

# 消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



2000 No.7

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防科学研究所

# 目 次

## 【消防科学研究所の業務について】

|           |   |
|-----------|---|
| ●業務実績表・本文 | 1 |
|-----------|---|

## 【研究論文】

|  |    |
|--|----|
| ●バックドラフトに関する研究（その6）〈総括〉                                | 3  |
| ●静電気に関する調査・研究（その2）<br>——静電気帯電量——                       | 21 |
| ●静電気に関する調査・研究（その3）<br>——静電気除去実験——                      | 26 |
| ●噴霧注水による排煙効果に関する研究                                     | 33 |
| ●濃煙熱気下における消防隊員の安全管理に関する研究<br>——温度管理用示温材（サーモラベル）に着目して—— | 40 |
| ●電気配線の過負荷電流について  | 46 |

## 【情報提供】

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| ●有珠山噴火に伴う火山ガスについて               | 56 |
| ●熊撃退スプレーについて<br>——カプサイシンに着目して—— | 58 |

## 【過去の研究実績】

|                       |    |
|-----------------------|----|
| ●過去の研究実績表（平成5年～平成11年） | 62 |
|-----------------------|----|

## <CONTENTS>

## 【Activities of the Fire Science Laboratory】

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| ●Table of Practical Results | 1 |
|-----------------------------|---|

## 【Research Papers】

|  |    |
|--|----|
| ●Research of Backdrafts (Part 6)   | 3  |
| ●Research on Static Electricity (Part 2)   | 21 |
| ●Research on Static Electricity (Part 3)   | 26 |
| ●Research on the Effects of Spraying Water on Smoke Control  | 33 |
| ●Research on Safety Measures for Fire Fighters Engaged in the Smother<br>and Heat Conditions of a Fire | 40 |
| ●Research on Overload Current on Electric Wiring   | 46 |

## 【An informant】

|  |    |
|--|----|
| ●Research on Volcanic Gas Generated by the Eruption of Mt. Usu | 56 |
| ●Research on a Bear Repellant Spray                            | 58 |

## 【Previous Research Results】

|   |    |
|---|----|
| ●Table of Previous Research Results (1993-1999) | 62 |
|---|----|

# 消防科学研究所の業務について

Activities of the Fire Science Laboratory

業務実績表（平成11年度中）（単位：件）

| 研                      |                                | 究   |     | 燃 焼<br>実 験 | 成 分<br>鑑 定 | 危 険 物<br>確 認 試 験 | 職 員<br>提 案<br>審 査 数 | 北 海 道<br>消 防 学 校<br>専 科 教 育 | 施 設 見 学<br>行 政 視 察<br>対 応 な ど |
|------------------------|--------------------------------|-----|-----|------------|------------|------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 燃 焼 現 象 及<br>び 消 火 効 果 | 消 防 装 備 ・ 消 防<br>用 設 備 等 の 開 発 | 鑑 鑑 | 定 識 |            |            |                  |                     |                             |                               |
| 2                      | 2                              | 1   |     | 17<br>※1   | 148<br>※2  | 16<br>※3         | 11<br>※4            | 2<br>(93)                   | 9<br>(199)                    |

（ ）内は、対象者の人数である。

※1：主な内訳は表1のとおり

※2：内訳は表2のとおり

※3：内訳は表3のとおり

※4：内訳は表4のとおり

## 1 はじめに

消防科学研究所では、各種研究業務をはじめ燃焼実験、鑑定・鑑識、危険物確認試験及び職員提案支援等の業務を行っている。

## 2 研究業務

年度ごとに燃焼関係・機器関係・鑑定関係等それぞれについて研究テーマを定め、研究を行っている。

## 3 燃焼実験

火災原因を究明するため、火災現場の状況を再現し、発火、引火及び温度測定等の実験を行い、実験データを収集している。

## 4 鑑定・鑑識

火災原因を究明するため、火災現場から採取した残焼物や試料の分析及び解析などを行い成分鑑定や油分の検出、また、火災の再現実験を行ったり、火災現場、事業所等から収去した物品或いは漏洩事故を起こした物品が危険物であるか否かの鑑定を行っている。

## 5 危険物確認試験

「危険物の規制に関する政令」（昭和34年政令第306号）及び「危険物の試験及び性状に関する省令」（平成元年自治省令第1号）で定められている試験方法に従って、物品が消防法に定められている危険物の性状を有しているか否かの確認試験を行っている。

## 6 職員提案支援

「札幌市消防職員の提案に関する規程」（昭和45年1月13日（消）訓令第1号）に基づく職員提案について事前に技術的な支援や協力等を行っている。

表1 燃焼実験等一覧表 平成11年度

|    | 月日    | 実 験 内 容           |
|----|-------|-------------------|
| 1  | 4.14  | ソファー（タバコ火等）燃焼火実験  |
| 2  | 4.16  | オープン温度測定及び熱画像実験   |
| 3  | 5.20  | 灯油温風ストーブ可燃物接炎実験   |
| 4  | 6.25  | てんぷら油弱火過熱実験       |
| 5  | 6.29  | アセトン・ガソリン静電気着火実験  |
| 6  | 7.22  | てんぷらかす弱火加熱実験      |
| 7  | 9.13  | ローソクのアクリル板着火実験    |
| 8  | 10.13 | 木材のガソリン燃焼実験       |
| 9  | 11.1  | てんぷら油蓋付鍋過熱着火実験    |
| 10 | 11.2  | 電気配線半断線過負荷電流通電実験  |
| 11 | 11.24 | 座布団に灯油を染み込ませ燃焼実験  |
| 12 | 2.8   | 動植物油放火再現実験        |
| 13 | 3.16  | 可燃性ガスガソリンペーパー着火実験 |

（研究テーマを除く）

表2 成分鑑定の状況 平成11年度

|   | 実験方法                     | 件数  |
|---|--------------------------|-----|
| 1 | ガスクロマトグラフ                | 119 |
| 2 | ガスクロマトグラフ・質量分析装置         | 20  |
| 3 | 質量分析装置                   | 6   |
| 4 | ガスクロマトグラフ・蛍光分光光度計        | 2   |
| 5 | アルコールランプによる点火燃焼実験及び熱分析装置 | 1   |
|   | 合計                       | 148 |

表3 危険物確認試験実施状況 平成11年度

|     | 試験名     | 件数     |
|-----|---------|--------|
| 第4類 | 引火点測定試験 | 7(6)   |
| 第4類 | 動粘度測定試験 | 4(4)   |
| 第4類 | 発火点測定試験 | 3(0)   |
| 第6類 | 燃焼試験    | 2(2)   |
|     | 合計      | 16(12) |

※( )は、手数料を徴収した件数である。(内数)

表4 職員提案一覧表

平成11年度

|    | 提案内容   | 提案番号 |
|----|--|------|
| 1  | リフティ・スリング(布式担架搬送補助機器)の考案について   | 232  |
|    | 布式担架は、4名8箇所保持用となっていることから、3名編成の救急隊用に、布式担架への脱着が簡単で、長さ調節が可能であり、布式担架での3名搬送が容易となるリフティ・スリング(布式担架搬送補助機器)の考案                                       |      |
| 2  | 空気呼吸器用ポンペ搬送器具の考案について   | 233  |
|    | 一度に片手で2本の空気呼吸器用ポンペを迅速かつ安全に搬送可能であり、小型軽量(300g)で新旧両方のポンペに対応できるポンペ搬送器具の考案  |      |
| 3  | 狭所におけるホース延長要領の考案について   | 234  |
|    | 火災現場等での狭い場所でのホース延長時の蛇行や折れ曲がり解消するために、先端を楕円形の渦巻き状としたホースで結合する考案   |      |
| 4  | 山間救助活動における、安全帯使用による折りたたみ式担架作成・搬送方法の考案について  | 235  |
|    | 現在救助隊等に配置されている折りたたみ式担架を効果的に活用し、担架の2名確保可能及び確保者の腰部で支持し、両手が使用でき、少人数で安全に搬送可能な方法の考案   |      |
| 5  | 携帯酸素ポンペの取り付け機器の考案について  | 236  |
|    | 救急車内の有効スペースを活用して、携帯用酸素ポンペの固定機器を取り付けて、ポンペの有効、迅速な使用と固定による資器材保護が図れる機器の考案  |      |
| 6  | 防水シート展張補助支柱の考案について   | 237  |
|    | 水損防止のための防水シート展張補助支柱として、伸縮ボールを使用、フックを取り付けて伸縮ボールを床、天井間の高さに合わせて固定し、伸縮ボールに取り付けた金具に防水シートを掛けて固定し、水を溜めたり、開口部に向かって有効傾斜をとり、室外への排水を行う水損防止のための補助支柱の考案 |      |
| 7  | 防火衣(上衣)への時計及び方位計の付加装備の考案について   | 238  |
|    | 防火衣(上衣)の左腕部分に防水タイプの照明付き時計(濃煙内での活動時間の把握)と方位計(位置の確認)を付加装備する考案  |      |
| 8  | 新雨覆い(Rain sheet)の考案について  | 239  |
|    | 雨天時等の担架搬送時に使用する雨覆いの素材を傷病者の観察を容易にするため、メッシュ入りビニール素材とし、自転車のチューブを利用して顔面上部に空間を設け、マジックテープでストレッチャーに固定できるようにした考案                                   |      |
| 9  | 携帯無線機用のキャリングケースの装備化の考案について   | 240  |
|    | 携帯無線機が収納できるキャリングケースを作成し、防火衣の安全帯ベルトに取り付け、防火衣との摩擦等から無線機のチャンネルや電源スイッチの保護を図れるようにした考案   |      |
| 10 | 防火衣の改善についての考案  | 241  |
|    | 防火衣の左右の内襟に消防系及び署活系携帯無線機のハンドマイク部分の取り付け箇所を設け、情報の確実な聴取、送信時のハンドマイク脱着不要等の改善を図る考案  |      |
| 11 | 携帯酸素ポンペ用ショルダーバンドの考案  | 242  |
|    | 携帯酸素ポンペのホルダーにJボルト(円カン付き)2個をナット止めて、ショルダーバンドを付加することにより、隊員の両手が自由になり、また、ポンペが傷病者に触れることもなく、安全確実な搬送ができるようにした考案                                    |      |

# バックドラフトに関する研究（その6）

< 総括 >

Research of Backdrafts (Part 6)

橋本 好弘 ※

Hashimoto Yoshihiro

早坂 洋史 ※※

Hayasaka Hiroshi

工藤 祐嗣 ※※

Kudou Yuji

## 要 約

高気密性住宅の居室規模の火災において発生する可能性のある、バックドラフトの発生状況を把握するために、開口部の大きさや燃焼材を変化させ、バックドラフトの発生条件を検索後、各種測定の実施により発生性状を解明した。

また、バックドラフトの発生シミュレーションを実施して、実火災との比較で妥当性を検証した後、発生を抑制する開口部の形状等を求めた。

## Summary

Conditions under which backdraft could possibly occur as a result of living room-sized fires in highly-airtight houses were examined by changing the size of the room opening or type of combustion material. Subsequently, conditions for the occurrence of backdraft were elucidated by conducting various measurements.

A simulation of backdraft occurrences was also conducted to verify its relevance with an actual fire, and a configuration of an opening and other conditions that would eliminate its occurrence were obtained.

## 1 はじめに

バックドラフト（以下、BDと略す。）は、従来は気密性の高いRC造の建物において発生しやすいとされていたが、札幌市の住宅構造においては、積雪寒冷地に対応するために、木造戸建住宅において高気密化が進み、BDの発生する危険性が高まっている。

このため、この現象の発生メカニズムを解明して、発生の予知、未然防止、及び安全かつ効果的な消火方法の確立を図ることが必要である。

しかし、一般的にフラッシュオーバーと混同されたり、区別が曖昧にされているため、研究例も少なく、発生のメカニズムは殆ど解明されていない。

このため、当局では開口部を設けた区画模型を制作し燃焼実験を実施した。

## 2 実験1の内容

後述する実験2の区画模型と類似した模型実験を実施したもので概略を図1に示す。開口部の大きさや図2に示すように燃焼材などを変化させて

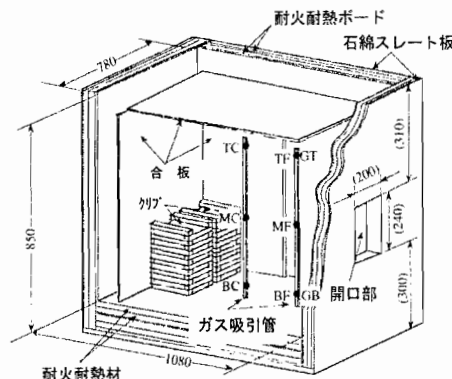


図1 実験1の区画模型概略図

※ 消防科学研究所  
※※ 北海道大学大学院工学研究科



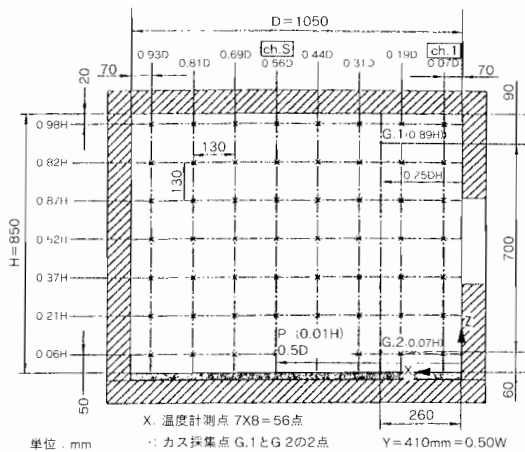


図4 温度・ガス・圧力の測定点図

### 3. 3. 4 区画模型内部のガス濃度

区画模型内部のガス濃度変化の測定システムは、図5のとおりで、ステンレス管（内径4mm）を用い、図4で示す天井及び床面付近の2か所（G.1、G.2）について内部の燃焼ガスを毎分0.6 $\text{dm}^3$ 吸引し測定した。

酸素濃度については、ガルバニ電池式酸素計（理研計器(株)GD-F4A.OX-6321A）で、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度については、赤外線式ガス分析計（理研計器(株)RI-550A）で測定して、出力信号は前述のハイブリッドレコーダーで同様に収録した。

全炭化水素濃度（以下、THCと略す。）については、水素炎イオン化検出方式（FID）全炭化水素

ガス分析計（(株)堀場製作所FIA-510）で測定し、前述のハイブリッドレコーダーで同様に収録した。また、メタン濃度は、熱伝導度検出方式（TCD）ガスクロマトグラフィー（MIT社P200Hカラム;ボラプットQ8m, キャリヤーガス:窒素, 流量:3ml/分）で1分毎に測定した。

### 3. 3. 5 開口部における気流速度

内径8mmと13mmの銅管を用いて2方向管を6個作成（40mm間隔）し、風圧差を差圧トランスデューサー（共和電業(株)PDS-10GA）で検出した後、増幅アンプ(共和電業(株)CDV-230C)により測定し、前述のハイブリッドレコーダーで同様に収録した。

### 3. 3. 6 床面付近の圧力

区画模型内の底板を貫通させて内径2mmのステンレス管を設置し、半導体デジタル微差圧計((株)クローネKS2000C)で測定して、前述のハイブリッドレコーダーで同様に収録した。また、測定位置については図4の「P」で示した床面付近とした。

## 4 実験1の結果

表1は実験1の実験条件及び結果を表したもので、BDが発生するためには、区画内の可燃物の燃焼が進行し、可燃物から継続して可燃性ガスが放出され、余剰の未燃性ガスが区画内に蓄積することが必要である。

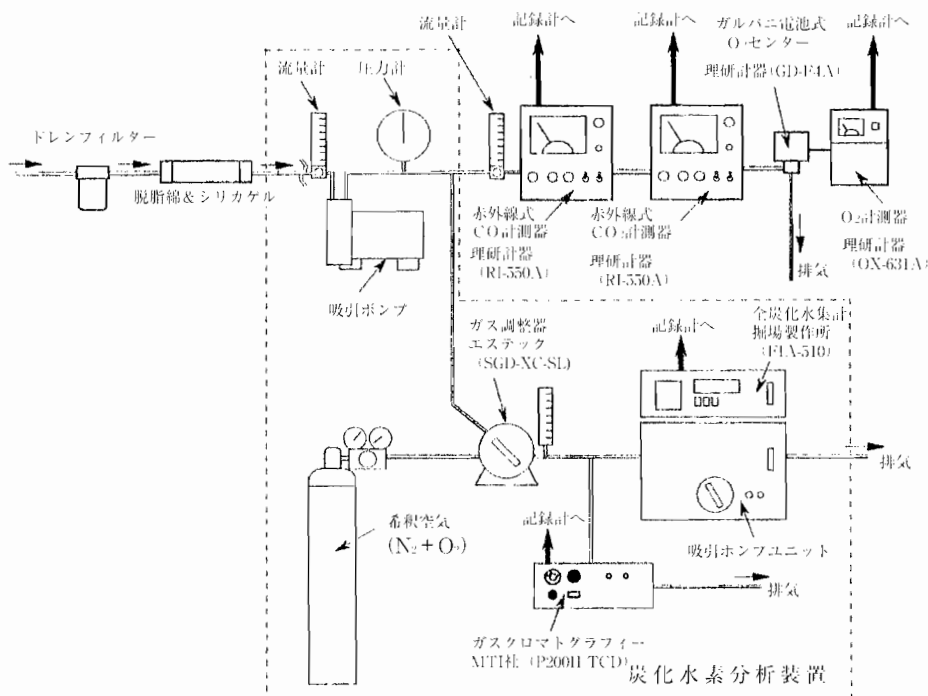


図5 温度・ガス・圧力の測定点図

実験No.1～5は天井とクリブのみの構造としたが、小開口条件化ではクリブの火炎高さが低く、天井へは着火しないことがわかった。そこで実験No.6から側面、No.7から後壁も有する形状とした。

また、実験No.11から燃焼性をよくするために千鳥配列で穴を開けるようにした。

この結果、BDが発生する割合が高い、後述の条件で実験を進めた。

表1 BDの開口部及び燃焼材の影響

| 実験No. | 開口部寸法<br>W×H[m] | AH <sup>1/2</sup> | 燃焼材<br>材 質 | 燃焼材<br>材 質 | BD<br>回数 | 最大火炎<br>長さ[m] |
|-------|-----------------|-------------------|------------|------------|----------|---------------|
| 1     | 0.40×0.16       | 0.12              | まき         | 2.5kg      | 0        | -             |
| 2     | 0.15×0.20       | 0.01              | コンパネ       | 4.2kg      | 0        | -             |
| 3     | 0.28×0.30       | 0.05              | コンパネ       | 4.2kg      | 0        | -             |
| 4     | 0.28×0.30       | 0.05              | コンパネ       | 8.2kg      | 0        | -             |
| 5     | 0.28×0.30       | 0.05              | コンパネ       | 8.4kg      | 0        | -             |
| 6     | 0.26×0.24       | 0.03              | コンパネ       | 10.6kg     | 1        | 1.00          |
| 7     | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 9.7kg      | 3        | 1.50          |
| 8     | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 15.0kg     | 2        | 1.75          |
| 9     | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 12.7kg     | 0        | -             |
| 10    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 10.3kg     | 0        | -             |
| 11    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 5.14kg     | 5        | 2.25          |
| 12    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 13.9kg     | 1        | 1.60          |
| 13    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 13.3kg     | 7        | 2.50          |
| 14    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 8.6kg      | 6        | 2.00          |
| 15    | 0.20×0.24       | 0.02              | コンパネ       | 13.3kg     | 3        | 1.70          |
| 16    | 0.20×0.24       | 0.02              | 普通合金       | 4.4kg      | 4        | 1.00          |
| 17    | 0.20×0.24       | 0.02              | 普通合金       | 4.8kg      | 2        | 1.20          |

## 5 実験2の結果

### 5.1 測定項目及び測定結果

表2は合計14回実施した実験の測定項目である。最初は前面も壁面にしてしたが、内部で発生しているBDを観察するために前述のように前面を耐熱ガラスに変更した。実験1の段階から実施していた温度、燃焼速度及びCO・O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>ガス濃度は継続して測定した。

また、BDは未燃性ガスが影響していることからTHCとメタンガス濃度を測定可能とした。さらに、被害予測などのために開口部流速や内部の圧力変化を測定した。

表2 測定項目

| 実験No. | 内部<br>観察 | 温度 | 燃焼<br>速度 | O <sub>2</sub> ・CO <sub>2</sub><br>CO | 全炭化<br>水 素 | メタン<br>濃 度 | 開口部<br>流 速 | 内 部<br>圧 力 |
|-------|----------|----|----------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1     | -        | ×  | ×        | ×                                     | -          | -          | -          | -          |
| 2     | -        | ×  | ×        | ×                                     | -          | -          | -          | -          |
| 3     | -        | ○  | ○        | ○                                     | -          | -          | -          | -          |
| 4     | ○        | ○  | ○        | ○                                     | -          | -          | -          | -          |
| 5     | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | -          | -          |
| 6     | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | -          | -          |
| 7     | ○        | ×  | ×        | ×                                     | ×          | ×          | -          | -          |
| 8     | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ○          | -          | -          |
| 9     | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | -          | -          |
| 10    | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ○          | ×          | -          |
| 11    | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | ○          | -          |
| 12    | ○        | ×  | ×        | ×                                     | ×          | ×          | ×          | -          |
| 13    | ○        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | ○          | -          |
| 14    | ×        | ○  | ○        | ○                                     | ○          | ×          | ×          | ○          |

※「○」:測定成功、「×」:測定失敗、「-」:測定なし

### 5.2 各実験の燃焼状況

文末の図1は内部の燃焼状況が確認出来た9回の実験の燃焼状況を示したものである。

ここでは、BD発生前の肉眼で火炎が確認できない状態をくん焼状態とした。

各実験では点火10分程度経過した時期に内部の火炎は上部の酸素濃度が1%程度に低下して低酸素状態となったことから、火炎の底部が水平方向に伸び不安定となった後、後壁(クリブ)から開口部へ、また後壁から床面へとランダムに動き始め、一般的にゴースティング火炎と呼ばれているものが発生した。文末の写真1はこの動きを示したものである。

また、BDの発生前後には、開口部付近にL字型の付着火炎が発生しており、ここでは開口部付着火炎として、文末の写真2にこの動きを示した。

表3はBDの発生回数等についてまとめたものである。各実験において複数回のBDが発生した。BD発生前には21秒～10分57秒間にくん焼時期があった。

1回目のBD発生は実験開始後14分27秒～24分07秒であり、BD発生後には6回の開口部付着火炎が見られた。また、合計9回の実験で29回のBD、34回の開口部付着火炎、16回のゴースティング火炎が観測された。



表3 BDの発生時間

| No | 実験Na | BDの発生回数 | 無炎燃焼時間 | 1回目のBD発生時間 | 開口部着火炎時間 |
|----|------|---------|--------|------------|----------|
| 1  | 3    | 2       | 8:07   | 24:07      | -        |
| 2  | 4    | 3       | 1:23   | 15:24      | 1:48     |
| 3  | 5    | 2       | 1:51   | 17:12      | 3:18     |
| 4  | 6    | 4       | 1:54   | 18:20      | -        |
| 5  | 8    | 3       | 9:35   | 19:46      | 1:58     |
| 6  | 9    | 3       | 9:55   | 23:25      | 3:35     |
| 7  | 10   | 3       | 2:17   | 14:27      | 11:06    |
| 8  | 11   | 2       | 2:00   | 16:36      | 0:12     |
| 9  | 13   | 6       | 0:21   | 14:50      | -        |
| 10 | 14   | 3       | 10:57  | 21:58      | -        |

5. 3 BDの発生箇所及び発生時のガス温度分布

発生箇所を確認すると図6のとおりで、1台のビデオカメラで内部を観察しているため断定はできないが、場所別では天井・壁面天井際が17回、クリブが9回となった。

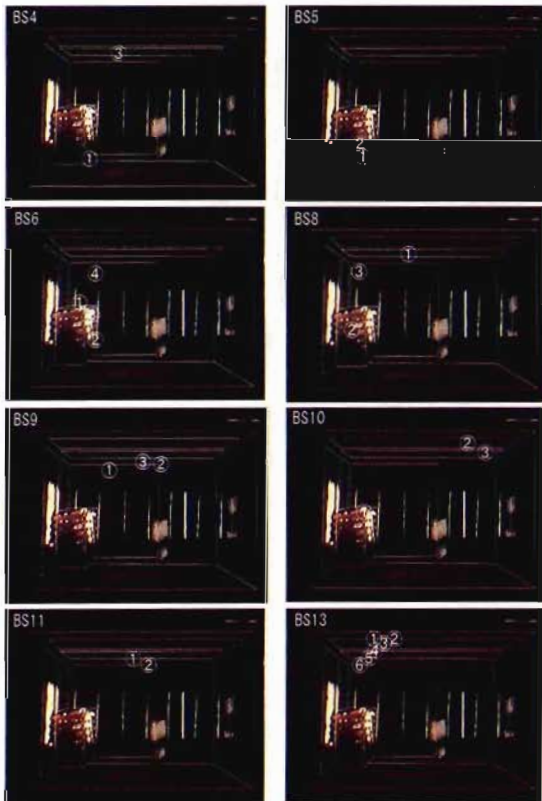
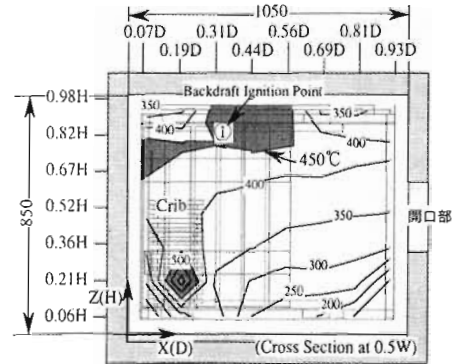


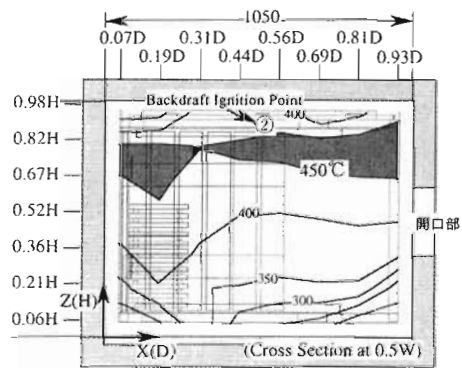
図6 BDの発生箇所

次に、BD発生時の温度分布を実験9で考えると、図7のとおりであり、3回とも天井付近の一般的に木材の着火温度とされる450℃以上のところで、BDが発生していることから、消炎しているように見えるがおき状の火種が残っていることがわかる。また、実験9の1回目にはクリブ部分に

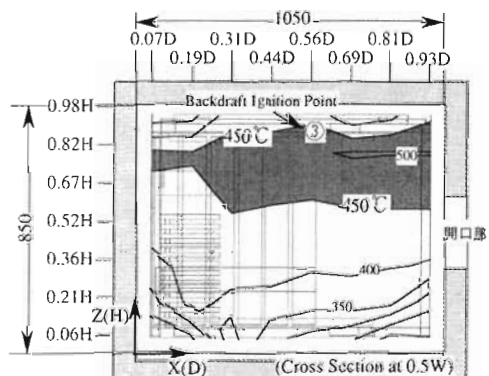
も450℃以上の領域が見られ、前述したクリブ付近で発生するBDが存在することをうらずけている。



(a) 1回目のBD (23分25秒)



(b) 2回目のBD (27分41秒)



(c) 3回目のBD (28分11秒)

図7 BDの発生前の区画内ガス温度分布

5. 4 BDの発生時の形状

文末の写真3はBD発生時の内部の状況を1/10秒毎に表したもので、発生から1.8秒間の変化を示したものである。天井付近の中央左寄り部分の残り火により発生したBDは横に広がった後、2方向に分かれ、一方は写真⑨で示すようにそのまま開口部上部より外側に噴出しており、この間の時間は0.8秒となった。

