

消研輯報 35

〔グラビア〕

- デアボーンの消防車
- 第29回全国消防技術者会議分科会
- 筑南火災実験
- スチール製事務机の引出し内火災実験

〔紹介〕

- デアボーンの消防車

〔野外実験〕

- 雪路用タイヤ・チェーンの性能比較実験
- 雪上のホース展張について

〔研究〕

- 小型円筒タンク内の液体動搖に関する実験
- 木毛および発泡系高分子物質の燃焼速度
- 各種可燃性液体の燃焼性状
- 地形模型を使った日射量実験
　　—貫山の急炎上に関する—

〔事故と調査〕

- 1978年宮城県沖地震時における消防隊の活動状況
- スチール製事務机の引出し内火災実験

〔月例研究会・報告会〕

—昭和55年10月～56年9月—

消研輯報

目 次

〔グラビア〕

- デアボーンの消防車
- 第29回全国消防技術者会議分科会
- 筑南火災実験
- スチール製事務机の引出し内を焼いた火災の調査と実験

〔紹 介〕

- デアボーンの消防車 佐藤晃由 5

〔野外実験〕

- 雪路用タイヤチェーンの性能比較実験 金田節夫 10
- 雪上のホース展張について 金田節夫 16

〔研 究〕

- 小型円筒タンク内の液体動揺に関する実験 吉原 浩・亀井浅道 21
- 木毛および発泡系高分子物質の燃焼性状 箭内英治 27
- 各種可燃性液体の燃焼性状 湯本太郎・佐藤公雄・古積 博 30
- 地形模型を使った日射量実験
—— 貴山急炎上に関する —— 笹原邦夫・佐々木弘明 35

〔事故と調査〕

- 1978年宮城県沖地震時における消防隊の活動状況 関沢 愛 39
- スチール製事務机の引出し内火災実験 守川時生 46

〔月例研究会・報告会〕

- 昭和55年10月～56年9月 —— 49

デアボーンの消防車

アメリカ合衆国デトロイト市にあるヘンリー・フォード博物館所蔵の年代別消防車のコレクションから（説明は本文5頁参照）

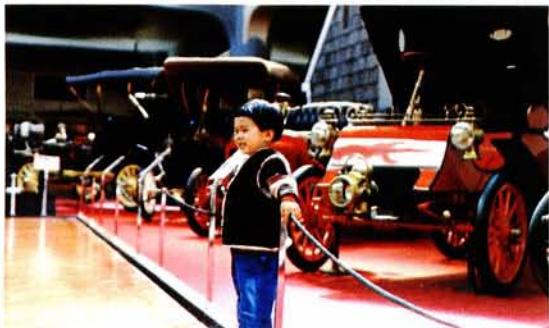


写真2 T型フォードを始めとする自動車のコレクション



写真4 1797年ごろの手押し式消防ポンプ車



写真5 1836年製造の手押し式消防ポンプ車



写真7 ピアノ・ボックス・ニューヨーク型と呼ばれる小型手押しポンプ車



写真8 1875年ごろのはしご運搬車



写真14 1900年代初期の大型蒸気ポンプ車



写真15 1895年ごろの化学消防馬車

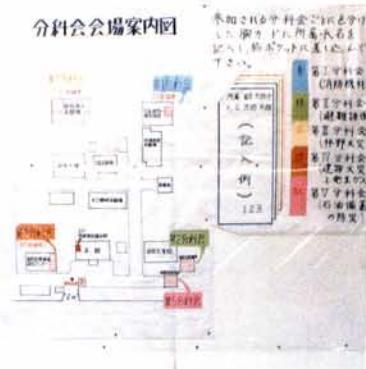


写真16 1920年代になると自動車の発達により消防自動車となった

第29回全国消防技術者会議分科会



分科会会場案内図



▲分科会会場案内図



◀第I分科会(日本消防検定協会)

第29回全国消防技術者会議は、10月13、14日の2日間にわたり開催された。第1日目は新宿駅西口の朝日生命ホールに於いて、午前には東京外語大教授安倍北夫氏の特別講演があり、午後は研究発表が行われた。第2日目は会場を三鷹市の消防研究所界隈に移し、次の5つの分科会にわかれ研究発表と討議が行われた。



- 第I分科会 消防機械
- 第II分科会 避難誘導
- 第III分科会 林野火災
- 第IV分科会 建物火災と発生ガス

▶第IV分科会(消防科学情報研究センター)



▶第III分科会(総合消火実験棟)



◀第II分科会(消防大学校)

計約500名が参加し、正午盛会裏に開会した。ここに掲げる写真は、第2日の分科会の開催状況である。

▼第V分科会(消防研修協会)



筑南火災実験

この火災実験は、昭和56年10月、筑南広域消防本部(茨城県下)の主催で行なわれたものである。消防研究所は、この実験に協力参加し、各種建物の燃焼状況の観察を行なうとともに、水幕の防熱効果、防災ズキンの耐・防火性を観測した。



1. B棟の燃焼状況（点火後6分42秒）
木造モルタル平屋の建物で約15分で屋根が燃え落ちた。



2. 水幕形成時の状況（点火後6分30秒）
水噴霧のため全体がぼやけて見える。この状態で放射熱を約40%だけ遮断した。



3. 消防隊員によるズキンの防熱試験（点火後7分）
火災に正対するときは殆ど差がないが、横向きになると防災ズキンを着た人の耐容時間は、着ていない人よりも約1分間長くなった。



4. 各種ズキンの耐熱試験（点火後12分頃）
木綿製の防災ズキンは、11分頃から燃え始めた。



5. A棟の燃焼状況（点火後51分、火災最盛期）
軽量鉄骨作り2階建てで西側の部屋には、まだ火が入っていない。



6. C棟の燃焼状況（点火後28分、火災最盛期）
ツーバイ・フォー工法による2階建てで屋根が落ちたのは、40分後であった。

スチール製事務机の引出し内火災実験

スチール製事務机の引出しが閉じているにもかかわらず内部が焼けるという“火災”があり、下の写真は机の中の燃焼状態を調べる実験中に撮影したものである。(説明は本文46頁参照)



写真 1



写真 2



写真 3



写真 4



写真 5

写真 1：実験例 1 60分後の下段引出し
(半分は全く燃えていない)

写真 2：実験例 3 点火後 5 分

写真 3：実験例 3 40分後の下段引出し内部

写真 4：実験例 3 40分の中段引出し内部

写真 5：実験例 3 40分後の袖部上段引出し内部

デアボーンの消防車

佐藤 晃由

アメリカのデトロイト市にあるヘンリー・フォード博物館所蔵の年代別消防車輛のコレクションを紹介する。

アメリカの自動車工業の中心地デトロイトまで、インディアナ州ノートルダムより時速60マイル(約100km/h)で4時間ひた走る高速道路US 80(90)(途中インディアナ・トールロード、オハイオ・ターンパイクなど名が変わる)の両側は牛馬が草を食む牧場と、果てしなくどこまでも続くトモロコシ畑であった。デトロイト市内に入ると三大自動車会社の本社、工場が見え、道路標識にPONTIACとかCADILLAC BLVD.など車にゆかりのある地名、通り名が見うけられた。(同時にまた、この自動車の本拠地にもTOYOTA、DATSUNの販売店の文字が見られ、市内にたたずむ失業中かと思われる黒人達と対比をなしていたのだが。)

この町の一角、デアボーンにフォード自動車の工場と敷地を同じくして、グリーンフィールド・ビリッジとヘンリー・フォード博物館がある。グリーンフィールド“村”は広大な文字通り緑の森と湖の中にあり(冬には一面深い雪で、“ホワイト・ビリッジ”となる)、愛知県犬山市の明治村と同様、ヘンリー・フォード一世、ライト兄弟など有名人の生家、エジソンによる電気機器工場、その他風車による製粉工場、ガラス工場など歴史的建物、産業設備が移築復元されている。**写真1**

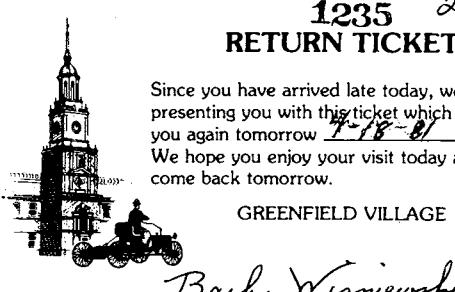


図2 グリーンフィールド村入場券

午後ここに訪れた入場者には翌日も入場できる券をくれる。ヘンリー・フォード博物館でも同様で、すべて見るためには一日を用意することを期待しているようである。

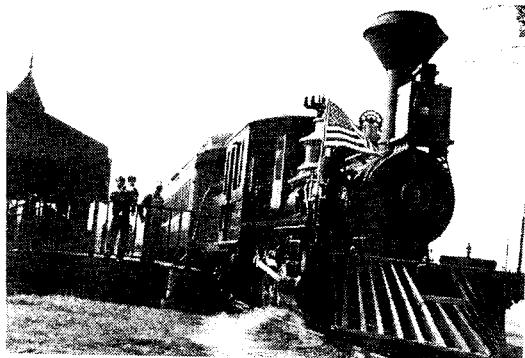


写真1

は“村”内を走る蒸気機関車で、馬車によるツアーとともに子供達の人気を集めている。

この“村”に隣接して、ヘンリー、フォード博物館がある。ここには自動車のコレクションのみならず、Decorative Art Galleries, Interpretive Center, Street of American Shop 及び Hall of Technology の4部門からなる膨大な数のコレクションがあり、家内工業の時代から近代工業国への変貌を遂げるアメリカ合衆国の歴史そのものもある。Hall of TechnologyにはT型フォードをはじめとする自動車(写真2*)、汽車、飛行機などの乗り物、農業用機械(その中には鋼鉄製の蒸気トラクターさえある)、大型プレス機械など産業用機械、発電用機械、家庭用電気機器など幅広い展示がある。

これらの一隅に消防車輛のコレクションがある。それらは消防ポンプの動力源が人力、即ち、手押しポンプの時代のもの、蒸気機関を動力源とする時代のもの、現在と同様ガソリンエンジン等内燃機関を動力源とする時代のものに区分される。

手押し式消防ポンプ(hand-pump fire engine)はすでにギリシャの時代からあったようで、アメリカでも手押しポンプの時代は長く、写真3の可搬式ポンプは1760年ごろのもので、金属製のシリンダー、放水口及

*写真2はカラー・グラビア参照



図1 デトロイト市内地図

ルート39と153の交叉するあたり(左下)にデアボーン(DEARBORN)がある。川の向う側(右下)はカナダである。

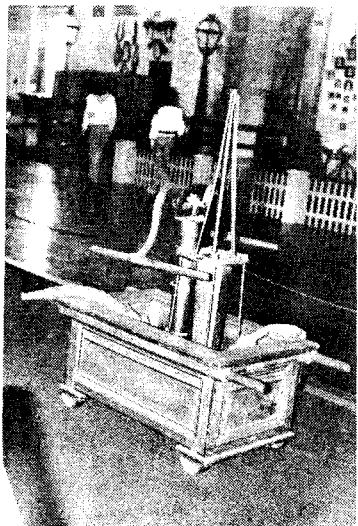


写真3

び蛇腹の放水管がついている。写真4**は1797年製のマサチューセッツ州プリマス市で使われていたもので、銅製のため青く見える。このころの消防車には写真のような給水用バケツがぶら下げてある。写真5**のポンプ車ではポンプを漕ぐハンドルが車の胴脇についていて、多人数で漕げる長い棒も走行の支障にならない。

写真6の消防車は1843年製のものでフィラデルフィア

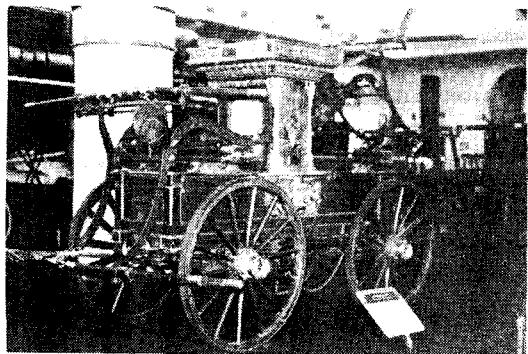


写真6

型と呼ばれる。これはダブルデッキ、ダブルピストン、エンドストローク・マシンで当時としては強力なポンプであった。これも始めはバケツリレーによる給水であったが、後には吸い込み式となった。写真7**の小型の消防ポンプは小さな町や村で使われたもので、ピアノボックス・ニューヨーク型と呼ばれる。写真4**、5**、6、7**はそれぞれ馬によって引かれる消防馬車である。

写真8**は1875年ごろのはしご車である。肝心のはしごは中に積まれていてよく見えず、バケツ車と呼ぶ

方が適當かもしれない。このバケツはポンプ車へのリレー給水 (a line of bucket men) に使用され、上に見える長鉤は破壊消防法により建物の一部をひきはがすのに用いられた。これも馬に牽引される馬車である。はしごは当時、しだいに3階建て以上の高い建物が建て始められるようになったため、専用の車で運ばれるようになったもので、それまではアメリカにおいても大きな建物も少なく、町のどこかに常備してあるものや農家の庭先にあるものなどを使ったものである。19世紀も末ごろになると機械力によって上下できる固定されたはしごを備えるはしご車もあらわれた。また当時、専用のホース運搬車も作られている。1700年代の初期の型の消防ポンプにはホースがなく、直接ポンプよりノズルを通して放水していたが、1800年代に入ると牛の皮を鉢止めしたホースができ、それらを運ぶ必要が生じたものである。

写真9**は1880年ごろのレミントン社製のロータリ

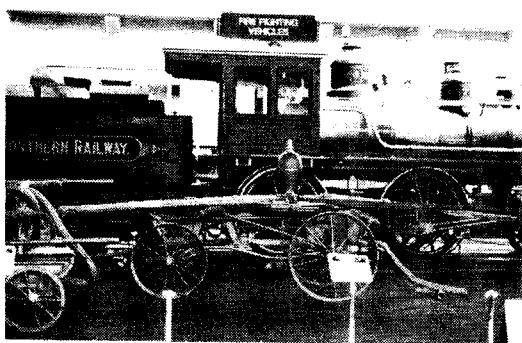


写真9

一・ポンプで、8本の長いレバーを人力 (man sweeps) もしくは馬の力 (horse sweeps) によって回転させ、放水した。毎分200ガロンの水を7/8インチのノズルから160フィートも飛ばすことができ、当時としては強力なものであった。メイン州プレスク・アイル市が800ドルで購入し、長く使用したものであるという。

1890年ごろになると蒸気機関がアメリカ国内産業上広く使われるようになり、蒸気式消防ポンプもさかんに作られるようになった。写真10、11、12、13、14*がそれで、大きな蒸気釜を備え、車の重量はますます大きくなり数頭立ての馬が牽引する蒸気消防馬車 (horse drawn steam pumper) となった。写真10には駆者の席とヘルメットが見え、写真13の左下隅に白馬にひかれて火事場にむかう写真が見える。図3にも2頭立ての馬車

**写真4、5、7、8はカラーグラビア参照。

**写真9の手前にあるもの。むこう側は蒸気機関車の展示コーナー。

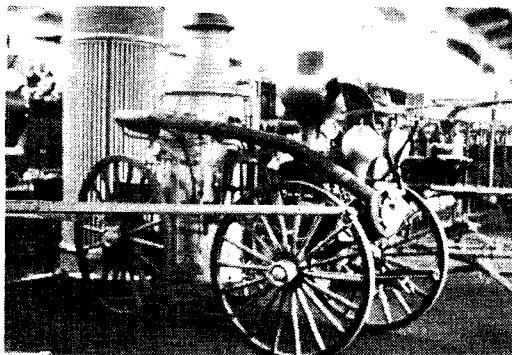


写真10

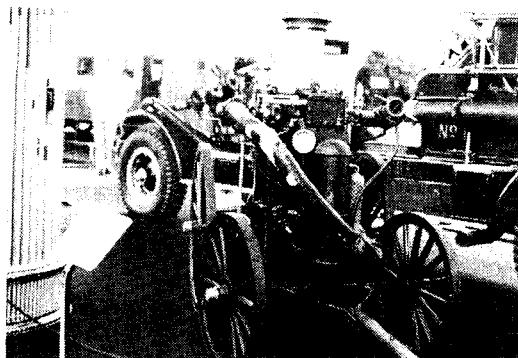


写真11

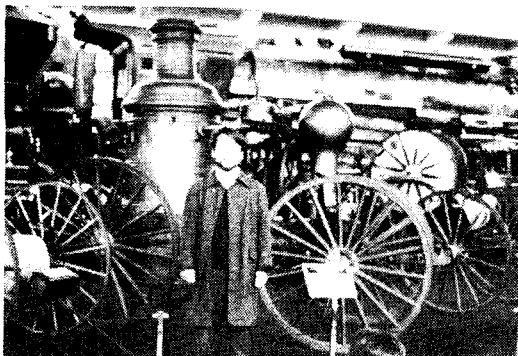


写真12

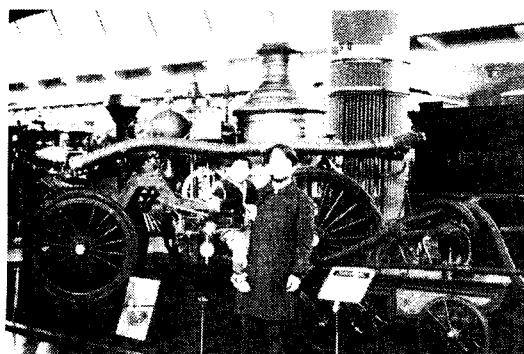


写真13



写真3 蒸気消防ポンプ馬車(1880年ごろ)

のカットを示す。写真10、11、12に比較して、写真13、14**のものは一層大型となり、放射状の車輪の周辺にゴムが巻きつけられ、次の時代のゴムタイヤとなる原型が見られる。比較的小型の蒸気ポンプでも毎分400ガロンの放水量があった。写真14のものはデトロイトの消防局で使われていたもので、ビッグ・マイクと呼ばれていたが、このような巨大化は蒸気式ポンプの終末をも意味していた。

写真15**は1895年ごろの化学消防馬車で、当時消火剤としてカルボン酸のガスをはじめ、食塩水など種々の化学物質が試みられていたが、この消防車はニューヨーク州オズウェゴの消防局で使われていたものである。ソーダと酸を入れたタンクを水平に積載しているが、その他垂直にポンベを立てているものなどの型もあった。

1920年ごろになると自動車の発達とともに消防自動車が作られるようになり、写真16、**17、18、19の型のものとなり、現在の消防車に似てきた。写真18の消防車のポンプのエンジンはアメリカン・ラ・フランス社製で145型消防ポンプといい、6トンの重量があり、毎分1000ガロンの放水力があった。写真19の消防車は6シリンダーのシーグレイブ・水冷式Tヘッド・エンジンで、130馬力、デュアル・イグニッションの消防ポンプ車で、ミシガン州グロスポイント・ショアの消防局で長年使用されたものである。



写真17

**写真14、15、16はカラーグラビア参照。

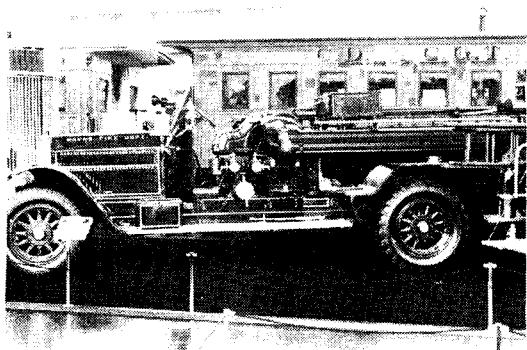


写真18

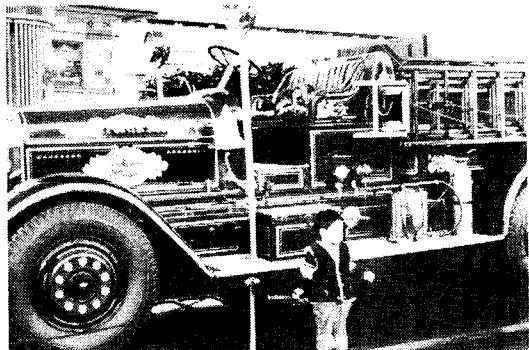


写真19

(あとがき)

以上、筆者が昭和54年より昭和56年にかけて、科学技術庁長期在外研究員として、インディアナ州ノートルダム大学工学部に滞在していた時、ミシガン州デト

ロイトを訪問した際のメモに基づいて、ヘンリー・フォード博物館所蔵の消防ポンプ車等のコレクションを紹介した。

雪路用タイヤチェーンの性能比較実験

金田 節夫

雪上走行の滑り止め具として普及しているタイヤチェーンは、曲り角で横滑りが起きやすい。現場へ急行する消防車両にとって雪上走行の安定化は大きな問題となっている。そこで試作したタイヤチェーンを含め数種類のチェーンにより、雪路、無雪路上の防滑性能を測定した。雪路で良好なチェーンでも無雪路ではかえって滑り易く、結果が逆転してしまうものもあった。測定結果をまとめて、各種消防車両に適するタイヤチェーンの判定を行った。

1. まえがき

冬期、積雪地や寒冷地では、消防水利や車両交通等の確保に多くの障害があり、また消防用設備・機材の性能低下、取扱い上の困難さが増大して、消防活動に支障をきたすようになる。今まで各地方独自の工夫や方法で、それらのいくつかについて対策が講じられてきた。しかし冬期間のみの使用であり、他への転用ができないこと等の理由で、予算上必要最小限の対策しか行えなかったのが現状である。昭和56年1月の気象は、九州でも降雪や氷点下の気温をもたらし、このような問題が、北海道、東北、北陸地方だけでなく、全国的に起こりうるということが再認識された。

消防活動の第一歩は現場への急行である。近年道路除雪が進み、積雪地の主要地方道であれば必ず除雪がゆき届くようになった。しかし、除雪車の入らない郊外や市街地の路地には、依然として積雪路があり、通常の車両では通行不能となってしまう。まして、何らの除雪対策を行っていない地方であれば、消防の所轄地域全般が通行不能となることもある。巨大地震に対しても万全と思われる対策を講じる時勢に、毎年起こる積雪や低温障害にはそれ程緊迫感が少いのも、春先の雪解けとともにそれらが解消してしまうためであろう。しかし、障害は降雪と共に毎冬発生する。

我々の研究室では、現地消防機関の要望に答えるべく、雪寒地消防活動の迅速化等を目指し、特別研究「雪寒地消防技術の向上に関する研究」を行ってきた¹⁾⁻²⁾。この研究もそのひとつであり、消防車両の雪上走行安定を向上させることを目標としている。試作品をも含めて各種タイヤチェーンの性能を比較測定し、各種消防車両に適するタイヤチェーンの判定を行った。

2. 実験の概要

従来の金属製はしご型チェーンは、あくまでも車両を前後方向に動かすことが目的であるので、旋回時などの横すべりが生ずるおそれのある場合は速度を落とす以外に方法がなかった。しかし、雪路（新雪から圧雪まで）や凍結路などの路面で一応の駆動力を得ることができるので、全国的に普及している。しかし、消防車両は救急自動車などと同様に曲りくねったコースを、しかも速度を落とさずに走る必要があり、そのため横すべりがしにくいチェーンが要望されている。そこで現在用いられているタイヤチェーンと試作したタイヤチェーンを含め数種類のタイヤチェーンを用いて、実車により各々のチェーンの防滑性能等を測定し、消防車両に適するチェーンの検討を行った。

3. 実験方法

消防車両はその性質上、急発進や急停止したり、停車中の車両を回避しながら走行することが多い。実験はこれらの条件を想定し、雪上では発進とスラローム走行を行い、タイヤのすべり率やすべり量の測定を行った。またトンネル内や除雪路等では、チェーンを取り外さずに走行する場合もあるので、チェーンをつけたまま舗装路上を走る実験も行い、同様の測定を行った。実験はすべて被験車両の駆動輪である後輪にチェーンを装着して行った。実験には金属製チェーン5種類、ゴムやプラスチックの非金属製チェーン4種類を適宜用いた。表1にタイヤチェーンを、又表2に車両の諸元を示す。

3-1 発進時のすべり率

凍結・圧雪路面で車両が発進する時、舗装路上と同じアクセル、クラッチ操作をするとタイヤが空転して

表1 タイヤチェーン

	トレッド数 (パターン数)	トレッド単体 (mm)	重量 (kg)
金属製はしご型チェーン (500-13S 4×5)	12	5Φ リンク 19×35	3.3
金属製亜甲型Iチェーン	6	△パターン 4Φ リンク 12×19	2.2
金属製亜甲型IIチェーン	6	△パターン 4Φ リンク 12×19	2.5
金属製ひし型チェーン	11	△パターン 5Φ リンク 19×35	3.7
金属製方形型チェーン	9	□パターン 4Φ リンク 14.5×28	7.5
ゴム・プラスチック製はしご型チェーン	8	ゴム 幅23 厚10 プラスチック 幅20 厚9	1.3 0.9
プラスチック製亜甲型チェーン	8	幅25 厚9	2.0
ゴム製ネット型チェーン	—	4□ 40×65	1.8

表2 供試車両

ニッサン C 2 4 0 (ダブルキャブ1.5t トラック)			
全長	4690mm	車距	2500mm
全幅	1690mm	重量	1680kg
全高	1990mm	前輪	1395mm
		後輪	1410mm

後輪タイヤ

ブリヂストン スカイウェイ・H (リブタイヤ)
5.60-13 4 PR 空気圧 2 kg/cm²

実験時の輪荷重 370kg

動荷重半径 286mm 接地部幅 120mm

※本来供試車両の標準仕様は7.00-15タイヤ (ホイールオフセット45mm) であったが、適応できるタイヤチェーンが少いため、ホイールを改造して、13インチのタイヤ (ホイールオフセット80mm) を使用できるようにした。

