ISSN 0287－069X

消研輯報 39

〔グラビア〕
●防油堤火災における炎の形及び大きさ

〔解　説〕
○『スモークファイティング』この20年と今後の課題
——我国の建築防火の研究活動からみて——
○津波と情報
○米国における林野火災危険の等級法について
○繊維類の燃焼試験法について
○帯電物体からの放電と着火の危険性
○静電場の計算方法について

〔資　料〕
○簡易型火災警報器内部で発見された虫について
○複数地域における延焼情報及び消防活動情報の同時表示方式の開発について

〔研究の紹介〕
○室内環境によるイオン化式簡易型火災警報器電離室の電流変化について
○繊維状の埃によるイオン化式簡易型火災警報器の非火災報事例について

〔消防研究所の研究活動〕
○『消防研究所報告』通巻60号(1985年9月発行)掲載論文の概要
○消防研究所月例研究会・報告会要旨

昭和60年12月　　消防庁 消防研究所

消研輯報

39号

目　　次

〔グラビア〕

●防油堤火災における炎の形及び大きさ

〔解　説〕

○『スモークファイティグ』この20年の今後の課題
——我国の建築防火の研究活動からみて——……山田常圭…… 3

○津波と情報……座間信作……11

○米国における林野火災危険の等級法について……山下邦博……16

○繊維類の燃焼試験法について……箭内英治……19

○帯電物体からの放電と着火の危険性……川崎正士……25

○静電場の計算方法について……松原美之……31

〔資　料〕

○簡易型火災警報器内部で発見された虫について……笹原邦夫……39

○複数地域における延焼情報及び消防活動情報の同時表示方式の
開発について……佐々木弘明、寒河江幸平……43

〔研究の紹介〕

○室内環境によるイオン化式簡易型火災警報器電離室の
電流変化について……紙野定亮、笹原邦夫、竹元昭夫……47

○繊維状の埃によるイオン化式簡易型火災警報器の
非火災報事例について……竹元昭夫……53

〔消防研究所の研究活動〕

○『消防研究所報告』通巻60号(1985年9月発行)掲載論文の概要……62

○消防研究所月例研究会・報告会要旨……64

防油堤火災における炎の形及び大きさ

写真 1

写真 2

写真 3

写真 4

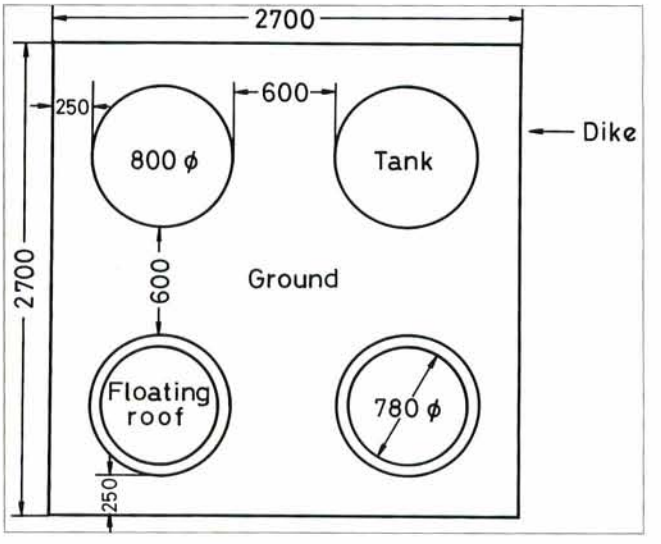


図 1

各種防油堤火災における炎の形及び大きさ、炎から周囲への放射熱を調べた。

写真 1 は浮き屋根タンク 4 基に水だけを入れ、防油堤内空地（**図 1** の Ground の部分）にヘプタンを入れ燃焼させた場合。

写真 2 は防油堤内空地及び浮き屋根タンク 4 基にヘプタンを入れ燃焼させた場合。

写真 3 は防油堤内空地及び屋根のないタンク 4 基にヘプタンを入れ燃焼させた場合。

写真 4 はタンク 4 基を取り去った防油堤にヘプタンを入れ燃焼させた場合。

図 1 は防油堤内タンク配置図。タンク頂部と防油堤頂部との高低差は400㎜、浮き屋根にはシール部なし、したがって浮き屋根とタンク壁との間は常にオープンである。

これらの炎から周囲への放射熱は、**写真 4** の炎の場合を100とすると、**写真 3** の炎も100、**写真 2** は87そして**写真 1** の炎は45であった。

（湯本太郎）

『スモークファイティング』この20年と今後の課題
――我国の建築防火の研究活動からみて――

山田　常圭

建物火災時の煙流動・制御についての本格的な研究が始められて20年余り経過している。この間の研究を概括し、それらを踏まえ、今後、消防隊の活動の円滑化を図っていく上での煙対策にかかわる新たな方向を示した。特に、既存の防排煙の各種設備をより効果的に運用していくには、各建物の使用形態、環境等の条件における各種煙対策の効果の検討が欠かせないとの観点から、その手法について触れている。従来の発煙による目視観測の方法では、建物竣工後、安全面、汚損の面からその実施にかなりの制約がある。しかしながら、煙のかわりに無色透明の追跡ガスを用いれば、その欠点を補うことが可能である。本文中では、このような検討手法について、過去の研究実験例をもとに、今後実用化の可能性があることを示した。

1．はじめに

英語では消防活動を "Fire Fighting" と言い表わす。この火との戦いという言葉は、消防隊の動きが手にとれるようで直感的にも理解し易く、当を得た言い方であろう。しかしながら耐火建築物や新建材採用後の建物火災においては、単に火のみならず、煙が新たな敵として加わってきた。それ故、現在においては、より正確性を期すならば「煙と火との戦い」つまり「Smoke & Fire Fighting」と言うのが妥当であろう。

単なる火との戦いにおいては、消防戦術、消火剤、ポンプ等の能力の向上によって、消防隊が優位にたちつつある。しかし、火災時の発生する大量の煙は、現在においても、在館者ばかりか、救助、消火活動に従事する消防隊員をも危険に陥れている。「火災時に煙がなかったら、何と良いか」と考えた消防隊員は決して少くないであろう。例え煙が瞬時に消え失せなくとも、煙が薄められたり、また、予め消防活動時の煙の挙動を予測できれば、消防活動の円滑化が図れるであろうことは、想像に難くない。

我国で煙についての様々な研究が始められたのは昭和40年頃であり、現在迄に約20余年経過している。本文では、過去約20年の煙の研究経過、対策を概括し，それらを踏まえ、今後のスモークファイティングに必要な対策、研究方向について示してみたい。

2．我国の火災研究者によるスモークファイティング 20年

火災時の煙が、在館者の避難や消防隊の活動時の阻害要因であるのは、昔も今も変わりはないが、特に社会的な問題として認識されたのは、昭和38年の東京池袋西武百貨店や、昭和41年川崎市の金井ビル火災からであろう。西武百貨店では、大量の煙で消火活動が6時間以上と難渋をきわめ、その煙中での消防活動の難しさをまざまざと見せつけられた。また金井ビルでは、火元と関係のない上階で多数の死者を出したことで、煙の恐ろしさを世に認識させることになった。

一方煙の研究自体は新しいものではない。戦後のかなり早い時期から耐火造火災実験に付随し煙濃度等のデータ収集がされてきた。しかしながらより科学的、体系的にメスが入れられたのは今から約20年程前の昭和40年前後、つまり高層建築時代の到来を一つの契機とし、煙が社会的問題として認識された頃からであるといってよい。

一口に煙の研究といっても、その対象項目は**表1**に示すように多岐にわたっており、各項目についてこの20年間、研究が推し進められてきた。これらの項目の内、煙の制御や、煙の流動性状等、消防隊のスモークファイティングに関連の深い事項についてここ20年余りの研究を概説しておくことにしよう。

表 1　煙にかかわる主な研究項目

大分類	中分類（小分類等）
■物理的な側面	
巨視的	煙の流動性状（流速・温度・圧力・濃度分布等）
	煙の制御方法（自然、機械排煙　等）
微視的	煙粒子の構成（粒状分布等…感知器の性能に関連している）
	煙の物性（光学的性質、重量　等）
■化学的な側面	
	煙の有毒性評価（刺激性も含む）
	材料燃焼時の煙の発生量の予測
■人間の心理・生理的側面	
	煙中での見透し距離
	煙中での行動能力

（※注：判り易くするため、かなり粗く分類している。実際は、一つの研究でも大分類の各事項にまたがっているため、もっと複雑である。）

この20年余りの研究経過を述べるにあたり、昭和37年頃から、昭和48年頃迄の前半10余年とそれ以後の2つの期間に区分しておくと説明し易いので、便宜上多少年が前後するが“40年代”と“50年代”と呼んで分けて説明をしておく。

2.1 “昭和40年代”の研究経過

煙の初期における研究は、既存建物での実大火災実験の注意深い観察を通じ、煙にかかわる諸検討課題の抽出をする事から始められた。昭和37年に行なわれたごく初期の赤羽台火災実験においては、当研究所のスタッフが他の研究機関に先がけて、避難救助等消防活動のための参考資料を得るため、煙濃度測定の担当として実験に加わっている。これ以後、昭和43年までに、数多くの実大火災実験が行なわれた。(**表2**)[2),3)]

この中でも昭和41年に行なわれた東京海上火災ビルでの火災実験[4)]は、日本中の主だった研究機関の共同の下で、様々な煙制御の試みがなされた貴重な大規模火災実験として特筆されるに値するものであった。

幾つかの煙の問題については、実験と平行して基礎的な研究も開始された。京大の前田、寺井[5)]らによる、自然換気によるスモークタワーの排煙性能に関する研究、廊下の煙を止めるための研究等々がその例として挙げられる。この43年頃迄の時期は、東北工大の藤田、佐賀[6)]らを始め、例えば建築学会においては、高層および地下建物の防煙、排煙設備についての研究協議会[7)]が2年続けておこなわれる等、各方面で煙についての研究活動が極めて盛んであった。

昭和43年頃迄の初期におけるこうした研究は、多分に経験的色合の強いもので、試行錯誤の中で、研究の方向を模索していた時期であったように見受けられる。

これ以後、48年頃迄建物の防排煙対策としてより工学的、体系的な手法の研究が、建物の防排煙設計法の開発という形で建設省建築研究所の若松ら[2),8)]によって進められた。

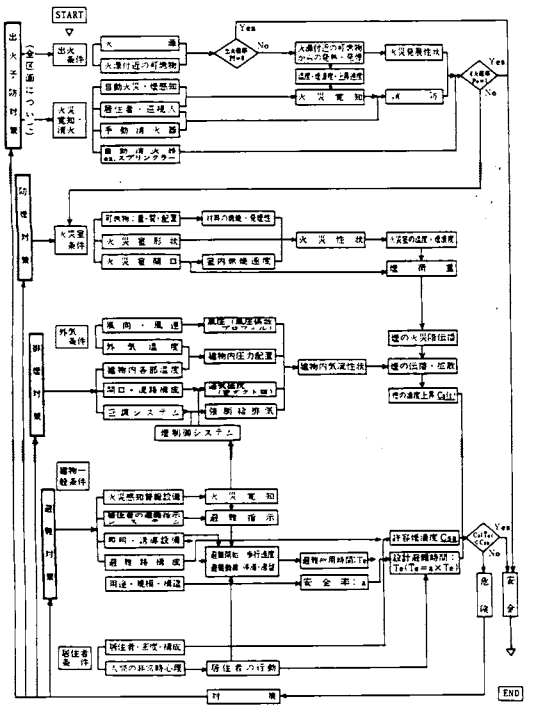
表 2　前半約10年あまりの主なビル火災事例と実大火災実験

昭和（年）	ビル火災例 建物名称	死者	負傷者	実大火災実験
37				東京赤羽台住宅公団アパート（3月）（※煙の流動）
38	西武百貨店（東京8月22日）	7	114	
39	銀座・松屋百貨店（東京2月13日） 東宝・仙台ビル（仙台市3月7日）	0	2	横浜・大運ビル（9月）（※煙の発生・流動・制御）
40	滋賀県庁別館（滋賀県10月1日）	3	1 10	
41	金井ビル（川崎市1月9日） 水上菊富士ホテル（群馬県3月1日）	12 30	14 29	大阪電々局舎ビル（5月）（※煙の制御） 国際ビル地下及び帝国劇場（7月）（※煙の流動・制御） 新宿西口地下広場（11月）（※煙の流動・制御） 東京海上火災ビル（12月）（※煙の流動・制御）
42				
43	池之坊・満月城（有馬温泉3月1日）	30	44	新宿中央鉄道病院（4月）（※煙の発生・流動）
44	磐光ホテル（福島郡山市2月5日）	30	38	神戸市布引中学校（9月）（※煙の発生・流動）
45	水戸中央ビル（水戸市12月26日）	2	18	
46	新和歌浦・寿司由桜（和歌山県1月2日）	16	10	
47	千日デパート（大阪市5月13日）	118	81	大阪千島市街地住宅（3月）（※煙の流動・制御）
48	済生会八幡病院（北九州市3月7日） 大洋デパート（熊本市11月29日）	13 103	3 121	八王子公団住宅（3月）（※煙の発生） 旧厚生省庁舎（5月）（※煙の流動・制御） 旧労働省ビル（6月）（※煙の発生・流動） 保土ヶ谷化学KK（7月）（※煙の発生・流動・制御）

（※注：基本的には文献2)によっているが文献3)によって一部追加している）

その基本的なフレームワークは、**図1**[9)]に示されるもので、煙の問題が避難者の安全確保の観点から位置づけられた。この基本的な考え方は現在の建物の防排煙計画にそのまま引きつがれている。

若松らが主として行った研究は建物内部における煙の流れを、電気的回路の類推（電圧と圧力差、抵抗を開口部等の圧力損失、電流を煙の流量）として予測する手法の開発で、定常から非定常へと、あるいは、略算法と色々な形でその予測手法が提示された。[10)]そして、



（※注意　消防隊の活動に対しては特に考慮されていない）

図１　防排煙避難設計の基本フローシート
※文献２）より引用

昭和48年の５月に行なわれた厚生省庁舎実大火災実験では、煙の流量制御に関する計算システムの信頼のチェックを経てその実用段階に迄こぎつけている。また、昭和47年におきた千日デパートビル火災の煙挙動の予測をも試みているのである。尚、この厚生省庁舎実験においては、当研究所が消防活動上の見地より、新たな排煙方式として、加圧排煙の実大火災実験を行っており、性能的にはよい結果を得ている。[11]

この前半の10年間、消防研究所では、積極的に実大火災実験に参加し、煙に関する様々な貴重なデータの収集を図る一方、幾つかの研究テーマに挑戦している。その主なものとして、煙感知器による早期火災発見に関連した初期の煙の物理的性状（粒子径分布、光学的特性）が渡辺ら[12]によって整理された。また、避難者のみならず消防隊が煙の中で活動していく上での必要なデータ、煙中での見透し距離や行動特性が神[13]，渡部ら[14]によって多くの実験を通じ徐々に明らかにされてきたのである。

2.2 “昭和50年代”の研究経過

上で述べてきたように、昭和37、38年頃から48年頃迄の10余年間は煙について様々な研究が行なわれ、現在実用化されている防排煙設計の基盤はこの時期につくられたといっても過言ではない。

昭和48年以後の煙にかかわる研究の特徴は、実用化にあたってのより具体的な事象の検討にみられる。

１つは、研究が大学や国公立の研究機関にとどまらず、建設会社等の実際に設計施工に携わる所から発表されてきた事からもうかがい知る事ができる。この応用的事例研究の傾向[15]は、昭和50年頃から現在に至っている。

一方、若松によって体系づけられた建物内部の煙の流動計算手法は、急速なコンピュータの進歩によって改良が進められた。室内毎の煙の温度、厚さを含んだ予測手法が田中[16]によって提案され最近では、ネットワークを用いたより効率的な建物全体の流量予測手法が京大の寺井[17]らによって提案されてきている。また、大規模空間内の煙の性状予測も建築研究所の山名[18]らによって行なわれてきている。

この他にも、廊下や室内といった特定、空間を対象とした煙の基礎的な研究が、東京大学の斎藤、辻本[19]あるいは理科大の半田ら[20]によって行なわれ、室内の排煙風量の設定や廊下へ流出する煙の物理的性状（高温の煙と常温に近い新鮮空気からなる二層流の構造や、その混合する条件等）が、この10年の間に明らかにされてきた。

また、当研究所においては、先に述べた煙に関する一連の研究の延長として、煙の中での人間の心理的側面*[21]の研究、燃焼物の毒性*[22]についての研究にみられるような、より発展的、また多様な研究が進められてきた。

先の10余年が、全体のフレームワーク作成にあたっての基礎的な研究期間とすれば、後の約10年間はそれらを受け継いだ、実用化への様々な応用研究と、積み残された問題点解明の時期であったと思われる。

3．消防隊におけるスモークファイティングの現状と今後の課題

煙の研究が始まって20余年、前章で述べたように実に多くの研究が多方面で行なわれてきた。それでは、そうした結果が、消防隊のスモークファイティングに何をもたらしてくれたであろうか。20年間に消防戦術を一変させてくれるような研究はなかった。しかしながらこうした研究を通じ、一定の規模、あるいは高さ以上の中高層の建物では、煙から避難者を守る特別避難階段や付室、消防隊が安心して使用可能な非常用エレベーターが設置されることになった。

先の研究の経過の中では触れなかったが、煙の除去により消防活動の円滑化を図ろうとする試みもいくつ

か行なわれてきた。排煙車[23]遮煙袋[24]新しい排煙方法[25]、消煙機[26]等々。これらは、ある一定の条件下では所要の効果が得られた。しかし、火災現場での操作性、機動性、安全性等の点から、実用化にはあと一歩というところで、今日に至っている。

過去20年の様々な研究をみる限り、当初火災の性状にあまり明るくない人々が煙制御に対して抱いていた技術面での楽観的な見方、「消防隊到着時にボタン一つでたちどころに煙が消えてなくなる」といったものは、ここしばらくは望めそうもなく、煙というものが思っていたより、はるかに厄介なものだということが、時を経る毎に明らかになってきた観がある。こうした事情から、消防隊にとっては、先に述べたような与えられた各種手段をいかにうまく運用していくかが、ここ当分重要な事になろう。

3.1　既存建物におけるスモークファイティングの課題

現在における消防活動時の煙とのかかわりは、対象とされる建物のタイプによって大きく次の2つに分けられよう。

1つは、従来通りの何らの防排煙対策も施されていない建物でのスモークファイティング。中小の雑居ビルや住宅等の建物における消防活動がこれに該当する。

もう1つは、今迄の研究成果をもとに設計された、防排煙対策を施された建物でのスモークファイティングである。この中には、地下街とか、高層建物のように外気に直接面した開口部をもたない建築物が含まれ、こうした建物においては、何らかの設備的助力なしでは、煙の充満が避けられない。

前者の従来通りの建物では、いかなるスモークファイティング上の対策手段が考えられるであろうか。現状では、風向を考え、建物の窓を破り消防活動がし易いように煙を誘導する、或いは噴霧注水により煙を押しながら進むといった経験的な方法がとられている。先にも述べたように、ここしばらく画期的な排煙手段が実用化される見込みは薄く、多少とも煙にまみれながら消防活動を行なうことは避けられない。しかし、こうした経験的な手法を一般化して効率的な対策を講ずる事は必要である。また、特に中小の雑居ビルにおいては、予期せぬ所に煙を伝播させるような竪穴の埋め戻し不良部等がある可能性が大きい。火災時において、こうした予期せぬ伝播経路からの煙によって消防隊の活動が阻害される事がしばしばあり、それらを未然に発見し処置しておく事は重要である。

後者の建物においては、消防隊は好むと好まざるにかかわらず、備えられた防排煙装置の助力を得る必要がある。低層の建物のように外から窓を割って煙を制御する事は常にできる訳ではない。また高層部へ、一階から重いホースやボンベをかつぎ上げる事は非常に労力がかかるため、自然排気口や機械によって保護された防煙区画を非常用エレベーターで火災現場近く迄辿りつく事になる。おそらく、消防隊が遭遇するのは、火ではなく、まず廊下や付室部に入り込もうとする猛煙であろう。

幸か不幸か我国では、こうした新しい建物での火災を経験していないので、実際どの程度の煙に暴露される事になるかは、設計時の予測計算をもとに類推するしか手だてはない。ただ、設計の目的は、あくまで在館者の安全避難を目的としている。それ故消防隊突入時の条件とは異なっており、おのずとその防排煙効果は変わる事に注意が必要である。もしも規定通りの効果を望むのであれば、想定された避難者達と同程度の扉の開閉にとどめるような配慮は必要とされる。また更には、防排煙システムを消防活動に積極的に活かしていくのであれば、その都度生じ得る事態について予め何らかの方法で検討していく必要がある。まだ何の事故も起きていない現在、転ばぬ先の杖として、こうした新しい建物におけるスモークファイティングの検討をしていくことは非常に重要であろう。

3.2　課題の克服について

以上、現在の建物の事情を念頭に置き、スモークファイティングにかかわる幾つかの検討課題を述べてみた。これらの問題を解決していく上では、煙の研究に着手した時期と同じ様に、但し、ここ20年間の蓄積された知識や技術をもって、再び注意深く火災時における煙の挙動を観察する事が最も明快かつ直接的である。つまり、机上で提案され定式化されたものが、現実の起こりうるべき状況の変化に充分に対応し得るかどうかチェックしてみることである。

設計時に行なわれる予測計算では、扉の開閉等の境界条件次第では結果が黒にも白にもなるのである。今迄の研究においては煙流動予測手法構築に主眼が置かれ、建物の条件の設定法の整備は、それに比べ遅れてきた。「現場で机上論は通用しない」という声が現場で実務に携わる多くの消防関係者から聞こえてきそうであるが、おそらくこれは、机上で想定している境界条件の設定と、現場で消防隊が直面するものとの隔りが大きいことに他ならない。両者の距離をちぢめる努力は何としても必要であり、その意味でも現場での観察が必要とされるのである。

しかしながら、現実の問題として、消防活動時の煙対策の研究のためとはいえ、あちらこちらの建物で何の制約もなく火災実験を行うことは不可能であり、そ

の代替的方法が必要とされよう。例えば竣工時設計された排煙設備の性能をチェックするのには、以下に述べるような便法が用いられている。

3.2.1　現在の模擬火災実験の長所、短所

排煙設備性能検査にあたっては、JISA-4303-1976の「排煙設備の検査標準」に記載されており、詳しくはそれを参照されたい。ここでは簡単に触れておく。まず室内で定められたアルコール火皿を燃焼させ、そこから発生する熱気流に発煙筒の煙を乗せる。そしてその時、同時に排煙機を作動させ、煙が廊下や上階へ漏れ出さないか目視で観察し、所要の風量、排煙性能が保持されているかチェックするものである。(**写真1**)

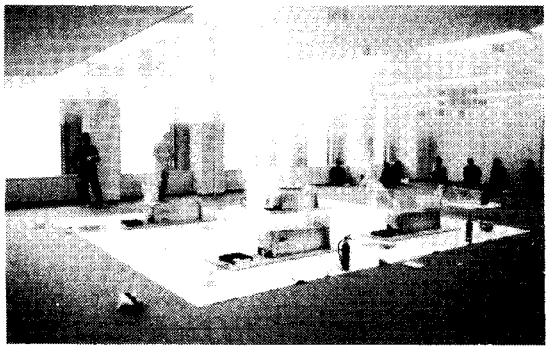


写真1　某超高層ビルにおける竣工時の排煙検査風景（東京消防庁による検査）

この検査の際には、JISでは述べられていないが、扉の開放に要する力や、給排気を停止した時等の煙の効果についても確認しておく事が「排煙設備技術基準指針」[2)]で指摘されている。

また、こういった方法は、排煙設備のみならず、ダクトスペース等の竪穴スペースの漏煙試験[27)]にも用いられ、実績がある。

この方法は、煙の動きを可視化する事により、より明快に煙に対する効果を把握する事ができる反面、いくつかの欠点がある。

その中で一番の問題点は、実験の実施上の問題である。竣工時の検査のようにテナントが入居していない内は、比較的楽に発煙させることができるが、いったん竣工して、建設会社から所有者に建物が手渡されたが最後、おいそれとこうした類の実験は、所有者やテナントの協力なしではなかなか実施できない。実験中、建物内部での業務が停滞するという理由ばかりでなく、安全上やビルの汚損上の問題からである。

建物の日常様々な使用条件によりその中での煙流動を決定する条件はかなり変化する。それ故、竣工時のように限られた条件ばかりではなく、より使用実態に近い状況での実験は不可欠であるが、先の理由からその実施はなかなか困難である。

次に、可視化で確認できる煙の伝播性状には限度があるという点である。建物内部で支障なく発煙できる煙の濃度には限界があり、実際は伝播していても見過ごしてしまうおそれがある。火災初期のように比較的発生源が薄い場合あまり問題にならないが、消防隊の活動時のようにもともと濃い煙を対象とする場合には重要である。

以上のような点から、建物竣工時のみならず、それ以後も査察の時に併せて、煙の流動予測や、排煙能力、区画部の不良箇所を簡便にチェックできる手法、あるいは消防活動時の煙対策の効果を予め一般のビルにおいて簡便に検証できる手法が望まれる。

このような手法は未だ確立していないが、ヒントとなるような研究が以下にのべるように行なわれている。

3.2.2　トレーサー(追跡)ガスを用いた模擬火災実験

先の発煙筒を用いた模擬火災の問題は、煙の可視性有臭性によるところが大きい。それ故、それにかわって無色透明、無臭の物質をトレーサーとして用いる方法がより有用と考えられる。大気汚染の拡散機構の解明には、このトレーサーガスを用いるのが常套手段となっている。[28)]しかしながら、火災の煙の問題に用いられた例は、現在迄のところあまりなく、過去に、米国と我国で予備実験的な研究事例が報告されている程度である。その数少ない報告から2つ事例を紹介しておく。

(a)　米国でのトレーサーガスによる建物内煙伝播性状把握の実例[29)]

1975年、米国商務省標準局(NBS)、火災研究所の実験では、病院内部における火災発生時の火災室から館内への煙漏出、あるいは煙の拡散性状を調べるため六フッ化イオウ（化学式ではSF_6と書き以下これを用いる）というガスがトレーサーとして使われた。SF_6は、標準状態0℃、1気圧下で6.14g/ℓと空気の1.29g/ℓに比べ、かなり重い無色透明、無臭の気体である。人体・動植物に無害であり、大気中で物理的・化学的に安定であること、また、二酸化炭素等とは違って、一般的には大気中に殆ど存在しなくバックグラウンドノイズを気にする必要がないため、トレーサーとしてよく用いられる。分析は、通常 Electron Capture 検出器(ECD)によるガスクロ分析法による。これによると、数ppb のオーダ(10^{-9}%)迄測定が可能である。つまり発生源を100ppm(ppmは10^{-6}%)とすると、その 1/10,000 希釈されたものまで測定できるものである。

この実験では、病室の一室を火災室にみたてて、室

内を暖房し（外気温5℃に対し室内温度26.6℃）、煙のかわりに、SF_6トレーサーガスが室内で100～150 ppbとなるように調整された。その後、空調の給排気や扉の開閉状況等様々な条件下でのガスの伝播性状が検討された。その結果、想定火災室から別室への伝播経路が明らかにされたり、廊下への煙流出が定性的あるいは定量的に把握され、火災時の煙流動性状予測へのこのトレーサー法の適用の可能性が示された。

(b) 我国におけるトレーサーガス法による模擬火災実験例[30)]

米国での実験を参考に、我国でも同様な予備的実験が名古屋大学の辻本によって昭和55年に試みられている。筆者もその実験に立ち会うことができたので少々触れておく。

図2は、実験で用いた模擬火災装置である。ヘアードライヤーを大きくしたようなものと考えていただければよい。これによって加熱噴出された温風（実験では、加熱しない場合と周囲に対し約18℃温度差をつけた2ケースについて行っている）に、SF_6を混入しその拡散性状を測定するのである。本実験では、階段室への煙の流入時を想定しており**図3**に示すような階段室が対象空間として選ばれた。1階でSF_6をのせた温風を吹出す一方2階、4階部分で、ガスを5分間毎に連続採取しECDで分析を行なった。**図4**は、各地点での濃度実測結果を示す。この結果については、実際の火源や発煙筒を用いた実験を行なっていないため一概にその良否は問えないが、今後、新たな模擬火災の手法として価値ある実験であったと考えられる。

上述の無色透明のトレーサーガスを煙のかわりに用いる手法は、先に述べた発煙筒による可視化実験に較べると、在館者にあまり負担をかけず、繰り返し何度も実験可能である点で非常に魅力的である。また、希釈によって見えなくなり伝播性状の把握ができなくなることもかなり防げそうである。米国の実験では、想定火災室の濃度100～150ppbに対し、各測定点では数ppbのオーダで測定可能であるから、数%オーダの希釈した煙の伝播性状を把握することができる。このよ

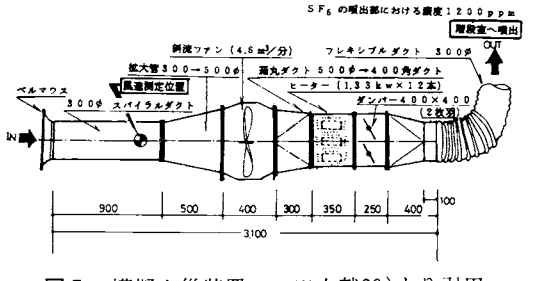


図5　模擬火災装置　　※文献29)より引用

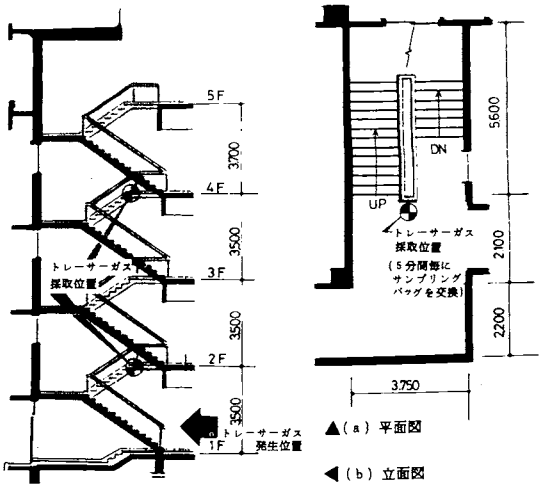


図6　実験対称となった階段室概要（名古屋大学工学部4号館）　※文献28)より引用

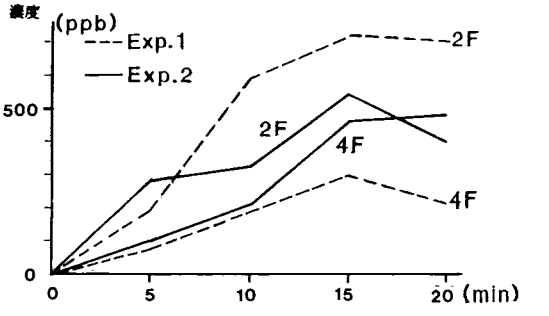


図7　2階・4階におけるSF_6の濃度分布測定結果

※注　Exp. 1は噴出した空気の温度は周囲と同じ温度（温度差なし）
Exp. 2は噴出した空気の温度は周囲の温度に較べ$\Delta\theta=18$℃高い。
SF_6濃度の分析はECD（電子捕獲検出器）によっている。

うに希釈率を定量的に把握できるということは、消防隊の活動時において重要である。現在の防排煙設計法では、避難経路に煙が入るか入らないかを専ら問題としている。しかし、火災時に全く煙と接触せず救助や消火活動を行なうことは、技術面、コスト面からも現状では不可能であると思われる。それ故、消防活動時に遭遇する煙がどの程度のものになるか定量的な予測が必要となるのである。これが判っているかどうかで、消防戦術も左右されるであろう。

こうしたトレーサーガスを用いた模擬火災実験手法にも、いくつかの問題点が残されている。

その第1は、この模擬火災がどの程度実際の火災を再現してくれるのかという点である。火災現象は多分に確率的現象であるため、100%起こる火災を確実に

再現することはできないが、トレーサーガスの種類、噴出速度温度等の模擬火災のいくつかの条件を吟味していくことで、ある種の工学的な評価が可能な状況を設定できると考えている。

その第2は、模擬火災手法全体の簡便化が挙げられる。消防隊が査察時にでも持っていって排煙システムの性能をチェックしたり、天井の区画不良等の潜在的な危険因子の発見が容易に行なえるような、操作性、機動性あるシステムを開発していくことが今後の重要な課題として残されている。

4．まとめ

過去20年余りの煙の研究においては、前半約10年で組上げられた防排煙システムの体系が次の10年で実用化され、様々な技術的展開が行われてきた。そしてこれからの10年、消防隊にとっては、こうして与えられた技術をいかにうまく利用し、より効果的なスモークファイティングを行うか検討すべき時期であるように思われる。そのためには、過去20余年の研究成果を今一度咀しゃくして、今度は、そうした成果を再度現場へ持し出してみる必要がある。本文中述べた新しい手法は、その際手助けとなる筈である。この模擬火災は、単に手段であり、たちどころに煙を吸いとってしまうような性質のものではない。個々の現場でのスモークファイティングは、消防隊員が身をもって知っている。そこで得られた豊富な経験を一般化し体系化していく上での手段としてこそ有用であろう。

研究部門と現場での消防隊の活戦の間に横たわる溝を埋めていく所に、より効果的なスモークファイティングの活路があると思われる。今後、より一層の両者の協力関係を期待したい。

参考文献

（注：番号の前の記号で＊は当消防研究所が何らかの形で関係したもの、※は直接行ったものである。）

＊1）㈳日本科学防火協会：「日本住宅公団赤羽台住宅火災実験報告書」、昭和37年

2）若松孝旺，田中哮義：「建築物の煙制御設計(1)」，火災，Vol. 25，No. 1（1975）

＊3）日本建築学会関東支部防火部会：「防火年表（第2次案）」，昭和57年3月

＊4）東京消防庁火災予防対策委員会：「東京海上火災ビル火災実験報告書」，1967年8月

5）前田敏男，寺井俊夫他：例えば，「スモークタワーの模型実験」，日本建築学会近畿支部研究発表会，昭和41年，「廊下の煙をとめる実験（その1，2）」，日本建築学会近畿支部研究発表会，昭和42年，或いは「排煙計画における煙の流れを止める条件についての研究」日本建築学会大会，昭和49年

6）藤田金一郎，佐賀武司他：例えば，「廊下を流れる熱煙流の性状」，日本建築学会東北支部研究発表会，11～24回

＊7）建築学会：「研究協議会・高層及び地下建物の防煙排煙設備について」日本建築学会，昭和42年9月，昭和43年3月

8）若松孝旺他：例えば，「実大建物による煙挙動実験（その1，2）」，日本建築学会大会，昭和49年等

9）㈶日本建築センター：「排煙設備技術基準」，新日本法規出版

＊10）若松孝旺他：「建築学大系21」，彰国社刊

※11）神　忠久，島田裕久，竹元昭夫：「ビル火災における階段室の加圧排煙実験について」消防研究所報告，No. 40，1975年9月

※12）渡辺彰夫，竹元昭夫：「燃焼生成物の粒径分布と煙感知器の動作に与えるその影響」，消防研究所報告，No. 38，1974年9月

※13）神　忠久：例えば「煙中の誘導標識の見通し距離について」，日本建築学会論文報告集，No. 182（1971），No. 192（1972），No. 204（1973）等

※14）渡部勇市，名雪健一，鳥崎幸三：「煙中における消防隊員の行動性について」，消防研究所報告，No. 38，1974年9月

15）例えば，笠原勲他：「高層ビルにおける遮煙方式についてのケーススタディー」，日本建築学会大会，昭和50年，或いは最近では、「空気膜構造の煙制御」，日本建築学会大会，昭和60年等

