

# 消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



2001 No.8

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】

- バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響 ..... 3
- 寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 ..... 17
  - その1 和室の測定結果
- 寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 ..... 21
  - その2 洋室の測定結果
- 高規格救急車のタイヤチェーン装着時などにおける振動・騒音の調査研究 ..... 25
- エアゾール缶・カセットボンベについての調査・実験 ..... 35
- 災害現場における燃焼生成ガス等の危険性の把握とその対策に関する研究 ..... 39
- 空間容積の違いによる一酸化炭素とシアン化水素の致死燃焼量 ..... 46
- 居室内におけるLPG漏洩時の滞留状況及び有効な排出方法に関する研究 ..... 48

## 【情報提供】

- 火災原因の各種再現実験及びビデオ化 ..... 62
- トリクロロシランについて ..... 63

## 【過去の研究実績】

- 過去の研究実績表(平成5年～平成12年) ..... 65

## Table of Contents

## 【Operations of Fire Science Laboratory】

- List of operation achievements / text ..... 1

## 【Research papers】

- Effects of the contours of things around a balcony on the properties of spouting flames ..... 3
- Research on the temperature distribution and gas concentration during combustion of a cold region-type structure ..... 17
  - Part 1 Results of measurements in a Japanese-style room
- Research on the temperature distribution and gas concentration during combustion of a cold region-type structure ..... 21
  - Part 2 Results of measurements in a Western-style room
- Research on vibrations and noises created by state-of-the-art ambulances with tire chains ..... 25
- Research and experiments concerning aerosol cans, portable gas cylinders. .... 35
- Understanding of the dangers of gas products of combustion and other substances at disaster sites and research on measures against them ..... 39
- Fatal amounts of carbon monoxide and hydrogen cyanide combustion in various space volumes ..... 46
- Research on retention conditions and effective emission methods at the time of indoor LP gas leakage ..... 48

## 【Information】

- Various reproducibility tests and videotaping of fire causes ..... 62
- Trichlorosilane ..... 63

## 【Past research achievements】

- List of past research achievements (1993 - 2000) ..... 65

# 消防科学研究所の業務について

## Operations of Fire Science Laboratory

業務実績表 (平成12年度中) (単位：件)

研 究			燃 焼 実 験	成 分 鑑 定	危 険 物 確 認 試 験	職 員 提 案 審 査 数	消 防 学 校 初 任 ・ 専 科 教 育 等	道 消 防 学 校 専 科 教 育 等	施 設 見 学 行 政 視 察 対 応 など
燃 焼 現 象 及 び 消 火 効 果	消 防 装 備 ・ 消 防 用 設 備 等 の 開 発	鑑 定 鑑 識 及 び 安 全 管 理							
3	1	1	20 ※1	172 ※2	2 ※3	16 ※4	7 (168)	3 (100)	82 (2,737)

( ) 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12年度

	月日	実 験 内 容
1	7.3	防災物品燃焼実験
2	8.2	メチルエチルケトンパーオキサイド自然発火実験 1回目
	8.18	〃 2回目
	10.10	〃 3回目
3	8.15	スプレー缶温風ヒーター加熱実験
4	8.16	カセットコンロ2台並列鉄板加熱実験
5	9.7	天ぷら油・天ぷら揚かす自然発火実験
6	9.11	天ぷら油吸着剤自然発火実験
7	9.26	移動式灯油ストーブ・ガソリン誤給油実験 1回目
	3.6	〃 2回目
8	10.5	水道管凍結防止ヒーター発熱実験
9	10.11	微弱電流発熱実験
10	10.19	木材燃焼実験
11	11.13	空気呼吸器警報装置音量測定実験
12	1.16	燃焼実験ユニット内発煙筒充满実験
13	1.30	使い捨てカイロ中身自然発火実験
14	2.19	コーヒー豆加熱自然発火実験
15	3.2	氷酢酸燃焼実験
16	3.9	水道管電流通電加熱状態発熱実験

表2 成分鑑定の状況

平成12年度

	実験方法	件数
1	ガスクロマトグラフ	132
2	質量分析装置	32
3	蛍光X線分析装置	6
4	蛍光分光光度計	3
5	熱分析装置	1
6	赤外分光分析計	1
	合計	175

表3 危険物確認試験実施状況

平成12年度

	試験名	件数
第4類	引火点測定試験	1(1)
第4類	発火点測定試験	1(1)
	合計	2(2)

※( )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12年度

提案番号	提案内容	採用区分
243	消火栓開閉金具の補強改良の考案について	採用4級
	消火栓開閉金具で双口消火栓のバタフライ開閉弁を回す際、安定して回すことができるように、バタフライ開閉弁回し部分の肉厚を3mmに厚くして、中心部に心棒を設け補強したもの。なお、材質もステンレス製とする考案	
244	救急車内に設置されている心電図測定器の配線の改良等の考案について	採用4級
	・救急車内の心電図測定器の配線を改良し、車内で12誘導の一つである胸部誘導をロータリースイッチ式で行えるようにした考案 ・救急車内の心電図測定器の電極プレートの吸着面を大きくした吸盤電極の考案	
245	救急車の電子サイレンアンプのリモコン装置の考案について	採用4級
	救急車に設置されている電子サイレンアンプにリモコン操作スイッチを接続し、隊長はもとより機関員や後部座席の隊員の操作も容易にした考案	
246	空気呼吸器警報器用防水保護カバーの考案について	採用4級
	水が侵入すると警報音の音色が変わる空気呼吸器の警報器に防水通気膜のカバーを装着することで、通常の警報性能を維持することができる考案	
247	水難救助車の考案について	採用5級
	現在の救助予備車を改造し、水難救助車として運用することで、水難救助出動の際、水難資器材の積載、出動中の活動(衣服の脱着)等に改善が図れる考案	
248	救助エアースレー(万能担架)の考案について	採用3級
	浮輪にネット、炭酸ガスボンベ及び要救助者固定バンドを取り付け、水中の要救助者を迅速に収容することができ、地上でもそのままソリとして活用できるため、要救助者に損傷を与えることもなく、プライバシーの保護も図れる考案	
249	状況確認ボール(イン・コ・ア・ボール)の考案について	採用5級
	発光ボール(IC回路と発光ダイオードを使用)と情報ボード(情報カードを添付)があり、高速道路上での多重衝突事故現場等において後着隊が活動状況を即座に確認でき、二次災害の防止及び情報収集の重複を防ぐことができる考案	
250	ハートメイト用リストバンドの考案について	採用4級
	携帯用ハートメイトにリストバンドを取り付け、手首に装着することで、落下及び損傷がなく、担架搬送時にも継続して傷病者の観察ができる考案	
251	冬期間対応の編上靴(安全靴)及び短靴の考案について	奨励賞
	編上靴(安全靴)及び短靴に収納式スパイクを取り付け、凍結路面での活動能力の向上を図る考案	
252	現場活動時における面体伝声装置カールコード部分の脱落防止方法についての考案について	奨励賞
	面体にゼムクリップを取り付け、未使用時にカールコード部分の引っ掛けフックとすることで、現場活動における衝撃等での、カールコードの脱落及び紛失の防止、スムーズな使用が図れる考案	
253	作業衣・救助衣・救急衣等の胸章(階級章)の改良について	努力賞
	胸章をテント用生地プレス加工し、反射式にして作成することにより、現状の階級章の金属性階級章の破損、脱落を防ぐことができ、夜間などの災害の防止にもなる考案	
254	空気呼吸器面体かけバンド増設の考案について	採用5級
	空気呼吸器面体かけバンドを左背負いバンドに増設し、活動を容易にした。さらに、空気呼吸器を外す場合も容易となった考案	
255	易搬送用二重巻きホースの考案について	採用5級
	二重巻きホースの最終巻き部分である結合金具から2m付近を折り込み肩掛け状にする。また、2巻き相互の金具を結合させ、2巻き(2本)同時搬送を容易とした考案	
256	改良型かんじきの考案及び配置について	採用4級
	コンパネを材料として安価な改良型かんじきを作成し、深雪時の諸活動等の移動を容易とした。また、救急患者搬送の際も安全に行えるようになる考案	
257	面体伝声装置の改良の考案について	採用2級
	面体伝声装置のスイッチをプッシュ式にして、スイッチの誤作動を減少させ、また、表示灯を超高輝度LEDとすることで、隊員相互の入力確認及び進入管理が安全確実となる考案	
258	防水シートを利用した多目的バックの考案について	採用4級
	防水シートを簡単に組み立てて作成することで、流出油の回収袋や簡易組み立て水槽など多目的に利用できる。また、既存の防水シートを利用することから安価にできる考案	

# バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響

## The Influence of Balcony Shape on Ejected Flame Characteristics

花 蘭 一 正\*  
Hanazono Kazumasa

橋 本 好 弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

工 藤 祐 嗣\*\*  
Kudou Yuji

早 坂 洋 史\*\*  
Hayasaka Hiroshi

### 要 約

中高層建築物の主な延焼経路である開口部噴出火炎について、実物の1/15スケールの区画を用いて火災実験を行い、噴出火炎温度、外部放射熱流束、熱画像装置による測定を行った。特に、バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響を調べるために、5種類のバルコニー付近形状で実験を行った。

この結果、バルコニー付近形状によって噴出火炎性状が変化することがわかった。特に手すり形状・火災規模によっては、火災階上階バルコニー内に熱気流が流入し、上階延焼を引き起こす可能性があることがわかった。

### Summary

This paper described the influence of balcony shape on external flame characteristics. The fire experiments were carried out with about one fifteen scale compartment. Five type balcony could set to the compartment. The external flame temperature and external heat flux was measured. The thermal visualization was carried out by IR camera.

The result reveal to the influence of balcony shape on external flame characteristics. In some case, the ejected flame flow into upstairs balcony when the shape that it had handrail with cutting.

### 1 はじめに

都市化が進展している地域では、土地の効率的利用の観点から、中高層建築物が増加している。中高層建築物は耐火構造で建築されている。耐火建築で火災が発生した場合、構造自体は燃焼せず気密を保持するため、耐火的に最も弱い窓から火炎が噴き出し、隣棟や上階への延焼経路となるケースがある。

上階延焼の阻止のために、スパンドレルの確保やバルコニーの設置などが行われている。バルコニーの長さが十分に確保されていれば、噴出火炎の立ち上がり部分が前進するため、上階居室と噴出火炎の距離を十分に確保することができる。上階居室への放射熱伝達量は火炎との距離の二乗に反比例するため、噴出火炎と上階居室の距離を確保することは、上階延焼阻止に大きな効果を発揮するものと考えられている。

ところが、平成8年10月28日に広島県H市において発生した高層アパート火災においては、バルコニーが設置されていたにもかかわらず長大な噴出火炎

が発生し、9階から20階まで延焼した。この長大な噴出火炎の発生原因としては、バルコニーにアクリル樹脂が使用されていたこと、バルコニー付近がコーナー形状となっていたことなどが指摘されている。アクリル樹脂に関しては、所報No.4において既に検討済である<sup>2)</sup>。しかし、バルコニーの上階延焼阻止性能に関しては、いくつか研究が行われているが、バルコニー付近形状が噴出火炎に及ぼす影響については、鈴木らによって連続バルコニー形状に関する検討が行われている程度<sup>3)</sup>であり、あまり検討されていないのが現状である。

バルコニー付近形状による噴出火炎性状の変化を知ることができれば、それぞれの建物構造・形状にあった効率的な部署配置、安全な防御方法へと活かすことができ、中高層建築物における消防活動の指針を得られるものと考えられる。

一方、バルコニー内には、灯油やゴミ、古新聞などの可燃物が放置される場合がある。バルコニーに火炎からの放射熱阻止効果・熱気流流入阻止効果が無ければ、これらの可燃物に着火し、上階延焼を阻止することができない。バルコニー付近形状が放射熱・熱気流の阻止効果に与える影響を明らかにする

\* 消防科学研究所

\*\* 北海道大学大学院工学研究科

ことで、上階の延焼危険性の判断、可燃物放置の危険性など、火災予防指導上の指針とすることができる。

本研究では、1/15スケールでバルコニーの付いた小型区画を作成し、燃焼実験を実施した。開口部からの噴出火炎の温度、噴出火炎からの熱流束を測定し、噴出火炎のビデオ画像、熱画像を収録した。熱画像は統計的手法を用いて解析を行い、火炎性状の変化を明らかにした。

## 2 実験の目的

本研究の目的は、バルコニー付近形状による噴出火炎性状の変化を明らかにし、消火活動の安全性および警防戦術の向上に資すること、また、バルコニー付近に設置された可燃物への着火危険性を明らかにすることで、火災予防指導における基礎データをj得ることである。

## 3 実験の概要

### 3.1 日時

平成12年6月14日～平成12年6月30日  
延べ11日間

### 3.2 場所

西区八軒10条西13丁目  
消防科学研究所 燃焼実験室

### 3.3 実験および測定方法

図1に示す模型区画内にて、ガスバーナを火源として燃焼させ、噴出火炎を発生させる。発生した噴出火炎の気流温度、火炎からの熱流束の測定を行った後、同条件にてビデオカメラ・熱画像装置による撮影を行う。

#### (1) 区画構造、寸法および材質

区画は1/15スケールの2DK住宅（公団住宅）を想定し、高さ200mm×幅400mm×奥行600mm（実大

高さ3m×幅6m×奥行9m相当）とした。区画の壁の材質は厚さ25mmの耐火断熱ボードである。壁厚は実際に比べ厚いが、火災のような数十分単位の現象では大きな誤差は生じず、また、火災室温度は安全側に（高く）出るものと考えられる。

上階外壁部分も同じ耐火断熱ボードで作成した。外壁には長さ100mm（実大1.5m相当）のバルコニーを取り付けた。これは建築基準法施行令第百十二条（防火区画）10項に規定される900mmに比べ、充分長いものである。

開口部は高さ120mm×幅160mm（実大高さ1.8m×幅2.4m相当）の横長のものとし、下端は床面位置と揃え、水平方向はセンター位置に設けた。開口因子は $6.65 \times 10^{-3} \text{m}^{5/2}$ である。

バルコニー付近形状は実際の中高層建物におけるバルコニー付近形状を考慮しながら、図2に示す6種類とした。図2中で、上の写真が実建物におけるバルコニー付近形状、下の図が実験で用いたバルコニー形状である。type(e)については横壁の深さ50, 100, 150mmでバルコニーなし、及び150mmのものに長さ100mmのバルコニーを取り付けたものの4種類の実験を行った。

#### (2) 火源

区画中央には一辺100mmの正方形の多孔質拡散

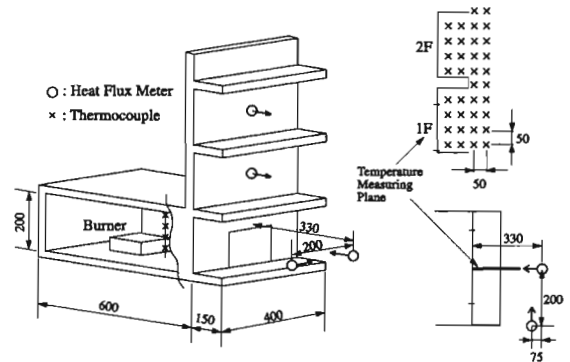


図1 実験装置

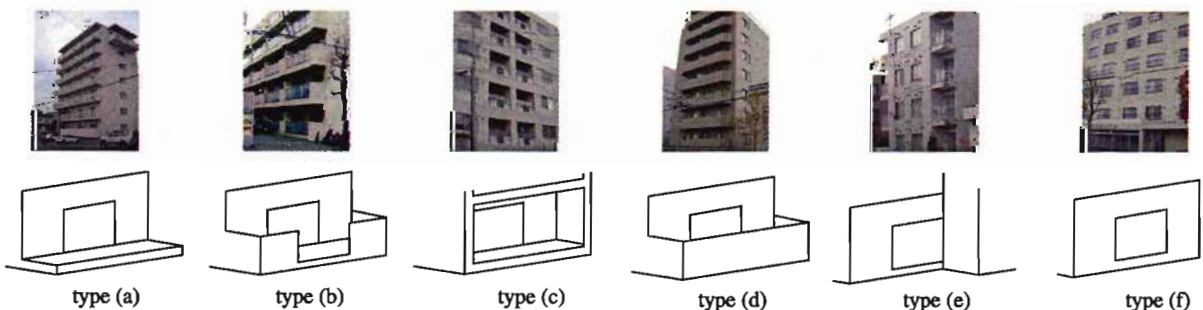


図2 バルコニー手すり形状



炎バーナを設置した。燃料はLPGである。ボンベからバーナへは、レギュレータ、ガスフローメータ、流量調整弁を介し、ガスを供給した。バーナへのガス供給速度は2~10l/min（発熱速度3.3kW~16.6kW、実大2.88MW~14.5MW相当）とし、2l/min（3.3kW）づつ増加させ、それぞれの形状で5種類の発熱速度の実験をおこなった。この区画での換気支配時の発熱速度は、開口部寸法より11.5kW程度であり、上述の実験範囲は、噴出火炎が見られない（噴出気流のみ）ものから、盛期火炎に至って区画外に大きな噴出火炎を形成するものまで網羅しているものと考えられる。

### (3) 測定方法

噴出気流温度は図1に示す×印36点で測定した。熱電対の設置間隔は水平方向、垂直方向ともに50mmである。熱電対は金網に支持させ、金網面から10mm程突出させた。この面が温度測定面となる。温度測定面は水平方向センター位置となるように設置した。

区画内温度はバーナ前端から50mm前方の水平方向センター位置、高さ方向に40mm間隔で4点測定した。温度測定には外径0.7mmのシース型K熱電対を用いた。

熱流束は火災室上階およびその上階の窓中央相当位置および火災室開口部から330mm離れた2点の計4点で測定した。測定には水冷式ガードン型熱流束計（メドサム社製）を用いた。また、噴出火炎は側面位置よりデジタルビデオカメラおよび熱画像装置（日本アビオニクス TVS-2200ST）にて、正面位置より8mmビデオカメラにて撮影した。

実験は、初めに10分程度燃焼させ、充分定常状態に達したものと判断されたところで測定を開始した。また、熱電対支持用の金網が写り込んでしまうため、熱画像装置による測定は別実験とした。

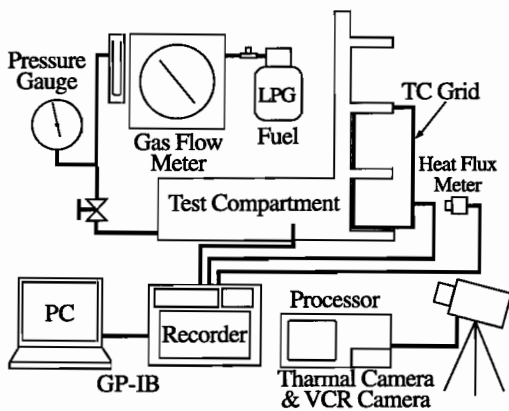


図3 測定装置

## 4 実験結果と考察

### 4.1 噴出気流温度・熱流束測定結果

#### (1) 噴出気流温度

図4に噴出気流主軸上の温度分布を示す。縦軸は横井<sup>4)</sup>による式(1)で示される無次元温度 $\Theta$ 、横軸は無次元高さ $z/r_0$ である。

$$\Theta = \frac{\Delta T_0 r_0^{5/3}}{(T_\infty \dot{Q}^2 / c_p \rho^2 g)^{1/3}} \quad (1)$$

$$r_0 = (BH/2\pi)^{1/2} \quad (2)$$

$\Delta T_0$ : 開口部から  $z$ [m] 離れた点の火炎（熱気流）と外気の温度差 [K]

$T_\infty$ : 外気の温度 [K]

$c_p$ : 室内空気の比熱 [kJ/kg/K]

$\rho$ : 室内空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$g$ : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]

$B$ : 開口部幅 [m]

$H$ : 開口部高さ [m]

$r_0$ : 矩形熱源の相当半径 [m]

ここで、発熱速度 $\dot{Q}$ は開口気流が持ち出す熱量であるが、未燃燃料の影響は考慮していない。また、type(e)のコーナー形状のバルコニー無しのもの、type(f)のバルコニー無しについては、温度測定点の間隔が大きすぎたため、主軸上の温度分布を得られなかった。

図4(a)は火源の発熱速度3.33kWの結果である。バルコニー内の $z/r_0 > 1$ 領域では温度低下は小さく、 $\Theta \propto (z/r_0)^0$ の連続火炎域であるが、バルコニー先端付近より $\Theta \propto (z/r_0)^{-1}$ の傾斜となって間欠火炎へと変化し、さらに $\Theta \propto (z/r_0)^{-5/3}$ のプルーム域へと変化していく。手すり形状による温度分布の変化は、プルーム域で大きい。type(d)では、壁の存在により気流の拡散が抑えられるため、温度低下も抑えられている。

図4(b)は火源の発熱速度6.66kWの場合であるが、 $\Theta \propto (z/r_0)^{-1}$ から $\Theta \propto (z/r_0)^{-5/3}$ へと変化する位置が変化する。さらに発熱速度が大きい図4(c)の10kWの場合、プルーム域が測定範囲を越えてしまう。

さらに発熱速度を増加させた図4(d)、図4(e)の場合、温度低下の傾斜は緩やかになる。このケースでは、開口部形状から既に換気支配となっているものと考えられ、開口部からは区画内で燃焼しきれなかった未燃ガスが流出しているものと考えられる。この未燃ガスの発熱反応により、温度低下が抑えられるものと考えられる。

type(e)のコーナー形状の場合について見てみると、 $\Theta \propto (z/r_0)^{-1}$ の間欠火炎域における温度が他の形

状に比べ高い。特に図4(c)の10kWの場合が顕著である。コーナーの存在によって空気流入，熱気流の拡散が抑えられ，火炎が高くなっているものと考えられる。一方，発熱速度の大きい13.3kW，16.6kWの場合は他の形状と大きな差は見られないが，これは噴出火炎がコーナー部分から溢れ，他の形状と大差無くなっているためと考えられる。

本実験において，温度測定面は区画の垂直方向の中心位置としたが，type(e)のようなコーナー火炎では火炎の傾きが顕著であった。このため，測定面が火炎主軸から外れたため，本実験で得られた主軸温度は本来の意味での主軸温度とはいえない。このため，他のバルコニー形状との明確な差は見られなかった。

## (2) 熱流束測定結果

図5に各測定位置における熱流束の測定結果を示す。図5(a)は噴出火炎の正面位置である。バルコニー無しのtype(e)，type(f)については，他のものに比べ熱流束が小さい。バルコニーにより噴出火炎の位置が移動し，測定位置と火炎の距離が小さくなるためと考えられる。また，コーナー形状type(e)は，type(f)に比べ熱流束が大きい。図5(b)は側面方向から測定したものである。バルコニーの有無に関しては，これも同様の傾向が見られる。

図5(c)は2階窓位置における測定結果である。バルコニー無しのtype(e)，type(f)は，上階壁面に火炎が接するため，熱流束が大きい。type(b)以外のバルコニー付きのものについては，上階延焼阻止効果が見られる。type(b)に

ついては，火災が換気支配に移行する10kWを境に，熱流束が他の形状のものに比べ大きくなる。これは，手すりに切り欠きが付いているために，火炎がバルコニー内に侵入するためである。図5(d)は3階窓位置における測定結果である。バルコニー無しの熱流束が大きいのは2階と同様である。

図5(b)，図5(c)を総じて，手すり面積が大きく，火災からの遮蔽効果の高いtype(d)が最も熱流束が小さかった。ただ，図5(a)，図5(b)からは外部への熱流束は比較的大きく，上階延焼と隣棟延焼の阻止効果

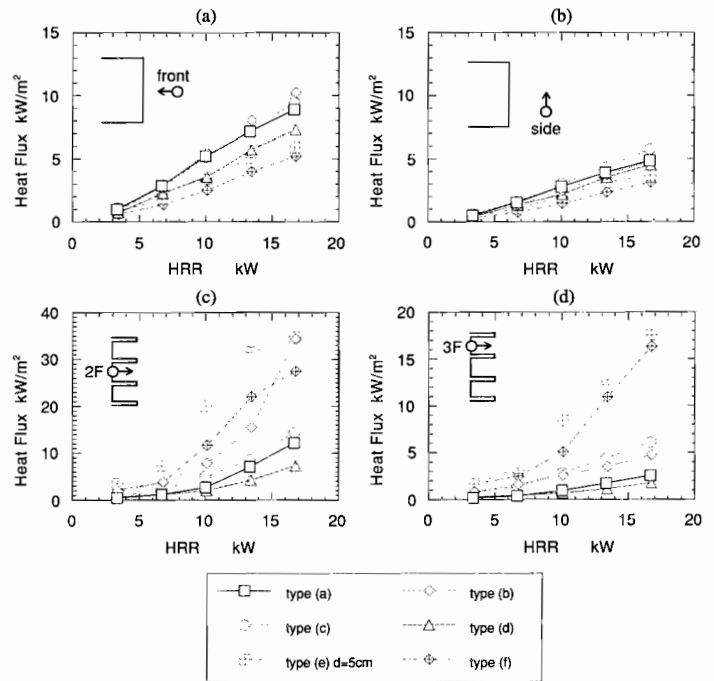


図5 噴出火炎からの熱流束

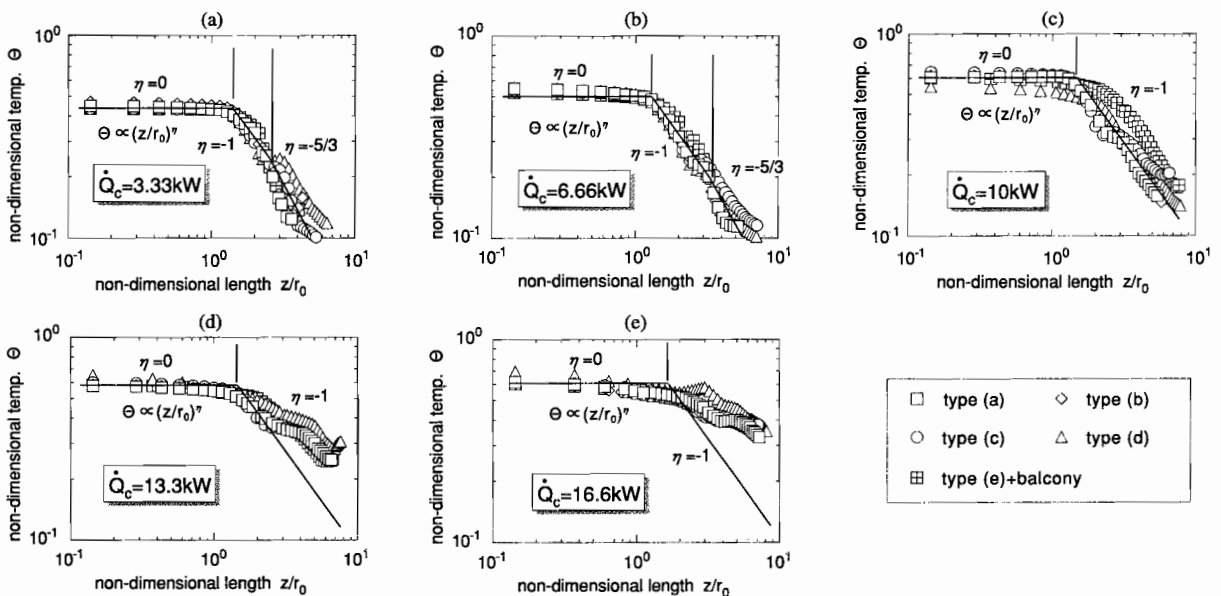


図4 噴出気流主軸上の温度分布



果はトレードオフの関係にある。また、バルコニー無しでは、コーナー形状type(e)はtype(f)より熱流束が大きかった。

このようなバルコニー付近形状による噴出火炎性状の変化を考察するため、熱画像装置により得られた熱画像の解析を行った。

## 4.2 熱画像の解析

### (1) 熱画像装置による火炎計測の原理

熱画像装置による火炎計測の原理図を図6に示す。火炎からの熱放射は、図6中の放射率1の仮想黒体壁より射出しているものと仮定した。これにより、熱画像装置によって各ピクセルごとに得られた見かけの温度を、式(3)を用いて放射強度に変換することができる。

$$T_s = (q_s(i, j) / (\epsilon_s \sigma a_s))^{0.25} \quad (3)$$

$q_s(i, j)$ はピクセル $(i, j)$ における放射強度、 $\epsilon_s$ は各ピクセルの放射率（仮想黒体壁なので $\epsilon_s=1$ ）、 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数、 $a_s$ はピクセル $s$ の面積で、仮想黒体面と熱画像装置の距離 $L$ がわかると、式(4)で計算できる。

$$a_s = (2.1737 \times L + 0.3456)^2 \times 10^{-6} \quad (4)$$

ただし、式(4)の定数は熱画像装置の光学系の仕様により定まるものである。

よって、ピクセル $s$ の放射強度 $q_s(i, j)$ は、式(3)を変形することにより求められる。また、撮影領域全体の外部放射熱流束 $Q_s$ は、 $q_s(i, j)$ を積分することに

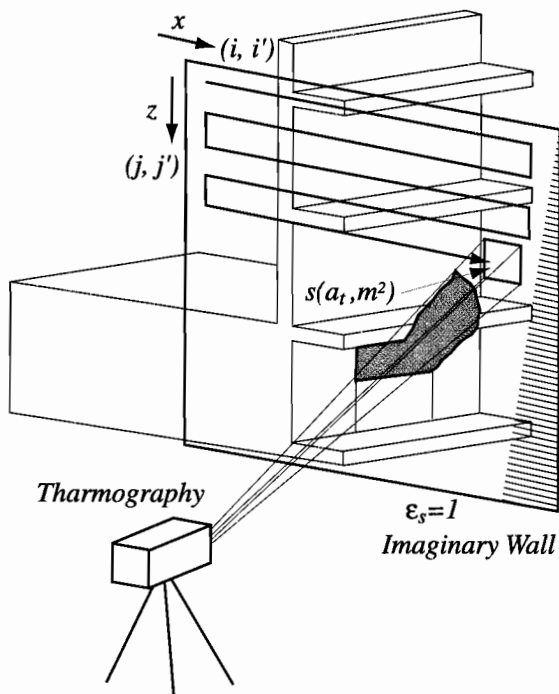


図6 熱画像装置による測定

より求められる。

熱画像装置は、非接触測定のために、測定対象物に外乱を与えることなく測定可能な利点に加え、測定の時定数が非常に小さく、動的な現象も測定できる利点がある。本研究では、リアルタイムレコーダを併用し、1/30秒間隔で得られた100枚の熱画像を統計処理することで、動的現象に対する考察も行った。

まず、得られた100枚の熱画像より、平均放射強度を得た。これは撮影時間（ $100 \times 1/30 = 3.33$ 秒間）の平均を表すものであり、従来からの熱電対による測定と対応するものと考えられる。

次に、放射強度の標準偏差 $SD(i, j)$ を式(5)より求めた。放射強度が大きく、かつ変動も大きい位置では、標準偏差は大きな値を示す。

$$SD(i, j) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (q_s(i, j) - q_{mean}(i, j))^2}{k-1}} \quad (5)$$