車両は発進できないことがある。これは路面の摩擦抵抗が低いことに起因し、車両の駆動力と摩擦抵抗とのバランスが釣り合わないことがある。そこで、雪路などの摩擦抵抗が極端に低い路面では、タイヤへ急激に駆動力を伝えないように、舗装路で行う以上に穏やかなクラッチ操作をする必要がある。タイヤチェーンは、チェーン接地部が雪にくい込み、その雪のせん断抗力により駆動力を発生する。つまり、路面との摩擦抵抗がふえるため、リブタイヤに装着するだけで比較的高い雪路との摩擦抵抗を得ることができる。しかし、タイヤが回転を始める発進時は、駆動力と路面の摩擦抵抗とのバランスが釣合いくく、チェーンを装着してもスリップを起こすことが多い。そこで一定走行時よりは顕著な差の出る発進時のすべり率を各タイヤチェーン毎に、次のように測定した。16ミリ高速度カメラにより毎秒192コマの速度で、画面にチェーンを装着したタイヤと路面を写し込むようにし、発進、通過するまでを撮影した。タイヤ側面にはその円周の1/4ずつに標示をつけタイヤの周速度を、また路面に一定間隔の標識を設けタイヤの移動距離を求めた。時間は画像上のタイヤ1/4回転毎のコマ数より求めた。タイヤの移動速度及び周速度から1/4回転毎のすべり率を(1)式により算出した。

$$S = \frac{R - V}{R} \times 100 \quad (1)$$

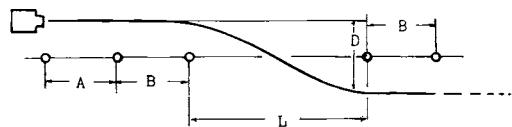
ここで S : すべり率 (%)

R : タイヤ周速度 (m/s)

V : タイヤ移動速度 (m/s)

3-2 スラローム走行時の横滑り

横滑りの有無、量等を走行後のタイヤのわだち跡より測定した。図1に走行試験時の形態を示す。走行試



A : 助走区間

B : 速度測定区間 (5m)

D : 車線間隔

L : 乗り移り距離 (10m)

図1 走行試験路

験は次のようにした。車両が助走区間を通過後、5 m の速度測定区間で通過時間を測定し、スラロームへ移行する。スラローム通過後、再び速度測定区間で通過時間を測定し、スラローム前後の速度より、スラローム走行中の平均速度を算出する。スラローム区間の長

さは10m、横方向への移動距離、即ち車線間隔は約3mである。また、計測の前後に気象、路面条件を測定した。実験は3次にわたって行った。第1次は、車両が走行できる限界のやわらかい雪面、第二次は、氷盤に近い圧雪路面、第3次は、比較的しまっている積雪路面である。表3に実験条件を示す。発進時の計測は、第3次実験時にのみ行った。

表3 実験条件

第1次実験（昭和55年1月30～31日）

新潟県長岡市市営球場駐車場

気象 雪時々曇 気温+0.4～0.8°C

湿度89～92% 風速1.5～4.2m/sec

路面 積雪深50cmのざらめ雪を15cmに圧縮、その上に10～15cmの新雪 雪温0°C

硬度(木下式) 110～519 g/cm² (平均287 g/cm²)

第2次実験（昭和55年2月20～22日）

山梨県河口湖町富士スバルライン2合目駐車場

気象 晴時々曇 気温0～+1°C

湿度50～55% 風速1～3 m/sec

路面 氷盤上に1cmの圧雪 雪温0°C

硬度(木下式) 5 kg/cm²以上(推定100kg/cm²前後)

第3次実験（昭和56年3月11～12日）

新潟県長岡市市営球場駐車場

気象 晴 気温-6～+5°C 気压1019～1020mb

湿度50～58% 風速0～1 m/sec

路面 積雪深2m 表面雪質ざらめ雪

雪温-2～0°C 密度0.415 g/cm²硬度(木下式) 表面 38.6～68.4kg/cm²5cm下層 1.8～2.0kg/cm²10cm下層 4.3～5.3kg/cm²

3-3 補装路上での走行

舗装路上では、走行抵抗、制動性能及び横向加速度の測定を行った。走行抵抗は一定速度で走行している車両のクラッチを切り、以後の惰力走行距離の大小により求めた。制動性能については、チェーン装着の後輪のみに駐車ブレーキで制動をかけ、その制動停止距離等より各チェーンと舗装路面との摩擦係数を算出した。横向加速度の測定は雪上でのスラローム走行時と同様に行った。舗装路上での実験は、消防研究所構内のアスファルト舗装路面で実施した。

4. 結果と考察

4-1 発進時のすべり率

停止状態からタイヤが回転し、画面から走り去るまでのタイヤ $\frac{1}{4}$ 回転毎の金属製チェーンのすべり率の変化を図2に、非金属製チェーンの場合を図3に示す。図2からわかるように金属製のはしご型チェーンは、

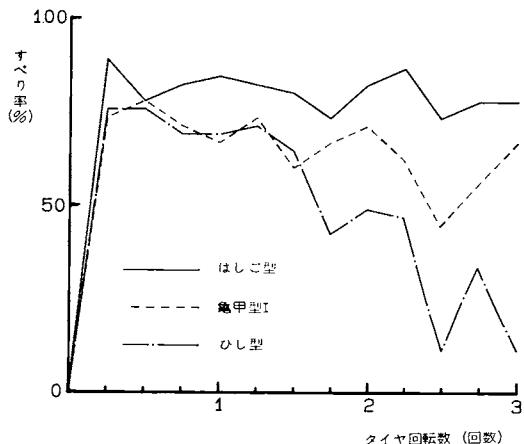


図2 金属製タイヤチェーンのすべり率

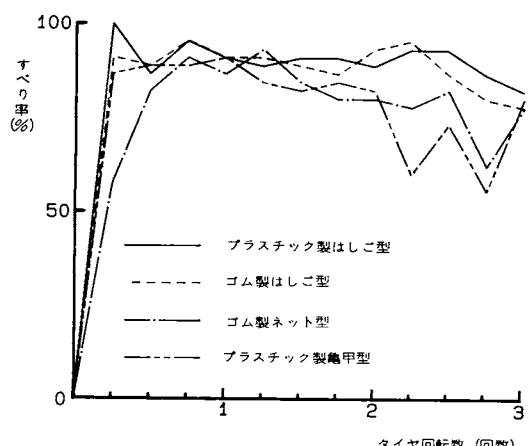


図3 非金属製タイヤチェーンのすべり率

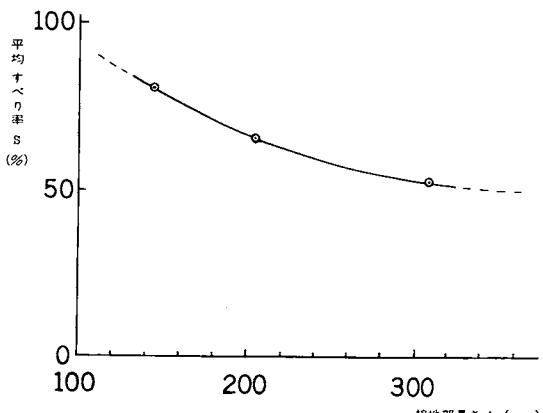


図4 平均すべり率と接地部長さ(金属製チェーン)

タイヤ3回転目においても、すべり率の低下はみられなかった。亀甲型I、ひし型は初期のすべり率は高いが、タイヤが回転するに従い、明確なすべり率の低下が認められた。タイヤ3回転までの平均すべり率は、はしご型に比べ30%以上小さい。特にひし型はタイヤ3回転目ですべり率が10%前後となり、駆動力が早く有効に路面に伝達されることがわかった。図3においても亀甲型やネット型は初期のすべり率がはしご型と同等であるが、すべり率の低下が早くあらわれることがわかった。そこで金属、非金属製チェーンを問わず、はしご型とその他のチェーンとの違いの一つであるタイヤ外周上のチェーン接地部長さと、タイヤ3回転までの平均すべり率との関係を調べた。一例として金属製チェーンの場合を図4に示す。図4の中の3点を結ぶと、右下りの傾向であることがわかる。つまり、チェーン接地部長さが長くなると平均すべり率も低下する。しかしその傾きは緩やかなため、極端に接地部長さを長くしても単位接地部長さ当りの接地圧の低下が予想され、それ程大きなすべり率の低下は望みにくいことを示している。従って今回の条件では、接地部長さが308cmのひし型チェーン以上に接地部長さを少し位長くしても、その平均すべり率の低下はそれ程期待できないものと考えられる。

4-2 スラローム走行時の横滑り

横滑り量及び発生頻度については表4に示す。表中の測定値は最大、最小及び全数平均値を示す。横滑り

発生頻度はスラローム走行後のタイヤわだち跡より横滑りの有無を判断し、横滑り発生回数を全測定回数で除した値である。はしご型チェーンは滑りやすい氷盤上の第2次実験時には、横滑り発生頻度が1.0であり、毎回滑っていたことを示す。その他のチェーンは発進時の平均すべり率の結果と同様に、チェーンの接地部長さが長くなるとその横滑り発生頻度が低くなる傾向であり、横滑り発生頻度はタイヤチェーンの防滑性能を示す指標の一つと考えられる。表中、ほとんどのチエーンの横向加速度平均値^(注)が0.3G前後で、横滑り量も10cm前後となったが、方形型チェーンは最大42cmを示した。しかしその発生頻度が少いことから、防滑性能については今回の実験では成績がよかったです。一方、非金属製はしご型は今回の結果では、ほとんどが金属製はしご型チェーン以上の防滑性能を示していた。しかし、非金属製チェーンの中には、タイヤへの装着がしっかりできず、タイヤだけが空転してしまうものもあった。

4-3 補装路上での走行

各チェーンの走行抵抗の比較を、図5に示す。これよりチェーンを装着すると走行抵抗は一般に増大することがわかった。ただしゴム製ネット型チェーンは逆に、装着するとかえって抵抗が減少した。走行抵抗が

注) スラローム走行時の横滑り量の測定に役立てるため、走行車両の横向加速度も同時に計測した。現在解析中であり、次の機会に報告したい。

表4 測定結果

金 属 製		はしご型チェーン			ひし型チェーン			亀甲型I チェーン			亀甲型II	方形型
		第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次	第1次	第1次
走行速度 (m/s)	測定値	2.9~4.81	1.37~2.21	4.73~6.17	2.51~3.96	2.16~2.28	5.21~5.62	2.76~4.55	1.54~3.08	5.32~5.62	3.11~3.61	2.9~3.77
	平均値	3.74	1.89	5.20	3.12	2.22	5.36	3.52	2.50	5.48	3.32	3.25
横向加速度 (G)	測定値	0.17~0.35	0.30~0.36	0.17~0.36	0.18~0.37	0.39~0.50	0.08~0.37	0.13~0.36	0.25~0.33	0.26~0.40	0.26~0.40	0.26~0.40
	平均値	0.29	0.32	0.28	0.28	0.43	0.21	0.22	0.31	0.33	0.33	0.33
横滑り量 (cm)	測定値	7~17	7~11		7~9	7~12		7~22	7~12		10~17	42
	平均値	12	8		8	10		16	8		14	-*
横滑り発生頻度		0.57	1.0		0.14	0.33		0.50	0.75		0.25	0.10

*方形型チェーンの横滑り量は横滑りの発生が1回しか測定されなかったため、平均値は記入しない。

非 金 属 製		ゴム製 はしご型	プラスチック製 はしご型	ゴム製 ネット型	プラスチック製 亀 甲 型	3 次
		第1次	第2次	第3次	第4次	
走行速度 (m/s)	測定値	3.85~4.35	1.26~5.43	2.48~5.56	1.28~4.67	
	平均値	4.07	3.70	4.26	3.17	
横向加速度 (G)	測定値	0.10~0.33	0.17~0.33	0.22~0.39	0.10~0.27	
	平均値	0.24	0.25	0.29	0.21	

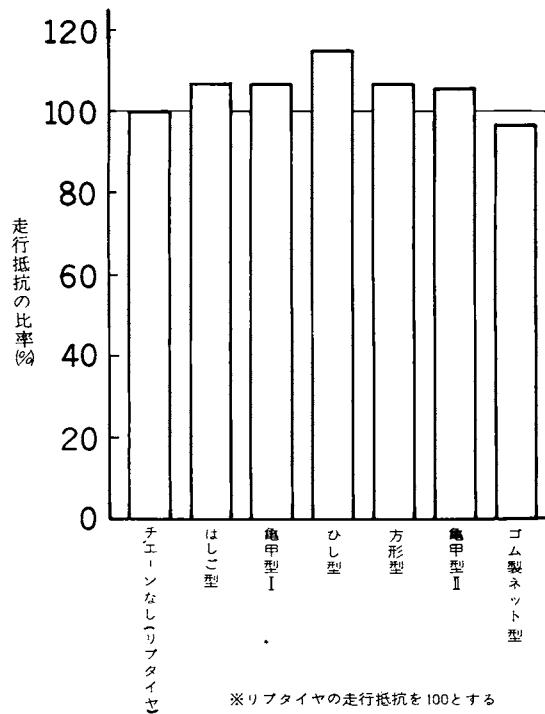


図5 舗装道路上の走行抵抗(金属チェーン)

最大の金属製ひし型チェーンでも、チェーンを装着しない時に比べ15%の上昇であり、その他は10%以下の上昇であった。この程度の走行抵抗の上昇は、エンジン出力さえ充分であれば、ほとんど走行に影響するとは考えられず、若干の燃料消費の増大となる程度である。チェーン装着タイヤにブレーキをかけ、その時の路面との摩擦係数の比較を行った結果を図6に示す。非金属製チェーンについても制動実験を行ったが、摩耗、切断等があったため、以後の計測ができなかった。摩擦係数と制動停止距離の一般式として(2)式⁴⁾がある。

$$S = \frac{V^2}{2gf} \quad (2)$$

ここでS : 制動停止距離 (m)

V : 車両速度 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s²)

f : 路面との摩擦係数

図6より、方形型チェーンはチェーンをつけないリップタイヤを100とすると摩擦係数が51しかなく、その制動停止距離は(2)式より、ほぼ2倍となる。はしご型チェーンは摩擦係数が73であり、制動停止距離は約1.4倍となる。これはタイヤのゴム部分が路面と接触できる形状のチェーンが優位であることを示し、雪上における走行とは逆の現象である。方形型チェーンのような、ほとんどタイヤ外周上を覆ってしまう金属製チ

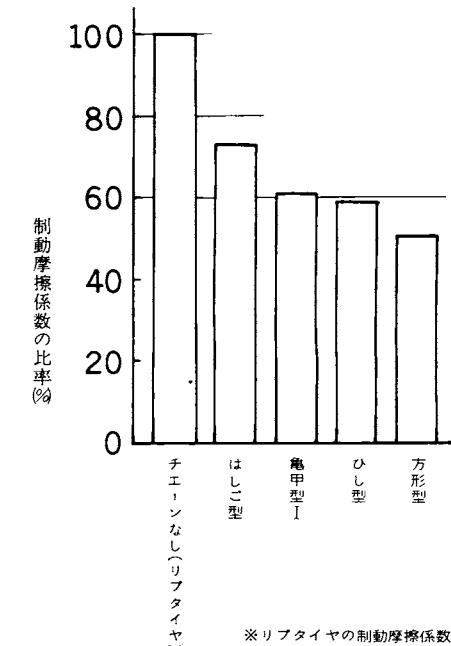


図6 舗装道路上の制動摩擦係数(金属製チエーン)

ーンは、路面と金属部分のみの接触となり、タイヤのゴム部分は路面に接地していなかった。舗装路における各チェーンの防滑性能は、運転者のフィーリング調査や路面の痕跡等から制動実験の結果と同様に方形型チェーンが最も低かった。しかし亀甲型I、ひし型チエーンの防滑性能は、はしご型チエーンよりも接地部長さが長いにもかかわらず同等であった。

5. 結論

これまでの実験結果をまとめ、その総合的な評価を次のように行った。金属製はしご型チエーンの性能を標準として、他のチエーンを探点し表5に示す。消防車両のタイヤチエーンとしては、雪路は無論のこと無雪路においても、確実に発進、停止でき、カーブでも横滑りしにくいことが必要である。しかし、雪路で走行性能が良好なチエーンは、かえって無雪路での性能が低下する傾向を示した。金属製チエーンにおいて、方形型チエーンはひし型チエーン以上の接地部長さを有することから、雪上発進のし易さは良好であっても、カーブでの防滑性がやや劣ることが推察される。そこで、方形型、ひし型チエーンのような形状は、走行速度が比較的の低く、雪路を走る比率の多い大型車両に適するものと考えられる。接地部長さがほぼ等しい亀甲型I、亀甲型IIチエーンは、ほぼ同等の走行性能を有すると推定されることから、舗装路における制動性を

表5 総合評価

		金属製チェーン					非金属製チェーン			
		はしご型	方形型	ひし型	亀甲型I	亀甲型II	ゴム製 はしご型	ゴム製 ネット型	プラスチック 製はしご型	プラスチック 製亀甲型
雪 路	発進 易さ	①	—	◎	○	—	△	○	△	○
	カーブで の防滑性 高速	①	—	×	○	—	○	○	○	○
	低速	①	◎	◎	○	○				
舗 装 路	制動性	①	×	△	△	—	—	—	—	—
	カーブでの 防滑性	①	△	①	①	—	—	—	—	—
取 付 け	確実さ	①	①	①	①	△	△	×	△	△
	方 法 易 さ	①	△	①	①	①	○	◎	○	○
耐久性		①	①	①	①	①	△	×	△	△

◎良好 ○やや良好 ①普通 △やや悪い ×悪い

考慮さえすれば、雪路、無雪路を問わずポンプ車等の一般車両から、無雪路を走行する機会の多い大型車両までに適するものと考えられる。

非金属製チェーンは、軽量による取扱いの容易さはあるが、金属製チェーンに比べその耐久性は劣っている。タイヤ装着の容易さや、一応の雪上走行性能を有することから、救急車等の非常時脱出用としての利用が考えられる。

6. 謝 辞

実験全般にわたり御指導頂いた明治大学工学部大矢教授に深甚なる謝意を表します。また長岡市消防本部、富士五湖消防組合消防本部、関係各位の皆様に御協力頂き、心から感謝いたします。

参考文献

- 笠原保信、平賀俊哉、金田節夫、雪寒地における標準消防車の問題点および消防隊員の行動安全について：消研誌報、No.32、P 18~22、(1978年11月)
- 消防研究所、雪寒地消防の技術上の問題点：近代消防、VoL18、No. 1、206号、P 149~155、(1980年1月)
- 平賀俊哉、金田節夫、積雪寒冷地における消防技術に関する研究の概要(1)、(2)：日本消防、VoL33、No.11~12、P 28~35、P 51~57、(1980年11月、12月)
- 市原薰、越正毅：“新版路面のすべり”、P 9、技術書院、(1965年)

雪上のホース展張について

金田 節夫

雪上におけるホース展張の迅速化、隊員の疲労軽減を目標として、ホース展張速度の実測、動力付き雪上ホースカーの仕様の検討及び試験車の製作、走行性能の測定を行った。試験車の性能は、設計目標値には達しなかったが、さらに改良を続けている。

1. まえがき

消防活動の中で、積雪の有無による所要時間の差が大きいものの一つとして、ホースの展張作業があげられる。雪上では足が滑ったり、雪に埋ったりして歩行も容易ではない。また積雪地では屋根から落とした雪などの為に除雪してある進入路が限られていることや、利用できる水源が限られてしまうことなどのため、ホースの展張距離も長くなってしまう。昭和52年度に行った調査¹⁾では、冬期間、ポンプ車にホースを標準の8本よりも20本以上追加して積載している地域もあった。雪上では歩行すら困難であるのに、さらにホースをよけいに展張しなくてはならない現状である。消防活動の迅速化を目指す上で、これらは大きな障害となっている。そこで雪上のホース展張速度の向上、隊員の肉体的疲労の軽減を目標として、その対策についての検討を行った。

なお、この研究は（特別研究）雪寒地消防技術の向上に関する研究の一つとして行ったものである。

2. ホース展張の現状

積雪地では、ポンプ車が河川などの自然水利に接近して、直接吸水できることは少い。消火栓や防火水槽においても、一度降雪があると雪に埋まり、壊り出しがむずかしい。日本海側の一部の地域では、降雪期になると少い水源を求めて、ポンプ車の乗り入れられない場所へ、そりやスノーボートを利用して、人力で可搬ポンプやホースを運搬している。しかしホースを展張するとなると、火点とポンプとの最短距離を求めて、隊員がホースをかかえたり、背負って展張している。山形県消防学校、本多正幸氏の資料によると、人力による雪上のホース展張所要時間は、積雪深の増大に伴い増加する。また隊員の肉体的疲労も増加していく。資料より一例を表-1に示す。所要時間は3本

表-1 積雪深の違いによるホース展張時間
(本多正幸氏による)

積雪深	所要時間		脈搏数増加率	
	手びろめ	スノーボート	手びろめ	スノーボート
40(30~49)cm	1分01秒	27秒	79.1%	36.0%
50 cm	1分28秒	29秒	81.8%	53.4%
65(60~70)cm	2分15秒	1分16秒	80.0%	69.2%

のホースを展張するのに要する時間であり、ホースの本数が10本、20本と増えれば、隊員の疲労と共に相当な展張速度の低下が予測される。脈搏数増加率は展張終了直後の脈搏数から展張直前の値を差し引き、直前の値で除したものであり、疲労強度の指標と考えられる。表-1の数値を見るとスノーボートを使えば積雪深が70cmとなっても展張時間も、疲労も手びろめ^{注1)}よりは少い、しかし積雪深がさらに大きくなると徐々にその差は少くなることが予想される。そこでこれ以上の積雪深におけるホース展張の迅速化や、隊員の疲労軽減のためには、たとえスノーボートを使っても人力で行うかぎり限界があり、何らかの動力を必要とすることが推察される。

雪上消防車は、積雪地で有望な消防力であることから、昭和28年に公布された補助金の規格に取り入れられた。しかし、地方自治体において、降雪期専用に雪上車を維持することは費用対効果の面で負担が大きく、実際に運用された例は、ほとんどなかったらしい。ポンプやホースを運搬するのに市販のスノーモビルを使用した例はある。これは前部がそりになっており、後部の履帯で駆動するものであり、外観を図-1に示す。スノーモビル自身の積載量は少ないので、ポンプやホースを載せたそりをけん引した。しかし、履帯の幅がせま

注1) 65ミリゴム引きホースを2本つないでおき引張る。1本はかかえて行き、2本展張後接続して、ホース3本を展張した場合のものである。



図-1 スノーモビル

く横転しやすいことから、利用されることはない少なかった。

3. 動力化の検討

動力付きの雪上ホースカーを検討する場合には、その必要条件として、次の項目を満たす必要がある。

- ① 人力で行うより展張速度が早く、かつ隊員の疲労が軽減されるものであること。
- ② 新雪など、あらゆる雪面と無雪路面に対応できるものであること。
- ③ 坂道、凹凸のある雪面でも安定してホースの展張ができるものであること。
- ④ 大型の冬期専用車両では、費用対効果の面で利用価値は少ないので、小型で維持費の少いものであること。
- ⑤ ホースだけでなく、できうれば可搬ポンプ等も運搬できること。

ここでその形態を考えてみると、実現性があり、雪上走行ができる走行駆動部を持つものとして、履帶式車両、装輪式車両、ホバークラフトのような空気浮上式車両、プロペラやスクリューで推進する車両等があげられる²⁾。この中で①から⑤までの条件を満たし、かつ全備重量時の所要動力が最少のものとしては、既在の雪上車のような履帶式車両が最も有望となる。さらに寸法をできるだけ小さくし、例えば現用のホースカーと同程度であれば、それ専用の現場までの運搬車を必要としない。積載部は箱型の荷台のみで、ホースの自動送り出し機構等を取り付けず、汎用の運搬機としても利用できるようにする。ホース展張のときは、ホースを落としながら進むか、あるいは結合されたホースをけん引して行う。以上のような構想の下に実際の運用上の問題及びその必要諸元を検討するため、次のような実験を行った。

4. 実験

実験は、人力による雪上でのホース展張速度とホースのけん引力の測定から始めた。呼称65ミリゴム引きホース3本をつないでおき、手びろめ、現用のホースカー、そりの3種類の方法で一直線に展張し、その所要時間より各々のホースの展張速度を算出した。手びろめでは1名と2名による場合について行い、ホースカー、そりではホースを落としながら展張した。被験者は出動時の装備である刺し子、ゴム長靴、軍手を着用し、2名で1組となる場合は、なるべく体力的に似た組合せで行った。ホース1本の重量は当初11.5kgであったが、実験が進むにつれてホース生地が水分を含み、最終的に13kgとなった。またホースカーの重量は65kg、そりは50kgであった。実験の結果を表-2に示す。実験条件は、積雪深26~30cmのざらめ雪であり、

表-2 ホース展張速度

方 法	要 員	展 張 速 度 (m/S)		
手びろめ	1名	1.71		
	2名	2.37		
そ り	2名	1.49		
ホースカー	2名	1.15 ^{注)1}		
		参考 値	舗装路	1.88
		砂利道		1.65

注1) ホースカーによる展張時は、車体下面が雪面に接触し、車輪が浮き上った状態であった。

木下式硬度³⁾ 29~31g/cm²、密度0.42g/cm³、雪温0℃、气温6.5℃であった。この実験はあくまでも、いかに早く展張できるかを求めるため、被験者のほぼ体力の限界に近い状態で実施した。そのためホース展張後は被験者全員が疲労のため、以後の行動を起こせない程であった。積雪が無いときに実際に現場で行う展張速度は0.58m/s(ホース3本で1分43秒の所要時間)と示されている⁴⁾ことや、今回の実験でホース展張後の被験者の疲労状況、さらに経験者の話等を考慮すると、雪上の消防活動時のホース展張速度は今回の実験結果のほぼ1/2が限界と考えられる。

次に雪上でホースを引きずる場合のけん引力を測定した。65ミリと40ミリのゴム引きホース3本を一直線にしておき、ホースの一方を引張り、動き始めの時と、全体が動いている時のけん引力を測定した。ホースの重量は3本合計で65ミリが39.5kg、40ミリが21.9kgであった。結果を表-3に示す。積雪等の条件は、展張速度測定期と同じであった。なお、表-3には無雪路上におけるホースけん引力の測定結果を参考のために

掲げた。

表-3 ホースけん引力

路 面	ホース 径(mm)	始動時 けん引 力(kg)	静止摩 擦係数	定常時 けん引 力(kg)	動摩擦 係数
雪 上	40 65	9.46 21.26	0.432 0.539	6.03 13.0	0.275 0.330
アスファルト 舗装	乾燥 湿潤	34.4	0.873	18.6	0.471
		27.9	0.706	17.8	0.450
砂 利	乾燥	33.8	0.857	19.7	0.500

5. 仕様の検討

これまでの実験の中から次のことがわかった。

- ① 現場でのホース展張速度は、2名による手びろめの値2.37m/secの1/2である1.19m/sec (4.2km/h) 程度を目標とすれば充分に早い値である。
- ② ホースをけん引すると3本でも20kg以上のけん引力が必要となる。ホースを落としながら展張すれば、20kgものけん引力は不要である。従ってけん引力は20kgで充分である。