16）Takeyosi Tanaka："A Model of Multi Fire Spread" Fire Science & Technology Vol. 13, No. 2, 1983

17）寺井俊夫，松下敬幸他：「煙流動計算における流量仮定法の圧力仮定法の有利性について」，日本建築学会大会，昭和59年

18）田中哮義，山名俊男：「大規模空間に於ける煙の制御（その1，2）」，日本建築学会大会，昭和60年

19）辻本誠，斎藤平蔵他：例えば「排煙に関する2，3の知見」，日本建築学会大会，昭和49年，或いは「廊下を流れる煙に関する知見」日本建築学会大会，昭和53年等

20）半田隆，須川修身他：例えば「廊下での火災気流の熱流動性状」，日本火災学会研究発表概要集，

※21）神忠久：「煙の中での心の動揺度に関する研究」日本火災学会研究発表概要集，昭和54年度

※22）例えば，守川時生：「CO，CO_2発生の燃焼条件

による影響について」，消防研究所報告，通巻49号 1980年３月

23）島光男：「排煙車による排煙」，火災 Vol.15，N No. 4，1965

24）今津博："Occasional Report of Japanese Association of Fire Science and Engineering", No. 1（1974）

※25）佐藤晃由，高橋正一：「エジェクト効果を利用した排煙装置について」，日本火災学会研究発表概要集，昭和51年度等

26）上野宰，島光男，斎藤正己：「消防隊用可搬型静電消煙機について」，日本火災学会研究発表概要集，昭和52年度

27）㈶日本建築設備安全センター：「建築物の竪穴スペースの漏煙試験法等の研究報告書」昭和50年３月

28）加藤龍夫著：「大気汚染のガスクロマトグラフ技術」，三共出版（1975）

29）Francis C.W.Fung & Ricahrad H.Zille："San Antonio Veterans Administration Hospital Smoke Movement Study", Center for Fire Research NBS, SIR 75－903

30）辻本誠：「火災時の建物内煙流動に関する研究」，東京大学学位論文，昭和56年２月

津　波　と　情　報

座間　信作

1．はじめに

我が国は世界でも有数の地震国であると同時に、津波災害国でもある。いかに多くの甚大な津波被害を蒙ったかは、例えば理科年表[1)]をみれば明らかである。特に1896年三陸はるか沖合で発生し日本の津波災害史上最大の犠牲者2万7千人余を出した津波、及び1933年の三陸津波の惨状は世界中に知られ“Tsunami”という国際語ができた程である。最近の例では1983年日本海中部地震に伴う津波が記憶に新しい。この地震による全死者数104名のうち、津波による死者は100人を占めた。また物的被害においても，全壊10戸，半壊499戸、流失52戸、一部破損202戸、船舶沈没225隻，流失451隻，破損1,187隻と甚大であった[1)]。このように津波による被害が大きかったのは、波源域が沿岸近くまで広がっていたために、津波警報発令以前に津波が襲来したこと、その規模も大きかったこと等が指摘されている[2)]。従って津波の到達時間と警報発令・伝達に要する時間とが津波被害を左右する1つの重要な因子となっていることがわかる。

本稿では、津波の発生・伝播、過去の津波の到達時間について簡単に述べ、更に津波に関する情報がどのようにして得られ伝達されているかについて、津波予報の現状に触れ、次いで今後あるべき津波対策の1試案を述べる。

2．津波の発生・伝播

津波は海底下浅い所に地震が起る時に発生する。地震は断層運動の現われであり，その運動が縦ずれの場合には、海底の急激な上昇、沈降が起るため、津波が発生し易い。

Iida[3)]は震源の深さと地震マグニチュード(M)を目安として，どのような地震で津波が発生するかを調べた。それによると、

(1)　M6.2以下の地震では津波を伴わない。

(2)　浅い地震は津波を伴い易い。津波の90％は深さ40km以浅に起った地震による。

(3)　大津波（津波マグニチュードm*)が2以上)が生ずるのは深さ0kmの時M7.75、深さ40kmの時M8.0の地震がその限界である。

日本付近ではM7以上の地震は年1～2回起るため、マグニチュード頻度分布を考えると、大津波を伴う地震は数年に1回程度発生することになる。

津波の伝播速度Vは外洋では長波近似が成立し、水深をh、重力加速度をgとすると次式で与えられる。

$$V \fallingdotseq \sqrt{gh} \qquad (1)$$

津波が伝播していく過程を示す波面と波線はホイヘンスの原理によって海底地形図の上に上式を用いて作図することができる。従って将来発生する大地震の震源域を波源域として波面を描けば、任意の地点への津波の到達時間を予測することができる。逆に各地で得られた津波到達時刻を発生時、その場所を発生源として同様の操作を行えば、波源域が推定できる(逆伝播図)。このようにして得られた過去日本近海に発生した津波の波源域の分布[4)](図1)をみると、北海道から九州にかけての太平洋側の海溝またはトラフ沿いに発生する巨大地震に伴う津波が多い。

津波の波高は良く知られているように浅い海に達すると急に高くなる。これは次のように説明される。すなわち、津波の周期は一定であるが浅い海では速度が小さくなるため波長も短くなる。一波長当りのエネルギーは一定であるから振幅が大きくならなければならない、という訳である。1933年三陸地震では三陸のリアス式海岸の湾奥で25mもの高さに達した記録(跡)が残っている。

3．過去の津波の到達時間と波高

海域に地震が発生してから津波が襲来するまでの時間、及び最大波高が津波被害の大小を左右する重要な因子であるという観点から，過去の津波についてみてみる。

1961年日向灘地震に伴う津波は地震発生後約1分、

---

*）地震マグニチュードに対応して津波の規模を表わす津波マグニチュード(m)が、波高・被害の程度・被害が起った海岸の範囲によって定義されている。mは〔－1〕から〔4〕までの値をとり、その内容は、例えば〔1〕では波高2m前後で、海岸の家屋を損傷し船艇をさらう程度、〔2〕では波高4～6mで、家屋の破壊や、人命の損失があり、〔4〕では最大波高30m以上で、500km以上の海岸線に顕著な被害がある、となっている。

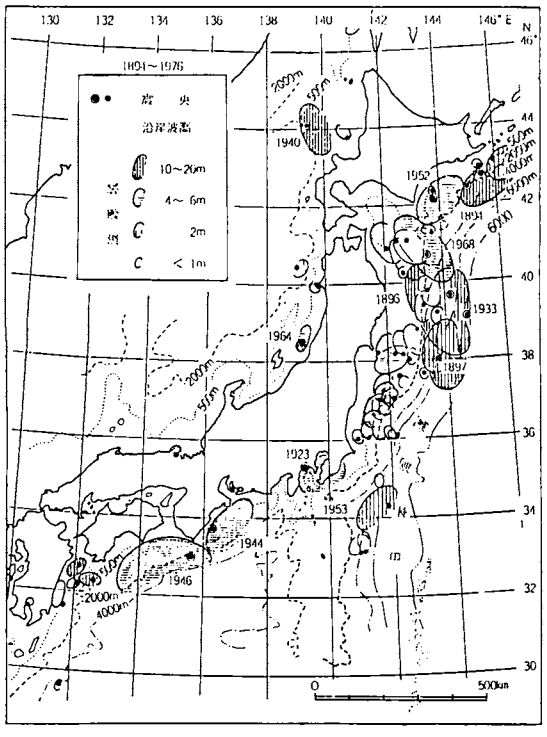


図1　最近83年間(1894～1976年)に日本近海におきた津波の波源域分布（羽鳥、1977[4]による）

1923年関東地震に伴った津波は約5分にして熱海に波高12mとなって襲来した。1944年東南海地震・1946年南海道地震では6～10分、津波の高さは4～10mとなっている。また日本海中部地震では青森県深浦で震後7分に津波の第1波を観測しており、おおよそ北海道沿岸で20分、三陸沿岸で20～30分、日向灘沿岸10～20分、日本海側10～20分程度である[4]が、M8の地震の場合波源域(楕円を仮定)は長径150km程度であるから、震源(破壊開始点)が陸から遠くても、波源域は陸に近い所まで拡がっている場合があるため、これより早く襲来することもある。現行の津波予報発表は震後20分以内に行わなければならない事になっているが、早くて震後10分程度である事を考えると、警報が間に合わないという事態は今後もあり得る。

4．津波予報のしくみ

日本では津波予報は気象庁が担当していることは周知の如くである。地震発生から予報を発表するに至る過程は**図2**に示されている様に、各地の気象官署からの発振時、最大振幅などの情報を用いて、各管区気象台において、震源・マグニチュードを決定し、津波予報図によって津波の有無・大きさなどを判定し予報を発表する。通常地震発生から津波予報発表までに要する時間は10～15分程度である。

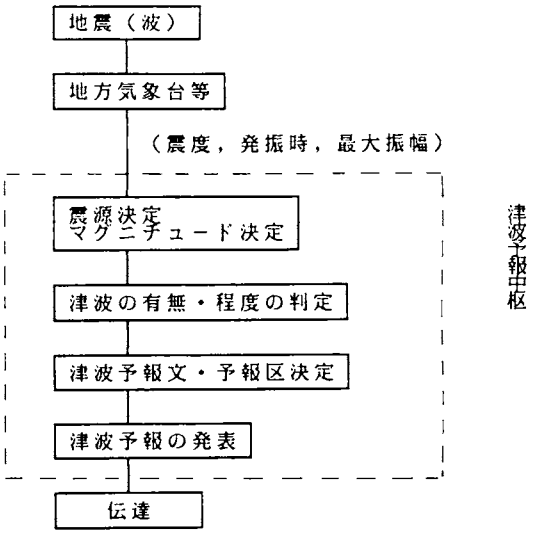


図2　津波予報の過程

前述したように、津波は海底下浅い所に発生した地震に伴う海底の広域にわたる急激な隆起・沈降により、海水が擾乱された結果生じるので、津波発生の判断は震源位置に大きく依存する。従って震源決定の精度（特に深さに関して）が特に重要となる。

震源要素は震源位置(x, y, z)と発震時(t)の4つの未知パラメータからなるから，4つの独立なデータがあれば決定できる。しかし実際には色々な不確定なものが混入してくるため、正確には求められない。通常の震源決定はある地下構造の仮定のもとにデータとして多数の観測点におけるP，S波*)の到達時間を用い、最小2乗法によってこれらのデータを最もよく満足する解をもって震源要素としている。

津波の大きさは地震マグニチュード、震源深さだけでなく、地震のメカニズム、断層運動の速さ、海底変動量などに関係しており、その判定は難しいのが実情である。

5．津波情報伝達の実際
—1983年日本海中部地震—

津波情報の伝達経路には**図3**のように様々なルートがあり、1つのルートに支障が生じても他のルートを経て地域住民に情報が伝わるようになっている。

1983年日本海中部地震に際し、仙台管区気象台は5

*）P波とは震源から発生する地震波の一種で、縦波または疎密波ともよばれ、地震波のうちでは最も速度が大きい。S波は横波あるいはねじれ波ともよばれ、地震記録上でP波のあとにみられる振幅の大きな波である。

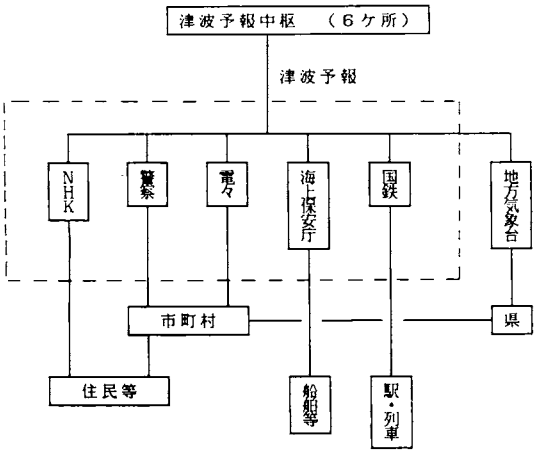


図３　津波警報の伝達経路(概略)

区（東北地方日本海沿岸）に対し「オオツナミ」の警報を12^h14^mに発表した。地震発生は12^h00^mであるから14分以内で前節で述べた作業を終えたことになる。この警報が末端の市町村住民へ伝達されるのに要した時間について文献2)に基づきみてみよう。

(1)　青森県

青森県では警報発令直後に受信し、市町村に対し無線で通報した。電源故障のため受信不能だった３村以外では、12^h14^m～12^h27^mに受信し、無線による地域への発信時刻は12^h15^m～12^h30^mとなっている。特に鰺ヶ沢町では12^h15^mに町民に伝達しており、伝達時間のロスは殆んどない。しかし最も遅い所では12^h30^mとなっており地震発生から考えれば30分経過していることになる。

(2)　秋田県

秋田県では消防一斉無線で全市町村に伝達したのは12^h20^mと、警報発令後６分を経過してからであった。

能代市及び男鹿市ではこれを受信しておらず、能代市の場合、能代電報電話局から12^h27^mに連絡を受け、12^h30^mに広報車にて広報を開始した。また男鹿市ではNHKテレビの字幕で覚知し、12^h19^m県に確認してから、12^h22^m望楼からのスピーカ放送及び広報車による広報を開始している。避難の指示は、男鹿市、八森町で12^h30^m、仁賀保町で12^h58^mに行われているが、秋田市、能代市、若美町、八龍町では津波に対する避難の指示は行っていない。

このように、鰺ヶ沢のような特別な場合を除くと、管区気象台からの警報発表後、数分～15分、従って地震発生後20～30分後に地域住民への広報が始っていることになる。今回の津波のように、波源域が沿岸近くまで広がっている場合には、伝達段階における10分前後の時間のロスは非常に大きな問題である。

津波予報が地域住民に届く以前に津波が襲来するような近地地震に対しては、現行の津波予報の発令一伝達というルートとは別に精度にはある程度目をつむり、迅速に津波発生を判定し、地域住民にその情報を知らせることのできるシステムを地域毎にもつことができれば、伝達過程での時間のロスはなくなり、伝達の確度が上がることが期待される。問題は有効な津波情報を迅速に得るシステムが考えられるかどうかである。以下でこの点について触れよう。

６．地震の１点観測による津波情報検知システム

４．で述べたように、津波発生の有無・規模等の情報を得るには、震源、地震マグニチュードを決定する必要がある。通常震源決定には多数の観測データが用いられるが、ここでは１観測点だけの地震波データを用いて、自動的に震源、マグニチュードを求める方法について紹介し、津波情報の検出が可能であることを述べる。

(1)　震央方位

原理的には１地点における地震動３成分（東西・南北・上下）が初動から記録されていれば、震央方位は推定できる（**図４**参照)。即ち上下動の初動が下向きの場合には水平２成分の合成方向が震央方位となり、上向きの場合には反対の方向が震央方位となる。更に初期微動継続時間*)を用いれば、大森公式によって大略の震源距離がわかる。しかし各成分の振幅の読み取り値から方向を推定しようとしても、その値は非常にバラつくのが通常である。また初動から３成分とも精度

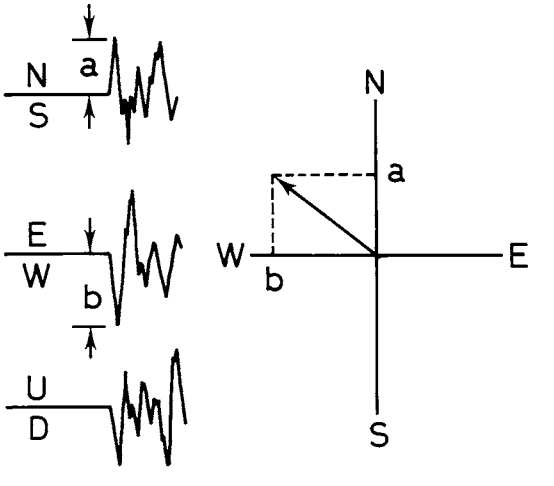


図４　初動の振幅による震央方位の推定

*）地震波がある地点に到着する場合、Ｐ波が到達してからＳ波が到着するまでの時間。Ｓ－Ｐ時間ともいう。

よく読み取れるかどうかという重大な問題がある。更には、初動が捉えられなくてS波を大地震のP波と認識してしまうと、方位は実際とかけ離れた値となってしまう等、幾つかのデータ処理上の問題がある。これらの問題に対しては、振幅値をそのまま用いるのではなく、ある重みをつけて平均化したり、各成分の相互相関をとったりする方法が採られ、ある程度の成功を納めている[5),6)]。

(2)　P、S波の識別

P波初動を用いて方位を決定するにも、また初期微動継続時間を読み取るにも、P、S波の相の同定を自動的に行わなければならない。即ち①地動ノイズからP波を検出、②地震波信号からS波を検出することが要求される。

①については、今考えている近地地震で、津波被害を起こすような地震については、通常の地震計測システムにおける、振幅レベルの変化によって検出するもので十分と考えられる。一方②については、地震波はスネルの法則によって地表面へはほぼ垂直に入射してくるため、S波は水平動で卓越し、P波は主に上下動に現われることから、振動方向（成分）の違いに着目すれば、S波の検出は可能である。またP波とS波とではその卓越周期が異なることから、簡単な数値フィルター[7)]を通して，相を同定することも可能であろう。

(3)　マグニチュードの推定

地震マグニチュード(M)を求める方法としては、次のようなものが挙げられる。

最大振幅Aと震央距離Δを用いるもの

$$M=\log A+\alpha\log\Delta+\beta \qquad (2)$$

地震動継続時間 T_d を用いるもの

$$M=\alpha+\beta\log T_d+(\gamma\cdot\Delta) \qquad (3)$$

卓越周期 T_{max} を用いるもの

$$\log T_{max}=\alpha+\beta M \qquad (4)$$

上式の係数α、β、γは観測点毎に異なるため、その地点で多くの地震観測を行い、気象庁発表のMに一致するように、最小2乗法によって推定することになる。

この他にも初動の卓越周期に着目するものもある。

(4)　深さの推定

震源決定においては深さを精度よく求めることが最も難しい。多点観測においても、震源と観測点との配置が悪い場合には全く真の値と異なった深さを与えることもある[8)]。従って1点のみの観測で震源深さを精度よく求めることは非常に難しい問題であり、今後の研究を待たねばならない。

一つの考え方として、上下動と水平動の振幅比が入射角に関係し、入射角は深さと震央距離との比に関係することから求める方法があげられる。また、震源が浅ければ、表面波が卓越することも利用できる可能性がある。

(5)　津波発生の判断

(1)~(4)の作業において、震源が海底下浅い所にあり、Mが大きい場合には、津波発生の可能性は大きい。津波マグニチュードmと地震マグニチュードMとの間には、地域によってある関係がある[3)]からこれを用いて大略の津波の大きさが判定できる。しかし地震のメカニズムが横ずれであれば殆んどその可能性はない。一方縦ずれの時は大いにある。この点を考慮すると、震央方向の水平動と上下動（SV波、レーリー波）がどの程度卓越するかということが、1つの目安となるだろう。但しこれはマグニチュードと震央距離とによって津波予報図を用いて津波発生の判断をしてからの作業とすべきであろう。

以上から震央、津波の程度を大略決定したあと、前述した津波伝播図によって、津波がその地域へ到達する時刻を計算することができる。

7．おわりに

津波被害、特に人命に関わる被害は津波予報を一刻も早く地域住民に周知させることによって軽減できる。しかし現状においては津波情報は津波到達時間に間に合わないことがあり得ることは否定できない。これは津波情報を得ることに時間がある程度必要なこと、その情報を住民へ伝達する際、通信の途絶などで必ずしもスムーズにいかない場合があること等のためである。それらの困難を打破する一案として、精度は犠牲にするものの、沿岸地域での地震の1点観測に基づいた方法が考えられることを示した。

もし警報の〝空振り〟を恐れなければ、上述したシステムを何らかの通(広)報手段に直結させることによって地震感知直後から有用な情報を地域住民に知らせることができるだろうし、地震時の津波対策と同時に、他の地震災害対策を講ずる場合にも有益なデータを提供するものと考えられる。

参考文献

1）東京天文台編纂：理科年表，丸善（1985）
2）自治省消防庁，(財)消防科学総合センター：昭和五十八年日本海中部地震調査報告書，昭和58年11月
3）Iida K：Magnitude of tsunamigenic earthquake, aftershock area, and area of tsunami origin, Geophys. papers dedicated to Prof. Sassa (1963)
4）羽鳥徳太郎：歴史津波—その挙動を探る—，イル

カぶっくす，海洋出版（1977）
5）竹山一郎，柴田武男，佐藤　馨：地震波形に関する研究(Ⅳ)—ディジタル処理による震央方位の推定—，気象研究所報告，28，147（1977）
6）中村　豊，斉藤明夫，橋本民雄：P波とS波の識別，地震学会予稿集No. 2，90（1983）
7）堀内茂木，松沢　暢，長谷川昭：マイコンによる臨時観測データの自動処理—前処理のための数値帯域フィルター—，地震学会予稿集No. 1，34（1984）
8）座間信作：表層の影響を考慮した古い地震の震源再決定，東京大学修士論文（1977）

米国における林野火災危険の等級法について

山下　邦博

1．はじめに

日本と米国の林野火災について、1978年の火災件数と1件当りの焼損面積をみると、日本は7,208件、1.1ha、米国は107,944件、4.6haとなっている。さらにこれについて、年間の焼損面積を林野面積との比率として求めると日支では0.03%、米国では0.16%となる。これらの数値を諸外国と比較すると、日本は中位であるのに対し、米国はスペイン、ポルトガルに次いで高ランクに位置する。

このような実状を反映しているためと思われるが、米国においては林野火災の研究が活発に行なわれている。特に、米国農務省山林局（Department of Agriculture, Forest Service）に属するロッキー山脈林業・放牧試験場（コロラド州、フォートコリンズ）などの8つの試験場が研究の推進役を果している。

これらの研究の成果として1972年に米国の火災危険の等級法（National Fire−Danger Rating System, 以下NFDR法）[1]が確立された。これは、森林可燃物の種類、特性を類型化して燃料モデル（Fuel Model）を作り、これをNFDR法に組み込んでいる点に特徴があるようだ。

日本においてもこの等級法から学びとるべき点が多いように思われる。例えば、昭和60年の2月に少雨傾向が長期間続き、干ばつの状態に近くなっている折に、愛媛・香川県境で林野火災が発生して多大の被害を出す事例があった。干ばつ時には森林の枯死している地被物が異常乾燥するばかりでなく、生育している植物の活動も弱まるために火災危険が一段と高くなる。このような場合、植物の活動の弱まりを考慮した等級法が確立されていれば高い火災危険度値をもとに適切な対応がとれる可能性がある。ここでは1972年のNFDR法についてその概要を紹介する。

2．NFDR法の概要

NFDR法の基本的な構造を図1に示す。この等級法は、火災予防計画及び火災防御活動を円滑にするように確立されたものである。火災危険指数として、発生指数（Occurence Index, OI）、燃焼指数（Burning Index,

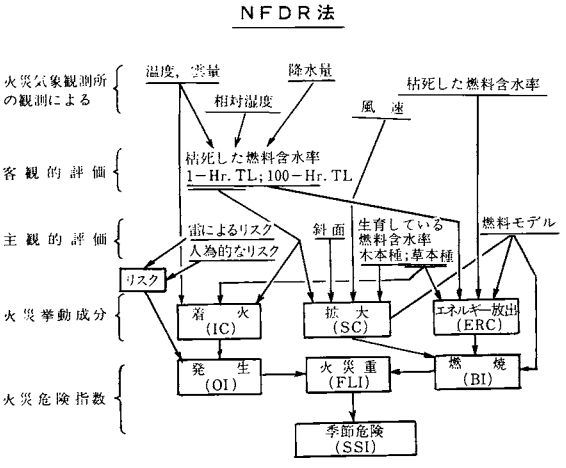


図1　NFDR法の基本構造

BI）、火災重指数（Fire Load Index, FLI）*の3つがある。OIは対象地区における火災発生の潜在的な危険性を表わすもの、BIは火災の拡大を抑制するに必要な仕事量に関係するものである。FLIは対象地区内において一定期間内に起りうる多くの火災を抑制するに必要な仕事の総量に関係しており、これらの指数はそれぞれ0～100の間の値として評価される。

火災挙動を特徴づける成分として着火(Ignition Component, IC)、拡大(Spread Component, SC)、エネルギー放出(Energy Release Component, ERC)の3つがある。ICは森林にある微細な燃料(Fine Fuel)の着火のし易さを表わし、SCは火災の拡大のし易さを表わす。またERCは燃焼によるエネルギー放出の大きさを表わす。

これらの量は第3章に示す各種燃料モデルについて、用意された表を使って求めることができる。図1は各因子及び各成分が影響を受ける量を表わしており、OIはICとリスク(Risk)から、BIはSCとERCから、また、FLIは、OIとBIを用いて求められる。リスクは落雷あるいは人為的な原因により、火災の発生する危険を表わす。季節危険指数(Seasonal Severity, SSI)は火災

＊）建物火災関係ではFire Loadを一般に火災荷重と訳しているが、ここではそれと異なった意味で使われており、火災重と訳した。

危険期間の危険性を表わし、FLIの値を積算することによって求める。

着火現象は一般に森林可燃物のうち、主に微細な燃料（第3章に示す1-hr.TLの燃料）*)だけに関係することから、ICは，この燃料の含水率と相対湿度及び気温より求められる。SCは微細な燃料の含水率の外に外部因子（斜面角と風速）によってかわる。一方、ERCは，微細な燃料だけでなく、大き目の燃料(10−hr TLと100−hr.TL)にも関係し、この値を求めるときには降水量、雨の降った時刻などの影響を受ける。

NFDR法では対象地区の総合的な火災危険性をFIまたはSSIにより表わす。但し、図1のOIとBIも独立した量として取り扱うことができ、それぞれ対象地区における火災の発生危険、燃焼の激しさの目安となる。NFDR法により、対象地区の危険性の評価を一定の様式により進めるとき以下の諸要素が必要であり、これらは、火災気象観測所（Fire Weather Station）において観測される。

①観測所の番号、②観測所の高度、③燃料モデル、④斜面階級、⑤年月日、⑥天候状態、⑦草本植物の生育状態、⑧樹木の生育状態、⑨乾湿球温度、⑩落雷と人為的な要因による出火危険、⑪10分間風速、⑫風向、⑬降雨の種類、⑭降水量、⑮降雨持続時間、⑯降雨の初めと終りの時刻、⑰雷の活動度、⑱24時間の最高、最低温度、⑲24時間の最高、最低湿度

NFDR法により、対象地区の危険性を求めるには燃料モデルに対応する表が用意されてあり、計算の仕方についてマニュアルが作成されている。

3．NFDR法における燃料モデル

NFDR法では、R, C, Rothermel[2]の作成した火災モデルにより、火災の拡大とエネルギーの放出量を決める。このモデルでは、燃料を特徴づけるパラメータとして燃料の比熱、含水率、火災荷重、たい積層の厚さ、燃料の表面積と体積の比、密度、発熱量、ミネラルの含有量などがあり、この外に風速と斜面の角度を決定しておくことが必要である。

評価の対象区域が何千エーカーにも及ぶため、その森林の可燃物の種類、地形も単一でない。このため、その地区を代表する燃料、地形の代表値を決定するには多くの工夫が必要である。

その一つとして、いくつかの地区について森林の可燃物のリストを作り、それらを分析、類型化することにより九つの燃料モデル[3]（**表1参照**）を作った。

森林においては、生育している樹木、かん木、雑草のほかに、地表には枯死した幹、枝、落葉、雑草等がかなり複雑に堆積している。これらは、それぞれ含水率及び相対湿度への応答の仕方が異なる。微細な燃料あるいは地表に薄く堆積した地被物は湿度の変化に速く対応して変わるが、大きい燃料あるいは地表面に厚く堆積した地被物は大幅に遅れて変化する。

NFDR法では枯死した可燃物を含水率変化の時定数を用いて1-hr.TL（微細燃料）、10-hr.TL、100-hr.TLの3段階にクラス分けしている。時定数は個々の森林可燃物が保有する水分をその63%だけ放出する時間を表わし、寸法と堆積状態で異なる。この方法を用いて可燃物をクラス分けする場合の目安を**表2**に示す。Rothermelの火災モデルにより、SCと燃料モデルの関係を求めると**図2**になる。火災の拡大成分は、燃料モデルA、B、Cで大きく、E、F、G、Hで小さくなっている。

4．NFDR法の改訂とその活用

米国森林局では、1978年にNFDR法を改訂しており、より充実したものとしている。[4]新しい等級法では、燃料モデルを9から20に増やした。また、時定数によるクラス分けを3から4にして短期間の干ばつの効果をより正確に等級法に反映するようにした。さらに斜面、着火成分(IC)、生育している燃料についても分類を多くして、より現実に即応できるものとした。

NFDR法が確立された後、専用コンピュータ（AFFIRMS Processer）により計算処理ができるようになり、広く普及した。1976年の夏には、アメリカ全土にある800以上の火災気象観測所がAFFIRMSを利用しており、400以上の観測所では手動計算により、毎日、等級法のIndexとComponentを求めて、火災管理（Fire Management）に活用している。

引用文献

1）J.E.Deeming et al：National Fire Danger Rating System：RM−84 Rockey Mountain Forest and Range Experimental Station（1972）

2）R.C.Rothermel：A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wild Land Fuels ：USDA Forest Service INT−115（1972）

3）J.E.Deeming and J.K.Brown：Fuel Models in the National Fire Danger Rating System：Journal of Forestly（1975）

4）U.S.Department of Agriculture：The 1978 National

*）この表示法は燃料の含水率変化に関係するもので、1-hr TLは燃料の寸法が小さくまたは堆積量が少なくて相対湿度の変化によく追従するものを指す。

表1　NFDR法の燃料モデルの概要

燃料モデル	燃料の特性	例
A	主要な燃料は連続した微細な燃料の層である。弧立した木やかん木があってもよい。	西部牧草地の草、ツンドラ、サバンナ、砂漠にあるかん木のタイプ
B	1-hr、10hr、100-hrのタイムラグをもつ燃料が多く堆積したもの、生葉が容易に燃える。燃料の平均深さが6フィート以上のもの。	南西部の成熟したやぶ、カロライナ州の高原にある沼地周辺の植物
C	燃料はタイムラグが1-hr、10-hrの草が中心である。リター*と枝木は火災挙動に影響を与えるほどに存在する。上層木はすき間が十分にある。	すき間の多いポンテロサ松、シュガーマツ、サンドマツ、かん木のカシ、ダイオウ杉、よい位置にある砂漠のかん木、
D	すべての種類の枯死した燃料があり、その大部分が2インチ以下のものである。生葉が容易に燃える。燃料の平均深さは6フィート以下である。	ウメモドキ、ヤシ、カロライナ州の低地の植物、エゾマツ、Ⓑに入らないヤブ
E	燃料は主にリターで、ふかふかした多孔性の層である。燃料は1-hrと10-hrのタイムラグのものだけである。	葉の長い松で密生したもの、リターがぎっしりつまる前の広葉樹、ヒッコリーの群叢
F	密生した若年生のやぶで、枯死した枝・葉を少し含んでいるが、葉は容易には燃えない。小さい草とリターが延焼、媒体となる。	月桂樹、サラル(常緑小低木)－山地のマホガニ、若いチャミーズ(バラ科)とマンザニータ(常緑かん木)
G	森林土壌の上に燃料が厚く堆積している。多量の倒木の樹冠と幹が中心である。	多くの枯死した葉をもつ針葉樹、特に太平洋の北西部とロッキー山脈の北部にあるもの、すい退しているロッジ、ポールマツ、カナダツガ
H	枯死した燃料のすべてのクラスがある。しかし量は多くない。主に凝縮したリターの層と枝木である。	短葉の針葉樹、リターが凝縮した後の広葉樹。ロッジポールマツ、米北部の広葉樹、ヨーロッパトウヒ。
I	枯死した燃料が極めて多く堆積したもので、すでてのクラスを含んでいる。	米西部の伐採された針葉樹

*）リター：落葉・落枝が分解して黒色状になったもの。

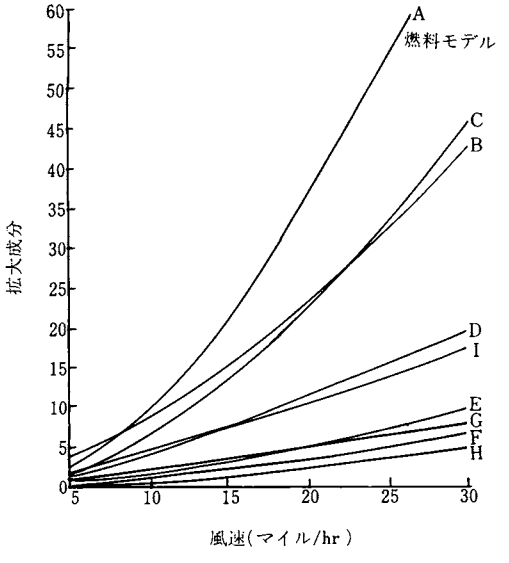


図2　風速と拡大成分(IC)の関係

表2　タイムラグによる燃料の分類

	タイムラグクラス		
	1-hr TL	10-hr TL	100-hr TL
タイムラグによるクラス間隔	0～2hrs.	2～20hrs.	20～200hrs.
近似的な相当燃料寸法 丸い木材 地被物及び腐葉土	 1/4インチ以下 表面層のみ	 1/4～1インチ 表面～3/4インチ	 1～3インチ 3/4～4インチ

Fire Danger Rating System：Technical Documentation. INT－169（1983）

あとがき

米国においては、1972年に林野火災危険の等級法を確立し、それを森林管理の現場において火災予防計画及び火災防御活動に試しながら修正を加えて、より充実した体系を作りあげた。これに伴なって林野火災に対しての考え方もFire Control（火災抑制）からFire Management（火災管理）に変わってきている。

日本においても森林を取巻く環境が大きく変わってきており、林野火災に対するあり方を根本から見直すことも必要であるように思われる。ここでは、米国の等級法の特徴を紹介し、日本の林野火災対策の将来の方向を探る資料とした。

米国の関係論文の収集及び専門用語の訳にあたって、元林業試験所の本木茂氏にお世話になった。ここに記して謝意を表します。

繊維類の燃焼試験法について

箭内　英治

1．はじめに

繊維類は、衣服、カーテン、カーペット、ふとん等の素材として、日常生活空間の中で最も多く存在するものの一つであり、ガラスや金属繊維等の特殊なものを除いて、有機高分子物質からできている。そのため、小火源でも着火しやすく、したがって、今日もなお燃え易い繊維を燃えにくくする技術（防炎処理）や繊維素材自身を燃えにくくした繊維（難燃繊維、耐熱繊維）に関する研究が行われ、また、開発が進められている。

現在、優れた防炎処理製品や、かなり高温まで耐える繊維も開発されているが、火災の拡大期や最盛期ほどの大火源に耐えうるほどの繊維は、身の回りにはまだ存在しない。

ゆえに、建物内に収納されている繊維類の燃焼性を測定するための火源としては、火災の出火期を対象とした小火源を用いているものがほとんどである。

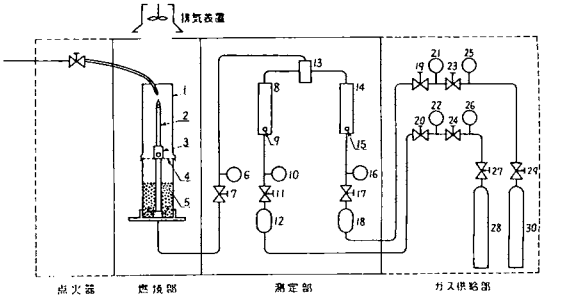
燃焼試験法は、燃焼性を決定する着火性、燃焼伝ぱ性、発煙性、発ガス特性等の因子のどれを測定するかによって異なる。繊維の場合、出火期を対象としているため、着火性、燃焼伝ぱ性が重要となる。

