

消研輯報 48

平成 6 年度

〔グラビア〕

- 阪神・淡路大震災
- 文化財建造物の火災

〔外国研究機関紹介〕

- 英国の火災関連研究機関を訪れて
(トンネル等特殊空間での火災に関する研究事情調査)

〔研究紹介〕

- ハロン代替消火剤の消火性能と毒性の評価
- 火災性状把握避難誘導システムの概要
- 音声明瞭度の評価法
- 建物火災における主な出火源ごとの着火物別、出火時刻別発生件数

〔研究動向〕

- 粉末状等合成高分子物質の燃焼性試験方法
- 文化財建造物の火災対策の現状と課題

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻第77号 (1994年3月)
通巻第78号 (1994年9月) 掲載論文の概要
 - 消防研究所「研究懇話会」要旨
-

阪神・淡路大震災

平成7年1月17日の朝5時46分に発生した淡路島の北側を震源とする大地震は死者5,500人以上、負傷者2万6千人以上に及ぶ大きな人的な被害を与えた。この地震は近代都市を襲った直下型地震であり、建物の倒壊も14万4千棟以上に及んだ。また、地震後に発生した火災により、7千4百棟以上の家屋が焼失した。以下の写真は火災被害の大きかった長田区における焼け跡の様子である。この地震から教訓を学びとり、今後の大地震に備えて対策を強化することが望まれている。詳細については消防庁消防研究所発行「兵庫県南部地震における神戸市内の市街地火災調査報告」を参照のこと。



写真1 中高層建物と木造建物が混在する市街地の火災被害状況
建物が倒壊したために建物内部の可燃物が露出して燃えやすくなっている所に火災が接近して焼失した。(長田区)



写真2 道路に電柱が倒れ、消防車両の通行障害となった。(長田区)



写真3 道路上に建物が倒壊し、それを媒体として火災が一つの街区から他の街区に拡大した。



写真4 商店街において道路両側の建物は焼失し、アーケードの枠組みが残った。(長田区)

文化財建造物の火災



写真5 檜皮葺屋根の念仏堂火災（愛知県）
40mmホースでは火勢が強く放水しても有効注水にならない。



写真6 檜皮葺屋根の三重の塔の火災（岐阜県）
梯子車により俯瞰注水を実施して鎮圧。



写真7 茅葺屋根の文化財建造物の火災（青森県）
消火が困難なため放水しながら茅の抜取りを実施。



写真8 茅葺屋根の文化財建造物の火災（青森県）
茅の抜取りが困難なため森林作業用の重機を使用。

英国の火災関連研究機関を訪れて

(トンネル等特殊空間での火災に関する研究事情調査)

山田常圭

はじめに

今年の6月後半、2週間ほど英国の火災に関わる研究所・大学を訪問する機会を得た。この訪問は本年3月に消防研究所で招へいた英国の保健安全庁爆発火災研究所（現保健安全研究所：Health & Safety Laboratory以下HSLと略記する）の所長Thomson博士の尽力により実現したといってもよい。彼は、火災分野の研究に携わる日英研究所間の研究交流が、効率的に研究を進める上で今後ますます必要とされるであろうと慮り、消防研究所がHSLや英国の他の火災関連研究所との間で将来共同研究を始める手助けができないかどうか、忙しい滞在スケジュールの間隙を縫ってブリティッシュカウンシル（British Council）と交渉して下さった。そのおかげで、同財団から“Grant in Aid”という将来の共同研究の可能性の調査を主目的とした奨学金を得ることができ、筆者はその恩恵にあずかることができた。

消防研究所では、ここ数年来地下の特殊空間の火災性状に関連したプロジェクト研究を行ってきており、筆者は一メンバーとして参加してきた。折りしもHSL

では、英仏海峡トンネルの火災安全に関連して類似の研究を行っており、このようなトンネル等特殊空間内の火災に関わる研究の実情調査を主たる目的に、英国を訪問することになった。2週間の限られた期間ではあったが、6月という英国では季節的に最も恵まれた時期の訪問で天候にもまざまざ恵まれ、図に示す3研究所、1大学を訪問し議論する機会が得られた。以下、訪問した研究所の概要と感想を思いつくまま紹介する。

1. AEAテクノロジー-CFDS部（旧原子力公社ハウエル研究所）

AEAテクノロジー社の前身は、英国原子力公社という国立機関であった。これに属する旧ハウエル研究所は原子炉内部の高温流体の研究所として知る人ぞ知るといふ高名な研究所であるときく。場所は、ロンドンの西北、シェークスピアの生地で有名なストラッドフォードに行く途中のデイドコットというのどかな町にある。この機関は、サッチャー政権時、財政縮小のための民営化政策の中で民間に移管された。英国滞在中、郵便局の民営化について議会で論議されているのをテレビで見たが、こうした行政機構の改革は英国人をして行き過ぎと言わせしめるほど急速に進みつつあるようである。

ハウエル研究所（現在、計算流体力学サービス部門：Computational Fluid Dynamics Servicesと改称されている）は、高温原子炉内の熱、流体の流れを理論的に研究していた部門であり、民営化後は自らの研究活動資金を稼ぎ出すために、公社時代に開発した熱流体解析プログラムを改良し、汎用コード“FLOW3D”の名で、研究・開発ツールとして世界中の研究者、技術者を対象に販売している一方、技術コンサルティングも行っている。ちなみに消防研究所でも、このFLOW3Dをトンネル内火災時の火災性状の理解と予測のため一昨年導入して解析に用いている。

元々、FLOW3Dが高温高浮力流体を対象としており、火災性状予測のツールとしては現象が似通っていたこと、また1987年ロンドンのking's Crossの地下鉄

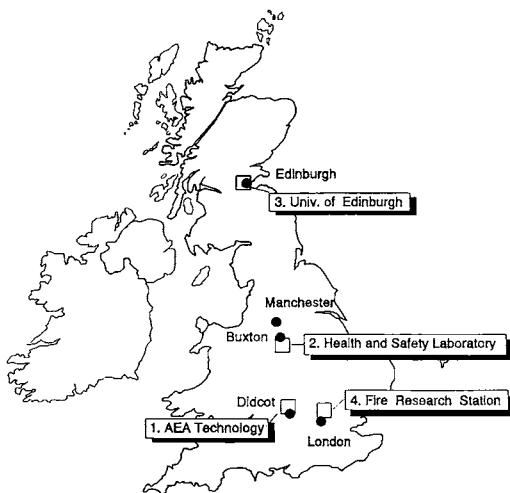


図1 訪問した英国の研究機関

火災直後に、他に先駆けて現象の再現に用いられたことで、この類のコンピュータによる流体力学計算（Computational Fluid Dynamics、以下CFDと略記する）のツールとして好評を博し、急速に世界的に流布してきている。筆者の知る限りでは、英国の後述するHSL、エディンバラ大学、米国の火災研究の指導的立場にある商務省標準技術研究所建築火災研究所（NIST/BFRL）のような火災研究機関で導入されている。

AEAテクノロジーの研究施設内への立ち入りは厳重を極め、カメラの持ち込みも厳禁であった。話によると、プルトニウムのような核物質が保管されているし、またそれ以上に、新しい技術を武器に研究資金を稼ぐ必要である彼等にとって、最新技術の流出は研究所の存立を経済的に危うくする重要な問題なのだそうだ。今回の訪問では、火災現象に使用されたFLOW3Dによるシミュレーション結果の事例紹介と消防研究所で行っている実験の再現シミュレーションの境界条件の問題について技術主任であるI. Jones博士等と話会う機会を得た。詳細については省略するが、この研究所で取り扱っている現象では、北海油田の洋上掘削基地での火災や英仏海峡トンネル内における火災のシミュレーション等、比較的特殊な形状・燃焼形態のものが多いように思われた。もっとも、簡単な形状のものについては、ユーザーが対処できるから当然のことであろう。同部ではその他技術コンサルタントも手がけており、HSLはトンネル火災に関して良いお得意先であるよう印象を得た。時間的にあまり余裕がなく、本研究の他の分野の説明を聞くことができなかったが、危険物質の管理法等原子力に関わる広範な技術開発、供与が行われているようである。たまたま、昼食時には、別のテーブルで日本人の技術者の一団が何等かの技術について議論していたが、日本人も同社の良い顧客で来訪客も多いそうである。

2. 保健安全庁（HSE : Health & Safety Executive） 保健安全研究所（HSL）

HSLは、日本でいうと労働省に相当する保健安全庁（HSE）という機関に属している研究所である。この保健安全庁は大きく分けて、労働基準監督署のようなインスペクションに係わる現場部門と、研究部門の2つからなっており、事故調査・安全対策の立案等において互いに緊密な連携がとられている。このことは、HSLの研究の多くが現場サイドからの委託によるものである事実からも容易に推察されよう。

このうち、火災に関連する研究部門は、本年3月ま

で爆発・燃焼研究所（Explosion & Flame Laboratory）にまとめられていたが、組織改革で他の研究所と統合化され、現在は以下の6研究部に再編され名も“HSL”に改称された。

- 1) プロセスハザード研究部（Process Hazards）
リスクアセスメント手法の開発、工業プロセスから生じる危険性の研究、可燃性物品・毒性そして爆発性物品の使用・貯蔵・輸送および火災への関与に関わる研究。
- 2) 爆発制御研究部（Explosion Control）
爆発の着火に関する制御法の開発、ガス粉塵爆発とそれらの制御に関わる研究、工業における爆発物の安全使用に関わる研究。
- 3) 技術制御研究部（Engineering Controll）
構造保全の技術・材料面での研究と事故原因調査、電気制御システムの事故の保全、事故調査。
- 4) 生物化学研究部（Biochemical Science）
生物的健康的影響のモニタリング、免疫学および微生物の危険の調査、その生物学的そして外部的ストレス要素の労働者の安全性能へ及ぼす影響についての研究。
- 5) 労働作業場制御研究部（Workplace Controll）
労働環境における塵埃、ファイバー、騒音、振動にさらされた労働者の研究、それに関連した換気、自己防護装備を含む制御方法の研究、労働作業における生体科学と人間行動面の研究。
- 6) 環境計測研究部（Environmental Measurement）
無機物、繊維を含む工業と農業の危険性化学製品の測定方法の開発と応用。毒性材料の予測手法の開発のための研究。

これらの研究部の研究施設は、いくつかの都市に分散しており、今回訪問したのは、マンチェスターの南東、バクストンという市の、爆発やプロセスハザードのような火災に関係した研究施設が集まっている研究所である。このバクストンの研究所の前身は炭坑労働の安全に関わる研究所であり、SMRE（Safety Mines Research Establishment）と呼ばれていた。そのため、地元の人はいまだに炭坑研究所（Mines Research）と呼んでいる。この地はもともと炭坑地帯にあり、研究所の佇まいには廃坑や旧炭坑用の運搬のための鉄道の軌道跡等、往時の状況が偲ばれる。この一帯は高地の少ない英国にあっては標高の高い場所にあり、国立公園に指定されている風光明媚なところである。出かける前に、当地は長野県の霧が峰か山口県の秋吉洞のカルスト地形と雰囲気的に似ていると聞いていたが、まさしくそれらをほうふつとさせる景色であった。この

研究施設は比較的人口密集地から離れているため、危険性物質の爆発・火災等産業災害の実大規模実験が行われている。実験施設は広大な丘陵地の敷地内に点在しているため、一目で全体概要を把握することは難しい。今回訪れた中で、印象の深かった事柄を以下にまとめてみた。

2.1 火災と熱流体研究室 (Fire & Themofluids)

トンネル火災研究とCFD

今回訪問した主要な目的は、トンネル火災の研究に関連してこの研究グループと消防研究所の間で共同研究の可能性について議論をすることであった。この研究室は、ハザードプロセス研究部に属しており、室長は、J. Jagger博士という非常に物腰の低いおとなしそうな人である。その他、R. Betti博士、C. Lea氏という若手研究者がトンネル研究の主要なメンバーで、実大規模の実験およびコンピュータによる熱流体解析を進めている。

トンネル実験施設としては、約400mと200mの大小2つの実験トンネルがある（写真1）。もともと炭坑火災の研究に用いられていたため、“dust explosion gallery”と呼ばれている。文字どおり、粉塵爆発のような火災と、その消火方法の研究が行われていたようであるが、最近では炭坑火災の研究需要が少なくなり、英仏海峡トンネル（※注 ユーロトンネルは、会社の名前で、トンネルそのものは一般に海峡トンネルthe Channel Tunnelと呼ばれる。）の火災時の火災性状研究のため用いられている。一連の火災実験が数年前に一段落し、現在 FLOW3Dを用いた熱気流解析が若手研究者によって進められている。



写真1 400m実験トンネル入り口とThomson博士

実験では、トンネル内部で危険性車両（HGV：Heavy Goods Vehicle）の積載貨車で火災が発生した時の燃焼状況、煙の伝播について実験が行われている。またこの実験研究と平行して、先のAEAテクノロジー社がどの程度 FLOW3Dで火災現象、特に気流分析を予測できるか、ブラインドシミュレーションを行っている。その結果の一部を、AEAテクノロジーで聞くことができ、マクロ的には満足のいく結果が得られたが、燃焼部分等細部ではメッシュの解像度の制約から必ずしも満足のいく結果は得られていないようであった。こうした実験及び理論解析の結果についての正式の報告書は公表されていなく、残念ながら今回の訪問時には入手できなかった。

また、この研究室でも実験と平行してCFDによる熱気流解析をFLOW3Dによって行っている。主として、Lea氏がこの研究に従事し、1996年までトンネル火災での気流シミュレーション研究が計画されているようである。こうした研究の規模はどの程度であるかを尋ねたら、答は予算額ではなく年あたりの従事する研究者数で返ってきた。ちなみに、1994年から1996年は炭坑の坑道における効果的な火災感知器の配置のツールとしてのCFDコードの開発と実験が主要研究課題である。そして、1994年から1995年には、1人年、1995年から1996年は、0.5人年を予定しているようである。このような形で研究規模が定められていると、複数の研究課題を個人で持った場合、どのような比率で各々の仕事を行えばよいか一応の目安になるため合理的であるように感じられた。

また、この研究と平行して、火災規模と煙遡上を抑えるための限界風速の関連の研究を経常的な研究課題として行っているそうである。これらは消防研究所で筆者らが行っていた研究と非常に類似した課題であり、情報交換等を通じての研究交流は今後研究を促進する上で有用であろうと感じられた。

若手研究者の活躍

今回のHSL訪問中、若手研究者、C. Lea氏には、いろいろとお世話になった。以下、彼自身また彼のような若手研究者について少しばかり触れておきたい。

彼は、CFDを使用した煙の遡上と火源近傍の3次元シミュレーション及び実験研究の結果をまとめ、マンチェスター大学に博士論文として提出して審査待ちの20代後半の若手研究者である。このマンチェスター大学には、Lauder博士をはじめ流体力学研究分野で著名な研究者が何名かが在職中である。ちなみに彼らのことを知っているかと質問したところ、彼らの何人かが審査員だということである。このように火災分野と流

火災安全工学への適用について、CFD開発責任者であるG. Cox博士との議論をすることであった。彼らは、開発してきたコンピュータコード“Jasmine”を使用して、海峡トンネルで運行予定の自動車コンテナ内部の安全性の検討を行い、この結果の一部を第4回の国際火災安全科学学会で既に発表している。また、トンネル安全設計用に、Jasmineを一部変更したTUNFIREというコードを世に送り出しているそうである。計算モデルの開発、計算の実行の実際の研究においては、Kumar博士の果たす役割が大きいとの印象を得た。このKumar博士と、ハウエル研究所で主として火災気流の計算に携わっているJones博士から、くしくも同様の言葉を聞くことになった。それは、『数値計算は趣味であり、仕事は趣味と実益を兼ねている。』というもので、かなりマニアックな研究者達である。また、彼は最近の情報通信技術の発展のおかげで電話回線を使用して家から計算機に接続できるようになったため、早く家に帰ることができるようになったそうである。CFD研究分野では、これぐらいの意気込みがないと彼らととても対等に渡り合っていけないという印象を受けた。

CFDを巡るECの動向

現在、Cox博士らは、北欧諸国と協力して、Jasmineを発展させ、火災研究者の間で使用できる新たな共通CFDコード、通称SOFIE (Simulation of Fire in Enclosure) を世に送りだそうと試みている。もともと、Jasmineの原型は、ロンドンのインペリアカレッジの教授で流体研究者として著名なSpalding博士が開発したPHOENICS83コードであるという。当初、ソースコードが公開されていたが、同博士が独立しCHAM社を設立するとソースコードが非公開となり、開発の自由がなくなったため、商用プログラムに依存しない独自のプログラム開発の必要性を痛感しているというのがSOFIE開発の背景にある。実際、現在世の中で働いている商用CFDコードの中にも、当時のソースコードを元に、その後独自開発しているものがいくつかあるそうである。しかしながら、このSOFIE開発の動きについて、米国の研究者の一部は冷ややかである。『開発研究とは言いながら、乱流モデル一つをとっていても新しさはなく、この開発には科学的魅力に欠けている。』というかなり手厳しい意見もある。また、現在EC諸国が開発主体であり、共同研究の名のもと年間10,000ポンドもの参加基金を呼びかける一方で、開発行為に本当に関わられるのか疑わしいといったこともあり、単に学術的問題というより、どのCFDコードを将来の国際的な設計手法として流布させる

か、ISOを巡るEC vs.米国といった政治問題の様相を帯びつつあるようにも感じられる。

基礎研究へのFRSの貢献

こうしたCFDを巡る流動的な動きはともかく、今回の施設見学において火災の基礎的現象に対する実験研究は現在もなお健在であることを再認識できた。

ラインバーナーの上方の火災、プルームの形成状況、あるいは単室火災室内での火災性状の実験について、引き続き基礎的な研究を根気よく行っているようである。これらは、既に多くの研究が行われ、実験式やモデル化も大方けりがついたと我国では考えられている研究であり、今更こんな研究をやる研究所には明日がないと見るか、基礎現象への問いかけを常に行っているなんと力強い研究所と感ずるかは、人によって意見の分かれるところである。私個人としては、未だに判っていない点が多く実験を再度おこなっているのだと熱っぽく語ってくれたG. Cox博士の姿あるいは中国の科学技術大学や米国のウースター工科大学からの留学生がコンピュータ室にたむろし、いきいきと立ち働いている姿を思い浮かべると、財政的問題を抱えているとはいえ、まだまだFRSは英国における火災研究の指導的立場を維持し続けられるのではないかと考えている。

さいごに

無用の誤解を生じないように、本文は英国を極く短期間で駆け足で回った印象であること、また記載した商品・会社名等については、推薦等の特別の便宜を払う意図がないことを特にお断りしたい。その上で、さいごに英国の火災研究の将来について私見を述べてみたい。

今回の訪問を通じて、研究設備・施設の充実度、言いかえると財政的には同じ国立研究機関でありながら、FRSより現業部門からの調査等委託研究が多いHSLの方が恵まれている印象を受けた。このHSLは、研究分野が爆発・危険性物質という産業災害が主力であったせいか、国際的な火災研究の集会にも名前があまり登らなく、我国の火災研究者（どちらかというと建築火災関係者が多いが）の間で馴染みのある研究所ではない。実際、HSLの研究者と話しても国内はともかく国際的にあまり研究発表をしてこなかったようである。また、FRSでは、彼らは現業の調査研究は多いが、学術的研究面での貢献はあまりしていないのだともいう。世の中、だんだんせちがらくなってきたせいか、すぐ役に立つ、あるいはアピールできるような研究でないと同立の研究機関では財政的な支援が得られ

ないようになってきている。HSLのように資金的にも比較的恵まれた研究所と、資金的に縮小されつつあるが伝統的に火災の基礎的研究を行っているFRSのような研究所間での協力が軌道にのれば、火災研究の進展上非常に望ましいのではないかと。またそのような協力体制はどうなっているのか？ たまたま7月末来日した英国の火災研究の大御所Ph. Thomas博士に尋ねる機会を得た。『両者の協力関係は過去にはあるのだが、その協力関係は乱気流状態である（in Turbulent）。』とのことで、まだまだ模索中との感触を得た。

今、英国の火災研究は新旧交代の時期にあるのか、はたまた火災研究の枠組みのリストラが進行中なのか、側目ではよく判らないところがあるが、今回会った人々、特に若手の研究者の顔を思い浮かべると、今しばらく英国は我国の良き共同研究相手国であってくれそうである。むしろ、問われるのは我国が彼らのふさわしい相手であるかどうかであろうか…。そんなことを考えながら初夏がまさに始まらんとしていた英国を後にした。最後になるが、今回の英国の訪問にご尽力頂いた、British Council、HSLのThomson博士には記して感謝したい。

ハロン代替消火剤の消火性能と毒性の評価

佐宗祐子、斎藤 直、廖 赤虹、尾川義雄

1. はじめに

地球を取り巻く成層圏のオゾン層を破壊するという問題¹⁾から、フロンおよびハロン消火剤の規制が国際的に合意され、国内においても1988年に「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。さらに、ハロン消火剤は、オゾン層を破壊する能力がフロンより著しく大きいという理由から規制の時期が早められ、フロンに先駆けて1994年1月に生産が全廃されることとなった。1994年10月現在におけるおもな規制の内容を表1²⁾に示す。

ハロン規制への対応策としては、回収ハロンのリサイクル、既存の消火設備による代替、そして新消火剤による代替が考えられる。回収ハロンのリサイクルについては、現在ハロンバンク推進協議会で検討が進められている。航空機や美術館等、炭酸ガスやスプリンクラー等の既存の消火設備では窒息や水損が問題になり代替できない場所については、新消火剤を用いた設

備の導入が急務となっている。ハロン消火剤は、高絶縁性、低毒性、高浸透性、低汚損性等の優れた特質を持つ高性能の消火剤であり、代替消火剤についても、消火性能に加えてこれらの特質を有することが要求されている。さらに、開発された代替消火剤が将来にわたって地球環境問題に触れないためには、オゾン破壊係数(ODP)のみでなく地球温暖化への寄与(GWP)が小さいことも望まれる。これらハロン代替消火剤に要求される諸性能の中、本報では、最も基本的な性能であると考えられる「消火性能」と「毒性」の2つを取り上げ、現在開発されているハロン代替消火剤に関する報告例を紹介する。尚、本報では、ハロン代替消火剤をハロゲン族の原子(フッ素、塩素など)を含む化合物に限定した。

ハロン代替消火剤の開発は、主として米国において進められている。米国防火協会によるクリーンエージェント消火設備の基準“NFPA2001³⁾”に掲載されているハロン代替消火剤の種類と物性等を表2²⁾に示す。

表1 ハロン消火剤の規制内容

特定ハロン	生産量及び消費量について 1994年1月1日以降 全廃 (エッセンシャル・ユースのための生産を除く)
代替ハロン (HBFC)	生産量及び消費量について 1996年1月1日以降 全廃 (エッセンシャル・ユースのための生産を除く)
特定フロン (CFC)	生産量及び消費量について 1996年1月1日以降 全廃 (エッセンシャル・ユースのための生産を除く)
代替フロン (HCFC)	1996年 1986年水準を100%とし凍結 2004年 65% 2020年 0.5% (冷凍空調設備の補充用等のみ) 2030年 全廃