そこでこれまでの条件を具体化し、必要性能の検討をするために、雪上ホースカーのベースとなる試験車を作製した。試験車は前述の2つの条件に適合する小型の履帶駆動式^{注2)}の車両とした。試験車の寸法、重量はなるべく現用のホースカーの範囲内に入るようにした。また安定して走行できるように、履帶の間でしかも荷台の下にエンジン及び動力伝達機構を配置し、重心を低くした。接地圧は新雪走行が第一の条件でもあるため、既存の雪上車と同等で、かんじき等の雪中歩行具の値(0.05~0.2kg/cm²)⁵⁾と同等以下になるようにした。積載重量の増減は接地圧に影響するため、設定した接地圧の範囲内に収まるように、車両の軽量化に努めた。試験車の全備重量が現用ホースカーの値(200kg)以下となるようになると、65ミリゴム引きホース6本に相当する80kgを積載荷重とすることができる。操作員は乗車せず、試験車の速度と進行方向を車体後部より制御するようにした。試験車のような履帶式車両が転回する場合は、一般に片側の履帶を停止又は逆転させて行うが、試験車では機構の簡略化によって重量軽減をはかるため、転回を人力で行うようにした。また走行速度は実際にはホース展張速度に近いが、操

注2) 荒地や泥ねい地等の走行に用いられる走行方式で、車輪によらず、無限軌道により駆動力を伝達する、装輪式車両に対して、装軌式車両(crawler vehicle)と呼ばれることがある。

作員が歩きながら操作できるように4km/h⁶⁾とした。試験車の性能はその動力源により左右されるので、今回の製作に当り、次の条件からその動力源を決定した。

- ① 電動機のような外部動力によらず、単独で運転可能なこと。
- ② 付属部品が少く、小型、軽量であること。
- ③ バッテリーを電源とする直流電動機のように、外気温度により性能の低下が起こるものでないこと。
- ④ 運転中の操作が煩雑でないこと。
- ⑤ 保守、整備が容易なこと。

また、履帶式車両の雪面上における走行抵抗は、雪面と履帶との抵抗と、車両の走行装置の内部抵抗とに分けて考えることができる。その中で、多くの場合に走行抵抗の大部分を占めているのは、沈下した履帶が前部の雪をこわし、圧縮する雪の変形抵抗である。つまり雪面に履帶が深く入り込むほどその抵抗は大きくなる。そのため大型の雪上車であっても、スキーやかんじきの雪中歩行具程度の接地圧としている。これは普通の乗用車はもちろん、履帶式のブルドーザーなどに比べてもかなり少い値である。これにより浮雪性を良好にし、走行抵抗を小さく押さえる効果が得られる。しかし、それでも雪上の走行抵抗は、固い路面に比較すると、はるかに大きな値となる。このような検討の結果、試験車の動力源として、単位重量当りの機関出力の大きい強制空冷2サイクルガソリンエンジンを採用することにした。

エンジンの所要出力は次のようにして決定した。水平路面を走行している車両の走行抵抗は、ころがり抵抗、空気抵抗、加速抵抗さらに動力伝達機構の内部抵抗の総和とされている。一定の低速度で走行する車両はこの中で、ころがり抵抗と内部抵抗からなる走行抵抗を受ける。内部抵抗は車両の走行に関係なく一定の値となる。試験車では装輪式車両のころがり抵抗に相当する、履帶と雪面との抵抗を走行抵抗として受けることになる。

下田⁷⁾は走行速度に比例する衝撃抵抗をも含んだ装軌(履帶)式雪上車の雪路走行抵抗を与える一般式として、(1)式を示している。

$$\begin{aligned}
 Rr = & \left[\frac{0.000083(H+6.2)^{2.17}}{3.6(H+7.0)^{-0.461} + 1} \right] \left\{ 2(\ell + 2.8) \right. \\
 & \left. + 3.6(H+7.0)^{-0.461} + 1 \right. \\
 & \left. (17.2 - 1.31H + 136 \times \frac{3.6(H+7.0)^{-0.461} + 1}{1 - 0.1H\omega}) \right. \\
 & \left. + \ell' (17.2 - 1.31H + 136 \times \frac{3.6(H+7.0)^{-0.461} + 1}{1 - 0.1H\omega - c}) \right. \\
 & \left. + 1 \right\} + \mu f_m \ell^2 \omega \left(1 + 0.054V \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで R_r ：雪路走行抵抗(kg)

- H：黒田式硬度計による雪面硬度($=5.3\text{cm}^{±3}$)
- ℓ ：履帯幅($=17.5\text{cm}$)
- ω ：履帯接地圧($=0.0756\text{kg/cm}^2$)
- ℓ' ：車体低面部幅($=30\text{cm}$)
- c：最低地上高($=4.5\text{cm}$)
- μ_f ：走行装置の内部摩擦抵抗係数($=0.03^{±4}$)
- m：履帯接雪面縦横比($=3.9$)
- V：走行速度($=4\text{ km/h}$)

試験車における値である()内の数値を代入すると、

$$R_r = 163.8 \text{ (kg)}$$

さらに走行中の車両に作用する全走行抵抗がR (kg)である場合に、これに対応して速度V(km/h)で走行するに必要なエンジン出力は一般的に(2)式として示してれている。

$$N_e = \frac{R \cdot V}{270 \cdot \eta_t} \quad (2)$$

ここで N_e ：エンジン出力(PS)

表-4 試験車の諸元

全長	1,045 mm	ホイルベース	663 mm
全幅	755 mm	最低地高	45 mm
全高	665 mm	履帯幅	175 mm
車両重量	100 kg	荷台寸法	700×700mm
接地圧	0.0756kg/cm ² (全備重量180kg時)		
重心高	地上より186mm		
最大安定角	左33度 右29度		
原動機	2サイクル強制空冷ガソリンエンジン(ヤマハ2T4)		
出力	2.8ps/6,000rpm		
減速比	高速1:39.8、低速1:87.4		

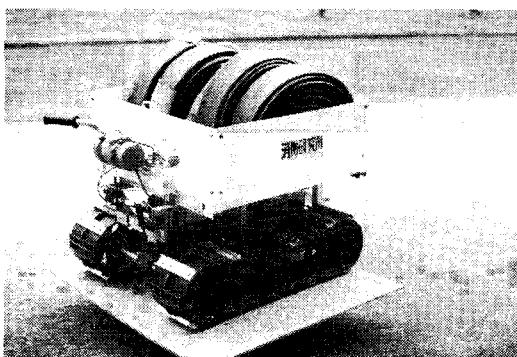


図-2 試験車の外観

注3) 雪面硬度の値は参考事例が少いため、野外実験により現在普及している木下式硬度Dと対比の上、 $H=2.91D^{0.17}$ の実験式により歩行可能な雪面の値(D=35)から $H=5.33$ を算出した。また木下誠一：低温科学物理編第16輯「衝撃による積雪の破壊III」より $D=154\times10^{4.7}\frac{H^{0.83}}{T}$ を引用し、同様に代入して $H=5.28$ の値を得た。

注4) 文献7) より引用

η_t ：動力伝達装置の機械効率=0.9

として(2)式に $R=164(\text{kg})$ 、 $V=4(\text{km/h})$ を代入すると、 $N_e=2.69(\text{PS})$ となる。以上より市販品で、総排気量49cc、最高出力2.8PSのエンジンを採用した。試験車はエンジンの出力を、逆転機構、変速機構を介して駆動輪に伝達するようにした。試験車の諸元を表-4に、その外観を図-2に示す。

6. 試験車の性能

以上にのべた設計目標値と製作した試験車の性能を比較し、改良のための資料とするため、雪上で走行試験を行った。測定は走行速度とけん引力について行った。実験条件は、気温8°C、路面硬度18~23kg/cm²(木下式)、雪温0°C、密度0.45g/m³、雪質ざらめ雪であった。走行速度の測定は、試験車に53kgの荷重をのせて水平雪路上で一定の区間を走行させ、その所要時間から速度を算出した。その結果、スロットル開度全開で、変速機の高速側では1.89km/h、低速側では1.04km/hであった。この速度におけるエンジン回転数は減速比から逆算し、それぞれ毎分1663、2010回転であった。試験車の最高出力はエンジンが毎分6000回転時に発生するものであり、2000回転では出力が1 PS、トルクが0.32kg·m以下となる。

けん引力の測定は、全備重量155 kgの試験車と90kgの荷重をのせたそりとの間に引張荷重計を取り付け、測定を行った。試験車は変速機の低速で走行させ、一定走行時及びそりを固定し、履帯が完全にスリップしている時の2つの場合のけん引を測定するようにした。その結果、1 km/hでの低速走行時のけん引力は平均25kgであった。しかし、履帯スリップの測定時は、余裕駆動力の少ない試験車ではスリップせず、エンジンが停止してしまった。停止直前のけん引力は平均85kgであった。

操作性については、今回の走行速度では充分に歩行しながら進路確認、変速、回転が可能であった。しかし、設計目標の4 km/h走行時は、進路確認のため操作員の視線がより前方へ向くと思われる所以、変速レバーをより一層手元へ近づける必要性を感じた。

試験車の走行速度は目標とする設計値に達しなかった。その理由として、次の事が考えられる。

まず、動力伝達系に、予想以上の摩擦抵抗等があったと考えられること。動力伝達系には、ギヤ、チェーンを多用している。また、履帯を直接駆動する部分が機構的に若干不完全と思われる。

次に、履帯式の場合の雪路走行抵抗値の推定があまかったこと。すなわち、試験車では、履帯の爪がかな

り深く、雪に食い込む時の粘着抵抗が過大であったと思われること、等である。

改良点としては次の事が考えられる。

- ① エンジン出力・トルクを充分に生かすための変速比の設定。
- ② 動力伝達機械の内部摩擦低減（試験車ではその構造上、多段のチェーンを用いた）。
- ③ 履帯及び履帯駆動部の改良
- ④ エンジン始動を含めた操作方法の見直し。

等である。さらに車両の発進をより滑らかにし、エンジン停止等を防ぐために、適当な形式のクラッチの採用が望ましい。

7. まとめ

雪上におけるホース展張の迅速化及び隊員の疲労軽減を目標として、動力付き雪上ホースカーの仕様を検討し、そのベースになる試験車を製作した。野外実験において試験車の性能を測定した結果、最高速度は1.89km/h、または1km/h走行時の平均けん引力は25kgであった。走行速度の値は目標値以下であったが、動力伝達機構の摩擦軽減、適正なる変速比の設定等によるエンジンの駆動出力向上、履帯の改良による雪路走行抵抗の低減等を考慮すれば、目標値にかなり近づくことができると思われる。今後、実験結果の検討に加え、各種運用上の検討を行い、試験車を改良し、雪上ホースカーとしてのるべき姿を目指する予定である。

8. 謝辞

本実験の実施にあたり御協力頂いた長岡市消防本部の方がたに深甚なる謝意を表します。

また雪寒地消防対策研究推進委員会はじめ関係各位の皆様には、実験全般にわたり適切な指導、助言を頂いたことに心から感謝いたします。

引用文献

- 1) 雪寒地消防の技術的問題に関する調査研究
—雪寒地消防対策研究会報告書—、P42~45、
消防庁消防研究所（昭和53年）
- 2) Dibbern JS, Soviet and Japanese Oversnow
vehicles : Terramechanics, VoL14, NO.4,
P227~236, (1977)
- 3) (社)日本建設機械化協会編：“新防雪工学ハンド
ブック”、P30~31、森北出版（1977）
- 4) 日本火災学会編：“火災便覧”、P1074、理化書院、
(昭和30年)
- 5) 下田茂：“自動車工学”、P193、共立出版（昭和50
年）
- 6) 坪内和夫：“人間工学”、P137、日刊工業新聞社
(昭和36年)
- 7) 下田茂、雪上車の走行抵抗に関する研究(第3報)
：日本機械学会論文集（第4部）、25巻、150号、
P102~108、(昭和34年)

小型円筒タンク内の液体動揺に関する実験

吉原 浩・亀井 浅道

地震時における石油タンクの挙動を明らかにするため、小型模型タンクを用いて、貯液の振動挙動に関する基礎的実験を行なった。振動台上に水を入れた小型模型タンクをおき、水平方向（1方向）に加振し、タンク半径・水深と1次固有振動数、入力正弦波の振幅・波数と波高、水深・波数と波高、及び波高とタンク半径の関係について調べた。

主な記号

- g : 重力加速度
- H : 波高（底面からの波頭の高さ - 水深(h)）
- h : 水深
- N : 入力正弦波数
- R : タンク半径
- w : 入力正弦波の振幅
- ω : 円振動数

1. はじめに

わが国において地震による石油タンクの主な被害事例としては、新潟地震(1964年)、宮城県沖地震（1978年）によるものがあげられる。地震による石油タンク破損事例を現象別に分類してみると、タンク基礎および地盤の液状化による不等沈下等地盤に起因するものと、タンク内容物のスロッシング*が関与しているものとに分けられる。

スロッシングに関する研究は数多く見られる¹⁾。円筒タンクに関する代表的なものとして、Housner, G.W.²⁾, Senda, K. and Nakagawa, K.³⁾, Nakagawa, K.^{4,5)}があげられる。地震時における石油タンクの動的挙動は、タンク容器、地盤およびタンク内容物の連成的運動が起きているものと思われる。従って、その挙動を正しく把握するためには、材料力学、流体力学および土木工学的因素を取り込んだ扱いが必要となる。著者らは、このような連成運動を明確にするための予備実験として、地震時における石油タンクの挙動、とくにスロッシングについて、二、三の実験を行なった。これらは必ずしも斬新な知見ではないが、復習的意味を含めてその結果を報告する。

2. 実験概要

模型タンクは表1に示すような4種類の鋼製円筒容器である。貯液としては水道水を用いた。使用した振動試験機（伊藤精機製 松平式振動試験機）の概要を図1に示す。入力振動は水平方向の正弦波とした。

表1

NO	半径R:mm	高さ mm	材質
1	54.5	110	軟 鋼
2	150	300	ステンレス鋼
3	235	470	ステンレス鋼
4	280	870	軟 鋼

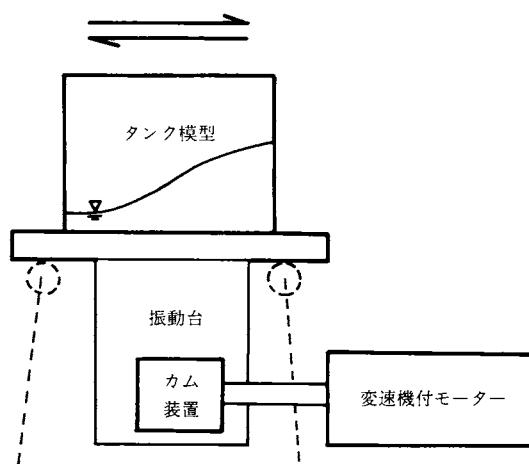


図1 実験装置概要

実験は、水深、およびタンク半径の違いに対する共振周波数、および波高の関係を求めるることを主目的とした。なお、この実験において水のスロッシング振動と弾性体容器の連成運動は、タンク本体の剛性が大きいため、第一次近似として無視しうるほど小さいとしてよい⁶⁾。

* 内部の液体の自由表面が地震波と共振し、大振幅となる現象。

3. 実験結果

3-1 貯液の1次固有振動数に及ぼすタンク直径、水深の影響

実験には、半径が54.5、150、235、280mmの4種類の円筒容器を用いた。種々の水深のもとで加振したのちの自由振動より、1次固有振動数を求めた(図2)。図2において、Rはタンク半径を示す。○印は実測値を示し、実線はこれらを結んだものである。破線は、Housner¹⁾の式

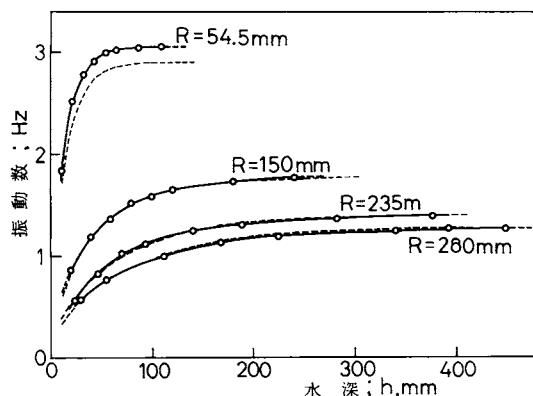


図2 タンク半径、水深と1次固有振動数の関係
R : タンク半径(mm)、h : 水深(mm)

$$\omega^2 = \frac{g}{R} \sqrt{\frac{27}{8}} \tanh \sqrt{\frac{27}{8} \frac{h}{R}} \quad (1)$$

より求めた理論値である。ここで ω : 角振動数、g: 重力加速度、h: 水深である。(1)式は非圧縮、非粘性液体とし、液の自由表面の変位は十分小さいという仮定のもとに導かれている。実験値(実線)は、理論値とR=150、235、280mmの場合にはよく一致している。R=54.5mmの場合、実験値は(1)式より多少高めの振動数となっているが、これは自由表面の変位が十分小さいという仮定が成り立たなかったことに起因していると思われる。Senda, Nakagawa³⁾による固有振動数は、

$$\omega_n = \sqrt{g \gamma_n \tan h \gamma_n} \quad (2)$$

と表わされる。ここで ω_n : n次固有角振動数、 γ_n は表2で与えられる。(2)式による1次固有振動数はHousner¹⁾によるものに比べ、やや大きめの値となる。

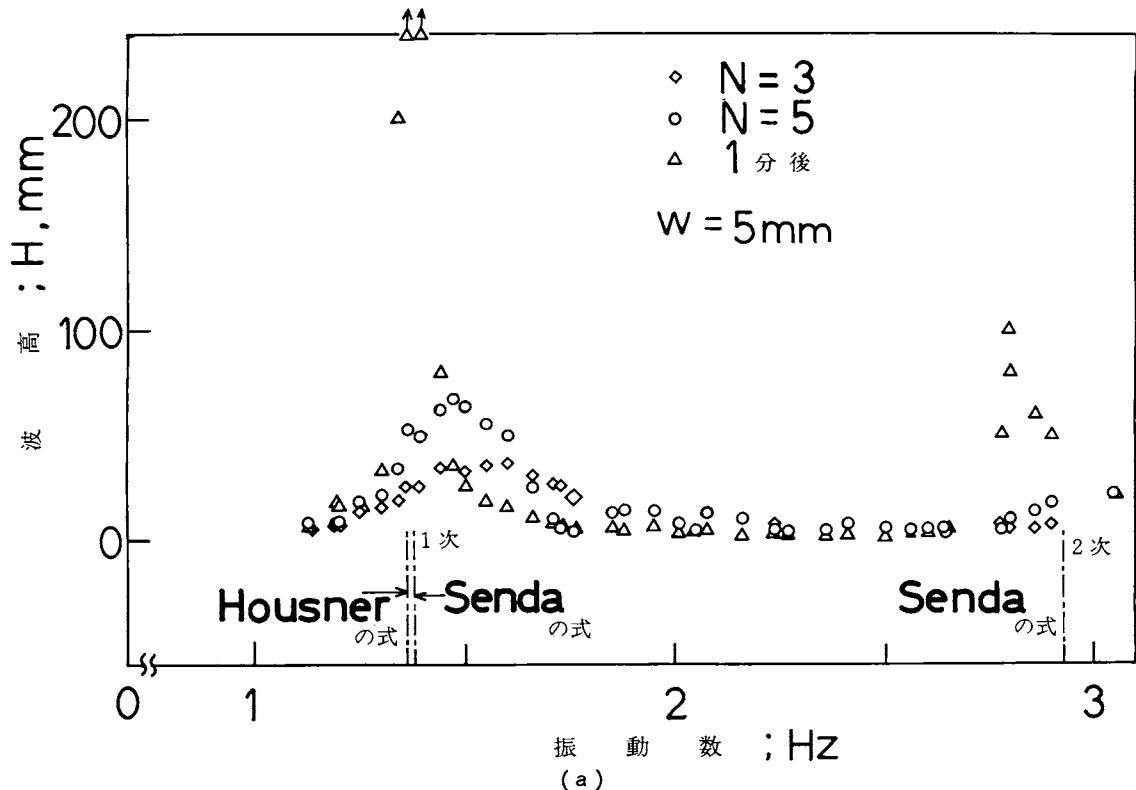
表2

n	1	2	3	4	5
$\gamma_n R$	1.841	5.332	8.536	11.71	14.86

文献3)による

3-2 入力正弦波の振幅、波数と波高との関係

図3-a, b, cは、R=150mmの円筒容器(水深60mm)で、入力正弦波の振幅を5、10、20mmとしたときの波



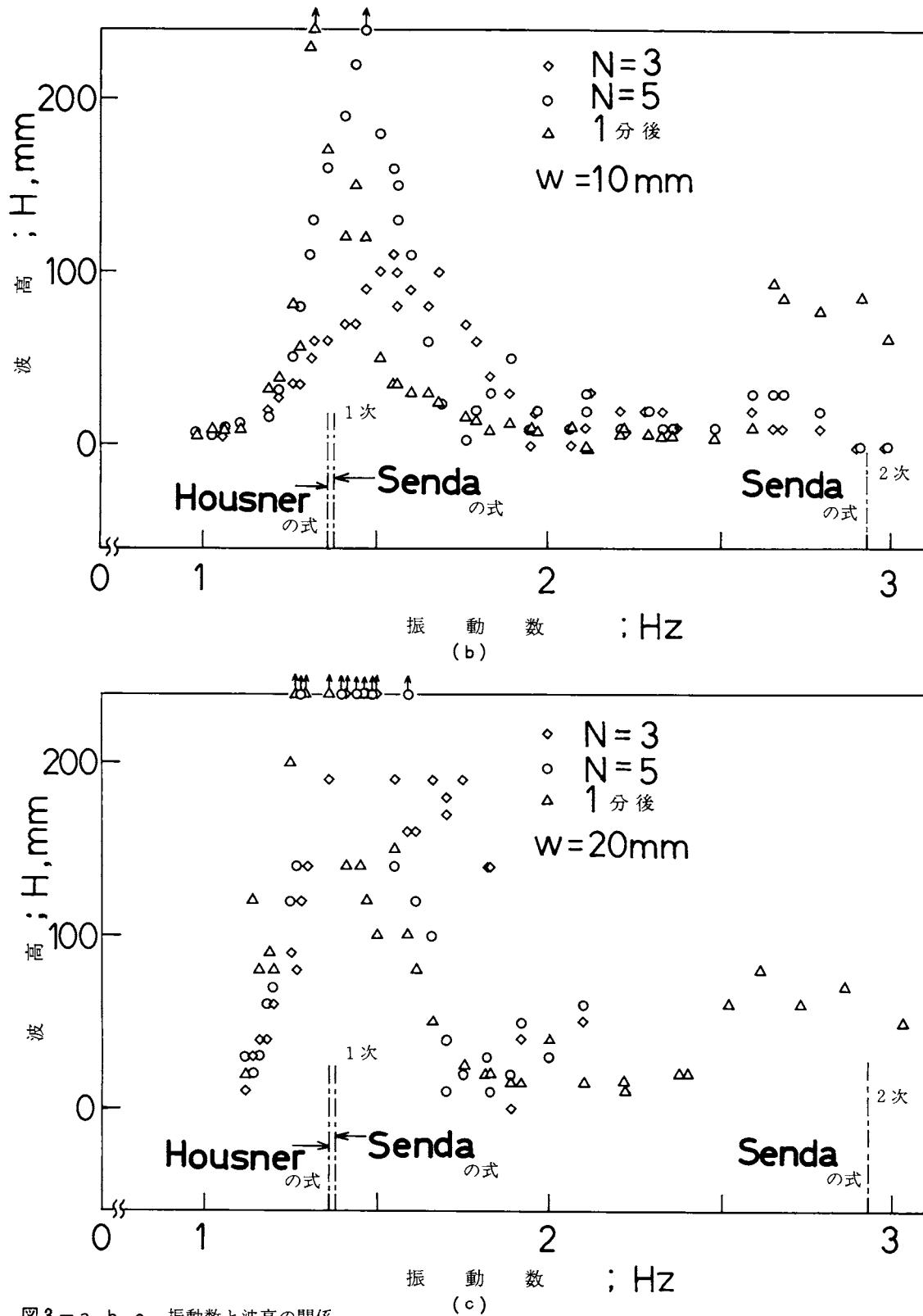


図3-a、b、c 振動数と波高の関係

N : 正弦入力波数。H : 波高(mm)。一点鎖線は、Housner(1)式、Senda(2)式による固有振動数。
w : 正弦波入力の振幅(mm)。

数Nと波高Hとの関係を表わしたものである。波数としては第3波、第5波および1分後の波（波数は振動数により異なる）に着目した。1分後の波高はほぼ定常状態であり、これ以上波高が大とはならない。

第3波は、1次固有振動数よりやや大のところで波高が最大値を示した。波数によらず1次固有振動数における波高は、高次の固有振動数におけるものより大きいようである。入力正弦波の振幅が小であるほど波高が大となる周波数範囲が狭くなり、そのピークの位置は1次固有振動数と一致する傾向が認められる。第5波は、第3波と1分後の波高との中間的な性質を示す。2次固有振動数では、Senda, Nakagawa²⁾による理論値は、実験値よりやや大きめである。

第1次固有振動数についてみると、第3波、第5波が理論固有振動数よりやや大のところで波高が最大となっている。これは加振機が始動してから一定速度になるまでに時間がかかるため、この影響による過渡的な現象の可能性がある。また、振幅が大であるほど固有振動数付近の振動でスロッシングが生じている。