ここでは、日本と米国で主に利用されている繊維関係の燃焼試験法には、どのような試験法があり、どのようなものに適用されているかについて記述する。

2．繊維類の燃焼試験法

2.1　酸素指数式燃焼試験法

この試験法[1]は、有機高分子類一般に適用することができ、再現性のある方法として広く利用されている。繊維の場合、その試験方法は、U字型の試料ホルダーに取り付けた試料を燃焼筒内に重直にセットする。次に、酸素と窒素の混合ガスを燃焼筒内に導き、試料上端の中央部にバーナーで着火し、燃え方を観察する。この操作を、酸素と窒素の混合比を変えながらくり返し行い、燃焼伝ぱ限界を求める。その時の酸素濃度を酸素指数とする方法である。燃焼性の物差として数値で表わせるので、防炎性能の程度を定量的に扱うことができる利点がある。装置の概要を**図1**に示す。



試験装置の名称

No.	名　称	No.	名　称
1	燃焼円筒	12，18	清　浄　器
2	試　料	13	ガス混合器
3	試験片支持具	14	酸素流量計
4	金属製金網	16	酸素圧力計
5	ガラス粒	17	酸素圧力調整器
6	もれ点検圧力計	19,20,27,29	バ　ル　ブ
7	閉　止　弁	21，22	供給圧力計
8	窒素流量計	23，24	圧力調整器
9，15	微調節バルブ	25，26	元圧力計
10	窒素圧力計	28	窒素ボンベ
11	窒素圧力調整器	30	酸素ボンベ

図1　酸素指数式燃焼試験装置

2.2　消防法45°燃焼試験法

この試験法[2]は、人の多く集合する劇場、映画館、高層ビル、地下街、病院等で使用されるカーテン、どん帳、展示用合板、じゅうたん等床敷物に適用されている。その測定方法は、45°の角度にセットした試料に、カーテン、どん帳、展示用合板にあっては、下から、じゅうたん等床敷物にあっては上からバーナーを接炎し、燃焼後の炭化面積、炭化長、残炎時間、残じん時間等を測定する。JIS L 1091[3]やJIS Z 2150[4]にもほとんど類似の試験法が規定されている。試験方法の概要を**表1**に、また、薄手繊維の燃焼試験装置の概要を**図2**[5]に示す。

2.3　寝具等の燃焼試験法

この試験法は、寝具類に適用されている。**表2**に示すように、側地類、中わた、毛布類、完成品（掛ふとんと敷ふとんの組み合せ）によってそれぞれ異なる燃焼試験が行われている。この方法に合格した物品は、「防炎物品」として認定され、特定の防炎防火対象物だけでなく一般家庭への普及推進が図られている。

表1　消防法45°燃焼試験方法

規格	消防法施行規則第4条の3			
物品名	カーテン等の幕類 薄手布《厚手布》		展示用合板	床敷物
試験方法	(非溶融性) (溶融性) 45°傾斜法	(溶融性) コイル法	45°傾斜法	45°傾斜法
試験体	2㎡から切りとった35×25cmのもの3体（着炎するものは更に2体）	幅10cm 1g（10×20cmで1g未満）5体	1.6㎡から29×19cm 3体	1㎡から40×22cm 3体 22×40cm 3体
前処理	50℃±2℃ 空気中(24h) ↓ シリカゲル入デシケータ(2h)	105℃±2℃ 空気中(1h) ↓ シリカゲル入デシケータ(2h)	40℃±5℃ (24h) ↓ シリカゲル入デシケータ (24h)	50℃±2℃ (24h) ↓ シリカゲル入デシケータ (2h)
燃焼方法（略図）	45° 炎の長さ ミクロバーナ 45mm《メッケルバーナ65mm》 加熱時間1分《2分》 着炎するものは着炎後3秒《6秒》	コイル 150mm 100mm 300mm 45° 炎の長さ ミクロバーナ 45mm	45° 炎の長さ メッケルバーナ 65mm 加熱時間2分	45° 炎の長さ エアーミックスバーナ24mm 加熱時間30秒
評価基準	たるませ法のみ炭化長を測る 残炎時間3秒《5秒》 残じん時間5秒《20秒》 炭化面積30㎠《40㎠》	下端から90mm溶融しつくすまでの接炎回数 n ≧ 3	残炎時間10秒 残じん時間30秒 炭化面積50㎠	炭化長 10cm 残炎時間20秒

2.4　繊維製品の垂直燃焼試験法

この試験法は、子供用寝衣に適用されるもので、試料片の大きさ約70mm×300mmのものをコの字型試料ホルダーに取り付け、垂直にセットする。試料下端にバーナーで12秒間接炎し、燃焼後の残炎時間、残じん時間、炭化長を測定する。装置の概要を**図3**[6]に示す。

2.5　織布燃焼試験法

この試験法は、織布の耐炎性を測定するもので、試料を傾斜して取り付け、試料下端にマイクロバーナーを約1秒間接炎し、試料が127mm(5in)燃焼すると上部に張ってある止め糸が焼断してタイマーの動作を停止させ、燃焼時間を測定できるようになっている。装置の概要を**図4**に示す。

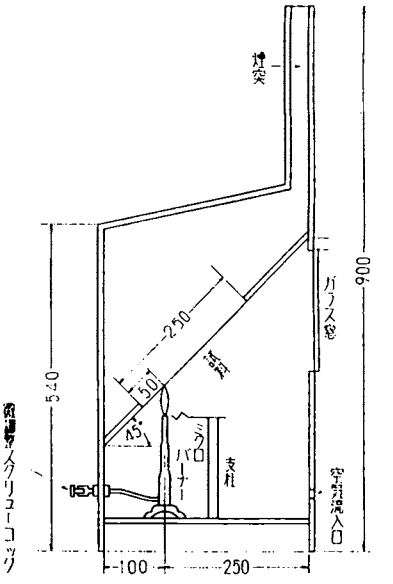


図2　薄手繊維の45°燃焼試験装置

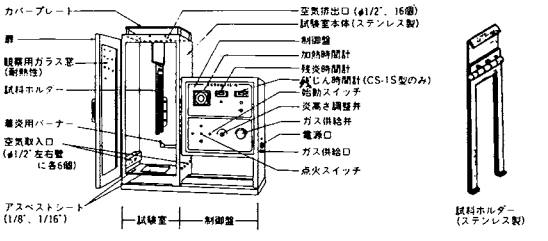


図3　繊維製品の垂直燃焼試験装置

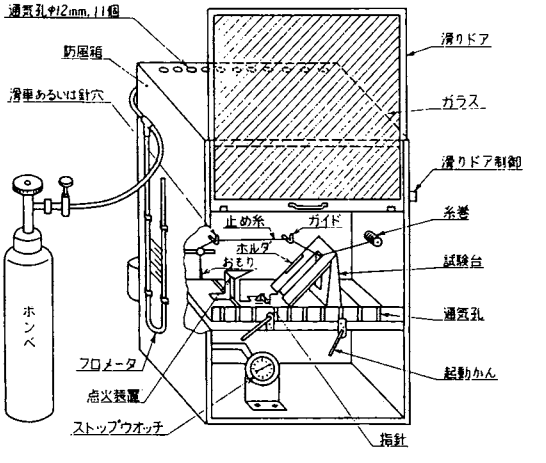
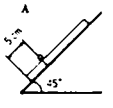
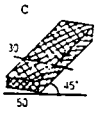
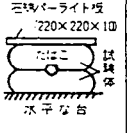
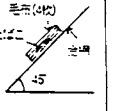


図4　織布燃焼試験装置

表2　寝具類の燃焼試験方法

規格	S.49.6.25　消防安65号通達（寝具類等の防炎表示物品の使用について）						
物品名	寝具等						
	側地類（ふとん側地、敷布、カバー）		中わた（掛ふとん、敷ふとん）	完成品（掛ふとん、敷ふとん）		毛布類（毛布、タオルケット、ベッドスプレッド）	
試験方法	（非溶融性）（溶融性）45°傾斜法	（溶融法）コイル法	45°傾斜バスケット法	45°傾斜法	水平たばこ法	45°傾斜法	45°たばこ法
試験体	2 m²から35×25cm（3体）	幅10cm 1 g（10×20cmで1 g未満）（3体）	10 g（3本）	20×20cmに25 gのわたを入れる。（厚さ3cm）（3体）	20×20cmに25 gのわたを入れる。（厚さ3cm）（3組…6枚）	2 m²から35×25cm（3体）	20×15cm（12体…4枚1組で3組）
前処理	50±2℃（24h）↓ シリカゲル入デジケータ（2h）	105±2℃（1h）↓ シリカゲル入デジケータ（2h）	50±2℃（24h）↓ シリカゲル入デシケーター（2h）	50±2℃（24h）↓ シリカゲル入デジケーター（2h）		105±2℃（1h）↓ シリカゲル入デジケータ（2h）	50±2℃（24h）↓ シリカゲル入デジケータ（2h）
燃焼方法（略図）	A  固形燃料（6.4φ、4.3mm ヘキサメチレンテトラミン）にマッチで点火	炎の長さ ミクロバーナ 45mm	C  バスケットに均一に詰めて45°の傾斜で固形燃焼にマッチで点火	Aに同じ	 一端に点火したたばこをふとん2枚の間に入れ、バーライト板（220×220×10mm）（400g±10g）をのせ、30分間放置	Aに同じ	 2枚と2枚の手布の間、中央の位置に、点火した部分を下にたばこをはさみ、1時間放置
評価基準	炭化長 max≦70mm $\bar{x}$≦50mm	下端から90mm溶融しつくすまでの接炎回数 n≧3	炭化長 max≦120mm $\bar{x}$≦100mm	炭化長 max≦100mm $\bar{x}$≦80mm	炭化長 max≦100mm 残炎、残じん30分後ないこと	炭化長 max≦120mm $\bar{x}$≦100mm	1時間放置後残炎、残じんがなく、周辺端部に達しないこと

2.6　マッシュルーム型燃焼試験法

この試験法[7]は、衣服一般に対して適用できるもので、やけどに対する危険性を評価するために、着火のしやすさ、熱の伝達性等を測定する。人間の胴、足を模擬した銅製円筒に試料を巻き付け、下方からバーナーで着火させ、組み込んである熱電対により、着火に要する時間と熱伝達速度を測定する方法である。

2.7　マネキン燃焼試験法

この試験法[8]は、衣服一般に適用できる。マネキンを人間に例え、実物の衣服を着せ、マネキンの各部に埋め込んだ熱流速センサーや熱電対で体内への熱の流れや衣服の着火性を測定する。これによりやけどに対する危険性および衣服の着火危険性を評価することができる。衣服の燃焼試験としては、大がかりとなるた

め準備が大変であるが、最も現実に即した方法で行えるという点で、他の衣服に対する燃焼試験法に比べ優れている。

2.8　鉄道車両材料燃焼試験法

この試験法[9]は、車両用材料に適用されている。257mm×182mmの大きさの試料を45°の角度にセットし、試料下端から50mmの中央部分にブンゼンバーナー（炎長100mm）を接炎し、燃焼後の焼損面積、残炎時間、残じん時間、煙濃度、溶融滴下性等を測定する方法である。装置の概要を図5に示す。

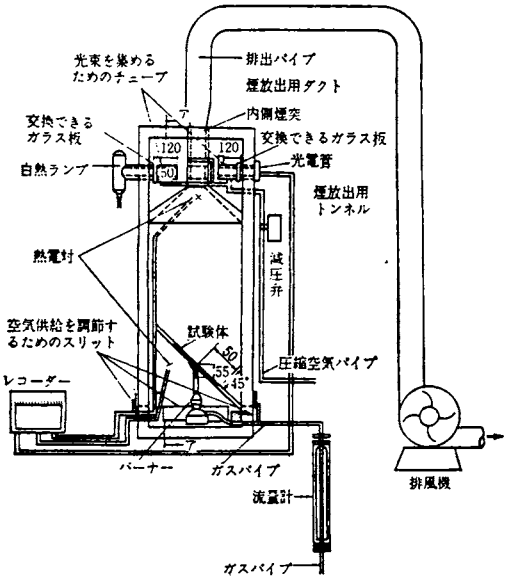


図5　鉄道車両用材料燃焼試験装置

2.9　自動車内装材燃焼試験法

この試験法[10]は、自動車室内に使用されている内装材の有機質材料に適用されている。試料が繊維製品の場合、コの字型試料ホルダーに試験片(350mm×100mm)を取り付け、それを水平にセットした後、バーナーで試料の端に15秒間接炎する。その後、一定距離(254mm)燃える時間を測定し、燃焼速度を算出する。燃焼速度が100mm/minを超えるものを易燃性、100mm/min以下のものを遅燃性、途中で消えるものを自消性とする。装置の概要を図6[15]に示す。

2.10　メセナミン錠剤燃焼試験法

この試験法は，じゅうたん等床敷物に対して適用されている。試料片（約230mm角）を石綿スレート板等の断熱板上の中央に水平に置き、それに金属わく（一辺が約250mmの正方形の金属板の中央に直径203.2mmの円形の孔を打ち抜いたもの）を載せ、試料中心にメセナミン錠剤を置く。それにバーナー、マッチなどで着火

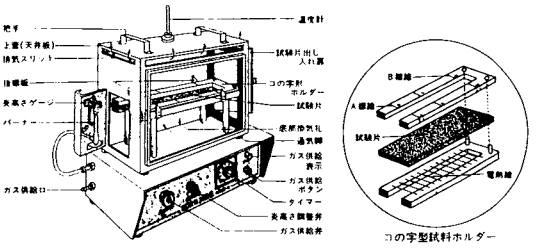


図6　自動車内装材燃焼試験装置

させ、燃え拡がり方を観察する。

この他に、前記の方法に類似した方法として、小試料で誰にでも簡易に行えるじゅうたんの燃焼試験法がある[11]。この方法は、火源としてメセナミン錠剤の代りにPMMA（ポリメチルメタアクリレート）小片を用いるもので、PMMAの大きさを種々変えることによって色々な火種に相当する燃焼試験を行うことができる。しかし、この方法は、正規の試験の代替となるものではなく、現場に敷かれている実際のじゅうたんに対して、その場で予備的に燃焼試験を行うものである。

2.11　ISO方式着火性試験法

この試験法[12]は、建築材料やじゅうたん等床敷物に適用することができる。コーン型の電気炉を用いて、試料（165mm角）に1 W/cm²～5 W/cm²の放射加熱を与え、試料から発生する熱分解ガスが口火に着火するまでの時間を測定する。この方法は、もともと建築材料を主体にした試験法として考案されたものであるから、火災の出火期を対象としたものより、むしろ拡大期、最盛期を対象としたものと考えれる。装置の概要を図7[16]に示す。

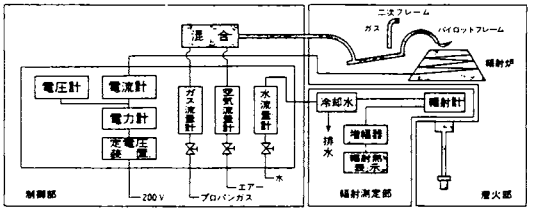


図7　ISO方式着火性試験装置

2.12　Setchkin法

この試験法[13]は、有機高分子類一般に対して適用されている。粉末状の試料を電気炉で昇温、または定温加熱を行い、口火により着火する温度（引火温度）や自然発火する温度（発火温度）を測定する方法である。装置の概要を図8に示す。

2.13　マッチテスト

この試験法[14]は、有機高分子類一般に適用できるが、定性的な方法である。簡易に行えるという点で一般に

表3　繊維類の各種燃焼試験法

名称	規格	対象物		試験体 大きさ(mm)	試験体 配置	加熱又は点火法	測定量	合格基準
酸素指数式燃焼試験法	JIS K 7201 ASTM D 2863	有機高分子一般		繊維：150×60 プラスチック：150×65×3	垂直、下方伝ぱ	バーナーで上端に着火	酸素指数	
消防法45°燃焼試験法	消防法施行規則第4条の3 JIS L 1091 A-1法	カーテン等幕類	薄手布	350×250	45°、上方伝ぱ	ミクロバーナーで60秒又は着炎後3秒加熱	炭化面積 残炎残じん時間	S≦30cm F≦3秒、G≦5秒
	A-2法 JIS Z 2150		厚手布			メッケルバーナーで12秒又は着炎後6秒加熱		S≦40cm² F≦5秒、G≦20秒
	D法		溶融性	100×200で1g		ミクロバーナーで接炎	接炎回数	3回以上
	B法	じゅうたん等床敷物		400×220		エアーミックスバーナー、30秒	炭化長、残炎時間	L≦10cm、F≦20秒
寝具類の燃焼試験法	消防安65号通案	側地類	非溶融性	350×250	45°、上方伝ぱ	メセナミンにマッチで点火	炭化長	L≦70mm、$\bar{L}$≦50mm
			溶融性	100×200で1g		ミクロバーナーで接炎	接炎回数	3回以上
		中わた		10g		メセナミンにマッチで点火	炭化長	L≦120mm、$\bar{L}$≦100mm
		毛布類		350×250				
				200×150		二枚の毛布間にたばこをはさむ	残炎残じん時間	1時間後残炎残じんがないこと
		完成品		200×200		メセナミンにマッチで点火	炭化長	L≦100mm、$\bar{L}$≦80mm
					水平	二組のふとん間にたばこをはさむ	炭化長 残炎残じん時間	L≦100mm 30分後残炎残じんがないこと
繊維製品の垂直燃焼試験法	DOC FF 3-71 JIS L 1091 A-4法	子供用寝衣		70×300	垂直、上方伝ぱ	バーナー、12秒	炭化長 残炎残じん時間	
織布燃焼試験法	JIS L 1091 C法 ASTM D 1230	織布一般		50×150	45°、上方伝ぱ	ブタン火炎、1秒	127mm燃えるのに要する燃焼時間	
マッシュルーム型燃焼試験法		衣服一般		300×600 260×600 200×600	垂直、上方伝ぱ	メタン火炎で接炎	着火時間 熱伝達速度	
マネキン燃焼試験法		〃		実際の衣服サイズ	〃	ブンゼンバーナ、10秒	着火性、温度、熱流入量	
鉄道車両用材料燃焼試験法	JRS 17400-5A-15BR3A	車両用材料		257×182	45°、上方伝ぱ	ブンゼンバーナー、	焼損面積 残炎残じん時間、煙濃度、溶融滴下性	文献(9)参照
自動車内装材燃焼試験法	JIS D 1201 MVSS 302	自動車内の有機質材料		350×100	水平	バーナー、15秒	燃焼速度	易燃性＞100mm/min 負燃性≦ 〃 自消性：途中で消えるもの
メセナミン錠剤燃焼試験法	JIS L 1091 B'法 ASTM D 2859	じゅうたん等床敷物		230×230	〃	メセナミンにマッチで点火	燃え拡がり方	周辺からの距離2.54cm以内の枚数 区分1≧2枚、区分2≦1枚
ISO方式着火性試験法	ISO-TC-92で検討中	建築材料 じゅうたん等床敷物		165×165	〃	1～5W/cm²の放射加熱	着火時間	
Setchkin法	ASTM D 1929	有機高分子一般		粉末状		電気炉で昇温又は定温加熱	引火温度 発火温度	
マッチテスト		〃		10×50	各種角度	マッチで着火	火が消える角度を測定	角度≧135°のとき防炎性

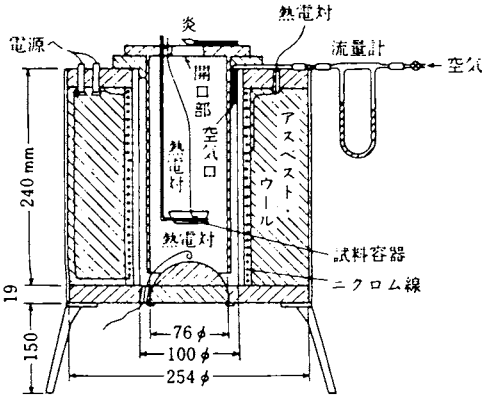


図8　Setchkin法による発火温度の測定装置

は、スクリーニング試験として利用されている。繊維の場合、試料（約10mm×150mm）をマッチの炎で点火し、火の消える角度を見る方法で、火が真上についた状態を0°、下を180°、水平を90°とし、135°以上で消えた時点をもって防炎性能があるとされる。

以上述べて来た各種燃焼試験法のまとめを**表3**に示す。

3．おわりに

燃焼試験法は、測定すべき因子によって測定方法が異なってくる。繊維類の場合、ほとんどが着火性、表面燃焼性を測定しているが、将来、有毒ガスの分析法が確立されれば、繊維類の燃焼試験法の中にも、煙や発ガス特性を測定する試験法が取り入れられ、これが総合的な火災危険性の評価のために用いられる可能性がある。しかし，ある製品の火災初期の危険性を評価する場合、必ずしも煙や発ガス特性に関するデータを必要とするとは限らない。例えば，火災予防を対象とするならば、着火性、表面燃焼性が重要であり、煙や発ガス特性はあまり重要とならない。したがって、燃焼性の評価をしょうとする製品の利用目的や規制対象を明確にし、その目的に合った方法で試験を行う必要がある。

最後に、各種試験法の説明は、非常に簡略に記述したので判りにくい部分も多いと思われる。詳細に知りたい方は、本文末の文献を参照されたい。

参考文献

1）JIS K 7201：“酸素指数法による高分子材料の燃焼試験方法”，(1976)
2）日本防炎協会：防炎読本，三成社，p. 14（1979）
3）JIS L 1091：“繊維製品の燃焼性試験方法”,(1977)
4）JIS Z 2150：“薄い材料の防炎性試験方法”（45°メンケルバーナー法），(1966)
5）上原陽一：繊維製品消費科学，vol. 11，No. 13，p. 23（1970）
6）スガ試験機株式会社：垂直型燃焼性試験器カタログ
7）石橋博：“衣服生地の燃焼性に関する研究”，鹿児島県立短期大学紀要，第32号，p. 35（1981）
8）上原陽一・梅澤正尋：災害の研究，日本損害保険協会，第14巻，p. 205（1983）
9）喜多信之：“プラスチックの燃焼性”,工業調査会，p. 110（1975）
10）JIS D 1201：“自動車室内有機資材の燃焼性試験方法”，(1977)
11）箭内英治：消防研究所報告，No. 58，p. 21（1984）
12）防火委員会委託着火性試験小委員会分科会：“建築材料の着火性試験に関する調査研究報告書(案)”，日本建築学会，(1982)
13）神戸博太郎編：“高分子の熱分解と耐熱性”，培風館，p. 271（1974）
14）守川時生：消防輯報，第30号，p. 7（1977）
15）スガ試験機株式会社：MVSS燃焼性試験器カタログ
16）スガ試験機株式会社：着火性試験装置カタログ

帯電物体からの放電と着火の危険性

川崎　正士

1．はじめに

何年前の春先であったか、ある新聞の社会欄で、若い娘さんがトイレで火傷を負ったという記事が目にとまった。被害に遇われた方にはお気の毒であるが、火災の予防にたずさわる者にとっては興味あるものであった。その概要を紹介すると次のようである。

その娘さんは、ある田舎町のガソリンスタンドのくみ取り式トイレを借りた。中へ入り戸を閉めた直後に、突然ボンという音がして彼女は悲鳴をあげて飛び出したが、その時顔や手足に全治3週間のやけどを負っていた。彼女の言によると「ジーパンに手をかけた瞬間、お腹が急に熱くなり、ボンと爆発した」と言う。

なお、彼女の着衣はナイロン製のカーディガンと肌着で、いずれも静電気が発生し易い化学繊維であった。当日の相対湿度は20～30％で静電気の発生し易い条件であった。

爆発したトイレは3.3 m³のくみ取り式。換気口が全くなく密閉式で、メタン等の可燃性ガスが以前から充満していたものと考えられている。関係機関の調査によると、戸を閉めて2～3秒後であり、タバコも吸っておらず、火の気が全くないことや当時の気象条件などから判断すると、トイレに蓄積したメタンガスが彼女の着ていた化学繊維に発生した静電気の火花で爆発したと推定される、としている。

この事例は非常にめずらしいものであるが、静電気の発生やその気中放電(以下放電という)は日常色々な場所で経験する。たとえば、冬の夜、化繊のセータを脱ぐとき耳元でパチパチという音が聞こえ、暗がりで見ると青いかすかな光が見えることがある。また、自動車のドアのとってに手をかけたときに、電撃による痛みを感じることもある。生産現場においても、プラスチックや油類などの絶縁物の取扱い作業中に、しばしば放電を観測する。

この放電火花が可燃性のガスや蒸気の混じった爆発性混合気の中で発生すると、着火や爆発を発生させる原因になるのである。

電灯線や動力電源などの商用電源のスパークによる火災や爆発の発生は、そのエネルギの大きさから、誰の目にも着火源として認識することができるが、絶縁物からの小さな静電気放電が火災原因に結びつくとはなかなか実感を持って理解できない。これは電極となった物体が特定しにくいことなどから生じる条件設定のむづかしさや測定法のむづかしさなどから、再現実験が困難であるためと思われるが、このことは逆に事故原因の調査に当って、解明のむづかしいものを静電気放電が原因であると誤認するおそれもある。

現在まだ静電気帯電現象や放電現象の中には未解明の現象が多く含まれており、たとえば帯電した油面などの絶縁体から発生する放電と着火の関係は量的に十分に把握されていない。

そこで、今回は静電気放電と着火の関係について、現在知られていることがらを整理することにした。

2．着火、爆発の条件

一般に火災や爆発などのように、物が燃えるには(1)可燃物が存在すること、(2)酸化剤（酸素）が存在すること、(3)熱源が存在すること、の3条件が同時に満足されなければならず、この3条件のうち一つの条件を取り除いても火災や爆発は発生しない。ここで静電気放電を着火源とする火災の発生条件をあげてみると、次のようになるであろう。(a)爆発限界内の可燃性混合気が存在すること、(b)静電気が発生し蓄積していること、(c)放電電極になるような突起物又は他物との接近箇所が存在し、可燃性混合気の着火エネルギ以上の気中放電が発生すること、があげられる。したがって、火災や爆発などの災害を防止するには、この3条件のうちの一つないしそれ以上を取り除く必要がある。

2.1　可燃性混合気

静電気による放電が発生する場所に、可燃性のガスや蒸気が存在すると、その空間では着火や爆発を起こす危険性がある。しかし、これらの可燃性物質が存在すれば必ず着火するわけではない。ガス、蒸気と空気（空気中の酸素が関係する）の混合の割合が、ある値より多すぎても少なすぎても着火することができない。濃度がある範囲内にある場合にだけ電気的火花や衝撃火花、化学的発熱などで着火を起こす可能性がある。このような濃度範囲のことを、その物質の爆発範囲（燃

焼範囲）と呼び、その物質の濃度の濃いほうの限界値を爆発上限界濃度(爆発上限界)、薄いほうの限界値を爆発下限界濃度（爆発下限界）と呼んでいる。また、爆発範囲内の混合気体のことを可燃性混合気（爆発性混合気）と呼んでいる。

また、可燃性の浮遊粉じんにおいても放電により着火・爆発するばあいがある。この燃焼は、熱エネルギによって、粒子表面の分子が熱分解し気体となって周囲に拡散し、空気と混じって可燃性混合気を生成し、それに着火するという過程をとると考えられるので、結局のところ本質的には可燃性ガスや液体の着火機構と変わらない。そこで、当然、その粉体の種類に固有の爆発限界も存在する。しかし、その爆発限界は粉体の粒径や粒度分布によって大きな影響をうけるため、はっきりした数値は求め難く、とくに上限界についてはあまり知られていない。下限界濃度も発火源の種類によって異なり、とくに粉じんと接触する発火源の温度や表面の状態によって影響を受ける。

2.2　最小着火エネルギ

他から絶縁された導体や、空間に浮遊するミストあるいは粉じんに帯電したり、プラスチックや油のような絶縁物表面に帯電した電荷は、種々の形式の放電によって放出され、熱エネルギに変わり、放電路周囲の気体の温度を上昇させる。もし、周囲に可燃性混合気や可燃性浮遊粉じんがあれば、その熱エネルギによって着火爆発を起こす可能性がある。しかし、ある可燃性混合気や浮遊粉じんを着火させるには、その物質の種類、混合濃度および環境条件によって決まるある値以上の熱エネルギ（着火エネルギ）が必要である。

着火エネルギは通常、電気火花による着火が測定値として求めやすく信頼できるものなので、主として電気エネルギの形で示される。

いま、ある種類で、ある濃度の可燃性混合気の着火エネルギを調べるとする。その混合気の中心部に、短いギャップを持つ1組の電極を置き、これにコンデンサに蓄えられた電気エネルギを火花放電によって放出し、着火の有無を調べ見当をつける。静電容量C〔F〕のコンデンサを電圧V〔V〕に充電した後、これを放電すれば、放電路には

$$W=(1/2)CV^2〔J〕$$

のエネルギW〔J〕が放出されるので、ちょうどこの電圧で放電が起これば、この種類・濃度の混合気の、この測定系における着火エネルギと考える。この値は放電電極の大きさ、形状、間隔、電圧、静電容量、気圧、温度およびガス濃度によって変化する。通常、1気圧20℃のもとで、これらの因子を色々に変化させるときに得られた最小の値※1を、その物質の最小着火エネルギと呼んでいる。[1] その測定にはしばしば Blanc, Guest, von Elbe, Lewis らが考察した最小着火エネルギ測定装置が使われる。この値は安全対策上重要な意味のある数字で、しばしば安全限界値として使用される。

最小着火エネルギの値を比較してみると、飽和炭化水素系およびその誘導体の液体やガスは、だいたい0.2 mJ程度の大きさであるが、水素では0.018mJという低い値を示す。これに対して浮遊粉じんのそれは5～320 mJ という範囲内にあり、可燃性液体やガスに比べて約25～1,600倍も大きい。

3．静電気で発生する気中放電[2,3,4]

固体どうしを摩擦したり、分離したり、粉砕したり、液体や粉体を噴出したり、壁面に沿って流したりするときに、これらの物質に電荷が蓄積することがある。また、帯電した物質があると、そばに絶縁された導体が存在していれば、静電誘導によって導体表面に正負等量の電荷が誘起される。

これらの電荷の持つエネルギは放電によって熱エネルギに変わり放電路の周囲の気体の温度を上昇させる。そこで、周囲に可燃性混合気や可燃性浮遊粉じんがあり、熱エネルギが十分大きければ爆発や火災を生じることになる。

静電気帯電の発生する状況では、放電を発生する電荷蓄積部分への電荷の供給能力が一般に小さいので、発生する放電の形式は火花放電かコロナ放電または沿面放電に限られる。

よく「油面が何ボルトになったら危険な放電が起こるか」という声を耳にする。気中放電が起こるかどうかを決定する要因は、気体の種類、気圧など種々あげられるが、**電気的には放電極となる物体表面の電界の強さであり、電位ではない。また、放電電極（極率半径の小さい電極）に加わる電荷の極性の違いによっても大きく影響される。**

ここで少し蛇足になるが、放電と電位および電界の強さの関係についてふれる。

静電気の帯電などで電荷※2が存在すると、その周囲の空間には電気力が働く。電気力が働く空間を電界と呼んでいる。電気力の強さは電荷の近くは強く、遠くなるにつれて弱くなる。正に帯電した物体に、正電荷を近づけようとすると、反発力が働くのでエネルギが

※1）測定装置や測定条件の微妙な違いにより影響を受けるので測定値の発表者により若干の差があることがある。

※2）電荷：帯電した物質のもつ電気の量をいう。単位はクローン〔C〕であらわす。

必要であり、遠距離から近づけるほどそれに要するエネルギは増大する。そこで帯電体の正電荷近くの空間は電位が高く、遠くの空間は電位が低いという。理論的には無限遠の彼方が電位零の点となるが、現実には大地または接地した物体を零電位とすることが多い。単位距離当りの電位の差が大きい程電位の傾きは大である。電位の傾きの値にマイナス符号を掛けたものが電界の強さ（電界強度）である。また、電位差のことを電圧ともいい、とくに零電位との差を電圧と呼ぶことが多い。

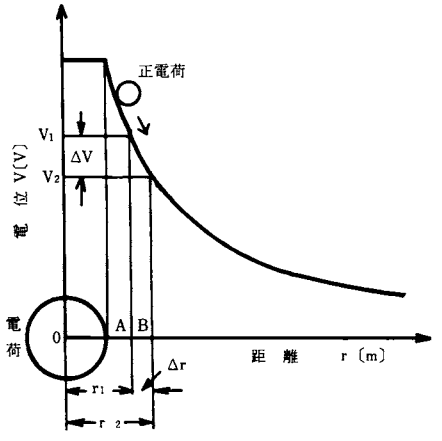


図1　電位の傾きと電荷の移動

図1はこれらの関係を示すものである。電位の高い部分に正電荷を置くと、電荷は電位の低い方向に移動する。そして、電位の傾斜の急なところほど移動速度が速くなる。電位が高くても電位の傾きがなければ移動しない。大気中で放電が起こるのは電荷を担った電子やイオンが存在しているからで、電界の大きさ（電位の傾き）がある値を越えると、それまで中性分子で構成されていた気体中で、突然多量の電子とイオンが分子の電離によって発生し（電子なだれ、**図2参照**）、気中放電が起こるのである。この電界の大きさは1気圧の大気中では30kV/cm以上、すなわち距離1cm当り30kV以上の電位差になるばあいであり、絶縁物であった大気が導電性を帯びるようになる。**帯電した導体では、曲率半径の小さい尖った部分の電界の大きさが、他の部分と比べて大となる。**[※3]

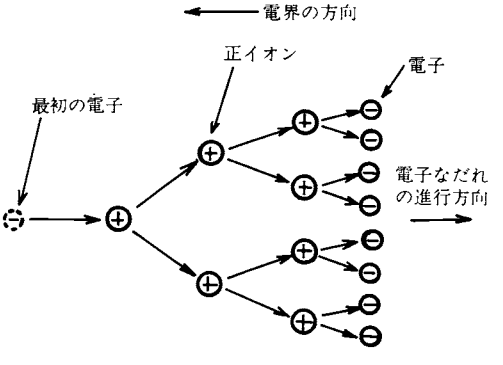


図2　電子なだれの形成

3.1　火花放電

火花放電を現象論的に述べてみる。まず、平行板電極の印加電圧を暗流[※4]の段階からさらに増していくと、突然ある電圧で発光を伴う気中放電を発生する。そして、気圧が高いと電極間は瞬間的に強力な閃光を発し、光条で短絡され、激しい破壊音が発生する。これが火花放電であり、その発生電圧を火花電圧と呼んでいる。電極に接続されている電源に十分な電力供給能力があると、アーク放電やグロー放電に移行するが、もし、帯電した物体からの放電のように供給能力がなければ、火花放電の発生とともに電極に蓄えられていた電荷が中和し、電圧が下がって放電は停止する。この場合でも、引続き電極間に充電されると、電圧の回復とともに火花電圧に達して火花放電を繰り返すことになる。

単発的な放電では、1回の放電によって放電路に放出されるエネルギは、ほぼ放電直前に電極間に蓄えられていた静電エネルギに等しく、その大部分は放電路の気体の加熱に消費される。この性質を利用して最小着火エネルギの測定が行なわれる。Roth らによれば、その電気エネルギの95%以上が熱エネルギとして有効に消費されると考えられている。[5] そのエネルギが可燃性混合気や浮遊粉じんの着火エネルギの値を越えており、放電路にこれらの混合気が存在すれば、着火爆発を誘発するおそれがある。

