

消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1999 No.6

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1

【研究論文】

- 空中消火の延焼阻止効果に関する研究3
- 無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器15
のあり方に関する研究について（その1）
- 無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器21
のあり方に関する研究について（その2）
- バックドラフトに関する研究（その5）25
区画模型床面付近の圧力の測定
- 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32
- 静電気に関する調査・研究について37
- 灯油とガソリンの混合比の分析について43
- 放射性物質等に関する基礎知識46

【過去の研究実績】

- 過去の研究実績表（平成5年～平成10年）50

CONTENTS

【Activities of the Fire Science Laboratory】

- Table of Practical Results1

【Research Papers】

- Research on the Effects of Fire Fighting from Helicopters to Prevent3
the Spread of Fires to Surrounding Buildings
- Research on Appropriate Fire Sensors Installed in the Attic of15
a Wooden Housing Complex with an M-Shaped Roof with Ducts (No. 1)
- Research on Appropriate Fire Sensors Installed in the Attic of21
a Wooden Housing Complex with an M-Shaped Roof with Ducts (No. 2)
- Research of Backdrafts (No. 5)25
Measurement of air pressure near the floor of a compartment model
- Review of Eco-Friendly Fuel Used for Fire Drills for Citizens32
- Research and Study on Static Electricity37
- Analysis of the Mixing Ratio of Kerosene and Gasoline43
- Basic Knowledge about Radioactive Materials etc.46

【Previous Research Results】

- Table of Previous Research Results (1993-1998)50

消防科学研究所の業務について

Activities of the Fire Science Laboratory

業務実績表 (平成10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 支 援	北 海 道 消 防 学 校 専 科 教 育	防 火 教 室	施設見学 行政視察 対応など
燃焼関係	機器関係	鑑定関係							
3	2	1	53 ※1	138 ※2	7 ※3	1	3 (87)	1 (80)	22 (459)

()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

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、事業所等から取去した物品、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10年度

	月日	実 験 内 容
1	4.27	てんぷら油発火実験
2	4.28	電気溶接火花着火実験
3	4.30	電気配線半断線実験
4	5.14	スプレー缶加熱爆発実験
5	6.12	訓練塔地下室温度、有毒ガス測定実験
6	7.6 7.7	夏期晴天時における自動車内温度測定実験
7	10.2	スタイロフォームのガスバーナーによる着火実験
8	12.10 12.11	FRP燃焼実験
9	3.9 3.10	アセチレンガス溶断火の銅管切断時における可燃物着火実験
10	3.10	パチンコ台からの出火実験
11	3.11 3.17	高層住宅温水暖房配管低温着火実験

(研究テーマを除く)

表2 成分鑑定の状況

平成10年度

	実 験 内 容	件数
1	ガスクロマトグラフ	117
2	引火点測定試験	6
3	ガスクロマトグラフ・質量分析装置	5
4	ガスクロマトグラフ・蛍光分光光度計	5
5	ガスクロマトグラフ・蛍光分光光度計 引火点測定試験	4
6	蛍光X線分析装置	1
	合 計	138

表3 危険物確認試験実施状況

平成10年度

	試 験 名	件数
第2類	引火点測定試験（固体）	1 (1)
第4類	引火点測定試験（液体）	6 (5)
	合 計	7 (6)

※（ ）は、手数料を徴収した件数である。（内数）

空中消火の延焼阻止効果に関する研究

Research on the Effects of Fire Fighting from Helicopters to Prevent the Spread of Fires to Surrounding Buildings

上 田 孝 志*
Ueda Takashi
橋 上 勉*
Hashigami Tsutomu
菅 原 法 之*
Sugawara Noriyuki
橋 本 好 弘*
Hashimoto Yoshihiro
山 下 邦 博**
Yamashita Kunihiro

要 約

炎上中の家屋（炎上家屋）から隣接家屋に延焼拡大しようとしている火災に対して2機のヘリコプターを利用して火災の延焼拡大を阻止する実験を行い、燃焼状況を観測するとともに、火災の進展に応じて連続的にヘリコプターから水を投下した時の効果の違いを温度変化から検討した。

さらに、水投下を中止した後の再燃状況と隣接家屋への延焼拡大状況を観測して水投下の影響を確認した。

なお、本研究は、自治省消防庁消防研究所の協力要請を受け、苫小牧市において実施したものである。

Summary

We conducted an experiment in which two helicopters are used to prevent the spread of a fire from a burning building to neighboring buildings. We observed the combustion conditions and examined the effects of fire fighting by monitoring temperature changes. In the experiment, water is sprayed continuously on the burning buildings from the helicopters according to the progress of the fire.

We also reviewed the effects of spraying water by observing a revived fire condition and fire damage which spread to the neighboring buildings after spraying of water was suspended.

We carried out this research in Tomakomai city at the request of National Research Institute of Fire and Disaster.

1 はじめに

大震災時においては建物の屋根、外壁、窓ガラスが一部破損したり、建物全体が倒壊する。

また、道路上に多くの障害物が散乱するなどの理由により延焼しやすくなる。加えて、消火栓や道路の破損などにより消防水利が不足し消防車両の移動が困難になることから火災が拡大する危険性が高くなる。

ヘリコプターを使った空中消火は機動的であり、道路や水利事情に関係なく、短時間に火災現場に到着して水を投下できる可能性がある。

このような理由から、大震災時の市街地火災に対して空中消火の可能性に期待が寄せられている。市街地火災に対して空中消火の可能性を検討した研究としては、東京消防庁が日本火災学会に委託して行った調査研究や自治省消防庁消防研究所が延焼阻止効果について行った研究がある。

これらの研究により、市街地火災に対して空中消火は一定の火災抑止効果や延焼阻止効果があることが指摘されている。

本研究は、自治省消防庁消防研究所の協力要請を受け、当消防科学研究所が「家屋間の延焼阻止効果の観測」実験において気流温度の測定を実施し、その実験概要をまとめたので報告する。

* 消防科学研究所

** 自治省消防庁消防研究所第一研究部長

2 実験の概要

2.1 実験場所と実施日時

実験場所 苫小牧市字弁天1-17番地
 苫小牧東部大規模工業基地内
 実験日時 平成11年1月27日(木) 11時00分～

2.2 実験の実施機関

- (1) 札幌市消防局
- (2) 自治省消防庁消防研究所
- (3) 北海道総務部防災消防課防災航空室
- (4) 苫小牧市消防本部
- (5) 胆振東部消防組合消防本部
- (6) 東京消防庁

2.3 実験実施時の気象条件

今回の実験は、強風低温下で市街地火災の初期段階の火災を対象にして、延焼阻止効果を検討した。風向は西南西であり、平均風速は約9m/sで、気温1℃であった。

2.4 出動ヘリコプター

出動したヘリコプターは以下の2機であり、使用したバケットの容量はいずれも900リットルである。

- | | |
|------------------------|----|
| (1) 札幌市消防局 (ベル412SP) | 1機 |
| (2) 北海道防災航空隊 (ベル412EP) | 1機 |

3 実験条件と観測方法

3.1 実験方法

2棟の家屋A及びA'を使用した。

家屋Aの大きさは7.2m×7.2mで高さは3mである。家屋A'は家屋Aの5mの西側に配置し、家屋A'の大きさは家屋Aの半分とした。(図1家屋の配置参照)

家屋Aの開口部は、北側と南側にそれぞれ1個、西側と東側にそれぞれ2個の窓を設けた。これらの窓の大きさは1.8m×0.9mである。火災の継続時間を長くするため火災荷重を130kg/m²程度とし、両家屋の屋根はトタン葺きである。

両家屋の間には、中心線からそれぞれ南北に1.4m離れた地点に廃材(可燃物を2列のベルト状に並べた幅0.9m)を配置した。これらの可燃物の火災荷重は北側ベルトと南側ベルトで異なりそれぞれ30kg/m²と100kg/m²とした。

(図2家屋A、A'及び延焼媒体の配置参照)

3.2 燃焼状況の観測

供試家屋Aの北西隅に点火した後、その風上にある

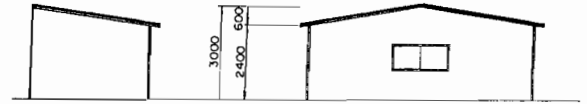
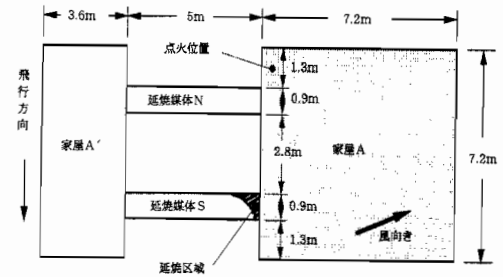