図4は、振幅wをパラメーターとした波数と波高の

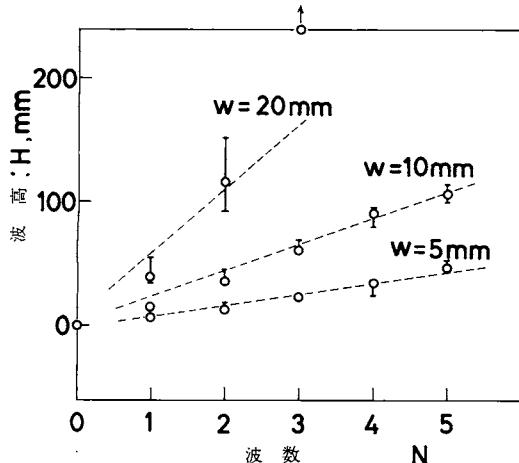


図4 入力正弦波数、振幅と波高の関係

w : 振幅(mm)。H : 波高(mm)。○印は波高の平均値、○印より上下に伸びた実線は測定値の範囲。破線は近似式(3)の値。

関係である。水深は一定 (=60mm) とした。ここでタンク直径 (2R) は300mm、振動数は1.37Hzである。測定値は第1次近似的に次式の実験式で表わされる。

$$h = 1.2w^{1.3}N^{0.93} \quad (3)$$

水深をパラメータとした場合の波数と波高との関係を図5～7に示す。振動数は(1)式による1次の固有振

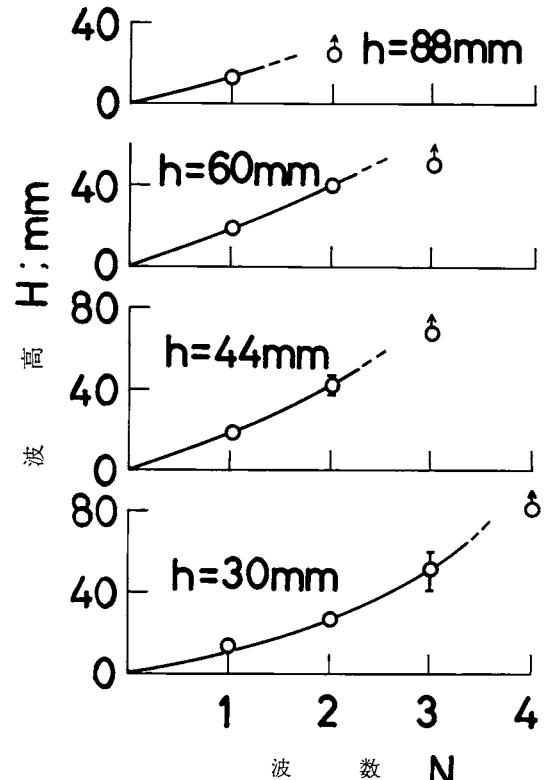


図5 入力正弦波数、水深と波高の関係 (R = 54.5mm)。
h : 水深(mm)。振幅、10mm。

動数である。振幅w = 10mmとした。波数の増加に対して波高はほぼ一様な増加を示している。R = 54.5mmの場合は単調増加であるが、R = 150、235mmの場合には、水深の浅い場合に3～4波付近に変曲点がある。

次に、水深(h)/タンク半径(R)の比を一定 (=0.8) とした場合の波高Hとタンク半径Rとの関係を図8に示す。振幅w = 10mmとし、各R、hに相当する1次固有振動数で加振した。この結果より、Rが大となると、h/R、および振幅wが一定であれば、各固有振動数において、波高Hは一定の値に漸近すると思われる。

4. おわりに

石油タンクが地震時にどのように挙動するかを調べる手始めとして、本報では小型模型タンクを用いて、貯液の振動挙動に関する基礎的実験を行なった。今後のテーマとしては、タンク内容物の粘性、タンク容器との連成運動、地盤との関連等を取り入れた研究がなされる必要がある。また、実タンクの挙動を的確に把握するために、より大型の模型タンクによる研究も不可欠である。

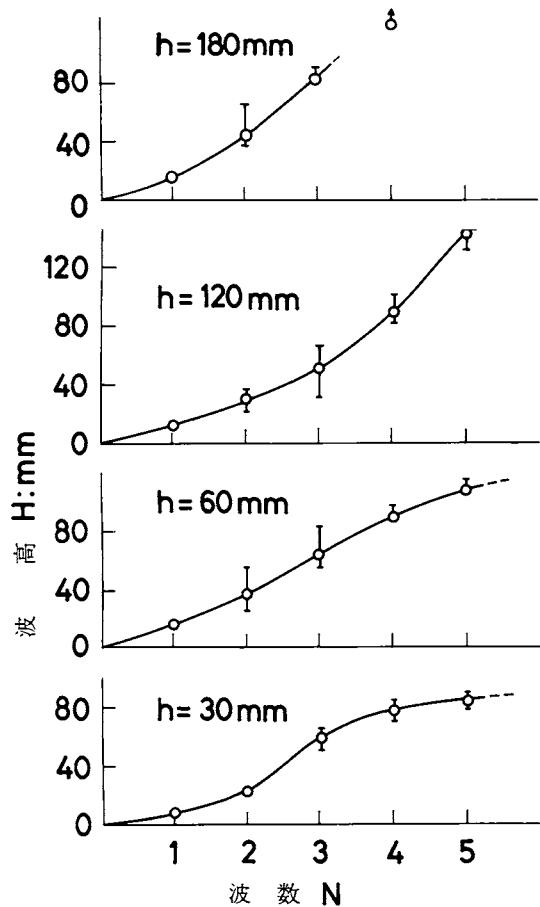


図6 入力正弦波数、水深と波高の関係($R = 150\text{mm}$)。
h : 水深(mm)。振幅、10mm。

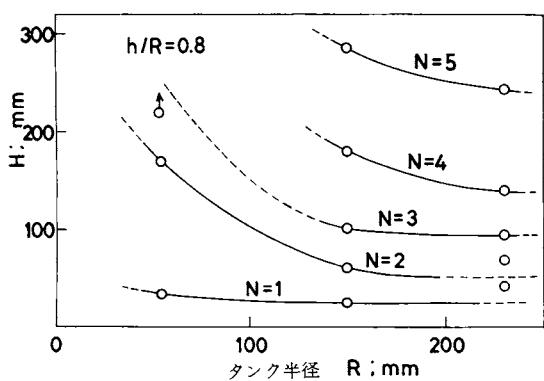


図8 タンク半径と波高との関係
 $h/R = 0.8$ 。N : 入力正弦波数。振幅、10mm。

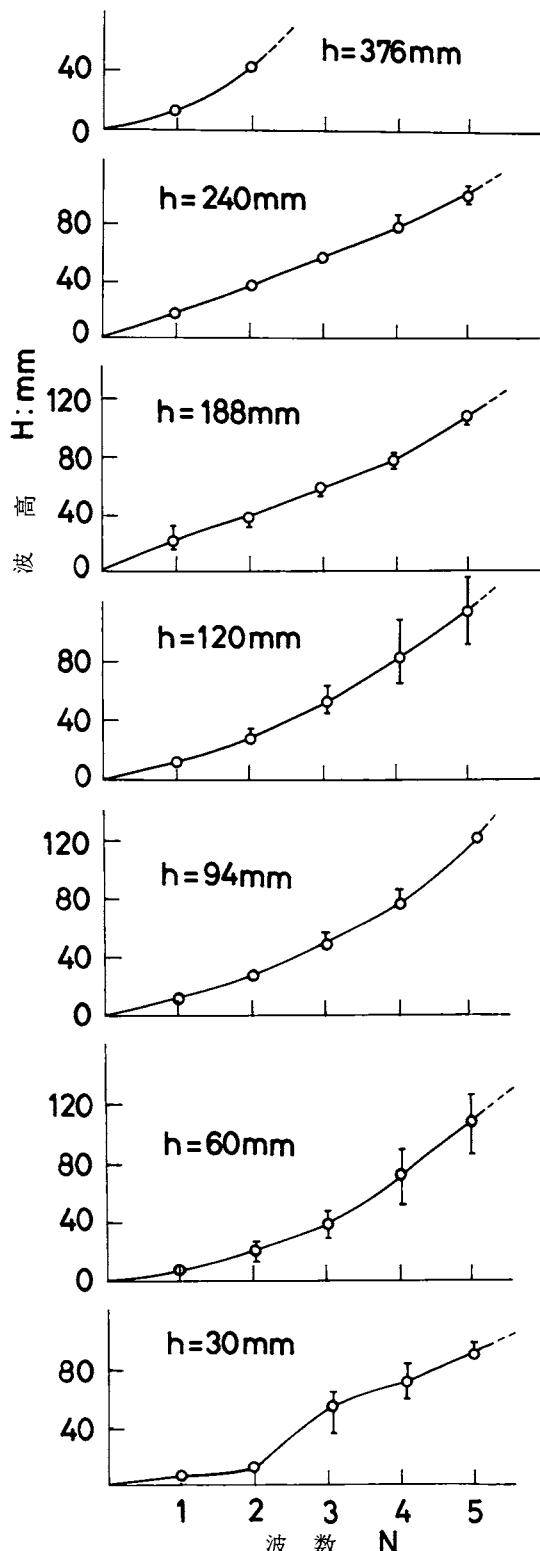


図7 入力正弦波数、水深と波高の関係($R = 235\text{mm}$)。
h : 水深(mm)。振幅、10mm。

参考文献

- 1) たとえば、堀内三郎、秋田一雄、中久喜厚、宮田作：防災科学技術総合研究報告、**12**、81 (1966)
- 2) Housner, G.W. : Bull. Seism. Soc. Am., **47**, 15 (1975)
- 3) Senda, K., Nakagawa, K. : Tech. Rep. of Osaka Univ. **117**, 247 (1954)
- 4) Nakagawa, K. : Tech. Rep. of Osaka Univ., **170**, 317(1956)
- 5) Nakagawa, K. : Tech. Rep. of Osaka Univ., **193**, 53 (1959)
- 6) 近藤尚夫：日本機械学会論文集（C編）、**46**、509 (1980)

木毛および発泡系高分子物質の燃焼速度

箭内 英治

木毛および代表的な発泡系高分子物質である軟質ポリウレタンフォームと発泡ポリスチレンに対して小規模な燃焼実験を行ない、各物質の燃焼速度を測定した。発泡系高分子物質は二段階に燃え、初めの一段目は収縮しながらの燃焼、後半の二段目は液状化した発泡系高分子物質の燃焼が観察された。

ここで行なった小規模な燃焼実験においては、木毛の最大重量減少速度が最も大きく、他の発泡系高分子物質の約2倍程度であった。しかし、燃え広がりの目やすとなる体積燃焼速度で比較すると逆に、発泡系高分子物質の方が木毛より大きい結果を与えた。また、規模が大きくなった場合には、発泡系高分子物質の燃焼性がさらに大きくなる可能性を示した。

1. はじめに

近年、合成高分子物質は、建築材料、内装材料、梱包材料、衣類として非常に広範囲に使用され、昔から使用されてきた木質系材料以上に利用されるようになった。これに伴なって、これら高分子物質の製造工場や加工工場が増大し、工場で生産された高分子物質の製品を大量に保存しておく倉庫も増加の傾向にある。したがって、これら物質に一旦火がつくと、大火災へと発展する可能性を秘めている。実際、昭和54年5月21日に起きた大阪の住吉ゴム株式会社のウレタンフォーム火災をはじめ、その他発泡ポリスチレンやポリエチレンなどの火災が起きており、犠牲者も多数出している。

発泡系高分子物質は、普通の合成高分子物質に比べ燃焼性が大きく、昭和54年9月に木毛、かんなくず、わら類と同じ特殊可燃物に指定された。本報では、発泡系高分子物質の中で最も利用されているポリウレタンフォームとポリスチレンを選び、木毛と共にこれら物質に対して燃焼性の実験を行なったのでその結果について述べる。

2. 試料

形状を木毛となるべく同じにするために、発泡ポリスチレンについては梱包用に用いられている直径約3~4mm、長さ約10cmのものを用い、発泡ポリウレタンは、厚さ5mmで1.2m×2m角の軟質ウレタンフォームを幅約5mm、長さ約10cmに裁断して用いた。

3. 実験装置および方法

実験装置の概要を図1に示す。燃焼速度を重量減少で測定するためにメトラ製PE1200型上皿直示電子天秤を用いた。この天秤は、記録計に重量を出力させることができるようになっている。試料は20cm×20cm×5cmの金網内に種々なカサ比重に詰め、上端中央部に口火で点火した。天秤を保護するために2mm厚のアルミニウム板で天秤を覆い、25cm×25cm×2cmの石綿製断熱板上で試料の燃焼を行なった。また、発泡系合成高分子物質は溶融して液状になるために、アルミニウム製燃焼皿(0.5mm厚)を金網の下に置いた。

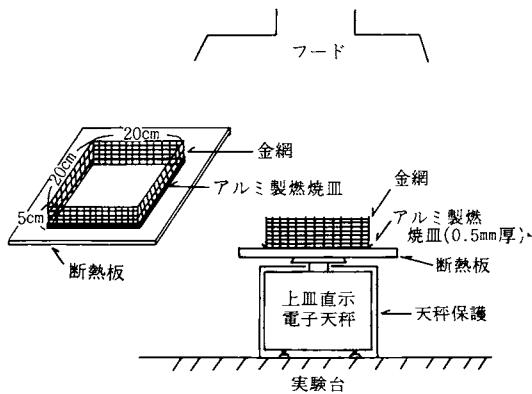


図1 燃焼実験装置

発泡系合成高分子物質の液状状態での燃焼挙動を知るために、直径10.4cm、深さ19mmのステンレス製燃焼皿を用い、あらかじめ液状化した発泡系合成高分子物

質の重量減少を測定した。また、比較のために *n*-ヘキサンについても同じ測定をした。なお、この時の試料量は50 gとした。

4. 結果と考察

図2にカサ比重が約0.009 g/cm³の場合における木毛、軟質ポリウレタンフォームおよび発泡ポリスチレンの重量減少曲線を示す。発泡系合成高分子物質は木毛と異なり、溶融しながら燃焼するため、二段階の燃焼が

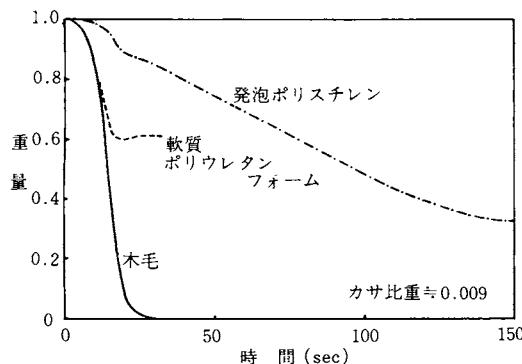


図2 木毛、軟質ポリウレタンフォーム、
発泡ポリスチレンの重量減少曲線
(カサ比重=0.009)

観察される。一段目は、収縮溶融して液状化するまでの燃焼であり、二段目は液状化した発泡系合成高分子物質の燃焼である。図2の中の発泡ポリスチレンの重量減少曲線にその傾向を明確に見ることができる。この図からは軟質ポリウレタンフォームは一段目の燃焼しか見ることができないが、これは一段目の燃焼によってフィードバックされた熱が二段目の燃焼を持続させるのに不十分なためと思われる。したがって、カサ比重を大きくしていくと（一段目の燃焼によってフィードバックされる熱も増大することになる。）発泡ポリスチレンと同様の二段階の燃焼を観察することができる。

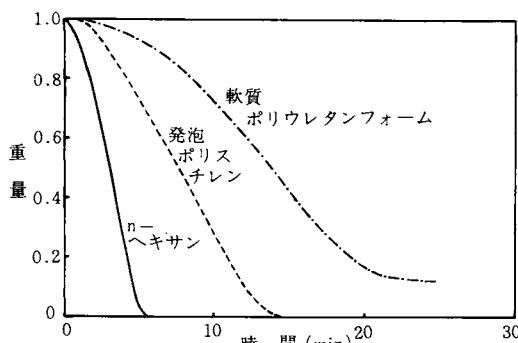


図3 *n*-ヘキサン、液状化した発泡系
高分子物質の重量減少曲線

二段目の液状化した発泡系高分子物質の燃焼を知るためにのステンレス製燃焼皿による燃焼実験の結果を図3に示す。軟質ポリウレタンフォームおよび発泡ポリスチレンの最大重量減少速度はほぼ同じ0.05g/min·cm²で、*n*-ヘキサンのそれの約1/3と小さい値を示している。しかし、液面燃焼における燃焼速度は直径約10 cmで最小であり、直径約1 m以上では一定値となる事が知られている。¹⁾したがって、液状化した発泡系高分子物質の場合でも、規模が大きくなると、燃焼速度がさらに大きくなることが当然予想される。

図4、5、6は木毛、軟質ポリウレタンフォームおよび発泡ポリスチレンにおける最大重量減少速度とカサ比重との関係を示したものである。なお、図5、6の中に点線で示してある横線は液状燃焼実験で得られた最大重量減少速度である。木毛および軟質ポリウレタンフォームでは、カサ比重がそれぞれ、0.012および0.008の所で最大重量減少速度のピークが現われた。これは最も燃え易い詰め方があることを示している。

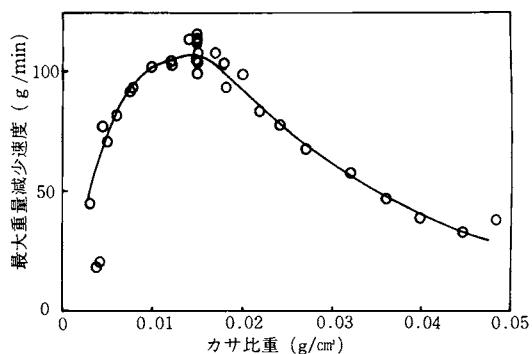


図4 木毛に対する最大重量減少速度
とカサ比重の関係

また、軟質ポリウレタンフォームでは一段目の燃焼のときに最大重量減少速度を示すことがわかる。図6の発泡ポリスチレンの場合には、一段目および二段目の燃焼状態における最大重量減少速度を示した。一段目の燃焼では、カサ比重が0.013辺に最大値があるよう見えるが木毛や軟質ポリウレタンフォームのように明確に現われていない。これは、収縮燃焼するときの収縮率が軟質ポリウレタンフォームに比べて大きいために、燃焼が定常的になりにくいためと思われる。二段目の燃焼では、カサ比重が増加すると共に最大重量減少速度も大きくなり、点線の値に近づく傾向を示している。これは、カサ比重が増すと液状燃焼のときの物質量がふえるからである。

木毛は、他の二つの物質に比べて最大重量減少速度が大きく、ピーク時の値は約110g/min.で軟質ポリウ

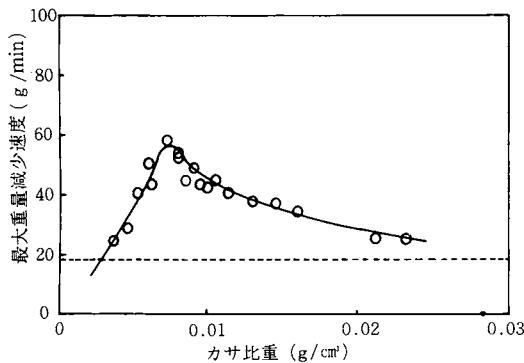


図5 軟質ポリウレタンフォームに対する最大重量減少速度とカサ比重の関係

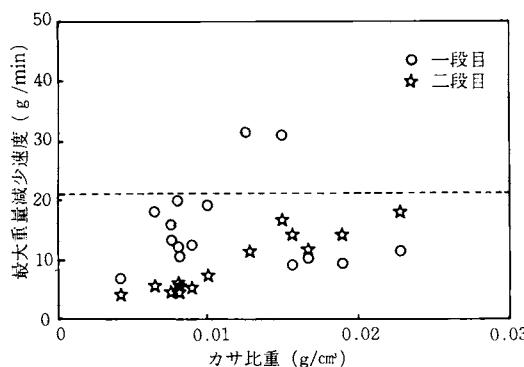


図6 発泡ポリスチレンに対する最大重量減少速度とカサ比重の関係

レタンフォームのそれの約2倍である。しかし、体積燃焼速度*とカサ比重の関係を示した図7をみると、逆に軟質ポリウレタンフォームや発泡ポリスチレンの方が木毛よりも大きいことがわかる。この体積燃焼速度は燃え広がりの尺度（伝ば速度）に相当するものである。したがって、一度火がついた場合には急速に燃え広がっていくことを示している。火災初期にこれら発泡系高分子物質が存在することは、火災のフラッシュオーバーを起こすまでの時間を短縮することになり、避難裕余時間も短かくすることになると思われる。

すでに、高分子物質や可燃性液体の室内での火災性状を研究した武田²⁾やR.Friedman³⁾の報告や室内火災に関する武田の総説⁴⁾の中で、高分子物質や可燃性液体の室内での燃焼挙動は、木材クリップと異なり、開放状態での燃焼の場合に比べて2倍に、また場合によっ

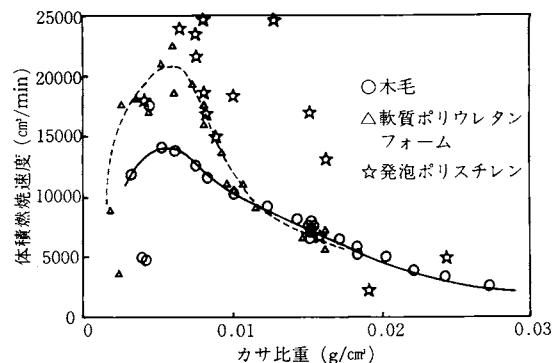


図7 木毛、軟質ポリウレタンフォーム、および発泡ポリエチレンの体積燃焼速度とカサ比重の関係

ては3倍、4倍にもなることがあると述べられており、このことと実験結果を勘案するとこれら発泡系高分子物質が木質系物質に比べて大きい火災危険性を持つことを示唆している。

5. あとがき

今回行なった実験は小規模のものである。そして、最大重量減少速度は木毛が最も大きく、体積燃焼速度は発泡系高分子物質の方が大きいという結果が得られた。これらの結果は火災初期の危険性に対応するものである。しかし、規模が大きくなると液状化した発泡系高分子物質の燃焼性の問題が重要となってくるので、可燃性液体の火災の場合と似た傾向を持つことに注意する必要がある。

6. 参考文献

- 湯本太郎：液面燃焼における燃焼速度と放射熱、p9,(1977)
- H.Tkeda and I.Nakaya : 2nd Joint Meeting, U.S-Japan Panel on Fire Research and Safety, UJNR(1976)
- R.Friedman : International Symp. on Fire Safety of Combustible Material, October,15-17 (1975)
- 武田久弘 : Bulletin of Japan of Fire Science and Engineering, 30, No.1, 41 (1980)

*) 最大重量減少速度をカサ比重で割った値である。ただし、発泡系高分子物質は、一段目の燃焼で液状化してしまうが、液状化した分を無視し、その間に $20 \times 20 \times 5 = 2000 \text{ cm}^3$ の体積を占めた発泡系高分子物質が燃焼したとして計算した。

各種可燃性液体の燃焼性状

湯本 太郎・佐藤 公雄・古積 博

可燃性液体の火災危険を評価するため、n-ペンタン、n-ヘキサン、n-ヘプタン、n-オクタンの飽和炭化水素類、メタノール、エタノール、n-ブタノールの1価のアルコール類およびガソリン、灯油、アセトンの計10種類の可燃性液体を、それぞれ直径1mの容器中で燃やし、その液面降下速度、炎からの放射熱、タンク中心軸上の火炎温度、炎の高さを測定し、その結果、飽和炭化水素類およびガソリン、灯油はその液体のもつ炭素数が少ない程、1価のアルコール類は炭素数が多い程、火災危険が大きいことが分った。

1. まえがき

可燃性液体の引火点、発火点、燃焼限界濃度、燃焼速度、炎からの放射熱、火炎温度などの燃焼性状は、これまで多くの人達により調べられてきた。

なかでも、引火点、発火点、燃焼限界濃度は、通常の実験室で測定できることから、かなりの可燃性液体について調べられており、たとえば、燃焼概論の付表¹⁾だけでも約200種類の可燃性液体のデータがみられる。

それに対し、液体の燃焼速度（燃焼による液面降下速度）、炎からの放射熱、火炎温度の測定値は少なく、国内外合せても燃焼速度は36種類、放射熱は11種類、火炎温度は6種類であり、これらの大半が直径数cmから数10cmの燃焼容器（容器）を使って得たものである。

一方、液体の燃焼速度は同じ液体でも、容器直径が約1m以下の場合、容器直径によって変化し、容器直径が1mを越すと、その速度は容器直径に無関係にはほぼ一定の値をとることが知られている。また、炎からの放射熱は容器から受熱面までの距離が同じでも、風上と風下では異なる。

これらの事を考えると、可燃性液体の火災危険を評価するには、同一実験環境のもとで、直径1m以上の容器を使って得たデータが望ましい。

そこで、本報では、同一環境のもとで、10種類の可燃性液体を直径1mの鋼製容器中で燃焼させ、液面降下速度、炎からの放射熱、火炎温度、炎の高さを測定した。

2. 実験

風による影響を避けるため、実験は消防研究所構内にある長さ30m、幅15m、高さ20mの室内実験場で行

なった。

燃焼容器は実験をとおして直径1m、厚さ3mmの鋼製容器を使った。

使用した可燃性液体はn-ペンタン(C_5H_{12})、n-ヘキサン(C_6H_{14})、n-ヘプタン(C_7H_{16})、n-オクタン(C_8H_{18})の飽和炭化水素類とメタノール(CH_3OH)、エタノール(C_2H_5OH)、n-ブタノール(C_4H_9OH)の1価のアルコール類および、ガソリン($C_4 \sim C_{10}$)、灯油($C_{10} \sim C_{13}$)、アセトン(CH_3COCH_3)の計10種類である。

液面の降下を燃焼容器に接続したフロート式液面計で、放射熱を容器の中心から5m離れた位置に設置した放射計で測定した。タンク中心軸上の火炎温度を10組の線径0.3mmのアルメル・クロメル熱電対で測定した。また、炎の高さを写真から求めた。

3. 結果

使用したどの可燃性液体も、直径1m容器では点火から2分後には定常燃焼となる。火災危険の評価をする際の基礎データという点から、以下に述べる液面降下速度、炎からの放射熱、炎の高さ、火炎温度はすべて定常燃焼時の値を使うことにする。

3-1 液面降下速度

液面降下速度と、使用した可燃性液体のもつ炭素数との関係を図1に示す。図中の白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを示す。また、ガソリンと灯油は炭素数の異なる炭化水素の混合物であるためその炭素数の範囲を横棒で示した。

1価のアルコール類の液面降下速度は炭素数が増すにつれて増加するのに対し、飽和炭化水素類およびガ

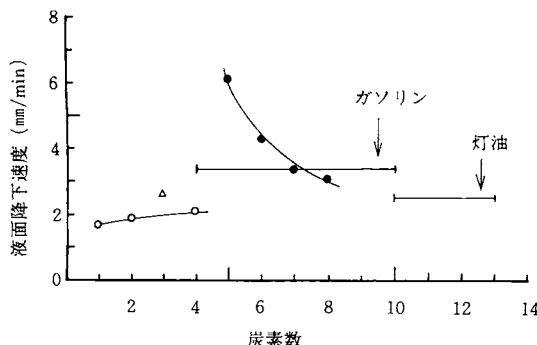


図1 液面降下速度と可燃性液体のもつ炭素数との関係（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、ガソリンおよび灯油は炭素数の異なる炭化水素の混合物なので、その炭素数の範囲を横棒で示した。）

