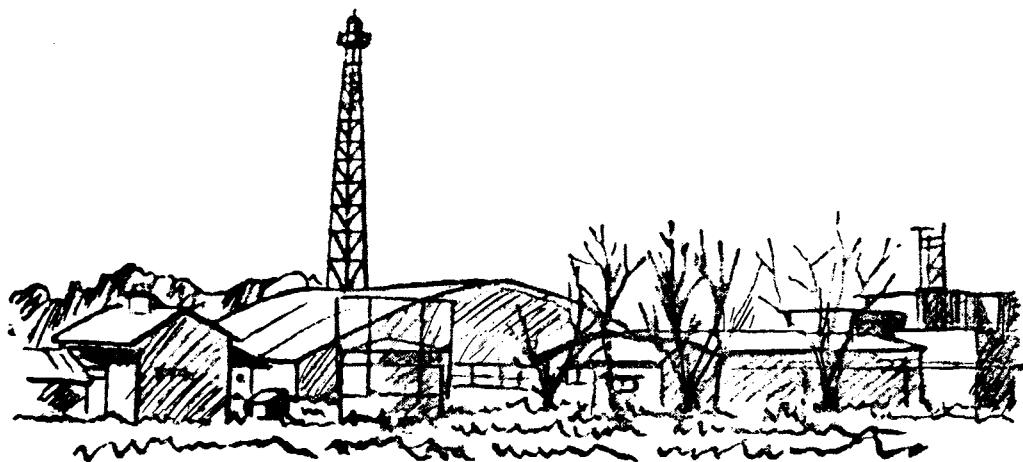


消研輯報

30



昭和 52 年 4 月

消研輯報

第30号 目 次

○UJNR防火専門部会第2回合同会議

○PS-1飛行艇改裝機による空中放水の状況

○ファイヤ・ポールの形成

○ひな壇状のクリップの延焼実験

| | | |
|-----------------------|-----------|----|
| 我が国の防炎加工の現状と問題点 | 守川時生 | 5 |
| スプリンクラー設備の概要と歴史 | 中久喜厚 | 10 |
| 石油タンクの腐食の実態 | 亀井浅道・中久喜厚 | 15 |
| エゼクターとその応用について | 佐藤晃由・高橋正一 | 19 |
| 家屋配置の充填分布モデルと平均焼失率の算出 | 橘 房夫 | 24 |
| 月例研究会・報告会 | | 30 |

U J N R 防火専門部会第2回合同会議

昭和51年4月初旬、米国で開かれた第1回合同会議(本誌29号参照)に続いて、第2回会議が同年10月19日から22日まで東京で開催された。6つの分科会に分れ両国的主要論文の紹介と討論が行なわれた。



開会式 挨拶は米国大使館科学技術担当参事官J. L. Bloom氏(経団連ビルにおいて)



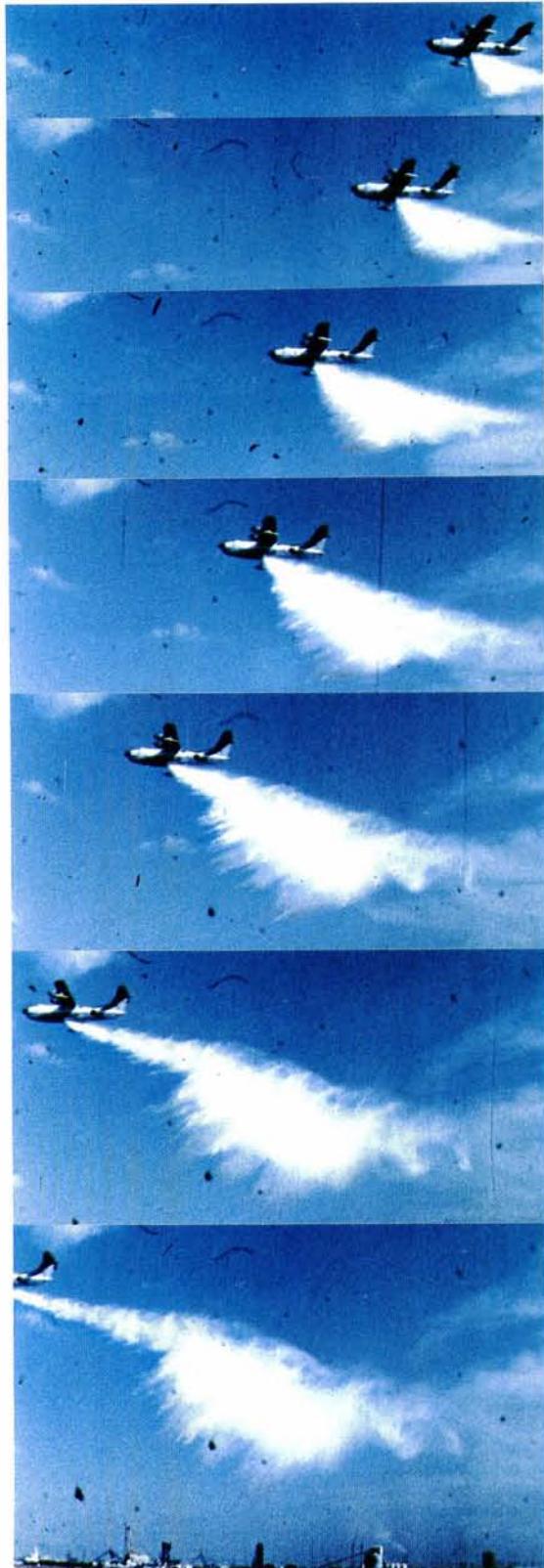
会議第3日午後、“火災検知および煙の特性”の分科会(消防研究所において)



熊野所長主催のレセプション、10月21日夜
(麹町会館において)



最終日午後の総括討議(東京消防庁において)



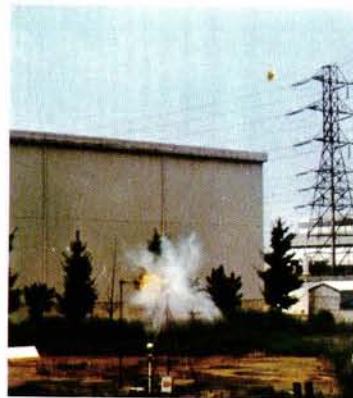
PS-1飛行艇改装機による 空中放水の状況

放出後の水塊は(海水8300ℓ)しばらくの間、放物線に近い軌跡を描く。鉛直落下距離30~45mで大部分が水滴に分散し(ブレーク・アップ)、雨状となって落下する。(各写真は0.5秒間隔、16mmフィルムより複写)。

放水高度 80 m (260 ft)

機速 170 Km/h (90 kt)

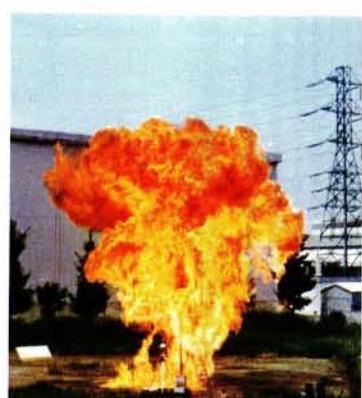
(笠原保信・金田節夫)



(1) 0.10 秒



(2) 0.80 秒



(3) 1.5 秒

ファイヤ・ボールの形成



(4) 1.85 秒

- (1) ガラスフラスコに密封した10ℓのn-ペンタンを70°C、3.0気圧に加熱し、容器を破壊した。蒸気および液滴は飛散し、霧滴状態となり、1m離れたバーナにより点火されている。
- (2) 火炎はフラスコを中心に周囲にはほぼ等しく広がっている。
- (3) 火炎の輻射熱最大の時期。ペンタンの一部は地上に落ちて燃えている。
- (4) ファイヤ・ボールは上昇し、地表面の火炎と分離しつつある。
- (5) 二つの火炎が完全に分離している。
- (6) ファイヤ・ボールの燃焼はほぼ終っている。
- (7) ファイヤ・ボールは黒煙となるが、地表面の火炎は続いている。

(危険物研究室)



(5) 2.20 秒



(6) 2.55 秒



(7) 2.90 秒

ひな壇状のクリブの 延焼実験

写真 1

室内における予備実験。ひな壇上で平たん部上の場合と異なって、燃焼速度は火炎及び熱気流の影響を受けやすい。(点火後13分の状況)



写真 2

ひな壇上及び平たん部上のクリブの
延焼比較実験。ひな壇の斜面角は水
平に対して29度である。(点火後7分
の状況)



写真 3

ひな壇上及び平たん部上のクリブの
延焼比較実験（点火後25分の状況）
ひな壇上のクリブの平均延焼速度は
平たん部の場合の約2.5倍大きい結
果になった。ひな壇の最上段付近で
は延焼速度は特に大きくなつた。

（山下邦博・山本忠彦）



我が国の防炎加工の現状と問題点

守川時生

1. はじめに

我が国において、織物類の燃焼性規制は、消防法第8条の3により、高層建築物、地下街、劇場、旅館、病院など公共利用の場で使用されるカーテン、どん帳および工事用シートなどについてあるに過ぎず、他の分野では、ほとんど野放しの状態と言ってよい。しかし、最近、寝具、敷物などに対して、防炎性能試験基準（消防安第65号、昭和49年）が定められ、これに合格したものに対しては、「防炎製品」のラベルが付けられることになった。また、老幼身体弱者を収容する施設をはじめ、一般においても、防炎製品の使用が奨められている。

アメリカは、防炎加工でも先進国で、それだけに、燃焼性の規制も厳しい。DOC(米国商務省)には一連の燃焼性規制があり、これは個人用、また、家庭用織物を包含したもので、子供用寝巻き、マットレス、カーペットなどに関するものである。現在のところ、この法律では、衣類に関しては、子供用寝巻きについてであるが将来は、もっと幅広く、大人用寝巻き、さらに、子供、大人用の他の衣類、家具類、カーテン、毛布、ベッドシーツなどにも規制が及ぼうとしている。こういう規制の裏には、統計上、焼死者中、20%以上が衣類に関連する火災によることがはつきりしているということがある。

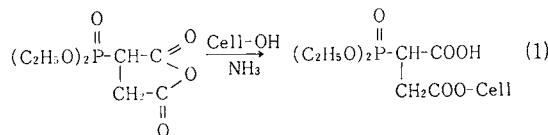
アメリカでは、燃焼性規制があるため、防炎製品が工業的に生産され、また、一般家庭で使用されている。防炎製品の需要の大きさが背景にあるため、防炎化の研究は益々盛んになろうとしている。

我が国においても、防炎化の研究は、将来の規制の新設を見越して地道に行なわれている。アメリカのSRRC(南部地域研究センター)で綿織物の防炎研究に従事しているJ.P.モロー氏が、消防研究所に、昭和50年6月から7ヶ月間、滞在した際、筆者は、共にいろいろな機関を訪問したり、逆に訪問を受ける機会を得たので、我が国の防炎に関する研究の現状、防炎加工の問題点とその将来などについてまとめてみたい。次

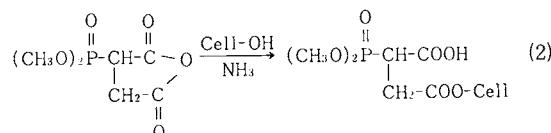
に、綿織物について実験室的に防炎処理を行ない、それについて種々のテストを行なったので、その結果を述べることにする。

2. 我が国の防炎化研究

大学、国立研究所などで防炎機構の研究を行なっているところはいくつかあるが、防炎化の研究を行なっているところは少なく、この分野でまず第一に挙げることができるのは、京都工芸繊維大学であろう。ここでは、P、Nを含む化合物をセルロースに化学的に結合させるという方法を開発中であった。^{1,2)}すなわち、ジエチルホスホノコハク酸無水物とセルロース、



あるいは、ジメチルホスホノコハク酸無水物とセルロース、

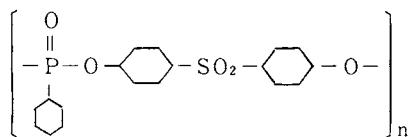


による反応の処理布をトリクロールメラミンで処理するというものである。これにより、耐久性のある、また(2)では特に風合いのよいものが得られるという。防炎性は数値による比較のできるLOI(限界酸素指数)を用いていた。

東京農工大学では羊毛を中心に繊維の含気率、含水率と燃焼性を調べ、さらに、難燃化の研究を開始していた。羊毛は難燃性、あるいは、自己消炎性といわれるが、含気率99.0~99.5%以上では、高湿度下でも、レーヨンと同程度の燃焼性を示すことを明らかにしていた。³⁾防炎化については、羊毛に限らず他の繊維についても防炎処理法の研究に基礎から手がけていた。

企業では、興人が防炎性化学繊維、コーデラ、PVC-PVAの開発に成功している他、東洋紡は防炎性ポリエステル、ハイムの開発に成功している。これは、P

含有のPolyarylphosphonate



という高分子を含むものである。ハイムはポリエス
テルよりも強度は少し落ちるが、防炎性は生地が薄い
ほどよく、カーテン、寝巻きなどに向いているといふ。
その生産は現在のところ、パイロットプラント規模と
のことであった。ハイムはアクリル繊維、羊毛、ポリ
エスティル、コードラ、ナイロン、トリアセテートなど
とある範囲内で混紡しても、防炎性を保有するといふ。

一般に、筆者らの訪れた多くの紡績会社は、綿、および、綿-ポリエステル混紡品の防炎化に強い関心を示していた。綿については、Fyrol-76、Pyrovatex-cp、THPOH-NH₃、THPOH-resinなどの加工を実験的に行ない、その評価を終えているところが多かった。アメリカにおいて実用化が進んでいるFyrol-76とPyrovatex-cpについては、会社によって評価が異なり、ある会社は前者を、また、他のある社は後者を支持していた。また、THPOH-NH₃法は加工方法が他のものと異なり、そのための設備投資が必要なこと、日本のようないわ工場と民家が隣接しているところでは、空気汚染、臭気公害の発生を懸念していた。

綿一ポリエステルの混紡品については、ポリエステルの比率を落とし、綿用の防炎処理をしようとする方法、防炎性のポリエステルの開発を待ち、それと綿の混紡品をさらに防炎処理しようとする方法の二つの考え方があった。防炎性のポリエステルの開発に関しては、各社とも、施設をみせてもらはず、また、詳しい話も聞けなかつたが、秘密裏に研究していることだけは確かであった。

ふとんわたについては、難燃性レーヨンわた混紡の
ポリエステル綿は市販されているが、もめんわたでは、
耐久性のものは、まだ開発されておらず一時性のもの
として防炎剤にホウ酸が用いられている程度であった。
もめんわたは徐々にポリエステルわたによって、とっ
て換られつつあるが、ここでもポリエステル自体の防
炎化が待たれる様に思える。

3. 燃燒性試驗方法

繊維製品の燃焼性試験方法には、水平法、45° 傾斜法、45° コイル法、酸素指数法などがJIS規格として制定されている。

我が国の消防法では、防炎防火対象物や防炎製品の試験方法として、布製品については、45° 傾斜法と45°

コイル法 (Fig.1~2) を規定している。後者は溶融性のものの試験に用いられる。建築、航空機、船舶、鉄道の材料などの燃焼性は、他の法律によって規定されているが、試験、評価は、個々に異なる場合が多い。

アメリカの商務省(DOC)の燃焼性試験には、布製品については、45°法と垂直法が制定されている。前者はすべての布製品に対する試験法である。後者は防炎性織物に対する試験方法で、これは45°法に較べて遙かに厳しいものである。日本では、この垂直法がまだ採用されていない。一方、アメリカには、日本のコイル法に相当する方法がない。また、日本の試験では、炭化物の面積が測られるのに対し、アメリカでは、長さが測られる。試験前に行なう乾燥後の処理の方法も異なる。

燃焼性試験方法の国際統一といったものも必要であろうが、どの方法が最も燃焼性、あるいは、防炎性を反映しているかという意味で、試験方法の研究も今後さらに進める必要があるものと思う。

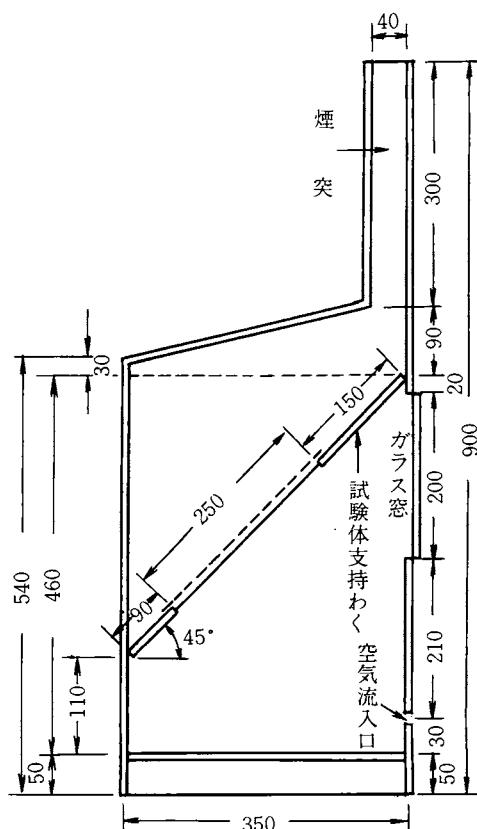


Fig. 1 45°傾斜法

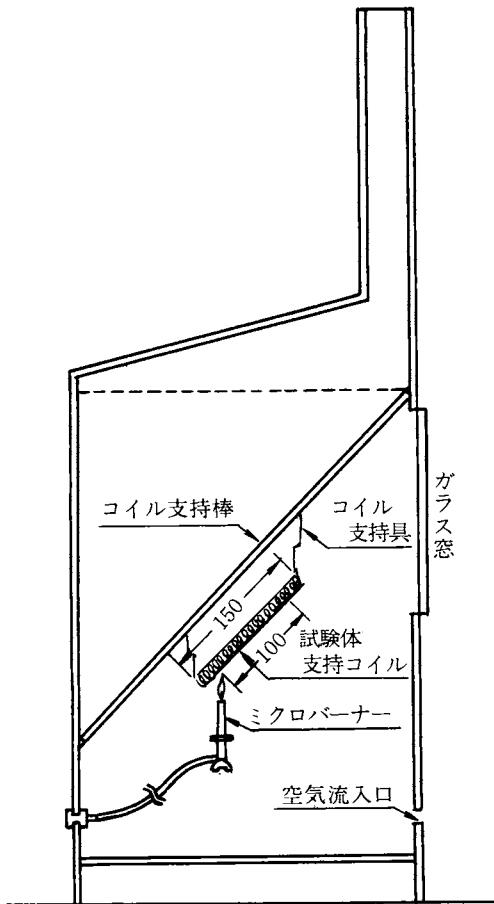


Fig. 2 45°コイル法

4. 我が国における防炎織物の必要性

我が国の防炎加工は実際面でも、研究面でもアメリカに比べて立遅れているが、その最大の理由は法規制のないことであろう。現段階の防炎化衣料は、着心地、強さの点で、無加工のものに多少とも劣り、また、これについては次節で触れるが、ホルムアルデヒドによる皮膚公害、熱分解の際に発生する煙、有毒ガスなど未解決の問題も多い。その上、価格も無加工のものより高いので、法規制がなされない限り、防炎化衣料の市場性はほとんどないといってよい。我が国では、衣類の着火による火災の原因が少ないと統計的にはっきりしている。これは、我が国では、火の露出しているストーブなどが広く用いられているにもかかわらず、幼児、子供の衣類への着火が少ないので、国民の火災への関心の高さのはか、子供が独立した部屋をもつて至っていないという生活水準または生活様式も一つの要素と思われる。