図1 家屋の配置



延焼媒体N (北側) : 火災荷重30kg/m²
 延焼媒体S (南側) : 火災荷重100kg/m²

図2 家屋A、A'及び燃焼媒体の配置

隣接家屋A'へ延焼拡大する危険性のある火災に対して、ヘリコプターから水を散布して、家屋A'への延焼拡大の阻止を図った。

水散布を行わない場合には、炎上家屋Aから放射熱により家屋A'の外壁に延焼着火する危険性がある。また、地上に散乱した可燃物(倒壊した家屋が両家屋間に落下した状態を想定したもの)を媒体として家屋Aから家屋A'に延焼拡大する危険性がある。このような火災に対してヘリコプターから水を投下した。水の投下回数は15回であり、家屋内部及びその周辺の気流温度を測定した。

3.3 熱電対の設置箇所

炎上中の建物Aから隣接建物A'へ延焼拡大する火災について、家屋Aの内部及び建物間に熱電対を設置して気流温度を測定した。なお、熱電対の設置に5人で延べ2日間を費やした。(写真1参照)

温度測定箇所は64箇所、図3に示すとおり16地点にポールを立てそのポールに4カ所ずつ熱電対を設置

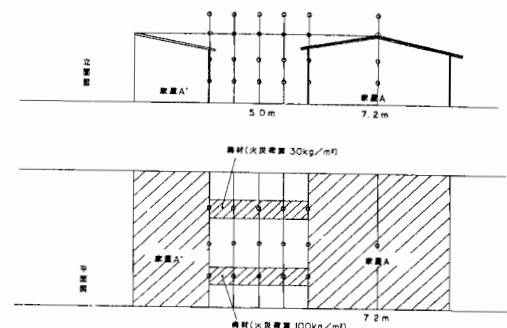


図3 温度測定箇所



① 3.4 水の投下記録 (写真2～4・表1参照)
30分間に15回 (13.5t) の水を投下した。



②



③

写真1 (①～③) 熱電対の設置状況

した。

熱電対の種類はクロメル・アルメルで太さ0.70mmである。

気流温度の観測地点から観測小屋まで熱電対を約100m延長して、観測小屋に設置した記録計にデータを保存した。

温度測定のスAMPLING間隔は1秒とした。この温度記録から、点火家屋の内部の火災拡大状況と両家屋間における延焼拡大危険性を推測した。

実験の準備作業中に、熱電対が切断されることがないように、熱電対の束を高さ1.5mの足場パイプに固定した。また、投下した水で熱電対の出力に異常が出ないように熱電対を防水シートあるいはアルミホイルで巻いて保護した。

このようにして得た気流温度から、火災の進展状況と水投下による延焼阻止効果の関係を調べた。



写真2 ヘリコプターによる水投下1



写真3 ヘリコプターによる水投下2



写真4 ヘリコプターによる水投下3

表1 ヘリコプターによる水の散布開始時刻

散布番号	散布開始時刻	飛行高度 (ft)	飛行速度 (kt)	散布数量 (l)	ヘリ
1	11時05分15秒	120	20	900	道
2	11時07分10秒	70	15	900	局
3	11時09分05秒	120	20	900	道
4	11時11分05秒	100	20	900	局
5	11時13分00秒	100	20	900	道
6	11時15分15秒	100	20	900	局
7	11時16分50秒	100	20	900	道
8	11時19分15秒	80	15	900	局
9	11時21分08秒	80	20	900	道
10	11時23分20秒	150	15	900	局
11	11時25分20秒	100	20	900	道
12	11時27分25秒	80	15	900	局
13	11時29分14秒	100	20	900	道
14	11時31分20秒	120	15	900	局
15	11時33分20秒	150	20	900	道

※局：札幌市消防局，道：北海道防災航空隊

4 観測結果

4.1 点火後の火災拡大

点火予定箇所は、家屋A北西隅の床上の可燃物表面である。この場所にアルコールを染み込ませた布切れを置き、それに点火棒を使って点火した。

点火後数十秒してから、西側の軒下から煙が噴出し始め、その後同じ場所から火炎が噴出し始めた。

燃焼域は点火箇所から、西側内壁を伝わって上方に拡大し、屋根面にそって家屋全体に拡大した。

風は西南西であったことから、窓ガラスが破損した後、燃焼域は西側から東側に、側壁から床上の可燃物表面へ、可燃物表面から可燃物内部へと拡大した。

ただし、点火箇所が北西隅であり、しかも風向がやや南よりであることから、延焼拡大にこれらの影響が出た。

火炎の噴出状況は、時間と場所で大きく異なった。

窓からの火炎の噴出開始時期は建物の東側と北側で早かった。

4.2 廃材を媒体とした延焼拡大

家屋A及びA'間にある廃材を媒体として火災が風上方向に拡大する危険性があったものの、水投下を継続している間には、両家屋間の廃材には延焼拡大することもなかった。

4.3 気流温度

家屋Aの火炎温度の時間変化を図4に示す。観測高度1 m、2 m、3 mは家屋Aの内部であり、高度4 mは屋根上に位置する。

この図から温度が急上昇した時間は観測高度で異なり高度2 m及び3 mでは1分20秒から、高度1 mでは4分40秒から、高度4 m地点では10分頃からであった。

これらの箇所の温度変化から燃焼域は、点火箇所から西側側壁を伝わって上昇し、建物全体に及び、その後、床上の可燃物表面とその内部が燃え始め、屋根が一部破損した後、火炎がトタン屋根の上部に噴出したことを裏付けている。火炎中に水が投下されると温度低下が激しく500度以上も低下した。

火元建物西側壁沿いの温度変化を図5、図6及び図7に示す。水投下中の温度は、高度2 m部分の温度が高く開口部からの受熱を表している。第4回目の水投下が始まる直前の温度変化をみると、点火後10分頃には2つの開口部から火炎が噴出していたことから、中心軸の両側で温度が高くなった。

水の投下を終了した時点の35分頃から温度は急激に上昇し、中央及び北側部分では800度以上にも達している。

火元建物西側1.25mの温度変化を図8、図9及び図10に示す。水の投下を終了した後の40分頃から温度が急激に上昇している。(特に中央部分と北側)

火元建物西側2.5mの温度変化を図11、図12及び図13に示す。気流温度がピークに達した時刻は9分頃であった。家屋Aから風上方向への火炎噴出は間欠的であり、火炎噴出が盛んな時間帯に気流温度がピークに達した。

気流温度の変化は、ポールの位置の高度で異なった。

ヘリコプターから水が投下されると、水が拡散した範囲で一時的に気流温度及び火炎温度が減少した。

温度の減少度合いは水のかかり方（水の塊、水滴、霧状など）に依存した。

火元建物西側3.75mの温度変化を図14、図15及び図16に示す。南側の高度1mに設置した熱電対は15分頃から氷点下を示しデータとしては有効ではなかった。

火元建物西側5mの温度変化（家屋A'の外壁付近）を図17、図18及び図19に示す。地上付近で温度がやや高いが、高度3m付近で温度が低いことを示している。

これは、暖かい気流が下から上方に向かって流れる気流があったことを示している。

温度の低下度合いは、観測場所で異なり火炎内部よりも火炎の先端付近で低下幅が大きくなった。

4.4 風上への延焼阻止効果

各飛行毎の燃焼区域等への散布状況とその効果を表2に示す。

表1・2に示す15回の散布飛行時の風速は6.1～11.9m/sあった。

このためか表2に示すように、目標位置に効果的な散布が行われなかった。図2に示す独立火災家屋Aから風上の南側延焼媒体（100kg/m³）への本格的な延焼が始まったのは表2より点火後23分22秒頃である。

家屋Aへの点火は図2に示す北西の位置で、風向きは図2に示す方向の西風であったため、南側延焼媒体に近い南側の壁が燃え始めたのは、点火後19分過ぎであった。

この壁が燃え落ちた時期を同じくして、南側延焼媒体への延焼が始まっている。

具体的には、点火後21分3秒に燃え残っていた家屋Aの南西側の南壁面が傾き、南側燃焼媒体との境界付近に小炎が確認された。

その5秒後には、南側延焼媒体の上・中間付近にも小炎が発生した。

これらの小炎は第9回目の霧状散布（点火後21分14秒）で消滅したが、下部は29秒後に再燃した。

12回目の散布直前には、南側延焼媒体よりの家屋Aも火勢を盛り返しつつある状態であったが、投下水の中心部分の濃い霧状の散布は大きな効果があったが、散布後1分40秒で再燃した。