もう一方は、写真⑨~⑪で示すように発生点付近から下へ進行した後、写真⑫~⑰のように右側

に進行して開口部から外側へ噴出しており、発生からの時間経過は、1.6秒となった。

文末の写真4は開口部から噴出する火炎を1/30秒毎に表したもので、1.1秒間の変化を示したものである。開口部から噴出した火炎は0.1秒後に④～⑥で示すように0.1秒間丸状の炎（ファイヤーボール）を形成後、⑦～⑮間での0.3秒間は強い炎が残存したが、その後炎は消沈していきおよそ1秒程度で炎はおさまっている。

### 5. 5 BDによる被害予測

実験結果から6畳規模の実火災でのファイヤーボールによる放射強度を算出したのが図8である。開口部から3～4m以内にいる場合は、火炎に直接暴露した場合と同等かそれ以上の放射熱を受けることになる。また、10m以上離れた場合でも、木造家屋の実大火災実験において、家屋から4m離れた位置での測定値より高い放射強度となる。

一方、通常防火設計の際に人間の耐放射熱限界の目安とされる $2.4\text{kW/m}^2$ まで放射強度が低下するのは、ファイヤーボールから15m以上離れた場合であり、BD等によって発生したファイヤーボールからの放射熱の被害が広範囲に渡る可能性があることが示される。

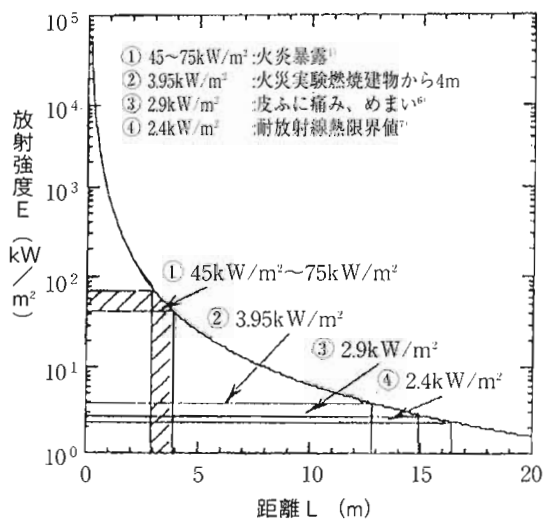


図8 ファイヤーボールからの放射強度

### 5. 6 代表的な測定結果

比較的測定が良好であった実験No.13の結果を示す。この実験では、合計6回のBDが発生した。表4で示すように、BDの発生前には、10秒～1分7秒の無炎状態が発生しており、内部を火が動き回るゴースティング火炎や息継ぎをするような開口部付近の燃焼である開口部付着火炎の現象も

見られた。

この開口部付着火炎は5回目のBD発生後に5分9秒間も発生した。

表4 燃焼状況の経過

| 経過時間        | 時間   | 燃焼の状況     |
|-------------|------|-----------|
| 12:52~14:30 | 1:38 | ゴースティング火炎 |
| 14:30~14:50 | 0:20 | 無炎状態      |
| 14:50       | -    | 1回目BD発生   |
| 14:50~15:04 | 0:14 | 燃焼        |
| 15:04~15:30 | 0:26 | 無炎状態      |
| 15:30       | -    | 2回目BD発生   |
| 15:30~18:11 | 2:41 | 燃焼        |
| 18:11~19:20 | 1:09 | 開口部付着火炎   |
| 19:20~20:27 | 1:07 | 無炎状態      |
| 20:27       | -    | 3回目BD発生   |
| 20:27~21:19 | 0:52 | 無炎状態      |
| 21:19       | -    | 4回目のBD発生  |
| 21:19~22:57 | 1:38 | 燃焼        |
| 22:57~24:12 | 1:15 | 開口部付着火炎   |
| 24:12~24:38 | 0:26 | 無炎状態      |
| 24:38       | -    | 5回目のBD発生  |
| 24:38~29:47 | 5:09 | 開口部付着火炎   |
| 29:47~30:00 | 0:13 | 無炎状態      |
| 30:00~31:33 | 1:33 | ゴースティング火炎 |
| 31:33~31:43 | 0:10 | 無炎状態      |
| 31:43       | -    | 6回目のBD発生  |
| 31:43~50:00 | -    | 燃焼        |

図9～図15は実験No.13の燃焼速度、温度変化・CO・O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>ガス濃度・THC及び開口部流速の変化を示したものである。

また、参考までに図16、17は実験No.10の全炭化水素濃度とメタンガス濃度、図18は実験No.14の圧力変化を表したものである。

点火後、燃焼速度は序々に上がり、12分後には上部の酸素濃度が0%近くになり、炎はクリブから開口部へ、また後壁から床面へとランダムに動き始める。この種の火炎は一般的にはゴースティング火炎と呼ばれ、火炎が移動して熱電対に触れたことによる温度上昇が観測されている。この間、床面の酸素濃度も16%程度に低下している。この火炎により、14分29秒後に区画内の酸素濃度は低下して肉眼では炎が確認できない無炎状態になった。

しかし、燃焼速度は0にはならず、逆にBD発生前には増加している。また、CO濃度も増加傾向にあることから、燃焼材のくん焼が進んだと考えられる。

また、この時に天井付近とクリブ付近の温度は

平均的な木材の発火温度とされる450℃を超えているところが見られることから、燃焼材が発火や赤熱状態となり付近の未燃性ガスに着火してもおかしくない状況にある。

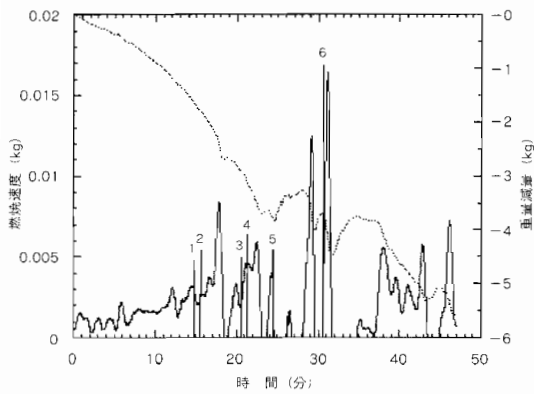


図9 燃焼速度変化

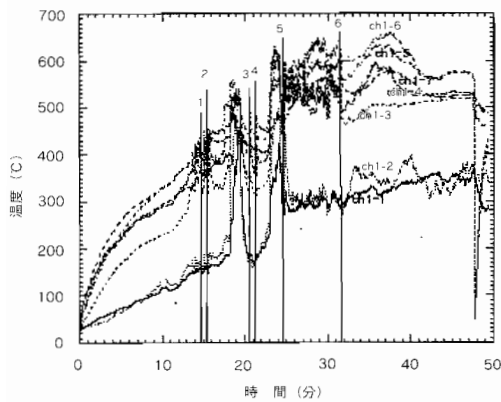


図10 温度変化 (開口部付近)

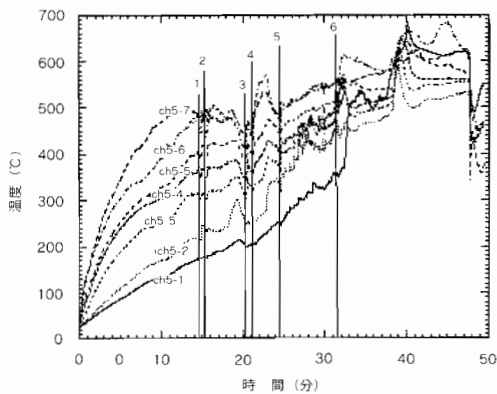


図11 温度変化 (中央付近)

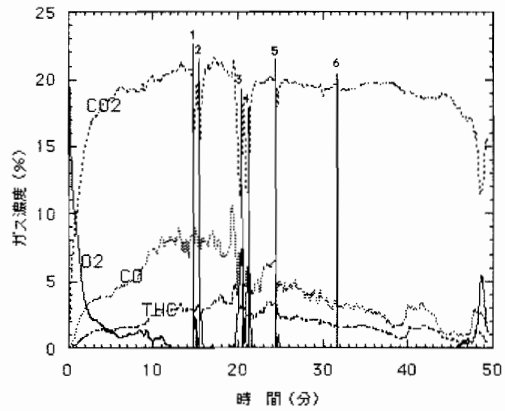


図12 ガス濃度変化(天井付近)

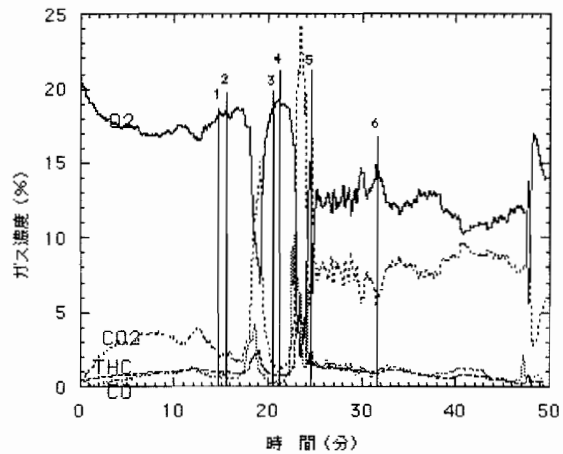


図13 ガス濃度変化(床付近)

開口部付近の流れは非常に乱れており、変動幅は $\pm 0.15 \sim 0.6 \text{ m/s}$ でBD発生時には最大 $5.3 \text{ m/s}$ に達している。点火直後から高さ180mmと220mmの位置は流出側、20mmと60mmの位置は流入側で推移しているが100mmと140mmの位置は変動しており、点火6分後からこれらは流出側になっていることから中性帯が低下したことがわかる。また、2回目のBD発生後の開口部付着火災時には全て流出側へ、その後のくん焼状態では全て流入側へ推移している。

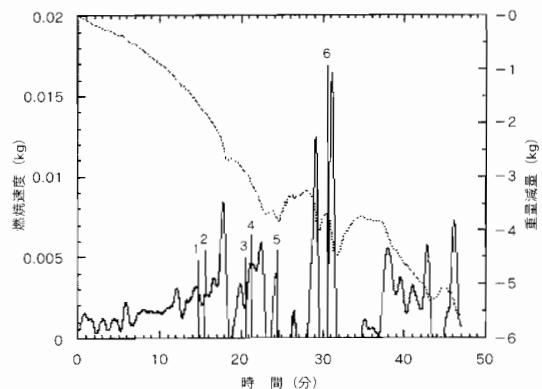


図14 開口部流速

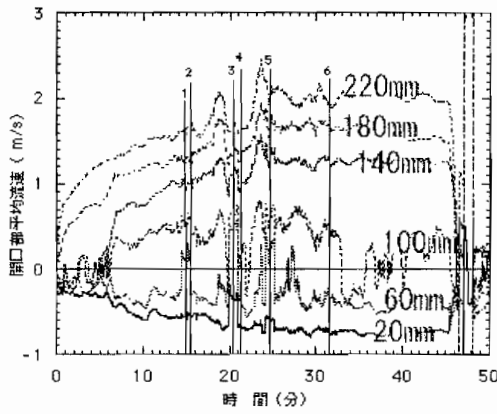


図15 開口部平均流速

図16, 17からTHC及びメタンガス濃度は、燃焼からゴースティング火炎に移る際には最初は余熱により未燃性ガスが増加するが、しだいに温度の低下により濃度がさがり、無炎状態になる。BDの発生により床面付近のこれらのガスは拡散により0.5%から最高で6%前後へ増加する。

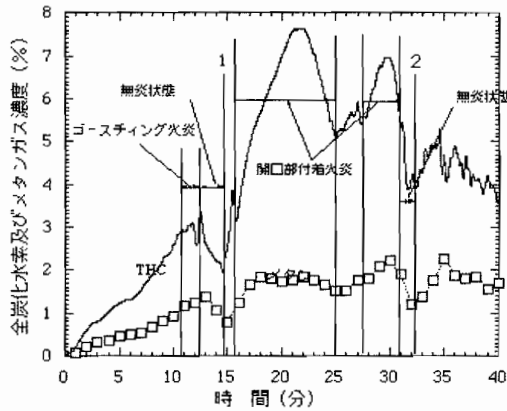


図16 THC・メタン濃度変化(天井付近)

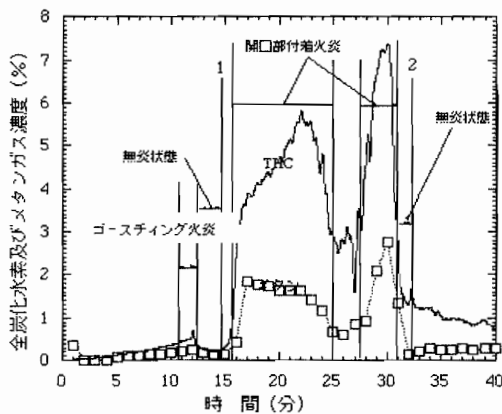


図17 THC・メタン濃度変化(床付近)

図18から、区画内ガスの温度が上昇するにつれて、床面付近の圧力は低下する。ゴースティング火炎発生までの時期は、開口部の流れが乱れてお

り、0～-3 Pa程度で変動している。ゴースティング火炎が発生する時期には、圧力変動は小さくなる。この安定した状態は無炎燃焼期間にも見られる。無炎燃焼時期、区画内の温度変動も比較的小さい。バックドラフトの発生により、床面の圧力は急激に上昇し、4.85Paに達した。それまでの負圧から正圧に転じたことから、バックドラフト発生時には外気の吸い込みはなく、開口部全面からの火炎噴出であると言える。

また、開口部付着火炎発生時、床面付近の圧力は変動しながら低下していった。

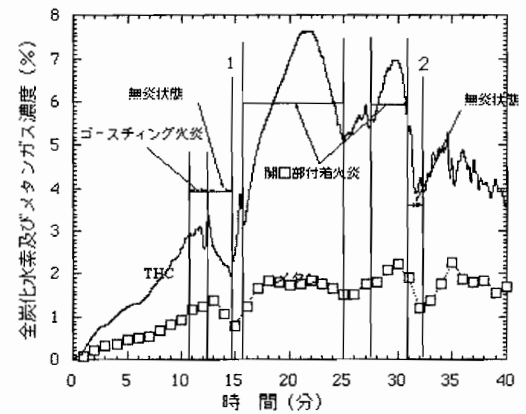


図18 圧力変化

## 6 考察

今回の実験結果を元に、一層ゾーンモデルにおける開口部を変化させた場合のBDの発生シミュレーションを実施した。

一層ゾーンモデルにおける熱収支を図19に示す。

本研究では、火源となるクリブの他に可燃材料で構成された壁が存在し、壁の熱分解による燃料供給を考慮しなければならない。よって、可燃壁への熱流束は独立に計算をおこなった。

図19の中で、熱収支に関する量は以下のようなものである。 $\dot{Q}_c$ は火源の燃焼による発熱速度であり、 $\dot{Q}_{\text{CURF}}$ は自己消炎後のガスの酸化反応による発熱速度である。 $\dot{Q}_w$ は不燃壁への熱流束、 $\dot{Q}_{\text{WF}}$ は可燃壁への熱流束である。 $\dot{Q}_R$ は開口部から放射により区画外部へと移動する熱流束、 $\dot{Q}_{\text{FO}}$ は対流により開口部から区画外へ持ち出される熱流束である。

また、質量収支に関する量は、 $\dot{m}_{\text{in}}$ が開口部から区画内への外気の流入速度、 $\dot{m}_{\text{out}}$ が開口部からの区画内ガスの流出速度、 $\dot{m}_F$ が火源の燃焼速度、 $\dot{m}_{\text{WF}}$ が可燃壁の熱分解速度である。

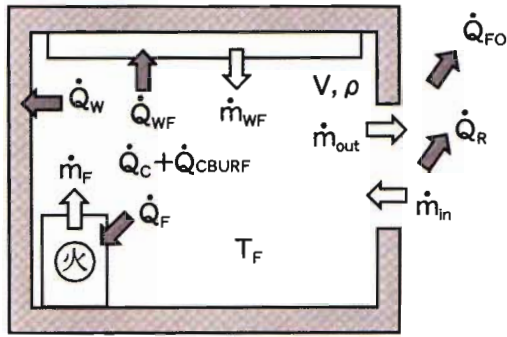


図19 一層ゾーンモデルにおける熱収支

区画内の質量の保存について考えると、次式が成立する。

$$d/dt (\rho V) = \dot{m}_{in} + \dot{m}_F + \dot{m}_{WF} - \dot{m}_{out} \quad (1)$$

ここで、 $\rho$ は区画内ガスの密度、 $V$ は区画内容積である。

次に、区画内の化学種の保存については、次式が成立する。

$$d/dt (\rho Y_1 V) = \sum Y_{1,j} \dot{m}_j + \Gamma_1 \quad (2)$$

ここで、 $Y_1$ は化学種1の質量分率であり、 $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $N_2$ 、煙粒子などが主なものである。 $\Gamma_1$ は化学種1の生成速度である。

また、開口部流出入の質量流速 $\dot{m}_{in}$ 、 $\dot{m}_{out}$ は次式のエネルギー保存式が成立する。

$$C_p \cdot d/dt (\sigma V T_F) = \dot{Q}_c - \dot{Q}_F - \dot{Q}_W - \dot{Q}_R - \dot{Q}_{WF} + C_{p,m} \dot{m}_F T_{WF} + C_{p,m} \dot{m}_{in} T_{\infty} - C_{p,m} \dot{m}_{out} T_F \quad (3)$$

(1), (2), (3) の式からBDのシミュレーションを実施したもので、図20はこのフローチャートを示したものである。

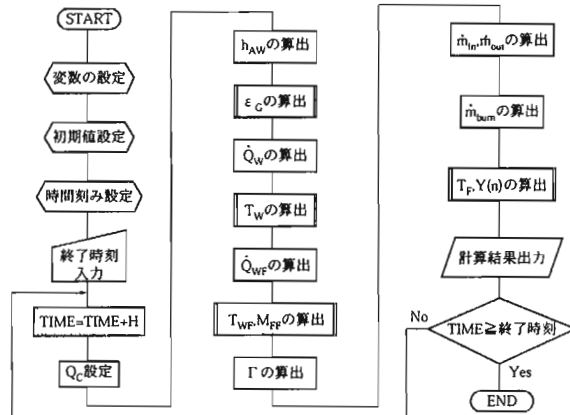


図20 BDのシミュレーションプログラムのフローチャート

このシミュレーションプログラムと実験結果との比較を行った結果、シミュレーションモデルの有効性を確認した。

そこで、BDの発生性状に影響を及ぼす開口部の形状・開口寸法を変化させて計算を実施したもので、表5は、この時の開口形状・開口寸法を示したものである。

また、開口流量は開口因子 $AH^{1/2}$  ( $m^{5/2}$ )に依存することが知られているので、横軸に開口因子をとり縦軸にBDの発生回数を示したものが図21である。

表5 開口形状・開口寸法

| 横長形状  |        |        |     | 縦長形状                             |       |        |        | ドア形状  |                                  |       |       |                                  |      |
|-------|--------|--------|-----|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|----------------------------------|-------|-------|----------------------------------|------|
|       |        |        |     |                                  |       |        |        |       |                                  |       |       |                                  |      |
| 開口部寸法 |        |        |     | 開口部寸法                            |       |        |        | 開口部寸法 |                                  |       |       |                                  |      |
| H (m) | H1 (m) | H2 (m) | W   | $AH^{1/2} \times 10^3 (m^{5/2})$ | H (m) | H1 (m) | H2 (m) | W     | $AH^{1/2} \times 10^3 (m^{5/2})$ | H (m) | W (m) | $AH^{1/2} \times 10^3 (m^{5/2})$ |      |
| 0.03  | 0.41   | 0.44   | 0.6 | 3.12                             | 0.1   | 0.375  | 0.475  | 0.2   | 6.32                             | 0.15  | 0.15  | 8.71                             |      |
| 0.05  | 0.40   | 0.45   |     | 6.71                             | 0.15  | 0.35   | 0.5    |       | 11.6                             | 0.2   |       | 13.4                             |      |
| 0.06  | 0.395  | 0.455  |     | 8.82                             | 0.2   | 0.325  | 0.525  |       | 17.9                             | 0.25  |       | 18.8                             |      |
| 0.07  | 0.39   | 0.46   |     | 11.1                             | 0.24  | 0.305  | 0.545  |       | 23.5                             | 0.3   |       | 24.6                             |      |
| 0.09  | 0.38   | 0.47   |     | 16.2                             | 0.3   | 0.275  | 0.575  |       | 32.9                             | 0.35  |       | 31.1                             |      |
| 0.12  | 0.365  | 0.485  |     | 24.9                             | 0.4   | 0.225  | 0.625  |       | 50.6                             | 0.4   |       | 37.9                             |      |
| 0.15  | 0.35   | 0.5    |     | 34.9                             | 0.4   | 0.225  | 0.625  |       | 0.46                             | 116   |       | 0.5                              | 53.0 |
| 0.2   | 0.325  | 0.525  |     | 53.7                             | 0.5   | 0.175  | 0.675  |       | 70.7                             | 0.6   |       | 69.7                             |      |
| 0.25  | 0.3    | 0.55   |     | 75.0                             | 0.6   | 0.125  | 0.725  |       | 0.2                              | 93.0  |       | 0.7                              | 87.8 |
| 0.3   | 0.275  | 0.575  |     | 98.6                             | 0.7   | 0.075  | 0.775  |       | 117                              |       |       |                                  |      |
| 0.35  | 0.25   | 0.6    | 124 |                                  |       |        |        |       |                                  |       |       |                                  |      |
| 0.4   | 0.225  | 0.625  | 152 |                                  |       |        |        |       |                                  |       |       |                                  |      |



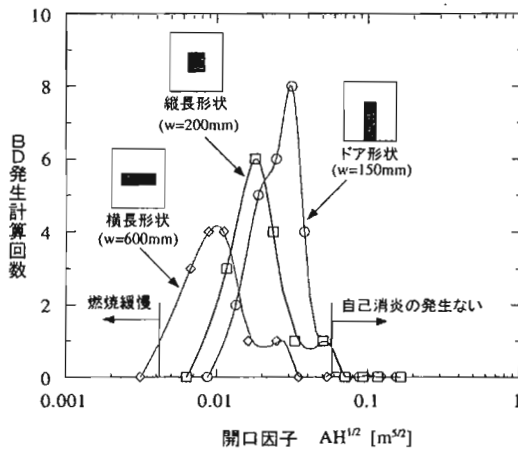


図21 一層ゾーンモデルにおける熱収支

開口寸法については、開口部が大きすぎても、小さすぎてもBDは発生しなかった。これは、開口部の寸法が小さい場合には、開口部からの空気の流入が少ないために、酸素濃度が上昇せず、区画内の燃焼反応が緩慢となり、結果として熱分解による燃料供給も減少するためである。また、開口部が大きすぎる場合には、フラッシュオーバーが発生するが、開口部からの酸素供給量が比較的多いため、自己消炎に至らない。また、開口部流量が多いため、熱分解により発生した熱分解ガスが外界に散逸し、区画内から外部への失熱も大きく、区画内温度が上昇しづらい。よって、最もBDが発生しやすい開口因子が存在する。最大のBD発生回数は、横長形状のものが4回であったが、縦長窓形状では6回、ドア形状では8回と形状が縦長になるにつれて、また、敷居高の低下につれて大きくなった。

開口部形状については、横長形状のものが最も小さい開口因子でBDが発生している。開口部形状が次第に縦長に近づくにつれて、開口因子が大きい側へシフトし、横長形状では $AH^{1/2}=0.01$  ( $m^{5/2}$ )程度にBD発生回数のピークが生じた。

## 7 事故事例

過去に報告されている急激な火災拡大による消防隊員の事故事例を示したものが表6であり、実際の火災ではフラッシュオーバーかBDかの区別は難しいが、様々な構造や用途の建物で実際に爆燃現象が発生しており、その発生時の行動もいろいろである。

表6 急激な火災拡大による消防隊員の事故事例

| 構造     | 階数   | 用途        | 延べ面積              | 焼損面積              | 用途           |
|--------|------|-----------|-------------------|-------------------|--------------|
| 木造     | 2/0  | 事務所併用共同住宅 | 299m <sup>2</sup> | 139m <sup>2</sup> | 屋外行動         |
| 耐火造    | 5/1  | 複合用途イ     | 435m <sup>2</sup> | 68m <sup>2</sup>  | 火勢制圧後の窓ガラス破壊 |
| 簡耐火造   | 2/0  | 倉庫        | 674m <sup>2</sup> | 400m <sup>2</sup> | 屋外行動         |
| 耐火造    | 11/0 | 共同住宅      | -                 | 53m <sup>2</sup>  | ベランダで救助      |
| 防火造    | 2/0  | 料理店       | 829m <sup>2</sup> | 561m <sup>2</sup> | 内部進入         |
| 木造一部耐火 | 2/0  | 倉庫併用共同住宅  | 307m <sup>2</sup> | 220m <sup>2</sup> | 内部進入         |
| 耐火造    | 5/0  | 複合用途      | 435m <sup>2</sup> | 90m <sup>2</sup>  | 窓ガラス破壊後の放水   |
| 防火造    | 2/0  | 複合用途      | -                 | 120m <sup>2</sup> | 屋外で放水中       |

近年東北地方で発生した火災では、2階建ての建物の1階スナックから出火して、一旦は炎が下火になった。しかし、2階の窓ガラスを開放して人名検索活動中に図22に示すように押し入れを通して空気が1階のスナックに供給されたため火炎が一気に拡大して2階に滞留していた可燃性ガスに引火し爆燃が発生するという事例が発生しており、爆燃発生時の2階の状況を文末写真5に示す。

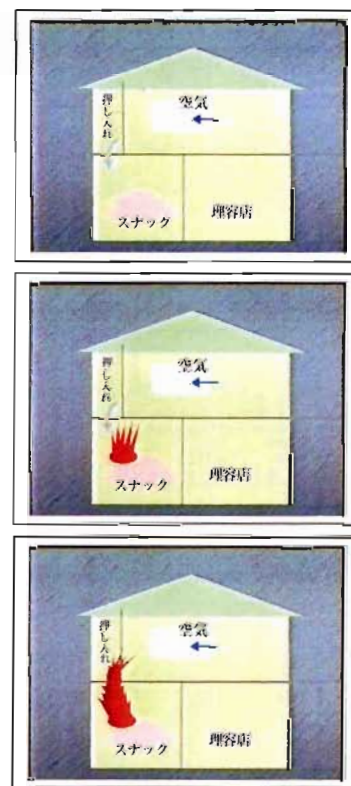


図22 火災の状況

また、米国ワット通りのアパート火災の事例では、アパートの1階のドアを開けたところBDが発生し大きな火炎が噴き出し、6分半火炎が持続したことから、消防士3名が殉死した火災も発生

している。

## 8 バックドラフトの発生メカニズム

区画内で火災が発生すると、区画内のガス温度は上昇し、外界との温度差を生じ、密度差によって外部の空気が開口部下部から区画内に流入し、区画内のガスは開口部上部から外部に流出する。圧力の低下により、空気がさかんに供給され燃焼が活発となり、天井付近の火災は燃料過剰の無酸素状態になり、ゴースティング火災や開口部付着火災が発生して、区画内の酸素を消費して自己消炎する。

この間、火災が消滅しても、燃焼材からは可燃性ガスの発生が続くが、空気の流入が増加するため、天井付近は酸素濃度が増加し燃焼可能な状態となる。また、自己消炎後のくん焼時期には、天井付近は酸素の供給により温度上昇が見られる。

燃焼範囲の未燃性ガスは、燃焼材の炭化層の赤熱部などを着火源として、爆発的な燃焼を開始する。

BD発生後には、温度が低下することにより、空気が流入して酸素濃度が上昇し、前述を繰り返す。

また、バックドラフト発生後に長時間開口部付着火災が発生する場合もある。

## 9 火災現場における開口部設定法

消火活動の際には、火災室内への侵入や排煙の目的で開口部を設定するが、この開口部がBDを引き起こす。

計算結果より、開口部はドア形状より窓形状、縦長形状より横長形状の方がBDの発生を防ぐことが出来る。

また、低給気状態でのBDの発生防止には、できるだけ窓を大きく開け、排煙してしまうのが効果的であるが、開口部設定の労力を考えれば、できるだけ大きな横長の窓を開口部として設定するのが発生防止につながる。