現段階では、たしかに、衣類の防炎化の必要性は低

いかも知れない。しかし、生活様式、生活態度は、日々、洋風化に進んでおり、生活も自動化し火災への関心は薄らぐ傾向にある。さらに、各人が独立した部屋をもてるような時代が来るとき、アメリカのように法規制の問題がもち上って来る可能性がある。

ところで、我が国でも防炎化の必要性は法規制のある分野以外でも現在ないわけではない。たとえば、たばこからふとん、マットレスへの着火の火災例は現在多く、これらの防炎化は今すぐにでも必要な問題であろう。溶接作業衣、溶鉱炉作業衣、警官用衣服、登山用テント、トラックカバー、カーテン、日除けなどにに関しては、消費者の側から防炎化の要望が聞かれる。

アメリカの燃焼性規制を対岸の火事と見て、手をこまねくことなく、無毒にして、繊維素材の本来の良さをそこなわない防炎化の研究は一層邁進させる必要があろう。

5. 実験室的に行なった綿織物の防炎処理とその試験

実験室的に綿布の防炎処理を行ない、その防炎性や布地の性質よりは、毒性に重点を置いて実験を行なった。

5・1 実験方法

防炎処理は、THPOH-NH₃(THPOH35%、30%の2通り)、THPOH-Amide, Pyrovatex, Fyrol-76の4種類、5通りの方法で行なった。その配合をTable. 1に示す。それらの溶液にFlannel(ネル)、Sheeting(ふとんカバー地)、Sateen(ふとん側地用サテン)、および、Twill(作業服地用ツイル)の4種(15cm×30cm)を浸漬し、絞った後、乾燥(80~90°C、3~10分)し、THPOH-NH₃法を除いては、160~170°Cで約3分キュアリング(固定)を行なった。THPOH-NH₃については、乾燥直後、デシケーター中に布地を吊し、アンモニアガスを送り込みながら、5分間キュアリングを行なった。キュアリングを終えたすべての布は2%のH₂O₂溶液に2分浸して酸化脱臭し、60°Cの流水で約15分洗滌し、次に冷水中で5分間洗滌後、吊して自然乾燥させた。

燃焼性はマッチテスト、すなわち、約1cm×5cmのサンプルをマッチの炎で点火し、火の消える角度を見る簡易法によって行なった。^{*}仕上りの色は肉眼観察により、風合いは手ざわりによって判定した。

ホルムアルデヒド遊離試験は、次のように行なった。試料2.5gを100mlの水の入った共栓付200ml三角フラス

*マッチテストは一般にはスクリーニングに用いる方法で、上に火のついた状態を0°、下を180°、水平を90°といい、135°以上で消えるとき防炎性があるとされる。

Table. 1 防炎処理剤の配合表

| THPOH (35%) (T-35) | |
|--|-------|
| THPC (80%) | 48.1% |
| NaOH (25%) | 19.3 |
| 水+界面活性剤 | 32.6 |
| THPOH (30%) (T-30) | |
| THPC (80%) | 41.1% |
| NaOH (25%) | 16.5 |
| 水+界面活性剤 | 42.4 |
| THPOH-Amide (35%) (TA) | |
| 80%THPC | 48.1% |
| 尿素 | 12.0 |
| スミテックス (50%) | 21.7 |
| リン酸 (85%) | 1.0 |
| 水 | 17.2 |
| Pyrovatex-cp (35%) (PY) | |
| Pyrovatex-cp | 40 % |
| スミテックス (50%) | 8 |
| リン酸 (85%) | 4 |
| 水+界面活性剤 | 48 |
| Fyrol-76 (37%) (FY) | |
| Methylolacrylamide (60%) | 25 % |
| Fyrol-76 | 20 |
| EDTA | 0.1 |
| K ₂ S ₂ O ₈ | 0.5 |
| 水+界面活性剤 | 54.4 |

コに入れ、40°Cで1時間ときどき振とうさせてホルムアルデヒドを溶出させた。定量はその溶出液を沪過したものについて、クロモトロブ酸法で行なった。

また、処理布からの燃焼、熱分解生成物についてもホルムアルデヒド、リン、アンモニア、アミンの発生を調べた。横型管状電気炉中で250°C、または、300°Cに加熱された石英管に空気を1.83 l/min通じ、その中にアルミはくポートに入った試料約500mgを挿入し、発生するガスを0°Cに冷却した5段のトラップに吸収させた。ホルムアルデヒドは前述のクロモトロブ酸法で定量した。リンについては、吸収液を濃縮後、H₂SO₄+HNO₃を加えて、あたため、沈澱の有無をみるというノイマン法によって定性を行なった。アンモニア、アミンについては、塩酸々性にして濃縮後、カセイアルカリにして蒸留し、その留分を前者についてはネスター試薬で、後者についてはチオカルバミン酸生成反応とチオールの第一銅塩沈澱法によって定性を行なった。

5・2 実験結果と考察

防炎処理を行なった各種布地の防炎剤付加率と試験

結果をTable. 2に示す。燃焼性、風合い、色合いとも、防炎剤付加率や処理条件によって大きく影響を受けるため、最適条件を見つけるまでは、それらの比較は大きな意味をもたない。しかし、THPOH系は褪色を起す傾向があることは言えようである。また、防炎処理したもののが引き強度は、すべて、定性的に未処理のものに較べ低下がみられた。

Table. 2 防炎剤付加率と試験結果

| | | 付加率 | マッチテスト | 色合い | 手ざわり |
|------|----------|-------|--------|-------|-------|
| T-35 | Flannel | 19.2% | 180° | — | 良 |
| | Sheeting | 15.2 | 105 | 僅かに黄変 | " |
| | Sateen | 17.6 | 180 | 僅かに退色 | " |
| | Twill | 13.3 | 180 | 良 | 良好 |
| | Flannel | 15.6 | 180 | — | 良好 |
| | Sheeting | 14.2 | 105 | 僅かに黄変 | 良 |
| | Sateen | 14.9 | 180 | 僅かに退色 | 良好 |
| | Twill | 11.1 | 120 | 良 | " |
| | Flannel | 28.5 | 180 | — | かなり硬い |
| | Sheeting | 25.0 | 120 | 良好 | 僅かに硬い |
| | Sateen | 26.8 | 180 | 僅かに退色 | " |
| | Twill | 21.2 | 135 | 良好 | 良好 |
| PY | Flannel | 16.0 | 150 | — | 良好 |
| | Sheeting | 15.9 | 110 | 良好 | 僅かに硬い |
| | Sateen | 16.0 | 135 | " | 良好 |
| | Twill | 13.1 | 150 | 良 | " |
| FY | Flannel | 18.4 | 120 | — | 良好 |
| | Sheeting | 19.9 | 120 | やや黄変 | 良 |
| | Sateen | 20.3 | 120 | 良 | 良好 |
| | Twill | 16.7 | 165 | 僅かに黄変 | " |

防炎加工によって、防炎性や難燃性が付与されても、我が国においては、厚生省令第34号（昭和49年）「有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律施行規則」を満足しなければならない。綿織物の防炎処理は、HCHOの遊離の項が問題になる。防炎加工された布を40°Cの水に1時間浸漬したときに溶出するHCHOの量はTable. 3に示す。中性洗剤1%含有水に入れて、1時

Table. 3 ホルムアルデヒド (HCHO) の溶出量

| | HCHO(mg)/Sample(g) | HCHO(mg)/付加量(g) |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Twill | | |
| THOH-NH ₃ (35%) | 2.3 | 19 |
| " (30%) | 2.0 | 20 |
| THPOH-amide | 0.85 | 4.9 |
| Pyrovatex-cp | 0.08 | 0.7 |
| Fyrol-76 | 0.02 | 0.1 |
| Flannel | | |
| THPOH-NH ₃ (35%) | 2.4 | 16 |
| " (30%) | 2.3 | 18 |
| THPOH-amide | 1.0 | 4.7 |
| Pyrovatex-cp | 0.15 | 1.0 |
| Fyrol-76 | 0.02 | 1.2 |

間煮沸、洗滌、乾燥後、40°Cの水に1時間浸漬したときのHCHOの溶出量、および、さらにもう1時間煮沸を行ない、以下同様の操作を行なった時の溶出量を、Table. 4に示す。THPOH系のものからの溶出は、かなり大きく、厚生省令のゆるい方の限界値27mg/gより遙かに大きいことがわかった。1時間、あるいは、さらにもう1時間煮沸した後の溶出は大巾に減少したが、

Table. 4 煮沸乾燥後のHCHOの溶出

| | 1時間煮沸後 HCHO(mg)/Sample(g) | さらに1時間煮沸後 HCHO(mg)/Sample(g) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| THPOH-NH ₃ (35%) | 0.18 | 0.098 |
| " (30%) | 0.20 | 0.12 |
| THPOH-amide | 0.054 | 0.039 |

生地: Twill

それでも、なお、かなり高いHCHOの溶出がみられた。防炎加工布を250°Cと350°Cで熱分解した場合のHCHOの発生を調べた結果をTable. 5に示す。この場合のHCHOの発生は、水への溶出の結果との間に相関性は全くなく、また、防炎処理のために減少した。しかし、煙は防炎処理のものからは短時間に大量に発生し、その臭いは未処理のものより不快なものであった。

Table. 5 热分解で発生するHCHO量

| | 250°C HCHO(mg)/Sample(g) | 350°C HCHO(mg)/Sample(g) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| THPOH-NH ₃ (35%) | 痕跡 | 5.8 |
| THPOH-amide | " | 1.6 |
| Pyrovatex-cp | 5.3 | 7.0 |
| Fyrol-76 | 5.8 | 12 |
| Control | 14 | 16 |

生地: Twill

この実験で用いた防炎処理剤は、すべて、PおよびNをその元素として含むが、分解生成物中には、Pは検出されなかった。生成物をトラップした溶液に酸を加えると、臭いがやわらぐことから、塩基性のものが含まれることが考えられ、分析の結果アンモニアおよびアミンが検出された。P、N系の防炎加工は織物の分解による有毒ガスの発生は抑えられようが、分解による煙の発生と防炎処理剤そのものの分解による有毒ガスの発生には問題がある。

そこで、防炎の研究は、防炎性能、布の性質、毒性をも含めて、さらに、研究開発が望まれる。

6. あとがき

我が国では、防炎の法規制が少ないにもかかわらず防炎の研究は地道に行なわれていることがわかった。

規制の強化に対しては、現在の段階ではいろいろ問題があるが、将来に備えて、また、消費者からの自発的な要望に対しても応じられるような防炎技術の発展が望まれる。

J.P.モロー氏の滞在中、彼と共に東京農工大学、京都工芸繊維大学、ユニチカ、鐘ヶ淵紡績、東洋紡、旭化成、繊維高分子材料研究所などを訪問し、また、日本化学工業、日本工業製薬などからの訪問を受けた。その際、いろいろと親切に情報をお聞きして下さったことに感謝し、またユニチカには、綿織物の試料を提供して下さったことに感謝する。

引用文献

- 寺村他：学振染色加工第120委員会年次報告(23)(1971)
- 寺村他：学振染色加工第120委員会年次報告(24)(1972)
- 佐貫：繊消誌(日本繊維製品消費科学会)、Vol.16 No.5(1975)
- E.Nagai: LeBlanc Conf. (1974)

スプリンクラー設備の概要と歴史

中久喜 厚

まえがき

本誌の前号に“スプリンクラー設備の奏功実績”的表題で、スプリンクラー設備の初期消火に果す役割の大きいことを述べた。本号からスプリンクラー設備の構造、機能などについて述べてゆくわけであるが、その詳細を述べる前に、設備全体の概略を知っておいた方が、今後の理解に便であろうと思われる。そこで、本号においては先ずスプリンクラー設備の概要について述べることにした。本報告の後半にはスプリンクラー設備の歴史について記述する。

I スプリンクラー設備の概要

1. スプリンクラー設備の概略

スプリンクラー設備は防火対象物の上部又は天井にスプリンクラーヘッドと称する散水器を取り付け、これより水を放射し消火する固定式の消火設備である。建物、構造物、そのほかの場所に設けられた配管網に、スプリンクラーヘッドを規則正しく配列し、各種の弁を経て有効な給水源に連結してある。ヘッドから水が噴出すると、警報装置を動かさせて散水を知らせるとともに、加圧送水装置から自動的に給水されるようになっている。火災時、ヘッドから噴出した水は、ヘッド付属のデフレクター（散水板）に衝突し、広い範囲に水を分散させて、消火する。スプリンクラー設備は自動式のものがほとんどで、この場合ヘッドは火災の熱により放水口が聞く形式なので、火点の上部近くのヘッドが作動するようになる。

2. スプリンクラー設備の設置義務範囲

消防法では、防火対象物に対してスプリンクラー設備の設置を義務づけている。各種防火対象物に対するスプリンクラー設備の設置義務範囲を表1に示す。表の最左欄には、建物の業種による火災危険度を、英國のF.O.C.(Fire Offices' Committee)規格¹⁾、米国のN.

表1. スプリンクラー設備の設置義務範囲 (床面積m²以上)

| 危険級別 | 防 火 対 象 物 | 地階又は 無意階 | 1~3 階 | 4~10 階 | 11階 以上 | 各階 |
|----------|-----------------------------|-------------|---------------------------|-----------|-----------|--|
| 軽 級 | 5ロ 寄宿舎、下宿 | | | | | 消防法施行令 別表二の 「特殊可燃物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 7 学 校 | | | | | |
| | 8 図書館、博物館 | | | | | |
| | 11 神社、教会 | | | | | |
| | 15 事務所 | | | | | |
| | 17 重要文化財 | | | | | |
| | 1ロ 公会堂、集会場 | | | | | |
| I | 6イ 病院、診療所 | | | | 1500 | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 6ロ 老人ホーム、救護施設 | ←→1000 | | | | |
| | 6ハ 幼稚園、養護学校 | 平屋建以外延べ5000 | | | | |
| | 1イ 劇場、映画館 | | | | | |
| II | 3 料飲店 | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 5イ ホテル、旅館 | | | | | |
| | 9イ トルコ・サウナ浴場 | | | | | |
| III | 2イ キャバレー | ←→1000 | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 2ロ 公衆遊技場 | 平屋建以外延べ6000 | | | | |
| I | 4 百貨店、店舗、展示場 | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 12イ セメント工場 | | | | | |
| II | 12イ 自動車工場 | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 13イ 自動車車庫、駐車場 | | | | | |
| III | 12イ 製粉工場 | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 14 倉 庫 | | | | | |
| | 1イ 劇場舞台部 | ←→300 | 500 | 300 | ←→ | |
| III | 16イ 1~4、5イ、6、9 イの存する複合用途 | ←→1000 | | 1500 | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 16イ 1~4、5イ、6、9 イの存する複合用途 | 延べ3000 | (23340ある階1000) 存在階全部 | | | |
| | 12イ 紡績工場 | | | | | |
| III 特 | 12 映画スタジオ | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 16の2 地下街 | ←→1000 | | | | |
| 重 級 | 12イ セルロイド工場 | | | | | 別表三の 「準危険物 (一類、二類、 五類)」 の指定数量の 千倍以上を貯蔵又 は取り扱う部分 |
| | 13ロ 航空機格納庫 | | | | | |
| | 14 倉 庫 | | ラック式倉庫で天井高さ10m以 上延べ700 | | | |

[注] ①ヘッドは舞台部及び自治省令で定める部分の天井又は小屋裏に設ける。

②防火対象物の区分は自治省令別表1による。

③水噴霧、泡、二酸化炭素、ハロゲン化物、粉末の各種消火設備の有効範囲は設置免除。

F.P.A.(National Fire Protection Association)規格²⁾、わが国の損保規格³⁾などに載っている危険級別を参考にして示してある。表中の実線の矢印に含まれる階全部に、また破線の矢印はその該当階だけに、そこに記

入されている数値以上の床面積(m²)であるときに設備しなければならないことを示している。スプリンクラー消火設備のほかに、水噴霧、泡、二酸化炭素、ハロゲン化物、粉末などの特殊消火設備がある。特殊消火設備は、規定床面積以上の自動車車庫、駐車場、航空機格納庫・発着場、電気設備室、ボイラー室、通信機室などに、また準危険物（消防法施行令別表2の1、2、4、5類）又は特殊可燃物（消防法施行令別表3）を規定数量の千倍以上取り扱い又は貯蔵するところにそれぞれ適応するものが設置されることになっている。

3. スプリンクラー設備の構成

スプリンクラー設備のおおよその構成は図1のようで、水源、加圧送水装置、自動警報装置、配管、弁、スプリンクラーヘッドより成る。スプリンクラーヘッドは、普通は天井の下部に露出して取付けられ、配管は内装材の裏側に設けられる。