13回目の散布は薄い霧状散布であったので散布後22秒で再燃した。

しかし、その後の2回の飛行ではこの区域に散布されなかったため、徐々に火炎が大きくなり、敷布飛行終了後からは本格的に風上への延焼が拡大した。

15回目の散布終了時では延焼は20cm程度であり、13

～15回目の飛行時に高密度の散布が連続的に行われていれば、延焼阻止できた可能性は大きかったのではないと思われる。

第13回目の散布飛行が終了時、延焼媒体の南側面には冷たい強風が吹付けていたため、風下側に相当する北側面の延焼が大きくなっている。

最終散布から10分40秒後（点火から44分後）においては、南側延焼媒体の南側面の延焼距離は約0.5mであるのに対し、北側面では約2.3mまで延焼している。

14及び15回目の投下水は延焼区域に散布されていない。15回目の最終散布時でも延焼距離は20cm程度と小さかったが、その後は急激に延焼が進んでいる。

家屋A-A'間での水溜まりからの水蒸気の発生、1℃前後の冷たい強風による冷却効果と可燃性ガスの吹き飛ばし等の理由によるものの他、軒下への燃焼物体の落下物がなかったこと、あるいは放射熱による発火現象がなかったため、大幅に延焼が遅れている。

なお、今回の実験において燃焼家屋の放射熱による延焼媒体からの発火の現象も見られなかった理由としては、次のことが考えられる。これは表1に示しているように、事前実験の6回の散布飛行によりできた家屋A-A'間に溜まった水が蒸発し、白色の蒸気が風上の家屋A'側に流れている現象が観測されている。従って、延焼媒体付近の水蒸気が熱放射の影響を和らげる効果があったと思われる他、冷たい強風による冷却効果も加味されて放射熱による発火の現象が発生しなかったものと思われる。

5 考察

家屋Aと家屋A'の近傍では、風に対して障害物が2つ存在することから両者間の気流パターンは家屋が1棟の場合より複雑になる。

さらに、実験中において風向が西南西で家屋の中心軸よりも南側によっていたことから、気流の3次元分布は中心面に対して非対称になったと推定される。

家屋間では渦流が生じて、風は乱れ、地面付近では風は東側から西方に流れた。

この流れは、地面上の水が放射熱で加熱されて水蒸気となり、可視化されたことから確認することができた。

水の投下を終了した時点から、家屋間にある廃材（南側）の一部が盛んに燃え出し、その燃焼域は家屋A'の方向に広がり始めた。

この廃材を媒体とした火災拡大は両家屋間に生じた気流により促進された。

火炎の進展速度から判断すると火災を放置すれば、数十分以内に家屋A'まで延焼拡大したと推定される。

表2 各飛行毎の燃焼区域等への散布状況とその効果

飛行番号 (分:秒)	散布状況 とその効果	各ブロック		
		注1) 家屋A'	家屋A-A'間	注2) 家屋A
1 (5:15)	散布 効果	— /	— /	—
2 (7:10)	散布 効果	— /	— /全体的に多量の水蒸気発生	—
3 (9:05)	散布 効果	— /	— /	—
4 (11:05)	散布 効果	○ /	○ /	○
5 (13:00)	散布 効果	○ /	△ /	△
6 (15:15)	散布 効果	— /	△ /	△
7 (16:50)	散布 効果	— /	— /	△
8 (19:15)	散布 効果	— /	— /	—
9 (21:08)	散布 効果	○ /	△ /	—
10 (23:20)	散布 効果	— /	— 2秒後、南側延焼媒体で家屋Aとの境界に小炎あり	◎ C
11 (25:20)	散布 効果	— /	— 9秒後、南側延焼媒体で家屋Aとの境界から約10cm延焼	— ↓
12 (27:25)	散布 効果	△ /	◎ A (1分40秒後再燃)	◎ A
13 (29:14)	散布 効果	— /	△ B (22秒後再燃)	○ A
14 (31:20)	散布 効果	— /	— 延焼幅約20cm	— ↓
15 (33:20)	散布 効果	— /	— 幅同じ炎高約1m	— ↓
(33:30)	南北側共		南側延焼媒体で家屋Aとの境から約20cm延焼	
(37:00)	南側		南側延焼媒体で家屋Aとの境から約20cm延焼	
	北側		南側延焼媒体で家屋Aとの境から約1m延焼	

散布状況の記号
◎：投下水の中心部分の濃い霧状の散布
○：霧状散布
△：薄い霧状散布
—：散布なし

効果の記号
A：効果大
(無炎燃焼状態が60秒以上継続中)
B：効果有
(10~60秒未満の間に再燃)
C：効果小
(10秒未満に再燃)
空欄：効果なし
/：未燃焼
↓：上欄の状態を継続中

注1) 家屋A'側の境界から家屋Aの約2m程度の範囲の散布状況を示す。

注2) 家屋A側の境界から家屋A'の約1m程度の範囲の散布状況を示す。

6 まとめ

(1) 火災の進展と水の投下時間

建物火災の進展状況を火勢と火災温度から判断すると火災の拡大期は1~5分、最盛期5分~19分頃、減衰期19分以降であった。

このような火災に対して点火後5分から33分の間に15回の水を投下して、火災の進展と火災抑止効果、延焼阻止効果の関係を観測した。

水の投下回数は火災拡大期に0回、最盛期に8回、減衰期に7回であった。

(2) 火災抑止効果と火災の進展の関係

最盛期に水を投下すると火勢を一時的に弱め、火災温度も下がるが、数十秒経過すると元の状態に戻った。

しかし、連続的に水を投下しても、炎上家屋全体の火勢を弱めることはできなかった。

火災の減衰期においては、水を連続的に投下すると火勢が徐々に弱くなり建物内の火災温度が減少した。

この期間に、水の投下を中止すると火勢は強くなり火災温度は再び上昇した。このように減衰期においては屋根や外壁がなくなることから、水を連続的に投下している期間だけ火勢を抑止できることがわかった。

(3) 風上方向への延焼阻止

水の投下を継続している期間内には、両家屋間に配置した廃材が燃えることはなかった。

隣接建物の表面温度の熱画像測定結果から、比較的少量の水を風上から散布することである程度の時間、建物の表面温度を下げる効果があることが判明した。

また、隣接建物への延焼は、隣接建物の表面が放射熱によってその温度が上昇して発火に至るために、当該建物表面の温度とその継続時間が重要である。

従って、隣接建物への延焼防止を図るためには、壁の温度を低下させるような水散布方法を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 自治省消防庁研究所：市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書(1998.3)
- 2) 山下邦博，他：空中消火による市街地火災時の延焼阻止効果に関する研究—その1—研究概要と実験条件日本火災学会研究発表会概要集，p.358(1998.5) 家屋間延焼阻止効果