## 10 あとがき

小区画模型を作成してBDの発生メカニズムを分析したが、実際の火災では様々な形態があり未解明の点が多く残されている。

しかし、この研究の中で、ゴースティング火災や開口部付着火災の存在が分かり、内部進入をす

る際にはBDと同様に注意を払わなければならないことを確認出来た。

用語の定義を議論する場合には、今回の研究はあらかじめ開口部を設置した区画模型で実験を実施しているのでBDではなく、間欠的爆燃という場合もあるが、この研究では、実際の火災で避難や内部進入する際に、開放したドアや窓があれば、このような現象が起こりうる可能性があることを周知していただければ幸いである。

また、今回作成したシミュレーションを発展させて、おおまかに建物床面積からBDが発生しない開口部面積等を導き出し実際の消防活動の安全性に役立てていきたい。

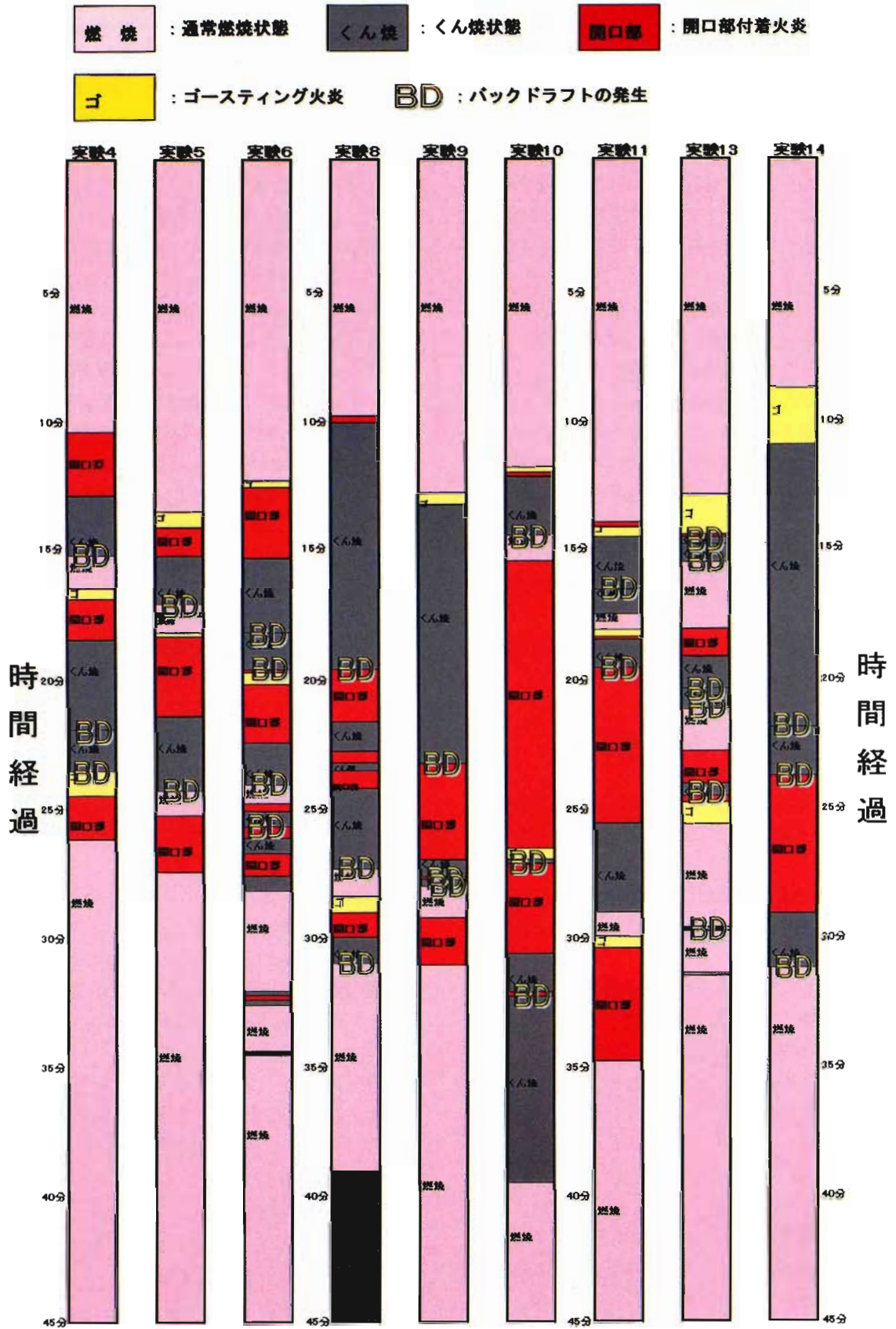
今回の実験結果をまとめている時に、当市の中高層建物の火災においてBDらしき爆燃が起きる火災が発生している。この火災の概要は現在調査中であるが、出火室の窓ガラスが早い時期に受熱により破損したが、この開口部に向かって強い風が吹いていたということであり、このような状況は他の火災でも報告されていることから、今後噴出火災の風による影響等を研究していき、実際のBDの発生メカニズムのさらなる解析を実施していきたいと考えています。

最後に、この研究は北海道大学大学院工学研究科空間図形研究室との共同研究であり、長年にわたって、貴重な情報・意見・指導等をいただいた。ここに記して謝意を表します。

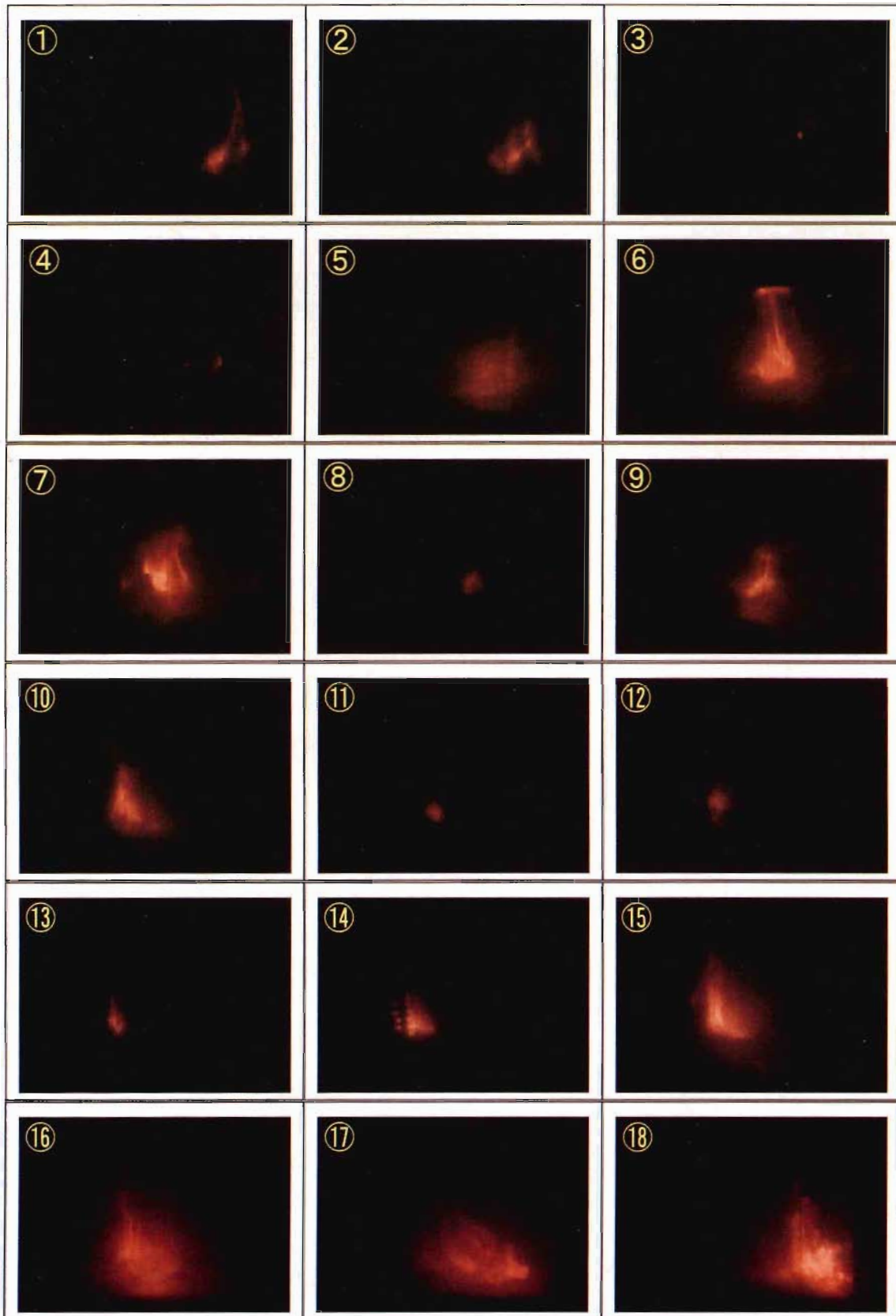
### 【参考文献】

- 1) 小島ほか「小型の区画火災におけるバックドラフト再現実験」日本火災学会研究発表会概要集(1996.5) pp142-145
- 2) 早坂ほか「小型区画火災で観測されたバックドラフトとその関連諸現象」日本火災学会研究発表会概要集(1998.5) pp302-305
- 3) 工藤ほか、火災、Vol.50 No.3 pp20-30(2000.5)
- 4) 東京消防庁消防科学研究所「フラッシュオーバーに関する研究報告書」(1996.3)
- 5) 札幌市消防局消防科学研究所報(No.2~No.6)
- 6) 工藤 祐嗣、北海道大学工学部博士論文(2001.3)

表 1 各実験の燃焼状況

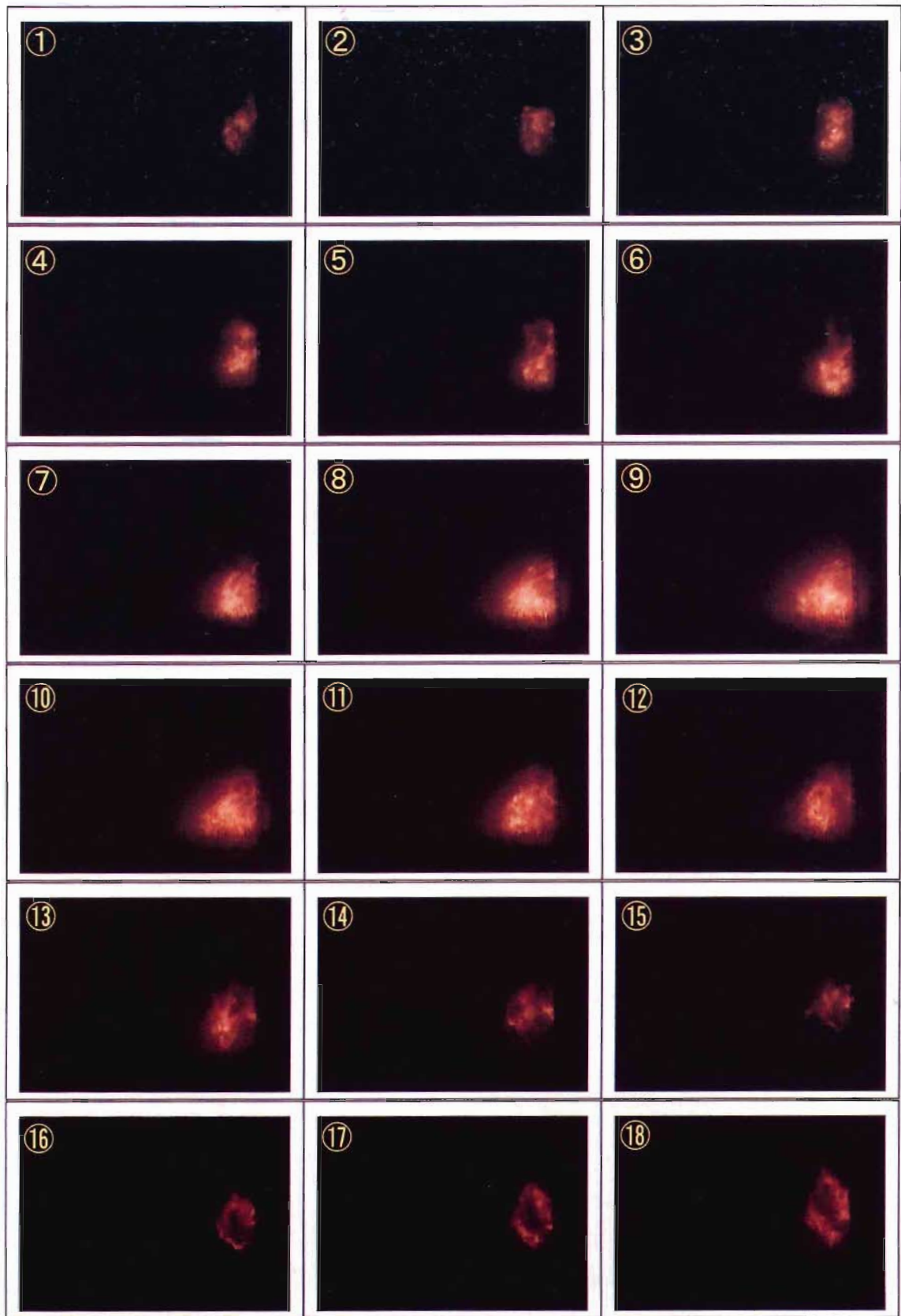






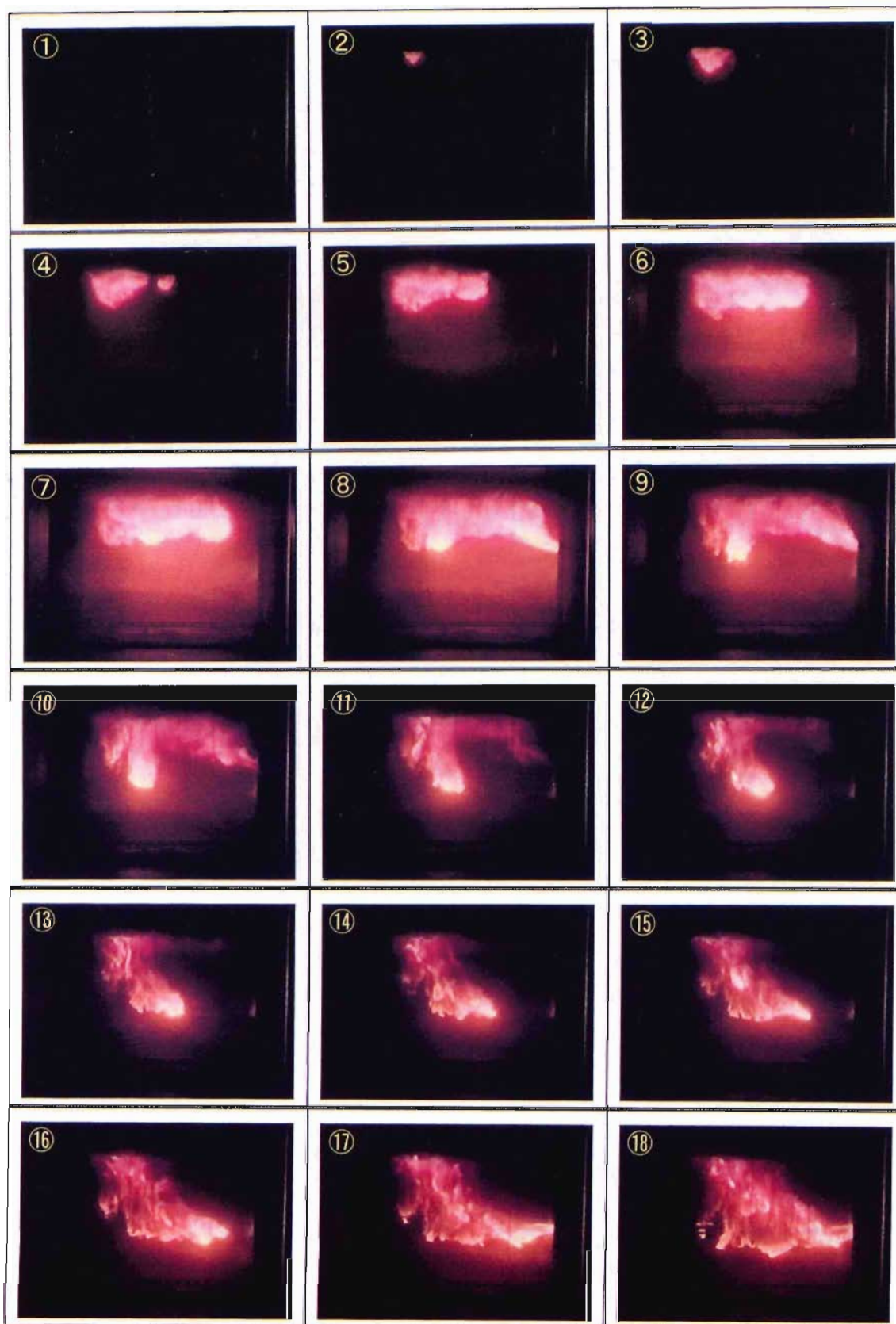
(1コマ1/15秒)

写真1 ゴースティング火炎の状況



(1コマ 1/15秒)

写真2 開口部付着火炎の状況



(1コマ0.1秒)

写真3 BD発生時の内部の状況



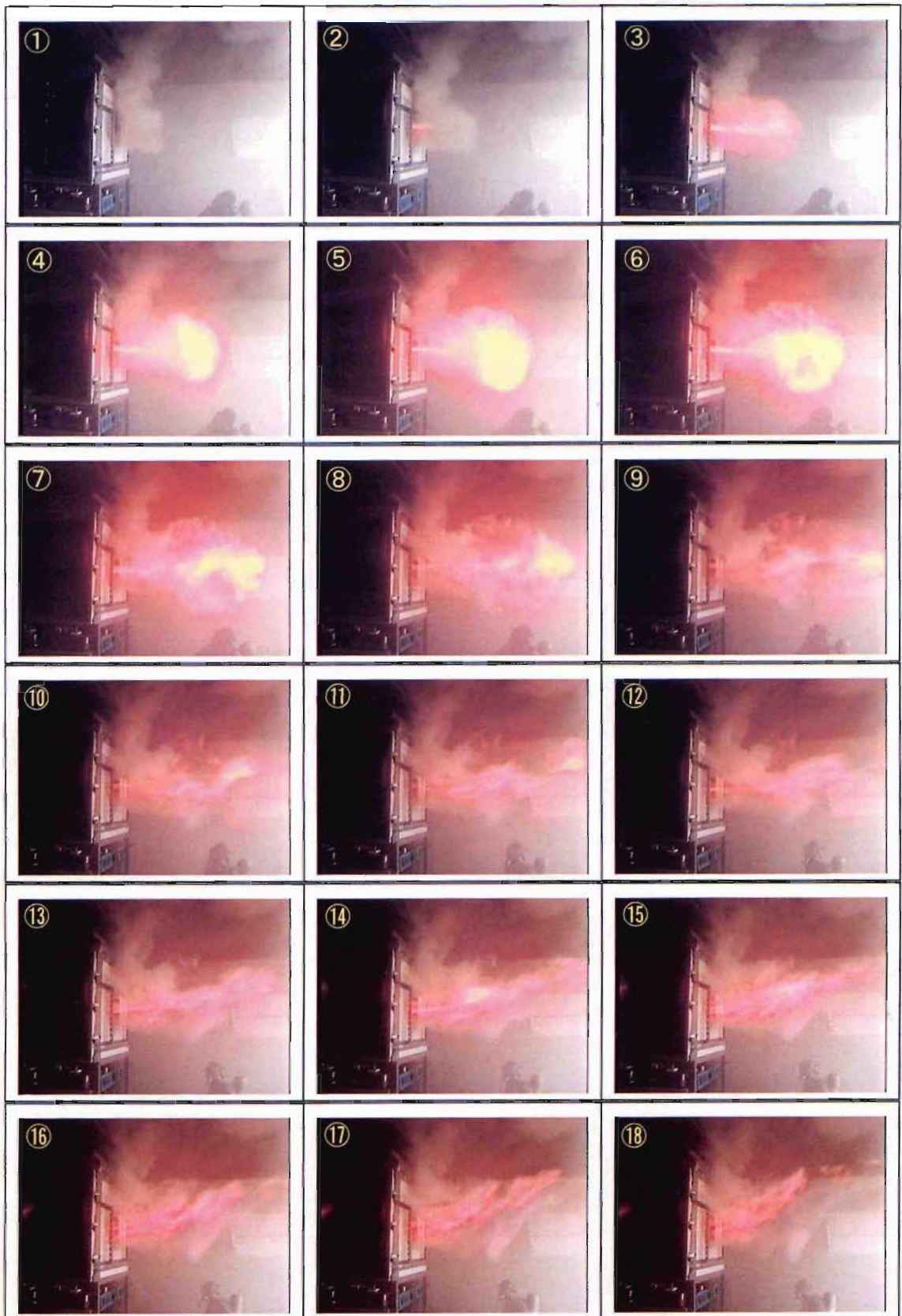


写真4 B D発生時の外部の状況①



(1コマ 1/30秒)

写真4 BD発生時の外部の状況②





# 静電気に関する調査・研究（その2）

## －静電気帯電量－

### Research on Static Electricity (Part 2)

溜 真紀子 ※

Tamari Makiko

#### 要 約

可燃性蒸気が発生していると想定される災害現場で、静電気の放電により、2次災害を引き起こす可能性が考えられる。そこで、平常の執務状況で消防職員の静電気帯電量を測定した。また、可燃性蒸気が発生しやすい物質が、どのぐらいの放電エネルギーで着火するかの実験も行った。

#### Summary

In a disaster site where flammable vapor may be generated, there is a risk of a secondary disaster caused by a discharge of static electricity. The amount of electrostatic charge carried by fire fighters was therefore measured under normal working conditions. A test was also conducted to determine the amount of discharge energy which would ignite material prone to generate flammable vapor.

#### 1 はじめに

可燃性ガスが発生している災害現場において、静電気の放電により、引火・爆発事故につながる可能性があり、二次災害の発生が懸念される。

当研究所では、平成10年度から静電気について基礎的な調査・研究を行っており、今回は静電気の放電によるメチルアルコールの着火実験を実施した。

今回は、ガソリン等の着火実験や、消防職員が平常に執務している状況で、静電気の帯電量について調査・研究を行った。

#### 2 実験目的

人体の静電気の帯電量及び着火エネルギーと放電エネルギーの関係について検証することを目的とする。

#### 3 人体と静電気

人体は静電的に導体である。絶縁性の良い靴を履いたり、絶縁性の良い床の上では、導体とし

て静電気を溜めるコンデンサーのような役割をする。人体は300[pF～ピコファラッド(静電容量の単位)]程度の静電容量を持っており、大地から絶縁されていれば帯電し、特に動き回ったり、いろいろな動作をするためにさらに、帯電しやすい。

人体の帯電原因として考えられるのは次のような場合である。

- (1) 皮膚と他の物体との接触による帯電
- (2) 帯電体(導体)への接触による帯電
- (3) 着衣の摩擦などによる帯電
- (4) 衣服の着脱による帯電
- (5) 歩行による帯電(靴と床の間で靴が負極性に帯電すると足は正極性に、頭や手の先は負極性になる)

また、現在の生活の中ではテレビ、電子レンジやパソコン、ワープロ等のOA機器などの電化製品(表1 OA機器・電化製品の帯電量参照)により、機器そのものに静電気を持っているものが身の周りに溢れており、それらに囲まれて生活していると、人体には自然に静電気が帯電しやすくなる。

さらに、ストレス、食生活の乱れ、睡眠不足及び疲れ等によっても静電気は帯電し、接地(アース)等をとらなければ、強制放電はあまり期待できない。

以上のことから、現代は昔と比較して、特に静

※ 消防科学研究所

電気を帯電しやすい状態で生活していることが理解できる。

表1 OA機器・電化製品の帯電量

| OA機器・電化製品の帯電量    | 帯電量(kV)    |
|------------------|------------|
| テレビ(29インチ、ブラウン管) | 18.93      |
| パソコン(CRT)        | 14.59      |
| 電子レンジ            | 10.58      |
| コピー機             | 3.98       |
| パソコン(液晶)         | 0.89       |
| 蛍光灯              | 0.54       |
| 携帯電話(着信時)        | 0.38(0.65) |

#### 4 実験内容

##### (1) 実験1 - 作業衣等の帯電状況 -

###### ア 実験日時及び環境

(ア) 実験日時 平成12年3月

(イ) 実験環境 温度25℃以下、湿度30%以下

イ 実験装置 (以下の実験は、すべて同じ装置を使用した)

(ア) 静電気高圧発生装置 CUO型~マリス製

(イ) 静電電位測定器 スキフDZ3~ジド静電気製  
(写真1参照)

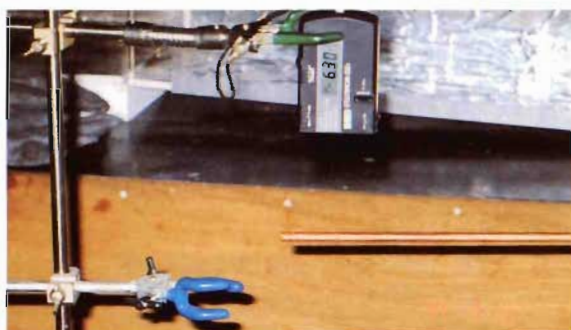


写真1 静電電位測定器

##### ウ 実験方法

119名の消防職員(作業衣74名、救助衣23名、救急衣16名、制服4名、私服2名の各服装の職員)を対象に静電電位測定器を使用し、平常の執務中における静電気帯電量を測定した。

##### エ 実験結果

表2に服装別の帯電量分布を、また図1にそのグラフを、さらに図2に服装別の平均帯電量を示した。また、参考として表3に人体帯電と電撃の強さの関係の文献値を示した。

測定した結果、119名のうち最大帯電量は441kV(作業衣)であり、最小帯電量は0.01kV(作業衣)であった。119名全体の平均帯電量は0.53kVであった。

表2 服装別の帯電量分布

| 帯電量(kV)   | 全 体 | 作業衣 | 救助衣 | 救急衣 | 制 服 | 私 服 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.20未満    | 50  | 29  | 9   | 12  | 0   | 0   |
| 0.20~0.39 | 23  | 12  | 6   | 4   | 1   | 0   |
| 0.40~0.59 | 14  | 10  | 3   | 0   | 0   | 1   |
| 0.60~0.79 | 6   | 5   | 0   | 0   | 1   | 0   |
| 0.80~0.99 | 11  | 7   | 2   | 0   | 2   | 0   |
| 1.00~1.19 | 5   | 2   | 2   | 0   | 0   | 1   |
| 1.20~1.39 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1.40~1.59 | 4   | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 1.60~1.79 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1.80~1.99 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2.00~2.19 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2.20~2.39 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2.40~2.59 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2.60~2.79 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 2.80~2.99 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 3.00以上    | 3   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 合 計       | 119 | 74  | 23  | 16  | 4   | 2   |

