

消研輯報 46

平成 4 年度

〔グラビア〕

- UJNR防火専門部会・第12回日米合同会議
- 毎年の恒例行事
- 火災感知技術
- 消火技術

〔紹介〕

- UJNR防火専門部会・第12回日米合同会議
- 米国アラバマでの原油の大規模燃焼実験に参加して

〔研究紹介〕

- 二酸化炭素濃度の測定によるガレキ内要救助者の探索—その2—
(様々な条件下での測定例とモデル化)
- ガレキ内の要救助者探索のための検知部進入機構の試作
- 火点放射式簡易自動スプリンクラーの開発
- 火災性状把握システム試作機(第2次)の概要

〔解説及び調査〕

- 光電式煙感知器—25年の歩みと将来動向調査—
- 長大トンネルの消防防災対策の調査報告

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻第73号(1992年3月)
通巻第74号(1992年9月)掲載論文の概要
 - 「研究懇話会の概要紹介」要旨
-

消研輯報

46号

目 次

〔グラビア〕

- U J N R防火専門部会・第12回日米合同会議…………… 1
- 毎年の恒例行事…………… 1
- 火災感知技術…………… 2
- 消火技術…………… 2

〔紹介〕

- U J N R防火専門部会・第12回日米合同会議……………関沢 愛…… 3
- 米国アラバマでの原油の大規模燃焼実験に参加して……………古積 博…… 9

〔研究開発〕

- 二酸化炭素濃度の測定によるガレキ内要救助者の探索—その2—
(様々な条件下での測定例とモデル化)
……………高橋 哲・松原美之・渡部勇市・佐々木弘明……11
- ガレキ内の要救助者探索のための検知部進入機構の試作
……………渡部勇市・松原美之・稲垣 實・高橋 哲・佐々木弘明……17
- 火点放射式簡易自動スプリンクラーの開発
……………河関大祐・金田節夫・笹原邦夫・佐藤公雄・長岡 暁……23
- 火災性状把握システム試作機(第2次)の概要
…細川直史・佐藤晃由・河関大祐・田村裕之・奥田善彦・草薙繁量
山崎秀範・栗尾 孝・藤岡 透・渡部祥文・中西慎治・桐畑慎司……29

〔解説及び調査〕

- 光電式煙感知器—25年の歩みと将来動向調査—
……………田村裕之・佐藤晃由・河関大祐・細川直史……35
- 長大トンネルの消防防災対策の調査報告
…山田常圭・斎藤 直・渡部勇市・関沢 愛・箭内英治・宮崎早苗……43

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻73号(1992年3月)
通巻74号(1992年9月)掲載論文の概要……………51
- 「研究懇話会の概要紹介」要旨……………53

対外的活動の紹介

- UJNR 防火専門部会・第12回日米合同会議（本文p.3-p.7参照）



写真-1 会議風景



写真-2 所内見学

- 毎年の恒例行事



写真-3 春の一般公開
（地下利用の特殊空間における火災
性状の実験説明、本文p.43～p.49参照）



写真-4 秋の消防技術者会議
（東京大学 月尾教授による「仮想現実技術
の応用と展望」の特別講演

防災設備機器の高度化にかかわる技術開発

□ 火災感知技術（本文p.29-p.34参照）



←写真-1 火災性状把握システム試作品外観

↓写真-2 ファジー推論状況のCRT画面表示例



□ 消火技術（本文p.20-p.24参照）



写真-3 家庭用簡易スプリンクラーの散水試験



写真-4 開発スプリンクラーヘッド

UJNR防火専門部会・第12回日米合同会議

関沢 愛

1. はじめに - UJNRとは

建築防火に関する日米合同会議、即ちUJNR防火専門部会・日米合同会議は、昭和51年4月第1回がワシントンDCで開催されたのを皮切りに、ほぼ1.5年毎に米国と日本で交互に舞台を移して定期的開催されている。今回は数えて第12回目に当たり、平成4年10月27日から11月2日の期間、建築研究所及び消防研究所を会場として開催された。過去6回の米国での会議は、初めの4回はワシントンDC(実際には郊外のメリランド州ゲイザスバーグにあるNIST*)で開催されたが、第9回は歴史の地ボストンの郊外に会場を移し、Factory Mutual Research Corporationにおいて開催された。さらに、第11回は、西海岸のカリフォルニア大学バークレー校が会場となった。日本での開催地はいずれも、東京あるいは筑波である。

UJNRとは、天然資源の開発利用に関する日米会議(U.S.-Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources)のことで、防火のみならず、森林、有毒微生物、耐風耐震構造、地震予知技術、海洋構造物、その他計18の専門部会を有する日米協定に基づく政府職員及び民間の協力委員による会議である。防火専門部会は、そのうちの1つの部会ではあるが、その成果が日米両国のみにとどまらず、世界の防火研究者に影響を与えてきたといっても過言ではないほど活発な部会の1つである。

2. 参加者の顔ぶれ

米国側からの参加は、委員・協力委員・特別参加者を含めて計15名(表1)であった。この中で、常連組といえる人は、NIST・BFRL*関係者のほかエモンズ名誉教授、ズコスキ及びバグニ両教授、ホール博士な

表1 UJNR第12回防火専門部会出席者(米国側)

氏名	所属	備考(専門領域、実績など)
1. H. Emmons (Prof.)	Harvard University 名誉教授	米国火災研究推進の父、HARVARD火災モデル
2. E. Zukoski (Prof.)	California Institute of Technology	米国流体力学の最高権威の1人
3. P. Pagni (Prof.)	University of California, Berkeley	火災工学、過剰熱分解ガス等
4. R. Alpert (Dr.)	Factory Mutual Research	火災性状、天井衝突ブルーム、スプリンクラー等
5. J. Hall (Dr.)	National Fire Protection Association	火災危険度解析
6. P. Sarkos (Dr.)	Federal Aviation Agency	米国連邦航空局における火災研究者
7. J. Beyreis (Dr.)	Underwriters Laboratories	米国の製品規格の認証、試験機関の重鎮
8. M. Janssens (Dr.)	National Forest Products Association	建築材料の燃焼性状、材料試験
9. R. Okawa	International Conference of Building Officials	建築モデルコードの作成機関の専門家
10. J. Snell (Dr.)	NIST, BFRL 副所長	現在の世界火災研究協力推進の中心人物
11. R. Gann (Dr.)	NIST, BFRL 火災科学研究部長	燃焼物理、化学、火災特性測定
12. T. Kashiwagi (Dr.)	NIST, BFRL 燃焼研究グループ長	燃焼物理、化学、固体及び液体の燃焼
13. H. Baum (Dr.)	NIST, BFRL NIST Fellow	フィールドモデル、NIST最高の応用数学者との評価
14. W. Jones (Dr.)	NIST, BFRL 火災危険解析グループ長	火災モデル、FIRST, HAZARD Iの開発者
15. J. Rockett (Dr.)	コンサルタント、元NIST高級研究員	火災モデル、HARVARD V, HARVARD VIの開発者

注) NIST: National Institute of Standards and Technology
(国立標準局)

BFRL: Building and Fire Research Laboratory
(建築・火災研究所)

*NIST: National Institute of Standards and Technology (国立標準技術研究所)

*NIST・BFRL: NISTに所属する建築火災研究所 (BFRL=Building and Fire Research Laboratory)

どで、米国の各々の火災研究分野を代表するラインアップとって間違いはない。特に、ハーバード大学で永年に渡って火災研究の指揮をとり、多くの弟子を育ててきたエモンズ氏は、米国のみならず世界における火災研究の大御所的存在で、多くの人から高い尊敬を受けている。また、80才を越える現在でも、元気にこうした会議に出席し、的確な指摘を行っている点は驚くばかりである。エモンズ氏の弟子で当年65才になる元NIST高級研究員のロケット博士でさえ、エモンズ先生の前では若い学生のように映ってしまうのは不思議である。

今回、米国側から新しく参加した人の中には、米国で最も普及している建築基準のモデルコード“UBC”の作成機関の専門家である日系三世のオーカワ

氏も含まれている。

日本側からの参加は、正確には把握しきれないが合計で約35名であった。

3. 研究発表の概要

研究発表プログラムは表2に示すとおりで、6つの特定分野に関する分科会およびオープンテクニカル分科会が設けられた。各分科会では、それぞれの研究分野について両国の最近の研究とそのオーバービュー（プログレスレポート）が報告された。オープンテクニカル分科会では、上の6つの研究分野以外の特に興味ある課題について研究成果が発表された。各分科会の概要を以下に記す。

表2 UJNR第12回防火専門部会プログラム（要約）

月 日	場 所	時 間	内 容
10/27 (火)	建 研	午前	開会式、施設見学
		午後A	Fire Modeling(I)
	午後B	Suppression/Detection(I)	
	筑波山	夕方	レセプション
10/28 (水)	建 研	午前A	Fire Modeling(II)
		午前B	Suppression Detection(II)
		午後A	Toxicity/CO Formation
		午後B	Design/Risk/Applications
10/29 (木)	建 研	午前A	Materials/Test Methods
	午前B	木造3階建共同住宅	
	間組研究所	午後	施設見学
10/30 (金)	那 須	全日	火災安全工学ミニ・シンポジウム (※UJNRのプログラム以外の行事)
11/ 2 (月)	消 研	午前	Open Technical、閉会式、施設見学
	鹿島研究所	午後	施設見学

① Fire Modeling（火災モデリング）

プログレスレポートでは、米国側からは、ゾーンならびにフィールドモデルの特徴を活かした火災性状予測モデルの開発状況、火災安全対策への適用について紹介された。日本側からは、広範な問題に対処できる火災モデルの開発上必要となる種々の未解明の火災現象のモデル化に関する研究動向及び既往の火災モデルの検証のための実験について紹介された。

研究発表内容は、大きく分けて木材表面の垂直火災伝播に関するもの2件と、建物内の煙流動性状に関するもの6件からなる。後者では、既往のゾーンモデル

の改良からフィールドモデルあるいはその中間を埋める新たなモデルの提案まで多岐にわたって発表された。消防研究所からは、山田・クーバーによるアトリウム火災における換気流に関する研究が報告された。

② Suppression/Detection（消火と感知）

プログレスレポートの報告と日米4件ずつの研究発表が行われた。日本側プログレスレポートは、消防研究所の河関によって行われた。

日本側の研究発表は、火災感知に関するコンピュータシミュレーションの研究が2件、新型火災感知システムの開発に関する研究が1件とハロン代替物の消火



写真1

研究発表会場の様子
—司会の佐藤室長と発表する細川研究員



写真2

公式レセプション会場にて
—歓談する佐々木所長とNISTのパウム氏



写真3

公式レセプション会場にて
—NISTのスネル副所長を囲む消防研究所員

性能試験に関する研究が1件であった。以上の発表の内3件が消防研究所の佐藤、細川、斉藤によって行われた。

米国側の発表は、火災感知技術に関する研究が1件

とスプリンクラー関係の研究が3件であった。

今回の会議では、オゾン層の破壊防止を目的としたフロン規制に呼応して、ハロン代替消火薬剤関係の研究への関心が強かった。

③ Toxicity/CO Formation (毒性とCO生成)

日米両国における煙毒性に関する研究動向がプログレスレポートにより報告されたのち、日本側3件、米国側2件の計5件の研究発表が行われた。

日本側の発表は、閉鎖空間の強制換気条件下での火災によるCO発生の研究、ラットを用いたCOガス暴露による生理学的影響の研究、及び火災による死者の剖検結果に基づく死因の研究であったのに対して、米国側の発表は、火災危険度予測モデルのための毒性データ、あるいは室火災におけるCO生成予測に際しての毒性等価率概念の限界というように、モデル化のための基礎的研究といえる内容であった。

④ Design/Risk/Hazard/Application (設計、危険度分析、応用)

プログレスレポートの報告と日本側3件、米国側2件の研究発表が行われた。米国のプログレスレポートでは、近年、火災危険度分析手法に関する研究について大きな進展があったことが報告され、日本側のプログレスレポートでは、火災や煙拡散モデルの現実の設計への応用が増加している現状が報告された。

日本側の研究発表は、消防研究所の関沢による火災統計データに基づいた火災危険の国際比較結果のほか、避難関係規定の国際比較、及びアトリウムにおける自然換気による煙制御に関する研究の報告であった。

米国側の発表は、米国、日本、オーストラリアなどで開発された火災危険度分析手法の国際比較とバックドラフト現象の再現実験に関する報告であった。

⑤ Material/Test Methods (材料と試験方法)

プログレスレポートのほか、日本側1件、米国側3件の研究が報告された。日本側の研究発表は、塩素を含んだ材料から発生した煙による腐食の試験方法に関するものであった。米国側の発表は、難燃性高分子材料の開発に関する研究2件と火災の非熱的被害に関するもの1件であった。

⑥ Urban Fire/Three Story Wooden Apartment (都市火災と木造3階建共同住宅)

この分科会ではプログレスレポートはなく、日本側3件、米国側1件の計4件の研究発表が予定されていた。日本側の発表では、建築研究所の長谷見による日本の都市大火の歴史と木造建築の防火規制の変遷に関する興味深い報告のほか、地震加力後の木造3階建共同住宅の火災実験結果が報告されたが、最後に予定さ

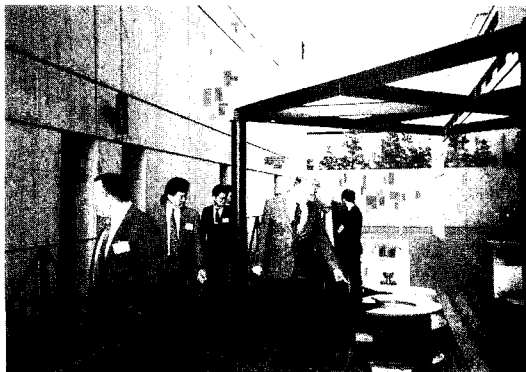


写真 4

鹿島建設技術研究所のラボラトリーツアー
— 免震ゴムの展示に見入るズコスキ、エモンズ両教授



写真 5

開会式で見事な日本語であいさつを行ったバグニ教授

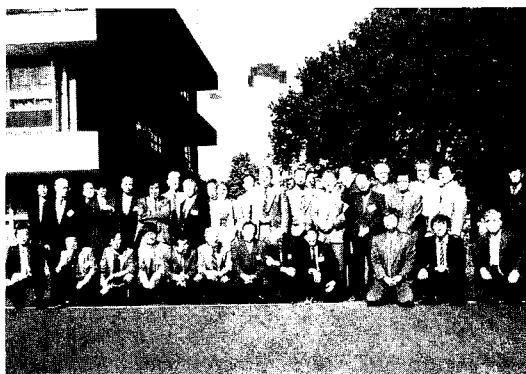


写真 6

参加者全員の記念写真（消防研究所にて）

れていた木造3階建共同住宅の防火基準に関する報告はスケジュールの制約のため発表されなかった。米国の発表は、1991年10月にオークランドで発生した山火事についての調査報告であった。

⑦ Open Technical

当初予定されていた米国側発表予定の2件が発表者不参加のためキャンセルされたことにより、日米1件ずつの研究発表のみとなった。日本側の発表は、複数火源による火災の火炎高さに関する研究、そして米国側の発表は、海軍の消防隊の訓練施設における安全性と環境の面の検討結果に関するものであった。

4. 今回の日米合同会議の特徴とその背景

今回の合同会議の企画には、日米に共通する関心に基づく目的意識があったといつてよい。それは、一言でいえば火災安全工学（Fire Safety Engineering）の確立とその現実への適用の推進ということである。その背景には、火災危険度評価手法や試験法の国際協調化、火災や煙モデルに関する多国間合意の形成、また防火基準の性能規定への移行を目指す国際的動向などがある。これらは、CIB W14（国際建築情報会議・建築防火部会）やISO TC 92（建築防火分科会）の中でも近年重要なテーマとなっていて、特にISO TC 92ではそのためのSC4（Fire Safety Engineering）を設けたほどである。この方向への国際的協力の必要は、NIST、BFRL 副所長のスネル氏自身が様々な国際会議で強調していることでもある。

前回の会議の決議文中に既にその目標は掲げられていたのだが、今回はそれがプログラムの中に具体的に反映されていたのが特徴である。リスク分科会をはじめとして、個々の研究発表の中にもそうした主旨のものが含まれていたが、具体的な行事としては、一つは、ラボラトリーツアーの中に民間の建設会社2社の技術研究所の見学があったこと、もう一つは、公式行事ではないが期間中に「火災安全工学ミニシンポジウム」が特別企画されたことである。特に後者では、日米双方における火災安全工学の現実への適用の現状が報告された。米国側で今回はじめてUJNRに参加したメンバーの内、ベヤリス、ヤンセン、オーカワの3氏はこのシンポジウムのためのセレクションであったのではないかと筆者は思う。このシンポジウムでは、日本の大手建設会社の技術者達が、現行の建築基準法に適合しない建物の設計について建設大臣の特別認定による認可を得る際に、建築総合防火設計法と総称される火災安全工学の技術を適用した例を示したが、米国の関係者は、このことにとりわけ強い印象を受けたようであった。彼らは、異口同音に日本における産、学、官の間のコミュニケーションや協力の良さをほめ、米国においても、今後はぜひこのようなシンポジウムを開けるようにしなければと語っていた。

5. 次回の予定と課題

消防研究所で行われた閉会式では、消防研究所の佐々木所長、建築研究所の岡本所長、そしてNIST・BFRLのスネル副所長らが閉会の挨拶を行ったが、もう一人、カリフォルニア大学バークレー校のパグニ教授が飛び入りで日本語による素晴らしい挨拶と日本側への感謝の辞を述べたのがとても印象的であった。閉会式では、このほか、“決議”という形で次回の日米合同会議の予定や課題について合意をまとめた。特に、第13回合同会議においては発表論文の焦点が実験的研

究とモデルとの比較にあることが強調され、合同会議に向けての準備作業として、会議の1年半前までに火災や煙モデルの改良、検証に用いられる実験的な研究を日米で併せて10編見いだしておくことが宿題とされた。決議文のうち、前文と部会の目的に関する項を表3に示す。

なお、今回は本来ならば、1994年の初夏に行われる予定であったが、同じ年の7月に第4回国際火災安全科学学会がカナダのオタワで開催されるために、1年後の1995年6月にNISTで開かれることになった。

表3 UJNR 第12回防火専門部会決議の前文と部会の目的に関する項

決 議	
	1992年11月2日
<p>天然資源開発に関する日米防火専門部会の委員は、1992年10月27日～11月2日の間、建築研究所（茨城県つくば市）及び消防研究所（東京都三鷹市）で開催された第12回合同会議の成果に充分満足している。我々は当会議を開催するに当たって絶大なる努力を払って下さった、建築研究所及び消防研究所の厚意に感謝の意を表す。我々は、この合同会議が回を重ねる度に、研究交流の質が向上していることを改めて確認するものである。火災安全工学ミニ・シンポジウムは大成功であった。我々は企業と政府間のこのような形態の協力が、両国における将来の会議において継承できることを希望する。</p>	
<p>1. 当部会の会議の目的は以下の通りである。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> (a) 最新の技術情報の交換 (b) 火災安全科学における共同研究の推進 (c) 火災危険度評価手法、設計、基準、新試験法の開発に必要な新方式の助成 (d) ゾーンモデル並びにフィールドモデルを含めたコンピュータを使った火災モデリングの分野における多国間合意の形成 (e) 性能防火基準の開発の継続 (f) 新製品・新設計に適した新消防防災技術の開発 	

米国アラバマでの原油の大規模燃焼実験に参加して

古積 博

1. はじめに

平成4年11月に米国アラバマ州モービルの米国沿岸警備隊火災実験施設において米国商務省標準技術研究所建築・火災研究所 (NIST/BFRL) の主催により一辺15m角の容器を使って、原油の大規模燃焼実験が行われた。著者は合計6回行われた燃焼実験のうち5回の実験に参加する機会を得た。同実験は米国内務省、米国石油協会等が予算を提供して、NISTを中心に米国沿岸警備隊、米国環境庁、カナダ環境庁等が加わり、原油火災の環境面への影響を調べることを主たる目的として実施されたもので、火炎から生じる煙・ガス量、燃焼速度等の測定が行われた。



図1 15m角容器での原油燃焼実験の様子

著者は日本からIRカメラ (Infrared Camera) を持ち込んで火炎の熱画像を得た。IRカメラは火災研究の分野以外でも固体の表面温度の測定等に広く使われているが、火炎をIRカメラで撮影してその構造を調べるといふ研究はスウェーデンのHagglund¹⁾らによって先ず始められた。最近のIR技術の発展により、より詳細なデータが高速で取得可能になり、現在では、著者ら²⁾のほか、世界的にもいくつかのグループによって行われている。

2. 実験の概要

実験はアラバマ州モービルの米国沿岸警備隊の実験場内で行われた。水を張った1辺15m角の容器にルイジアナ原油を約6cmの厚さ分入れて燃焼させたものである。図1は燃焼実験中の様子である。火炎は発生する大量の黒煙のために周囲からはほとんど見ることは出来ない。そのために、火炎から周囲への放射熱は減じられるが、これは煙による放射の遮へい効果として定性的には広く知られている。しかし、大規模火炎に関して火炎内の放射発散度の分布の様子や火炎から生じる煙量についてのデータは無く、煙による遮へい効果について定量的に調べた研究もほとんど無い。

著者は、火炎内の放射発散度の分布をIRカメラを使って測定した。また、NISTのグループは無人の飛行船を使って、煙、ガスを採取して燃料の単位重量当たり発生する煙重量 (これを「煙収率」と言う。) を求



図2 赤外線カメラで撮影した原油15m角容器での火災の0.2秒ごとの連続写真。数字は火災表面温度の放射率を1と仮定して得られる表面温度である。

めると共に、多芳香族炭化水素等の人体に有害な物質の生成量を測定した。従って、著者の放射発散度のデータ及びNISTの煙、ガス生成量等のデータを組み合わせ、及び、従来からの著者とNISTの共同実験で得られた小規模実験のデータ^{3,4)}を使って、煙による放射の遮へい効果の規模効果について新しい知見を得ることが出来ると思われる。

3. 実験の結果

実験データの解析は現在、各測定者により行われているところである。ここでは著者が行った熱画像について紹介する。図2は0.2秒ごとに得た連続の熱画像の一例である。熱画像は1画面を25,600に分割してそれぞれの点の放射の情報を0.05秒ごとに提供している。即ち、火炎表面の放射率を1と仮定した場合の火炎表面の温度分布、及び火炎表面の放射発散度分布の時間変化が求められた。

IRカメラを使って火炎を見ると温度は火炎の低部、容器壁に近い部分に常に高い部分が存在すること、数秒ごとに一種の火炎ボールのようなものが作られ、それが上方に上がっていくことが判った。

黒煙部を通して測定した火炎の温度は実際の火炎温度に比べて極めて低く、火炎の表面温度の最高温度は赤色の火炎低部や火炎ボールでも概ね950℃程度である。これは火炎表面の放射率を1とした時、約127kW/m²の放射発散度に相当する。一方、黒煙部分はこれより更に低く、平均的には400℃程度（12kW/m²）だが、100℃以下になる場合も見られた。これは、熱電対で測定した火炎中心軸上の最高温度（1,000～1,200℃）に比べて低く、また、火炎の平均放射発散度も原油の小規模実験での結果より低い値になっている。