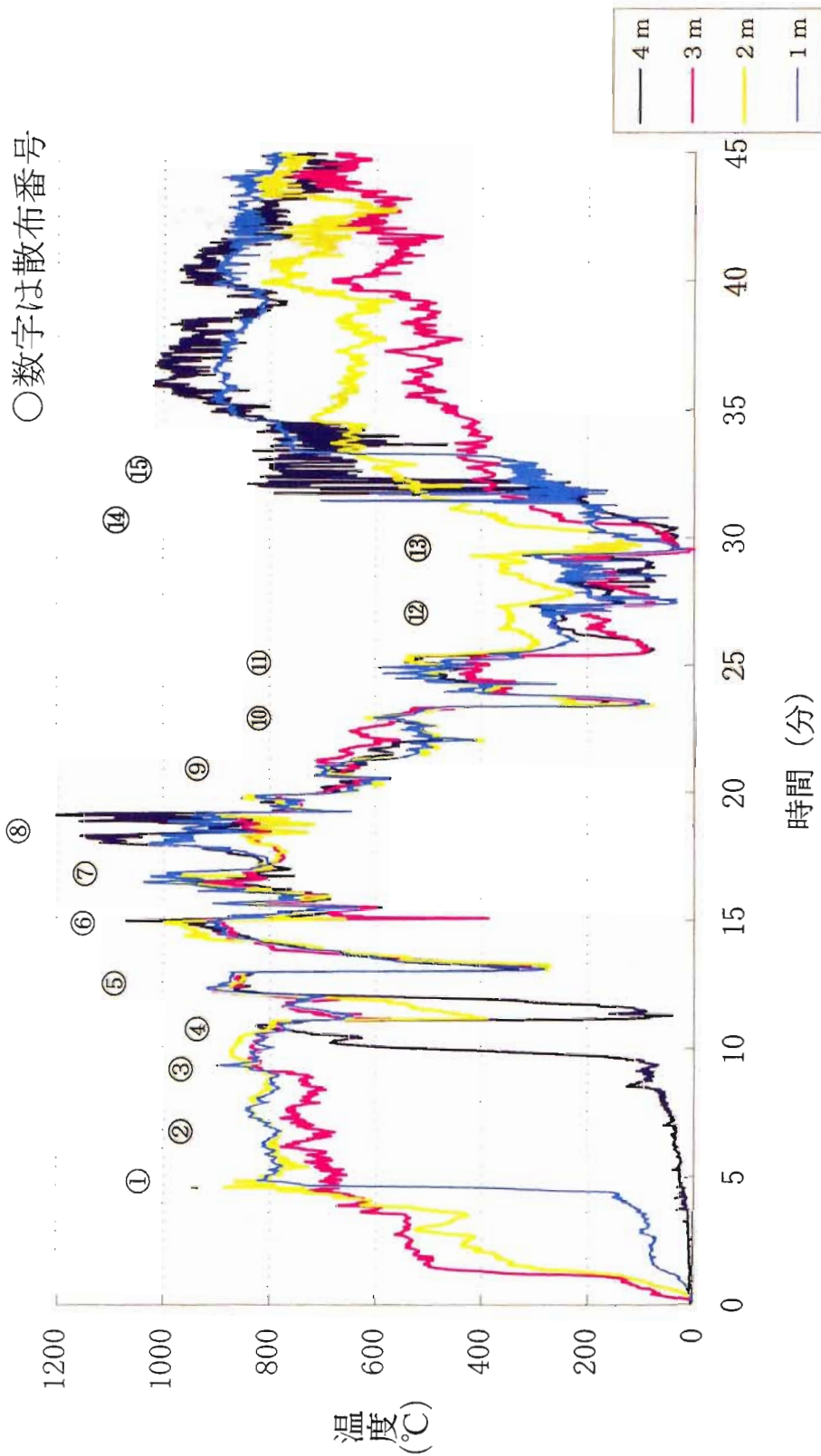


図4 建物 (A) 内部の温度変化

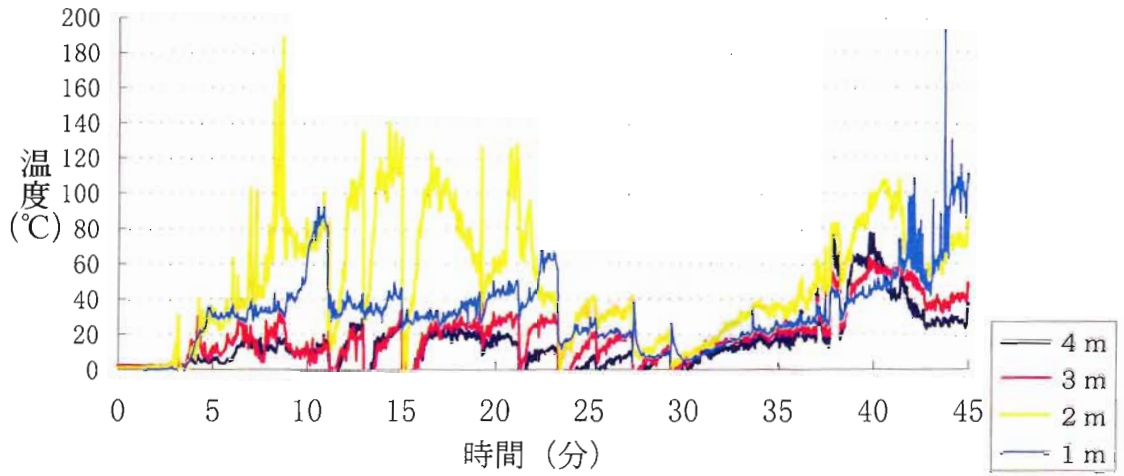


図5 火元建物西側壁沿いの温度変化 (南)

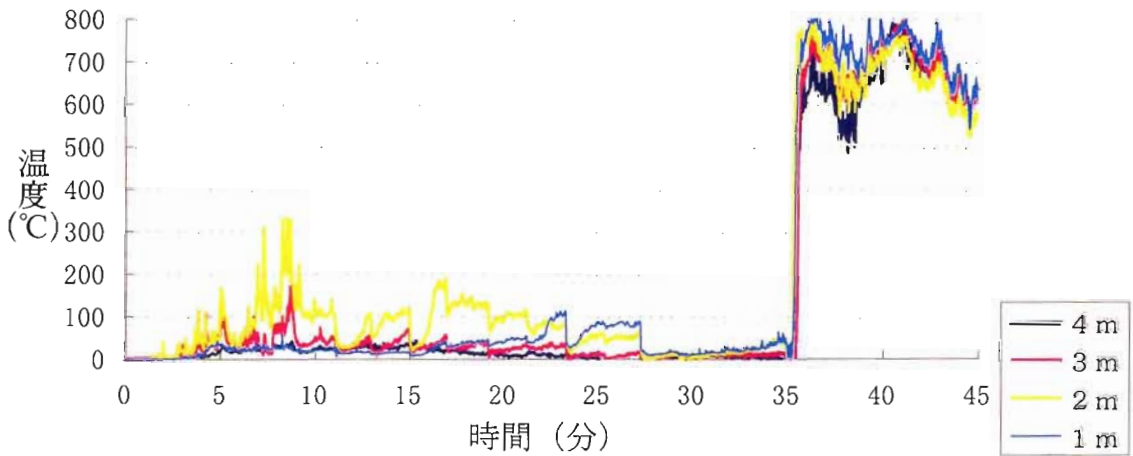


図6 火元建物西側壁沿いの温度変化 (中央)

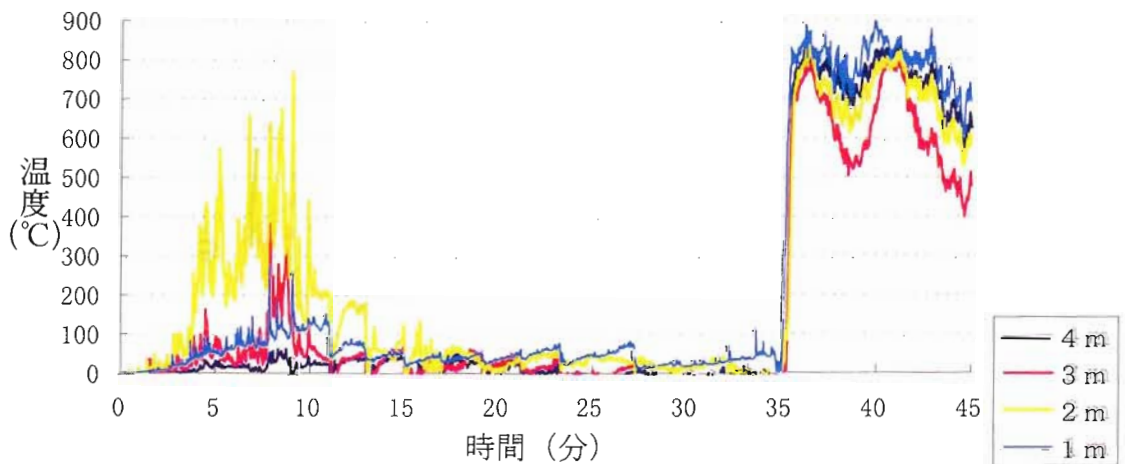


図7 火元建物西側壁沿いの温度変化 (北)