(注1) 生産量 = (実際の生産量) - (破壊量)

消費量 = (生産量) + (輸入量) - (輸出量)

生産量の算定値 = (生産量) × (オゾン破壊係数)

(注2) エッセンシャル・ユースの具体的内容の検討については、1994年の締約国会合で決議することとされた。

(注3) 代替ハロンについては、日本では生産及び消費はされていない。

表2 ハロン代替消火剤の種類と物性

呼称 ハロン番号 商品名	ハロン代替消火剤の種類							参考	
	HFC-125 ハロン25 FE-25	HFC-23 ハロン13 FE-13	HFC-227ea ハロン37 FE-200	HBFC-22B1 ハロン1201 FM-100	FC3-1-10 ハロン410 CEA-410	HCFC-124 ハロン241	HCFC Blend A NAF S-III	BFC-1301 ハロン1301	炭酸ガス CO2
分子式	CHF2CF3	CHF3	CF3CHFCF3	CHF2Br	C4F10	CHClFCF3	*1	CH3Br	CO2
分子量	120	70	170	131	238	137	93	149	44
ODP(*2)	0	0	0	0.6	0	0.02	0.04	10	0
沸点 °C	-48	-82	-16	-15	-2	-11	-38	-58	-79
臨界温度 °C	66	26	102	139	113	122	124	67	31
蒸気圧(*3) bar	13	45	4.5	4	3.3	3.8	9.5	16	66.5
消炎濃度 %	8.1	12.4*	6.4*	3.9	5.2*	6.4	-	3.4*	22.0*
毒性(*4) %	>70	>65	>80	10.8	>80	23-29	29	>80	<10
開発メーカー	デュボン	デュボン	グレートレークス ケミカル	グレートレークス ケミカル	3M	デュボン	ノースアメリカンファイアー エンジニアテクノロジー	-	-
現在の状況	-	-	-	1996年廃止	-	2020年廃止	2020年廃止	廃止	-
今後の予定	-	-	-	-	-	-	-	廃止	-

注* : 消防研究所ISOタイプカップバーナーによる測定値、他はFenwalのデータ。全て、n-ヘプタン火炎に対する消炎濃度
 *1: HCFC-123(4.75%)、HCFC-22(82%)、HCFC-124(9.5%)、イソプロペニル-1-メチルシクロヘキセン(3.75%)の混合物
 *2: オゾン破壊係数 (フロン12のODP=1.0)
 *3: 25°Cにおける蒸気圧
 *4: ラット、4時間でのLC50またはALC(%)

表中、呼称がFCではじまる消火剤はフッ素原子と炭素原子から成る化合物であり、呼称がHFCではじまる消火剤は水素原子とフッ素原子と炭素原子から成る化合物である。また、呼称がHBFCではじまる消火剤は臭素原子を、HCFCではじまる消火剤は塩素原子をそれぞれ分子内に含んでいる。

2. ハロン代替消火剤の消火性能評価

消火剤の消火性能評価方法は、①模型火災の消火試験による方法、②拡散火炎に対する消炎濃度による評価、③可燃性混合気に対するピーク濃度による評価、の3種類に大別される。

2.1 模型火災の消火試験

模型火災を用いた消火試験では、後述する拡散火炎の消炎試験における現象に加えて、火災による対流の効果や消火剤の拡散、混合といった要素が含まれるため、実火災に最も近い条件で消火性能を評価することができる。しかし、消火に必要な消火剤の最低濃度は、消火剤の放出時間やノズルの形状、火災規模、火源の配置、予燃条件等、多くのパラメーターに依存する。模型火災の消火試験の一例として、図1に示した6.4 m×6.4 m×2.5 mの室内におけるn-ヘプタン、クリブ及びケーブル火災の消火試験結果⁹⁾を表3に掲げる。

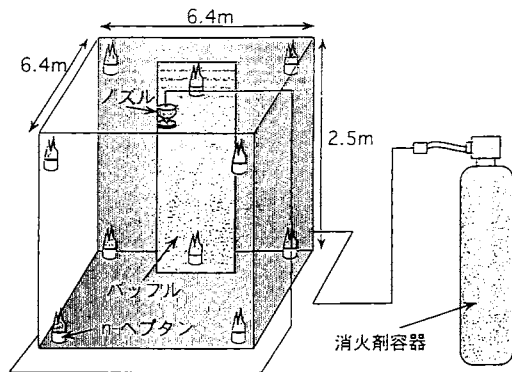


図1 模型火災の消火試験の例

2.2 拡散火炎に対する消炎濃度

小規模の火炎を用いて消火剤の消火性能を評価する方法として、これまでカップバーナー法(図2(a))が一般に用いられてきた。これは、液体燃料を満たしたカップの周囲に下方から消火剤-空気混合気を供給しながら着火し、消火剤濃度を徐々に増加させて火炎が消失するときの混合気中の消火剤濃度(消炎濃度)を測定するものである。この方法は、模型火災の消火試験に比べ実火災の条件からは遠ざかるが、実火災消火実験と相関する結果が得られ、しかも使用する消

表3 模型火災の消火試験結果

消火剤	可燃物	放射量 (kg)	放射時間 (s)	濃度 (%)	消火時間 (s)
HFC-23	n-ヘプタン	40	22	12.7	1点不消火
	φ75×100mm 10ヶ所	45	28	13.9	1点不消火
HFC-227ea	n-ヘプタン φ75×100mm 10ヶ所	50	30	6.4	134
		50	10	6.4	28
		60	39	7.8	50
		60	13	7.7	23
	クリブ 40×40×500mm 23本 5段積み	62	36	8.0	34
		50	30	6.5	97
	CEケーブル 23本	62	36	8.0	27
50		30	6.5	300	

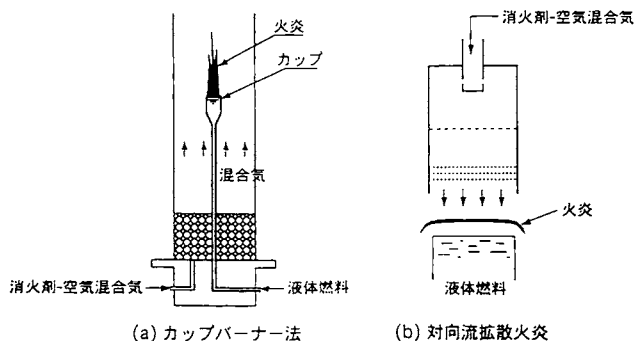


図2 拡散火炎に対する消炎濃度の測定方法

火剤量や労力が少なく済むという利点を有する。表4に、消防研究所で測定したn-ヘプタンに対するハロン1301とハロン代替消火剤の消炎濃度⁹⁾を、NFPA2001に記載されている各機関の測定値³⁾と共にまとめた。

表4に示したカップバーナー法の消炎濃度には測定機関により約20%程度のばらつきが見られるが、その原因は、バーナー規模や消火剤濃度増加速度等の相違であると考えられる。これらのパラメーターの影響を

排除できる消炎濃度の測定方法として、対向流拡散火炎を用いた方法⁶⁾がある(図2(b))。カップバーナー法はカップの下方から混合気を供給するため、測定中に火炎の形状や火炎位置が変化するのに対し、対向流拡散火炎バーナーの場合は燃料容器の上方から混合気を供給するため、形成される火炎が平面構造をとり、消炎まで測定条件が一定に保たれる利点がある。表4に、対向流拡散火炎の消炎濃度⁹⁾を併記した。ハロン

表4 ハロン1301およびハロン代替消火剤の消炎濃度
(燃料:n-ヘプタン)(体積%)

消火剤	カップバーナー法						対向流拡散火炎 (噴出速度0.3m/s)
	文献 (5)	文献(3)					
		NRL	3M	NMERI	Fenwal	GLCC	
ハロン1301	3.4	3.1	3.9	2.9	3	3.5	2.9
HFC-23	12.4	12	—	12.6	12	12.7	12.7
HFC-227ea	6.4	6.6	—	6.3	5.8	5.9	6.4
FC-3-1-10	5.2	5.2	5.9	5	5.5	—	5.1

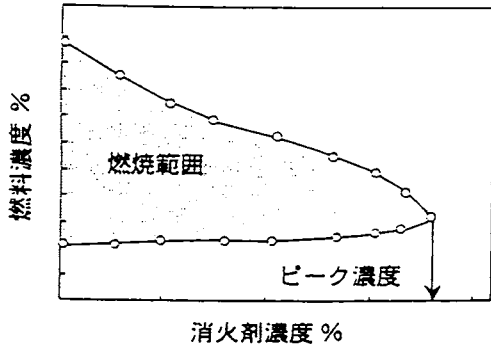


図3 燃焼範囲とピーク濃度

代替消火剤の消炎濃度はいずれもハロン1301の消炎濃度より大きい、このことはハロン代替消火剤の消火性能がハロン1301より劣っていることを示している。

2.3 可燃性混合気に対するピーク濃度

メタン、プロパン等の可燃性ガスを含む混合気が燃焼し得る可燃性ガスの濃度範囲を、燃焼範囲という(図3)。燃焼範囲内にある可燃性混合気に消火剤を添加していくと、可燃性ガスの濃度に関わらず燃焼が全く起こらなくなる最低の消火剤濃度が存在する。この消火剤濃度をピーク濃度といい、消火剤の消火性能の指標に用いることがある。

ピーク濃度の測定法としては、NFPA2001²⁾に掲載されている球形容器(図4(a))のような爆発容器法が一般的であったが、最近になって、より信頼性の高い測定法である管状火炎バーナー法(図4(b))が研究者の間で用いられるようになった⁸⁹⁾。管状火炎バーナー法による、消火剤添加混合気の燃焼範囲⁹⁾を図5に、またハロン代替消火剤のピーク濃度⁹⁾を爆発容器法によるデータと共に表5に示す。

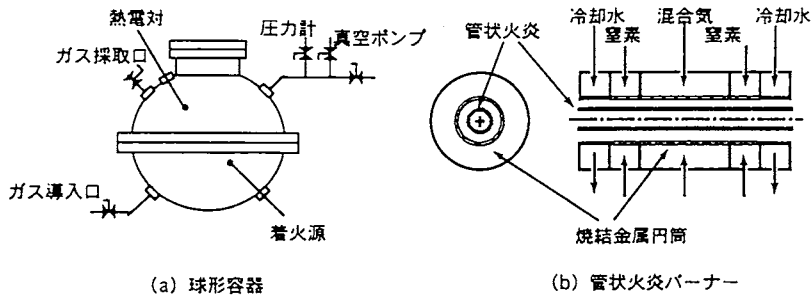


図4 ピーク濃度の測定方法

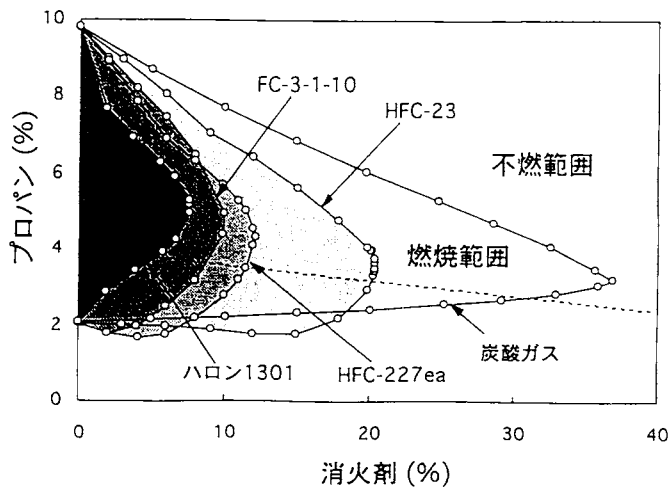


図5 プロパン-空気-消火剤混合気の燃焼範囲

表5 ハロン1301およびハロン代替消火剤のピーク濃度

燃料	消火剤	ピーク濃度 (%)			
		管状火炎 バーナー法	爆発容器法		
			文献 (3)	文献 (10)	文献 (11)
メタン	ハロン1301	6.2	—	4.0	6.9
	HFC-23	20.5	20.2	—	—
	HFC-227ea	11.6	—	8.0	—
	FC-3-1-10	9.4	—	—	7.8
プロパン	ハロン1301	7.6	7.7	8.0	6.0
	HFC-23	20.5	20.2	—	—
	HFC-227ea	12.1	—	11.6	—
	FC-3-1-10	10.0	10.3	—	9.0

2.4 ハロン代替消火剤の消火性能

表3～5に掲載されているハロン代替消火剤は、いずれもハロン1301に比べて消火性能が劣っている。表2中のHBFC-22B1はn-ヘプタンに対する消炎濃度が3.9%であり、ハロン1301に最も近い消火性能を有するが、1996年には廃止されることが決まっている。

分子内に臭素原子を持たないFCおよびHFCの消火性能を比較すると、分子内のフッ素原子の数が多い消火剤ほど消炎濃度やピーク濃度が低く、消火性能が高い傾向が認められる。FC-3-1-10、HFC-227eaおよびHFC-23は、この順序で消炎濃度やピーク濃度が増大するが、これらの消火剤の分子内フッ素原子数は各々10個、7個、3個である。ハロン1301の消火効果が臭素原子による化学的抑制効果であるのに対し、FC及びHFCの主な消火効果は、消火剤の分解により生じるフッ素化合物の熱的および化学的作用によると考えられている。

表4に示したハロン代替消火剤の消炎濃度を重量%に換算すると、消火性能の大小関係は逆転する(表6)。重量%で比較した場合、ハロン1301を除くとHFC-23の消火性能が最も優れているが、これは、分子内のフッ素原子数の炭素原子数に対する比が大きいこと、および火炎中で生成するCF₃ラジカルによる化学的抑制効果²⁰⁾が大きいことによると考えられる。

表6 カップバーナー法による消炎濃度
(燃料:n-ヘプタン) (重量%)

ハロン1301	15.3
HFC-23	25.5
HFC-227ea	28.6
FC-3-1-10	31.1

3. ハロン代替消火剤の毒性評価²⁾

ハロン代替消火剤の消火性能はハロン1301より劣るため、ハロン代替消火剤を用いた消火設備の設計濃度は、ハロン1301の場合よりも高くしなければならないことが予想される。しかし、ハロン代替消火剤の設計濃度が、その物質に対して毒性安全上許容される最高濃度より高くなるようであれば、その物質をハロン1301の代替消火剤として使用するべきではない。新消火剤の採用に当たって、消火性能と毒性は、このように切り離して考えることができない関係にある。

ハロン代替消火剤と分解ガスの各々について、報告されている毒性データの一部を以下に紹介する。

3.1 ハロン代替消火剤の毒性

ハロゲン化物消火剤の毒性は、心臓の亢進作用として現れることが知られている。心臓に対して深刻な毒性効果が認められない最大の消火剤濃度をNOAEL(無毒性濃度)、深刻な心臓の亢進作用が現れる最小の消火剤濃度をLOAEL(最小毒性濃度)と呼び、ハロン代替消火剤の毒性評価の指標として用いることが多い。NFPA2001²⁰⁾に掲載されているハロン代替消火剤のNOAELとLOAELを、50%致死濃度LC₅₀と共に表7に示す。

消火剤自身の毒性の他に窒息の危険を考慮すると、空気中の酸素濃度を16%以下にしないようにすること、即ち消火剤の濃度を24%以上にしないことも、安全上の重要な事項である。

3.2 分解ガスの毒性

ハロン代替消火剤の分解ガスの毒性が消火剤自身の毒性より大きいことは、ハロン1301の場合と同様に明らかである。火災時にFCおよびHFCから発生する分解ガスの主な有毒成分は、フッ化水素とフッ化カルボニ

表7 ハロン代替消火剤の毒性

消火剤	LC50または ALC(%)	無毒性濃度 (NOAEL,%)	最小毒性濃度 (LOAEL,%)
FC-3-1-10	>80	40	>40
HBFC-22B1	10.8	2	3.9
HCFC Blend A	64	10.0	>10
HCFC-124	23-29	1.0	2.5
HFC-125	>70	7.5	10.0
HFC-227ea	>80	9.0	10.5
HFC-23	>65	50	>50
Halon1301	>80	5	7.5

ルである。高濃度のフッ化水素を吸入すると、呼吸器の刺激、肺の炎症とうっ血、循環器の衰弱及びひどい火傷などの症状が現れる。分解ガスに関する研究例として、図6に示した1.8m×1.8m×1.8mの室内における模型火災による消火剤の分解試験結果⁹⁾を図7に示す。いずれの消火剤とも消火後のフッ化水素濃度は、消火に要する時間に比例している。また、FC及びHFCによる消火時のフッ化水素濃度はいずれも同様なレベルで、ハロン1301の場合の約6～8倍に達している。

ハロン代替消火剤の毒性データと比較し、消火後の分解ガスの毒性に関する資料は現在のところ非常に少ない。今後、ハロン代替消火剤による消火後の分解ガス毒性に関するデータを蓄積していくことが重要な課題である。

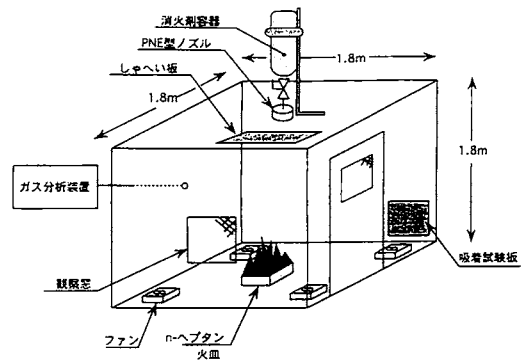


図6 消火剤分解試験装置

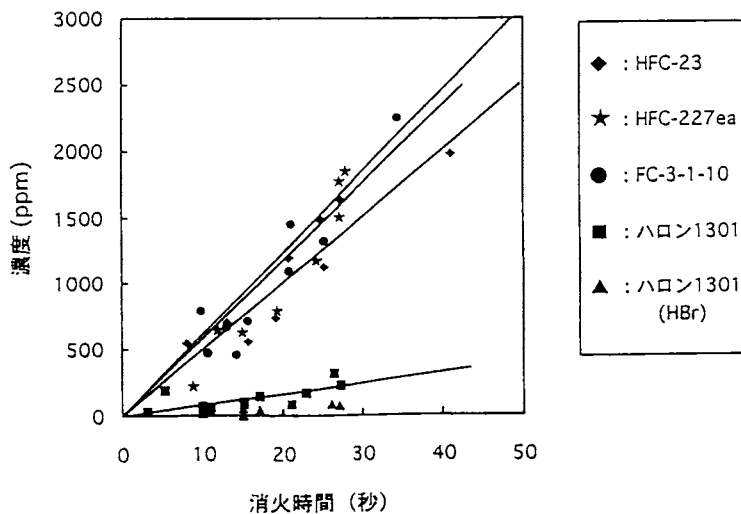


図7 消火後30秒経過時のフッ化水素濃度

4. おわりに

消防研究所は、平成5年度に上原陽一横浜国立大学教授を委員長とする「ハロン代替物質の毒性評価に関する研究委員会」を設置し、ハロン代替消火剤の毒性評価方法の検討を開始した。さらに、平成6年度に平野敏右東京大学教授を委員長とする「ハロン代替物質の消火性能評価に関する研究委員会」を設置し、ハロン代替消火剤の消火性能評価について検討を行っている。本報は、この2つの委員会における検討内容の一部を紹介したものである。これらの委員会は平成6年度も引き続き活動が行われており、その成果は報告書として発表される予定である。

参考文献

- 1) 佐宗祐子：「オゾン層破壊とハロン規制について」、消研輯報、第43号、26-29 (1989)
- 2) 「平成5年度ハロン代替物質の毒性評価に関する研究委員会中間報告書」、消防研究所 (1994)
- 3) NFPA2001、“Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems” (1994)
- 4) 「ハロン抑制対策検討委員会報告書(平成5年度)」、消防庁予防課 (1994)
- 5) 井上康史、斎藤直、佐宗祐子、尾川義雄：平成6年度日本火災学会研究発表会概要集、48-51 (1994)
- 6) 佐宗祐子、斎藤直、廖赤虹、尾川義雄、井上康史：消防研究所報告、第78号、42-50 (1994)
- 7) A. Hamins, D. Trees, K. Seshadri and H. K. Chelliah : The 25th Symp. (Int.) on Comb. (1994)
- 8) S. Ishizuka : J. Loss Prev. Process Ind., 4, 185-193 (1991)
- 9) 尾川義雄、廖赤虹、佐宗祐子、斎藤直、井上康史：平成6年度日本火災学会研究発表会概要集、44-47 (1994)
- 10) GLCC : “FM-200, Environmentally Superior Fire Extinguishant for Total Flooding Applications” (1993)
- 11) 3M, Technical Information (1992)
- 12) P. R. Westmoreland, D. R. F. Burgess, Jr., W. Tsang and M. R. Zachariah : The 25th Symp. (Int.) on Comb. (1994)

火災性状把握避難誘導システムの概要

河関大祐、佐藤晃由、田村裕之、細川直史

1. はじめに

近年、高層かつ大規模な建物が各地に建築されるようになってきている。これに伴い、消防隊が広大な建物内部の火災性状を迅速に把握したり、自力避難ができない在館者の状況を把握することなどが困難になりつつある。このため、在館者の迅速な避難誘導及び消防活動に支障をきたすことも予想される。

筆者らは、これまで試作してきた火災を早期かつ確実に感知するインテリジェント火災感知システム「火災性状把握システム」の機能を拡張し、建物内部の火災性状を把握するとともに、建物内の在館者を迅速に把握し、避難誘導を行う機能を持つシステム「火災性状把握避難誘導システム」の試作に関する研究を、中国科学技術大学及び松下電工(株)との共同研究として行っている。ここでは、その概要を説明する。

2. システムの概要

試作中の「火災性状把握避難誘導システム」は火災を早期かつ正確に感知し、火災の状況を的確に把握するための「火災性状把握システム」と、建物内で自力避難が困難な在館者を迅速に把握し、避難誘導を行うための「在館者把握避難誘導システム」から構成される。さらに、「火災性状把握避難誘導システム」の総合的な機能及び効果を確認するための実験は困難なため、「火災拡大避難誘導シミュレーションシステム」を試作し、総合的な機能及び効果を確認するためのシミュレーションを行っている。

従って、本試作システムは図1に示すように、3つのシステムで構成される。以下にそれぞれの機能につ

いて述べる。

2.1 火災性状把握システム

「火災性状把握システム」は、昭和63年度から平成4年度の研究^{1,2)}で試作したシステムである。このシステムは、火災を早期かつ正確に感知するとともに、アナログ式複合型火災感知器により火災の状況を継続的に把握する機能を有している。しかし、本研究で試作する「火災性状把握避難誘導システム」では在館者の避難誘導を行うため、火災感知後の建物の全般的な火災拡大状況の把握を行う必要があるが、火災の進展に伴い、部分的にシステムが破壊される恐れも予想される。そのため、火災感知以後の状況も継続して状況を把握できるかどうか、火災性状把握システム全体の耐熱性を検討している。