また、変動係数 $CV(i, j)$ を式(6)により求めた。変動係数は標準偏差と平均値の比を示す値であり、火炎局所の変動の大きさを相対的に示すものと考えられる。

$$CV(i, j) = \frac{100 SD(i, j)}{q_{mean}(i, j)} \quad (6)$$

各ピクセルに対して上記の計算を行い、これを用いて等高線図を作成した。

### (2) 熱電対による温度測定

噴出火炎の発生状況を図7に示す。熱電対を用いて噴出火炎の等温線図を作成したものを図8に示す。左から右へ順に、3.33kWから16.6kWまで発熱速度を増したものである。また、上から下へ順に、type(a)からtype(e)のバルコニー形状である。

3.33kWについては、大きな差異はみられない。type(d)の噴出気流の立ち上がりがあり、若干大きいように思われる程度である。

6.6kWでは、type(a),(e)に比べ、type(b),(c),(d)の噴出火炎の立ち上がりが大きい。特にtype(b)では、150℃以上の領域が2Fを越え、3Fに達しようとしている。

10kWについては、type(b)はバルコニー内に熱気流が流れ込み、300℃以上の高温領域がみられる。type(d)は2Fは熱気流をよく阻止しているが、1Fは他のものに比べ温度が高い。type(c), type(e)ともに手すりは無いが、type(a)とは異なる温度分布を示しており、バルコニー付近の形状が噴出火炎性状に影響

を及ぼしだしている。

13.3kW, 16.6kWと、火源の発熱速度が増加するにつれて、2Fバルコニー内の温度は上昇し、可燃物が放置されていれば発火危険の高い状態となる。とりわけ、type(b)に関しては、600℃以上の高温となっている。

### (3) 平均放射強度

熱画像装置で撮影した100枚の熱画像より得た、噴出火炎の平均放射強度分布を図9に示す。左から右へ順に、3.33kWから16.6kWまで火源発熱速度を増したものである。また、上から下へ順に、type(a)からtype(e)のバルコニー形状である。図中には、放射強度の高い位置を結んだ尾根線を描き入れた。放射強度は温度だけでなく、ガスの吸収係数にも依存する。吸収係数はすす、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O濃度などに依存する。このため、放射強度の尾根線は、温度の尾根線とは多少ずれ、燃焼生成物の濃度が高い位置を通る。

放射強度の尾根線は、開口部上端付近より発し、バルコニー中程付近から、バルコニーに沿って伸びる。バルコニー先端付近で尾根線は曲がり、さらに上方へ向かう。

バルコニー下面に沿って、2つの放射強度が低い位置があるが、これはバルコニーを取り付けるためのナットが飛び出しており、この影になった部分である。垂壁とバルコニー下面に囲まれた領域にも低放射強度領域が見られる。目視観察によると、この部分に安定な渦が形成されており、この低放射部分は渦の中心に相当する。また、バルコニー下面から先端に至る領域には、高放射領域がみられる。

type(b)では、火源の発熱速度が増すにつれて、主となる尾根線の他に、バルコニー内に向かう弱い尾根線が見られる。type(b)では、手すり切り欠き部からバルコニー内へ向かうものの他、上階バルコニー先端に衝突し、バルコニー内に侵入するものが見られる。また、火源発熱速度が増すにつれ、主となる尾根線も建物側に曲がっているのがわかる。

type(c)では、側壁の影となる部分が測定できないので、バルコニー前端より前の部分のみが測定されている。火源の発熱速度が増すにつれ、尾根線は建物側に曲がる。尾根線の位置は、type(a)に比べ建物側に寄っている。

type(d)では、バルコニー前端の立ち上がり部分が壁であるため、尾根線は他に比べ大きく曲がり、手すりに沿って上昇している。手すりの影となるため、バルコニー内への流入は少ないようである。ただ、上階バルコニー前端との衝突によるバルコニー内へ

の熱気流の流入は阻止できない。また、4.0kW/m<sup>2</sup>/sr以上の高放射領域が3Fバルコニーまで達しており、外部への放射は増すものと考えられる。また、開口部付近の尾根線の位置は、他のバルコニーに比べ低く、火源発熱速度が増すほど低くなっている。開口部の下半分を覆う手すりの存在が、火災区画への空気供給に影響を及ぼし、中性帯高さが低くなっているためと考えられる。

type(e)では、手すりが無いにも関わらず、側壁の影響でバルコニー内に熱気流が流入し、バルコニー内の放射強度がtype(a)に比べ高くなっている。尾根線の位置もtype(a)に比べ建物側に寄っている。

### (4) 標準偏差分布

噴出火炎の標準偏差分布を図10に示す。左から右へ順に、3.33kWから16.6kWまで発熱速度を増したものである。また、上から下へ順に、type(a)からtype(e)のバルコニー形状である。図中には、標準偏差の尾根を結んだ線を描き入れた。プール火炎の測定より、火炎の中心部より端の方が大きな標準偏差を示すことが知られている<sup>9)</sup>。標準偏差が大きいということは、熱放射の平均値が大きく、かつ変動が大きいということであり、反応域の高温火炎と周囲の低温空気が周期的に混じり合うなど、高放射強度側の変動が大きい部分であることがいえる。

一般的な傾向として、標準偏差の尾根線は、放射強度の尾根線に比べ外側にある。また、バルコニー先端付近の火炎が立ち上がる部分には、標準偏差の高い領域が見られる。このような高標準偏差領域は、空気と未燃燃料の混合が他よりも強い領域で生じるものと考えられ、比較的大きな渦が形成・消滅を繰り返しているものと考えられる。

火源の発熱速度が大きくなり、噴出火炎が定常的に生じている条件では、標準偏差の尾根線は、概ね平均放射強度の2.0kW/m<sup>2</sup>/srの等高線と一致するようである。これはプール火炎による測定<sup>9)</sup>と同様の結果である。

type(b)では、type(a)に比べ尾根線が建物側に接近しており、火源発熱速度16.6kWの場合では、バルコニー内に尾根線が大きく侵入している。また、3Fバルコニー前端に標準偏差の高い領域が見られ、バルコニー前端への上昇気流の衝突と、これに伴う渦の発生を示唆するものと考えられる。このような高標準偏差領域は、type(d)の火源発熱速度16.6kW、type(e)の10kW以上でも見られる。

type(e)では、2Fバルコニーの床面付近に高標準偏差領域が見られる。これはバルコニー前端で上昇した気流が、コーナー部の存在によってバルコニー内

に倒れ、2Fベランダ床面に近い位置で外気を巻き込みながら燃焼しているためと考えられる。

#### (5) 変動係数分布

噴出火炎の変動係数分布を図11に示す。左から右へ順に、3.33kWから16.6kWまで発熱速度を増したものである。また、上から下へ順に、type(a)からtype(e)のバルコニー形状である。変動係数は局所の標準偏差を平均値で除したものであり、火炎局所の放射強度の変動の大きさを相対的に表している。

一般的な傾向として、バルコニー下面に沿った領域は放射強度が高いにも関わらず変動係数は小さく、この領域は連続的で安定した火炎が存在する安定火炎域である。

火源発熱速度が10kW以上の場合、バルコニー先端付近の火炎と空気の境界付近は、変動係数が60～70%と比較的高い値を示した。目視観測では、この付近では未燃ガス塊が次々と通過しており、放射強度の変動が大きい領域である。

type(a)では、火源発熱速度が10kW以上の場合、変動係数の高い領域がバルコニー奥に生じた。火災室から放出された未燃ガスが、上階バルコニー奥深くまで運ばれ、燃焼する可能性があることを示しているものと考えられる。

type(b)、type(c)では、噴出火炎の進行方向外側に、90～100%の非常に変動係数の大きい領域が見られた。

type(d)では、バルコニー手すりに沿って、変動係数30～40%の細長い領域が見られた。火炎近傍に壁があることによって、熱気流の散逸を防ぎ、安定した火炎が形成される可能性があることを示唆しているものと考えられる。

同様に、type(e)では側壁があることによって、他のバルコニー付近形状と異なり、変動係数が30～40%を取る領域が広い。ただ、側壁の無くなる噴出火炎外側では、変動係数が50～60%の領域も見られる。

#### (6) 外部放射熱流束

熱画像装置によって得た熱画像より、火炎の外部放射熱流束を求めることができる。熱画像装置の撮像素子の時定数は非常に小さく、熱流束計による測定に比べ、短時間の変動を捉えられる可能性がある。熱画像装置とリアルタイムレコーダにより得られた、撮影間隔1/30秒の熱画像を用いて噴出火炎の外部放射熱流束を算出し、これを周波数解析することによって、噴出火炎の振動特性を知ることを試みた。

熱画像より得られた、1/30秒間隔で3.3秒間（100サンプル）の外部放射熱流束変化をDFT（離散フー

リエ変換）したものを図12に示す。図12では、熱流束の平均値と変動成分の各周波数強度との比を表した。シャノンのサンプリング定理より、サンプリング周波数（ここでは30Hz）の半分の周波数（15Hz）が解析限界となる。また、収録時間が3.3秒間（0.3Hz）なので、0.6Hz以下の特性は信用できない。

一般的な傾向として、火源発熱速度3.33kWの場合は変動成分は少なく、-60dB程度の値を取る。火源発熱速度が増すにつれ、変動成分の強度は大きくなり、-40dB程度となった。全体的には、概ね40dB/dec程度の割合で高域の強度が低下してゆく。また、1～4Hzの帯域が持ち上がり、緩やかなピークを形成している。これは未燃ガスの振動的な放出と、きのこ状火炎の形成に関係しているものと考えられる。5～15Hzの比較的高域では、ピーク・ディップが多数見られ、短時間での複雑な渦形成・消滅などの振動的現象が多数おきていることを示唆している。

type(b)も全体的な傾向は変わらないが、type(a)に比べ高域のピーク・ディップが比較的少ないように思われる。type(c)はバルコニー内の安定火炎域が撮影されていないため、変動成分は比較的多めである。いくつかの規則的なピークが見られる。type(d)は火源発熱速度が小さい場合はピークが多数見られるが、火源発熱速度が増すと、高域のピーク高さが減少した。type(d)の場合は火炎高さが高いため、火源発熱速度が増すと噴出火炎の上部が撮影範囲から外れてしまった。このため、間欠火炎域などは撮影しきれなかった可能性がある。このような撮影条件で高域ピークが減ったということは、間欠火炎域での火炎片の消滅が、高域ピークに関係あることを示唆するものであることが考えられる。type(e)はあまり特徴的な傾向は見られず、type(a)に比較的近い。

## 5 まとめ

異なるバルコニー手すり形状を持つ、実物の1/15スケールの区画で火災実験を実施し、発生した噴出火炎の温度、熱流束を測定した。また、熱画像装置とリアルタイムレコーダを用いた測定を行い、統計的手法および離散フーリエ変換により、噴出火炎の動的性状を解析した。この結果、以下のことが結論として得られた。

- (1) バルコニー付近形状によって、噴出火炎の性状が変化することを示した。
- (2) 手すりに切り欠きのついたバルコニー形状、コーナー部があるバルコニー形状では、火源規模に

よってはバルコニー内に噴出火炎が流入し、バルコニー内が高温となる。これによって、火災階上階への延焼危険性が増加する。

- (3) 切り欠きのないバルコニー手すり形状の場合は、火炎高さが増加するために、隣棟との距離が十分に取れていない場合は、火災建物隣棟への延焼危険性が増加する。
- (4) 手すりの存在によって、噴出火炎が建物側に引き寄せられ、上階バルコニー前端に衝突して、熱気流がバルコニー内に流入する。また、手すりに切り欠きがある場合には、ここからも熱気流が流入する。
- (5) コーナー部を持つバルコニー形状、切り欠きの無い手すり形状では、火炎の変動は比較的抑えられており、火炎の変動係数は比較的小さい。
- (6) 噴出火炎からの外部熱放射の振動周波数解析から、変動成分は平均値の-40dB程度あり、高域に向けて-40dB/dec程度の傾きを持つ。
- (7) 火源発熱速度が増加し、未燃ガス塊の間欠的な上昇ときのご状火炎が見られるような条件では、1~3Hzに緩やかなピークを生じた。このことから、きのご状火炎の形成間隔は、主として1~3Hzである。
- (8) 火炎長さが長く、間欠火炎域が捉えきれなかった場合には高域のピークが減少したことから、間欠火炎の性状は5Hz以上の比較的高い周波数領域に現れるものと考えられる。

## 6 おわりに

都市化の進展に伴い、札幌市でも中高層建築物が増加している。このような建築物で火災が発生した場合には、従来の建築物とは異なる火災性状を示すため、従来の消火戦術では対応しきれない可能性がある。これが露呈されたのが、広島県H市において発生した高層アパート火災であろう。

本研究では、区画化された中高層建築物の延焼経路として主となるものと考えられる噴出火炎について、その火災性状を調べた。特に、噴出火炎性状に大きな影響を与えるものと考えられるにも関わらず、従来研究されていなかったバルコニー手すり形状・バルコニー付近形状の影響について明らかにすることができた。

近年の半導体撮像素子の性能向上により、従来は測定できなかった高速・短時間の現象変化を捉えられる熱画像装置を用いた測定により、噴出火炎の動的な性状を明らかにすることができた。

今後は、本研究で得られた基礎的な噴出火災性状をもとに、火災現場における消火戦術・火災防御技術の向上に発展させることが必要である。また、建築側からも、噴出火炎の性状を正しく理解し、延焼阻止性能を向上させる設計を行う必要がある。

## 【参考文献】

- 1) 須川修身「火災性状の研究動向」, 火災, Vol.50, No.1, p.244, (2000)
- 2) 伊藤潤「アクリル樹脂の燃焼について」, 札幌市消防科学研究所報, No.4, pp.31-36, (1997)
- 3) 鈴木健ほか「中高層建物の噴出火災性状に関する実験的研究(その1)」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.266-269, (1998)など
- 4) 横井鎮男「耐火造火災時の窓からの噴出気流の温度分布」, 日本火災学会論文集, Vol.7, No.2, pp.41-45, (1958)
- 5) 早坂洋史「小型プール火炎の放射特性と火炎構造」, 日本火災学会論文集, Vol.43, No.1-2, pp.31-39, (1995)