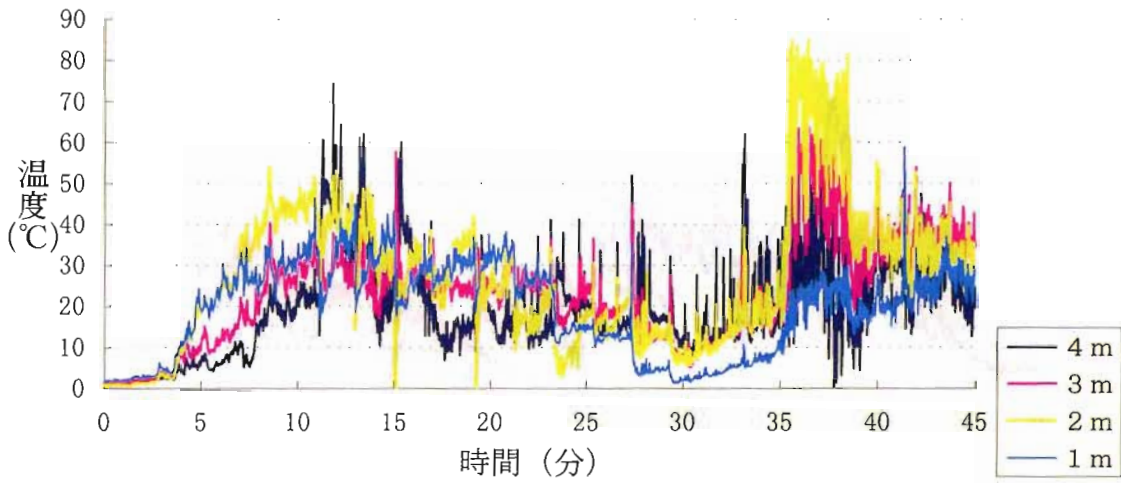


図8 火元建物西側1.25mの温度変化（南）

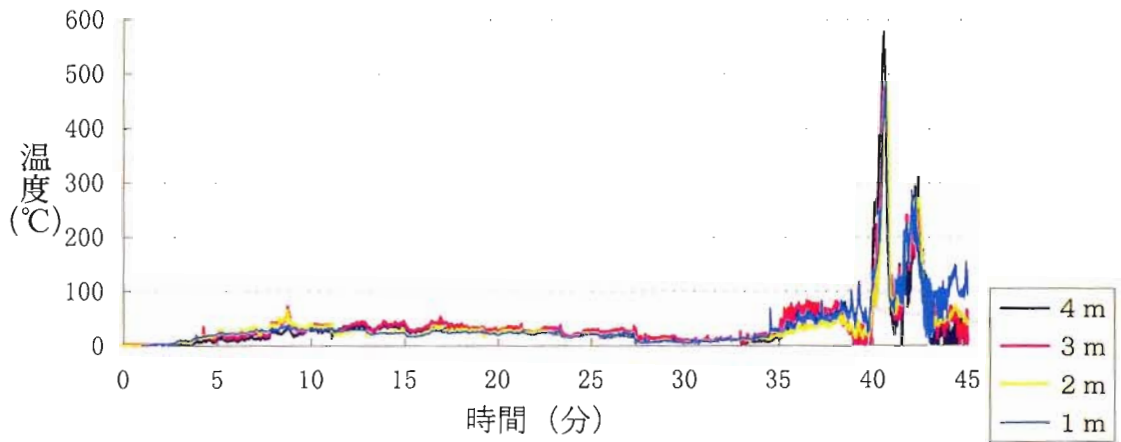


図9 火元建物西側1.25mの温度変化（中央）

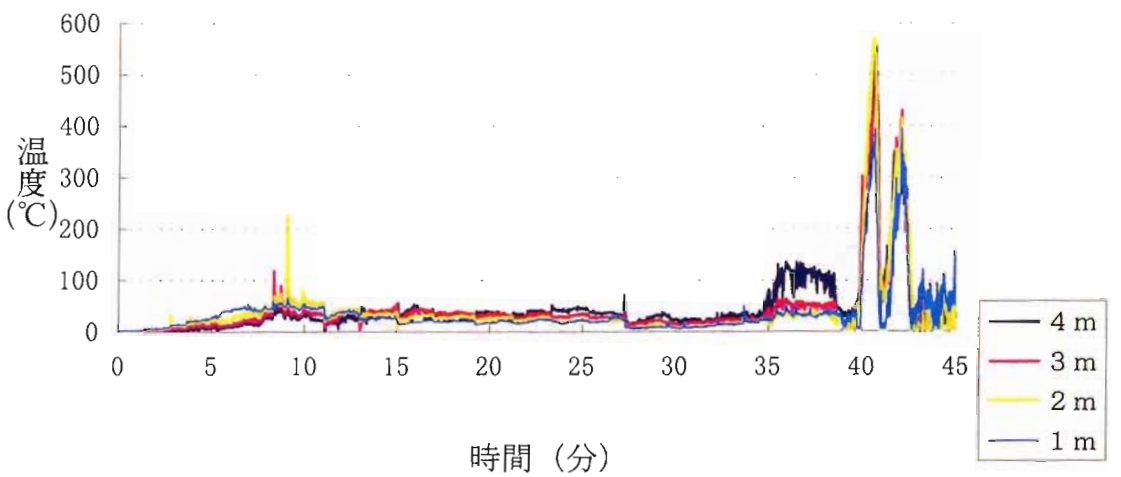


図10 火元建物西側1.25mの温度変化（北）

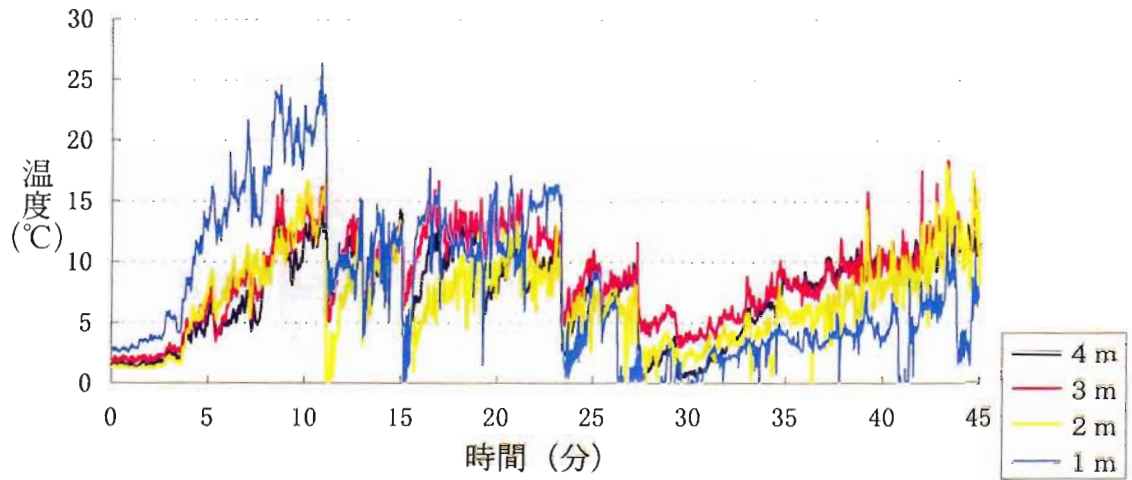


図11 火元建物西側2.5mの温度変化 (南)

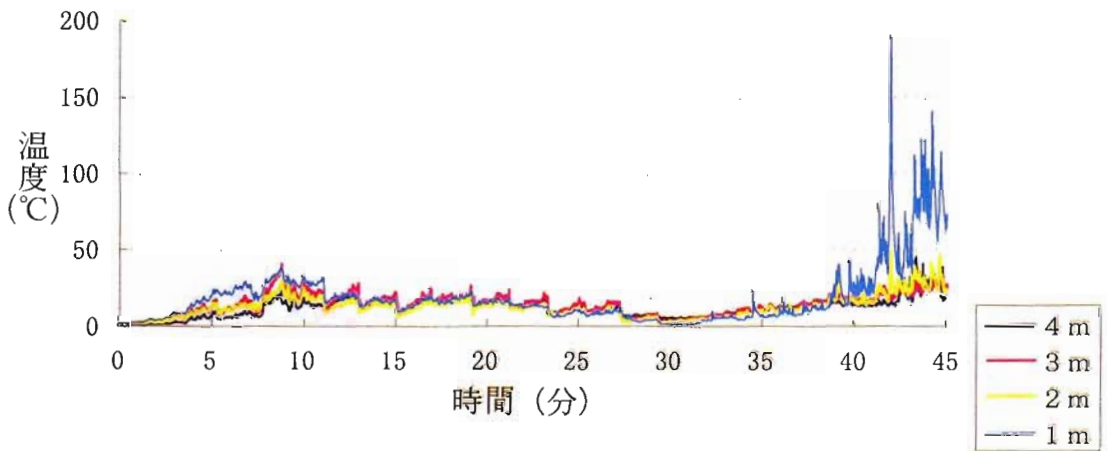


図12 火元建物西側2.5mの温度変化 (中央)

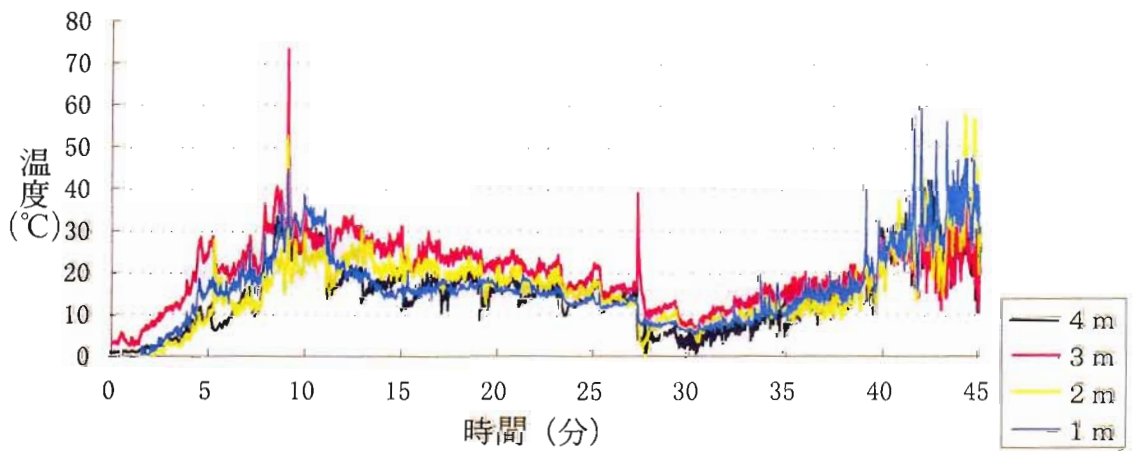


図13 火元建物西側2.5mの温度変化 (北)