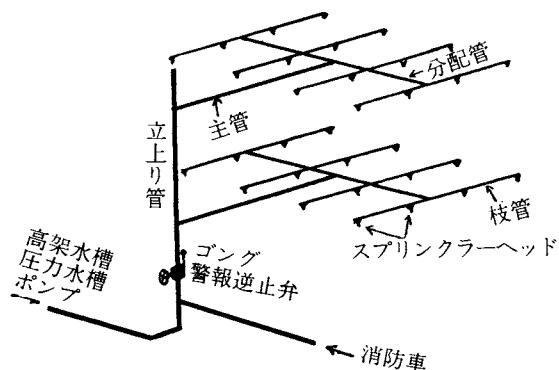


図1 スプリンクラー設備の主要な構成

3.1 スプリンクラーヘッド

スプリンクラーヘッドはスプリンクラー設備の最も重要な部分である。単にスプリンクラーともよばれる。各種スプリンクラーヘッドの外観を写真1～4に示す。スプリンクラーヘッドの構成部分の名称を図2に示す。スプリンクラーヘッドは設備方式の方面から、水の噴出口の閉ざされている閉鎖型と開放されている開放型とに分けられる。閉鎖型には可溶片型とグラス球型があり、可溶片型にはレバー式、コンプレッション式、フラッシュ式がある。スプリンクラーヘッドの取付けの方向又は散水の方向によって、上下両用型、下向き型、側壁型などに分類される。また、感熱体の作動温度により、数種に分類されている。わが国では、定格72°Cで下向きの可溶片型の呼び口径15mmのものが、圧倒的に多く使われている。可溶片が火災の熱で溶け感熱体部分が分解すると、オリフィスから棒状の水が

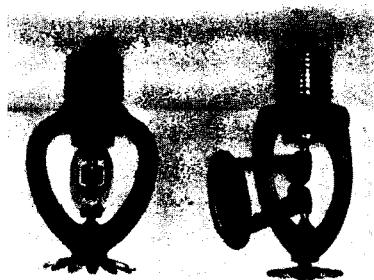


写真1 可溶片型

右：レバー式、左：コンプレッション式



写真2 グラス球型



写真3 フラッシュ式

(右の2つ マルチ式)

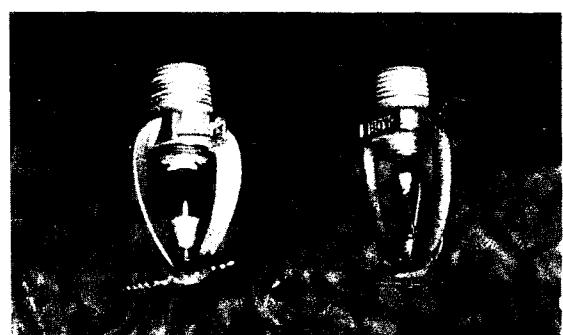


写真4 側壁型

左：グラス球型、右：コンプレッション式

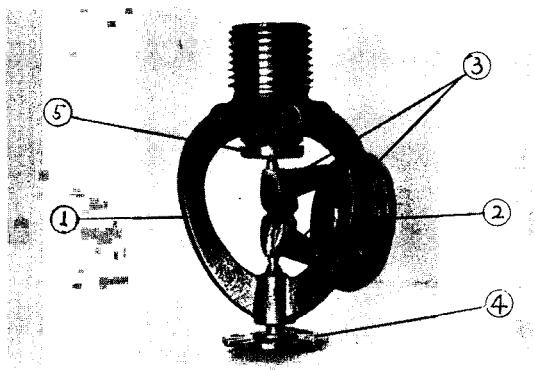


図2 スプリンクラー ヘッドの各部の名称

- ① フレーム、② 感熱体(ヒュージブルリンク)
③ レバー、④ デフレクター、⑤ バルブキャップ

噴出し、デフレクターに衝突し、水を周囲に分散させる。分散した水は、ヘッドの下方向一定の距離の床面上で、ヘッドの軸から放射方向に一定の散水密度分布以上となるように決められている。

3・2 流水検知装置

流水検知装置とは、閉鎖型スプリンクラー ヘッド又は一斉開放弁^{*} その他の弁の開放にともなう流水現象を自動的に検知して、警報を発し、又は警報を発するとともに加圧送水装置を起動させる装置である。その代表的なものに警報逆止弁がある。警報逆止弁は警報発信と逆止弁^{**} の機構を兼ね備えている。そのほかの流水検知装置としては、流水作動弁、オリフィス型、ベンチュリー型、パドル型流水検知器などがある。オリフィス又はベンチュリー型は流水に伴いそれらの前後に生ずる圧力差により、またパドル型は管内に取付けられたパドル^{***} の流水に伴なう変位によって流水信号を発生するもので、出火階を表示するための発信部として用いられる。

乾式設備に用いられる乾式弁も流水検知装置の一種であるが、その作動機構は警報逆止弁と比べ、出口側(スプリンクラー ヘッド側)に圧縮空気が充満している点に違いがあるだけで、そのほかは類似している。

3・3 水源と加圧送水装置

水源としては、貯水槽(高架水槽、圧力水槽を含む)が利用できる。欧米では、公設水道、高位貯水池など

も認められている。わが国では、水道法によって公設水道の利用は認められていない。

加圧送水装置には、高架水槽、圧力水槽、およびポンプがあるが、一般に電動機駆動のポンプが用いられる。警報逆止弁などによって配管内の流水が検知されると、配管内の水圧を維持するためにポンプの自動起動装置が働き、ポンプは駆動される。

3・4 配管

給水管は図1に示されるように給水本管、立上り管(Riser)、主管、分配管、枝管(Range or Branch pipe)より成る。給水本管は、ポンプ、高架水槽などの加圧送水装置に連結されるが、これにはさらに、火災が拡大して水源の水量が不足した場合に、公設消防隊がポンプ車で水を補給できるように屋外に双口形の送水口をもつ配管が連結される。

4. スプリンクラー設備の種類

スプリンクラー設備は防火対象物・取付け場所などによって閉鎖型スプリンクラー ヘッドを使用した閉鎖式と開放型スプリンクラー ヘッドを使用した開放式に分けられる。

4・1 閉鎖式スプリンクラー設備

この設備は湿式と乾式設備に大別される。

(1) 湿式設備

常時配管内に水を充満、加圧しておき、スプリンクラー ヘッドの感熱、開放とともに放水するものである。スプリンクラー設備としては、最も好ましい方式であるが、冬期配管中の水を凍結させないようにする必要がある。

(2) 乾式設備

スプリンクラー ヘッドと乾式弁の間に常時圧縮空気を充てんしておき、スプリンクラー ヘッドの感熱、開放により、先ず圧縮空気が放出され、圧縮空気で水の噴出がおさえられていた乾式弁が入口側(加圧送水側)の水圧で開かれ、水が配管中を流れ、開放されたヘッドから散水するようになるものである。乾式設備は、普通は人工的に氷点以下にされた冷凍倉庫などや温度が70°C以上に保たれるところなどに認められるとされている。酷寒地において水の凍結を避けるためにも使用されているが、わが国における設置例は少ない。

乾式設備には、ヘッドが作動してから放水するまでの時間を短縮するための種々の工夫がある。予作動式(Preaction system)と予作動再循環式(Preaction recycling system)がある。予作動式はヘッドと予作動弁の間の配管内に圧縮または常圧の空気を充て

*開放式スプリンクラー設備(4.2節参照)に使用されるもので、デリュージ(Deluge)バルブともよばれる。火災による感知器の作動で弁が開放されると、水が配管内に流入し、配管に設置されるすべての開放型スプリンクラー ヘッドから一斉に放水されるようになる。

**一方向にだけ水が流れるようになつてゐる弁。

***櫛(Paddle)の形をした金属製の板。

んしておき、ヘッドと同区域に配列された自動火災報知設備の感知器の火災による作動で、先ず予作動弁が開放し、水が配管内に流入し、感知器より遅れて作動したヘッドから放水するものである。予作動再循環式は予作動式と同じ機構で作動するが、消火すると感知器からの信号で予作動弁が閉じて水が停り、水損を少なくするようにし、再着火すると感知器からの信号で弁が開き水の供給が自動的に回復するものである。これらの方では、配管の破壊による水損を防ぐこともできる。夏期には湿式、冬期には乾式と交互に変えられる交互式設備（Alternate system）もある。

4・2 開放式スプリンクラー設備

開放式スプリンクラー設備は設備された全部のヘッド、または適当に区画された部分のヘッド全部から同時に放水するもので、一斉放水式設備（Deluge system）ともよばれる。火災が発生すると、火災感知器の作動で設備の一斉開放弁（Deluge valve）が開放し、開放ヘッドより一斉に散水する。この方式は、非常に高い天井にスプリンクラーへッドを設けなければならぬ劇場舞台部、倉庫などで、閉鎖式設備では火点直上のヘッドの開放が熱気流の関係で必ずしも期待できず、火災の急激な拡大のおそれのある場所に用いられる。

II スプリンクラー設備の歴史

初めにスプリンクラー設備、その後でその規格の歴史について述べる。

1. スプリンクラー設備の歴史⁴⁾

1812年に英國 Royal 劇場に初めてスプリンクラー設備が取り付けられたと記録されている。その後、管に孔を開け、それにグッタベルカ、可溶金属製の栓をし60°C位の温度に達すると孔が開くような構造のものが出来た。これが閉鎖型スプリンクラーへッドの最初のものである。

米国では、1852年に初めて開孔管方式が採用された。最初は織物工場の屋根の防火だけを目的としたが、火炎伝播の速い梳き機、けば立て機、紡績室にも拡張されるようになった。その後、この方式は天井の直ぐ下に設けられた管の両側に交互に1/10"の孔が9"離された構造のものとなった。この方式は水損が大きいので1864年にHarrisonによって可溶片型のものが開発された。これが現在使用されている型のスプリンクラーへッドの最初のものといえる。真鍮の空洞の球に沢山の孔を開け、その球上部の入口にゴムのバルブが球中を

貫通しているピストンによって押え付けられ、このピストンは球の底部で可溶金属で固定されるようになっている。広く用いられるようになった最初のスプリンクラーへッドは Permelee によって1875年に発明され1878年に改良されたもので、水を分散させるために回転式の鋸歯状の車を使用したもので、約20万個が取り付けられた。この頃、保険会社がある木綿工場に保険を認めなかったのをきっかけに、工場の所有者は結束して相互保険会社を作るようになり、Factory Mutual System がスプリンクラー設備の設計、設備、発展に大きな役割を果すようになった。

英國では "Permelee" スプリンクラーが1881年に、Edinburgh ゴム工場に取り付けられたが、これは保険会社によって認定された最初のスプリンクラー設備である。その後間もなく、"Vulcan" スプリンクラーが出現したが、これは可溶蓋が溶けることにより、中央の心棒が落下し、バルブが開き、デフレクターによって水が分散する型式のものである。

この頃、一つの面白いスプリンクラーが出現した。それは、導火線がスプリンクラーへッドから床まで垂れ下げられる型で、火災によって導火線に点火すると、へッド側方に装てんされた火薬が爆発し、スプリンクラーのバルブを開くようになっている。導火線は日中には天井近くに持ち上げられ、夜には防火のために床に届くようぶら下げられる。この原理は最近でも高速感知型スプリンクラーに利用されている。

その後、種々のスプリンクラーへッドが考案されたが、不必要に複雑なために、長続きはしなかった。スプリンクラーへッドとしては、信頼度の高い、簡単な構造のものが必要であるが、後で出現したGrinnell型はこの要求を満してくれた。1891年夏以降に紹介されたすべてのGrinnell型は、グラスバルブ(弁)型とグラス球型である。1922年に支柱型で起る腐蝕を回避するために "Grinnell" グラス球型が開発された。このスプリンクラーでは、アルコールを入れたグラス球によってバルブが閉じられ、グラス球中のアルコールの量が火災の熱気流にさらされたさいの破壊温度を決定するようになっている。1925年には、その後のスプリンクラーの設計の基礎となる改良型がMather & Platt 社により開発された。このスプリンクラーでは、アルコールを封入した樽形の球が孔のあいた円すい部とバルブキャップの間に固定され、球やバルブにかかる荷重をネジで調節できるようにされた。1950年代後期には、Factory Mutual Engineers によって、"Conventional" すなわち上下両用型スプリンクラーよりも散水分布が広くかつ天井を漏らさない "噴霧" 型スプリ

ンクラーが紹介され、スプリンクラーの間隔が大きくなり、より少ない配管と経費ですむようになった。

わが国には、1887年（明治20年）頃初めて紡績工場に織機とともに“Grinnell”スプリンクラーが導入された。スプリンクラーヘッドは可溶片型からグラス球型に取替えられたが、設備は今なお使用されている。わが国では、グラス球型よりも可溶片型のレバー式が多く使われていたが最近は建築美観を重視するようになり、マルチ式^{*}に移りつつある。欧洲ではグラス球型のスプリンクラーヘッドが多く使われている。

2. スプリンクラー設備規格の歴史⁵⁾⁶⁾⁷⁾

自動スプリンクラー設備の最初の規格は英國で、1885年にJ.Wormaldによって書かれ、それを修正した規格が1888年9月に英國のF.O.C.（Fire Offices' Committee）によって採用された。1892年6月には、F.O.C.自身によって準備された初めての規格が発行され、その後度々修正が加えられ、現在のものは1968年に発行されたもので、第29版になる。スプリンクラー設備の構成部品の試験は初めManchesterのF.O.C.の試験所で行われていたが、試験所は1935年にHertfordshireに移され、さらに1946年にF.O.C.のJ.F.R.O.（Joint Fire Research Organisation）とD.S.I.R.（Department of Sci. & Ind. Res.）に包含された。

C.E.A.（Comité Européen des Assurances）に加盟する欧洲18ヶ国の共通のスプリンクラー設備規格が提案され、1968年12月に第29版のF.O.C.規格やスウェーデン規格を参考にして作られ発行された。同委員会はスプリンクラーヘッドの試験規格の原案を作ったが、現在加盟国により試験が行われている。

一方米国では、1895年12月にN.F.P.A.（National Fire Protection Association）が設立され、その最初のスプリンクラー設備規格が、北米における共通の規格として1896年に刊行された。この規格も幾多の火災経験や火災についての実験や研究の末、何回も修正され、現在のN.F.P.A.No.13として公表されているが、本質的には第29版のF.O.C.規格に類似している。

わが国では、1948年に損害保険料率算定会によりスプリンクラー設備規則が初めて作られ、1949年にはスプリンクラーヘッドの国家規格が作られ、国家による検定が開始されたが、検定の需要が少なく、実質的には行われなかったとみてよい。1965年に閉鎖型スプリンクラーヘッドの検定規格が制定され、日本消防検定協会により実質的な検定業務が開始された。1975年に

は、警報逆止弁などの流水検知装置や一斉開放弁についても検定規格が作られ、検定が実施されるようになった。

まとめ

スプリンクラー設備の概要と歴史について述べたが設備各部の詳細な構造および機能については、本誌をかりて引き続いて記述してゆくつもりである。スプリンクラー設備を世界的視野から眺めたいので、わが国では余りみかけない設備、例えば乾式スプリンクラー設備などについても、できるだけ多くの資料に基づいて述べることにしている。

スプリンクラー設備の歴史的な発展過程を知ることは、設備の今後のあり方を検討する上で大切であるが、資料に乏しく満足のできる内容にはなりえなかった。さらに詳細な調査が必要だと考えている。

文 献

- 1) "Rules for Automatic Sprinkler Installations," 29th Edition, Fire Offices Committee, London (Dec. 1968)
- 2) National Fire Codes, No.13 "Standard for The Installation of Sprinkler Systems," N.F.P.A. (1974)
- 3) "スプリンクラー設備規則," 損害保険料率算定会 (Jun.1967)
- 4) Nash, P., "The History of Sprinklers," Fire Surveyor, p.21 (Apr.1973)
- 5) Fowler, F.W., "The Development of Sprinkler Standards," Fire Journal, p.75 (Jul.1968)
- 6) "消防研究所20年史," 消防研究所 (1968)
- 7) "日本消防検定協会10年史," 日本消防検定協会 (1973)

石油タンクの腐食の実態

亀井 浅道・中久喜 厚

1. はじめに

三菱石油㈱水島製油所における重油流出事故（昭和49年12月）は広範囲にわたって環境を汚染し、地域社会に大規模な被害を与えた。この事故は、規模の大きさにおいては稀にみるものであるが、“腐食やき裂の発生などいわゆる部材の破損に起因するタンク事故”といふ面からみると必ずしも特異な事故とは言えない。現在わが国には約100,000基の危険物屋外貯蔵タンクがある。このような膨大な数のタンクの安全を期するため、貯蔵物の火災・爆発対策に加えて構造物としてのタンクの破損対策が積極的に行われている。

屋外タンクは一般に貯蔵液、水分、塩分などの腐食を促進させる環境にさらされている。また、力学的にみるとタンクの構造部材には、自重と貯蔵液による応力が常時作用しており、地盤の不等沈下や地震によりこの応力は一層増大する。このような過酷な条件のもとで長時間使用されるタンクは、次第に腐食の進行と強度の低下を来たし、刻々その寿命を減じていく訳である。

著者たちは屋外石油タンクについてその経年変化の実態を把握すべく、全国各地の石油コンビナートにおけるタンクの現状を調査してきた。本報はこの調査とともに、タンクの腐食の傾向について概略を述べたものである。

2. タンク底板の腐食

底板はJIS B8501によりその板厚を6mm以上とすることが定められているが大型タンクでは従来8mm以上のものが用いられている。鋼板の材質はSS41^{注1)}が大多数のタンクで採用されている。大型タンクはアニュラープレートを有し、その板厚は12~14mmで側板と同材質（HT60^{注2)}が多い)の鋼板が使用されている。底板の継手は重ね継手または突き合せ継手であり図1に示すように継手部には高々3枚の底板が関与するような配置となっている。底板と側板との継手はT継手である。