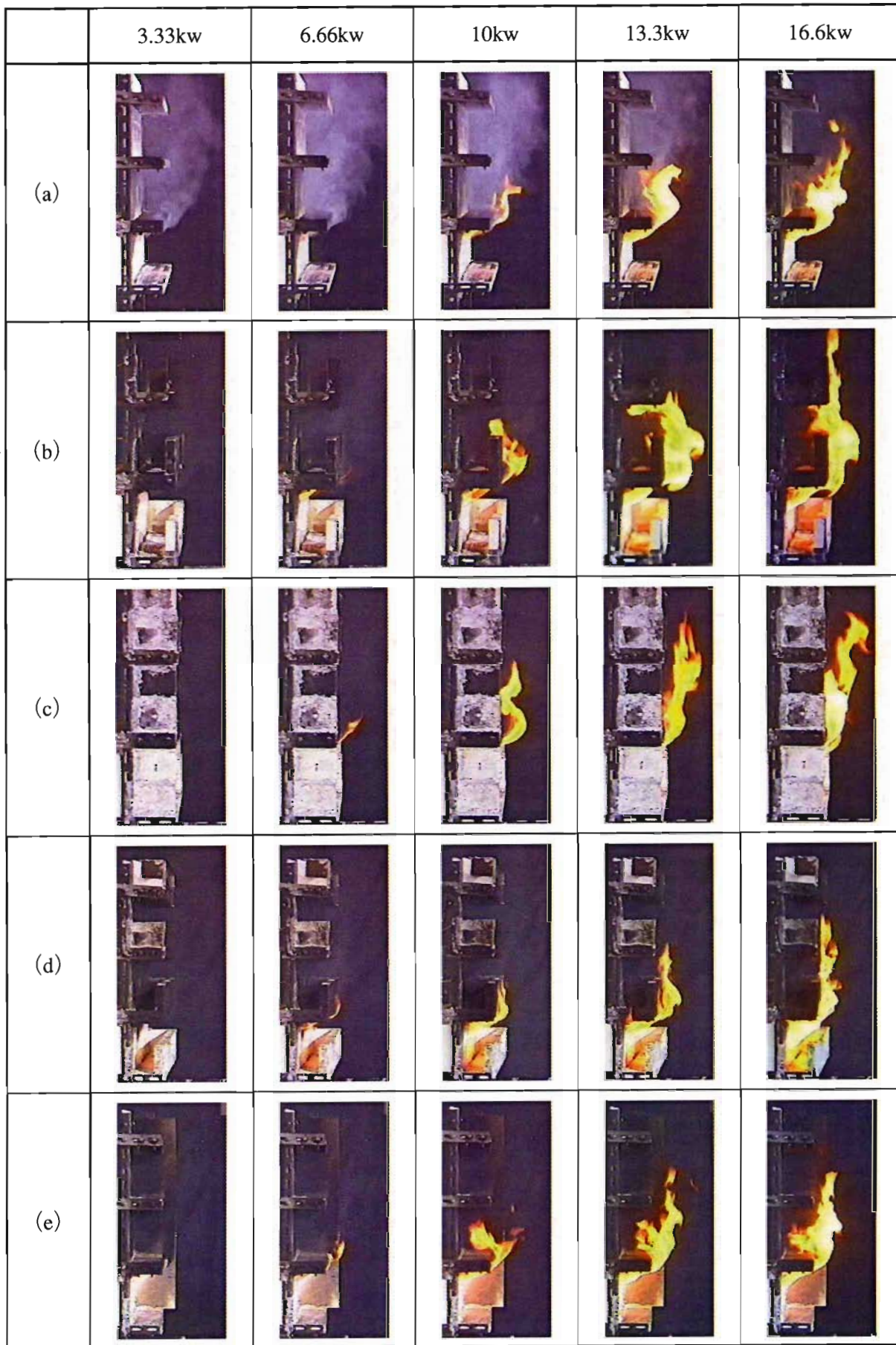


図7 噴出火炎の発生状況

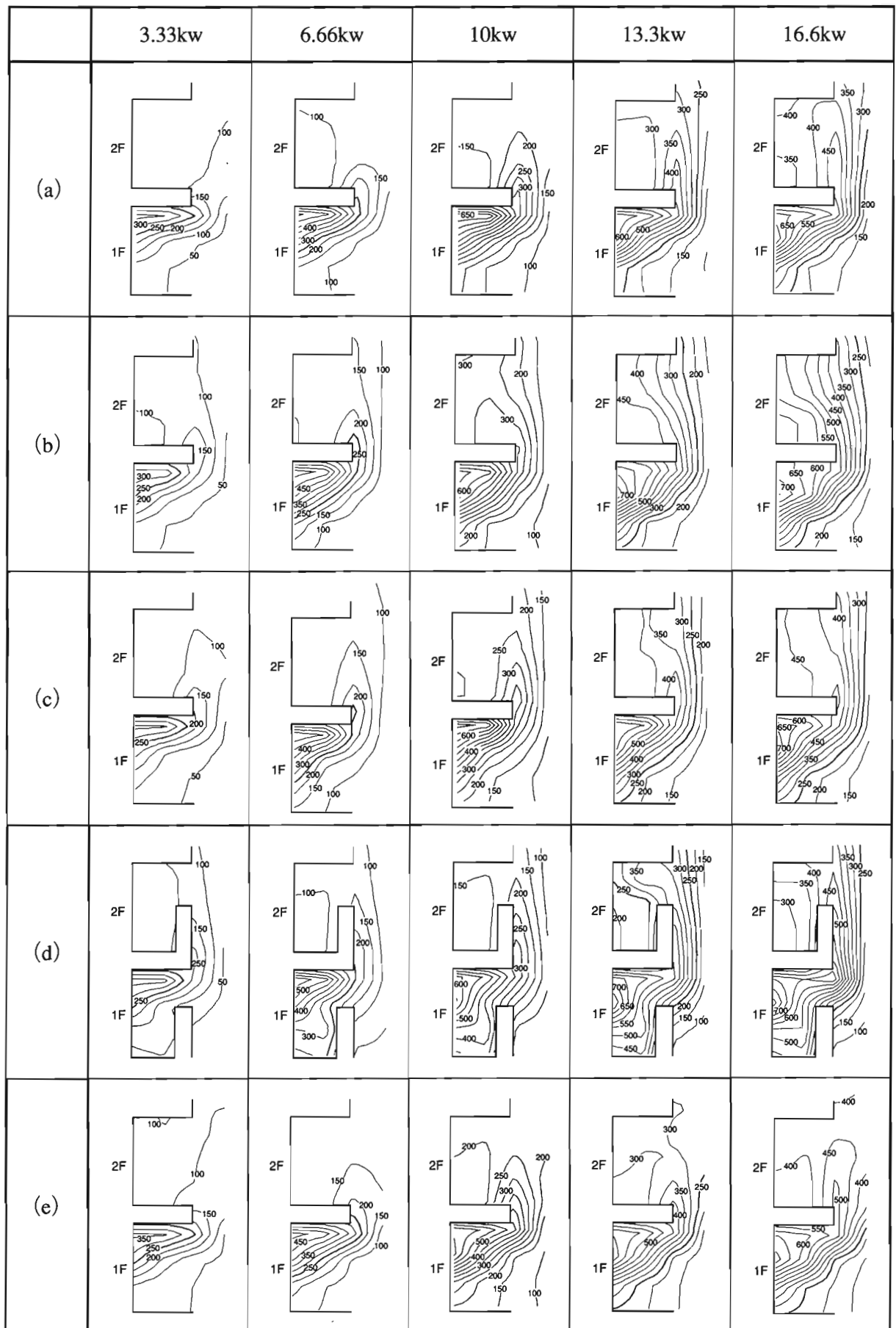


図8 噴出火炎の温度分布（熱電対による測定）

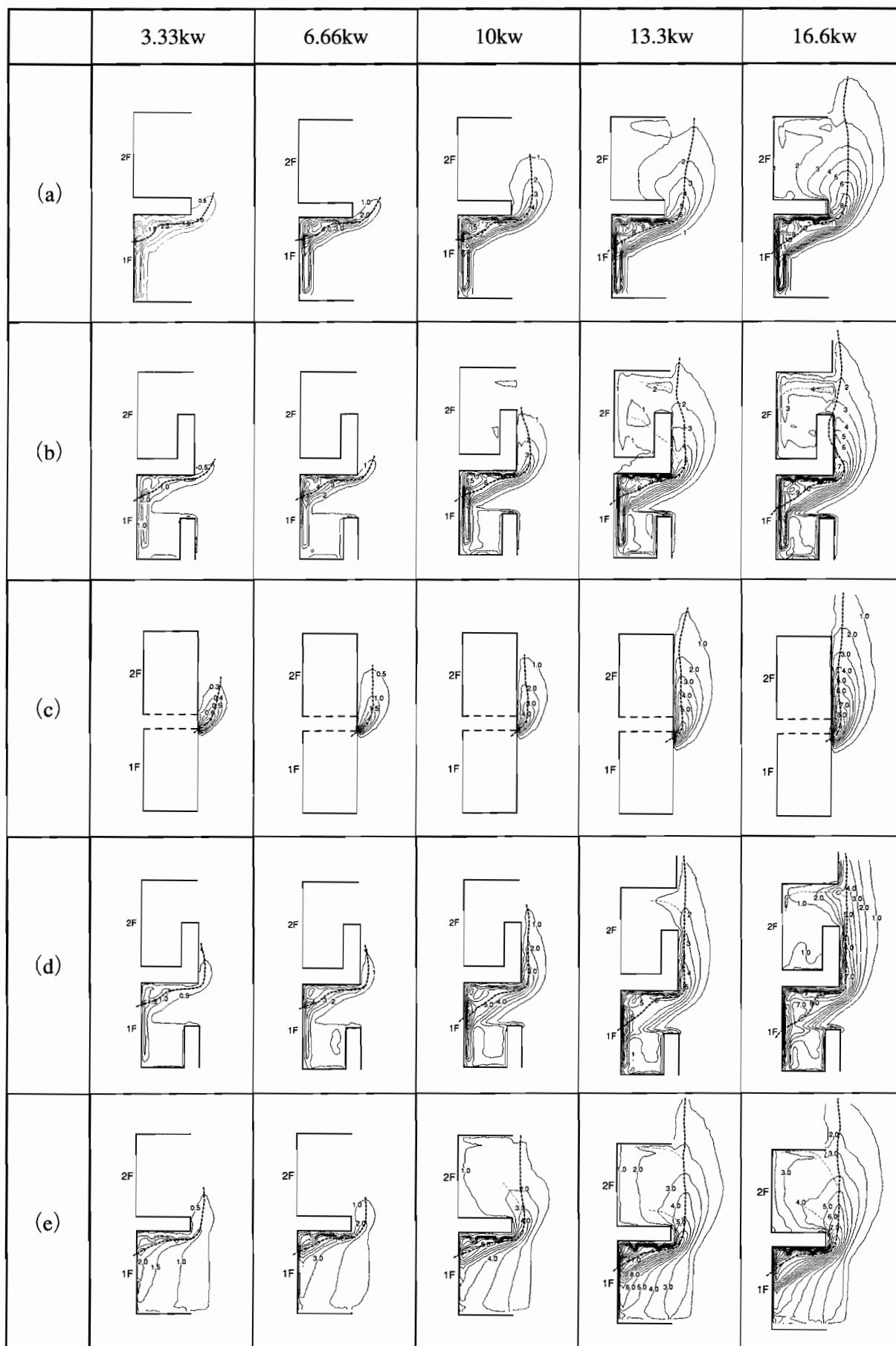


図9 平均放射強度測定結果



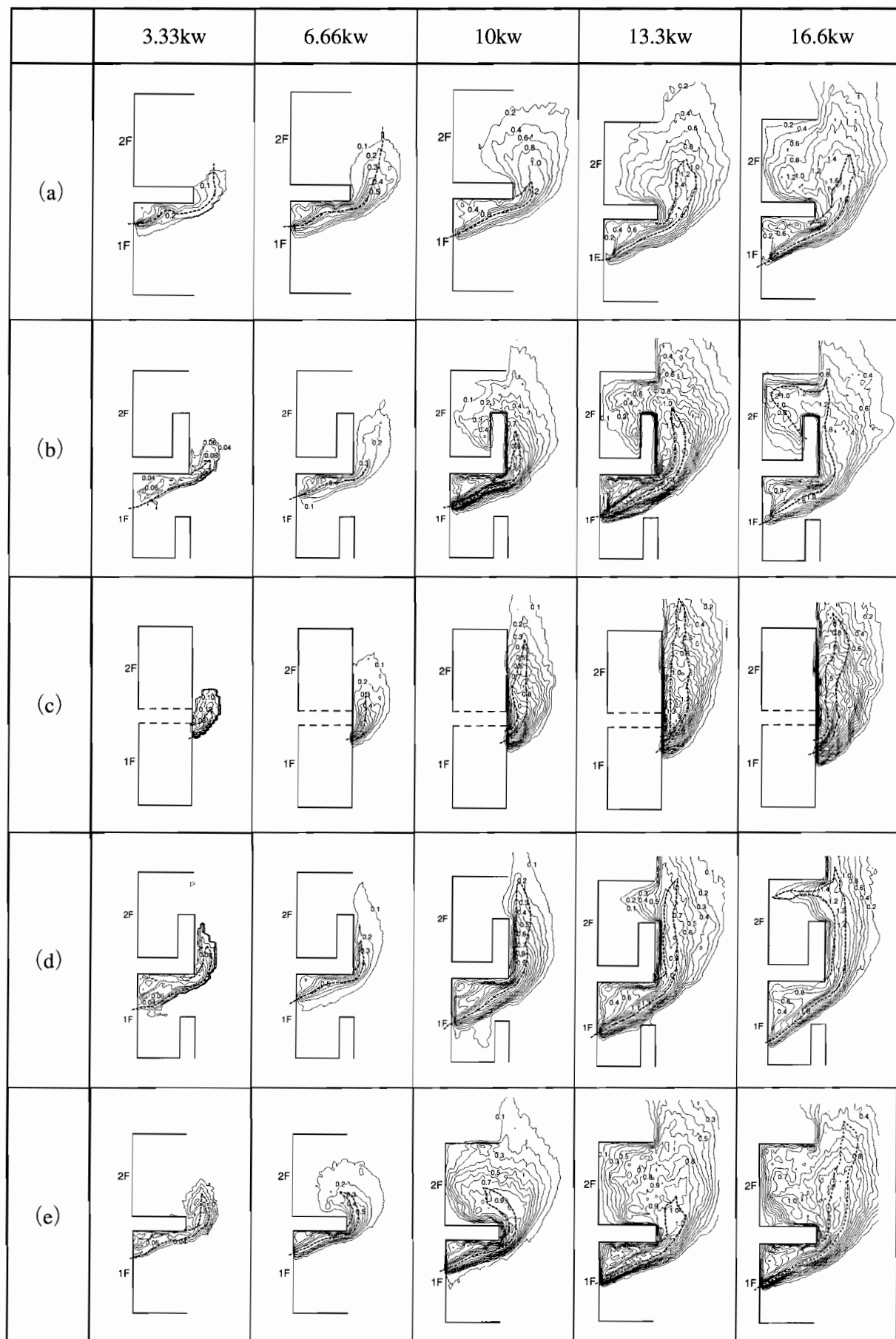


图10 標準偏差算出結果

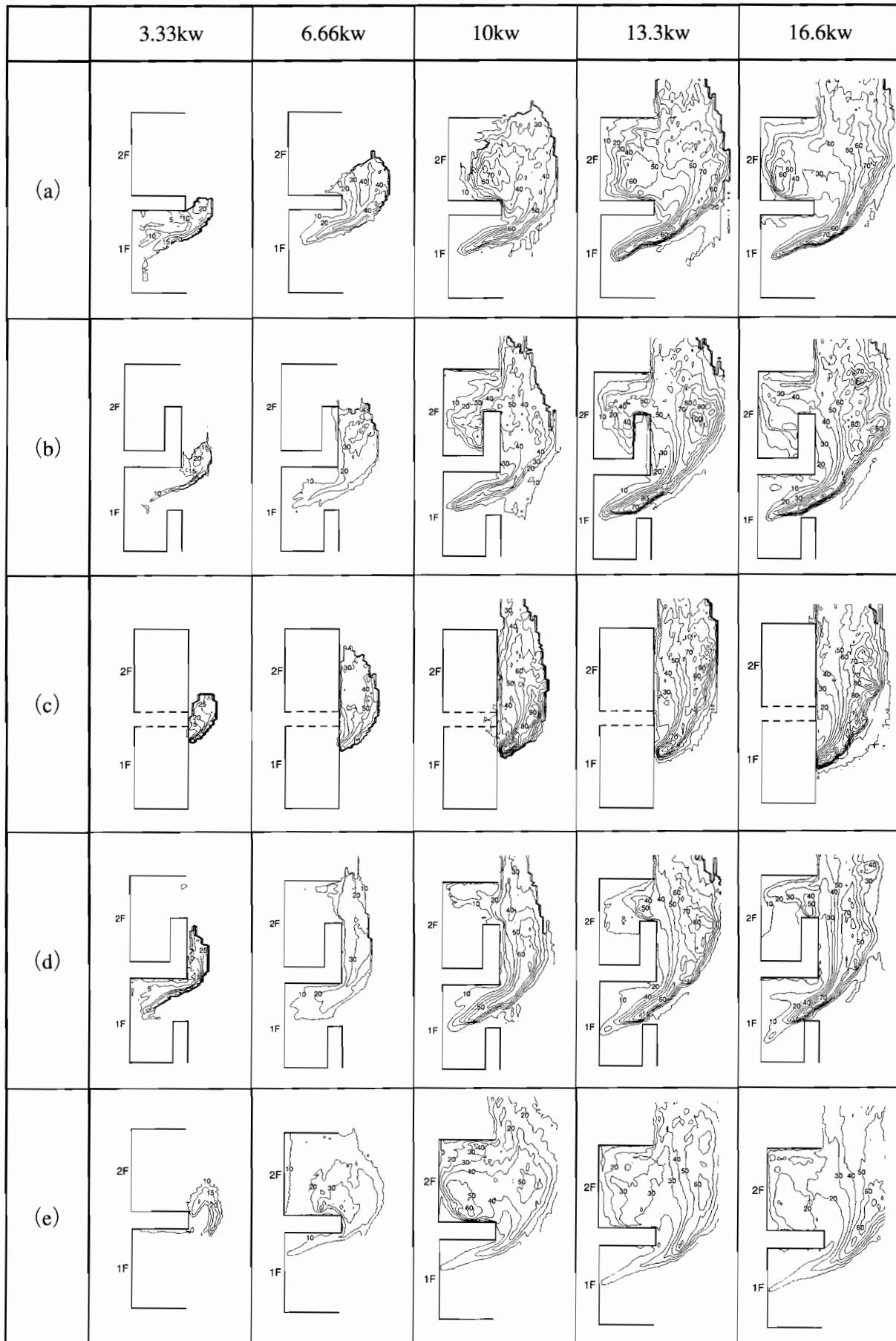


図11 変動係数算出結果

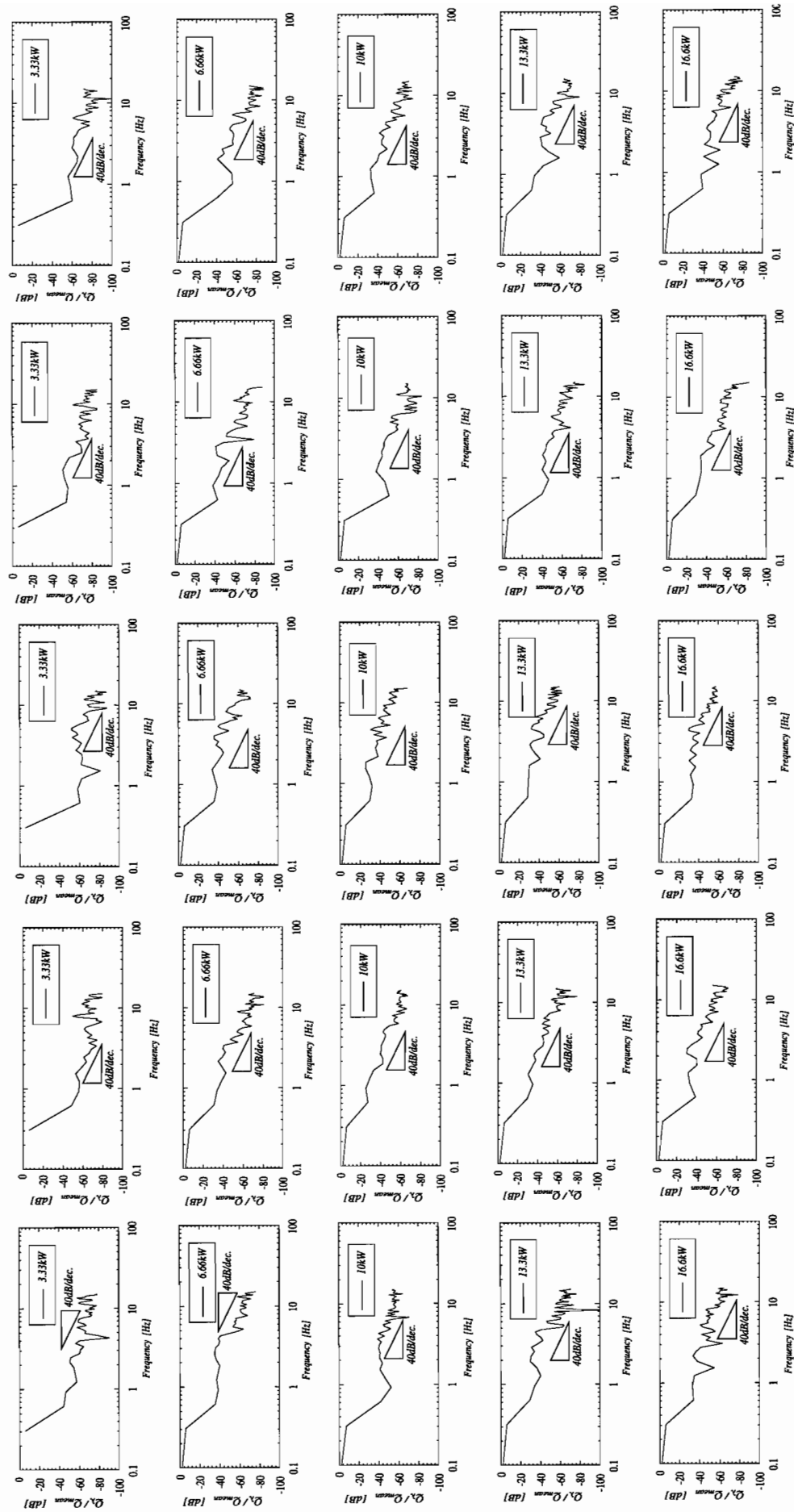


図12 外部放射熱流束の周波数解析結果

# 寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究

## <その1 和室の測定結果>

Research on the temperature distribution and gas concentration during combustion of a cold region-type structure

(Part 1 Results of measurements in a Japanese-style room)

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki

臼杵 弘三\*\*  
Usuki Kouzou

### 要 約

寒冷地型建物(床面積10m<sup>2</sup>)の燃焼実験時、12箇所の温度測定と1箇所のO<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度の測定などを実施した。この結果、畳が燻っている間の温度・ガス濃度、発火から火災最盛期までに発生した4回の炎盛衰時のデータ取得、燃え広がる時の吸気音の録音及び内外部の燃焼映像により実験結果をビデオ化して、職員の教育資料とした。

### Summary

During a combustion experiment of a cold region-type structure (floor space: 10 m<sup>2</sup>), temperature was measured at 12 points, and O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and CO concentrations at one point. Temperature and gas concentration were measured while tatami mats smoldered, and data were collected regarding the four stages of growth and decline of flame intensity that were observed between the ignition and the peak of fire.

The suction noise during the spread of fire was recorded, and combustion inside and outside of the room was videotaped to make educational material for employees.

## 1 はじめに

近年、特に住宅の換気係数は低下しており、この傾向は積雪寒冷地では特に大きくなっているが、当地では実大火災実験はあまり実施されていない。

また、実火災を想定しての燃焼実験は、家具や電気製品などの代わりに木材を使用して定量的に火災荷重を定めて、実施することが大半であり、収容物を配置しての燃焼実験のデータは乏しい。

そこで、札幌市消防学校を会場に開催された財団法人 消防科学総合センターが主催する第12回火災調査実務講座の実況見分用建物燃焼時には、居室を再現して燃焼実験を実施することから、この機会を捉えて、温度やガスの測定などを実施した。

## 2 実験建物の状況

写真1、2は、実験に使用した建物の外観及び内部を撮影したもので、大きさは間口270cm、奥行き360cmの6畳間である。

開口部は、正面の窓(幅167cm、高さ174cm、設置

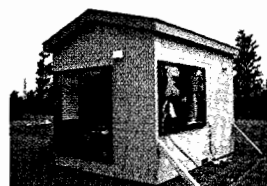


写真1 外観



写真2 内部

高さ0cm)と右側面の窓(幅167cm、高さ118cm、設置高60cm)及び正面右上と右側面右上に換気口2箇所が設置されている。

構成材は、天井及び壁面が石膏ボード9mm、壁内は断熱材未使用で防湿紙を設置、床面が畳、外壁がサイディング、屋根が波板鉄板(野地板全面張)、窓ガラスは厚さ3mmの1枚ガラスとなっている。

内部には、紙類88.8kg、木類172.7kgなどの収容物を配置した。

## 3 測定方法

### (1) 燃焼状況

燃焼状況については、内部2箇所、外側2箇所のビデオ撮影により記録した。

### (2) 温度

図-1に示す3箇所で上下4点ずつの合計12点、

\* 消防科学研究所

\*\* 西消防署(元予防部予防課)

3.2mmシース型K熱電対を設置し、データロガー（KEYENCE NR-255）で1秒毎に測定して、パソコンに収録した。

それぞれの測定高さについては、天井際（H=230cm）、上部（H=154cm）、下部（H=77cm）、床面（H=0cm）とした。

なお、これらの測定箇所については、出火箇所、収容物・電灯及び室内の焼けに影響を与えないことを考慮したことから、このようにした。

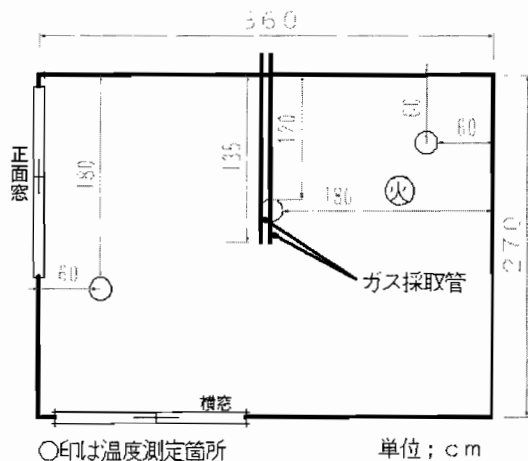


図-1 温度測定位置

## (2) O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度測定

O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度の測定システムは、図-2のとおりで、ステンレス管（外形8mm、内径6mm）を用いて、室内中央の150cmの位置（人の呼吸する高さ）を吸引して測定した。

O<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>及びCO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、温度同様に収録した。

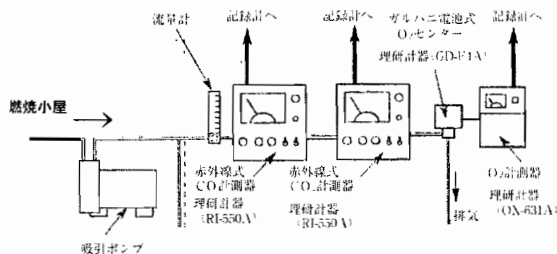


図-2 ガス測定図

## (3) 燃焼生成ガス

点火前や燃焼中、燃焼後の室内のガスを(2)と同一なステンレス管を使用して吸着管（GESTEL製 TenaxTA）に吸着させ、加熱脱着装置（GESTEL製、TDS-2）で、加熱して吸着ガスを気化させ、質量分析装置（Agilent Technologies製 5973N）で測定したもので、この実験方法及び結果については、別に報告する。

## 4 実験結果

### (1) 燃焼状況及び開口部の開放結果

表-1は燃焼状況、表-2は燃焼中の開口部の状況を表したものである。

点火は、火の付いたたばこを畳の継ぎ目に置いて火源とした。

また、時間を短縮させるためにドライヤーで炙ったことから、29分2秒後に発炎した。

その後、炎拡大、消沈を繰り返し、発炎23分14秒後に右側面の窓ガラス、23分25秒後に正面の窓ガラスが破損して、23分58秒後に炎の最盛期を迎え、24分48秒後に放水を開始した。

開口部については、正面窓は殆ど閉鎖、右側面窓は、殆ど25cm以上開放状態とした。

表-1 燃焼状況

時間	発炎からの時間	燃焼状況
00:00	-	たばこを畳に接触
29:02	00:00	発火
30:35	01:33	カーテン着火
31:02	02:00	カーテン立ち上がり燃焼
31:35	02:33	カーテン炎天井に到達
31:41	02:39	吸気音がする
32:00	02:58	室内に白煙充滿視界不良
32:21	03:19	右換気口溶融
42:38	13:36	白煙増加
46:49	17:47	窓隙間から屋外に焼き物落下
46:58	17:56	正面換気口溶融
47:21	18:19	屋外から右奥に炎確認
49:37	20:35	正面左上部の窓ガラス落下
52:02	23:00	右窓隙間から炎噴出
52:16	23:14	右窓ガラス焼き落下
52:27	23:25	正面窓ガラス焼き落下
52:38	23:36	炎噴出増加
52:48	23:46	右窓全て落下
53:00	23:58	火災最盛期
53:11	24:09	正面の噴出火炎渦を巻く
53:50	24:48	消火

表一 2 開口部の状況

和室横窓

時間	状態
00:00～00:34	左右20cm開放
00:34～02:00	左全開放
02:00～04:00	右80cm開放
04:00～31:12	右全開放
31:12～32:18	閉
32:18～33:51	左25cm開放
33:51～34:03	閉
34:03～36:49	左25cm開放
36:49～38:36	左50cm開放
38:36～38:54	閉
38:54～41:16	左60cm開放
41:16～42:28	左60cm右20cm開放
42:28～42:40	左右20cm開放
42:40～45:02	右20cm開放
45:02～45:22	右20cm開放
45:22～45:45	右50cm開放
45:45～46:50	左20cm右50cm開放
46:50～	左20cm開放

和室正面窓

時間	状態
00:00～11:05	閉
11:05～12:09	右全開
12:09～19:28	閉
19:28～25:13	右全開
25:13～	閉

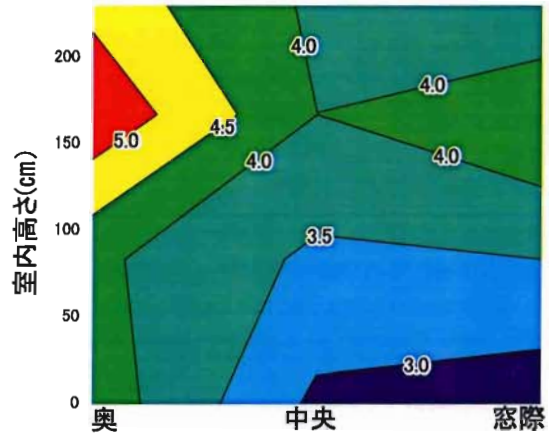
写真3は、燃焼後の室内を撮影したもので、収容物は全て焼きしたが、壁内や天井裏内はごく一部にしか焼けは見られなかった。



写真3 焼き状況

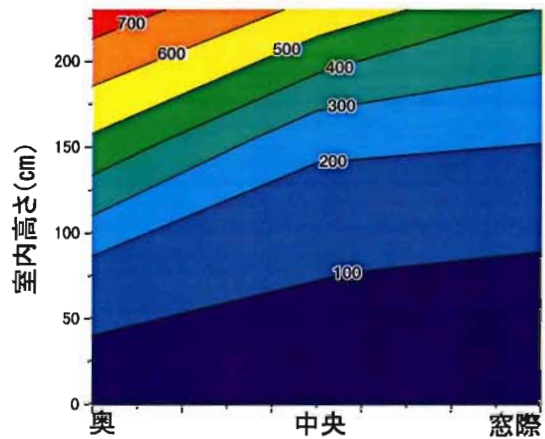
(2) 温度

図一3は、発炎直前の室温上昇値をグラフにしたもので、出火箇所付近の上部で、5.4℃、窓際下部でも2.7℃の温度上昇が見られた。



図一3 発炎前の温度上昇

図一4は、カーテンに着火して、最高温度を記録した時の温度分布を示したもので、高温領域が奥上部にしか見られず、炎が大きく燃え広がらなかったことを示している。この燃え広がり時、換気口及び窓から急激に空気が流入しており、この空気の流入により燃え広がらなかったものと考えられる。



図一4 立ち上がり時の温度分布



図-5は、発火から消火作業中までの温度変化を示したもので、最高温度は、23分52秒（発炎から52分54秒後）の奥154cmで1075℃となっており、大きく分けて温度の上昇低下を3回繰り返した後、4回目に炎が居室全体にまわった。

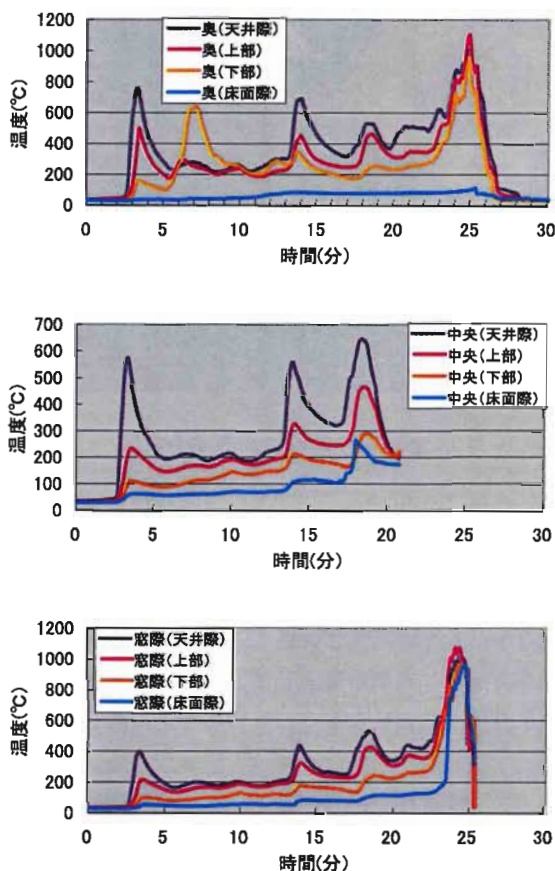


図-5 温度変化

### (3) O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度測定

図-6はたばこを置いてから発炎直前の各ガス濃度をグラフにしたもので、燃っている間に酸素濃度は0.3%程度低下したが、CO<sub>2</sub>・COについては燃焼時に合わせて濃度設定したために、微量の変化は確認できなかった。

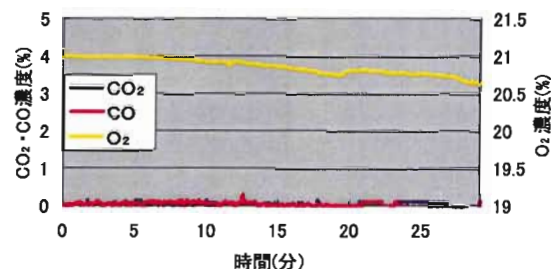


図-6 発火前のガス濃度変化

図-7は、和室の発炎後の各ガス濃度をグラフにしたもので、O<sub>2</sub>濃度については、カーテンに着火した最初の燃焼拡大時に2.03%に低下したが、その後、温度と同様に低下上昇を繰り返した。

CO<sub>2</sub>濃度は、O<sub>2</sub>濃度同様に最初の燃焼拡大時に22.9%となり、その後、上昇低下を繰り返した。

CO濃度もCO<sub>2</sub>濃度と類似した変化となったが、最後の延焼拡大時に最高の10.3%となった。

なお、鎮火後、3時間の濃度を測定したが、濃度が薄かったことやベースラインが上昇してきたために、鎮火後のデータは取得できなかった。

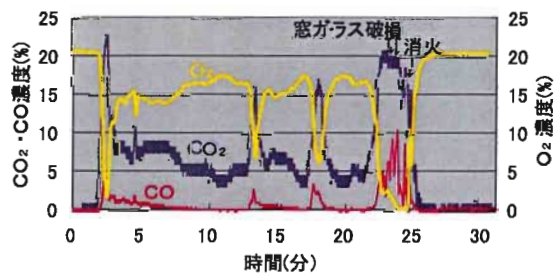


図-7 発炎後のガス濃度変化

### 5 まとめ

まとめについては、その2の中で報告する。



# 寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 ＜その2 洋室の測定結果＞

Research on the temperature distribution and gas concentration during combustion of  
a cold region-type structure  
(Part 2 Results of measurements in a Western-style room)

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro  
菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki  
臼杵 弘三\*\*  
Usuki Kouzou

## 要 約

寒冷地型建物（床面積10m<sup>2</sup>）の燃焼実験時、12箇所の温度測定と1箇所のO<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度の測定などを実施した。

この結果、その1と異なる燃焼状況のデータ取得や噴出火炎幅などを求めた。また、洋室と和室の燃焼速度を算出したが、実際の燃焼は算出結果以上の大きいひらきとなった。

## Summary

During a combustion experiment of a cold region-type structure (floor space: 10 m<sup>2</sup>), temperature was measured at 12 points, and O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and CO concentrations at one point. As a result, data different from Part 1 were obtained and the width of spouting flames and other values were found. The combustion speed was also calculated for Western- and Japanese-style rooms. The difference in speed of actual combustion was, however, much larger than in the results of calculation.

### 1 はじめに

実火災を想定しての燃焼実験では、内部の可燃物として木材を利用し定量的に火災荷重を定めて、実施することが大半である。

しかし、実際の居室に近い状態で収容物を配置しての燃焼実験の温度・ガス測定のデータや昨今、問題視されている現場検証時、残留している燃焼生成ガスについては、あまり報告されていない。そこで、札幌市消防学校を会場に開催された財団法人 消防科学総合センターが主催する第12回火災調査実務講座の実況見分用建物燃焼に伴い、温度やガスの測定などを実施した。

### 2 実験建物の状況

写真1,2は、燃焼実験を実施した建物の外観及び内部を撮影したもので、大きさはその1の和室と同様である。

和室との構成材の違いは、壁材が板張り、床がフローリングとなっている。

開口部については、和室と同じ大きさの窓を、正面及び左側面、換気口を左側面左上部と右側面右上



写真1 外観



写真2 内部

部に設置した。

内部には、紙類58.0kg、木類166.5kgなどとし和室よりやや少なめの収容物とした。

### 3 測定方法

#### (1) 燃焼状況

燃焼状況については、内部2箇所、外側2箇所のビデオ撮影により記録した。

#### (2) 温度

図-1は、熱電対の設置位置を示したもので、和室と同様とした。

\* 消防科学研究所

\*\* 西消防署（元予防部予防課）

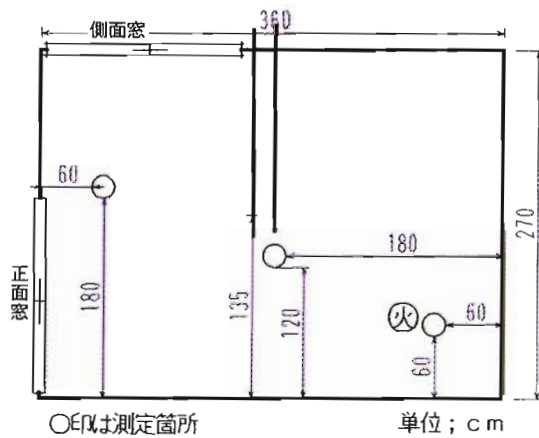


図-1 測定箇所

(2) O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度及び燃焼生成ガス測定  
和室と同様に実施した。

#### 4 実験結果

##### (1) 燃焼状況及び開口部の開放結果

開口部については、正面窓は開放、側面窓は閉め切った状態で、実験を実施した。

表-1は、洋室の燃焼状況を表したものである。

出火箇所に灯油200ccを撒き、タオルにライターで着火させた。点火29秒後に段ボール箱に着火し、2分8秒後に側面窓ガラス、2分43秒後に正面窓ガラスが破損して炎が噴出した。2分50秒後に炎の最盛期を迎え、3分57秒後に放水を開始した。

収容物は全て焼きしていたが、壁軸組材や天井組材には焼けは見られなかった。

表-1 燃焼状況

時間	燃焼状況
00:00	着火
00:29	段ボール箱着火
00:40	炎天井に達する
01:03	燃焼物室内に落下
01:41	正面開放部分から炎若干噴出
02:08	側面左側窓ガラス焼き落下
02:21	正面開放部分から炎噴出
02:43	側面の右窓ガラス焼き落下
02:46	正面右窓ガラス焼き落下
02:50	炎最盛期
03:10	炎弱まる
03:57	消火



写真3 焼き状況

##### (2) 洋室側面窓の噴出火炎の幅

図-2は、洋室側面窓の噴出火炎を5秒毎にデジタル化してトレースしたもののから、噴出火炎の幅及と角度を求めグラフにしたもので、火炎幅は赤色部分の幅、火炎角度は窓の底辺を基準として求めた。

図から火炎幅は最大2mを超えており、この時の火炎角度は50°程度になっている。

また、噴出火炎は、最初の窓ガラス破損部分のピークを除いて、2分50秒程度と3分25秒程度の2箇所にピークがあることがわかる。

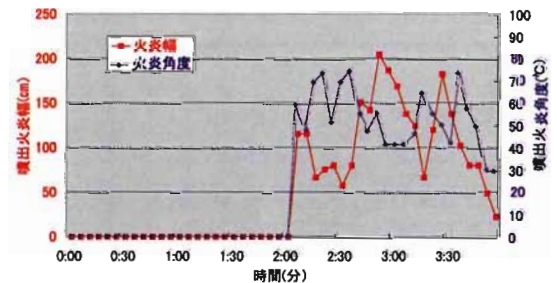


図-2 噴出火炎幅及び角度

図-3は、窓から火炎が噴出した際の位置を示したもので、高さはそれぞれの窓の底辺からとしたもので、0cmに近いほど、窓全面から炎が噴出していることになる。

一般的には、窓全面から気流が一樣に噴出するのではなく、開口部の中性帯の上部分のみから噴出し、噴出速度も中性帯からの距離によって異なる。そして、中性帯より下方の部分では逆に空気が流入すると言われているが<sup>1)</sup>、この実験では、側面窓は殆ど全面から火炎が噴出して、正面窓の下部が空気の流入場所となっている。

また、正面窓の中性帯が下がると、側面窓の中性帯があがる傾向が見られた。

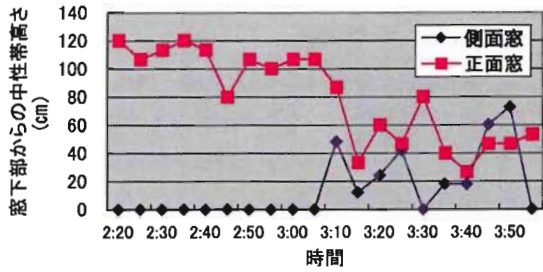


図-3 噴出火炎の中性帯高さ

(3) 温度

図-4は温度変化を示したもので、最高温度は、窓際154cmの3分5秒後と奥77cmの3分11秒後が1091℃となった。

また、最高温度を記録した時の温度分布を図-5に示したが、室内の奥や中央では、酸素濃度低下の影響で天井際よりも中央の方が高温になった。

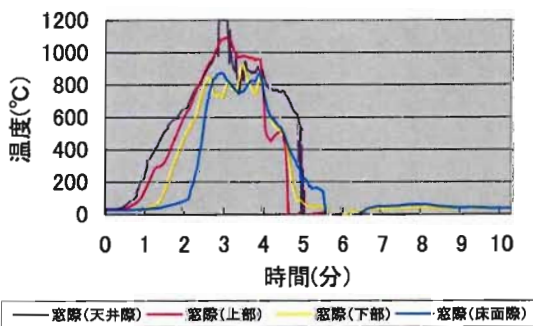
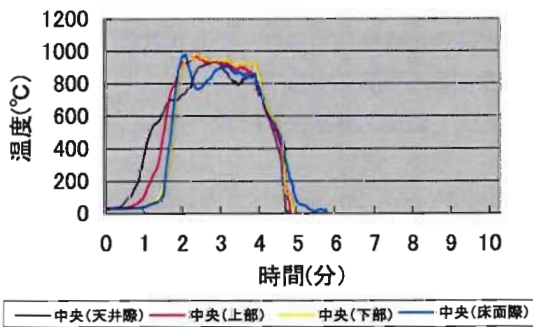
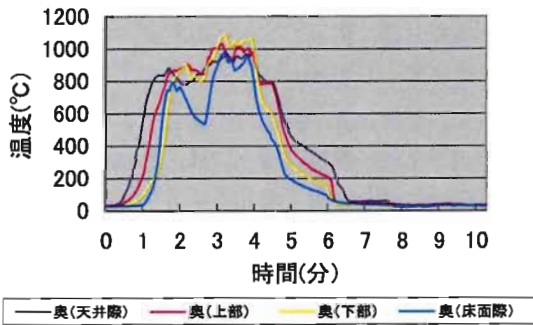


図-4 温度変化

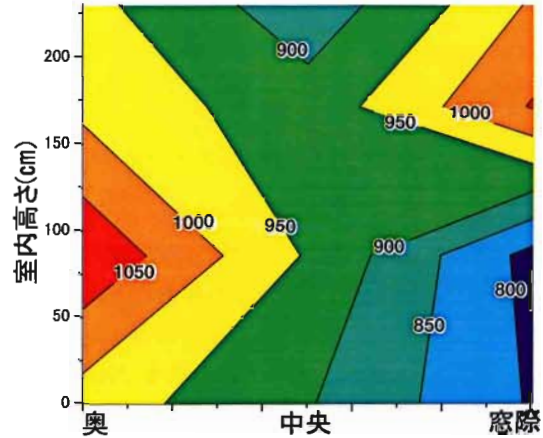


図-5 温度分布

(4) O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度測定

O<sub>2</sub>濃度については、38秒頃から急激に低下して1分30秒頃に、殆ど0になった。

CO<sub>2</sub>濃度は、1分14秒後に最高で17.7%、CO濃度については、2分55秒後に最高で5.3%となった。

また、人がCOを吸引すると、0.5から1.0%の濃度は1～2分が致死量であるが<sup>2)</sup>、着火41秒後、段ボール箱に着火12秒後、炎が天井に達した1秒後には、0.5%を超えた。

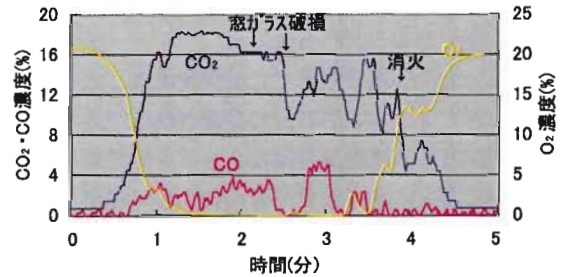


図-6 ガス濃度変化

5 考察

(1) 火災荷重の算出

火災荷重は、

$$q = \sum G_i H_i / H_o A \cdot 4.2 = \sum Q_i / 4500 \cdot A \cdot 4.2$$

q : 火災荷重 (kg/m<sup>2</sup>)

G<sub>i</sub> : 各種の可燃物量 (kg)

H<sub>i</sub> : 可燃物の単位重量当りの発熱量 (KJ/kg)

H<sub>o</sub> : 木材の単位重量当りの発熱量 (KJ/kg)

A : 火災区画の床面積 (m<sup>2</sup>)

∑Q<sub>i</sub> : 火災区画の可燃物の全発熱量 (KJ)

で、表せることから、紙類と木類に限定して求めると、和室は25.9kg/m<sup>2</sup>、洋室は22.4kg/m<sup>2</sup>となり、火災荷重としては、15%程度の差であった。

## (2) 燃焼速度の算出

燃焼速度は、

$$R=5.5A_B\sqrt{H}$$

R：燃焼速度 (kg/min)

A<sub>B</sub>：開口部面積 (m<sup>2</sup>)

H：開口高さ (m)

で、表されることから<sup>3)</sup>、窓ガラスが破損する前の燃焼速度を算出すると、和室は側面窓の開放が平均で39cmであり、2箇所の換気口を合わせると3.06kg/min、洋室は7.68kg/minとなり、計算上では2.5倍程度の差となるが、実際には窓が破損するまでの時間は、10倍程度の開きがあった。

## 6 まとめ

### (1) 燃焼状況

同一施工の建物であったが、一方の建物は、発炎から火災の最盛期までが23分58秒、もう一方の建物は2分50秒と計算上の開きと比べても大きな違いとなった。

これについては、出火原因の違いを加味したとしても、積雪寒冷地の住宅は高气密となっていることから、火災現場から避難する時などにドアを開けて避難すると燃焼拡大について防止することが出来るという値を得ることが出来た。

また、火災の最盛期までに長時間を要した和室では、大きく分けて4回の炎の盛衰が確認できた。

洋室側面窓の噴出火炎幅は2mに及んでおり、火炎が一旦下火になった後、さらに大きい噴出が見られた。

また、洋室側面窓の噴出火炎は殆ど全面からの火炎の噴出となり、中性帯は正面窓下部になっていた。

### (2) ガス濃度

COの致死濃度については洋室の場合、着火41秒後、段ボール箱に着火12秒後、炎が天井に達した1秒後と非常に短時間で達した。

O<sub>2</sub>については最小値が和室・洋室とも0となり、CO<sub>2</sub>濃度の最大値は、和室が22.9%、洋室が17.7%、CO濃度の最高は和室が10.3%、洋室が5.3%となった。

また、O<sub>2</sub>濃度は30分間量が燻っている間に0.3%減少したが、CO<sub>2</sub>濃度とCO濃度の値は確認できなかった。

## 6 おわりに

今回の測定では、発炎前や消火後のガス濃度変化のデータも取得する予定で、測定高を設定したが、濃度が違い過ぎ、同一の測定器での測定が困難であ

ったため、これらのデータの取得が出来なかったのは残念である。

実際に数多くの火災現場を体験しているが改めて、噴出火炎の勢いには驚かされるものがあったと共に、噴出火炎のデータ取得のための準備をしていなかったことを後悔した。

しかし、燃え広がる時の吸気音や火災音などの予想をしていなかった部分のデータを取得することも出来た。

今回は、火災原因実務講座で使用する焼け跡作りのための燃焼実験に参加させていただいたという形を取ったことから、若干の制約は受けたが、実験準備の労を超えるデータの取得が出来た。

実大規模の燃焼実験は、費用や環境問題で数多くは実施できないが、近年積雪寒冷地の住宅は高气密・高断熱化しており、以前の住宅の燃焼実験結果とは相違が出ていると考えられることから、機会を捉えて実施し多くのデータを取得して、火災予防や火災現場の安全に繋げていきたいと考えている。

最後に、財団法人 消防科学総合センター火災調査室の室長を始め職員の方々には、このような機会や助言をいただき謝意を表します。

以上

### 【参考文献】

- 1) 建築火災安全工学入門 田中 哮義 日本建築センター P77～P78
- 2) 火災燃焼生成物の毒性 新日本法規 火災燃焼性生物調査研究委員会 P38
- 3) 火災 安全工学協会 P127～P129



# 高規格救急車のタイヤチェーン装着時などにおける 振動・騒音の調査・研究

Research on vibrations and noises created by state-of-the-art ambulances with tire chains

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

瀬戸 光昭\*\*  
Seto Mituaki

秋田谷 忠実\*\*\*  
Akitaya Tadami

## 要 約

高規格救急車3台と乗用車1台の4台で、アイスバーン路面を想定してのアスファルト路面においてタイヤチェーン3種類と未装着時の4種類の条件で、速度を変化させて、車両や防振架台上の振動などを測定した。

この結果、車の違いにより大きな振動等の差が確認できたが、タイヤチェーンの種類による違いは、ほとんど認められなかった。また、車種によっては、防振架台の非常に大きい効果が確認できた。

## Summary

Three state-of-the-art ambulances and a passenger vehicle were driven on a frozen asphalt road surface under four different conditions - with three different types of tire chains and without chains - and at different speeds to measure vibrations on the vehicles and vibration-proof frames.