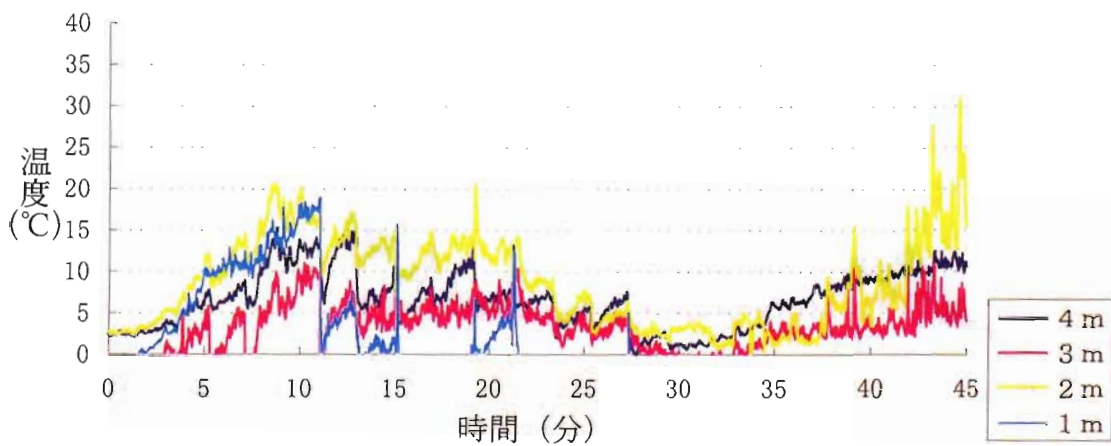


図14 火元建物西側3.75mの温度変化 (南)

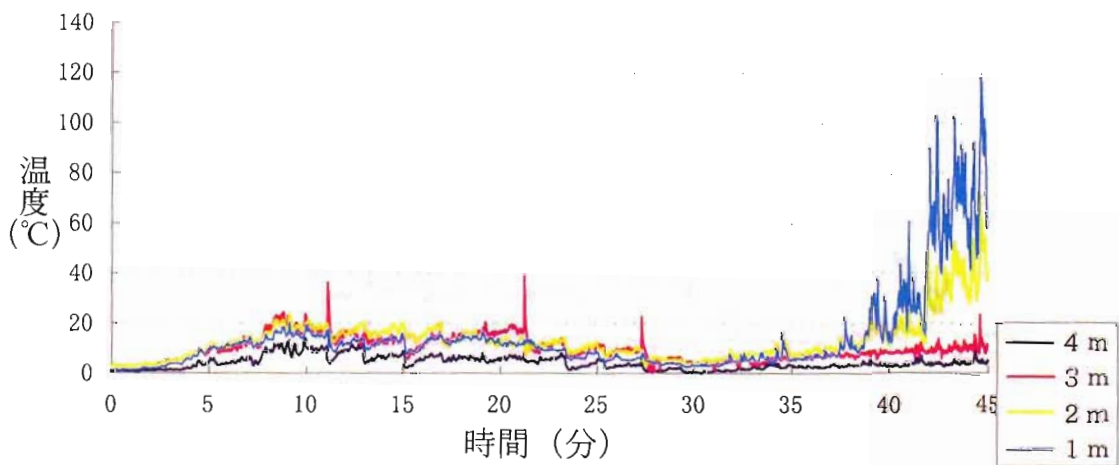


図15 火元建物西側3.75mの温度変化 (中央)

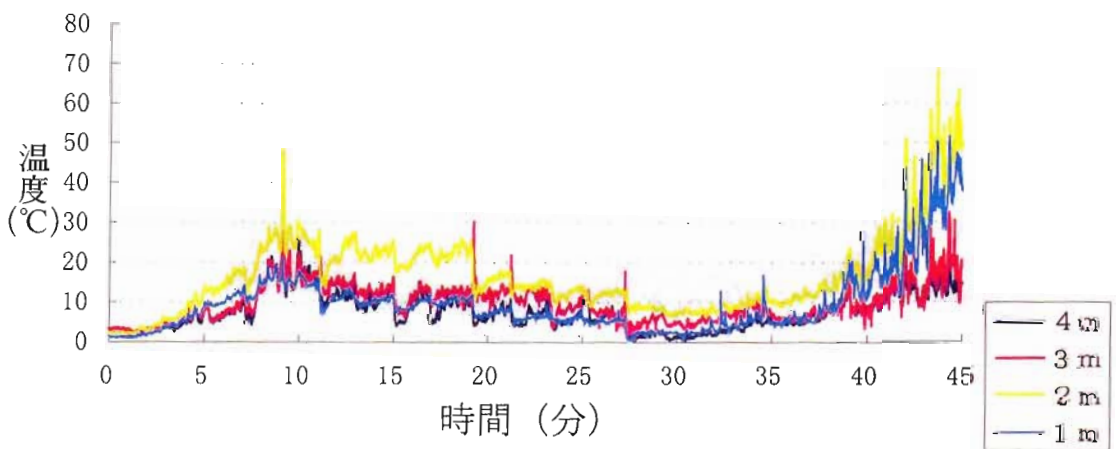


図16 火元建物西側3.75mの温度変化 (北)

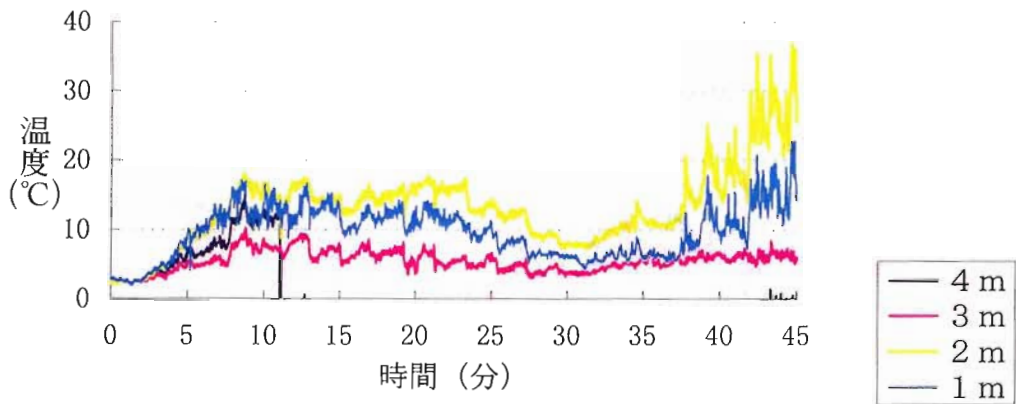


図17 火元建物西側5mの温度変化 (南)

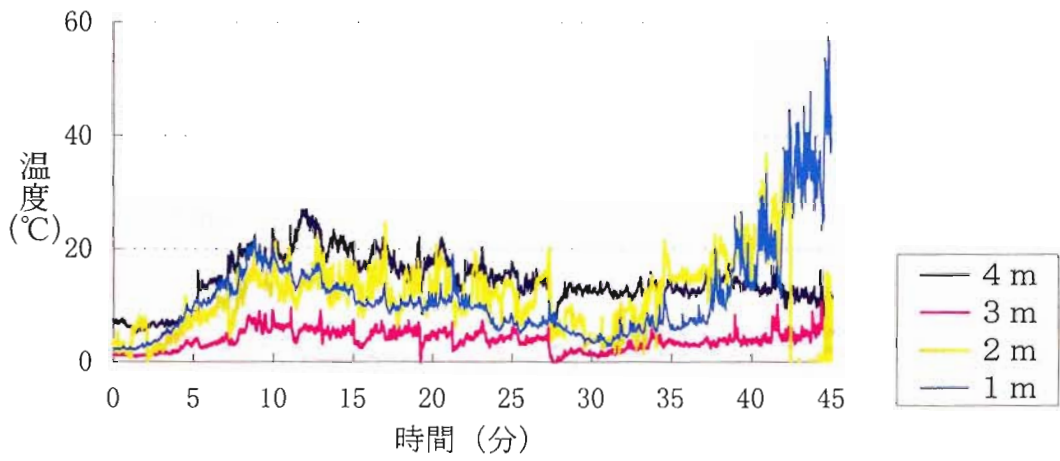


図18 火元建物西側5mの温度変化 (中央)