注1) 引張り強さ（図A(18ページ)参照）が41~52kg/mm²である一般構造用圧延鋼材

注2) 60kg/mm²級の高張力鋼

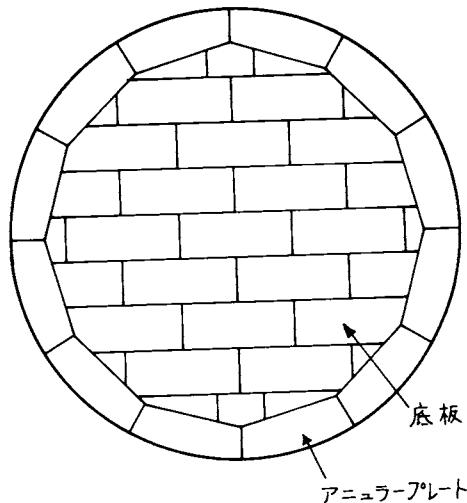


図1 タンク底板とアニュラープレート

さて、底板は一般に貯蔵液に面する側と地盤に接する側の両面から腐食がおこる。前者は内面腐食、後者は外面腐食と呼ばれる。

2・1 底板の内面腐食

典型的な孔食を写真1、2に示す。写真1は孔食を



写真1 孔食（深さ4mm）

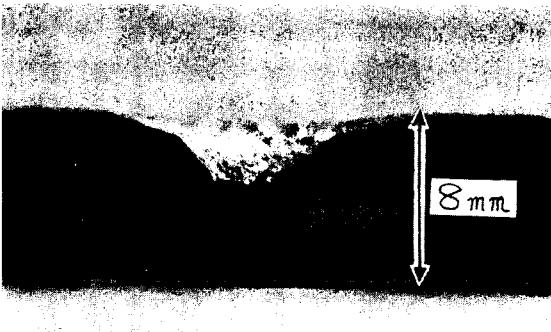


写真2 孔食（断面）

上から観察したものであり、写真2は断面をみたものである。これは10年間使用したナフサタンク（直径23m、高さ13m、容量5,000kℓ）の底板（材質SS41、板厚8mm）のほぼ中央部に発生したものである。孔食の直径に対してかなりの深さを有している。写真3は14年間使用した重油タンク（直径30m、高さ15m、容量10,000kℓ）の底板（材質SS41、板厚6mm）のアニュラーリーに近い部位に発生したものである。かなりの減肉が認められるが、写真2にくらべて腐食面積が大きい。



写真3 孔食（断面）

(a) 腐食の生じやすい個所

(i) 窪みとなっている個所

側板内面にはほとんど腐食が認められないようなタンクでも底板内面はかなり孔食が進んでいるものが少なくない。孔食は通常ある領域内にかたまって存在しており、その領域はしばしば底板の窪みと一致している。この理由としては、貯蔵液に混入している水が底板上の窪みに集まり、水が何らかの形で関与して起る電食により腐食が進行すると考えられている。

(ii) ヒーティングチューブのサポートのまわり

重油や原油タンクでは貯蔵液温度を常時数10°Cに保つためにヒーティング・チューブが設けられている。このヒーティング・チューブを支える部分のま

わりの底板に孔食が生じた事例も多い。この部位における興味ある事例として、表面はミルスケール^{註1)}が付着しており、その下層に酸化されていない鉄粉が存在し、さらに地盤と接する最下層は健全部であるという欠陥が見つかっている。

(iii) 溶接による熱影響部

熱影響部は溶接時の入熱により母材の金属組織に変化^{註2)}を受けており、引張りの残留応力^{註3)}が存在する部分である。この熱影響部内に溶接線に沿って孔食が発生することがある。

(iv) 機械的に塑性変形を受けた個所

通常、曲げなどの塑性変形を受けた領域は、周囲の変形を受けない部分に比べて腐食されやすい性質がある。施工時の器物や構造部材の接触による窪みや打痕と思われる個所にみられる孔食はこのような現象に関係していると思われる。

(b) 内面腐食をおこしやすいタンク

用途別にみるとほとんどすべてのタンクに孔食が発生している。開放検査結果に基づき整理してみると次のようになる。

(i) バラストタンク

貯蔵液の主体が海水であるバラストタンクは通常石油を主体とするタンクに比べて腐食速度^{註4)}が速い。建設後5年間バラストタンクとして使用し、解放検査を行ったところ6mmの底板が最高3mmほど減肉していた例がある。図2はそのタンクの腐食個所を示したものである。バラストタンクの腐食は底板全域に及ぶことが多い。図2の場合はノズルの近くが特にはげしい腐食を受けている。

(ii) 海上輸送された製品タンク

輸入重油など海上輸送されたオイル貯蔵タンクの腐食事例の数も少なくない。これはバラスト水の混入によると思われる。

(iii) スロップオイルタンク

各種のオイルがまざり合っている廃油タンクであ

註1) ミルスケール：鉄を熱処理、熱間圧延、熱間鍛造など高温空気中で加熱したとき表面に厚く成長した酸化物層、黒皮とも言う。

註2) たとえば、この部分の断面を研磨後5%硝酸アルコールを用いて腐食させ顕微鏡にて観察すると、結晶粒の大きさが熱影響を受けなかった部分と著しく異なることが認められる。

註3) 残留応力：物体を変形させたのち、外力を取り除いても局部的に存在する内部応力。

註4) 腐食速度を表示する目安として、侵食度と腐食度がある。前者は単位時間当りの侵食深さを、後者は単位時間、単位面積当りの腐食重量減を表わしており、それぞれmm/year、mg/dm².dayがよく使われる。

る。孔食が認められている。

(iv) 軽質油用タンク

灯油などの軽質油は重油に比べて孔食が生じやすい。腐食のプロセスに、鉄バクテリア^{註)}が介入していると言われている。

(v) 重油タンク

軽質油ほど孔食ははげしくないが補修を要する程度に腐食を受けている事例が多い。

(vi) 原油タンク

原油タンクの侵食度はかなり大きいという報告がある。¹⁾

- 腐食範囲 ④ アウトレット
- ① ドレイン ノズル ⑤ インレット
- ② スペア ノズル ⑥ ヒーテング スチーム インレット
- ③ リターン ノズル ⑦ ヒーテング スチーム アウトレット

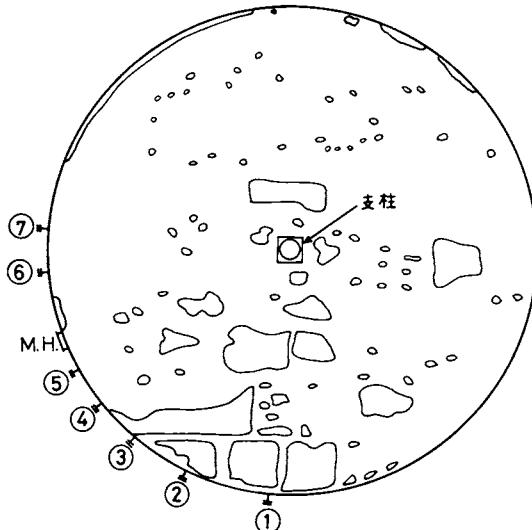


図2 底板内面の腐食事例（バラストタンク）

タンクの規模によっても腐食の発生度合が異なる²⁾と言われている。すなわち大型タンクほど局部的に大応力が集中しやすく、応力腐食をおこしやすいという訳である。またタンク荷重が大きいほど基礎砂の粒子間隔を小さくするので水分の毛細管現象を促進させ、基礎砂の抵抗率を低下させることになる訳である。

2・2 底板の外面腐食

底板の外面腐食はタンクの構造上内面腐食より発見が容易ではない。検査方法としてはタンク内部から超音波式厚み計にて板厚を測定し、原厚と内面からの侵食量とを考慮して調べるいわば間接的方法が通常用いられている。かなりの腐食が存在すると思われる場合などにはその個所を切り取って調べる直接的 методも行われている。

腐食が生じやすい個所として

- (i) ドレイン部
- (ii) 側板に近い部分
- (iii) 溶接部に近い部分

などが報告されている。¹⁾

タンク基礎の側板に近い部分の構造を図3に示す。

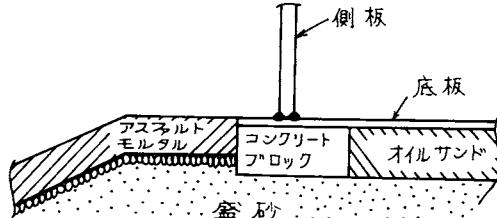


図3 側板直下近傍の基礎構造

比較的良好くみられる底板の外面腐食として、雨水がアスファルトモルタルの割れ目から浸入し、コンクリートブロックもしくはオイルサンドと底板との間に溜まり、腐食の発生に至ると考えられるケースがある。近くで火災が発生したため、冷却の目的で水を側板に放水したタンクの底板が腐食した事例などはこのようなプロセスによる腐食の典型的なものである。

これに対して、側板から離れた部位に腐食が生ずることもある。5年間使用した重油タンクの側板から中央方向へ約12mの位置に外面腐食が集中的に発生し重油の漏洩に至った事例がある。この腐食はタンク底板の直下に埋もれていた木材に沿って発生していた。

3. タンク側板の腐食

3・1 側板の内面腐食

側板内面の腐食の例としては、建設後5年間バラスト用に使用したのち解放検査を行ったタンクに孔食が認められた事例がある。腐食個所は入口ノズルの上部1mの位置で、約1m×1mの面積にわたって孔食が存在しており、当初9mmあった板厚が最高6.2mmに減肉していた。イオウタンクの腐食事例もある。このタンクでは特に底板から70~90mmほど上部の側板が帶状にタンク全周にわたって激しく孔食されていた。

しかし、全体的にみるとこのような事例は稀で、底板に腐食が存在するタンクでも側板に内面腐食が認められるケースは少ない。

註) 鉄バクテリア：5~40°C、pH 5~8の液中で繁殖し、鉄から液中に溶出する二価の鉄イオンを酸化して水酸化第二鉄として沈殿させる。この沈殿が鉄面に沈積したものがさびこぶとなり、鉄面に孔食をつくる。³⁾

3・2 側板の外面腐食

ポリウレタン、ガラスウールなどの保温材を用いて側板外面を被っているタンクでは、一旦水分が側板外面に付着すると乾燥しにくく、これによって腐食が起きると考えられている。最も腐食されやすい個所は、側板の下部、すなわち底板のはり出し部近傍である。これは、保温材と側板の間に浸入した雨水や結露が重力により下降し、側板下部に停留することが原因であると言われている。従って最近では水分を乾燥させておくために底板から 100mm程度の間には保温材を巻かずにおくのが普通である。その他、側板の外面ではラセン階段の取りつけ部、ノズルのまわりなども腐食されやすい。

4. あとがき

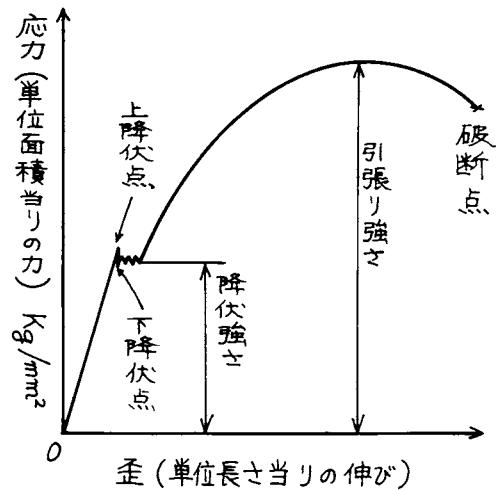
主として現地調査に基づき、屋外タンクの腐食について、その一般的傾向の概要を述べた。タンク各部位の腐食の原因、機構および防食対策についてはここでは割愛した。

漏洩事故防止のためにはタンク構造部材の経年変化状態を適確に把握しておくことが必要である。しかしタンクの安全管理に資するに十分なデータが不足しているのが現状である。調査を通じて、実際的な腐食環境並びに荷重条件のもとでの腐食進行挙動に関する系統的な調査・研究の重要性を痛感した。適正な開放点検時期の目安、延いてはタンクの経済的な運用という面からもこのような調査・研究は必要であろう。

最後に、調査にご協力いただいた全国各地の消防局、消防本部ならびに各事業所の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 板倉文男、第24回全国消防技術者会議資料 自治省消防庁 消防研究所編（昭和51年10月）p.32
- 2) 山室富士雄、片岡国牟 火災 Vol.26, No.5(1976)
- 3) 友野理平 腐食・防食用語事典（オーム社）(1975)



図A 鋼（低炭素鋼）の棒を引っ張った時の応力と歪の関係(15ページの脚註1)

エゼクターとその応用について

佐藤 晃由・高橋 正一*

エゼクターはその独特的な性能により、古くから多くの人々の興味をひき、多方面の研究がなされ、実際にも化学工業など多くの分野で使用されている。また最近、消防活動上でもエゼクターを排煙装置として応用する提案がなされているので、ここでエゼクターに関するいくつかの事項を簡単に紹介する。

1. エゼクターとは

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なう）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、Fig.1に示すような

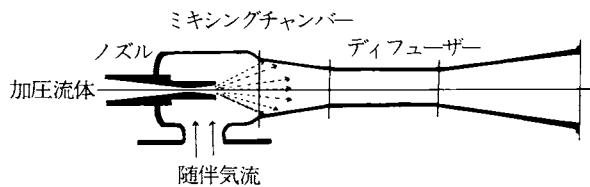


Fig. 1 エゼクターの概略図

構造をもち、ノズル、ミキシングチャンバー、ディフューザ部分からなる。特徴として次の項目があげられる。^{1,2)} 1) 回転部分をもたず、運転保守が容易で故障が少なく信頼性が高い。2) 小型で構造が単純であるわりには比較的多量の流体を圧送できる。3) この装置部分だけに限れば価格は低く、設置場所をとらず高い場所にも設置できる。その他、システム全体としてのエネルギー効率のような問題点もあるが、いずれにしても他に例をみない特徴をもっている。

2. エゼクターの利用のされ方

エゼクターの主な用途を次に示す。

(1) 低圧発生

エゼクターによりかなりの減圧を実現できるが、相沢³⁾らによる水噴射・空気吸引エゼクターの場合得られた減圧度の一例を Fig. 2 に示す。吸引空気量

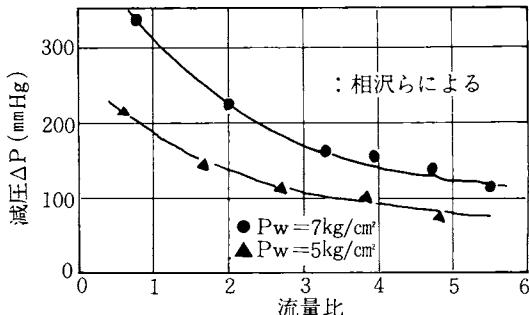


Fig. 2 流量比の変化による減圧度 (P_w : 放水圧)
(流量比 = 空気流量/放水量)

の増加につれて減圧度は減少するが、噴出水量と吸引空気量が等しい場合で300mmHg以上の減圧が達成されている。

(2) 粉粒体の輸送

粉粒体を気流に浮遊させて輸送する空気輸送機のうち、輸送の始点に設けられる混入機 (injection feeder) にエゼクターが用いられ、随伴気流により生じる部分真空で粉粒体の供給を容易にするものである。⁴⁾

(3) 流体の混合

石油精製パイプラインにおけるエゼクターとして用いられ、ガソリンとストラリーまたはナフサと塩化銅ストラリーなどの混合が行なわれる。⁵⁾

(4) 廃ガス・廃液処理

小型で場所をとらず、比較的多量の流体を排出する特徴をいかして、化学工場における廃ガス・廃液処理装置、建物内空調²⁾・トンネル内排ガス処理装置として用いられる。

(5) 圧縮装置

冷凍サイクルにおけるエゼクター圧縮装置²⁾として用いられる。

(6) エンジン冷却装置

空冷エンジンの排気ガスをエゼクターに導き随伴気流によってエンジンを冷却する目的に用いられる。⁶⁾

*現在、消防庁地域防災課

(7) ゴムポート瞬間膨張装置

火薬の燃焼による随伴気流により緊急脱出用ゴムポートを瞬間に膨張させる目的に使用される。

(8) その他いくつか試みの段階にあるものもあるが、興味ある例として三原(千葉大)の考案による下向き曲がり煙突式無公害ゴミ焼却炉を Fig. 3 に示す。炉

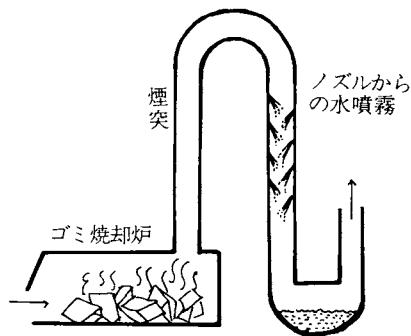


Fig. 3 下向き曲がり煙突式無公害ゴミ焼却炉（三原の考案による：1976.8.23朝日新聞）

内での燃焼により生じる煙粒子は煙突内の水噴霧により水溜めにたたき落され、一方随伴気流により燃焼も加速されるという。

3. エゼクターに関するいくつかの研究について

古くからエゼクターに関して多くの研究が行なわれてきたが、そのうちエゼクターの効率および最適設計に関する分野では、Keenan⁷⁾ら、Kastner⁸⁾ら、Hoge⁹⁾ら、高島^{10,11)}ら、山本²¹相沢³⁾ら、市川¹²⁾植田¹³⁾などの研究があり、空気エゼクター、水噴霧エゼクター、水蒸気エゼクター、超音速エゼクターなどを用いて、それぞれノズルの断面積、スロート部断面積、スロート長さ、ディフューザーの形状などの構造と動作特性について理論的、実験的に考察している。例えば、Kastnerは低圧の空気エゼクターを用いて、ミキシングチューブの長さと直径の最適比率、ノズルの最適噴出角度、ディフューザーの最適角度を求めており、また山本は超音速空気エゼクターを用いて、随伴気流が初期混合域で音速に達するよう設計することが最適であるなどを明らかにしている。