Although considerable differences in vibrations etc. were observed for each different type of vehicle, there were no significant differences for different types of tire chains. Also, the remarkable effect of vibration-proof frames was also observed for some types of vehicles.

## 1. はじめに

以前、消防車両を含めた車両は、凍結路面のスリップ防止のためにスパイクタイヤを装着していたが、春先にスパイクタイヤのピンにより路面のアスファルトが削り取られ、多量に粉塵が発生することから、スタッドレスタイヤを装着するようになった。

そこで、消防車両では、スタッドレスタイヤに対して、タイヤチェーンを装着している。

また、時期を同じくして冬道での救急車の振動が大きいとの意見が出されていることから、車両やタイヤチェーン・速度などを変化させ、振動・騒音の変化を把握することとした。

て、手稲区山口270番地付近の路上とした。



写真1 実験場所の状況

## 2 実験概要

### 2-1 日 時

平成12年11月18日～平成12年11月19日

### 2-2 場 所

実験場所については、直線が長く対向車による騒音値の上昇を防ぐために交通量の少ない場所とし

### 2-3 実験車両及び諸元

写真2は実験車両を撮影したもので、表-1はこれらの車両の諸元を表したものである。

【B車】は当市で最も多い高規格救急車で、【A車】はB車のサスペンション前輪の改良型、【C車】は、B車と類似したサスペンションの他メーカー車、【D車】は燃焼がガソリンの乗用車である。

\* 消防科学研究所  
\*\* 総務部施設管理課装備係  
\*\*\* 警防部救急課救急係

表-1 実験車両諸元

車種	[A]	[B]	[C]	[D]		
寸法	全長(mm)	5,920	5,890	5,610	4,730	
	全幅(mm)	2,060	2,060	2,040	1,690	
	全高(mm)	2,830	2,830	2,770	2,110	
	ホイールベース(mm)	3,370	3,370	3,400	2,860	
エンジン	種類	直列4気筒ディーゼル	直列4気筒ディーゼル	直列4気筒ディーゼル	直列4気筒ガソリン	
	総排気量(cc)	5,249	4,210	4,985	2,430	
	最高出力(KW(ps))	102(140)/3,200	88(120)/3,200	113(155)/3,100	95(130)/5,000	
	最大トルク(N・m)	333/1,600	290/1,600	363/1,500	206/4,000	
シャシ	駆動方式	4輪駆動(フルタイム)	4輪駆動(パートタイム)	4輪駆動(パートタイム)	4輪駆動(フルタイム)	
	トランス	ミッション	4AT	5MT	5MT	
	サスペンション	前	ダブルウィッシュボーン式 独立懸架	車軸式 リーフスプリング	車軸式 リーフスプリング	ストラットコイルスプリング 独立懸架
		後	車軸式 エアスプリング	車軸式 エアスプリング	車軸式 エアスプリング	車軸式 コイルスプリング
	タイヤサイズ	205/85R16	7.00R16	215/70R17.5	215/65R15	
	バックドア	観音扉	観音扉	はね上げ扉	はね上げ扉	
車両重量(kg)	5,220	4,670	4,480	1,770		
車両総重量(kg)	5,660	5,110	4,920	2,210		
乗車定員(名)	8	8	8	8		
最小回転半径(m)	6.4	6.4	7.6	7.0		
積載ストレッチャー	防振架台	コイルスプリング	コイルスプリング	コイルスプリング	-	
	機構	電動油圧制御	電動油圧制御	電動油圧制御	-	
	自動搬入装置	シリンダ伸縮	シリンダ伸縮	設定なし	-	
	搬出装置	ワイヤー式	ワイヤー式	(車高調整機構有り)	-	

2-4 実験タイヤチェーン

写真3は実験に使用したタイヤチェーンを撮影したもので、『平行型』は当市の高規格救急車が装着しているコイルチェーン、『Z型』は平行型同様にコイルチェーンであるがコイルとコイル間に斜めのコイルが装着されていることから、落ち込みによる振動が少ないと考えられるチェーン、『H型』は鎖型のチェーンであり、これらについては、雪道での制動距離や耐久性を考量して、関係課と協議して決定したものである。

なお、D車については、装着可能なH型チェーンが販売されていないことから、未実施とした。

2-5 走行速度及び走行路面

走行速度については、一般的な速度である20km/h, 30km/h, 40km/h及び50km/hの4種類とした。

また、走行路面については、実際に圧雪やアイスバーン道路で予備実験を実施したが、実験中にチェーンにより路面が削られ道路の状態が安定しないことから、アイスバーン道路を想定したアスファルト路面上で実施した。

2-6 防振架台の状況

各実験について、最も振動が大きいと思われる『H型チェーン』装着時、防振架台の『ON』、『OFF』の比較実験を実施したが、他の実験については、チェーンの比較を容易にするために、防振架台は『OFF』とした。

3 測定方法

3-1 振動測定方法



写真4 測定位置及び加速度変換器

写真4は測定位置及び加速度変換器を撮影したもので、写真○印で示すストレッチャー上の頭部、ストレッチャー上の腰部、ストレッチャー上の足部、ストレッチャー上の腰部直下の床及びストレッチャー上の足部直下の床の5箇所で、前後、左右、上下の振動を測定した。

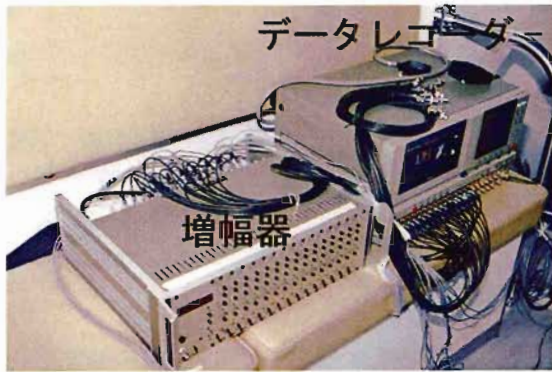


写真5 増幅器及びデータレコーダ

測定は、加速度変換器（株共和電業製AS-10TG）で計測後、信号増幅器（株共和電業製MCC-16A）で信号を増幅させ、データレコーダ（株共和電業製RTP-772A）で収録し、データアナライザ（株共和電業製 DAA110-B）で20ms（0.02秒）毎に20.48秒間解析したもので、写真5はこれらを撮影したものである。

### 3-2 騒音の測定

騒音は、写真4に示すストレッチャー上の頭部の位置に普通騒音計LA-215型（株式会社 小野測器）を置き測定した。

また、データの収録については、振動と同様にデータレコーダで収録して、データアナライザで20ms毎に20.48秒間解析した。

## 4 振動の測定結果

### 4-1 車両床の振動

#### (1) 振動波形

図-1は車両床のチェーン未装着時、図-2は平行型チェーン装着時の時速30km走行時の床足部分の上下振動を20ms毎に20.48秒間示したものである。

チェーン未装着時は、ほとんど0.1G以内で変化していた波形が、チェーンを装着すると0.4G位に加速度が大きくなっているのがわかる。

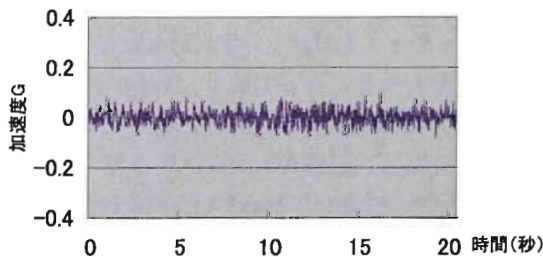


図-1 チェーン未装着時の振動

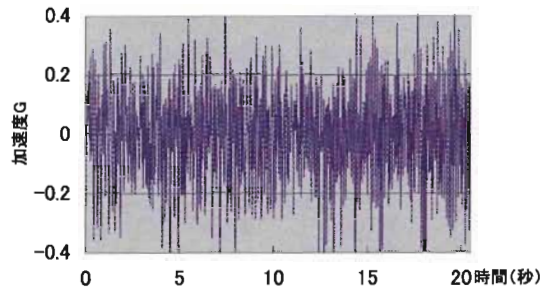


図-2 平行型チェーン装着時の振動

#### (2) 車両・タイヤチェーン別

図-3は、振動波形の絶対値の平均を、車両・タイヤチェーン（以下、チェーンとする。）別に示したものである。

チェーン未装着時の振動は、A車とD車がほぼ同等で、B車とC車はこれらの3倍以上の値となっているが、チェーン装着時の振動では、平均でA車が0.20G、B車が0.41G、C車が0.17G、D車が0.11Gとなった。

A車、B車、C車で3種類のチェーンの平均を比較すると、Z型が0.250G、平行型が0.257G、H型が0.270Gとなった。

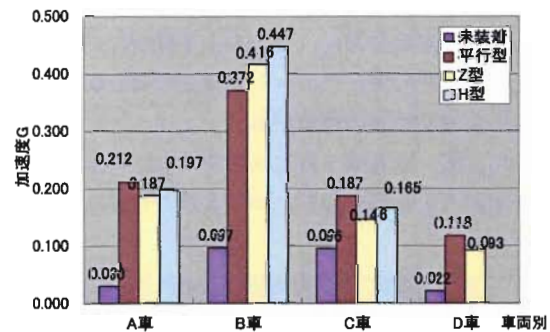


図-3 車両・チェーン別（床）

#### (3) 速度別

図-4は各車両の速度別振動を表したものである。

B車は、速度に比例して振動が大きくなっているが、A車とC車は、振動の最大値が走行速度40km/h、D車は30km/hとなっている。

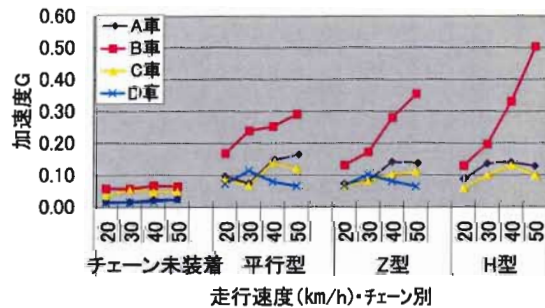


図-4 速度別振動（床）



(4) 測定位置・振動方向別

図-5は、測定位置及び振動方向別の振動値をグラフにしたものである。

各車両とも上下振動が最も大きくなっており、左右及び前後振動は、上下振動の半分以下になっている。

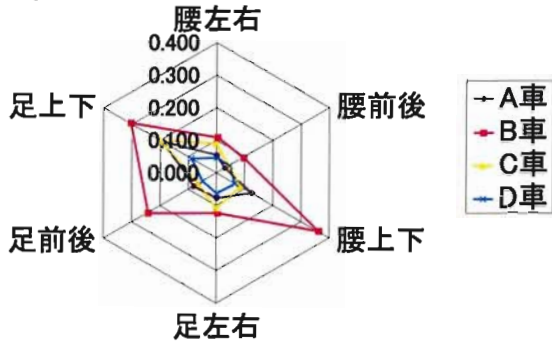


図-5 測定位置・振動方向別振動 (床)

4-2 ストレッチャー上の振動

(1) ストレッチャー上の振動波形

図-6はA車のチェーン未装着時、図-7は平行型チェーン装着時の時速30km走行時のストレッチャー上の足部分の上下振動の波形を示したものである。

チェーン未装着時は、振動の上下動が0.2G以内で変化していたのが、チェーンを装着すると0.4G位に大きくなっているのがわかる。

また、図-1と図-6を比較すると、ストレッチャー上が大きく振動していることがわかる。

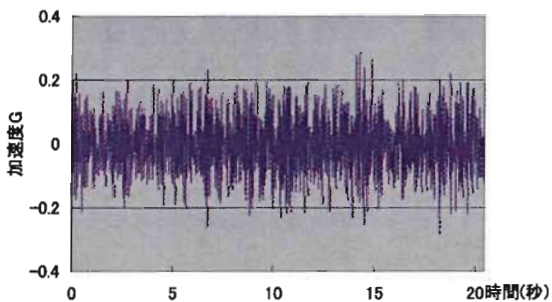


図-6 チェーン未装着時の振動 (ストレッチャー上)

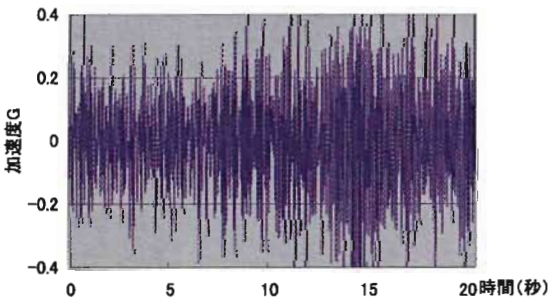


図-7 平行型チェーン装着時の振動 (ストレッチャー上)

(2) 車両・チェーン別

図-8はストレッチャー上の車両・チェーン別振動の平均値を示したものである。

A車及びC車では、平行型、Z型、H型の順で振動が大きくなったが、B車では、平行型とZ型がほぼ同等となっており、平均ではチェーン未装着が0.05G、平行型が0.15G、Z型が0.17G、H型が0.21Gとなった。

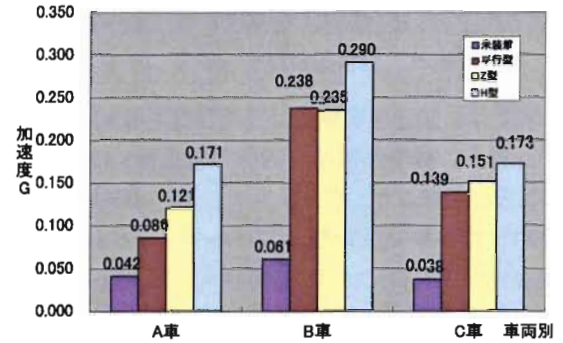


図-8 車両・チェーン別振動 (ストレッチャー上)

(3) 速度別

図-9は速度別の振動を表したものである。

ほとんどのチェーン及び車種で低速の振動が大きくなり、図-4の車体の振動と逆の傾向となった。

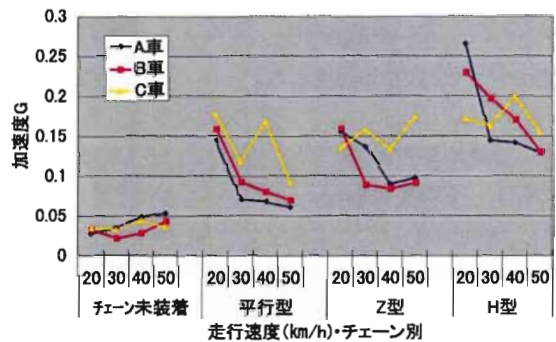


図-9 速度別振動 (ストレッチャー上)

(4) 測定位置・振動方向別

図-10は、測定位置及び振動方向別の振動値をグラフにしたものである。

ストレッチャー上では、いずれの車両も足元の上下振動が最も大きくなっており、3台の平均では、足元の上下振動が0.23G、次いで腰の上下振動が0.19G、頭の上下振動が0.14G、足の左右振動が0.11G、腰の左右振動が0.09Gという結果になった。

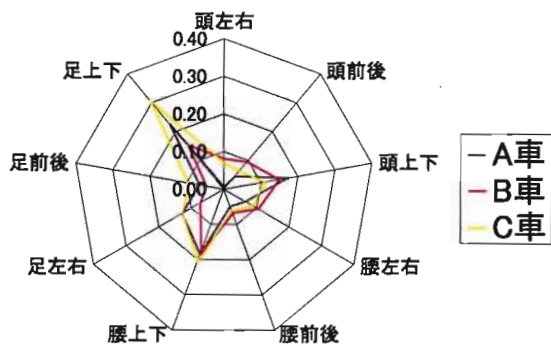


図-10 測定位置・振動方向別振動（ストレッチャー上）

## 5 周波数（FFT）解析

### 5-1 FFT解析結果

#### (1) FFT解析の考え方

振動の時間変化として、横軸を時間、縦軸を振幅（振動の大きさ）として表した時間軸信号の波形は、周期も振幅も異なる多くのサイン波あるいはコサイン波の重なりあったものが合成されていると考えられる。

FFT解析は、複雑な波形を周波数の異なる単純な波に分解し、それぞれの波の周波数と振幅を求めるものである。<sup>1)</sup>

#### (2) 人体各位の共振振動数

人の種々の部位のうち、最も重要と思われる部位の共振振動数の要約を表-2に表す。

異なる条件のもとでは、人体各部位は様々な周波数において共振することがわかる。一般に低い振動数が優勢である。<sup>2)</sup>

表-2 人体各位の共振振動数

体位	身体部位	振動方向	共振振動数の範囲
臥位	足 膝 腹 胸 頭蓋	上下	16-31Hz
			4-8Hz
			4-8Hz
	足 腹 頭 足 腹 頭	左右	0.8-3Hz
			0.8-4Hz
			0.6-4Hz
膝 肩 頭	前後	1-3Hz	
		1.5-6Hz	
		1-4Hz	
立位	全身	上下	4-7Hz
			4-7Hz
椅座位	軀幹 胸 脊柱	上下	3-6Hz
			4-6Hz
			3-5Hz
	肩 胃 眼		2-6Hz
			4-5Hz
			20-25Hz

#### (3) 周波数分布

図-11は、A車のチェーン未装着時と平行型チェーン装着時の時速30kmで走行している時のストレッチャー上の足部分の上下振動を周波数毎に示したものである。

平行型チェーンを装着した場合は、5Hz、7-10Hz、16-18Hzの間などの振動が加わっているのがわかる。

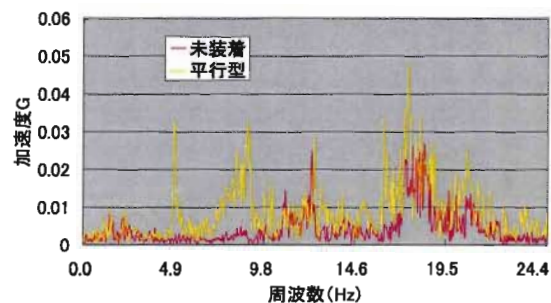


図-11 周波数毎の波形

#### (4) 周波数の車両・チェーン別

図-12は、表-1の共振周波数内の最大振動を車両・チェーン別に表したものである。

チェーン別ではH型チェーンは最も振動が大きくなり、振動が小さいチェーンはA車が平行型、B車とC車がZ型となった。

また、車種別では、図-8の全振動と比較して逆の結果となった。

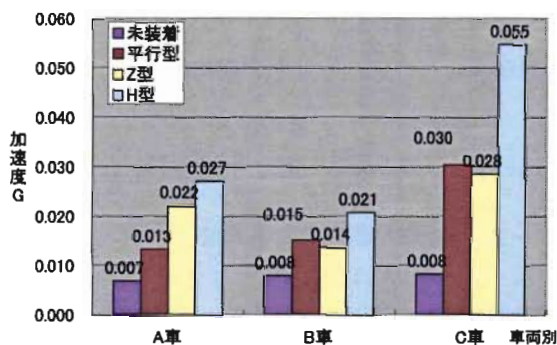


図-12 車両・チェーン別振動（周波数）

(5) 速度別

図-13は、図-12同様に振動の平均値を速度別に表したものである。

各チェーンとも速度の影響はあまり見られなかった。

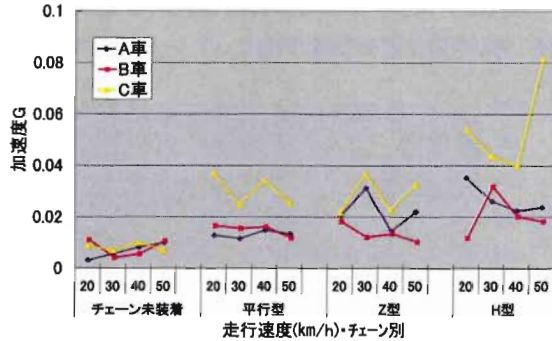


図-13 速度別振動 (周波数)

(6) 測定位置・振動方向別

図-14は、図-12同様に振動の平均値を測定位置・振動方向ごとに表したものである。

各車両とも、足の上下振動が、他の箇所の振動に比べて一桁高い値となっている。

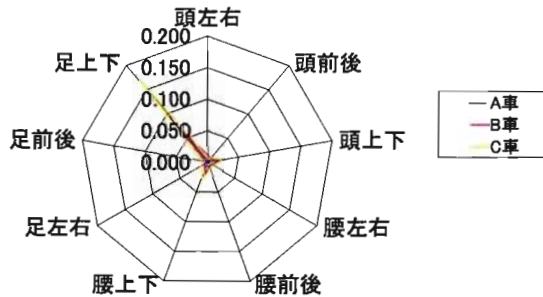


図-14 測定位置・測定方向別振動 (周波数)

5-2 振動の曝露基準との比較

図-15はISO/TC108/SC4によって作成された国際的な基準であり、振動値から疲労能力-減退境界 (FDP)を示している。<sup>3)</sup>

この図と図-11を比較すると、図-11から5 Hz前後に0.03Gの振動があることから、これを図-15に当てはめると、能力減退境界時間は24時間程度となる。

しかし、最も悪いと思われるC車時速50kmH型チェーンの場合は、17Hzに0.510Gの振動があることから能力減退境界時間は4時間程度となる。

また、不快域はFDP値より10 dB低く、耐久限界は6 dB高くとればよいことから、最も悪いC車時速50kmH型チェーンでは、不快域は15分となる。

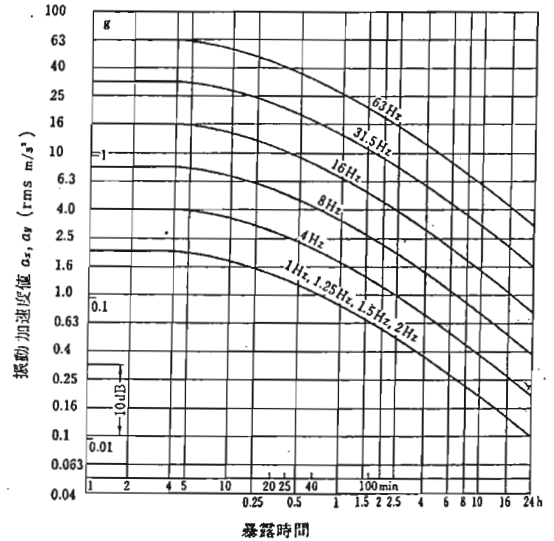


図-15 能力減衰境界図

6 防振架台の効果

(1) 車両・チェーン・速度別

図-16は、防振架台を「ON」にした値を「OFF」の値で除したものをパーセントで表し防振比率を求めたものである。

C車の走行速度30km/hの値は、実験のばらつきであると考えられるが、これを含めた平均を求めてもC車が最も低く63.2%，次いでA車の72.1%，最後がB車で99.1%とB車では防振の効果が殆どないという結果となった。

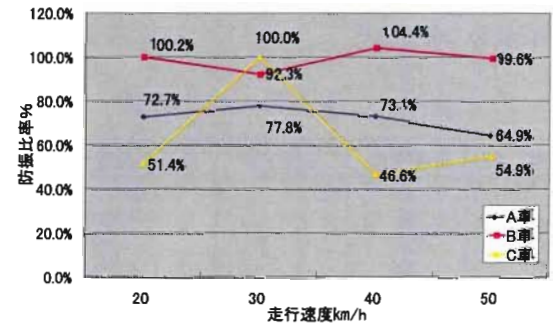


図-16 防振架台の効果 (加速度)

(2) 周波数

図-17は、図-5と同様に共振周波数毎の最大振動の値から(1)同様に防振比率を求めたものである。

これによると、C車が37.4%，B車が67.3%，A車が91.3%となり、C車は加速度及び周波数毎の加速度の何れも最もよい結果となった。



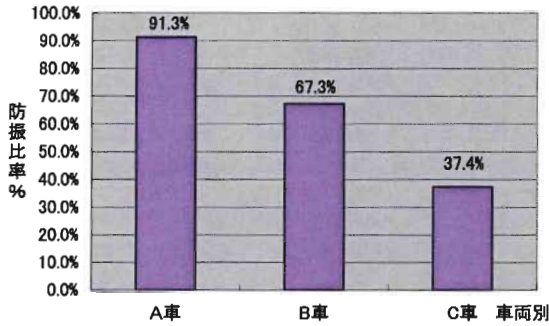


図-17 防振架台の効果 (周波数)

## 7 騒音の測定結果

### (1) 騒音の波形

図-18は、A車で走行速度30km/hの時のチェーン未装着及び平行型チェーン装着時の騒音波形を示したものである。

チェーン未装着時には、平均で65.3 dBであった騒音が、平行型チェーン装着時には平均で71.4 dBと6.1 dB増加しているのがわかる。

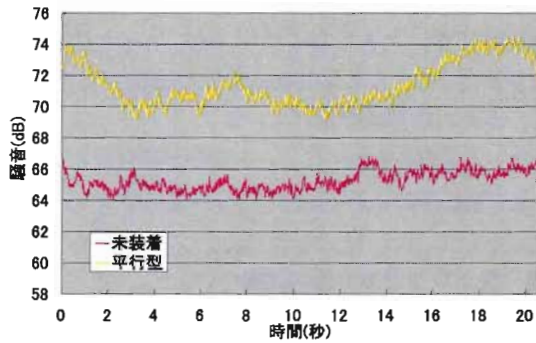


図-18 騒音の波形

### (2) 車両・チェーン別騒音

図-19は、車種・チェーン別の平均騒音を示したものである。

A車、B車、C車の3台で3種類のチェーンを比較すると、チェーン未装着時が69.9 dB、平行型が78.8 Hz、Z型が78.3 Hz、H型が79.5 dBという結果となった。

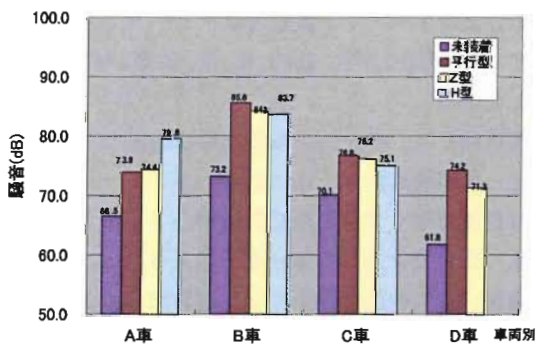


図-19 車両・チェーン別騒音

### (3) 速度別

図-20から図-23は、各車両毎の速度・チェーン別に各騒音値を表したものである。

B車は、走行速度が40km/hと50km/hがほぼ同一の高い値となったが、他の車両はほぼ速度に比例して増加している。

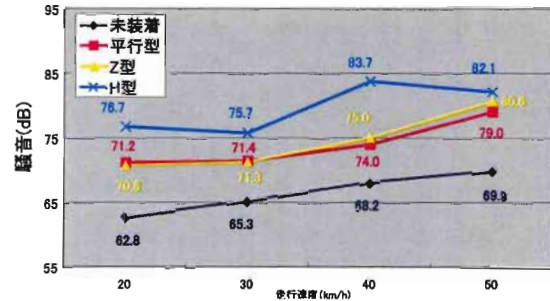


図-20 A車の騒音

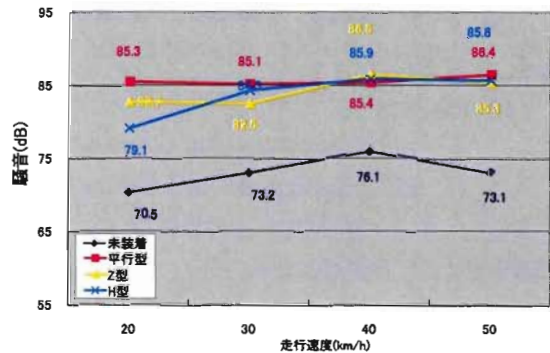


図-21 B車の騒音

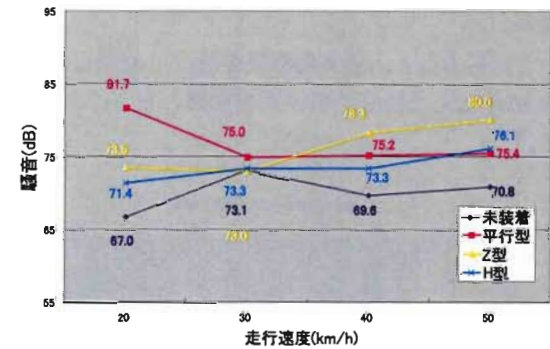


図-22 C車の騒音

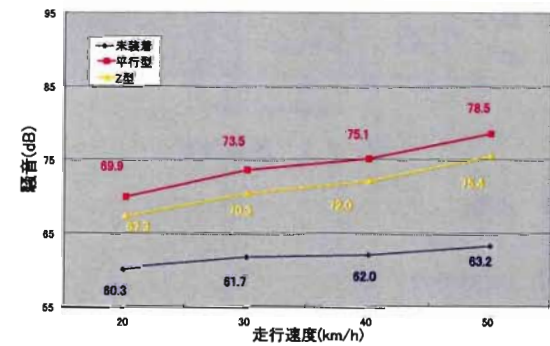


図-23 D車の騒音

## 8 騒音の考察

### (1) 騒音と不快

図-24は、騒音値と不快に思う人の割合をグラフにしたものである。

この図から騒音が75dBでは35%、80dBでは50%、85dBでは66%の人が高度に不快と感じる結果となる。

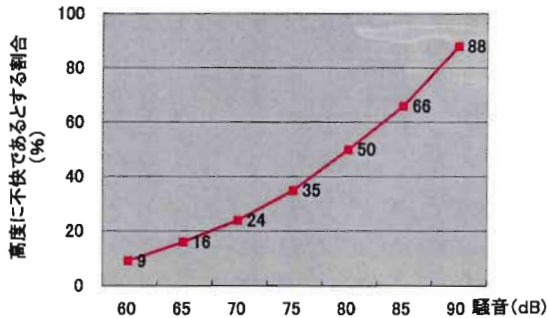


図-24 騒音値と不快に思う人の割合

また、

$$H = 12.3\sqrt{C} + 4.3$$

H; 高度に不快とする人の率(%)