NISTのグループによる火炎から生じる煙及びガスの量のデータについてはまだ詳細なものが報告されていないが、予備実験の結果⁹⁾では煙収率は概ね10～15%程度で著者らの2.7m角容器でのアラビア原油の火災実験^{3,4)}の結果と大差ない。2.7m角以下の大きさの場合には火災規模が大きくなると共に煙収率が大きくなることが判っているが、更に大きくなると余り変化し

ないようである。

4. 終わりに

NISTではここ数年、原油の大規模燃焼実験を行っており、一昨年は、モービル以外にバージニア州ノーフォークの米国海軍基地内でも行った。また、平成5年にはカナダで更に規模を大きくして実験を行う予定がある。これは、海上での石油の火災や流出事故に消防防災面から対応するためであるが、また、石油流出事故に伴う、油処理の手段の一つとして燃焼処理が提案されており、そのために大規模火災実験が行われている。

ここで得られた熱画像は現在、解析中であり結果が出次第別途報告する。

著者の測定はNIST、米国内務省、米国沿岸警備隊等多くの方々の協力により行われた。また、著者の米国出張及びIRカメラの使用に当たっては当所の天野久徳研究員を始め、多くの方々の援助を受けました。これらの方々に深く感謝する。

5. 参考文献

- 1) Hagglund, B. and Persson, L., "The heat radiation from petroleum fires", FOA Rapport C 20126-D6 (A3) (1976)
- 2) Hayasaka, H., Koseki, H. and Tashiro, Y. "Radiation measurements in large-scale Kerosene pool flames using high-speed thermography", Fire Technology 28(2), p. 110 (1992)
- 3) 古積, "原油の燃焼性状", 安全工学29巻(2) p. 95 (1990)
- 4) Koseki, H. and Mulholland, G., "The effect of diameter on the burning of crude oil pool fires", Fire Technology, 27(1) p. 54 (1991)
- 5) Evans, D. et al., "In-situ burning of oil spill: Mesoscale experiments", Proceedings of the 15th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Edmonton, Canada (June 10-12, 1992)

二酸化炭素濃度の測定によるガレキ内要救助者の探索—その2— 様々な条件下での測定例とモデル化

高橋 哲、松原 美之、渡部 勇市、佐々木 弘明

1. まえがき

前号 [1] において、開発した実用型機の紹介、及びこれを使ってのガレキ内からの二酸化炭素漏洩の様子を説明した。この開発機は、複数地点のサンプリング分析を同時に行って、要救助者を迅速に発見する方式である。前回使ったガレキ場は非常に良い通風状態にあるので、本号では通風の悪い条件、あるいは密閉的な条件を想定して、ガレキをビニールシートで覆って測定を試みた。また開発機に使用されたものと同じ分析計を用い、1点で測定（1点法）した例についても比較のために示した。開発機の複数点測定（6点法）との特徴比較を通じ、最適な分析方法を考案し、かつ濃度出現の概要を知るための経験をつむことが目的である。

一方、実験は限定された条件下でしか行えないので、幾つかの拡散モデルの概念を作成し、二酸化炭素濃度の拡散性状を推定してみた。これらのモデル化の結果は実験結果とも照合した。

2. 試験の方法

試験には、前回使用したガレキ実験施設を使用した。今回は、ガレキ全面に工事用防水シートをかぶせて測定を試みたが、完全気密にすることは不可能であって、隙間から風が吹き込み、強い風によってシートがめくれることもしばしばあった。シート無しの状態に比べ、やや密閉状態に近いと言える程度であろう。6点分析は、前号と同じ位置に、ガレキ面から0.5m程度パイプを挿入して行った。1点分析は、風下面中央付近に0.5m程度挿入して測定した。ガレキ中には、通例のごとく成人男子1名が被検者として入り、外から他の1名が測定を行った。

3. 試験結果と考察

ビニールシートで覆った場合と覆わない場合の測定例を、6点法と1点法を比べ図1、図2に示す。

(A) シートを被せた場合

1点法では、鋭く高濃度のピークが検出できる事が

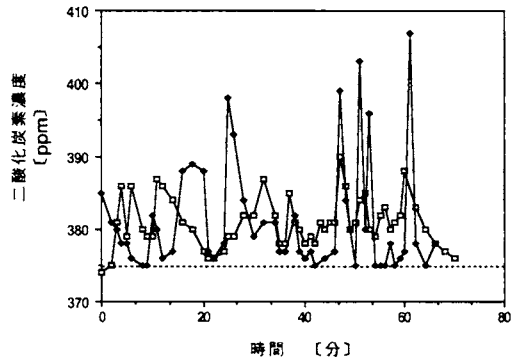


図1 シートを被せた場合の二酸化炭素濃度
□ 6点測定
◆ 1点測定

あるものの、濃度増加ゼロを示すことも多い。濃度増加ゼロは、風向きにより、パイプ付近に流出していないことを示す。別の測定によると、風向き変動の激しい場合にはほとんど検出は不可能であった。これにたいし、6点法では確実にCO₂を捕らえるが、最低、最高濃度が平均化されている。この事実は、6点法ではガスを多地点から吸引し混合分析するので、当然予測できる結果と言える。分析計の検出限界が1 ppmと高性能なので、混合分析で十分に検出できることを示している。

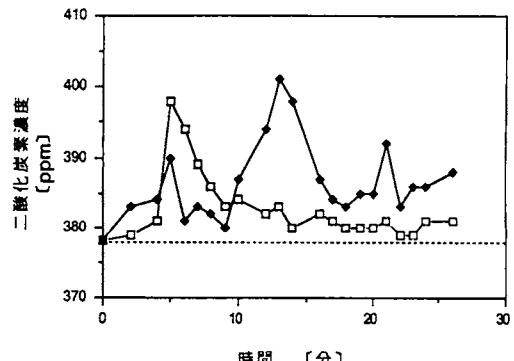


図2 シート無しの場合
□ 6点測定
◆ 1点測定

(B) シートなしの場合

6点法では1点法に比べ、検出濃度の高低差が小さくなる傾向は認められるものの、両者の特徴差は明瞭ではない。通風状態の良い状況では、濃度分布が極端に偏向するせいで、両者の特徴が認めにくくなるのであろう。

以上のように、シートを被せたとき、完全通風状態とはやや異なる点も観測出来た。1点測定法も使えなくはないが、分析装置は分解能が高いので、6点法の方が確実とは言える。なお本開発機は、1~6点の間で任意の点数で分析できる仕組みとなっている。

4. モデルに関する考察

ガレキ場の状態や換気状態に対応し、一般的に予測される範囲内で、二酸化炭素濃度 $[CO_2]$ がどんな因子に支配され、どう変化するか、論理的に考察を加え

ておくと便利と考えられる。呼吸は断続的であり、しかも放出方向や強度、量もまちまちで、一概に決めるわけには行かない。しかしこれらは大略一定と仮定し、おおまかに幾つかの基本的な拡散モデルを想定して、 $[CO_2]$ の変化を推測してみた。又その結果を、測定結果と比較した。

4.1 拡散モデル

(1) 層流拡散モデル

CO_2 を含む呼吸は、図3の面 S_0 に均等に供給されるものとする。風によって風下側に流されるが、層状であるから S_0 面以外からの二酸化炭素の出入りはない。

人体の呼吸速度を b ($\approx 1.7 \times 10^{-4} m^3/s$)、呼吸中の二酸化炭素濃度を C_b ($\approx 4 \times 10^4 ppm$)、空気中の二酸化炭素濃度を C_a ($\approx 370 ppm$)、風速を v (m/s)、風下側の層流内の任意の地点の濃度を C (ppm)、ガレキの空隙率を ϕ とおくと、微小時間 dt の間に次式(1)の関係が成立する。

$$Ca \phi S_0 \cdot v dt + b C_b dt = C \phi S_0 \cdot v dt \quad (1)$$

よって濃度の増加 $\Delta C = C - Ca$ は、

$$\Delta C = C - Ca = \left(\frac{b C_b}{\phi S_0} \right) \frac{1}{v} \quad (2)$$

CO_2 発生源からの距離による変動はないが、呼吸の仕方に関する拡散範囲の断面積 S_0 や、流入風速 v には反比例する。人体からの呼出速度が一定だから、風速と濃度増加の反比例する事は論理上当然といえる。ガレキ中の空間の不規則性が考慮されていない点で、実際的な理論とは考えにくい。

(2) 円錐拡散モデル

図4に示すように、面 S_0 に均等に呼出された後、風で右側に風速 v で流されながら、O点を頂点とする円

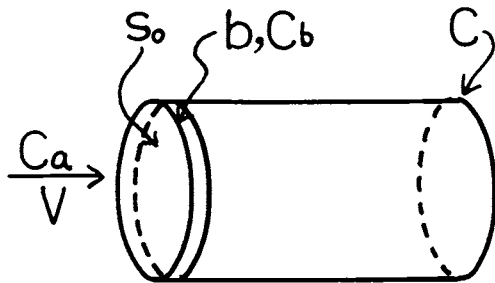


図3 層流拡散モデル

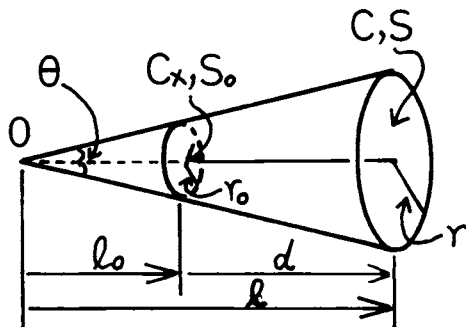


図4 円錐拡散モデル

錐状に濃度の希釈が起るとする。Cxは呼出面の平均濃度、CはO点より距離lの地点、面Sの濃度とする。さすれば、面S₀内の[CO₂]は次式(3)の様に形成される。

$$C_x \phi S_0 v dt = b C_b dt + C_a \phi S_0 v dt \quad (3)$$

すなわち、

$$C_x = C_a + \frac{b C_b}{\phi S_0 v} \quad (4)$$

また面Sの[CO₂]に関して、希釈成分は空気だけだから、距離v dtに相当する体積内の平均濃度Cは、 $C_x \phi S_0 v dt + C_a \phi (S - S_0) v dt \doteq C \phi S v dt$ (5)

すなわち、

$$C = \frac{C_x S_0}{S} + \frac{C_a (S - S_0)}{S} = C_a + \frac{(C_x - C_a) S_0}{S} \quad (6)$$

(6)式に(4)式を代入して、

$$\Delta C = C - C_a = \left(\frac{b C_b}{\phi S} \right) \frac{1}{v}$$

ここで、円錐の頂角を2θとおくと、

$$\frac{r}{l} = \frac{r_0}{l_0} = \tan \theta$$

さらにS面からS₀面までの距離をdとおくと、l = l₀ + dである。被災者と測定点が充分離れているとき、d ≫ l₀となるので、l ≈ dが成立する。kを定数として、(7)式と書き換えられる。

$$\Delta C = \left(\frac{b C_b}{\phi S} \right) \frac{1}{v} = \left(\frac{b C_b}{\phi \pi \tan^2 \theta} \right) l^{-2} v^{-1} = k l^{-2} v^{-1} \approx k d^{-2} v^{-1} \quad (7)$$

但し $k = \frac{b C_b}{\phi \pi \tan^2 \theta}$ とおいた。

二酸化炭素濃度を表面付近で測定すれば、d又はlは被災者の深さを示すと言い換える事が出来る。層流拡散に比べ、S₀/Sだけ小さな値となり、又距離の-2乗に比例する。

(3) 閉鎖拡散モデル

ガレキ場は図5のように体積Vで、空気の出入りの無い密閉状態にあるとする。

この時、濃度増加は呼気によるものだけなので、

$$\phi V dc = b C_b dt \quad (8)$$

CをCaからCまで、tを0からtまで積分すると、

$$\Delta C = C - C_a = \left(\frac{b C_b}{\phi V} \right) t \quad (9)$$

内部の濃度上昇は経過時間に比例し、ガレキの空間容積φVに反比例する。CO₂発生源からの距離は無関係である。これに近い状態は、地下室などで考えられよう。

(4) 半閉鎖拡散モデル

前図5と同じくガレキ場は体積Vで、間隙を通じW (m³/s)の空気の出入りがあるとし、時間tの後に濃度はC (ppm)となる。

この時、濃度Caの空気が流入し、濃度Cの空気が流出するので、

$$\phi V dc = b C_b dt - W C dt + W C_a dt \quad (10)$$

これを変形すると、

$$\frac{-dc}{C - (b C_b + W C_a) / W} = \frac{W}{\phi V} dt$$

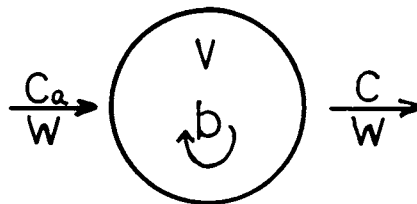
C = Ca ~ C、t = 0 ~ tの間で積分して(11)式をうる。

$$\Delta C = \frac{b C_b}{W} [1 - \exp(-W t / \phi V)] \quad (11)$$

時間の経過と共に一定値、ΔC = b C_b/Wに近づく。

4.2 モデルの実験結果との照合

以上に4個の拡散モデルを考えたが、実際に濃度と埋没者の深度の関係を測定した例を図6に示す。発生源からの距離dにたいして、濃度Cはほぼ指数的に減少している。図6では読み取りの便の為、測定点外まで実線を延長しておいた。これに相当するのは円錐拡



ガレキ場

図5 閉鎖拡散モデル&半閉鎖拡散モデル

散モデルに近い。但し、本開発機で、複数点分析を行ったときには、CO₂を吸入していない部分との平均濃度となるので(7)式の関係も成立しなくなる。

π は一定、 b と C_b も比較的一定なのに対し、[CO₂]の主たる変数は l (または、 d)、 t 、 V であり、さらに空隙率 ϕ と拡散角度 $\tan \theta$ は、ガレキの状態、風速

などの条件によって変化するものである。繰り返し説明するように、風向、風速は一定ではないので、再現性のある k を計算する事はできない。層流状拡散や完全密閉状態は予測しにくいので、円錐拡散、あるいは半閉鎖拡散型が現実的ではないかと思う。これらの混合型の拡散もありえる。

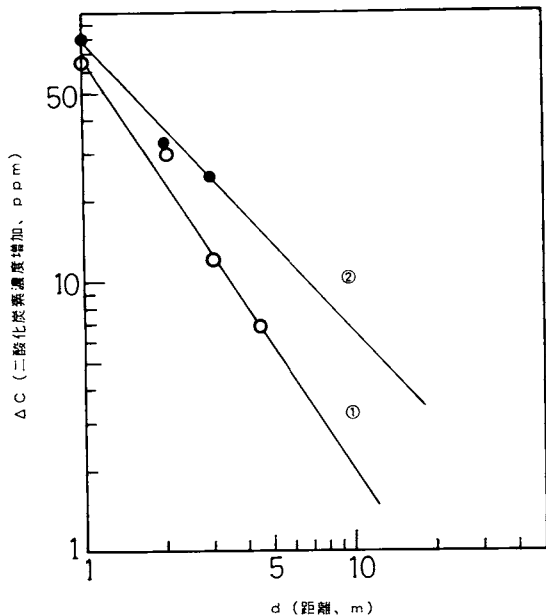


図6 埋没者との距離と二酸化炭素濃度の関係

①、②；前報 [1] 図1(2)の風下側の角とその隣地上1 mの高さ

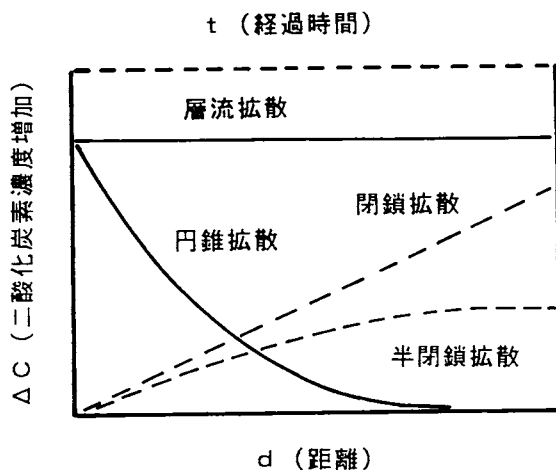


図7 拡散モデルによる濃度変化の相対的な比較

層流拡散モデル、円錐拡散モデルの横軸は距離を、閉鎖拡散モデル、半閉鎖拡散モデルの横軸は経過時間を示す。

4個の拡散型式について、距離および時間の関数として、濃度変化の特徴を図7に示す。

現場に臨んでは、状況に応じ、図7の型式を念頭に分析すれば役に立つと思われる。

以上2回にわたって、二酸化炭素利用の要救助者探索装置の説明を行い、本開発機によって、十分に二酸化炭素の検出は行えることを示した。今後は実地使用を通じ、経験を重ねる機会を得たい。

5. 結論

- (1) 換気の悪い状態では、ガレキ場内の二酸化炭素濃度は平均的に上昇し検出しやすくなるが、反面、最高濃度は低くなる。
- (2) 一点測定では、ピーク値はシャープに表れる傾向があるが、最低検出濃度は低くなるので、検出出来

ない場合がある。迅速な検出方法として、複数点分析が有利である。

- (3) 通風の良い状態で、最も可能性の高い拡散型式は円錐拡散であり、大略、発生源からの距離のマイナス2乗および風速のマイナス1乗に比例する。現実的には、円錐拡散または半閉鎖拡散が想定しやすい。
- (4) 二酸化炭素濃度は、環境状態、分析条件によって複雑に変化するので、環境レベルに比べ上昇が検出できれば、埋没者の存在が予想される。

参考文献

1. 高橋哲、松原美之、渡部勇市、佐々木弘明：二酸化炭素濃度の測定によるガレキ内要救助者の探索：消研輯報、No.45、p14、平成3年度。

ガレキ内の要救助者探索のための検知部進入機構の試作

渡部勇市、松原美之、稲垣 實、高橋 哲、佐々木弘明

1. はじめに

人間の呼気に含まれる二酸化炭素によってガレキ内の埋没生存者を見つけ出す新開発の探査装置については既に報告した¹⁾。この探査装置はガレキ内の二酸化炭素を検出するために、金属パイプをガレキ内に挿入する。金属パイプでは、ガレキ内に進入できるのはせいぜい数十cmであるので、ガレキ表面の複数点を検出することにより要救助者の生存位置を推定しようとするものである。

しかし、埋没生存者の探索をより確実にするためには、検知部がガレキ内の深部まで進入し、深部の二酸化炭素を検出できることが好ましい。また、二酸化炭素検出以外にCCDカメラ、小型マイクロフォン等の検知器をガレキ内に深く進入させることができれば要救助者を発見する性能はさらに向上する。検知部をガレキの深部まで進入させる機構を開発することは、探査装置の進歩に大きな役割を果たすと考えられる。

ガレキ内の隙間は、凹凸が激しく、空間の形状が3次的であり、複雑に折れ曲がっているため、ガレキの隙間を進入する技術は、医学用のファイバースコープ、または既存の配管検査ロボット等の進入機構を応用しても現在の技術レベルでは難しい問題であると考えられ、現在、全く未開発の分野である。

筆者らはガレキ内進入技術の第一歩として、ガレキの特徴を調べ、他分野で利用されている既存の進入機構の比較分類を行った。既存の進入機構がガレキ進入機構として利用できるかどうか検討し、進入機構の基本モデルとして車輪型進入機構、ぜん動型進入機構の二種類を採用し、試作したので紹介する。

2. ガレキおよび進入機構の分類

2.1 ガレキの分析

ガレキの隙間の状況をエルサルバドル地震、イラン地震、フィリピン地震の建物崩壊後の写真等²⁾により判断すると、隙間の特徴は表1に示すように建物の構造物の種類によって異なり、概ね鉄筋コンクリートと煉瓦、コンクリートブロック類に分類し説明することができる。

鉄筋コンクリートの建物が倒壊した場合には、板状

の大きなガレキが崩れるので、水平方向に大きな層状の隙間ができ易い。しかし、鉄筋コンクリートでも大きな板状のガレキ以外に小片のガレキもある。鉄筋コンクリートの場合、表1に示すようにガレキの隙間はこれら大、小の組み合わせで成り立っている。

煉瓦、コンクリートブロックの積み上げによる建物が倒壊した場合には、ガレキの一片が小さいので、隙間は小さく、3次的に折れ曲がっている。

表1 構造物の種類から見たガレキの分類

構造物の種類	鉄筋コンクリートの構造	煉瓦、コンクリートブロックの積み上げ
ガレキの特徴	大きな板状の物	小さなブロック状の物
隙間の特徴	水平方向に大きな層状の隙間	3次的に折れ曲がった隙間
隙間の大小	大、小	小

2.2 進入機構の特徴と分類

ガレキ内進入機構の参考となる新技術について、ロボット関係の文献、単行本および日刊工業産業情報データベースNK-MEDIA³⁾等により情報収集した。その結果、ガレキ内進入機構は、図1に示すように押し込み式、自走式、穴開け式に大きく分類できる⁴⁻⁸⁾。押し込み式は、図1に示すように直線押し込み型、旋回押し込み型、多関節押し込み型に細分類できる。

直線押し込み型は、ファイバースコープのように開口部から弾性棒を押し込みながら進入するものである。構造が簡単で小径にできるので、ガレキ内の隙間が比較的小さくても進入できる特徴がある。しかし、進入深さは、弾性棒の柔軟性とガレキとの摩擦係数で限界が生じ、押し込み力よりも摩擦力の方が大きいと弾性棒は座屈し、折れ曲がり、とぐるをまいてしまい進入しなくなる。

旋回押し込み型は、パイプクリーナのようにコイルバネを回転させながら進入するものである。回転することにより摩擦力を軽減し、座屈したものを回転で復

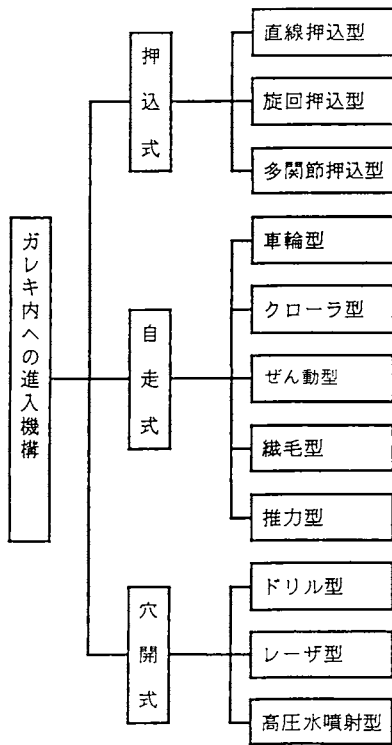


図1 ガレキ内への進入機構の分類

元させることができるので座屈には抵抗がある。しかし、コイルバネが長くなると摩擦力が増大し回転がスムーズに伝わらなくなり、進入が困難になるという問題点を有している。

多関節押し込み型は、原子力施設で点検ロボットで使用されている。アクチュエータとして電動モータを使用すると重量が重くなり、全長を長くするとアームの径が太くなってしまいます。

自走式は、図1に示すように車輪型、クローラ型、ぜん動型、繊毛型、推力型に分類できる。

車輪型、クローラ型は、配管検査ロボットに利用されているように車輪、クローラなどの駆動機構で自走し、深部へと進入するものである。自走式は、押し込み式と異なり車輪、クローラにより牽引力があるので、弾性棒が折れ曲がることはない。しかし、駆動装置などの構造が比較的複雑になり、小さくすることに工夫が必要となる。