最近の実際の建物では、自動火災報知システムに関する信号伝送線等は建物内のパイプダクト等の熱的に保護された環境に設置されている。従って、本研究ではパイプダクトに収納された信号伝送線よりも、火災性状把握システムの中で最も高温にさらされやすく、耐熱限界の低い複合型火災センサー及びPIRセンサーの耐熱性を基準として、これらの環境における信号の劣化等の試験を行っている。

なお、火災性状把握避難システムは、熱・煙・一酸化炭素ガスセンサーの3素子からなる複合型火災センサーから得られる温度、煙濃度、一酸化炭素濃度の信号のほか、下記の在館者把握システムにおける人体赤外線センサー（焦電型PIRセンサー）から得られる炎の有無に関する信号により、建物内各部の火災炎の状況を把握することもできる。

2.2 在館者把握避難誘導システム

「火災性状把握避難誘導システム」における「在館者把握避難誘導システム」は、建物内で自力避難が困難な身体障害者等の災害弱者を含む在館者の迅速な把握を目的とする「在館者把握サブシステム」と避難誘導を目的とする「避難誘導サブシステム」から構成される。

2.2.1 在館者把握サブシステム

在館者把握サブシステムでは、PIRセンサー、非常用構内通報機、特殊ドアロック、ペンダント式信号発信器などの機器を用いて、室内の人の有無を検知する

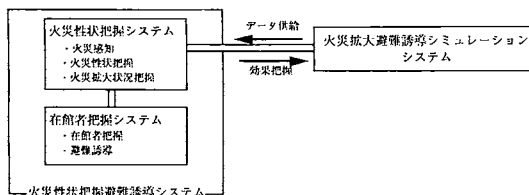


図1 火災性状把握避難誘導システム及び火災拡大避難誘導シミュレーションシステム構成図

手法の組合せ方法等を検討している。

・PIRセンサー

PIRセンサーは、焦電型赤外線素子により人体から輻射される赤外線を検知し、人の有無を判別する機器である。本システムで使用するPIRセンサーは室内の広い範囲で、人体のわずかな動作を検知できるように、広域微動検知型のもを採用している。これまでの試験結果では、ソファに座って本をめくっている場合や、ベッドに眠っている人でも寝返りをうつなどすれば、布団をかぶっていても検知できることがわかっている。

さらに、本システムにおけるPIRセンサーは、人体検知のほか、火災の炎から輻射される赤外線も検知できるため、上述のように火災性状把握システムにおける炎センサーとしての機能も有する。

このPIRセンサーで、火災の炎と人体の赤外線を識別できるか否かという問題が生じるが、多くの場合、両者の識別は同じ位置に設置してある複合火災感知器の煙・熱・COガスの情報と比較すれば識別できる。しかし、室内空調気流により、煙・熱・COガスは複合型感知器に到達しないで、炎の赤外線のみがPIRセンサーに到達する場合、火災の炎か人体赤外線か識別できるかという問題が残る。この場合に対して、火災の炎と人体の赤外線との挙動の違い等から両者を識別できるか否かの研究を行っている。

ここで、当然ながら、PIRセンサーではセンサーの検知範囲に人がいなければ検知できない。従って、ホテル客室のバスルームに人がいたり、PIRセンサーがカバーしない死角の場所に人がいる場合の在館者把握の必要性が生じる。このため、ホテル等に設置してある電話器と非常用構内通報機を在館者把握サブシステムに用いることを検討している。

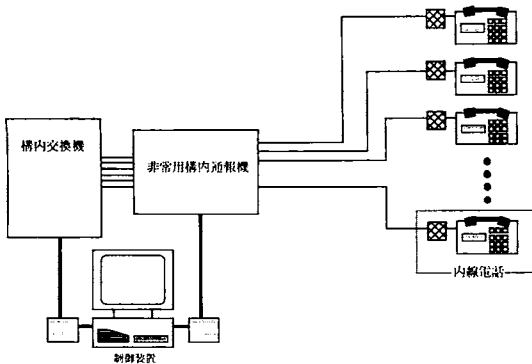


図2 在館者把握用構内電話機器構成図

・非常用構内通報機

館内電話はすでに通常広く設置されており、これを防災用に活用することは、コスト面からも有効である。非常用構内通報機は、図2に示すように、内線電話器と構内交換機の間に取り付ける装置で、火災発生時に起動して内線電話の一斉呼び出しを行う装置である。さらに、呼び出しに出た人に対して避難を促すメッセージを伝えると同時に、呼び出し応答の有無、すなわち人の有無情報の取得を行うことができる。在来型の非常用構内通報機では、避難を促すメッセージが数種類に固定されており、火災状況に応じたメッセージの選択はできない。また、現在、自動火災報知設備との接続は全く考慮されていない。

そのため、両者を接続するインターフェースを開発するなどの改造を行った。このインターフェースを用いるほか、火災の進展状況に応じてメッセージが変更されるように、避難メッセージ用の文節選択を組み合わせてメッセージを合成する方法を採用した。また、難聴者のように音声メッセージが受けられない場合もあるため、本システムではランプ点滅と文字表示機能付きの内線電話器を使用し、音声メッセージと文字メッセージにより避難情報を提供する。

ところで、非常用構内通報機を用いた電話の応答の結果は、電話応答があった時点だけの在館者情報である。このことに留意し、PIRセンサーを含め、全体としてどのように在館者把握システムを構成すべきか、種々の機能のセンサー及びその複合構成を試験している。

・特殊ドアロック

特殊ドアロックは、施錠が部屋の内側からされているか、外側からされているかの信号出力が得られるドアロックであり、ホテル客室等の人の有無を判定することができる。火災性状把握避難誘導システムでは、表1に示すようなルールにより人の有無を判定する。施錠の信号は、火災性状把握システムの火災検知センサーと同じ信号線を使用して在館者把握システムの受

表1 ドア施錠状態に対する在室者の有無判定ルール

施錠状態	部屋の定員	判定結果
施錠なし	1	不確定
	複数	
内から施錠	1	在室者あり
	複数	
外から施錠	1	在室者なし
	複数	

信装置に送られる。

・ペンダント式信号発信器

自力避難が困難な在館者のうち、過去の火災事例からみても、身体障害者等災害弱者の在館情報把握は極めて重要度が高いものである。

ペンダント式信号発信器は、特に災害弱者を対象とした装置で、災害弱者が常時携帯し、火災時の避難勧告に対して自力避難できない場合にペンダントのボタンを押して信号電波を発信し、救護者に位置を知らせるものである。信号電波は、近傍の受信機で受信しなければならない。火災性状把握避難誘導システムでは、図3に示すように、自動ダイヤル装置と連動する受信機を内線電話に付加する方式を採用する。これにより、通常時には、ペンダント保持者の急病等の緊急連絡用にも使用できる。なお、ペンダントからの発信電波の検知情報は火災性状把握システムの火災検知センサーと同じ信号線を使用して在館者把握システムの受信装置に送られるため、非常用構内通報機との競合は起こらない。

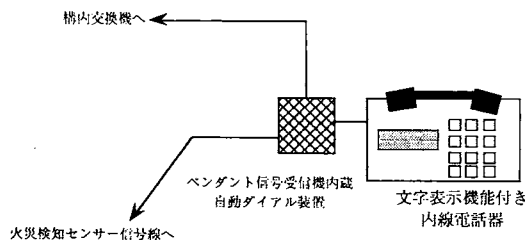


図3 ペンダント信号受信機内蔵自動ダイヤル装置配置図

2.2.2 避難誘導サブシステム

避難誘導サブシステムは、火災性状に関する情報及び在館者に関する情報を基に避難誘導を行うためのサブシステムである。この部分は、以下に述べる火災拡大避難誘導シミュレーションシステムによるシミュレーションにより、光点減式避難誘導灯や避難誘導放送など既存の装置を用い、最適な避難誘導の手法を得るための検討を行っている。

2.3 火災拡大避難誘導シミュレーションシステム

火災性状把握避難誘導システムの総合的な機能及び効果を実際に確認するためには、火災実験を行う建物と火災状態の建物内を避難する在館者を必要とするなど、実験の実施には大きな困難がある。

また、現在、一般の電子システムの開発においても、実験によるシステムの性能確認が困難

な場合には、インプットデータを供給するシミュレーションシステムが同時に開発され、用いられている。

このような状況から、本研究では、「火災拡大避難誘導シミュレーションシステム」によるコンピューターシミュレーションにより、建物内の火災状況及び避難誘導状況を疑似し、「火災性状把握避難誘導システム」に対するインプットデータとして供給し、全システムの火災感知・在館者把握・避難誘導などの総合的機能及び効果を確認することとしている。

従って、本シミュレーションシステムは、「火災性状把握避難誘導システム」と接続し、同システムの機能及び効果を把握するために用いる。試作中の「火災拡大避難誘導シミュレーションシステム」はワークステーションをベースとした「火災拡大避難シミュレーション装置」上で稼働し、「火災性状把握避難誘導システム」に対して、シミュレーションによるインプット情報を供給し、その機能と効果を把握するための下記の主な機能を有するソフトウェアである。

本システムの主な機能は、以下の通りであり、図4に示すような構成となっている。

- ・建物の任意の形態・火災性状・在館者状況シナリオを設定する機能。
- ・フィールド・ゾーン・ネットワークモデル (F-Z-Nモデル) による火災拡大性状のシミュレーションを行う機能。ここでは、火災室における複合型感知器への煙・熱・COガスの到達状況はフィールドモデルと呼ばれる計算法で求め、廊下から階段及び上階への拡がりなどは、シミュレーション装置の制約から

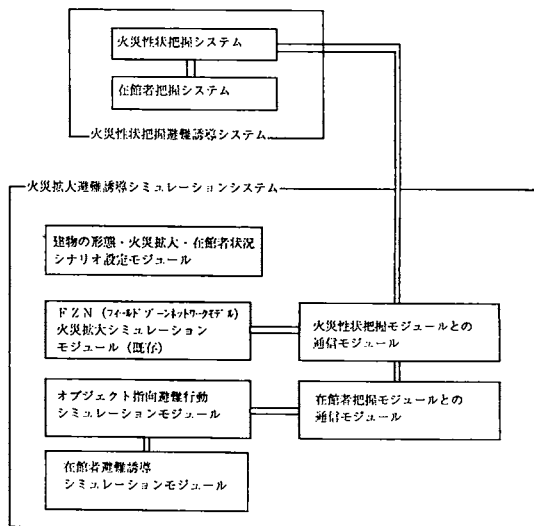


図4 火災拡大避難誘導シミュレーションシステム機能構成図

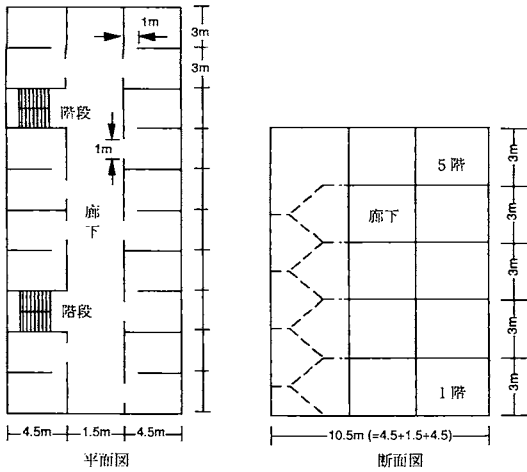


図5 F-Z-Nモデルのシミュレーション対象建物構造図

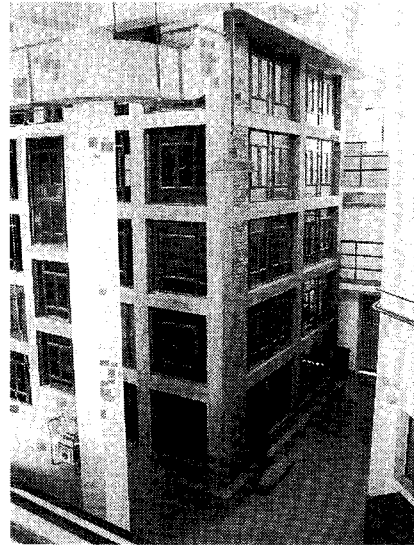


写真1 F-Z-Nモデルのシミュレーション対象建物1/2模型（中国科学技術大学所有）

ゾーン・ネットワーク・モデルと呼ばれる簡便な計算法でシミュレーションを行っている。シミュレーションの対象として現在使用している建物の構造図と実験との比較検討を行うための1/2スケール模型（中国科学技術大学所有）を図5及び写真1に示す。

- ・火災性状把握システムと在館者把握サブシステムとをイーサネット接続し、データを相互送信する機能。
- ・シミュレーションの結果を3次元可視化ツールAVS上に表示する機能。（写真2参照）
- ・避難誘導シミュレーションを行う機能。

ここでは、GA（GENETIC ALGORITHM；遺伝的アルゴリズム）法と呼ばれる手法の適用などを検討している。

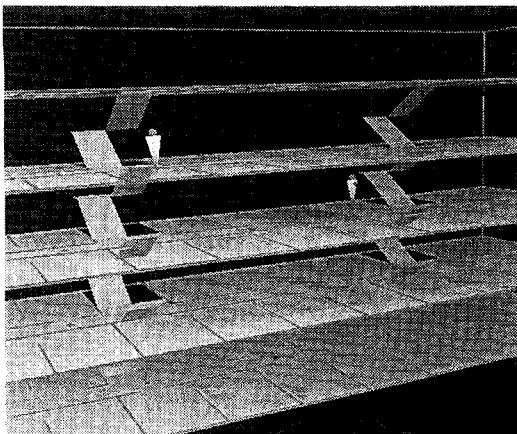


写真2 火災拡大避難誘導シミュレーションシステム表示例

さらに、本研究では、将来、この「火災拡大避難誘導シミュレーションシステム」を、防災センター要員の訓練における疑似火災情報を供給するシステムとして用いることや、建物の防災システムの設計において、総合的シミュレーションにより、最適な設計に応用することなども考えている。

3. おわりに

ここでは、現在試作中の「火災性状把握避難誘導システム」について解説した。

本システムは、火災を早期かつ正確に感知する「火災性状把握システム」を基礎とし、「在館者把握避難誘導システム」と「火災拡大避難誘導シミュレーションシステム」を加えたシステムであり、コンピューターシミュレーションにより、建物内の火災状況及び避難誘導状況を疑似し、全システムの火災感知・在館者把握・避難誘導などの総合的機能及び効果を確認することを検討している。これにより、視聴覚障害者等災害弱者を含めた避難者の救助のための効果的なシステムを試作する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤、竹元、河関：「火災性状把握システムに関する研究（その1、その2）」、消防研究所研究資料第25、26号（1991）
- 2) 佐藤、河関、田村、細川：「火災性状把握システムに関する研究（2次）」、消防研究所研究資料第28号（1993）

音声明瞭度の評価法

松原美之、稲垣 實

1. はじめに

筆者らは、屋外防災スピーカーよりの放送の明瞭度が音声の競合により低下する機構を明らかにすることをめざした研究を実施しており、その中で音声の明瞭度を客観的に評価する必要性が生じてきた。本稿は、音声明瞭度を数量化して評価する手法について解説するものである。放送された音声の明瞭度が劣化する度合、すなわち、音声伝送路の優劣の評価法は、屋外防災スピーカーの明瞭度の改善を目的とする研究以外にも、消防防災の多くの場面で活用できるものである。

放送された音声が届き手に伝わる間に、伝達経路の異なる間接音およびノイズが、直接音に重なり合い、その結果、聞き手は話手が発した音声に比べ明瞭度の劣化した音声を聞くこととなる。明瞭度が劣化する度合は、残響時間、エコー、ノイズなどの音声が届かされる空間の特性によって変わる。

音声伝送路の優劣を較べる場合、最も簡単に思いつく方法は肉声を使って音節や文節の聴取を行う明瞭度テストを用いる方法である。しかし、この直接的方法是測定に主観が入るため再現性に乏しく、確かな結果を得るためには熟練した話し手と多数の聞き手が必要なこと、音声伝送路で明瞭度が劣化した原因についての情報が得られないこと等の欠点がある。

これらの欠点のない客観的な明瞭度のテスト方法として考えられたのがAI (Airticulation Index) 法²⁾であり、更にAI法から発展したのがSTI (Speech Transmission Index) 法^{2,3)}である。本稿では、AI法とSTI法による音声明瞭度測定法の概略を解説する。また、STI値を計算する際に用いられるMTF (Modulation Transfer Function) ^{2,3)}についても、あわせて説明する。

2. AI法

AI法は、音声信号の明瞭度が劣化するのは、着目する周波数帯の音声記号がノイズ及び他の周波数帯の音声信号により、覆い隠されるためであると考え、その程度を定量化する評価方法である。すなわち、AI法では以下にあげる四つのステップにより、音声の明瞭度を定量化する。

第1ステップ 人間の音声はおおよそ1kHzを中心とする数オクターブの周波数に分布している。この周波数帯を7個の1オクターブ幅の周波数帯（以下、「オクターブ・バンド」と呼ぶ）に細分し、ノイズの強度及び各オクターブ・バンドごとの音声信号の強度を求める。

第2ステップ 各オクターブ・バンドごとの実効SN比を、ノイズ強度、そのオクターブ・バンドにおける音声信号強度、及び、隣接するオクターブ・バンドの音声信号によるマスクから計算で求める。人間の聴覚器官では、低い周波数帯の音の存在が高い周波数帯の音をマスクして聞きづらくなるという特性があり、マスキング効果と呼ばれている。マスクとは、この、異なる周波数の信号が音声信号に重なった場合に、ノイズとしてどの程度の影響となるかを示す量で、重なる信号の強度と周波数から求められる。

第3ステップ 各オクターブ・バンドごとの実効SN比を、+18dbを1、-12dbを0とした直線目盛りで、0から1の指数に変換する。+18dbを越える場合には1を、-12dbを下回る場合は0を指数として与える。

第4ステップ 各オクターブ・バンドごとに得られた指数に、オクターブ・バンドごとの重み付けをして加えあわせ、AI値を算出する。なお、オクターブ・バンドごとの重みは、音声伝達に於けるそのオクターブ・バンドの重要度に応じて与えられている。

AI法を用いれば直接的方法の欠点である再現性の問題は無くなる。しかし、AI法では残響やエコー等のように、同一周波数の音声時間が時間差を伴って到達し、重なることによる明瞭度劣化を評価するには適していない。これは、AI法では細分化された各帯域の音声があるいは他の周波数の音声によって妨害されるこ

とが明瞭度劣化の原因であるとしているためである。

3. STI法

STI法もAI法と同様に、7つのオクターブ・バンドごとの実効SN比をまず求める。しかし、STI法では、MTF (Modulation Transfer Function) と呼ばれる量を導入することにより、残響やエコーのような、同一周波数ではあるが到達時間に差のある音声为重畳することによる明瞭度の劣化が評価できる。本節では、まずMTFについて簡単に説明したのち、STI法を解説する。

前述したように、音声伝播する途中で明瞭度が劣化するの、ノイズの重畳及び異なった伝送路を経由した時間差を伴う音声の重畳により起きる。そして、これらはどちらも元の音声信号の周波数を変化させない過程である。従って、発生された音声信号の包絡線が聴取点においてどの程度保存されているかを調べることで、聴取点における発声音声の保存状態を評価することができる⁹⁾。

変調度100%の音声信号を放送した場合、ノイズ及び異なった伝送路を経由した時間差を伴う音声为重なり合うと、その結果は変調度の低下という形で、聴取される音声の包絡線に変化が現れる。これは残響がある場合には信号波形の包絡線の凹凸をならしてしまう現象が現れることから容易に想像出来る。

音声伝送路への第k番目のオクターブ・バンドの変調度100%の入力信号を $I_{in}(t)$ 、伝送路を通過した出力信号を $I_{out}(t)$ とすると。

$$I_{in}(t) = I_k (1 + \cos 2\pi Ft) \quad (1)$$

$$I_{out}(t) = I'_k (1 + m_{kf} \cos 2\pi Ft) \quad (2)$$

ここで、 I_k 及び I'_k は信号の強度、 F は変調周波数、 m_{kf} は変調度、 t は時間である。

となる、変調度 m_{kf} は一般に変調周波数 F と音声周波数のオクターブ・バンド(k)の関数となり、この変調度 m_{kf} を音声周波数の関数として表したものがMTFである。MTFは、伝送路の特性に依存する関数であり、また、その性質として、ノイズだけでなく、残響、エコー等放送された音声と同一周波数の音声信号の重畳が音声の明瞭度に与える影響をも反映したものとなる。

ここで、変調度を浅くするものとしてノイズのみを考えると、変調度 m_{kf} は信号強度 I_{est} とノイズ強度 I_{noise} の比によって

$$m_{kf} = I_{est} / (I_{est} + I_{noise}) \quad (3)$$

と表される。

ノイズ以外に残響や異なる経路を経た時間差を伴っ

た音声の重畳が加わる伝送路の場合には、各変調周波数 F と音声周波数のオクターブ・バンド(k)ごとに100%の信号を伝送路に入力し、出力信号の変調度を測定する必要がある。

ある伝送路のMTFが与えられている場合には、SN比、SNR (db)は変調度 m_{kf} から次式で求められる。

$$SNR = 10 \log (m_{kf} / (1 - m_{kf})) \quad (4)$$

物理的なSN比は式(4)により求めることができるが、他のオクターブ・バンドの音声信号が明瞭度に与える影響を含めるためには、以下の手順で前述のマスクング効果の影響を加味した実効SN比に変換する必要がある。すなわち、第k番目のオクターブ・バンドへの、より低音側の第k-1番目のオクターブ・バンドの音声信号によるマスクング効果は、ある強度のノイズと等価であるとみなすことができ、その等価なノイズの強度 $I_{AM,k}$ が次式で求められる。

$$I_{AM,k} = I_{k-1} \times AMF \quad (5)$$

ここで、 $I_{AM,k}$ はマスクングの強度、 I_{k-1} はオクターブ・バンド(k-1)の信号強度、AMFは聴覚のマスクング特性を表わす係数である。

なお、ここでは、隣接するオクターブ・バンドの影響のみを考慮している。さらに低音側のオクターブ・バンドの音声のマスクングも存在するが、一般には、隣接するオクターブ・バンドのみを考慮すれば十分であるとされている。