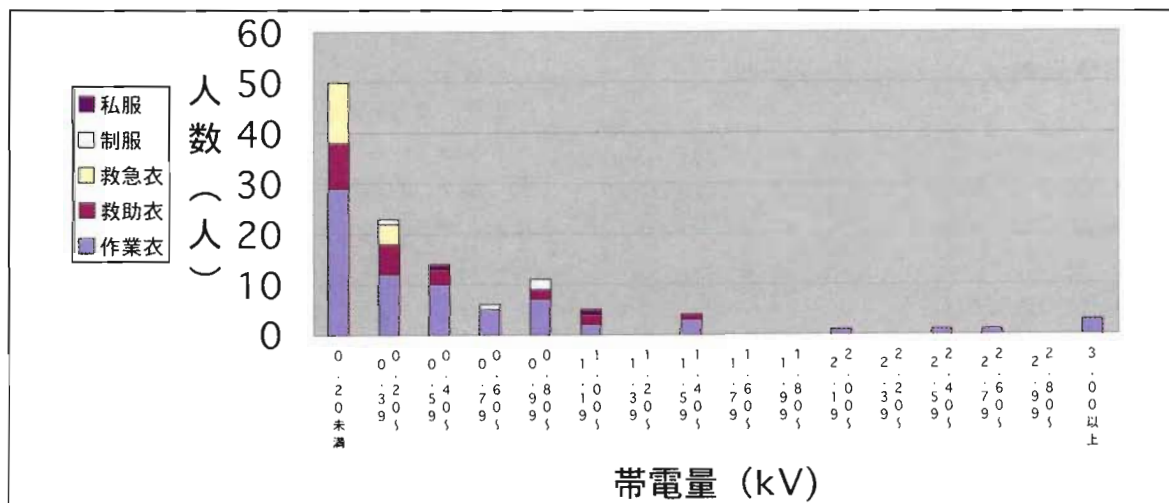


図1 服装別の帯電量分布 (kV)



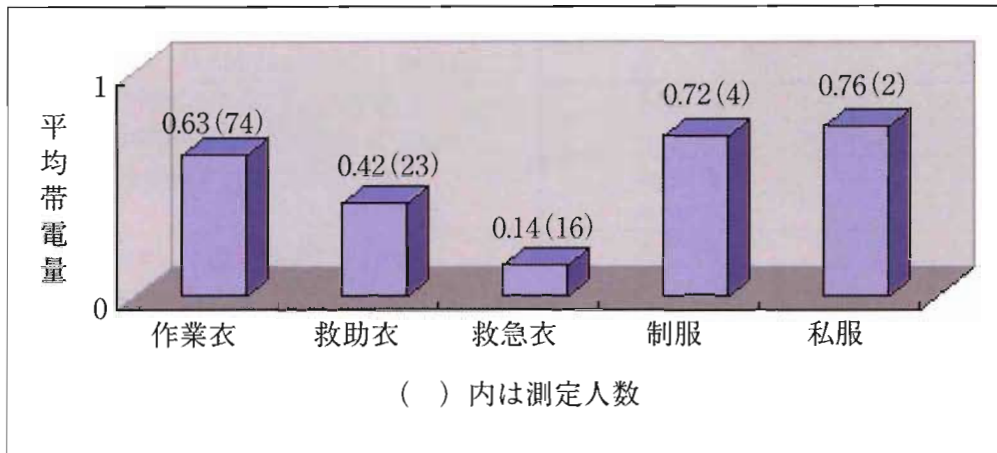


図2 服装別の平均帯電量

表3 人体帯電と電撃の強さの関係

| 人体の帯電量 (kV) | 一般的な電撃の強さ                 | 放電等          |
|-------------|---------------------------|--------------|
| 1.0         | 全く感じない                    | かすかな放電音発生    |
| 2.0         | 指の外側に感じるが痛まない             |              |
| 2.5         | 針に触れたようにピクリとを感じる<br>が痛まない |              |
| 3.0         | 針で刺された感じを受けチクリと<br>痛む     |              |
| 4.0         | 針で深く刺された感じを受け指<br>が少し痛む   | 放電の発光が見える    |
| 5.0         | 手のひらから前腕まで痛む              | 指先から放電発光が延びる |
| 6.0         | 指が強く痛み後腕が重く感じる            |              |
| 7.0         | 指、手のひらに痛みとしびれた<br>感じを受ける  |              |
| 8.0         | 手のひらから前腕までしびれた<br>感じを受ける  |              |
| 9.0         | 手首が強く痛みしびれた重み<br>を受ける     |              |
| 10.0        | 手首全体に痛みと電気が流れた<br>感じを受ける  |              |
| 11.0        | 指が強くしびれ手全体に強い<br>電撃を受ける   |              |
| 12.0        | 手全体に強打された感じを受ける           |              |

(2) 実験2-ガソリン及びアセトンへの着火実験-

ア 実験日時及び環境

(ア) 実験日時 平成12年2月

(イ) 実験環境 温度20~25℃, 湿度19%以下

イ 実験方法

床にスタイロフォーム(絶縁体)を敷き、金属棒(銅製、長さ60mm、外径5mm)を片手に持ち、もう一方の手を静電気高圧発生装置に触れて静電気を体に帯電させて帯電量が10kV程度になった時点で、不動状態で鉄器に入っているガソリンまたはアセトンに金属棒を近づけ放電させた。着火した場合(写真2参照)、同様の実験を繰り返し、着火しなくなるまで、帯電量を減らして実施した。

ウ 実験結果

(ア) ガソリン

表4に実験結果を示す。5.40kV以上で全て着火した。

(イ) アセトン

表5に実験結果を示す。4.85kV以上で全て着火した。



写真2 実験状況(ガソリンに着火)

表4 ガソリンの着火実験結果

| 帯電量(kV) | 結 果 |
|---------|-----|
| 2.92    | 非着火 |
| 3.04    | 非着火 |
| 3.10    | 非着火 |
| 3.43    | 非着火 |
| 4.85    | 着火  |
| 7.45    | 着火  |

表5 アセトンの着火実験結果

| 帯電量(kV) | 結 果 |
|---------|-----|
| 5.30    | 非着火 |
| 5.40    | 着火  |
| 5.60    | 着火  |
| 6.08    | 着火  |
| 7.60    | 着火  |
| 9.85    | 着火  |



写真3 アセトンの着火状況

## 5 考 察

### (1) 実験1について

約5%の職員が2.0kV以上の静電気帯電量を示した。また、119名の中に訓練終了直後の救助隊員がおり、測定すると、

- ア 最大帯電量 1.14kV
- イ 最小帯電量 0.54kV
- ウ 平均帯電量 0.91kV

との結果が得られ、119名の測定結果と比較すると、最小帯電量及び平均帯電量が多くなっている。これは、訓練中に衣服等が擦れ、通常よりも帯電量が多くなっているものと考えられる。さらに、測定する直前までOA機器を使用していた職員は静電気帯電量が多い測定結果も得られた。

人間は導体として機能していることから、動き回ったり、様々な作業をする上で極めて帯電

しやすくなる。さらに、人体に帯電した電荷は体内を自由に動き回るため、放出エネルギーが高くなり、ガス漏れ現場等で可燃性ガスが滞留している恐れのある現場等では、この電荷により爆発等の二次災害の発生が考えられる。

### (2) 実験2について

ガソリンでは5.40kV、アセトンでは4.85kVで着火した。最小着火エネルギー（最も着火しやすい混合濃度にある可燃性混合物が、外部から与えられた着火源（放電火花等）によって着火するための必要な最小のエネルギー）のデータを表6に示す。

表6 主な物質の最小着火エネルギー

| 名 称      | 最小着火エネルギー(mJ) |
|----------|---------------|
| アセチレン    | 0.019         |
| 水素       | 0.019         |
| エチレン     | 0.096         |
| メタノール    | 0.140         |
| ベンゼン     | 0.20          |
| ヘプタン     | 0.24          |
| ヘキサン     | 0.24          |
| エタン      | 0.25          |
| ブタン      | 0.25          |
| プロパン     | 0.25          |
| ペンタン     | 0.28          |
| メタン      | 0.28          |
| アセトアルデヒド | 0.376         |
| アセトン     | 1.15          |
| トルエン     | 2.5           |
| アンモニア    | 680.0         |

この表から、アセトンの最小着火エネルギーは1.15mJであり、最小着火エネルギーと帯電電位の関係式は

$$V = \sqrt{2W_i / C} \quad \dots \text{式①}$$

となる。ここで式①の

$W_i$  [J] 最小着火エネルギー

$C$  [F] 人体の静電容量 =  $100 \times 10^{-12}$

$V$  [v] 帯電電位

であり、よって、式①より、

$$V = 4.79 \text{ [kV]}$$

という計算結果が得られた。

以上のことから、文献値4.79kVと実測値4.85kVでは、ほぼ近似の値が得られた。

なお、ガソリンは主成分がナフサ（ $C_4 \sim C_{10}$ ）であり、添加剤としてMTBE（メチル tert-ブチルエーテル～この量によってオクタン価が変化する）及びベンゼン、トルエン、ペンタン、ヘキサン等

が含まれる混合物であるため、ガソリンとしての帯電電位の文献値は不明であるが、実測値からアセトンと同じくらい着火しやすいことが得られた。

さらに、消防科学研究所報1997 No.4（都市ガスの性質について）によると、ガス漏れ警戒出動で最も身近な存在の都市ガス（現在、札幌市内では6B～主成分水素（約50%含有）と13A～主成分メタン（約85%含有）の2種類、（順次13A～天然ガスを主成分としたものに転換されており、平成17年頃には終了する予定）及びLPG～主成分プロパン等（約95%含有）の最小着火エネルギーは表6よりいずれもアセトンより小さく、また、帯電電位は式①に当てはめると、

ア 水 素 ～ 0.6 (kV)

イ プロパン ～ 2.2 (kV)

ウ メタン ～ 2.4 (kV)

となり、いずれもアセトンより小さい帯電量で着火する可能性があることが数値からも理解できる。

## 6 まとめ

現代の生活スタイルは常にOA機器に囲まれており、また、ストレスや食生活の乱れからも、現代の人は非常に静電気を帯電しやすい。

また、自動車等の燃料として身近な存在であるガソリンから発生した可燃性蒸気に容易に着火するほどの静電気の放電エネルギーを放出することがこの実験から得られたことから、帯電防止策を考える必要がある。

これらの帯電防止対策として、今、様々な静電気帯電防止グッズが販売されており、それらを使用することも一つの方法であると思われるが、それらを使用しないで（災害現場では使用することが困難な場合がほとんどであると思われる。）災害現場で静電気を帯電させず、どのようにして除去するかが重要であり、その方法について、一般的に伝えられている「水を掛ける」方法や、接地（アース）をとる方法、また、参考までに静電気帯電防止グッズの効果等について、静電気に関する調査・研究（その3）を実施した。

### 【参考文献】

- 1) 「静電気安全指針」労働省産業安全研究所
- 2) 「静電気の基礎と帯電防止技術」日刊工業新聞社
- 3) 「消防科学研究所報1997 No.4」札幌市消防局消防科学研究所

# 静電気に関する調査・研究（その3）

## －静電気除去実験－

### Research on Static Electricity (Part 3)

溜 真紀子 ※  
Tamari Makiko

#### 要 約

今日のOA社会の中、静電気が常に帯電しているOA機器等に囲まれて生活している私たちにとって、静電気は身近な問題である。また、この静電気が、ガス漏れ現場等では放電により引火・爆発を引き起こす可能性があることから、十分な注意が必要である。

この静電気の放電のメカニズムについては、不明な点が多く、放電防止対策も一概には言えないが、ここ近年、注目され、数多く商品化されている静電気除去機器の中で代表的な機器の除去効果、さらに、静電気除去方法として一般的に伝えられている、水を掛けることによる除去効果、及び防火衣等の現場用被服や長靴、手袋等の違いによる、それぞれの静電気除去方法を検証した。

#### Summary

Static electricity is a familiar issue for us as we live surrounded by OA equipment constantly charged with static electricity in today's high-tech society. Sufficient care is required at gas leak or other disaster-stricken sites because a discharge of static electricity may cause ignition or an explosion.

Although it is impossible to generalize discharge control measures because many points have not been clarified concerning the discharge mechanism of static electricity, static elimination effects were verified for leading types of static elimination devices, which have attracted attention in recent years and are widely commercialized. Elimination effects by the distribution of water (a generally accepted method) as well as elimination methods using different fire fighters' uniforms, boots and gloves were also verified.

#### 1 はじめに

災害出動の中でもガス漏れ警戒出動は、目に見えない可燃性ガスが漏洩している可能性があることから、何らかの着火源によって、引火及び爆発する可能性があり、その予測は難しく、常時これらに対する注意が必要である。また、目に見える着火源がなくても、静電気の放電により引火・爆発事故の二次災害が発生する場合がある。さらに、ガス検知器の測定値が爆発下限界以下であっても、ガスの滞留状況は一定ではなく、絶対に引火・爆発事故が発生しないとは限らないため、爆発下限界以下での進入であっても、十分な注意が必要である。

このことから、当研究所では、消防隊員がこれらのガス漏れ警戒現場で二次災害に対する不安を少しでも解消できるように、静電気関係の研究を

平成10年度から実施している。

一方、現在はOA機器が色々なところで使用されており、これらのOA機器等は静電気を帯電しやすい。私たちは静電気が非常に発生、及び帯電しやすい状況で生活している。

また、前回の実験では、静電気の放電により、実際にアセトンやガソリンに着火するほどの静電気帯電量を持つ職員もいたことから、静電気の放電について検討する必要がある。

以上のことから、目に見えない静電気に対して、除去効果が少しでもあると言われており、近年多くの種類が出回っている各種静電気防止・除去グッズの効果、また、静電気除去方法として一般的に伝えられている水を掛けることの効果、さらには、消防隊員が着用している防火衣や靴、手袋等の違いによる静電気帯電及び除去方法の有効性を検証したので報告する。

※ 消防科学研究所

## 2 実験目的

静電気帯電の防止・除去方法の効果として、各種静電気防止・除去グッズの効果、消防隊員が着用している防火衣及び耐熱服、各種の靴、現場用手袋等の違いによる静電気に対する帯電、除去効果を検証する。

## 3 実験内容及び結果

### (1) 実験1～静電気防止グッズの効果

#### ア 実験日時及び環境

- (ア) 実験日時 平成12年2月
- (イ) 実験環境 温度24.5℃, 湿度19%
- (ウ) 実験場所 消防科学研究所燃焼実験室  
(実験1から実験6まで同じ場所で実施)

#### イ 実験装置 (以下の実験は、すべて同じ装置を使用した)

- (ア) 静電気高圧発生装置C U O型～マリス製
- (イ) 静電電位測定器カチン-DZ3～シド静電気製

#### ウ 静電気防止・除去グッズ

- (ア) 静電気帯電防止スプレー  
ライオン製エレガード
- (イ) 静電気除去アースキー  
ブッシュセブン製

#### エ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、片手で静電気高圧発生装置に触れて静電気を帯電させ、もう一方の手に金属製の棒（銅製、長さ600mm、外径5mm）を持って、その棒の先端を静電電位測定器（スタンドにクランプで固定）に近づけ（約100mm）静電気帯電量を測定（以下、実験1から実験6まで燃焼実験室での静電気帯電量の測定方法は同じ）した。

その後、静電気が帯電した職員に向けて静電気帯電防止スプレーを8秒間噴射した時の、静電気除去効果について、さらに、静電気除去アースキーを使用、床（導電性あり。以下同じ）に接地（アースをとる）し、電気除去効果について、それぞれ静電気の帯電状況を測定した。



写真1 静電気帯電防止スプレー



写真2 静電気除去アースキー

#### オ 実験結果

静電気帯電防止スプレー噴射前後の実験結果を表1、静電気除去アースキーでアースをとる前後の実験結果を表2に示す。

表1 静電気帯電防止スプレー噴射前後の帯電量測定結果

| 回数 | 噴射前の帯電量[kV] | 噴射後の帯電量[kV] |
|----|-------------|-------------|
| 1  | 6.13        | 3.18        |
| 2  | 7.50        | 3.22        |
| 3  | 7.08        | 2.84        |

表2 アースキー使用前後の帯電量測定結果

| 回数 | 接地前の帯電量[kV] | 接地後の帯電量[kV] |
|----|-------------|-------------|
| 1  | 9.78        | 0.22        |
| 2  | 7.88        | 0.44        |
| 3  | 9.23        | 0.43        |

### (2) 実験2～素手及び現場用手袋着用で床に接地する。

#### ア 実験日時及び環境

- (ア) 実験日時 平成12年3月14日
- (イ) 実験環境 温度25℃, 湿度19%

#### イ 静電気発生装置及び静電気測定器 実験1と同様

#### ウ 服装



作業衣上下、運動靴、現場用手袋

エ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、静電気を帯電させた。

- (ア) 素手で帯電させた後、指先で瞬間的に床に触れて接地し、接地する前後の帯電状況を測定した。
- (イ) 現場用手袋を着用して帯電させた後、指先で、瞬間的、3秒間及び5秒間それぞれ床に触れて接地し、帯電状況を測定した。
- (ウ) 現場用手袋を着用し、静電気を帯電させ、その後、現場用手袋に水を掛け（手袋の内側まで全体に水が浸透するくらい）、その前後の帯電状況を測定した。



写真3 現場用手袋での静電気容量測定実験

(3) 実験2の結果

- ア 素手で床に触れて接地した測定結果(実験2エ(ア))を表3に示す。

表3 素手で床に触れて接地する

| 回数 | 接地前の帯電量[kV] | 接地後の帯電量[kV] |
|----|-------------|-------------|
| 1  | 6.10        | 0.05        |
| 2  | 5.91        | 0.03        |
| 3  | 5.10        | 0.04        |

- イ 現場用手袋で、床に触れてアースをとった測定結果(実験2エ(イ))を表4に示す。

表4 現場用手袋で床に触れて接地する

| 回数 | 一瞬      |             | 3秒後     |             | 5秒後     |             |
|----|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
|    | 帯電量[kV] | 除去後の帯電量[kV] | 帯電量[kV] | 除去後の帯電量[kV] | 帯電量[kV] | 除去後の帯電量[kV] |
| 1  | 7.30    | 0.80        | 7.10    | 0.31        | 6.10    | 0.05        |
| 2  | 5.97    | 0.88        | 5.20    | 0.03        | 6.06    | 0.01        |
| 3  | 7.70    | 0.78        | 5.90    | 0.17        | 6.15    | 0.05        |

- ウ 現場用手袋に水を掛けた前後の帯電状況を測定(実験2エ(ウ))を表5に示す。

表5 現場用手袋に水を掛けた前後の帯電量測定結果

| 回数 | 浸透前の帯電量[kV] | 浸透後の帯電量[kV] |
|----|-------------|-------------|
| 1  | 9.10        | 4.53        |
| 2  | 8.80        | 2.75        |

(4) 実験3～当局で使用している各種靴の帯電状況測定実験

ア 実験日時及び環境

- (ア) 実験日時 平成12年5月
- (イ) 実験環境 温度22℃、湿度30%

イ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、その上で現場用長靴、短靴、編上靴、耐熱服用長靴をそれぞれ履き、静電気高圧発生装置に素手で1分間触れて帯電させた後、スタイロフォーム上から床上に（絶縁性なし）移動し、帯電状況を測定した。

(5) 実験3の結果

実験結果を表6に示す。

表6 各種靴の帯電状況測定結果

| 靴の種類   | 絶縁体上での帯電量[kV] | 床上での帯電量[kV] |
|--------|---------------|-------------|
| 短靴     | 5.02          | 0.06        |
|        | 4.71          | 0.02        |
| 編上靴    | 5.73          | 0.01        |
|        | 4.06          | 0.02        |
| 現場用長靴  | 5.46          | 2.28        |
|        | 6.17          | 3.85        |
| 耐熱服用長靴 | 5.08          | 0.07        |
|        | 6.10          | 0.08        |

- (6) 実験4～各種の靴で水たまりに入り帯電状況を測定した。

ア 実験日時及び環境

- (ア) 実験日時 平成12年5月
- (イ) 実験環境 温度22℃、湿度37%

イ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、

その上で現場用長靴、短靴、編上靴、耐熱服用長靴をそれぞれ履き、素手で静電気高圧発生装置に1分間触れて帯電させ、その靴を履いたままでスタイロフォーム上に作った水たまり（内径約300mmの円に近い形の大きさと深さ20mm、床とは絶縁されている）に入った状態で、帯電状況を測定した。

(7) 実験4の結果

実験結果を表7に示す。

表7 各種靴で水たまりに入った時の帯電状況測定結果

| 靴の種類   | 水に入る前の帯電量[kV] | 水に入った時の帯電量[kV] |
|--------|---------------|----------------|
| 短靴     | 4.39          | 2.14           |
|        | 6.18          | 2.91           |
| 編上靴    | 4.02          | 1.68           |
|        | 5.72          | 1.09           |
| 現場用長靴  | 6.50          | 5.74           |
|        | 5.91          | 5.12           |
| 耐熱服用長靴 | 7.62          | 1.32           |
|        | 6.30          | 1.50           |

(8) 実験5～防火衣と耐熱服の違い

ア 実験日時及び環境

(ア) 実験日時 平成12年3月

(イ) 実験環境 温度21℃、湿度43%

イ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、その上で、防火衣及び耐熱服をそれぞれ着用し、素手で静電気高圧発生装置に1分間触れて帯電させ、水を体全体に掛かるように15ℓ刻みで7回（延べ105ℓ）掛け、それぞれその都度、スタイロフォームの上で帯電状況を測定した。

さらに、防火衣のみ着用し、素手で静電気高圧発生装置に触れ1分間帯電させ、そのまま、スタイロフォーム上で10秒間隔で120秒まで測定（静電気は徐々に自然放電される）し、帯電状況を測定した。



写真4 耐熱服着用で静電気帯電測定状況



写真5 防火衣着用で水を掛けている状況

(9) 実験5の結果

実験結果を表8、9に示す。

表8 防火衣と耐熱服に水を掛けた時の帯電状況

| バケツ(水の容量)   | 防火衣での帯電量[kV] | 耐熱服での帯電量[kV] |
|-------------|--------------|--------------|
| 0杯(除去前の帯電量) | 9.59         | 7.87         |
| 1杯(15リットル)  | 4.32         | 0.14         |
| 2杯(30リットル)  | 1.34         |              |
| 3杯(45リットル)  | 0.68         |              |
| 4杯(60リットル)  | 0.30         |              |
| 5杯(75リットル)  | 0.22         |              |
| 6杯(90リットル)  | 0.18         |              |
| 7杯(105リットル) | 0.13         |              |

表9 防火衣着用での自然放電状況測定結果

| 時間経過(秒)    | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1回目帯電量[kV] | 4.92 | 4.83 | 4.62 | 4.81 | 4.57 | 4.48 | 4.40 |
| 2回目帯電量[kV] | 5.46 | 5.28 | 5.01 | 4.77 | 4.66 | 4.51 | 4.48 |
| 時間経過(秒)    | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |      |
| 1回目帯電量[kV] | 4.25 | 4.24 | 4.00 | 4.11 | 3.87 | 3.83 |      |
| 2回目帯電量[kV] | 4.45 | 4.31 | 4.31 | 4.21 | 4.17 | 4.17 |      |

(10) 実験6～耐熱服用長靴と耐熱服用手袋着用

ア 実験日時及び環境

(ア) 実験日時 平成12年3月

(イ) 実験環境 温度21℃、湿度43%

イ 実験方法

床にスタイロフォーム（絶縁体）を敷き、その上で耐熱服（耐熱服用長靴及び耐熱服用手袋を着用～以下同じ）を着用し、静電気高圧発生装置に1分間触れて帯電させ、スタイロフォーム上から床に降りて約3秒間及び5秒間で帯電状況を測定、また、同様に帯電させ、スタイロフォーム間で耐熱服用手袋着用で床に約1秒間触れて接地し、帯電状況を測定した。

靴と手袋で5秒間と1秒間の測定時間の相違は、それぞれ、この位の時間が経過すると数値がほぼ安定し、0 [kV] に近くなり測定不能となるためである。

(11) 実験6の結果

実験結果を表10に示す。

表10 耐熱服着用時の帯電状況測定結果

| 種類     | 帯電量[kV] | 除去後の帯電量[kV] | 測定時間(秒間) |
|--------|---------|-------------|----------|
| 耐熱服用長靴 | 5.28    | 0.07        | 5        |
|        | 5.08    | 0.07        | 5        |
|        | 6.10    | 0.08        | 3        |
| 耐熱服用手袋 | 6.19    | 0.01        | 1        |
|        | 5.79    | 0.05        | 3        |
|        | 6.28    | 0.02        | 1        |

(12) 実験7～耐熱服着用での様々な場所での帯電状況実験日時及び環境

ア 実験日時 平成12年5月

イ 実験環境 温度21℃、湿度43%

(13) 実験方法

消防学校の校舎内、及び屋外の様々な場所（9箇所～複数の種類の床材上や屋外で実施した）で耐熱服を着用して、静電気高圧発生装置に耐熱服用手袋を履いて1分間触れ帯電させ、その後、その場所で10秒間隔で60秒まで測定し、静電気を自然放電させ、その帯電量を測定した。



写真6 消防学校での耐熱服着用による自然放電状況測定

(14) 実験7の結果

実験結果を表11に示す。

表11 消防学校の様々な場所で帯電状況測定結果

(単位:kV)

| 場所                   | 材質       | 時間経過(秒) |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|----------|---------|------|------|------|------|------|------|
|                      |          | 0       | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   |
| 3階コミュニケーションルーム(小上がり) | じゅうたん    | 0.50    | 0.14 | 0.11 | 0.10 | 0.08 |      |      |
| 〃(床)                 | 長尺塩ビシート  | 0.62    | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.10 |      |      |
| 3階ホール                | 〃        | 0.53    | 0.21 | 0.20 | 0.20 | 0.18 | 0.08 |      |
| 3階寮室                 | 畳        | 1.21    | 0.40 | 0.34 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.29 |
| 2階音楽隊室               | フローリング   | 1.01    | 0.39 | 0.34 | 0.34 | 0.31 | 0.30 | 0.28 |
| 1階玄関ホール              | ビニール系タイル | 3.83    | 1.43 | 1.19 | 1.16 | 1.02 | 1.00 | 0.90 |
| 〃(土足部分)              | 磁器質タイル   | 1.48    | 0.48 | 0.35 | 0.28 | 0.27 | 0.24 | 0.25 |
| 玄関横(屋外)              | 草むら      | 0.08    | 0.01 |      |      |      |      |      |
| 玄関前(屋外)              | アスファルト   | 0.50    | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.04 |      |      |

4 考 察

(1) 実験1について

実験結果から、静電気帯電防止スプレーにより帯電量は一時的に減少するが、再び、静電気は帯電してきた。この静電気帯電防止スプレーには一般的に水、アルコールの他有機溶剤等が入っており、以下の性質がある。

ア 摩擦係数を低下させることにより、摩擦時に発生する電位を小さく抑える。

イ 表面の電導性を高める。

ウ 発生した電荷を拡散させる。

以上の3つの性質があり、使用方法には、静電気が帯電する前の使用であれば静電気帯電防止効果があるとされており、静電気帯電後は、完全除去までは至らなかったが、ある程度の効果は得られた。

また、静電気除去アースキーについては、導電体であるため、他の導電体に触れることにより、静電気はアースキーを経てほとんど除去される。

この効果は静電気除去アースキーのみに限らず、導電体である金属製の棒や他の金属製の鍵等を使用することで、これと同様の効果が得られる。



## (2) 実験2について

同じ条件下で素手と現場用手袋との比較実験を行い、素手の方が静電気を除去しやすいとの実験結果が得られた。しかし、現場用手袋でも5秒間、床に触れて接地すると、静電気はほぼ完全に除去された。

また、水を掛けると、静電気帯電量の約半分以上が除去された状態となった。しかし、この状態では、まだ可燃性ガスを着火させるほどの静電気は帯電されたままである。静電気帯電量が、ある程度残ったのは、現場用手袋表面の水分量が増加して、表面の電気伝導率が上がり、若干の静電気が除去されたが、この水分も電気を通す媒体でしかなく、導電体に触れて接地しなくては静電気はこれ以上除去されないためである。