ぜん動型は、関節の伸縮により走行するもので、配管検査ロボットに使用されている。車輪型、クローラ型と同じような特徴を持っている。

繊毛型、推力型は、アイデアとしてあるが、ほとんど試作、実用化されていない。

穴開け式は、図1に示すようにドリル型、レーザー型、高圧水噴射型に分類できる。

穴開け式は、ドリル等によりガレキに穴を開け、その穴を進入路として利用するものである。穴開け式は、積極的に穴を開ける方式であるので、ガレキ内に隙間がなくてもよい。しかし、要救助者に危害を及ぼす恐れがあり、また、深部までの穴開けに長時間を要する。

3. 進入機構の基本構想

今回は、押し込み式、自走式、穴開け式の中で、牽引力があり、ガレキ内を自由に動き回れることの出来る可能性を秘めた自走式が適当であると判断し車輪型進入機構とぜん動型進入機構を試作することにした。

現在、自走式のものには配管検査ロボット等で実用化、試作されている進入機構⁹⁾が数多くあるが、この中で複雑なガレキ内隙間をそのままで行ける機構のものは見あたらない。配管検査ロボットは管の中を自走するもので、管路は段差がなく滑らかであり、進入路の空間形状が比較的単純である。しかし、ガレキ内の隙間は凹凸があり、断面の大きさの変化が激しく、さらに三次元的に曲がりくねっていて非常に複雑である。

このような複雑なガレキ内の進入路を走行するには大変難しいと考えられる。今回は、配管検査ロボットの進入機構を参考にして、小型化の可能な車輪型、ぜん動型についての2種類を試作することにした。クローラ型は、最も適していると考えられるが、直径10cm以下の小型化に限界があるので今回は採用しなかった。

ガレキの進入路の隙間は表1に示すように、大、小の組み合わせで成り立っており、進入機構の外径は進入路の最小の隙間よりも小さくなければならない。今後、マイクロロボットの進展とともに小型の製作が可能になってくると考えられる^{10), 11)}。しかし、走行速度を出すため、また、信号コード等を引っ張る牽引力を出すため、それに見合った出力、車輪の外径の大きさが必要となる。このため、進入機構の小型化にも限界があると考えられる。

今回の試作機はできるだけ小型化に努めたが、既製部品の使用および製作の容易さから車輪型は外径を10cm、ぜん動型は外径3cmと設定した。車輪型進入機構は、大きな鉄筋コンクリート板が崩れて水平方向にできる15cm以上の大きな層状の隙間に使用できることを想定した。ぜん動型進入機構は、小さなブロック状のガレキが崩れ隙間が4cm程度でも使用できることを想定した。

また、今回は凹凸面における進入機構の動作確認を

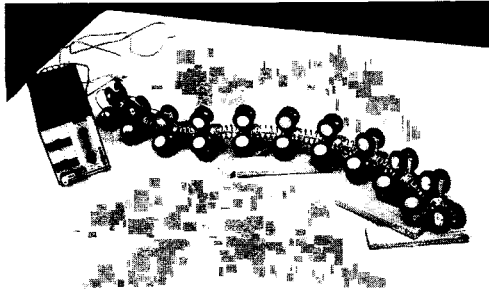


写真1 車輪型進入機構の全体写真

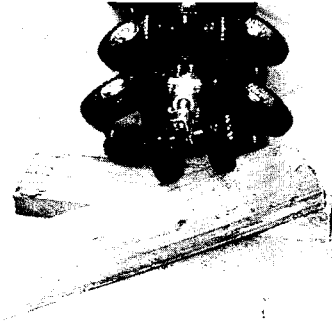


写真2 車輪型進入機構の先頭車

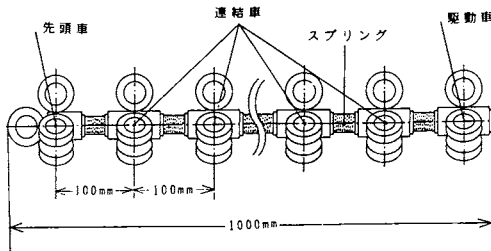


図2 車輪型進入機構の概観図

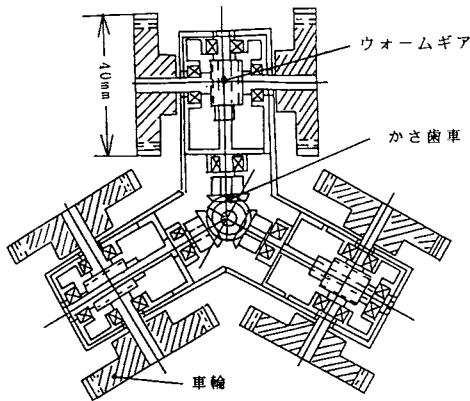


図3 車輪型進入機構の連結車の断面

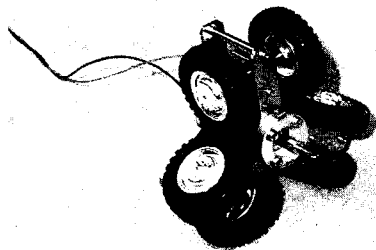


写真3 車輪型進入機構の駆動車

行うために試作しているので、ガレキ場に含まれる砂やダストが歯車、車輪に入りこまないようにするためのカバーおよび進行方向をコントロールするための装置などは進入機構部に装備しないことにした。

4. 試作した進入機構の概要

4.1 車輪型進入機構

車両を連結することにより凹凸の乗り越え性能の向上と柔軟性を兼ね備えた機構として、車輪型の進入機構を考案し試作した。本機構の全体の外観を写真1に示す。また、全体の概観を図2に示す。この進入機構は、先頭車1台、連結車10台、駆動車1台から構成されている。各連結車両はガレキの凹凸に合わせて自由に動くようスプリングで連結されており、動力は駆動車から各連結車両にユニバーサルジョイントで伝達されている。試作品の全長は100cmであるが、この長さは増減することができる。本体の外径は10cm、車輪の外径は4cmである。全体の重量は2.5kgである。

連結車の構造の断面を図3に示す。連結車は、ガレキ内でどちら側に転んでも進行できるように120度ごとに3方向に車輪が取り付けられている。ユニバーサルジョイントにより中心軸が回転し、傘歯車、ウォームギアにより1/20の減速比で全車輪へ動力が伝達されるようになっている。

先頭車の外観を写真2に示す。先頭車は、段差を乗り越えられるように、車輪が前部に1個付いている。この車輪は、先頭が壁に当たった時などに、進行可能な方向に向くようになっている。

駆動車の外観を写真3に示す。駆動車の中心には、最大出力4Wのモータ、1/32の減速比のプラネタリーギアを取り付けた。モータの停止トルクはプラネタリーギアの伝達効率80%、ウォームギアの伝達効率20%として計算すると約2,200kg・cmである。

本機構では3cmの段さのある凹凸面は容易に走行で

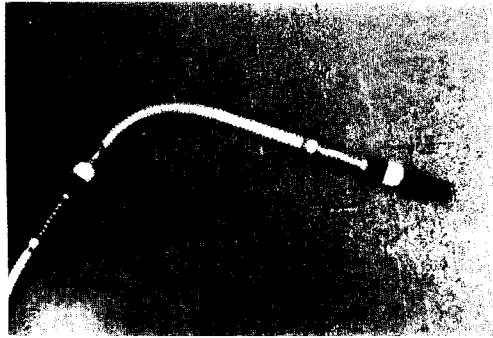


写真4 ぜん動型進入機構のフレキシブル管部、推進部

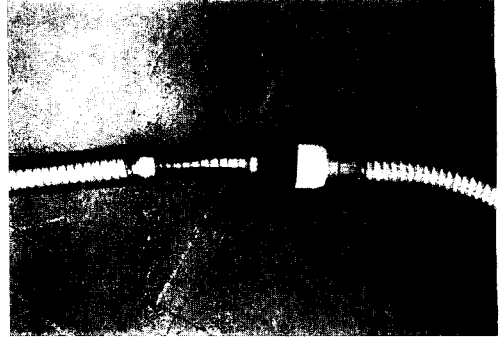


写真5 ぜん動型進入機構の推進部

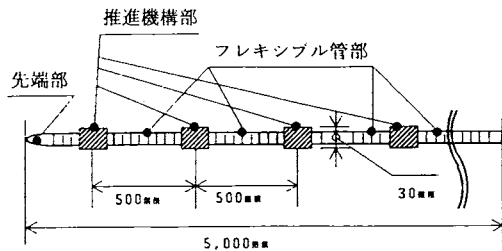


図4 ぜん動型進入機構の概観図

きた。モータの出力、連結車の間隔、連結車をつなぐスプリングのバネ定数等によって凹凸面での走行性能が大きく変わる。

4.2 ぜん動型進入機構

狭隙で屈曲した空隙中に進入させるための、柔軟性と耐座屈性を兼ね備えた機構として、ぜん動型の進入機構を考案し試作した。本機構のフレキシブル管部、推進機構部の外観を写真4に示す。また、全体の概観を図4に示す。図4に示すように、全体としての長さ5,000mm、最大部分での外径30mmの管状の構造をしており、500mm間隔で配置された推進機構部とそれらの間を接続するフレキシブル管部からできている。複数個の推進装置部で分散させて推進力を発生させているので、いくつかの推進装置が推進力を得られない状況のもとでも、全体としての推進力が確保できる。駆動力は外部のコンプレッサからの圧縮空気の形で供給される。駆動用の圧縮空気のホース2本と、ガレキ内雰囲気採取用のホース1本の合計3本のホースが進入機構の全長にわたって貫通している。この雰囲気採取は、進入機構とは直接関連するものではなく、ガレキ中の埋没生存者の存在を二酸化炭素分析により探査するため、後端部分に接続する分析機器（別装置）に送るために行うものである。

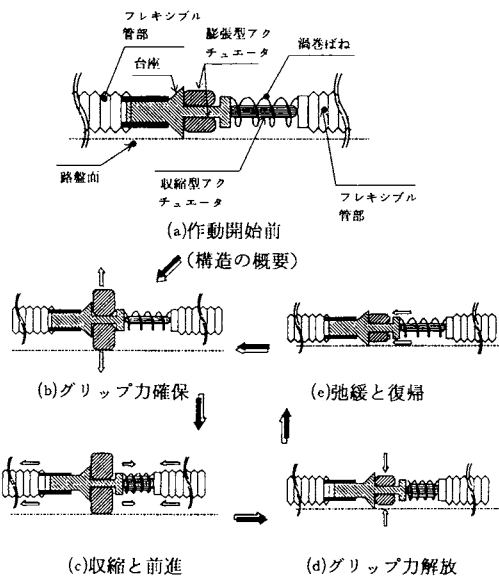


図5 ぜん動型進入機構推進部の構造概要と推進原理

ぜん動型進入機構の推進装置部の構造の概要と、推進原理を図5に示す。推進機構部の外観を写真5に示す。推進装置部には、それぞれ、空気圧によって半径方向に膨張する円環型のアクチュエータ（膨張型アクチュエータと呼ぶ）と、空気圧により管軸方向に収縮するアクチュエータ（収縮型アクチュエータと呼ぶ）の2種類のアクチュエータが、前後に摺動する台座及び渦巻バネと組み合わされて取り付けられている。このため、収縮型アクチュエータの収縮、弛緩によって台座部分を進入機構全体に対して前後に運動させることができる。収縮型アクチュエータには、人工筋肉としてブリジストン社で開発されたラバチュエータを、膨張型アクチュエータには瓶類の取り出し、搬送用に

同じくブリジストン社で開発されたエア・ピッカーを採用した。

膨張型アクチュエータは合成ゴム製で、表面の摩擦係数が大きくなっている。台座は、表面が硬く、また、摩擦係数の小さなデルリン製で、収縮状態の膨張型アクチュエータを囲む形状に加工した。このため、膨張型アクチュエータは収縮時には台座の外径内に収納され路盤面とは接触しない状態に保持されるが、膨張時には台座外面よりも外側まで膨張し、路盤面との間に摩擦力を生じる状態となる。

本推進装置は、収縮アクチュエータの収縮・弛緩ともなう台座の管軸方向の運動と、膨張型アクチュエータの膨張・収縮による接地面への摩擦力の確保と解放とを順序よく組み合わせることによって推進力を得ることができる。

図5(a)~(e)に、各運動段階での推進装置各部の動作状態を時間経過の順で示した。

本機構の走行速度は約20cm/minであった。収縮型アクチュエータの収縮量、フレキシブル管部の寸法、空気圧の加圧サイクル等によって走行性能は大きく変わる。

5. まとめ

ガレキ内への進入を目指して開発・試作した車輪型およびぜん動型の二種類の進入機構について紹介した。今回試作した基本モデルでは、凹凸面の走行性能を実用という観点から見ると必ずしも十分な性能を得ることは出来なかったが、採用した走行原理の有効性と基本的な走行性能は確認することができた。また試作した基本モデルのサイズは、従来の配管内走行メカニズムなどと比較して十分に小さなものとする事が出来た。

今回試作し、基本性能を確認した車輪型およびぜん動型の二種類の進入機構は、荷重配分、タイヤおよび膨張型アクチュエータ表面の摩擦係数などを調整することにより、走行性能の向上が期待できる。さらに、進入方向の制御、ガレキ内での位置表示などの機能が

付加されれば、操作性を向上できると期待できる。そうした余地が残されている段階ではあるが、本試作機がガレキ内などの不整地を走行する機構の開発の一助になればと願い、得られた結果について報告した。

最後に、進入機構の試作に当たり、消防研究所の亀井浅道、斎藤直、山田実、その他の方々に種々の助言を得た。また、ぜん動型進入機構の試作でブリジストン株式会社アクファス事業部にはアクチュエータの改造などに関する便宜を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋哲、松原美之、渡部勇市、佐々木弘明：二酸化炭素濃度の測定によるガレキ内要救助者の探索、消研輯報、45、p. 14 (1991)
- 2) 自治省消防庁、全国消防長会：エルサルバドル地震災害—国際消防救助隊の派遣記録—、(昭和62年5月)
- 3) 日刊工業新聞社情報サービス局データベース部から入手
- 4) 富田鏡二他：小口径導管検査ロボットの開発、日立評論、58-10 (1986)
- 5) 広瀬茂男：生物機械工学、工業調査会 (1987)
- 6) 福田敏男：極限作業用知能ロボット、マクガロウヒルブック (1986)
- 7) 日本ロボット学会：第3回知能移動ロボットシンポジウム予稿集、(1986-6)
- 8) 日本機械学会：第4回知能移動ロボットシンポジウム講演論文集、(1988-6)
- 9) 原口英紀：小口径配管内自走ロボット—コンパクトな設計に工夫—、日経メカニカル、5-15、p. 32 (1989)
- 10) 林輝：マイクロメカニズムへの期待、日本機械学会誌、92-853、p. 1024 (1989-12)
- 11) 三浦宏文：マイクロマシン・マイクロメカニズムとロボット、日本ロボット学会誌、8-4、p. 58 (1990)

火点放射式簡易自動スプリンクラーの開発

河関大祐、金田節夫、笹原邦夫*、佐藤公雄、長岡 暁 (松下電工株)

1. はじめに

消防白書¹⁾によると、例年、火災による死者(放火自殺を除く)の約90%は住宅火災において発生しており、しかも、その約55%は61歳以上の高齢者および5歳以下の乳幼児となっている。このため、住宅防火対策の重要性が指摘され、特に住宅における火災を早期に検知し消火する住宅用自動消火システムの実用化が強く求められている。

このような現状から、筆者らはこれまで実用的な住宅用自動消火システムを開発することを目的とする研究を行ってきたが、このほど試作した火点放射式簡易自動スプリンクラーシステムは、性能試験の結果、ほぼ実用レベルと判断されたので、ここに紹介する。

2. システム開発上の問題点

住宅用自動消火システムを設計するに当たって、以下のような問題が考えられた。

消火剤には、家庭用水道水を用いるのがコストおよび維持管理の点からみて現実的である。しかし、家庭用水道配管の口径は通常13mmの場合が多く、その元圧は多くの家庭が同時に使用している状態では、約2kg/cm²程度の場合が多い。この程度の圧力では、例えば8畳の居室内全域に散水して初期火災を消火するには十分な水量を供給できない。従って、燃焼域だけに集中して散水しなければならない。またこのため、火災感知装置は火災を検知するのみならず、火源の方向をも検出する必要が生じる。

更に、火災感知器にはいわゆる非火災報の問題がある。従って、設計に当たっては、調理による煙などによって、火災時以外に装置が作動し、室内が水浸しになるようなことは避けるようにしなければならない。

以上の問題に対応するため、低水圧低水量の水道配管の家庭用の火点放射式簡易自動スプリンクラーは、煙感知および赤外線検知を行なう火災感知装置、火源の方位にスプリンクラーノズルを向ける消火装置および火災とその火源方位を検知し消火装置の制御を行なう制御装置で構成した。本スプリンクラーシステムの全体構成を図1に示す。

* 日本消防設備安全センター

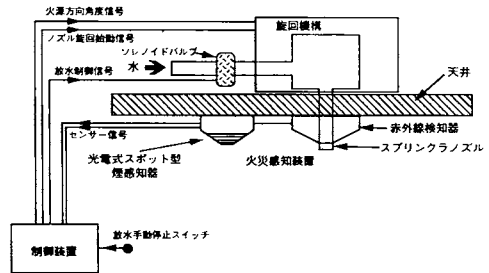


図1 火点放射式簡易自動スプリンクラー全体構成図

なお、東京消防庁においても、本スプリンクラーシステムと同様に、火点付近に散水する住宅用スプリンクラーの開発研究を行なっている²⁾。また、消火に必要な水を部屋全体に散水できる住宅には、固定式のスプリンクラーヘッドを用いた住宅用スプリンクラー設備が防火機器メーカーから販売されている。

3. システム各部の構成

3.1 火災感知装置部

火災感知装置には光電式スポット型煙感知器と赤外線検知素子をセンサーとして用いる。

これらのセンサーによる火災の検知は非火災報による誤作動を防止するため次のようにした。すなわち、赤外線検知素子のみの場合、火災以外の原因による赤外線を検知する場合もあるので、ここではまず煙を煙感知器で検知し、さらに炎を赤外線検知素子で検知した時、火災を検知したもとした。具体的には、光電式スポット型煙感知器が10秒間作動した後、8個の赤外線検知素子のいずれかの出力が一定値以上のまま20秒間続いた場合を火災の発生とした。

赤外線検知素子の数を多くすれば、火源の位置(検知器を中心とした火災位置の方位)を細かく検知することが可能となるが、信号処理の負荷および機器コストを考慮するとできるだけ赤外線検知素子の数を少なくするほうが有利である。そこで、赤外線検知器の形状ならびにスプリンクラーの性能等を検討した結果、後述のとおり、8個の検知素子により火源位置を16方位で指示し、35°程度の扇状水噴霧により消火可能であることがわかり、検知素子は8個とした。

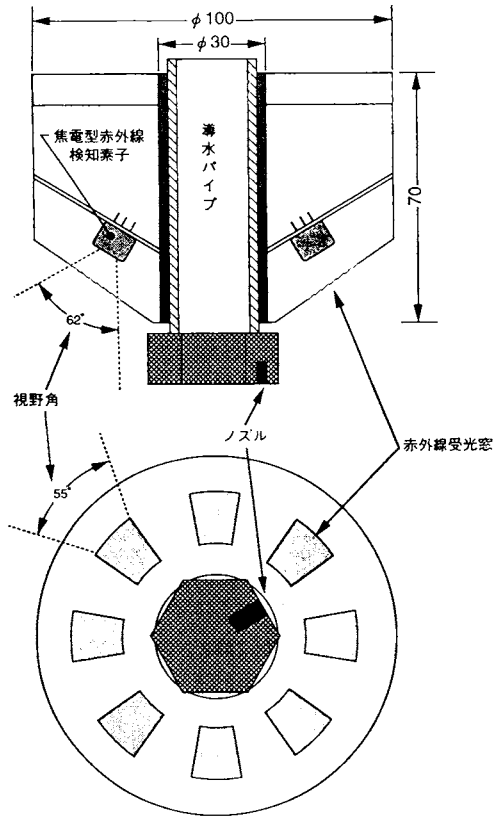


図2 赤外線検知器概要図

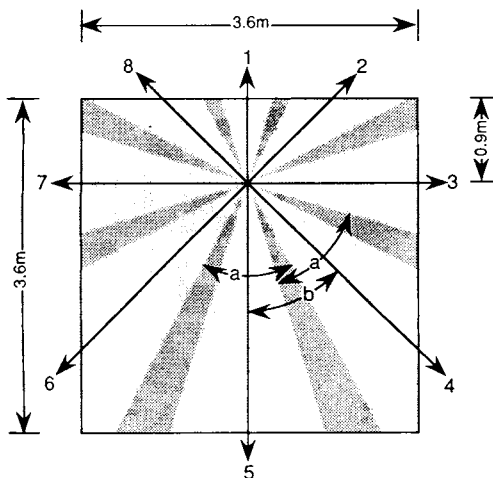


図3 赤外線検知器の視野角度および8畳間における警戒領域 (赤外線検知器を部屋中央から90cmずらして設置した場合)
 a = 55° : 赤外線検知素子受光角
 b = 45° : 隣接する赤外線検知素子中心視野の狭角

また、くん焼火災が長く続き炎の発生が遅れる場合には、本火災感知装置では火災の検知は遅れることも予想されるが、緊急な消火が必要と考えられるのは発炎火災の場合であり、発煙を主とするくん焼火災では非火災報が発生しやすいので、本装置は主として発炎火災用として開発したものである。

さらに、湯気などにより煙感知器が作動し、次いで暖房器具等からの熱放射を検知して誤放水する場合も可能性としては考えられる。そこで、煙感知器を強制的に作動させ赤外線検知器による石油ストーブからの赤外線放射の検知実験を行なったところ赤外線検知器は作動せず、誤放水は起こらなかった。

赤外線検知素子は焦電形のものを用いた。この素子の受光窓には赤外線透過帯域4.15~4.55 μ m (ピーク波長4.35 μ m) のフィルターを取付けCO₂の共鳴放射を選択検知するようにしている。本スプリンクラーシステムではこの赤外線検知素子を図2のようにスプリンクラーノズルを中心として円筒状に8個配置し、火災位置が検知可能な形状にした。この赤外線検知素子を赤外線検知器に取り付けたときの視野角は、垂直方向に62° (図2参照)、水平方向に55°である。図3は赤外線検知器を8畳間に取り付けたときの室内警戒エリアの例を示す。図3からわかるように、隣り合う赤外線検知素子の視野は10°の重なり領域があり、これにより8個の検知素子により、火源方位を16方位の分解能で検知する。すなわち、火源がこの10°の重なり領域にあると隣り合う2個の素子に同時に赤外線が検知され、2個の素子間の方位に火源があると判定し、重なり領域以外では1個の素子のみで赤外線が検知されその素子の方位に火源があると判定する。床面に油が広がり着火した場合等、面的に広がりのある火源では3個以上の素子が赤外線を検知する場合は起こりうるが、この場合は、その中心方位を火源位置と判断する。