火花放電では、電極の形状（電界分布）および電極間隔d(cm)と気体の圧力p(Torr)の積pdによって発生機構や発生条件が変わる。

平等電界[※6]における火花電圧は一定温度のもとではpdのみの関数である。この法則をPaschenは実験的に見いだした。

図3は空気および水素ガス中での真ちゅう電極に対する火花電圧とpdとの関係を示している。空気の場合pdが0.567Torr・cmのところで火花電圧が最小値を示し、その値が327Vであることがわかる。[6] 火花電圧は気体の種類によって決まるあるpdの値で最小値をとり、それ以下の電圧では火花放電は発生しない。これを最小火花電圧という。空気では大気圧のもとでd≒7.5μm

※3）一つの導体の電位は表面のどの部分をとっても等しい。
※4）大気中で電極間に直流電圧を加えて行くと、最初にわずかな電流が流れ放電がはじまる。この段階の放電は光りも暗も伴わないので暗流と呼ばれる。

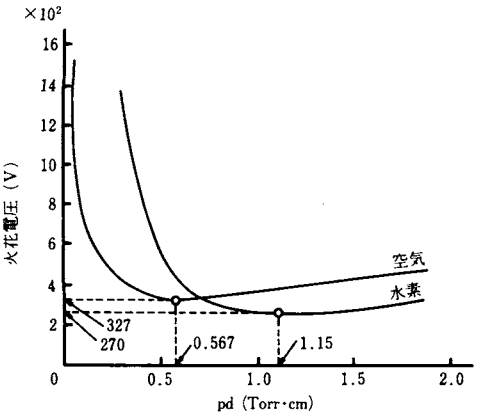


図3　火花電圧とp×d(大気圧×火花間隙の幅)の関係

のとき327Vの最小火花電圧をとり、水素中ではpdが1.15Torr·cm(大気圧でd≒15μm)のとき最小火花電圧が270Vになる。

図4に平等電界および不平等電界※6を形ち作る電極ギャップの典型例を示す。針電極対平板電極のような不平等電界では針電極の曲率半径と比較して電極間隔が大きいと、印加電圧の上昇につれていったん、コロナ放電を経て火花電圧に至るのが普通であるが、曲率半径に対して電極間隔が小さいとコロナ放電を経由しないで火花電圧に至ることもある。

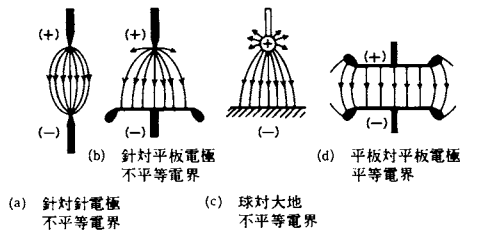


図4　電極の種類の典型例と電界(矢印は電気力線※5)

3.2 コロナ放電

普通、静電気の発生で気中放電が起こる場合、放電ギャップの大部分は不平等電界とみなしてもよい。不平等電界では、印加電圧を上げていくと電界の最も集中している尖端部表面において、ある電圧で突然光芒が現われ、同時に叱音を発し、電極間を通じて電流が流れはじめる。この気中放電は放電路の部分破壊であり、コロナ放電と呼ばれる。その放電理論としてはストリーマ放電理論などがある。

※5）電気力線とは電界の中へ正電荷を置いたとき、これが電界の作用で動いて行く道を線で表わしたもので、等電位面に直交する。磁石の磁力線に対応する。

※6）電位の傾きが一定の空間を平等電界といい、場所により異なる空間を不平等電界という。

3.2.1 導体電極――導体電極間のコロナ放電

コロナ放電も電極の構造、間隔、電極に印加される電荷の極性などによって種々の形態の放電を現わす。

図4に示すように、電極構造としては種々の構造のものがあるが、一例として針対平板電極について考える。この一組の電極に印加電圧を増していくとはじめは暗流が流れているが、ある電圧で曲率半径の小さなほうの電極（コロナ電極という）表面は空気の絶縁破壊電界強度に達し、叱音を発して、先端に光芒が現われ、電極間に流れる電流値が急上昇する。この電流をコロナ電流と呼び、コロナ電流の流れ始める電圧をコロナ電圧という。コロナ電流が流れている間は電界の集中している先端部付近では電離が進行しており、光芒を発するとともにコロナ電極から対向電極へコロナ風と呼ばれる低速の気流が起こる。

図5に典型的な正コロナの形態を示す。

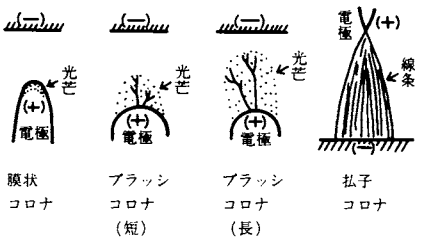


図5　大気中の正電極コロナの形態概要図

コロナ電極が正のばあいは、正イオンが電離域から出て対向電極へ向かう。コロナ電極が負のばあいには、電子が電離域から出て対向電極へ向かうが、途中気体分子に付着して負イオンを形成する。電離域外ではいずれのばあいもイオン流によって電荷が運ばれるが、単一のイオンであるから空間電荷を形成しコロナ電極付近の電界を弱める作用をするので、コロナ電流は比較的低い値に押えられる。

コロナ放電の電流は一般に小さいが、着火能力をもっている。そして、放電の形態によって着火能力が変わり、とくに**コロナ放電の場合は、コロナ電極の極性が着火能力の重要な要因となる。すなわち、負コロナより正コロナのほうが着火能力が高く**、正コロナの中でもブラッシコロナ、払子コロナが着火性があり、とくに払子コロナはその線条へ集中するエネルギが大きいため着火能力が高い。

コロナ電極の曲率半径は着火に影響を与える。図6は功妙に仕組まれた実験装置によって、種々の電極で発生するブラッシコロナ放電の着火能力を調べた結果である。[7] ここでも正コロナのほうが負コロナより着火能力が高いことがわかる。直径が数mmから20mmまでは

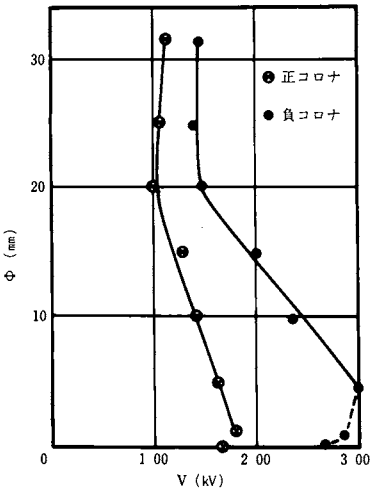


図6　プロパン－空気混合気のブラッシコロナ放電による着火電圧Vと棒状コロナ電極の直径ϕ[7]

着火に必要な印加電圧が減少している。20mm以上ではコロナ放電で着火する前に火花放電で着火しているものと思われる。

電極の曲率半径が、極度に小さい針電極から発生するコロナ放電は、一般にエネルギが小さいので、コロナを経由するストリーマ火花放電*7が発生しない限り、着火能力をもっていない。[3]

3.2.2　帯電絶縁体表面――導体電極間の放電

これまで述べてきた放電では、電極が帯電した金属導体から金属導体への放電に関するものであった。しかし、静電気による気中放電の多くの場合は二つの電極の一方、または両方が帯電した絶縁体である。

一般に帯電した絶縁体表面から放電によって放出されるエネルギは、帯電導体表面からの放電と違って面が大きいばあいには、1回の放電によって帯電した全部の電荷を放出することはできない。帯電した絶縁体表面に球電極を接近させた場合に生じる、正のブラッシコロナ放電の着火性におよぼすガス濃度の影響を調べた報告もあるが、それによると、**球電極の直径が大きくなるほど着火の起こる濃度範囲が広がり、直径60mmでは火花放電の爆発限界の⅔の領域において発生する可能性がある。[8] 逆に針電極からのコロナ放電では、このばあい着火しない。**針電極では、コロナ放電の放電エネルギが小さく、そのうえ電界の集中が著しく、低い平均電界でコロナが発生するので、帯電物体に近づく過程で早くから表面電荷を安全に除去してしまう効果もある。

帯電面の面積とブラッシコロナ放電による着火性の関係についての研究によると、平面の理論的最大電荷密度2.7×10^{-9}C/cm^{2}に帯電した平面は、球電極を近づけて放電させると、面の面積が75cm^{2}以下ではヘキサン－空気混合気を着火させることができず、面の面積20cm以下では水素－空気混合気を着火させることができないという報告もある。[9] これらの研究結果はプラスチックなどの帯電面からの放電着火の解析に応用することができることを物語っている。

3.2.3　帯電油面――接地導体間の放電

次に帯電した油面からの放電の着火性について述べる。石油製品のタンクへの移し替え作業後に、しばしばサンプリングや検尺作業がタンク上から行なわれる。この際に、帯電油面からの放電によるものではないかという火災が時として起こる。図7[10]は石油タンク上からのサンプリング作業で発生するタンク油面からの放電の模式図である。これらの現象を解明するため球電極を用いた多くの実験が行なわれている。[11~14]

Haigらの研究結果から、(1)放電開始は球上の電界強度が大きな影響を与えるものと考えられること、(2)液体が負に帯電しているばあいは光条が主放電路空間の¼～⅓までのび、その先で枝分れをし、時には液面まで達するばあいがあること、(3)液体が正に帯電しているばあいは、電極上にテーラコーン*7ができ、安定したコロナ放電がみられること、(4)液体が負に帯電しているばあいは、プロパン－空気混合気を着火させるこ

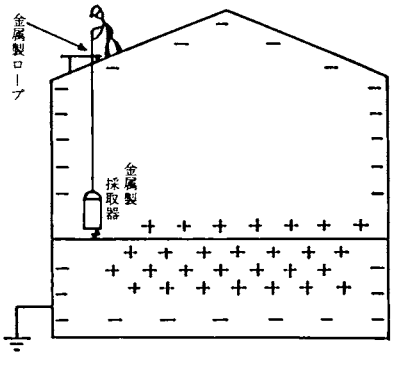


図7　タンク上からのサンプリング作業と油面からの放電

※7）ストリーマ火花放電は比較的電極間ギャップが長い（pdの大きい）範囲で発生する火花放電で、電子の再生増幅が電子なだれの前方で光電離によって行われ、放電が進行するとされている。これに対して電極間ギャップの短い範囲の放電発生機構は、初電子なだれで発生した正イオンなどが(－)電極に衝突し、そのγ作用で新たな電子が再生増幅されると考えられており、この放電をタウンゼント火花放電と呼んでいる。

※8）帯電した液面上の電極の表面には電気力によって液体のミストが付着し、特殊な形状の膜面を形成する。これをテーラコーンと呼ぶ。

とができたが、正に帯電したばあいは、どのようなときにも着火爆発を起こすことができなかったこと、などが挙げられている。[14]

また、Johnsonの実験ではヘキサン蒸気と空気の混合気を着火させるのに、油面電位60kVで0.085μCの電荷を必要としたとしている。また、別の同様の実験ではプロパンと空気の混合気を着火させるのに約3mJのエネルギを要したと報告している。[15]図8は**着火におよぼす球の直径と油面電位の関係**を示している。[16]すなわち、この実験では油面電位が約60kVで着火爆発が起こることになる。

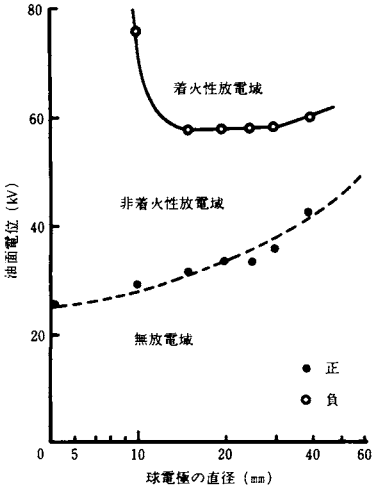


図8　着火におよぼす球電極の直径と油面電位の関係[15]

3.3　沿面放電

異種の誘電体が相接する境界面に沿って生じる放電を沿面放電という。※15気体中の固体絶縁物表面あるいは絶縁性液体表面に沿って生じる沿面放電は多くの場合、本質的には気体の絶縁破壊現象であり、[17]固体や液体表面上の電界強度が大きいときに起こる。一般に発光を伴い、粉体を含むすべての可燃性混合気を着火させる能力をもっている。絶縁物自体の帯電による沿面放電は、電荷密度が極めて高く、2.4×10^{-8}C/cm^{2}以上とならねば起こらないことがわかっている。[3,18]藤岡らは、背後に密着平板電極の付いた厚さ2mmの塩化ビニールシートの表面を78n C/cm^{2}に帯電させ、そこに直径20mmの接地電極を近づけ沿面放電を起こさせて、アセトン蒸気と空気の混合気を着火させた。[19,20]

4．むすび

以上、可燃性混合気、最小着火エネルギおよび着火の危険性のある静電気放電について論じ、着火爆発の発生限界についても触れた。しかし、これらは条件の限られた場合の値であり、放電現象が確率論的機構を含んでいる現象であることなどから、さらに多くのデータの積み重ねが必要であろう。これらのデータを防災上の対策等に使用される場合はこの点に留意する必要がある。まだ多くの説明すべき事柄が残されていると思われるが、要点のみを記したのでご了承されたい。

5．参考文献

1）B. Lewis and G. von Elbe：Combustion, Flames and Explosions of Gases, lst ed, Academic, Press, New York（1951）
2）川崎正士：静電気学会誌、**7**，6，415（1983）
3）上田実，増田閃一，丸茂秀雄，村崎憲雄，渡辺彰：静電気の基礎，朝倉書店，p. 155（1971）
4）静電気学会編：静電気ハンドブック，オーム社（1981）
5）W. Roth, P. G. Guest, G. von Elbe and B. Lewis：J. Chem. Phys., **19**, 1530（1951）
6）E. Meyer：Ann. Phys., **58**, 297（1919）
7）E. Heidelberg：Arch. Elektrotech., **44**, 116（1959）
8）E. Heidelberg：PTB-Mitt., **1**, 27（1964）
9）E. Heidelberg：Jahrbuch der plastischen Massen,10, (Berlin：Verlag Pansegrau), in the press.
10）川崎正士，松原美之：安全工学，**18**, 284（1979）
11）自治省消防庁消防研究所静電気研究推進連絡会：静電気帯電の災害防止技術に関する調査研究総合報告書，p. 150（1980）
12）浅野和俊，H. Krämer, G. Schön：静電気学会誌，**1**，114（1977）
13）浅野和俊：静電気学会誌，**1**，58（1977）
14）I. G. Haig, A. W. Bright：3rd Int. Congress on Static Electricity, Grenoble, p. 139（1977）
15）J. K. Johnson：J. Electrostat., **4**，53（1977）
16）H. Krämer and K. Asano：J. Electrostat., **6**，361（1979）
17）電気学会編：放電ハンドブック，電気学会，p. 222（1978）
18）E. Heidelberg：Proceeding of lst International Conference on Static Electricity, p. 351（1970）
19）藤岡清悟，藤井陽三，中塚木代春，沢栗安美，増田閃一：静電気学会誌，**2**，52（1978）
20）藤岡清悟，藤井陽三，中塚木代春，沢栗安美，増田閃一：静電気学会誌，**3**，160（1979）

※9）固体中あるいは液体中で生ずる沿面放電もあるが、ここでは着火、爆発に関係のある気中沿面放電についてふれた。

静電場の計算方法について

松原　美之

静電気に関連した分野においては、放電の可能性の有無を判断する場合を始めとして、帯電した物体が周辺に形成する静電場の様子を知ることが必要となることが多い。

静電場を求める方法としては、静電場が満たすべきラプラスの方程式等を解析的に解く方法、電子計算機を使用して数値的に値を求める方法等があり、解くべき問題の性質に応じた方法をとることが大切である。

本稿では、静電場を求める方法の概要、各方法の特徴について説明し、いくつかの計算方法については、実際の計算例をもとに、より具体的に紹介する。

1．はじめに

石油類の移し替え作業中に出火した事例等において、静電気の蓄積による放電が着火源の候補としてあげられることがある。この際に、静電気が真に着火源となり得たか否かを判断するためには、その手掛かりとして着火性の放電を起こすために必要とされる静電気の蓄積量について知らなければならない。

一方、実験によって静電気の発生および蓄積状況を測定しようとする場合には、直接測定が可能な量である電圧若しくは電界強度と電荷量との関係を把握する必要がある。

こうした場合、一般の電気的な問題であれば、一定電圧の電源を接続したり、電圧計若しくは電流計を使用することによって解決が得られるのであるが、静電気の場合はさほど問題が簡単では無くなってくる。

通常、静電気現象においては、字のごとく電気が静的であり動かないために、測定に際して蓄積電荷量が一定値に保存される。このため直接測定が可能な量である電圧や電界強度の方が、測定器の接近等により影響を受け、真の値を直接測定により求めることが不可能となることが多い。こうしたことから、静電気現象に関連して蓄積電荷量あるいは帯電物体の電位を測定しようとする場合には以下のいずれかの方法をとることが必要となる。すなわち、電荷量への換算が容易となるよう測定系の幾何学的配置等を工夫して測定を行うか、若しくは与えられた装置等の配置条件の下での電荷量と静電場との関係を別途求めておくかのいずれかである。

前者の例としては、単純な形状の電極の内部に帯電物体を持ち込んで測定を行う、いわゆるファラデーケージによる方法がある。しかし、現実の測定を実施する際には測定対象が移動不可能な場合も多く、また、帯電量のみでなく放電の可能性についても同時に知りたい場合を考慮すると、後者の方法をとる必要のあることが多い。したがって、種々の条件下での静電場の計算を実施する必要性が生じてくる。

2．静電場計算法の種類及び特徴

帯電物体がその周辺に形成する静電場が満たすべき式については、電磁気学の分野でラプラス・ポアソンの式として古くから知られている。すなわち、電位をΦで表わしたとき、下記の式(1)で表わされる。

$$\Delta^2\Phi=-\rho/\varepsilon \qquad (1)$$

ここに、Δ：微分演算子ナブラ

ρ：体積電荷密度　　ε：誘電率

ラプラス・ポアソンの式は、式としては極めて単純な形で与えられているが、実際に式(1)から静電場を求めることはなかなか困難な作業である。そのため、その時々の問題の性質に合わせて種々の解法を選択して使用しなければならない。

静電場を計算する方法を大きく分類すると、解析的方法、数値計算的方法、その他の方法の3種類に分けられる[1)]。

解析的方法とは、与えられた境界条件を満足する関数が、ラプラス・ポアソンの式の数学的に厳密な解として求められる場合に、その関数を用いて静電場の計算を行う方法である。最も単純な例は、無限に大きな空間内に電荷量qの点電荷が置かれた場合であり、この時、その点電荷から距離r離れた場所での電位は

$\Phi(r)=(1/4\pi\varepsilon)\cdot q/r$で求められる。

解析的方法は、解を求める際の数学的な手法によって、さらに変数分離法、電気映像法、座標変換法、等角写像法等に細分される[2)]。現実の問題を解く場合には、これらの各手法を適宜選択し、組合せて解を求めることとなる。解析的方法は、与えられた問題に対する数学的な解が存在する場合に限って適用可能な解法である。

次に、数値計算的方法について触れる。数値計算的な方法は、本来は空間での位置に関して連続的な関数である静電場を、とびとびの位置での静電場の値で代表させる等の方法で近似させる、離散化という操作を行うことがその基本となっている。数値計算的方法は、静電場を計算する領域を分割するか、あるいはその領域を囲む境界を分割するかの違いによって、まず領域分割法と境界分割法との2つの分類できる[3)]。

領域分割法は、静電場を求める必要のある空間の領域を分割して、各分割部分のとびとびの位置での静電場の値によって、真の静電場の値を近似させる方法である。一方の、境界分割法は静電場を求める必要のある空間を囲む境界を分割し、その分割した境界部分に領域内部での静電場を近似するのに適切な電荷をとびとびに配置する方法である。

この分割法の相違から、領域分割法では無限に広い空間（いわゆる、開空間）での静電場計算を苦手とし、また、境界分割法は空間部分に電荷が分布している場合の静電場計算は特殊な場合を除き不可能である等の、両計算法の特色が出てくる。

領域分割法をさらに分類すると、差分法と有限要素法に分けることができる。差分法では、計算の対象となる空間部分を格子状に分割し、式(1)に含まれている微分演算を、その格子点での電位間の数値微分（引き算）におきかえることにより、ラプラス・ポアソンの式を格子点での電位についての連立一次方程式の形に変換する。一方、有限要素法では、まず計算の対象となる空間を有限個の簡単な形状の要素に分割し、各要素の内部での電位分布を位置の一次関数等の単純な関数で近似する。その後、静電場が全体として最も良い近似となるよう各要素内での近似関数の係数を決定していく。これらの過程を通じて、有限要素法においても，ラプラス・ポアソンの式が、近似関数の係数に関する連立一次方程式に変換される。

以上述べたように、差分法及び有限要素法のいずれの方法においても、位置に関する連続な関数である電位についての微分方程式を、とびとびの位置での電位等についての連立一次方程式の形におきかえて、その連立方程式を解く手順をとっている。両者の比較では、有限要素法は差分法に比べて連立方程式を作る過程が複雑であり、その点では差分法が有利である。一方、空間の分割方法をより自由に選べる点、計算精度の向上が容易である点で有限要素法が有利となっている。

境界分割法についても、さらに代用電荷法と表面電荷法とに細分できる。

代用電荷法は電荷重畳法とも呼ばれている方法である。比較的簡単な形状に電荷を仮想的に配置し、それらの電荷による静電場の重ねあわせで実際の静電場を近似させる方法である。この方法では、仮想される各電荷量を未知数とする連立一次方程式がまず導かれる。この方程式を解いて各仮想電荷量を求め、この値から空間内の各位置での電位を計算する。

一方、表面電荷法では、計算対象となる空間の境異上に、面状に分布した電荷を仮想的に配置し、それらの電荷により形成される静電場が、与えられた境界条件を満足する様に電荷量を調節する。表面電荷法と代用電荷法との相異は、代用電荷法においては、解析的な解が求まる形状に配置した電荷による静電場の重ねあわせで静電場を近似するのに対して、表面電荷法では、面状に分布した電荷により形成される静電場をまず数値積分により求める必要があることである。

以上、解析的方法と数値計算的方法について述べてきたが、ここで両方法の長所・短所をまとめてみたい。

解析的方法は、理論上は与えられた問題に対する厳密な解であり、したがって、精度の面で有利な方法となる筈である。しかし、その値を求めるためには、ベッセル関数を始めとする特殊な関数の計算や無限級数の計算等、数値計算によらざるを得ない計算が必要なことが多い。そのため、精度的にも計算の複雑さの点でも必ずしも数値計算的な方法に対して有利であるとは言えない。さらに、解析的に解が得られている問題の範囲が極めて限定されていることもあって、実際の静電場を求める方法としては、数値計算的な方法がより実用的である。

最後に、その他の方法であるが、これには電気的回路による静電場のシミュレータ、電解質液内に電流を流すことにより電流界で静電場を模擬するフィールドマッピング等のアナログ的な方法が含まれる。これらのアナログ的な方法は、計算精度の点で劣ること等から、数値計算的方法が発達するにつれて徐々に使用されるケースが減少している。

静電場計算法の分類について**表1**に、各計算法の適用可能範囲、特徴等について**表2**にそれぞれ示す。

表1　静電場計算法の分類

- 解析的方法
  - 変数分離法
  - 電気影像法
  - 座標変換法
  - 等角写像法
- 数値計算的方法
  - 領域分割法
    - 差分法
    - 有限要素法
  - 境界分割法
    - 代用電荷法
    - 表面電荷法
- その他の方法　アナログ法(フィールドマッピング)　等

3．静電場計算方法の具体例

3.1　解析的方法

図1の様に、一様に帯電した油が縦置き円筒型タンクに貯蔵されている場合にタンク内部に形成される静電場については、解析的な解が求められている[4)]。解法の詳細は文献4)によることとして、ここではその解のみを示す。すなわち、半径a、油層の高さb、空気層の高さcのタンク内部の点$P(r,z)$での電位及び電界強度は、点Pが空気層の部分にある場合と、油層部分にある場合についてそれぞれ以下の式で与えられる。

○Pが空気層にある場合

$$\begin{cases} \text{電位} & \Phi_{(r,z)}=\sum_{n=1}^{\infty} A_n\cdot J_0(q_n\cdot r)\cdot\sinh[q_n\cdot(b+c-z)] \\ \text{電界強度} & \vec{E}_{(r,z)}=\vec{e}_r\cdot\sum_{n=1}^{\infty} A_n\cdot q_n\cdot J_1(q_n\cdot r)\cdot\sinh[q_n\cdot(b+c-z)] \\ & \quad +\vec{e}_z\cdot\sum_{n=1}^{\infty} A_n\cdot q_n\cdot J_0(q_n\cdot r)\cdot\cosh[q_n\cdot(b+c-z)] \end{cases}$$

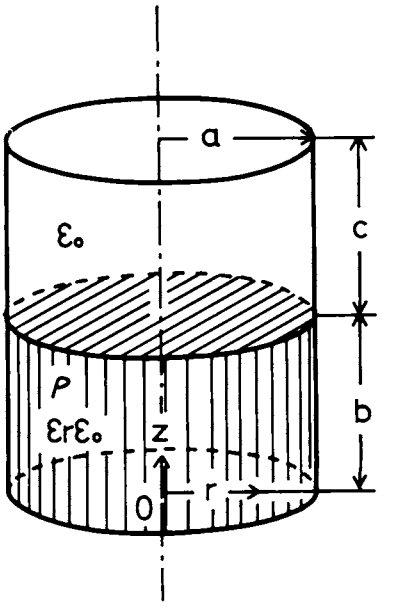


図1　計算対象とした縦置円筒型タンクのモデル

○Pが油層にある場合

$$\begin{cases} \text{電位} & \Phi_{(r,z)}=\sum_{n=1}^{\infty} J_0(q_n\cdot r)\left\{C_n\cdot\sinh(q_n\cdot z)+\frac{G_n}{q_n^2}[\cosh(q_n\cdot z)-1]\right\} \\ \text{電界強度} & \vec{E}_{(r,z)}=\vec{e}_r\cdot\sum_{n=1}^{\infty} q_n\cdot J_1(q_n\cdot r)\left\{C_n\cdot\sinh(q_n\cdot z)+\frac{G_n}{q_n^2}\right. \\ & \quad \left.[\cosh(q_n\cdot z)-1]\right\}-\vec{e}_z\sum_{n=1}^{\infty} q_n\cdot J_0(q_n\cdot r)[C_n\cdot \\ & \quad \cosh(q_n\cdot z)+\frac{G_n}{q_n^2}\cdot\sinh(q_n\cdot z)] \end{cases}$$

ここで、$\vec{e}_r$, $\vec{e}_z$はそれぞれr方向及びz方向の単位ベクトル、J_0, J_1はそれぞれ0次及び1次のベッセル関数である。q_nは$J_0(q_n\cdot a)=0$を満たす小さい方から第n番目の値である。

なお、上式中のA_n, C_n, G_nについては以下の式で与えられる。

表2　各種静電場計算方法の特徴

	解析的方法	数値計算的方法			
		領域分割法		境界分割法	
		差分法	有限要素法	代用電荷法	表面分割法
適用範囲	ごく限られた場合に対してのみ適用可能	空間電荷の存在する場合を含めて、かなり一般的な計算に適用可能		特殊な例を除き、空間電荷の存在する問題(ポアソンの方程式)には適用不可能。形状的には、かなり一般的な場合に対応できる。	
計算精度	原理的には、無限に良い精度が得られる。 実際的には、特殊関数の計算等の際の精度による。	メッシュの細かさに依存 電界強度計算の精度は良くない。	同左 (差分法に比較して精度向上は容易)	電界強度計算の精度は高い	
				平板上の電極形状で精度が落ちる。	
その他	電位を求めるべき点が少ない時には、高速である。 数値計算の妥当性チェックに使用される。	開空間での計算については、特殊な工夫を要する。		開空間での計算が容易である。	

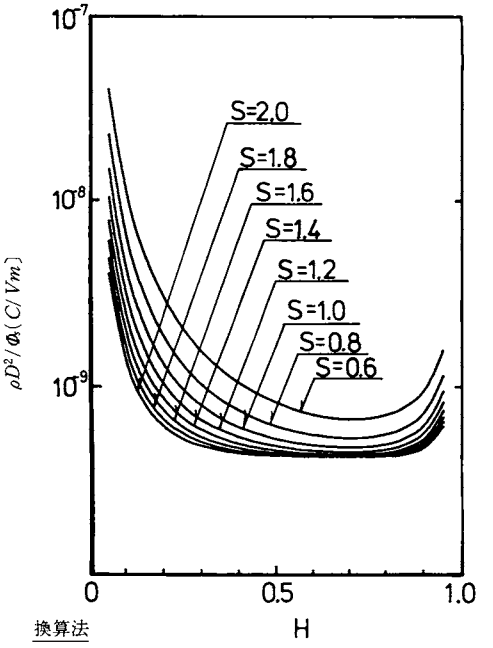
$$\begin{cases} A_n = \dfrac{-\varepsilon_r \cdot G_n \cdot [\cosh(q_n \cdot b) - 1]}{q_n^2[\cosh(q_n \cdot c) \cdot \sinh(q_n \cdot b) + \varepsilon_r \cdot \sinh(q_n \cdot c) \cdot \cosh(q_n \cdot b)]} \\ C_n = \dfrac{-G_n \cdot [\cosh(q_n \cdot c) \cdot \cosh(q_n \cdot b) + \varepsilon_r \cdot \sinh(q_n \cdot b) \cdot \sinh(q_n \cdot c) - \cosh(q_n \cdot c)]}{q_n^2[\cosh(q_n \cdot c) \cdot \sinh(q_n \cdot b) + \varepsilon_r \cdot \sinh(q_n \cdot c) - \cosh(q_n \cdot b)]} \\ G_n = -\dfrac{2 \cdot \rho}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot a \cdot q_n \cdot J_1(q_n \cdot a)} \end{cases}$$

ここで、ρは油中電荷密度、ε_0は真空の誘電率。

以上の計算を実行する場合、式中の無限級数の計算を実際には有限個の項までで打ち切ることが必要となる。我々の計算の経験からは概ね、この級数は第100項までの計算で十分に収束すると見て良いようである。参考として、**表3**に、式中で使用する0次ベッセル関数J_0の零点X_n、及びその時の1次ベッセル関数$J_1(X_n)$の値をあげる。

表3　ベッセル関数$J_0(x)$の零点と、そのxに対応する$J_1(x)$の値

n	X_n	$J_1(x_n)$	n	X_n	$J_1(x_n)$
1	2.4048	.5191	51	159.4366	.06319
2	5.5201	−.34026	52	162.5782	−.06258
3	8.6537	.27145	53	165.7198	.06198
4	11.7915	−.23246	54	168.8613	−.06140
5	14.9309	.20655	55	172.0029	.06084
6	18.0711	−.18773	56	175.1445	−.06029
7	21.2116	.17327	57	178.2861	.05976
8	24.3525	−.16170	58	181.4277	−.05924
9	27.4935	.15218	59	184.5692	.05873
10	30.6346	−.14417	60	187.7108	−.05824
11	33.7758	.13730	61	190.8524	.05776
12	36.9171	−.13132	62	193.9940	−.05729
13	40.0584	.12607	63	197.1356	.05683
14	43.1998	−.12140	64	200.2772	−.05638
15	46.3412	.11721	65	203.4187	.05594
16	49.4826	−.11343	66	206.5603	−.05552
17	52.6241	.10999	67	209.7019	.05510
18	55.7855	−.10685	68	212.8435	−.05469
19	58.9370	.10396	69	215.9851	.05429
20	62.0485	−.10129	70	219.1267	−.05390
21	65.1900	.09882	71	222.2682	.05352
22	68.3315	−.09652	72	225.4098	−.05314
23	71.4730	.09438	73	228.5514	.05278
24	74.6145	−.09237	74	231.6930	−.05242
25	77.7560	.09049	75	234.8346	.05207
26	80.8976	−.08871	76	237.9762	−.05172
27	84.0391	.08704	77	241.1178	.05138
28	87.1806	−.08545	78	244.2593	−.05105
29	90.3222	.08395	79	247.4009	.05073
30	93.4637	−.08253	80	250.5425	−.05041
31	96.6053	.08118	81	253.6841	.05009
32	99.7468	−.07989	82	256.8257	−.04979
33	102.8884	.07866	83	259.9673	.04949
34	106.0299	−.07749	84	263.1089	−.04919
35	109.1715	.07636	85	266.2504	.04890
36	112.3131	−.07529	86	269.3920	−.04861
37	115.4546	.07426	87	272.5336	.04833
38	118.5962	−.07327	88	275.6752	−.04806
39	121.7377	.07232	89	278.8168	.04778
40	124.8793	−.07140	90	281.9584	−.04752
41	128.0209	.07052	91	285.1000	.04725
42	131.1624	−.06967	92	288.2416	−.04700
43	134.3040	.06885	93	291.3831	.04674
44	137.4456	−.06806	94	294.5247	−.04649
45	140.5872	.06729	95	297.6663	.04625
46	143.7287	−.06655	96	300.8079	−.04600
47	146.8703	.06584	97	303.9495	.04577
48	150.0119	−.06514	98	307.0911	−.04553
49	153.1535	.06447	99	310.2327	.04530
50	156.2950	−.06382	100	313.3743	−.04507



$D=2$ m, $S=1.0$, $H=0.2$, $\rho=10^{-6}$ C/m³とした時
図より$\rho D^2/\Phi_s=10^{-9}$であるから、$\Phi_s=\rho \cdot D^2 \cdot 10^9$
となり$\Phi_s=10^{-6}\times 2^2\times 10^9=4\times 10^3$（ボルト）となる。

図2　油面での電位（Φ_s）とタンク形状の関係

ラプラス・ポアソンの式の数学的な性質から、幾何学的に相似な形状のタンクにおいて、相対的に同一位置となる点での電位Φ及び電界強度Eは、タンク直径をDとした場合、それぞれ$D^2\times\rho$，$D\times\rho$に比例する。したがって、直径が一定な種々の形状のタンクに対して、$\rho D^2/\Phi$若しくは$\rho D/E$をあらかじめ求めておけば、任意の大きさ、形状のタンクでの値に容易に換算できる。

そうした趣旨から、油面電位Φ_sについて、$\rho D^2/\Phi_s$とタンクの縦横比及び油の充填率との関係を求めたものを**図2**に示す。また、同様に、タンク天井中心部での電界強度E_cについて、$\rho D/E_c$とタンクの縦横比及び油の充填率との関係を求めたものを**図3**に示す。なお、上述の任意の大きさのタンクに対する換算等の方法については図2中に例を示す。

3.2　差分法

差分法においては、位置の連続的な関数である静電場を、格子点上でのとびとびの位置での電位で近似する。そこで、ラプラス・ポアソンの式での微分演算を差分におきかえ、格子点上でのとびとびの位置での電位間の連立一次方程式に変換する方法についてまず説明する。

軸対称な円筒座標系におけるラプラス・ポアソンの

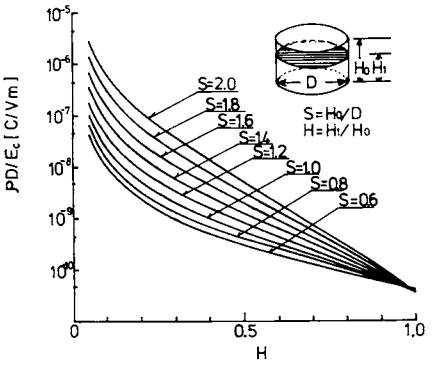


図3　タンク天井面中央における電界強度(E_c)とタンク形状の関係

式は、以下で表わされる。

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\Phi}{\partial r}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}=-\frac{\rho}{\varepsilon} \tag{2}$$