さらに、手袋を脱ぐと静電気は一旦除去されるが、再び手袋を履くと、その時の摩擦から再び静電気が帯電してしまう（現場用手袋は静電気帯電防止仕様でないため、摩擦による静電気発生電位が大きくなる）ことから、災害現場で帯電した静電気を除去させる方法としては、現場用手袋を履いたままで導電性のよい場所（例えば、土の上や建築物の金属製ドアの金属製ドアノブ及び金属部分等）に5秒間程度触れて、静電気を放電させ除去することが最も簡単で、有効であると考えられる。

## (3) 実験3について

静電気が十分に帯電している状態で、短靴、編上靴及び耐熱服用長靴は床に付いた瞬間に静電気がほとんど除去されるが、現場用長靴では帯電量の約半分しか除去されない。短靴、編上靴には靴底のゴムの部分に導電性物質（カーボンブラック、金属粉等）が含まれており、これらの靴の仕様書の中にも「静電気帯電防止性能を有する靴」と明記されている。

また、耐熱服用長靴は静電気帯電防止仕様ではないが、長靴の先しんに金属プロテクターがあり、この靴の材質はアルミ粉とゴムを練り合わせたものを使用しているため、電気が通りやすくなっており、静電気が放電されるためである。

現場用長靴も帯電防止仕様になっていないが、耐熱服用長靴と異なり、アルミ粉はゴムの表面の塗料に混ぜ合わせて塗られているのみであることから、静電気が帯電した場合、除去されにくいものである。

以上のことから、この4種類の靴の中では、

現場用長靴が、静電気帯電の場合、除去されにくい結果が得られた。

## (4) 実験4について

現場用長靴は静電気を除去しにくい。これは、実験3と同様の理由からである。

しかし、水を掛けた方が静電気除去されるのは、水を掛けることによって、水自身がその容量分の静電気を吸収して流れ落ちたもので、その水が導電体に接触しなくても、帯電した静電気が多少放電されるからである。

## (5) 実験5について

耐熱服はバケツ1杯(15ℓ)の水で静電気を、ほとんど除去できたが、防火衣ではバケツ7杯(105ℓ)の水でようやく、静電気を除去できた。これは、耐熱服用長靴が現場用長靴よりも静電気を除去しやすいため、バケツ1杯の水で静電気を完全に除去することができたものと考えられる。

また、防火衣でも多くの水を掛けることにより、この水が媒体となって導電体（この場合は床）に接触することで静電気が除去されるためである。

## (6) 実験6について

耐熱服用手袋は約1秒間で、耐熱服用長靴では約5秒間で静電気がほとんど除去された。

また、実験2より現場用手袋は約5秒間で静電気が除去されていた。これは、耐熱服用手袋の表面はアルミ粉で覆われており、アルミ粉は導電性物質であることから静電気が除去されやすいと考えられ、さらに、両方の手袋の材質を比較すると、耐熱服用手袋の繊維の方が現場用手袋のゴムより電気が流れやすいことから、耐熱服用手袋が耐熱服用長靴や現場用手袋よりも静電気を除去しやすい結果が得られたものである。

## (7) 実験7について

測定場所の床の材質や地盤面等の違い、あるいは、導電性の床になっていない場所もあり、帯電防止用靴でも静電気は除去されない場合があったが、草むら及びアスファルトでは静電気は除去された。

また、現場用長靴では、草むら及びアスファルトで同様の実験を行ったが、これらのような導電体に接触しても静電気は除去されなかった。

## 5 まとめ

日常生活及び現場活動において導電体（地面）と常に接地している靴が帯電防止になっているか、静電気が除去されやすいかどうかの目安となる。

静電気は、温度や湿度等の環境条件によって帯電状況が変化し、一概には言えないが、これまでの実験結果から、次のことが言える。

- (1) 帯電防止仕様である靴（編上靴、短靴）は、帯電防止仕様されていない靴（現場用長靴）よりも静電気を帯電せず、静電気は除去されやすい。
- (2) 現場用長靴は静電気帯電防止仕様でないため、静電気は除去されにくい。  
また、耐熱服用長靴は静電気帯電防止仕様ではないが、導電性物質が混入されているため、現場用長靴と比較して静電気が除去されやすい。
- (3) 手で導電体に触れて静電気を除去する場合は、現場用手袋より素手の方が除去されやすい。ただし、現場用手袋の場合でも、5秒間導電体に触れていると、ほとんど除去される。
- (4) 現場用手袋より耐熱服用手袋の方が静電気は除去されやすい。
- (5) 防火衣等に水を掛けることによって電気が通電しやすくなり、静電気は多少除去されるが、導電体に接地しなければ、それ以上の静電気除去はあまり期待できない。
- (6) 建築物の中で、導電性でない床では、帯電防止仕様の靴でも静電気は帯電する。  
導電性の床の判断は難しいため、現場においては、金属製のドアの金属製ドアノブや建築物の一部で金属製の部分等に少しでも触れることが可能であれば、触れるように心掛けること、あるいは屋内進入前の屋外で土やアスファルトに触れて、少しでも静電気を除去した方が賢明であると思われる。
- (7) 防火衣に比べて耐熱服は活動しにくい、静電気帯電防止に関しては耐熱服の方が効果がある。
- (8) 静電気除去グッズの静電気帯電防止スプレーについては、静電気が帯電する前の使用が有効とされているため帯電後の使用では、多少は除去されるが、それほど効果が見られないため過信は禁物であると思われる。

以上の結果から、ガス漏れ等の災害現場では、常に静電気除去について心掛けるように努め、導電性の部分に触れられる機会があれば、

触れるようにして、静電気を少しでも放電させることが、効果があり、大切であることが実験から得られた。

また、水を掛ける方法も、掛けないよりは良い結果が得られたため、屋内進入の際、水損防止の問題もあるが、噴霧注水による援護注水での進入は、内部の湿度を上げ、静電気を発生しにくい環境にする働きがあり、静電気帯電防止には有効である。

## 6 おわりに

静電気発生メカニズムは複雑であり、温度や湿度等によっても変化があり、火災現場と同様に二度と同じ状況はありえないことから、常に静電気の放電により、引火・爆発の危険性があることを念頭に入れて防ぎよ活動を行う必要がある。

当研究所においても、さらに実験、分析を重ねた研究が必要であるが、今回の実験により静電気基礎データを蓄積することができた。

### 【参考文献】

- 1) 「静電気安全指針」労働省産業安全研究所
- 2) 「静電気の基礎と帯電防止技術」日刊工業新聞社
- 3) 「静電気対策マニュアル」オーム社出版局
- 4) 「静電気」培風館
- 5) 「消防科学研究所報1999 No.6」札幌市消防局消防科学研究所

# 噴霧注水による排煙効果に関する研究

Research on the Effects of Spraying Water on Smoke Control

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

## 要 約

一般住宅の8畳間を想定して、噴霧注水の噴霧角度の違い等による排煙効果の違いを一酸化炭素濃度で測定した。

この結果、当市で使用しているNM-II噴霧ノズルは、ノズル圧力が0.3MPaの場合、噴霧角度30度が最も排煙効果が高かった。

## Summary

Differences in the effects of spraying water on smoke control, with different spray angles and other variables, were studied by measuring the density of carbon monoxide in an eight tatami-mat room of an ordinary house.

In the case of the NM-II spray nozzle used by our city, the smoke control effect was most remarkable when the spraying angle was 30 degrees with a nozzle pressure of 0.3 Mpa.

## 1. はじめに

近年、建物火災において発生する煙や有毒ガスは、消防活動を行う上で、如何に抑制処理するかは災害現場活動の成否にかかわる重要な課題である。

この抑制には、外気開口部の自然換気、空調その他換気設備の利用及び送風や噴霧注水による強制排出等がある。

今までに、濃煙抑制方策としては、空調その他換気設備の利用による研究の外、噴霧注水時に化学物質の添付や帯電をさせた場合の消煙の研究<sup>1)</sup>や高圧噴霧注水(吐出圧力20MPa)時の消煙の研究<sup>2)</sup>等が実施されている。また、現在はレーザー光を利用した濃煙での可視化の研究等が実施されているが、現実には発生している災害に対応する施設・装備としては、十分とはいえない現状といえる。

また、もっとも身近にあるノズルを利用した噴霧注水は、高速噴霧注水(ノズル圧力0.3MPa(2 kgf/cm<sup>2</sup>), 噴霧角度10度~30度が原則)、中速噴霧注水(ノズル圧力0.6MPa以上, 噴霧角度30度以上が原則)や低速噴霧注水(フォグ注水)に区分

されており<sup>3)</sup>, これらによる煙抑制の研究としては、平成11年度に東京消防庁で実施した噴霧放水時に生じる風量の測定結果について<sup>4)</sup>の研究がある。

表1 東京消防庁の実験結果

| ノズル種別           | ノズル圧力(MPa) | 噴霧放水に生じる風量(m <sup>3</sup> /分) |              |              | 放水量(リットル/分)  |     |      |     |
|-----------------|------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|-----|
|                 |            | 60度                           | 90度          | 120度         | 60度          | 90度 | 120度 |     |
| 実験1<br>21型改良ノズル | 0.3        | 134<br>(233)                  | 109<br>(186) | 109<br>(182) | 575          | 587 | 599  |     |
|                 | 0.6        | 194<br>(255)                  | 159<br>(212) | 142<br>(188) | 761          | 751 | 756  |     |
|                 | 軽量ノズル      | 0.3                           | 150<br>(275) | 128<br>(234) | 91<br>(171)  | 546 | 547  | 532 |
|                 |            | 0.6                           | 191<br>(263) | 180<br>(249) | 125<br>(179) | 725 | 722  | 698 |
| 実験2<br>21型改良ノズル | 0.6        | -                             | 178<br>(237) | 97<br>(128)  | -            | 750 | 757  |     |
|                 | 軽量ノズル      | 0.6                           | -            | 188<br>(258) | 120<br>(169) | -   | 727  | 710 |

\* ( )内は、放水機に対する送風機の割合であり、放水量リットル/分あたりに生じる風量(m<sup>3</sup>)を示す。

表1はこの結果を表したものであり、ノズル圧力は0.3MPaよりも0.6MPaの方が風量は約1.3倍~1.6倍、噴霧角度は60度より大きくすると減少するという結果になったが、60度未満が実施されていない。

そこで、当市で使用しているNM-II型噴霧ノズルでの高速噴霧注水時の噴霧角度の排煙効果に対する影響についての実験を実施した。

\* 消防科学研究所

## 2 実験概要

### 2.1 日時

平成11年8月5日～平成11年12月10日

### 2.2 場所

西区八軒10条西13丁目  
札幌市消防学校 車両車庫

### 2.3 実験方法

写真1は実験の状況を撮影したもので、車両車庫内に図1に示す長さ540cm、幅270cm、高さ289cmの燃焼実験ユニットを入れて風の影響を取り除き、この燃焼実験ユニット内で放水測定等を実施した。

放水はNM-II型噴霧ノズルを固定して、図1に示す23cm四方の小窓から、燃焼材鎮火後、1分間実施した。



写真1 実験の状況

### 2.4 燃焼材

各実験は、燃焼材としてヘプタン2ノズルをステンレス角型バット（幅20cm、長さ30cm、深さ10cm）に入れ、使い捨て着火器で着火させると同時に一酸化炭素濃度を高めるために発煙筒2本（細谷火工株式会社製、白色煙）を焚いたもので、写真2はこの状況を撮影したものである。



写真2 燃焼の状況

### 2.5 実験条件

#### (1) 実験1

ノズル圧力は0.3MPa、噴霧角度は、棒状・30度・60度・90度・120度として、排出側の開口部を図2(1)に示すように高さ108cmの位置に縦23cm、横23cmとして実施した。

#### (2) 実験2

実験1のノズル圧力で、噴霧角度を60度と

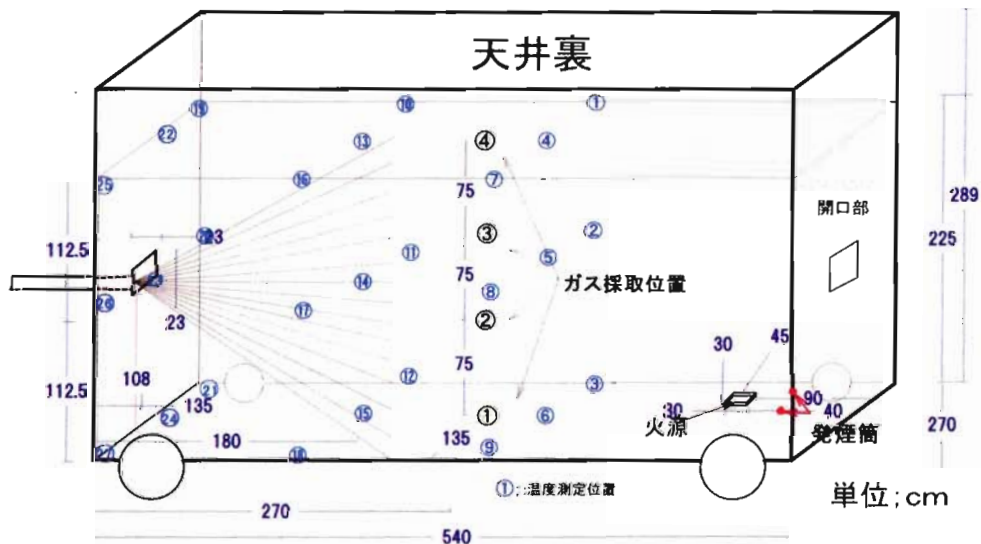


図1 実験模型概略図

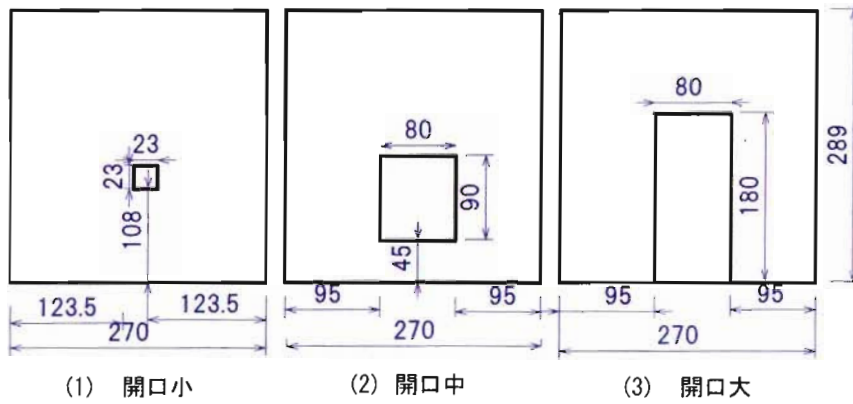


図2 排出側の開口部の状況

して開口部の大きさを図2に示す3種類実施して、開口部の影響を調査した。

### 3 実験結果及び考察

#### 2.6 測定

排煙効果の測定には、煙と同様の挙動を示すといわれている一酸化炭素を、燃焼実験ハウス中央部の図1に示す4箇所測定した。サンプリング配管は、燃焼実験ユニット内が銅管(外型8mm, 内径5mm), 外部がシリコン管とし、燃焼排ガス分析計(テストターム株式会社製, testo33)で測定して、パソコンに燃焼開始から1秒毎に収録した。

また、内部の温度は、0.5mmシース型K熱電対を図1に示す27箇所設置して測定した。この熱電対は、コルゲートチューブ内に入れてアルミテープで密閉して水濡れによる出力の影響を防止した。

#### 3.1 放水直前の内部の状況

##### (1) 燃焼状況

ヘプタンの燃焼は、点火後21分04秒~24分10秒の間で鎮火した。また、発煙筒は3分程度で発煙がほぼ終了した。

##### (2) 一酸化炭素濃度

図3は、実験1の噴霧角度30度での一酸化炭素濃度の変化を示したものである。最大で③の床面から150cmの位置が290.6ppmとなっており、グラフの傾向は他の実験でも類似した結果となった。

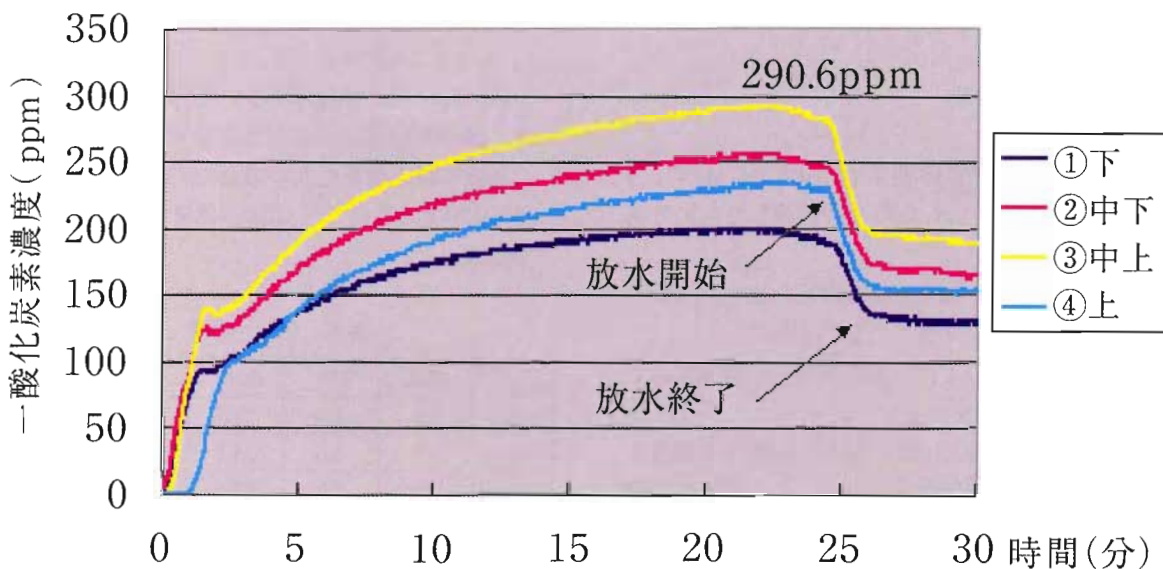


図3 噴霧角度30度の一酸化炭素濃度変化



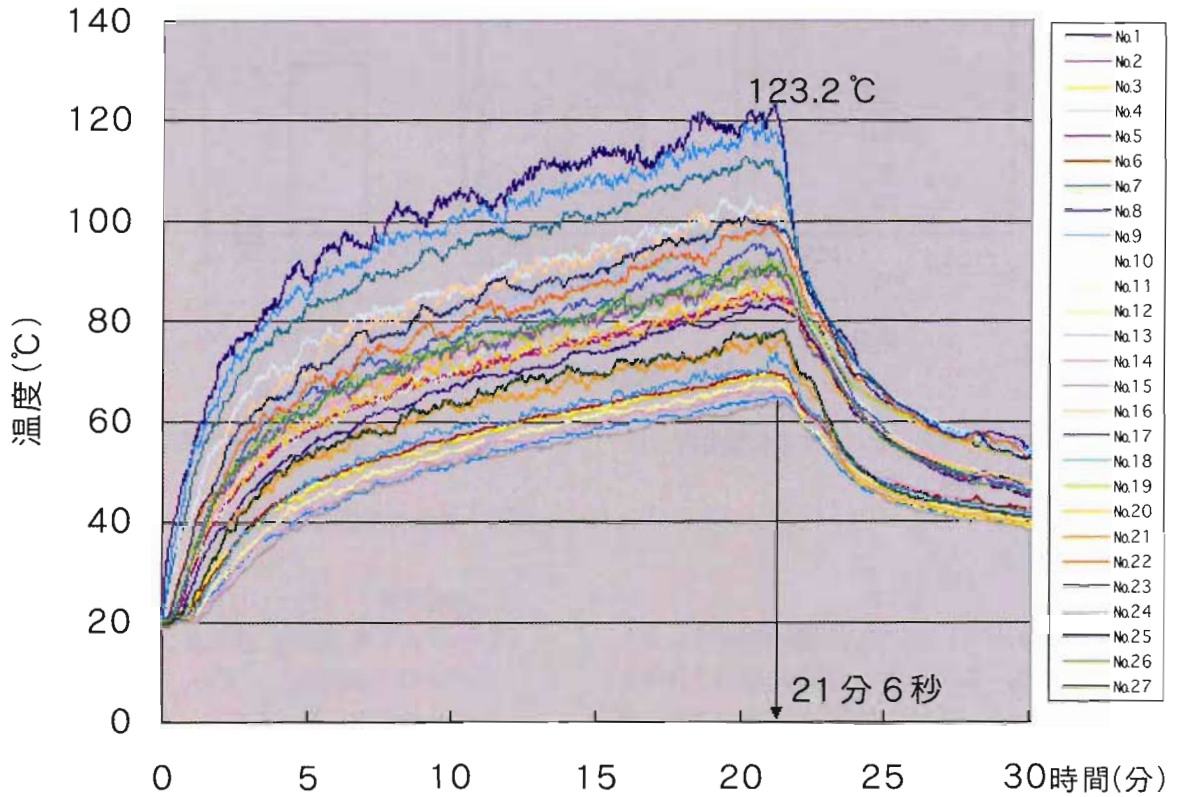


図4 内部の温度変化

(3) 温度変化

図4は、実験1の放水を実施しない場合の温度変化を表したものである。

この結果、放水前の測定位置での最高温度は天井付近で123.2℃、最低温度は火源と反対の床面で63.8℃となっており、グラフの傾向は他の実験でも同様である。

また、放水時の温度変化については、熱電対の保護を強化して数回実験を実施したが、水濡れにより出力に影響が出てしまった。

減少率の違いは特に見られなかった。

表2 一酸化炭素の減少率 (噴霧角度の違い)

| 放水状況<br>測定位置 | 放水なし | 棒状   | 30度  | 60度  | 90度  | 120度 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| ① (H=0cm)    | 5.5  | 17.2 | 27.0 | 19.7 | 21.2 | 12.7 |
| ② (H=75cm)   | 6.2  | 19.3 | 28.1 | 17.5 | 15.8 | 14.9 |
| ③ (H=150cm)  | 5.9  | 17.9 | 25.5 | 15.0 | 14.3 | 12.4 |
| ④ (H=225cm)  | 6.1  | 18.5 | 25.0 | 18.7 | 14.7 | 13.6 |
| 平均           | 5.9  | 18.2 | 26.4 | 17.7 | 16.5 | 13.4 |

(単位:%)

3. 2 実験1の結果

表2は、排煙側の開口部を図2に示す(1) (23cm×23cm)にした時の値を示したものである。

表の中の値は、放水直前の濃度と放水終了後2分経過した値とを比較したものである。

噴霧角度の違いでは、30度が最も一酸化炭素が減少している。

次いで棒状が18.2%減となり、30度より開度を上げると減少する結果となった。この減少する割合を相関分析すると、30度開口するに従って40%減少という結果になり、相関係数も0.93という非常に高い値となった。また、測定高の違いによる

表3は、表2の放水がない場合の値を基準にして、減少率の違いを示したもので、30度で放水した場合には、放水しない場合の4.5倍の減少、最も悪い120度の場合でも2.3倍の効果があるという結果となった。

表3 放水の効果

| 放水状況<br>測定位置 | 棒状  | 30度 | 60度  | 90度  | 120度 |
|--------------|-----|-----|------|------|------|
| ① (H=0cm)    | 3.1 | 4.9 | 27.0 | 19.7 | 12.7 |
| ② (H=75cm)   | 3.1 | 4.5 | 28.1 | 17.5 | 14.9 |
| ③ (H=150cm)  | 3.0 | 4.3 | 25.5 | 15.0 | 12.4 |
| ④ (H=225cm)  | 3.0 | 4.1 | 25.0 | 18.7 | 13.6 |
| 平均           | 3.1 | 4.5 | 26.4 | 17.7 | 13.4 |

(単位:%)

### 3. 3 実験 2

表 4 は、表 2 同様に一酸化炭素の減少率を表したものである。

表 4 一酸化炭素の減少率と開口部の大きさの関係

| 放水状況<br>測定位置 | A (23*23cm) | B (80*90cm) | C (80*180cm) |
|--------------|-------------|-------------|--------------|
| ① (H=0cm)    | 19.7        | 30.4        | 35.1         |
| ② (H=75cm)   | 17.5        | 29.6        | 32.4         |
| ③ (H=150cm)  | 15.0        | 26.4        | 27.1         |
| ④ (H=225cm)  | 18.7        | 31.3        | 30.6         |
| 平均           | 17.7        | 29.4        | 31.3         |

(単位:%)

燃焼や煙の出入りに影響する開口部の因子を開口因子と呼び、一般的には $A\sqrt{H}$ により表されている。<sup>5)</sup>

ここで、Aは開口面積、Hは開口高さを示している。

そこで、図 5 は開口因子 ( $A\sqrt{H}$ ) と一酸化炭素の減少率についての関係を表したものである。

開口因子が 3 点の結果ではあるが、開口面積が  $0.7\text{m}^2$  より大きくなると、それ以前よりも減少率が低下する傾向となった。

### 4 噴霧注水時の水の当たる位置

図 6 は重力落下を無視した場合の水の当たる場所を示したものである。

これによると、天井高が 225cm の一般的居室では、噴霧角度 120 度ではノズル前方 65cm、噴霧角

度 30 度ではノズル前方 420cm の位置で天井や床面、又は壁面に水がぶつかるようになることが分かる。

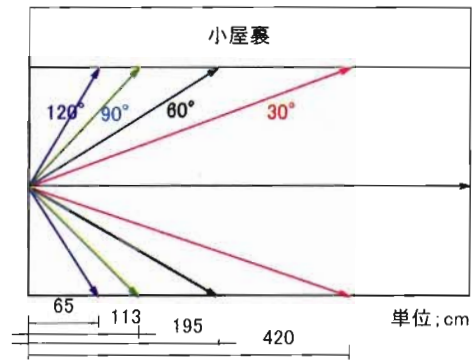


図 6 噴霧放水時の水の当たる位置

### 5 側面上の開口による排煙

ここでは、放水とは別に、密閉空間で 1 箇所開口部を設ける場合の位置の違いによる排煙効果の違いについて求めてみる。

図 7 のように火災空間の側壁に十分大きな開口があれば、これから煙が排出されるので、ある一定の高さで煙層の降下は停止する。定常状態を考えることにすれば、この高さは開口からの空気流入速度  $\dot{m}_d$ 、煙の排出速度  $\dot{m}_s$  及び火災ブルームを通じて煙層に流入する質量流速  $\dot{m}_p$  が

$$\dot{m}_d = \dot{m}_s = \dot{m}_p \quad (1)$$

を満たす高さである。この高さを Z とすれば、 $\dot{m}_p$  は  $\dot{m}_p = C_m (\rho_a^2 g / C_p T_a)^{1/3} Q^{1/3} (Z + Z_0)^{5/3}$  (2) ここに Z は火源面と煙層下端との距離、 $Z_0$  は仮想

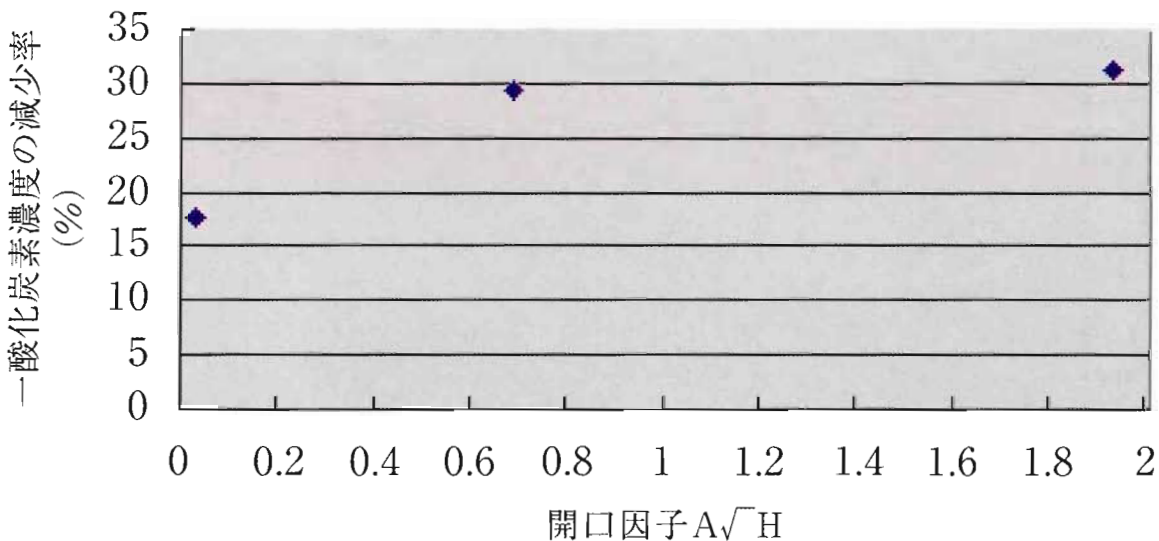


図 5 一酸化炭素の減少率 (開口の違い)

## 6 まとめ

8畳の居室内の火災を想定して、ノズル圧力0.3KPaで1分間放水実験を実施した結果、以下のことが検証出来た。

- (1) 排煙効果は、噴霧角度30度が最も高い。
- (2) 1分間30度で放水した場合には、放水しない場合の4.5倍の減少が期待できる。
- (3) 1分間放水を実施すると、最低でも実施しない場合の2.3倍の排煙効果がある。
- (4) 開口部の影響については、0.75m<sup>2</sup>(ドア半分程度)までの減少率が、これ以上の開口部面積の場合よりも大きくなる傾向にある。

## 7 あとがき

今回の実験を実施するにあたり、当初は照度計による煙濃度の測定と熱電対による温度測定を実施したが、多くの障害により測定を諦め、煙の流れと同じ動きをされると言われている一酸化炭素濃度により排煙効果を測定した。

しかし、シリカゲルや脱脂綿によりろ過して吸引したものの吸引ポンプが汚れにより数回で吸引力が低下してしまい多くの実験が実施出来なかった。

本市では、排煙を行う時の噴霧注水は、ノズル圧力0.6MPa以上、噴霧角度は60～70度としている<sup>6)</sup>が、条件次第によっては、今回の実験のように噴霧角度30度が最もよい結果になることや、条件を変えた場合の効果の違いがはっきり分かり、今後これに類する研究を進め、実際に消防活動上の基準にはされているが、その効果が判然としないものの検証を進める必要があることを実感した。

### 【参考文献】

- 1) 伏見 英・関口 研「噴霧消煙に関する基礎実験結果について」火災146 (Vol.33 No.5983) pp13・20
- 2) 京都市消防局研究課「超高圧噴霧による消煙実験」火災128 (Vol.30 No.5 1980) 128pp26・33
- 3) 東京消防庁警防部監修「新消防戦術」No.2 pp2083-2085
- 4) 東京消防庁消防科学研究所報 平成11年pp80・83
- 5) 田中 孝義「建築火災安全工学入門」日本建築センター (1992.7)
- 6) 札幌市消防局「警防活動要領Ⅰ」 pp251-254



# 濃煙熱気下における消防隊員の安全管理に関する研究

－ 温度管理用示温材（サーモラベル）に着目して －  
－ Focusing on Heat-sensitive Material (Thermo Label) for Temperature Control －

菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki

## 要 約

火災現場の濃煙熱気内において活動する消防隊員自らが、活動環境の温度を把握することは、安全管理上必要である。本実験では、安価に市販されている温度管理用示温材に着目し、燃焼実験ハウスを使用して、防火衣に貼付した温度管理用示温材の耐熱性及び耐水性等について実験を行った。その結果、温度管理用示温材の有効性が確認できた。

## Summary

For safety reasons, it is necessary for fire fighters to understand the temperature of their working environment when they are engaged in the smother and heat conditions of a fire site.