3.2 消火装置部

消火装置は火災感知器の中心からノズルを突きだした構成にした (図2参照)。これにより、火災感知器とノズルを別に配置するのと比較し、感知器からみた火災の方位とスプリンクラーからみた火災の方位は同じものになり、座標変換などの必要がなくなる。

スプリンクラーノズルは火災検知器を中心に火災源の方位に約35度の扇状に散水できる構造のものを製作した。図4にスプリンクラーノズルの散水分布を示す。巡回機構部は制御部から与えられた火源方位角度信号に基づき、目標の角度にノズルを巡回させる。巡回機構部の構成は、モーター、減速ギア、シール、巡回

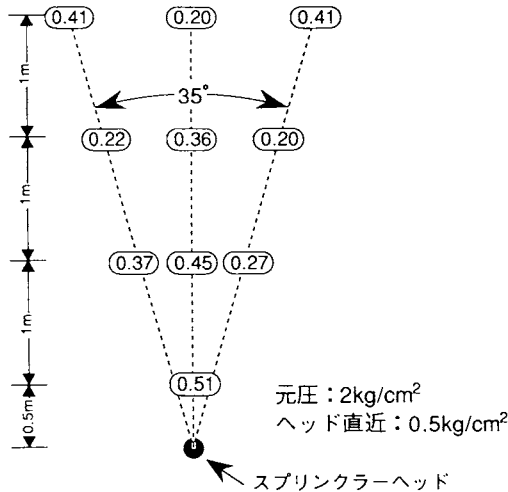


図4 試作スプリンクラーヘッドの散水分布
○は散水量測定点、
数値は散水量 [cc/cm²・min]

軸、ノズル、回転位置検出部からなる。回転機構部の構造を図5ならびに写真1に示す。回転機構部は天井裏に取り付けるようにしたため、各構成部品は軽量で小型になるように配慮した。

駆動源となるモーターは小型で回転始動トルクが大きく、制御機能の優れた直流モーターを用いた。モーターの回転数を減少させトルクを増大するための減速ギアは停止位置誤差の要因の一つであるバックラッシュがなく、かつ減速比が大きくとれるウォームとウォームホイールの組み合わせの減速機構とした。モーター軸上にウォームを、モーター軸に直交し垂直な回転軸上端にウォームホイールを取り付けて回転軸を駆動した。シール部は回転軸の上部でウォームホイールの下にあり、水平方向から取り込む水道配管からの流水の方向を垂直下向きにし、かつ回転するためにOリングによるシールを施した。回転軸は、パイプ状とし下端に取り付けたノズルに水道水を通く。

回転角度を検知するため、モーター軸端にスリット幅0.5mmの円盤を取り付け、モーターの回転に伴う光源を遮る数をカウントして検出した。検出された回転角度とノズルの設定角度とを比較し、その設定角度となるまでモーターを駆動させる。

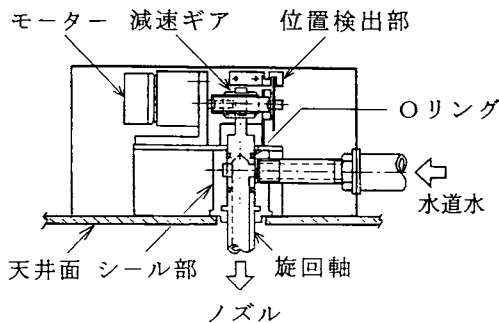


図5 ノズル回転機構構造図

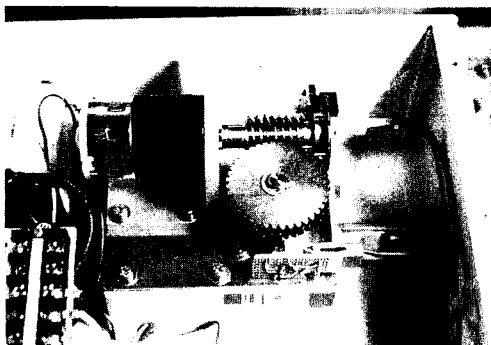


写真1 ノズル回転機構

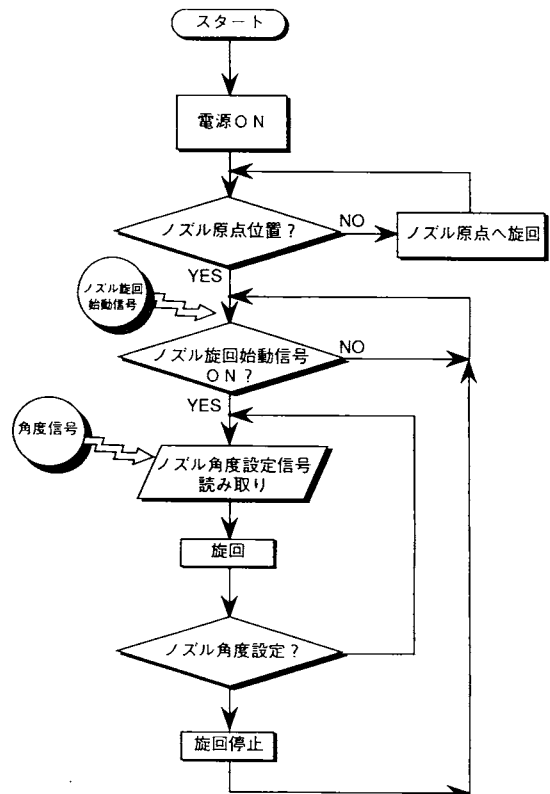


図6 ノズル回転機構部動作フロー

表1 ノズル旋回機構部の性能諸元

旋回範囲	水平面 0~360度
旋回速度	36度/秒 (0~360度を10秒間)
停止位置	0~360度を22.5度ピッチで16分割した位置
停止位置設定信号	4 bit TTL 正論理 (H=1, L=0)
最大停止位置誤差	-1.0~+3.5度 (単独及び累積 [10回以上] 入力時)
耐圧力	5 kgf/cm ²
通水路断面積	10mm φ相当
寸法	W=200mm, L=200mm, H=100mm
重量	4 kg

ノズルは通電後任意の位置にあっても最初は原点に戻り、角度信号を得た後、原点から設定角度まで旋回を始める。設定角度に近づくと減速し、目標とした設定角度でノズルは停止し、次の角度信号がくるまで、その角度を保持する。燃焼部分が移動し、ノズルの目標となる角度が刻々と変化しても対応できるように、次々と角度信号を取り込み、ノズルが追従するような制御方式とした。また外乱からの誤作動を防止するため、角度信号を受け取る前に始動信号が出力され、始動信号後の0.1秒以内の信号だけを角度信号として受取るようにした。

旋回機構部の動作フローを図6に、その性能を表1に示す。

3.3 制御装置部

制御装置は3.1の火災感知装置部からのセンサー信号を受信処理して火災と火源方位を検知し、3.2の消火装置に火源方位角度信号を与えてスプリンクラーノズルの旋回を指示する。更に制御装置は、ソレノイドバルブを制御して放水の開始/停止を行なう。

制御装置部の構成は図7のブロックダイアグラムに示すとおり、16ビットCPUを搭載した1ボードコンピュータ、デジタル入力/出力インターフェースおよびアナログ入力インターフェースから成る。アナログ入力インターフェースの前段に置かれる「フィルタ回路・増幅回路・整流/積分回路」は焦電形赤外線検知素子の交流電圧信号を直流電圧信号に変換するためのもので、これによりCPUの処理負荷を大幅に軽減することができた。

制御装置は、図8に示す動作フローに従って次のような処理を行なう。まず、光電式スポット型煙感知器と焦電形赤外線検知素子の信号を基に火災を検知し、消火装置部の旋回機構に火源方位角度信号とノズル旋回始動信号を送る。火源への放水は、ノズル旋回開始5秒後から105秒間行ない、放水停止の10秒後、焦電形赤外線検知素子による火災判断処理(B)に戻る。この

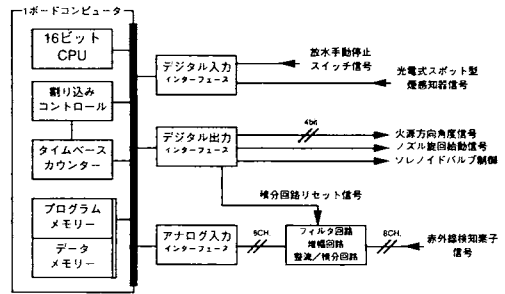


図7 制御装置部ブロックダイアグラム

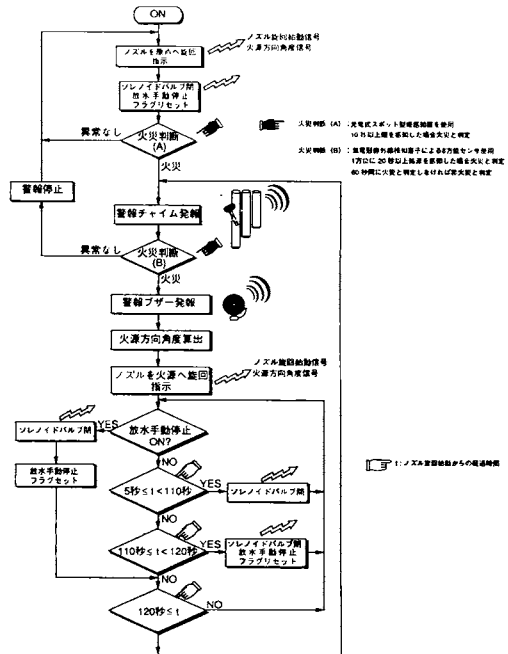


図8 制御装置動作フロー

処理ループにより、必要以上の放水を防止すると同時に火源位置の変化に追従することができる。

本スプリンクラーシステムの操作スイッチは制御装置部に放水手動停止スイッチのみを設けることとし、操作の単純化を果たした。この放水手動停止スイッチは最大120秒間、ソレノイドバルブを一時的に閉じるもので、特別な復旧動作なしで火災判断処理(B)に戻り、自動スプリンクラーとしての機能を停止することはない。

4. 性能評価実験結果

試作した装置を一般住宅の8畳間を想定した実験室に設置し消火実験を行なった。写真2に消火実験の例を示す。

この消火実験では赤外線検知器を部屋中央から90cmずらしてとりつけた。また、スプリンクラーヘッドには 2 kg/cm^2 に加圧した給水タンクから水を供給した。



写真2 試作システムの消火実験状況

なお、この時のスプリンクラーヘッドでの水圧は約 0.5 kg/cm^2 であった。火源には $3 \times 3 \times 30\text{ cm}$ の木材クリブをメタノールを入れた燃焼皿の上に井桁状に積み上げ、メタノールに着火する方法を用いた。この火源を実験室内床の様々な位置に設置し消火実験を行なったところ、いずれの場所においてもメタノールに着火後約60~90秒で火災を検知して火源にはほぼ正確に放水を開始し、最初の105秒間の放水で消火することができた。なお、これまでに試作したスプリンクラーノズルは散水時の飛沫が赤外線検知器の受光窓にかかる場合があり、赤外線受光特性に影響をおよぼす可能性があるため現在別のノズルの試作を進めている。

5. まとめおよび実用化に向けた今後の課題

煙感知器と赤外線検知器による火災感知部と旋回機構を有する消火装置部からなる火点放射式スプリンクラーシステムを試作した。ここで試作した火点放射式簡易自動スプリンクラーは、ほぼ実用的な性能を有することがわかった。

しかしながら、本装置は現時点では大きさも大きく、価格もかなりのものとなる。特に、本装置では市販の1ボードコンピュータを用いたが、専用カスタムICなどにより、ワンチップ化を図ることにより小型化かつコストダウンが可能である。また、消火装置部においても、放水機構の装置の工数を減らし一層小型のものにする必要がある。

参考文献

- 1) 平成3年度版消防白書、消防庁
- 2) 脇賢 他、“住宅用スプリンクラーの開発について(第3報)”、消防科学研究所報第29号、p. 55、1992年

火災性状把握システム試作機（第2次）の概要

細川直史、佐藤晃由、河関大祐、田村裕之、奥田善彦*、草薙繁量*、
山崎秀範*、栗尾 孝*、藤岡 透*、渡部祥文*、中西慎治*、桐畑慎司*

1. はじめに

近年、建物が高層化及び大規模化している現状において、建物に設置される自動火災報知設備の火災の早期発見と通報などの重要な役割はますます増大している。しかしながら、現状の装置においては、火災以外の種々の要因による非火災報が発生し、装置の信頼性に大きな影響を及ぼしている。しかも、建物の大規模化に伴い、設置される火災感知器個数も増加するため、建物全体の非火災報頻度の増大は、解決すべき大きな問題となっている。

消防研究所と松下電工株式会社は、昭和63年度から平成2年度までの3年間、煙、熱、COガスセンサーを組み合わせた複合火災感知器とファジィ・エキスパートシステムを導入した火災性状把握システムに関する共同研究を行なった。その研究で試作したシステムは、ホテル客室内で多く発生する浴室からの湯気やタバコの煙などに起因する非火災報を減少させることに極めて効果があることがわかった¹⁾。

また、平行して収集した実際の建物における非火災報のデータベースによると、非火災報の多くはタバコの煙、浴室からの湯気、調理の煙、スプレーミスト等の人為的要因によるものであった²⁻³⁾。従って、感知器直下付近での人の存否が把握できれば、それらの人為的要因による非火災報の発生を一層はっきりと識別できると予想される。さらに現在、建物の大規模化により、内部構造が複雑化し、消防隊が火災地点に速やかに到着し消火活動を行うこと、及び要救助者を迅速に発見し救助することが困難になっている。そのため、火災の状態や人の在室状況を把握することは、消防活動上有効と考えられる。

筆者らは、これまでに試作した火災性状把握システム（第1次）に在室者把握機能を付加し、人為的要因による非火災報の低減と火災性状の的確な把握を目標とする第2次共同研究（平成3年度～4年度）を行っている⁴⁻⁶⁾。その研究において、より信頼性の高いシステムを試作（写真1）したので、その概要をここに報告する。

* 松下電工株式会社

さらに、試作したシステムの性能の評価を行う方法として、非火災報データベースによる試験、ISO提案の試験火災と並んで、タバコの煙、湯気など非火災報原因に対してどのように反応するかを把握する非火災報試験を行うので、その概略を解説する。

2. システムの構成

今回試作した火災性状把握システム（第2次試作機）は、3個のCPUを有する処理装置から構成され、処理作業も3つの部分に分割される。その3つの処理作業は図1に示すようにタスク1、タスク2、タスク3とし、それぞれを3つのCPUに割り当てる。各タスクは通信線によって結合され、タスク1がタスク2とタスク3の制御を行い、結果をCRT画面や音声報知によって防災センター要員に知らせる。

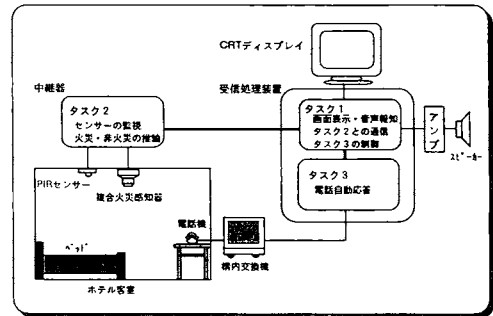


図1 火災性状把握システム構成図

処理機能を3つに分割し、それぞれを3つのCPUに割り当てた理由は、将来の実用システムでは、火災と非火災の判断機能が中央受信機から建物各所の中継器に移される方式が主流となることが予想されるためと、一層の高速処理化を目指したためである。

2.1 受信処理装置（タスク1）

受信処理装置は、主として、中継器（タスク2）との通信、画面表示、音声報知、電話自動応答システム（タスク3）の制御を担当する。この部分をタスク1とする。

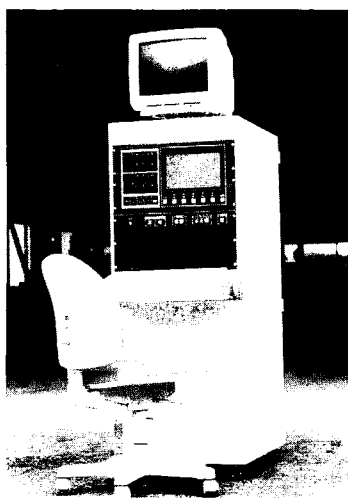


写真1 受信処理装置

タスク1はリセット信号を中継器に送ったり、中継器から送られてくるセンサーの出力値や推論状況をCRT画面にグラフィック表示する。また、音声報知機能によりセンサーレベルの異常や推論結果などをコンピューターによる合成音声で知らせることが可能である。タスク1は煙濃度・温度・CO濃度の変化及び推論状況を防災センター要員に知らせるため、システムと人のマン・マシンインターフェースの役目を果たす。また、電話自動応答システムを起動させ、その部屋での人の存否の確認を行う機能を有する。

2.2 複合火災感知器

近年の火災感知器に用いられる電子素子は高度にマイクロ化され、回路素子の占めるスペースは極めて小さくなっている。従って、複数の火災感知センサーを一つのケースに搭載することは可能であり、また複数素子化はくん焼火災と発炎火災を認識し、非火災要因を識別するうえでも効果的である。

従って、本試作システムでは複合素子火災感知器を採用したが、これは図2に示すように、COガスセンサー、煙センサー及び温度センサー素子を一体化したもので、そのうち、煙及び温度センサーは、それぞれ散乱光式煙感知器、サーミスター測温素子である。

COガスセンサーは、この研究のために開発されたもので、金-白金電極上に有機物（ナフィオン）溶液を塗布、乾燥させた電気化学式ガスセンサーである。このガスセンサーは、酸化物半導体（ SnO_2 など）によるガスセンサーの場合に不可欠な加熱ヒーターは不要であるため、消費電力は極めて少ない。このことは、自動火災報知設備に必須な停電時のバッテリーバック

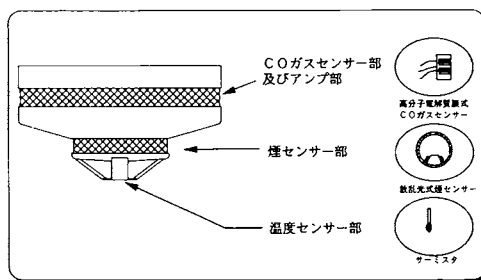


図2 複合火災感知器

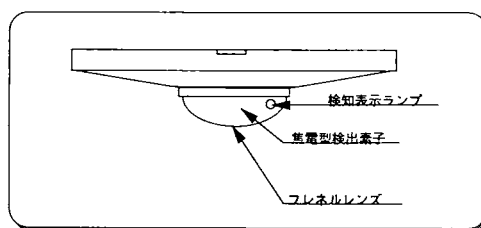


図3 人体赤外線センサー

アップ負荷の観点で優れている。

2.3 中継器（タスク2）

複合火災感知器と人体赤外線センサー（図3）の信号取り込みと、火災・非火災の推論を行う部分は中継器で行い、この処理をタスク2とする。

火災・非火災の推論は、複合火災感知器から得られる煙濃度・温度・CO濃度の情報と、室内における人の在否情報を併せて、ファジィ・エキスパートシステムによって行なわれる。

火災か非火災かの判断を行うファジィ・エキスパートシステムは、人工知能技術の1つであるエキスパートシステムにあいまい（ファジィ）表現を取り入れたもので、火災と非火災との判断ルールは、メンバーシップ関数とよばれる関数により記述される。

本第2次試作システムのメンバーシップ関数は、前述の火災・非火災状態の測定実験や実際のビルで測定した非火災報データを基に作成された。

第1次試作システムでは、くん焼とタバコの煙に関する識別にやや難があった。このため、今回の試作機では、図4に示すフローチャートのように改めた。その処理手順を以下に説明する。

1. 煙、熱、COセンサー値のいずれかが予報（プレアラーム）レベル以上になった時

- (a) 温度上昇とCO濃度の値に基づくメンバーシップ関数より、発炎火災の確信度を計算する。

- (b) 煙及びCOの値と温度上昇に基づくメンバーシップ関数より、くん焼火災の確信度を計算する。
 - (c) 本報（アラームレベル）以上の煙濃度が継続した時間と煙濃度及び温度に基づくメンバーシップ関数より、火災確信度を計算する。
 - (d) 煙、CO、温度の値に基づくメンバーシップ関数より、湯気等の確信度を計算する。
 - (e) 煙、CO、温度及び人体赤外線センサーの値に基づくメンバーシップ関数より、タバコ等の煙の確信度を計算する。
2. これら(a), (b), (c)の火災確信度の最大値と継続時間から火災か否か判断する。
 3. 火災と判断されないまま、煙、熱、COの値が異常状態から、再び煙、熱、COの値に異常がない状態（予報レベル以下）に戻った時、(d)と(e)の確信度の最大値によりセンサー信号異常の原因を判断する。
 4. 本推論機構により火災と判断された場合、タスク1は自動電話応答システム（タスク3）を動作させる。

第1次試作システムでは、センサー信号に異常が発生した時、発炎火災、くん焼火災、タバコの煙、湯気の4種の確信度を同時に計算し、その大きさ、順位、継続時間をもとに火災か非火災かの判断を行った。今回の試作では、まず、火災の確信度とその継続時間をもとに火災か否かの判断を行い、火災と判断されない

うちにセンサー信号が正常値に戻った場合、過去のセンサー信号の値より異常の原因の推論を行う。湯気とタバコの煙による異常は火災の初期段階の可能性があると考えられることから、この推論ルールの改良は、火災初期を浴室からの湯気やタバコの煙と判断する失報を防ぐとともに、推論精度の向上を目的としたものである。

2.4 電話自動応答システム（タスク3）と人体赤外線センサー（PIRセンサー*）

火災性状把握システムにおける在室者の把握は電話自動応用システム（タスク3）と人体赤外線センサーにより行われる。これらふたつをあわせて在室者把握装置（基本形）と呼ぶ。

電話機はオフィスやホテルの客室には必ず設置されており、電話をかけて在室者を把握することはコスト面から見ても可能で現実的な手法である。しかし、在室者の把握を電話の応答のみに依存すると頻りに電話がかかる恐れがあり、特にホテル客室などでは現実的ではない。従って、火災と断定された場合のみ、防災センター要員の確認と平行して、自動的に電話をかけ、相手を受話器をとった着呼信号を検出し人の在否を把握する自動電話応答システムを試作した。

各部屋の電話機とシステムのコンピューターは電話制御ボードと通常の構内電話の回線を介して接続されている。ここで使用する電話制御ボードは人の在室を把握するための以下の機能を持っている。

- (1) オートダイヤル機能。
- (2) 相手を受話器を上げたことを検出する機能。
- (3) 相手が電話を取った時にメッセージを流すための音声合成機能。
- (4) 電話機が発生するトーン信号を識別する機能。

電話自動応答システムの動作手順を図5に示す。このシステムは、推論機構により火災と判断された部屋に自動的に電話をかけ、電話の受話器がとられた場合は、その部屋に人がいるか否かおよびメッセージに回答するか否かを把握する。

人体から放射される赤外線を検知して人体の存在を把握する人体赤外線センサーは、電話による在室者の把握手法よりも確実性において劣るが、簡便に在室者を把握できる長所がある。今回の試作では、図3に示すように、フレネルレンズ内に焦電型検出素子を1個入れたものを用いている。

人体赤外線センサーの火災状態及び非火災状態における出力特性を調べる実験を行った。発炎火災、燻焼* PIRセンサーはPassive Infrared sensorの略で人体から出る赤外線を検知するセンサーである。