計算対象となる$r-z$平面を幅h_1, h_2の長方形の格子に分割し、その格子点での電位により表わされる以下の差分式で式(2)中の微分項を近似する。

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2}=\frac{\Phi_{(r+h_1,z)}+\Phi_{(r-h_1,z)}-2\cdot\Phi_{(r,z)}}{h_1{}^2} \tag{3}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial r}=\frac{\Phi_{(r+h_1,z)}-\Phi_{(r-h_1,z)}}{2\cdot h_1} \tag{4}$$

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}=\frac{\Phi_{(r,z+h_2)}+\Phi_{r,z-h_2)}-2\cdot\Phi_{(r,z)}}{h_2{}^2} \tag{5}$$

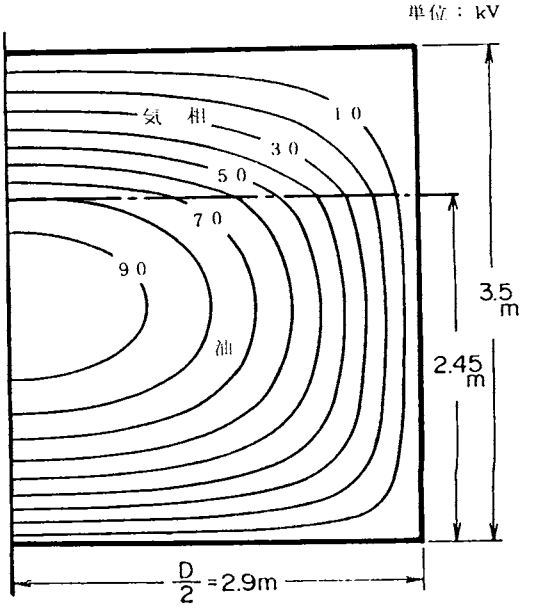
式(3)～(5)を式(2)に代入することにより、ある格子点の電位と、その点を取り巻く格子点電位との間の関係式が一次式の形で与えられる[5),6)]。

さて、一様に帯電した油が貯蔵された縦置き円筒型タンク内部での電位分布を、差分法により求めた結果を**図4**に示す。図中(a)は内部がなめらかな場合の計算例であり、(b)は天井から接地された金属棒が突起している場合の計算例である。(a)の形状については、3.1でも例をあげたように、解析的に電位分布を求めることも可能であるが、(b)については、解析的方法によっては解けないケースである。

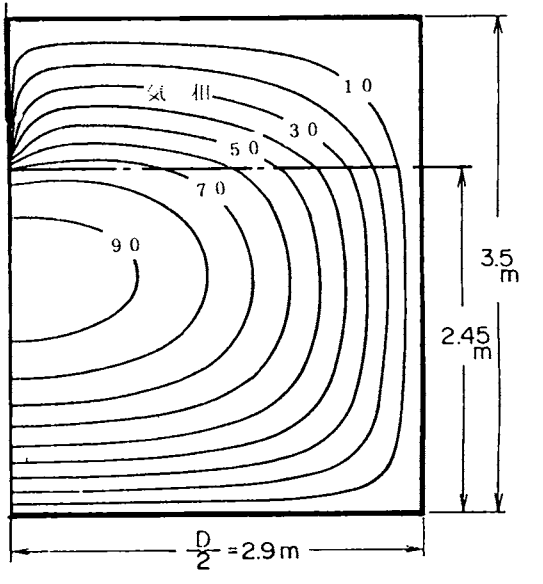
差分法による静電場の計算は、計算機の記憶容量さえ許せば、3次元的な問題についても全く同様の方法で計算を実施することができる。

図5は、防波板等の金属構造物が存在する横置き楕円筒型タンク内部に帯電油が貯蔵されている場合に形成される、3次元的な静電場を差分法を使用して計算した例である。

さて、これまでに紹介した差分法の計算例においては、いずれも計算対象とする領域に置かれた金属は接地されたものに限られており、金属の電位を零と与えることができた。しかし、計算対象領域の内部に、接地されていない金属が置かれた場合には、その電位を零として計算することができない。そのため、こうした場合には式(1)のラプラス・ポアソンの他に、周辺の静電場により金属内部に誘導される電荷の影響を考慮する必要があり、以下に示すガウスの式を合わせて取



(a)内部に突起物の存在しない円筒型タンクの場合



(b)タンク中心軸上の天井から接地された、金属棒が突起している場合

図4　帯電した油が貯蔵された縦置き円筒型タンク内部の電位分布の計算結果の例（円筒型タンクであるので、中心軸から右半分の断面を示す。）

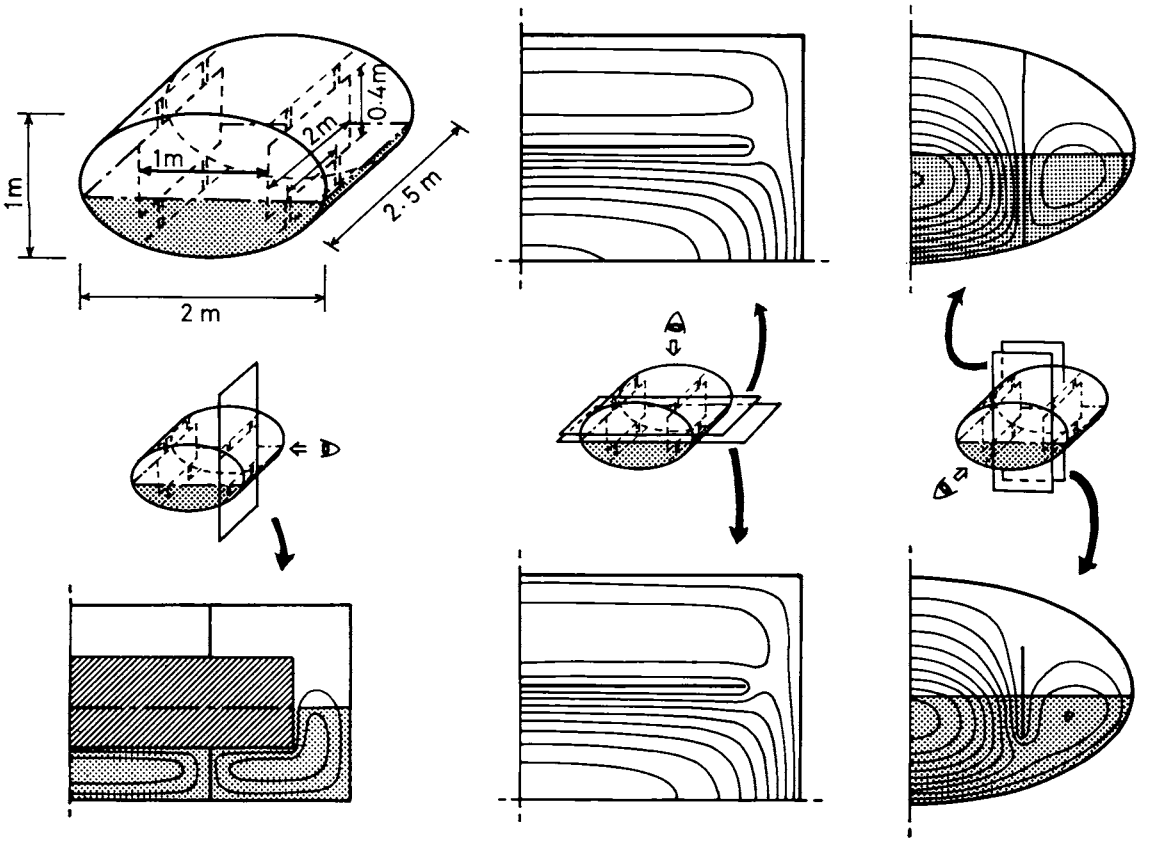


図5　内部に接地された金属板が設けられている、横置き楕円筒型タンク内部の電位分布（3次元）の計算結果の例

り扱うことが必要となる[1),7)]。

$$\oint E_n\, dS = Q/\varepsilon \tag{6}$$

ここで、E_nは金属表面での電束密度、Qは金属の保有する真電荷量である。

さて、式(6)は金属の形状が単純な場合については、式中の積分を数値計算におきかえることにより、金属の電位と金属周辺の格子点の電位との間に単純な関係式を求めることが可能である[7)]。その場合の静電場計算のフローを**図6**に、また、一端がコーン状である円筒型の非接地金属が平等電界中に置かれた場合の電位分布についての計算例を**図7**に示す。図中(a)は金属の真電荷量が0の場合を、(b)は金属の真電荷量が1×10^{-9} Cの場合をそれぞれ示している。

3.3　代用電荷法

静電場の計算においては、計算の対象とする領域が開空間である場合も多いが、この種の問題に対しては差分法等の領域分割法よりも、代用電荷法等の境界分割法の方がより適していることは前章2で述べた通りである。

ここでは、1kVの電圧を印加した円板状の電極が大地等の無限に大きな接地平板電極に対向して配置されている場合の電位分布を、代用電荷法で求めた例について紹介する。

与えられた電極により形成される静電場を近似させる目的で、**図8**に示す位置にリング状の電荷を置き、さらに、接地電極による電気的映像に対応したイメージ電荷を配置した[5)]。

それぞれのリング状電荷の電荷量をQ_1, Q_2,……Q_nと仮定すると、空間内部の点$P_{(x,y,z)}$での電位は、各リング状電荷による電位の和となることから、

$$\Phi_{(x,y,z)} = \sum_{n=1}^{N} K_{n(x,y,z)} \cdot Q_n \tag{7}$$

ここで、$K_{n(x,y,z)}$は第n番目のリング電荷についての電位係数である。

となる。

金属上の電位は場所によらず1kVと一定であるという前提があることから、金属上のN個の点でも$\Phi=1$kV

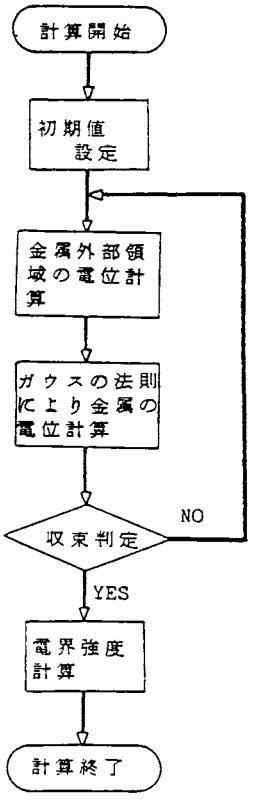


図6　非接地金属が存在する条件での静電場を差分法により計算する際のフロー図

を満足する必要がある。このことから、以下の、Q_n についてのN個の方程式が得られる。

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{N} K_{n(x_1, y_1, z_1)} \cdot Q_n = 1 \\ \vdots \\ \sum_{n=1}^{N} K_{n(x_N, y_N, z_N)} \cdot Q_n = 1 \end{cases} \tag{8}$$

式(8)を解くことにより、N個のリング状電荷の値が定まる。**図8**中に、輪郭点と記した点は、上述の手順において、電位を一定とする点の配置の例である。

以上の手順により、Q_nを求め、さらに式(7)に代入することにより、円板電極の形成する静電場を求めることができる。**図9**に計算結果の例を示す。

4．おわりに

静電場の計算方法の全体像及びいくつかの具体的計算例について紹介した。今回紹介した計算例で使用したプログラムは、3次元での計算例を除き、いずれも64キロバイト以下の大きさであり、必要な計算時間の

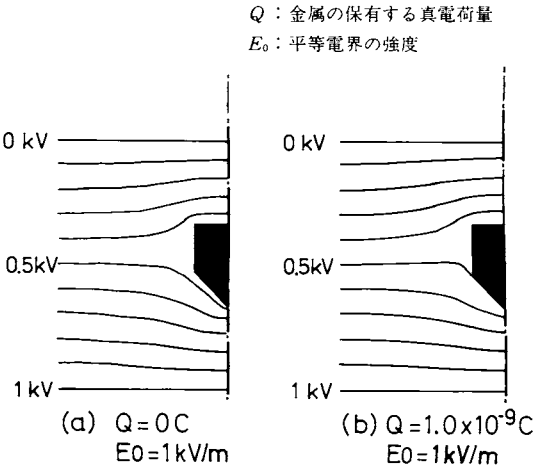


図7　平等電界中に置かれた非接地の金属製回転体周辺の電位分布計算結果の例

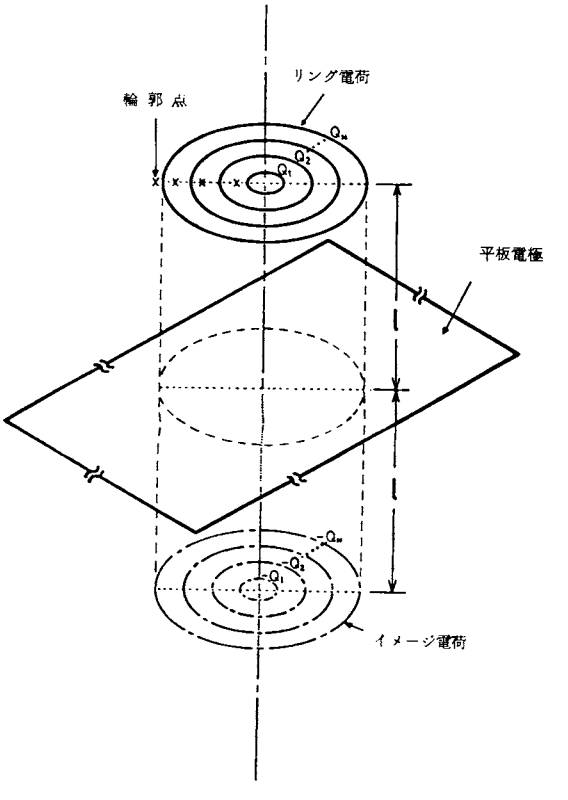


図8　電圧を印加された円板電極が平板電極に対向して配置された場合の静電場を、代用電荷法で計算する際に用いた仮想的なリング状電荷の配置の例

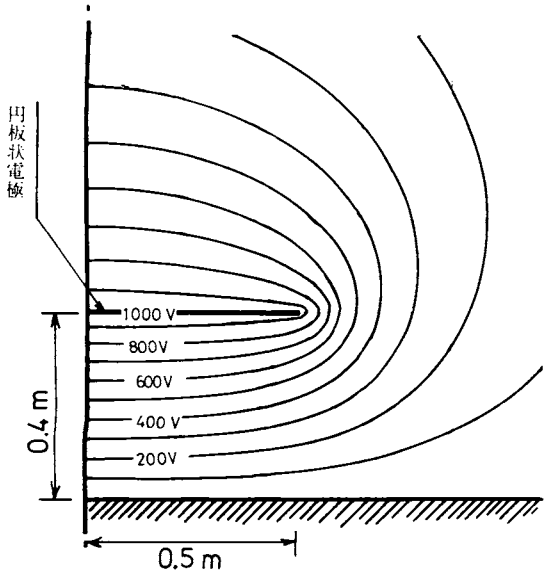


図 9　電圧を印加された円板電極が平板電極に対向して配置された場合の静電場の計算結果の例

点からも十分にパーソナルコンピュータにより実行が可能なものである。読者の皆さんが手許の計算機で計算を行うことも、可能であると考える。その場合において参考になればという観点から、本稿においては計算のうえで必要な数式については、極力記述することとした。

静電気の分野では、電荷の発生機構等の未解明な部分も多いが、こと静電場の計算に関しては高電圧工学の分野での精力的な研究のおかげもあって、かなり解明されていると言ってよいと思われる[1),3),8)]。

本稿が、静電気に関する現象の理解を増すうえで少しでもお役に立てば幸いである。

参考文献

1）河野照哉，宅間董：「数値電界計算法」，コロナ社（1980）
2）浅野和俊：静電気学会誌，8，2，79（1984）
3）宅間董：静電気学会誌，8，2，87（1984）
4）K. Asano：Proc. IEE，124，12，1277（1977）
5）消防研究所：「静電気帯電の災害防止技術に関する調査研究総合報告書」（1982）
6）浅野和俊：静電気学会誌，1，2，114（1977）
7）松原美之　他：静電気学会講演論文集，7，204（1983）
8）プリンツ：「電界計算法」，朝倉書店（1969）

簡易型火災警報器内部で発見された虫について

笹原　邦夫

1．はじめに

昭和57年11月18日、東京都板橋区にある上板橋小学校で、廊下で遊んでいた児童が突然降下してきた防火シャッターに首をはさまれ大けがをした。後の調査で、降下した防火シャッターと連動していた3台の煙感知器のうち2台の中から虫の死がいが発見され、この事故は煙感知器に虫が侵入したため発生したものと推定された。中から発見された2匹の虫は、体長約15㎜、幅5㎜のヨツボシクサカゲロウと、体長3㎜、幅1㎜のキイロヒメヨコバイであることが確認された。いずれも走光性をもった虫であった。煙感知器には防虫網が設置されていたが網をすり抜けて侵入したものと考えられた。[1)]

東京消防庁が昭和55年8月から1年間、管下 1,500の防火対象物に設置されていた262,152個の感知器を調査した報告[2)]によると、虫の侵入による非火災報の発生率は0.6%になっている。

ここでは、糸谷ら[3)]が一般住宅でモニター調査を実施していた簡易型火災警報器を利用し、警報器に侵入する虫の種類を調査するとともに、虫の警報器侵入防止策について検討を行ったので報告する。

2．モニター調査で発見された虫と非火災報

簡易型火災警報器は自動火災警報設備の感知器と受信機が一体となった構造になっており、電源として乾電池を内蔵している。

モニター調査に使用した簡易型火災警報器は、差動式、イオン化式、光電式の3種類あったが、虫の侵入による非火災報の影響を受け易いイオン化式と光電式に調査を限った。また、簡易型火災警報器は設置して1年以上経過したものを調査対象とした。

調査地域と調査台数を**表1**の中に示す。モニター調査の住宅環境は市街地だけでなく、近郊の林・田畑に囲まれた場所などさまざまであった。住宅内の設置箇所は、台所、居間、寝室、階段降り口などの天井である。

調査の結果、仙台、立川地域の簡易型火災警報器に虫の侵入し易い構造のものがあったため虫の発見された台数が多かった。調査台数に対し虫の発見された台数の割合は全体で29.1%となっている。大部分の虫は死がいで発見されたが、中には生きた虫が8匹同時に発見された例（立川地域1台）があった。この他、内部の防虫網付近や基板裏などから虫の巣が発見された例（京都地域5台）もあった。

モニター調査によると、簡易型火災警報器の非火災報発生要因の大部分は調理の煙等人為的なものであったが、虫の侵入によって非火災報が発生したものは4台で、虫が発見された警報器39台すべてではなかった。このことは、簡易型火災警報器が蓄積型であったため非火災報の発生が少なかったものと考えられる。

3．虫の分類

モニター調査していた簡易型火災警報器内部から発見された虫は、羽根を有したもの126匹とダニなど羽根のないもの5匹の合計131匹であった。虫が発見された簡易型火災警報器1台から平均3.4匹が発見されたことになる。また、最大13匹の虫が発見された。

発見された虫126匹を分類すると**表1**に示したように数多くの種類となった。

一番多くの種類と数が発見された虫は双翅目に属する虫で、中でも、ユスリカ科のChironomidae属、ヌカカ科のCeratopogonidae属の数が多かった。いくつかの虫の写真を**図1**に示す。

発見された虫の大部分は体長2～4㎜の虫であったが、最大の虫は体長10㎜、幅4㎜のクサカゲロウ科の一種で、最小の虫は体長1㎜、幅0.3㎜のユスリカ科の一種であった。

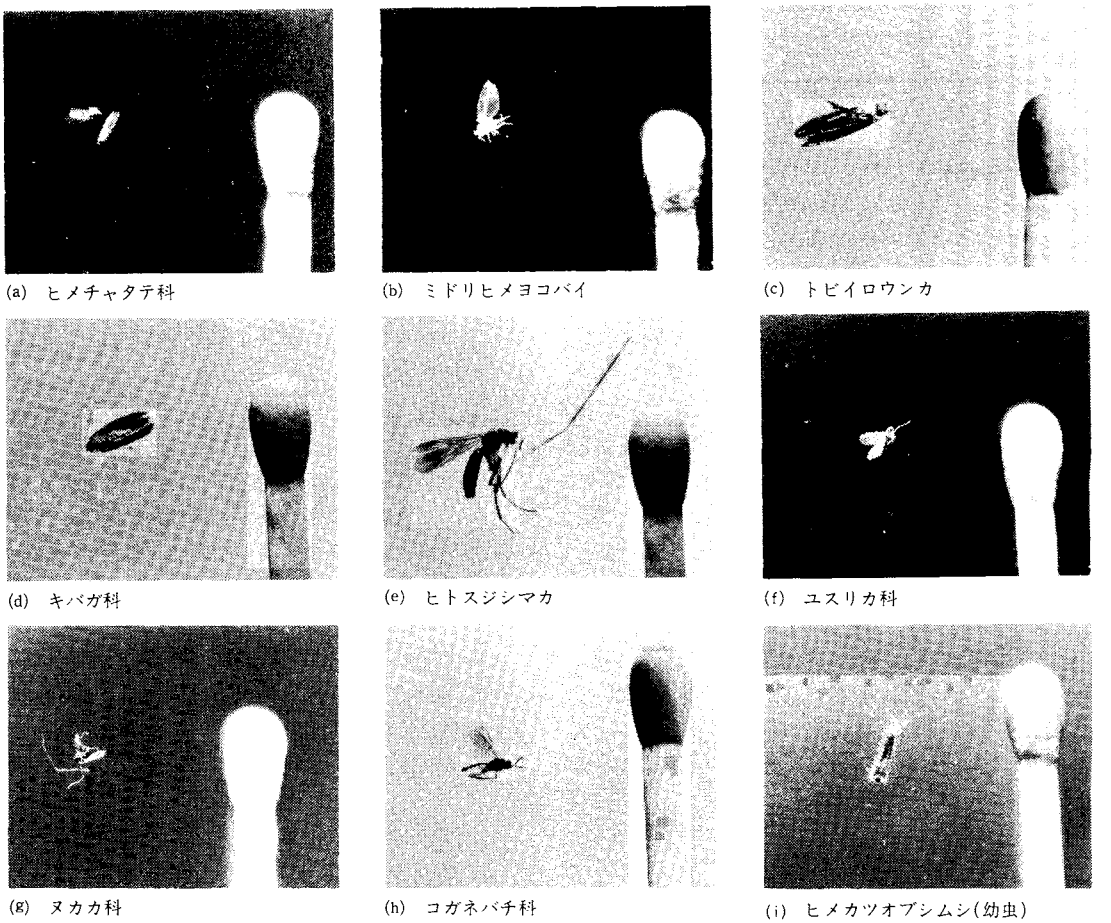
原色昆虫大図鑑[4)]や日本幼虫図鑑[5)]によると、これら発見された虫の大部分は日本全土に分布し、一般家庭で普通に見られる「屋内害虫」と呼ばれる虫であった。蚊の種類に属する虫は熱に敏感な性質をもっており、噛虫目、脈翅目、ウンカ科など多くの種類は灯火に飛来する性質をもっている。

4．提　　案

住宅環境によっては多種類の虫が飛来、侵入するので非火災報の発生を避けるためには簡易型火災警報器

表1　調査で発見された虫のうち羽根を有した虫(有翅亜綱)の分類

科　　目	種　　名	盛岡	仙台	立川	大津	京都
（噛　虫　目）						
コナチャタテ科	*Liposcelidae* sp.			1		
ケチャタテ科	*Caeciliidae* sp.			1		
ヒメチャタテ科	*Lachesillidae* sp.〔**写真a**〕			5		
（半　翅　目）						
ナガカメムシ科	*Lethaeus dallasi* S.（フタモンチャイロナガカメムシ）					1
グンバイムシ科	*Stephanitis pyrioides* S.（ツツジグンバイ）			2		
ヨコバイ科	*Macrosteles fasciifrons* S.（フタテンヨコバイ）		1			
アオズキンヨコバイ科	*Stragania stigmatica* M.（ホシアオズキンヨコバイ）				1	
ヒメヨコバイ科	*Typhlocyba akashiensis* T.（アカシヒメヨコバイ）			2		
〃	*Erythroneura mori* M.（チマダラヒメヨコバイ）			1		
〃	*Erythroneura limbata* M.（ヨツモンヒメヨコバイ）			1		
〃	*Chlorita flavescens* F.（ミドリヒメヨコバイ）〔**写真b**〕			2		
〃	*Cicadellidae* sp.			1		
ウンカ科	*Sogatella furcifera* H.（セジロウンカ）					2
〃	*Nilaparvata lugens* S.（トビイロウンカ）〔**写真c**〕			1		
（脈　翅　目）						
クサカゲロウ科	*Chrysopidae* sp.			1		
（(鱗　翅　目）						
キバガ科	*Gelechiidae* sp.〔**写真d**〕		1	10		
モグリガ科	*Lyonetiidae* sp.					1
（双　翅　目）						
カ　　科	*Aedes albopictus* S.（ヒトスジシマカ）〔**写真e**〕			2		
〃	*Aedes* sp.			1		
〃	*Culex pipiens pallens* C.（アカイエカ）			1		
ユスリカ科	*Chironomidae* sp.〔**写真f**〕	4	6	12	1	1
ガガンボダマシ科	*Trichoceridae* sp.		1			
タマバエ科	*Cecidomyiidae* sp.		2	8		1
ニセケバエ科	*Scatopse fuscipes* M.（ナガサキニセケバエ）			7		
チョウバエ科	*Psychodidae* sp.		3	5		
ヌカカ科	*Ceratopogonidae* sp.〔**写真g**〕	1	4	7		
キノコバエ科	*Mycetophilidae* sp.		3	3		
ミズアブ科	*Microchrysa flaviventris* W.（ハラキンミズアブ）			1		
ショウジョウバエ科	*Drosophila melanogaster* M.（キイロショウジョウバエ）			1		
〃	*Drosophilidae* sp.			1		1
ミギワバエ科	*Ephydridae* sp.			1		
イエバエ科	*Muscidae* sp.		1		1	
ニクバエ科	*Sarcophagidae* sp.			1		
（膜　翅　目）						
ヒメバチ科	*Ichneumonidae* sp.			1	1	
コマユバチ科	*Braconidae* sp.			1		
コガネバチ科	*Pteromalidae* sp.〔**写真h**〕			1	1	
トビコバチ科	*Encyrtidae* sp.			2		
（鞘　翅　目）						
カツオブシムシ科	*Attagenus japonicus* R.（ヒメカツオブシムシ（幼虫））〔**写真i**〕			1		
ゴミムシダマシ科	*Tribolium ferrngineum* H.（コクヌストモドキ）			1		
マメゾウムシ科	*Callosobruchus chinensis* L.（アズキゾウムシ）			1		
確認された虫体の総数		5	22	87	5	7
簡易型火災警報器の設置期間		57.3～59.2	57.6～59.3	58.5～59.6	57.5～58.7	57.2～60.3
調査した簡易型火災警報器の台数		7	12	51	6	58
虫の確認された台数		1	9	26	1	2



(a) ヒメチャタテ科　(b) ミドリヒメヨコバイ　(c) トビイロウンカ

(d) キバガ科　(e) ヒトスジシマカ　(f) ユスリカ科

(g) ヌカカ科　(h) コガネバチ科　(i) ヒメカツオブシムシ(幼虫)

〔参考〕マッチ棒の軸幅は2㎜である。

図1　簡易型火災警報器内部で発見された虫の写真

に虫の侵入防止対策が必要となる。今回の調査を踏まえて以下の対策が考えられる。

(1)　煙の流入口に防虫網を設ける

今回の調査で発見された虫の体長は2～4㎜のものが大部分であった。このことから、網目の小さい防虫網を煙の流入口に設ければ成虫の侵入防止効果を充分期待できる。網目の大きさは目開き0.3㎜なら90%以上の侵入を防止できる。しかし、網目を小さくするとほこり等が付着し易く煙の流入が阻害され失報につながる恐れがある。網目の大きさを決定するにはこの相反する問題を考慮する必要がある。

(2)　煙の流入口以外は密閉する

侵入した虫の大きさと実際に使用されている防虫網の目開きとを比較すると大部分の虫は飛びながら侵入するのでなく、一度簡易型火災警報器表面に止まり、羽根を閉じて体を小さくした後這って侵入するものと考えられる。**図2**に示したような構造の簡易型火災警報器の場合、内部に入った虫は検出部の周囲に防虫網を設けても網と基板の隙間から検出部に侵入し易い。また、防虫網付近や電子回路付近に巣をつくり、ふ化した小さい幼虫は防虫網を楽にくぐり抜け検出部にまで侵入できる。

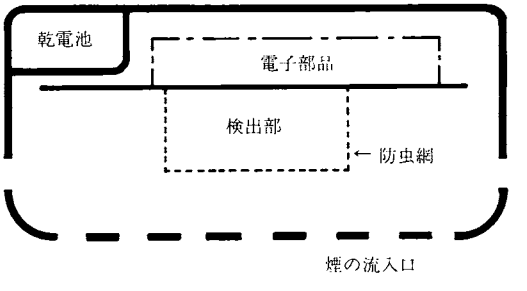


図2　簡易型火災警報器の構造（概略図）
現在使用されているものの一例を示す。

図3に示すように簡易型火災警報器は煙の流入口以

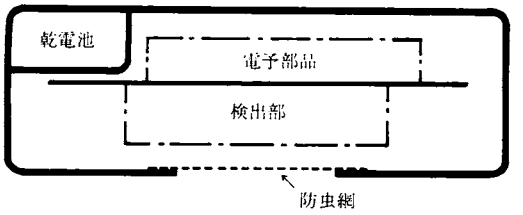


図3　簡易型火災警報器の構造（概略図）
虫の侵入防止策をとりいれた一例を示す。

外密閉する構造にし、防虫網で煙の流入口を完全に覆って虫が巣をつくる環境を与えないことが望ましい。

調査時、約半数の簡易型火災警報器から虫が発見された立川地域の警報器に対して煙の流入口を目開き1㎜の防虫網で完全に隙間無く覆い、流入口以外の開口部を密閉してモニター調査を続行したところ、一年後の調査時には、虫が発見された警報器は一台もなかった。

(3)　光が外部に漏れない構造にする

モニター調査の簡易型火災警報器の中で発見された虫の大部分は灯火に誘われて飛来する走光性の虫であった。光電式警報器の光源に誘われて飛来する虫もいると考えられる。これを避けるために光が外に漏れないような構造にする必要がある。

5．おわりに

虫の侵入による感知器の非火災報・誤動作の防止対策をさぐるため簡易型火災警報器内部に侵入していた虫について調査を行い、その結果を踏まえて対策を考えた。更に対策の一部を実施、その効果を確かめた。

今回、虫の種の同定に関しては国立科学博物館動物研究部、黒沢良彦部長、友国雅章の両氏をわずらわした。また、通報設備研究室竹元昭夫技官、関沢愛主任研究官には虫の採取に関して協力していただいた。ここに感謝の意を表します。

文献・参考資料

1）東京新聞：昭和57年12月9日付け夕刊記事(8面)
2）自動火災報知設備の非火災報対策に関する報告書　昭和58年3月　防火管理体制研究委員会
3）糸谷成章、竹元昭夫、関沢愛：簡易型火災警報器のモニターに対するアンケート調査（その1　非火災報の発生状況)、日本火災学会研究発表会概要集 p.1　昭和57年5月
4）原色昆虫大百科図鑑Ⅰ、Ⅲ　北隆館
5）日本幼虫図鑑　北隆館

複数地域における延焼情報及び消防活動情報の同時表示方式の開発

佐々木弘明*・寒河江幸平**

1．はじめに

消防研究所は、建設省建築研究所、科学技術庁防災科学技術センター、厚生省薬務局と協力し、科学技術庁の科学技術振興調整費による「首都圏における直下型地震の予知及び総合防災システムに関する研究」中の研究項目「火災拡大予測手法の開発及び避難誘導技術の高度化」の研究を担当してきた。

この研究の中で著者らは①消防活動システム開発を、建築研究所が②延焼システム及び③避難誘導システム開発を担当した。これらは、大規模地震による多発火災が発生した場合に、出火状況を把握して、その後の延焼を予測し、消防力の最適運用と、住民の効率的な避難誘導を図ることを目的としたもので、相互の連絡を十分にとりながら3システムの総合化を目指している。

上記①の成果については、本年出された報告書[1]及び解説[2]に詳しく述べられている。

消防活動システムを用いることにより、例えば、2.5km四方の市街地に5件の火災が同時多発した場合、4署所消防車8台の最適一次運用法がおよそ1分間でディスプレイ上に出力される。また、5km四方の市街地で、出火後5時間経過した延焼地域に対して、消防車12台をどのように二次運用すれば優先防御地点に必要な延焼遅延時間を確保できるかも1分程度で求めることができる。

このように、有用な機能を持っているが、コンピュータシステム規模の点からいって現時点では、いわば災害対策本部用といってよい。現場の署所或いは出張所用には、本部のシステムと通信回線で結んだ端末装置が設けられるであろう。然し、一旦事が起きて、本部との通信連絡が途絶した場合、現場の署所又は出張所で独自に、延焼情報・消防活動情報を入力し、延焼予測が出来れば消防力の運用上有用であろう。また一方では、最近特に性能向上の著しい安価なパソコンがどこまでニーズに対処できるか試みることも開発着手の契機である。

* 通報設備研究室　** 情報処理研究室

2．マルチ表示システムの概要

本システムは、4つの異なる地域における火災の延焼状況及び消防効果を独立にかつ同時進行（マルチタスク）的に把握することを目的としている。

本システムは2つの大きな機能に分かれている。延焼状況の計算表示とその再現機能である。

延焼状況の計算表示機能は、延焼の条行を変更しながら試行錯誤的に4地域の延焼状況をリアルタイム(即時的）に計算し、同時にディスプレイ（表示画面）に表示するものである。

再現機能は、延焼状況の計算表示で作成した結果を再度ディスプレイに表示するもので、確認のための機能である。

2.1　地域データ

4つの地域は番号が付けられており、全地域の表示画面上で右上、左上、左下、右下（反時計回り）の順に1、2、3、4となっている。

各地域は、80×80の正方メッシュで構成されておりメッシュ幅は25mである。各メッシュは木造、耐火、空地、道路及び鉄道の属性をもち、画面上ではそれぞれ、白、青、緑、黄及び黒に色分けされている。さらにパラメータとして2つの属性、燃焼及び消防隊配置があり、色はそれぞれ赤と水色である。なお延焼着火したメッシュも赤で表示される。

2.2　時　刻

時刻は、計算表示の最初に指定した時刻を初期時刻とし、表示時間間隔を単位として、時刻の前進、後進が可能である。

表示時間間隔は、計算表示の最初に指定するもので、延焼状況の表示はこの時間単位で更新される。

2.3　条件設定

計算表示において指定する条件には、

1)風向、2)風速、3)メッシュの燃焼または消防隊配置の属性

の3つがある。

風向は、16方向で風下を指定する。風速はm/sec単位である。風向の初期値は西であり、風速の初期値は

0 m/secである。

属性の設定はライトペンを使って行なう。

(1) 部分地域

ひとつの地域は属性設定の便宜上横に4等分されている。この4部分地域には、上から順に1、2、3、4と番号付けされている。

(2) 属性の設定

属性設定の対象となる部分地域をファンクションキー操作で選んだのち、ライトペンでメッシュをヒットし、時刻を設定することにより、

・火災発生点(赤)　・消防隊配置点(水色)

を決めることができる。

3．マルチ表示システムの使用法と特長

システムの使用法の概略は以下の各項の通りで、それぞれについて述べる。

3.1 システムの立上げと機能選択

本システムの入っているフロッピー・ディスクをドライバーにセットして、リセットボタンを押下げると、計算表示機能と再現機能の選択メッセージが画面に表示される。選択したい機能のボタンを押下げることによって機能が選択される。再現機能を選択する際には、それ以前に少なくとも1回は計算表示を実行しておく必要がある。機能選択の流れ図を**図1**に示す。