さらに、Holton^{14),15)}らは蒸気エゼクターを用いて、随伴気流の温度、分子量の大きさなどの随伴比(entrainment ratio)に及ぼす影響について調べている。すなわち Fig. 4、Fig. 5 からわかるように、随伴比は温度、分子量には依存するが、エゼクターの設計特性には依存しないことなどを述べている。また長尾⁶⁾らは 4 サイクル空冷ディーゼルエンジンの排気管の先端にエゼクターを取りつけ、排気ガス流に伴なう随伴気流

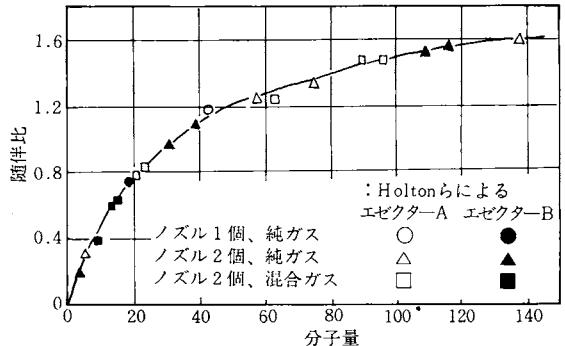


Fig. 4 駆動気体の分子量の変化による隨伴比
(隨伴比=隨伴気体流量/駆動気体流量)

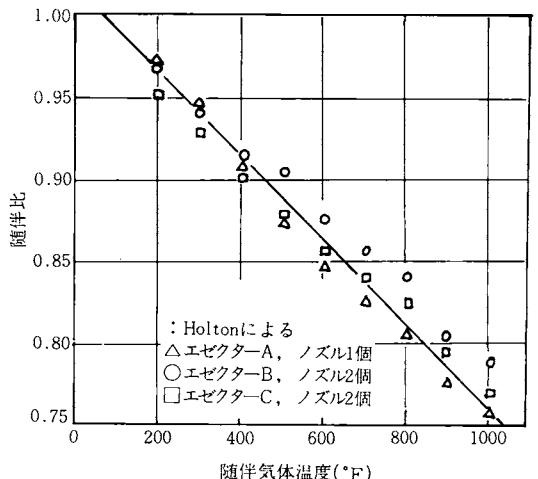


Fig. 5 随伴される気体の温度の変化による隨伴比

によりエンジンを冷却する方式について、燃料消費率、エネルギー回収率、エンジン冷却率などを明らかにしている。さらに、最近の特殊な用途として、Heiser¹⁶⁾はmagnetohydrodynamic (MHD) エゼクターに関して、磁場内の導電性流体の流動制御システムにおいて、エゼクターは一種のバルブの役割を果すことができるとしている。

また、エゼクターとは独立にノズルからの噴流と随伴気流に関する研究も多くあり、楠井^{17,18)}らは巧妙な電気触針法を開発し、複雑な気中液噴流の構造を噴流表面波などから明らかにしており、熊野¹⁹⁾らはノズルからの噴流の分裂性状を明らかにし、中久喜²⁰⁾らは噴流の形状に及ぼす随伴気流の影響を考察している。さらに、伊藤^{21,22)}は吸引平衡法、流しカメラ法などのテクニックを駆使して、噴流中の水滴の粒径分布、液滴速度、運動量拡散幅などについて述べている。

これらの研究により、それぞれの用途のエゼクターの設計計算を行なうことが可能になっている。

4. 随伴気流の消防活動への利用

建物内火災時の消防排煙活動には高性能排煙車が用いられるが、各地方消防機関が購入することは自治体の財政事情により困難な場合もあり、身近にある消防用ノズルを用いて排煙活動を行なうことは効率的²³⁾である。消防用ノズルによる押し出し排煙法の有効性は東京消防庁などによる国鉄尾久地下道排煙実験、隅田公園地下壕排煙実験、首都高速道三宅坂トンネル排煙実験、旧東京電報局ビル排煙実験など多くの実験により確かめられている。この排煙法に関する報告では、島²⁴⁾（東消）、八木²⁵⁾（東消）の報告があり、噴霧注水による排煙効果は排煙車のそれに匹敵し、並列放水により火災室開口部を遮閉することが可能であることが明らかにされている。ただしその場合、煙の排出口が絶対に必要であり、吸気側開口部以上の断面積を必要とする、給水量の限界、耐反動力など安全管理の問題等が解決されねばならないとしている。

一般に、火災空間に比較して開口部の少ない場合、二台の排煙装置による押し込み、吸い出し方式は効果的であることが知られている。²⁴⁾従って、水噴霧による押し込み方式と同様、水噴霧による吸い出し方式も考えられ、エゼクターはこの目的に適合する。ダクト型エゼクターについてはMorgan²⁵⁾らの報告があり、これと筆者らによる結果をFig. 7～Fig. 10に示す。Fig. 6

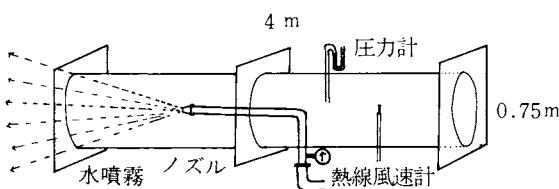


Fig. 6 筆者の実験に用いられた装置

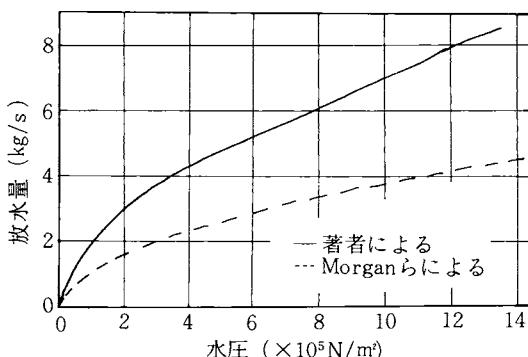


Fig. 7 実験に用いたノズルによる水圧に対する放水量

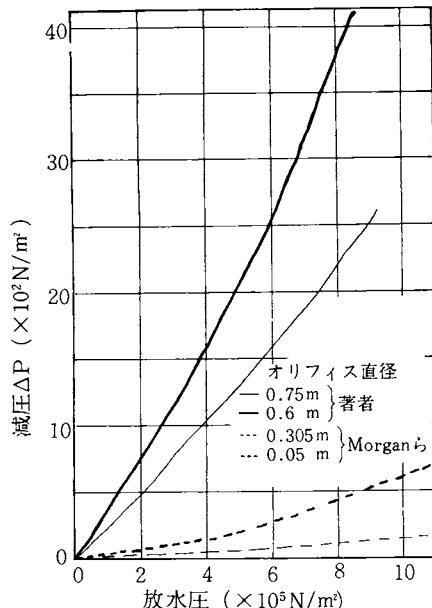


Fig. 8 放水圧に対するダクト内外の差圧

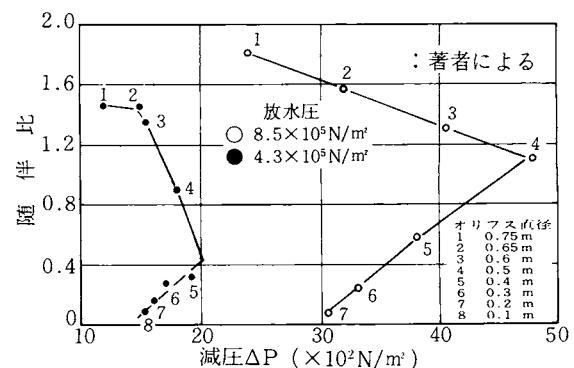
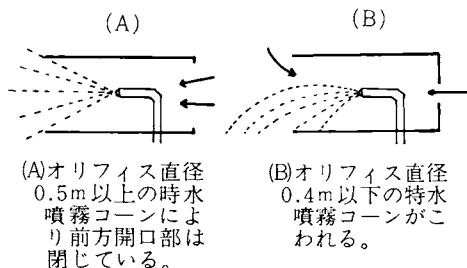


Fig. 9 ダクト内外の差圧に対する水対空気の流量比

（図中の4から5への点での折れ曲）
（がりはFig. 10に示す理由による。）



(A) オリフィス直径
0.5m以上時の水
噴霧コーンによ
り前方開口部は
閉じている。
(B) オリフィス直径
0.4m以下の特水
噴霧コーンがこ
われる。

Fig. 10 オリフィスをしばった時の水噴霧の状態

は筆者らが実験に用いた装置で直径0.75m、長さ4mあり、Morganらが主として用いた直径0.3mのものに比較してかなり大型である。その放水中の状態を写真1に示す。また、ノズルからの噴出水量もFig. 7に示

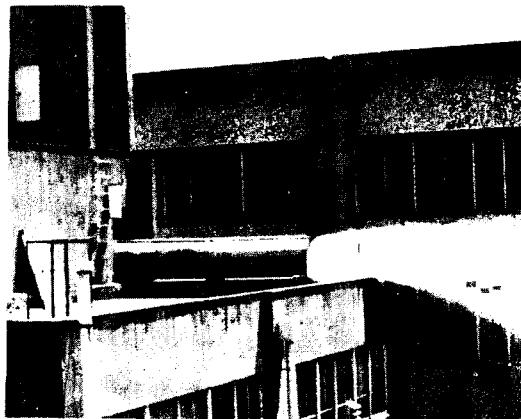


写真1 排煙実験用建物に装置を取りつけて排煙中のようす

すように筆者らの方が1.8倍ほど大きい。Fig.8はノズル放水圧に対するダクト内外の差圧を示すが筆者らの結果は著しい減圧が生じることを示している。また $4.3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 及び $8.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ の放水圧のもとで、オリフィスをしぶっていいくと直径 $0.4\text{m} \sim 0.5\text{m}$ のオリフィスのとき最大の減圧が生じる。さらにオリフィスをしぶっていいくと、Fig.10-Bに示すように水噴霧コーンの上部がダクトから剥離し、Fig.9に示すようにダクト内外の差圧は低下する。Fig.11に水の流量に対する随伴空気流量を示す。Morganらの結果では1:1であるのに対し、筆者らの結果では1:1.4~1.7となっている。また、例えば $8.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ の放水圧で 8.3 kg/s ($6.6 \text{ m}^3/\text{s}$)の随伴空気流量が得られた。

これらの結果から、エゼクターは排煙車の能力に匹敵することがわかり、吸い出し方式に適合するといえる。

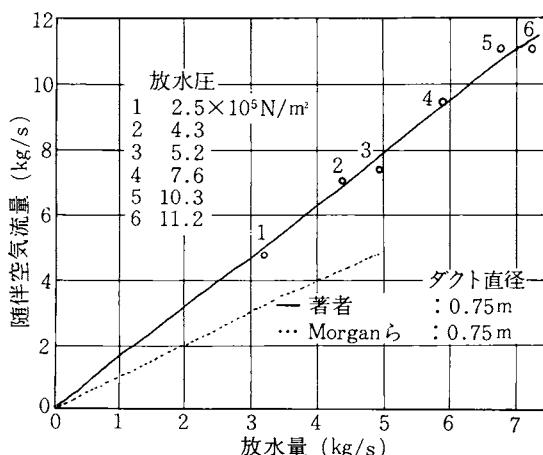


Fig. 11 噴出水量に対する随伴空気流量

5. あとがき

建物内火災時の簡便な排煙法として、噴霧ノズルによる押し出し排煙法が採用されているが、押し込み・吸い出しの連合作用は一層効果的であることから、エゼクターによる吸い出し排煙法の可能性についてふれるため、エゼクターの紹介などを行なった。

なお、排煙手段としてのエゼクター利用に関する題目は、当研究所熊野陽平所長より示唆されたものであり、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Monroe. E.S : Chemical Engineering Progress, vol. 71, No.10, P.69(1975)
- 2) 山本富士夫 : 空気調和・衛生工学論文集、6月号 No.1, P.15(1976)
- 3) 相沢武夫、桜井照男 : 日本機械学会論文集(第2部)、33巻、246号、p.296(1972-2)
- 4) 上滝具貞、西岡富士夫 : 「粉粒体の空気輸送」、p. 97、日刊工業新聞社版
- 5) 化学装置、vol.10, No.3, p.51(1968)
- 6) 長岡不二夫、島本謙、四方光夫、豊福宏行 : 日本機械学会論文集(第2部)、35巻、270号、p.402(1969)
- 7) Keenan. J.H, E.P. Neumann : Journal of Applied Mechanics, June, p.A-75(1942)
- 8) Kastner. L.J, J.R. Spooner : Journal of Applied Mechanics, October, p.911(1951)
- 9) Hoge. H.J, S.S. Eichacker : Journal of Aerospace Science, vol. 27, No.8, p.636(1960)
- 10) 高島洋一、長谷川正行 : 化学工業、第18巻、第9号、p.427(1954)
- 11) 高島洋一 : 化学工学、第19巻、第9号、p.448(1955)
- 12) 市川常雄 : 日本機械学会論文集、18巻、69号、p. 57(1952)
- 13) 植田辰洋 : 日本機械学会論文集、20巻、89号、p. 26(1954)
- 14) Holton. W.C : Transactions of the ASME, October, p.905(1951)
- 15) Holton. W.C, E.J. Schulz : Transactions of the ASME, October, p.911(1951)
- 16) Heiser. W.H : Journal of Applied Mechanics, September, p.680(1965)
- 17) 楠井健 : 日本機械学会論文集(第2部)、33巻、248号、p.559(1967)

- 18) 楠井健、木下修：日本機械学会論文集（第2部）、
33巻、248号、p.569(1967)
- 19) 熊野陽平、石坂和嘉：日本火災学会論文集、vol.
3、No.2、p.36(1954)
- 20) 中久喜厚、高橋正一：日本火災学会論文集、vol.
20、No.2、p.37(1971)
- 21) 伊藤郁男：日本機械学会論文集、36巻、285号、p.
759(1970)
- 22) 伊藤郁男：日本機械学会論文集、36巻、285号、p.
772(1970)
- 23) 坂本正：日本火災学会誌、vol.20、No.4、p.226
(1970)
- 24) 島光男：日本火災学会誌、vol.15、No.4、p.201
(1967)
- 25) 八木章：昭和50年度第一種機器技術研究会報告
(東京消防庁)、p.5
- 26) Morgan.H.P, M.L.Bullen: Fire Research Note,
No.1010, June (1974)

家屋配置の充填分布モデルと平均焼失率の算出

橋 房 夫

市街地における家屋の配置を、乱数を利用した充填分布で近似した。この分布と延焼確率から推定した延焼臨界距離とを用いて、平均焼失率を算出した。さらに、実際の市街地への適用例を示した。

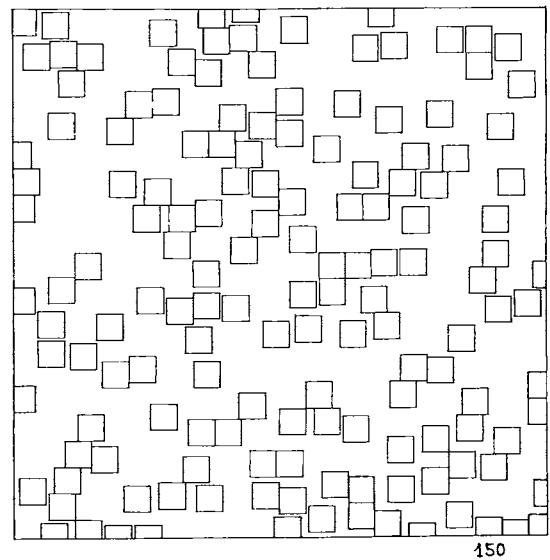
1. 手法のあらまし

市街地における家屋の配置状態をランダムすなわちでたらめであると仮定する。まず家屋が勝手な場所に1棟建ち、次の家屋も勝手な場所に建ち、という具合に次々に家屋が建てられた、だんだん密集して来て、市街地が出来上がるというモデルである。或る家屋から別の家屋への火のもえ移り易さの表現としては、家屋同志の間隔を用いた。或る距離よりも近ければもえ移る、遠ければもえ移らない。すなわち、延焼臨界距離〔註1〕の考え方である。ただし、この延焼臨界距離は延焼確率から導いた。そして、建ぺい率と、延焼臨界距離を主な変数として、1件の出火から焼け止るまでの焼失棟数の平均値を求めた。さらに、全家屋数に対する平均焼失棟数の割合、平均焼失率を算出した。

2. 市街地モデル（充填分布図）の作成

家屋はすべて同じ大きさの正方形とし、その配置はランダムすなわち、乱数をつかってでたらめに配置した状態とする。次に述べる手順で作成した。一辺20cmの正方形領域を市街地とする。横軸をX座標、縦軸をY座標とする。いま、乱数表から2つの乱数を選び出し、 X_1 および Y_1 とし、その夫々をX座標、Y座標により、点 (X_1, Y_1) を決定する。この点 (X_1, Y_1) を中心として一辺1cmの正方形を描く。次に、再び前と同様に、2つの乱数 X_2 および Y_2 から点 (X_2, Y_2) を決定し、この点を中心とする1辺1cmの正方形を描く。この操作を繰返し、一辺20cmの領域に一辺1cmの正方形を描き込んでいく。但し、この場合、一辺1cmの正方形がお互いに重なってはならないという条件を置く。ある点 (X_i, Y_i) を中心とする一辺1cmの正方形を描

こうとするときに、既に描いた正方形と少しでも重なりが生ずる場合は、点 (X_i, Y_i) はあきらめて放棄し、あらたに2つの乱数 (X_{i+1}, Y_{i+1}) を試みる。一辺1cmの正方形は家屋を意味するから、まだ家屋の建っていない空地に家屋を次々に建てて行く事に対応している。このような操作は、ある空間に物を順次充填していく操作の一種であるから、これを充填分布と呼ぶことにする。〔文献1、2〕