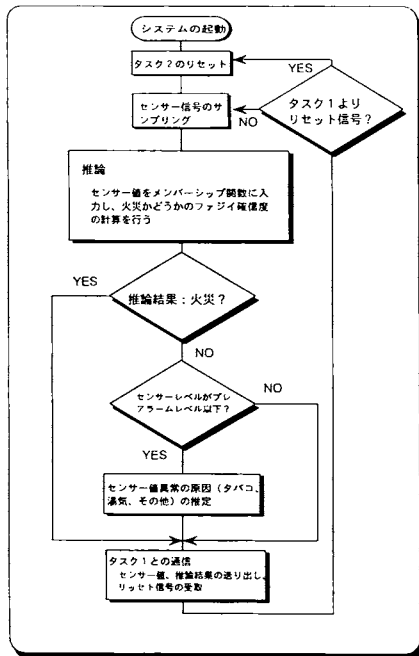


図4 中継器（タスク2）の処理手順

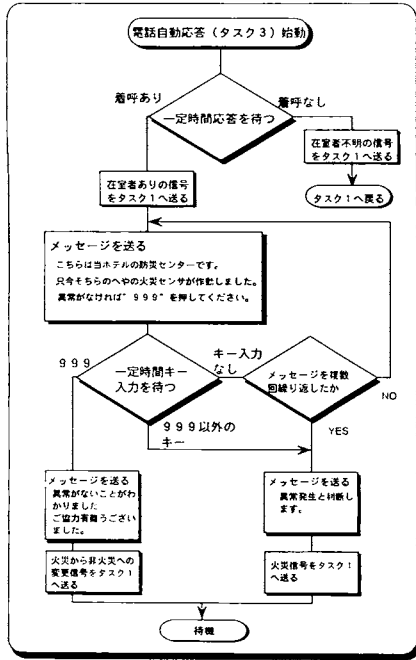


図5 電話自動応答システム（タスク3）の手順

火災、水蒸気、タバコの煙の4つの場合について、天井面に取付けた4種のセンサー（光電式煙センサー、熱センサー、一酸化炭素センサー、人体赤外線センサー）で煙濃度、温度、一酸化炭素濃度、人体赤外線センサー出力を測定した結果を図6から図9に示す。図6はセンサー群の直下で蒸気を発生させた場合で、光電式煙センサーの値は大きく変化するが、他のセンサーはあまり変化しなかった。人体赤外線センサーは、水蒸気の発する赤外線のゆらぎに多少反応する。図7は紙を発炎燃焼させた場合で、温度、CO濃度、及び人体赤外線センサーの値も大きく変化している。一方、光電式煙感知器の出力はあまり変化しない。図8は木綿シーツを電熱ヒーターで加熱し燻焼させた場合で、煙濃度とCO濃度の値は上昇するが、温度はあまり上昇しない。人体赤外線センサーの信号は煙のゆらぎに反応して多少変化する。図9は感知器群直下で人がタバコを吸った場合で、人体赤外線センサー出力、煙感知器出力、及びCO濃度は上昇しているが、温度はほとんど上昇しない。

この結果から、人体赤外線センサーはくん焼に関してはほとんど変化しないが、感知器下で人がタバコを吸った場合は、人の動きをとらえることができることがわかった。従って、人体赤外線センサーの出力をタバコの煙の推論ルールに組み込むことで、タバコの煙

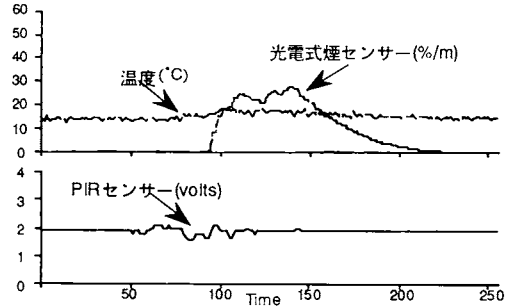


図6 センサーの出力（水蒸気）

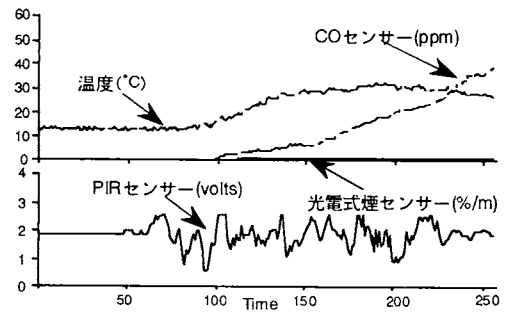


図7 センサーの出力（発炎火災）

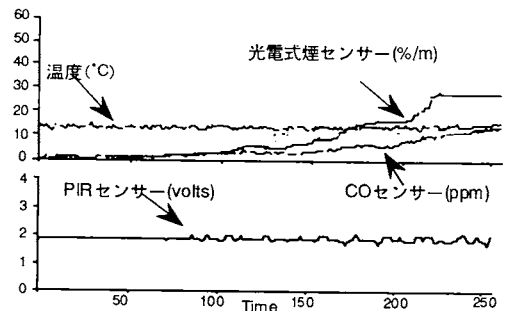


図8 センサーの出力（木綿のくん焼）

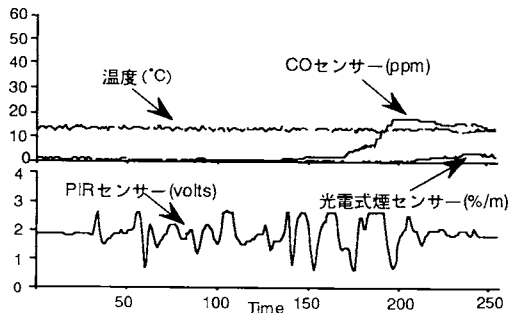


図9 センサーの出力（タバコ）

に対する推論能力の向上をはかった。

しかしながら、図7と図9より人体検知用の赤外線センサーは人の動きと炎の両方に反応し、炎を人としてとらえる可能性もあることがわかる。このため、火災か否かの判断には人体赤外線センサーの信号は用いず、温度センサーと一酸化炭素濃度の変化から発炎火災か否かを識別することとした。

炎と人体の赤外線の識別の問題に対応し、上記のフレネルレンズ内に1個の焦電型検出素子を入れた赤外線センサーの他に、特性の異なる2個の焦電型検出素子を入れ、炎と人体の赤外線を識別できるセンサーの開発も検討している。このセンサー信号は、発炎火災か否かの判断にも使用でき、迅速かつ確実な火災検知を行うことを可能にする。更に、空調などにより3素子火災感知器に熱や煙が到達しない状態で発炎している火災もこの赤外線センサーで検知することができる。

3. 性能試験

本システムの実用化にむけて、以下に示す各種状況における試験火災と非火災報試験の両方を行なって性能試験を行う。

3.1 非火災報データベースを用いた非火災報試験

性能試験のための実験に先立ち、実建物で計測された煙感知器に関する非火災報データベースのアナログ信号を用いて、本試作システムの推論ソフトの妥当性を検証する非火災報試験を行った。

本システムの火災感知器は3素子センサーに人体赤外線センサーを付加したものである。一方、実際の建物で計測した非火災報データベースには、煙濃度信号を除く熱、CO、人体赤外線に関するデータはない。しかし、非火災報の原因がわかっているものについては、これまでの実験室でのデータベースを用いて、熱、CO、人体赤外線に関するデータを推測することができる。例えば、湯気による非火災報の場合、温度の上昇は予報レベルよりはるかに低いレベルにあり、COガス濃度はほとんど無視できるほど低い。

これらの疑似的データと実際の建物で収集した煙感知器のアナログ信号を用いて推論を行ったところ、原因のわかっている全ての場合について、非火災であると判断した。この結果、もし本試作システムが従来型の煙感知器に代わって設置されていたとすると、測定を行った建物で2年間に発生した非火災報の少なくとも70%は減らすことができることがわかった。さらに、原因不明の非火災報において煙信号以外の信号は推測できないので、評価実験には用いながったが、実際に本システムが設置されていた場合、非火災と判断でき

る場合もありうるので、非火災報低減率は一層向上するものと予想される。

3.2 試験火災（Test Fire）

火災性状把握システムの火災感知における性能評価の試験は、ISOにおいて検討されている火災感知試験に準拠した試験火災⁹⁾により行なう。以下に7つの試験火災（TF1からTF7まで）を示す。

TF1：木材燃焼試験

約70本の乾燥したぶな材（寸法：1×2×25cm）をアルコールを使って点火する。

TF2：木材燻焼試験

約10本の乾燥したぶな材（寸法：2×2.5×7.5cm）を直径22cmの電熱器上に放射状に並べて加熱燻焼させる。

TF3：綿灯芯の赤熱くん焼火災

長さ約80cmの綿灯芯約90本を直径10cmの針金の輪に吊し、マッチまたはトーチで点火、炎は吹き消して燻焼させる。

TF4：プラスチックの発炎火災

3枚のポリウレタン（寸法：50×50×3cm）を重ね、角にアルコールを使って着火燃焼させる。

TF5：液体火災（n-ヘプタンの燃焼）

n-ヘプタンとトルエンを混合したものを燃焼皿に入れ、炎か電気スパークで点火燃焼させる。

TF6：液体火災（メタノールの燃焼）

メチルアルコール約2,500ccを燃焼皿に入れ炎または電気スパークで点火、燃焼させる。

TF7：木材の緩慢な燻焼火災

約10本の乾燥したぶな材を直径22cmの電熱器に放射状に並べて加熱燻焼させる。（TF2よりも電熱器の温度上昇の割合を少なくする）

これらの試験火災の測定結果を用いて、推論結果を検証したところ、全ての場合について、発炎火災またはくん焼火災と判断し、推論ソフトは特に問題はないことがわかった。

3.3 非火災報試験（False Fire Test）

TF1からTF7までの試験火災では火災感知システムが引き起こす非火災報識別能力を評価することはできない。そこで、火災感知システムが非火災報要因に対して、どの程度火災との識別能力があるかを評価するため、次の5種の非火災報知試験（図10）を行う。

FF1：湯気試験 FF2：ほこり試験

FF3：タバコ試験 FF4：調理試験

FF5：暖房機試験

非火災報試験において、実験場の環境及び湯気やほこりの出し方など多くの基準を設定し、より再現性の

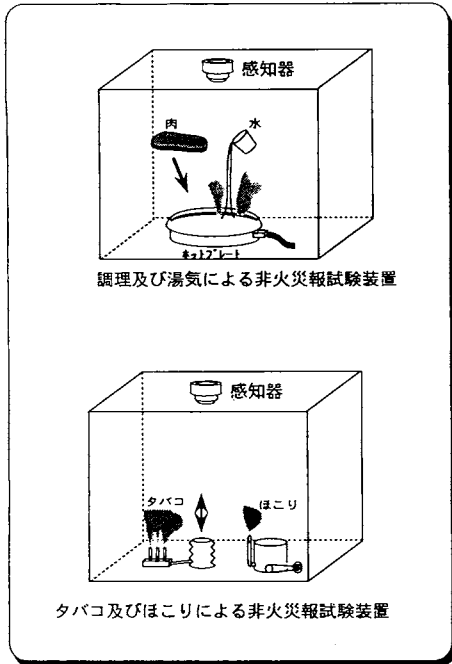


図10 非火災報試験

ある評価試験法を確立する必要があるため、基準を確立する実験を各種行っている。

これら非火災報試験（FF1からFF5）と試験火災（TF1からTF7）を合わせて行なうことで、火災感知器に対して総合的な評価を行なうことができる。

4. おわりに

今回試作したシステムは、過去3年間の研究において試作した火災性状把握システムに、人体赤外線センサーと電話自動応答よりなる在室者把握装置を追加し、

推論部分の改良を行ったものである。

この結果、人の在否の情報を基に、タバコなどの人為的要因による非火災報を大幅に減少させることができた。今後は、上述の性能評価の方法と併せて、実際の建物に本システムを設置して、従来型の火災報知設備との性能比較を行い、実用性の検討を行う予定である。

参考文献

- (1) 佐藤晃由、竹元昭夫、河関大祐：“火災性状把握システムに関する研究（その1）”、消防研究所資料第25号、1991
- (2) 佐藤晃由、竹元昭夫、河関大祐：“火災性状把握システムに関する研究（その2）”、消防研究所資料第26号、1991
- (3) 細川直史、佐藤晃由：“住宅火災感知における煙と一酸化炭素”、第24回安全工学研究発表会、1991
- (4) 河関大祐、佐藤晃由、竹元昭夫：“火災性状把握システムについて”、消防研究所輯報、第44号、1990
- (5) 細川直史、佐藤晃由、河関大祐、田村裕之、桐畑慎司、藤岡透、渡部祥文、栗尾孝、中西慎治：“火災性状把握システムの試作（その2）”、火災学会研究発表会1992
- (6) M. Hosokawa, K. Satoh, D. Kouzeki, H. Tamura, Y. Okuda, S. Kusanagi, T. Fujioka, Y. Watabe, T. Kurio and S. Nakanishi: “Study of Fuzzy-Reasoning Fire Detection System”, 12 th Joint Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, 1992
- (7) 検定協会だより、日本消防検定協会、昭和55年11月

光電式煙感知器

—25年の歩みと将来動向調査—

田村裕之、佐藤晃由、河関大祐、細川直史

1. まえがき

自動火災報知設備は火災の早期検知に大きな役割を果たしてきたが、現在なおいわゆる非火災報（火災でない現象に対して感知器が正常に働いて火災報を発すること。）の発生などの問題点が残されている。

この問題に対し、筆者らは新型の火災センサーを試作し、非火災報を大幅に低減させる火災感知システム（火災性状把握システム^{1),2)}を開発する研究を行っている。その研究において、新しい火災センサーを試作し設計するうえで、従来の感知器はどのような技術的変遷をたどったか、また将来的にはどのような形態が予想されるか調べた。

現在、感知器として主に2種類が多用されている。一つは火災により生ずる熱を利用して自動的に火災の発生を感知し、これを受信機に発信するもの（以下熱感知器という。）。もう一つは火災により生ずる煙を利用して自動的に火災の発生を感知し、これを受信機に発信するもの（以下煙感知器という。）である。熱感知器には差動式と定温式があるが、その両方とも過去20年間に外形及び内部機構ともあまり変化していない。一方、煙感知器は24～5年前に導入されて以来、大幅な進歩の跡がみられる。従って、ここでは主として煙感知器の歩みについて調べた。

煙感知器にはイオン化式と光電式とがあるが、種々の理由からイオン化式煙感知器はわが国では既にほと

んど使用されなくなりつつあるため、ここでは光電式（特にスポット型のもの）の煙感知器の進歩の歴史について調べ、併せて筆者らの試作した火災センサーについて解説する。

2. 感知器の歴史の概略

感知器は、主として熱感知器及び煙感知器の2種類が使用されている。また使用個数は少ないが、熱と煙の複合型感知器及び炎の赤外線または紫外線を検知する感知器（火災により生ずる炎を利用して自動的に火災の発生を感知し、これを受信機に発信するもの。以下炎感知器という。）もある。

歴史的には、熱感知器が最も古く、第二次大戦以前から実用に供されていた。一方、煙感知器は昭和40年代以降から使用されるようになったものであり、炎感知器に至っては平成3年になって技術基準³⁾ができ、正式に感知器として認められた（それ以前は炎検出器、炎感知器などと呼ばれた。）ものである。

表1に最近の感知器の検定個数（日本消防検定協会検定品）を示す^{4),5)}。熱感知器は煙感知器に比べて価格が低いため、その個数は平成3年度で約650万個で、感知器全体の約80%を占めている。そして、一方煙感知器は、それが義務設置である場所等に主として設置され、感知器全体の約20%を占めている。

現在のわが国の煙感知器は、ほとんど光電式スポット型感知器になっているが、昭和58年以前は製造コス

表1 最近10年間における主な火災感知器の検定数

(千個)

種類	年度	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3
差動式スポット型		2439	2481	2658	2884	2860	3052	3517	3091	4355	4248
差動式分布型		72	79	84	101	88	78	108	129	149	157
定温式スポット型		1178	1212	1276	1411	1498	1642	1982	2112	2097	2202
イオン化式		633	608	462	256	107	80	69	38	21	25
光電式		299	347	583	809	906	1133	1234	1390	1714	1843

トの面で、イオン化式スポット型感知器の方が有利であったため多く用いられていた。しかし、イオン化式と光電式とでは、検知する物質の違いに基づき、イオン化式の方が非火災報が多く発生したり、毎年の保守点検の際の洗浄や工程における放射性物質の管理や感知器廃棄時の処分などの問題が感知器メーカーや保守会社にとって大きな負担となったりしたため、表1にみられるように次第にイオン化式の感知器は使われなくなっている。

3. 煙感知器の誕生とその背景

煙感知器が消防設備として明確にされたのは昭和44年の消防法施行令（政令）改正⁹⁾のときであった。政令改正以前の自動火災報知設備の感知器としては熱感知器だけが正式に認められていただけである。

しかし、政令改正と同時に煙感知器が世に出回り始めたというわけではなく、政令改正より前の昭和42年に、日本火災報知機工業会は光電式スポット型感知器の原型ともなる「非常火災警報装置」を製作している。この装置は当時、使用対象を自動火災報知設備の設置が義務とならない小規模の防火対象物に限定し、非常警報設備と同等以上の効力を有するものとしたため、「非常火災警報装置」という名称で呼ばれた⁷⁾。当時、この煙感知器は工業会型煙感知器と呼ばれ、光電式のものは「工業会一型」、イオン化式のものは「工業会二型」と名付けられた。これらの感知器は専用受信機を備えたもので、工業会一型は1万3千台が生産され、取り付け開始の4カ月間で4千個が取り付けられ、その後も数を伸ばしていった。

工業会一型が製作された背景には、その前年（昭和41年）の暮れに起きたある火災が強く影響している。昭和41年は、東京消防庁が火災による死者撲滅運動を積極的に推進した年であり、その効果が秋頃にかけて徐々に現れていた。しかし、同年12月25日の未明に、ある公衆浴場の釜場から出火し、上階に寝ていた5名が煙にまかれて死亡するという火災が発生した。この死亡者を伴う火災を重くみた東京消防庁が、日本火災報知機工業会に対して火災の煙を検出する装置の開発を年末に要請した。工業会側は急ぎょ試作にとりかかり、翌年の2月までにその第一号機を作り、これが東京消防庁の人命安全対策本部推進委員会で承認されると、1～2カ月の間に工業会一型を製品として作り上げたのである。そして、工業会一型は木造2階建て併用住宅等の夜間階下が無くなるような小規模の防火対象物に多く取り付けられた⁷⁾。

その後、各感知器メーカーは改良を重ねながら光電

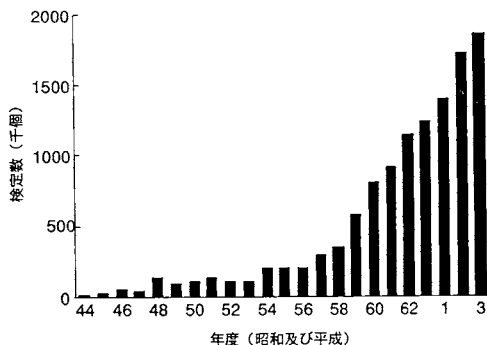


図1 年度別光電式煙感知器の検定数の推移 (スポット型及び分離型を含む)

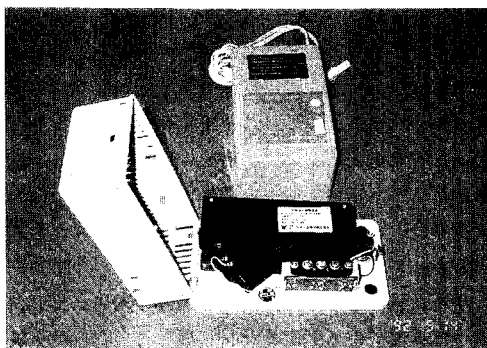


写真1 煙用の警報器としては国産第1号である工業会一型（昭和42年）の外観及び受信機（上が受信機、下が感知部の外蓋を開けたところ）

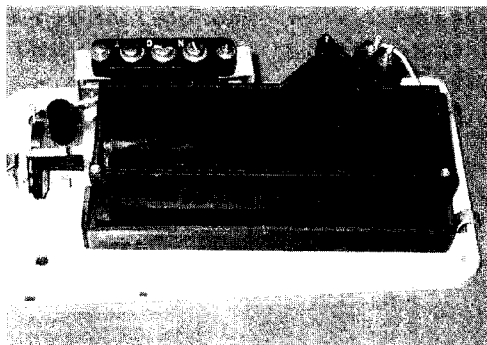


写真2 工業会一型（昭和42年）の煙室内の構造（左に発光素子、右上に受光素子）

式感知器を製作した。スポット型と分離型を併せた光電式感知器の検定数の推移⁹⁾は図1のようになり、現在では年間184万個以上（平成3年度）が検定のうへ出荷されている。

4. 技術的改良

4.1 初期の改良

工業会一型は、ちょうど弁当箱程度の大きな形をし

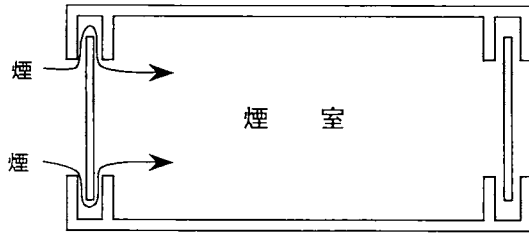


図2 工業会一型の煙室断面図

ており、その外観と受信機は写真1のように、煙室内の構造は写真2のようになっていた。光電式の原理は散乱光式とも呼ばれ、発光部と受光部を設け、発光した光が直接受光部に入らないようにしておき、煙の粒子で散乱反射した光を受光部が受け、受光量の変化によって煙の有無を感知するというものである。

煙室の断面は図2のようになっており、上下の隙間より煙が流入する。工業会一型の発光素子は白熱電球で、受光素子は直径10mmの硫化カドミウム（CdS）製で、感知器の電源はDC8V、受信機の電源はAC100Vであった。感知器電源は、電気工事士の資格を有しない人でも工業会一型の設置工事ができるようにDC8Vとした。電気工事士法第2条に電気工事士でなくとも可能な工事として、火災感知器に類する施設に使用する36V以下の配線工事が定められていたからである。

工業会一型は、わずか1～2ヵ月の開発期間しかなかったため、いくつかの問題点を抱えていた。その問題点としては、

- 1 消費電力が大きい。（数十mW程度であり、これは現在の約100倍）
- 2 電球の寿命が短い。（1～2年）
- 3 電球の球切れに対する監視が必要である。（監視回路を設けたり、目視確認用の窓を設けた。）
- 4 煙の流入があまりスムーズでない。
- 5 4線式（電源線2本、信号線2本）結線のため工事に手間がかかる。
- 6 常時点灯している電球周辺の雰囲気や虫の集まりやすい環境になり、虫の煙室への侵入により非火災報を発生する。

などがあり、改良が必要となっていた。昭和44～5年頃の各社の煙感知器は、構造的には工業会一型とはほぼ同じで、煙室の形状や発光素子と受光素子の位置関係が違う程度であったため、これらの問題をどの感知器も持っていた。そのため、コスト的にも安いイオン化式煙感知器の検定個数は光電式感知器の10倍前後もあった⁴⁾。