ソリン、灯油などの炭化水素類の液面降下速度は炭素数の増加と共に減少している。

今回測定したケトン類はアセトンだけであるが、ケトン類の液面降下速度も1価のアルコール類と同じ傾向を示すものと思われる。

1価のアルコール類は炭素数が増すにつれて「アルコールより油の性質が出てくる。このため炭素数が増すと炭化水素類（飽和炭素類も含む）の炭素数の多いものの液面降下速度に近づいていくことが分る。

3-2 炎からの放射熱

放射熱と可燃性液体のもつ炭素数との関係を図2に示す。図中の白丸印、黒丸印、三角印、横棒の意味は図1と同じである。

1価のアルコール類および炭化水素類の炭素数の増加にともなう放射熱の変化の傾向は、液面降下速度の場合とまったく同じである。なお、図の飽和炭化水素類の点線の部分は直径3mの容器中のガソリン炎、2.65m角容器中の液化プロパンおよび液化メタン炎からの放射熱²⁾をもとに推定したものである。

3-3 炎の高さ

炎の高さと可燃性液体のもつ炭素数との関係を図3に示す。図中の白丸印、黒丸印、三角印、横棒の意味は図1および図2と同じである。これらは平均の炎の高さを表わし、これらの記号を貫ぬく縦棒は炎の上下方向の変動幅を表わす。

1価のアルコール類および炭化水素類の炭素数の増加にともなう炎の高さの変化の傾向は、液面降下速度および放射熱の場合とまったく同じである。

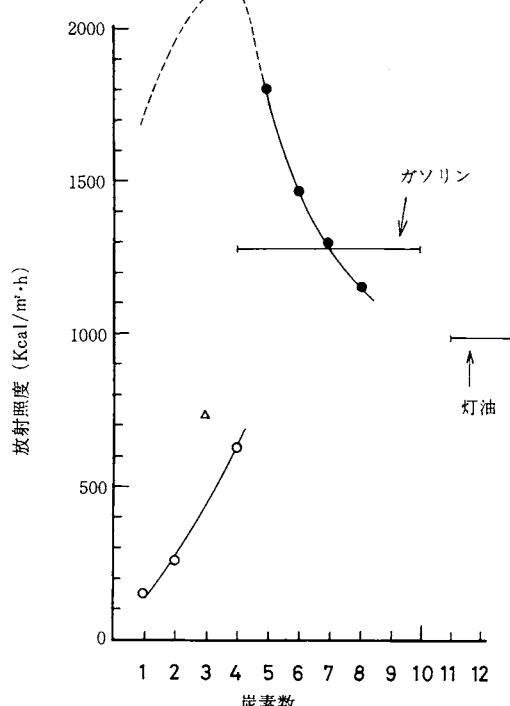


図2 タンクの中心から5m離れた場所で受ける炎からの放射熱と可燃性液体のもつ炭素数との関係（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、ガソリンおよび灯油は炭素数の異なる炭化水素の混合物なので、その炭素数の範囲を横棒で示した。）

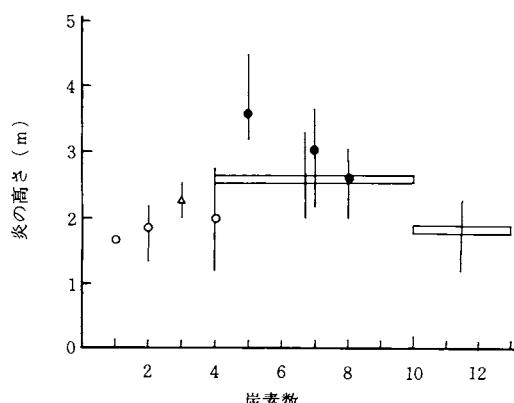


図3 炎の高さと可燃性液体のもつ炭素数との関係（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、ガソリンおよび灯油は炭素数の異なる炭化水素の混合物なので、その炭素数の範囲を横の帯で示した。）

3-4 火炎温度

飽和炭化水素類のタンク中心軸上の火炎温度およびガソリンと灯油、1価のアルコール類のそれらをそれぞれ図4、5および図6に示す。いずれの場合も温度

は液面を離れるにつれて上昇し、ある高さで最高値に達し、その後は次第に下降していく。飽和炭化水素類、ガソリンおよび灯油の場合、どの炎も最高温度に達するまでの温度の上がり方および、最高値を過ぎてからの温度の下がり方は、炭素数の増加につれて急である。1価のアルコール類は液面上のどの高さにおいても炭素数の多い程、温度は高い。

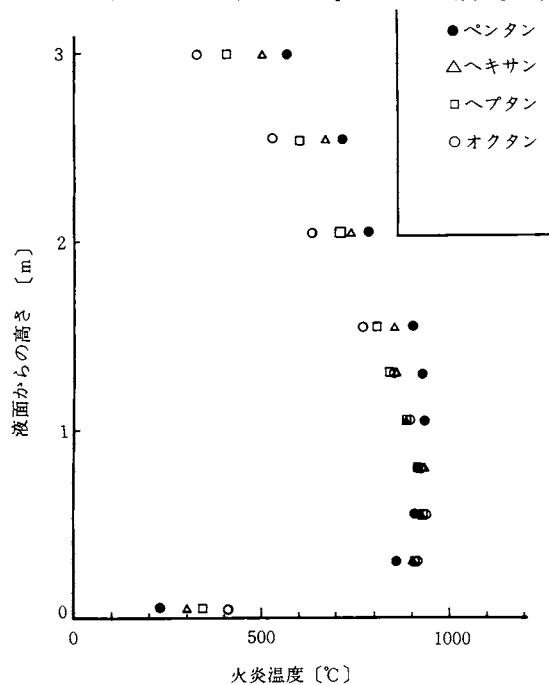


図4 飽和炭化水素類のタンク中心軸上の火炎温度

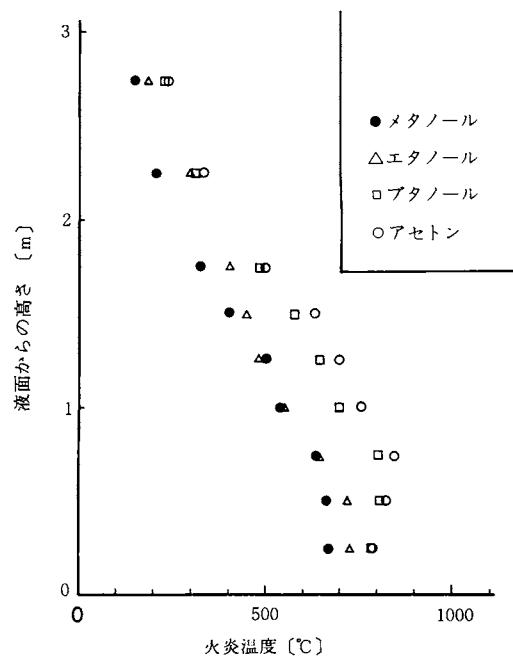


図6 1価のアルコール類のタンク中心軸上の火炎温度

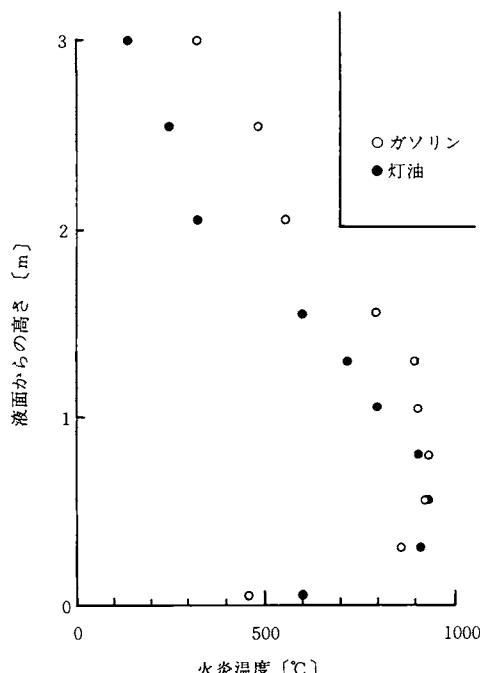


図5 ガソリンおよび灯油のタンク中心軸上の火炎温度

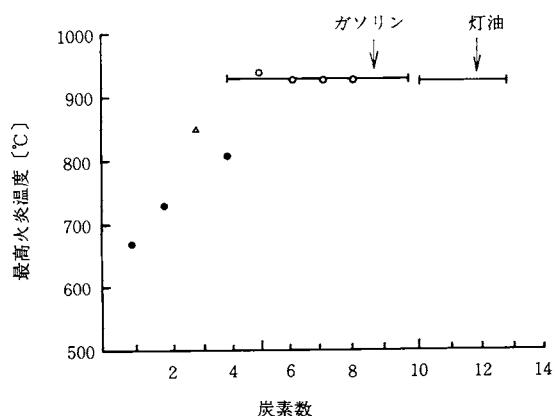


図7 タンク中心軸上の最高火炎温度と可燃性液体のもつ炭素数との関係（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、ガソリンおよび灯油は炭素数の異なる炭化水素の混合物なので、その炭素数の範囲を横棒で示した。）

タンク中心軸上の最高火炎温度と可燃性液体のもつ炭素数との関係を図7に示す。炭化水素類の最高温度は、ほぼ一定であり、図4および図5から分るように、その温度を示した位置はいずれも液面から約80cmの所である。これに対し、1価のアルコール類の最高温度は炭素数の増加とともに高くなり、その温度を示す位置もメタノールおよびエタノールが液面上25cmの所、n-ブタノールが75cmの所と、炭素数の増加とともにその位置は上っていく。なお、アセトンは液面上のすべての位置でn-ブタノールよりも10~50°C高く、最高温度を示す位置は液面上75cmの所である。

4. 考察

可燃性液体の燃焼速度は、その液体の蒸発速度に等しく、また蒸発に必要な熱量は炎から液面への入熱量に依存している。したがって、液面降下速度はその液体の燃焼熱が大きい程、また蒸発に必要な熱量が小さい程大きい。そこで、液面降下速度を燃焼熱と蒸発に要する熱量の比でプロットしたものが図8である。ただし、燃焼熱には真発熱量を用い、蒸発に要する熱量には液体の沸点における蒸発熱と液体を室温から沸点まで上げるに要する熱量の和を用いた³⁾。

図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを示す。これらの記号のわきのC₁、C₂……C₈は可燃性液体のもつ炭素数を示す。

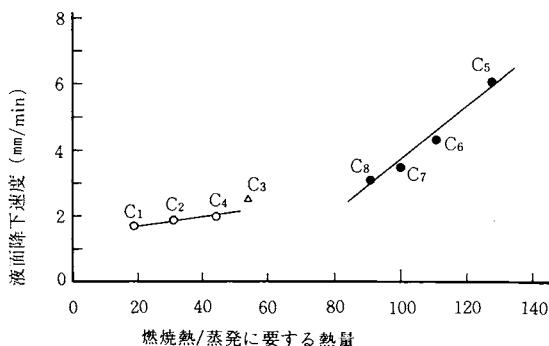


図8 液面降下速度と熱化学的特性（白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、データのわきのC₁、C₂、……C₈は、これら可燃性液体のもつ炭素数を示す。）

これより、図1に示した1価のアルコール類の液面降下速度は炭素数が増すにつれて増加するのに対し、飽和炭化水素類の液面降下速度が炭素数の増加と共に減少するということが説明できる。

炎からの放射熱は液体の重量燃焼速度と燃焼熱の積に比例する⁴⁾。図9の横軸の発熱量は重量燃焼速度と燃焼熱の積であるまた、図中の白丸、黒丸、三角印、C₁、C₂などの意味は図8と同じである。

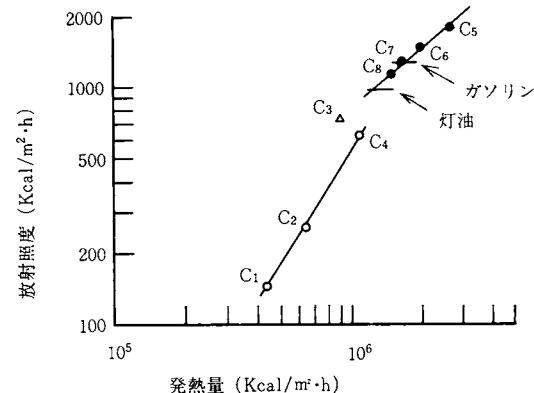


図9 炎からの放射熱と燃焼による発熱量（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、データのわきのC₁、C₂、……C₈は、これら可燃性液体のもつ炭素数を示す。）

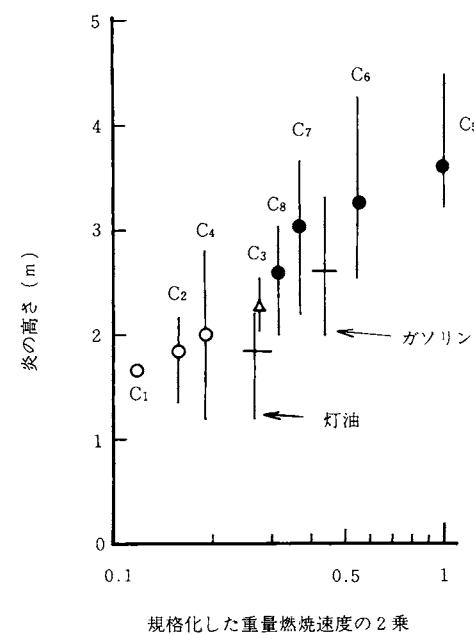


図10 炎の高さと重量燃焼速度（図中、白丸印は1価のアルコール類、黒丸印は飽和炭化水素類、三角印はアセトンを表わす。また、データのわきのC₁、C₂、……C₈は液体のもつ炭素数を示す。）

これより、図2に示した1価のアルコール類の放射熱は炭素数が増すにつれて増加し、飽和炭化水素類の放射熱は炭素数の増加と共に減少するということが説明できる。

炎の高さは容器径が同じ場合、燃料の重量燃焼速度の2乗に比例する⁵⁾。図10は可燃性液体の重量燃焼速度の2乗をベンタンのそれで規格化したものと炎の高さとの関係を示す。図中の記号は図9のそれと同じである。

これより、図3に示した1価のアルコール類の炎の高さは炭素数が増すにつれて高くなり、炭化水素類の炎の高さは炭素数の増加と共に低くなることが分る。

図4および図5の炭化水素類の炎の場合、最高温度を示す点より上方では、液面からの高さが同じでも、可燃性液体のもつ炭素数の少ない程、温度は高い。これは炭素数の少ない程、炎の高さが高いいためである。また、最高温度を示す点より下方では、液面からの高さが同じでも、炭素数が少ない程、温度が低い。これは液面から飛びだす燃料蒸気の速度が早いためである。

図6の1価のアルコール類の炎の場合、最高温度を示す点より上方では、液面からの高さが同じでも、炭素数の多い程、温度は高い。これは炭素数の多い程、炎の高さが高いいためである。また、1価のアルコール類の場合、液面から最高温度を示す点までの距離は炭素数の少ない程短い。これは燃焼の上限界濃度が炭素数の少ない程、濃いためと思われる。

5. おわりに

直径1mの容器を使い、10種類の可燃性液体の液面降下速度、炎からの放射熱、タンク中心軸上の火炎温度、炎の高さを温定し、飽和炭化水素類およびガソリン、灯油は、その液体のもつ炭素数が少ない程、1価のアルコール類は炭素数の多い程、発熱量も多く、炎の高さも高いので、接炎あるいは放射熱による延焼といった周囲へ及ぼす火災危険が大きいことが分った。

始めに述べたように、液面降下速度、炎からの放射熱、火炎温度が測定された可燃性液体の数は少ない。

火災危険を正しく評価するためには、同一環境のもとで測定した可燃性液体の燃焼性状を比較するのが望ましい。

今後、更に多くの可燃性液体について同様の実験を行なってゆくつもりである。

参考文献

- 1) 正田強、秋田一雄：燃焼概論、標準応用化学講座
19、p.190、コロナ社（1971）
- 2) 上原陽一、湯本太郎、中川登：可燃性低温液化ガスの火災性状、消防研究所報告、No.37、p.1（1973）
- 3) Grumer,J.,Strasser,A.,Kubala,T.A.,and Burgess,
D.S.,: Uncontrolled Diffusive Burning of Some
New Liquid Propellants, Fire Research Abstract
and Reviews, Vol.3, p.159(1961)
- 4) 湯本太郎：油タンク火災における炎からのふく射、
消防研究所報告、No.33、p.23（1971）
- 5) Thomas, P.H., Webster.C.T., and Raftery, M.M.,
: Some Experiments on Buoyant Diffusion
Flames, Combustion and Flame, Vol.5, No.4, p.359
(1961)

地形模型を使った日射量実験

——貫山の急炎上に関する——

笹原 邦夫・佐々木弘明

昭和52年3月25日に北九州市貫山付近の林野火災で5名が殉職する事故があった。これまでにも幾多の例で急炎上（flare up）が事故に関連があるのでないかと言われているが、この現象の発生に関する要因究明はまだ充分とは言えない。

ここでは、5000分の1の地形模型を用い、日射の時間変化による地表温度分布の変化を観察し、急炎上発生との関連について考察した。

1. はじめに

昭和46年4月27日広島県呉市の林野火災において消防職員が18名殉職する事故があり、その後、昭和52年3月25日にも、北九州市貫山付近の林野火災で5名が殉職するという事故があった。これらの事故はいずれも急炎上（flare up）による事故であった。両者とも林野火災消火のペテンでさえ予測できなかった（殉職者、作戦指揮本部いずれにとっても）突発現象であった。特に前者の場合、消火作業のため散会していた職員が脇にも逃れることができなかつたほど異常な現象であった。この急炎上は、ある幅をもって、相当長い距離の間火勢が強くかつ速度が速く、目撃者が偶然に撮った現場写真を解析したところによると、斜面を燃え上がる炎の速度はおよそ20m/sにも達する相当速いものであったといふ。

この現象について、熊野¹⁾は米国で起きた林野火災における事故例を比較検討して傾斜地の向きが東または東南で、事故発生時刻が午後という例が多いと述べ、沖林²⁾は国内の例をあげてこれを肯定している。消防研究所³⁾では、呉市林野火災現場で気象観測を2年にわたり実施し、事故当時殉職現場では絶えず谷風が吹き上げていた可能性について調査した。更に、熊野等⁴⁾は貫山付近の林野火災について、日射状況を現地で観察したり、電子計算機を使用して、日照状況の時間変化・日射エネルギーを算出した。江守・斎藤⁵⁾⁶⁾は、貫山付近の地形模型を用いて、火線による上昇気流と一般風の相互作用によって殉職現場付近に渦巻が発生し、風向すなわち延焼方向が変わる可能性を指摘した。橋⁷⁾は、斜面上で紙を燃やす模型実験で、斜面の傾きを増していくと、ある斜面角度で、燃焼速度が急増す

る現象を示している。

急炎上は、地形による局地風の影響、斜面の向きおよび傾き、地表の可燃物の多少などが互いに作用し合って発生するものと思われる。

ここでは、急炎上が東南向き斜面に多く起こることは日射をうけて地表温度が高くなり、斜面に沿って上昇気流が生じることと無関係ではないと思われるので、このことを確かめるために、急炎上事故現場の一つである貫山地形模型を作り、現場付近の地表温度を計測することにした。更に、赤外線カメラを用いて貫山一帯の地表温度分布とその時間的変化をも観察した。

2. 実験方法

2-1 地形模型

地形模型は、素材として、木、紙、コルク、石こうなどの材料が考えられるが、日射によって表面温度が変化する様子を観察するには、熱伝導が小さく、伝熱の方向性が小さい方が有利と考え、コルクを使用する

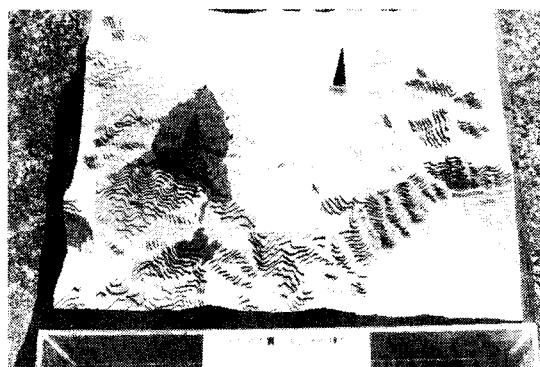


図1 贯山地形模型

5000分の1 地形模型の写真。

ことにした。

模型は取扱い易さの面で5000分の1縮尺とし、厚さ2mmのコルクシートを10mごとの等高線に沿って積み重ねた。斜面の断面は階段状になっている。従って相似模型ではないし、正確には地形模型といえないかも知れない。模型表面は、標高が見易いように100mごとに色を変えて、緑色系統のペイントを塗ってある。模型の外観を図1に示す。

2-2 測定方法

周囲に日射を遮るものがないような広場に方位を合せて模型を置き、日射による模型表面温度の変化状況を観察測定した。測定方法の概略を図2に示す。

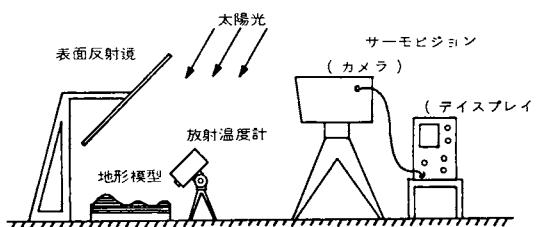


図2 測定概略図

模型、測定器類の配置を概略を示した図。

表面温度は赤外線放射温度計で測定し、温度分布の変化状況は赤外線カメラ(AGAサーモビジョン モデル661)で観察した。表面温度の測定点は殉職現場斜面(標高580m)と貫山の東西南北各斜面で殉職現場とほぼ同じ標高590mの地点、計5点を選んだ。さらに、殉職現場斜面の直下1mmのところに熱電対(0.01φ銅



図3 測温地点

地図のうえで、熱電対、放射温度計による測温地点を示す図。

—コンスタンタン)を挿入した測定も行った。図3に測定位置を示す。放射温度計による測定値は、測定地点の直径5mmの円内、4秒間の平均値を値とした。ここで放射率は、塗料(全色)0.77~0.98、紙0.8~0.95であることから0.9とした。

測定に際しては、風が強く吹くと、放射温度、熱電対による温度いずれも急激に下がるので、風が止んだり、微風になった間に測定するようにした。

測定日は、事故発生が春分の日から3日後であったことから、春分の日前後が条件的に適していたが、天候その他の都合で、日射角度がほぼ等しい9月下旬から10月中旬の間に測定を行った。

実験場所は消防研究所構内で、北九州市とは、緯度、経度に違いはあったが特に補正はしなかった。

3. 結 果

当初、コルクシートを積み重ねた模型に日射を当てたとき、斜面の向きによって模型表面に温度差が生じ得るかという懸念があったが、赤外線カメラでの観察の結果、粗い地形模型ながら、日射による斜面の温度差、細かい山ひだの温度分布が明瞭に識別できた。時間とともに変化する温度分布の状況を図4に示す。ここで白い部分は温度の高いところを示す。この写真から日射角度の変化とともに温度の高い斜面は、東から東南、西向きへと移行する様子がよみとれる。殉職現場と等温のセンターを図5に示したがこれによても同様のことが認められる。ここで点線で示したセンターはかっこ内に示した時刻のものを示す。

次に、模型表面温度の測定結果を図6に示す。熱電対による温度変化(点線)は、放射温度計による測定値より変動が少ない。実験当日の日射状況を図7に示す。

各斜面別に放射温度の時間変化を追ってみると、9時から10時半頃まで優勢なのは東と南向き斜面で互いに拮抗している。その時間、西と北向き斜面の温度は大体等しく、東および南向き斜面より10°C近くも低い。10時半以後、西向き斜面の温度が上昇して、11時前には下降してきた東向き斜面の温度に追いつき、12時半頃には南向き斜面の温度に匹敵、14時前にはこれを追い越している。

殉職現場斜面または東向き斜面に着目して、以上の観察測定結果を要約すると、

- (1) 殉職現場の斜面温度は、東向き斜面とほぼ同じ時間変化を示す。
- (2) 東向き斜面は、午前中他の斜面に比べて温度の上で優勢である。

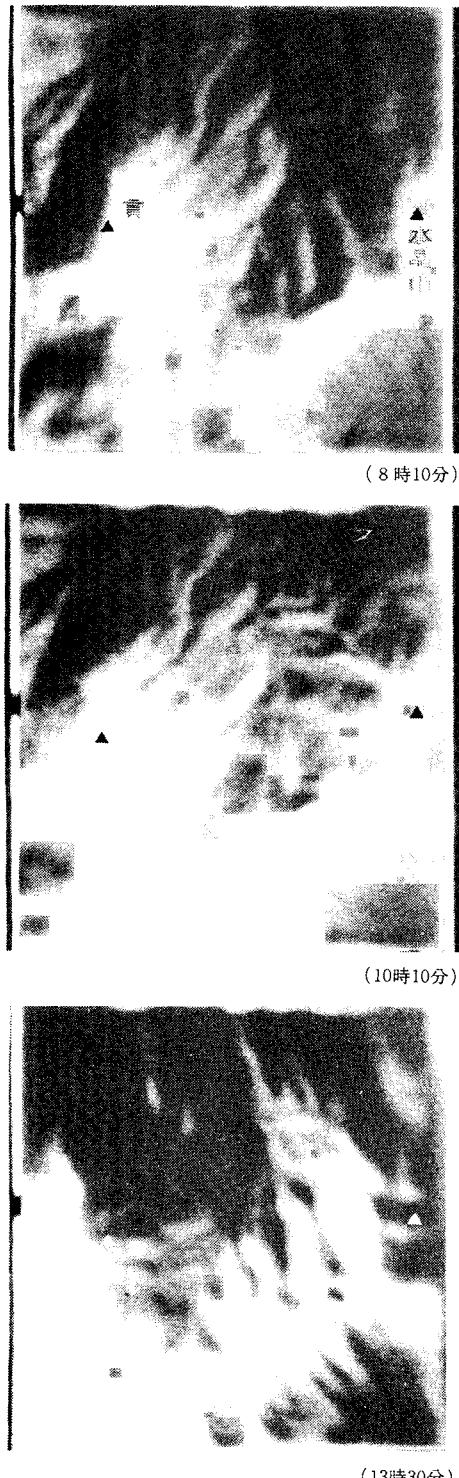


図4 温度分布の時間変化

赤外線カメラで撮った模型表面の温度分布の写真。
観察時間は、8時10分、10時10分、13時30分の3回
である。

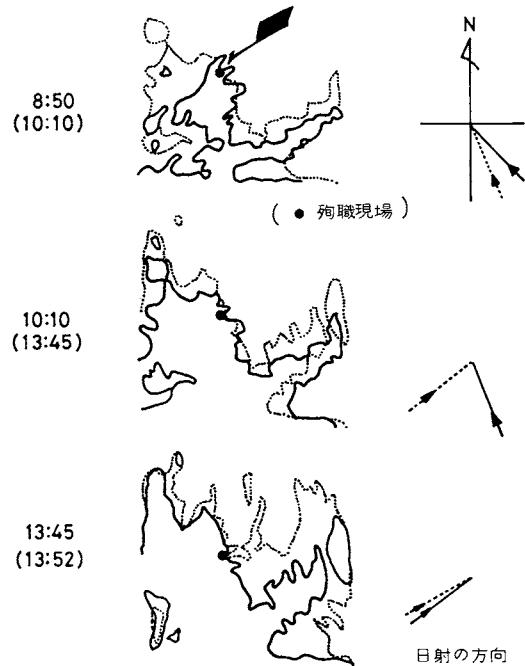


図5 殉職現場と等温センターの時間変化
時間とともに殉職現場と等温の部分が変化する様子
を実線と点線で描いた図。

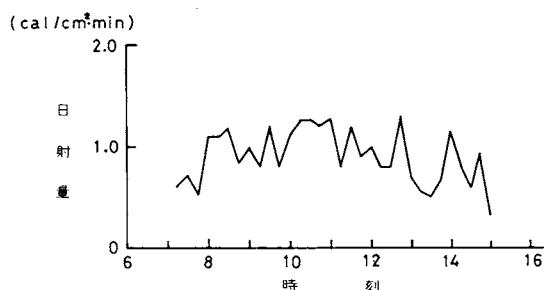


図6 日射状況

実験当日の日射量を示した図。

(3) 殉職現場斜面と等温度センターは、日中北西から北方向へのびる。

(4) 贫山と水晶山の中間の谷間の温度は、時間とともに上昇する。

これらから、日射のみを考えると、殉職現場だけが特に急炎上を起こしやすい場所であったとは考えにくい。しかし、日射は地表温度を上昇させて、地表の可燃物を乾燥させるから、午前から午後にかけて十分日射を受ける東ないし南向き斜面は急炎上の可能性も大きいと言うべきであろう。