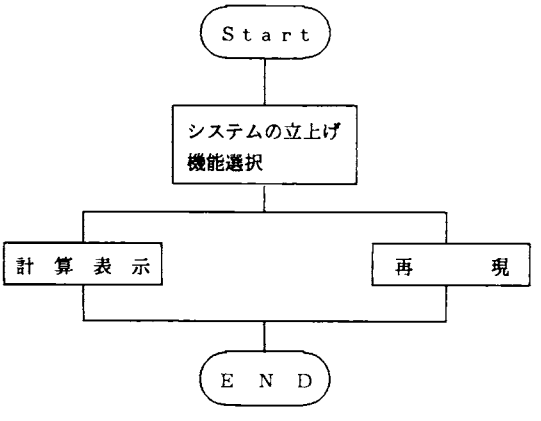


図1　メイン操作フロー

3.2 計算表示機能

計算表示機能は、延焼計算に必要なパラメータの設定とその計算結果表示に必要なパラメータ設定のための機能および副次的な表示機能とから成り立っている。

はじめに計算結果表示に必要なパラメータとして、延焼計算開始時刻と表示時間間隔の設定を行なう。その後、**図2**に示すような副次的機能選択がファンクションキーの押下げにより可能となる。

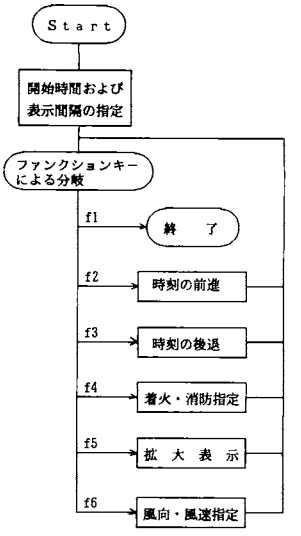
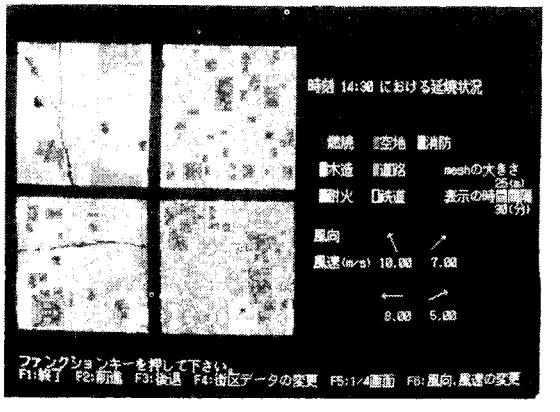


図2　計算表示メイン操作フロー

ファンクションキー1を押下げると、延焼計算が終了となり、計算結果はファイルに保存され、再現機能で使用できるようになる。ファンクションキー2を押すと、現在時刻より表示時間間隔分だけ進んだ時刻の延焼予測による計算結果が画面に表示される。ファンクションキー3を押すと、逆に現在時刻より表示時間間隔分だけ前の時刻に戻り、その時刻での延焼状況が表示される。表示は**画面1**のように、4地域すべてについて同時に、延焼状況が画面にだされる。



画面1

ファンクションキー4を押すと、着火及び消防の指定が行なえる。この段階では、さらにファンクションキーの押下げにより副次的な機能が選択できる。その副次的な機能の流れは**図3**のようになる。たとえば、**図3**のファンクションキー1を押下げれば、**図2**のファンクションキーによる分岐段階へ戻る。また、ファン

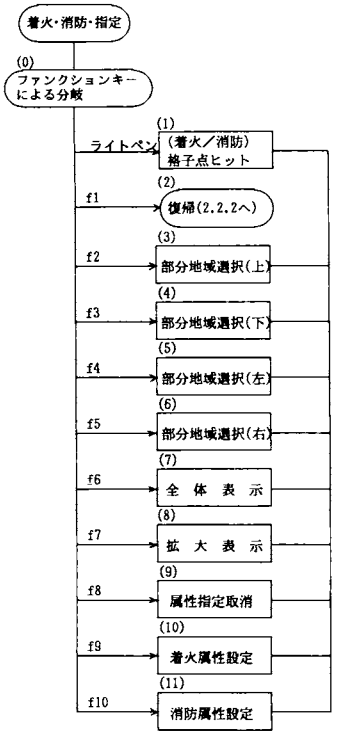
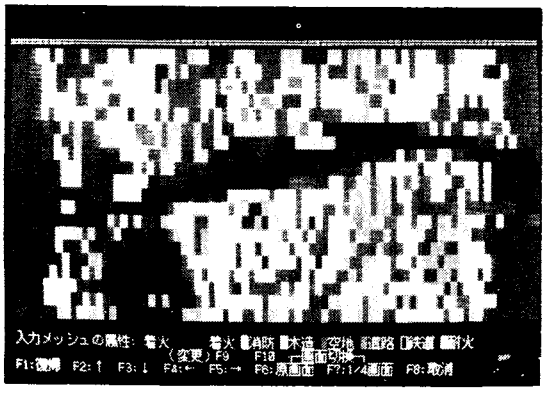


図3　着火・消火の指定操作フロー

クションキー2から5により、着火あるいは消防の指定をしたい地域が一つ選択される。着火・消防指定の眼目は、ファンクションキー9、10による属性設定機能で、**画面2**のような表示がファンクションキー9、10の押下げにより得られ、ライトペンヒットにより、着火あるいは消防の情報が入力できる。着火時刻、消防隊到着時刻も一つの情報ごとに入力できる。画面2は一地域の横割り4分の1の拡大表示で、着火や消防の情報を即時的に入力するだけのためのものである。ファンクションキー8は、ファンクションキー9、10



画面2

での属性設定取り消しのための機能である。ファンクションキー6は4地域の全体表示で、着火あるいは消防の情報を全体的に知るためのものである。ファンクションキー7は、4地域のうち任意の1地域の情報を拡大して見るためのものである。

着火及び消防の指定だけでは延焼計算を実行できないので、**図2**の段階に戻り、ファンクションキー6の押下げにより、4地域それぞれについて風向、風速の指定を行なう。

ファンクションキー5は、4地域の中から1地域を選んで、その地域だけを拡大して表示するためのものである。4地域同時表示のときの大きさの約4倍（縦横2倍）に拡大表示する。その操作フローは、**図4**の通りで、拡大画面は**画面3**の通りである。

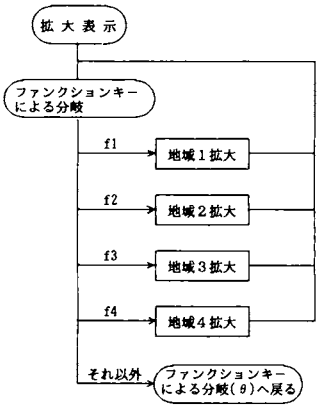
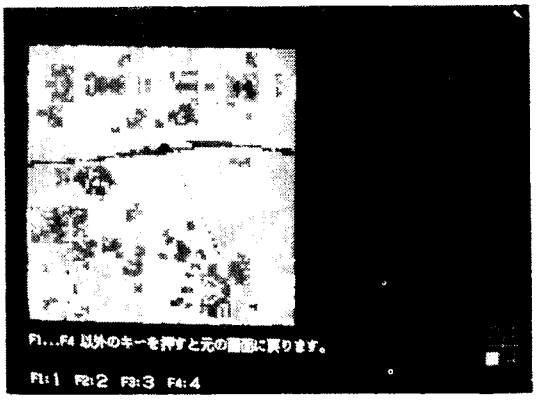


図4　拡大画面の表示フロー



画面3

以上、計算表示機能について述べてきたが、この機能では、4地域それぞれ独自に延焼計算ができ、その計算結果を4地域同時にあるいは任意の1地域だけ表示することができる。すなわち、延焼状況や消防活動情報が4地域同時に、あるいは1地域だけについて知

ることができるという特長をもっている。また、時刻の前進、後進ができ、即時的にその時刻における着火や消防の情報が新たに入力できかつ情報の修正もできるという特長をもっている。

3.3　再現機能

3.2の計算表示機能による計算結果はファイルに保存されるので、それらの結果を画面に再表示できる。その機能が再現機能である。再現機能の概略フローは**図5**の通りである。図5のファンクションキーによる選択機能等は、計算表示機能の場合とほとんど同じである。

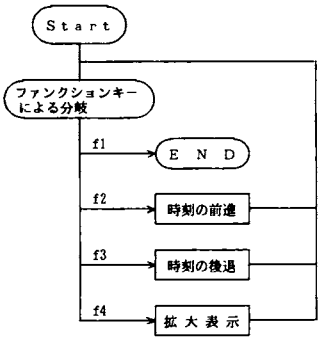


図5　再現メイン操作フロー

4．おわりに

このシステムの特徴は、1)パソコンでできること、2)4地域（1地域2km×2km）での延焼予測の同時実施と同時複数地域表示、3)任意1地域の選択拡大表示、4)各地域毎に時刻・風向・風速を独立入力、5)任意時刻に、任意地点の出火情報を入力可能、6)放水された木造メッシュの耐火メッシュ化　とまとめることができる。延焼速度式と実際の延焼速度の差は場合によって大きい。時々刻々寄せられるであろう出火延焼情報により、延焼予測を修正したり、新たに予測し直すことができる。

延焼情報・消防活動情報表示だけでなく、放水メッシュの配置と延焼遅延効果との関係が求められるから簡単な消防訓練シミュレータとしての使用も考えられる。

参考文献

1）消防研究所地震時における消防力運用の最適化システムに関する研究開発報告書(中間報告)、昭和60年3月

2）関沢　愛：地震時における消防力運用の最適化に関する研究、火災 Vol. 35, No. 3, 15 (1985),　火災 Vol. 35, No. 4, 7 (1985)

室内環境によるイオン化式簡警器電離室の電流変化について

紙野　定亮＊
笹原　邦夫＊＊
竹元　昭夫＊＊

1．はじめに

消防統計によれば、昭和58年1年間に建物火災によって全国で失われた人命は996人で、同じ1年間の全火災の死者の87％（いずれも放火自殺者を除く。）にもなっており、ここ数年同様の比率である。

自動火災報知設備は、消防法によって、防火対象物に設置の義務があるが、一般住宅にまで及ばない。核家族社会の上に、急激に高齢化している現在、家庭用火災感知器即ち簡易型火災警報器の普及は、人命尊重の上からも望まれるところである。

普及の阻害要因の一つである、火災でないのに警報が鳴るいわゆる非火災報の実態を把握する為に、昭和56年より簡易型火災警報器（以下「簡警器」という。）のモニタリングを実施し、すでに非火災報の発生状況[1),3),4)]、モニターの期待・要望[2)]、非火災報原因[3),5),6)]、室内環境の影響[7)]について報告した。

非火災報の大部分は要因が判明しており簡警器の選択、設置場所等で解決できる上、モニターの理解も得やすい[1)~4)]。しかし、原因不明の非火災報は、簡警器の設置場所、非火災報の発生時刻によっては、簡警器普及に重大な支障をもたらす。

簡警器が作動したとき、モニターが作動状況を記入した作動不作動記録表の分析結果によると、原因不明の非火災報の79％は6月～8月の3ヶ月に集中していた。これらのことから原因不明の非火災報は高温・多湿となる季節と関連して建物内の温度・湿度等の影響を受けるものと推定された。また、原因不明の非火災報の殆どがイオン化式簡警器によるものであった[3)]。

そこで消防研究所構内の実験用プレハブ住宅で、イオン化式簡警器出力と環境パラメータの関係を調べた。その結果、簡警器出力は日周期で湿度・室温の変化に対応して変化するが、簡警器を作動させるほどの出力ではなかった。簡警器の出力は絶対湿度、および気温とは負の相関、相対湿度とは正の相関があることが判った[7)]。しかし、N. Fujiokaらは大気中のイオン移動度の変化は相対湿度より絶対湿度に左右されると報告している[8)]。

イオン化式簡警器の電離室でのイオンの生成に温度・気圧等の空気密度が影響を与えること、また湿度が空気イオンの移動度や電極間の絶縁抵抗に影響することも考えられる。そこで、イオン化式簡警器の出力変動は、簡警器の電気回路も含めて温湿度の日変化の影響を受けているのか、電離室内のみがその影響を受けているのかを調べてみることにした。

2．測定条件

イオン化式簡警器の電離室を本体から切り離し、放射線源（Am^{241}）を遮蔽した状態で電極間の電流を測定した。電離室は図1に示すように銅板製箱（上部開放）に取付けて、アースされた恒温恒湿槽に入れた。

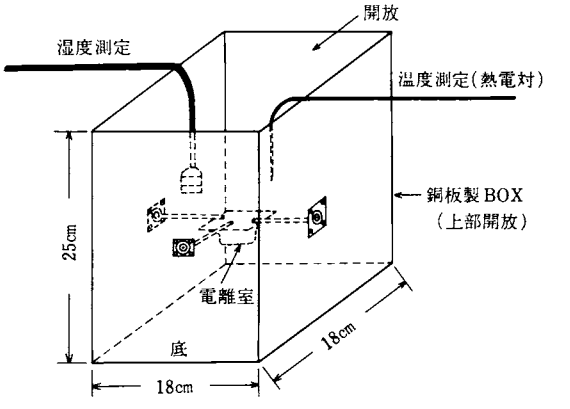


図1　電離室及び測定センサーの配置

図2にイオン化式簡警器の断面図と中間電極・外部電極間電流の測定の場合の配線を例として示した。

電極間の電圧はいずれもDC 9Vである。

相対湿度と気温は図1に示したように電離室近傍で計測し、これらの記録は全て自動的に行った。

環境パラメータの測定に用いた器材は以下のものである。

＊枚方寝屋川消防組合　寝屋川消防署
＊＊通報設備研究室

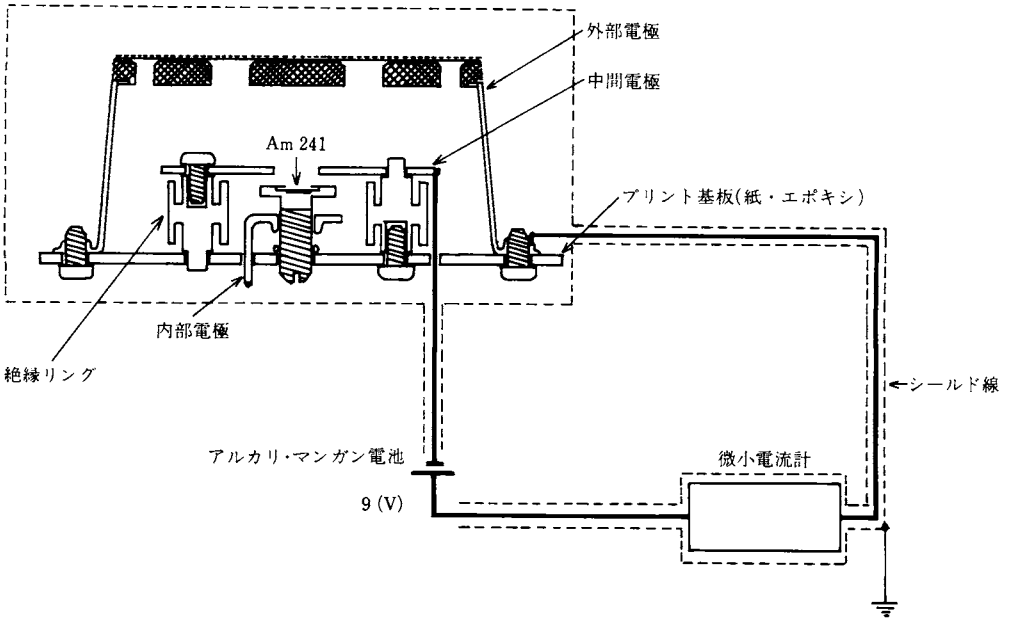


図2　中間電極・外部電極間の電流測定概略

温　　度：0.18mmϕ銅コンスタンタン熱電対
相対湿度：高分子湿度センサー(日本工学RHD-S-112)
気　　圧：アネロイド型気圧計（大田計器メテオグラフ）
電　　流：微小電流計（タケダ理研 TR8641）

3．測定結果

3.1　中間電極・外部電極間電流及び中間電極・内部電極間電流

電離室を扉の開放された恒温恒湿槽に入れ、夜間に中間電極・外部電極間電流を測定した結果を**図3**に示す。温度の下降、相対湿度の増加、気圧の変化の影響は殆ど受けていない。

中間電極・内部電極間電流についても同様な結果であった。

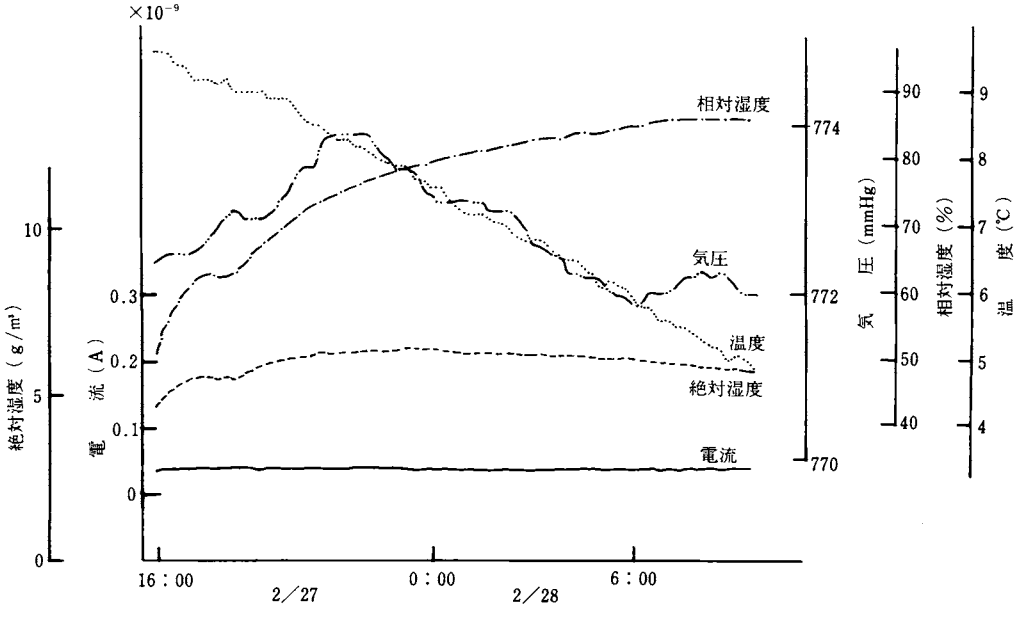


図3　中間電極・外部電極間の電流と環境パラメータの変化

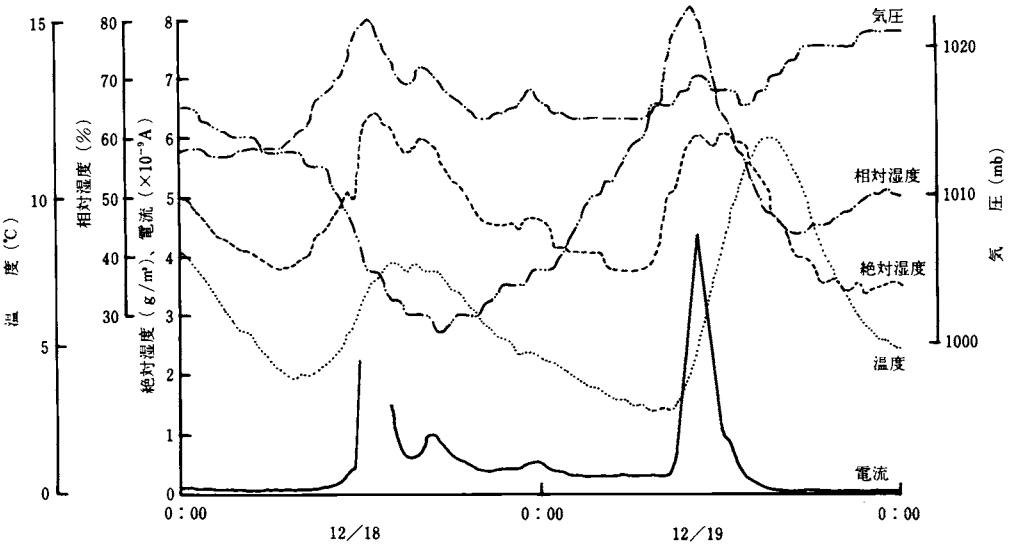


図4　外部電極・内部電極間の電流と環境パラメータの変化
（電流値の途切れた所は、スケールオーバーのため測定不能となった所である）

表1　重回帰分析結果

測定月日	重相関係数への寄与順位と重相関係数			
	1	2	3	4
S59	*			
12・13	P(0.89)	H(0.93)	D(0.95)	T(0.95)
14	H(0.84)	D(0.89)	T(0.90)	P(0.90)
17	D(0.69)	T(0.80)	H(0.87)	P(0.90)
18	D(0.86)	P(0.92)	T(0.92)	H(0.93)
19	H(0.71)	P(0.80)	T(0.85)	D(0.86)
20	D(0.74)	T(0.97)	H(0.97)	P(0.97)
22	D(0.75)	T(0.91)	H(0.92)	P(0.92)
23	D(0.88)	T(0.97)	P(0.97)	H(0.98)
24	D(0.60)	H(0.88)	P(0.89)	T(0.89)
S60				
1・10	D(0.97)	P(0.98)	T(0.99)	H(0.99)
11	D(0.70)	T(0.94)	P(0.94)	H(0.94)
12	D(0.77)	H(0.89)	P(0.91)	T(0.92)
13	D(0.72)	T(0.85)	P(0.87)	H(0.87)
14	H(0.85)	D(0.99)	P(0.99)	T(0.99)
16	D(0.63)	T(0.90)	P(0.91)	H(0.92)
18	D(0.77)	T(0.93)	H(0.93)	P(0.93)

（＊）数値は説明変数を増したときの重相関係数を示す
目的変数：電流
説明変数：D(絶対湿度)、H(相対湿度)、T(気温)、P(気圧)

3.2　内部電極・外部電極間電流

図4は、内部電極、外部電極間電流と環境パラメータの日変化の典型的な例を示す。電流はいずれのパラメータとも連動して変化している。各パラメータの電流への影響の程度を見る為、電流値に大きなピークのある日を選んで重回帰分析を試みた。**表1**に結果をまとめた。

重相関係数にばらつきはあるが、16日中12日で絶対湿度が電流と最も相関が高い。しかし、**図5**で示す電流と絶対湿度の連続12日間の日変化の様子を見てみると、電流の変化量は必ずしも絶対湿度の変化量に比例しているとは限らない。**図6-1**に電流と絶対湿度の、**図6-2**にはこれら2変量の増分の時間変化の典型的な一例を示す。増分の時間変化により変数の立上りの位置が明確になる。この場合、絶対湿度が急増した後、電流が急増していることが判る。また、**表1**に示すように電流との重相関係数で絶対湿度に次いで温度が16日中8日と寄与が大きい。絶対湿度と温度の寄与が大きいことは、**図7**で示すようなプリント基板の構造から推測すると、もし、その表面に水分が付着した場合、電流変化の原因になることが考えられる。そこで、恒温恒湿槽を使用し、温度一定の下で湿度を変化させ、内部電極・外部電極間電流の変化を測定した。実際には恒温恒湿槽の設定温度・湿度より大きい値の外気を恒温恒湿槽の中に導き入れることにより湿度を変化させた。

代表的結果を**図8-1～8-3**に示す。図8-1と図8-2は恒温恒湿槽の設定温度を露点以下に、図8-3は露点以上に設定した実験である。

前二者では、電流が急増している。後者でも微小な電流増加が見られたが、前者に比べて千分の1小さい

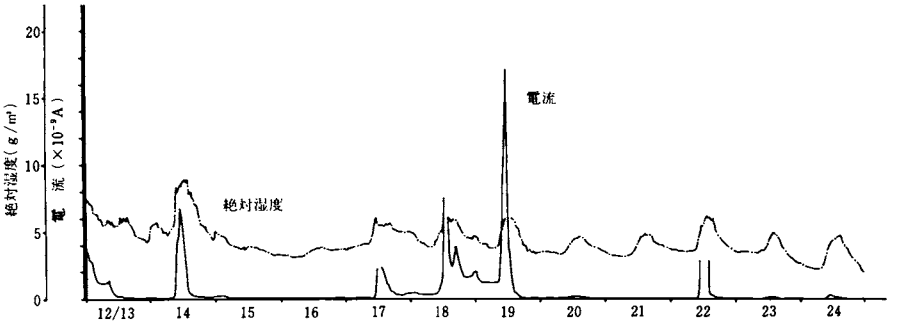


図5　外部電極・内部電極間電流と絶対湿度の日変化

（昭和59年12月13日～12月24日の測定結果を示す。電流値の途切れた所は、スケールオーバーのため測定不能となった所である）

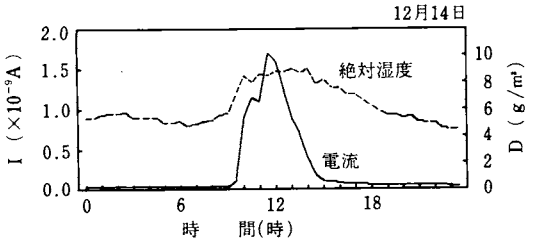


図6-1　外部電極・内部電極間の電流と絶対湿度の時間変化　（I：電流、D：絶対湿度）

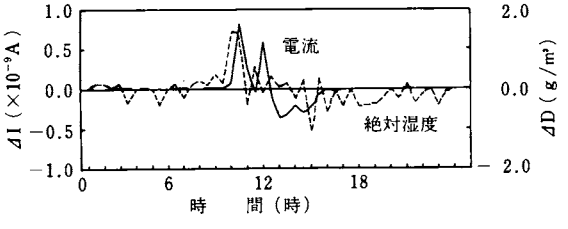


図6-2　外部電極・内部電極間の電流の増分と絶対湿度の増分の時間変化

（ΔI：電流の増分、ΔD：絶対湿度の増分）

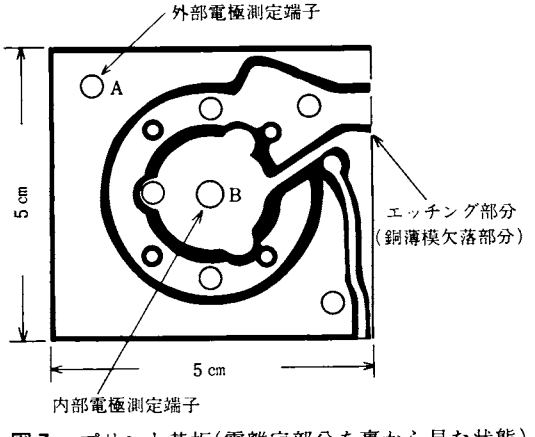


図7　プリント基板(電離室部分を裏から見た状態)

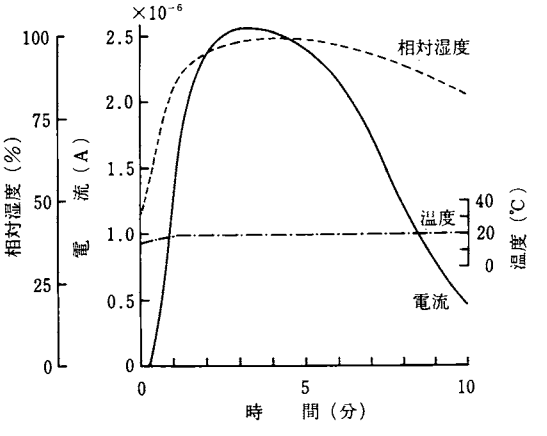


図8-1　恒温恒湿槽に設定温度湿度より大きい値の外気を導き入れた場合の電流変化（その1）

（外気温度：32℃、相対湿度：80%）

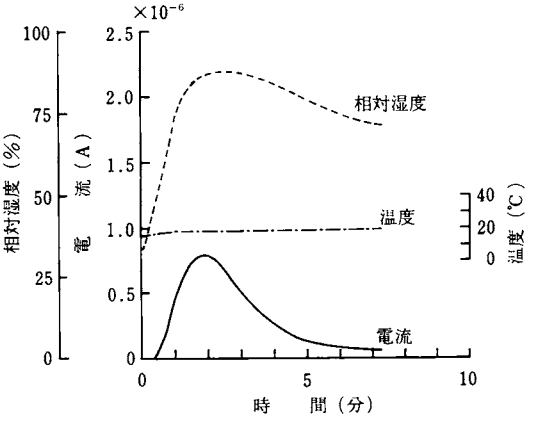


図8-2　恒温恒湿槽に設定温度湿度より大きい値の外気を導き入れた場合の電流変化（その2）

（外気温度：34℃、相対湿度：58%）

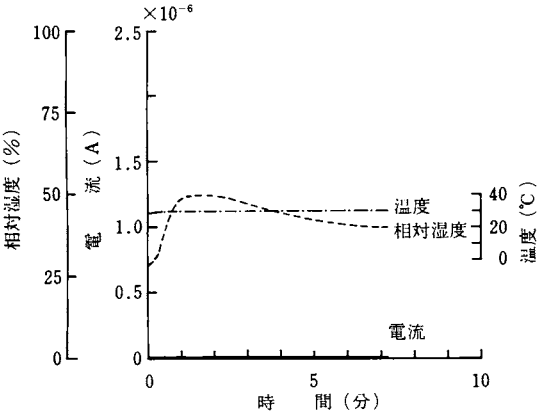


図8-3　恒温恒湿槽に設定温度湿度より大きい値の外気を導き入れた場合の電流変化（その3）
（外気温度：37.5℃、相対湿度：50%）

値であった。

3.3　内部電極・中間電極間電流

恒湿槽の湿度を露点以下に設定して、3.2と同様の実験を行ったが、電流の増加は見られなかった。

4．考　　察

外部電極・中間電極間及び内部電極・中間電極間電流は、上述の実験条件下では、室内環境の影響は受けていない。

これに対し外部電極・内部電極間電流は、室内環境特に絶対湿度次いで温度の影響をうけ易いことが環境パラメータと電流の日変化を表した図4、重回帰分析結果である表1から判った。

電流が流れ始めるきっかけとなるのは、絶対湿度の大きさであるのか、増加率であるのかを見るために、図6-2より電流が増加し始める立上りの時刻での絶対湿度とその増加分を図9のようにプロットしてみた。点が縦方向に散らばっていることから電流増加は絶対湿度の大きさによって始まり、この場合しきい値は約3 g/m³である。

恒温槽の温度を外気の露点より低く設定すると、外部電極・内部電極間電流が流れ、高く設定すると流れないことから、より高湿でより高温の空気がプリント基板に当ると結露すると推定される。また、基板上の外部電極端子と内部電極端子間の絶縁抵抗が結露によって小さくなって電流が流れ始めるが、その後基板上に結露したものが徐々に蒸発し、絶縁抵抗が大きくなって電流が減少するものと思われる。

5．結　　論

イオン化式簡警器の内部電極、外部電極、中間電極

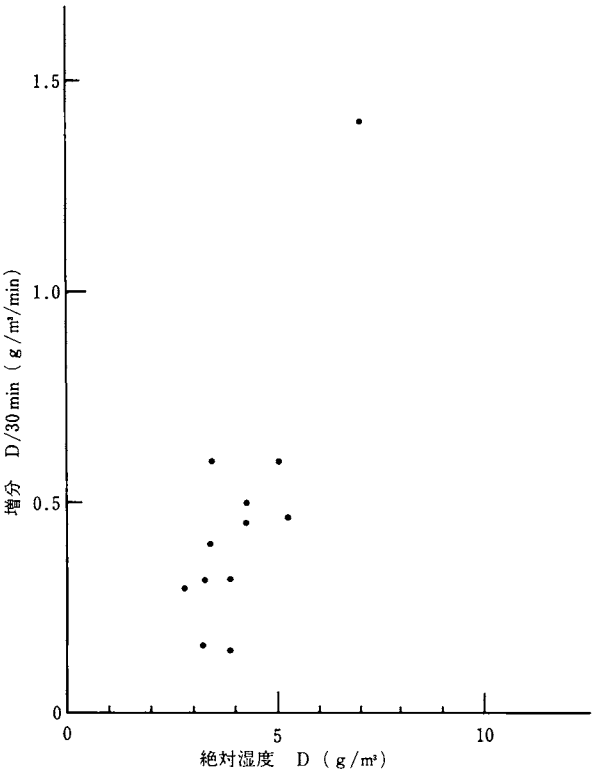


図9　内部電極・外部電極間の電流の立上がり開始時の絶対湿度とその増分

の各電極間電流が室内環境の影響を受け、どのような変化をするか測定した結果、次のようなことがわかった。

(1)　外部電極・中間電極間及び内部電極・中間電極間電流は室内環境変化の影響を受けない。

(2)　外部電極・内部電極間電流は室内環境の変化、特に絶対湿度変化の影響を受ける。

(3)　電流の変化は絶対湿度の大きさによって始まる。

6．謝　　辞

一連の実験を行うに当り、筆者の1人(紙野)は消防研究所における研修期間中(59年度)渡辺所長より終始暖かい御指導、御鞭達を賜りました。

微小電流の測定につきましては、川崎特殊火災研究室長、重回帰分析につきましては、寒河江情報処理研究室員、報告のまとめについて佐々木通報設備研究室長に御指導していただきました。皆様に感謝致します。

参考文献

1）糸谷成章、竹元昭夫、関沢　愛：簡易型火災警報器のモニターに対するアンケート調査（その1　非

火災報の発生状況)、日本火災学会研究発表会概要集 p. 1，昭和57年5月
2) 糸谷成章、関沢　愛、竹元昭夫：簡易型火災警報器のモニターに対するアンケート調査（その2　簡警器に対するモニターの期待度・要望)、日本火災学会研究発表会概要集、p. 5 、昭和57年5月
3) 竹元昭夫：簡易型火災警報器の非火災報について（第1報)、日本火災学会研究発表会概要集、p. 105、昭和58年5月
4) 竹元昭夫：簡易型火災警報器の非火災報について（第2報)、日本火災学会研究発表会概要集、p. 65、昭和59年5月
5) 竹元昭夫：イオン化式簡警器の原因不明の非火災報に関する一見解、日本火災学会研究発表会概要集 p. 17、昭和60年5月
6) 笹原邦夫：簡易型火災警報器内部への虫の侵入について、日本火災学会研究発表会概要集、p. 19、昭和60年5月
7) 竹元昭夫：イオン化式簡警器に与える室内環境の影響について、日本火災学会研究発表会概要集、p. 67、昭和59年5月
8) N. Fujioka etc.：IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-102, No. 4, p. 911 (1983)

繊維状の埃によるイオン化式簡易型火災警報器の非火災報事例について

竹元　昭夫

1．はじめに

煙を検出する方式の家庭用簡易型火災警報器（以下、簡警器という）の使用実態を把握するために、10都市の一般住宅に簡警器を取付けてモニタを実施した。モニタの中間結果[1)]によると、非火災報のうち24%は原因不明で、そのほとんどがイオン化式簡警器であった。この原因不明の非火災報の79%は高温・多湿となる6～8月に発生していることから、その原因を調べるために、各家庭から回収したイオン化式簡警器の一部について湿度試験を実施した。この湿度試験で作動した簡警器電離室内の電極には、いずれも繊維状の埃（以下、糸埃という）が付着していた[2)]。

しかし、電極に糸埃が付着していても湿度試験で作動しなかった簡警器もあり、検討した結果、内部電離室の電極間を橋渡しするように付着した糸埃が、原因不明の非火災報に対する一つの要因となることがわかったので報告する。