昭和46年に、これらの問題に対し改良を加えた光電

式感知器が登場した。この感知器の特徴は、

- 1 間欠発光式を取り入れ、消費電力を大幅に低減させた。
- 2 消費電力の低減により2線式配線が可能となり工事費が低下した。
- 3 発光素子に発光ダイオード（LED）を用いた。
- 4 受光素子に太陽電池（シリコンフォトリスタ）を用いた。

等である。

改良するにあたり特に、発光素子の電球が常時点灯していた工業会一型の消費電力を大幅に低減させる必要があった。そのために、まず、発光時間を短縮することが考えられ、間欠発光式が採用された。さらに、電球よりも小さい電力で点灯させることのできるLEDが用いられる時代になったため、これが採用された。このLEDは近赤外線を発光するもので、間欠発光のインターバルは3～8秒くらいで、発光している時間は0.1msほどである。この感知器は、電源がDC24V、消費電流は約300 μ Aになっており、消費電力は数mW程度で、工業会一型に比べ10分の1ほどになっている。

この光電式感知器では、極めて弱い光によって煙の有無を検知するため、この当時の感知器でも現在のものと同様に発光と受光の同期をとって動作させる方式が導入されている。これによりノイズによる誤動作の低減が図られている。また、LEDの採用により、発光素子自体の寿命が大きく伸ばされ、電球の場合の1～2年に比べ数倍に伸びている。

これら数々の改良が施されたことによって、光電式感知器が一般に広く用いられる素地はできた。ただし、この頃はまだコスト的にイオン化式感知器の方がかなり有利だったので、検定個数としてはイオン化式の方が4～5倍も多かった。この昭和46年に作られた光電式感知器の基本構造は現在の光電式のものにも基本的には受け継がれており、上述の改良は飛躍的な前進であったといえる。

4.2 外観及び煙室

外観的な変化と併せて、煙室の遮光構造について考えてみたい。昭和42～5年当時の外形は、直方体や分厚い円盤状の感知器が多かった。（写真2、3）

この頃の遮光構造はシンプルで、図2のように煙室に被せた蓋のふちで側板をはさむような構造にしたもので、ふちと側板の隙間から煙が侵入するものであった。この構造では煙の侵入があまりスムーズでなく、前述のように改良が必要な部分であった。

昭和48年頃になると、遮光構造も少し複雑になり、



写真3 円盤状感知器 (左:昭和46年製、右:昭和44年製)

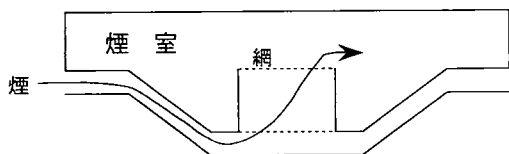


図3 円盤形状の感知器の煙室断面図

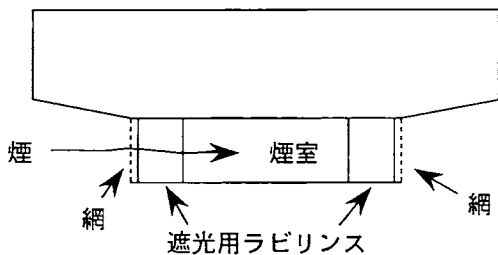


図4 外部煙室を有する感知器の断面図

外形は少し分厚い円盤状のものが増え、遮光部分は図3のように皿を重ね合わせたような構造をとるようになった。これだと煙室への開口面積を大きくとれ、流入経路もよりシンプルなものになるため煙の流入が前の構造より良くなった。

その後の大きな変化としては、昭和52～3年ころ、写真4のように煙室が外部に突き出たような形状になったことである。外観は二段重ねの形で、煙室を独立させて設けた感知器である。ライトトラップ(発光素子が発光した光を、煙室内で反射により減衰させること)技術の進歩、遮光構造の進歩などにより、より煙の流入が容易になるような形の感知器をつくることができた。それまでの煙感知器では、煙室内壁を艶消し状態にして、光の反射を少なくするようにしていただけであったが、ライトトラップ技術の進歩により、煙室内を複雑な形状にしてもノイズを低減させることができ、絞ったビームの発光素子を使用することがで

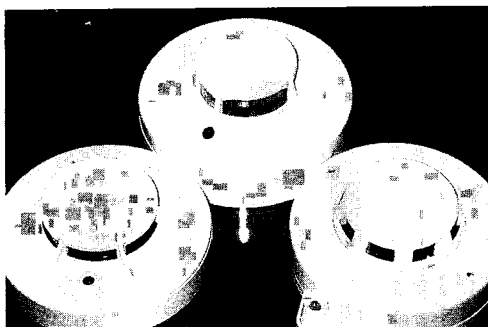


写真4 外部煙室を有する感知器 (平成2年製)

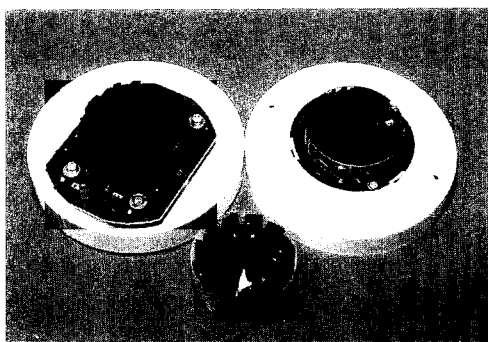


写真5 煙室のラビリンス構造と虫除け網 (平成2年製)

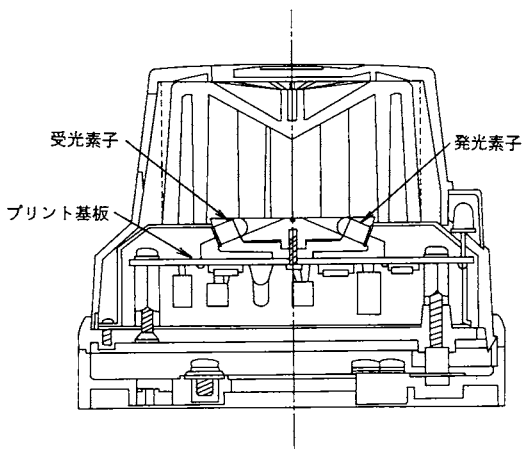


図5 垂直面上に発光、受光素子を配した感知器の断面図 (昭和52年製)

きるようになり、よりノイズの低減が可能になった。特に、遮光技術の進歩により、ラビリンス構造(写真5)という複雑な遮光技術が開発され、これにより煙室自体を外に設けることが可能になった。この場合の入煙経路は図3の場合と異なり、図4のように流入する。これらの技術を巧妙に利用して、発光素子と受光素子を水平面ではなく、垂直面上に配置した図5⁸⁾の

ような感知器も作られた。

さらに、外部煙室の感知器になって、煙室にとって虫除け用の網（図4）が重要になった。それまでの感知器にも虫除け用の網（図3参照）は使われていたが、煙室の構造自体が、光が入り難い、即ち隙間が少ない、というものであったので、付いていたりいなかったりしているものであった。

しかし、外部煙室の感知器では、煙が流入しやすい代わりに、隙間も大きいので、虫除け用の網が必須となった。昭和52～3年頃の感知器は、30番線の針金を1インチ当り30メッシュの密度で編んでいた。その後、昭和62～3年頃以降は、厚さ50ミクロンのはがねの薄板に細かい穴をパンチし、はちの巣状にしたものが使用されている。これは、電動ひげ剃りの網刃の技術が導入されたものである。網刃状の虫除け網によって、それまでの編んだ網よりも煙の流入が極めて良くなった。煙流入の程度は網部分の空気抵抗に左右され、網刃状の方が厚さも薄く、空気抵抗がかなり小さく、煙も入りやすいことが実証されている。煙室の側面積を比べると、初期頃の方が現在のものよりも広がっていたが、煙の流入のしやすさでは逆に現在の方が良くなっているのである。

効率の良い煙の流入と遮光という相反する性能の向上を目指した技術進歩により、外観や煙室が変化してきた。現在では、直径80mm、高さ20mm程度までの小型化された感知器も出現している。

4.3 回路部分の変化

はじめに述べたように、光電式感知器はイオン化式感知器よりも製造コストがかかるのであるが、その理由の一つが、回路部分の複雑さであった。

その主な原因は、信号電圧の違いにある。イオン化式の場合は、センサー部分から直接取り出せる信号電圧が数Vという大きな値であるのに対し、光電式の場合、mV単位の小さな値しか取り出せない。これを必要な電圧にするには、信号電圧を増幅しなければならず、そのための増幅回路が必要となる。従って、増幅回路を構成する素子が基板上に並ぶことになり、これらの素子分コストがかかることになる。昭和160年頃までは、図6⁹⁾のように回路の抵抗やコンデンサーなどの素子は大きなものをそのまま基板上に取り付けていたので、必然的に回路部分が占める体積も大きなものになった。

電子技術の進歩により、コンピュータなどの先端製品ほどではないが、回路の集積化やチップ部品の採用が起り、その後の基板上での回路の占める体積は次第に小さくなった。基板の表面積はさほど変わってい

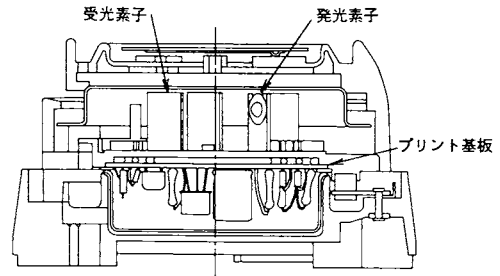


図6 従来型回路素子の感知器断面図（昭和48年製）

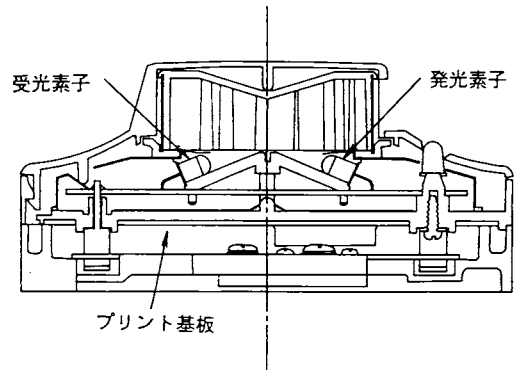


図7 電子部品がチップ化されている感知器断面図（昭和62年製）

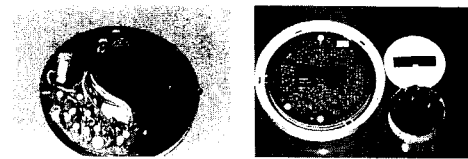


写真6 回路素子の比較
（左：昭和44年製、右：平成2年製）

ないが、素子の載っている部分の厚みが10mmくらいから3～4mm程度に薄くなっており、約3分の1に減少している（図7¹⁰⁾）。写真6に昭和44年頃と平成2年頃の回路部分を示す。この写真からも変化の大きさがわかる。素子のチップ化は感知器の外観にも影響を与え、より薄く目立たない感知器を可能にさせている。

回路の集積化は感知器において極めて大きな変化をもたらした。即ち、小さなスペースにより高度な機能を回路に押し込むことが可能になり、感知器の設置されている場所を示すアドレスを出力するものや、感知

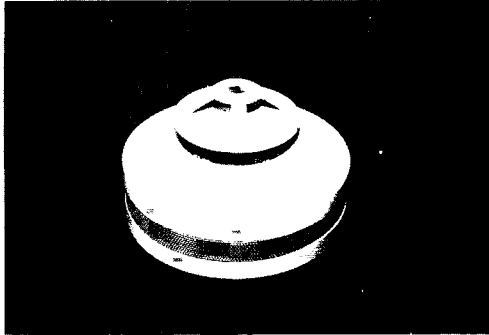


写真7 3素子一体型センサー
（最上部が熱センサー、2段目が煙センサー、下部の大きい部分がCOセンサー）

器自身が蓄積機能を有し蓄積時間をみた後に火災信号を出力するものなど、インテリジェント化されたシステムに対応できる感知器が作られている。

今後もさらに集積化が進み、より小さな基板で済むようになると予想される。現在でも、電源部分を除けば集積回路ひとつで回路が構成されるような感知器さえ計画されている。

5. 将来の感知器について

以上まで、四半世紀にわたる光電式スポット型感知器の変遷をたどってきたが、電子技術、工作技術、生産技術、材料技術などの進歩により、より小さく、省電力で、非火災報の少ないものへと改良されてきたことがわかった。即ち、外観からだけではわからない、いろいろな変化が行われていたのである。これらの改良が、今後も続けられていくことは間違いのないところである。さらに、センサーからの信号を処理する機能を持ち高度な判断の行える回路を内蔵し、より非火災報を低減させた感知器が生まれてくると思われる。以上までは光電式感知器について述べてきたが、次に、光電式感知器に限らず種々のセンサーを考えにいたし、筆者らの考案した火災センサーについて触れてみたい。

光電式感知器のところでも触れたように小型の感知器が作れるということは、違う種類のセンサー（例えば、煙と熱及びガスセンサー）を組み合わせてもコンパクトにまとめることが可能ということであり、複合型の感知器が将来発展することが予想される。その理由の一つに、センサー素子及び回路素子自体のコストは、個々の感知器のなかでは大きな比重を有しなくなると考えられることがあげられ、さらに、現在の熱感知器では煙や有毒ガスがいくらか発生しても温度上昇が大きくなるまで検知しないとか、煙感知器では煙が少なく急激に炎が発生している火災は感知できない、という

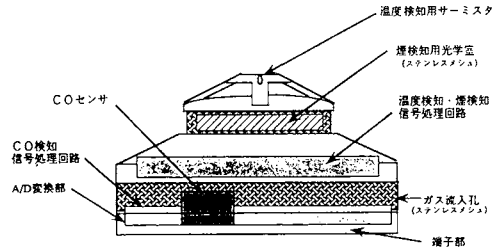


図8 3素子一体型センサーの内部構成図

ような問題が複合型感知器では解消されるからである。また、複合センサーの情報は火災と非火災の識別にも極めて有効である。従って、複合型感知器では、それぞれのセンサーが出力するアナログ信号を効果的に処理するソフトウェアが特に重要になってくる。このような予測のもとに、筆者らは、煙、熱、及び一酸化炭素（CO）ガスの3種類のセンサーを組み合わせた複合火災センサーを試作した。これを写真7に示す。また、その内部構成を図8に示す。この火災センサーは試作段階であるため、それぞれのセンサーに対応する回路部分はひとつずつ設けられており、多少大きなものになっている。今後試作する場合は、熱、煙、COガスの流入する部屋は同じとし、それぞれの信号回路は高度な集積回路で構成する予定である。これは、大量生産によりコストを低減させるには、部品点数、工程数の低減が必須であるからである。

我々は、より高性能で、インテリジェント化されたシステムに対応した感知器と、信頼性の高い自動火災報知設備を作り出すことを目的とし、有効な火災センサーと火災感知ソフトウェアを開発するため、今後も研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1 消防研究所：火災性状把握システムに関する研究（その1）、消防研究所技術資料第25号（1991）
- 2 消防研究所：火災性状把握システムに関する研究（その2）、消防研究所技術資料第26号（1991）
- 3 自治省令第18号：火災報知設備の感知器及び発信機に係る技術上の規格を定める省令の一部を改正する省令、平成3年5月7日
- 4 日本消防検定協会：検定時報、第12～37号（1970～1986）
- 5 日本消防検定協会：検定協会だより、第66～136号（1986～1992）
- 6 政令第18号：消防法施行令の一部を改正する政令、昭和44年3月10日

- 7 日本火災報知機工業会：火災報知機、第32号、p. 8 (1967)
- 8 ニッタン株式会社：2KCの検定承認函（1977）
- 9 ニッタン株式会社：NLD-18の検定承認函（1973）
- 10 ニッタン株式会社：2KHの検定承認函（1987）

長大トンネルの消防防災対策の調査報告

山田常圭、斎藤直、渡部勇市、関沢愛、箭内英治、宮崎早苗

1. はじめに

景気が後退局面に入り地価の高騰も鎮静化してきた現在から見れば隔世の感があるが、つい一年程前まで地価高騰に伴い都市域での土地の有効利用が叫ばれ、大深度地下の利用が熱心に論議されていた。

当研究所においても、こうした地下利用の社会的要請に対応すべく、平成元年度より『地下利用の特殊空間の火災性状に関する研究』に着手した。筆者ら、本研究に携わっている者としては、昨今の世間の変わり身の速さには多少当惑している。しかしながら、いわゆるバブルの崩壊が都市域の土地の供給に関する多くの問題を全て解決した訳ではない。適正な都市機能を維持していくのに必要な都市の主要施設の多くは、依然として地下空間等、土地の有効利用に依存せねばならず、東京湾横断道路のような地下構造物は今後とも建設の可能性が高い。こうした理由から、現在においても当該研究の重要性は変わらないし、逆に世間が静かになった分、落ちついて物事の本質を見据えられる環境が整ってきたと筆者らは感じている。

研究に着手した時点で、既に大深度地下利用の構想は多くあったが、実現可能性のある地下空間がいかなる形態に落ちつくのか漠として捉え所がない状況にあった。筆者らは、まず地下空間における道路・鉄道トンネル内での火災現象の理解を念頭に研究を開始した。将来、需要が多く出現の可能性が高いことおよび形態が比較的単純かつ地下の種々の空間での火災現象

の物理・化学的な基本問題を内包しているように考えられたからである。

また、筆者らは実験研究と平行して国内の主要な長大トンネルを手分けして見てまわり、現実の防災対策について理解を深める機会を得た。本文では、この現地調査の概要を紹介したい。

2. 調査対象トンネル

調査対象トンネルは、我が国の土木技術史上に残るような有名な長大及び海底のトンネルであり、かつ事前に防災対策が入念に検討されたものの中から選んだ。対象となったトンネルの概要を表1に示す。調査は、平成元年度から平成3年度にかけて行った。

3. 自動車トンネルの防災対策

調査対象の自動車トンネル内の防災設備の大半は、日本道路公団の道路トンネル非常用施設設置基準および消防庁の通達（昭和56年4月25日消防予第96号）によりトンネル等級（図1）毎に定められた防災設備（図2）で構成され、各トンネル特有のものは少ない。個々の防災設備の諸元については、各管理事務所発行の施設紹介パンフレットや、巻末に掲げたような各種解説資料等^{1)~6)}に詳しく紹介されているため、紙面の都合上割愛する。以下、現地調査・ヒヤリングによって得られた資料をもとに防災対策の現状、問題等について2、3紹介する。

表1 調査対象トンネル概要

用途	名 称	全 長	最急勾配	供用開始時
自動車道	関越トンネル	11.1km	1.0 %	昭和60年10月
	恵那山トンネル	8.7km	1.8 %	昭和50年6月
	関門トンネル（自動車道）	3.4km	約4 %	昭和33年3月
	” （人道）	780 m	—	”
鉄 道	青函トンネル	53.9km	1.2 %	昭和63年3月
	関門トンネル（在来線）	3.6km	2.5 %	昭和19年9月
	新関門トンネル（新幹線）	18.7km	—	昭和50年3月

表2 自動車トンネルの火災直後の換気制御手順

関越トンネル (縦流式)	火災発生時には、煙を拡散しないように、一旦換気を止める。 その後、トンネル内部の気流が止まるようにジェットファンを逆送風する。(第一期竣工時点)
恵那山トンネル (上り：縦流式 下り：横流式)	火災発生箇所の手前の区画では排気を停止し送風のみ行い、車の進行方向に煙を送り排気する。送風口近くに火源がある場合は、その部分の送風を行わない。反対車線側には、煙の進入を防ぐため給気を行う。
関門トンネル (横流式)	火災時には直近での給気は停止するが、排気は継続する。 それ以外の換気制御はケースバイケースで対応する。

3.1 自動車トンネル内での火災の発生状況

東名日本坂トンネルでの火災の印象が強かったせい
か、一般的には、トンネルの火災は非常に鎮圧しにくく、ひとたび発生すると非常に危険な状態に陥るような先入観を抱かれている。しかしながら、今回の調査対象となった自動車トンネルでは、開業以来多かれ少なかれ火災を経験しており、その殆どすべてがトラックの荷台のホロが燃える程度の小火である。これらの火災は、車に設置されている消火器や最寄りの消火栓によって運転手自ら初期消火を行い大事には至っていない。また、これらの火災発生直後には、通行中の車両からの自発的な協力、携帯電話を用いた情報提供により、火災発生の極く初期の段階で初期消火および連絡通報が行われているようであり、人知れず火災が成長して気がついた時には既に手遅れになるといった建物火災の発生、成長過程とはかなり異なっている。

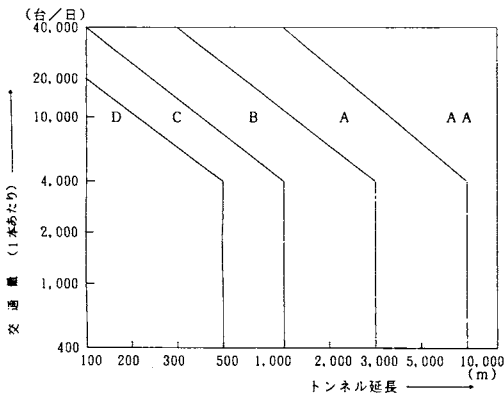


図1 道路トンネルの非常用施設設置に関わる等級区分²⁾

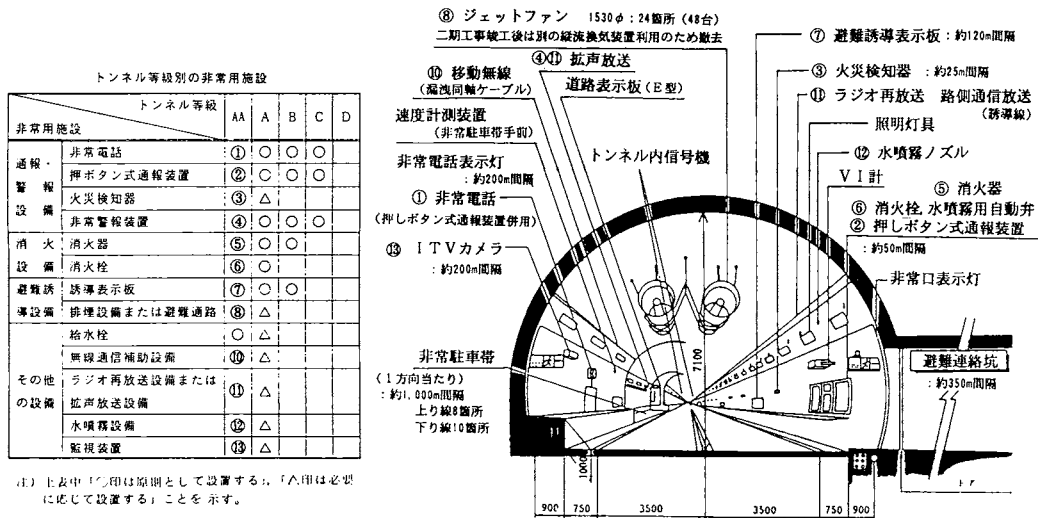


図2 道路トンネルの非常用施設設置例（関越トンネル）²⁾

3.2 火災時の煙制御対策

調査対象の自動車トンネルは、いずれも換気装置を備えており、平常時にはトンネル内に排出される排気ガスの換気に、非常時には煙の伝播阻止・排出に用いられる。その給排気の方法は、縦流式と横流式に大別される。