This experiment focused on heat-sensitive material for temperature control which was commercially available at a reasonable price. The heat resistance, waterproofness and other properties of the material were tested in a unit house by attaching the material to a fire fighter's uniform.

As a result, the effectiveness of the heat-sensitive material was confirmed.

## 1 はじめに

火災現場において消防隊員は、濃煙熱気の建物への内部進入時、防火衣や空気呼吸器の面体等を装着しているが、自分自身が防ぎよ活動している場所の温度が何度位であるかは確認できず、体感で熱気を感じているのが現状である。現行の装備品に加え温度計等を携帯して、防ぎよ活動中に温度確認を行うことは非常に困難である。

さらに、当局では空気呼吸器は、ライフゼムプレッシャーデマンド型空気呼吸器のL2型（最高充填圧力14.7MPa）からL30型（最高充填圧力29.4MPa）へ順次更新されていることに伴い、今まで以上に火災現場での濃煙熱気内における防ぎよ活動時間の延長が考慮される。

また、東京消防庁消防科学研究所の研究データによると、火災現場での湿度は個々の差はあるものの、普通80%以上にはなり、飽和状態に近い高湿度環境下での熱中症（高温多湿の室内での作業時の呼吸困難や意識障害等の症状）及び火傷の恐れも考えなければならないとされている。

この熱中症や熱傷防止の目安としての温度は、暴露時間にもより異なるが、50℃までは熱中症

の発生危険領域と考えられ、また、55℃付近が熱中症と熱傷の発生境界領域、60℃以上は熱傷発生危険領域と見ることができるとされている。

以上のことから、火災防ぎよ活動の安全性を考えると、火災現場で自分自身が活動している環境温度の把握が必要である。

そこで、温度が変色によって簡単に判断できる工業用の温度管理用示温材が火災現場で使用可能か否かについて実験を行った。なお、温度管理用示温材として、日油技研工業株式会社製のサーモラベル（1種類）、サーモシート（2種類）、サーモワッペン（1種類）の合計4種類を使用した。（以下この温度管理用示温材を「サーモラベル」という。）

## 2 実験の概要

燃焼実験ハウス（札幌市消防科学研究所報No.5「噴霧注水による排煙効果について」で使用～写真1参照）の中に防火衣上衣を掛け（写真2参照）、各種サーモラベルを貼付し（床面からの高さ500mmから900mmの位置～写真3参照）、ヘプタン2リットルを燃焼させ、さらに、燃焼実験ハウス内へ放水（50mmホース1本、ポンプ圧力0.29MPa、ノズル噴霧角度60度で30秒間）し、熱、水及び水圧（衝撃）に対する状況を確認した。

\* 消防科学研究所

点熱源距離,  $\rho_a$ ,  $T_a$ 及び $C_p$ はそれぞれ空間内の下部層空気密度, 温度及び比熱,  $g$ は重力加速度である。また, 定数 $C_m$ は静穏な空気環境のもとでは0.21とされるが, 火源と開口からの空気流入の条件によっては火災プルームが乱れるので,  $C_m > 0.21$ となることも少なくない。

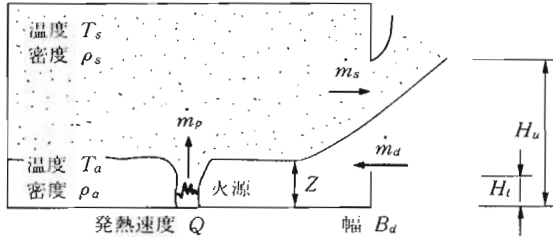


図7 側面上に開口がある場合の煙層定常高さ予測(1)

次に, 下部層の温度 $T_a$ は外気温度 $T_\infty$ と同じと仮定すれば, 開口部では図8に示したような圧力差分布が形成される。これを考慮に入れば,

$$\dot{m}_s = 2/3 a B_d (2 g \rho_s \Delta \rho)^{1/2} (H_u - Z - \Delta p / \Delta \rho g) \quad (3)$$

および

$$\dot{m}_d = a B_d (Z - H_l) (2 \rho_a \Delta p)^{1/2} + 2/3 a B_d (2 g \rho_a \Delta \rho)^{1/2} (\Delta p / \Delta \rho g)^{3/2} \quad (4)$$

ただし,  $\rho_a$ ,  $\rho_s$ は空気層, 煙層の密度,  $\Delta \rho = \rho_a - \rho_s$ , また $H_u$ ,  $H_l$ ,  $H_d$ は, それぞれ開口部の上, 下端高さ及び開口幅である。<sup>5)</sup>

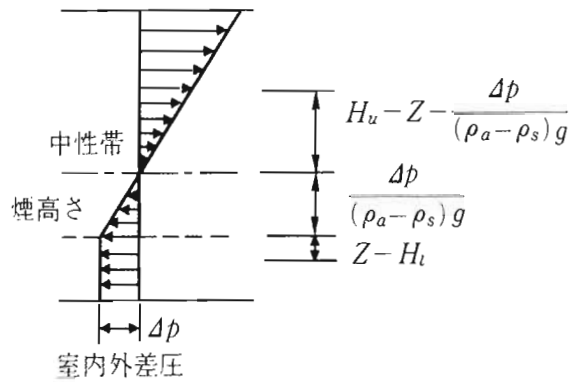


図8 側面上に開口がある場合の煙層定常高さ予測(2)

(4)の式から, 本実験の燃焼状況で開口流速を求めたのが, 図9である。

この図では, 開口部の幅及び高さを90cm, 他の条件については今回の実験条件で算出した結果を表したもので, X軸には開口部下端の高さ, Y軸が開口流速を示したものである。

これによると, 一般的には上部を開口したほうが排煙能力が高いと思われているが, 開口部が1箇所しかない場合には, 天井高が2.7mの場合では, 底辺が床面から1.1mの位置(中央部が床面から1.55m)の時に最も開口流量が多いという結果となった。

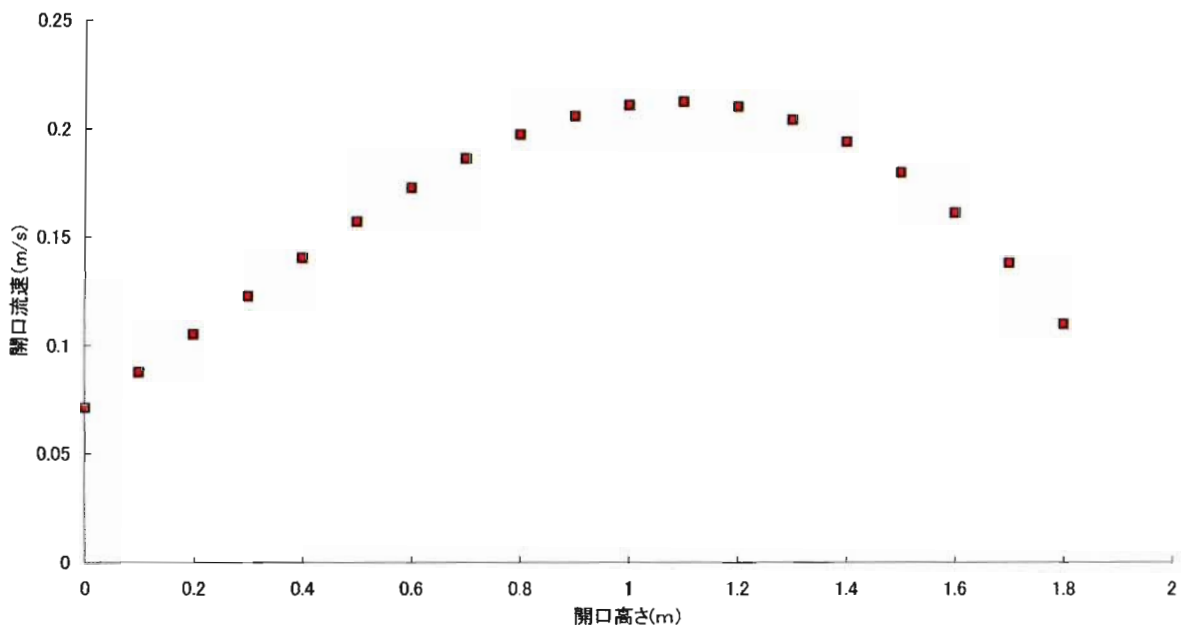


図9 開口部の高さとの開口流速



写真1 燃焼実験ハウス外観



写真2 燃焼実験ハウス内に防火衣上衣を掛けた状況



写真3 各種サーモラベルの貼付状況

なお、燃焼剤として使用したヘプタンは、燃焼時の黒煙はガソリンや灯油よりも少なく、燃焼実験ハウス外部からの観察が、ガソリンや灯油燃焼よりも長時間可能であり、また、灯油と異なり常温で簡単に引火する等の理由によりヘプタンを使用した。

※ヘプタン～危険物第4類第1石油類（非水溶性）

引火点 -1℃  
 沸点 98.4℃  
 比重 0.684  
 爆発範囲 1.1～6.7%  
 性質 常温で引火する。燃焼時の黒煙は同じ第1石油類のガソリンよりは少ない。

### 3 実験内容

#### (1) 実験場所

教務課車庫～車庫内に燃焼実験ハウスを搬入し、実験を行った。

#### (2) 実験日時

平成11年9月21日(火) 10時00分～17時00分  
 平成11年9月22日(水) 9時00分～17時00分

#### (3) サーモラベル

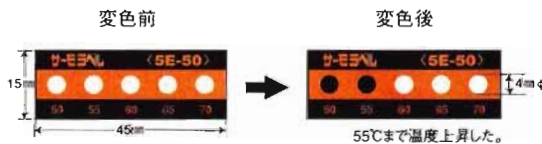
耐熱耐久性（製造メーカーの取扱い説明書による目安として）

- ア 耐熱性 90℃連続加熱1,000時間
- イ 耐候性 3年
- ウ 耐水性 常温の水中に1か月
- エ 耐油性 常温の油中に1か月
- オ 表面仕上げ ポリエステルフィルム

#### (4) 実験に使用したサーモラベルの種類

- ア サーモラベル5E型～不可逆性（図1参照）  
 50℃～70℃、75℃～95℃の2種類  
 価格～20枚入り 4,400円

#### 形状

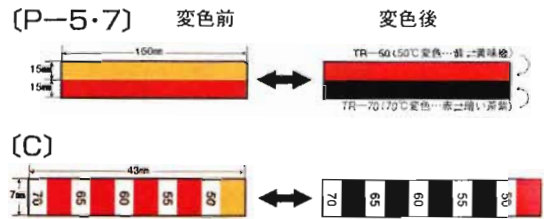


| 記号     | 温度組合せ℃                      | 原色→変色 | 変色精度  |
|--------|-----------------------------|-------|-------|
| 5E-50  | 50 - 55 - 60 - 65 - 70      | 白→黒   | ±2℃   |
| 5E-75  | 75 - 80 - 85 - 90 - 95      |       |       |
| 5E-100 | 100 - 105 - 110 - 115 - 120 |       |       |
| 5E-125 | 125 - 130 - 140 - 150 - 160 |       |       |
| 5E-170 | 170 - 180 - 190 - 200 - 210 | 淡黄→黒  | ±2~3℃ |
| 5E-210 | 210 - 220 - 230 - 240 - 250 | 淡黄→黒  | ±3℃   |

15×45mm 20枚入り

図1 サーモラベル5E型

- イ サーモシートP-5・7～可逆性（図2参照）  
 50℃～70℃の1種類  
 価格～30枚入り 5,100円
- ウ サーモシートC～可逆性（図2参照）  
 50℃～70℃の1種類  
 価格～100枚入り 6,000円



| 記号    | 変色温度℃          | 包装単位             | 精度  |
|-------|----------------|------------------|-----|
| P-5・7 | 50-70          | 30mm×150mm 30枚入り | ±2℃ |
| C     | 50-55-60-65-70 | 7mm×43mm 100枚入り  | ±2℃ |

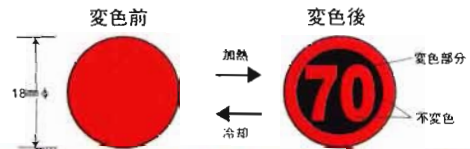
※変色、色調は数字サーモワッペンに準じます。

図2 サーモシートP-5・7型, C型

#### エ 数字サーモワッペン～可逆性（図3参照）

50℃、55℃、60℃、65℃、70℃の5種類  
 価格～各24枚合計 120枚入り 5,400円

- ※1 不可逆性～温度上昇により変色。温度下降しても復色しない。
- ※2 可逆性～一定温度以上の温度上昇で変色温度下降により復色



| 記号     | 変色温度℃ | 低温色    | 高温色    | 精度  |
|--------|-------|--------|--------|-----|
| WR-40  | 40    | 赤味黄    | 赤味橙    | ±2℃ |
| WR-45  | 45    | 黄味橙    | 明るい黄味赤 |     |
| WR-50  | 50    | 黄      | 黄味橙    |     |
| WR-55  | 55    | 黄味赤    | 暗い茶紫   |     |
| WR-60  | 60    | 明るい黄味赤 | 暗い茶紫   |     |
| WR-65  | 65    | 赤      | 暗い茶紫   |     |
| WR-70  | 70    | 赤      | 暗い茶紫   |     |
| WR-組合せ | 50～70 |        |        |     |

●WR-40～70は、同温度のもの120枚入り  
 ●WR-組合せは、50、55、60、65、70℃各24枚合計120枚入り  
 1ケース18mmφ120枚入り

図3 数字サーモワッペン

#### (5) 実験方法

燃焼実験ハウス内でステンレス製のバット（300mm×200mm×100mmH）内にヘプタンを入れ燃焼させた。

このバットの中心と防火衣に貼付したサーモラベルの離隔距離は約2,300mmである。

なお、実験は次の7種類実施した。

#### ア 実験1

ヘプタン2ℓを完全燃焼させた後のサーモ



ラベルの変化を確認した。

イ 実験2

実験1終了後に再びヘプタン2リットルを完全燃焼させた後のサーモラベルの変化を確認した。

ウ 実験3

ヘプタンを10分間燃焼後、30秒間放水（ポンプ圧0.29MPa,50mmホース1本、噴霧角度60度）した後のサーモラベルの変化を確認した。

エ 実験4

実験3終了後にサーモラベルに付いた水分を拭き取り、再度ヘプタン2リットルを完全燃焼させた後のサーモラベルの変化を確認した。

オ 実験5

実験3終了後にサーモラベルに付いた水分をそのままにして、ヘプタン2リットルを完全燃焼させた後のサーモラベルの変化を確認した。

カ 実験6

実験4でヘプタンの再燃焼時間を10分間として、その後続けて30秒間放水した後のサーモラベルの変化を確認した。

キ 実験7

実験5でヘプタンの再燃焼時間を10分間として、その後続けて30秒間放水した後のサーモラベルの変化を確認した。

#### 4 実験結果

ヘプタンの燃焼により少しずつ黒煙が発生し、燃焼開始後1分前後で燃焼実験ハウス内は外部から視認できなくなった。

(1) 実験1の結果について

1回目の燃焼終了後、燃焼実験ハウスの開口部を開けて各サーモラベルを確認したところ75℃までの表示範囲のサーモラベルがそれぞれ温度表示（写真4、5参照）された。



写真4 実験1のサーモラベルの温度表示状況1



写真5 実験1のサーモラベルの温度表示状況2

なお、開口部を開けたことにより燃焼実験ハウス内の温度が下がったため、可逆性のサーモラベルは復色し、不可逆性のサーモラベルは、そのまま温度表示（写真6参照）されていた。

また、約75℃の温度に対してすべてのサーモラベルの接着性は実験開始時と比較して変化は見られず、温度下降後も変化は見られなかった。

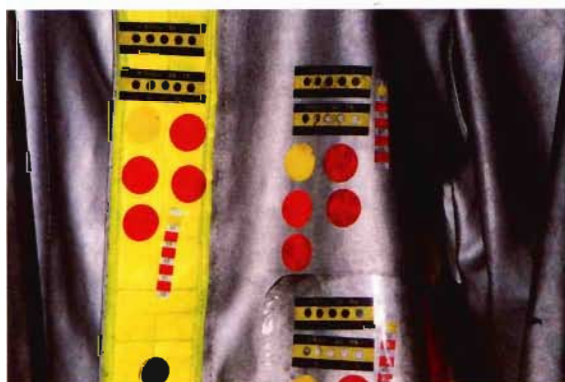


写真6 実験1のサーモラベルの温度表示状況3

(2) 実験2の結果について

実験1終了後、そのまま再びヘプタン2リットルを完全燃焼させたが、サーモラベルは実験1同様の結果が得られた。

(3) 実験3の結果について

ヘプタンを10分間燃焼させその後、30秒間噴霧放水後のサーモラベルの表示を確認した。

サーモラベルは燃焼実験ハウス内は放水によって冷却され、温度が下がったため、可逆性のサーモラベルは復色していたが、不可逆性のサーモラベルは、そのまま温度表示されていた。

なお、すべてのサーモラベルの表示は放水時の水濡れに対しての影響は特に見られなかった。

また、サーモラベルの接着性についても、水分や水圧の衝撃等に対して実験開始時と比較し



て変化は見られず、さらに、時間経過後も変化は見られなかった。

#### (4) 実験4の結果について

実験3終了後サーモラベルの表面水分を拭き取り、再びヘプタンを燃焼させた。

燃焼終了後、可逆性のサーモラベルを確認したところ、実験1終了時と同様に75℃までの表示範囲のサーモラベルが温度表示されていた。

なお、その後の温度が下がった場合も実験2と同様にこれらのサーモラベルは復色し、不可逆性のサーモラベルは、そのまま温度表示されていた。

また、再燃焼に対しても、すべてのサーモラベルの接着性は実験開始時と比較して変化は見られず、さらに、時間経過後も変化は見られなかった。

#### (5) 実験5の結果について

実験3終了後サーモラベルの表面水分をそのままにして（サーモラベルには水滴が付着している状態）、再びヘプタンを燃焼させた。

燃焼終了後、可逆性のサーモラベルを確認したところ、防火衣の上部に貼ったサーモラベルは65～70℃まで、また、防火衣の下部に貼ったサーモラベルは55℃（写真7参照）までの範囲がそれぞれ温度表示されていた。この現象は、燃焼実験ハウス内の温度が、床面からの高さの相違により異なることと、このサーモラベルは実験3終了後の水滴が、そのまま付着していたため温度がここまでしか上昇しなかったものと推定される。



写真7 実験5のサーモラベルの温度表示状況

なお、その後の温度低下の場合も実験3と同様に、これらのサーモラベルは復色し、不可逆性のサーモラベルは、そのまま温度表示（写真8参

照）されていた。

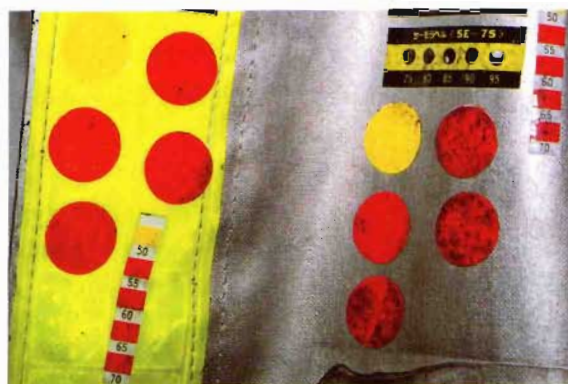


写真8 実験5のサーモラベルの温度表示状況2

#### (6) 実験6の結果について

実験4のヘプタンの再燃焼時間を10分間として、その後30秒間噴霧放水した結果も実験4と同様の結果が得られ、すべてのサーモラベルの接着性は実験開始時と比較して変化は見られず、さらに、時間経過後も変化は見られなかった。

#### (7) 実験7の結果について

実験5のヘプタンの再燃焼時間を10分間として、その後30秒間噴霧放水した結果も実験5と同様の結果が得られ、水滴が付いている状態での再燃焼に対しては、すべてのサーモラベルの接着性は実験開始時と比較して変化は見られず、さらに、時間経過後も変化は見られなかった。

## 5 まとめ

実験はそれぞれ数度繰り返したが、いずれも同様の結果が得られた。

サーモラベルの取り扱い説明書によると、熱・耐久性については90℃連続加熱1,000時間が目安なので、今回の実験では、防火衣に貼ったサーモラベルの測定場所が最高75℃前後の温度の場所であり、90℃以上まで上昇する場所ではないことから、これらのサーモラベルでの温度測定が可能ながわかった。

ただし、実際の火災現場は実験での燃焼実験ハウスの状況とは異なり、火災防ぎょ活動時の温度は75℃前後とは限らないが、人間の温度に対する限界は、東京消防庁消防科学研究所の研究データによると、人間は一般的に温度50℃で熱中症、55℃で熱中症と火傷の境界、60℃以上が火傷発生危険領域とされており、さらに、通常、消防隊員が援護注水を受けないで活動できる熱気の温度は、

60℃（床面から高さ1 mの位置）が限度であると発表していることから、火災現場での急激な火炎拡大による一時的な温度上昇の場合は別として、通常の火災活動現場で消防隊員が防ぎょ活動できる場所は、75℃まで測定可能なこれらのサーモラベルは有効であると思われる。

また、サーモラベルは水中に入れても1か月を日安に耐水性あり（製造メーカー発表）とされており、今回の実験では放水時の水や水圧に対しても十分耐久性が認められ、さらに、再燃焼実験でもサーモラベルの効果は減少しないことが確認できた。

さらに、サーモラベル1枚当たりの価格も種類によって若干異なるが、二百数十円で購入可能で、実験では数度繰り返しての使用も問題はなく、このサーモラベルで火災現場での温度管理の日安になれば、事故防止や安全管理に有効であると考えられる。

今回の実験結果のみで火災現場等での使用可否について結論付けるのは早計ではあるが、火災現場に似ている状況でのサーモラベルによる温度測定が可能ということについて、基礎データを蓄積することができた。

今後は、サーモラベルが火災現場等の悪環境下で、長時間使用に耐えられるのか、その後の使用について問題はないのか、また、製造メーカー発表の耐熱性、耐候性、耐水性等は、どうなのか、冬季における積雪寒冷地での使用にも測定可能なのか等について、実験方法の見直しを行い、種々の条件下で実験を実施、或いは火災現場での試用も含めて検討し、火災現場における放水防ぎょ活動及び安全確保などに役に立てるために、さらには、各種サーモラベルの中で最も有効な種類を選定するために、分析を重ねた研究が必要である。

#### 【参考文献】

- 1) 「消防科学研究所報 平成6年31号」  
東京消防庁消防科学研究所
- 2) 「札幌市消防科学研究所報 1998. No.5」  
札幌市消防局消防科学研究所

# 電気配線の過負荷電流について

Research on Overload Current on Electric Wiring

菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki

## 要 約

電気関係の原因により発生する火災にも数多くの種類がある。本実験では、その中でも私たちの生活に最も身近である電気製品をたこ足配線状態にして複数同時に使用し、電気配線に許容電流以上の過負荷電流を通電した場合の電気配線の状況変化を観察した。

この結果、過負荷電流が流れている電気配線は簡単に発熱することが確認でき、さらに通電を継続することにより、短絡し、ビニール被覆が燃え出す可能性があることが確認できた。

## Summary

Many types of fires can start when electricity is involved. In this experiment, changes in electric wiring conditions were observed by using multiple everyday electrical appliances simultaneously in a starburst connection and charging electric wiring with an overload current greater than the maximum allowable.

As a result, it was confirmed that electric wiring charged with an overload current was very likely to generate heat and that continuous charging might cause a short-circuit and burning of vinyl coating.