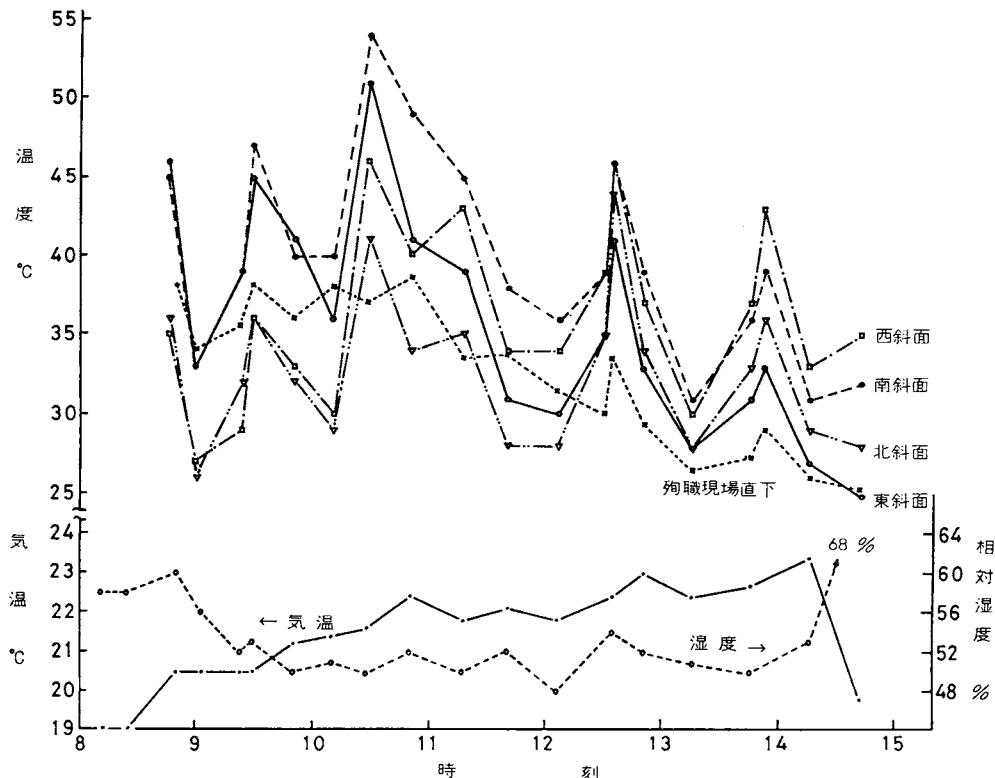


図6 測温結果

熱電対、放射温度計による測温結果と、外気の温度を記入した図。

4. あとがき

コルクシートを用いた5000分の1 貫山地形模型を晴天時に屋外に置き、地表温度の測定、地表温度分布の観察を行った。

東および南向き斜面は午前中から温度が高くなるが、特に殉職現場が温度的に特異な場所ではないことがわかった。粗い地形模型ではあるが、赤外線カメラによってきめ細かい温度差がわかる写真を得ることができた。太陽が移動するにつれ、温度分布も当然変化し、温度だけに着目すれば、急炎上発生危険箇所は時間と共に移動する。より精確に議論するためには日射エネルギーの蓄積、地表の比熱等考慮に入れる必要があるろう。

参考文献

- 1) 熊野陽平：山林火災時の急斜面炎上（flare up）による多発焼死事故例、所内臨時研究会（昭和46年5月27日）
- 2) 沖林仁郎：急炎上の類型的考察、第25回全国消防技術者会議（昭和52年）
- 3) 岐市山林火災現場付近の小気候、消防研究所技術資料 通巻9号（1976）
- 4) 熊野陽平、佐々木弘明、稻垣 実：貫山林野火災での急炎上について、所内月例研究会（昭和53年6月15日）
- 5) 斎藤孝三、江守一郎：森林火災の模型実験、日本火災学会研究発表会（昭和55年）
- 6) 江守一郎：林野火災の延焼模型実験、近代消防、10. (1981)
- 7) 橋 房夫：山林火災の斜面延焼速度に関する模型実験（炎の吸い付き現象）、災害の研究 第10巻（1979）

1978年宮城県沖地震時における消防隊の活動状況

関 沢 愛

1978年宮城県沖地震時における仙台市消防局の消防隊の活動状況を調べ、消防活動に関する様々な時間的要素や消防隊の活動範囲を分析した。その結果、宮城県沖地震の場合、道路自体の物的被害は比較的少なく、消防車の走行条件には大きな支障が出なかった一方、地震直後から発生した電話パニックのために同時多発した火災の覚知が遅れ、出動が効率的に行えなかつたなど、通信障害による消防活動への影響が大きかったことが分った。

1.はじめに

地震時には、道路障害や通信障害、あるいは消火栓の被害が発生し、消防隊の行動範囲に制約が生じたり、消防水利が不足するという事態が予想される。このような制約条件の下で、消防隊がどの程度地震火災に対応できるかを検討することは、地震時の消防活動計画の上で最も基本的な作業の一つである。

ここでは、過去の地震時における消防活動の一例として、1978年宮城県沖地震時における仙台市消防局の消防隊の活動状況を取り上げ、地震時における消防活動の時間的要素および消防隊の活動範囲を検討した。

2. 消防活動と時間的要素

表1は、地震発生当日中に仙台市内で出火した8件の火災のうち、消防機関が事後に覚知したものを除く5件の火災に対する消防隊の活動記録である。出動隊は、指揮車や救急・救助車などを省き、放水活動の可能な消防車と梯車のみ20隊を示している。表中の5件の火災のうち、4件は地震発生直後の17時15分に出火しており、仙都魚類第二わらさ寮だけが17時26分出火であった。また、地震発生直後に119番がパンク状態となつたため同時に出火した4件のうち東北大学理学部の火災の通報以外は、覚知が遅れる結果となつた。

5件の火災のうち、実際に放水活動が行われた本格的火災は、東北大学理学部、東北薬科大学、仙台市ガス局の3件だけで、仙都魚類第二わらさ寮、東北大学工学部に出動した消防車は、放水活動を行うことなく火災の早期鎮火に伴い他の火災現場へと転戦を行つてゐる。

ところで図1は、放水が行われた場合の消防活動の一般的経過と所要時間の区分を示したものであるが、

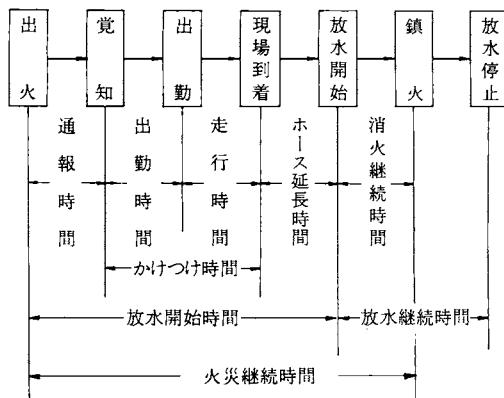


図1 消防活動の一般的経過と所要時間の区分

これに従つて表1の記録を整理したものが表2である。

これを見ると、出火後すぐに119番覚知のできた東北大学理学部の火災は通報時間が1分であったが、覚知の遅れた東北薬科大学、仙台市ガス局、東北大学工学部の火災の通報時間は7~10分となっている。

走行時間は、火災によりばらつきがあるが、全ての消防隊についての平均値を求めるに9.0分となり、平常時の約2倍の時間を要している。このため、通報の早かった東北大学理学部の火災でも、かけつけ時間および放水開始時間の平均は、それぞれ13.0分、15.3分となっている。また、転戦した消防車も含めて全ての火災について平均すると、かけつけ時間および放水開始時間は、それぞれ15.3分、22.6分となっており、平常時に比べ大幅な遅れがみられる。

次に、放水を行つた消防車について、出火から放水開始に至るまでの活動時系列を示したもののが図2である。これを見ると、転戦を行つた消防車の放水開始時期がかなり遅れ、いずれも出火から30分以上経過している。また、放水を行つた火災の火元が、普通の木

表1 仙台市消防局の消防隊の活動記録（仙台市消防局による）

出動対象火災		出動隊名		消防活動に関する時刻の記録				消防車に積むる記録			人員備考	
出動所	名	出	火 墓	知	出	現場到着	放水開始	放水停止	鎮	火引	走行距離 km	直線距離 km
北	北1号	17:15	17:16	17:17	17:26	17:30	21:00	20:25	21:45	33.3	5.0	3.3
*	梯1号	"	"	"	"	17:31	20:31	"	"	3.20	4.8	3.3
*	梯6号	"	"	"	"	17:31	20:43	"	"	3.20	4.8	3.3
片平	北4号	"	"	"	17:25	17:27	20:47	"	22:45	37.5	5.0	2.9
東北大物理学部化学生	国見	北5号	"	"	17:26	17:27	21:00	"	21:40	32.0	4.8	2.7
小松島	北6号	"	"	"	17:32	17:36	21:00	"	21:30	32.0	8.0	5.4
南	南2号	"	"	17:25	17:32	放水なし	"	"	17:33	—	—	5.1
連坊小路	梯2号	"	"	17:21	17:33	放水なし	"	"	17:33	2.50	—	5.1
東	梯3号	"	"	17:17	17:35	放水なし	"	"	17:45	—	—	5.7
東北薬科大学	荒巻	北2号	17:15	17:25	17:26	17:32	17:34	21:10	18:57	21:30	51.0	5.7
(*1)	連坊小路	梯2号	"	—	*17:33	17:45	17:46	20:50	"	21:10	35.0	7.0
(*2)	東	梯3号	"	—	*17:45	18:00	18:01	21:30	"	21:35	4.40	11.0
(*3)	北	北3号	"	—	*17:36	17:51	17:54	21:44	"	21:56	4.40	11.0
仙台市ガス局	鶴谷	東2号	17:15	17:22	17:23	17:26	17:28	18:40	18:35	18:50	6.00	3.0
(*4)	連坊小路	南8号	"	—	17:40	17:45	放水なし	"	18:06	46.8	3.9	2.5
(*5)	東	東3号	"	—	*17:40	17:45	17:46	18:09	"	18:10	4.80	4.0
仙都魚類第二	わらさ寮	東6号	"	—	*	"	放水なし	"	18:09	3.60	3.0	2.5
東北大工学部	北	北3号	17:15	17:22	17:22	17:31	放水なし	"	17:38	17:40	4.50	3.0
平均										3.9.9	5.4	3.6
										(3.3)	4.0	4.0

(注) 事後覚知の火災を除く

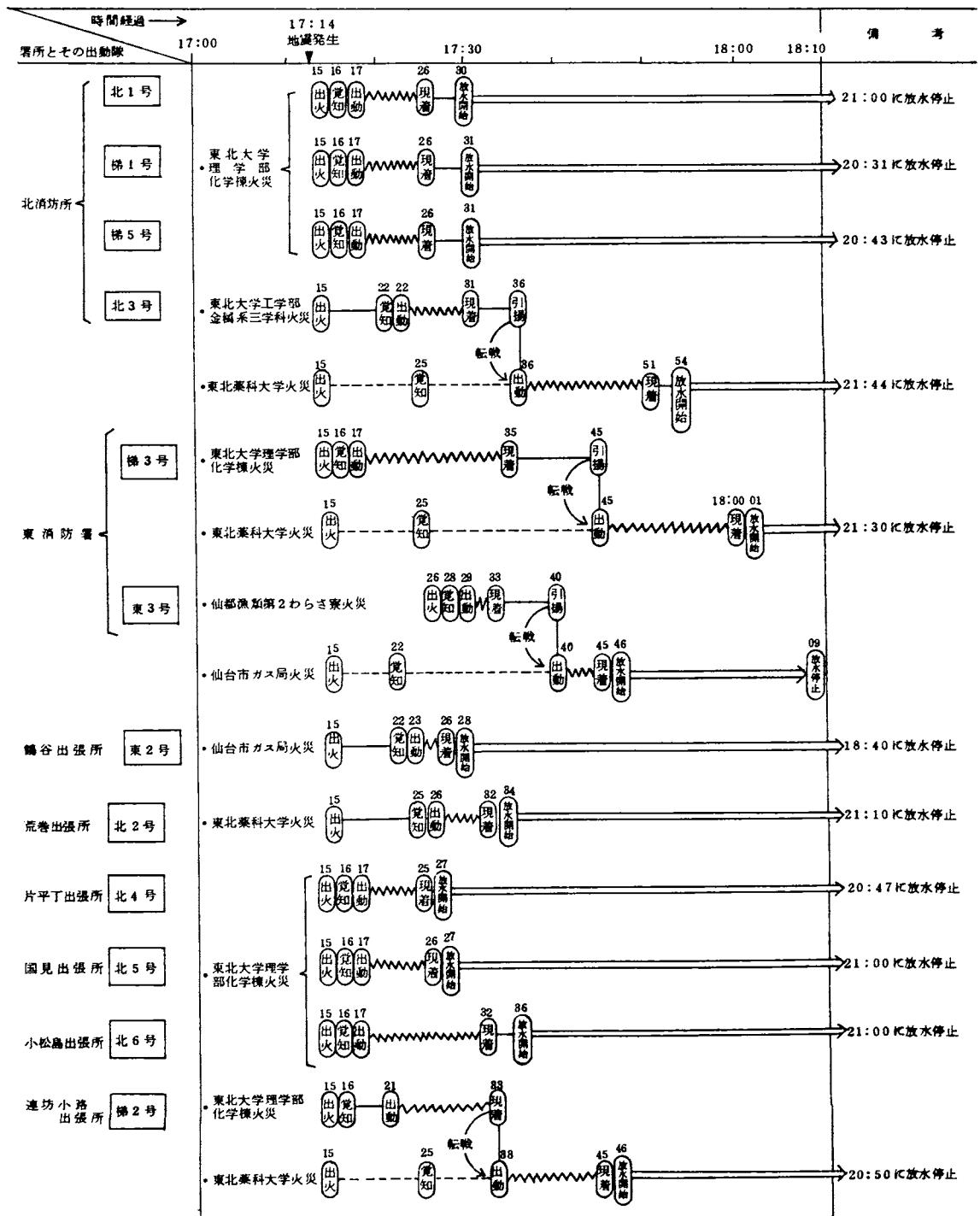
* 航戦開始時刻
 (*1) に航戦
 (*2) に航戦

(*3) 内は走行距離のみ

の平均

表2 消防活動の各区分ごとの所要時間（表1の記録を整理）

出動対象火災 署 所 名	出 動 隊 名	消防活動の各区分ごとの所要時間（分）										(注) 事後覚知の火災を除く				
		通報時間	出動時間	走行時間	消 火	かけつけ放	水 放	燃 焰	燃 続 時 間	水 放	燃 焰	燃 続 時 間	水 放	燃 焰	燃 続 時 間	
北	北 1 号	1	1	9	4	17.5	10	1.5	21.0	19.0	防炎水そう	2	7, 3			
"	佛 1 号	"	1	9	5	17.4	10	1.6	18.0	"	中 繼	1	1			
"	佛 5 号	"	1	9	5	17.4	10	1.6	19.2	"	中 繼	1	1			
片 平	北 4 号	"	1	8	2	17.8	9	1.2	20.0	"	中 繼	3	3			
国 見	北 5 号	"	1	9	1	17.8	10	1.2	21.3	"	防炎水そう	1	1			
小 松 島	北 6 号	"	1	15	4	16.9	16	21	20.4	"	中 繼	1	1			
南	南 2 号	"	9	7	-	-	1.6	-	-	"	-	-	-			
連坊小路	佛 2 号	"	5	12	-	-	1.7	-	-	"	-	-	-	(*)1) に転戦		
東	佛 3 号	"	1	18	-	-	1.9	-	-	"	-	-	-	(*)2) に転戦		
荒 川	北 2 号	10	1	6	2	8.3	7	1.9	21.6	10.2	池	2	8, 8			
(*1)	連坊小路	佛 2 号	"	-	12	1	7.1	(2.9)	(3.1)	18.4	"	池	2	4, 2		
(*2)	東	佛 3 号	"	-	15	1	5.6	(4.4)	(4.6)	17.9	"	中 繼	2	3, 2		
(*3)	北	北 3 号	"	-	15	3	6.3	(2.9)	(3.9)	23.0	"	中 繼	1	4		
仙 台 市 ガス局	東 2 号	7	1	3	2	6.7	4	1.3	7.2	8.0	消 火 槽	1	10			
(*4)	連坊小路	南 8 号	"	18	5	-	-	2.3	-	"	-	-	-			
(*5)	東	東 3 号	"	-	5	1	4.9	(1.7)	(3.1)	2.3	"	中 繼	1	3		
仙 郡 魚 類 第 二 わ ら さ 寮	東	東 3 号	2	1	4	-	-	(1.7)	-	"	-	-	-			
東 北 大 学 工 学 部	北	北 3 号	7	0	9	-	-	5	-	1.2	-	-	-	(*4) に転戦		
平 均					9.0	2.6		5	-	"	-	-	-	(*5) に転戦		
										11.3	15.5		1.5	3.8	(*3) に転戦	
										(15.3)	(22.6)				(*) 内は転戦したものを含む場合	



出動 → 現着 : 走行中
現着 → 水消栓始 : 放水活動中

図2 放水を行った消防車の活動時系列

建造物とは異なり、鉄筋コンクリート造建物やガスホールドー施設であったため、放水継続時間が長びいた。特に、東北大学理学部や東北薬科大学の場合は、約3時間から4時間の放水活動を行っている。

地震時に同時多発する火災が初期鎮圧されるか、それとも延焼火災となるかの時間的目安は、通常、地震発生後約1時間といわれている。宮城県沖地震における仙台市消防局の活動記録データからいえることは、地震時には通報時間や走行時間が長くなることが予想され、これに放水活動の時間を含めて考えれば、地震発生後1時間以内に各々の消防隊が対応できる火災はせいぜい1件であり、それ以上を期待することはかなり難しいということである。

3. 消防隊の活動範囲

今回の宮城県沖地震では、指揮車や救急・救助車を含めた全ての消防車の平均走行速度は33km/h（表1中の消防車のみでは40km/h）で平常時と大差のない値を確保しているのに対し、出動・かけつけに要した時間は平常時の約2倍であった。この理由は、主として走行距離の増大によるものであるが、表1の消防車走行に関する記録を見ると、平均走行距離は5.4kmであ

り、出動地点からの平均直線距離は3.6kmとなっている。

消防力の基準における平常時を対象とした署所の標準的な守備範囲は、署所からの走行距離で1.4km、直線距離で1.0kmの範囲となっており、この数値と比較すると宮城県沖地震の際の走行距離、直線距離は4倍近い値となっている。このように走行距離が伸びた大きな原因として、次のことが考えられる。

- ① 地震発生直後の電話のパンク状態により、同時発生した火災のうち東北大学理学部以外の火災の通報が遅れたことに加えて、地震発生後の初期、消防隊が平常の出動体制で対応したために、多くの署所から東北大学理学部へ消防車が集中することになった。
- ② その後、次々と他の火災の通報が入り、東北大学理学部などの火災現場へ出動していた消防車があらためて新しい火災現場へ転戦を行った。
- ③ この結果、それぞれの火災に対して直近の署所から効率的に消防車を出動させることができず、かなり遠回りの走行をする結果になった。

この点に関して、図2に示した放水活動を行った12台の消防車の走行軌跡を見たものが図3～図6である。図3の北消防署の北3号、図4の東消防署の梯3号、

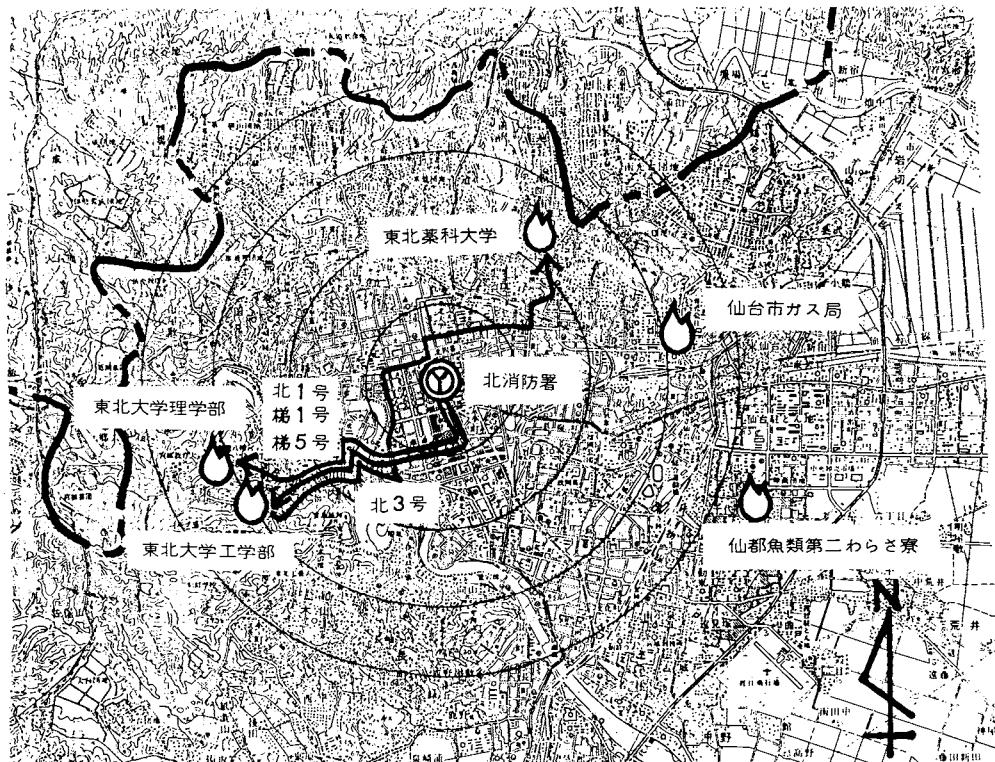


図3 北消防署の消防車の走行軌跡

(※同心円は北消防署を中心として描いた1km刻みの円)

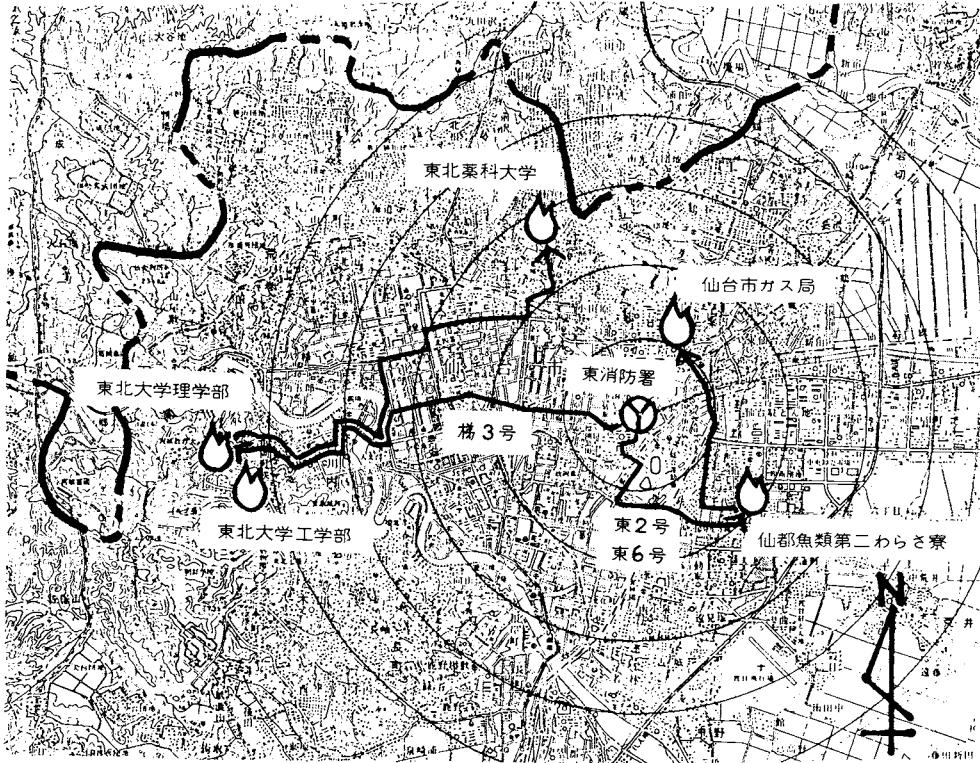


図4 東消防署の消防車の走行軌跡

(※同心円は東消防署を中心として描いた1km刻みの円)