2．糸埃の付着状況と作動に関する予備チェック

イオン化式簡警器の煙検出部は内外二つの電離室が直列に接続され、この部分の等価低抗は$10^{11}\Omega$ 内外である。外部電離室に煙が入ると、電離電流の減少により簡警器は作動するが、作動原理上、内部電離室の等価抵抗が何等かの原因で減っても作動する。

そこで、図1に示すように内部電離室の検知及び内部電極間を橋渡しするように付着させた糸埃により、両電極間にリーク電流が流れる回路を想定して、次に示す簡単な実験を試みた。実験を行ったときの室温は19℃、相対湿度は54%であった。

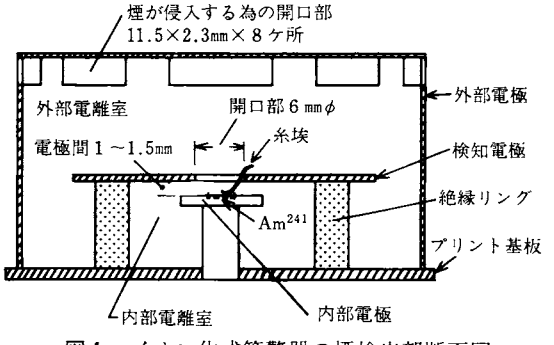


図1　イオン化式簡警器の煙検出部断面図

簡警器が天井に取付けられた状態では上下関係は逆になる

(1)　室内の床から採取した糸埃のかたまりを図1に示す検知電極に接するように、内部電極の上に置くと、簡警器は作動した。

(2)　長さ5mmの木綿の縫糸若しくは室内の床から採取した糸埃1本、または簡警器内部で発見された長さ約2mmの虫を図1に示すように、検知電極と内部電極間に置いたが、簡警器は作動せず、煙が侵入する開口部に呼気を加えた※ところ作動した。

(3)　糸埃を内部電極に接しないよう検知電極上に置いた場合、呼気を加えても簡警器は作動しなかった。

呼気を加えるということは、電離室の空気イオンの吹き飛ばし、ないしは電離特性変化、糸埃端の電極への圧着など色々なことが考えられるが、糸埃等の吸湿による簡警器作動の可能性が最も高いように思われる。

次に、図2のアナログ出力が得られるよう改造した簡警器を用いて、電離室内に呼気を加えた場合の簡警器出力を調べた。その結果の代表例を図3に示す。なお糸埃は直径約10μmのアクリル製繊維である。

簡警器出力は図3に示すように呼気を加えると急激に上昇するが、出力の減少は簡警器周囲の相対湿度によって異なる。相対湿度が75%以下の場合には、曲線Aで示すように急激に減少するが、相対湿度が81%の場合には、曲線Bで示すように緩やかに減少する。このような減少曲線の違いは簡警器周囲の相対湿度の高低によって、糸埃の水分の蒸発速度が異なるためと思われる。

なお電極間の糸埃を取去った場合、電離室内に呼気を加えて、電極等の表面が結露状態になっても簡警器出力に変化は認められなかった。

※）ガラスを曇らせるときと同じように息を吐いた。人体から吐かれる空気の温度は体温より少し低く、相対湿度は100%に近いと言われている。また、正常な健康状態の人が普通に吸呼しているときの吐いた空気の成分はO_2：14.5～18.5%、CO_2：2.5～5%、N_2：79.5～80%と言われている。

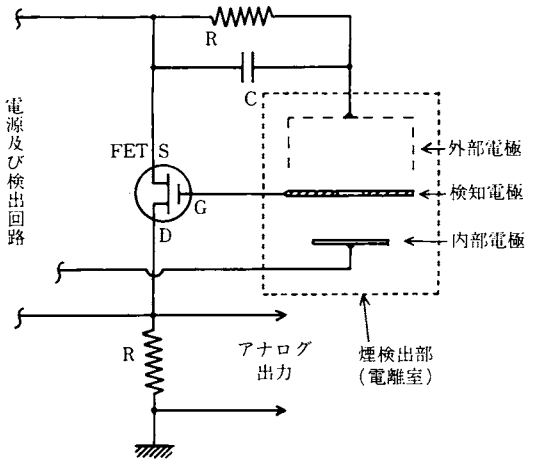


図2　イオン化式簡警器模式図のアナログ出力回路
R：抵抗　C：コンデンサー　S：ソース
G：ゲート　D：ドレーン

3．室内環境変化による作動実験

糸埃が付着した簡警器が室内の温度・湿度の変化によってどのような影響を受けるかを調べてみることとした。

3.1　実験方法

3.1.1　ヤカンから発生する蒸気による加湿

図2に示すアナログ出力が得られるように改造した簡警器2台を実験用住宅1階の図4に示す台所天井付近のP_1、P_2に取付けて実験を行った。アクリル製ジュータンから抜取った直径約10μmの糸埃を図1に示すように電極間に付着させ、通常の設置状態と逆向きに簡警器を取付けた。

温度は0.18mmϕの銅・コンスタンタン熱電対、相対湿度は高分子湿度センサ（日本工学RHD−S112）により測定された。これらは図4(a)に示すT&Hの位置、すなわち簡警器I_1とI_2の中央に設けた。気圧の測定に

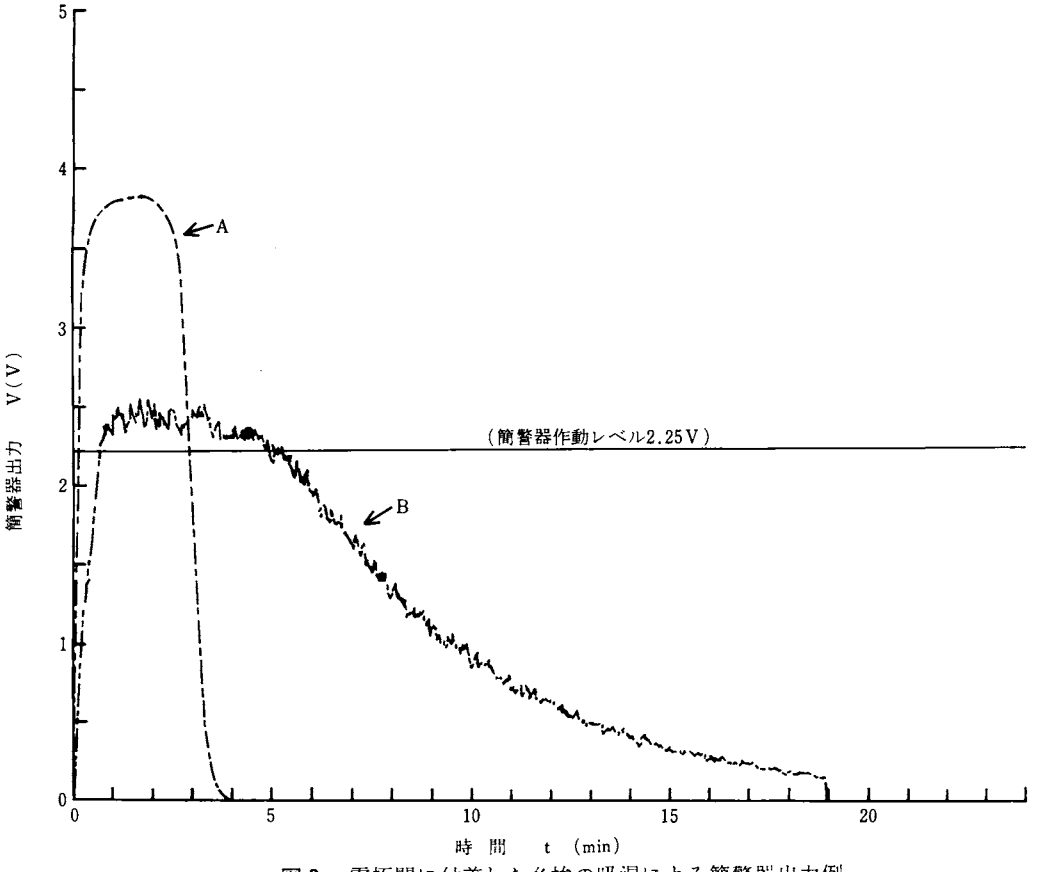
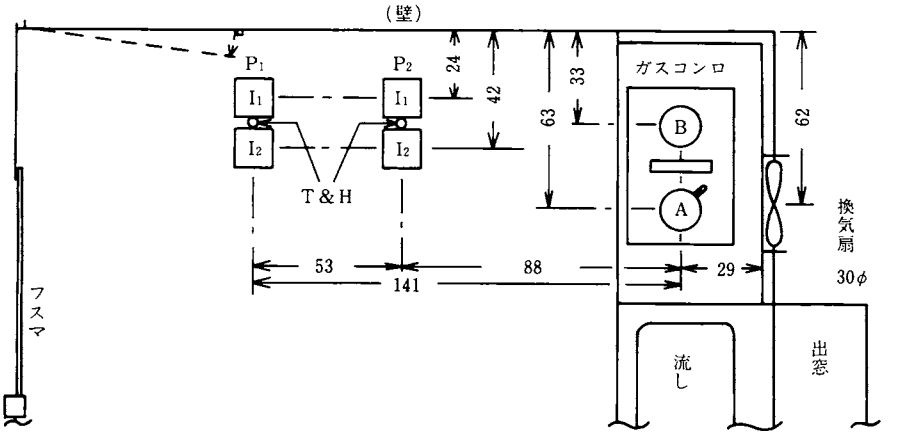
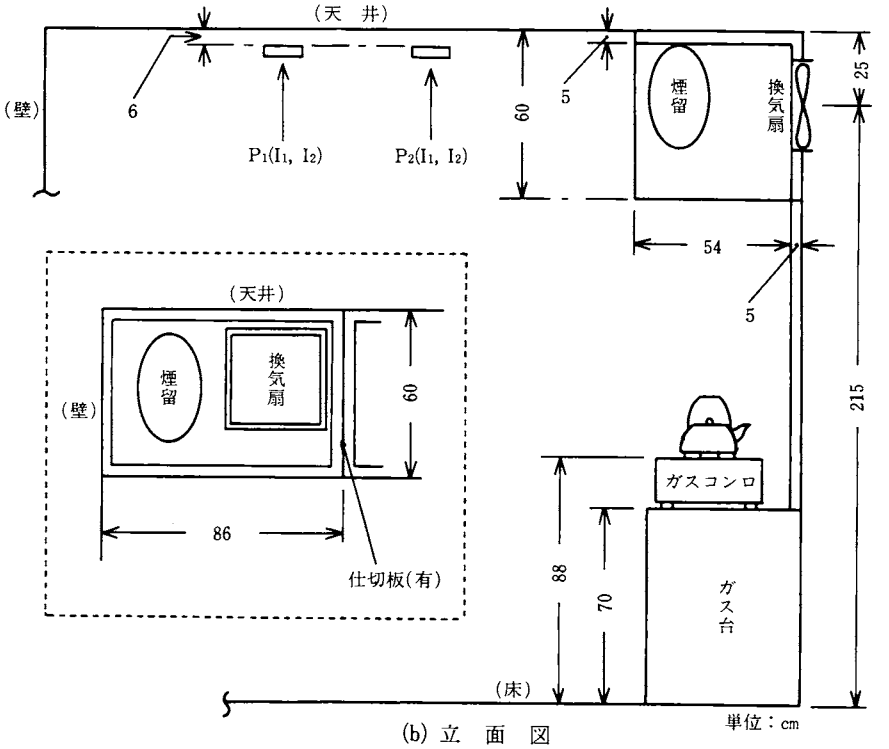


図3　電極間に付着した糸埃の吸湿による簡警器出力例
その1：人の吐いた息により湿気を与えた場合
A：実験開始前の糸埃付着確認時の出力（開始時相対湿度49%）
B：加湿実験中に出力が得られていない簡警器に息を吹きかけた場合の出力（開始時相対湿度81.3%）



(a) 平 面 図



(b) 立 面 図

図4　蒸気発生源とセンサ取付位置

I_1、I_2：イオン化式簡警器
T　：熱電対
H　：湿度センサ
P_1、P_2：センサ取付位置
A、B：ガスコンロのバーナ位置（突起はヤカンのつぎ口の方向を示す）

はアネロイド型の自記気圧計を用いた。

換気扇を廻した状態でガスに点火し、ヤカンの水が煮えたぎってから、ガス、ついで2秒後に換気扇を止めた。その後、換気扇の羽根が静止したことを確認してからヤカンのフタを取外し、蒸気を上昇させた。

3.1.2　外気の室内への取入れによる加湿

この実験は外気の相対湿度の高い日に行われた。

(1)　開口部を開放しただけの場合

図3に示す台所のP_1の位置に簡警器I_1、I_2、温度及び湿度センサを取付け、建物1階のすべての開口部を開放して、室内に外気を取入れた。

2)　クーラで室内の温度・湿度を下げていた場合

簡警器I_1、I_2、温度及び湿度センサを台所横の洋間床中央付近に置き、クーラにより室内温度を17～18℃に、相対湿度を40～50%に下げたのち、ガラス戸を開けて、室内に外気を入れた。なお、この実験を行うに当たり、電極間に付着させる糸埃を新しい同質のものに交換した。

3.2　実験結果

3.2.1　ヤカンから発生する蒸気による加湿

簡警器出力が得られた実験結果を**表1**に示す。簡警器取付位置P_1では5回の実験で1例、位置P_2では2回の実験で3例の出力が得られた。この出力の代表例を相対湿度と共に**図5**に示す。出力V_1は図3に示す呼気を加えた場合と同様に急激な上昇を示し、また出力が上昇し始めてから0にもどるまでの時間（以下、継続時間という）も24分34秒と長い。これはヤカンから発生した蒸気により高湿度となった空気がうまい具合に電離室内に流れ込んで、電極に付着した糸埃が急激に、しかも大量に水分を吸った結果と思われる。出力が急上昇したのはこの1例のみであった。

他の簡警器出力は図5のV_6のようなパターンを示し、最大出力はいずれも作動レベルには達せず、出力の継続時間は4分～7分30秒であった。

ヤカンのフタを取外してから簡警器出力に変化が現われ始めるまでの時間は1分20秒から1分49秒であった。また、ヤカンの蒸気によって簡警器周囲の温度は1.2～2.9℃上昇した。

3.2.2　外気の室内への取入れによる加湿

表1に示すように、簡警器取付位置P_1では3回の実験で1例、洋間8畳では10回の実験で7例の簡警器出力が得られた。この出力の代表例を相対温度、室温と共に**図6**に示す。図のV_1、V_2、で示されるように、この実験方法での簡警器出力の増加・減少曲線は図5のそれに比べて緩やかであった。

外気を取入れ始めてから簡警器出力に変化が現われ始めるまでの時間は、台所の位置P_1に簡警器を取付けた実験では1時間7分38秒、洋間8畳の実験では14分30秒から36分59秒であった。なお、外気を取入れ始めてから相対湿度に変化が現われ始めるまでの時間は1分から1分51秒であった。

簡警器を位置P_1に取付けた実験での室温は外気取入れによって0.6～0.7℃低くなった。また、洋間8畳でクーラにより室内を冷してから外気を取入れた実験での室温は3.6～6.7℃上昇した。

3.2.3　簡警器出力に変化が現われる時間と相対湿度

簡警器出力に変化が現われ始める時点、その出力が最大値に達した時点の相対湿度及び最高相対湿度を**図7**に示す。図に示すように簡警器出力が変化し始める時間の違いは湿った空気が簡警器に流れ込む速さによるものと思われる。すなわち、①：ヤカンの蒸気の場合は蒸気の流れが速いので、湿った空気が簡警器に入り易い。②：クーラにより室内の空気と外気とに温度差を設けた場合には、温度差に伴う空気の圧力差が室内外に生じるので、窓の開放により空気の流れが生じるが、その速さは小さい。風が吹込む場合はその影響も受ける。③：図7の番号10で示す実験では外気と室内とに温度差がほとんどなく、風もなかったので、湿った空気は拡散によって簡警器内に入ったものと思われる。

また、図5～7で明らかなように、実験番号1及び10を除くと、簡警器出力が現われ始める時点はいずれも相対湿度が最高値に達した時点より遅れている。その遅れ時間はヤカンの蒸気による実験より、クーラを

表1　簡警器出力が得られた実験・簡警器番号及び出力状況

実験番号	1	6		7	10	13	14	15		17		18
簡警器番号	I_1	I_1	I_2	I_2	I_1	I_2	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_2
簡警器出力比*1	1.81	0.33	0.33	0.05	0.42	1.70	1.47	0.30	1.25	0.02	0.12	0.92
加湿方法	ヤカンの蒸気*2				外気の取入れ							
簡警器取付位置	P_1	P_2			P_1	洋間8畳						

*1　簡警器出力比＝最大出力値/作動設定値、比が1以上の場合に簡警器は作動する。

*2　ヤカンの位置：A

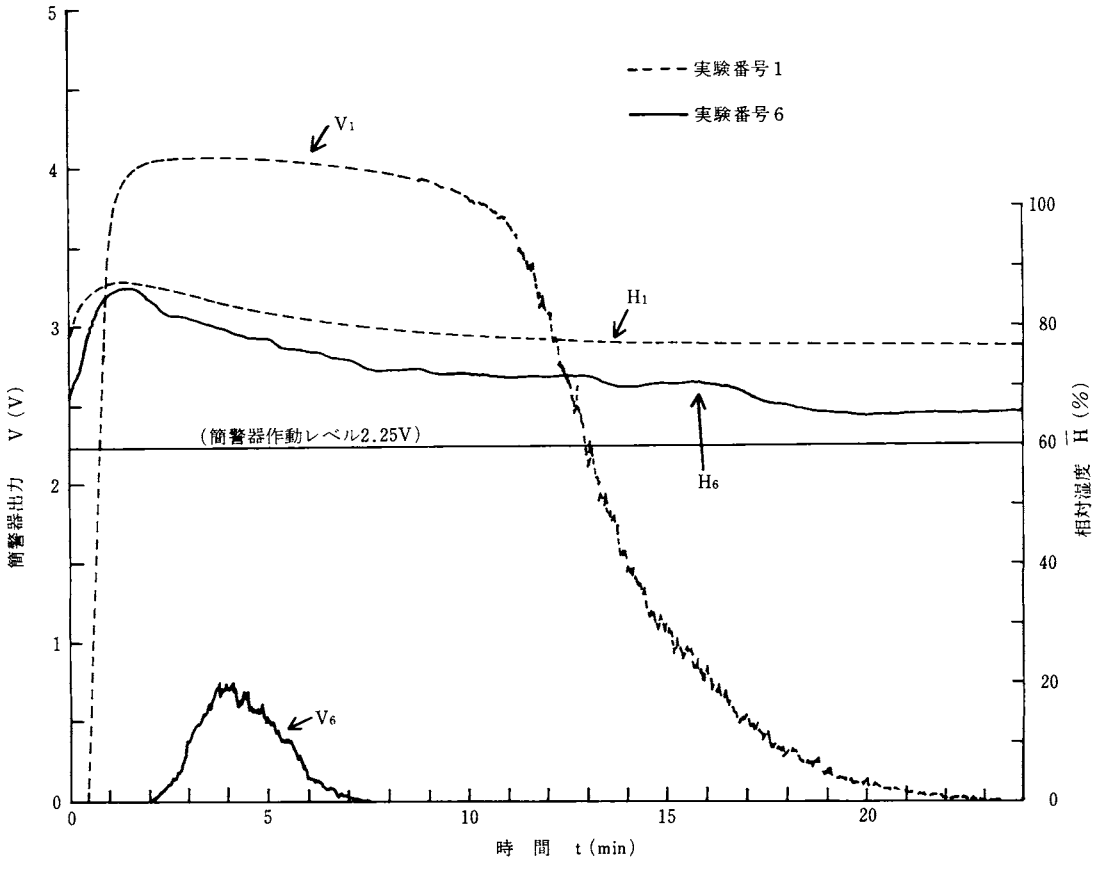


図5　電極間に付着した糸埃の吸湿による簡警器出力例（簡警器I_1）
その2：ヤカンから発生させた蒸気により湿気を与えた場合

V_1：実験1の簡警器出力、V_6：実験6の簡警器出力、
H_1：実験1での相対湿度、H_6：実験6での相対湿度
横軸は相対湿度が増加し始めた時点からの経過時間を示す。

使用した外気取入れ実験の方が大きい。これらのことからも、簡警器周囲の湿った空気が電離室内の糸埃に影響を与える始める時間はその空気の流れの速さによるといえよう。

一方、電極間に付着した糸埃が吸湿して簡警器出力が得られ始める簡警器周囲の相対湿度は**図7**に示す○印の位置から判断して80%前後といえよう。簡警器出力が作動レベル以上になった例（図7の実験番号1、13、14、15）では簡警器出力が現われ始めた時点、簡警器出力が最大値に達した時点、相対湿度が最高値に達した時点での各相対湿度はいずれも82%を超えていた。

4．検　討

4.1　糸埃の吸湿が簡警器出力に与える影響

4.1.1　糸埃の吸湿と内部電離室の等価抵抗の関係

イオン化式簡警器の内部電離室すなわち検知電極と内部電極間の等価抵抗は10^{11}〔Ω〕のオーダである。一方、アクリル繊維の体積抵抗率は10^{14}～10^{16}〔Ωcm〕である[3]。従って、このようなアクリル製糸埃が両電極間を橋渡しするように付着しても電極間に流れている電流に与える影響は無視できよう。しかし、**図8**に示す繊維の質量比抵抗と相対湿度の関係[4]からして、両電極間に付着した糸埃が吸湿することにより、糸埃の電気抵抗が減少し、今度は糸埃を介して流れるリーク電流が無視できなくなるであろう。

アクリル繊維自体の水分含有率は2.6%以下[4]なので、糸埃の電気抵抗の減少は糸埃の表面についた水の体積抵抗によるものと考えられる。

そこで、直径10μm、長さ2.5mm*の糸埃の表面が厚さ0.1μmの水幕で覆われたもの仮定すると、水の体積抵抗R

※実験に用いた糸埃の長さは約5mmであるが、両電極間を橋渡ししている部分の長さは2.5mm前後であるので2.5mmとした。

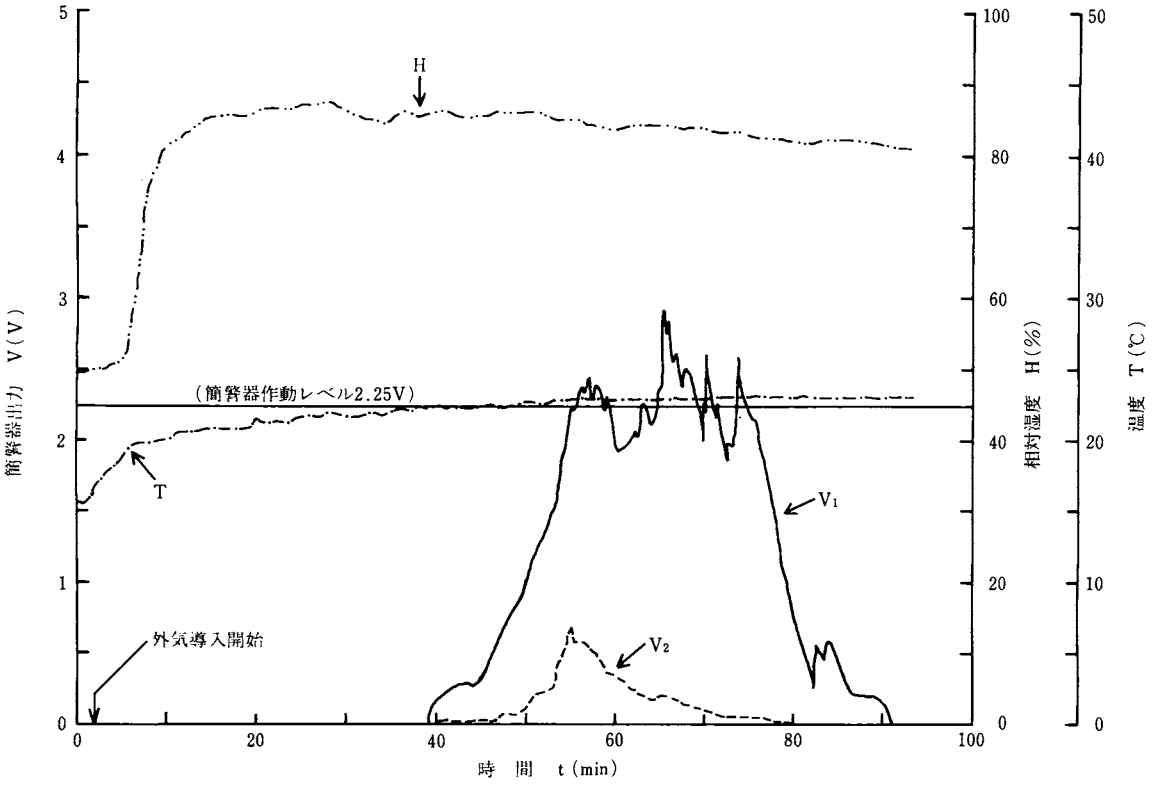


図6　電極間に付着した糸埃の吸湿による簡警器出力例（実験番号15）
その3：外気を室内に入れて湿気を与えた場合

V_1：簡警器I_1の出力、V_2：簡警器I_2の出力
横軸は実験室とクーラのある部屋の仕切ドアを閉じた時点を0とした経過時間を示す。

〔Ω〕は体積抵抗率をρ〔Ωcm〕、長さをℓ〔cm〕、断面積をS〔cm^2〕として次式から求めることができる。

$$R = \rho \times \ell / S$$

水の体積抵抗率は水質や温度によって変わるので、雨水や水道水の体積抵抗率（20℃、1×10^4〔Ωcm〕**）を用いて体積抵抗を求めると$R = 7.9\times10^{10}$〔Ω〕となる。内部電離室の等価抵抗を5.5×10^{11}〔Ω〕として、両者の合成抵抗を求めると6.9×10^{10}〔Ω〕となる。

内部及び外部電離室は直列に接続されているから、各電離室の等価抵抗も直列となる。従って図2に示す内部及び外部電極間の印加電圧は一定であるので、上述のように内部電離室の等価抵抗が減少すると両電極間を流れる電流が増える。外部電離室の等価抵抗は一定で電流のみ増えるので、外部電離室の電圧は大きくなる。この電圧がある値を超えるとFET（電界効果トランジスター）が動作してドレーン電流が流れ始める。この電流が簡警器出力である。

**体積抵抗率は雨水：20℃で$0.66\sim2\times10^4$〔Ωcm〕，水道水：$0.5\sim1\times10^4$〔Ωcm〕（文献[5]には電気伝導度で示されている）

以上の事から、糸埃の吸湿量に伴う内部電離室の等価抵抗の減少により簡響器出力が得られることが明らかとなった。

4.1.2　簡警器出力と糸埃の付着状況

湿度が徐々に増加する場合、電極に付着した糸埃の吸湿により、簡警器出力が現われ始める簡警器周囲の相対湿度として80%前後という値が得られた。しかし2台の簡警器を同じ条件の環境にさらしているにもかかわらず、表1に示すように、一方の簡警器出力は作動レベル以上であるのに、他方は出力が小さかったり、出力が得られなかったりしている。

ヤカンの蒸気による加湿実験のような場合には、湿った空気がその流れ方によって片方の簡警器のみに影響を与えることが考えられるが、外気取入れによる加湿実験のように、同一環境条件に簡警器がさらされている場合には、片方の簡警器の糸埃のみが影響を受けるとは考えられない。

外気取入れによる加湿実験において、簡警器を台所の位置P_1に取付けて行った実験では、簡警器出力が得

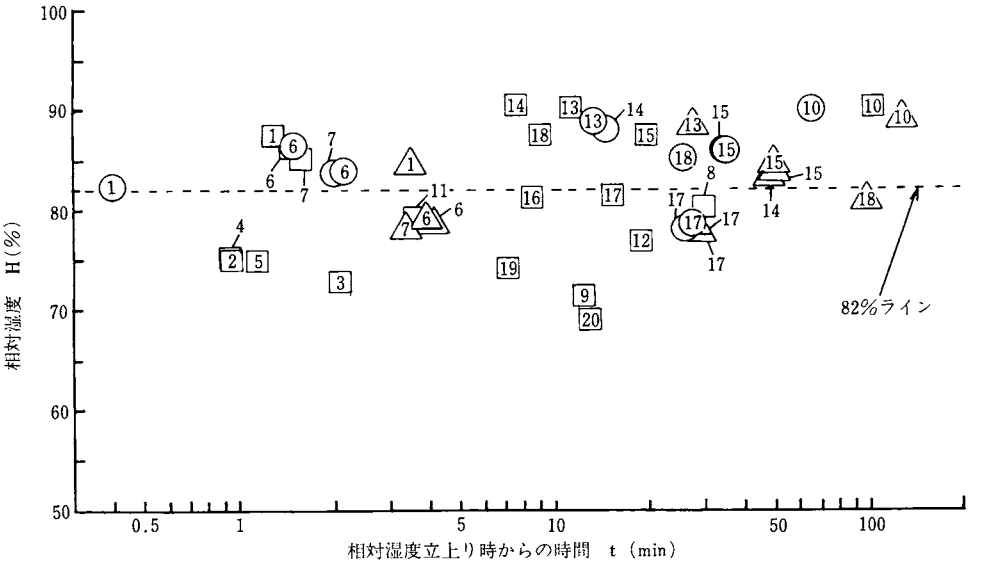


図7　各現象発生時の相対湿度

○：簡警器出力が上昇し始めた時点、△：簡警器出力が最大値に達した時点、
□：最高相対湿度
記号内の数値は実験番号を示す

実験番号
- 1～5：ヤカンの蒸気、簡警器取付位置 P_1
- 6～7：ヤカンの蒸気、簡警器取付位置 P_2
- 8～10：外気取入れ、簡警器取付位置 P_1
- 11～20：外気取入れ、洋間8畳

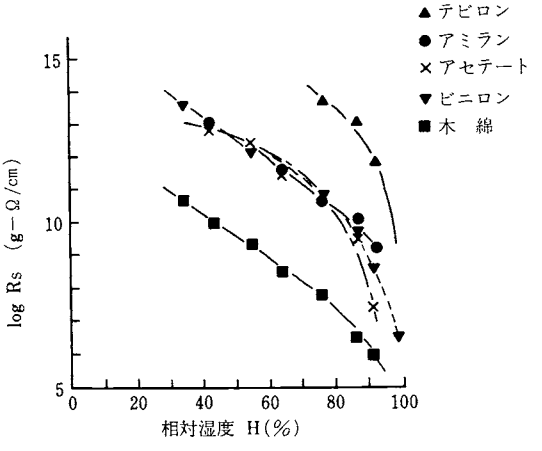


図8　各種繊維の質量化抵抗(R_s)と相対湿度(H)の関係[4)]

$Rs = R \times (W/\ell)/L) \times N$
R：実測抵抗値(Ω)、L：電極間距離(cm)
W/ℓ：単位長さの重量(g/cm)、N：糸の巻数×2
上式より、実際の繊維の抵抗Rは図に示すRsより大きい値となる。

られたのは1度だけで、それは簡警器I_1であった。一方、電極間の糸埃を新しく付け替えて洋間8畳でクーラを用いて行われた実験において、片方のみの簡警器出力が得られた実験ではすべて簡警器I_2であり、両者とも簡警器出力が得られた実験でも簡警器I_2の出力の方が大きかった。

このように簡警器I_1、I_2が同じ環境条件で異った反応を示したことは、糸埃が接触する電極表面の状態あるいは糸埃の接触面積など糸埃の接触状態の違いによるものと思われる。また、電極に接するように置いた糸埃が吸湿して伸びることにより、電極から離れたり、接触面積が小さくなることも考えられる。

従って、2台の簡警器の糸埃が同じように吸湿し、糸埃の電気抵抗も同じになったとしても、接触状態が異なれば、検知電極—糸埃—内部電極で構成される電極間の電気抵抗は異なると言えよう。いずれにしても検知電極と内部電極を橋渡しするように付着した糸埃の吸湿及び付着状況によって簡警器出力に影響を与えると推測できる。

4.1.3　簡警器出力に影響を与え始める湿度の大きさ

簡警器周囲の相対湿度が80%前後に達すると、糸埃は空気中の水分を吸い、その結果、糸埃の電気抵抗が減少して簡警器出力に影響を与えることがわかった。この糸埃の電気抵抗の減少は糸埃に含まれる水分の量によるであろう。図8では測定時の温度が明記されていないが、気温が高くなれば空気の飽和絶対湿度は大きくなる。従って、同じ相対湿度であっても温度によ

って絶対湿度は異なるので、糸埃に含まれる水分の量も異なる。それ故、糸埃の電気抵抗に与える影響は相対湿度ではなく絶対湿度であると考えた方がよいと思われる。

そこで、簡警器出力が立上り始めた時刻における相対湿度と絶対湿度の関係を調べてみた。図9にその結果を示す。なお、簡警器出力が得られなかった実験については、最高相対湿度とそれに対応する絶対湿度の値を示した。各実験開始前の相対及び絶対湿度はいずれも75.2%及び14.1g/m³以下であった。

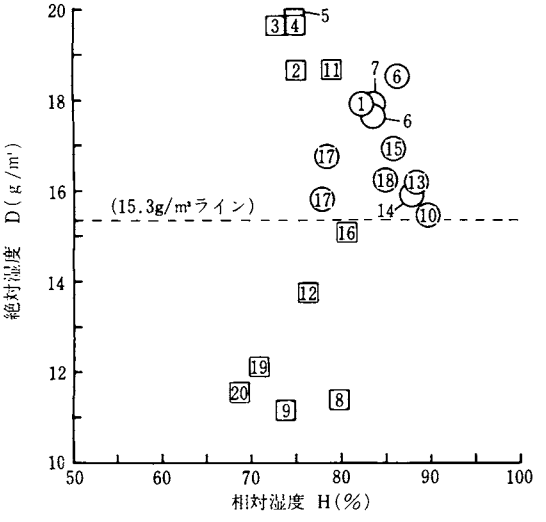


図9　簡警器出力立上り時の相対湿度と絶対湿度の関係

○：簡警器出力立上り時
□：簡警器出力が得られなかった実験での最高相対湿度到達時の値を示す。
記号内の数値は実験番号を示す。

図9をみると、簡警器出力が得られている最小相対湿度より大きい相対湿度にもかかわらず簡警器出力が得られていない実験番号は8、11及び16である。実験番号16は図7に示すように湿度が増加し始めてから8分37秒後に最高相対湿度に達した後、更に1時間40分測定を続けたが簡警器出力は得られなかった。

一方、簡警器出力が得られている最小絶対湿度より大きい絶対湿度で、簡警器出力が得られていない実験番号2～5はいずれもヤカンの蒸気による加湿実験で、湿った空気が簡警器近傍を短時間しか流れないために、電離室内に湿った空気が入らなかった可能性がある。また実験番号11の相対湿度及び絶対湿度は実験番号17の簡警器出力が得られたときの値をいずれも上回っているが、図7に示すように3分40秒で最高相対湿度に達した後、約17分で実験を終了したので、他の実験と同様に長時間測定を継続していれば簡警器出力が得られたかも知れない。

以上のことを考慮すると、今回用いたアクリル製糸埃では、簡警器周囲の絶対湿度が15.3g/m³以上になると簡警器出力が得られると言えよう。

4.2　高温・多湿時に非火災報が発生し易い理由

次に絶対湿度が15.3g/m³になる温度・湿度等の条件について検討してみる。絶対湿度D(g/m³)は相対湿度H(%)、温度T(℃)、飽和蒸気圧e_s(mmHg)及び大気圧P_0(mmHg)の関数として次式[6]で示される。

$$D=(H/100)\{804/(1+0.00366T)\}(e_s/P_0)$$

気圧を760mmHgとおくと、上式より温度が19.7℃以下では相対湿度が100%であっても絶対湿度は15.3g/m³以下である。また17.9℃以上では、温度が高くなるにつれて、絶対湿度15.3g/m³に相当する相対湿度は低くなる。