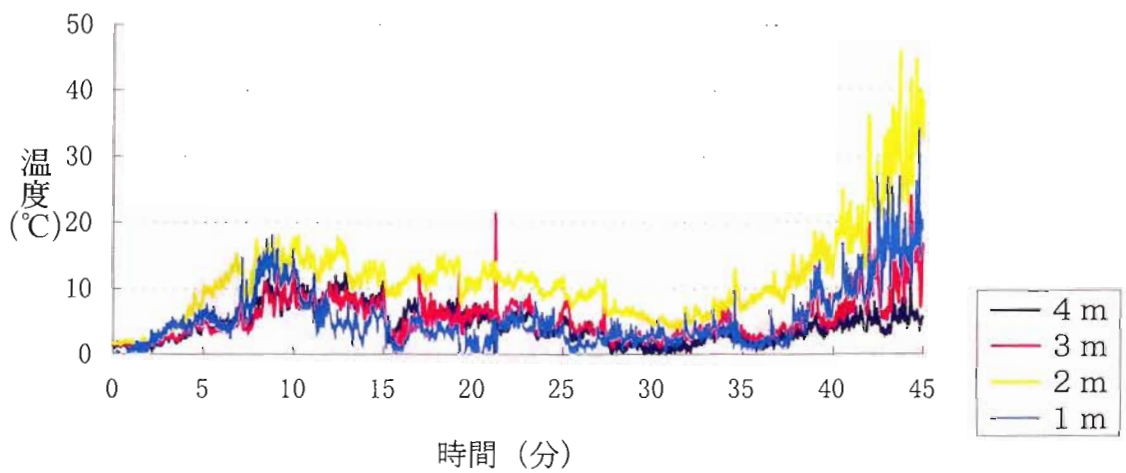


図19 火元建物西側5mの温度変化 (北)

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）

Research on Appropriate Fire Sensors Installed in the Attic of a Wooden Housing Complex with an M-Shaped Roof with Ducts (No. 1)

橋本 好弘*
Hashimoto Yoshihiro
坂井 宏至**
Sakai Hiroshi

要 約

屋根鉄板の色、開口部の大きさ及び設置高の違いによる気温上昇の変化を把握するために模型を作成して、内部の温度を測定した。

この結果、屋根鉄板の色、開口部の大きさ及び設置高の違いが気温上昇に影響する数値を把握することが出来た。

Summary

We built model buildings to determine the effect the color of an iron plate roof and the sizes and installation heights of openings had on the temperatures inside the buildings.

As a result of this experiment, we discovered that differences in the color of an iron plate roof and the sizes and installation heights of openings affected the temperature inside buildings. We reviewed the data from this experiment.

1 はじめに

積雪寒冷地における屋根の形態は、主に雪や寒さに対応できるよう改良、研究が進められており、瓦やスレート屋根を中心とした本州地方とは異なった建築形態を築いてきている。

このような特殊性は、共同住宅に設置された、自動火災報知設備の小屋裏感知器の非火災報発生件数に大きな影響を及ぼしている。特に夏期の最高温度に達する昼前後に集中して無落雪型木造共同住宅の小屋裏に設置された自動火災報知設備の感知器が発報し、非火災報が多発する傾向が見られる。

これらのことから、非火災報を軽減させるため、本研究では模型を作成して屋根鉄板及び開口部の違いによる気温測定結果などを基に、積雪寒冷地における無落雪型木造共同住宅の小屋裏に設置される感知器の適正なあり方について提言するものである。

2 現 状



写真1 無落雪型木造共同住宅

(1) 共同住宅の現状

札幌市における指定対象物（消防法施行令別表第1に掲げる防火対象物で消防法第17条に規定する消防用設備等の設置が必要なもの。以下「指定対象物」という。）の約6割が共同住宅であり、他の政令指定都市等（東京都及び札幌市を除いた政令指定都市。以下「政令指定都市等」という。）の平均が約4割であるのと比べて非常に高い。また、本市における共同住宅の構造については、72%が木造、27%が耐火構造、1%が準耐火構造であり、木造共同住宅の

* 消防科学研究所

** 予防部指導課（現在、手稲消防署）

割合が非常に高くなっている。

自動火災報知設備が設置された、この木造共同住宅の屋根形態は、84%が無落雪型、16%が落雪型であり、写真1のような無落雪型の木造共同住宅における建築形態には次の特性がある。

ア 屋根材質等

屋根の表面部材は、降雪期の積雪に対応するため、雪が滑り易い亜鉛鉄板で葺かれているが、厚さ0.3mm程度と薄いことから、日射による熱が小屋裏まで伝わり易いものとなっている。

屋根材の塗装色については、全出荷トン数に占める色別の比率を市内の鉄板メーカーに照会した結果、黒、茶及び青系の割合が高く、全体の約6割を占めている。また、本市の住宅用として出荷される色は、黒に近い藍色や焦茶色等の暗色が多いとの回答であった。

この暗色は、日射による赤外線吸収率がよいことから、積雪を早期に溶かすことができる反面、夏期においては、屋根表面及び小屋裏の気温上昇に大きな影響を与えている。

イ 小屋裏空間



写真2 狭隘な小屋裏空間

切妻屋根や流れ屋根等とは異なり、無落雪型屋根の小屋裏空間の構造は、写真2のように構造上の特殊性から狭隘なものとなっている。

小屋裏の高さは、一般的に外壁側が高く、ろく谷のある付近が低くなっており、屋根下面から冬期間の冷気を遮断するために設けられた断熱材上部までの平均高さは、感知器の設置が必要となる高さである50cm以上となっている。また、建築基準法による界壁が各住居ごとの屋根まで達しており、さらに小屋裏空間を狭隘化している。

小屋裏の換気については、住宅金融公庫を使用するための木造住宅工事共通仕様書において、小

屋裏換気措置の項目に①小屋裏換気口は、独立した小屋裏ごとに2ヶ所以上、換気に有効な位置に設ける。②換気口の仕様等が規定されているが、建築基準法上では特に規定されておらず、極めて設置数が少ないものが見られる。

以上のように無落雪型の屋根形態は、他の屋根にはない構造的な特徴を有している。

(2) 非火災報の現状

ア 発生状況

政令指定都市等の共同住宅における非火災報件数の割合を平均すると約4割であるのに対し、本市は約7割となっており、非火災報に占める共同住宅の割合が非常に高いと言える。

過去7年間の発生状況を調査した結果、構造別では、全体の木造が74.2%、耐火造が25.2%、準耐火造が0.6%となっており、木造対象物からの非火災報が非常に高いことがわかる。

また、木造住宅の発報場所は、小屋裏が85.8%となっている。

イ 木造共同住宅の小屋裏非火災報発生の特徴

木造の共同住宅の小屋裏は、非火災報の発生場所において非常に高い割合を占めており、同一対象物での発生回数について調査したところ、落雪型は1回の発生が全体の94.3%、2～3回の発生が全体の5.7%であるのに対して、無落雪型は1回の発生が全体の8割、2回以上の発生が2割と再発する頻度が高く、さらに、4回以上の発生も2%程度あることから、再発防止のため一層の対策が必要であることが伺える。

無落雪型の原因別では、夏期における小屋裏の気温上昇が最も多く3割、次いで感知器内への水の侵入が2割となっており、冬期間の結露及び霜による感知器内への水の流入についても非火災報の原因の多くを占めている。

3 実験の概要

3.1 日時

(1) 第1実験～鉄板の色の違いによる内部気温上昇の測定実験

平成10年6月26日 10時00分～

平成10年7月28日 10時00分までの延べ33日間

(2) 第2実験～換気口の大きさの違いによる内部気温上昇の測定実験

平成10年 7月30日 10時00分～
平成10年 8月19日 10時00分までの延べ21日間

3.2 場所

第1実験及び第2実験～西区八軒10条西13丁目
消防科学研究所屋上

3.3 模型の概要



図1 模型図

図1は、模型図である。共同住宅における一住居が占める小屋裏面積の1/30に当たる模擬小屋（幅180.0cm、奥行き90.0cm、高さ90.0cm）を作成したもので、構成材は、壁及び底板が12mmのコンパネ板、柱が45mm四方の垂木、野地板が松材（厚さ10mm、幅200mm）、アスファルトルーフィングが22kg、屋根鉄板が0.3mm亜鉛引きカラー鉄板を使用し、実際の建物と類似した仕様とした。

また、側面2箇所には、換気ルーバーを設置し隙間は、コーキング剤によって埋めた。

3.4 実験方法

(1) 第1実験



写真3 第1実験の状況

写真3は、第1実験の状況である。亜鉛引きカラー鉄板の色を黒、赤及び銀の模擬小屋3個を作成し、換気ルーバーは全閉の状態での内部の気温2箇所、鉄板表面の温度1箇所及び屋上の温湿度1箇所、風速

を測定した。

(2) 第2実験



写真4 第2実験の状況

写真4は第2実験の状況である。換気ルーバーを調整して床面積の1/100の開口部（以下、「開口部大」とする。）、1/300の開口部（以下、「開口部中」とする。）及び1/1000の開口部（以下、「開口部小」とする。）の3個の模型を作成し、内部の温度2箇所及び屋上の温湿度1箇所を測定した。また、この時の亜鉛引きカラー鉄板の色は黒色とした。



写真5 温度測定器の設置状況

3.5 測定方法

(1) 内部気温

内部の気温は、Thermo Recorder おんどとり

TR-52を野地板付近の中央とこの下部30cmの位置に写真5のとおり設置し、5分毎に継続測定した。

(2) 鉄板表面温度

晴天時の鉄板表面温度は、0.5mmシース型K熱電対を鉄板中央に設置し、データの収録はPCカード型データ収集システム (KEYENCE NR-250) により5分毎に10時00分～18時00分まで測定した。