第1図 充填分布モデル：20cm×20cmの領域内に1cm×1cmの正方形を150個でたらめに充填した家屋分布モデル

こうして作成した充填分布図の一例を第1図に示す。家屋数150、建ぺい率約35%の場合である。

3. 市街地モデルの建ぺい率（家屋密度）

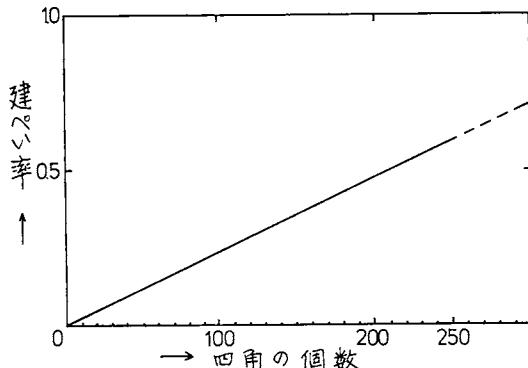
建ぺい率の値は、第1図に示すような充填分布図から、面積計算により求めた。

$$\text{建ぺい率} = (\text{家屋に相当する四角形の面積の合計}) / (\text{領域全体の面積})$$

〔註1〕 延焼限界距離とも言う

である。

図の周辺部に半かけの四角形があるが、その個数は、四角形の全個数とほぼ比例するので、建ぺい率の値は、四角形の全個数に直線比例するとみてさしつかえない。



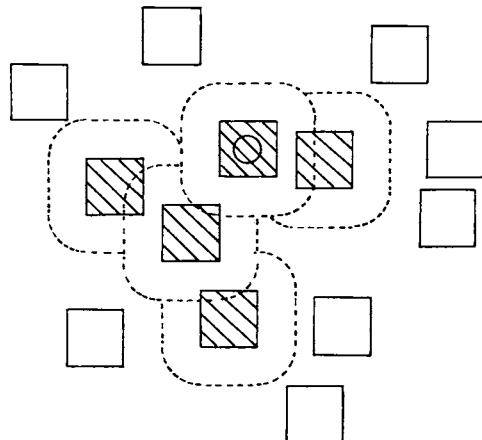
第2図 家屋の充填分布モデル（第1図参照）における正方形の個数と建ぺい率の関係。約250個以上充填出来なかった。

その関係を第2図に示す。なお、この充填分布の方式では、最大252個まで充填することができた。建ぺい率でいうと、約60%に当る。

4. 平均焼失率の算出の原理

第1図に示した市街地モデル（充填分布図）上において、延焼臨界距離を例えば5mmとする。家屋と家屋の最短距離が5mm以内ならばもえ移り、5mm以上ならばもえ移らないという意味である。どれか1棟から出火したとし、その出火家屋の周辺の家屋までの最短距離を測り、5mm以内のものがあればその家屋に火が移る。さらに、その家屋から5mm以内に家屋があれば、そこへも火が移るとする。この作業を次々と継続して行なう。図示すれば、例えば第3図のようになる。すなわち建ぺい率（家屋の密度）が疎ならば、ほんの数棟にもえ移るのみであり、延焼はあまり続かない。出火棟のみもえて、全然周囲の家にもえ移らない場合もある。家屋の密度がきわめて密であると、次から次へともえ移って、ほとんど全部の家屋がもえる事も多い。こうして、或る1棟から出火して何棟がもえるかの数、焼失棟数が求まる。

次に別の家屋が火元になったとして、上述と同じ作業を行ない、焼失棟数を求める。この作業を次々と繰返し、同じ市街地モデル（充填分布図）において、すべての家屋が火元になった場合のそれぞれの焼失棟数を求め、それを出火回数（今の場合、全家屋数と同じ）で割ったものが平均の焼失棟数である。言い換えると、



第3図 隣接家屋へもえ移るかもえ移らないかの判定を繰返す作業の図示

平均焼失棟数とは、或る領域内で、どれか1棟から出火したとき平均して何棟もえるかを示す棟数である。この平均焼失棟数を全家屋数で割った商が平均焼失率である。すなわち、

$$\text{平均焼失棟数} = (\text{各回の出火で焼失する棟数の合計}) / (\text{出火回数})$$

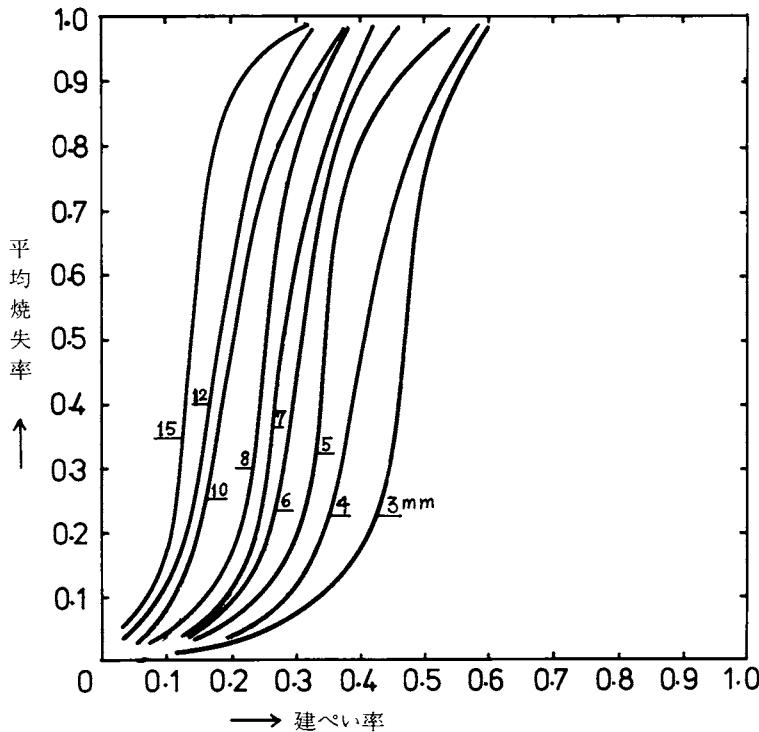
$$\text{平均焼失率} = (\text{平均焼失棟数}) / (\text{全家屋数})$$

である。

次に、建ぺい率の異なる別の市街地モデル（充填分布図）に対して、上述の作業を行ない、平均焼失率を求める。このようにして、ある延焼臨界距離のときの建ぺい率と平均焼失率の関係が求まる。

さらに、今度は延焼臨界距離の値を変えて、同様に建ぺい率と平均焼失率の関係を求める。

第4図がその結果の1例である。延焼臨界距離が3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、10mm、12mm、15mmの各場合における、建ぺい率と平均焼失率の関係を示している。建ぺい率が35%、延焼臨界距離が5mmのときは、家屋の約50%が燃える。しかし、同じ建ぺい率でも延焼臨界距離が8mmあるいは15mmであると、ほとんどすべての家屋、約95%以上がもえてしまう等の事がこのグラフからわかる。第4図をみて気付く事は、曲線がかなり不揃いな事である。これは乱数を利用したシミュレーション計算のいわば特徴であり宿命でもある。この図の場合は、2種類の充填分布図（家屋配置モデル）を用いた計算結果の平均値である。少なくとも10種類、出来れば100種類程度の充填分布図を作成して平均すれば、はるかに平行的に揃った曲線群が得られる筈である。



第4図 平均焼失率と建ぺい率の関係が延焼臨界距離によって変化する状況を示す。図中のmm単位の数字は、充填分布モデル（第1図参照）上における値で、建面積1cm²の家屋に対応する距離。

5. 延焼確率と延焼臨界距離の推定

延焼臨界距離は延焼確率と家屋間距離の関係から求めた。日常火災の事例調査により、延焼確率の値が家屋間距離の関数として、佐々木・神により求められている〔文献3、4、5〕。ここでは両者の関数関係を直線で近似し、延焼確率値が0.5のところの家屋間隔の距離を以って延焼臨界距離とした。すなわち、延焼臨界距離だけ離れている家屋に火が移る割合と火が移らない割合とが同じで共に50%であるような、そういう家屋間隔を延焼臨界距離としたことを意味する。この論文で使用した数値を第1表に示す。くわしくは文献5を見られたい。

6. 市街地モデルと実際の市街地との対応

市街地モデル（充填分布図）と実際の市街地とを数値的に対応させるために、すなわち、モデルが実際の市街地の何分の1の縮尺になっているかを決めるために、家屋の建築面積を基準として次のように計算した。ここでは、川崎市の市街地に適用するために、同市資料（昭46年）を利用した。木造、防火造りの建物1棟当たりの平均建築面積は59m²である。一方、第1図の市

第1表 延焼臨界距離、延焼確率〔文献3、4、5〕が0.5になる家屋間距離を延焼臨界距離とした。

| 延焼経路 (木造、防火 造の区別) | 延焼臨界距離(m) | | | |
|-------------------------|----------------|--------------|------|------|
| | 風速 0~2.5m/s | 風速2.6~5.0m/s | | |
| | | 風上 | 風横 | 風下 |
| 木→木 | 4.5 | 4.1 | 5.0 | 6.3 |
| 木→防 | 4.0 | 3.7 | 3.5 | 6.2 |
| 防→木 | 1.2 | 0.8 | 1.8* | 4.0* |
| 防→防 | 1.7 | 1.5 | 2.4* | 4.5* |
| 木防無区別** | 3.5 | 2.9 | 3.8 | 5.7 |

*防火造の方が木造よりも火がうつり易いことを示しているが、この点に関しては〔文献、5〕を参照のこと。
**木造と防火造の混在比率は約6:4。

街地モデル（充填分布図）における家屋は、1辺10mmの正方形である。実際の市街地における延焼臨界距離をdm、市街地モデル上のそれをxmmとする、

$$dm/\sqrt{59m^2} = xmm/10mm \quad (1)$$

の関係になる。

第1表に示したdの値を上式に代入して求められるxの値は、第1図に示す市街地モデル（充填分布図）における延焼臨界距離である。

7. 川崎市の街区別焼失率地図の作成

耐火建物以外の家屋はすべて木造であるとした場合で、(イ)無風の場合、(ロ)有風の場合、(ハ)耐火建物以外の家屋は約65：35の割合で木造と防火造りの混合であるとした場合の3通りについて計算した。

(イ)の場合は延焼臨界距離は $d=4.5\text{m}$ で、(1)式よりモデル上の延焼臨界距離は $x=5.9\text{mm}$ である。5 mmではもえ移る、6 mmではもえ移らない場合であり、5 mmで計算した結果を利用して平均焼失率を建ぺい率から求めた。

(ロ)の場合は、 $d=6.3\text{m}$ 、 $x=8.2\text{mm}$ となる。8 mmで計算した結果を用いた。

風が有る場合であるから本来ならば風上、風横、風下の3方向の延焼臨界距離について計算すべきであろう。しかし、ここでは簡単のために、すべての方向に風下と同じ風が吹いたと仮定した場合の計算をした。

(ハ)の場合は、 $d=5.7\text{m}$ 、 $x=7.4\text{mm}$ であり、7 mmで計算した結果に該当する。(ロ)と同じくすべての方向が風下であるとした。

なお、(ロ)の場合はすべて木造という仮定であるが、これを、すべて防火造りと仮定した場合は、 $d=4.5\text{m}$ であり、(イ)の場合と同じ結果になる。

第5図は、上記3通りの場合について作成した川崎の街区別平均焼失率地図である。焼失率を20%刻みで5段階に分類した。なお、この図作成の基となった建ぺい率値は、木造及び防火造りの建築面積の合計を街区面積で割った値であり、街区面積の中には空地、公園等の面積が含まれている。

8. 考察

(1) 予め市街地モデル（充填分布図）上で1 mm刻みの延焼臨界距離に対して、平均焼失率を建ぺい率に対して求めて置く事により、適用しようとする市街地の家屋1棟の平均建物面積と実際の延焼臨界距離と建ぺい率とが与えられれば、平均焼失率を求める事ができる。延焼臨界距離を任意に指定できる点で、前に試みた平均焼失率算出法〔文献1、6、7、8、9、10〕よりも自由度が多く、それだけ、被害推定の内容を豊富にことができる。

(2) この方法には、平家、2階建の区別は入っていない。すべて平均化して考えられている。その理由は延焼確率の値が、平家と2階建を区別せずに求められているからである。従って、特に平家の多い街区と2階建の多い街区を比較する場合などには適当でない。

- (3) 有風の場合、すべての方向が風下であると仮定して計算した。結果が安全側に出すぎるかも知れない。しかし、関東大震災のときの延焼確率を統計的に求めた報告〔文献11〕によると、小火の場合にくらべて、風の方向による延焼確率値の差は少ないようと思われる。恐らく、大火時には、風向が定まらない傾向があるためであろう。今回、すべての方向が風下であるとして仮定も、この意味ではひとつの考え方であると思っている。風上、風横、風下の3方向に分ける事は勿論可能である。但し、計算は桁違いに複雑になる事を覚悟せねばならないだろう。
- (4) 今後、精度的にみて改善できる主な点は、基礎となつた延焼確率値の精度向上と、乱数を用いて作った充填分布図の種類を増やすこと（例えば100種類）による精度向上の2点であろう。前者は火災事例の精密な統計資料を多数収集することにより可能となる。後者は電算機の駆使により期待できる。
- (5) この手法は一貫して日常の比較的小規模な火災事例から求めた延焼確率値を基準としている。従つて全般にひかえ目な結果、危険側の結果が示されないと見るべきである。大火時には延焼確率値が大きくなり、焼失率も増す傾向があるからである。
- (6) 2階、平家の無区別の問題だけでなく単純化、平均化の操作をかなり大胆に採用している。この種の類推計算では、むしろ、当然でさけられないものではある。しかし、実際への適用に当つては、この点への留意が必要である。ここで求められた平均焼失率に対しても、その数値それ自身を問題にするよりもむしろ各街区の延焼性の相対的比較に重点をおく等の配慮が必要であろう。
- (7) この手法による結果と、現実の被害との対応が良いか否かの判定は、最もむずかしい問題かも知れない。一般には、現実との照合による検証によって決まるのであるが、火災の場合はそれが決して不可能ではなくともきわめて困難だからである。

9. あとがき

市街地の延焼危険性の測度のひとつとしての平均焼失率を推定する比較的簡便な手法の開発を試み、実際の市街地に適用してみた。大火時、とくに、大地震火災時の対策樹立に部分的であれ利用価値がある筈である。

なお、この仕事は川崎市の地震対策として、一時避難地選定のための資料作成のため行ったものである。必要な基礎データ類は、ほとんどすべて同市土木局防災対策室から提示して頂いた。



第5図 川崎全市の街区別平均焼失率

- 耐火造以外は全部木造、ほとんど無風と仮定した場合
- (a)において風の条件のみを変えた場合、風速2.6~5.0m/sの風がすべての方向に吹いていると仮定している。
- 木造と防火造が約6:4の比率で混っていると仮定した場合、風速2.6~5.0m/sの風がすべての方向に吹くと仮定している。

参考文献

- 1) 橘房夫：「でたらめ分布を用いた延焼の計算実験
(2)一様型分布、風が吹く場合；市街地への応用」消研輯報、第26号、32頁、消防研究所、(1973)
- 2) 伊藤栄明、大久保逸子：「災害の伝播に関する統計的研究」昭和48年度文部省試験研究研究会資料、12頁、研究代表者、樋口伊佐夫
- 3) 佐々木弘明、神忠久：「都市における延焼確率とその地域適用性について、その(1)」日本火災学会学術講演会概要集 (1974,5)
- 4) 神忠久、佐々木弘明：「都市における延焼確率とその地域適用性について、その(4)」日本建築学会学術講演会概要集 (1974,10)
- 5) 佐々木弘明、神忠久：「都市火災の延焼確率」災害の研究IX、災害科学研究会 (1977春発行予定) 損害保険料率算定会
- 6) 橘房夫：「でたらめ分布を用いた延焼の模型実験と計算」第32回応用物理学会学術講演会予稿集、第1分冊、256頁 (1971,秋)
- 7) 橘房夫：「でたらめ分布を用いた延焼の計算実験
(1)家屋分布密度・混在率と焼失率」消研輯報、第25号、28頁、消防研究所 (1971)
- 8) 橘房夫：「でたらめ分布を用いた延焼の計算実験
(3)木造家屋、耐火家屋、空地の3者が混在している場合」消研輯報、第27号、11頁、消防研究所(1974)
- 9) 橘房夫：「市街地の延焼——乱配置を用いたシミュレーションの試み——」火災 (日本火災学会誌) 91号、217頁、vol23, No.4 (1973)
- 10) 矢筈野義郎、橘房夫：「道路の有無による焼失率変化——小田地区の場合——」川崎市の震災予防に関する調査研究報告書 (昭和50年8月) 145頁、川崎市防災会議地震専門部会 (1975)
- 11) 神忠久：「大規模火災における延焼確率」日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) 昭和51年10月、日本建築学会 (1976)

月例研究会・報告会

昭和51年7月～昭和52年4月

石油タンクの延焼に関する基礎研究

湯本太郎（燃焼研究室）7月8日

直径1mの二つのオープンタンクを用いて、無風時におけるタンクからタンクへの延焼に関する基礎知識を得るための実験が行なわれた。

火災タンクに点火してから、隣接タンクとの間に火炎伝播が起こるまでの時間、隣接タンク液面が受ける火災タンクの炎からのふく射熱、隣接タンク液面および液内温度、隣接タンクガソリンの蒸発速度などが測定された。その結果、次のようなことがわかつた。燃料がガソリンの場合、

- 1) 火災タンクに点火してから、隣接タンクとの間に火炎伝播が起こるまでの時間t(Sec)は、タンク間距離S(m)が0.6m以下ならば、

$$t = 4686 S^{4.0}$$

で表わされる。

- 2) タンク間火炎伝播が起こるまでに、隣接タンク液面が受ける最大ふく射熱 E_i (kcal/m²·h)は、

$$E_i = E_{i\infty} (1 - e^{-0.038 t_i})$$

で表わされる。ここに、 t_i はSが S_i (0.6m以下の任意の値)の時のtであり、 $E_{i\infty}$ (kcal/m²·h)は S_i に対応する E_∞ (kcal/m²·h)の値である。なお、 E_∞ は火災タンク定常燃焼時、隣接タンク液面の受けるふく射熱(火炎伝播が起らないように、隣接タンクに水だけを入れて得た値)である。

- 3) タンク間火炎伝播が起こるまでに、隣接タンク液面単位面積当たりの受けた熱量Q(kcal/m²·h)は、

$$Q = \frac{E_{i\infty}}{3600} \left\{ [t]_{t=0}^{t=t_i} + \frac{1}{0.038} \left[e^{-0.038 t} \right]_{t=0}^{t=t_i} \right\}$$