変調度 m_{kf} の強度 I_k の信号に上述のマスクング効果が加わった場合には、その変調度 m_{kf}' は次式に示す関係式で記述されるように低下する。

$$m_{kf}' = I_k / (I_k + I_{AM,k}) \times m_{kf} \quad (6)$$

その結果、マスクング効果を考慮した実効SN比、 SNR_{kf} (db)は式(4)の m_{kf} を m_{kf}' に置き換えることにより、次式で与えられることとなる。

$$SNR_{kf} = 10 \log (m_{kf}' / (1 - m_{kf}')) \quad (7)$$

この各オクターブ・バンド、各変調周波数ごとの実効SN比、 SNR_{kf} を、次式により指数 TI_{kf} に変換する。

$$TI_{kf} = (SNR_{kf} - S) / R \quad (8)$$

式中の S および R はそれぞれ、実効SN比が指数 TI に影響を与え始めるSN比および指数 TI に影響を与える度合を示す定数である。

ここで指数が1を越える場合には1、0を下回る場合は0と置くこととすると、指数 TI_{kf} は0と1の間の値をとる。このオクターブ・バンド、変調周波数ごとに求まる指数 TI_{kf} を各オクターブ・バンドについて平均したものを MTI_k と呼ぶ。

$$MTI_k = 1 / n \times \sum TI_{kf} \quad (9)$$

ここで、 n は変調周波数の数である。

この各MTI_kに、各オクターブ・バンドごとの音声信号が明瞭度に与える重要度に応じた、合計が1となる重みW_kをつけて、全オクターブ・バンドについての平均を取ることでSTI値が求められる。

$$STI = \sum W_k MTI_k \quad (10)$$

なお、STI値が求める過程でAMF、S、R、W_kなどのいくつかの定数が現れるが、これらの定数に関しては実験的に定める必要がある。

図1にSTIを求めるための概念的な流れを示す。(a)は一般的な音声信号を長時間平均した場合の周波数分布の略図である。実際の音声信号は図1の周波数分布の音波を0.6-12Hzの信号で振幅変調させたものとなる。(b)は音声伝送路の入力信号と出力信号を示す。(c)はSTIを求めるためのデータ・マトリックスである。

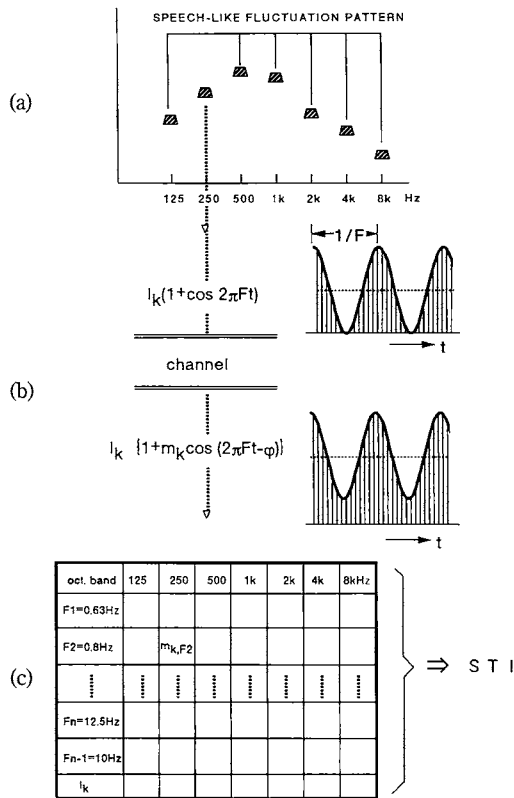


図1 STIを求める過程の概念図
 (a)長時間平均された音声信号強度の周波数分布の概略図
 (b)測定用の入力信号と音声伝送路を通った後の信号
 (c)STIを求める為のデータ・マトリックス

4. まとめ

以上、音声の明瞭度を客観的に評価する方法として知られている、AI法及びSTI法について、その概略を解説した。H. Steeneken等は以上の方法によって得られたSTI値と、細心の注意を払って測定された音声による167の異なる条件下の明瞭度テストとの相関を求め、その結果、標準偏差11%という高い値を得た。彼らの研究では、マスキングに関する定数AMFを0.0003、また、TIkFに対する寄与が零とみなせるS/N比(定数S)を-12dbとした。また、オクターブ・バンドの重要度を示すW_kは、0.0、0.05、0.13、0.2、0.31、0.28、0.03であった。更にH. Steeneken等は重みを適切に選ぶ等の操作を行うことにより標準偏差5.6%を得た。これを図2に示す。

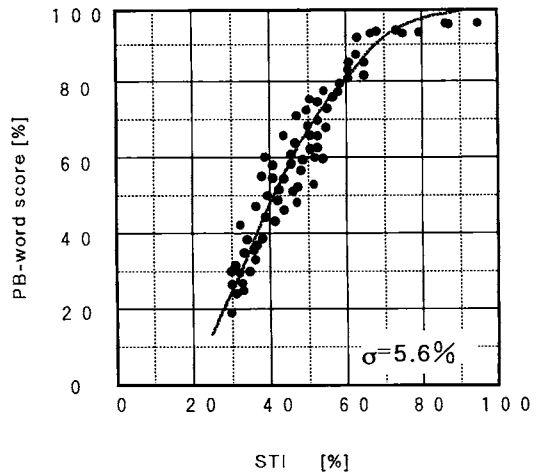


図2 STI値と音声による明瞭度テストとの相関を表わす図。実線は点で表わしたデータの最適曲線である。

今回解説した明瞭度の評価法は元来、音響的に限られた空間、例えばホール等の音声伝送路としての特性優劣を調べる為に考案されたものである。しかし、時間領域の歪にも対応出来るSTI法は、複数の発音源からの音が時間差をもって重なり合うことが明瞭度劣化の原因の一つとなっている屋外防災スピーカ-の明瞭度判定法としても活用することができるものである。

参考文献

1) French, N. B., and Steinberg, J. C. : J. Acoust. Soc. Am., 19, 90 (1947)
 2) Houtgast, T., and Steeneken, H. J. M. : Acoustica, 28, 66 (1973)

- 3) Steeneken, H. J. M., and Houtgast, T. : J. Acoust. Sc. Am., 67, 318 (1980)
- 4) 小椋靖夫、浜田晴夫、三浦種敏：日本音響学会誌、40、181 (1984)

建物火災における主な出火源ごとの 着火物別、出火時刻別発生件数

寒河江幸平

1. はじめに

タバコ、コンロ、火遊び、放火・放火の疑い等は、出火源として火災件数に占める割合が高い¹⁾²⁾。そこで、それらの出火源による火災の特徴を統計分析より見出すことは、防火対策上必要と思われる。

これまで、上記のような分析方法で、出火源別の火災の特徴を分析したものは、かなりある¹⁾²⁾³⁾。それらは単年度のデータの分析が主で、データ数の不足やデータの散発的特異性により火災の一部の特徴が強調される。

また、過去の統計は全体的な火災の件数や死者の発生数を取り扱っている⁴⁾。それらのことは重要であるが、個々の出火源による火災で、着火物別、出火時刻別あるいは出火箇所別の火災件数、死者の発生した火災件数（以下、死者発生火災件数と呼ぶ）等の統計分析を行うことは、火災の特徴を知る上で必要と思われる。

そこで、ここでは時系列的変化等は失われるかも知れないが、10年間のデータより、上記の出火源による着火物別、出火時刻別火災件数、死者発生火災件数等の平均的特徴を分析したので報告する。

ただし、火災は建物火災に限った。住宅火災に限ら

なかったのは、住宅以外にも人の住居する建物もあり、また、建物火災のうち住宅火災が大半を占め⁵⁾、建物火災全体でも、住宅火災の特徴が失われることはない⁶⁾と判断したためである。

2. データ及び分析方法

データは、昭和58年から平成4年までの消防庁防災課所有の全国火災報告マスターテープ記載のものを用いた。火災種別としては、発生件数の多い建物火災で、かつ出火源としては主要な、タバコ、コンロ、火遊び、放火・放火の疑いの4つの火災に絞って分析を行った。

分析は上記の出火源ごとの着火物と死者の有無、出火時刻と死者の有無のクロス統計をとることによって行った。

以下の図において、結果はすべて割合で示した。理由は、各年の火災件数に変動があり、また火災報告のデータに有効でないものもあり、件数で示すより割合で示した方が分かり易いと考えたからである。また、死者発生火災件数は、死者発生総火災件数に対する割合である。

表1に参考のため、昭和58年から平成4年までの総火災件数、総建物火災件数、タバコ、コンロ、火遊び、

表1 昭和58年～平成4年までの総火災件数、総建物火災件数及び主な出火源による建物火災件数

	総火災件数	建物火災件数	タバコ	コンロ	火遊び	放火・放火の疑い
昭和58年	59,740	37,395	3,951	5,285	2,563	4,066
59年	63,789	38,254	3,831	5,817	2,050	4,049
60年	59,865	36,879	3,643	5,833	1,860	4,229
61年	63,272	38,121	3,830	6,689	1,702	4,530
62年	58,833	36,515	3,442	6,802	1,691	4,445
63年	59,674	37,090	3,504	7,039	2,066	4,375
平成元年	55,763	35,186	3,260	6,863	1,776	4,488
2年	56,505	34,768	3,461	6,575	1,522	4,663
3年	54,879	34,263	3,597	6,105	1,535	4,804
4年	54,762	33,532	3,737	5,735	1,463	5,005
合計	537,082	362,003	36,256	62,643	18,228	44,654

放火・放火の疑いによる建物火災件数を示した。

3. 分析結果と考察

3.1 着火物

タバコを出火源とする建物火災の第一着火物は、第一位がふとん・寝具類で全体の約40%、次いで紙屑類で約20%、紙製品が約7%、以下繊維製品、ごみ屑、畳、衣類、木屑類、上敷等である。タバコを出火源とする火災で死者が発生した火災での第一着火物は、第一位がふとん・寝具類で全体の約60%、次いで紙屑類で約9%、畳が約7%、繊維製品、衣類、上敷、紙製品がつづく。図1参照。

図1で、死者発生件数割合を火災件数割合で割ったものは、平均死者発生割合に対する比となり、その比が1より大きいもの、すなわち火災件数割合より死者発生件数割合の高いものは、死者発生件数が火災件数に占める割合が高いものといえる。図1より、上記の比が大きいのは、ふとん・寝具類、繊維製品、畳、衣類、上敷等であることが分かった。

このようにタバコを出火源とする火災を減らすために、既にふとん・寝具類等の防炎化・難燃化が実施されているが、高齢者の死者数も上記の着火物で大きいという結果⁹⁾も考慮して、一層ふとん・寝具等の防炎化・難燃化を推進することが必要と思われる。紙屑類や紙製品を着火物とするタバコ火災も多く、タバコの火や吸い殻の始末に気をつけるよう、喫煙者に注意を促す必要があると思われる。

コンロを出火源とする建物火災では、第一着火物は

動植物油が第一位で全体の約80%を占め、次いでプロパンガスで約4%、板張り・ベニヤ、合成樹脂、都市ガスである。コンロを出火源とする建物火災で死者の発生したものの第一着火物は、第一位が動植物油で全体の約24%、次いで衣類で約22%、プロパンガスが約11%、以下炊事台、都市ガス、繊維製品とつづく。図2参照。火災件数に占める死者発生件数の割合が高いのは、衣類、プロパンガス、板張り・ベニヤ、炊事台、繊維製品等である。

上記のことより、コンロによる建物火災の第一着火物は、動植物油が80%と断然多い。消防訓練等で天ぷら火災の消火実験が行われるのも当然である。今後も同様の訓練が必要と思われる。死者発生火災件数については、火災発生件数のあまり多くない衣類を着火物として死亡する確率が高い。調理時において、取外しの簡単なエプロン等を着、かつエプロン等は防炎化・難燃化処理がなされている必要があると思われる。プロパンガスを着火物とする火災件数及び死者発生火災件数もやや多い。

その他の着火物、例えば合成樹脂等は、調理時のコンロの周りの整理整頓によって、また炊事台、板張り・ベニヤ等は、トタン板等を張ることにより火災をある程度減らすことが出来ると思われる。

火遊びを出火源とする建物火災の第一着火物は、紙屑類が第一位で全体の約30%、紙製品が次いで約18%、以下ふとん・寝具類、わら製品、繊維製品、合成樹脂、唐紙・フスマ、衣類である。火遊びを出火源とする建物火災で死者の発生したものの第一着火物は、第一位が紙屑類で全体の約34%、紙製品が次いで約17%、以

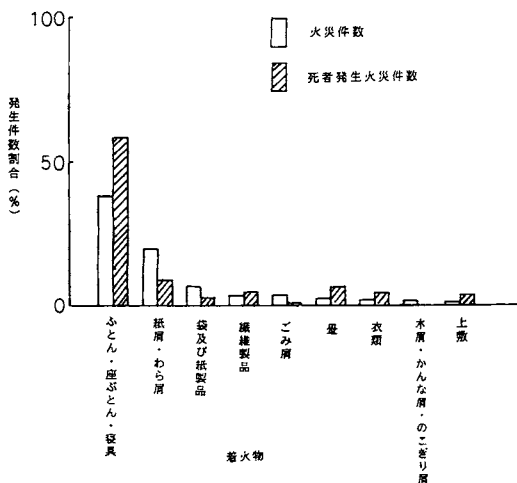


図1 タバコによる建物火災の着火物別発生件数割合と死者発生件数割合

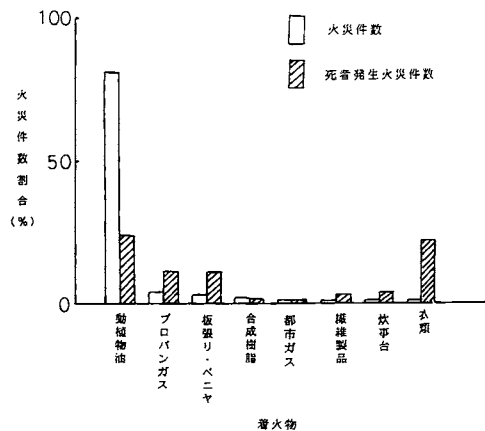


図2 コンロによる建物火災の着火物別発生件数割合と死者発生件数割合

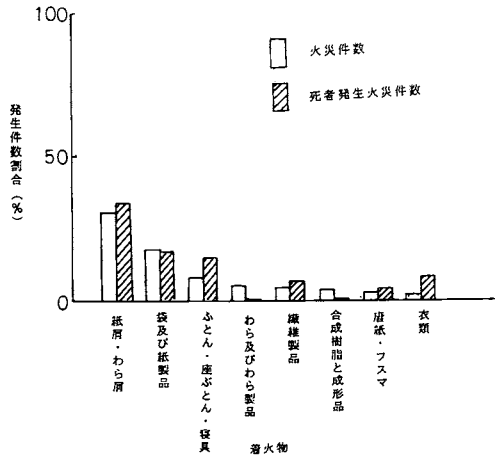


図3 火遊びによる建物火災の着火物別発生件数割合と死者発生件数割合

下ふとん・寝具類、衣類、繊維製品である。図3参照。火遊びを出火源とする建物火災で死者発生件数の割合が高い着火物は、衣類、ふとん・寝具類、繊維製品、紙屑類、唐紙・フスマである。

上記のことより、火遊びによる建物火災の着火物は、紙屑類、紙製品、衣類等が多く、死者発生火災でも同様である。火遊びは、主に子供たちによって行われるので、ぱっと火が立ったときどうしてよいか分からず右往左往し、拡大した火災に巻き込まれるものと思われる。

放火・放火の疑いを出火源とする建物火災では、着火物の第一位が紙製品で全体の約23%、次が紙屑類で約17%、以下礦物油（発火点が21℃以上70℃以下の可燃性油類）、合成樹脂、繊維製品、衣類、ふとん・寝具類である。放火・放火の疑いによる建物火災で死者が発生したものの第一着火物は、第一位が礦物油で全体の約43%、次が衣類で約24%、ガソリン、引火性油類とつづき、約それぞれ8%である。火災件数に占める死者発生火災件数の占める割合が高いのも、礦物油、衣類、ガソリン、引火性油類である。図4参照。

上のことより、放火・放火の疑いによる建物火災では、着火物の第一位が紙製品、次いで紙屑類で、これらは、自殺あるいは殺人を目的としない放火等に用いられるものであろう。次いで多い礦物油、衣類、ふとん・寝具類、プロパンガス、ガソリン、引火性油類等は主に放火自殺、放火殺人等に使われるものか考える。ここでは、放火自殺者を統計から外さなかった。理由は、自殺を目的としながら、死に至らなかった火災の処理に困ったためであり、放火火災全般の傾向を

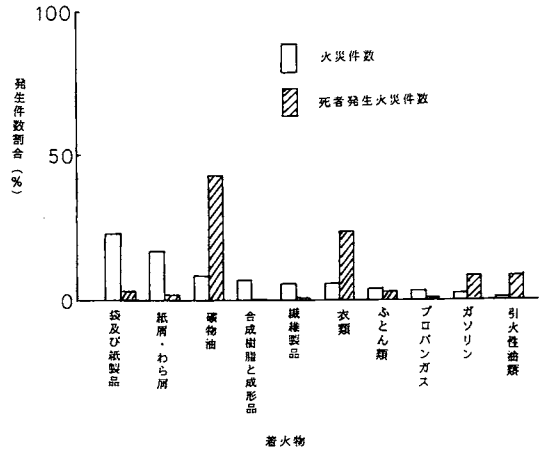


図4 放火・放火の疑いによる建物火災の着火物別発生件数割合と死者発生件数割合

も知りたかったためでもある。

3.2 出火時刻

タバコを出火源とする建物火災の出火時刻別発生件数は、朝5、6時頃が最も若干少なく、一日中ほとんど差がない。死者発生火災件数では、夜半に多く1時頃にピーク、そして朝方4時頃にもピークをもつ。火災件数に対する死者発生件数の割合が高いのは、やはり夜半である。図5参照。寝タバコや飲酒による喫煙によるものが主と思われる。

コンロを出火源とする建物火災の出火時刻別発生件数は、夜半に少なく、朝食時、昼食時、夕食時に多く、とくに夕食時に高いピークをつくる。天ぷら等の調理が主に夕食時に多いと思われる。死者発生火災件数では、一日中変化はないが、朝方4時ごろが少なく、日中にやや多い。火災件数に対する死者発生火災件数の割合は、夕食時に低く、夜半に高くなっている。図6参照。発生火災件数に対する死者発生火災件数の割合は夜半に高い。夜食等の煮炊きを半睡状態あるいは

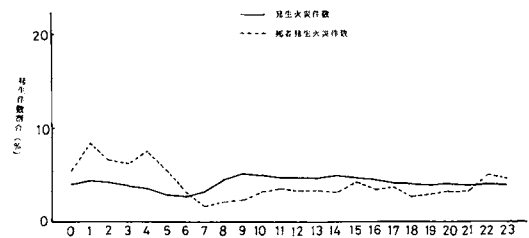


図5 タバコによる建物火災の出火時刻別発生件数割合と死者発生件数割合

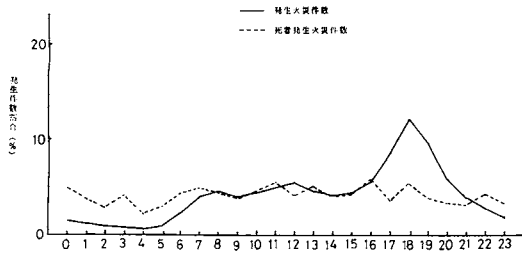


図6 コンロによる建物火災の出火時刻別発生件数割合と死者発生件数割合

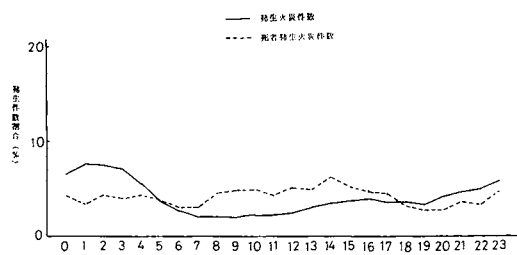


図8 放火・放火の疑いによる建物火災の出火時刻別発生件数割合と死者発生件数割合

酩酊状態で行うためと思われる。

火遊びを出火源とする建物火災の出火時刻別発生件数は、夜半に少なく、子供たちの下校後の15時、16時頃に大きいピークをもつ。この特徴は、東京消防庁の統計結果と若干違う。東京消防庁の分析では16時台が最も多くなっている。地方と東京では出火時間帯に差があると予測される。死者発生火災件数は、朝方から上昇しはじめ、10時頃から昼12時頃まで一つのピークをつくり、15時頃にも大きいピークをもつ。15時頃に多いのは、上記のことから分かるが、午前には判然としない。曜日別の分析が必要と思われる。出火時刻別火災件数に占める死者発生火災件数の割合が高いのは、夜22時以降早朝までと、朝6時頃から昼12時頃までである。図7参照。

対策としては、子供たちに火事の恐ろしさを言い聞かせること及び発火源となるものを子供たちの手の届かない所に置くこと等が必要と思われる。

放火・放火の疑いによる建物火災の出火時刻別発生件数は、夜23時から早朝にかけてが大きな山で、特に夜半の2時頃から4時頃にかけて多い。朝から昼頃までは発生件数がすくない。死者発生火災件数は、一日中あまり差がないが、朝8時頃から夕方17時頃まで高原状のピークとなっており、特に昼14時頃に鋭いピークとなっている。火災件数に対する死者発生火災件数

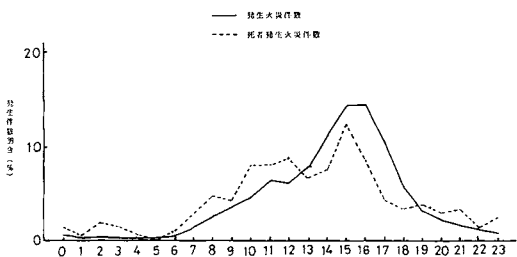


図7 火遊びによる建物火災の出火時刻別発生件数割合と死者発生件数割合

の割合は、朝5時頃から夕方17時頃までに高い。図8参照。

放火自殺者の統計を見ると、やはり日中に多い。夜間の放火は、主に自殺を目的としないもので、自殺を目的とした放火は日中に多いと言える。

4. まとめ

出火源としてのタバコ、コンロ、火遊び、放火・放火の疑い等による火災は発生件数が多い。よって、それらの出火源による火災を統計分析することによって、火災の特徴を見出すことは防火対策上必要であろう。ここでは、それらの出火源による建物火災件数に、死者発生件数を加えて、着火物別、出火時刻別に火災の特徴を見てきた。分析結果等については、3. 分析結果と考察で述べた。

分析の結果、以下のことが分かった。

- 1) タバコを出火源とする建物火災は、着火物をふとん・寝具類、紙屑・紙製品とするもののおが多く、死者もふとん・寝具類、紙屑類、畳等で多い。死者発生火災件数の高いのは、ふとん・寝具類、繊維製品、畳、衣類、上敷である。
出火時刻別では、火災件数は一日中ほとんど差がなく、朝の5、6時頃が若干少ない。死者発生火災件数は、夜半に高い割合を示す。
- 2) コンロを出火源とする建物火災の着火物は大半が動植物油等の調理用油である。死者発生火災件数は、動植物油、衣類を着火物とするものが多い。死者発生件数の割合の高いものは、衣類、プロパンガス、板張り・ベニヤ、炊事台である。
出火時刻別では、食事時、特に夕食時に多い。死者発生火災件数は、一日中差はなく、発生割合は、夜半に高い。
- 3) 火遊びによる建物火災は、紙屑・紙製品を着火物とするもの多く、死者も同様に紙屑・紙製品等を着火物とするものが多い。死者発生火災件数割合の

高いのは、衣類、ふとん・寝具類、繊維製品等である。

出火時刻別では、15時、16時頃に多く発生し、死者は10時頃から12時頃までと15時頃に多い。死者発生火災件数の割合が高いのは、夜22時以降早朝までと午前中である。