C; 苦情を申し立てる人の率(%)

となることから、騒音が80 dBの場合約14%の人が苦情を申し立てる数値となる。<sup>3)</sup>

### (2) 聴取妨害

図-25は聴取妨害について、グラフにしたものである。

これによると、話者間距離を1mにした場合には、78dBを超えた場合は叫び声が必要となることになる。<sup>3)</sup>

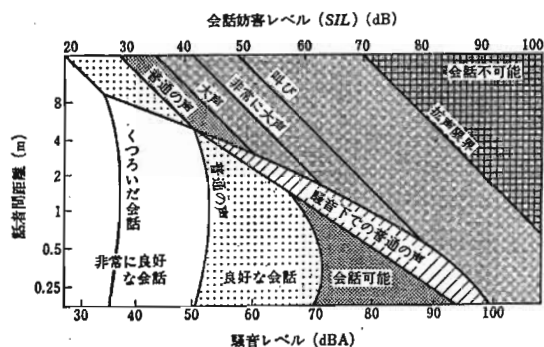


図-25 聴取妨害

## 9 考察

### 9-1 振動

#### (1) 車両の床

車両の床振動は、チェーン未装着時にはサスペンションの前輪が各々制御されている独立懸架<sup>4)</sup>のA車とD車の振動が小さく、左右一体となっている

車軸式リーフスプリングのB車とC車は、これらの3倍程度の値となった。

チェーン装着時の振動は、A車、B車、C車の3台で比較すると、Z型が0.250G、平行型が0.257G、H型が0.270Gとなった。チェーン装着時の各車の振動は、D車、C車、A車、B車の順で大きくなっており、チェーン未装着時と装着時の振動を比較すると、A車が6.6倍、B車が4.3倍、C車が1.7倍、D車が4.9倍となった。

これらのことから、車の特徴として、B車は「起伏による振動を直接に車両に伝達する」、C車は「小さい起伏による振動は伝達するが、チェーン程度の起伏による振動は吸収する」、A車とD車は「小さい起伏による振動やチェーン程度の振動を吸収する」結果となった。

この要因については、車軸の他にリーフスプリングやエアスプリングの強度の違いなどが影響していると考えられる。

速度別では、B車は走行速度が早くなるに従って振動が極端に大きくなっているが、A車とC車は走行速度40km/h、D車は30km/h付近の振動が最も大きく、各車両の特徴が表れている。

また、振動方向別では、上下振動が最も大きく、左右及び前後振動は上下振動の半分程度になっている。

#### (2) ストレッチャー上の振動

防振架台を下げた状態でのストレッチャー上のチェーン未装着時と装着時の全ての振動を平均すると、A車は0.105G、B車は0.206G、C車は0.125Gとなった。

車の振動を100%とすると、ストレッチャー上のチェーン未装着時と装着時の全ての振動は、A車は82.4%、B車は62.2%、C車は80.3%となるが、B車についてはA車と防振架台の構造が同一なことから、車両床の振動が大きいために値が下がったと考えられる。

チェーン別では、A車、B車、C車で比較すると、平行型が0.154G、Z型が0.169G、H型が0.211Gとなった。また、チェーン装着時はチェーン未装着時に比べて、A車が3.0倍、B車が4.1倍、C車が4.1倍の振動となった。

速度別では、チェーン未装着時は速度が早くなるに従って振動も大きくなったが、各チェーン装着時には速度を早くすると逆に振動が小さくなる傾向があり、低速では共振していると考えられる。

測定位置・振動方向別では、車両同様に上下振動が最も大きくなっており、足元の上下振動は腰と頭の上下振動の1.5倍程度となった。

### (3) 周波数分析

各測定位置・振動方向の共振周波数内の最大値を比較すると、車両別では、B車、A車、C車の順に振動が大きくなっており、平均振動とは逆の結果となった。これについては、車両の諸元が類似しているB車やA車は、周波数の高い振動が多いことになり具体的な要因は解明できない。

チェーン装着時の振動は、平行型が0.020G、Z型が0.021G、H型が0.034Gとなった。

また、速度については殆ど傾向がなく、測定位置・振動方向では足の上下振動が他に比べて一桁位大きい値となった。

また、最も悪いC車、Hチェーン装着、走行速度50km/h、足上下の振動では、不快域は15分となった。

### (4) 防振架台の影響

防振架台を『ON』の状態にすると、『OFF』の時に比べて振動平均値は、C車が4割、A車が3割振動を低減できるがB車については殆ど効果がなかった。

同様に、共振周波数内の最大振動は、C車が6割、B車が3割、A車が1割振動を低減できる結果となった。

防振架台は、何れの車両も電動油圧制御により防振架台を上昇させ、コイルスプリングにより振動を吸収させるものであり、A車とB車は同一なもの、C車についてはさらに、頭部を水平にする機能が付加されているが、これらの違いが表われた結果として、コイルのバネ定数などに違いがあったのではないかと考えられる。

## 9-2 騒音

車種別では、騒音値はA車とC車はほぼ同等でB車は高くなった。チェーン別では、未装着時が67.9dB、平行型が77.6dB、Z型が76.5dB、H型が79.5dBとなった。

速度別では、何れの車両も速度に比例して高くなる傾向があった。

また、人が不快と感じる騒音レベルは、75dBの場合35%、80dBの場合50%となっており、話者間距離1mでは78dBから叫び声が必要なことから、騒音は75dB以下が望ましいが、実際の出勤にはサイレン音が加わっている。

## 10 まとめ

車両の傾向として、A車は道路の起伏のような小さい振動やチェーン装着による振動をある程度吸収

する。また、ストレッチャー上の振動も車両振動の8割程度である。

B車は、道路の起伏のような小さい振動やチェーン装着による振動をあまり吸収しない。また、ストレッチャー上は車両振動の6割程度である。

C車は、道路の起伏のような小さい振動はあまり吸収しないが、チェーン装着による振動は吸収する結果となった。

D車は、何れの振動もかなり吸収する結果となった。

これらの差異については、前輪サスペンションの違いの他にリーフスプリングやエアスプリングの型式の違いなどが表れたものと考えられる。

チェーン別では、下の(1)~(4)について比較をおこないこの結果をまとめたものが表-3である。記載されているチェーンは最も振動の少なかったもので、( )の番号は比較項目の番号と対比させ、チェーンについては最も振動の小さかったものを記載した。

- (1) 車両床の平均振動
- (2) 防振架台OFF時ストレッチャー上の平均振動
- (3) 防振架台OFF時ストレッチャー上の共振周波数内の最大振動
- (4) ストレッチャー上耳元の騒音

表-3 チェーンの実験結果

	A車	B車	C車	D車
(1)	Z型	平行型	Z型	Z型
(2)	平行型	Z型	平行型	-
(3)	平行型	Z型	Z型	-
(4)	平行型	Z型	Z型	Z型

この結果、平行型とZ型チェーンについては、この表ではZ型が多くはなっているが何れも平行型との差は僅かであり、振動低減の効果は殆どないものと考えられる。

防振架台については、基本的な構造は3車とも同一であるが、C車の振動が小さくなったのは、頭部を水平にする機能が付加されている他に、コイルのバネ定数などに違いがあったのではないかと考えられる。

走行速度の傾向については、A車の車両床は速度上昇に伴って振動がやや増加、ストレッチャー上では20km/hの時に振動が大きい30km/h~50km/hはあまり変動がない。B車の、車両床の振動は、速度の上昇に伴って振動も増加するが、ストレッチャー上は逆に速度が上昇すると振動が小さくなる。C車は、車両床及びストレッチャー上の何れの振動も速度の影響をあまり受けない。D車は、車両床は30km/hが

最も振動が大きいですが、速度を上げると、振動が小さくなり、車両によって安定する速度に違いがある。

振動位置・振動方向別では、ストレッチャー上足部分の上下振動が他に比べて、振動が極端に大きくなっている。

## 11 あとがき

今回、アイスバーン路面を想定したアスファルト道路で、チェーン未装着時とチェーン3種類装着時の振動及び騒音の測定を実施したが、別の実験で、冬道を走行させて振動を測定した結果、路面の凹凸による振動は、チェーン装着時の振動を大幅に上回る結果となっている。

今回の実験から、車両のサスペンションの特性として、車輪が独立して動く独立懸架の車両が振動は小さくなっているが、同一構造の車両でも振動値に開きがあることから、スプリングなどのバネ定数の違いにより小さい振動を吸収しやすいものや大きい振動を吸収しやすいものなどがあるようである。この傾向は、防振架台のコイルスプリングについても見られる。

速度についても車両によって安定する速度に違いが認められる傾向にある。

今回の実験結果では、チェーンを変更したとしても振動及び騒音の低減には効果が薄いことが判明した。

しかし、車両には大きな違いが見られたことから、今後、車両や防振架台の構造などと振動・騒音の関係をさらに分析して、振動に強い積雪寒冷地用救急車の仕様を作成していかなければならない。

## 【参考文献】

- 1) 札幌市消防科学研究所報No 1 P20
- 2) No 1 H・デュピイ/G・シュレット「全身振動の生体反応」 P60-P61
- 3) 安全工学協会「騒音・振動」P24-26, 218-P221
- 4) カバヤ工業株式会社「自動車のサスペンション」山海堂 P14~P111



# エアゾール缶・カセットボンベについての調査・実験

Research and experiments concerning aerosol cans, portable gas cylinders, etc.

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro  
菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki

## 要 約

近年、火災が増加しているエアゾール缶などについて、法令の改正経過や強度などを調査した。  
また、石油ファンヒータの前に置いての破裂・爆発実験や防火衣に衝突させる破壊力実験などを実施して衝撃力を確認した。

## Summary

Research was conducted on the strength of aerosol cans and the process of statutory revision, as fires caused by such products increased in recent years. Their impact force was confirmed by conducting bursting and explosion experiments by placing them in front of an oil fan heater and colliding them with fireproof clothes.

### 1 はじめに

ヘアスプレーや芳香スプレーなどのエアゾール缶は、生活必需品として数多く使用されている。これらの缶には充填剤としてフロンガスが使用されていたが、地球温暖化防止策としてフロンガスが規制され、充填剤としてLPGが使用されるようになった。

また、近年はアウトドアブームであり、ブタンガスが充填されているカセットボンベも数多く使用されるようになった。

このようにエアゾール缶やカセットボンベの使用が増加したことや本市でごみの分別収集が開始されたことから、これらに起因する火災等が急増している。

そこで、エアゾール缶・カセットボンベについての調査・実験を実施した。



写真1 エアゾール缶・カセットボンベ

### 2 火災発生状況

写真1のようなエアゾール缶やカセットボンベに起因した火災等の発生状況は、図-1に示すとおりで、1998年までは僅かな増加であったのが、それ以後急増している。火災等の内訳は、ごみ収集車内での残存ガスの引火が83.5%を占めている他は、ストーブ熱による破裂引火や簡易こんろをガスこんろ上に放置しているのを忘れてガスこんろを点火してしまうものなどである。



図-1 火災等の発生状況

\* 消防科学研究所

### 3 関係法令

#### (1) 高压ガス保安法の適用除外

エアゾール缶及びカセットボンベ（以下、「エアゾール缶等」とする。）は、高压ガス保安法の適用除外として、高压ガス保安法第3条第8号の政令で定めるものの規定が該当し、高压ガス保安法施行令第2条第3項第8号を受けて、高压ガス保安法施行令関係告示第4条第3号に、適用除外のための諸条件が規定されている。

#### (2) 容器に関する条件

高压ガス保安法施行令関係告示第4条第3号2で、「温度50度における容器内の圧力の1.5倍の圧力で変形せず、かつ、温度50度における容器内の圧力の1.8倍の圧力で破裂しない容器に充てんされたものであること。ただし、圧力1.5Mpaで破裂しない容器に充てんされたものにあつてはこの限りでない。」と規定されている。

#### (3) フロンからプロパンへの変更経緯

平成元年8月21日付け、「製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法等に関する技術基準の細目を定める件」第11条の2「人体用エアゾールの噴射剤として使用することができる可燃性ガス」の規定により、人体に使用するエアゾール缶の可燃性ガス使用制限が解除された。

### 4 実際のエアゾール缶等の圧力強度

製造メーカーによると、エアゾール缶等の耐圧強度は概ね1.8MPa～1.9MPa程度である。

### 5 蒸気圧



図-2 蒸気圧図

容器を真空にしておき、そこにプロパンの液体を半分封入したとすると液体の部分は下になり、上部の空間にはプロパンガスの気体が充満する。その気体は容器の壁面に衝突し、容器をおし広げようとする力が圧力として表される。又液体と気体との境で液体は気体に、気体は液体になる平衡状態を生じますが、その時の圧力を蒸気圧という。

### 6 プロパンガスとブタンガスの蒸気圧曲線

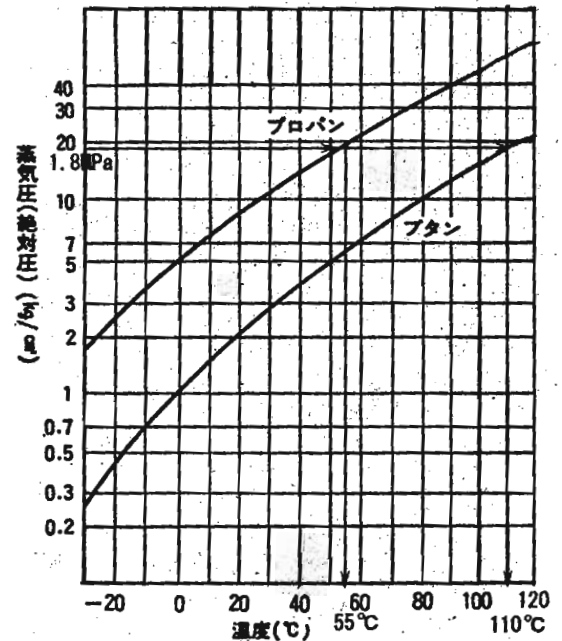


図-3 蒸気圧曲線

図-3<sup>1)</sup>からプロパンガスは液温が55℃、ブタンガスは液温が110℃になると蒸気圧が1.8MPa（約18 kg/cm<sup>2</sup>）となり、エアゾール缶の耐圧強度を超えて缶が破裂することになる。

### 7 実験

#### (1) 液温上昇実験



写真2 恒温槽図

写真2は、恒温槽内の温度を60℃にして、エアゾール缶に水を半分（230cc）入れ、恒温槽内の気流温度とカセットボンベ内の水温を測定している状況を撮影したものである。



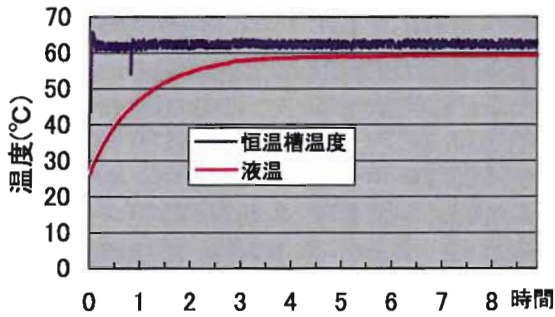


図-4 温度上昇図

図-4は、実験結果であり、外気温が60℃程度であれば、2時間位で液温が55℃となり、エアゾール缶が爆発する蒸気圧に達することがわかる。

しかし、実際にはプロパンガスやブタンガスの液比熱（1℃温度を上昇させるのに必要な熱量）は、水の1/3程度であることから、この実験よりは早く温度上昇すると考えられる。

(2) 石油ファンヒーター前のエアゾール缶加熱実験



写真3 エアゾール缶爆発実験

写真3は、実験の状況を撮影したもので、写真のように95cm角の飛散防止柵の中に石油ファンヒーターを入れ、温風吹出口の3cm前にヘアスプレー缶を置いて実験した。

また、飛散防止柵が居室よりも小さいことから、室温センサーや過熱防止装置の位置を移動させて実験を実施した。

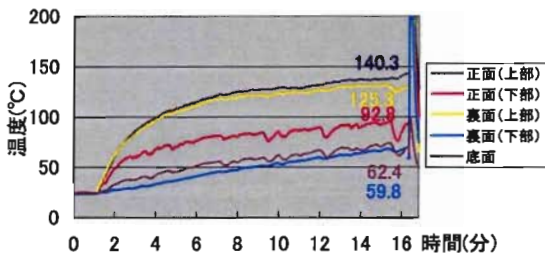


図-5 温度変化

図-5は温度測定結果で、石油ファンヒーター点火後、16分程度で底面の温度が62.4℃の時にヘアスプレー缶が破裂した。

高速度ビデオカメラによる解析により、飛散したプロパンガスは0.022秒後にストーブ背面の空気取入口から吸引され、ストーブ火により引火した。

なお、この石油ファンヒーターの温風の最高温度はルーバー部分で243.8℃、ルーバーから12cm離れた部分で120.4℃となっていた。

また、円筒缶の外側にフレキシブルヒーター（150W）を巻いて作成した加熱筒を使用した破裂実験の時に、付近にアルコールランプやろうそくを火源として設置したが、破裂した時の噴出風速が大きいため、炎は消えて漏洩したLPGに引火しなかった。

(3) エアゾール缶の人体想定衝突実験



写真4 実験状況

写真4は、実験状況を撮影したものである。人体を想定して、防火衣の中に石膏ボード9mmを1cm間隔に5枚入れ、高さ95cmの飛散防止柵の上に置いた。そして前述の加熱筒を使用してエアゾール缶を破裂させ、垂直方向に飛んだ缶を背中側から防火衣に衝突させ、衝撃力を試験した。

写真5は、その実験結果であり、防火衣の生地、下側2枚の石膏ボードを貫通後、3枚目の石膏ボードまで破壊する衝撃であった。



写真5 缶が衝突した防火衣

#### (4) エアゾール缶の速度測定実験

図-6は、エアゾール缶を前述の加熱筒により破裂させ、垂直方向へ上昇する速度を表わしたものである。高速ビデオカメラで1/4500秒毎に撮影したものを、50cm毎の移動距離から速度を算出し、最初の高さ50cmまでの平均速度は、900km/hと飛行機とほぼ同等の速さとなった。

また、高さ5mまでの速さも350～400km/hとなった。

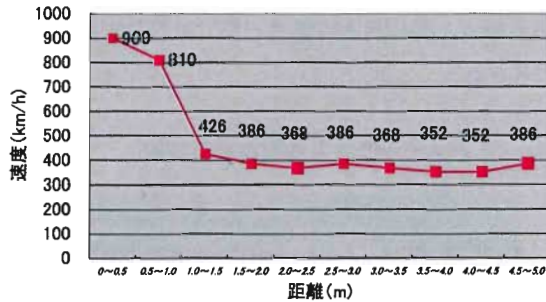


図-6 エアゾール缶の速度

#### 8 考察

反動力Rは次式で表される。

$$R = \pi (d/2)^2 P$$

R；反動力，d；胴部内径，P；破裂圧力

このことから、防火衣胴体衝突実験で使用したヘアスプレー缶では破裂した際の反動力は3.53kN、カセットボンベ（胴体内径65mm）では、5.97kNとなる。

#### 9 まとめ

- (1) エアゾール缶の耐熱温度は約55℃であり、周囲の温度が60℃の場合、2時間程度で破裂する。
- (2) 石油ファンヒータの温風熱で、エアゾール缶は破裂して、ストーブ背面の空気取入口からLPGが流入して爆発する。また、エアゾール缶付近にアルコールランプなどの裸火が置かれていても破裂した時の風速で火は消えてしまう。
- (3) 火災現場で、エアゾール缶が飛んできた場合は、防火衣を貫通して、人体に相当大きいダメージを与える可能性が高い。
- (4) エアゾール缶が飛んだ時の速度を算出すると、爆発した直後は時速900km/h、5m以内でも350～400km/hの速度があり、人が避けることのできない速さである。

#### 10 おわりに

現在、火災が急増しているエアゾール缶などについて、火災などの発生状況の分析から法令規制や各

種実験などを実施したが、これらの缶は耐熱強度が低く、破裂した時の衝撃力には、凄まじいものがあった。

現在、火災現場で破裂したエアゾール缶の衝突による負傷事故の報告は聞いていないが、危険性が高いことから、今度建物火災やごみステーションの火災などの時には、十分な注意を払う必要がある。

以上

#### 【参考文献】

- 1) 「LPガス実務ハンドブック」  
LPガス実務研究会編 全国加除法令出版
- 2) 第49回全国技術者会議資料  
P127 消火器の破裂実験について

# 災害現場における燃焼生成ガス等の危険性の把握と その対策に関する研究（その1）

Understanding of the dangers of gas products of combustion and other substances at  
disaster sites and research on measures against them (Part 1)

溜 真紀子\*  
Tamari Makiko

## 要 約

火災時に発生する燃焼生成ガス等は、既に研究されている一酸化炭素及びシアン化水素ばかりでなく、有毒性や発ガン性等があり、人間にとって危険なガス等も多く含まれている。

それらのガス成分や浮遊物質を測定し危険性を把握するため、基礎研究として居室内等の空気や木材を燃焼させた時の煙を採取、測定し、基礎データを集めた。

## Summary

Gas products of combustion and other substances that are studied already during fires include not only carbon monoxide and hydrogen cyanide, which are widely known, but also many types of gases and other toxic or carcinogenic substances dangerous to human bodies.

To measure the components of such gases and suspended matter and comprehend their danger, air in a room and smoke generated by burning wood in the same room were collected and measured to collect basic data for research.

### 1 はじめに

近年、様々な材質の生活用品が我々の周りに溢れ、火災時に発生する燃焼生成ガス等についても多様化している。そのガス成分や浮遊物質の中には、発ガン性物質等の有毒成分が含まれる可能性がある。

火災最盛期には、消防隊の活動は面体等を装着しているため、燃焼生成ガス等を吸い込むことはないが、鎮圧後の残火処理や調査係による原因調査は一般的に面体を外しての活動となるため、直接、浮遊するガスや物質を吸い込んでしまう。そこで、燃焼生成ガス等のうち既に研究されている一酸化炭素及びシアン化水素等ではなく、それ以外のガス成分や浮遊物質を測定し、その危険性の把握と対策を検証する。

今回は、基礎研究として試料の採取方法の比較を行うと共に居室内等の空気や、木材を燻焼させた時の煙を測定し基礎データとした。なお、本稿では、木材を一定温度で加熱し（一部、赤熱）、発生したガスを「燃焼生成ガス」と呼ぶこととした。

また、空気や煙の採取方法として、ガスサンプリング用注射器（ガスタイトシリンジ）による採取、ガス分析サンプリングバック（通称：テドラーバック）による採取及び吸着剤を充填したチューブ（テナックスTA）による採取の3通りを行った。

### 2 採取方法の種類

#### (1) ガスタイトシリンジによる採取

通常の注射器と同じようにプランジャーを引いて、ガス1mlを採取する。（写真1）



写真1 ガスタイトシリンジ

\* 消防科学研究所



## (2) テドラーバックによる採取

テドラーバック（容量5ℓ）にガス採取用ポンプを接続して採取する。（写真2）



写真2 テドラーバックとポンプ

## (3) テナックスTAチューブによる採取

テナックスTAとは主成分2, 6-ジフェニルオキサイドの重合体樹脂の吸着剤で、一般的に空気中の主成分である窒素、酸素、二酸化炭素を吸着せず、その他の成分を吸着する（分子量が大きいほど、吸着しやすい）。この吸着剤18mgをチューブに充填させたものがテナックスTAチューブである。このチューブに、積算流量計を接続し、吸引して採取を行う。（写真3）

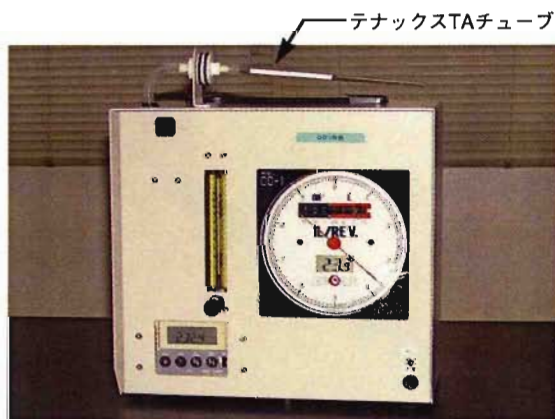


写真3 テナックスTAチューブと積算流量計

テナックスTAは物理吸着を行う。物理吸着とは、ファンデルワールス力と呼ばれる各分子間の引力で結合するもので、分子量が大きいほど吸着しやすくなる。活性炭も物理吸着である。そのため、メタン、エタンといった分子量が小さい成分は吸着しにくい。

例えば、室温20℃でテナックスTA 1gに対し10ℓ以上吸着する成分は、酢酸、メチルアセテートといった酸やアセテート類、メチルアミン、ピリジン、アニリンといったアミン類、クロロホルム

ムといったハロゲン類やベンゼン、トルエン、スチレン、フェノール等がある。

## 3 測定機器の説明及び測定方法

### (1) 測定機器

ア 測定機器は次の3つを接続し、構成している。

(ア) ガスクロマトグラフ（以下「GC」という。）

～アジレントテクノロジー製6890型

(イ) 質量分析装置（以下「MS」という。）

～アジレントテクノロジー製5973型

(ウ) 加熱脱着導入システム～ゲステル社製

（なお、アとイを合わせて以下「GCMS」という。）

### イ 測定機器の説明

(ア) GCについて

物質を加熱し昇温させ、各成分の移動速度の違いにより分離させ、標準試料との比較により不明物質を特定する。なお、窒素等の不活性ガスは検出されない。

(イ) MSについて

GCで分離した成分に強いエネルギーをあてイオン化し、コンピュータ内のデータベースと照合し、不明物質を特定する。

(ウ) 加熱脱着導入システムについて

加熱脱着装置（TDS-2）と注入口（CIS-4）から成っており、GCMSへ接続されている。

テナックスTAにガス成分を吸着し、加熱脱着装置に挿入、加熱すると吸着していたガスが放出され、GCMSへ送られる。

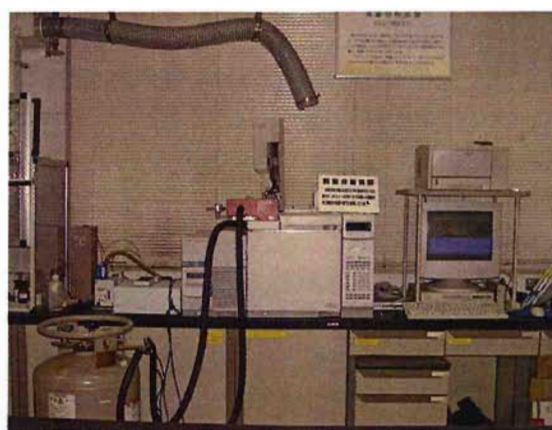


写真4 測定機器

### (2) 注入方法

ア ガスタイトシリンジによる注入

ガスタイトシリンジで気体の採取を行い、採取した後、そのまま直接、GC内の注入口に針を挿入しガスを注入する。この際、空気中にあ

る窒素や酸素等も大量に混入されたまま、注入される。そのため、その他の成分は微量となってしまう。

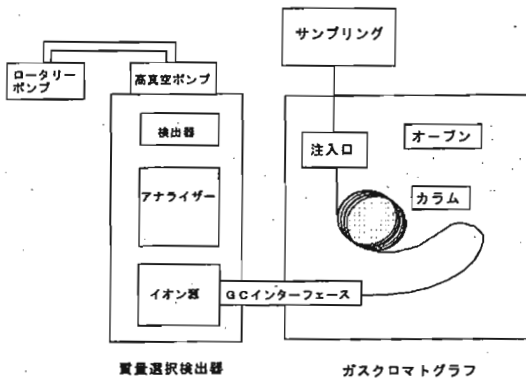


図1 GCMSの構造

イ テナックスTAチューブによる測定方法

積算流量計でガス成分をテナックスTAに吸着させ、TDS-2にテナックスTAチューブを挿入し、加熱後CIS-4にガスが注入される。

テナックスTAにガス成分を吸着させた時は窒素や酸素等が含まれていないため、ガスが濃縮されている状態である。

さらに、注入口による低温から高温の昇温で、沸点の違いにより各成分の層が出来るため、より濃縮された成分を測定することができる。

Gerstel TDS 2 加熱脱着システム

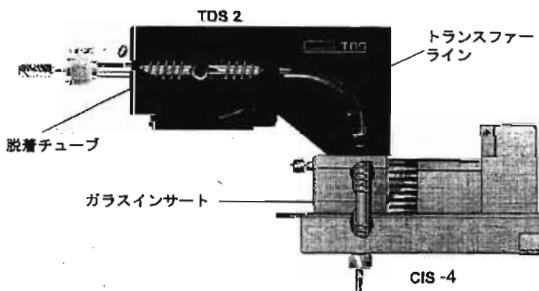


図2 加熱脱着装置の構造

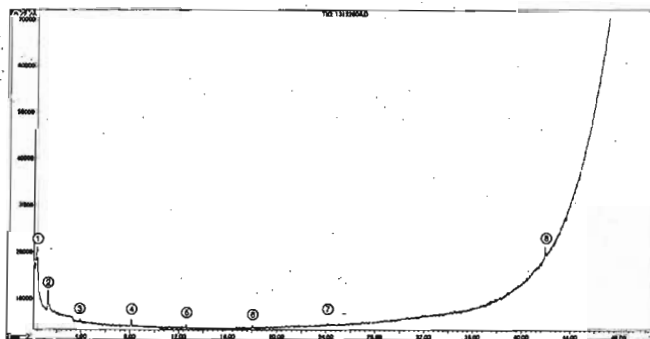


図3 実験1-(ア)のマスクロマトグラム

4 実験内容

(1) 実験1-事務所内の空気-

ア 実験環境

(7) 実験環境 温度24.5℃, 湿度19%

(イ) 実験場所 消防科学研究所分析測定室

イ 実験方法

(7) 実験1-(ア)