## 1 はじめに

電気は今日の快適な生活において必要不可欠なものであり、テレビ、照明、暖房、炊事、洗濯をはじめパソコン等の情報通信機器の電源としてその重要性は計り知れないものがある。一方で、私たちの生活においてはコンセントから、簡単に電気の恩恵を受ける事が出来るため、「電気は安全」というイメージが先行し、電気コード等の取扱いも粗暴で無神経になりがちである。

このことから電気起因する火災件数が減少しないことが理解できる。

平成11年中、札幌市内における火災発生件数561件のうち電気関係が原因とされる火災は79件で、全体の約14%強となっている。

また、最近の電気製品はIH化等、高性能、高出力が求められ、単品で大電流消費の電気製品も増加してきている。例えば、電子レンジ、電磁調理器、ホットプレート、電気ストーブ等はそれぞれ1200~1500W（12~15アンペア）が消費される。

このような製品が各家庭に普及している。

電気配線等の導体に、このような電流を流すと次項で述べるジュール熱が発生し、発熱してくる。

このことから導体太さ、周囲温度、絶縁被覆の種類等に応じて電線には長時間通電しても安全に支障のない電流値、いわゆる許容電流が定められている。

電線の過負荷とは、この許容電流値を超える電流が電線に流れる場合をいう。

## 2 ブレーカーについて

ブレーカーは日本工業規格（以下「JIS」という。）では配線用遮断器（サーキットブレーカー）と呼ばれている。

このブレーカーは、

- (1) 電気の安全な開閉
- (2) 電線の過負荷状態を検出し電路を遮断
- (3) 短絡発生時に電路を安全に遮断

等の機能を備えており、電気製品の始動電流等の瞬時に流れる過大電流などで誤動作しないように時延動作特性も備えている。

過負荷、短絡などの電流に対しての動作特性は表1のように定められている。

また、ブレーカーの動作原理は図1のとおり

\* 消防科学研究所

である。

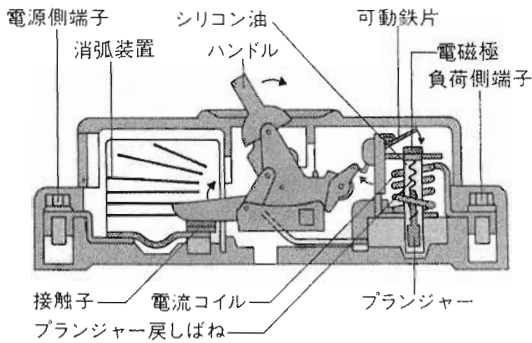


図1 プレーカーの動作原理

表1 プレーカーの動作特性 (JIS C 8368)(単位: A)

| 定格電流 | 不動作電流 | 60分以内に動作する電流 | 2分以内に動作する電流 | 10秒以内に動作する電流 |
|------|-------|--------------|-------------|--------------|
| 10   | 11.5  | 15.0         | 20.0        | 40.0         |
| 15   | 17.2  | 22.5         | 30.0        | 55.0         |
| 20   | 22.0  | 28.0         | 40.0        | 70.0         |
| 30   | 33.0  | 39.0         | 60.0        | 100.0        |

定格電流より大きな電流が継続的に流れると、プランジャーは磁力の作用を受けて、プランジャー戻しばねの制動に抗しながら、電磁極に向かって移動を始める。プランジャーが電磁極に到達した時、磁力は急激に増加し、可動鉄片は一気に吸引され接触子で回路は遮断される。また、短絡事故の場合のように異常な大電流が流れた時は、電流コイルに強力な磁力が発生し、可動鉄片はプランジャーの移動を待たずに電磁極に吸引され、即時遮断される。

### 3 ジュールの法則

#### (1) ジュールの法則

図2のように、抵抗  $R$  ( $\Omega$ ) 中を電流  $I$  (アンペア) が  $t$  秒間流れると、その抵抗  $R$  中に  $H = I^2 \cdot R \cdot t$  (J) の熱を発生する。

これをジュールの法則という。

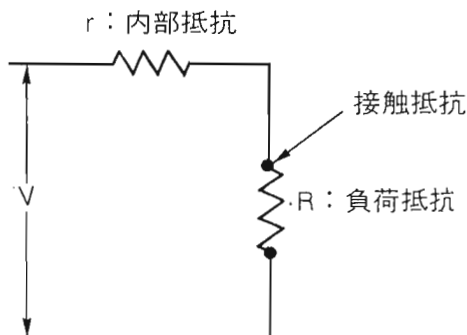


図2 回路図

この回路中には負荷抵抗  $R$  の他に、内部抵抗  $r$  によるジュール熱、接触抵抗によるジュール熱等がある。これらのジュール熱は火災の原因になる場合もある。

#### (2) ジュール熱と火災

##### ア 内部抵抗 $r$ による火災

許容電流以上の電流を流した場合は、回路が熱を持ち ( $H = I^2 \cdot R \cdot T$ )、この熱のために電線被覆に着火したり、電線被覆が絶縁劣化し、短絡等が発生し火災となる場合がある。

##### イ 接触抵抗による火災

電線の接続部、コンセント及び差し込みプラグの接続部、ネジの締め付け部分等では、接触不良を起こした部分で抵抗が増加するため、この部分でジュール熱が発生し、電線被覆等が加熱され発火し、他の可燃物へ延焼し火災となる場合がある。

例えば、電気抵抗  $25\Omega$  のニクロム線に、4アンペアの電流を5分間 (300秒間) 流した時に発生した熱量  $H$  (J) は

$$H = I^2 \cdot R \cdot T$$

により

$$H = 4^2 \times 25 \times 300 = 1.2 \times 10^5 \text{ (J)}$$

である。

### 4 実験内容

生活の中で身近な屋内の電気配線に電気製品 (主な電気製品の消費電流一覧を表2に示す。) を使用して、過負荷電流を通電し、実験を行った。

表2 家庭用電気製品の一般的な消費電流一覧表

| 電気製品名      | 消費電流(アンペア) |
|------------|------------|
| ビデオデッキ     | 0.2~0.3    |
| ワープロ       | 0.75       |
| テレビ 14型    | 0.95       |
| テレビ 25型    | 1.3        |
| パソコン       | 1.0~2.0    |
| 冷蔵庫170ℓ    | 1.2        |
| 洗濯機2槽式     | 1.7        |
| コーヒーメーカー   | 6.0        |
| アイロン       | 7.0        |
| 電子レンジ~レンジ  | 9.6        |
| 電子レンジ~オープン | 12.3       |
| ヘアードライヤー   | 12.0       |
| 電気ストーブ     | 12.0       |
| ホットプレート    | 13.5       |
| 電熱器        | 15.0       |

※1 消費電流はそれぞれの電気製品の最大値とした。



実験装置は理化学実験室の分電盤（容量100アンペア）から直径3.2mmの単線ビニール被覆電線を使用し、配線し、75アンペアのブレーカー（テンパール工業株式会社SE-103型）及び30アンペアのブレーカー（河村電器産業株式会社CB-2E30C型）を設置し、その先に端子付きジョイントボックスA及びBを接続した。また、30アンペアブレーカーとジョイントボックスAの間に電流計（交流50アンペア）を接続して電流値を測定できるようにした。（写真1参照）

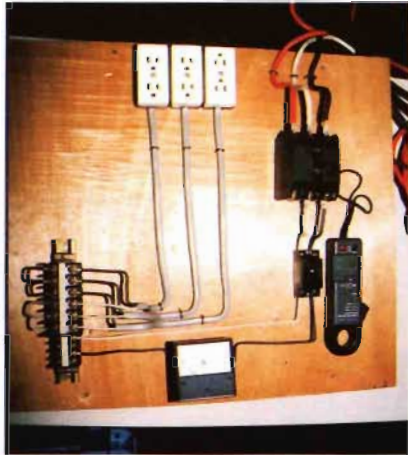


写真1 実験装置

端子付きジョイントボックスBには、コンセント（定格15アンペア用）を3個接続した。端子付きジョイントボックスA、B間の配線として、単線26mm, 20mm, 16mm, より線0.75mm<sup>2</sup>の4種類を取り替えて実験を行い、その変化を比較した。

なお、より線0.75mm<sup>2</sup>については長さ70cmの直線状態と、全長26mのより線の中央部分の長さ2m部分を12.5cmの長さに折りたたみ（4回折り）、束ね状態としたものの2種類で行った。

また、これらの電気配線の表面温度を熱画像装置（アビオ製サーマルビデオシステムTVS-8000M型～写真2, 3参照）で観測した。温度測定範囲は17.0℃～154.4℃（常温からの測定を実施するには、測定温度上限が154.4℃までの設定となる。）の範囲とした。



写真2 熱画像装置本体



写真3 熱画像装置カメラ

さらに、電気配線のビニール被覆（写真4参照）を熱分析装置（セイコーインスツルメンツ株式会社EXSTAR6000・TG, DTA6300型～写真5参照）で融点及び発火点を測定した結果が図3である。

この結果、ビニール被覆の融点は247.6℃、発火点は513.3℃であることが判明した。



写真4 ビニール被覆



写真5 熱分析装置



実験環境は、室温25℃、湿度45%の消防科学研究  
所理化学実験室で実施した。

なお、それぞれの電気コードの許容電流を表3  
に示す。

```
<< TG/DTA >>
データ名: 12122002
日付: 0/12/20 18:42
サンプル: sugawara sample1
リファレンス: NO Ref.
                29.5172 mg
                0 mg

温度プログラム:
[C] [C/min] [min] [sec]
1* 30 - 850 10 10 1

コメント:
オペレータ makiko tamari
air 300ml
```

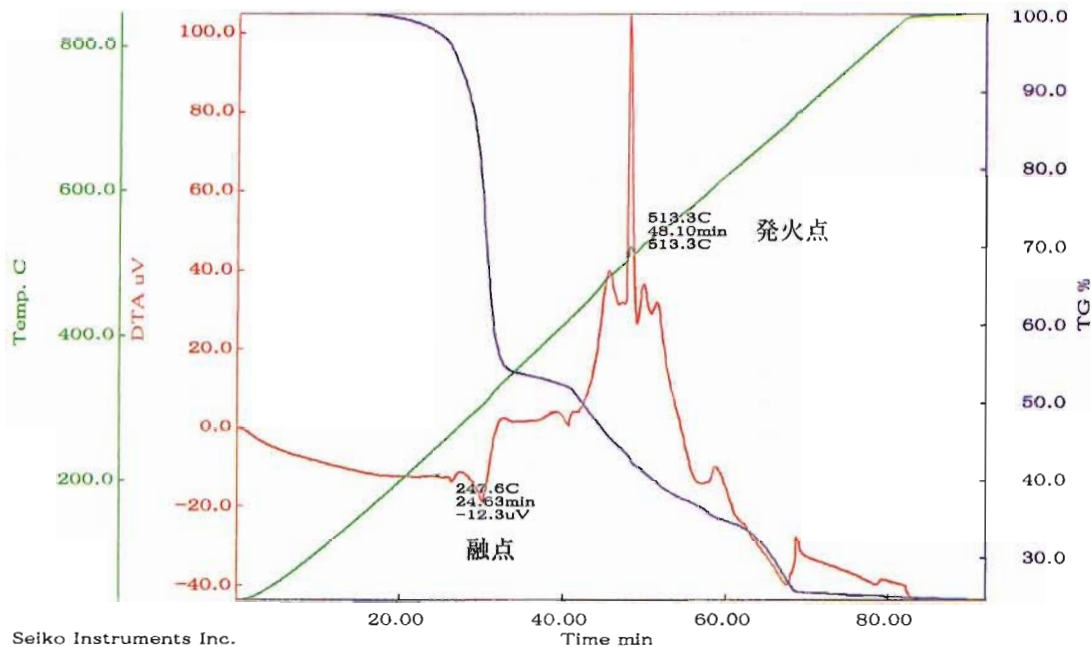


図3 熱分析装置測定結果

表3 コードの許容電流 (周囲温度30℃以下)

| 単線・より線の別 | 直径又は断面積             | 許容電流   |
|----------|---------------------|--------|
| より線      | 0.75mm <sup>2</sup> | 7アンペア  |
| より線      | 1.25mm <sup>2</sup> | 12アンペア |
| より線      | 2.0mm <sup>2</sup>  | 17アンペア |
| 単線       | 1.2mm               | 13アンペア |
| 単線       | 1.6mm               | 19アンペア |
| 単線       | 2.0mm               | 24アンペア |
| 単線       | 2.6mm               | 33アンペア |



写真6 実験に使用した電気製品

なお、実験に使用した電気製品として電気ストーブ (日立製VH-105T型・最大消費電流12アンペア [1200W] ~以下同じ)、ヘアードライヤー (日立製HD-1300型・12アンペア [1200W])、電熱器 (日立製HT-1310型・15アンペア [1500W]) を用意 (写真6参照) し、実験装置のコンセントに接続したこ足配線状態 (写真7参照) として各電気製品のスイッチを入れ、安定時期にて約30アンペアの電流が流れるように各機器の温度調節等を設定し、120秒間通電した。

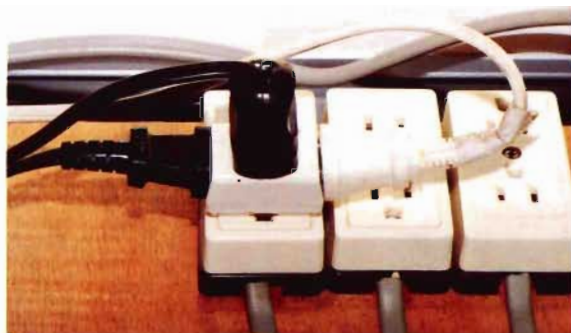


写真7 たこ足配線状態

また、30アンペアのブレーカーはノーヒューズブレーカーの「安全ブレーカーHB型」を使用した。

このブレーカーの定格電流に対する動作（俗に言う「ブレーカーが落ちる」状態）時間は表3のとおりである。また、スイッチを入れた瞬間、35アンペア程度の大電流が通電されるが、概ね5秒後に安定し、約30アンペア（写真8参照）となるため、実験中（短絡時以外）このブレーカーが動作することはなかった。

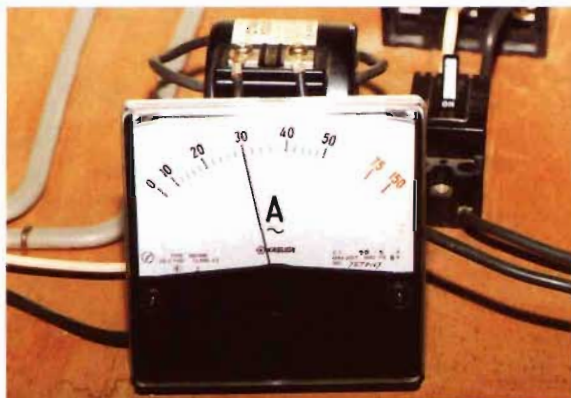


写真8 30アンペア通電時の電流計表示

表4 30アンペア用安全ブレーカーHB型の動作に対する電流値（誤差があるため最小～最大で表示）

| 電流(アンペア)    | 動作時間 |
|-------------|------|
| 31.8 ~ 35.0 | 240分 |
| 32.0 ~ 35.8 | 60分  |
| 32.2 ~ 37.5 | 30分  |
| 32.4 ~ 38.0 | 20分  |
| 33.0 ~ 40.8 | 10分  |
| 33.2 ~ 41.5 | 8分   |
| 33.4 ~ 42.5 | 6分   |
| 34.3 ~ 45.0 | 4分   |
| 35.7 ~ 51.5 | 2分   |
| 37.5 ~ 59.0 | 60秒  |
| 42.5 ~ 70.0 | 30秒  |
| 47.0 ~ 80.0 | 20秒  |
| 55.0~100.0  | 10秒  |
| 69.0~126.0  | 5秒   |
| 90.0~180.0  | 2秒   |
| 115 ~ 250   | 1秒   |
| 150 ~ 360   | 0.5秒 |
| 220 ~ 600   | 0.2秒 |

## 5 実験結果

それぞれの電気配線（単線2.6mm、2.0mm、1.6mm,より線0.75mm<sup>2</sup>）に120秒間・30アンペアの

電流を通電（写真9参照）した。



写真9 実験状況

### (1) 実験1

単線2.6mm（許容電流33アンペア）は許容範囲内であるが、120秒間通電で電線表面温度は25.4℃から27.4℃まで上昇した。しかし、異常は全く見受けられなかった。(写真10~12参照)

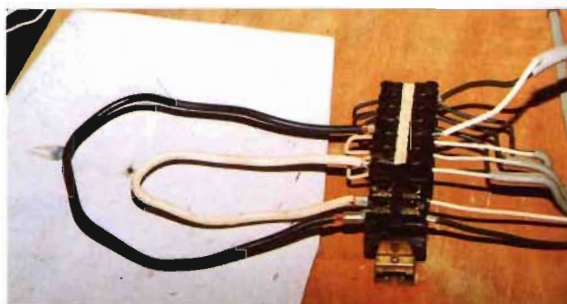


写真10 実験1の状況

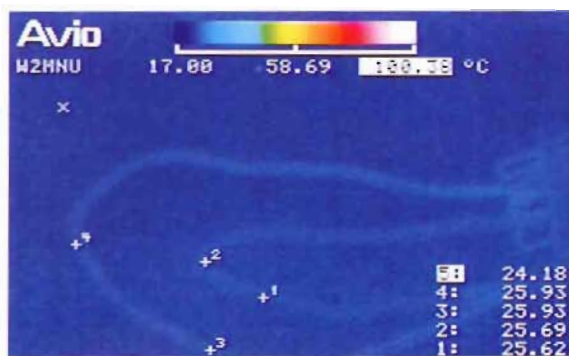


写真11 熱画像装置・実験1開始5秒経過



写真12 熱画像装置・実験1開始120秒経過



(2) 実験2

単線 2.0mm (許容電流24アンペア) は許容電流の約125%が通電され、2分間で電線表面温度は26.0℃から29.1℃まで上昇したが、異常は全く見受けられなかった。(写真13~15参照)

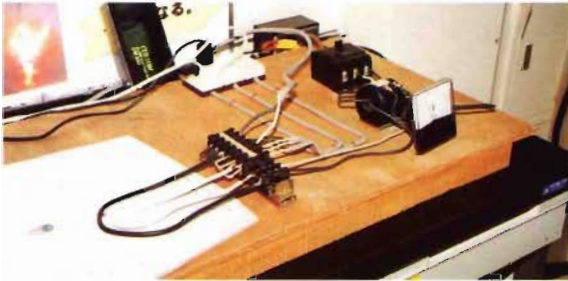


写真13 実験2の状況

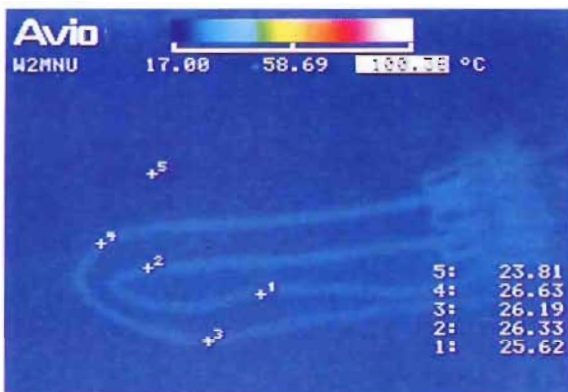


写真14 熱画像装置・実験2開始3秒経過



写真15 熱画像装置・実験2開始120秒経過

(3) 実験3

単線1.6mm (許容電流19アンペア) は許容電流の約160%が通電され、120秒間で電線表面温度は26.1℃から42.1℃まで上昇したが、電線は素手で触れることができ、スイッチを切った後は徐々に電線表面温度が下がり、その後異常は見受けられなかった。(写真16~18参照)

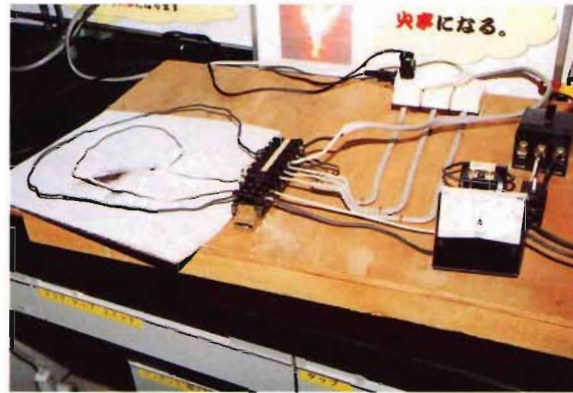


写真16 実験3の状況



写真17 熱画像装置・実験3開始30秒経過



写真18 熱画像装置・実験3開始120秒経過

(4) 実験4

より線0.75mm<sup>2</sup> (許容電流7アンペア) は許容電流の約430%が通電され、70cmの直線状態の電線は120秒間で電線表面温度は24.5℃から119.0℃まで急激に上昇したが、目視ではビニール被覆の熔融までは至らず、電気製品は正常に作動しており、スイッチを切った後は徐々に電気配線表面温度が下がり、その後異常は見受けられなかった。(写真19~22参照)

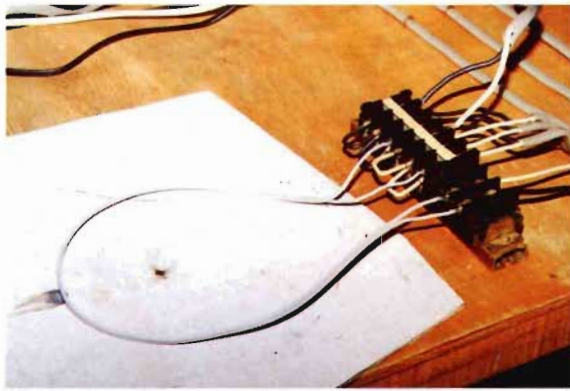


写真19 実験4の状況

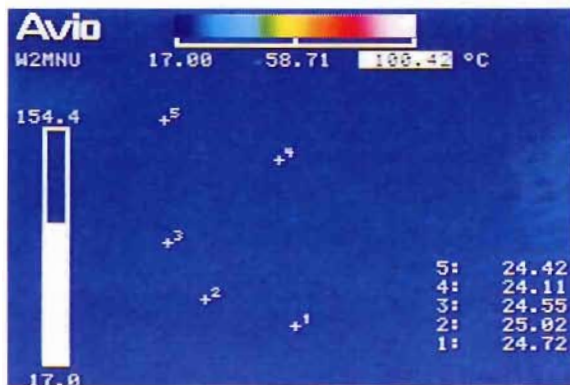


写真20 熱画像装置・実験4開始直後

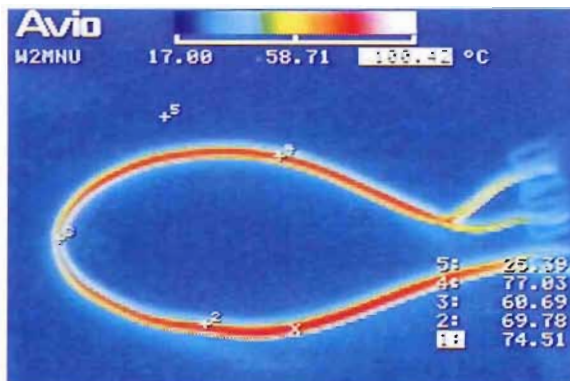


写真21 熱画像装置実験4開始60秒経過



写真22 熱画像装置実験4開始120秒経過

(5) 実験5

長さ2.6mのより線0.75mm<sup>2</sup>を、12.5cmの長さで4回折りして束ね、固定状態にした電線は表面温度も26.3℃から急激に上昇し、約60秒後には110℃を超え120℃を過ぎた頃からビニール被覆が溶融し、徐々に白煙と臭気が発生し始めた。この温度は熱画像装置によるビニール被覆の表面温度である。

一方、熱分析装置で測定したビニールの融点は247.6℃であった。この違いは、熱分析装置の測定値がビニール自体そのものが完全に溶融した温度であり、表面温度と比較して、これだけの差が出たものと推測される。

その後、実験開始約95秒経過で温度測定可能上限の154.4℃を超え、約102秒後に電線が短絡（ショート）し、数回の大きな音響とともに、ビニール被覆が燃えだし、電線は断線した。(写真23～28参照)

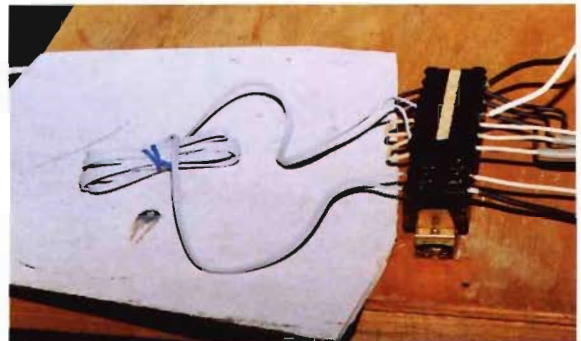


写真23 実験5開始直後の状況

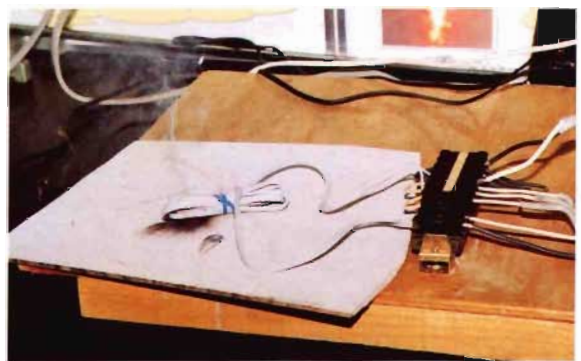


写真24 実験5電気配線から白煙が出ている状況



写真25 実験5電気配線短絡の状況



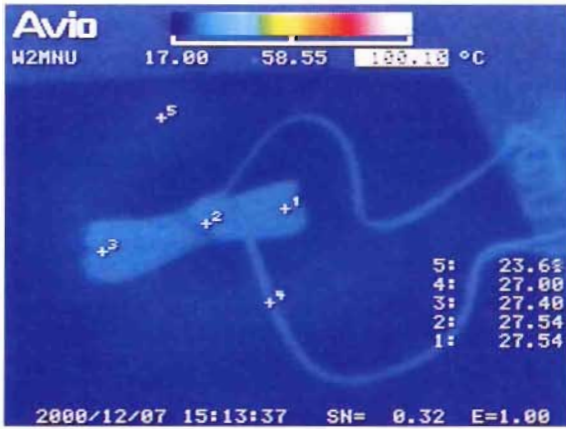


写真26 熱画像装置・実験5開始直後



写真28 熱画像装置・実験5開始 102秒経過短絡



写真27 熱画像装置・実験5開始60秒経過

なお、実験1から実験5までの各電線の表面温度変化を表5に、そのグラフを図4に示す。

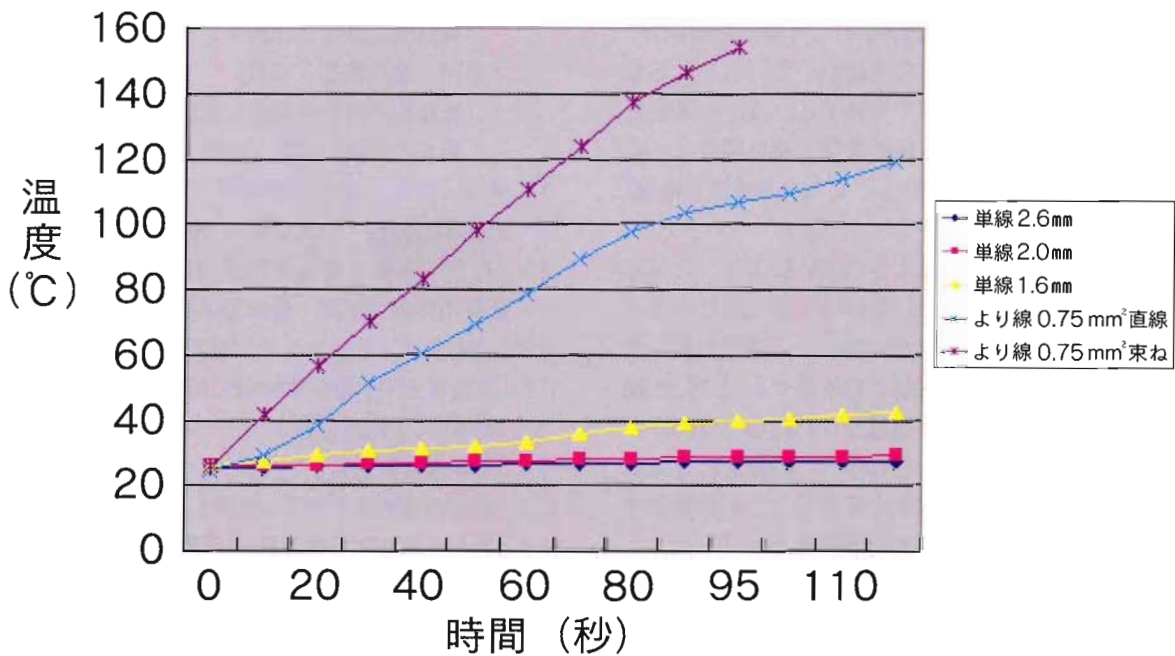


図4 各電気配線の過負荷電流通電による配線表面温度状況



表5 各電気配線の過負荷電流通電による配線表面温度状況 (単位℃)

| 時間<br>(秒) | 単線<br>2.6mm | 単線<br>2.0mm | 単線<br>1.6mm | より線<br>0.75mm <sup>2</sup><br>直線 | より線<br>0.75mm <sup>2</sup><br>束ね |
|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0         | 25.4        | 26.0        | 26.1        | 24.5                             | 26.3                             |
| 10        | 25.5        | 26.1        | 27.6        | 29.5                             | 41.7                             |
| 20        | 25.8        | 26.3        | 29.1        | 38.6                             | 56.4                             |
| 30        | 25.9        | 26.5        | 30.6        | 51.2                             | 70.2                             |
| 40        | 26.1        | 26.9        | 31.1        | 60.7                             | 83.4                             |
| 50        | 26.2        | 27.3        | 32.1        | 69.5                             | 98.1                             |
| 60        | 26.4        | 27.6        | 33.4        | 78.4                             | 110.4                            |
| 70        | 26.5        | 27.8        | 35.5        | 89.2                             | 123.9                            |
| 80        | 26.8        | 28.0        | 37.6        | 97.5                             | 137.3                            |
| 90        | 27.0        | 28.3        | 39.3        | 103.4                            | 146.5                            |
| 95        | 27.05       | 28.4        | 40.0        | 106.4                            | 154.4                            |
| 100       | 27.1        | 28.5        | 40.6        | 109.4                            | 102秒                             |
| 110       | 27.2        | 28.9        | 41.5        | 114.1                            | 経過で                              |
| 120       | 27.4        | 29.1        | 42.1        | 119.0                            | 短絡                               |