- 4) 放火・放火の疑いによる建物火災は、紙製品、紙屑、礦物油等を着火物とするものが多く、死者は礦物油、衣類、ガソリン、引火性油類等が多い。死者発生火災件数の割合も、礦物油、衣類、ガソリン、引火性油類が高い。

出火時刻別では、夜23時頃から早朝、特に夜半の2時から4時頃に多い。死者は一日中あまり差はない。死者発生火災件数の割合は朝5時頃から夕方17時頃までに高い。

これらの結果を踏まえて火災の予防対策をより充実させ、必要な資材を普及させることが必要と思われる。

火災は人間の不注意やミス、あるいは放火のように人間の意志または火遊びのように好奇心といったもので発生するものである。身の回りには、発火源となるものや火の付きやすいものが多く、火災の大幅な減少は考えられない。しかし、火に対する目頃の心がけによって、ある程度は火災件数を減少させることが出来るのではなかろうか。

ここでは、出火源として、タバコ、コンロ、火遊び、放火・放火の疑いを取り上げたが、建物火災では、ストーブ類を出火源とする火災も多い⁵⁾。また、ストーブ火災では、高齢者の死者発生数が多く、今後、ストーブ火災についても考察してみたい。

参考文献

- 1) 消防庁防災課編「消防白書」各年号
- 2) 東京消防庁編「火災の実態」各年号
- 3) 日野宗門「クローズアップ“火災”—消防統計からのアプローチ」消防科学と情報No.9夏(1987)号以降各号
- 4) 消防庁予防課編「火災による死者の実態について」各年号
- 5) 山本勲、佐藤公雄：「住宅火災による高齢者の死者の発生の実態」消研輯報41号(1987) p. 24～
- 6) 寒河江幸平：「たばこを出火源とする火災について」消研輯報47号(1993) p. 23～
- 7) 寒河江幸平：「建物火災の出火原因別統計分析結果について」平成6年度日本火災学会研究発表会概要集(1994) p. 134～
- 8) 北後明彦：「火災規模の推定(その2)」平成6年度日本火災学会研究発表会概要集(1994) p. 138～

粉末状等合成高分子物質の燃焼性試験方法

箭内英治、岩田雄策

1. はじめに

火災が発生した場合に、その拡大が速やかであり、または、消火の活動が著しく困難となる物質（指定可燃物）のうち、合成樹脂類については、多くの場合、ビーズ状、粉末状、ペースト状等の形態で貯蔵されていたり、取り扱われている。

ところで、合成樹脂類の燃焼試験方法としては、JIS K 7201に規定する酸素指数法による燃焼試験方法が用いられているが、この試験法は、棒状、繊維状等の試料に対して規定されており、粉末状等の合成樹脂原体の燃焼性を測定することは困難である。さらに、熱硬化性樹脂のように、棒状等に成形することにより分子結合が変化してしまうもの、または、一部の反応性樹脂のように、僅かな加熱により熔融してしまうもの等は特に、試験方法の適用に問題がある。

そこで、酸素指数法による燃焼試験方法を修正し、粉末状等、試験方法の適用に問題があった合成樹脂類の燃焼性を、測定できるような試料保持方法を考案し、それを用いて試験した結果から試験方法及び評価方法について検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 試験装置

酸素指数試験装置として用いた装置は、JIS K 7201に規定されている装置と同等のもので、東洋理工株式会社製ON-1型の酸素指数式燃焼試験装置を用いた。この装置は、酸素指数試験装置が出始めた頃の初期の装置で、酸素指数は0.5刻みでしか測定することができないが、装置の再現性は財団法人高分子素材センターから提供されている酸素指数法照合試験片(PMMA)により確かめた。

2.2 試料保持具

粉末状の高分子試料を酸素指数式燃焼試験装置の燃焼筒内に保持するためのステンレス製の試料保持具を作製した。それを図1に示す。この保持具を既存の棒状及び布状の試料保持具の変わりにセットして、粉末状試料についても試験できるようにした。

2.3 試料セル

熔融製の粉末状試料を入れる石英製のセルを作成

し、セルの大きさに対する酸素指数の影響を調べた。作成したセルは4種類でその寸法は表1の通りである。

2.4 セラミックペーパー

試料保持具と試料セルの間に、また、試料保持具の上に、直接厚み1mmのセラミックペーパーを敷いてなるべく試料の熱損失を少なくするようにした。セラミックペーパーは、イソライト工業株式会社製で資料によると、最高使用温度1260℃、かさ密度0.15g/cm³、熱伝導率0.06kcal/mh℃(400℃)、0.08kcal/mh℃(600℃)、0.10kcal/mh℃(800℃)、0.13kcal/mh℃

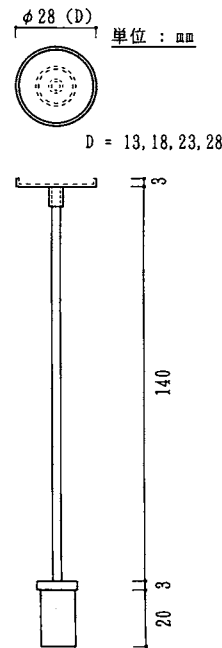


図1 試料保持具

表1 試料セルの寸法

セルNo.	外径(mm)	内径(mm)	高さ(mm)
1	10	8	5
2	15	13	5
3	20	18	5
4	25	23	5

(1000℃)の特性を持った物を用いた。

2.5 着火源

試料の着火源に用いた燃料は、都市ガスを利用し、火炎長は、20～30mmとした。接炎時間は試料によって変え、試料に十分着火するまで接炎した。

2.6 試料

試料は、流動パラフィン、重合樹脂（粒状）、高密度ポリエチレン（粒状、フィルム状）、ポリ塩化ビニール（粒状3種類、棒状3種類、微粒子1種類）の合計11種類である。これらを表2に示す。

表2 用いた試料

試料No.	試料記号	試料名	形状
1		流動パラフィン	液体
2		重合樹脂	粒状
3	HY430B	高密度ポリエチレン	粒状
4	HY430B	高密度ポリエチレン	フィルム状
5	A-472	ポリ塩化ビニル(赤)	粒状
6	A-472	ポリ塩化ビニル(赤)	棒状
7	A-497	ポリ塩化ビニル(黒)	粒状
8	A-497	ポリ塩化ビニル(黒)	棒状
9	B-976	ポリ塩化ビニル(灰)	粒状
10	B-976	ポリ塩化ビニル(灰)	棒状
11		ポリ塩化ビニル	微粒子

また、試料No.1の流動パラフィンは、加熱すると溶融する試料を試験する際に試料を入れるセルをどのくらいの大きさにしたらよいかを調べるための基準試料として用いた。

2.7 試験方法

重合性樹脂のように加熱すると溶融する試料とポリ塩化ビニルのように加熱すると炭化して表面を覆う試料で試験する際の試料保持方法を変えた。その試料保持方法の違いを図2に示す。試験操作手順は次の通りである。

〈溶解性試料の試験手順〉

- 1) 石英製試料セル（直径20mm）に試料を少し山盛りに採取する。
- 2) 試料の入った石英製試料セルを試料保持具の上の中心部分に注意深く置く。
- 3) 燃焼筒をかぶせ、試験しようとする酸素濃度の雰囲気調整し、その雰囲気に約30秒ほど置いておく。
- 4) 点火源バーナーで試料に接炎し、十分に試料を燃焼させる。
- 5) 点火源バーナーを取り去った後、時間をストップ

ウォッチで計測すると共に燃焼状況を目視観察する。

- 6) 3分以上燃えるか、又は試料が燃え尽きた場合は、酸素濃度を下げる。また、3分未満で消炎し、かつ燃え尽きないで試料が残った場合は酸素濃度を上げる。
- 7) 1)～6)の操作を繰り返し、3分以上燃えるか、又は試料が燃え尽きる場合の最小の酸素濃度を求め、酸素指数とする。
- 8) さらに、1)～7)の操作を繰り返し同一試料に対して最低3回酸素指数を測定する。

〈炭化性試料の試験手順〉

- 1) 石英製試料セル（直径20mm）に試料を少し山盛りに採取する。
- 2) 直径25mm程度の円形に切ったセラミックペーパー上に1)で採取した試料を静かに置いて、山盛り状にする。
- 3) 燃焼筒をかぶせ、試験しようとする酸素濃度の雰囲気調整し、その雰囲気に約30秒ほど置いておく。
- 4) 点火源バーナーで試料に5秒～20秒程度接炎して、試料を燃焼させる。
- 5) 点火源バーナーを取り去った後、時間をストップウォッチで計測すると共に燃焼状況を目視観察する。
- 6) 3分以上燃えるか、又は試料が燃え尽きた場合は、酸素濃度を下げる。また、3分未満で消炎し、かつ燃え尽きないで試料が残った場合は酸素濃度を上げる。
- 7) 1)～6)の操作を繰り返し、3分以上燃えるか、又は試料が燃え尽きる場合の最小の酸素濃度を求

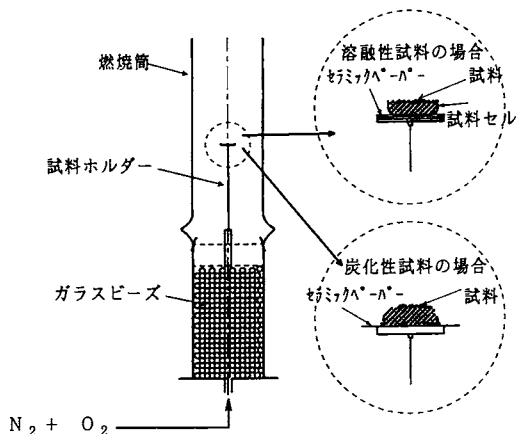


図2 粉末状試料の保持方法

め、酸素指数とする。

8) さらに、1)～7)の操作を繰り返し同一試料に対して最低3回酸素指数を測定する。

なお、棒状及びフィルム状試料の試験手順はJIS K 7201酸素指数法による高分子材料の燃焼試験方法に従って行った。

また、これらの試験中に場合によっては、ビデオ記録、写真撮影を行い燃焼状況を記録した。

3. 結果と考察

3.1 基準試料を用いた予備実験

試料No. 1の流動パラフィンを用いて、石英セルの大きさによる酸素指数値への影響を調べた。その結果を図3に示す。

図中の測定点は、3回測定した酸素指数値の平均値である。この図から、石英セルの径が小さいと熱損失が大きいため酸素指数は大きめにでており、20mmになるとほぼ一定値に落ちついている。このことから、

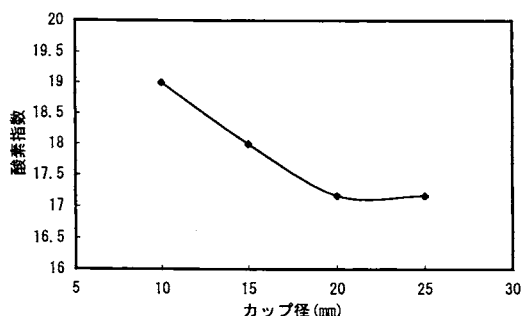


図3 カップ径による酸素指数への影響

石英セルは20mm径のものを使用するのが適当であることがわかった。以後の実験では、20mm径の石英セルを用いて他の試料の酸素指数を測定した。

3.2 溶解性試料の酸素指数

加熱すると溶解するタイプの試料No. 2、3の重合樹脂と高密度ポリエチレンについての酸素指数の測定結果を表3に示す。なお、表中には比較のためにフィルム状の高密度ポリエチレンの従来法による測定結果も載せてある。

試料に十分に着火させるために接炎時間が120秒と長くなっているが、測定結果の酸素指数値の再現性はよく、いずれの試料についても測定値の最大値と最小値間の差は0.5以内に入っている。また、試料No. 2の重合試料については、セルの径を15、20mmの2種類について測定した。その酸素指数値の値は、20mm径の方が小さめの値が得られ、流動パラフィンと同様の結果が得られた。ポリエチレンの酸素指数値の文献値17～19⁹⁾と比較すると多少高め酸素指数値21.8であるが、同試料のフィルム状の値21.3とはほぼ一致しており、加熱すると溶解するタイプの試料については、ここで提案した試料保持方法により十分再現性のある酸素指数値を求めることができることが分かった。

3.3 炭化性試料の酸素指数

加熱すると炭化して残渣が表面を覆うタイプのポリ塩化ビニルに対して、溶解性試料と同様に石英セルを用いた酸素指数値の測定結果を表4に示す。また、セラミックペーパー（断熱材料）上に山状に試料を盛って試験した結果を表5に示す。表5中には、従来法で測定した同試料の棒状の酸素指数値も載せてある。

表4と表5中の試料No. 5のポリ塩化ビニル（赤）

表3 溶解性試料の酸素指数

試料No.	試料名	形状	試料カップ径 (mm)	接炎時間 (s)	燃焼時間 (s)	酸素指数		
2	重合樹脂	粒状	15	120	225	21.5		
				120	201	21.5		
				120	197	21.5		
			平均					21.5
			20	120	317	20.5		
				120	325	20.5		
120	292	20.5						
平均					20.5			
3	高密度ポリエチレン	粒状	25	120	180	21.5		
				120	208	22.0		
				120	192	22.0		
			平均					21.8
4	高密度ポリエチレン	フィルム状	—	1	32	21.5		
				1	26	21.0		
				1	50	21.0		
				1	21	21.5		
				平均				

表 4 炭化性試料の酸素指数（セル使用）

試料No.	試料名	形状	試料カップ径 (mm)	接炎時間 (s)	燃焼時間 (s)	酸素指数		
5	ポリ塩化ビニル（赤）	粒状	15	3	74	35.5		
				3	97	35.5		
				3	78	36.5		
				平均				35.8
				20	3	182	35.0	
					3	156	36.5	
			3		127	36.5		
			3		150	36.0		
			3		151	40.0		
			3		203	37.0		
			平均				37.5	
			平均				36.9	
			25	10	363	35.5		
				10	199	36.5		
				10	192	36.5		
平均					36.2			
11	ポリ塩化ビニル	微粒子	20	3	185	43.5		
				3	167	39.5		
				3	140	40.0		
				3	182	43.5		
				3	185	43.5		
				3	167	40.0		
				10	97	40.0		
				10	119	40.0		
				平均				41.3

表 5 炭化性試料の酸素指数

試料No.	試料名	形状	接炎時間 (s)	燃焼時間 (s)	酸素指数
5	ポリ塩化ビニル（赤）	粒状	5	115	33.0
			5	95	33.5
			5	114	33.0
			平均		
6	ポリ塩化ビニル（赤）	棒状	10	180以上	33.5
			10	180以上	33.0
			10	180以上	32.5
			10	180以上	33.0
			10	180以上	33.0
			10	180以上	33.0
			平均		
7	ポリ塩化ビニル（黒）	粒状	5	125	33.0
			5	169	33.5
			5	80	33.5
			平均		
8	ポリ塩化ビニル（黒）	棒状	10	180以上	32.5
			10	180以上	32.0
			10	180以上	32.0
			平均		
9	ポリ塩化ビニル（灰）	粒状	10	102	34.5
			10	66	34.0
			10	84	34.0
			平均		
10	ポリ塩化ビニル（灰）	棒状	10	180以上	34.0
			10	180以上	34.0
			10	180以上	34.0
			平均		
11	ポリ塩化ビニル	微粒子	10	99	41.5
			10	147	41.0
			10	90	40.0
			平均		

の結果を比較してみると、表4中の値の方が酸素指数値が高くでており、また、再現性もあまり良くない。これは、試料をセルに入れることによりセル内の試料に雰囲気酸素が供給され難くなり、そのため結果として酸素指数値が大きくなるものと思われる。これは、表5中の同試料の棒状の酸素指数値と比較しても大きな値となっていることから明らかである。それに対して、セラミックペーパー（断熱材料）上に山状に試料を盛って試験した酸素指数値の結果は、溶解性試料ほど再現性は良くないが同試料の棒状の結果とほぼ一致しており、この試料保持方法により十分炭化性試料についても酸素指数値をある程度再現性よく測定できることが分かった。

4. おわりに

粉末状試料に対しても酸素指数を測定できるように試料保持方法を考案し、これを用いて11種類の試料について酸素指数値を測定した。その結果、次のようなことが分かった。

- 1) 溶解性試料については、20mm径、高さ5mmの石英セルに少し山盛りに入れ、十分に試料に着炎させれば、再現性よく酸素指数値を測定することができる。
- 2) 炭化性試料については、20mm径、高さ5mmの石英セルでセル上端面一杯に試料を採取し、それをセラミックペーパー上に山状に盛り上げて保持すれば、ある程度再現性よく酸素指数値を測定することができる。
- 3) ここで試験した試料について、上記1)、2)により測定した酸素指数値は表6の通りである。なお、

表6 測定した酸素指数値の一覧表

試料No.	試料名	形状	酸素指数
1	流動パラフィン	液体	17.2
2	重合樹脂	粒状	20.5
3	高密度ポリエチレン	粒状	21.8
4	高密度ポリエチレン	フィルム状	21.3
5	ポリ塩化ビニル(赤)	粒状	33.2
6	ポリ塩化ビニル(赤)	棒状	33.0
7	ポリ塩化ビニル(黒)	粒状	33.3
8	ポリ塩化ビニル(黒)	棒状	32.2
9	ポリ塩化ビニル(灰)	粒状	34.2
10	ポリ塩化ビニル(灰)	棒状	34.0
11	ポリ塩化ビニル	微粒子	40.8

石英セルを用いた溶解性試料については、セル径20mmのもののみを載せた。

最後に、ここで試験した試料の種類も少なくまた、形状も、大きさもそれほど種類を行っていない。しかし、現実的には全ての試料の種類、形態等を考慮して試験することは不可能である。これらのパラメータに対する酸素指数値への影響を無視することはできないと思われるが、ここで提案した保持方法によりある程度再現性よく粉末状試料についても酸素指数を測定することができる。

引用文献

- 1) プラスチックデータハンドブック：伊藤公正編、工業調査会、p.110～111 (1980)

文化財建造物の火災対策の現状と課題

—特に茅葺屋根及び桧皮葺屋根を有する文化財建造物の火災について—

山下邦博、田村裕之、高橋 哲

1. はじめに

文化財は、わが国の歴史と文化を知る上で欠かせないもので、日本文化の過去と現在をつなぎ、将来において文化の向上と発展の基礎をなすもので、国民的な財産でもある。文化財が火災によって焼失した場合には、再生する技術はあっても再生がかなわないものである。このため文化財を火災から守り、次世代に伝えることは我々の責務であり、火災に対して万全の対策をとる必要がある。

わが国の文化財建造物の9割以上が木造建築といわれ、このような建造物から、一旦火災が発生すると建物全体に拡大し、全焼する危険性が極めて高い。文化財建造物の中には茅葺、桧皮葺あるいは板葺屋根のものがあるが、これらの建造物は特に火災になりやすく、火災になると激しく燃えて隣接の文化財建造物にも延焼する危険性がある。

過去の文化財の火災原因をみると放火、たき火、火遊び、飛び火、花火、落雷等があり、最近、とみに放火による火災が多い。文化財は国民共有の財産であることから公開して多くの人に鑑賞する機会を与えるべきではあるが、人の出入りが多い程、建造物内において出火する危険が高くなる。このように文化財は公開と保護の間であって適切な管理が求められている。近年、文化財建造物の周辺にも建物が建て込んできて類焼の危険が高まっている。また、文化財建造物の境内の一部が駐車場に利用されるなど人の出入りが多くなり、放火火災が増加する傾向にある。このような環境変化に対応してそれぞれの文化財の特殊事情を考慮した防火対策の見直しが求められている。茅葺あるいは桧皮葺屋根をもつ文化財建造物の火災危険性が極めて高いことから、早急にこれらの建造物の火災性状を明らかにし、その特性に見合った防火対策手法の確立が望まれる。ここでは茅葺屋根及び桧皮葺屋根に焦点をあて、それらの建物の火災の現状を紹介したい。

2. 文化財建造物と屋根の特性

昭和24年1月26日、世界最古の木造建築物である法

隆寺(奈良)の金堂において火災が発生し、飛鳥芸術の神髄を伝えてきた壁画が焼失した。この火災を契機として文化財保護事業を協力的かつ統一的に推進することを目的として、旧諸法が廃止され、新たに文化財保護法が制定された(付録:文化財の保護対策の変遷参照)。地震国である我が国では、明治30年に古社寺保存法が制定されて以来、地震が原因で国宝・あるいは重要文化財の指定解除になった指定建造物は一件もない。これに対して、火災によって指定解除になった事例は相当数あり、文化財建造物の火災対策が重要である。

文化財保護法によると文化財は有形文化財、無形文化財、民族文化財、記念物、伝統建造物群に分類されている(表1参照)。有形文化財は建造物と美術工芸品(絵画、彫刻、工芸品、書跡、典籍、古文書、考古資料、歴史資料)に、また無形文化財は芸能、工芸技術、その他に分けられる。膨大な数にのぼる文化財のうち特に重要なものが重要文化財、史跡、名勝等に指定される。また、重要文化財のうちで世界文化の見地

表1 文化財の分類

1	有形文化財	<ul style="list-style-type: none"> — 建造物 — 美術工芸品 { 絵画・彫刻・工芸品・書跡・典籍・古文書・考古資料・歴史資料 }
2	無形文化財	<ul style="list-style-type: none"> — 芸能 — 工芸技術, その他
3	民俗文化財	<ul style="list-style-type: none"> — 無形 { 衣食住・生業・信仰・年中行事等に関する風俗慣習・民俗芸能 } — 有形 (上記に使用される衣服・器具・家屋等)
4	記念物	<ul style="list-style-type: none"> — 遺跡(史跡) 貝塚・古墳・都城跡・城跡・旧宅 — 名勝地(名勝) 庭園・橋梁・峡谷・海浜 山岳 — 動物・植物・地質鉱物(天然記念物)

5 伝統的建造物群

なお、文化財存在状態としての埋蔵文化財がある。

から価値の高いもので、たぐいがない国民の宝たるものが国宝に指定される。国宝建造物及び国指定の重要文化財建造物を表2(a)、(b)に示す。寺院建築は指定建築物のうち6割以上を占めている。国宝建造物を時代別にみると鎌倉時代の寺院建築が一番多く、次いで室町時代の寺院建築が多い。一方、重要文化財建造物を時代別にみると江戸時代の指定建築物が多く、次いで室町時代のものが多い。建築様式では神社建築、寺院建築、民家建築の順に多い。明治、大正時代の建造物は、まだ国宝建造物に指定されていないが、重要文化財建造物としていくつか指定されている。

2.1 屋根の分類

屋根は、葺く材料により以下の通りに分類される。

- ① 松皮葺、② 草葺(茅葺、藁(わら)葺、麦藁葺)
- ③ 板葺(柿(こけら)葺、とち葺)、④ 瓦葺、⑤ 銅板葺

松皮葺は松の樹皮を45-60センチメートルの長さに切り、葺足(重ね目の間隔)として4.5センチメートルほど重ね、竹針でとめながら下から順次葺く方式のものである。松皮葺屋根は上品かつ優美であり、日本