最近建設された長大トンネルでは、交通流に沿って生じる気流を効果的に利用できる縦流式が採用されているが、比較的早い時期に建設されたものや対面通行で気流方向が特定できない場合には、トンネルの側壁下方から給気し天井から排気を行う横流式が採用されている。長大トンネルでは、工事が大掛かりなことから、まず対面通行で部分開通し2期工事完成時に上下車線分離を図る場合が多い。それ故、恵那山トンネルのように、最初に開通した下り車線には横流式、後で開通した車線には縦流式と同一トンネルでも上下線で異なった方式が採用されることがある。

こうした装置は、先に述べたように日々、トンネル内の換気に供されたり、電源を異なった系統で配電する等、非常時の動作信頼性もかなり高いように見受けられた。

横流式にしても、縦流式にしても、建物でいえば防煙区画に相当する区間が3～6箇所（距離にして0.8～3km）設定されており、火災時には、発生区域以外へ煙を流出させないような計画がたてられている。また、火災発生後の煙制御の対応については、表2に示すように、多少トンネル毎で異なっているように見受けられる。しかしながら、意図するところは同じで、初期発生煙の伝播阻止と速やかな排出である。またその一方で、発生する煙は排出したいが、排出することによって多量の新鮮空気が火元に供給され火勢を助長するのではないかと懸念しているのが実状であろう。

筆者らが最近行っている模型実験では、火源周囲に延焼危険がない場合、逆に送風して熱を排出することにより天井面等周壁からの熱のフィードバックを防ぎ、燃焼速度を野外に近い状況迄低減できるという実験結果¹⁾を得ている。火源および避難状況によっては、むしろ新鮮空気の供給を積極的に行っても良い状況があるかもしれない。詳しくは今後の検討課題であろう。

3.3 補助坑等を利用した避難・救助経路の確保

上下線が完全分離されている場合、上下線とも煙で汚染されてしまう可能性は極めて低い。それ故、両車線をつなぐ連絡坑を約500～900mおきに設け、反対車線を避難、救助に積極的に利用することが一般的に考えられている。また、関門国道トンネルのように人道が車道の下を走っているような場合にも、連絡坑から



写真1 補助坑を利用した避難経路案内図（関越トンネル）

人道へ避難する経路が確保されている。こうした避難連絡坑部分には比較的広いスペースが確保されており、消防隊の活動拠点としても十分使用できるような印象を受けた。

また、長大あるいは海底トンネルでは、通常本坑トンネル掘削に先立ちパイロット坑（補助坑）が掘られる。完成後、これを避難・救助経路に利用すると安全避難上非常に効果的である。例えば関越トンネルでは、計画段階から補助坑を避難経路にすべく検討され、現在、避難経路に供されている。（写真1）。また、他の2例では、一般の避難者が利用できるほど補助坑の通路幅は広くはないが、日常の保守点検坑あるいは発災時の最後に残された救助経路として位置づけられている。

このように、避難経路としては、連絡坑を経て反対車線を使用するのが一般的であるが、発災直後、避難側の交通を適切に制御しないと、火災からは逃れたが、自動車にはねられ死傷する事態も懸念される。このあたりのソフト面での充実が今後不可欠であると実感した。

4. 鉄道トンネルの防災対策

昭和47年の北陸トンネル列車火災以後、火災発生時には、停電になる等特殊な場合を除き、原則としてトンネル内では停車しないということになっている。また、鉄道車両の不燃化も進み、火災時の可燃物量も自動車に比べて少ないと考えられているせいもあってか、自動車トンネルの防災諸設備をみた後では、鉄道トンネルの防災設備が物足りなく感じられる。

鉄道トンネルの主要な防災対策については、運輸省令の普通鉄道構造規則や消防庁からの通達（例えば昭和47年11月22日消防予第187号）等によってほぼ共通仕様となっているが、今回調査した鉄道トンネルは、いずれもが海底トンネルという鉄道トンネルとしては

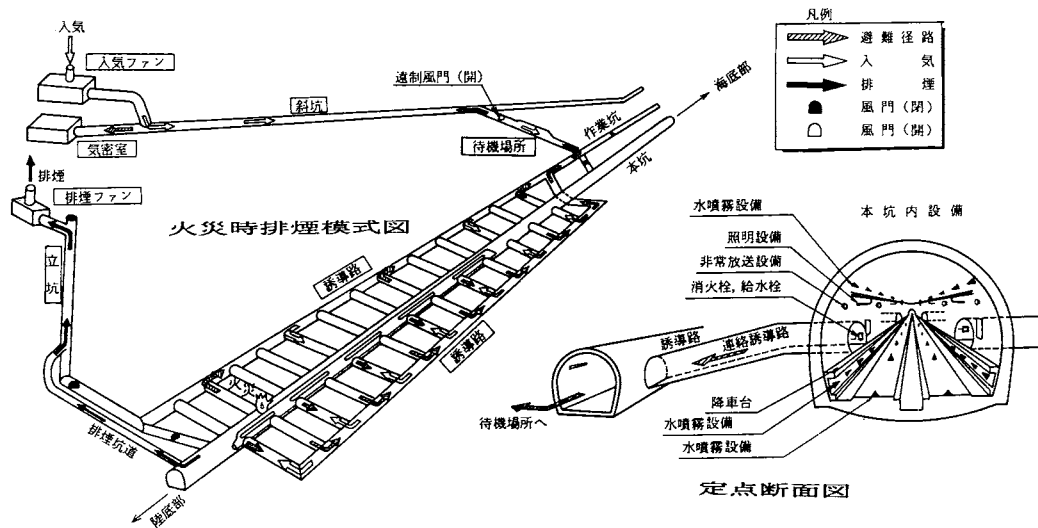


図3 定点での防災設備概要（竜飛海底駅）²⁾

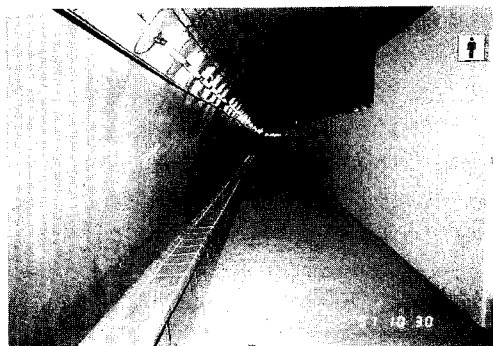


写真2 吉岡海底駅の一時待避所

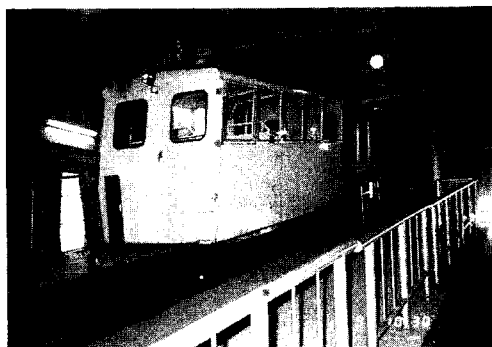


写真3 斜坑用ケーブルカー（吉岡海底駅の斜坑）

特殊なものであり、各々の防災対策に特色が見られる。それ故、トンネル毎に主要な防災上の特徴を紹介する。

4.1 青函トンネルの防災対策概要

本トンネルは、総延長距離53.9kmの海底トンネルで

あり、山岳トンネルを含めても世界最長のトンネルである。我国の鉄道トンネルの防災上特筆すべきは、トンネル内部に明確な緊急避難拠点を設けたこと、および火災時の排煙を含めたトンネル内部の本格的換気設備を設置した点であろう。

青函トンネルは、北海道側入り口から吉岡海底駅迄（約18km）、吉岡海底駅から竜飛海底駅の海底部分（約23km）、竜飛海底駅から青森側入り口迄（約13km）の3つのトンネルが一つになったと考えると全体像がイメージしやすい。吉岡海底駅にはトンネル施設紹介用展示があり一部の観光用列車が停車するが、両海底駅とも普通の駅とは異なり、トンネル内で非常事態が生じた際の緊急避難拠点を（通称定点）として設置されたものである。この部分には、500mにわたる非常用プラットフォームとそれに平行に設けられた避難誘導路、またその先には多くの避難者のための待避所が設けられている（図3、写真2）。緊急時の乗客の誘導は、函館指令センターから、モニターテレビを見ながらマイクを通じ行われる手筈になっている。

こうした避難者の滞留する部位は、発災時には地上から斜坑を通して給気され加圧状態になり、鉄道トンネルからの煙の侵入を防ぐ構造となっている。トンネル内の通常の換気は、斜坑から本坑に断面風速1m/秒で送風され、火災時には、斜坑から2m/秒で送風し、立坑から排煙されるようになっている。また、斜坑には、階段の他、斜坑用ケーブルカーが取り付けられ、地上から、消防隊等により救急・救助活動が行えるような対策が講じられている（写真3）。

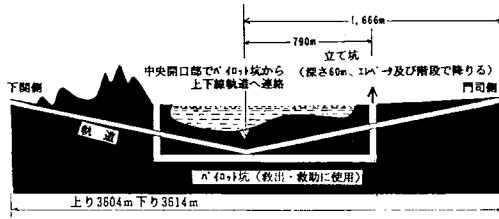


図4 関門トンネル（在来線）の断面図

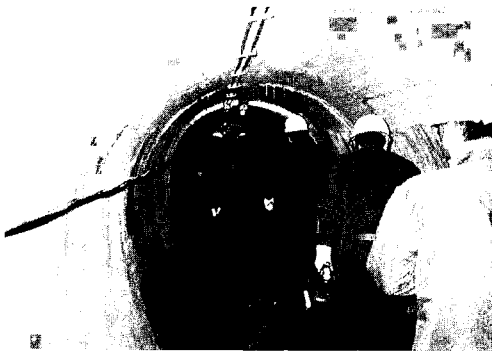


写真4 関門トンネルパイロット坑内



写真5 新関門トンネル斜坑の底部

青函トンネルは、工事区分からすると本坑、先進導坑、作業坑からなっており、鉄道部分になっている本坑以外は、通常時の点検通路や非常時の避難誘導路（送風経路として兼用）として用いられている他、設備配線や、消火のための地下水路として多岐に用いられている。鉄道トンネル内に、列車火災検知装置が8ヶ所に設置されているのも新しい試みである。万一、海底トンネル部分で火災が発生した場合、火災車両は定点である海底駅迄走行し、側壁に設置されたスプリンクラーで消火される計画になっている。

ともかく、いまだかつてない規模の海底トンネルだけあって、多くの技術上の検討が事前に行われたであ

ろうと感じさせる防災対策が随所に施されている。

4.2 関門鉄道トンネル

関門海峡を通過する鉄道トンネルは、JR九州の管理する在来線の関門鉄道トンネルと、JR西日本の管理による新幹線トンネルの2本あるが、設置箇所、構造も異なる全く別のトンネルである。いずれのトンネルも前述の青函トンネルに比べて海底部分が短く大がかりな防災対策は講じられていない。しかしながら、この程度の規模の鉄道トンネル建設は今後とも多く見込まれ、それらの防災対策を検討する際に参考になりそうな対策が本調査でいくつか見られた。

(1) 関門鉄道トンネル（在来線）

本関門鉄道トンネルは、昭和19年完成した我が国初の海底鉄道トンネルである。トンネル距離3.6km、海底部分が1.6kmある。軌道は上下線分離されている。この上下線の間で平行してパイロットトンネルが設けられ、現在保守点検用の作業坑として用いられている（図4、写真4）。この作業坑のはば海底中央部で、上下線への連絡扉が設けられている。火災発生時の排煙装置は設けられていないため、海底部中央の最深部で車両火災が発生した場合には、両端部へ煙が吹き出しトンネル内への進入が極めて困難になると予想されるが、このような場合には、作業坑が唯一の火災現場へのアプローチとして確保されている。もっとも、この点検用側道は、幅1m程度で非常に狭く照明も暗い。また、地上との連絡の階段は、幅が狭く垂直距離も60mと長いため、本格的な救助作業には不向きであり、むしろ、分離されている反対軌道を積極的に活用した方が効率的であるとの感触を得た。

(2) 新関門鉄道トンネル（新幹線）

本鉄道トンネルは、距離18km、その内海底部分が1.5kmの新幹線専用の海底トンネルである。主要な防災施設として、警防拠点として機能する斜坑が6箇所を設置されている他、500m毎に器材坑が設置され、各器材坑には、消火器、トンネル照明一斉点滅スイッチ、沿線電話機が常備してある。

斜坑は、傾斜勾配約1/4、延長距離約300~400m程度の斜路部分と、鉄道トンネルに至る前室から構成されている。また、斜坑は鉄道トンネルに対して直交して配置されている。この斜坑は、平常時は保守管理用の機材搬入路として用いられるが、発災時には消防隊活動の進入路および警防前線拠点として、空気呼吸器のポンペ中継器等が設置されることになっている。斜路の底部および前室は、警防活動の拠点としては十分に広いスペースがあり、この部分への煙の流入阻止が適切に行われれば、災害が発生した時の対応もス

ムーズに行えそうである（写真5）。ただし、斜路の高低差がかなりあり、坑口とトンネル間を消防隊が複数回往復するには体力的負担が大きく、この間の機動力の充実が今後の警防活動上の課題であると感じられた。その他、トンネル火災時の感知設備、排煙設備等は設けられていない。

5. 長大トンネルの消防活動に関連しての調査概要

今回行った一連のトンネルの防災対策調査と併せて、発災時の消防隊の対応についてもヒヤリングを行った。その結果の中から、トンネル全体に共通すると考えられる主要な事柄を以下に記す。

5.1 広域的な消防機関の連携の必要性

長大・海底トンネルは、県境等、異なった行政区にまたがって設置される事例が多く、複数の消防機関により管轄されるのが一般的である。円滑な消防対策を行う上では、これらの消防機関の連携は不可欠である。実際、調査対象トンネルでは、関連する消防機関の間で相互応援協定等が結ばれている他、防災訓練も合同で実施されている例が多い。

例えば恵那山トンネルの場合、トンネル中央部の県境を境に、岐阜県側は中津川消防本部、長野県側は飯田地区広域消防組合本部が管轄している。しかしながら、上下車線が完全分離されているため、下り線の中津川出口付近で火災が起きた際、飯田側からの方が現場急行が容易である。また、その後の対応においても、風の状態によっては飯田側に指揮本部を置いたほうが対処しやすいといった事態も発生する。原因や損害調査は行政区で分離するにしても、一刻の猶予もならない発災直後に、こうした柔軟な体制が組織できるかどうかは非常に重要である。日頃から応援協定を締結し、連絡を密にしておくことが望まれる。

5.2 連絡体制の充実

トンネルの消防対策を講じる上で考慮しなくてはならないことの一つに、トンネルが輸送機関の一施設として機能しているという点が挙げられよう。一トンネルの災害といっても影響は広域に及ぶため、管理主体であるJRなり日本道路公団によって、間接的被害を軽減するための手順が予め組み立てられている。例えば新関門トンネルでの事故の影響は北九州地区だけにとどまらず、山陽・東海道線にあるすべての車両の運行に影響が及ぶ。自動車トンネルにおいても然りである。それ故、こうした管理システムは高度化・集中化されており、好むと好まざるに関わらず、災害時こうした管理システムを意識した消防体制、特に連絡通報体制が必要となってくる。

最も懸念されるのは、中央指令所から地区指令所、管理事務所から管制室そして消防機関へと情報が伝達される間に情報内容が変化し的確な判断が下されなかつたり、意志決定が遅れ消防機関への出場要請に遅滞が生じることである。このようなことが、消防訓練の中で明らかにされたこともあるので、折りある毎に情報伝達のあり方については関係諸機関が協力して検討することが肝要かと思われる。

6. 最後に

過去、3年間にわたり、4地点、計7箇所のトンネルの防災対策及び警防対策について現地調査、ヒヤリングを行ってきた。いくつかのトンネルの防災対策は、雑誌記事・報告書等で知識として予め得ていたが、実地に見学して初めて、なるほどこういうことだったかと理解できることが多々あった。百聞は一見にしかずというが、一般の建物の防災を見慣れた筆者らにとって、正直なところ、空間のスケールや防災諸設備機器の容量は想像を超えるものであった。

火災の危険性は、長さスケール抜きでは語れない。一脚のソファも6畳の居室で燃えれば立派な火災であるが、広いアリーナの中央で燃えても防災上さほど問題にはならない。一連の調査の中で、トンネル内部で自動車の荷台が燃え運転手が比較的落ちついて消火にあたっている光景をつぶさに撮影したビデオを目にする機会があり、このスケールの事が思い出された。映像をみる限り、トンネルの空間の大きさに比べ自動車一台程度の火災は、相対的に小さく見え、さほど危険が高くない印象を受けた。もっとも、数こそ多くはないが、日本坂トンネルのように多くの車両に延焼し、消火・救助活動に難渋したトンネル火災は現に存在している。現行の防災設備がこのような十分成長した火災にどの程度有効か筆者らには判断し兼ねるが、各種報告書の設計条件、あるいはまた、今回の現地調査の実感から察するに、数台の局限定火災を抑制するには十分有効であるように感じられる。しかしながら、小規模から大規模へ火災が拡大していく過程等、トンネル内部の火災性状については、まだ未知な部分が多く、現在我々が進めている研究がこの方面で貢献できることを願っている。

最後に、本調査に際しては、所轄の消防機関（北九州市消防局、長野県飯田広域組合消防本部、新潟県南魚郡広域組合消防本部、北海道渡島西部広域組合消防本部）の御尽力によって多くの貴重な資料入手、調査が可能になった。また、現地調査にあたっては、日本道路公団、JR各社の協力によるところが大きい。

記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 財消防科学総合センター「長大トンネルの防災対策に関する調査報告書」（昭和63年2月）
- 2) 財消防科学総合センター「地下空間における消防防災対策に関する調査研究報告書」（平成3年3月）
- 3) 飯田威夫、鎌田祐之「青函トンネルの列車火災対策の基本方式について（考え方と検討経過）」火災174 Vol. 38 No. 3 (1988)
- 4) ㈱日本鉄道運転協会「青函トンネルの火災対策に関する調査研究報告書（総括編）」（昭和63年3月）
- 5) 山田暉夫「恵那山・網掛トンネルの防災設備」火災101 Vol. 26 No. 2 (1976)
- 6) 根岸克典、山田憲夫：「関越トンネルの防災設備」交通工学 Vol. 21, No. 3
- 7) 渡部他「地下空間模型を用いた火災性状に関する実験的研究、その1～3」日本火災学会研究発表会概要集（平成4年5月）

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。

1990年2月20日伊豆大島近海地震の東京湾周辺におけるやや長周期地震動特性の再検討

座間 信作

1990年2月20日伊豆大島近海地震の東京湾岸周辺でのやや長周期帯域の波動伝播過程について、23地点の地震記録を用いて観測面から明らかにすることを試みた。ほぼ全地点で卓越した周期7～8秒の帯域の地震動には、いくつかの波群がみられ、これらの波群の到来時刻と粒子軌道とから波面の空間的広がりや時間的変化を再現した。その結果、伝播経路が一樣でなく、また周期7秒と8秒の波群に顕著な走時差があり、100秒を上回る震動継続時間をもたらしていることが判明した。このような複雑な伝播過程の解釈には、相模湾、伊豆半島、丹沢山系をも含めた広域の3次元地下構造の影響を考慮する必要があることを指摘した。

はしご自動車の自動架梯装置における梯体移動量算出システムと座標変換式

亀井浅道、天野久徳、山田 實

はしご車は、中高層建物の火災に対する消防活動に不可欠な消防装備の一つになっているが、その架梯操作を迅速かつ安全に行うためには、熟練を要する。著者らは消防職員の高齢化対策及び消防活動の機動化という観点からこの問題を取り上げ、はしご車の自動架梯装置の研究を行っている。

自動架梯装置は、架梯目標位置を計測するための計測装置とデータ処理及び油圧装置を制御するためのコンピュータで構成される。

本報は、コンピュータに内蔵されるソフトウェアの内容に関するもので、位置計測装置で求められた架梯位置の座標をターンテーブル上の梯体座標系の座標に変換する方法について考察し、座標変換式を導いたものである。

絶縁性配管内を流れる炭化水素液体の静電気帯電

松原 美之

塩化ビニル樹脂 (PVC)、メタクリル樹脂 (PMMA) およびポリカーボネイト樹脂 (PC) の3種類の高分子樹脂製の管径22mm、長さ1000mmの直管中を、n-デカン及びn-トリデカンの混合液体が流動する際の電荷発生量の計測を行った。また、これらの管材質と試料液体の組合せの中で最も帯電量の多い組合せについて、同一形状のステンレス製管との帯電量等についての比較を行った。その結果、n-トリデカンの混合比率が増加するにしたがって、1000mmの測定区間での帯電量が単調に減少すること、今回調査した3種類の樹脂の中では、PVCが最も帯電量が多いこと、PVC管での帯電はステンレス管と比較した場合符号は逆であるが絶対値的には同程度となることなどが示された。

アナログ地震記録の読み取りシステムについて

座間 信作

周期数秒から十数秒の、いわゆるやや長周期地震動を比較的精度良く記録できる気象庁1倍強震計による記録を数値化するためのシステムを開発した。このシステムは地震記録全体を画像データとして取り込むイメージスキャナーとそのデータから必要な波形を抽出するための処理を行うパーソナルコンピューターとから構成され、適宜人間が介入することによって数値化を高速に行うことに重きをおいた半自動システムである。このシステムで数値化した地震データに計器補正を施して得た地動変位とデジタル記録から得たものとを比較した結果、かなり良い一致がみられた。

また、処理時間もマニュアル操作をできるだけ簡易化することにより、地震記録1成分につき30分程度とすることができた。

縮小カップバーナー装置による液体消火剤の消炎濃度の測定

斎藤直、佐宗祐子、岩田雄策*

代替ハロン候補物質の消火能力を少量の試料で評価するために検討され見つけだされた、標準のISOカッ

プバーナー装置で測定された消炎濃度に等しい消炎濃度をハロン1301について与える縮小カップバーナー装置がある。この縮小カップバーナー装置を用いて、ハロン2402、代替ハロンの新しい試作物質であるペルフルオロトリエチルアミン、及びこれまでに消炎濃度の報告の見あたらない四塩化炭素を試料とし、消炎濃度を測定した結果、以下のことがわかった。

燃料をn-ヘプタンまたはトルエンにすると、液体消火剤のハロン2402についても、縮小カップバーナー装置を用いてISOの装置による消炎濃度に等しい消炎濃度を得ることができる。

特に、外管内径26mm、カップバーナー外径13mmの装置を用いれば、ISOの装置で消炎濃度を求める場合の約10分の1の試料量で消炎濃度を測定できる。

新しい試作物質のペルフルオロトリエチルアミンと、四塩化炭素の消炎濃度を縮小カップバーナーで測定し報告した。ペルフルオロトリエチルアミンは、消炎濃度から見る限り、ハロン代替の消火剤として十分な消火能力を有していた。

水平の地下空間模型におけるメタノール火災の性状

齋藤 直、渡部勇市、関沢 愛
筋内英治、山田常圭、宮崎早苗

地下空間における火災時の人命安全の確保、消防活動対策のための基礎資料を得ることを目的に、地下空間火災の性状を詳細に調べるため、傾斜角の変えられた小型地下空間模型を作製した。

本研究の手始めとして、水平に配置した地下空間模型によるメタノール火災実験で、模型内平均断面風速と質量燃焼速度、煙層の形成・流動と風上への遡上の関係を調べた。さらに、酸素消費法による火源の発熱速度の計測方法を検討し、以下のことを明らかにした。