ガスタイトシリンジで事務所内の空気を採取し、そのままGCへ注入した。

(イ) 実験1-(イ)

テドラーバックで事務所内の空気を採取し、その空気をガスタイトシリンジで吸い、そのまま、GCに注入した。

(ウ) 実験1-(ウ)

事務所内の空気をテナックスTAチューブに積算流量計(500ml/min)で5l吸引させ、TDS-2に挿入した。

(エ) 実験1-(エ)

テドラーバックで事務所内の空気を採取し、その空気をテナックスTAチューブに積算流量計(500ml/min)で5l吸引させ、TDS-2に挿入した。

ウ 実験結果

実験1-(ア)の結果を図3及び表1、実験1-(イ)の結果を図4及び表2、実験1-(ウ)の結果を図5及び表3、実験1-(エ)の結果を図6及び表4に示した。

なお、実験1のそれぞれを複数回測定したが、同じ結果が得られている。

表1 図3のピーク成分

ピーク成分	ピーク成分
① プロパン, ブテン	⑤ アカメチルシクロペンタシロキサン
② 二酸化炭素, 酸素	⑥ 二酸化炭素, 酸素
③ 二酸化炭素, 酸素	⑦ ブタン
④ オクタメチルシクロヘキサン	⑧ ブタン, ペンタン

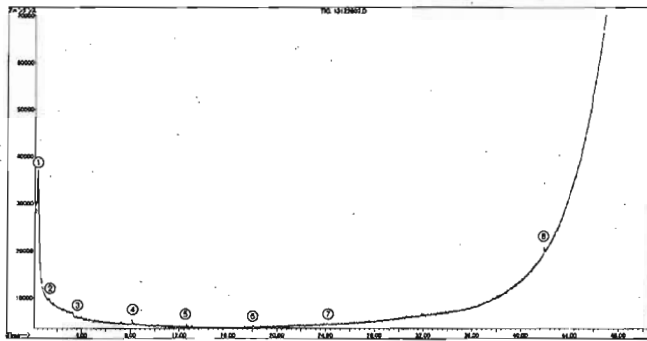


図4 実験1-(イ)のマスクロマトグラム

表2 図4のピーク成分

ピーク成分	ピーク成分
① プロパン, ブテン	⑤ デカメチルシクロペンタシロキサン
② 二酸化炭素, 酸素	⑥ 二酸化炭素, 酸素
③ 二酸化炭素, 酸素	⑦ ブタン
④ オクタメチルシクロヘキサン	⑧ ブタン, ペンタン

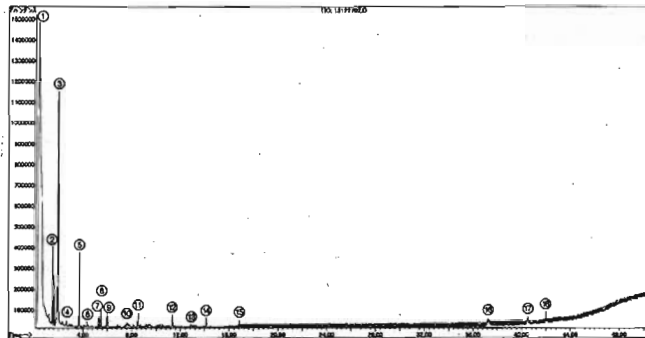


図5 実験1-(ウ)のマスクロマトグラム

表3 図5のピーク成分

ピーク成分	ピーク成分
① 二酸化炭素, 酸素	⑩ 1-エチル-2-メチルベンゼン
② 二酸化炭素, 酸素	⑪ 1,3,5-トリメチルベンゼン
③ アセトン	⑫ デカン
④ ベンゼン	⑬ ウンデカン
⑤ トルエン	⑭ ドデカン
⑥ テトラクロロエチレン	⑮ トリデカン
⑦ エチルベンゼン	⑯ 4,4'-[[1,4-ジエチル(7,7'-イア)]ビス-フェニル]
⑧ 1,3-ジメチルベンゼン	⑰ m-フェニルベンゾニトリル
⑨ スチレン	⑱ ビス(2-エチルヘキシル)フタレート

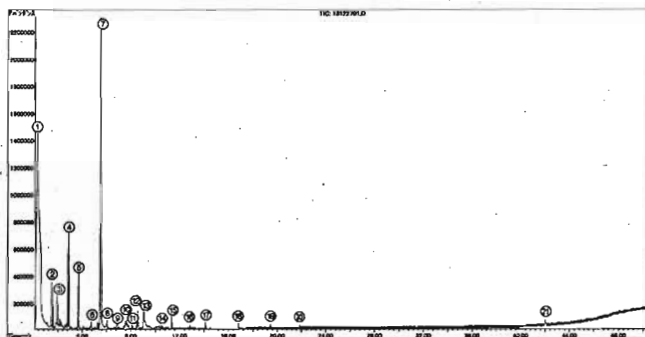


図6 実験1-(エ)のマスクロマトグラム

表4 図6のピーク成分

ピーク成分	ピーク成分
① 二酸化炭素, 酸素	⑪ 1-エチル-2-メチルベンゼン
② 二酸化炭素, 酸素	⑫ デカン
③ アセトン	⑬ フェノール
④ ベンゼン	⑭ 2-メチルデカン
⑤ ヘプタン	⑮ ウンデカン
⑥ トルエン	⑯ デカメチルシクロペンタシロキサン
⑦ 1,1,3-トリメチルシクロヘキサン	⑰ ドデカン
⑧ エチルベンゼン	⑱ トリデカン
⑨ N,N-ジメチルアセトアミド	⑲ テトラデカン
⑩ α-ピネン	⑳ テトラデカメチルシクロヘキサシロキサン
	㉑ ビス(2-エチルヘキシル)フタレート

(2) 実験2-木材を燻焼させた時の煙-

ア 実験環境

(ア) 実験環境 温度24.5℃, 湿度19%

(イ) 実験場所 消防科学研究所燃焼実験室及び分析測定室

イ 実験方法

(ア) 実験2-(ア)

1m角の燃焼箱の中で, 木材31.1gを450℃のホットプレート上で燻焼させ, 12分後に燃焼箱内で煙が充満したので燃焼生成ガスをテドラーバックに採取した。これをガスタイトシリンジで吸引し,そのまま,GCに注入した。

(イ) 実験2-(イ)

1m角の燃焼箱の中で, 木材31.1gを450℃のホットプレート上で燻焼させ, 12分後に燃

焼箱内で煙が充満したので燃焼生成ガスをテナックスTAチューブに積算流量計(500ml/min)で2ℓ吸引させ, TDS-2に挿入した。



写真5 実験2-(ア)の状況



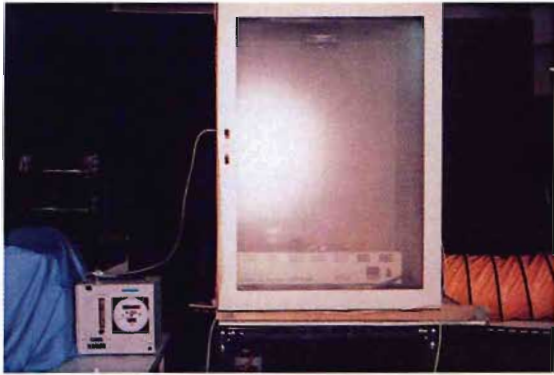


写真6 実験2-(イ)の状況



写真7 ホットプレート上の燻焼後の木材の状態

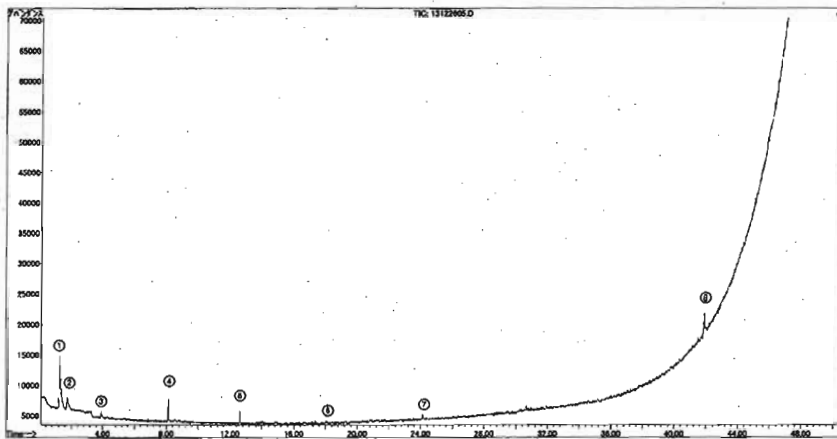


図7 実験2-(ア)のマスクロマトグラム

表5 図7のピーク成分

ピーク成分
① プロパン, ブテン
② 二酸化炭素, 酸素
③ 二酸化炭素, 酸素
④ オクタメチルシクロヘキサン
⑤ デカメチルシクロペンタシロキサン
⑥ 二酸化炭素, 酸素
⑦ ブタン
⑧ ブタン, ペンタン

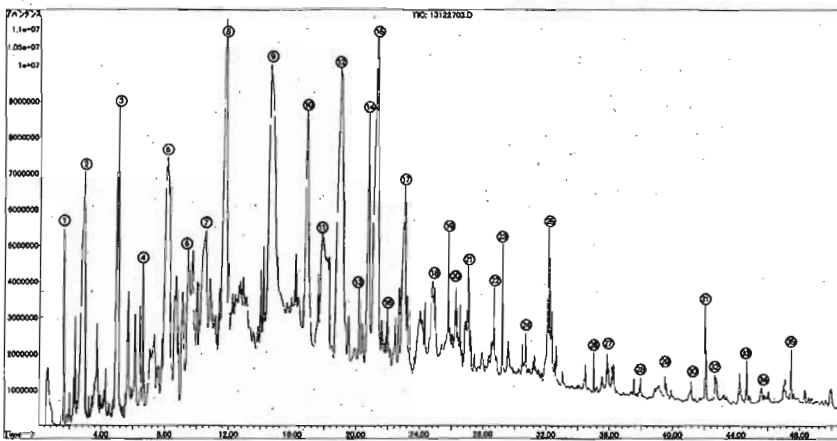


図8 実験2-(イ)のマスクロマトグラム

※MSのコンピュータ内にあるデータベースと測定された成分を照合する際、一致率が80%以下であれば、「一致するものなし」とみなす。

表6 図8のピーク成分

ピーク成分	ピーク成分	ピーク成分	ピーク成分
1 二酸化炭素, 酸素	10 4-エチル-2-メトキシフェノール	19 一致するものなし	28 オクタデカメチルシクロノナシロキサン
2 酢酸	11 2-メトキシ-4-ビニルフェノール	20 1,6-ジメチル-4-(メチルエチル)-ナフタレン	29 一致するものなし
3 フルフラール	12 2,6-ジメトキシフェノール	21 2,6-ジメトキシ-4-(2-プロペニル)-フェノール	30 オクタデカン
4 1-(2-フランイル)-エタノン	13 2-メチルエチル-ビスイコ[5.2.0]ノナン	22 一致するものなし	31 ビス(2-エチルヘキシル)フタレート
5 5-メチル-2-フランカルボキシルアルデヒド	14 1,1-[オキシビス(2,1-エタンエチル)-ブタン]	23 一致するものなし	32 1-プロモ-オクタデカン
6 フェノール	15 4-メトキシ-2-メチル-1-(メチルオ)ベンゼン	24 テトラデカン	33 メチル エステル テトラコサニク酸
7 3-メチル-1,2-シクロペンタンジオン	16 2-メチルトリコサン	25 ジブチルフタレート	34 オクタコサン
8 2-メトキシフェノール	17 3-[(トリ)メチルシリル]オキシフェノール	26 ヘニコサン	35 メチル エステル ヘキサコニク酸
9 2-メトキシ-4-メチルフェノール	18 一致するものなし	27 ジブチル エステル デカニデック酸	

ウ 実験結果

実験2-(ア)の結果を図7及び表5, 実験2-(イ)の結果を図8及び表6に示した。

また, 木材は燻焼後13.1gとなり, 燃焼箱内は酸素17.0%, 一酸化炭素6.118ppm, 一酸化窒素38ppm, 二酸化硫黄16ppm (テストターム株式会社製 燃焼排ガス分析計test033で燃焼箱内にて測定した)となった。なお, 実験2のそれぞれを複数回測定したが, 同じ結果が得られている。

5 考察

(1) 事務所内空気の測定について

実験1-(ア)と実験1-(イ)のマスクロマトグラム(図3, 図4)及びこれを比較するため重ね書きしたマスクロマトグラム(図9)を見ると, リテンションタイム(試料がGCに入った時間からピークの頂点の時間のこと)が等しいピークが検出されており, 表1, 表2より, 成分も同一のものである。それぞれ各成分のピーク強度(アバダンス:各成分量に値する電気量)が低く検出されたが, これは, 試料が多量の窒素や酸素とともに注入され, 各成分の濃度が非常に薄いためである。

テナックスTAチューブを使用しての測定は, 図5, 図6のとおり, ガスタイトシリンジを使用した時と比較して, ピークの数や強度等にかなりの違い(約20倍)が見られる。図5ではピークは18確認でき, ピーク強度(アバダンス)も図3と比較すると約20倍高く, ガスタイトシリンジでの注入よりも濃縮されていることがわかる。表1で検出されたピークが表3で検出されていないのは, 比較的分子量が小さいため, テナックスTAの特性により, 吸着されにくかったと思われる。また, テナックスTAは, 窒素, 酸素, 二酸化炭素はほとんど吸着しないが, 大量に存在した場合, テナックスTAチューブに残っているため, 酸素, 二酸化炭素が検出される。

また, 図5と図6のマスクロマトグラムを重ね書きした図10及び図5と図6を鏡で見たように比較したミラーグラム(図11)より事務所内空気とテドラーバックで採取した事務所内空気には, 成分の違いが見られる。これはテドラーバック自体の成分がテナックスTAに吸着し検出されたものと思われる。

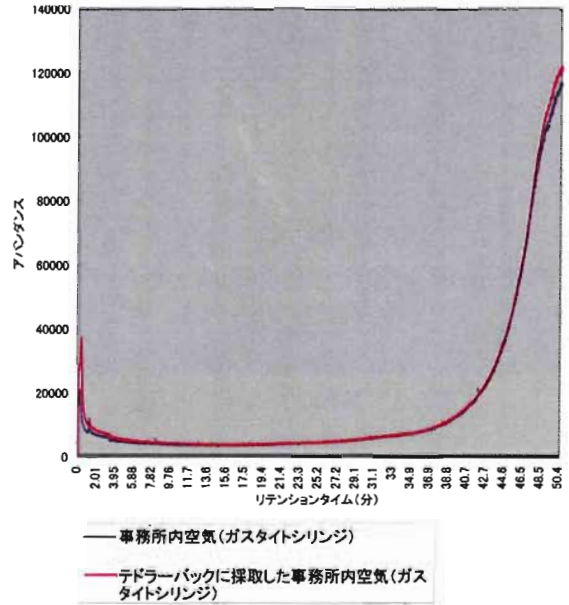


図9 図3と図4の重ね書き

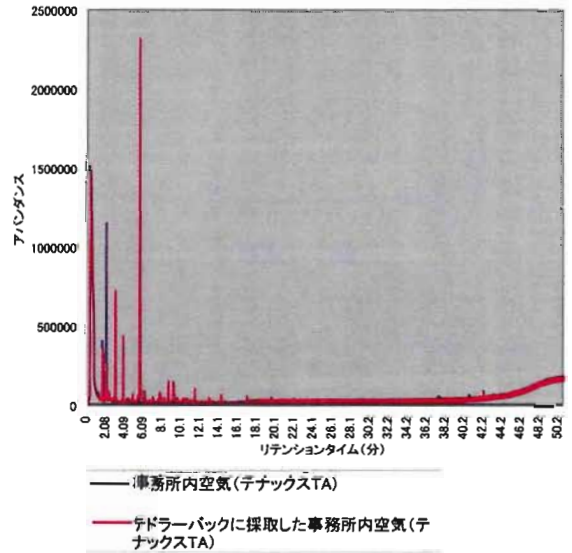


図10 図5と図6の重ね書き

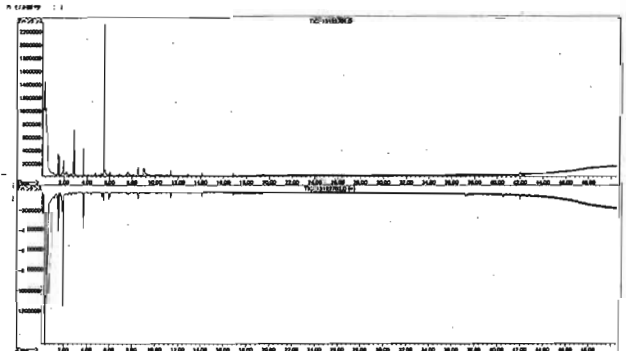


図11 図5と図6のミラーグラム



## (2) 燃焼生成ガスについて

実験2-(ア)のマスキロマトグラム(図7)は、実験1-(ア)のマスキロマトグラム(図3)と比較して、ピーク数、リテンションタイム及びピーク強度(アバンダンス)について同様の結果が得られた(図12)。実験1と同様に、ガスタイトシリンジを使用した場合は、窒素や酸素といった空気の主成分や水蒸気が多くを占めており、他の成分はあまりにも微量のため、燃焼により生成したガス成分が検出されなかったと思われる。

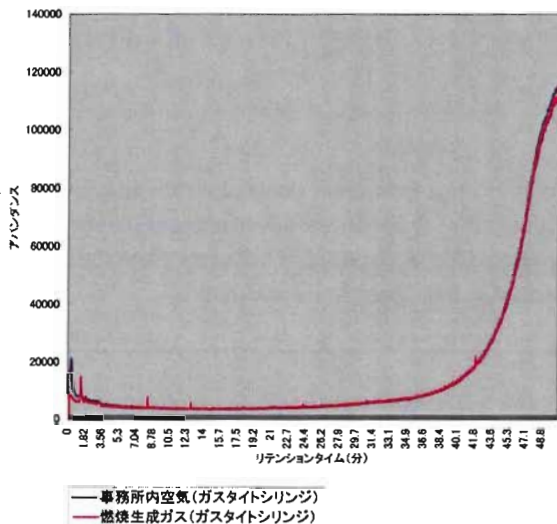


図12 実験1-(ア)と実験2-(ア)の重ね書き

実験2-(イ)のマスキロマトグラム(図8)は、実験1-(ウ)のマスキロマトグラム(図5)と比較し、ピーク数、強度が共に高く、木材を燃焼させることで多種の成分が生成されることがわかった。(図13)燃焼生成成分のうち、フェノール類やフルフラール、酢酸といった特有の臭気を持ち、毒性のある物質が多く認められた。また、今回は木材として、建築建材に多く使われているコンパネを使用した。コンパネには接着剤も使われており、その熱分解ガス等も発生したと考えられる。

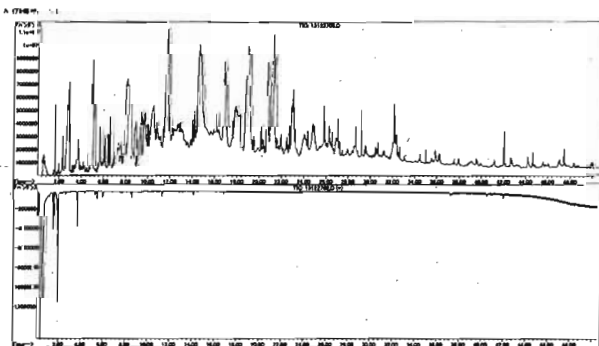


図13 実験1-(ウ)と実験2-(イ)のミラーグラム

## 6 まとめ

ガスタイトシリンジを使用した注入による測定は、窒素、酸素、二酸化炭素等といった空気中の主成分の中にある微量の成分をそのまま測定するため、ほとんどが検出されない。しかし、テナックスTAチューブを使用することで、微量成分を濃縮して測定できるため、ガスタイトシリンジでは測定できなかったトルエンやスチレン等を検出することができた。

また、燃焼生成ガスにおいても、同様であり、木材を燃焼させることで一酸化炭素等の有毒ガス以外にも多種の成分が発生し、それらを特定することができた。

このことから、空気や燃焼生成ガス中の微量ガスの測定に加熱脱着導入システム及びテナックスTAチューブは有効であると思われる。

また、木材を燃焼させて、このように多種の成分が発生するので、様々な材質を使用した家財等を燃焼させることは、さらに多くの成分が発生すると考えられ、それらのガスを特定していく必要性が感じられた。

さらには、異臭ガスが発生した場合にも直接にテナックスTAチューブで吸着させるか、あるいは、テドラーバックで採取したガスをテナックスTAチューブに吸着させることで、そのガスの成分を測定することも可能である。

今後、加熱脱着導入システム及びテナックスTAチューブを使用して、実際に家財等が入っている小屋を燃やした際の燃焼生成ガスや、火災時における燃焼生成ガス等を測定するだけでなく濃度の測定も行っていく所存である。

## 【参考文献】

- 1) 「安全工学講座7 大気汚染」海文堂
- 2) 「環境の化学分析」三共出版
- 3) 「火と煙と有毒ガス」東京消防庁消防科学研究所監修
- 4) 「火災」254号日本火災学会誌 Vol.51 No.5  
「火災時の有毒ガスの人体への影響に関する調査専門委員会について」北村芳嗣、高橋大
- 5) 「化学大辞典」共立出版

# 空間容積の違いによる一酸化炭素とシアン化水素の致死燃焼量

Fatal amounts of carbon monoxide and hydrogen cyanide combustion in various space volumes

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

## 要 約

火災の時に発生する一酸化炭素とシアン化水素について、部屋の面積を変えた場合の致死量をテレビの外装材であるABS樹脂と硬質発泡ウレタンについて算出した。

この結果、密閉された6畳間(10m<sup>2</sup>)では、シアン化水素は29型テレビ(ABS樹脂約6.0kg使用)が1/3個、一酸化炭素は29型テレビが1個燃焼すると致死量となる。

## Summary

The fatal amounts of carbon monoxide and hydrogen cyanide generated during fires were calculated by changing the size of a room, using ABS resin used for the exterior of televisions and hard urethane foam. As a result, in a closed six-mat room (10 m<sup>2</sup>), the fatal amount of hydrogen cyanide was generated by the combustion of one-third of a 29-inch television (using 6.0-kg ABS resin), and the fatal amount of carbon monoxide was generated by that of one whole television.

### 1 はじめに

火災時には、様々な有毒ガスが発生するが、一般的に一酸化炭素(CO)とシアン化水素(HCN「青酸ガスとも呼ぶ」)が危険だと言われている。

電気製品などの外装材として主に使われているABS樹脂と断熱材として壁に吹き付けられている硬質発泡ウレタンが燃焼した場合の致死重量について、過去の研究結果を元に算出した。

### 2 算出方法及び結果

各物質は燃焼させる温度によって、発生するガスの量や種類が変化する。また、文献によっても発生量は様々であり、ここでは、当研究所が実施した結果から、算出する。

ABS樹脂を850℃で燃焼させた時のシアン化水素の発生量は $2.51 \times 10^{-3}$  l/g、一酸化水素の発生量は53.2mg/g、硬質発泡ウレタンを850℃で燃焼させた時のシアン化水素の発生量は $13.34 \times 10^{-3}$  l/g、一酸化水素の発生量は80.3mg/gとなる。<sup>1)</sup>

図-1は、これらの値から居室の大きさに対する各材料が何kg燃焼すると、致死重量に至るかを計算してグラフにしたもので、居室の高さは2.3mとした。また、居室は密閉空間として、計算を容易にするために、酸欠などにより発生量に変化しないとした。

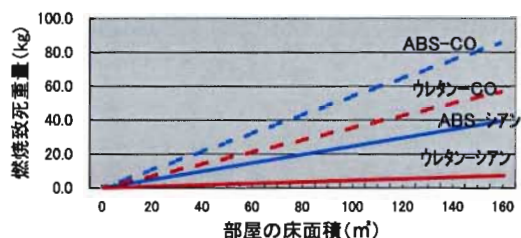


図-1 床面積と燃焼致死重量

この結果、6畳間(10m<sup>2</sup>)では、29型テレビ(ABS樹脂約6.0kg使用)を基準にすると、シアン化水素は1/3個、一酸化炭素は1個の燃焼で致死量が発生することになる。

また、新宿歌舞伎町火災の床面積160m<sup>2</sup>の1フロアでは、シアン化水素はテレビ7個、一酸化炭素はテレビ20個で致死量となる。

### 3 ガスの毒性

#### (1) 一酸化炭素

濃度%	吸入時間	CO-Hb濃度	影 響
0.01~0.02	—	10~20%	時に軽い頭痛
0.02~0.03	5~6時間	20~30%	頭痛、耳鳴り
0.03~0.06	4~5時間	30~40%	激しい頭痛、外表の鮮紅色
0.07~0.1	3~4時間	40~50%	呼吸数増加
0.11~0.15	1.5~3時間	50~60%	意識喪失、失禁
0.16~0.30	1~1.5時間	60~70%	呼吸微弱、血圧低下、時に死亡
0.50~1.00	1~2分	70~80%	反射低下、呼吸障害、死亡

\* 消防科学研究所

(2) シアン化水素

濃度ppm	影 響
0.2~5.1	臭気の境界域
10	TVLおよびMAL値
18~36	数時間曝露で軽い中毒症状
100	1時間後死亡
110~135	30~60分で致命的
13	30分で致命的
180	10分で致命的
270	直ちに死亡

1%=10,000ppm

4 火災犠牲者の検死結果

Wetherallらは、火災犠牲者53例について血液中のシアンイオンについて調査を行なっており、表-1にその結果を示したが、53例の中で一酸化炭素とシアンイオンが検出されたのは39例であった。残りの14例では、一酸化炭素は検出されたが、シアンイオンは検出されなかった。

血液中の一酸化炭素量は17%~90%であり、シアンイオン濃度は17 $\mu$ g/100ml~220 $\mu$ g/100mlであった。

また、シアンイオン濃度と一酸化炭素量には、相関関係がなかった。致死に要する血液中のシアン濃度は300 $\mu$ g/100ml~500 $\mu$ g/100mlとされているが、全てこの濃度以下であった。

彼らは、これらの結果を基に、火災時の発生ガスによる死亡の主要原因は一酸化炭素であるが、シアン化水素についても十分寄与していると推論している。

しかし、これらガスの単独についての毒性については判明しているが、他のガスとの混合状態での毒性については、相乗効果があるとしているものや相加作用があるとしているものがあり、明確になっていない。<sup>2)</sup>

5 おわりに

近年、生活用品のほとんどに窒素(N)が含まれており、ナイロンや羊毛などからも有毒なシアン化水素がABS樹脂と遜色のない量発生する。<sup>3)</sup>昭和61年に実施された実大火災実験では、出火室では一酸化炭素が5~7%、シアン化水素が500~2500ppm、階段室では一酸化炭素が1~2%、シアン化水素が200~500ppmと何れも致死量に達する濃度が報告されている。<sup>4)</sup>当研究所が最近実施した結果では、火災室の一酸化炭素濃度は10%程度になっており<sup>5)</sup>、シアン化水素も増加していることが考えられる。

避難上の対策としては、当研究所の実験結果から、ハンカチを口や鼻に当てるだけで、70%以上の除煙

表-1 火災犠牲者の検死結果

年 令 性 別	CN- $\mu$ /100ml			血液中 CO (%)	特 記
	血液	脊髄液	胃内		
6ヶ月 男	25	-	-	63	
74 男	20	-	-	66	
2 女	90	-	-	38	} 同一火災
3 男	100	-	-	62	
33 男	45	-	-	50	} 同一火災
80 男	35	-	-	63	
42 女	30	-	-	50	
28 女	60	neg	neg	22	病院で30分生存
32 女	50	neg	neg	71	
63 女	90	-	neg	62	
51 男	100	15	neg	90	
18ヶ月 男	60	-	-	60	} 同一火災
18ヶ月 男	40	-	-	37	
4 女	70	-	-	65	} 同一火災
2 男	70	-	-	14	
1 男	50	-	-	61	
48 男	20	neg	neg	50	病院で60分生存
29 男	20	neg	neg	71	
2 男	30	-	-	68	
77 女	55	-	-	35	
13 男	50	neg	-	66	
2 女	60	-	-	73	
57 男	60	neg	-	23	
47 女	75	16	neg	47	自動車火災
37 男	60	15	neg	67	
62 男	60	-	neg	42	
70 女	17	neg	-	37	
51 女	70	16	neg	54	バルソビル
7 女	80	-	-	51	} 同一火災
27 女	60	neg	-	70	
22 男	50	neg	neg	30	工場火災
5 女	55	-	-	17	
66 男	30	neg	neg	21	
55 男	60	neg	-	71	} 同一火災
52 男	130	neg	-	54	
28 男	60	neg	neg	58	
59 男	220	neg	neg	44	自動車火災
39 男	100	neg	neg	73	} 同一火災
21 男	70	-	neg	75	
12名成人*	-	-	-	15	
2名幼児	-	-	-	86	

\*CN-の検出されなかった例

効果があることが判明している。<sup>6)</sup>

火災時に発生する有毒ガスについては、材料や発生ガスが多種多様であり、それぞれ別々の定められた測定方法であることから、研究はあまり進んでいない。

また、火災研究者の多くは建築・機械関係の先生方が多く、化学関係の研究者が少ないことから、消防機関の研究所で、測定方法も含めた燃焼生成ガスの研究を進める必要がある。

以 上

【参考文献】

- 1) 消防科学研究所報 No 5 P15~P16
- 2) 消防輯報 消防研究所 第40号P15~17
- 3) 火災燃焼生成物の毒性 新日本法規 P9~P11
- 4) 火災燃焼生成物の毒性 新日本法規 P78~P108
- 5) 消防科学研究所報 No 8
- 6) 消防科学研究所報 No 4 P19~P24



# 居室内におけるLPG漏洩時の滞留状況 及び有効な排出方法に関する研究

Research on retention conditions and effective emission methods at the time of indoor LP gas leakage

菅原 法之\*  
Sugawara Noriyuki  
橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro

## 要 約

LPGによる火災や爆発、漏洩事故が多く発生している。しかしながら、LPGの滞留状況等は不明な点が多いことから、ガス漏れ災害現場で参考になるように、居室内でLPGが漏洩した場合の時間経過、居室内形状（家具等障害物の有無）及び床面からの濃度測定位置の高さの違い、開口部の開閉状況や開口部形状等を変化させてガス濃度を測定し、滞留状況を把握した。なお、実験にはLPGとほぼ同じ比重の二酸化炭素を使用した。

## Summary

LP gas often causes fires, explosions and leakage accidents. However, the retention conditions and many other matters concerning LP gas are still unclear. The gas concentration was measured by changing the elapsed time after indoor leakage of LP gas, shape of the room (existence of furniture and other obstacles), density measurement height above the floor, as well as the status (open/close) and shape of the opening, to examine the retention conditions. Carbon dioxide was used for the experiment as it has a specific gravity almost identical to that of LP gas.