的な美しさを持っており、神社、寺院等の古建造物の屋根に広く使われてきた。草葺は茅、葦(よし)、わら等で葺きあげるもので、民家や茶室で見られる。茅葺屋根は室町時代から最近まで民家建築に広く使われてきた。柿葺はこけら板(柿板)と呼ばれるサワラやヒノキなどの薄い割板(厚さ0.3センチ)を何枚も重ねて葺く方式である。民家の構造は図1に示すように上部から屋根(棟、棟木、たるき、もや)、天井(梁)、床(床板、根太)、土台から構成される。

2.2 屋根の形式

屋根を形成する面の配置と数から屋根の形式は図2に示すように4つに分類される。

- ① 切妻造 ② 寄棟造 ③ 入母屋造 ④ 宝(方)形造

切妻造は大棟(屋根面が交わる所で最高位置にある)から両方に葺き下ろしたもので、寄棟造は大棟から四方に葺きおろしたものをいう。入母屋造は母屋(家屋の主幹部)を切妻造とし、その四方に庇を葺きおろした屋根である。宝形造は四方の角棟が屋根の中心に集まる形式のもので、大棟がなく、頂点に雨仕舞として露盤・宝珠等をのせる。

表2(a) 指定建造物の現状(国宝)

種類別棟数表(国宝は重要文化財の内数)

(昭和57年2月16日現在)

	国					宝			
	現在数	飛鳥・奈良	平安	鎌倉	室町	桃山	江戸	明治	大正
神社建築	58		3	15	8	6	26		
寺院建築	152	26	22	53	30	11	10		
城郭建築	16				1	13	2		
住宅建築	20				2	13	5		
洋風建築	1						1		
民家建築									
石造塔碑・橋梁他	2					1	1		
合計	249	26	25	68	41	44	45		

表2(b) 指定建造物の現状(重要文化財)

	重 要 文 化 財								
	現在数	飛鳥・奈良	平安	鎌倉	室町	桃山	江戸	明治	大正
神社建築	958		5	53	295	148	455	2	
寺院建築	910	30	32	159	339	111	238	1	
城郭建築	232				1	117	113	1	
住宅建築	136				7	37	90	2	
洋風建築	108						8	99	1
民家建築	536				2	2	495	37	
石造塔碑・橋梁他	246	1	13	122	53	11	46		
合計	3126	31	50	334	697	426	1445	142	1

	切妻造	寄棟造	入母屋造	宝(方)形造
見取図				
正面				
側面				
平面図				

図1 屋根の基本形式

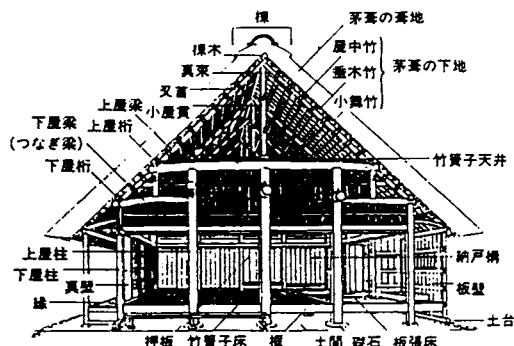


図2 茅葺屋根の構造

屋根の棟飾りとして芝棟、針目覆い、本ぐし、置き千木、竹す巻きがある。芝棟はくれぐしともいい、棟の部分芝を覆う形式の物である。これらの屋根の材料、屋根形式で建造物の上部面の可燃物量、形状等が異なる。屋根面から発生する火災の性状は屋根特性に依存し、消防活動の困難性も屋根材及び屋根形式の影響を受ける。

3. 文化財建造物と消防用設備

消防法第17条で「防火対象物で政令で定めるものの関係者は、政令で定める消防用設備等を設置し、維持しなければならない」と規定されている。文化財建造物はこの法令でいう防火対象物に該当し、消火器または自動火災報知設備は特例を除くすべての文化財建造物に設置が義務づけられる。その他の防災設備については一定の面積や収容人数を超える場合や階数、構造によって設備が義務づけられる。

3.1 自動火災報知設備

(ア) 現状の自動火災感知器

自動火災報知設備が初めて設置されたのは蓮華王院(三十三間堂)であり、昭和8年のことである。昭和25年の文化財保護法の制定以来、自動火災報知設備が重要文化財建造物に組織的に設置されるようになったものの年間10カ所程度であった。昭和36年に消防法施行令が制定され、一定の防火対象物への自動火災報知設備の設置は義務設置となるが、保存修理工事など大規模の修理・改修が行われる時に初めて適用される程度であった。これが、昭和41年改正、44年の施行により既存の文化財建造物にも自動火災報知設備の設置が遡及適用されるようになった。これにともない自動火災報知設備の設置が進み貴重な文化財建造物の火災発見に役立っている。

文化財建造物に現在設置されている自動火災報知設

備の感知器には、熱感知器の分布型やスポット型が多く使われている。熱感知器とともに一般に普及している煙感知器は、茅葺屋根、椋皮葺屋根、柿葺屋根等の植物性の屋根の建造物にはあまり用いられていない。この理由は、文化財建造物とはいえ、いろいろの炊事や屋根保護のために燻煙(くんえん)と呼ばれるいろいろを使った燻焼を行う場合があり、その時に煙感知器は非火災報を発生してしまうことによる。燻煙は、茅葺屋根等を虫の害から守るために1回2時間、月に2回程度の頻度で、普段建物内で煮炊きを行わない建造物に対して燻焼の煙を建物内に充満させる作業のことである。その他、天井のしっかりとした建造物や瓦屋根の建造物には、一般に建築物のように煙感知器が用いられることがある。熱や煙での感知の他、熱感知器や煙感知器が有効に作動しないような大広間や外気が流入し易い廊下等の広い空間を警戒するために、炎感知器を設置するケースが増えている。大広間や廊下等を警戒する以外に、この炎感知器の特殊な設置法として、文化財建造物周囲の屋外に鉄柱を立て炎感知器を上部に設置し、建造物の周囲を警戒する方法がとられている。対象となる建造物の周囲は、条例等で火気の使用を禁止している場所になっていることが多いので、この方法で放火やたき火、たばこ等の裸火を監視している。

(イ) 現状感知器の問題点

熱感知器の設置場所は、スポット型感知器が小屋裏や屋根の梁であり、分布型感知器が小屋裏や軒下、床下であり、どれも屋内を監視することが主である。また、設置されている感知器として熱感知器が多いため、基本的に燻焼火災を発見することが難しい。小屋裏への設置の場合でも感知器は屋根の内側に設置されるため、極端なことを言えば屋根の外側(屋外)が火に包まれていても感知することはできない。現在の設置状

態では、屋根に飛び火が来ても感知することは不可能である。植物性の屋根は乾燥時に燃え易く一度火が入ってしまうと完全消火が困難であるため、火災を早期に発見するのが望まれるが、現状では難しい。また、分布型熱感知器で軒下や床下等を警戒していることが多いが、外気の流入し易い場所なので検出までに時間がかかり発見が遅れる。

一般の建物に設置されている感知器では非火災報がしばしば問題になるが、文化財建造物関係でも何人かの設備関係者に確認したところ、やはり非火災報が発生しているようである。幾つか例を挙げると、居間のいろいろの火で定温式熱感知器が反応する、気象的に急な気圧変化や気温変化が起こり空気管式熱感知器が反応する、水溜りでの太陽の反射光や木漏れ日等のちらちらする光に赤外線式炎感知器が反応する、たばこや落葉に火を着けるライターやマッチの炎に炎感知器が反応する等がある。

(ウ) 既存技術の応用

外部からの火による茅葺屋根等の火災を感知する方法について、既存の感知器を利用する方法を検討してみる。どの種類についても言えることだが、もともと屋内用に作られている感知器を屋外に利用しようとするので、耐久性、防水性等を改良する必要がある。

・熱の感知

分布型熱感知器の利用…野地板やたる木のそばまたは茅の内部に空気管や感知線（熱電対式や半導体式）を予めはわせておく。屋根の葺替え時に茅や椀皮等の屋根材と一緒に空気管や感知線を内部に組み込みながら屋根を葺いていく。既に葺いてある屋根に対して、どのようにすれば空気管や感知線をはわせることができるかが難しい。また、屋根を葺く作業時に空気管や感知線を切断する可能性がある。

・煙の感知

光電分離型煙感知器の利用…屋根に飛び火しやすくなり始めたのを検出するために、光軸を屋根表面に近いところに通しておき、何組も設置するかまたは走査型にして屋根全面を監視する。この方法だと設備が大きくなりになってしまうのと、屋根上の小動物や異物への反応が避けられないという欠点がある。

・炎の感知

赤外線または紫外線式炎感知器の利用…炎感知器を屋根の頂上付近から屋根を見下ろすように設置する。逆に、軒先部分から屋根を見上げるように取り付け監視する。炎感知器を外灯の横や鉄柱に設置し、上から屋根を監視する。文化財建造物自体の屋根が大きいことや一つの感知器で警戒する範囲が広いことを考慮す

ると、これらの方法をとるには、非火災報を出さないような方法で現在の炎感知器の感度や有効監視距離を向上させる必要がある。また、人目に付く場所への設置になるので、意匠面の工夫も必要である。

3.2 消火設備

消火設備として消火栓設備のほか消火器、水バケツ等の簡易消火用具、動力消防ポンプ、スプリンクラー設備、ドレンチャー設備、水噴霧消火設備、二酸化炭素消火設備ハロゲン化物消火設備等様々なものがあり、設備場所あるいは用途で使い分けられている。

(ア) 消火設備の変遷

明治時代の中期から文化財建造物に対して各種の消火設備が設置されてきた。東大寺金堂では明治36年から46年にわたる解体修理の際に上水道と直結した屋外消火栓設備、ドレンチャー設備が設置された。法隆寺では大正13年から昭和3年にかけて裏山にダムを築いて貯水槽とし、自然流下式の大規模の消火栓設備を境内全域にわたって設置した。また、大正15年から始まった普光寺本堂の屋根葺修理に際しては市水道に直結したドレンチャー設備が設置され、その後に発生した火災でその威力を発揮した。

昭和25年に文化財保護法が制定されてから重要文化財建造物に対して消火設備の設置が本格化した。当初、貯水槽の整備に重点が置かれ、それに可搬式の消防ポンプを組み合わせた設備が中心であった。30年代に入り、自然流下式、加圧式、上水道直結式の消火栓設備が作られ始めるが、まだ自然流下式のもの圧倒的に多かった。40年代に入ると加圧式の消火栓設備が多くなった。

(イ) 現状の消火設備と課題

消火栓設備は文化財建造物とその周辺に近接する建物の火災の延焼防止に有効になるように配置する。特に文化財建造物に対しては放水銃を配置して周辺からの飛火や延焼防止を図る一方で、建物内部やその周辺で発生した火災の消火に有効な消火栓を要所に設置して火災に備える。この場合、社寺などに自衛消防隊が組織されている場合には65ミリホースの消火栓を設置してもよいが、自衛消防隊が組織されていない場合には消防士以外の人でも手軽に扱えるように口径40ミリのホースの消火栓を設置するとよい。放水銃はドレンチャー設備にかわって建物全体に水をかぶせ、しかもその周囲に水幕をはって飛火や延焼を防止するために設置する。これは水平方向では360度回転させることができ、仰角も一定の範囲で自由に調節することができるため、力のない老人や婦人でも扱うことができる。放水銃はドレンチャー設備に比較して維持管理が容易

である。

大規模の寺院建築や五重の塔では地上からの放水が届かない建造物に対しては屋根面あるいは地上から水を吹き出すドレンチャー設備が有効である。ドレンチャー設備は文化財建造物の周囲で発生した火災による類焼を防止する場合と対照とする建造物の初期消火に有効である。しかし、対象とする建造物の火災が拡大した時にはドレンチャーのみによる放水では消火が達成できない可能性がある。このため、常に火災が発生した段階で直ちに消防本部に通報し、常設消防隊の応援を要請することが大切である。消火栓設備は自然流下式、加圧式、水道直結式の3つがある。水道直結式では水圧が不足して大規模建造物あるいは高い五重の塔では水が届かない個所ができる。また、自然流下式では建造物の近くに十分な高さの山と水槽を設置する土地が必要であり、市街地にある建物では設置することが難しい。このため、最近では加圧式の消火栓が多く採用されている。加圧式消火栓は動力ポンプが必要であり、火災時においてそれらの設備をうまく作動させるために日常の点検と操作訓練が不可欠である。

4. 文化財建造物の火災事例

文化財保護法が制定された昭和25年から平成6年4月までの重要文化財建造物の火災は53件であり、文化財建造物の火災件数は平均すると年間に1.3件となる。火災及び消防活動状況は個々の火災で異なるが、ここでは文化財建造物の火災について現地調査した4つの事例（茅葺屋根2件、椀皮葺屋根2件）について火災の発見の状況、初期消火、消防用設備の利用状況、消防隊による消火活動を紹介し、消防用設備及び消防活動の問題点を明らかにする。

(1) 川崎民家園旧太田家の火災（茅葺屋根の建造物火災）

(ア) 出火場所：川崎市多摩区梶形7-1-1

日本民家園

(イ) 出火日時：平成2年7月29日19時40分

(ウ) 火災覚知：平成2年7月29日20時31分

(エ) 鎮圧時刻：平成2年7月30日0時21分

(オ) 鎮火：平成2年7月29日22時30分

(カ) 火災原因：花火

(キ) 気象条件：天候：曇り 風向：南東 風速：2 m/s 相対湿度：68% 温度：26℃

(ク) 火災建物：旧太田家（重要文化財指定）写真1参照

主屋：寄棟造 茅葺 桁行 9.6m 梁行 8.3m

土間：寄棟造 茅葺 桁行 10.0m 梁行 8.3m

この建物は分棟型で、主屋と土間が接触している建物である。土間部分を釜屋と呼び、ここには馬屋も設けられている。釜屋ではカマドの火を使って炊事のほかに農作業も行われた。17世紀後期の建物である。

(ケ) 火災発生の状況（19時～19時40分）

若い男女が夕涼みのため太田家の北側の高台にある公園で花火を打ち上げていた。男性はこの公園に来るのは初めてで、公園の周囲状況が分からないままに暗い中で30～40分の間、花火を楽しんでいた。終了頃、なにげなくみると木々の間から赤い炎が見えた。彼らは自分たちの花火から火が出たのではないかと思い、展示用民家の前にいき、声をかけた。しかし、その家にはだれもいなかった。たまたまゴルフバッグを抱えた大学生風の二人が通りかかったので火事ではないかと声をかけた。その二人が警備本部にいき、火災の発生を知らせた。

(コ) 初期消火の状況（19時40分～20時31分）

警備員が駆け付けた時には民家の北側の屋根から炎が見えた。敷地の両サイドにある消火栓を使って燃えている屋根とその周囲に放水した。大学生風の二人及び花火を楽しんでいた男性も協力して初期消火に当たった。民家園構内にはドレンチャー設備が11基（地下式が7基、スタンド式が4基）あり、その一つを作動させて消火した。約20分間で完全に消えたと判断して放水を中止した。その後、警備詰所に移動して、花火を打ち上げていた2人から事情聴取しているときに詰所の火災報知器が発報した。発報場所は太田家を示しており、再度、直ちに駆け付けた。この段階では主屋の「ザシキ」の左奥で炎が上がっていた。警備員の一人は119番通報し、他の警備員は南側消火栓を使って土間の内部に放水した。ドレンチャーを作動させて火災の拡大防止を行った。



写真1 旧太田家の建築物（茅葺屋根、切妻造、分棟型）

(サ) 消防隊による消火活動（20時31分～0時21分）

消防本部に通報がはいた時刻は20時31分で、先着隊は現場に20時35分に到着した。主屋は火災の最盛期であり、屋根材が下に落ちて床で燃え上がる状態になっていた。東側の通用門を通して現場に接近したとき、屋根の北側の部分は今にも崩れ落ちそうな状態になっていた。炎と煙がすごくて、北側にある立木に延焼寸前であった。その時点では主屋は燃えているが、土間はまだ燃えていなかったの、その間に梯子をかけ燃えている場所に接近して放水した。茅が燃える場合には通常の建物火災と比較してそれほど苦しくなかった。ただ、燃えかすが目と鼻に入って困った。北側の主屋は完全に燃え落ちる状態になっていたが、土間はまだ燃えていなかったの、とにかく土間を防御することに重点をおいて放水が行われた。火災防御図を図3に示す通りである。

かなり時間が経過した時点で、放水をやめて様子を見た。所々消えた筈の個所で燃え出した。放水すると消えるが又しばらくすると燃え出すという状態が続いた。22時23分の時点で鎮火を宣言したものの、このままでは帰れないと判断して主屋の茅を全部ひきずり下ろすこととした。茅をとめている横棧の取り外しをはじめたが、ナタあるいはカマがないので大変であった。茅は火がないようでも引き抜くと燃えだし、また地上に落ちる度に燃えあがった。この茅の抜き取り作業が大変で、時間が相当かかった。完全鎮圧は次の日の0時

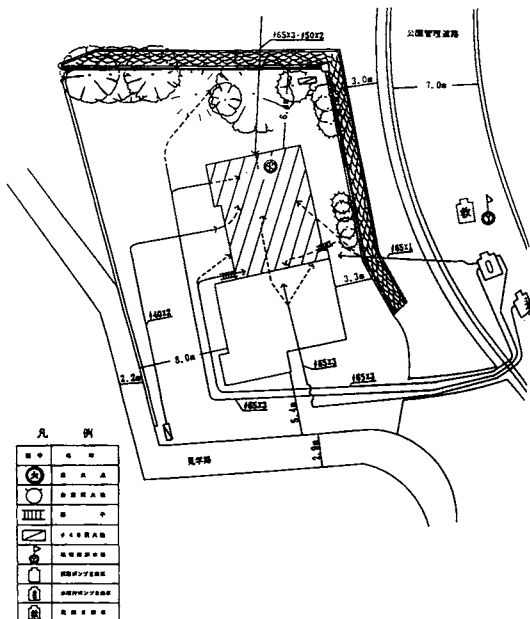


図3 火災防御図（旧太田家の火災）

20分であった。結局駆け付けてから3時間40分かかった。駆け付けた時には相当燃えていたので火災初期の様子は分からない。茅は一旦、火が中に入ると外と中の両側から放水しても消せない。

(2) 十和田湖町旧笠石家の火災

(ア) 出火場所：青森県上北郡十和田湖町大字奥瀬字 栃久保80

重要文化財旧笠石家住宅

(イ) 出火日時：平成6年7月14日午前8時10分（頃）

(ウ) 火災覚知：平成6年7月14日午前8時18分

(エ) 鎮圧時刻：平成6年7月14日午前10時14分

(オ) 鎮 火：平成6年7月14日午後15時20分

(カ) 火災原因：調査中

(キ) 気象条件：天候 晴 風向：南西 風速：5 m/s 相対湿度：36% 気温：28℃

(ク) 火災建物：旧笠石家（重要文化財指定、写真2参照）

笠石家は、主屋と土間が寄り添っている分棟型の民家である。

主屋：寄棟造 茅葺 桁行 9.6m 梁行 8.3m

土間：寄棟造 茅葺 桁行 10.0m 梁行 8.3m

建築年代は18世紀後半（約220年前）と推定される。梁などの主要な構造部はチョウナ仕上げで、また、土台を用いず、基礎石に直接柱を建てるという古い要素を各所に留めた独特の建築様式で保存されていたので、昭和48年2月に国の重要文化財に指定された。その後、保存、公開に資するため、町が買い上げ、保存修理を行い、建築後に改造された部分は建築当初の形式に復元されている。平面積191.30㎡。

(ケ) 火災発見及び初期消火の状況

出火建物の風下約100メートルの道路を通りがかった近所の主婦が煙を発見し、その近くの畑にいた消防



写真2 旧笠石家の建築物（茅葺屋根、寄棟造、芝棟）

職員（非番中）に知らせた。すぐに消防職員、主婦、消防職員の妻の三人が現場に駆け付けた。その時点で、火災は、北側屋根の下から2メートルから屋根の棟付近まで燃え上がっていた。消防職員の妻が119番通報し、近所の主婦は近くの人に火災の発生を知らせた。消防職員は小さな梯子をのぼって消火器（10型）を使って初期消火を試みた。部分的に鎮圧できたが、少し離れた個所では炎と煙が散らばるだけで消火出来なかった。屋根の傾斜がきつくと、しかも梯子が短いため燃えている部分に接近出来なかった。建物の北側にポンプ室があり、内部のポンプを動かそうと試みた。普段チョイチョイ使っているので操作には慣れていたが、何故かその時には動かなかった。火災原因については調査中であるが、付近の住宅前でゴミの焼却中に飛火した可能性がある。初期消火がなされているときに、管理人がいる資料館で火災感知器が作動した。この感知器は屋根の下側に設置されているもので、差動式スポット型感知器である。通報後約10分で消防隊が到着し、本格的な消火活動が行われた。

（コ）消防隊による消火活動

先着隊は火災を発見した箇所の近くにあった水槽に部署した。また、後着隊は建物近くの用水路及び建物南側の防火水槽に部署した。燃えている建物を包囲する体形で5口を使って包囲隊形をとり、消火活動がな

された。（写真3参照）

出火後約2時間30分で火災を鎮圧した。しかし、約2時間も放水を続けても所々で黒く変色した箇所ですぶり続けた。このため、このまま放水しても完全消火が困難であるとの町長（建物の管理者）の判断により、屋根全面にわたり茅を取り除くこととなった。そのため、休業用機械（商品名ユニ）を導入して、数時間にわたって茅の除去作業が実施された。火災防御図を図4に示す。

（3）愛知県御津町大恩寺念仏堂の火災（椼皮葺屋根を有する建物の火災）



写真3 旧笠石家の火災状況（芝棟）

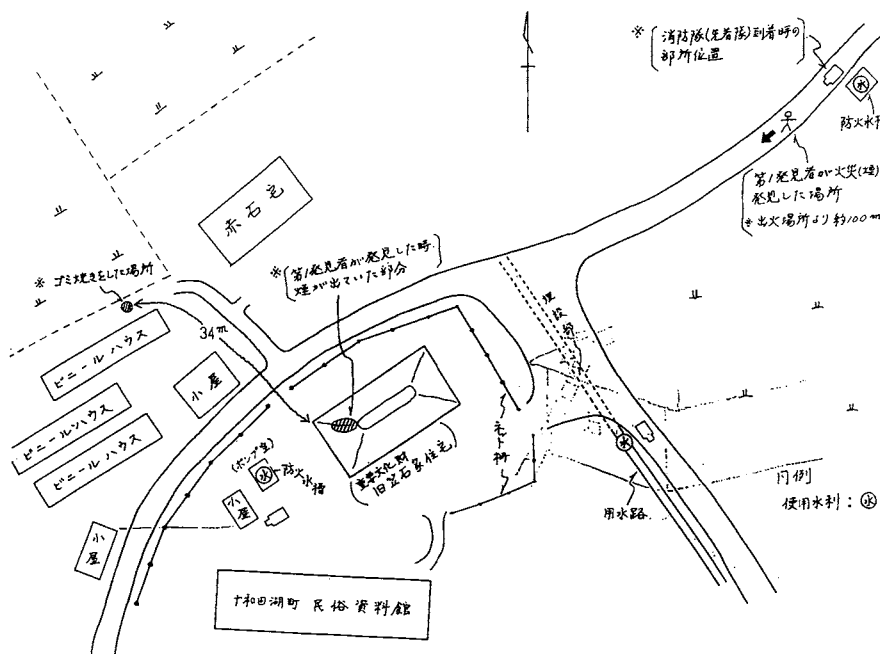


図4 火災防御図（旧笠石家の火災）

- (ア) 出火場所：愛知県宝飯郡御津町大字広石字御津山5番地
大恩寺境内念仏堂
- (イ) 出火日時：平成6年8月9日15時45分頃
- (ウ) 火災覚知：平成6年8月9日15時49分
- (エ) 鎮圧時刻：平成6年8月9日16時07分
- (オ) 鎮火：平成6年8月9日16時33分
- (カ) 火災原因：花火（子供の玩具花火が屋根の上に飛び、着火したと推定される）
- (キ) 気象条件：天候：晴 風向：南 風速：4.4m/s
相対湿度：50.5% 気温：32.3℃
- (ク) 火災建物：念仏堂（重要文化財指定、写真4参照）