これらのことから簡警器が高温・多湿の環境にさらされると、電極間に付着した糸埃の吸湿による非火災報が発生し易くなると言えよう。6月から7月にかけての梅雨の時期は気温が18℃以上になれば、相対湿度が高い日は非火災報が発生し易くなる。また7月下旬から8月にかけての気温が高い時期は相対湿度が低くとも、絶対湿度が15.3g/m³を超える日には、やはり非火災報が発生し易くなると言えよう。

5．まとめ

従来、原因不明と言われていたイオン化式簡警器の非火災報発生の要因の一つとして、内部電離室の電極間に付着した糸埃の吸湿による影響であることが明らかとなった。今回実験に用いたアクリル製糸埃の場合、簡警器周囲の空気の絶対湿度が15.3g/m³以上になると糸埃の付着の仕方によって、簡警器は非火災報を発生することがある。電離室内の糸埃に湿った空気の影響が現われる時間は空気の流れの速さによって異なる。また、内部電離室の電極間に付着した糸埃の吸湿による非火災報が高温・多湿となる夏期に発生し易い理由も推測できた。

6．おわりに

今回、明らかとなった非火災報を防止するには次のような対策が考えられる。

1)　電離室内に糸埃が入りにくいようにする

湿度試験で非火災報を発生したイオン化式簡警器は防虫網が取付けられていなかった。一方、24メッシュまたは40メッシュの防虫網を取付けてあったものは湿度試験で非火災報を発生しなかった。また、湿度試験で作動

した簡警器の内部電離室の電極間に付着していた糸埃の長さは1.5～3㎜であった。従って防虫網を取付けることにより、大きい糸埃の侵入を防ぎ、この種の非火災報を減らす効果があると言えよう。

2）内部電離室の電極間隔を大きくする

防虫網を取付けても電離室内に侵入する糸埃を皆無にすることはできないので、図1に示す電極間距離（1～1.5㎜）を大きくすることにより、より効果があがるであろう。また、図1に示す検知電極の開口部の切口の小さな突起に糸埃が引っ掛かるように付着していたことから、糸埃が付着しにくいように電極表面を仕上げることも大切である。

引用文献

1）竹元昭夫：日本火災学会研究発表会概要集，p.105（1983）

2）竹元昭夫：日本火災学会研究発表会概要集、p.17（1985）

3）桜内雄二郎：プラスチック材料読本、p.380 工業調査会（1984）

4）高分子学会・高分子と吸湿委員会編：材料と水分ハンドブック、p.532，543，共立出版（1968）

5）板谷松樹：水力学、p.22，朝倉書店（1972）

6）大久保健：トランジスタ技術、7月号，p.257，CQ出版（1982）

消防研究所の研究活動

『消防研究所報告』通巻60号(1985年9月発行)
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。今回から『消防研究所報告』の最新号に掲載された論文の概要をお伝えします。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。

1983年日本海中部地震による苫小牧での石油タンクの液面揺動について

座間信作

地震時における大型石油タンクの液面揺動現象（スロッシング）を明らかにするために、従来の一方向加振に対する応答解析法を水平2方向加振の場合に拡張し、これを用いて1983年日本海中部地震による苫小牧でのスロッシングに関するデータの説明を試みた。入力地震動は、タンク立地点に近い苫小牧測候所の気象庁1倍強震計記録から評価した。応答解析結果は、最大液面上昇量及び卓越方向の観測値とよく一致した。これから、理論式を導く際に従来から用いられている種々の仮定が成立すること、及び本論で示した方法が有効であることが示された。また大型石油タンクのスロッシングに強く影響を及ぼす長周期地震動の平均像とその地域特性を把握することの重要性が指摘された。

石油タンク隅角部に発生する塑性疲労き裂の進展挙動　——その1、両振り曲げの場合——

亀井浅道、山田　實

石油タンクの破壊は多くの場合、側板とアニュラー板の溶接継手部で起きている。破壊はき裂が発生・成長して起こるが、本報はこの部位に発生する低サイクル曲げ疲労き裂の進展挙動を実験的に調べたものである。その結果、き裂の拡大の様相、疲労寿命等に関する知見が得られた。

セルロースの発火に及ぼすハロゲン化合物の影響

斎藤　直

高分子の発火に及ぼすハロゲン化合物の影響を、ろ紙を試料とし、乾燥空気零囲気に5％の四塩化炭素又はハロン1301を添加し、赤外線加熱により試料を発火させて調べた。

その結果、これらの添加剤は、この添加濃度において試料ろ紙の発火時間をほとんど変化させることがなく、発火には影響を与えていなかった。

しかし、これらの添加剤は試料の発火後の気相燃焼を抑制しており、この効果を考慮に入れると延焼対策上、これらのハロゲン化合物の存在は安全側にあるといえる。

半実大室モデルにおける高分子物質の火災性状

箭内英治

高分子物質を内容積8 m³（2 m×2 m×2 m）の室モデル内で強制給気条件の下に燃焼させ、その火災性状を調べた。本実験条件は、かなり窓の小さい建物火災の燃焼状態に相当し、燃料が夫燃のまま排出される割合が大きく、特に、合成高分子物質を低給気量で燃焼させた際に著しい結果が得られた。また、酸素消費法により求めた発燃速度は、給気量が1.92～3.84 m³/min.の範囲内で、次の関係式で与えられることが分かった。

$$Q=50F \qquad (F=1.92\sim3.84\,\mathrm{m^3/min.})$$

ここに、Qは発熱速度(kW), Fは給気量(m³/min.)である。

高圧タンクの配管系からの圧縮液化ガスの流量について

山本　勲・佐藤公雄

本研究は圧縮液化ガスがその圧力容器の配管等の破損により外部へ流出する際の流量等の性状を知ることを目的とした。フロン12を充填した圧力タンクに、種々の口径や長さのノズル、オリフィス、配管を取り付け、これらを通じてフロン12を流出させ、流量及び圧力変化等を測定した。

その結果、圧縮液化ガスの流量は、それ自身の圧力降下の状態によって大きく異なることが認められた。流量の計算による想定に当たっては、圧力降下がわず

かである場合と十分進行した場合のそれぞれに異なった計算式を用いるため、圧力降下の状態を十分把握して、2つの式を適切に使い分ける必要があることが分かった。

放射性物質輸送容器モデルの炉内加熱及びオープンファイヤ実験における熱環境の比較

宮崎早苗・島田裕久

我が国の関係法規の規定によれば、放射性物質輸送容器の火災事故時の安全性に関する試験条件としては、炉内加熱試験若しくはオープンファイヤ試験のいずれかによるとされている。これら2種類の試験条件について、供試体への熱的影響及び周囲の熱環境の違いを比較する目的で、今回は輸送容器モデルを用いて実験を行った。

単開口室内の火災気流に関する三次元フィールドモデルによる解析
——NBS火災実験との比較——

佐藤晃由

前報（消研報告、No.59）において、単開口室内の火災気流に関するNBS火災実験に対応する3次元数値計算を行ったが、両者にはかなりの差があることが示された。この原因を種々調べたところ、前報においては数値計算上の容易さから、特に発熱源の大きさを実験条件よりも大きくとったことが強く影響していることがわかった。これを実験条件に近づけて数値計算を行い、熱気流流量における両者の差は約5～10%程度であることを確めた。さらに、熱源の位置及び開口部の大きさの影響も調べ、実験値にかなり近い結果を得た。

トンネル型区画室内の火災気流に関する三次元数値計算

佐藤晃由

トンネル型区画室内でのガスの炎の上昇気流と水平方向空気流の相互作用を調べることを目的として、消研報告No.53における実験に対応する三次元数値計算を行った。ここでは、数値計算の容易さから、セルの大きさを比較的大きく、かつ外部領域も計算上考慮しなかったため、定量的には実験値とかなりの差が認められたが、定性的には空気流量に対する発熱量、開口部の大きさ、熱源の大きさ、区画室の傾き等の影響は概ね一致することがわかった。

時間の概念を組み込んだ確率型延焼モデルについて
——防火木造建物の場合——

稲垣　実

防火木造建物で構成された街区の延焼をシミュレートする時間の概念を組み込んだ確率型延焼モデルを木造建物の場合と同様な考え方に基づいて開発した。防火木造建物の火災からの放射を受ける隣接した防火木造の壁の温度変化を放射～時間曲線より求め、木質部の着火温度を260℃とした場合の延焼限界距離、延焼に要する時間、延焼確率と時間の関係を求めた。これらを用いて延焼シミュレーションを試み、街区が木造建物か又は防火木造建物のみで構成されているとした場合の延焼棟数を比較した。

窓ガラスの熱破損と窓ガラスによる火炎からの放射のしゃ断について

稲垣　実・山下邦博

耐火造建物の火災実験を行い、火災時の窓ガラスの破損と隣接した建物の窓ガラスとカーテンの加熱状態を観測した。火災室の窓の網入ガラスは板ガラスが破損してから6分以上破損せずに当初の形態を保ち、その耐火性が確認された。隣接した建物の網入ガラスは火災最盛時25,000kcal/m²hの放射を受け最高250℃に達したが亀裂が入っただけで破損しなかった。

火炎からの放射が建築用板ガラスを透過する率は、ガラスの透過帯域を0.4μmから2.7μmとし、CO_2及びH_2Oからの放射を無視すると800℃で0.24、1,000℃で0.35となる。

消防署所の配置に関する一方法とその応用

寒河江幸平

走行距離に地区の人口又は人口密度で重み付けする消防署所の配置のための一方法について述べ、その方法を埼玉県熊谷地区消防組合管内の場合に応用した。この方法では、署所を地区の幾何学的重心に配置する、1署所には1台の消防車又は救急車を配置する、走行距離は重心間のものとする等の仮定を行っている。応用結果から、人口密度で重みを付けた場合の方が現行の署所の配置とよりよく一致することが分かった。提案した消防署所の配置方法は、市街地、非市街地を問わず、より一般的な地域に広く応用できるものである。

半実大室モデルにおける高分子物質の燃焼時の有毒ガス発生特性

守川時生・箭内英治

半実大室モデル（2m×2m×2m）内で木材及び各種成高分子物質をブロワーによる空気供給で制御された換気条件下で燃焼させCO, アクロレイン, HCN, NO_xなどの有毒ガスの発生特性を調べた。その結果、CO, アクロレイン, HCNの発生の大きい空気供給速度/燃焼速度比及びCO_2/CO比が明らかになった。また、アクロレイン及びHCNのCOと比較した毒性危険の程度や燃料によるNO_xの発生傾向が明らかになった。

消防研究所「月例研究会・報告会」要旨

昭和59年10月8日

配管系からの液化ガスの流出について：山本　勲・佐藤公雄（消火第二研究室）

圧縮液化ガスがその圧力容器の配管等の破損により外部へ流出する際の流量等の性状を知るための実験を行った。その結果、流率は液化ガスの気化の状態によって大きく異なる。配管に沿っての圧力降下が小なる時は液化ガスは液体に近い状態で流れていると考えて良く、流率は大きい。圧力降下が大なる場合はこの逆となる。これらの流率の算出方法には2つの方法が提案されているが、上記の様な流出状態に対応しこの2つを区別して使い分ける必要がある。

複合用途ビル火災時における在館者の避難行動：神　忠久・山田常圭（避難安全研究室）

大規模複合用途ビルの屋上で火災が発生した際の在館者の行動をアンケートによって調査し、その結果を報告した。火災の情報の入手方法が、在館者の心理的な動揺度や、行動に及ぼすこと、特に、覚知・避難において、正確な情報源としての館内放送が、避難開始の契機となり、心理的動揺を抑える上でも重要であることを示した。

防火服の防熱性能(そのⅠ)——高温物体との接触時における熱痛覚の発生までの時間(一次元非定常熱伝導)——：渡部勇市（第三研究部）

高温物体が防火服に接触した場合の熱痛覚の発生する時間を一次元非定常熱伝導の計算により求めた。その結果、熱痛覚の発生する時間は高温物体の材質で異なり、熱定数$k \times \rho \times c$が小さくなるに従い、金属類、無機質、断熱材の順に長くなる。又、布の厚みの2乗に比例して長くなり、布の熱伝導率が小さく、熱容量が大きい程長くなる等が分かった。熱痛覚発生時間を延ばすためには、布地の温度伝導率を小さく、厚みを大きくすれば良いが、防火服の作業性の面からも検討する必要がある。

昭和59年11月12日

炎検知器の感度試験装置について：笹原邦夫（通報設備研究室）

実験室内で簡単に炎検知器の感度試験ができる装置を試作した。この装置は、紫外線、赤外線いずれの炎検知器の感度試験にも使用でき、指向特性も測定できる構造となっている。主な仕様は次のとおりである。

光　　源：アセトンの燃焼炎　　放射照度：17mW/cm^2（光源から7.5cmの位置）

光学台長さ：95cm　　チョッパー周波数：2Hz～38Hz

ロ紙の発火におよぼす四塩化炭素の影響：斎藤　直（情報処理研究室）

赤外線加熱による高分子の発火に及ぼすハロゲン化合物の影響を、乾燥空気および5％の四塩化炭素を含む乾燥空気中でろ紙を発火させて調べた。

その結果、5％の四塩化炭素を添加しても試料ろ紙の発火時間にほとんど変化は認められず、四塩化炭素は発火に顕著な影響を与えていなかった。しかし、発火後のろ紙の燃焼を明らかに抑制しており、四塩化炭素の存在は延焼防止のためには望ましいと結論された。

鉛直下向きに噴出したガスの水平面に衝突した後のひろがり：佐藤公雄・山本　勲（消火第二研究室）

地表面の近くに設置したノズルより、空気より重いガスを鉛直下向きに放出し、地面に衝突した後のガスの挙動を調べた。その結果、壁流領域のガスの濃度分布も自由噴流の濃度分布と非常によく似た単純な式で表わすこととができた。

$$\frac{C_{xy}}{C_0}=2.0\frac{d}{\sqrt{x(x+H)}}\left(\frac{\rho_a}{\rho_0}\right)^{1/2}exp\left\{-\left(\frac{7.5y}{x+H}\right)^2\right.$$

C_{xy}：中心軸からの距離x、地面からの距離yでの濃度H、d：ノズルの高さと口径、ρ_0、ρ_a：ガスと空気の密度。

タンクの爆発火災における爆発力の解析：那波英文・長谷川和俊（施設安全研究室）

昭和59年3月5日、トルエン排液タンク（200m^3）が爆発・炎上した。この事故について爆発力を解析した。す

なわち、タンク周辺における爆風による窓ガラス、スレート屋根等の被害状況から、TNT当量値を算定し、一方、タンク内に形成されたトルエンの可燃性混合気体の爆発過程の推定から全体の発熱量を推察した。これらの値をもとにして、TNT収率を求め、爆発の状況について考察した。

昭和59年12月10日

タンク隅角部に発生する塑性疲労き裂の進展挙動（その1）：亀井浅道・山田　實（地震防災研究室）

石油タンクの破壊は多くの場合、側板とアニュラー板の溶接継手部で起きている。破壊はき裂が発生・成長して起こるが、本報はこの部位に発生する低サイクル曲げ疲労き裂の進展挙動を実験的に調べたものである。その結果、き裂の拡大の様相、疲労寿命等に関する知見が得られた。

林野火災用高圧ポンプの性能と試験方法について：平賀俊哉・金田節夫（消防機械研究室）、**高橋俊明**（地域防災課）、**落合　勇**（日本消防検定協会）

山岳地の火災現場へ送水することを目的とした高圧ポンプについて下記のことがらを述べた。

(1)実用時の問題点、機械改良の経緯、改良後の性能。

(2)消防庁の特殊災害用消防施設等整備費（林野分）補助金要綱のうちの可搬式送水装置技術基準作成協力のための実験結果。

(3)ポンプ性能からみた現地運用方法。

貯蔵油の帯電特性に及ぼすタンク内面のコーティングの影響：川崎正士（第二研究部）

3種の絶縁性塗料をそれぞれ内面塗布した同形タンク及び塗布のないタンクを用いて灯油の流入中及び流入停止後の帯電特性を調べた。

(1) ポンプを用いた実験では、流入中及び流入停止後とも電荷緩和特性は塗布の有無による差は認められず、油の導電率、誘電率を元にした理論曲線とほぼ一致した。

(2) 落差による自然流下実験では、塗布のないタンクでは流量が低下するにつれて電荷密度も順次減少したが、塗布したものでは減少が緩やかになった。

危険性物質の箔試験について：柿田公太郎（第一研究部）

すずはく（厚さ20μm、一辺が100mm）の間に13種の試料150～200mgを狭み、赤熱鉄棒で着火させはくにあいた孔の直径を測定して爆発危険を簡易に知ることができないかどうかを実験した。その結果、熱により爆発を起し、かつ発熱速度の大きいいわゆる不安定性物質の粉末への適用ができそうである。分解する前に融解が著るしい物質及び液体の物質への適用は、できない。

昭和60年1月14日

ヘプタン炎への流入空気量及び炎からの放射熱：湯本太郎（危険物研究室）

石油タンク火災における炎への流入空気量及び炎から周囲への放射熱を調べるため、ヘプタンを直径0.3m、0.6m、1m、2m及び6mのオープンタンク内で燃焼させ、1)輝いている炎の頂部迄に炎へ流入する空気量は燃焼に必要な理論空気量の約5倍である、2)炎への流入空気量はタンク直径によらず、炎の基部で最大である。3)ヘプタン炎の場合、直径約3mのタンクの炎から黒煙による輝炎部のしゃへい効果が現われる等がわかった。

1983年日本海中部地震による苫小牧でのスロッシング挙動について：座間信作（地震防災研究室）

地震時における大型石油タンクのスロッシング挙動を明らかにするために、従来の一方向加振に対する応答解析法を水平2方向加振の場合に拡張し、これを用いて1983年日本海中部地震による苫小牧でのスロッシングに関するデータの説明を試みた。入力地震動は、タンク立地点に近い苫小牧測候所の気象庁1倍強震計記録から評価した。応答解析結果は、最大液面上昇量及び卓越方向の観測値とよく一致した。

高分子物質の燃焼による有毒ガス――半実大室内模型における燃焼――：守川時生・箭内英治（燃焼研究室）

半実大室モデル（容積8m³）内で各種高分子物質を強制空気供給条件下で燃焼させ、有毒ガスの発生特性を調べた。結果の概略は以下のとおりである。(1)アクロレイン、CO、HCNの発生は空気供給速度／燃焼速度比が10ℓ/g以下、また、CO_2/CO比が10以下のときに大きい。(2)アクロレインによる毒性危険は、小規模実験の場合と異なって、COによるものより小さいが、HCNによる毒性危険はCOによるものより大きい場合がある。(3)含N高分子物質からのNO_xの発生は大きく、毒性的に無視できない場合がある。

昭和60年２月18日

室内火災気流に関する３次元数値計算――NBSが行った火災実験との比較：佐藤晃由（第一研究部）

計算流体力学(CFD)の分野での新しい手法が報じられているが、火災の分野では報告は多くなく、信頼できる実験値との照合の例も少い。そのため、ここでは米国・NBS/CFRによる区画室火災実験での熱気流の流量に関する実験結果に照らして、３次元数値計算を行い、比較を行った。その結果、ここでの比較的あらい数値計算条件のもとでも、その差は約５～10％程度であることがわかった。さらに、火源の位置の熱気流流量に対する影響もよく一致していた。

成田火災実験で行った人間の温度に近い物体の検索―― 熱像パターンと画像処理結果について――：平賀俊哉（消防機械研究室）

火災時の要救助者検索の一手段として、サーマルカメラ利用の可能性について実規模火災実験の場で検討した。検索対象物は、大きさが人間の頭部程度で、温度が人間の皮膚温度に近い革製のボールである。

得られた熱画像を７つのグループに分け、各グループを電算機により画像処理した結果について説明。

ある時間帯、ボールは原熱画像のみでは確認不可能であった。電算機を用いて特殊な方法で画像処理するとボールが容易に確認できることがわかった。

造成地盤における地震波の挙動：座間信作（地震防災研究室）

山を削り谷を埋める事によって造られた宅地の地震時安全性を把握するために、多摩地区をモデル地区として取り上げ、PS検層を行った。そのデータに基づき、地盤のモデル化を行い有限要素法を援用して、複雑な造成地盤内の地震波の挙動を波動論的に調べた。その結果、造成地盤内では地震動継続時間がかなり長くなることが判明した。この事は自然地震の観測結果からも確かめられた。

昭和60年３月11日

確率延焼モデルについて：稲垣　実（火災物理研究室）

防火木造建物で構成された街区の延焼をシミュレートする時間の概念を組み込んだ確率型延焼モデルを開発した。モデルは防火木造建物の火災からの放射を受ける隣接した防火木造の壁の温度変化を計算し、これにより導いた木質部の着火温度を260℃とした場合の延焼限界距離、延焼に要する時間、延焼確率と時間の関係を用いて、確率型の延焼モデルに時間の概念を組み込んだ。

限界放水速度の理論的考察：高橋　哲（消火設備研究室）

木材火災の消火は、放水速度が限界を越した時に達成できる。全体の消火は、筒先の鎮圧速度と、乾燥に伴なう再燃速度との競合関係で決まるとするダイナミズム理論を適用し、クリブ火災、野火、室内火災の限界放水速度を理論的に誘導することができた。これを換言すると、限界放水速度とは、水の最大気化速度に等しいことになる。水の最大気化速度は、伝熱理論から解析的に導くことができた。

室内環境によるイオン化式感知器の電離室の電流変化について(そのⅠ)：紙野定亮・竹元昭夫(通報設備研究室)、**寒河江幸平**（情報処理研究室）

イオン化式簡警器の電離室を構成している外部、中間及び内部電極の各電極間電流が温度、湿度等の室内環境の影響をどのように受けているか調べた。その結果、次のようなことがわかった。

(1)　外部・中間電極間及び内部・中間電極間の電流は室内環境変化の影響を受けない。

(2)　外部・内部電極間の電流は室内環境変化のうち、特に絶対湿度の影響を受ける。

昭和60年４月８日

半実大室モデルにおける高分子物質の燃焼――燃焼性状について：箭内英治・守川時生（燃焼研究室）

高分子物質を内容積８m^3の室モデル内で強制給気条件の下に燃焼させ、その火災性状を調べた。本実験条件は、かなり窓の小さい建物火災の燃焼条件に相当し、燃料が未燃のまま排出される割合が大きく、特に合成高分子物質を低給気量で燃焼させた際に著しい結果が得られた。また、酸素消費法により求めた発熱速度は、次の関係式で与えられることが分った。

$Q = 50F$　　ここに、Qは発熱速度(kW)、Fは給気量で、$1.92 \sim 3.84 m^3/min$の範囲内で成り立つ。

イオン化式簡警器の原因不明の非火災報に関する一見解：竹元昭夫（通報設備研究室）

各家庭から回収したイオン化式簡警器について、湿度試験を行ったところ、非火災報を発生したものがあった。それらの簡警器には、いずれも電離室内の各電極に糸埃が付着していたが、非火災報を発生しなかった簡警器の各電極にも糸埃が付着していた。この原因を究明した結果、内部及び中間電極を橋渡しするように付着した糸埃が吸湿することにより、簡警器が作動することがわかった。

月別林野火災の地域性(Ⅲ)：佐々木弘明（通報設備研究室）

全国47都道府県の月別林野火災件数のグラフを相互相関係数を用いて分類した。基準県との間の係数が、0.9以上の県と0.9未満の県の県境に地図上で太線を引く。47道府県を順次、基準県にとり、太線として現われた頻度の高い県境に着目して、以下の地域区分を得た。

(1)北海道、青森、岩手、秋田、山形、北陸4県、(2)宮城、福島、長野、(3)滋賀、京都、(4)鳥取、(5)島根、(6)沖縄(7)その他

簡易型火災警報器のモニターに対するアンケート調査結果(第2報)：関沢　愛（火災物理研究室）、**竹元昭夫・笹原邦夫**（通報設備研究室）

モニターの非火災報に対する反応について調べた結果、調理の煙など非火災報の原因が明確な場合には、月1回程度の発生頻度でも我慢できるのに対し、原因不明の非火災報の場合には、半年に1回程度が我慢の限界であることが分った。また、引き続き簡警器を使用したいと思うか否かの判断と、モニターの諸特性との相関を分析した結果、使用希望の意識と相関が強かったのは、「家族の内の喫煙者数」、「非火災報に対する反応」などであった。

火災避難時の煙の刺激性の影響について：神　忠久・山田常圭（避難安全研究室）

実験で得られた結論は下記のとおりである。

(1) 刺激性の煙の中での見透し距離は、煙の濃度の薄い領域では煙の物理的性質によるものが支配的であるが、高煙濃度領域になると前者よりは刺激性（生理的）による影響の方が支配的となる。

(2) 煙の刺激性によるまばたきの回数が通常の1.5倍以上の領域では、煙の刺激性による視力は Weber-Fechner の法則におおむね従い低下することが明らかになった。

昭和60年5月9日

有風下における樹木の延焼防止効果について：山下邦博（火災物理研究室）

ヘプタン火炎の風下に樹木（ツバキ、樹高3～4m）を置き、その樹木の風下に立てた角材（ヒノキ、高さ3m）の温度を測定することにより樹木の火災熱遮断効果を調べた。樹木は輻射熱を遮断する外に火炎の伸長防止、気流温度の低下の働きをして延焼防止に大いに役立つことが確かめられた。また、樹木と水幕を併用することにより延焼防止効果が著しく向上することがわかった。

円筒貯液タンクのスロッシングに関する研究――理論的解析手法の適用範囲についての検討――：吉原　浩・座間信作（地震防災研究室）

速度ポテンシャル理論に基づく石油タンク貯液のスロッシングについての解析手法が、実タンクに適用できるかどうか、模型実験及び観測例から最大液面上昇量について検討した。同理論による液面上昇量の計算値 η_{max}(cal)、液面上昇量の観測値 η_{max}(obs)及びタンク直径Dについて以下のことが明らかとなった。

(1) η_{max}(obs)/Dが大になると η_{max}(cal)/Dは大となる。

(2) Dが大きなタンクでは、小さなタンクに比べてより小さな η_{max}/Dで、〔η_{max}(obs)－η_{max}(cal)〕/Dは大となる。

AEの振幅分布について：佐々木弘明（通報設備研究室）

構造物の安全性の目安として、AE 1事象当りの平均エネルギー$\bar{E}$とAE振幅分布の傾きmがある。$\bar{E}$の大きいAEが頻発すれば危険であり、mが2以下であるのは割れに対応するとされている。然し、同じmでもAE事象の振幅分布が異なれば$\bar{E}$も異なる。逆にmが異なっても、振幅分布によっては$\bar{E}$が同一になり得る。ここでは石油タンクの水張りテスト中に得られたAEデータを振幅―傾き―平均エネルギーについて整理し、タンクの安全性について検討した。

昭和60年6月10日

横置円筒型タンク内の電位分布解析——充塡率及びタンク形状の影響——：松原美之（特殊火災研究室）

横置円筒型タンク内部に帯電油が貯蔵された場合に形成される電位分布を、数値的に計算し、タンク形状等の影響について検討した。その結果、①同一容量のタンクでは、高さ、幅、奥行が等しい形状の時に、内部の電位が最も高くなること、②電荷密度を一定と仮定すると充塡率が約75%の時に油面の電位が最も高くなること、③油面の高さによっては、防波板等のタンク内部の構造物近傍で電界強度が最大となることが判明した。

有機過酸化物の圧力容器試験——加熱速度と圧力上昇について——：柿田公太郎（第一研究部）

密閉式圧力容器の中に試料5.0gを入れたアルミニウムカップを置き、加熱速度を22～82deg/minの範囲で変え、圧力上昇の変化を調べた。実験の結果、ピーク数が1になる場合と2になる場合がある。圧力容器試験は最も厳しい値を求める試験であり、得られた圧力上昇の変化からみて、破裂板を使用する一般的な圧力容器試験では、加熱速度を38deg/minにとって試験をし、結果が得られなければ82deg/minで試験を行えばよいことがわかった。

簡易型火災警報器の警報音の選択について：笹原邦夫・佐々木弘明（通報設備研究室）

簡易型火災警報器の警報音として利用者はどのような音を望んでいるか、連続音(ブザー)、断続音（ホロホロ音、フリッカ音)、古典音楽など7種類のモデル音を使用して試聴実験を行った。

この結果、被験者53人のうち75%の人が断続音を希望し、周波数の高い(3,300Hz)ブザー音を希望する人は11%と少なく、古典音楽を希望する人はいなかった。これらのことから、注意をひく音で不快感のない音を希望する人の多いことがわかった。

昭和60年7月8日

ケラチン加水分解物の起泡成分について——金属添加時の界面活性能と金属結合能——：星野　誠・林　幸司（消火第一研究室）

わが国の大型石油タンクの固定泡消火設備には主にケラチン加水分解物系泡消火剤が使用されている。今回の実験では各種限外沪過膜を用いてケラチン加水分解物を各種成分に分画し、これらの分画成分各種に硫酸鉄(II)アンモニウム（モール塩）または塩化カルシウムを添加し、その起泡性、泡安定性、沈殿生成能および金属結合能を調べた。その結果、金属添加時の各分画成分の分画分子量と界面活性および金属結合性との関係が明らかになった。

小型室モデルにおける高分子物質燃焼時の有毒ガスの発生特性：守川時生（燃焼研究室）

小型室モデル（容積20ℓ）内で強制空気供給条件で、各種高分子物質を燃焼させ、有毒ガスの発生特性を調べた。半実大室モデルの場合とは温度、補助燃料の有無、その他の条件の違いから、実験結果はかなり異なる場合があった。以下の結果は実際の火災でも起り得るものと思われる。(1)CO以外の成分の毒性がCOの毒性より大きい場合がある。(2)ホルムアルデヒドの発生は毒性的にアクロレインの発生にほぼ匹敵する場合がある。(3)木材クリブと木毛からの毒性は後者の方が遙かに大きい場合が多く、形状によるガス発生特性の影響は大きい。

放散孔のある容器内での爆発の挙動：長谷川和俊（施設安全研究室）

放散孔のある容器内で、可燃性気体およびミストの爆発を起こさせたときの爆発挙動に関して、容器の大きさを変えた場合、放散孔を開放にした場合などについて実験を行い、以下の結論をえた。1)容器が大きくなると爆発圧力などの威力は増大する傾向にある。2)内容物体の飛び出しは爆発圧力インパルス値に依存する傾向にある。3)容器が大きくなるとガス爆発に比べ、ミスト爆発の爆発威力が増大する。

昭和60年9月9日

上海消防科学研究所について：張　建光（上海消防科学研究所消防装備研究室）

中国には次に示す四つの国立の消防研究所がある。

1．天津消防科学研究所。2．上海消防科学研究所。3．瀋陽消防科学研究所。4．四川消防科学研究所。

このうち、上海消防科学研究所は1965年に創設された。現在、職員195名で、このうち研究技術者は118名である。ここには、a)個人装備を含む消防用機器及び避難器具、b)消防戦術及び消火薬剤、に関することを行う研究室と、c)消防全般の情報収集、d)消防機器の検定、に関する業務を行うセクションがある。

瀋陽消防科学研究所の概要：孟　宇（瀋陽消防科学研究所火報検定センター）

瀋陽消防科学研究所は1964年に創設された。現在、職員約150名、うち研究技術者は約100名である。

所長１名、副所長２名のもとに、研究計画の制定、物品の管理、庶務事項を行う３つの弁公室と電気火災理論と防火の研究・火災原因調査を行う電気火災研究室、火報設備・関連システムの研究を行う警報器研究室、通信指令・コンピュータ応用技術の研究を行う通信技術研究室、資料情報室、消防電子製品検定センターがある。

大型タンクのスロッシング挙動観測：座間信作・吉原　浩・亀井浅道（地震防災研究室）

大型タンクのスロッシング挙動を正確に知る目的で、川崎市にある10,000kℓ水タンクで、広帯域地震動観測、液面変位観測等を実施している。1984年長野県西部地震では明瞭なスロッシングが観測された。その解析から固有周期は５次のモードまで理論値と一致すること、減衰定数は約0.1%であることが判明した。またタンクわきの地盤で得られた地震記録を入力として、３次元応答解析を行った結果、最大振幅、波形とも観測値とよく一致することが示された。

貯蔵内部における帯電油中の電荷密度分布について：宮崎早苗（特殊火災研究室）、**松原美之**（第二研究部）

タンク内の電荷密度分布を把握することが、静電気帯電による災害の危険性を論ずる上で、不可欠なものと考えられる。そこで、貯油プラント実験設備を用い、油を循環流動させて電荷密度分布の測定を行った。その結果、タンク内の鉛直方向の電荷密度分布は、流量が小さい場合油面近傍が高く、流量が大きい場合では、底部が高密度となった。また流量の増加とともに、電荷密度がより均一な分布となっていく傾向を示した。

昭和60年10月14日

球形伝播火災のCH発光によるプロパン/酸素混合気の燃焼速度の測定：斎藤　直（情報処理研究室）

球形に燃え広がる炭化水素炎から放射されるCH発光強度の時間変化を測定し、防災研究においても重要な燃焼速度を求める方法を提案した。

提案した方法により、低圧のプロパン/酸素混合気の燃焼速度を室温及び100℃で測定し、測定装置に十分な配慮をすれば、本方法により精度よく燃焼速度を求めることができることを示した。

工業用フィルタ通過前後の油の帯電性状――セパレータ、クレイ両フィルタの計測例――：川崎正士（特殊火災研究室）

防災技術の基礎資料とするため、油沪過用の工業用フィルタ２種を選び、操業時の静電気諸特性を調べた。

１）灯油を等流量流した場合、クレーフィルタはセパレータフィルタより多量の電荷を発生した。

２）セパレータフィルタの電荷発生量は油の流量の増加とともに上昇した。低流量域では流量の1.55乗に比例し、高流量域では1.22乗に比例した。

３）新しくフィルタを使用する場合、初期の２～３ヶ月は、用いる液体の導電率に変動を与えることがある。

噴霧注水下における耐放射熱について：山下邦博（火災物理研究室）

輻射熱源の前方に被験箇所を設け、そこに上方から下方に向けて水噴霧を放出する条件下において上半身裸の人が立って耐容時間（熱くなって逃げるまでの時間）を調べた。その地点の放射照度が比較的小さい場合(1,100 4,000cal/m²・hr)には注水の効果は著しく現われるが、放射照度が高くなる(約5,000kcal/m²・hr)と水噴霧の蒸発が大きくなり、注水の効果は少なくなった。

昭和60年11月11日

模型防油堤火災の燃焼性状：湯本太郎(危険物研究室)

防油堤火災における燃焼速度、炎から周囲への放射熱、火炎内温度等の燃焼性状を調べるため、2.7m角防油堤と0.8m直径の浮き屋根タンク４基及びヘプタンを使い、タンク間距離を0.6m、タンク防油堤間距離を0.25mとした時の1)防油堤内空地部火災、2)浮き屋根タンク火災を含む防油堤火災、3)オープンタンク火災を含む防油堤火災、4)タンクを取り去った防油堤の火災の４種類の防油堤火災実験を行った。

高圧で水平方向に放出されたガスの拡がり：山本　勲・佐藤公雄（消火第二研究室）

圧縮液化ガス等が、容器、配管等から水平方向に噴出する際の拡散性状を知るための実験を行った。CO_2及びフロン12を２～８kg/cm²の圧力の範囲でφ3.9mmとφ6.7mmの２種類の口径のノズルより水平方向に噴出させ、ノズル下流のガスの濃度と速度を測定した。ある仮定のもとで、実験結果を物質及び運動量保存則を用い解析した結果、ノズル下流の速度分布及び濃度分布を表わす式を求めることができた。

消　研　輯　報　第 39 号
昭 和 60 年 12 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