- 1) 燃焼速度が時間とともに増大するか、定常となるかを分けるクリティカルな平均断面風速が存在し、それより低風速の場合、模型内部は灼熱状態になる。
- 2) 出口から新鮮空気が流入し、二層流が火源風下側に形成される場合と形成されない場合を分けるクリティカルな平均断面風速が存在する。また、本実験では、二層流の形成される条件下で、煙の風上への遡上が認められた。
- 3) 二層流が形成されない場合、ファンによる攪拌し火源風下のガス濃度を均質化すれば、火源の発熱速度を酸素消費法から求めることができる。

はしご自動架梯装置の架梯精度に影響を与える機械的因子に関する考察

天野久徳、山田 實、亀井浅道、西 晴樹
中島初彦*、武内幸一*、木下竜介*

筆者らは、照準器で架梯目標位置を照準さえすれば容易に目標位置へ架梯することができる自動架梯装置の開発研究を行っている。

開発に際し、試作中の自動架梯装置をはしご自動車に装備して架梯実験を行い、はしごの架梯精度に影響を及ぼす機械的要因を調べた。

本報は、ターンテーブルに設置した傾斜計の取付状態、エンコーダーへの伝達機構の“あそび”およびエンコーダー出力値をはしごの操作量へ変換するための設定値、ターンテーブルの沈み込みについて実験的に検討したものである。

検討の結果、ターンテーブルに設置した傾斜計の取付誤差の存在とその大きさが明らかになった。変換の設定値については、図面の寸法から計算した梯体の動作量と実際の動作量との相関関数を求め、さらにエンコーダーへの伝達機構の“あそび”を明らかにした。ターンテーブルの沈み込みの挙動については、はしごの起伏角と伸長量に対する沈み込み量を定式化した。

実験室の音響特性の測定と調整

稲垣 實、松原美之

複数の屋外防災スピーカーからの音波の伝播と明瞭度の低下についての基礎的な資料を得る実験を行うための部屋について述べた。音声を通常の33倍の周波数帯域に変換して屋外防災スピーカーからの放送の伝播シミュレーションを室内で行う場合に必要の条件は、その部屋が無響室としての特性を持っていることである。また、伝播シミュレーション中に明瞭度の劣化した音声を通常の音声帯域に再変換して試験を行う場合に必要の部屋の音響特性は、部屋の容積が約100m³の場合の残響時間が0.3sec~0.4secであることである。これら二つの特性を一つの部屋で兼ね備えるように務めた結果、通常の音声帯域では吸音力の周波数特性を考慮して吸音材を配置することにより250Hz~4kHzにおいて残響時間を0.33sec~0.38secに収めることが出来た。また、通常の音声33倍の周波数に変換した帯域では通常の音声帯域用の吸音材に加えて比較的軽く移動可能な吸音材を配置することにより、10kHz~100kHzにおいて部屋の長手方向に5mの逆二乗特性が成立する空間を得ることが出来た。

消防研究所「月例研究会」要旨

石油タンクの隅肉溶接部における微小亀裂からの破壊強度—応力拡大係数の数値解析法—：亀井浅道、山田 實、天野久徳

石油タンクの側板とアニューラー板の隅肉溶接部には、構造的に応力が集中しやすい。この部分に溶接欠陥や何らかの原因によりき裂が発生していると、これを起点として側板の破壊に至る可能性がある。

一般に弾性体に存在するき裂の拡大条件は、き裂先端で定義される応力拡大係数で評価されることが破壊力学的検討から明らかにされている。この応力拡大係数は、き裂を有する物体の形状、き裂の形状、外力の状態によって異なり、弾性解析により求まる。複雑な形状の物体の場合には数値解析に依ることになる。

本報告は有限要素法により応力拡大係数を精度良く求める方法を提案したものである。提案した方法の特徴は、要素のメッシュ分割法を工夫し、数値解析に要する係数行列の要素を低減化することにより小容量のコンピュータでメッシュ分割数の大きいモデルが扱えることである。

この方法を適用する事により隅肉溶接部の強度評価に使用可能な応力拡大係数が求められるようになった。

実験室の音響特性の測定と調整：稲垣 實、松原美之

複数の屋外防災スピーカーからの音波の伝播と明瞭度の低下についての基礎的な資料を得る実験を行うための部屋について述べた。音声を通常の33倍の周波数帯域に変換して屋外防災スピーカーからの放送の伝播シミュレーションを室内で行う場合に必要となる条件はその部屋が無響室としての特性を持っていることである。また、伝播シミュレーション中に明瞭度の劣化した音声を通常の音声帯域に再変換して明瞭度試験を行う場合に必要となる部屋の音響特性は部屋の容積が約100m³の場合残響時間が0.3sec—0.4secであることである。これら二つの特性を一つの部屋で兼ね備えるように務めた結果、通常の音声帯域では吸音力の周波数特性を考慮して吸音材を配置することにより250Hz—4kHzにおいて残響時間を0.33sec—0.38secに収めることが出来た。また、通常の音声を33倍の周波数に変換した帯域では通常の音声帯域用の吸音材に加えて比較的軽く移動可能な吸音材を配置することにより10kHz—100kHzにおいて部屋の長手方向に5mの逆二乗特性が成立する空間を得ることが出来た。

小規模カップバーナーによる液体消火剤の消炎濃度の測定：岩田雄策、佐宗祐子、斎藤 直

大気に放散されたCFC（クロロフロロカーボン）による成層圏オゾンの破壊が深刻化しており、消火剤のハロンについても、モントリオール議定書による生産と消費の規制がはじめられ、全廃時期も定められた。

このため、ハロン代替の消火剤の開発が急がれているが、その開発の支援を目的として、液体試薬の場合にも少量で正しく消炎濃度を測定できるカップバーナー装置を作製した。

この装置により測定される消炎濃度が、標準の装置による測定値と同等であることをハロン2402で確認した。さらに、消炎濃度の報告が見あたらない四塩化炭素と新しい試薬としてのペルフルオロトリエチルアミンの消炎濃度を測定し報告した。ペルフルオロトリエチルアミンは、消炎濃度でみる限り、十分な消火性能があった。

英国の火災統計とこれに基づく日英の火災損害の比較：関沢 愛

英国の公表されている火災統計表及び日本の火災報告データ並びに火災による死者の報告データを用いて、英国と日本の火災損害の基礎的比較分析を行った。その結果、下記のような幾つかの共通点あるいは差異を把握することができた。

- (1) 英国と日本は、火災による死者の人口当たり発生数において過去15年間ほぼ同じく水準にあり、火災による死者数の9割が住宅火災から発生している点も共通している。
- (2) 火災による死者の人口当たり発生数を年齢別にみると、80才以上のグループでは全体平均では英国より低い日本の方が大きい。

- (3) 火災による死者の出火時の状況別の内訳で、日本で寝たきり等の身体不自由のケースが多いのに対して、英国では就寝中のケースが多い。
- (4) 出火場所と出火時に死者がいた場所との関係では、日本は出火場所と同じ部屋にいて犠牲になっているケースが英国より多い。また、その傾向は寝たきり等行動能力に制約のある人はど大きいことが分かった。英国では出火場所から離れたところにいた人が犠牲になっているケースが日本に比べ多い。

地盤の液状化による消防水利施設の挙動 その1 液状化による地盤中の配管に作用する土圧に関する基礎的実験：吉原 浩

液状化した砂層の埋設管に対する管軸直角方向の拘束力と過剰間隙水圧の関係を模型振動実験により調べた。その結果、過剰間隙水圧比の増加に応じて地盤の拘束力は低下することが分かった。

その2 1983年日本海中部地震による消火水利施設の被害と地形：地盤の液状化による消防水利の挙動

1983年日本海中部地震による秋田県能代市の防火井戸・防火水槽の被害箇所と微地形区分との関係について検討した結果、

- (1) 完新世砂丘D-Ⅲの周縁部に被害が多く発生していること、
- (2) 自然堤防・旧河道・後背湿地に被害が少ないこと等が分かった。

火災時の吹き抜け空間上端開口からの換気量に関する実験研究：山田常圭

吹き抜け空間で火災が発生した場合、空間内の煙は、上端開口部分から噴出すると同時に、大気からの空気流入により複雑な拡散状況を呈することが予想されるが、このような建物における火災発生時の避難・救助活動にどのように影響するか明らかでない。

こうした複雑な現象を解明する第一歩として、頂部に開口を有する吹き抜け空間の相似模型を用いて火災実験を行い、空間内部温度および開口からの流入空気量を測定した。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 模型の大きさによらず頂部開口からの流入空気量を推定できる無次元開口長さ L と無次元流入空気量の関係を明らかにした。
- (2) 発熱量が比較的大きく吹き抜け空間内部で煙が十分混合される場合、無次元開口長さが0.1以下の領域では、テイラーの不安定性から理論的に導かれる基礎式によって流入空気量が予測できることが確認できた。

地下空間模型を用いた火災性状に関する実験的研究

一その1-水平トンネルにおける有風時燃焼速度

一その2-火源風下領域での煙層形成

一その3-燃焼生成ガスと発熱速度：渡部勇市、山田常圭、箭内英治、関沢 愛、宮崎早苗、斎藤 直

地下空間における火災時の人命安全の確保、消防活動対策のための基礎資料を得ることを目的に、地下空間火災の性状を詳細に調べるため、傾斜角の変えられる小型地下空間模型を作製した。

本研究の手始めとして、水平に配置した地下空間模型によるメタノール火災実験で、模型内平均断面風速と質量燃焼速度、煙層の形成・流動と風上への遡上の関係を調べた。さらに、酸素消費法による火源の発熱速度の計測方法を検討し、以下のことを明らかにした。

- 1) 燃焼速度が時間とともに増大するか、定常となるかを分けるクリティカルな平均断面風速が存在し、それより低風速の場合、模型内部は灼熱状態になる。
- 2) 出口から新鮮空気が流入し、二層流が火源風下側に形成される場合と形成されない場合を分けるクリティカルな平均断面風速が存在する。また、本実験では、二層流の形成される条件下で、煙の風上への遡上が認められた。
- 3) 二層流が形成されない場合、ファンにより攪拌し火源風下のガス濃度を均質化すれば、火源の発熱速度を酸素消費法から求めることができる。

木造3階共同住宅の実大火災実験（消防設備の作動性）：笹原邦夫、関沢 愛

地震後の出火を想定して、実大実験建物に一定の変形を与えた後、それを修復することなく火災を発生させ、その防火性能を確認する実験が財団法人日本建築センター主催で実施された。ここでは、この実験において火災の感知及び

住宅用スプリンクラーの有効性について測定を行ったのでその結果を報告した。

測定は火災感知及び住宅用スプリンクラーヘッドの作動に関するもの、住宅用スプリンクラー（速動型）による消火に関するものの2回実施した。

火災感知及び住宅用スプリンクラーヘッドの作動測定では、火災室に設置した住宅用火災警報器（熱式）が点火後49秒で作動し、つづいて差動式スポット、光電式スポットが作動した。この時点では初期消火、避難活動が十分行える火災状況であった。また、住宅用スプリンクラーヘッドは点火後3分12秒に作動した。この時の火災状況は、もし放水していれば十分初期消火が可能な状態であった。

住宅用スプリンクラー（速動型）による消火測定では、点火後2分に住宅用スプリンクラー（速動型）が作動し放水を開始、1分30秒の放水で消火を完了する結果であった。

ライオン㈱千葉工場精留塔爆発事故の原因解析：長谷川和俊

平成3年6月26日、千葉県市原市、ライオン㈱千葉工場で発生した爆発火災の概要およびその原因究明結果について報告した。メタノール精留塔の停止のため焚上げ操作を行っていたところ突然上部が爆発した。メタノール中に含まれていた微量の過メタノールが蒸留、還流および焚上げ操作によって特定段に高濃度に蓄積し、それが発火爆発したものである。このうち、微量過メタノール存在の同定およびその定量化が難しかったこと、精留塔の特定段に高濃度の過メタノールが蓄積した理由およびそのシュミレーション結果などについて詳しく説明した。問題点として過メタノールの爆発特性に関する裏付け実験の必要性を指摘した。

マーフィーの法則について－バックアップの勧め－：松原美之

コンピュータのファイルシステムは、まさに「うまく行かなくなる可能性のあることがらは、必ず、うまく行かなくなる。」というマーフィーの法則が適用されるシステムの典型であることを、コンピュータ使用中にディスクファイルを喪失した自身の事例を整理し紹介した。さらに、こうした事態に備えるには常にバックアップを心がけることがいかに大切であるかを説いた。

連携自動運転可能型消防ポンプの共同研究の進捗状況について－その進め方と消研側の役割－：平賀俊哉、金田節夫

消研で開発した消防ポンプコンピューターコントロールシステムの実用化を目的とした共同研究を、「連携自動運転可能型動力消防ポンプ積載車共同開発研究グループ」と行っている。このグループに参加している企業は、石川島芝浦機械KK、トーハツKK、富士ロビンKKの3社である。研究の進め方は、消研と単独会社との間での実験、消研と3社との共同実験、共同研究技術者会議とに大別できる。

消研と単独会社との実験では、会社側試作機等についての技術的意見交換、消研試作コンピュータシステムを用いての会社側ポンプシステムの制御実験と問題点の除去等を行っている。共同研究技術者会議では、消研試作システムの処理手順及び各種ノウハウの伝達、各社試作機を用いての連携運転時の制御安定性分析と問題点の検討等が行われている。

ここでは、OHPを用いて、消研開発システムの概要、これまでの経緯、相手側の研究体制、消研側の役割の具体例、連携運転時の制御安定性に関する実験例や問題点発生時のデータとその除去後の実験結果例等について説明した。

NaOH及びCa(OH)₂分解法によるケラチン加水分解タンパク質とその分画成分の起泡力と泡安定性について：星野 誠

わが国の石油類及びアルコール類火災の消火に使用されているたん白系泡消火剤の原料は、主に牛馬のひづめや角などのケラチン粉末が使用されている。ケラチン粉末は、2種類の加水分解法で行われ、その一つは水酸化カルシウムを用い、もう一つは水酸化ナトリウムを用いる。この2種類の加水分解法により得るケラチン加水分解タンパク質を各種限外濾過膜を用いて、分画分子量30万以上、30-10万、10万-5万、5万-3万、3万-1万、1万-5千、5千-1千、千-5百の8成分に分離した。これらの分離成分について叩打法 (beating method) を用いて、起泡力、泡安定性を調べ、2種類の加水分解法により得る各分離成分の起泡力及び泡安定性の比較検討を行っ

た。この結果、泡高値は水酸化ナトリウム法に比べ水酸化カルシウム法による分画成分の方がすべて高かった。泡安定性は千以下の分画成分以外は、ナトリウム法に比べカルシウム法の方がすべて高かった。各分画成分中最高泡高値と最高泡安定性を示したのはカルシウム、ナトリウム法とも1万から5千の成分であった。また最低泡安定性を示したのは、カルシウム法の千以下とナトリウム法の千以下及び30万以上であった。

電荷注入による配管内帯電油の静電気除去：松原美之

可燃性液体を充填する際の静電気放電による災害を防止するひとつの試みとして、配管内で静電気を除去する装置を検討した。この装置は、配管の途中で電荷を強制的に注入する電極を設け、この電極からの注入電荷の量及び極性を受け入れ側タンク内の電位に従ってマイクロコンピュータで制御し、タンクに流入する油の静電気を中和するというものである。直径33cmのタンクとポンプ、フィルター及び呼び径1/2Bの配管からなる模型配管系を用いて実験を行い、試作した装置がこの規模の配管系では有効に作動することを確認した。

はしご自動架梯装置の架梯精度に影響を与える機械的因子に関する考察：亀井浅道、山田 實、天野久徳、西 晴樹、中島初彦*、武内幸一*、木下竜介*

高層建築物が増加している現在、はしご付き消防自動車は、必要不可欠な消防装備である。しかしはしご車の迅速かつ安全な操作は、熟練者にとっても、必ずしも容易ではない。そこで筆者らは、照準器で目標位置を照準しさえすれば容易に架梯できる自動架梯装置の開発研究を行っている。

開発に際し、試作中の自動架梯装置をはしご車に装備して架梯実験を行い、はしごの架梯精度に影響を及ぼす機械的要因を調べた。

本報では、ターンテーブルに設置した傾斜計の取付状態、エンコーダーへの伝達機構の“あそび”およびエンコーダー出力値をはしごの操作量へ変換するための設定値、ターンテーブルの沈み込みについて実験的に検討した。

その結果、ターンテーブルに設置した傾斜計の取付誤差の存在とその大きさが明らかになった。変換の設定値については、図面の寸法から計算した梯体の動作量との相関関数を求め、さらにエンコーダーへの伝達機構の“あそび”を明らかにした。ターンテーブルの沈み込みの挙動については、はしごの起伏角と伸長量に対する沈み込み量を定式化した。（*日本機械工業株式会社）

救急車適性配置についての一考察：寒河江幸平

救急車の適正配置のためにはいくつかの方法がある。総駆けつけ距離を最小にする方法、一定距離内の人口を最大にする方法、最大駆けつけ距離を最小にする方法及び、各救急車の稼働負荷をほぼ一樣にする方法等が挙げられる。市街地の処理方法としては、メッシュ法、ネットワーク法がある。メッシュ法、ネットワーク法、いずれにせよ、第2、第3の配置方法は、市街地を相当細かく処理しないと精度よい計算出来ない。市街地を粗く処理しても、第1、第4の配置方法は割合精度よく計算できることを述べた。

しかし、上の配置方法による計算が可能としたとき、それらの長所を加味して、適正配置を求めることができないか多目的計画法を用いて求める一手法を提案した。具体的には、各配置方法より得られる数値、すなわち駆けつけ距離の総和、一定距離内の人口、最大駆けつけ距離、荷動負荷等を掛け合わせて得られる数値を最小にする配置を適正とする手法である。結果で得られる適正配置は、多目的計画法でいわれるパレート最適解となることを述べた。

X線による、石油タンク隅肉部溶接止端部の疲労寿命評価（試片端面における疲労損傷の分布）：天野久徳、亀井浅道、山田 實、西 晴樹

石油タンクは、油の出し入れによる油圧の変化や地震時の振動により繰り返し荷重が加えられる。この荷重は石油タンクの形状から隅肉溶接止端部に応力集中が起こる。また、隅肉溶接部には、溶接による残留応力が存在する。これらの力学的原因により、隅肉溶接止端部に疲労破壊が起こることがある。

この疲労破壊を予防するために、石油タンク隅肉溶接止端部の疲労損傷の度合いを知る必要がある。本報ではその基礎資料を得るために、X線を用いて試片端面上の疲労損傷の度合いを調べた。

その結果、疲労負荷前では溶接部近傍に圧縮応力が存在することが分かった。また疲労荷重を負荷すると、その

圧縮応力が一度緩和し、き裂発生時に圧縮応力が増加することが明らかになった。X線回折の半価幅は、き裂発生点では疲労負荷直後から、X線入射角に関してパラッキが大きいこと、き裂発生時には破壊と密接に関係があると思われる特定方向の回折面のみ大きな変化が現れることが明らかになった。

石油タンク隅角部の疲労強度に及ぼす肉盛り補修の影響：山田 實、亀井浅道、天野久徳、西 晴樹

1000kL以上の容量を持つ石油タンクには、10年あるいは5年毎に開放検査が義務づけられている。その結果、ほとんどの石油タンクが何らかの補修が施されているのが実態であるが、補修がタンクの隅角部の疲労強度に及ぼす影響は、明らかにされていない。

石油タンクの隅角部を模擬し、溶接止端部近傍に肉盛り補修した試験片を作成し、肉盛り補修の面積や位置の変化が、その低サイクル疲労特性に及ぼす影響を実験的に調べた。

その結果、き裂の発生は補修面積が広いほど、また、補修位置が隅角溶接部止端部に近いほど早いこと、破断寿命は面積が狭い場合（本実験では10cm²）、補修の有無及び止端部からの距離にあまり影響されないこと、変位振幅が大きいほど破断寿命に対するき裂発生寿命が小さいことが明らかになった。

タンク内帯電油の電荷減衰過程についての理論的考察：松原美之

タンク内に貯蔵された帯電油中の電荷が減衰する過程についての理論的モデルに関する研究の進捗状況及び石油中での電気伝導機構についての考察結果について報告した。

現在検討している電荷減衰の理論的モデルは、油表面への電荷蓄積及び油表面の電気伝導による電荷漏洩の両方の機構を考慮に入れてタンク内の電荷の収支を静電場計算と電流連続則から計算するもので、電荷減衰速度へのタンクの規模及び形状の影響を説明することができる。今回は、縦置き円筒型タンク及び指数緩和則に適用対象が限定されていた前回までのモデルを、タンク形状及び体積電荷の緩和則の両方向でより一般化を行った結果について報告した。

また、従来不明瞭であった帯電状態の石油の導電率変化が、電荷担体の供給機構に関する電気化学的な考察を加えることにより理解できることを明らかにした。

防火井戸の地震被害と表層地質の関係—数量化理論Ⅱ類による検討—：吉原 浩

防火井戸の地震被害予測手法を検討することを目的として、1983年日本海中部地震において秋田県能代市内で発生した防火井戸（打込式消火栓）の被害事例について、数量化理論Ⅱ類による要因分析を行い、被害箇所・無被害箇所の判別モデルを検討した。その結果、微地形区分や設置時の簡略なボーリング資料等、容易に入手可能な資料を用いた1つの判別モデルが得られた。

林野火災の拡大率について：山下邦博

昭和38年から63年までの林野火災データを使って各都道府県及び日毎の火災拡大率の変化を求めた。この研究では、火災拡大率を焼損面積が一定規模（ $S_0 = 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000$ ha）以上の火災件数（ n ）と全火災件数（ N ）の割合として定義した。林野火災の発生件数は、3月から4月上旬にピークになるが、火災拡大率のピークは5月中旬でズレがあることが分かった。また、各都道府県の火災拡大率と面積、人口、人口密度、林野面積等との相関を調べ、火災拡大率が林野面積と相関が高いことが確かめられた。上記の26年間について林野火災が多発（85件/日以上）した日と大規模火災が発生した日の発生時期とその日の気圧配置を調べ、林野火災が発生し易い日は3、4、5月に集中するが、大規模の林野火災は年間をとおして比較的分散していることが分かった。

火災性状把握システムの研究：細川直史、佐藤晃由、河関大祐、田村裕之、奥田善彦*、草薙繁量*、山崎秀範*、栗尾孝*、藤岡透*、渡部祥文*、中西慎治*、桐畑慎司*（*松下電工株式会社）

消防研究所と松下電工株式会社は、平成3年度と平成4年度の2年間において火災性状把握システムに関する共同研究（2次）を行っている。その研究では1次で試作した火災性状把握システムに在室者把握機能を付加し、人為的要因による非火災報の低減と火災性状の的確な把握を目標とする研究を行っている。

今回は熱、煙、COの複合火災感知器の性能向上、ファジイエキスパートシステムにおける推論機構の改良、人体

赤外線と電話自動応答システムによる在室者把握システムの基本形など最終試作システムの改良点と全体の構成の概要について報告した。また、試作した火災性状把握システムの性能評価は、ISO案による試験火災、非火災試験、非火災報データベースを用いる方法などで行っている。

消 研 輯 報 第 46 号

平 成 5 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