寄棟造 椽皮葺 桁行 9.0m 梁行 9.0m

桁行 梁間とも5間、一重、入母屋根造である。

室町時代の天文22年（1553）5月の建立である。昭和28年3月に解体修理が行われた。天文22年に新たに創立したのではなく、もと方3間の建物をここに移し、方5間の念仏堂としたものである。新たに造られたのは、柱、扉、壁体、台輪、樽、紅梁等で、古材は南面背面に主に用いられた。大正10年4月、国の重要文化財に指定される。また、昭和31年に附（ついたり）指定となった内陣に安置されている厨子は、一間厨子入母屋造り、正面軒破風付、本瓦形板葺。極めて精巧な厨子で、正面の彫刻、三花懸魚大棟に鯨を乗せるなど特色がある。特に鯨に弘治（1555—1560）の年号があり、重要性が高い。

消火設備：消火器、自動火災報知設備、屋外消火栓（町水道直結）4箇所

- (ケ) 火災発生の状況（19時～19時40分）

火元建物から約160メートル離れた付近住民は、自

宅で仕事中、通りがかりの運転手から火災を知らされた。外にでると大恩寺で火と煙が見えたため、119番通報した。また、副住職は車で帰宅途中、御津川舟津橋手前で煙を発見し、帰宅後自宅の電話で119番通報した。住職の妻は感知器の誤報が今までに多くあったので、この時も多分誤報であろうと思いそれを止めようとした。その時に副住職（息子）が駆けつけ、火事だと知らせた。副住職と第1通報者は現場に駆け付けて境内の屋外消火栓から放水した。また、住職の妻が最初に堂の中に入った時には煙は少なく、炎がみえた。天井はまだ燃え抜けていなかった。阿弥陀像を出さなければと思い、中に入ろうとした時、通りがかった中学生数人が搬出を手伝ってくれた。手渡しで阿弥陀像、台座、位牌（牧野家）、テーブル、籠、賽銭等を搬出できた。厨子は床に取付けてあったので持ち出せなかった。格天井の一部が燃え落ちて床上で盛んに燃えるようになった。中学生が燃え落ちた物を消そうと消火器の薬剤を放出したとき周囲が白くなって見えなくなった。建物の燃焼中の様子を写真5に示す。

- (コ) 消防隊による消火活動

15時49分に通報が入り、一斉指令があった。3分後に御津出張所の水槽車（2トン）が最初に到着した。現場に到着した時に、屋根の北側から上の方向に抜けていたが、側面はまだ燃えていなかった。ホースを建物西側と正面に向けて2線を伸ばした。15時55分から放水を開始した。そうこうしているときに一瞬にして戸板（側面）が燃え出した。消火活動中に側面から一気に火炎が噴出した。このため、非常に熱くなり、建物への接近が困難な状態であった。その1分後に西分所から7号車が到着した。水槽車の水槽は2トンのため、先着隊に中継送水した。その後大型水槽車（10ト

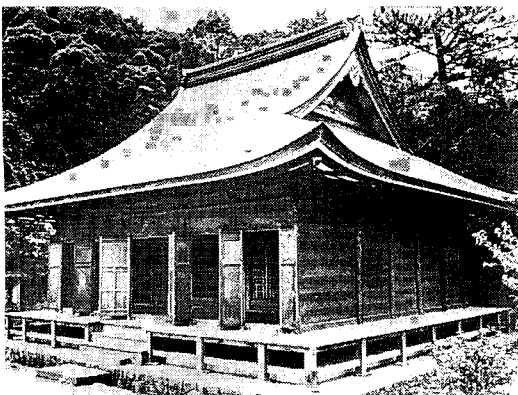


写真4 大恩寺境内の念仏堂の状況（椽皮葺屋根、寄棟造）

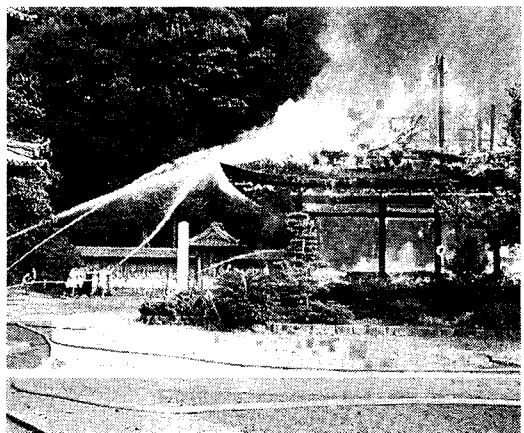


写真5 大恩寺境内の念仏堂の火災状況

ン)に中継送水し、消火活動をした。その時刻になると建物全体の燃焼が激しく燃えて熱のため近寄れなくなった。火災の最盛期では50ミリホースによる放水も有効注水にならなかった。消防本部に通報がはいつてから10分以内に建物は全焼状態になった。15時58分の時点で念仏堂は全焼状態になった。念仏堂の近くに本堂(瓦葺)があり、西側には山林があったがその方向への延焼防止を図った。放水した水は桧皮葺屋根の内部に入らず、消火が困難であった。火災防御図を図5に、(建造物の燃焼中の様子を写真5に)示す。

(4) 岐阜県神戸町日吉神社三重塔の火災(桧皮葺屋根を有する建造物の火災)

(ア) 出火場所: 岐阜県安八郡神戸町大字神戸字上宮1番地

日吉神社三重の塔

(イ) 出火日時: 平成6年1月15日8時51分

(ウ) 火災覚知: 平成6年1月15日8時56分

(エ) 火災鎮圧: 平成6年1月15日9時20分

(オ) 鎮火: 平成6年1月15日9時23分

(カ) 火災原因: 左儀長の火

(キ) 気象条件: 天候: 晴 風向: 北西 風速: 2 m/s 相対湿度: 50% 気温: 5℃

(ク) 火災建物: 三重の塔(国重要文化財指定、写真6参照)

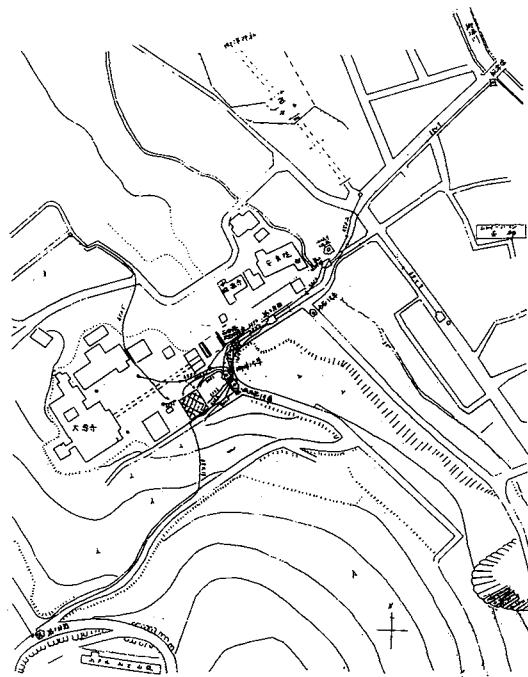


図5 火災防御図(念仏堂の火災)

約18メートルの高さ、桧皮葺、毎層 5.4m×5.4m
弘仁8年に伝教大師が当地へ巡錫した時に、日吉神社を創建して比叡の鎮守の御身代を祀ったことは有名である。伝教大師は本地垂じん説を強調した高層で、平安以降は僧侶が神社の別当職となり、仏を神社に祀り、仏教的な建造物を神社に建立したのである。明治維新以降は神仏分離となり、神社にあった仏教的な遺物は殆ど廃棄された。当社では珍しく三重の塔と仏像数躯が残され、いずれも国の重要文化財に指定されている。

(ケ) 火災発生及び初期消火の状況

午前7時40分頃から日吉神社境内で神社行事の左儀長が始められていた。折りからの北西の風に煽られて左儀長から出た火の粉が約30メートル離れていた三重の塔の最上層の屋根に飛び、火災に至ったものと推定される。この行事に参加する人がその途上で火災を発見し、通報した。桧皮葺屋根は厚みが5センチメートル程度もあり、火の粉がその上に落下するとくん焼状態が続き、その燃焼域が屋根内部に深く潜り込むために火災の発見が遅れた。この塔の屋根裏に空気管式の火災感知器が設置されていたが、これが作動するよりも早く、付近の人が火災を発見して消防署に通報した。本殿と三重の塔の前の町水道消火栓を使用して初期消火が行われた。しかし、高所であるために、有効注水にならなかった。

(コ) 消防活動の状況

三重の塔の最上層の屋根付近から白煙が生じていたために、塔内の中層まで進入して消火活動を行った。なお、塔内には大日如来像があったため、保護目的で



写真6 三重の塔(日吉神社)の焼け後の様子

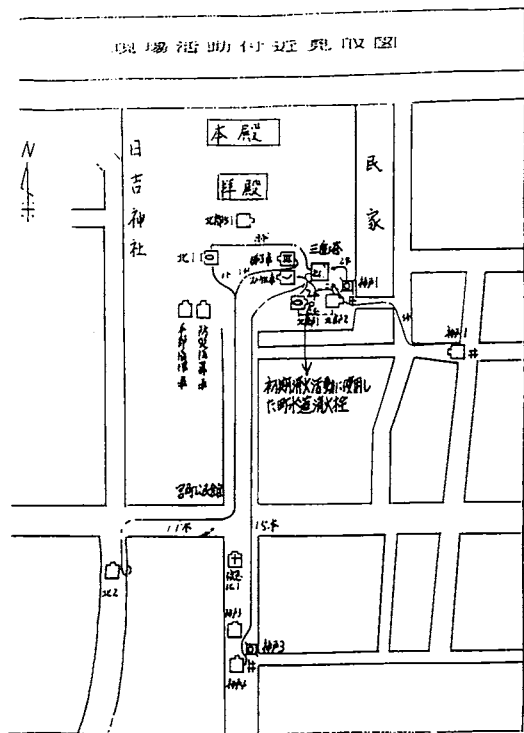


図6 火災防御図（日吉神社の三重塔）

水損防止作業を行った。特殊火災のため、即二次出動体制で対応し、出火場所が高所であることからはしご車、スノーケル車の同時出動を行い、ふかん注水を行った。なお、火災防御図を図6に、(焼け跡の様子を写真6に)示す。

5. 今後の研究課題

茅葺、桧皮葺、柿葺屋根を有する文化財建造物は、花火、飛火等で屋根の外側表面から容易に出火し、速く拡大する。これらの文化財建造物を火災から保護するためには通常建築物よりも予防対策及び警防対策を充実・強化する必要がある。そのためには個々の文化財建造物の特性と具体的な火災危険性を把握して、それに見合うように消防用設備を整備することが不可欠である。今後以下の項目に重点をおいて研究を行う予定である。

(ア) 屋外火災用の感知器の検討

花火、たき火等により植物性屋根の外表面から発生

する火災は燻焼時間が長く、しかも外部から発生することから感知器による火災発見が遅れる傾向にある。このような火災を早期にしかも確実に発見できるように感知器の取り付け場所、種類等について検討する。

(イ) 茅葺屋根等の消火方法の検討

茅葺、檜皮葺屋根の内部に火が入ってしまうと屋根上部及び建物内部から屋根裏面に放水しても完全消火が困難である。このため、建造物の大きさ、燃焼状況、水利状況、風速等に応じた消火法を確立する必要がある。燃焼状況によっては屋根面の燃えている区域の茅を除去することが必要であり、そのために必要な資機材等を検討する。

(ウ) 屋根の難燃化の検討

屋根材である茅、桧皮、柿（こけら）は激しく燃焼することから、屋根材に応じて難燃剤の種類、難燃材の経年変化、難燃性能の向上策について検討する。また、火災が屋根から建物内部に拡大するとき過程を明確にして、防火金網の利用等の火災拡大抑制技術についても検討する。

参考文献

- 1) 文化庁文化財保護部：文化財建造物の日常管理と防火手引き
- 2) 文化庁文化財保護部建造物課：重要文化財建造物防災設備補助事業指針
- 3) 井上光貞：歴史散歩辞典：山川出版社（1979）
- 4) 京都府文化財保護基金：文化財用語辞典：淡交社（1989）
- 5) 前久夫：古建築のみかた図典：東京美術選書（1980）
- 6) 川島宙次：滅びゆく民家：主婦と生活社
- 7) 谷上伊三郎：桧皮葺の技法：真陽社（1980）
- 8) 川崎市立日本民家園：日本民家園
- 9) 大垣消防組合：日吉神社「三重の塔婆」火災概要
- 10) 京都市消防局：京都の文化財
- 11) 豊川市消防本部：御津山浄土真院大恩寺念仏堂火災概要
- 12) 十和田市消防本部：旧笠石家住宅火災概要
- 13) 川崎市：（重要文化財）旧太田家住宅焼損復旧調査報告書

付録 文化財建造物の防火対策の変遷

年	法令の制定等	内容及び具体例	火災事例
明治4年	古器旧物保存法		
明治13年	古社寺保存金制度	全国539社寺に対して維持資金交付 (建物の小修理のみ)	(上水道の普及)
明治28年		本願寺の阿弥陀堂と太子堂の屋根にスプリンクラー設備の設置	
明治30年	古社寺保存法制定	避雷針と防火水槽(防火池)の設置開始	
明治35年	内務省訓令	特別保護建造物周辺における喫煙、火気使用制限	
明治42年		法隆寺五重の塔に避雷針設置	
大正3年		東大寺大仏殿の避雷針設備とドレンチャー設備 法隆寺境内の消火栓設備	
大正4年		日光山に消火栓設備	
大正8年	史跡名勝天然記念物保存法		
大正15年		金刀比羅宮境内に自然流下式消火栓設備	
昭和2年		善光寺本堂にドレンチャー設備	
昭和4年	国宝保存法の制定		
昭和7年		蓮華王院本堂(三十三間堂)に火災報知器の設置	
昭和8年	重要美術品等の保存に関する法律		
昭和9年		法隆寺保存修理に伴う自動火災報知設備、 避雷針、及び貯水槽設置	
昭和15年	国宝建造物維持修理要項の制定		
昭和16年			(太平洋戦争突入)
昭和19年			法輪寺の三重塔火災
昭和20年			202棟の文化財建造物の焼失
昭和23年	国宝建造物応急修理	戦災復旧工事開始	
昭和24年	5か年計画		法隆寺の火災
昭和25年		MM式火災報知器(京都と奈良)の設置	
昭和25年	文化財保護法制定	中尊寺に自動火災報知設備設置	
昭和28年		延暦寺の消火設備設置	
昭和31年			延暦寺の講堂火災
昭和36年	文化財防火ディーの制定		
昭和33年		元興福寺極楽坊に火除地設置	
昭和35年	5か年計画		
昭和36年		大報恩寺本堂に火除地設置	
昭和40年		文化財建造物が多数存在する社寺に消火栓設備	
昭和41年	消防法施行令の一部改正		
昭和47年		旧新発田藩足軽長屋(新潟)に火除地の設置	
昭和50年	文化財保護法の一部改正		
昭和56年		白川村(岐阜県)の消火栓設備の設置	

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。

1993年北海道南西沖地震による石油タンクのスロッシング

座間信作、井上涼介

1993年北海道南西沖地震における石油タンクのスロッシングの状況を調査した。それによると苫小牧で最大2.4m余りのスロッシング上昇量があり、3基のタンクで油の溢流があった。また震央距離約500kmの新潟では最大1.7mの上昇量が観測され、4基で石油タンクの浮屋根上への油の飛散が認められた。これらのスロッシング上昇量を説明する目的で、最寄りの気象官署の地震記録を収集し、応答解析を行なった。その結果、上昇量をよく説明できる場合とできない場合とがあることが分かった。この原因として、スロッシング上昇量の測定方法の曖昧さ、タンクへの入力地震動評価の不適切さが考えられることを指摘した。

対向流拡散火炎を用いた消火剤の性能評価

—希釈剤による予備的研究—

佐宗祐子、斎藤 直、廖 赤虹、尾川義雄

液体燃料の対向流拡散火炎を用いて消火剤の消火性能評価を行うことを目的に、希釈剤を添加した対向流拡散火炎の消炎条件について調べた。希釈剤/空気混合気の噴出速度と火炎が吹き消えるときの混合気中の希釈剤濃度（消炎濃度）の関係におよぼす、混合気噴出口—燃料容器間距離、燃料容器内の液面位置および燃料容器径の影響について実験的に検討した。

エタノール及びヘプタンの対向流拡散火炎は、窒素及び二酸化炭素添加混合気により吹き消える直前まで、燃料液面上に安定に定在していた。対向流拡散火炎の消炎濃度は、混合気噴出速度の増大に伴い低下した。混合気噴出口—燃料容器間距離を約16mmから10mmに縮め、燃料液面位置を燃料容器の上端に正確に合わせることにより、消炎濃度の再現性は向上した。また、文献値との比較から、混合気噴出口—燃料容器間距離が等しい場合、燃料容器径28mm ϕ と43mm ϕ の各装置による消炎濃度間に違いが認められないこと、特定の混

合気噴出速度における消炎濃度がカップバーナー法による消炎濃度に一致すること等が明らかとなった。

これらの結果は、対向流拡散火炎を用いることにより、様々な燃料/消火剤について条件の揃った合理的な消炎濃度の測定が可能であることを示している。

石油タンクの隅肉溶接部近傍の弾塑性解析

—その1 単純曲げの場合—

西 晴樹、亀井浅道、山田 實

石油タンクの破壊は多くの場合、側板とアニュラープレートの溶接継手部で起きている。この部位の破損には石油タンク材料の塑性変形挙動が大きく関与している。本報は、曲げ荷重を作用させてアニュラープレートに単純曲げの状態を発生させた場合の溶接止端部近傍での弾塑性変形挙動を、有限要素法を用いて数値解析的に検討したものである。解析の結果、負荷の増加に伴う塑性変形領域の進展挙動が明らかにされた。また、溶接止端部近傍で発生する応力集中は、止端部の角に丸みをつけることで緩和できることが明らかになった。

石油タンク隅肉溶接部の低サイクル疲労強度

—き裂の発生及び破断寿命に与える溶接の影響—

山田 實、亀井浅道、天野久徳、西 晴樹

石油タンクの側板と底板の隅肉溶接部には、溶接ビート形状による応力集中の他、溶接による金属組織の変化や残留応力等による強度低下の要因が複雑に関与しており、個々の要因がき裂の発生・進展等の挙動に及ぼす影響は、まだ十分に明らかにされていない。本報では、隅肉溶接止端部の形状による効果を除き、溶接の影響を調べることを目的とし、溶接のある試験片と同一の供試材から切り出した溶接のない試験片を作成し、それぞれのき裂発生寿命及び破断寿命を実験的に検討した。その結果、溶接のある試験片のき裂発生寿命あるいは破断寿命と荷重点での変位振幅との関係は、溶接のない試験片のそれらを平行移動したものに

ほぼ等しいことなどが明らかになった。

燃料／空気／不活性ガス混合気の燃焼限界と断熱火炎温度－燃焼範囲の推定－

齋藤 直

可燃性混合気の燃焼範囲は火災や爆発事故を防止する上できわめて重要なデータであるが、信頼できる報告は少なく、理論的に予測する適当な方法も提案されているとはいえない。

燃料／空気／不活性ガス混合気の燃焼範囲について、燃料過剰側及び希薄側の火炎温度が、燃料／空気混合気の上下それぞれの燃焼限界における断熱火炎温度以上となる範囲と仮定し推定する方法を提案した。そして、この燃焼範囲推定方法が実際に利用しうるかどうかを、燃料に四種類の無機化合物と三種類の有機化合物を用いて検討した。

混合気添加到する不活性ガスを変えて燃焼範囲を推定し、文献に報告された実測の燃焼範囲と比較した。提案した燃焼範囲推定法は、無機化合物の燃料では実測の燃焼範囲を良く近似できる結果を与えた。しかし、有機化合物の燃料では、燃料過剰側の燃焼限界の推定結果は、実測データと異なった。この原因は、提案したモデルが平衡計算のため、考慮した燃焼ガス組成は実際の燃焼生成ガス組成と違っている可能性のあること、及び燃焼範囲先端付近の化学量論比が1に近い混合気を選択拡散の効果を過剰に見積もったためと考えられた。

大規模火災を想定した水平地下空間模型実験における熱環境－天井温度と換気風速の関係－

渡部勇市、宮崎早苗、関沢 愛
山田常圭、箭内英治、齋藤 直

トンネルを模擬した長さ21.6m、断面寸法0.3m×0.3mの水平におかれた模型で大規模火災を想定し、メタノールより発熱量の大きいn-ヘプタンによる火災実験を行い、火源付近での天井温度と換気風速、発熱速度の関係について調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 天井の最大温度は、火源の発熱速度が一定であれば、換気風速が大きくなるにしたがい指数関数的に低下した。換気風速による温度低下の割合は、発熱速度が小さくなるにしたがい大きくなった。
- 2) 最大温度を示す天井の位置は、発熱速度及び換気風速が大きくなるにしたがい火源から風下側へ移動し、本模型実験では、換気風速0.43m/s、発熱速度96kWの条件の下で、天井の最大温度は約1200℃に

上昇し、赤熱している壁面の範囲は風下側へ天井高さの12倍以上に広がった。

ファジィ推論による火災判断機構について －ニューラルネットワークの利用－

細川直史

非火災報の低減を図る目的で、熱、煙、COセンサーを組み込んだ三素子センサーとファジィ推論により監視室の火災・非火災の状態を識別する火災性状把握システムの開発が行われてきた。しかしながら、システム中に用いられているファジィ推論機構は経験を積んだ人が火災・非火災のセンサーデータを基に、センサーを設置する部屋の環境を考慮しながらメンバーシップ関数を作成しなければならないという問題があった。