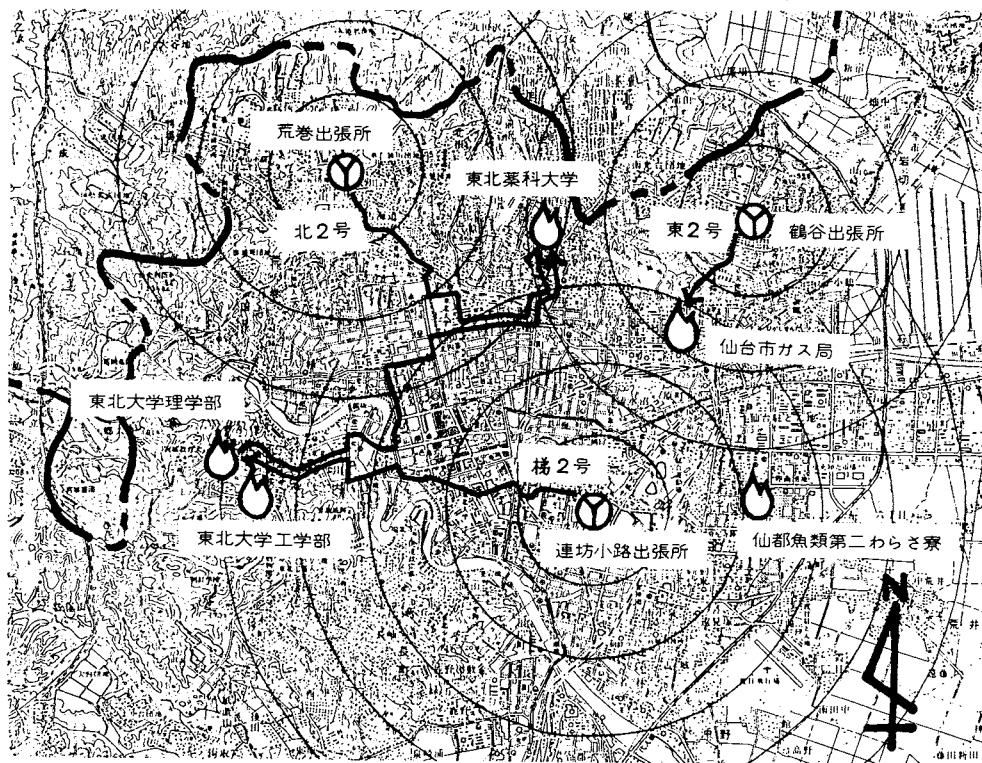


図5 荒巻、鶴谷、連坊小路各出張所の消防車の走行軌跡

(※同心円は、各出張所を中心として描いた1km刻みの円)

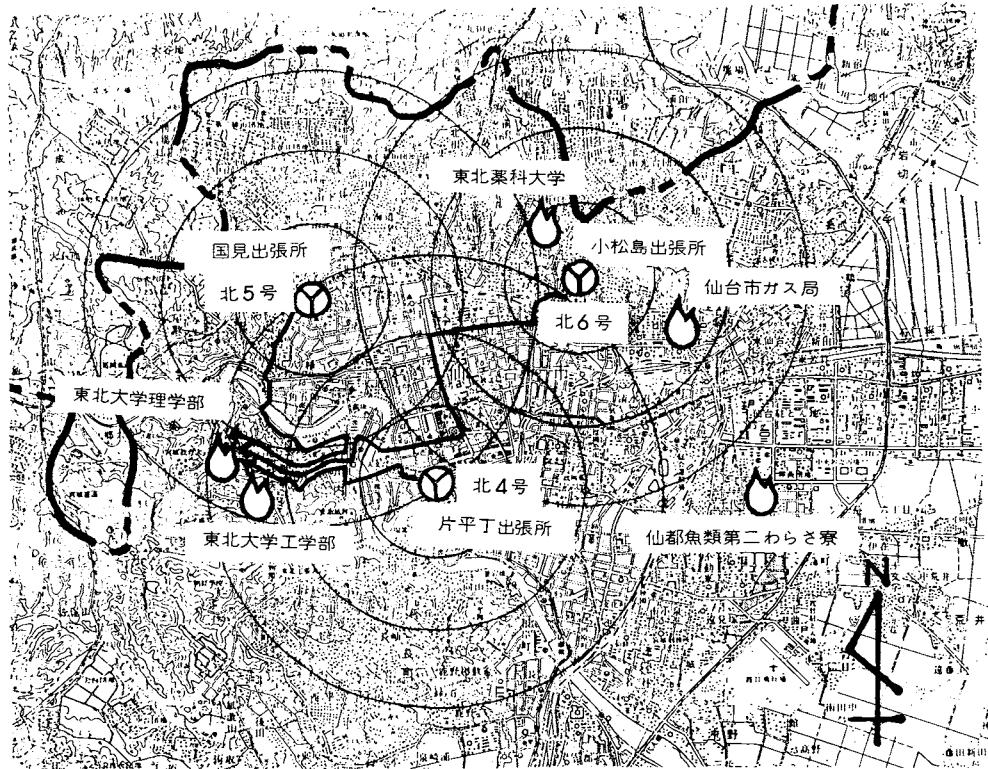


図6 国見、片平丁、小松島各出張所の消防車の走行軌跡

(※ 同心円は、各出張所を中心として描いた1km刻みの円)

および図5の連坊小路出張所の梯2号は、それぞれいったん東北大学理学部や工学部の火災現場へ到着したのち、あらためて東北薬科大学へ転戦を行っている。この結果として、それぞれの署所から直接に東北薬科大学へ向った場合に比べかなりの遠回りになっていることが分る。また図6からは、小松島出張所の北6号が、直近の東北薬科大学や仙台市ガス局の火災を覚知する前に、先に通報の入った遠方の東北大学理学部の方へ出動してしまったことが分る。

ところで、もし通報状態が平常時と同じであったならば、それぞれの火災に対する出動はもっと効率的に行われたと考えられ、図3～図6に示したような非効率的な出動状態は発生しなかったと思われる。

4. まとめ

宮城県沖地震の場合は、仙台市の中心市街地が耐震性の高い礫層であったために路面自体の被害は比較的小なかった。しかし、以上に検討したように、道路障害が少ない場合でも電話パニックなどの通信障害のた

めに、火災の覚知が遅れたり、出動が効率的に行えないと消防活動の障害が生じることが分った。

これらの結果を教訓として、地震時の同時多発火災に対して消防隊の初動時の対応を効率的なものとするためには、次のような点を特に考慮する必要があると思われる。

① まず第一に火災の早期覚知、すなわち通報体制の整備を図る必要がある。このことには、火災成長の初期段階に消防隊が対応するという意味と、それぞれの火災に対して消防隊を効率的に出動させるという二つの意味がある。

② 多発する火災の一部に対してだけ消防力が集中するという事態を防止するために、事前計画として地震時における署所ごとの消防隊の運用方針およびその効率的な活動範囲を定めておくことが、初動時の消防活動計画に関して特に重要である。

なお、今回検討を行った消防隊の活動記録の作成にあたって仙台市消防局の方々に多大の協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

スチール製事務机の引出し内火災実験

守川 時生

この小報告はスチール製片袖事務机内に起った火災の再現実験の概要である。袖部引出し三段に紙類を収容させて、下段引出しの紙に点火すると、中、上段を閉じた場合には、下段は開放状態でさえ、上層段の燃焼または炭化は起り難く、下段を閉じた状態では、酸素不足のため、下段自体の燃焼も非常に遅くなる。中、上段への空気流通がある程度ある状態では、収容物の炭化が起る。

スチール製片袖事務机の閉じた引出し内で、2時間程の間に、その中の書類を焼き、机の上の書物の下面を焦がした火災があったので、その燃焼状態を再現するための実験を行なった。

出火した片袖事務机は、103cm×70cm×70cm（高さ）のスチール製標準型で、火災時に引出しあはすべて、閉鎖状態にあり、その内容物および机上の物品はかなりの損傷を受けた。しかし、火災は机の引出しおよび表面に限られ、他への延焼はなかった。

焼損の程度は袖下段引出しが最も大きく、書類の炭化および灰化、すすの跡などがみられた。袖中段引出しでは書類の炭化、袖上段引出しでは塩ビ樹脂の溶融、左側引出しでは収容物のタールによる変色、机上表面は塩ビマットの溶融、書物などの下面炭化、また、机側面では袖の下段引出し位置の外表面の塗料の焼け焦げがみられた。これらの焼け方から、火災は下段に発し、上方へ拡がったものと思われる。

実験は、火災の起った机と同種のものを用いて行なった。なお、実験に用いた机は袖部底に10孔のビス穴（6mmφ）をもつものであった。

机の引出しに新聞紙、ゼロックス複写用紙を収容させ、袖部下段引出しの紙に直接マッチで点火、または、紙にエタノールを振りかけた後、点火し、しばらく、引出しを開いた状態で予燃した後、引出しを閉じ、燃焼状態を観察した。なお、実験においては、火災初期段階を省略した。火災の観察は主に肉眼および写真撮影によって行なったが、温度はサーモペイント、および、1mmφC-Aシース熱電対を用いて測定した。サーモペイントは机の外表面の温度モニターとして、また、熱電対は引出し内の中央部の温度測定に用いた。

実験は数回行なったが、その中の代表的ないくつかの例についてのみ述べる。

実験例 1

机の左側引出しには新聞紙0.5kg、袖部上段引出しには新聞紙0.5kg、中段にはゼロックス紙2.0kgおよび新聞紙0.5kg、また、下段には新聞紙3.0kgを収容させた。

収容物の状態は写真1に示す。下段引出しの新聞紙は4枚重ねを8つ折りにし、折り目を背にした。机の側面および上部に50°C、130°C、220°C、330°Cで変色するサーモペイントを塗った。下段のみを開いた状態で、その中の新聞紙にマッチで点火し、2分間予燃した後、引出しを閉じ、60分間観察を行なった。その結果を写真1～2に示す。

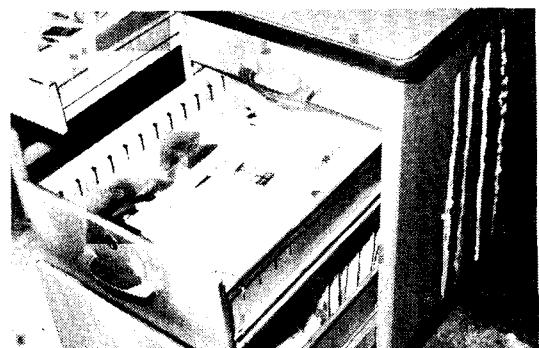


写真1 実験例1 着火前



写真2 実験例1 着火直後

引出しを閉じても、引出しと机の隙間および袖部の底のビス穴（6 mmφ×10）があるため、多少の空気が入り、着炎燃焼は引出しを閉じた後も約5分間継続した。その後はくん焼状態が続いた。実験中は終始、机の上部隙間から白煙が出るのが観察された。

机側面のサーモペイントは高さの中央付近から5分以内に50℃のものが変色を開始し、その変色範囲は徐々に上下方向に拡がったが、机上部表面のものには変化がなかった。

60分で実験を中止したが、下段の新聞紙の燃焼範囲はカラー写真1に示すように小さく、燃焼拡大の様子はほとんどなかった。中段および上段では表面がタルによって僅かに変色した程度であった。

実験例2

机左側の止出しには新聞紙0.1kg、袖部上段引出しに同0.1kg、中段に同0.1kg、また、下段に同1.5kgを収容させた。

引出しへの新聞紙の収納は実験例1とほとんど同様に行なったが、下段の引出しへは新聞紙が燃え易いように1枚ずつ8つ折りにした。点火は下段の新聞紙にエタノール300mlを振り掛けマッチによって点火し（写真3）、2分間の予燃後、引出しを閉じた。上段と中段にはC-A熱電対を挿入し、各々の中央部の温度を測

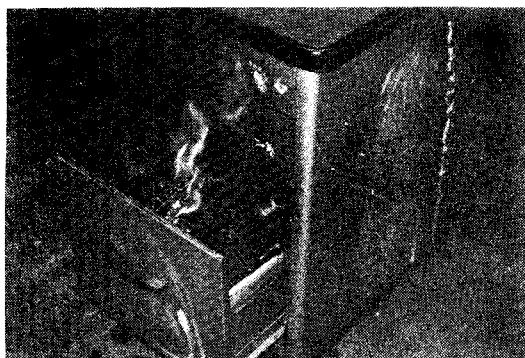


写真3 実験例2 着火直後の予燃状態



写真4 実験例2 60分後

定した。温度は上段、中段とも予燃中が最高で、それぞれ220℃と170℃であった。燃焼は実験例1の場合よりも活発で、机上部表面は、50℃用サーモペイントが約15分で変色した。

60分の時点で、一度、上、中段の引出しを開けて、収容物の様子を観察した（写真4）。引出し内の新聞紙はその底面が、中段のものでは炭化が起っていたが、上段のものについては変化がなかった。実験は100分まで継続したが、60分後の観察結果と、ほとんど、変化なかった。

実験例3

机の左側引出しには新聞紙0.1kg、袖部上段引出しにゼロックス0.1kg、中段に同0.1kg、下段に新聞紙1.5kgを収容させた。

下段の新聞紙の詰め方および点火は実験例2の場合と同様に行なった。点火後、上、中、下段の引出しじも3cmずつ引出した状態で燃焼させた。約8分後に引出しをすべて閉じ、40分まで実験を継続した。その結果をカラー写真2～5に示す。引出しが3つとも3cm開いている状態では、ほとんど点火直後から、下段の炎は引出しの周囲から中、上段にまわっているのが観察された。点火後5分頃から机の天板は熱で歪み、ときどき破裂音が聞かれた。40分後に引出しを開けて観察したところ、下段の新聞紙は灰化していたがこれは明らかに開いていたときに起ったものである。なお、中、上段のゼロックス紙はすべて炭化していたが、灰化はほとんどなかった。

引出し、三段を3cm開けた場合、気流の状態は図1の図解のようになり、中、上段では熱気流の中に淡い炎がみられたが、酸素不足のため、収容物は熱分解のみを受け、ほとんど燃焼しなかったものと思われる。机の天板は化粧板がその下の鉄板からややはがれ、プラスチックの縁どりの帶は軟化し、また部分的に溶融していた。机の天板では、サーモペイントは220℃のものには変化がなかったが、130℃のものは変色していた。袖部の引出しの上、中段の温度変化は図2に示すように、予燃時に中段で620℃、上段で430℃に達した。しかし、引出し閉鎖後は温度は急速に下落し、一貫して下降線を描いた。したがって、袖部中、上段における紙の炭化は主に引出しを開いていた予燃時に起ったものと思われる。なお、上段左側の引出しへは実験終了後も熱による歪のため開くことができなかった。また、この実験により机はかなりの損傷を受けたため、以後の実験はできなくなった。

以上の実験を含め、いくつかの実験をまとめると、(1)上、中段の引出しを閉じ、下段に点火、燃焼させた

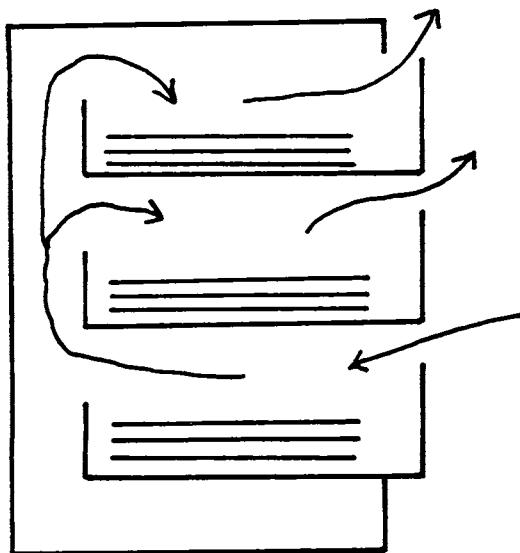


図1 袖机の引出し三段を3cm開けた場合の気流の状態

場合、下段を開けた状態でさえ、中段の底部を除いては上層段の炭化は起り難く、下段を閉じた状態では、酸素不足のため、下段自体の燃焼も非常に遅くなる。
(2)中、上段への空気の流通があるようにすると、それらにおける収容物にも炭化が起る。

スチール机の引出しの密閉状態はかなりよく、内部

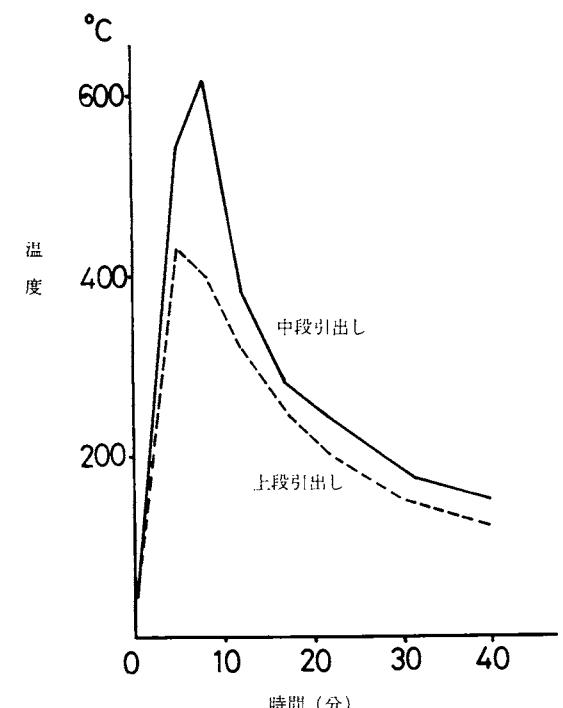


図2 実験例3の場合の机内部の温度変化

で出火しても拡がり方は遅い。2時間程度で3段引出し内全域に炭化あるいは灰化が拡がるには、かなりの通気が必要と思われる。

月例研究会・報告会

粘性土のマトリック・サクションについて（第一報）

細野義純（施設安全研究室）10月13日

粘性度を改良して、石油タンク等を支える強固な地盤とするためには、適当な工法を選択して粘性土から水分を除去し、圧密を進行させることが必要である。

この場合、土壤組織に吸着された水分子を取り除くために必要なエネルギーレベルと、その土壤組織からの水分の排出特性の関係を明らかにする必要がある。

従来、粘性土の領域についての、このようなマトリック・サクション（土壤組織間吸引力）については研究例が十分ではないので、この点を明らかにすることを目的として研究を行った。

マトリック・サクションの指標としてpFを用い、異なるエネルギーレベル別に排出水量を容積で表示したpF-水分曲線を作成し、曲線の変曲点を重視して、土壤水分の存在様式や運動形態の不連続点を探るものである。

供試試料として有明湾、伊勢湾、東京湾等の代表的な沖積粘土と、若干の参考資料（粘土鉱物の明らかなるもの）、および関東ロームを用いた。

その結果、粘性土にあってはpF2を超えるあたりから排出が顕著となる。pF4前後までに、おおむね水分量(105℃水分)の50%が排出される。pF5.5に至ると、ほとんどの水分が排出されるが、それ以上の領域でも緩慢ではあるが排出は行われる。結晶水の存在関係から、加熱排水による現行の含水比の定め方については、ある種の粘土に関しては若干検討の余地がある。

今後の土質試験には、このようなマトリック・サクションによる水分量の規定が、積極的に取り入れられて然るべきものと考える。

熱式感知器の作動特性

竹元昭夫（通報設備研究室）10月13日

定温式スポット型熱感知器の作動に与える気流速度

の影響が調べられた。実験の結果、感知器の作動時間tは次式に示す気流速度vの指数関数で表わされることがわかった。

$$t = \alpha v^{-\beta}$$

ここで α 、 β は感知器固有の定数である。但し、0.2m/s時の実測値の作動時間は上式で得られる値より大きくなる傾向にあった。また、 β の値は製造業者によって異なること、同一製造業者の感知器では感度の種別に関係なく同じ値をとること等がわかった。その他、気流速度と熱時定数の関係、気流速度が一定時の気流温度と作動時間の関係等が検討された。

これ等から、検定時の気流速度1m/sを遅くするか、または少なくとも2種類の気流速度で試験を行うことの必要性が示された。

また上記実験データを基に、火災及び模擬火災実験での気流温度と感知器作動時間との検討結果についても一部報告された。

ボイルオーバーの発生機構と特性

長谷川和俊（危険物研究室）10月13日

ボイルオーバー発生の原因となる高温層の生成機構に関するHall(1925)、Burgoyneら(1947)およびBlinovら(1961)の考え方について解説し、問題点を指摘した。そして、高温層の生成機構を解明するために行なった2、3の実験的考察の結果について述べ、さらに保安上の見地から行なったボイルオーバーの性状に関する実験結果を報告した。高温層の生成は、燃料油の沸点範囲の広さに強く依存すること、高温層の下降に伴い温度の激しい振動が見られること、高温層と低温層の間で大きな密度差があることなどが明らかとなった。ボイルオーバーの性状に関して、その発生時には、放射熱が正常燃焼時の40~60倍になること、ボイルオーバーが起こりうる高温層の温度は130℃以上であることなどが判明した。

水流による窓ガラスの破壊法

笠原保信（消防機械研究室）11月10日

消防用ノズルからの放水流で、火災家屋の窓ガラスを破壊する方向について検討を行った。

現在、実施されている水流のみの場合、ガラスに発

生する応力は集中荷重による、単純な曲げ応力か又は衝撃曲げ応力と考えられる。この応力を大にして破壊をより容易にするために、水流に、球のような加撃物を乗せ、ガラスに撃突させて、ヘルツコーン破壊を加味する方法を試みた。

球は固くてガラス接触部分が小さく、水流に乗せ得る限り重量、比重量ともに大きい事が望ましい。今回は、硝子粒を入れた卓球用ボールとゴルフボールとを用い、これらを放水流に乗せるために、ノズル先端に簡単に取付けられるエジェクターを試作使用した。また窓ガラスのかわりにアルミニウムの薄板を用いた。

1例として、ノズルからアルミまで5mの場合の結果を示す。

球の種類	卓球ボール、径：38mm 比重：1.27	ゴルフボール、径：41mm 比重：1.25
アルミ板厚	0.1mm×1枚	0.1mm×2枚
ノズル径	14mm	20mm
やぶれた時のノズル圧力	水のみ 5kg/cm ²	ボール入り 3.5kg/cm ² 5kg/cm ² で やぶけず

貫山地形模型の地表温度観察 (急炎上に関連して)

佐々木弘明*・笹原邦夫** (*情報処理・
**特殊機材研究室) 11月10日

北九州市貫山附近の地形模型を使用し、昭和52年3月25日に発生した林野火災による殉職事故の要因究明のため、殉職現場と貫山の東西南北斜面の表面温度を放射温度計で測定し、併せて、現場と等温線地点のパターンを赤外線カメラで観察した。

事故現場斜面及び東斜面に着目して測定、観察の結果を要約すると、

- (1) 現場斜面温度は東斜面と凡そ同じ時間変化を示す。
- (2) 東斜面は午前中他の斜面に比べ、温度で優勢である。
- (3) 現場斜面と温度的に同等な地点を示す等温線は日中西北から北へ伸びる。
- (4) 贫山と水晶山の中間の谷間の温度は上昇する。

これらから、現場斜面が特に急炎上の発生し易い場所とは考えられない。

測定した放射温度は、模型材料がコルクのため瞬時的な値であってその時刻に入射したエネルギーに対応しており、それまでに入射した全エネルギーに対応して

いない。

実際に近づくには、一般風は勿論、林相、地相の熱伝導・熱容量、地形的要素として、尾根と沢の配置・斜面の形状等考慮しなければならないようと思われる。

木材火災消火の機構の考察

高橋 哲（消火設備研究室）11月10日

木材火災の消火機構を調べるために、生成炭化物が吸水している時の水の蒸発速度を測定した。その結果、次の一次式で示せることをみいだした。

$$dm/dt = -f \sigma T^4 A m/lw$$

ここに、m：時刻 t における水の残量、f：総括熱吸収率、σ：ステファンボルツマン定数、T：環境温度、A：試料の表面積、lw：水の気化に要する熱量。

一方、木材の熱分解も一次式で示せることから、放射場における熱分解熱lpを実験的に求めるとlwに近い値がえられた。lpは木材のサイズや温度で幾分異なるが既知の値に近い。先に木材クリップ火災の消火中の蒸発速度が、同一領域の消火前の燃焼速度寄与分にはほぼ等しい事実を誘導していたが、上の事実さら、その類同性の証明に一步前進した。また、この蒸発式は、水温、環境因子、温度が、蒸発や再燃にどんな形で作用するかを示すものであり、消火現象の解明に重要な意味を有するので、引き続き研究を続行中である。

スチームカーテンによるガスの希釈について

佐藤公雄（消火第2研究室）12月8日

スチームカーテンを有効に設置するには、スチームの噴出圧力、噴出ノズル口径、ノズルのピッチ等の最適な条件を求めるなければならない。スチームカーテンが有効に働くためには、漏洩ガスがその中を通り抜けないこと、その上を越して風下側に流れないことが必要である。

スチームカーテンの中をガスが通り抜けないようにするためにには、噴出スチームが十分な速度を持ち、ガスを巻き込み希釈すれば良い。このため巻き込み速度を求めた。その結果巻き込み流速はノズルの半径およびノズルでのスチームの圧力の1/2乗に比例することが

わかった。

スチームの風による中心軸からのずれの大きさはノズルの半径およびノズルでのスチームの圧力に比例することがわかった。また放出スチーム量はノズル半径の二乗およびノズルでのスチームの圧力に比例する。

以上のことより、スチームカーテンを最も効率的に設置するには、ノズル口径を小さくしてノズル元圧を大きくすべきである。しかしノズル元圧はボイラーの性能等に限界があり、ノズル口径も余り小さくすると目詰りを起こす等の問題もある。

赤外空中偵察法の研究（シミュレーターについて）

笹原邦夫（特殊機材研究室）12月8日

シミュレーターは、走査部と映像監視記録部とで構成されており、昭和54年度から製作にとりかかり、本年度中に完成させ、実験にとりかかることにしている。

シミュレーターの主な仕様を示す。

《走査部》

走査方式：単軸走査方式

赤外線検出器：InSb(PV) 77K

視野角：60°

《映像監視記録部》

映像信号監視：周波数帯域 DC～50MHzオッシリスコープ

映像信号記録：4チャンネルデータレコーダー
周波数帯域 DC～80KHz(120 ips)

映像出力：ラインスキャンレコーダーによるハードコピー及び写真フィルム記録

現在のところ走査部の移動にともなう振動も極めて少なく、一応赤外映像を得られる状態になっているが、瞬時視野（分解能）を目標値に近づけるべく努力中である。

大府市「昭和丸全運輸株東海倉庫」火災について

古積 博・中武 功（危険物研究室）
12月8日

昭和55年10月1日発生した愛知県大府市の倉庫の火

災について現地調査を行い、その結果を報告した。

発災倉庫には消防法上の危険物（硫黄、石油類）、毒劇物、プラスチック類等が大量に貯蔵されており、これらから発生した有毒ガスにより消火活動が困難を極めたほか周辺住民にも被害を与え、多数の住民が避難した。また、貯蔵してあったシアノ化ソーダは猛毒であるが、これが水と反応した時に発生するシアノ化水素はそれ以上に猛毒であり、かつ、強い臭いを持たないため極めて危険である。この警戒のために一時、注水を中止する場面もあった。