ただし $S < 0.6m$

で表わされる。

- 4) 火炎伝播が起こるまでの隣接タンク液面最高温度T(°C)は

$$T = 168.5 S^{1.4} \quad \text{ただし } S < 0.6m$$

で表わされる。

- 5) タンク間火炎伝播が起こるまでに蒸発した($S = 0.35m$ および $0.45m$ の時の)隣接タンクのガソリン

の蒸発に要する熱量は、火炎伝播が起こるまでに、それらのタンクの液面が受けた熱量のそれぞれ、36%、48%に相当する。

ひな壇状家屋群の延焼についての模型実験

山本忠彦・山下邦博

(火災物理研究室) 7月8日

近時、斜面造成市街地の漸増に伴い、火災時の延焼についての問合せや延焼実験要望の声が多くなってきたので、特別研究「地域特性が延焼性状に及ぼす影響に関する研究」として標記の模型実験を行った。実験計画に先立ち、斜面市街地火災として三浦市三崎5丁目火災の現地調査及び横浜市におけるここ数年間の斜面市街地火災数件の追跡調査を行った。屋内実験の場合は、模型として $20 \times 20 \times 8$ cmの檜材クリップ[質量0.37kg、含水率14%]を用い、風は斜面に直角に吹上げる方向に与え、点火には助燃剤としてメタノール10cm³を鉄ざらに入れて用いた。

上記斜面市街地火災調査と3回の予備実験とから、屋内実験の場合、ひな壇状階段斜面は軽量コンクリート[マリライトP₂、厚さ22mm]による簡易組立方式とし、実験条件は段数nが5～8、段幅dが25～40cm、段高hが0～33cm、斜面角θが0～47°、クリップと段縁間の距離aが2.5～10cm、クリップ間の[風向方向の]水平距離bが5～20cm、クリップ間の[風向に直角方向の]間隔cが6～8cm、配列クリップ数が5個×8列～7個×9列、配列面積が間口(段長)180cm×奥行(段幅の総和)175～270cm、風速が0～3m/sの範囲とし、20回の実験を行った。この実験条件によって得た実験結果の概要は次のとおりである。

1. 上段への延焼を生じる場合、a、b、c、d、θ、v等はある限界値以下の値を有し、a、b、c、d等はその値が大きくなるに従って上段への延焼は生じ難くなり、θ及びvはその値が大きくなるに従って上段への延焼は生じ易くなるが、θ及びvは限界値に近づくと上段への延焼は生じにくくなる。
2. 下段への延焼を生じる場合[θが0°の場合を除く]は、すべて上段の炎上クリップの崩れ落ちによるものである。なお、崩れ落ちるクリップは、同一段上において横からの延焼による炎上クリップか、または上段からの崩れ落ちによる着火炎上クリップに限られ、点火ク

リブまたは下段からの延焼による炎上クリップはすべて下段に崩れ落ちない。

3. 次の三通りの場合の延焼速度を比較すると、

| θ | a | b | c | v |
|----------|--------|-------|------|-------|
| 0° | | 10 cm | 6 cm | 3 m/s |
| 24° | 2.5 cm | 6 cm | 6 cm | 3 m/s |
| 47° | 2.5 cm | 5 cm | 6 cm | 3 m/s |

(1)上段への延焼速度は、点火後4 minまでは24°の場合は0°の場合の約3倍、点火後6~8 minでは24°の場合は0°の場合の約6倍の値を示しており、(2)点火後4~8 minにおける延焼速度は、上段への延焼速度については47°の場合は24°の場合の約1.1倍、風横方向への延焼速度については47°の場合は24°の場合の約3倍の値を示している。

なお、距離、延焼速度等は水平成分を用いてある。

離壇状家屋群の延焼に関する模型実験 〈その2〉 屋外実験

山下邦博・山本忠彦

(火災物理研究室) 9月16日

土盛りの台形状の山(底辺の長さ11m、上辺の長さ5m、高さ2.1m)の一部に離壇状の地形(土の上にコンクリートを張り、側壁は耐火ボードで覆う)を作り、延焼に及ぼす離壇の効果を調べた。離壇は7段とし、一段は高さ28cm、幅50cmとしたが、離壇の水平に対する斜面角は28度になる。

初めに離壇周辺の風向風速の分布を調べて流れの特徴を明らかにし、その後にクリップ(40cm×40cm、高さ15cm)91個を配列し、1点に点火して延焼実験を行なった。平坦部の場合の延焼と比較するため、離壇の近くの平坦部においても同時刻に延焼実験を行なった。離壇部では地表面の粗度が大きく、その周辺の風の乱れが大きくなるが、その他に離壇上では平坦部の場合と異なる風速の垂直プロフィールを示すことが明らかになった。離壇の最上段と最下段において地上20cmの高度の風速比 u_2/u_1 は1.5~1.8になったが、風が強い程小さい傾向がみられ、風速の大小によって離壇周辺のフローパターンが異なることが推察された。

延焼実験の結果から離壇の平坦部の平均延焼速度を比較してみると、離壇状クリップの場合の方が約3倍大きい結果になった。延焼速度の時間変化を詳細にみると、自然風の時間変動と同じように非常に大きな変動

があること、また、一般に時間の経過と共に増大する傾向があることが観測された。延焼速度の瞬時値は風速変動に支配されるばかりでなく、離壇の上、中、下等の位置によっても変化し、最上段付近では延焼速度の瞬時値は特に大きくなり、平坦部の場合の平均延焼速度の6倍にもなった。

離壇状クリップの延焼を問題にするには風向風速分布ばかりでなく、未然のクリップへの熱伝達量を推定する必要がある。この場合には平坦部の場合と比較しながら、対流及び放射伝達量の増減を検討しなければならないが、これは今後の課題である。

火災時における有毒ガスの発生に関する研究 〈その4〉 実火災時に発生する有毒気体について

箭内英治・斎藤 直(燃焼研究室) 9月16日

火災時に、建物内に使用されている建材、インテリアなどから発生する煙やガスが避難を妨げ、さらには死に至らしめる要因の1つとなっている。前回までは実験室規模で各種高分子物質を燃焼させ、それより発生する低分子量化合物についての分析と重量減少速度を測定して来た。今回は、4.5畳相当の建物を作り、これに日本住宅公団3DK住宅より推定される建物の可燃物量の約半分を室に入れて燃焼させた時に発生するガス及び燃焼速度を測定した。

建物は、2.7m×2.7m×3mで4.5畳に相当し、下部に70cm×70cmの空気取入口を設け、天井中央に50cm×50cmの排気口を設けた。建物の床はコンクリート、側面は軽量ブロック、天井は鉄筋コンクリートである。

可燃物は、4.5cm×4.5cmの杉角材で作った木材クリップ(大きさ: 1m×2m×0.9m)と、1回目の実験では木綿、羊毛、2回目にはポリエステル、アクリル、ナイロン、ポリ塩化ビニル、ポリウレタンを加えた。

燃焼速度は、荷重変換器(最大100kg)を3個並列にブリッジボックスに結合し、動ひずみ測定器で測定した。1回目の最大燃焼速度は8.8kg/min.、2回目のはそれは8.6kg/min.となり、これらの値から予想されるこの建物の開口率は0.03程度であった。

発生したガスの分析は、赤外吸収スペクトル及びGC-MSで定性を、赤外吸収スペクトル及びガスクロマトグラフで定量を行なった。発生したガスの種類は約

20種程度検出された。このうち、特に多量に発生したのは炭酸ガス、一酸化炭素であった。また、毒性のあるガスとしてアルデヒド類（アセトアルデヒド、アクリロレインなど）、シアン化合物（青酸ガス、アセトニトリル、アクリロニトリルなど）が検出されたが全体的な毒性の観点から考えると、一酸化炭素が特に大きく、次いで炭酸ガスであり、その他の物質は一酸化炭素に比べて無視できる程度であった。

木材が主体となる火災の場合、毒性の観点から問題になるガスは、一酸化炭素、炭酸ガスであり、特に一酸化炭素である。しかし、木材以外の材料（窒素を含む高分子材料）が主体となる火災の場合、一酸化炭素、炭酸ガス以外にシアン化合物も毒性ガスとして考える必要があるという結論を得た。

道路を越えて火災がもえ移る確率

橋 房夫（第1研究部長）10月7日

関東大震災の例を見るまでもなく、火災が大きくなると、かなり幅のひろい道路も延焼を食い止めることができなくなる。火災が道路を越えて燃え移る現象と、家が1軒燃えている様な小さい火災の場合のもえ移り現象との間には、一般に大きな差が見られる。この問題に対するひとつの考え方として、次の様なモデルを選んだ。既ち、或る距離を置いて、1軒の家と1軒の家が向い合っている場合と複数軒の家と複数軒の家が、或る幅の道路をはさんで1列に並んで向い合っている場合の2つの場合を仮定し、複数軒の場合は1軒の場合の複合されたものとして取扱う考え方である。ここでは、この両者の場合のもえ移り確率を考え、1軒の場合のもえ移り確率を出発点として、複数軒の場合、即ち、道路を火災が越える場合のもえ移り確率を算出した。

最初に、まず最も単純に確率だけで考えてみた。1軒から1軒にもえ移る確率は、それらの家の間隔のみによって決まる関数とし、複数軒から複数軒へのもえ移り確率は、1軒対1軒の場合の組合せとして考える。

1軒から1軒へのもえ移り確率を p とすると、もえ移らない確率は $1-p=q$ である。この q は言わば耐火率であり、もえ移りに対する信頼度のようなものである。3軒対3軒の場合は、これら6軒と結ぶ腕の数は9本であるから、全体の耐火度は $Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times \dots \times q_9$ となり、もえ移り確率は $P = 1 - Q$ となる。

但しこの考え方には時間の要素が全く考慮されていない。即ち、複数軒が同時にもえているのか、1軒ずつもえたのかの差が無視されている。言い換えると、複数軒が同時にもえた場合の火勢の相乗効果ともいうべきものは存在しないと仮定した事になっている。

次に考えたのは、もえている家からの輻射熱のみによって、もえ移る確率が決まるると仮定した場合である。複数軒がもえている場合には、各家から放射される輻射熱は加算され、強い輻射熱となって道路を越してもえ移る確率も大きくなる。この計算の基礎となるもえ移り確率と輻射の強さの関係は、1軒対1軒の場合の値を用いた。これは、もえ移り確率と家の間隔、輻射の強さと家の間隔の2つの関数関係から求めた。また、うつされる方の家の数も複数であるので、この点は確率的に考え、上述の場合と同様の取扱いをした。

以上の2通りの方法を用いて、実際の市街地道路のもえ移り確率を算出した。現実の道路にあてはめるに際しては、若干の平均化を行なった。また、変数として用いたものは、道路幅、道路をはさんで立並ぶ家の軒数、木造かモルタル防火造かの別、この3つである。

切欠き材の低応力脆性破壊について

亀井浅道（消火設備研究室）10月7日

通常の引張り試験では延性破壊をおこす金属材料でも低温、高い歪速度もしくは三軸応力性が高くなると脆性破壊となることがある。この脆化の傾向は平滑試片（切欠きの無い試片）にくらべて切欠き（またはき裂）付き試片で顕著である。腐蝕に伴う水素の拡散はこの傾向を一層強める。切欠き材の脆性破壊応力は一般に降伏応力より低く、き裂は不安定に伝播する。この型式の破壊は大型材におこりやすく、従って大型構造物などの安全設計などの観点から特に重要視されてきた。

従来、破壊機構の取扱いはき裂型因子を欠陥とする連続体の力学（巨視的立場）と転位を欠陥とする物性論（微視的立場）の両方から別々に行われてきた。しかし現実の材料はこれら両種の欠陥を含むものであるから、両方の欠陥を取り込んだ固体の強度と破壊の力学的取扱い（ミクロとマクロを結合した破壊の力学）が横堀により提案された。

本報はミクロとマクロを結合した強度と破壊の力学を低応力脆性破壊に対して適用し、破壊のクライテリ

オンを導いたものである。

この種の破壊形式ではき裂の拡大に際して2つの要件すなわち、き裂先端近傍の局所応力が理想強度をこえること、及びき裂拡大に伴う系の自由エネルギーが減少することが満たされねばならない。破壊強度はこれらの要件から決定される限界応力のうちの大きい方の値で与えられる。本報では低応力脆性破壊に対してクリティカルと考えられるモデルについて夫々の要件を考察した。その結果次の結論を得た。

- (1) 破壊強度は結晶粒の小さな領域ではすべり帯端に発生するマイクロ・クラックのエネルギー条件にて決定される。
- (2) 破壊応力と結晶粒径の平方根分の一の関係を示す曲線は下に凸となる。
- (3) 本破壊のクライテリオンは結晶粒大きさ、切欠き長さ、切欠き先端半径、降伏応力をパラメータとする実験データと良く一致する。
- (4) 降伏応力などの材料定数が歪硬化指数に影響を与えない仮定すると、歪硬化指数が小さいほど破壊非性は高くなる。

n-ペンタンの蒸気爆発によるファイアボール

佐藤公雄・長谷川和俊

(危険物研究室) 11月11日

ガラスフラスコ内にn-ペンタンを電熱ヒータおよび銅コンスタンタン熱電対とともに入れて密封した。このフラスコは地上約4.5mの高さに設置した。電熱ヒータにより、フラスコ内のn-ペンタンを加熱し、内圧を上昇させ大気圧以上とした。液温が所定値に達した時、機械的衝撃によりフラスコを破壊した。大気中に暴露されたn-ペンタンの液体は常圧の過熱液体となり突沸現象を呈して周囲に飛び散り空気と混合して可燃性混合雲を形成した。これと同時にパイロット火炎から引火し、火炎伝播が起りファイア・ボールが形成された。フラスコに入れたn-ペンタンの量は2.5および10ℓとした。

この現象を水平な直角2方向に設置した16mm映画撮影機で撮影した。また輻射計(時定数8 msec)を撮影機と同じ方向にフラスコから15mの位置に設置し輻射照度を測定した。

ファイヤ・ボールの直径の最大値D_{max} [m]とn-ペンタン量W [kg]の関係は次の通りであった。

$$D_{\max} = 5.28M^{0.277}$$

ファイヤ・ボールの持続時間として、ファイヤ・ボールの投影面積がその最大値の1/2以上ある時間τ_{1/2} [sec]をとれば、Mとの関係は次の通りであった。

$$\tau_{1/2} = 1.1M^{0.097}$$

ファイヤーボールの中心から15m離れたところでの輻射照度の最大値E_{15max} [W/cm⁻²]とMの関係は次の通りであった。

$$E_{15\max} = 0.310M^{0.661}$$

消火剤容器の内圧変化と消火剤の状態変化

山鹿修蔵(消火第2研究室) 11月11日

消火剤の放射はノズルの圧力に左右される。ノズルの圧力は元の容器の元圧から、配管のまさつ損失を差引いたものである。加圧ガスの出入のみが消火剤容器の内圧変化に關係するものについては、すでに検討済みであるので、今回は液化ガスの蒸気圧によるものと、加圧ガスが消火剤に溶解するために複雑な変化をするものについて行った。

実験は消火剤を所定の容器に詰め、これを約30mの配管末端に耐圧ガラス管をつないで内部を目視観測した。

実験の結果、配管内においては流体が乳濁しており、こまかい気泡を含んでいることが確認された。消火剤容器および配管中の消火剤の温度および圧力の観測結果を解析すると、それらは消火剤の蒸気圧、加圧ガスの分圧、加圧ガスの消火剤に対する溶解度、温度、液相および気相の密度、比熱等の関係式を連立させて解いた計算値と比較的よい一致を見た。したがって装置の設計に当っては、度ごとに実験を行わなくても、計算に基づいて設計すれば、十分に基準を満足する性能が得られるであろう。

火災感知器の検知出力と燃焼状況との対応

糸谷成章(通報設備研究室) 12月9日

火災感知器の検知能力の試験は特定の温度や煙濃度

で実施されており、実際の火災時にどのような対応をするかは必ずしも明確でない。このため比較的発生頻度の高い着火物と発火源について実規模火災をおこして感知器の応答特性について調べた。

実験建物は床面積12.5m²、床から天井・内壁面は耐火ボード張り、床はコンクリート造である。開口部はドアー1ヶ所で実験時にも開放して燃焼状況を観測した。燃焼物は紙くず・座ぶとん・衣類・ベニヤ・ダンボール空箱・コード被覆である。これらの実験試料は部屋の隅に設置した電子バカリの上で燃焼させ、感知器は部屋の中央部天井に取付けた。実験に使用した感知器は定温型・差動型の熱式感知機、イオン式・光散乱式の煙感知器である。

実験の結果熱式感知器では、試料が発炎燃焼した場合200g程度燃えた時点で火災を検出することができた。一般に煙感知器では煙を併なった発炎燃焼では20g程度燃焼した時点で火災を検出することができる。特にイオン式で、ふとん類がくん焼した場合は300g以上燃焼しないと動作せず、またこの時点では燃焼ガス濃度が高く見通しも悪いため容易に部屋内に進入できない状態であった。また光散乱型は煙がほとんど出ない発炎燃焼の場合は火災規模が大きくなっても動作しなかった。

これ等の実験結果から考え1種類の感知器ではすべての火災を極く初期に検出することはできないことがわかった。今回の実験範囲の火災では経済性も考えるに熱式感知器と光散乱型（光電式）の組合せが最も望ましいと言えよう。

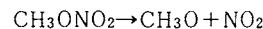
メチルナイトレイト(CH_3ONO_2)の熱発火反応(英国での研究成果と欧洲における2、3の防災研究所について)

長谷川和俊（危険物研究室）12月9日

英國リーズ大学で行なった「メチルナイトレイトの熱発火性とその反応速度に関する研究」の成果および欧洲の防災研究所等を視察した時の模様について報告を行った。

1000mLの球型反応器を用いて、200～300°C、0～33mmHgの範囲でメチルナイトレイトの熱発火限界領域を求めた。この限界曲線を従来の実験結果と比較し、限界