本報では、従来必要であったメンバーシップ関数の細かい設定や調整にかかる手間を軽減するために、ファジィ推論中に用いられているメンバーシップ関数としてニューラルネットワークを組み込んだ。ネットワークにくん焼火災、発炎火災、たばこ、湯気等による三素子センサー出力の特徴を学習させることで、ニューラルネットワークがメンバーシップ関数の働きをするファジィ推論機構を作成した。このファジィ推論機構は、メンバーシップ関数の細かい設定や調整を軽減し、人がトレンドグラフを見て火災を判断するような視覚的判断基準をファジィルールに組み込むことを可能とした。

屋外防災スピーカー・システムにおける時間差放送の音声明瞭度

稲垣 實、松原美之

屋外防災スピーカーの音声競合による聴取傷害の発生を防止し放送音声の明瞭度を向上させる方法として、複数のスピーカーから音波が聴取点に同時に到着するように、個々のスピーカーの放送のタイミングを聴取点からの距離に応じて調整する方法を用いることを提唱した。この原理を広い聴取地域で実現させる方法として聴取地域の中央からラジアル方向に音波を伝播させる方法が考えられる。この場合の音声競合による明瞭度劣化の程度を知るためのシミュレーションを行い、従来の放送方法の場合とSTI値の比較を行なった。その結果、筆者等が提唱する方法は従来の方法よりも音声競合による明瞭度劣化が大幅に少ないことが判明した。

対向流拡散火炎を用いた消火剤の性能評価

ハロン代替物質の消炎濃度一

佐宗祐子、齋藤 直、廖 赤虹
尾川義雄、井上康史

n-ヘプタン及びエタノールの対向流拡散火炎を用いて、ハロン1301及び3種類のハロン代替物質の消炎濃度を測定した。測定した消火剤/空気混合気噴出速度の範囲内で、消炎濃度はハロン1301、FC-3-1-10、HFC-227ea、HFC-23の順に増大した。結果をカップバーナー法による消炎濃度と比較すると、カップバーナー法と等しい消炎濃度を与える対向流火炎の混合気噴出速度は、燃料または消火剤の種類により約0.2m/sから0.5m/sまで変化した。しかし、混合気噴出速度が0.3m/sの場合のハロン代替物質の消炎濃度は、カップバーナー法による消炎濃度にほぼ一致した。

エタノール/空気/ハロン1301及びエタノール/空気/HFC-23混合気について化学平衡計算を行い、それぞれの断熱火炎温度と平衡化学種組成を比較した。結果は、ハロン代替物質による消炎の主な原因が消火剤の分解生成物による希釈効果であることを示唆している。

部分的に帯電油が満たされた円筒型タンク内部の電荷減衰過程

松原美之、Robert J. Pazda、Thomas B. Jones

空気と油の界面への電荷蓄積及び表面電気伝導を考慮にいれて、縦置き円筒型タンク内での過渡的な電荷減衰についての解析解を求めた。解は、様な電荷分布が仮定できる限りは、どの様な電荷緩和則をも取り扱うことが出来る。過渡的な油面電位は次式で表される。

$$\Phi_s(t) = \Phi_s(0) \times \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho(t)}{\rho(0)} \right)^{G_n^1} \exp \left(-\frac{t}{\tau_n^*} \right)$$

ここで、 $\Phi_s(t)$ は表面電位、 $\rho(t)$ は体積電荷密度のそれぞれ時刻における値、 G_n^1 は無次元の幾何学的係数で、タンクの縦横比と充填率によって定まる。 τ_n^* は表面電気伝導に起因する緩和の時定数でタンクの縦横比、充填率、規模及び表面電気伝導度に影響される。指数緩和則が成り立つときには、この解は簡略化され、その結果は我々が以前に行った数値計算による研究結果と一致することが示されている。

新潟におけるやや長周期地震動特性

座間信作

新潟地方気象台で観測された強震計記録の収集と数値化を行い、このデータに基づきやや長周期帯域にお

ける地震地帯構造区分別増幅度特性を求め、最大期待地震規模の地震に対する地震動予測を行った。その結果、日本海東没部を震源とする地震が、新潟における石油タンクのスロッシングに対しても最も高い危険度を持つことが分かった。予測精度を検討する目的で、1993年北海道南西沖地震を対象として地震動予測を行ったところ、観測スペクトルに見られた周期的10秒の大きなピークをほぼ説明することができた。この周期約10秒の波は、秋田から新潟にかけて伝播していく際に成長したことが87型強震計記録の解析から明らかとなった。

地震災害時における防災担当職員の非常参集に関する研究(その2) 1993年釧路沖地震時の消防職員・団員の非常参集の実態に関する調査結果

関沢 愛

1993年1月15日に発生した釧路沖地震の際における非常参集に関して、釧路市消防局の消防職員、および消防団員に対して、地震2カ月後にアンケート調査を行った。

ここでは、この調査結果に基づき、釧路沖地震時に実際行われた消防職員、団員の非常参集における諸条件、すなわち、参集距離、参集手段、参集時間、および参集途上での情報収集伝達等の実態について述べるとともに、川崎市の非常参集訓練時の際に実施したアンケート調査結果との比較を行った。

その結果、首都圏の大都市である川崎市とは異なり、人口20万人規模の地方中核都市である釧路市では、参集距離が短く、参集手段が車であったことなどから、非常に短時間に大半の消防職員、団員が参集することができたことがわかった。また、参集途上において、火災や建物被害などをかなり発見しており、参集途上での災害情報収集の有効性が示唆された。

消火栓の凍結防止工法に関する研究

平賀俊哉

寒冷地では、消火栓内の水は地下1.5m程度の所にあるメインバルブで止められており、これより下流側にある立管部の水は排水されている。消火栓凍結障害のうち最も問題となるのは、このメインバルブ内の水の凍結である。

そこで、メインバルブ内の水の凍結防止を目的とした工法について、消火栓のおかれている場を二次元非常熱伝導問題として数値的に解析した。

数値計算の結果、実用性が高く効果的な工法は、一辺3m、厚さ10cmの断熱平板を地表面下50cmの所に水

平方向に埋設するのが最適であることがわかった。その後、旭川市では、この工法が正式に採用された。現在、この工法によった消火栓の基数に経過年数を乗じ積算基数5397（年基）は一度も凍結障害が発生していない。

また、消火栓立管部を断熱材で覆う既存工法は、設置した断熱材が立管部への地熱の流入を断ち凍結を促進するはたらきをするため、対策を立てないものより悪い結果を引き起こすこともわかった。このことは、現地実験でも実証している。

消防研究所「研究懇話会」要旨

〔平成6年1月10日〕

特殊小型はしご車基部（起伏、旋回、スライド、アウトリガー装置）の試作について：山田 實、亀井浅道、天野久徳、西 晴樹

近年、3階程度の低層階建築物の火災に対してはしご車の活用が求められているが、住宅密集地、市街地の道路事情等から建築物の直近にはしご車を部署することができない実状にある。このため、これらの問題を、解決でき、かつ、人命救助や消防活動ができる多機能の機動性のある特殊小型はしご車の開発を行っている。開発の第一段階として、特殊小型はしご車の模型を試作し、その基部の特徴について紹介した。

基部は、起伏、旋回、スライド、アウトリガー装置で構成されており、それぞれの特徴は、以下の通りである。

- (1) 起伏は、0度から約110度まで行うことができる。
- (2) 旋回とスライド装置により、はしご本体の旋回半径を変化させることができる。
- (3) 4本のアウトリガー装置を用いて、はしご本体の矯正を行うことができる。その誤差は、はしごの旋回面が水平面に対して1度以内である。

月別降水量と月別火災件数の相関について：山下邦博、那波英文

昭和38から平成4年までの32年間の林野火災データを利用して全林野火災と焼損面積が10ha以上の大規模林野火災について発生件数の地域特性について検討するとともに火災の発生に及ぼす気象要素（気温、湿度、風速等）の影響を調べた。地域特性については気象庁が使用している都道府県の地域細分単位についてそれぞれの地域について林野火災件数割合、大規模林野火災の割合、林野火災の頻発する時期と時刻の特性を検討した。また、各地域について火災件数と気象要素の相関を調べ、林野火災の発生に関係する主要なパラメータを求めた。岡山県の3月の林野火災の発生件数は降水量、気温、日照時間を説明変量とする重回帰式で近似出来ることが分かった。

〔平成6年3月14日〕

時間差方式による放送の明瞭度：稲垣 實、松原美之

屋外防災スピーカーの音声競合による聴取障害の発生を防止し放送音声の明瞭度を向上させる方法として、複数のスピーカーからの音波が聴取点に同時に到着するように、個々のスピーカーの放送のタイミングを聴取点からの距離に応じて調整する方法（時間差方式）を用いることを提唱した。この原理を広い聴取地域で実現させる方法として聴取地域の中央からラジアル方向に音波を伝播させる方法が考えられる。この場合の音声競合による明瞭度劣化の程度を知るための理想化したスピーカーを用いた場合のシミュレーションを行い、従来の放送方法の場合とSTI値の比較を行なった。その結果により、時間差方式は従来の方法よりも音声競合による明瞭度劣化が大幅に少ないことを示した。

自己反応性物質の分解の激しさ試験について：彭 金華、長谷川和俊

従来の圧力容器試験法の欠点を排除した改良型密閉式圧力容器試験法（MCPVT）の提案を行った。MCPVTについて、試験成績の信ぴょう性を論議し、併せて汎用性について検討した。つまり、温度に関する測定値、発熱開始温度、自己昇温速度、最高到達温度などは絶対的評価ができ、圧力に関するもの、昇圧速度、最高到達圧力などは相対的評価が可能であることが判明した。また、分解反応の初期における活性化エネルギーおよびポリトロープ変化のポリトロープ指数の算定が可能であることも明かになった。

〔平成6年4月11日〕

ファジイ推論に関する一考察—ニューロネットワークの応用について—：細川直史

消防研究所と松下電工(株)は、これらの問題を解決するために熱、煙、COセンサーを組み込んだ三素子センサーとファジイ推論により火災性状を識別、非火災報の低減を図る火災性状把握システムの試作を行った。しかし、このシステム中に用いられている推論機構は、メンバーシップ関数の設定やチューニングに多くの手間がかかるという問題があった。本報告では、ファジイ推論中に用いられているメンバーシップ関数としてニューラルネットワークを組み込み、くん焼火災、発炎火災、たばこ、湯気等によるセンサー出力の特徴をネットワークに学習させることで、従来必要であったメンバーシップ関数の細かい設定や調整の必要のないファジイ推論機構を作成した。

ハロン代替新消火剤の動向と今後の展望：斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄、廖 赤虹、井上康史

成層圏オゾン層の保護を目的とした1994年1月1日からのハロン消火剤廃止の経緯を述べ、ハロン代替の新消火剤開発状況を説明した。わが国で新消火剤を利用する際に必要となる技術基準に関し、消火第二研究室で行っている研究活動の現状を報告し、新消火剤の今後について展望した。

〔平成6年5月9日〕

赤リン難燃剤含有合成樹脂の燃焼時におけるホスフィン等有毒ガスの発生特性：那波英文、守川時生、小林 強 (燐化学工業株式会社)

赤リンを難燃剤として使用したプラスチックの燃焼生成ガスを測定し、(1) ホスフィンがどの程度発生しているか、(2) CO、HCNなどが赤リン難燃剤を使用した場合と使用しなかった場合とでどう変化するかについて、数グラムの試料規模で実験を行い、赤リン難燃剤によって毒性がどのように変わるかを調べた。(1) 赤リンから生じるホスフィンは微量であり、火災時の代表的有毒ガスであるCOおよびHCNと比べて毒性として無視しうる。(2) 赤リン難燃剤を含むことで、火災時の代表的有毒ガスであるCOおよびHCNの発生量の変化は小さいことが得られた。

地下空間模型を用いた火災性状に関する実験的研究 —トンネル内における熱環境と換気風速—：渡部勇市、宮崎早苗、関沢 愛、斎藤 直、山田常圭、箭内英治

トンネル状の水平地下空間模型内の熱環境と換気風速の関係について報告する。長さ21.6m、断面寸法0.3m×0.3mのトンネルを模擬した模型実験により、火源付近での天井温度、床面への放射熱を測定し、換気風速との関係について調べた。

その結果、天井の最大温度は、換気風速が大きくなるにしたがい指数関数的に低下し、最大温度を示す天井位置は火源より風下側に移動した。火源より風上側での床面への放射熱は、換気風速が大きくなるにしたがい低下したが、火源より風下側での床面への放射熱は上昇し、火源への放射熱よりも数倍高くなることが分かった。

〔平成6年6月13日〕

帯電油面上の非接地状態の金属フロートの電位：松原美之

ケミカルタンカーの火災爆発事故の原因究明に関連して非接地状態の金属製フロートの電位計算を行う必要が生じたことから、これまでに作成した静電場計算プログラムを、帯電した油が導電性を有する条件を取り扱えるよう、また、3次元での静電場計算を行えるよう拡張した。さらに、油の導電性と内部構造物が、フロートの電位に与える影響について、改良した計算法により解析した。

主な出火源別の建物火災の特徴：寒河江幸平

昭和58年から平成4年までの建物火災について、主な出火源別の第1着火物、出火時刻別発生割合及び死者の発生した火災について着火物別、出火時刻別の発生割合について統計分析を行い、それぞれの火災の特徴を明らかにした。

出火原因別の第1着火物をみると、タバコではふとん、コンロでは動植物油、火遊びでは紙屑、紙製品で、放火・放火の疑いでは紙製品、紙屑であった。出火時刻別では、たばこは殆ど一日中差がなく、コンロは夕食時に、

火遊びは15時頃、放火・放火の疑いは夜半に多い傾向が見られた。死者の発生した火災の着火物をみると、たばこではふとん・寝具類、コンロでは動植物油、衣類、火遊びでは紙屑類、放火・放火の疑いでは鉱油類、衣類であった。死者の発生した火災について出火時刻別の火災発生件数割合をみると、たばこでは夜半に、火遊びでは日中に、放火・放火の疑いでも日中にそれぞれ多く、コンロでは一日中の変化が少なかった。

〔平成6年7月11日〕

酸化性液体の危険性評価試験法について：於 玉華、古積 博、長谷川和俊

硝酸、過塩素酸等の酸化性液体に対して消防法で定められている危険性評価試験法を改良した方法により試験を行い危険性評価を試みた。その結果、改良法では、燃焼時間、燃焼の程度等から酸化性液体の危険性を定量的に評価でき、かつ、従来法では危険性が評価できない弱酸化性液体に対しても評価出来ることが判った。また、本試験法による序列結果を説明する断熱パラメーターを提案した。同パラメーターは化学反応熱と試料の比熱から計算するもので、このパラメーターによって酸化性物質の支燃性を予想できることが判った。

限外ろ過法によって分画されたケラチン加水分解物及び各種極性溶剤火災用泡消火剤の極性溶剤火災に対する消火性能について：星野 誠

牛馬の角やひずめのケラチン蛋白質を水酸化ナトリウムまたは水酸化カルシウムを用いて加水分解した原液を限外ろ過法によって分画し、原液及びその分画成分の消火性能を燃焼面中央泡打ち当て方式により調べた。ガソリン火災に対して消火できた泡は、水酸化ナトリウムによるケラチン加水分解原液とその分画分子量50000～5000成分に鉄(II)を反応させた蛋白泡2種類、水酸化カルシウムによるケラチン加水分解原液とその分画分子量5000以上の成分に鉄(II)を反応させたタンパク泡2種類、水酸化アナトリウムによるケラチン加水分解原液とその分画分子量に50000以下の成分に鉄(II)を反応させた後フッ素化合物を添加したフッ素蛋白泡2種類及び市販の各種国家検定泡消火剤であった。

〔平成6年9月12日〕

GAによるADFの構造決定と地震波形の予測：細川直史、座間信作

適応デジタルフィルタ (Adaptive Digital Filter) は、システム同定やノイズキャンセラーへ応用されている。しかしながら、フィルタ内の重み係数が収束するためには、フィルタの次数及びステップ幅を適当な値に決定する必要がある。ADFを観測された地震動データに対する信号予測機構として応用し、より良い次数及びステップ幅を求めるために遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) を応用した。得られたパラメータを基に地震波形の予測を行ったところ、誤差の少ない予測ができることが分った。

原油液面火災から生じる煙の量と粒径分布：古積 博、G. Mulholland

直径8.5cmから最大で15m角の大きさまでのいくつかの大きさの容器において、原油の火災実験を行い、火災から生じる煙の量と煙粒子の粒径分布を測定した。その結果、容器の大きさが大きいほど生じる無次元煙量が増加し、かつ、煙粒子の大きさも大きくなることが判った。また、煙粒子を構成する初期粒子は、容器が大きくなると、その大きさが大きくなり、かつ、その粒度分布も広がるが、これは煙の火災内滞在時間に支配されることが判っている。従って、容器が小さいとき、煙は火炎頂上部からのみ生じるが容器が大きくなると煙が火炎頂部以外からも生成し、火炎全体を覆うことが判った。

〔平成6年10月17日〕

模型トンネル内火災のフィールドモデルによるシミュレーション：箭内英治、山田常圭、関沢 愛、渡部勇市、宮崎早苗、斎藤 直

長さ20m、高さ0.3mの2次元模型トンネルの中央床上に火災を想定した火源を置き、換気風速を変化させて模型トンネル内の火災気流、温度分布などの数値シミュレーションを熱流体解析コードFLOW3Dを用いて行った。この数値シミュレーション結果をトンネル模型(長さ21.6m、断面寸法0.3m×0.3m)での火災実験により得られた熱気流の遡上状況、温度分布等の結果と比較し、シミュレーションの妥当性を検討した。

本シミュレーションは、熱気流の遡上を防止する限界の換気風速は実験結果を再現しており、このシミュレーションにより実大トンネル火災の火災性状をシミュレートする基本的な手がかりを得た。

消火栓凍結防止工法の開発—その経緯と現時点での評価—：平賀俊哉

寒冷地では、消火栓内の水は地下1.5m程度の所にあるメインバルブで止められており、これにより下流側にある立管部の水は排水されている。消火栓凍結障害のうち最も問題となるのは、このメインバルブ内の水の凍結である。

そこで、メインバルブ内の水の凍結防止を目的とした工法について、消火栓のおかれている場を二次元非定常熱伝導問題として数値的に解析した。

数値計算の結果、実用性が高く効果的な工法は、一辺3m、厚さ10cmの断熱平板を地表面下50cmの所に水平方向に埋設するのが最適であることがわかった。旭川市では、この工法が正式に採用され、この工法によった消火栓の基数に経過年数を乗じたの積算基数5397（年基）は一度も凍結障害が発生していない。

また、消火栓立管部を断熱材で覆う既存工法は、設置した断熱材が立管部への地熱の流入を絶ち凍結を促進するはたらきをするため、対策を立てないものより悪い結果を引き起こすこともわかった。このことは、現地実験でも実証している。

[平成6年11月14日]

微風室内における燃焼と火災感知：佐藤晃由

空調状態の室内での火災では、燃焼加速され、一方、希釈された火災熱煙の早期感知は困難になることが予想される。しかし、高感度火災感知器では、非火災報要因が少ない常時空調された特殊な場合を除き、大多数のオフィスやホテル客室などでは、空調は頻繁に作動と停止が繰り返され、非火災報が頻発する。

このため、通常の状態にある室内での火災の早期感知を目的とし、空調気流による燃焼の加速状態の把握と複合型火災感知器による早期火災感知に関する実験を行い、併せて数値シミュレーションによる火災気流の把握を行った。

その結果、空調状態室内でのポリウレタンの燃焼速度は、無風状態に比べて、1.5～2倍にも達することがあり、また極微風状態でも、10～50%の燃焼速度の差がある場合があった。数値シミュレーションによる床面付近の流れの様子は実験と類似していた。このような室内の火災は、熱・煙・COセンサーなどの多素子センサーにより、早期感知が可能であることがわかった。

北海道南西沖地震による石油タンクのスロッシングとやや長周期地震動—特に新潟について—：座間 信作

1993年北海道南西沖地震による石油タンクのスロッシング状況を調査した。それによると苫小牧で最大2.4m余りの上昇量があり、3基のタンクで油の溢流があった。また、震央距離約500kmの新潟では最大1.7mの上昇量が観測され、4基でタンク浮き屋根上への油の飛散が認められた。これらのスロッシング状況を説明するため、最寄りの気象官署の地震記録を収集し応答解析を行った結果、場所によっては数倍の応答量の違いとなる場所があった。

距離の割りに大きな応答のあった新潟について、約40年間の強震記録を収集・数値化し、やや長周期地震動特性の評価を行った。その結果、日本海東縁部を震源とする地震が最も石油タンクのスロッシングに対して影響を与えることが分かった。また、得られた増幅度特性を用いて北海道南西沖地震を対象とした地震動予測を行ったところ、観測スペクトルに見られた周期10秒の大きなピークをほぼ説明することができた。この周期10秒の波は、秋田から新潟にかけて伝播していく際に成長したことが日本海東縁部の観測点の記録の解析から明らかとなった。

[平成6年12月12日]

石油タンクの隅肉溶接継手近傍の弾塑性挙動—その2 歪み分布—：西 晴樹、亀井浅道、山田 實

石油タンクの破壊は、側板とアニュラープレートの隅肉溶接部から始まるものが多い。これは、隅肉溶接部にはその形状に起因して応力が集中するからである。溶接止端部近傍のアニュラープレートに発生する塑性領域の

変形挙動は石油タンクの損傷に大きな影響を与える。

そこで、前回報告に続き石油タンクの隅肉溶接部の2次元有限要素モデルを用い、アニュラープレート先端に側板との開き角が増す方向に変形を与えたとき、及び引き続き1サイクルの繰り返し荷重を与えた場合、の2通りの場合の弾塑性歪みの挙動・分布について解析した。

解析の結果、除荷後の再負荷により同じ変形を与えた場合において歪みの絶対値の分布はほぼ同じであること、アニュラープレート表面の最大歪みは裏面のそれより10%程高いこと、除荷及び再負荷の時にはアニュラープレート表面、裏面の残留塑性歪み領域の長手方向への進展及び厚さの変化は生じないことが明らかにされた。

難引火性液体の引火点測定に関する研究：岩田雄策、古積 博、長谷川和俊

水またはハロゲン化合物を含んだ難引火性液体について、セタ密閉式引火点試験器を用いた引火温度範囲の測定及びクリーブランド開放式引火点試験器を用いた引火点の測定を行った。2種類の試験器によって測定された引火点の差異に対して、可燃範囲との関係の上で検討した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 密閉式試験器による測定結果から求めた引火温度範囲と開放式試験器によって測定した引火点の関係は、難引火性液体の種類によって異なった。
- (2) メタノール水溶液においては、引火限界濃度と可燃限界濃度がほぼ一致した。また、開放式試験器によって測定した引火点は密閉式試験器により測定した引火温度範囲内にあった。
- (3) ハロゲン化合物を含んだ難引火性液体の場合、ハロゲン化合物の高濃度側において、開放式試験器では密閉式試験器によって測定した引火温度範囲から外れて引火した。

消 研 輯 報 第 48 号

平 成 7 年 3 月 印 刷

編 集 者 兼
発 行 者

自 治 省 消 防 庁 消 防 研 究 所

東 京 都 三 鷹 市 中 原 3 丁 目 14-1
電 話 武 蔵 野 三 鷹 (0422)44局 8331