次に、シアノ化ソーダと消防活動特に注水との関連について実験的に検討を加え、水の存在下でシアノ化水素が発生すること、特に酸が存ると大量に発生し、塩基によって減少した。また、処理剤について調べ、チオ硫酸ソーダが適当ではあるが、無い場合は生石灰または消石灰で中和すればシアノ化水素の発生は無いことを確認し、消防活動への提言を行った。

引張疲労に伴う A E D M

稲垣 実・佐々木弘明（情報処理研究室）
1月12日

試料として軟鋼 S S 41を用い、これに引張疲労を与える為、降伏点を僅かに越える引張応力を繰返し加えた。

引張応力を 200 回受けた時点の A E D M は応力を受ける以前に比べ大幅に減少したが、引張回数の増加に従い徐々に増大し、1万回を越えると再び徐々に減少した。A E D M は一般に引張応力に応じて単調減少し、圧縮応力を受けると圧力の増加に従って増加し更に圧力が増加すると減少する。又、引張応力を受けて変形した試料の A E D M は、応力零の場合変形前に比べて減少し応力を受けた状態では複雑に変化する。今回の実験では試料の拘束部の残留応力の方向と分布及び測定磁場の分布による影響を受けているが今後これらの影響を取り除いた実験を行う必要がある。

石油タンク上のサンプリング作業における静電気現象（模擬実験）

川崎正士*・松原美之** (*第2研究部・**特殊火災研究室)
1月12日

金属製採取器を用いたサンプリング作業で、採取器

懸垂用のロープに導電性のものを用いるか絶縁性のものを使用するかは防災上論議のある問題である。しかし、実規模大のタンクを用いて検証した例は見当らない。

そこで、灯油を入れた直径5.8m、容量110klのコンルーフ型タンクおよび円筒型ファラディケージ等を用いて実験を行ない、次の結果を得た。

- (1) 約60kVに帶電した油面上の空間に、絶縁性ロープで吊した金属製採取器は、電界による影響で強力に帶電し、接地導体との接触によって火花放電を発生した。
 - (2) 帯電していない油中で行なう採取作業では、絶縁性ロープで吊した金属製採取器の帶電は無視し得る程少ない。
 - (3) 金属製採取器を導電性ロープで吊した作業を想定し、帶電油面上の空間に接地金属球を吊り下げた結果、球面の油面方向に気中放電を観測した。
- これらの事から、導電性ロープ、絶縁性ロープのいずれを使用したサンプリング作業の場合でも、条件次第で静電気放電による災害の可能性があることを示した。

川治プリンスホテル火災調査報告

関沢 愛*・神 忠久**・渡部勇市**
(*火災物理・**避難安全研究室)

1月12日

本火災は国内ホテル火災としては戦後最大の死者45名を出した。このように多数の死者を出した原因として、

- (1) 従業員による避難誘導が全くなされなかったこと
 - (2) 火元の新館と多数の死者を出した本館との間に防火区画が設けられていなかったこと
 - (3) 屋内消火栓から水が出なかったこと
 - (4) 4階の宿泊客にとってはホテルに到着した直後の火災だったこと
 - (5) 宿泊客のほとんどが老人だったこと
- などが挙げられる

今回の火災から得られた教訓および課題としては、

- (1) 火災時には何も持たずにすぐ避難行動を開始すること
- (2) 居室からの最終避難ルートである窓からの脱出、或いは一時避難が可能な構造にすること
- (3) 屋外非常階段の容量および踊り場のスペースを充

分とすること

- (4) 緊急時の情報が各室へ直接伝達できるようにすること
- などが挙げられる。

ポリエチレンオキシドによる Drag Reducton 現象に関する考察

新居六郎（第2研究部）2月9日

高分子を含む液体が管内を流れるとき、圧力損失が減少する (drag reduction、以下d.r.と略記) 現象が1948年、Toms, B.A.により発見されて以来、多くの研究者によりこの現象についての実験的研究とその結果についての理論的解釈が行われてきたが、まだこの現象の明確な解明には至っていない。そこで、筆者はこの現象が生じる主要な原因を解明するため、Polyethylene Oxide (略称PEO、分子量=4×10⁶) 水溶液の管内流動について、一つの簡単な流れ学的仮説をたてて理論式を誘導し、Thorne, P.F.らが消防ホースを用いて行った実験データに適用した結果、つぎのような結論を得た：d.r.が生じる主要な原因是高レイノルズ数の場合に、管路のcore regionにおける小さなスケールの乱れが減少し、その結果、core region の境界で圧力損失を減少させる流れ方向への slip forceが生じるためである。d.r.効果がなくなる高分子添加の限界濃度では、その濃度で乱流から層流への遷移が明確に起っていると考えられる。また、その限界濃度は管径が小さくなるほど大きくなると推定される。

迷路における人間の避難行動実験 第3報 出口の探索行動

渡部勇市（避難安全研究室）2月9日

火災時に使用出来る建物内の出口は煙の流れ状況によって限られてしまうことが多い。出口を見失った避難者はまず安全な場所に逃げることの出来る出口を捜す行動が取られる。火災事例によると逃げられる出口があるのに、その出口を知らないために逃げ遅れて死んでしまうことがしばしばある。

実生活でも、初めて入った建物内において出口を見

つけることが出来ずに、右往左往してしまうことをたびたび経験する。このことからも建物に慣れていない避難者は火災時に出口を見つけることが出来ずに、逃げ遅れてしまうことは十分に考えられる。

本報告は、迷路を用いてこのような人間の出口探索行動を分析し、避難のための建物内出口の配置について検討を行った。

その結果、出発時の進行方向と同方向に向いている出口は発見し易く、逆方向に向いている出口は発見しにくい。又出口を捜す際、近い出口から捜すではなく、少し離れた出口から捜す傾向があること等が分った。

燃焼時の CO 発生の水蒸気による影響

守川時生（燃焼研究室）2月9日

セルロース、ポリエチレン、ポリスチレンなどの高分子物質、および、それらの熱分解物を代表するメタノール、n-ヘキサン、ベンゼンなどの低分子物質を水蒸気存在下において、空気あるいは窒素気流中で燃焼または熱分解し、そのときの CO の発生量を調べた。その結果の概要は次の通りである。

- 1) 水蒸気の存在する場合には、CO 発生量が増加する場合が多い。
- 2) 水蒸気の直接的反応関与による CO 生成の割合は小さく、その酸素希釈効果による CO 生成の割合が大きい。
- 3) CO や CO₂ の発生量は、温度、燃料量および O₂ 濃度の関数である。

ぬれタオルの除煙効果について

神 忠久（避難安全研究室）3月9日

火災の煙の中を避難する際、ぬれタオルがどの程度除煙効果があるかを求めてみた。実験に用いたタオルは、市販の中厚手のもので、これを 4~16枚に折り重ねた。また、煙は、粒子の小さい白煙と粒子の大きい黒煙の 2 種類用いた。

この実験で得られた主なる結論は次のようなものである。

- 1) ハンカチや日本手ぬぐいはぬらすと通気抵抗が大きくなり、息苦しさが我慢できる限界を越えてしまう。
- 2) ぬれタオルは、乾いたタオルに比べ除煙効果および刺激性物質の除去効果が幾分秀れている。しかし、一方では通気抵抗が増えるため、息苦しさが我慢できなくなるまでの時間が、乾いたタオルに比べかなり短い。したがって、タオルは必ずしもぬらして使用する必要はない。
- 3) タオルによる CO の除去はほとんど期待できない。

救急業務の統計的考察

—川崎市の場合—

寒河江幸平（情報処理研究室）3月9日

川崎市の救急活動を統計的、特に待ち行列論的に考察した。川崎市には18救急隊があり、各救急隊の出動件数は一日あたり、ポアソン分布に従った。また、出動から帰署の所要時間の分布は、中原救急隊を除く17救急隊で、有意水準 1% 以上で、何らかの位相をもつアーラン分布であった。中原救急隊のそれは、有意水準 5% で対数正規分布とみなせた。待ち行列の理論より、各救急隊の出動時間の平均値と実際の値を比較し、連続出動率等も計算比較してみた。一日の時刻別の市全体での平均出動件数も出してみた。

水溶性液体火災に対する各種泡消火剤の消火能力の評価(第3報)

星野 誠・林 幸司（消防第1研究室）

3月9日

消防隊などによる水溶性液体火災の実戦的消火法に関連して、0.7、1.0m 角燃焼皿および各種小型ノズルを用いて、泡の適用方法、異種泡の併用性などを調べた。また、水溶性液体用泡消火剤の消火試験方法を小型化するための各種消火条件についても検討を行った。この結果、燃焼面中央打ちあて方式による消火実験結果から、今回用いた泡消火剤のうち、耐再燃性を重視せず消火速度のみから見ればふっ素系合成泡が、逆に耐再燃性重視の面からはふっ素系タンパク泡が水溶性液

体火災に対し適している。したがって、消火速度を重視する消防隊の消火活動用には前者の泡の方が適している。2種の異なる泡の併用では、いずれの併用例においても、単独使用時の消火・耐再燃性能よりも特に著しく低下する現象は見られなかった。また消火試験方法の小型化モデルの一例として、燃焼皿の形状は、70.7cm×70.7cm×40cm^H(0.5m³)、燃料の厚みは15cm、(75ℓ)、予燃時間は5~10分、泡の適用方式は燃焼面中央打ちあて方式、泡水溶液供給率は5ℓ/min·m²、泡水溶液温度は20±2°C、燃料温度は25±5°Cなどがあげられる。なお、燃料としてアセトン、イソブタノール以外に新たにガソリンも用いた。

自動火災報知設備の雷害故障の現状

糸谷成章・竹元昭夫（通報設備研究室）

10月19日

襲雷頻度の高い山地にある規模の大きい社寺等では、建物の近くの樹木などに落雷する毎に、自火報設備の故障や誤報が発生する頻度が高い。特に最近設置された半導体部品を多く使用した受信機などは年に10回程度も誤報や半導体部品故障などが発生している事例もある。

近接雷に伴なう自火報設備のサージ電圧発生場所は移報回路などの架空線、分布型感知器の空気管等である。また、AC電源の架空線からサージ電圧が進入することもある。関西地区で最近5年間に発生した事例から故障をおこした場所での推定サージ電圧最高値は10KVを越えるものが20例中8件あり、残るものは3KV程度のものが多い。

自火報設備では、屋外からの引込口に設置する保安器、避雷器、サージアブソーバー等の避雷設備を設けてあっても半導体部品のサージ破壊電圧が低いため協調が取れずに保護装置が生かされない事例がある。また、避雷用の接地線が長過ぎるため充分な接地効果が発揮できないこともある様に思われた。

定容燃焼法による燃焼抑制剤の効果の測定—酸素過剰混合気について—

斎藤 直（燃焼研究室）4月13日

既に報告した定容燃焼装置により、酸素過剰なC₃H₈

+12O₂混合気に、0.5モルのメタン、窒素および6種類のハロゲン化メタンを添加し、これらの化合物の高温下における燃焼抑制効果を調べた。

その結果、無添加混合気およびメタン、窒素、CH₃Cl、CH₂Cl₂、CHCl₃ 添加混合気において、自然発火の正常炎域の高温低圧部に遅延炎域が観測された。この領域の上限界は、添加した塩素化メタンの塩素数が増大するにつれ、高温低圧側に移動し、CCl₄、CH₃Br、CH₂Br₂を添加すると、590~640°Cの温度範囲より遅延炎域は消滅した。これは、燃焼反応で重要な役割をはたす分岐反応H+O₂=OH+Oと、H原子と抑制剤またはその分解生成物との反応の競合によると解釈された。

酸素過剰な混合気の、正常炎域における発火後の燃焼に対する臭素化メタンの作用は、相当する塩素化メタンの作用と大差なかった。したがって、酸素過剰混合気におけるハロゲン化メタンの作用は、燃焼抑制剤としてより、希釈剤として作用していると結論された。

なお、燃料過剰混合気に対する臭素化メタン類の抑制効果について、補足して報告した。

雪路用タイヤチェーンの比較検討

金田節夫*・若松啓二**・林 幸司***

(*消防機械・**庶務課・***消火第1研究室)

4月13日

消防車両の迅速化を目標として、金属・非金属製タイヤチェーン9種類により、雪路、無雪路両面での防滑性能の比較を行った。金属製チェーンの無雪路での防滑性能は、金属部分と路面の接する多いたペターンの密なチェーンの方が低い傾向であった。しかし雪路における性能は無雪路での結果と逆であった。今回の結果から、雪路、無雪路両面での防滑性能の差が少いものは、亀甲型チェーンであった。無雪路において、より防滑性能の高いチェーンとするか、あるいは雪路において有効な、ペターンの密なチェーンとするかは、冬期走行路面に占める無雪路の比率を考慮したタイヤチェーンの判断基準と思われる。ゴムやプラスチックの非金属製チェーンは、その材質により、車体の振動を軽減するかに思われたが、金属製のものとほとんど差はなかった。また雪路での防滑性能は、金属製はしご型チェーンと同等であった。非金属製チェーンの利点は軽量のため取扱いやすいことだが、強度、タイヤへの取付け等について金属製チェーンにくらべるとまだ問題があり、現状では消防車両に適するものは少なかった。

凍結を防ぐことができる。

火炎長変動のスペクトル解析

山下邦博（火災物理研究室）10月23日

木材クリップ火炎及びヘプタン火炎の変動火炎長を8ミリフィルムから求め、その時系列データについてスペクトル分析を行なった。木材クリップの長さあるいは燃焼容器の直径が30~40cm以上になると火炎長変動に明確な周期性が認められ、これを支持するようにスペクトルは特定の周波数域で極大になった。木材クリップ（正方形）の長さが0.6mの場合の周期的変動の周波数は1.5Hzになり同じ燃焼面積のヘプタン火炎の周波数よりも大きかった。

また、燃焼面積が大きくなると変動周波数は小さくなり、R. Portchtらが指摘しているように周波数は燃焼面積の4乗根に反比例する関係が認められた。

消火栓の凍結防止

—断熱材の使用方法の検討—

平賀俊哉（特殊機材研究室）5月11日

気温が変化する地中に消火栓（鉄管パイプ）を埋設した場において、問題とすべき主弁部分の保温を目的とした断熱材の効果的使用方法について検討を加えた。
〔計算〕消火栓附近の温度場は、鉄管、土壤、空気、断熱材などの多層からなり、その上、二次元非定常問題であるので、差分法により電算機を用いて数値的に解析した。

〔断熱材の配置〕断熱材は消火栓に平行（円筒形）、又は直角（円板形）に半径及び深さを変えて配置することとした。8形式、35通りである。

〔結果〕

- (1)現在多用されている方法、即ち、地中の消火栓直管部を断熱材で覆う方法は、必ずしも効果的でない。
- (2)最も効果的な方法は、消火栓直管部のパッキングに、断熱性の高い素材のものを使用し、且つ主弁直上部の地中に、半径1.5m程度の円板状の断熱板を埋設し、さらに地上に露出している部分をも断熱材で覆う方法である。
- (3)パッキングに断熱材を使用できない場合は、断熱円板を地表面近くの地中に埋設する方法がよい。
- (4)旭川の場合、同市の平年並気温ならば(2)の方法で

地震時における消防活動有効区域の検討

関沢 愛（火災物理研究室）5月11日

地震時には、道路被害や通信障害あるいは消火栓の被害が生じ、消防活動に様々な支障が出ることが予想される。本報告は、地震発生直後の初動時を対象として、消防隊が火災1件あたり2隊1組みで行動した場合に、発生した火災が独立火災のうちに対応し得る区域（消防活動有効区域）を求めるこにより、地震時における消防活動能力の検討を行ったものである。下図は、この消防活動有効区域の設定方法を示すフローである。なお、ケーススタディを行った地域は、川崎市消防局川崎消防署管内である。

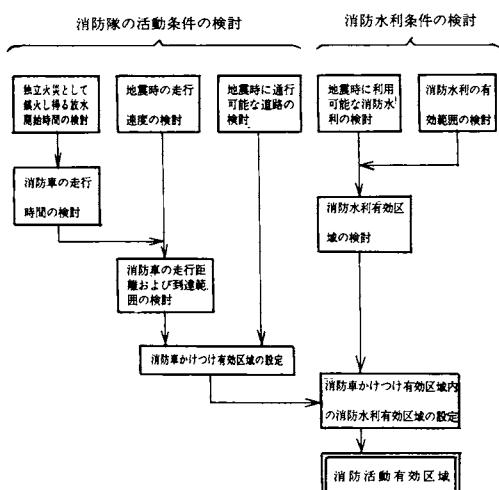


図1 消防活動有効区域設定方法のフロー

水道水環境中における構造用鋼の疲労挙動

亀井浅道（第3研究部）6月8日

腐食環境のもとでの金属の破壊は、大気中の場合に比べてその挙動が異なる。破壊事例を検討してみると腐食環境因子が強く関与して破壊に至ったと考えられるケースが少なくない。このため、近年多くの研究がな

されるようになってきた。

本報は、石油タンク等に使用される構造用鋼が水環境中で繰返し荷重を受けた場合（すなわち腐食疲労）におけるき裂の挙動を調べたものである。すさま腐食を伴う微視き裂の断面形態と疲労寿命の関連、き裂の発生個数に及ぼす応力およびくり返し数の影響等に関する知見が得られた。

タンク本体が大きい場合のタンク上部部分燃焼における石油の燃焼性状

湯本太郎・古積 博（危険物研究室）

6月8日

石油タンクの屋根の一部分がこわれ、そこで火災およびタンカーのタンク上面のマンホール部の火災の性状を知るため、屋根中央部にそれぞれ直径60cmの開口部をもつ直径1m、2mおよび6mの鋼製タンクにヘプタンを入れ、初期フリーボード長さを変えて燃焼させ、着火時にタンク屋根にかかる圧力、準定常燃焼時の燃焼速度、炎から周囲および屋根への放射熱、根根および液面温度を測定した。その結果、次のことが分った。

- 1) タンク本体および開口部直径が大きい場合、炎から液面への伝熱のはほとんど大部分は、炎とタンク屋根からの放射による伝熱である。
- 2) タンク本体直径の増加とともに液面への放射伝熱量は増加するが、それもタンク直径が開口部直径の10倍位になると、ほぼ一定となる。この時の燃焼速度（開口部単位面積当たりの重量減少速度）は、対象とする部分燃焼タンクの開口部直径と同じ直径のオープンタンクのそれの約1.4倍である。
- 3) タンク直径と開口部直径が分かれれば、燃焼継続限界初期フリーボード長さが推定できる。

平行平面板間の熱源による巻き込み気流

佐藤晃由（避難安全研究室）6月8日

火源の面積が大きいほど発生する熱煙の量が多いことが知られているが、現在のところ定量的に十分には

明らかにされていない。この研究では差分方程式を用いたフィールドモデルに基づく計算法により、床上にある熱源による巻き込み空気量を熱源からの距離 r を半径とし、天井板と床板との距離 H とによる円筒表面を流れる空気量から求めた。発熱量を一定に保つ時、火源面積を仮想的にゼロとする時の巻き込み空気量に比較して、火源面積が天井板の1.5倍の場合のそれは約3倍で、火源面積の増大とともにその倍率は増加する。単位体積当りの熱量を一定に保つ時、全発熱量は火源半径とともに増加するが、巻き込み空気量はほぼ火源半径に比例して増加する。また、無次元の巻き込み空気量とグラショフ数(Gr)の関係は $Gr=2\times 10^{11}$ のあたりに最大値をもち、その点で折れ曲る曲線となつたが、これはその点の両側で浮力の影響と全体的な空気抵抗との支配度が異なつてくるためと思われる。さらに、火源域の外では巻き込み空気量は火源からの距離に比例して増加すること、天井板下の空気の圧力は火源面積が大きいほど、広範囲に外気圧より昇圧していることなどが明らかになった。

アメリカ・ノートルダム大学において行なった研究の概要

佐藤晃由（避難安全研究室）7月13日

昭和54年7月より、昭和56年5月まで、アメリカ・インディアナ州・ノートルダム大学において、電子計算機による熱煙流動に関する以下の研究を行なった。

- (1) 天井と床に開口部を有する区画室の床上に熱源がある場合の開口部を流れる無次元空気流量とグラショフ数(Gr)との関係を調べ、 $Gr=6\times 10^{11}$ のあたりに最大値をもつ関係を得た。
- (2) 上記の場合、ある条件下で、天井開口部より流出する空気量、熱量は時間とともに振動する結果を得た。この振幅は、二次元による計算結果に比較して三次元による計算結果の方が著しく小さかったが、その振動数には差はなかった。
- (3) 三次元の区画室の開口部より流出する空気量と開口因子子（開口幅×（開口の高さ） $\frac{1}{2}$ ）との関係を調べた。
- (4) 平行平面板間に熱源がある場合の巻き込み空気量を熱源の大きさをパラメーターとして調べた。
- (5) 航空機客室火災のモデル化を目的として、米連邦航空局(F A A)等の行なった Boeing 737 型機の火災実験との比較を行なった。

上記の結果は1980年米東部燃焼学会大会、1981年米伝熱学会大会、1981年米連邦航空局への報告書にそれぞれ報告された。

模型基礎による浸透性状と洗堀の実験

吉原 浩（施設安全研究室）7月13日

石油タンク底部からの漏洩による、基礎の洗堀現象を実験的に確認し、その効果的な防止対策を検討するための2通りの実験を行なった。

(1) 平坦なコンクリート床上に高さ20cm程度の良く締固めた豊浦標準砂で模型マウントを造成し、模型タンク（直径50cm、125cmの2種）の底部に設けたスリットから水を噴射させ、マウントに洗堀破壊をおこさせた。

洗堀は最初下向きに進行し、ある程度の深さまで、またはコンクリート床面付近まで洗堀すると、洗堀孔はプール状となり、側方への洗堀が進行することがわかった。また、タンク底部のスリットとマウントとの間に板材を敷設すると、スリット直下の洗堀は抑制できるが、水はタンク中心部に向かって流れ、中心部から背面にかけて洗堀することがわかった。

(2) 両面をアクリル板で仕切った断面模型にガラスピーズを充填させ、スリット状の開孔部から着色水を噴射させてガラスピーズ中への浸透状況について観察した。

着色水の浸透性状は、模型地盤中の水分関係に支配されることがわかった。

自動車の流れ学と群集流

橋 房夫（第3研究部）7月13日

群集流に対して、自動車の流れ学と類似の解析法が適用出来るか否かという観点から、双方の文献について概観的に解説した。

自動車の流れ学は、すでに1935年頃から始められている。主流を占めているのは、道路を走る自動車の速度、密度、流量の3つの量で基本線図を作り、これを用いて色々の議論をしようとする方法である。交通渋滞、交差点の混み方、道路の狭隘部の影響等が説明で

きる。

一方、歩行者の流れに関する研究は、1960年頃以後に文献が多い。比較的に新しい分野と云える。研究目的や内容は、自動車の場合よりも多様であるが、上記の3つの量の基本線図を求めた研究もいくつか見受けられる。

群集流も歩行者の流れの一形態であるが、避難群集中適用する場合には、その特殊性を充分考慮する必要がある。

危険物火災の空中消火法

笠原保信*・笹原邦夫** (* 消防機械・

**特殊機材研究室)

9月14日

石油タンクなどの危険物火災に対して、航空機を利用して行う空中消火法の研究を行なった。

危険物火災に用いられる各種消火剤は、一般に空中落下特性が水に比し劣るので、その対策として次の2方法について検討した。

(1) 消火剤を容器に入れたまま落下させ、火災直上で消火剤を放出する。

(2) 消火用泡の粘度を高めて、落下中に崩壊分散しにくいようにする。

容器方式として、加圧式30ℓ型の試作、実験を行った結果、泡剤の場合、作動圧力3kg/cm²のとき膨張率は約3倍、4kg/cm²のとき約5倍で、放出時間は何れも1~2秒であった。

また合成界面活性泡水溶液に纖維素グリコール酸ナトリウム(CMC)を添加して粘度を高めた場合の泡膨張率は、CMC 1% (水溶液粘度200CP) のとき約5倍、1.5% (550CP) のとき約3倍であった。

これらの結果から、容器加圧方式は重量、価格に難が認められたが、泡粘度増加方式は膨張率を更に高めることにより、空中消火法としての効果を期待できることがわかった。

有機過酸化物の圧力容器試験法による爆発危険の検討

柿田公太郎（第1研究部）9月14日

有機過酸化物は、現在国連において各国間輸送のた

めに、安全性の評価の観点から熱感性その他5つのパラメーターを取上げ、これに基づき、screeningとcriteriaが討論されている。ここでは中川の圧力容器試験装置により、有機過酸化物の昇温分解を行い、圧力発生曲線を求めた。予備試験でもあり、熱系そのものの不安定、測定方法に欠陥があったために、温度上昇速度とピーク圧及びtangencyとの関係は明確に得られなかった。熱系の安定、測定方法の改善、データのまとめ方など課題が残された。

また、ミクロDTAは定性的に、限られた有機過酸化物の、昇温速度によるピークの位置とその型の変化から、分解の激しさを予想できる一手段と考えられる。

消防隊員用ヘルメットに関する研究 (第1報)

鳥崎幸三(特殊機材研究室) 9月14日

一般住宅の火災時に予想される落下瓦の衝撃エネルギーには20kgmに達するものがあるため、少なくともこれらの衝撃に耐えられるヘルメットの実験的検討を行った。試料は主母材であるポリエスチルに強化材としてナイロン系アラミド繊維及びガラス繊維を適宜組合させて成型したものを用い、これに直上から瓦又は円錐形ストライカーを落下させてその耐衝撃性及び耐貫通性の比較検討を行ったのであるが、これまでにわかった主な点は次のとおりである。

- (1) アラミド繊維は耐貫通性に優れているが反面反撥力に欠けるため弾性の強いガラス繊維との最適組合せを探り出す必要があること。
- (2) 外殻と並行して着装体の強化も必要であるが、衝撃吸収を効果的にするために外殻の強度とのバランスを十分考慮しなければならないこと。

消研輯報第35号
昭和56年12月印刷

編集者兼
発行者

消 防 研 究 所

東京都三鷹市中原3丁目14-1
電話武藏野三鷹(0422)44局8331