付近では全反応次数が一次にならないことを確かめた。しかし、圧力変化の初期勾配から求まる反応次数では、発火限界より充分温度の低いところで、一次に近づき、温度の低い領域でしかも反応初期にのみ一次反応とみなすことができた。また残留反応物の時間変化曲線の解析からも同じ結論が得られた。一方、質量分析計によるメチルナイトレイト濃度の時間追跡結果から、メチルナイトレイトの消滅反応は一次であり、次に示す速度定数が求められ、素反応式として次式を考えることができた。



$$k = 2.75 \times 10^{13} \exp(-36.42/RT) \text{ (1/sec)}$$

イギリス、ドイツおよびフランスにある防災に関する研究所等を視察した。イギリスでは火災研究所(Fire Research Station)およびエジンバラ大学の火災安全工学科(Dept. Fire Safety Engineering)を訪ね、前者ではDr. Thomas氏と固体の熱発火反応について、後者ではDr. Drysdale氏と安全工学全般にわたり話し合った。ドイツでは国立物理工学研究所(P T B)および国立材料研究所(B A M)を訪ね、P T Bでは静電気および爆発阻止装置についての実験装置が印象的であった。B A Mでは火薬の安全試験が特に充実していた。フランスでは予防防御センタ(C N P P)および安全研究所(I N R S)を訪ねたが、両者とも実験室を見学する機会が得られなかったのは残念であった。

酒田大火調査報告1. 気象および延焼状況

山下邦博（火災物理研究室）1月20日

風向風速の観測場所として、被災区域から数百メートル離れた地点に酒田測候所、酒田保健所、酒田地区消防組合本部消防署があり、また、数km離れた地点に東洋ソーダ、花王石鹼等があり、それらの観測資料を収集して比較、検討した。

出火してから鎮火するまでの平均風速は酒田測候所では約11.0m/sであったがその他の観測点をみると、消防署17.0m/s、保健所14.0m/sであり、測候所の値よりもかなり高い値になっていた。しかし、職員寮のように測候所の値よりも低い所もあって、風向風速については火災に関係なく地形的な相違が大であることが明らかになった。酒田市は日本海に面していることによって年間の暴風日数が140日にもなるので、暴風雨

警報、強風注意報等の発令基準が他の地区よりも高くなっている。火災当日は風雨波浪注意報が出されていましたから、強風注意報でなかったこともあるって、消防署では特別な警戒体制をとっていなかった。

延焼状況について消防職員、住民、東北電力の職員等の証言を得た。それらをもとにして火災前線の推定図を描き、延焼速度及び飛火の役割等について検討した。被災区域の中心部に幅員15mの浜町通りがあって、ここで第3次の防ぎよ線が張られたが、消防隊員を集中できなかったこと、また、道路を越えて飛火が発生したこと等の理由により防ぎよ線を守ることができなかつた。飛火が過去の大火に比較して少なかつたのは、雨がかなり降ったことと建物の外壁にトタンが用いられていたこと等に起因しているように推定された。

酒田大火調査報告2. 焼け止りの概況

山本忠彦（火災物理研究室）1月20日

1976（昭和51）年10月29日17時40分ごろ[A]山形県酒田市の繁華街中町2丁目5番街区において強風下に発生した火災は、初期消火の失敗から19時ごろついに隣りの4番街区に延焼し、火災域が帯状にはば北東方向へ100m余り伸びた20時ごろ風向は西北西に変化し、上の帯状火災域はほぼそのまま火災幅となつたため火勢は一気に増大し、火勢の増大に伴い火の粉（火の玉）による飛び火延焼も盛んとなり、風下側は幅15mの道路も簡単に越されて翌30日3時ごろ[B]火災前線は新井田川べりに達した。4時30分ごろ火災は制圧され、5時ごろ[C]鎮火したが、AからCまでにおける延焼面積は22.5ha[ほぼ長方形]、延焼建物は1774棟に達した。

焼け止り線がほぼ長方形となったことは、延焼街区がほぼ方形街区であつて、20時ごろから鎮火時まではほとんど風向に変動がなく西北西の風が続き、道路の方向がほぼ風向と一致していたことによるものと思われる。また、出火前から断続的の降雨があったことにもより、北方風横側は幅5~11mの寺町通りをほぼ境として焼け止っており、風下側は新井田川をはさむ幅約70mの空地帯が防火帯となって焼け止っている。南方風横側の焼け止り線はデコボコ線を成しているが、これは風向の関係から飛び火がほとんどなく、多くの土蔵及び数か所の破壊消防実施の結果によるものと思われる。

延焼地域内でポツンと焼け残った一番町3番街区の一角は82年前の庄内大地震大火にも焼け残った所であり、倉庫のある広い敷地は、風上側には高いコンクリートベイ、南方風横側には数本の高い樹木及び數十台収容可能の広い駐車場があり、敷地内の耐火造倉庫は風上側に開口部がなかったこと等により、敷地内に野積みにされていた50本を超える燃料入りドラムかんにも火は入らなかつた。広い駐車場の東隣りの民家1棟がほとんど無傷で残つたのも、この広い駐車場と、広い敷地内のドラムかんに火が入らなかつたこと及びほとんど風向の変動がなかつたこと等多くの好条件の重なりによる結果と思われる。

酒田大火の前年に調査した三浦市三崎5丁目火災とを比較〔括弧内の値は後者〕すると、AからBまでにおける火災主軸の延焼距離は約950m[約110m]、延焼面積は約21ha[約0.22ha]、従つて平均延焼線速度は約100m/h[約120m/h]、平均延焼面積速度は約2.2ha/h[約0.25ha/h]となり、AからCまでにおける平均延焼面積速度は約2.0ha/h[約0.96ha/h]、平均延焼建物速度は約157棟/h[約13棟/h]となる。

本調査は消防庁酒田大火調査団の一員として1976年11月4日から8日までの5日間に行なつたものである。

酒田大火調査報告3. 火の粉の飛散分布状況

山下邦博・木野内信雄・寒河江幸平・
木村由喜夫・林幸司・宮崎早苗

（酒田大火調査班）1月20日

酒田大火は川幅50m（両側の道路を含めると70m）の新井田川で焼止ったが、川が道路であった場合には焼止ったかという問題を検討することは、将来の防火対策の資料になると思われる。今回の調査では、この川を越えて火の粉がどのように飛散し、飛火がどの地点で発生したかということ、及び、これらの火の粉と飛火に対する警戒と消火体勢がどのように行なわれたかということを中心にして調査した。

初めに消防隊の警戒体制であるが、新井田川の豊富な水を使って川の東側に50台以上のポンプ車が集結し、直上放水して川の風下の建物を冷却していた。また、住民は屋根上で水道の水とかホークで飛火警戒を行い、自衛隊は住民の避難と飛火警戒に協力し、消防隊、

住民及び自衛隊の一致協力した警戒体制がとられていた。

火の粉の飛散状況は主に燃焼状況と気象状況に左右されるが、風向が出火当時は西南西であったものが徐々に北西に変化したことと燃焼区域が火元から風下に移動したことによって徐々に変わったようである。出火後まもない時期では火の粉は駅または海晏寺の方向に飛散していたものが時間の経過にしたがって、浜田小学校、若浜小学校の方向に変化した。火の粉の到達距離は2~3kmになり、火災の初期ではやや小さかったようである。この理由は風速が大きかったことと同時に炎上幅が小さかったために火災の上昇気流が地面を這うような形になったためと思われる。

飛火した場所として屋根瓦が多かったのは過去の大火灾の場合と同様であるが、雨樋とかダンボール等に飛火したのは異なっており、建築資材、または包装資材が時代と共に変化したことによると思われる。

高膨張泡による模型家屋火災の消火について

星野誠・林幸司

(消火第一研究室) 2月10日

合成界面活性剤泡消火剤（国家検定合格品）の建物火災への適用性を調べるために、内径25cmの煙突穴タテ1.5m、ヨコ1.5m、高さ2.5mの石綿板火災室を用いて、木材とウレタンの高発泡泡による消火実験を行い、とくに泡液供給率 $0.81 \pm 0.02 \text{ l/min}$ 、発泡倍率525~700倍、木材3kg、ウレタン1.5kg、予燃時間、木材5分、ウレタン50秒、使用水は水道水または合成海水のときの、これら泡剤の消火性能を調べた。消火の判定は煙濃度と温度の変化によったが、この結果、煙濃度と泡放出時間の関係は $C_s = ae^{-Kt}$ で表わされ、Kは高発泡泡の消火性能を表わす尺度となることが明らかになった。なお、温度は熱電対によって、また煙濃度は煙の付着と温度による影響を防止するため、送気と冷却を行った減光式煙濃度計を用いて調べた。

酒田大火の教訓

中田金市（前所長）2月10日

一つの火事が大火になるか、小火で終るかは甚だ微妙である。昭和51年10月29日から30日にかけて酒田の繁華街のうち、建物の焼損棟数1774棟、焼失区域面積225,000m²という、戦後第4番目の大火になったのは、後から考えると、いろいろの悪条件が重なって起った不幸な出来ごとだったといえる。このような大火を二度と起きないために、この火災の実態を冷静に研究して、大火になった理由をつきとめ、対策に対していくらかの提言をしておき度いと思うのである。

原因の1つは風が強かったことである。平均風速は13m/s程度であったが、最大瞬間風速は33m/sにも達していた。風がそれほど強くなくても大火が起っている例もあるので、風にだけ責任を負わせるわけにはいかないだろう。次には火災通報の遅れが指摘される。出火の時刻がはっきりしないから確定的なことは言えないが、消防署が覚知したのは、出火後20分ぐらい経ってからのようなようであった。初期消火の遅れは致命的だ。ことに風が強いということと重なって、延焼拡大は必ずといわねばならない。ここで注意し度いのは、火災報知機が鳴っていたのに、責任者が火災の現場を確認しに行っていることである。火災報知機が時々誤報を出るので、確認の必要があるというのが常識になっているとすれば、火災報知機の改善に一層の努力が必要であろう。出火した建物が、丈が高く、がらんどうの映画館であったということも不幸な出来事の一つであった。内部にあまり可燃物は無いわけであるが、木造の大きな、全然間仕切のない建物は火の廻りが早く、消火が困難なことが想像できる。しかもかけつけた消防車の数も少なく、足場が悪くて、転戦を余儀なくされたようだ。そのための時間のロスは惜しい。消防車の数が十分あり、空中作業車のように高所から注水できるような消防車があったら、火災は映画館だけで制圧できただろうと思われるが、人口10万程度の都市には恐らく負担が重すぎるであろう。戦後40件の大火のうち22件は日本海沿岸で起っている。酒田市と同じ運命を辿るかも知れない他の都市を含めて、消防力をいかに充実したらよいか真剣に考えねばならない。ことに、火災の初期に消防力をいかにして集中するかを考えねばならない。

この大火を教訓として再建酒田市は火災に強い都市

に生れ変るべく努力しておられることと思うが、根本は燃えない家を造ることにある。G N P が自由世界で第2位といつても、国民自体は貧しく、誰でも自力で鉄筋コンクリートの家を造るというわけには行かないだろうから、国の温い施策が望まれる。今大火の焼け止りの状況から、都市は空地や緑地の多いゆとりのある町でなければならぬと痛感する次第である。

消防署の適正配置に関する研究

寒河江幸平（情報処理研究室）3月10日

従来の消防署所の配置に関する研究は損焼面積を最小にするという考え方で行なわれてきたが、その他に損焼面積の分散を最小にするという考え方と損焼面積の最大値を出来るだけ小さくするという考え方があると思われる。そこで、市街地の簡単なモデルに対し、上の三つの考え方を用いて二、三の方法で検討してみた。二、三の方法とは、一つ、モデルをグラフと考え、グラフの頂点に消防署所を置くものとし、各頂点への距離を与えて計算する方法、市街地を正方格子ではなく、全くランダムな格子に切り、消防署所は上の方法と同じく格子の頂点に置くものとして、各格子への距離の最大値と最小値との間の一様乱数を各格子の出火率に応じて発生させて計算する方法とあらかじめ各格子の出火率に応じて格子内の位置を与えておき、各格子の頂点とそれらの位置との距離を求め、各頂点からの距離を計算する方法との三つである。検討結果は一の方法では三つの考え方でも頂点が隣合う程度の差でさほど狂いではなく、二の方法でも、三の方法でも、一の方法と似た結果を得た。また、消防署所の消防車の必要台数を到着分布がポマソン分布、サービス分布が指數分布の待ち行列を用いて求めて見た。待ち行列では窓口が一つで客にサービスするという考え方があるので、理論的には面白い結果が得られるが、1件の火災に対して消防車が複数で出動することが多いため実際的ではない。サービス分布が指數分布というのも一般的な分布をサービス分布にもつ待ち行列の理論が完成されていないため用いたものでこれまた実際的ではない。消防署所の消防車の必要台数を求めるためのサービス分布にはアーラン分布が適當ではないかと思われる。

木材の燃焼で発生する水蒸気と関連する現象

高橋哲（避難安全研究室）3月10日

木材の気乾および絶乾材について、積上げ段数を変化させ、炎の中および炎の頂上部の水蒸気濃度を測定した。

そして、この水蒸気濃度を、同時に計測したクリップ上端面のガス温度、クリップ木質部および炭化物の燃焼速度、および燃焼熱分解生成物質のアルコール溶液の吸光度と対応させることにより、次のようなことが判明しつつある。

1. 水蒸気濃度は、段数の小さなクリップでは点火直後に高く、一度低下した後再び上昇するような経過をへるが、段数の大きなものでは山型の形状を示す。
2. 水蒸気濃度曲線の推移は、温度曲線の推移とよく符号する。
3. 炎中および炎頂部から採集した凝縮性ガスのアルコール溶液の吸光度は一般に $237.3m\mu$ に最大の吸収をもつが、条件により $240m\mu$ 又は $250m\mu$ 付近に表われることがある。
4. 減光係数 $\ln(I_0/I)$ と水蒸気濃度との間には、炎中か炎頂かを問わず一定の関係が見付かり、一般的には水蒸気濃度が高い程減光係数も大きいことがわかった。
5. 発炎燃焼曲線と残留炭素の燃焼曲線の接線の交点から、燃焼時に於ける平均残留炭素量を求める方法を考案し、元の木材組成からこの残留炭素量差引くことによって、発生水蒸気濃度を推算する一方法を提出した。又これから、発炎燃焼時の発熱量、必要空気量、排ガス量等が算出できる。

大型消防飛行艇(PS-1)による空中消火ならびに消火液散布実験報告

金田節夫・笠原保信

(消防機械研究室) 4月14日

昭和51年10月より11月にかけて、兵庫県西宮市鳴尾浜の埋立地で、海上自衛隊所属のPS-1型航空機(飛行艇)を実験用に改裝して消火液を空中より散布する空中散布実験及び消火実験を行った。実験は地表面及び実験家屋に対する消火液の散布状況等の測定と、直接消火法による火勢抑制効果等の測定を行った。散布実験は、高度を50~450 フィート(約15~135 メートル)、機速を80~125 ノット(毎時約150~230 キロメートル)の間の各組合せで、飛行艇より消火液を平均8400リットル投下した。消火液は海水と、海水に糊剤を添加したもの用いた。平面散布実験では、高度又は機速が大となると散布密度の多い部分の面積は減り、少い部分の面積は増えた。本機では、その境い目となる密度が1 平方メートル当り 1.5 リットルであった。実験家屋に対する立体散布実験では、高高度では消火液がある段階で水平速度を失い、毎秒3~5 メートルの風の影響を受けて風上側壁面に衝突し、他の壁面はほとんどぬれなかった。

150 フィート(約45 メートル)以下では、風の影響を受けるが、飛行艇進入側に最も多くの消火液が衝突した。

直接消火実験では、火災荷重1 平方メートル当り40 キログラムの堆積廃材に対して5 分間隔で4 回の散布を行い、各散布ごとに熱放射強度は半減した。

液体燃料タンク火災の燃焼速度とタンク直径に関する実験式及び一次元燃焼速度比の物理的意味

新居六郎(第2研究部長) 4月14日

1957年、ソ連のBlinovらの石油タンク火災の燃焼速度とタンク直径に関する実験報告が公表されて以来、そ

の実験結果の解釈について、Hottel及びSpaldingの理論が提案され、さらに多数の研究者により、他の可燃性液体の燃焼速度についての実験的研究と彼らの理論の検証が行われた。現在、Spaldingの理論はその実験結果を最も良く説明できるものとして多くの研究者により支持されている。なるほど、彼の理論は乱流炎領域において異論を挙ぐ余地が殆んどないように思われるが、層流炎及び遷移炎領域ではなお完全ではないと筆者は考えた。そこで、筆者はBlinovらの実験結果に基づいて、体積燃焼速度とタンク面積の関係及び乱流炎領域の一次元燃焼速度の物理的意味について検討した結果、次の結論が得られた。

液体燃料のタンク火災の体積燃焼速度とタンク直径に関する実験式は、そこから乱流炎となるタンク直径を境界値として、その直径以上と以下の二つの領域に分割することによって誘導できる。

乱流炎領域の一次元燃焼速度を w_t 、乱流炎領域以外のそれを w とし、タンク火災の火炎からタンク内の燃料液面に単位時間、単位面積あたりに入ってくる熱量は、小さなタンク直径の場合を除いて、タンク直径に無関係に一定であるという仮説が成立するとすれば、 $w/w_t < 1$ のときは、燃焼速度にマイナスの寄与をする(タンク壁を通ってタンク外に出て行く)熱量が存在し、 $w/w_t > 1$ のときは、燃焼速度にプラス寄与をする(タンク壁を通って液面に附加的に入ってくる)熱量が存在する。

タンク壁を通ってタンク外へ出て行くかまたは液面に流入する熱量の燃料液面に火炎から直接流入する熱量に対する割合は、(1)式の左辺または右辺から計算できる。

$$(w/w_t) - 1 = a \log(D/D_0) + b - 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)式で、 a 及び b は液体燃料によって決まる定数、 D_0 は最小燃焼速度のときのタンク直径、 D は乱流炎領域を除く領域のタンク直径を表わす。

消研輯報 第30号
昭和52年4月印刷

編集者兼
発行者

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