## 1 はじめに

消防科学研究所では、平成12年度の研究テーマの「居室内におけるLPG漏洩時の滞留状況及び有効な排出方法に関する研究」について可燃性のLPGの代わりに、ほぼ同じ比重で不燃性の二酸化炭素を使用してこの実験を行い、時間経過によるLPG滞留濃度の変化状況及び開口部面積や開口部の形状及び敷居高の違いによる濃度変化等について明らかになった。

## 2 実験装置

- (1) 塩化ビニル製パイプを使用する測定～実験 1  
内径29.8cm、肉厚0.9cm、高さ220cmの塩化ビニル製パイプ（容積153.4ℓ・以下「塩ビ管」という。～図1及び写真1・2参照。）の上部及び下部の開口部分をラップで塞ぎ、ほぼ密閉状態にして、塩ビ管の底部から高さ80cmの位置に二酸化炭素注入用の穴（内径0.7cm～写真3参照。）を開け、二酸化炭素を毎分1ℓの流量で

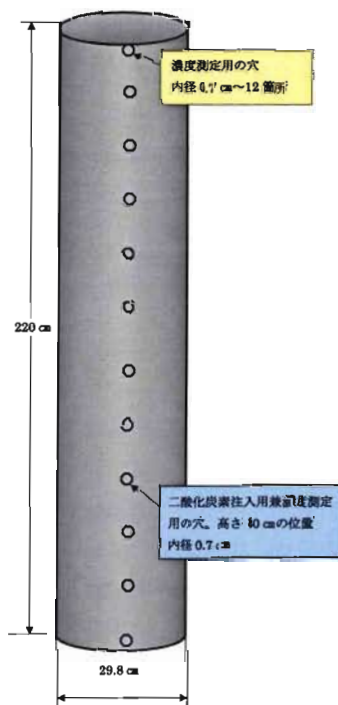


図1 塩化ビニル製パイプ(塩ビ管)



写真1 塩ビ管 1



写真2 塩ビ管 2

\* 消防科学研究所

10分間注入（二酸化炭素ポンペにホースを接続し、導いた）した。さらに、塩ビ管に高さ20cmごとに濃度測定用の穴12箇所（内径0.7cm）を開け、それぞれの高さで二酸化炭素濃度（以下「濃度」という。）を測定できるようにした。（写真4参照。）

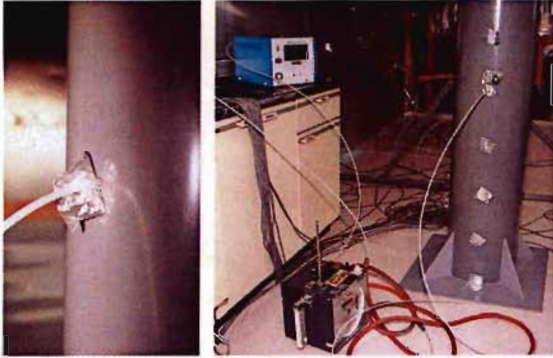


写真3  
二酸化炭素注入用穴

写真4 測定装置

なお、この実験は極力、風等の影響を受けないように塩ビ管を燃焼実験ハウス（構造「鉄骨造鉄板張り、幅2.7m、奥行き5.4m、天井高さ2.89m、面積14.58㎡、容積42.14m<sup>3</sup>」以下同じ。～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」及び写真5参照。～以下「ハウス」という。）内に入れて行った。

(2) ハウスを使用しての測定

（屋外で実施）～実験2

ハウス内に家具等の障害物を設置しないで、二酸化炭素を毎分7lの流量で放出し、放出時間、放置時間、測定位置高さ等を変えて時間経過とともに濃度測定を実施した。（図2及び写真6～10参照。）



写真5 燃焼実験ハウス



写真6・7 燃焼実験ハウス内

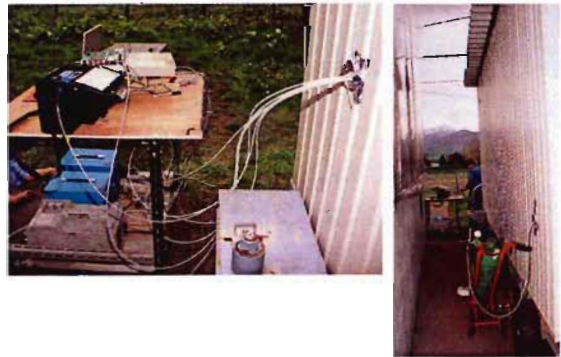


写真8・9 測定状況

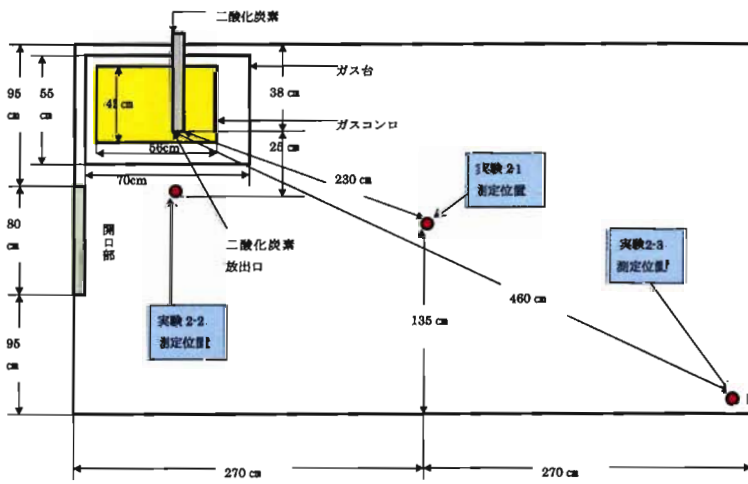


図2 実験2用燃焼実験ハウス内図



写真10 ガスコンロ



で目張りを行い、開口部部分の隙間は外部から  
ガムテープで目張りをした。(写真12参照)



写真11 車庫内の燃焼実験ハウス



写真13・14 燃焼実験ハウス内家具設置状況



写真12 ビニールでの目張り状況

ハウス内に家具を設置(家具を設置すること  
による二酸化炭素の滞留及び排出状況にどのよ  
うな影響が表れるかの確認～図3及び写真13・  
14参照)して二酸化炭素を毎分5ℓの流量(写  
真15参照)で約1時間放出(写真16参照。～二  
酸化炭素放出ホース)した。



写真15 積算流量計

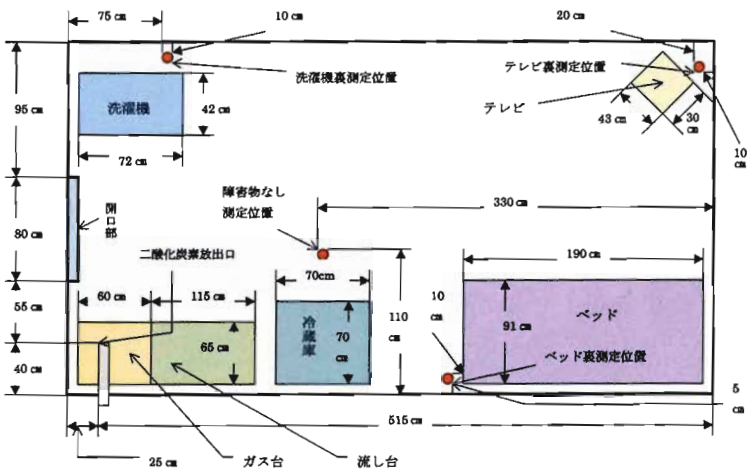


図3 実験3用燃焼実験ハウス内図



写真16 二酸化炭素放出ホース  
設置状況

ハウス内4箇所「①障害物なし」～ハウス内中心部（冷蔵庫上の電子レンジ前のホース～写真17参照。）、「②洗濯機裏」～開口部側ハウス内隅（写真18参照。）、「③ベッド裏」～ハウス内中心部の壁側（写真19参照。）、「④テレビ裏」～開口部向かいの反対側壁の隅（写真20参照。）のそれぞれの位置で時間経過とともに濃度測定を実施した。

なお、開口部の大きさと敷居高を変化（木製コンパネで開口部の一部を塞いで）させて同様の濃度測定を実施した。



写真17 ①障害物なし



写真18 ②洗濯機裏



写真19 ③ベッド裏



写真20 ④テレビ裏

#### (4) LPGの性質について

LPGはLiquefied Petroleum Gasつまり「液化された石油系のガス」の頭文字をとった略語であり、プロパン、ブタン、プロピレンを主成分とし、メタン、エタン等も少量含まれている。

一般に市販されているLPGで家庭用燃料として用いられているものは比較的にプロパンが多いのでプロパンガスと呼ばれている。

また、ガス特有のいやな臭いがするのは、ごくわずかのガス漏洩（0.1%以下）でわかるように、着臭剤（メルカプタン）が添加されているためである。

LPGボンベ内で発生した気体のLPGが空気中に出た瞬間の濃度は100%かそれに近い濃度で、この状態であればLPGは燃焼もしなければ、爆発もしない。そのLPGが空気中に拡散して空気と混じり合い、次第に薄くなって空気中の濃度が2.2%から9.5%の範囲で燃焼、爆発する。この濃度範囲を燃焼範囲という。

なお、LPGのガス組成は表1のとおりである。

表1 LPGのガス組成等

比重	1.547	
ガス組成 (vol%)	プロパン	90.0
	ブタン	8.0
	プロピレン	1.5
	エタン	0.3
	メタン	0.2
着火温度 (°C)	510.0	
燃焼速度 (cm/s)	43.0	
爆発限界 (空気中 vol%)	下限界	2.2
	上限界	9.5
完全燃焼理論空気量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	24.0	

#### (5) 二酸化炭素の性質について

不燃性、無色、無臭の気体、別名～炭酸ガス  
分子量44.01、化学式CO<sub>2</sub>

蒸気比重1.529

許容濃度0.5%、通常、空気中に0.03%存在する。



### 3 実験内容

#### (1) 実験場所

ア 屋外で実施～屋外のハウス内に塩ビ管を搬入し、塩ビ管内の濃度測定及びハウス内部の濃度測定等それぞれの実験を行った。～実験1及び実験2

イ 教務課車庫内で実施～車庫内にハウスを搬入し、濃度測定等それぞれの実験を行った。～実験3

#### (2) 実験日時

平成12年5月10日～平成12年9月8日

平成13年4月5日～平成13年4月23日

#### (3) 測定機器（写真21参照。）

ア 理研計器(株) 二酸化炭素測定器  
RI-550A～2台

イ 理研計器(株) 二酸化炭素測定器  
RI-411A～1台

ウ 島津製作所(株) ガス測定器  
CGT100A～1台

エ 光明理化学工業(株) 燃焼管理テスター  
SEM-102～1台



写真21 測定機器

#### (4) 実験方法

##### ア 実験1

###### (ア) 実験1-1

二酸化炭素流量を10ℓ毎分で1分間、塩ビ管内に放出した。放出位置は床面からの高さ0cm、40cm、80cm、120cm、160cm及び220cmの6箇所を、測定位置は床面からの高さ0cmから20cm毎に220cmまでの12箇所測定した。

###### (イ) 実験1-2

二酸化炭素流量を10ℓ毎分で1分間、塩ビ管内に放出した。放出位置は床面から80cm（一般的な家庭用ガスコンロのガス出口の位置とほぼ同じ高さ）で統一し、放出

停止直後から10分毎に測定した。100分経過で濃度はほぼ均一となったが、110分経過まで継続して測定した。

測定位置は床面からの高さ0cmから20cm毎に220cmまでの12箇所測定した。

###### (ウ) 実験1-3

放出位置を床面上高さ0cmとし、他は実験1-2と同様の条件で測定時間を0分から380分まで長時間実施し、長時間の放置状態で濃度変化を測定した。

##### イ 実験2

###### (ア) 実験2-1

二酸化炭素流量を7ℓ毎分で60分間、ハウス内に放出した。

放出高さは床面から80cmの高さとし、濃度測定位置をハウス内中心（二酸化炭素放出口からの離隔距離230cm）とし、濃度測定位置を床面から高さ265cmまで13箇所（15～35cm間隔）とした。

実験開始後60分から120分まで放置状態で濃度を測定し、120分経過後に開口部（大きさはドア（敷居高0cm）寸法80cm×180cm＝1.44㎡～以下同じ。）を開放し、その後135分経過まで濃度測定を継続した。

###### (イ) 実験2-2

二酸化炭素流量を7ℓ毎分で180分間、ハウス内に放出した。

放出高さは床面から80cm上部とし、濃度測定位置を二酸化炭素放出口からの離隔距離25cmの位置（ハウス内で測定可能な最短距離）とし、高さを床面から0cm、65cm、130cm、195cm、265cmまでの5箇所とした。

実験開始後180分で二酸化炭素放出を停止し、420分経過まで放置状態で濃度を測定、420分経過後に開口部を開放し、その後435分経過まで濃度測定を継続した。

###### (ウ) 実験2-3

濃度測定位置を二酸化炭素放出口から460cm離れた位置とし、他は実験2-2と同様の条件で測定した。

##### ウ 実験3

二酸化炭素流量を7ℓ毎分で、ハウス（家具設置）内に放出（放出位置は開口部側の壁隅に設置したコンロ台上に置いたガスコンロの五徳部分へハウス外部の二酸化炭素ボンベからホースで導いた。）し、開口部の大きさと場所を変え、濃度測定を実施した。

表 2 各実験条件一覧表

実験 No	開口部の大きさ (cm)			開口部面積 (m <sup>2</sup> )	実験開始からの時間経過 (分後)		
	横	高さ	敷居高		二酸化炭素放出停止	開口部開放	終了
3-1	80	180	0	1.44	90	180	200
3-2	80	157.5	22.5	1.26	90	180	240
3-3	80	135	45	1.08	60	120	240
3-4	80	90	90	0.72	60	120	250
3-5	80	90	22.5	0.72	95	215	290
3-6	80	45	22.5	0.36	75	235	330
3-7	80	22.5	22.5	0.18	80	150	280
3-8	80	90	45	0.72	60	120	260
3-9	40	90	22.5	0.36	75	135	230
3-10	40	45	22.5	0.18	60	120	240

また、開口部の形状は次のとおりである。(図4及び写真22~31参照。)

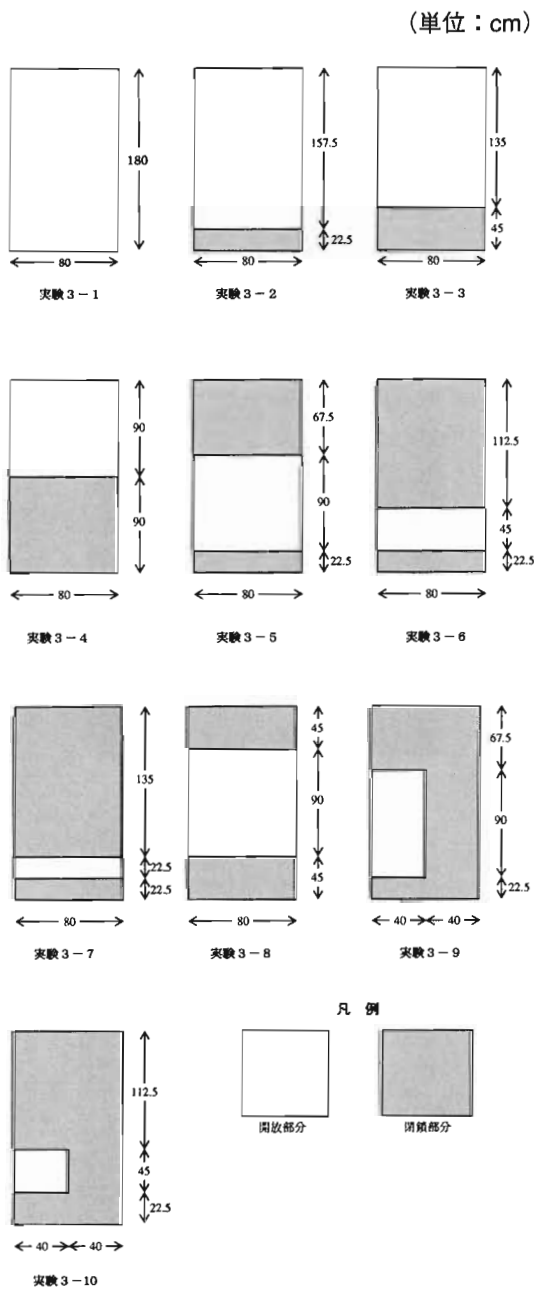


図 4 各実験の開口部の形状

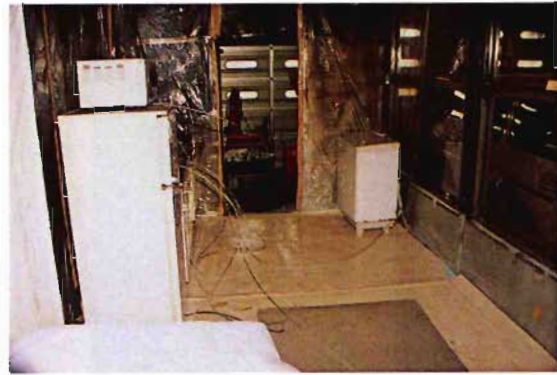


写真22 実験 3-1



写真23 実験 3-2

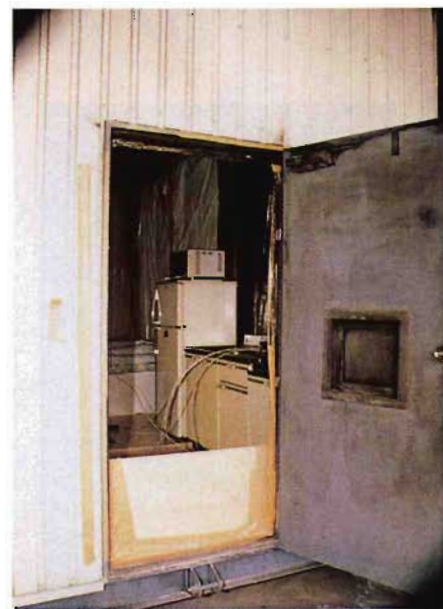


写真24 実験 3-3





写真25 実験 3-4



写真28 実験 3-7



写真29 実験 3-8



写真26 実験 3-5



写真30 実験 3-9



写真27 実験 3-6



写真31 実験 3-10

#### 4 実験結果

##### (1) 実験1について

実験1の各結果を図5から図7に示す。

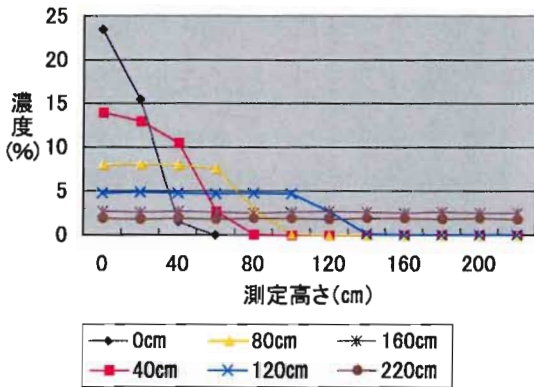


図5 実験1-1

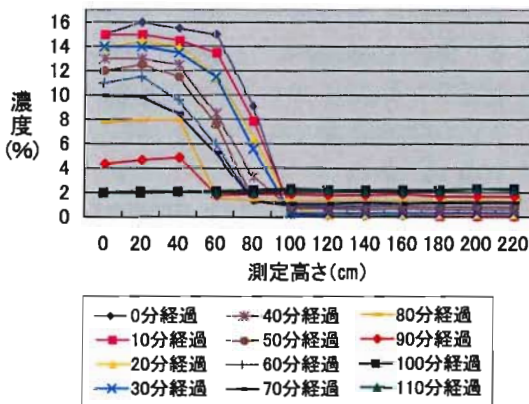


図6 実験1-2

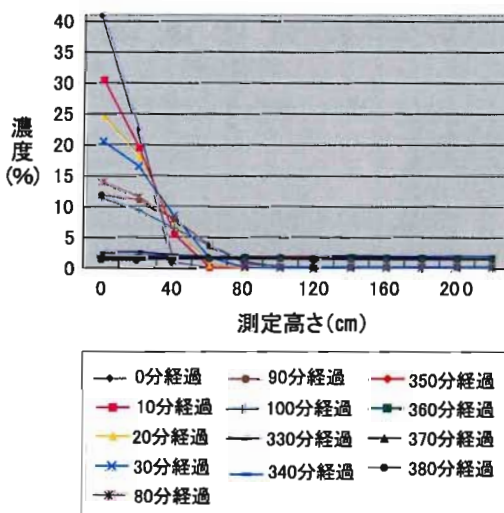


図7 実験1-3

##### ア 実験1-1

二酸化炭素放出高さ（以下「放出高さ」という。）が0cmの時は、濃度測定位置が0cmでは濃度は23.5%であり、濃度測定位置を20cmずつ上昇させると濃度は徐々に低くなった。さらに、60cm以上で濃度は0%となった。

放出高さが40cmの時は、二酸化炭素の比重が空気の約1.5倍であるため、濃度は測定位置0cm及び20cmでは13~14%、40cmでは10.5%であった。

放出位置より高い測定位置では濃度は急激に薄くなり、60cmでは2.7%、80cm以上では0.1%以下であった。

放出高さが80cmの時は、濃度は測定位置0~60cmまでは7~8%、80cmで2.9%、100cmで0.1%、120cm以上で0%であった。

放出高さが120cmの時は、濃度は測定位置0~100cmまでの6箇所とも4%台後半であり、120cmで2.7%、140cm以上では0.1%以下であった。

放出高さが160cm及び220cmの時は、濃度は測定位置0cm~220cmまですべての位置で、放出高さ160cmの場合は2.5~2.7%でほぼ均一、放出高さ220cmの場合は1.8~1.9%でほぼ均一であった。

##### イ 実験1-2

実験開始直後、濃度は測定位置60cmから下部では15~16%であり、測定位置80cmでも9.1%であった。

時間経過とともに測定位置80cm以下では放出高さ以上の測定位置で徐々に濃度が減少したが、測定位置100cm以上の部分では、逆に僅かではあるが濃度が上昇した。

その後100分を経過すると濃度は測定位置0~220cmのすべての位置で約2%とほぼ均一となった。

##### ウ 実験1-3

濃度測定位置0cm~20cmでは時間経過とともに濃度が減少し、逆に40cm~60cmでは徐々に濃度が上昇した。

実験開始直後には濃度が計測されなかった位置も含め、80分経過後から測定位置0~200cmのすべての位置で濃度が測定され始め、330分経過で0cm~220cmのすべての位置で濃度はほぼ均一となり、380分経過まで同じ状態が継続し、濃度は徐々に減少した。

##### (2) 実験2について

実験2の各結果を図8から図10に示す。



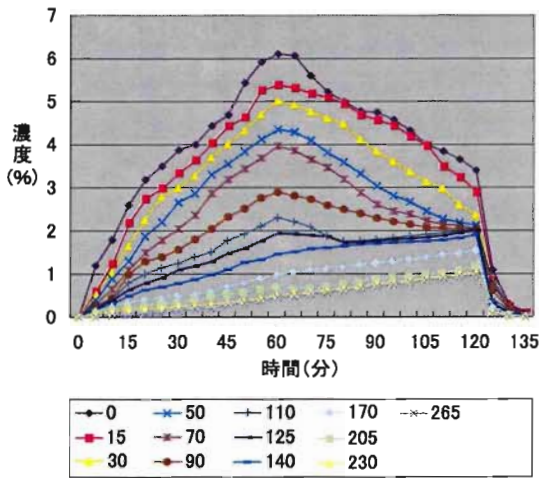


図8 実験2-1

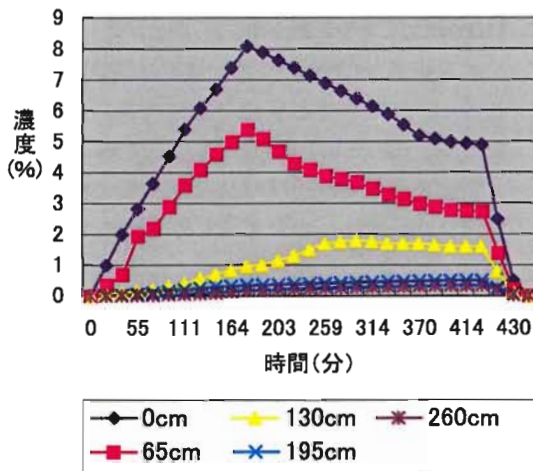


図9 実験2-2

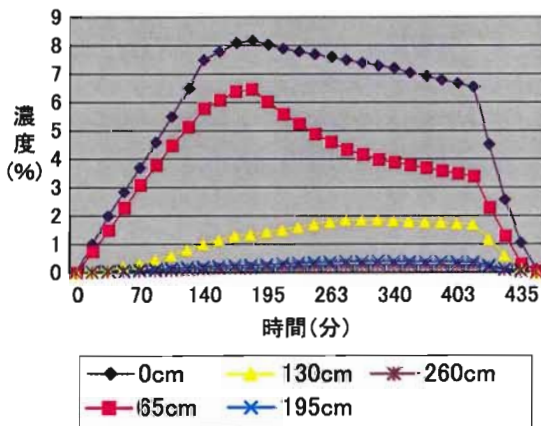


図10 実験2-3

ア 実験2-1

すべての測定位置でガス放出停止まで濃度上昇がみられ、ガス放出停止後は125cm以下の測定位置では時間経過とともに濃度が減少した。

しかし、140cm以上の測定位置ではガス停止前とほぼ同程度の上昇率で濃度が上昇した。

また、110cm～125cmの測定位置においても80

分経過後、再び濃度が上昇し、開口部を開放する120分経過まで同様の状態が続いた。

開口部開放後は5分経過すると、濃度は測定位置が90cm以下では約1/3に、110cm以上では約1/5～1/10に減少し、15分経過では、二酸化炭素はほとんどが屋外へ排出された。

イ 実験2-2

実験結果を見ると全体的に実験2-1とほぼ同様の傾向が得られたが、測定位置130cmでは二酸化炭素放出停止後、当初はわずかな濃度上昇が継続したが、300分経過後から減少に転じた。

また、測定位置195cm及び260cmでは二酸化炭素放出停止後も開口部を開放するまでわずかな濃度上昇が継続した。

ウ 実験2-3

実験結果を見ると全体的に実験2-1及び実験2-2とほぼ同様の傾向がみられたが、測定位置130cm以上では二酸化炭素放出停止後も330分経過頃まではわずかに濃度上昇が継続したが、340分経過頃からこれらを含むすべての測定位置（5箇所）でわずかに濃度減少に転じ、この状態は開口部を開放するまで続いた。

(3) 実験3について

開口部の形状、敷居高を変えて濃度測定を行った。実験3の各結果を図11から図20に示す。

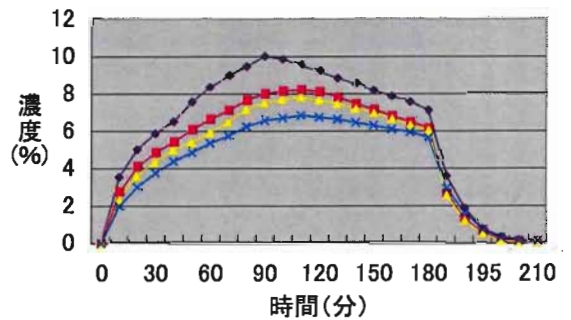


図11 実験3-1

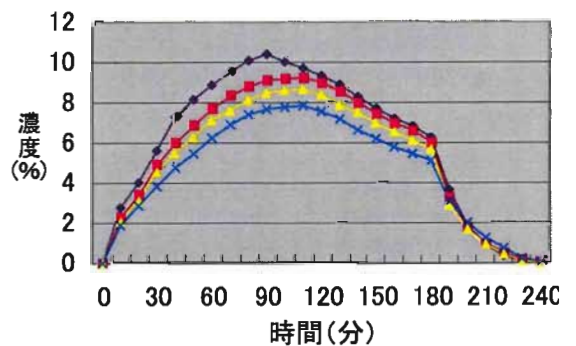


図12 実験3-2

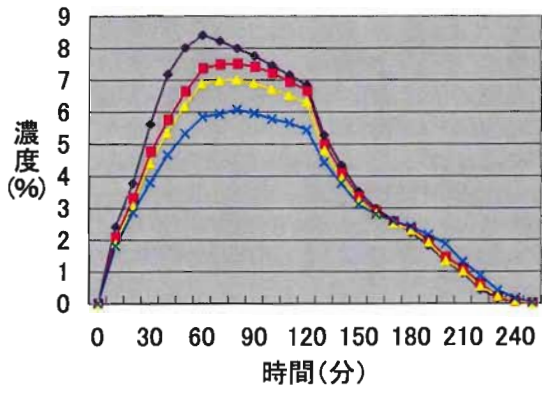


図13 実験 3-3

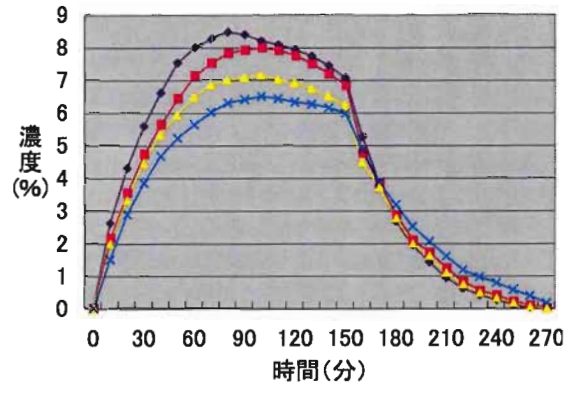


図17 実験 3-7

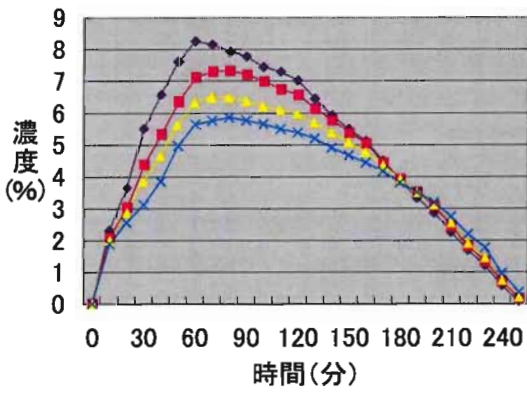


図14 実験 3-4

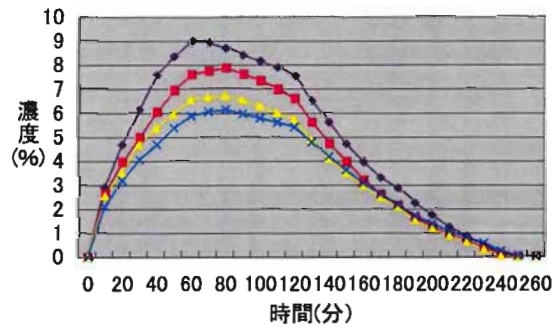


図18 実験 3-8

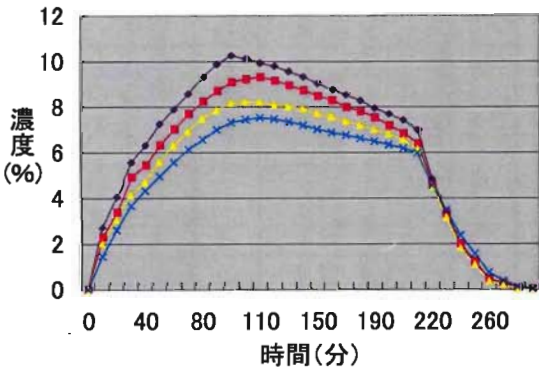


図15 実験 3-5

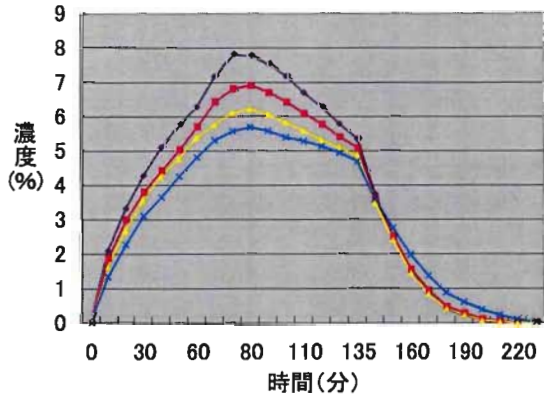


図19 実験 3-9

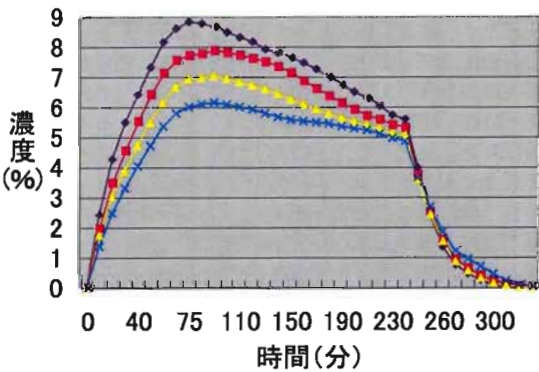


図16 実験 3-6

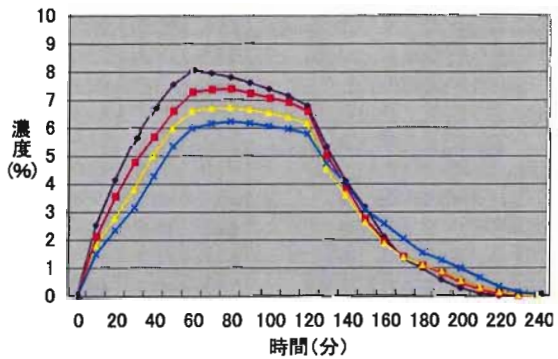


図20 実験 3-10

図11~20の凡例    ◀→ 障害物なし    ◀→ 洗濯機裏    ◀→ ベッド裏    ◀→ テレビ裏



実験3-1のように開口部敷居高が0cmの時は開口部を開放すると約20分間で濃度はほぼ0%となり、また、実験3-4のように敷居高を90cmにすると、開口部を開放しても濃度減少は緩慢で、実験3-1とは異なり、濃度がほぼ0%となったのは130分後であった。