また、最初の短絡時には、電線に瞬時に大電流が通電されたはずだが、これは瞬時のためブレーカーは動作しなかった。

## 6 まとめ

以上の実験結果から見ても分かるように、大電流を消費する電気製品を複数同時（たこ足配線状態）に使用し、電気配線に許容電流以上の電流が流れた場合、電気配線は発熱し、電気配線の種類や状態によっては被覆の熔融、短絡、さらに、出火の可能性もあるという結果が得られた。

特に通常の家庭用電気配線（より線）は導体の断面積が小さいため、許容電流が小さいこともあるが、単線以上に短時間で発熱する。また、電気配線を束ねて固定し、蓄熱性を持たせた場合は、直線状態以上に急激に発熱し、ビニール被覆が熔融、短絡しやすくなる。

ただし、電気配線は太さの違いにより、許容電流は異なるため、一概に今回の実験と同じとは言えないが、例えば、家庭において、電気配線が長すぎるために束ねた状態での使用や、たこ足配線により、過負荷電流が通電された時などは同様の状態になることも考えられる。この場合に電気配線の上部や周囲に新聞紙や綿埃などの可燃物が存在している場合は、容易に出火源となりうる。

さらに、この程度の定格電流以上の電流であれば、ブレーカーはすぐに動作しないこと、また短絡時の大電流も瞬時である場合は、ブレーカーが動作しないこと等、ブレーカーの動作による自動

的な電路遮断が期待できないことも確認できた。

## 7 おわりに

電気関係の火災は減少することなく発生している。これは、電気製品の総数の増加に伴う不良品の増加、整備不良、安全管理の不十分、使用者の取扱いの不適切等が考えられる。

電気的安全な取り扱いについて今一度、予防行事あるいは査察等での指導が必要である。特に、「テーブルタップは（接続する電気製品の消費電流に関係なく、）受け口数全部にプラグを差し込んで使用できる」、「たとえ短絡してもブレーカーが動作して電路が遮断され、火災は起きない」という誤った思い込みは正していかなければならない。

大消費電流の電気製品が多く存在する現在、これらの要因による火災を防止するためには、常日頃から電気製品の消費電流を確認する習慣をつけて、電気配線等の許容電流以下での使用を心掛けることが大切である。

また、末端のコンセントやテーブルタップ等の定格電流値の表示を大きく見やすくする措置も必要と思われる。

以上のことを踏まえて、少しでも電気関係火災件数を減少させるために、今回の研究成果を基に電気関係火災の事例について、さらに実験、研究を重ねていく予定である。

## 【参考文献】

- 「火災」221日本火災学会誌, Vol.46 No.2
  - 「電気火災原因と保護ブレーカーの働き」早川 進, 渡辺 憲道
  - 「配線器具類からの出火事例, 特徴および問題点と対策」土方 忠道
- 解説「電気設備の技術基準」資源エネルギー庁公益事業部編 株式会社文一総合出版
- 「写真でみる 電気火災調査要領」名古屋市消防局消防研究室編 全国加除法令出版社
- 「JISハンドブック7 電気」日本規格協会
- 「消防理化学」消防大学校監修 財団法人全国消防協会
- 「世界大百科事典」平凡社
- 「家庭の電気学入門早わかり」オーム社
- 「絵とき第2種電気工事(1)基礎知識を学ぶ」五十嵐 孝仁・金子 道夫・梅木 一良共著 オーム社
- 「絵とき第2種電気工事(2)工事実技を学ぶ」五十嵐 孝仁・金子 道夫・梅木 一良共著

オーム社

- 10) 「絵でわかる暮らしの電気」紙田 公著 電気書院

合は、周囲に異常が見られなくても火山ガスによる災害であることを考慮し、救助には空気呼吸器を着装する。

- (4) 装備は通常の装備（空気呼吸器、革手袋、防護マスクなど）でよい。
- (5) 吸入した場合は、速やかに新鮮な空気のある場所に移す。

#### 4 主な毒性ガスの濃度と人体に及ぼす影響

表2 硫化水素

| ガス濃度(ppm) | 作 用                    |
|-----------|------------------------|
| 0.025     | 臭いで感知し得る限界             |
| 0.3       | 明確に感知される               |
| 5～10      | 悪臭を強く感じる               |
| 20～50     | 眼の炎症                   |
| 50～150    | 頭痛、めまい、吐き気             |
| 150～200   | 嗅覚の麻痺により、臭気を感じなくなる     |
| 700～800   | 臭気を感じずに、意識不明、死に至ることもある |
| 1000～2000 | 失神、けいれん、呼吸停止、死に至る      |

表3 二酸化硫黄

| ガス濃度(ppm) | 作 用                |
|-----------|--------------------|
| 0.5～1     | 臭気を感じる             |
| 2～3       | 刺激臭となり不快感を増大する     |
| 5         | 気道抵抗が増す            |
| 10        | 鼻やのどの刺激があり、咳が起こる   |
| 20        | 眼に刺激を感じ咳がひどくなる     |
| 30～40     | 呼吸が困難になる           |
| 50～100    | 短時間(0.5～1時間)耐え得る限度 |
| 400～500   | 短時間で生命危険           |

表4 二酸化炭素

| ガス濃度(%) | 作 用                               |
|---------|-----------------------------------|
| 1       | 呼吸深度増加                            |
| 3       | 呼吸増大                              |
| 4       | 眼・上部気道刺激感、顔面紅潮<br>頭痛、めまい、耳鳴り、血圧上昇 |
| 6       | 頻呼吸、熱感、皮膚血管拡張、悪心、嘔吐               |
| 7～8     | 肺うっ血、呼吸困難                         |
| 10超     | 意識障害、呼吸停止、死                       |

〈文責 花崗 一正〉

#### 【参考文献】

- 1) 「1999年版データパル」小学館
- 2) 「火山の事典，自然災害科学」朝倉書店

# 有珠山噴火に伴う火山ガスについて

## 【概要】

平成12年3月31日に噴火した有珠山に関連する災害に対応するため当市からは多くの職員が派遣された。

絶え間なく噴煙、噴石を上げる活火山を目の前にし、初めての噴火災害への対応、及び今まで以上に大噴火が発生する可能性の予測等、いつ発生するか判らない状況の中、頻繁に発生する地震、これらに備えて待機する当市職員の不安を少しでも解消するため、火山ガスについての情報提供を行った。

## 1 過去の火山ガス事故について

平成9年7月12日、青森県八甲田山山麓の田代平で訓練中の自衛隊員が窪地に落ち、ガス中毒によって3名が死亡するという事故が発生した。この事件後の調査結果、発生したガスは火山性起源の二酸化炭素（炭酸ガス）であった。

また、平成9年9月15日には、福島県安達太良山において登山者4名が沼ノ平火口南西部で硫化水素ガス中毒により死亡した。さらに、11月23日には熊本県阿蘇中岳火口付近で火山性二酸化硫黄（亜硫酸ガス）中毒により、観光客2名が死亡するという事故があり、平成9年だけでも火山ガス中毒により9名が死亡している。

これらの事故以前にも、しばしば火山ガスによる死亡事故が発生している。日本全国では昭和26年11月以降、平成9年11月までの間に45名が火山ガス事故で死亡している。

## 2 火山ガスの性質・危険性など

火山ガスは、高温高圧の地球内部では一様な液体（マグマ）であったものが、著しく圧力も温度も低い地球表面の条件下で激しい状態変化を起こしたもので、沸点が低いものが気体として放出されたものである。

火山ガスは溶岩のように山によってその性質が大きく異なることはなく、ほぼ共通している。

主成分は水蒸気であるが、そのほか二酸化炭素、硫化水素、二酸化硫黄、塩化水素、フッ素など有毒ガスが含まれている。このうち塩化水素、フッ素などは少量であるため、ほとんど考慮しなくても問題ない。

これまで日本で発生した火山ガス中毒死は、多

くは硫化水素と二酸化硫黄によるもので、二酸化炭素による事故は平成9年の八甲田山の他は例がない。

水蒸気も多量に発生するので、高温（火傷）には注意しなければならない。また、高濃度の火山ガスによる酸欠も危険性が高い。

これらの火山ガスは無色であり、空気より重いのが特徴で、平成9年の八甲田山事故のように窪地には注意しなければならない。

なお、1980年に有珠山で発生した噴気孔ガスの成分を表1に示す。

表1 有珠山火山ガス成分（1980年噴気孔ガス）

| 成分    | 濃度       |
|-------|----------|
| 水     | 97.3%    |
| 二酸化炭素 | 1.52%    |
| 硫化水素  | 4.160ppm |
| 水素    | 3.860ppm |
| 二酸化硫黄 | 2.860ppm |
| 塩化水素  | 486ppm   |
| 一酸化炭素 | 56ppm    |

## 3 火山ガス事故防止対策

以上の事故事例のように、火山ガスによる事故は今回の有珠山噴火のような活動中でなく、火山活動の安定期に発生している場合がほとんどである。多くは登山者などが火山ガスが滞留している窪地などに誤っての転落などで発生している。したがって事故の防止対策として、次の事項が挙げられる。

- (1) 窪地など低所にはなるべく近づかない。
- (2) 風向きに注意する。
- (3) 万一同行者が窪地などで転倒（気絶）した場



# 熊撃退スプレーについて

——カプサイシンに着目して——

## 【概要】

平成12年9月に中央区で発生した、熊撃退スプレーを撒いた事件では、28名の軽傷者が発生した。

消防科学研究所では、現場に出向し、試料のサンプリング、実験室での分析を行い、主成分であるカプサイシンの測定に成功した。

本稿では、熊撃退スプレー及びカプサイシンの性質等について報告する。

## 1 はじめに

近年、今までの常識では考えられないような人為的な事件が多く発生している。

特に毒・劇物等の薬品を使用した事件で、記憶に残るものとしては、平成6年6月の松本サリン事件、平成7年3月の東京地下鉄サリン事件、平成10年7月の和歌山ヒ素入りカレー事件等が挙げられる。幸いにも本市では、これらの事件のような多くの市民を巻き込んだ大規模な事件は発生していないが、異臭騒ぎ等の愉快犯的な事件が発生している。このような事件が発生した場合、消防隊、救急隊は真っ先に要救助者の救出、救護、搬送に当たらなければならない。

平成12年9月の中央区で発生した多数傷病者発生事件は、カプサイシンを含む熊撃退スプレーガスが撒かれたものである。

カプサイシンは元来、赤唐辛子に含まれる食品であり、無害であるが、高濃度のものは粘膜などに激しい刺激があり、喉や目が痛み、咳き込んだりする。

また、カプサイシンは現在の消防隊の装備品では判別不可能であり、さらに、カプサイシンが検知できる携帯用測定器も現在、製造されていない。したがって、このような事件が発生した場合は、災害現場ではガスの主成分が把握できないことから、内部進入等の際は慎重を期さなければならない。

このことから、今後の警防活動の参考とするために、この事件の概要、熊撃退スプレー及びカプサイシンの性質等について報告する。

## 2 平成12年9月多数傷病者発生事件概要について

### (1) 発生場所

中央区南6条西5丁目 アイビル（9階建）

### (2) 覚知日時

平成12年9月14日 3時53分

### (3) 通報内容

5階テナントの飲食店内で刺激臭があり、咳き込み、目及び喉の痛みを訴えている。客は20名位いる。

### (4) 現場の状況

アイビル5階エレベーターホール床部分に茶褐色でゼリー状の液体の撒かれた形跡がある。

### (5) 傷病者

28名（男性6名、女性22名、いずれも自力歩行可能で病院に搬送するも軽症である）

### (6) 出動隊

指揮隊2隊、水槽隊6隊、ポンプ隊1隊、救助隊2隊、電源隊1隊、高発泡隊1隊、支援隊1隊、救急隊6隊（再出動隊5隊、延べ11隊）合計20隊（延べ25隊）

## 3 消防科学研究所の対応

撒かれた液体の採集に出向し、消防科学研究所危険物実験室で成分鑑定を実施した。

### (1) 採集日時

平成12年9月14日 9時50分

### (2) 採集実施者

消防科学研究所長他1名

### (3) 採集方法

5階のエレベーターホール床部分の茶褐色のゼリー状の汚れを、ジエチルエーテルを染み込ませたウエスで拭き取り採集（以下「サンプル」という）した。

### (4) 鑑定環境

#### ア 鑑定場所

消防科学研究所危険物実験室

イ 室温 22℃

ウ 湿度 50%

(5) 鑑定方法

ア 分析法

質量分析装置による成分質量法（以下「GCMS法」という）

イ 分析機種

- (ア) アジレント・テクノロジー製  
ガスクロマトグラフ-形式6890
- (イ) アジレント・テクノロジー製  
質量分析装置-形式5973N

ウ 試料

サンプルに含有する成分を抽出するため、ジエチルエーテルを使用して抽出を行い、その試料を使用した。

(6) 機器の条件

- ア 試料量 0.001ml
- イ カラム HP 5, MS 5 %Phenyl Methyl Siloxane 30m × 0.25mm
- ウ キャリヤガス He1.5ml /分
- エ 昇温速度 10℃ /分
- オ 昇温範囲 70℃ ~ 300℃
- カ 注入口温度 250℃
- キ 検出器温度 280℃
- ク 検出器 EMD

(7) 鑑定結果

今回の事件の概要によると、以前、中央区の地下街で発生した、熊撃退スプレーガスが原因と推測される異臭騒ぎと負傷者の症状が似ていることから、この熊撃退スプレーの主成分として含有されている「カプサイシン」に注目し、GCMS法で「サンプル」の分析を行った。

図1は「試料、質量分析結果」であり、22.711分に特徴的なピークが検出されている。

図2が「カプサイシン」の質量分析装置のデータベース、図3が「カプサイシン」の構造式である。

図1と図2を比較してみると、良く似ており、一致する確率が91%と表示された。このことから、「サンプル」には熊撃退スプレーに使用されている「カプサイシン」が含有していることが判明した。

4 熊撃退スプレーについて

この熊撃退スプレー（写真1参照）は登山用品店やインターネット等で誰でも購入（10,000円前後）できる。



写真1 熊撃退スプレー  
(商品名：ボディガード・アメリカ製)

主成分のカプサイシンは天然の赤唐辛子から抽出したもので、食品（七味唐辛子、チリソース、タバスコ等）の原料になっている。

アメリカでは国防省やFBI（連邦警察局）の研究所における実験で、カプサイシンガスが人体に入っても、疾病や発癌性の害、後遺症がないことが（人体実験を含めて）判明している。したがって、アメリカでは軍や警察、セキュリティ関係でも、多く使用されている。

5 警防活動上の留意事項

カプサイシンガスを浴びた場合、目や鼻、喉の粘膜を激しく刺激し、熱や痛みを発生させるが、皮膚に付着しても、過敏症の人以外は傷がなければ、通常痛みはない。

軽い症状の場合、短時間で痛みは取れ、清潔な水での目や鼻、喉の洗浄でさらに短時間で痛みは取れる。ただし、擦ってはいけない。なお、コンタクトレンズをしている人、喘息ぎみの人は注意が必要である。

さらに、身体（頭髪も含め）を石鹸で良く洗い、衣服を新しいものと交換する。

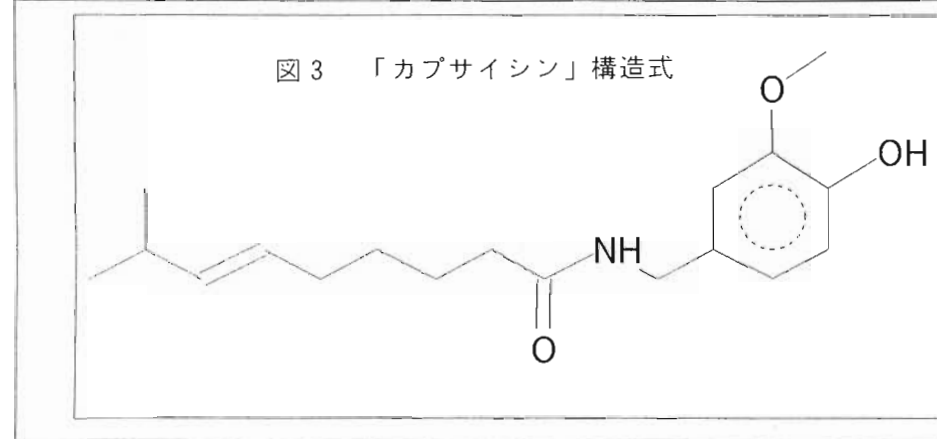
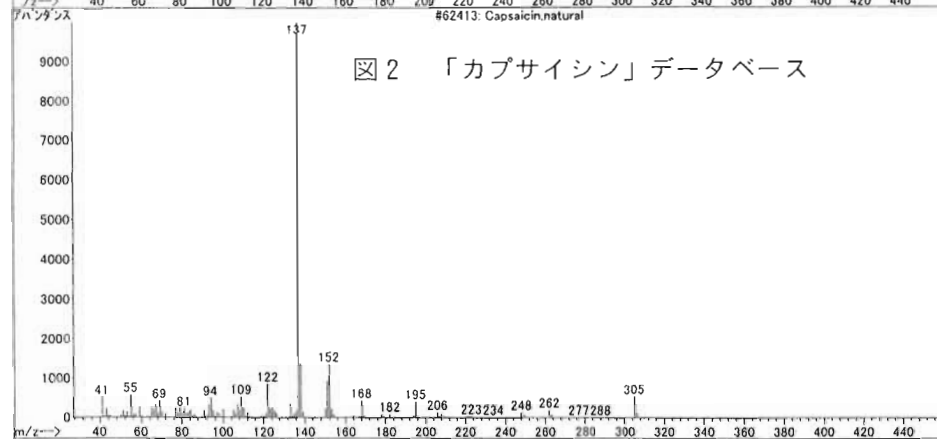
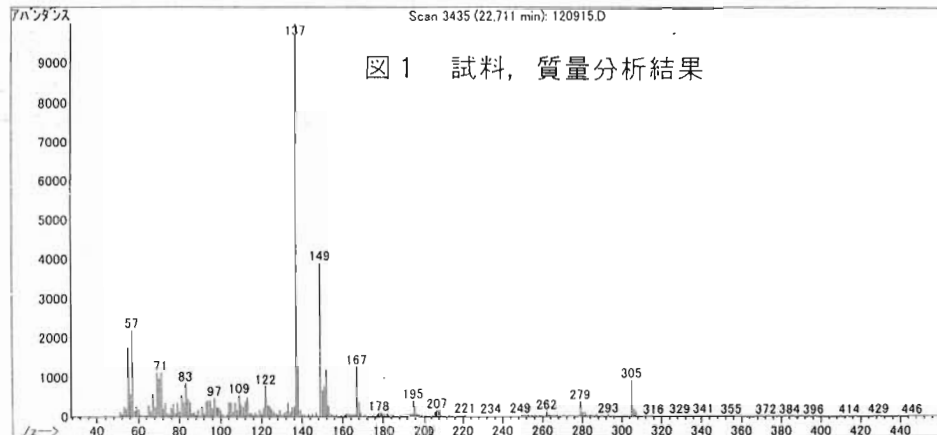
通常45分以内で症状は改善するが、この時間を経過しても症状が改善しない人は専門医の診察が必要である。

なお、カプサイシンの粒子はすぐ拡散するが、耐火構造や積雪寒冷地特有の高気密性住宅などの閉鎖空間の場合、長時間浮遊する。これに対処するには、開口部を開けたり、換気扇を強く回すなどして、早急に換気することが重要である。また、カプサイシンの細かい粒子が床、机等の内在品に付着するので、これらの清掃（拭き取り）も必要である。

6 各署に配置されている北川式ガス検知管について

各救助隊等が積載している、北川式ガス検知器（通称：ガステック検知管～光明理化学工業株式

ライブラリ検索 : C:\Database\Nis198.l  
 一致率 : 91  
 ID : Capsaicin, natural



会社製)の検知管でカプサイシンを検知できるものは現在製造されていない。

※ カプサイシンについて

(1) 別名  
 N-(4-オキシ-3-メキシベンジル)-8-メチル-6-ノネアミド

(2) 分子式  
 $C_{18}H_{27}NO_3$  分子量 305

(3) 存在  
 唐辛子(ナス科)の果皮に存在する辛味成分。  
 代表的な品種としてはタカノツメ, ヤツフサなどがある。

(4) 性質  
 無色結晶。融点は $65.6^{\circ}C \sim 66.3^{\circ}C$

(5) 用途  
 食品の香辛料, 鎮痛剤, 熊撃退(護身用)スプレーなど

〈文責 菅原 法之〉

研究実績表（消防科学研究所報掲載）

| 年度                       | 所報 No. | 分野  | 研究テーマ   | 研究担当者                      | 件数 |
|--------------------------|--------|-----|---|----------------------------|----|
| 平成5年度                    | No.1   | 燃 焼 | 耐火煉瓦の遮熱効果と低温加熱着火について  | 小島 秀吉                      | 3  |
|                          |        | 開 発 | 高規格救急車(トライハート)における防振ストレッチャー<br>一架台の防振性能評価について                                     | 桜井 清明                      |    |
|                          |        | 鑑 定 | 燃焼による灯油成分の変化について  | 橋上 勉                       |    |
| 平成6年度                    | No.2   | 燃 焼 | バックドラフトに関する研究（その1）  | 小島 秀吉                      | 4  |
|                          |        |     | 木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について  | 小島 秀吉                      |    |
|                          |        | 開 発 | 高規格救急車(トライハート)における防振ストレッチャー<br>一架台のバネ選定について                                       | 桜井 清明<br>伊藤 潤              |    |
|                          |        |     | 鑑 定   | 燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について（その1） |    |
|                          |        | 情 報 | サリン [(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHO <sub>2</sub> PFCH <sub>3</sub> ] の特性について | 橋上 勉                       | 2  |
| 火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について | 桜井 清明  |     |   |                            |    |
| 平成7年度                    | No.3   | 燃 焼 | バックドラフトに関する研究（その2）  | 小島 秀吉                      | 5  |
|                          |        | 開 発 | 防火衣の保温性能に関する実験結果について  | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        |     | 赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について   | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        |     | 低温下における空気呼吸器の特性について   | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        | 鑑 定 | 燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について（その2）  | 橋上 勉                       |    |
| 平成8年度                    | No.4   | 燃 焼 | バックドラフトに関する研究（その3）  | 小島 秀吉                      | 6  |
|                          |        |     | タオル・ハンカチの除煙効果に関する実験研究   | 小島 秀吉                      |    |
|                          |        |     | 粉じん爆発について   | 小島 秀吉                      |    |
|                          |        | 開 発 | 高規格救急車(トライハート)内における電子サイレン音<br>等の騒音調査  | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        |     | アクリル樹脂について  | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        | 鑑 定 | 車両火災における原因考察について  | 橋上 勉                       |    |
|                          |        | 情 報 | 酸素欠乏について  | 橋上 勉                       | 3  |
|                          |        |     | 都市ガス等の性質について  | 伊藤 潤                       |    |
|                          |        |     | 航空燃料と化学熱傷について   | 橋上 勉                       |    |



| 年度                          | 所報<br>No.               | 分野    | 研究テーマ   | 研究担当者 | 件数 |
|-----------------------------|-------------------------|-------|---|-------|----|
| 平成<br>9<br>年度               | No.5                    | 燃 焼   | 硬質発砲ウレタンとABS樹脂について                                    | 上田 孝志 | 7  |
|                             |                         |       | 放水音・空気呼吸器警報音・レスクーン警報音調査                               | 菅原 法之 |    |
|                             |                         |       | バックドラフトに関する研究(その4)                                    | 小島 秀吉 |    |
|                             |                         |       | 噴霧ノズルの角度について  | 菅原 法之 |    |
|                             |                         |       | 噴霧注水による排煙効果について                                       | 小島 秀吉 |    |
|                             |                         | 開 発   | 自動放水停止器具の開発について                                       | 橋上 勉  |    |
| 鑑 定                         | 過マンガン酸カリウムと酸及びアルコールについて | 橋上 勉  |   |       |    |
| 平成<br>10<br>年度              | No.6                    | 燃 焼   | 空中消火の延焼阻止効果に関する研究                                     | 上田 孝志 | 7  |
|                             |                         |       | バックドラフトに関する研究(その5)                                    | 橋本 好弘 |    |
|                             |                         |       | 市民等の消火体験訓練に使用する燃料の見直しについて                             | 橋上 勉  |    |
|                             |                         | 開 発   | 無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方に関する研究について(その1)               | 橋本 好弘 |    |
|                             |                         |       | 無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方に関する研究について(その2)               | 橋本 好弘 |    |
|                             |                         | 鑑 定   | 灯油とガソリンの混合比の分析について                                    | 菅原 法之 |    |
|                             |                         | 安 全   | 静電気に関する調査・研究について                                      | 橋上 勉  |    |
| 情 報                         | 放射性物質等に関する基礎知識          | 上田 孝志 | 1   |       |    |
| 平成<br>11<br>年度              | No.7                    | 燃 焼   | バックドラフトに関する研究(その6)〈総括〉                                | 橋本 好弘 | 6  |
|                             |                         |       | 噴霧注水による排煙効果に関する研究                                     | 橋本 好弘 |    |
|                             |                         | 開 発   | 電気配線の過負荷電流について  | 菅原 法之 |    |
|                             |                         | 安 全   | 静電気に関する調査・研究(その2) — 静電気帯電量 —                          | 溜 真紀子 |    |
|                             |                         |       | 静電気に関する調査・研究(その3) — 静電気除去実験 —                         | 溜 真紀子 |    |
|                             |                         |       | 濃煙熱気下における消防隊員の安全管理に関する研究<br>— 温度管理用示温材(サーモラベル)に着目して — | 菅原 法之 |    |
|                             |                         | 情 報   | 有珠山噴火に伴う火山ガスについて                                      | 花崗 一正 |    |
| 熊撃退スプレーについて — カプサイシンに着目して — | 菅原 法之                   |       | 2   |       |    |