このことから、二酸化炭素の比重は空気と比較すると重いため、二酸化炭素が排出される場合は、開口部の敷居高さの影響を受けていると推測できる。

表3及び表4に開口部開放直前の濃度を100とした場合の開口部開放後の濃度減少割合を実験3-1から実験3-10までまとめてみた。

表3及び表4より、開口部全開で敷居高が0cm

の時(実験3-1)は、いずれの測定位置でも濃度は5分後には約50%、10分後には20~29%、15分後には約10%、20分後には5%以下と減少し、30分後で1%以下となった。

敷居高22.5cmの場合(実験3-2,実験3-5,実験3-6,実験3-7),実験3-2は実験3-1と比較し、開口部面積は87.5%への減少であるが、

表3 二酸化炭素濃度減少割合(実験3-1)

実験	時間経過(分)	5	10	15	20	25	30
3	障害物なし(%)	50.4	26.3	10.8	4.8	2.4	0.7
	洗濯機裏(%)	43.0	20.8	9.1	2.8	1.1	0.3
	ベッド裏(%)	42.3	19.9	8.4	2.1	0.8	0.1
1	テレビ裏(%)	51.6	28.9	12.6	4.8	2.0	0.5

表4 二酸化炭素濃度減少割合  
(実験3-2~実験3-10)

時間経過(分)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
実験3-2	障害物なし(%)	58.2	30.0	14.5	5.6	1.9	0.2								
	洗濯機裏(%)	54.4	29.1	15.8	8.0	2.3	0.3								
	ベッド裏(%)	50.8	29.5	16.3	7.7	1.9	0.3								
	テレビ裏(%)	60.3	39.1	24.4	14.3	4.1	1.0								
実験3-3	障害物なし(%)	77.0	66.3	51.3	43.6	38.2	32.5	26.5	19.3	13.9	6.3	2.3	0.7	0.1	
	洗濯機裏(%)	74.9	61.6	50.5	43.2	38.1	35.0	29.7	21.8	16.7	9.2	3.2	0.9	0.1	
	ベッド裏(%)	76.1	62.3	50.9	44.8	40.0	36.4	30.4	21.4	16.0	8.5	3.5	1.0	0.2	
	テレビ裏(%)	81.4	69.3	57.2	51.5	47.6	44.3	39.7	34.6	24.3	16.2	7.7	2.9	0.7	
実験3-4	障害物なし(%)	91.9	84.6	78.3	73.0	64.2	55.5	47.4	40.8	32.1	24.1	17.1	8.1	1.1	
	洗濯機裏(%)	93.6	88.1	82.0	76.9	67.6	59.7	53.6	46.9	37.1	27.6	20.3	10.5	2.4	
	ベッド裏(%)	95.5	90.1	85.1	79.0	72.9	65.6	58.5	52.0	42.5	31.8	24.1	12.2	3.3	
	テレビ裏(%)	96.5	91.1	86.6	82.4	77.4	70.7	65.3	59.2	51.0	40.8	32.8	18.0	6.9	
実験3-5	障害物なし(%)	59.1	38.7	22.5	11.3	4.5	1.7	0.3	0.1						
	洗濯機裏(%)	61.9	41.6	25.4	13.1	5.4	2.4	0.5	0.1						
	ベッド裏(%)	62.4	40.7	23.9	12.1	4.8	2.1	0.5	0.1						
	テレビ裏(%)	67.2	48.9	33.1	19.5	9.6	4.3	1.3	0.3						
実験3-6	障害物なし(%)	57.5	34.0	19.1	11.2	6.6	3.3	1.6	0.8	0.3	0.1				
	洗濯機裏(%)	59.0	38.6	23.7	14.9	9.8	5.7	3.0	1.5	0.7	0.2				
	ベッド裏(%)	59.6	39.4	23.9	14.3	8.9	4.8	2.4	1.1	0.4	0.1				
	テレビ裏(%)	65.1	46.8	31.9	22.6	17.4	12.2	7.3	3.5	1.5	0.5				
実験3-7	障害物なし(%)	74.6	54.8	38.0	27.5	20.3	13.4	8.9	5.9	3.8	1.8	0.4	0.1		
	洗濯機裏(%)	69.9	55.9	42.0	30.8	25.3	18.2	12.1	8.2	6.1	3.2	1.6	0.4		
	ベッド裏(%)	72.1	60.1	44.9	32.2	26.3	17.8	12.2	8.0	5.4	3.0	1.1	0.3		
	テレビ裏(%)	81.7	64.9	53.4	42.3	34.6	27.1	20.1	16.5	13.5	9.8	6.8	3.2		
実験3-8	障害物なし(%)	87.1	75.1	63.0	53.0	44.3	38.5	30.2	23.4	16.9	11.9	6.8	2.4	0.3	0.1
	洗濯機裏(%)	85.1	71.6	60.2	48.6	39.7	32.6	24.7	18.9	14.0	10.4	5.7	1.5	0.5	0.2
	ベッド裏(%)	85.1	71.4	61.2	51.6	43.3	36.6	27.0	21.0	15.6	11.4	5.7	1.2	0.3	0.2
	テレビ裏(%)	88.4	77.4	67.0	57.1	48.6	40.6	31.9	25.9	20.2	15.4	11.2	5.0	1.3	0.4
実験3-9	障害物なし(%)	57.9	36.6	22.0	12.1	5.8	2.9	1.2	0.5	0.2	0.1				
	洗濯機裏(%)	60.3	40.1	24.6	13.9	7.5	4.0	1.6	0.7	0.3	0.1				
	ベッド裏(%)	60.9	39.9	23.8	13.1	6.8	3.4	1.4	0.5	0.2	0.1				
	テレビ裏(%)	67.6	50.5	35.7	24.1	16.0	10.8	6.8	3.7	1.5	0.3				
実験3-10	障害物なし(%)	78.4	60.4	46.9	31.3	19.7	14.6	8.5	4.3	1.5	0.4	0.1	0.1		
	洗濯機裏(%)	75.9	59.1	41.7	29.8	21.2	16.5	12.6	7.3	3.5	1.5	0.3	0.2		
	ベッド裏(%)	73.6	58.5	42.8	30.6	22.5	17.8	14.3	8.8	4.7	2.4	0.5	0.2		
	テレビ裏(%)	81.6	69.5	53.7	44.8	35.6	26.9	22.4	17.4	11.5	6.0	2.8	1.2		

敷居高22.5cmの影響で、濃度減少にはほぼ2倍の時間を必要とし、すべての測定位置で1%以下となつたのは、60分後であった。

実験3-5は敷居高22.5cmのまま、開口部の高さを90cmとし、実験3-1と比較して、開口部面積を50%とした。

実験の結果、濃度は、10分後には約60%、20分後には約42%、30分後には約26%となり、すべての測定位置で1%以下となつたのは80分後であった。

実験3-6は開口部面積を実験3-5の50%、実験3-1の25%とした。

実験の結果、濃度減少に時間を必要とし、すべての測定位置で濃度が1%以下になるのは、100分後であった。

実験3-7は開口部面積を実験3-6の50%、実験3-1の12.5%とした。

実験の結果、濃度減少にさらに時間を必要とし、120分後では、すべての測定位置で濃度は1%以下にはならなかった(120分で測定を終了した)。

また、敷居高を45cm(実験3-3)、90cm(実験3-4)と高くすると、濃度減少にこれまで以上に時間を必要とすることが顕著に表れ、10分後で実験3-3は約80%、実験3-4は約94%、30分後で実験3-3は約50%、実験3-4は約83%、60分後で実験3-3は約37%、実験3-4は約63%、100分後で実験3-3は約10%、実験3-4は約31%であり、130分後で実験3-3は1%以下となつたが、実験3-4は約3%であった。

さらに、開口面積及び敷居高を同じにして、開口部形状を変化させて濃度測定を実施したところ(実験3-6と実験3-9は $0.36\text{m}^2$ 、実験3-7と実験3-10は $0.18\text{m}^2$ )濃度減少割合及び時間は、両方の実験とも、ほぼ同じ様な結果が得られた。

## 5 考察

### (1) 実験1-1について

ア 放出高さが低ければ低い程、二酸化炭素が空気より約1.5倍重いため、下部に濃く滞留する。

イ 放出高さ0cmでは床面上60cm以上には滞留しない。

ウ 放出高さ40cmでは床面上80cm以上には滞留しない。

エ 放出高さ80cmでは床面上100cm以上には滞留しない。

オ 放出高さ120cmでは床面上120cm以上には滞

留しない

カ 放出高さ160cm及び220cmでは濃度が測定位置すべてでほぼ均一となる。

キ 放出高さが40cm以上の場合、この放出高さを超える測定位置では濃度が急激に減少した。(例えば放出高さが60cmの場合、測定位置が床面上60cmを超えた80cm以上の各測定位置のこと)

以上のことから、一般的なLPG漏洩の場合で、ゴムホースにて床面上に放出された場合は、60cm以下の部分に殆ど滞留し、ガス元栓部分より(床面から約80cmの高さ)漏洩の場合、床面から100cm以下に滞留する。

### (2) 実験1-2について

ア 塩ビ管(容量153.4ℓ)の中に二酸化炭素を10ℓ放出したところ(単純に容積割合の濃度では約6.5%)、放出(10分間)終了直後の濃度は、測定位置60cm(以下「〇〇cm」という。)以下で15%以上となつた。

イ 時間経過による変化は30分後まではわずかに減少、40分後~70分後までは約1%づつ減少、80分後から100分まではやや大きく(約2%~4%)減少し、100分後と110分後では、すべての測定位置で濃度が約2%で変化が見られなかった。

ウ 測定位置の高さによる濃度変化は、「80cm」以下までは二酸化炭素の比重が重い為、床面に近い位置では高く、「80cm」付近では低濃度であったが、「100cm」以上「220cm」までは、ほぼ均一であり、「100cm」以上では時間が経過するにつれて、濃度は0%から約2%へ少しずつ上昇した。

以上のことから、密閉空間に二酸化炭素(LPG)を放出した場合、放出口から下部に滞留し、「20cm」付近が最も濃度が高く、そこから上部になるにつれ減少し、放出口より上部では、最初はほとんど0%であったが、時間経過とともに塩ビ管内の濃度は、高さに関係なく均一状態に近くなり、100分経過で全体がほぼ均一となつた。

### (3) 実験1-3について

ア 放出直後「0cm」では41%と高濃度であったが、「40cm」以上では1%以下であった。

イ 時間経過とともに、「20cm」以下の部分では濃度は減少するが、「40cm」~「80cm」では10分~30分経過まで少しずつ上昇し、80分で減少し始めた。

また、「100cm」以上では変化が見られなか

った。

ウ 330分経過後380分までは、すべての測定位置高さにおいて濃度は約1%で、ほぼ均一となり、放出停止後380分経過しても、濃度が0%になることはなかった。

以上のことから、密閉空間に二酸化炭素を床面上から放出した場合、放出停止直後には「20cm」まで滞留するが、時間経過とともにこれらの位置は濃度が減少し、上部の「80cm」までは多少濃度が上昇する。さらに、時間が経過するにつれ、実験1-2と同様に塩ビ管内の濃度は、高さに関係なく均一状態となった。

#### (4) 実験2-1について

二酸化炭素放出停止まで測定位置が床面に近いほど高濃度となった。

また、二酸化炭素放出停止後は「125cm」以下の位置は時間経過とともに濃度が徐々に減少し、「110cm」及び「125cm」は70分経過までグラフは山型状態となった。

しかし、二酸化炭素放出停止後も「140cm」以上の位置では二酸化炭素放出停止前と同じ様に濃度上昇は継続し、「110cm」及び「125cm」においても80分経過後、再び濃度上昇に転じた。

以上のことから、「90cm」以下では、放出停止後、濃度は減少し、放出停止後60分経過で、放出停止時の約1/2まで濃度は減少する。

しかし、「110cm」・「125cm」では、放出停止後一旦減少するが再び上昇し、放出停止後60分で放出停止時と同程度の濃度に上昇する。

また、「140cm」以上では、放出停止に関係なく放出時と同じ様に濃度上昇し続け、放置状態を長くするとすべての測定位置で濃度は、ほぼ均一状態になった。

さらに、放出口より上部では、下部より濃度は低い二酸化炭素は滞留しているわけで、この付近では放出停止後も濃度は上昇することから、災害現場等では十分に注意が必要である。

#### (5) 実験2-2及び実験2-3について

実験2-1と比較すると、グラフ形状はだまかに似ている。また、実験2-2（放出口からの離隔距離25cm）と実験2-3（放出口からの離隔距離460cm）の結果を比較してみると、二酸化炭素放出時の濃度上昇に大きな違いは見られないが、放出停止後の濃度減少は「0cm」では減少割合が、実験2-2が約2倍早く減少することがわかる。これは、実験2-2の測定位置が実験2-3の測定位置より開口部に近いた

めで、開口部周囲は目張りをしているが、その隙間から少しずつ漏洩し、早く減少した可能性と推測される。

また、実験2-2及び実験2-3の両方とも「65cm」では、ほとんど同じ形状のグラフであった。

さらに、両方とも「130cm」では、放出停止後も濃度は上昇を続け、300分付近から少しづつ減少に転じたが、ほぼ横ばい状態であった。

なお、両方とも「195cm」・「260cm」では放出停止に関係なく濃度は僅かながら上昇し続けた。

開口部開放後の濃度減少は、グラフを見るとほぼ同じ形状で減少しているが、実験2-2は開口部開放後15分間でほとんどが排出され、実験2-3も20分で実験2-2と同様の状態となった。

これは、実験2-2の測定位置が開口部から約90cmの離隔距離に対し、実験2-3の測定位置は開口部から460cm離れており、二酸化炭素は開口部に近い方から徐々に排出されたのが推測できる。

このことから、災害現場においても同様に、開口部が開放されて、この開口部に近い場所はLPGが屋外へ排出され、ガス検知器の濃度測定では検知されなくても、開口部から離れている場所には、まだLPGが滞留している可能性は十分に考えられるので注意が必要である。

#### (6) 実験3について

図11～図20をそれぞれ比較すると、二酸化炭素を放出している時のグラフ形状は、4箇所とも（「障害物なし」、「洗濯機裏」・「ベッド裏」・「テレビ裏」）実験3-1から実験3-10のすべてでパターンは似ており、いずれの実験も「障害物なし」の濃度上昇率が一番高く、続いて放出口に近い「洗濯機裏」、「ベッド裏」、「テレビ裏」の順に上昇率が高くなっている。

二酸化炭素放出停止後は「障害物なし」は直ぐに濃度が下降し始めるが、他の3箇所は直ぐには下降せず、さらに、少しずつ上昇が継続した。この状態は放出停止後概ね20分間継続し、その後、測定位置4箇所とも、なだらかに濃度は下降し、この状態は開口部開放まで続いた。

この時の下降状況であるが、開口部から最も離れている「テレビ裏」が一番下降率が低く、他の3箇所はほぼ同じ状態であったが、放出停止時と比較して濃度順が逆転することはなかった。

また、開口部を開放しても、実験3-1から

実験3-10のすべてにおいて「テレビ裏」の濃度減少率が低くなった。「テレビ裏」のグラフが一番緩勾配で、測定位置4箇所の比較では、ほとんどが、開口部開放後30分で「テレビ裏」の濃度が一番高くなり、やがて、すべての実験で「テレビ裏」が高くなった。この状態は測定終了まで続いた。

さらに、開口部開放面積の違いにより、開口部の敷居高が低い場合が二酸化炭素の排出時間が早く、敷居高が高い場合が遅く、また、開口部形状が異なるが、開口部面積が同じであっても、敷居高の違いが優先され、敷居高が低い場合が早く排出された。

以上の結果、

- ア 敷居高の高低の差が、二酸化炭素（LPG）排出時間に影響があり、低い程早く排出でき、高い程時間を要する。
- イ 開口部面積の違いによる影響は、面積の大きい方が小さい方より、早く排出できるが、敷居高の高低差による違い程、顕著な影響は見られない。
- ウ 居室内に家具等の障害物を設置した場合、これらの家具等による二酸化炭素排出状況に影響が現れ、開口部に面し、開口部までの直線ルートを遮る家具等が設置されていない場所は早く排出されるが、家具等の陰になる部分では、その家具が排出を遮り、時間を要することがわかった。

## 6 まとめ

今回の実験で二酸化炭素（LPGと同じ比重）の滞留状況、排出状況、家具等障害物の有無による違い等が、床面からの高さの違いによる影響、放出口及び開口部からの離隔距離による影響、開口部敷居高や開口部面積による影響、時間経過による濃度変化等の基礎データを蓄積することができた。

今後は災害現場における、安全確保等に役立てるために、実物大の建物での実験や気象変化等、色々な自然状況下での実験を実施し、さらなる研究が必要である。

### 【参考文献】

- 1) 知らぬと危ないガスの話 著者～小池 和彌  
(株)裳華房発行
- 2) 改訂危険物等の消防活動手引  
東京消防庁消防科学研究所監修

東京法令出版(株)発行

- 3) 火と煙と有毒ガス 東京消防庁消防科学研究所  
監修 東京法令出版(株)発行
- 4) 高圧ガス輸送ハンドブック 高圧ガス実務研究会編集 全国加除法令出版(株)発行
- 5) 改訂新版 LPガス実務ハンドブック LPガス実務研究会編 全国加除法令出版発行



# 火災原因の各種再現実験及びビデオ化

## Various reproducibility tests and videotaping of fire causes

橋本 好弘\*  
Hashimoto Yoshihiro  
田口 祐子\*\*  
Taguchi Yuko  
宇佐美 晴巳\*\*  
Usami Haruki  
臼杵 弘三\*\*  
Usuki Kouzou

### 1 はじめに

現在は、様々な原因で火災が発生しており、この多くの原因やメカニズムを市民に伝達したり、予防策を伝えるのには、非常に困難になってきている。

このことから、多くの火災原因を市民にわかり易く伝えるたり職員に周知するため、実験を中心とした火災予防ビデオを予防部予防課と作製した。

### 2 平成12年の当市の出火原因別火災発生状況

図-1は、平成12年の出火原因別火災発生状況を示したものである。火災件数は618件で最も多いのが放火で126件（20.4%）、次いでたばこ78件（12.6%）、こんろ69件（11.2%）の順になっている。

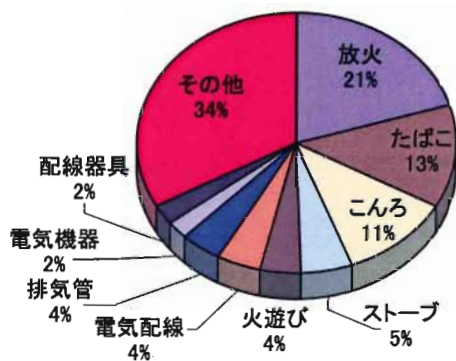


図-1 平成12年の火災発生状況

### 3 ビデオ化した実験

表-1はビデオ化した各原因であり、大きく分けて32種類の実験を実施した他、発見・通報及び初期消火や避難などに関する実験も合わせて実施した。

表-1 主な実験

区分	出火原因
放 火	ごみステーション
	家の周囲の可燃物
	物置・車庫
	車両
こんろ	天ぷら油過熱発火
	天ぷら油凝固剤入り過熱発火
	グリルの油かす発火
	低温着火
	ゴムホース亀裂
	こんろ上の可燃物発火
	着衣着火
たばこ	寝たばこ
	火種落下
	吸殻投棄
	灰皿
ストーブ	可燃物接触
	移動中の火災
	ガソリンの誤給油
	吹き返し 給油中の火災
火遊び	マッチ・ライター遊び
	トラッキング
電 気	短絡
	束ねた配線の過熱
	半断線
	たこ足配線
	静電気
自然発火	あげかす
	タオル
	油吸着マット
その他	ろうそく転倒
	襖戸に挟まれたライターによる出火

### 4 おわりに

今回は、冬期間に実験を実施したことから、実験に制約をうけ、一部予定していた実験が実施できなかったことが残念である。

今度も、多くの実験をビデオ化して画像として保存して、火災予防に生かしていきたい。

\* 消防科学研究所

\*\* 予防部予防課

# トリクロロシランについて

Trichlorosilane

## 【概要】

平成13年1月24日（月）にI県で発生した「トリクロロシラン」積載の移動タンク貯蔵所が横転、危険物及び劇物である「トリクロロシラン」が漏洩し、炎上する事故が発生した。

トリクロロシランとは、消防法に基づく危険物、毒物及び劇物取締法に基づく劇物の両方に指定されている。無色の液体で、可燃性である（蒸気は空気と混じると爆発性ガスとなる）。半導体製造、光通信ファイバーの材料として用いられている。

## 1 はじめに

この事故は、平成13年1月24日（月曜日）に発生したもので、付近住民約260人が避難し、そのうち約20人が喉の痛みや気分の悪さを訴えたが、症状は軽症であり、時間経過とともに回復した。

なお、当市にはこの「トリクロロシラン」は試薬程度の微量しか流通しておらず、また、移動タンク貯蔵所に積載されて当市を通過する可能性は殆どないと思われる。

## 2 札幌市内及び北海道内における「トリクロロシラン」の流通状況

(1) 札幌市内には、危険物第3類「トリクロロシラン」の指定数量（50kg）以上の製造所、貯蔵所及び取扱所の危険物施設はない。

(2) 「トリクロロシラン」の試薬瓶（25g入り）は薬品メーカーで販売されているが、購入する際には毒・劇物取扱者免許等の提示が必要であり、一般の人は購入できない。なお、札幌市内の主な薬品メーカーにおける平成12年度の販売本数は3本（販売先は大学関係）である。

(3) 北海道内で「トリクロロシラン」の製造所はない～北海道防災消防課及び薬務課に問い合わせ済。

(4) 北海道内で（「トリクロロシラン」を使用する可能性のある）半導体工場は千歳市内に2社あるが、毒・劇物の代表的な運搬業者（道都化学産業㈱、ソーダニッカ㈱）～いずれの業者も本社は札幌市内）は、この半導体工場の2社からは「トリクロロシラン」の注文を受けたことはなく、また、使用していることは聞いたことはないとの回答を運搬業者から得た。

(5) 「トリクロロシラン」等の危険物及び毒・劇物等を本州等から北海道内に搬送する場合は、青森港から函館港へ危険物及び毒・劇物用搬送専用の船で搬送し、函館から陸送で道内各地へ搬送するルートのみとなっており、苫小牧港や小樽港に船で直接上陸することはない。

## 3 「トリクロロシラン」積載移動タンク貯蔵所横転炎上事故概要について

(1) 発生場所 I県K市K町 国道8号線上

(2) 発生日時 平成13年1月24日 2時00分頃

(3) 事故概要

九州からN県へ運行中の「トリクロロシラン」積載の移動タンク貯蔵所が、凍結路面で横転し、「トリクロロシラン」が漏洩し、炎上した。

なお、移動タンク貯蔵所の運転手と同乗者が負傷（軽症）した。

また、この移動タンク貯蔵所は容量12,000ℓで、今回の事故発生時は9,800ℓの「トリクロロシラン」を積載していた。この移動タンク貯蔵所のタンク室は3室に中仕切りされており、真ん中のタンクに亀裂が入り、ここから漏洩した。

この事故により、地元や近郊の消防本部から消防車両約20隊が出動し、火災は約2時間半後に鎮火した。

さらに、「トリクロロシラン」による有毒ガスが発生したことから、中和剤による処理も併せて実施した。これに伴い、付近住民約260人が避難し、そのうち約20人が喉の痛みや気分の悪さを訴えたが、軽症であり、時間経過とともに回復した。

#### 4 「トリクロロシラン」の性質について

- (1) 分子式  
HC l<sub>3</sub>S i 分子量135.43
- (2) 適用法令  
ア 消防法  
第2条第7項の別表に定める危険物第3類  
塩素化ケイ素化合物 第2種自然発火性物質  
及び禁水性物質～指定数量50k g  
イ 毒物及び劇物取締法  
第2条第2項に指定する別表第2に定める  
劇物（トリクロロシラン及びこれを含有する  
製剤）
- (3) 性質  
ア 無色の液体で刺激臭あり、空气中で容易に  
発火  
イ 引火点 -27℃～-26℃  
ウ 発火点 93℃～104℃  
エ 沸点 31℃～32℃  
オ 融点 -134℃  
カ 爆発範囲 6%～83%  
キ 比重 1.34（水1.0として）  
ク 蒸気比重 4.70（空気1.0として）  
ケ 加熱、燃焼 火源があれば着火し、著しい  
白煙を発生（塩素及び水素）  
する。  
コ 水との接触 水と激しく反応し、腐食性、  
刺激性の強酸（塩化水素）を  
発生する。  
サ 空気との接触 空気中の水分と反応し、塩  
化水素を発生する。  
シ 混触等 酸性物質と接触すると爆発的に  
反応し、アセトン、アルコールと  
も反応する。
- (4) 用途  
半導体製造用特殊材料ガス、光通信ファイバ  
ー材料など

#### 5 人体危険について

- (1) 吸入した場合  
ア 症状  
上気道、気管支へ激しい痛みがあり、体内  
に吸収すると致命的になることがある。  
イ 応急処置  
新鮮な空気にあてて安静保温し、人工呼吸  
又は酸素吸入を行い、医師の診察を受ける。

- (2) 皮膚に触れた場合  
ア 症状  
強い刺激性炎症、火傷を起こす。  
イ 応急処置  
汚染された衣服や靴を脱がせ、直ちに炎症  
部を流水で15分間以上洗い流す。
- (3) 眼に入った場合  
ア 症状  
激しい痛みがある。  
イ 応急処置  
流水で15分間以上洗い流し、眼や瞼に残存  
しないよう、瞼を開けて洗浄し、医師の診察  
を受ける。

#### 6 漏洩時の措置について

- (1) 風下の人を退避させ、警戒区域を設定する。
- (2) 漏洩をバルブ等の操作で遮断できる場合は閉  
鎖する。
- (3) 直接手で触れない。
- (4) 少量の漏洩は砂又は他の不燃性処理剤（消石  
灰等）で取り除き、完全に取り除いてから漏洩  
箇所を水で洗い流す。

#### 7 火災時の措置について

- (1) 他の容器がある場合は延焼阻止のため容器を  
移動する。
- (2) 容器が炎にさらされている場合は、火が鎮火  
するまで容器を側面から冷却する。ただし、容  
器が炎に包まれた場合は、爆発・破裂の危険が  
あるので近寄らない。
- (3) 噴出したガスに着火し、かつ、容易にとめら  
れない場合には消火せずに燃焼させる。
- (4) 消火作業時は必ず空気呼吸器を着用し、風下  
で作業しない。
- (5) 発生した塩化水素ガスは、噴霧注水により吸  
収、拡散できるが、この際、容器内に水が入ら  
ないように注意すること。

<文責 菅原 法之>

#### 【参考文献】

- 1) 12,093の化学商品 化学工業日報社
- 2) 化学品安全管理アーチブック  
監修 大島 輝夫 化学工業日報社

# 研究実績表

(消防科学研究所報掲載)

Past research achievements

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・工藤	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架台のバネ選定について	桜井・伊藤		
		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)	橋上 勉		
		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		
平成9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・レスクトーン警報音調査	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		



年度	所報 No	分野	研究テーマ	研究担当者	件数
平成10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11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	
		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 －温度管理用示温材（サーモラベル）に着目して－	菅原 法之	
		鑑 定	電気配線の過負荷電流について	菅原 法之	
		情 報	有珠山噴火に伴う火山性ガスについて	花蘭 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				
平成12年度	No.8	燃 焼	バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響	花蘭 一正	8
			寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 －その1 和室の測定結果－	橋本 好弘	
			寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 －その2 洋室の測定結果－	橋本 好弘	
			エアゾール缶・カセットボンベなどのについての調査・実験	橋本 好弘	
		開 発	高規格救急車のタイヤチェーン装着時などにおける振動・騒音の調査研究	橋本 好弘	
		鑑 定	災害現場における燃焼生成ガス等の危険性の把握とその対策に関する研究	溜 真紀子	
			空間容積の違いによる一酸化炭素とシアン化水素の致死燃焼量	橋本 好弘	
		安 全	居室内におけるLPG漏洩時の滞留状況及び有効な排出方法に関する研究	菅原 法之	
		情 報	火災原因の各種再現実験及びビデオ化	橋本 好弘	
トリクロロシランについて	菅原 法之				