(3) 屋上の温湿度

屋上の温湿度については、屋上から1mの位置にThermo Recorder おんどとりTR-72を設置し5分毎に継続測定した。

(4) 風速

風速プローブを東西南北の4方向に設置し、多点風速計 (日本カノマックス(株) MODEL 6240) で変換したのちパソコンに5分毎に10時00分～18時00分まで測定した。

4 実験の結果及び考察

(1) 第1実験

ア 気象庁発表の最高気温

6月26日から7月28日までの間の最高気温は、7月27日の31.5℃であり、平均では、24.4℃であった。また、30℃を超えた日は1日のみであった。

イ 最高気温の推移

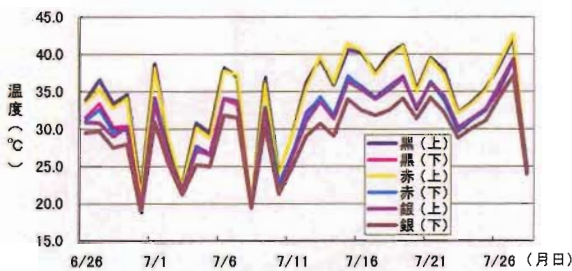


図2 測定箇所別の最高気温

図2は、各測定箇所別の最高気温の推移をグラフにしたものである。最高気温の上部の平均は、黒色が34.1℃、赤色が33.9℃、銀色が30.8℃、下部の平均は、黒色が31.0℃、赤色が31.0℃、銀色が29.0℃となっている。また、測定期間の上部の最高気温は、黒色が42.3℃、赤色が42.6℃、銀色が39.4℃となった。

ウ 設置位置の違いによる最高気温差 (内部)

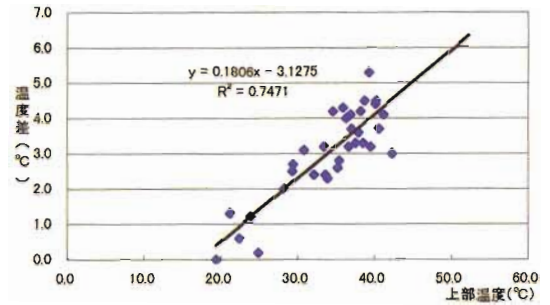


図3 設置位置の違いによる最高気温差

設置位置の違いによる最高気温差は、黒色が3.0℃、赤色が2.9℃、銀色が1.7℃となった。

図3は、黒色の上部最高気温を軸として上部と下部の温度差をグラフにして相関分析を実施したものである。上部と下部の気温差は、気温が上昇するに伴い温度差も大きくなる傾向にあり、相関分析を実施すると、1次関数において係数が0.181、 $r=0.86$ という非常に高い相関性を示した。

赤色についても、係数が0.181、 $r=0.87$ と同様な結果となったが、銀色については、係数が0.124、 $r=0.82$ と黒や赤に比べて緩やかな勾配となった。

エ 色の違いによる上部最高気温の差 (内部)

色の違いによる上部最高気温差の平均は、黒銀色が3.3℃、黒色と赤色が0.2℃となった。

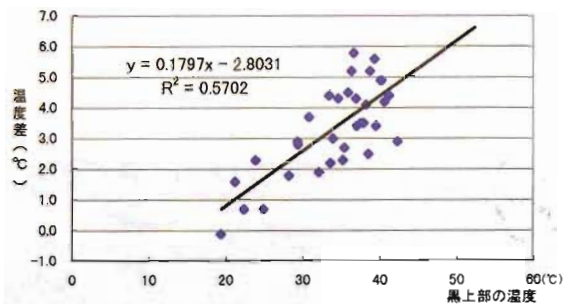


図4 色の違いによる最高気温差

図4は黒色上部の最高気温と銀色上部の最高気温の差を黒色上部の最高気温を軸として表したものを相関分析したものである。黒色の気温と黒色と銀色の気温差は、温度が上昇するに伴い気温差も大きくなる傾向にあり、設置位置の違い同様に相関分析を実施すると、係数が0.180、 $r=0.76$ という高い相関性を示した。

しかし、黒色と赤色の気温差は、係数が0.0002、 $r=0.707$ という気温上昇には殆ど影響しないという結果となった。

表1 模擬小屋の温度測定（鉄板表面の温度）

No.	月 日	黒		赤		銀		最高温度時の時刻	最高温度時の風速(屋上)	最高温度時の風速(気象庁)	気温(屋上)	気温(気象庁)	黒	赤	銀	黒-赤	黒-銀
		鉄板	内部	鉄板	内部	鉄板	内部						鉄板-内部	鉄板-内部	鉄板-内部	鉄板	鉄板
1	7月6日	67.1	38.2	61.8	37.8	51.1	34.1	10:20	1.03	1.6	31.3	26.2	28.9	24.0	17.0	5.3	16.0
2	7月7日	59.8	37	55.6	37.2	47.7	33.7	11:05	1.90	2.8	30.8	26.3	22.8	18.4	14.0	4.2	12.1
3	7月14日	62.3	35.9	56.7	36.1	49.4	31.4	10:30	1.40	1.1	29.1	23.4	26.4	20.6	18.0	5.6	12.9
4	7月15日	65.9	40.6	60.9	41.4	51.2	36.4	13:30	—	2.3	33.0	26.8	25.3	19.5	14.8	5.0	14.7
5	7月16日	66.1	40.2	61.4	40.4	52.1	35.3	11:20	0.63	1.1	32.0	25.4	25.9	21.0	16.8	4.7	14.0
6	7月21日	57.9	39.5	58.3	39.4	51.7	36.1	13:20	1.22	3.0	32.2	28.2	18.4	18.9	15.6	-0.4	6.2
7	7月22日	53.9	37.9	53.4	37.3	47.6	34.4	11:45	4.06	2.9	31.1	28.0	16.0	16.1	13.2	0.5	6.3
8	7月27日	69.0	42.3	59.8	42.6	52.4	39.4	12:05	1.98	3.4	36.3	31.5	26.7	17.2	13.0	9.2	16.6
	平均	62.8	39.0	58.5	39.0	50.4	35.1	—	—	—	32.0	27.0	23.8	19.5	15.3	4.3	12.3

- 1) 単位 風速：m/s風速以外：℃
- 2) 最高温度時の風速（屋上）とは、5分平均に東西南北の4箇所測定した風速の最大値を表す。
- 3) 最高温度時の風速（気象庁）とは、最高温度を記録した時間の1時間の平均風速を表す。

オ 色の違いによる鉄板表面の最高温度差

表1は、色の違いによる鉄板表面の最高温度差等を表したものである。晴天時8日間の鉄板表面の最高温度は、黒色が62.8℃、赤色が58.5℃、銀色が50.4℃となり、また同期間の気象庁の最高気温平均は、27.0℃、屋上は、32.0℃となった。

黒色の場合の表面温度と表面温度と内部温度の温度差は、設置位置同様に温度が上昇するに伴い温度差も大きくなる傾向にあり、1次関数において係数が0.785、 $r=0.91$ という非常に高い相関性を示した。

カ 1日の温度変化など

図5は気象庁発表の気温が唯一30℃を超えた日の測定場所の気温、湿度、風速、黒色鉄板の表面温度及び内部上側の気温をグラフにしたものである。

この日は、12時頃に屋上の気温が20分間で3.8℃(0.25℃/min)上昇したのに伴い鉄板表面温度が1.09℃/min、内部の上部が0.14℃/minの

上昇が認められた。

また、この急激な温度上昇後に気温は32、33℃で安定し、鉄板表面温度は低下傾向を続けたが、内部の気温はその後2時間程度最高気温を記録していた。

(2) 第2実験

ア 気象庁発表の最高気温

7月30日から8月19日までの間の最高気温は、8月5日の26.4℃であり、平均では、23.7℃であった。

イ 内部の最高気温平均

最高気温の上部の平均は、開口部大が30.3℃、開口部中が33.1℃、開口部小が34.0℃、下部の平均は、開口部大が28.3℃、開口部中が29.4℃、開口部小が29.6℃という結果となった。

ウ 開口部の違いによる最高気温

図6は開口部小の最高気温を軸として開口部の

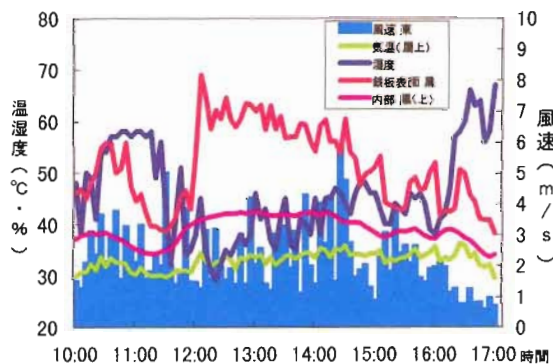


図5 1日の気温変化など

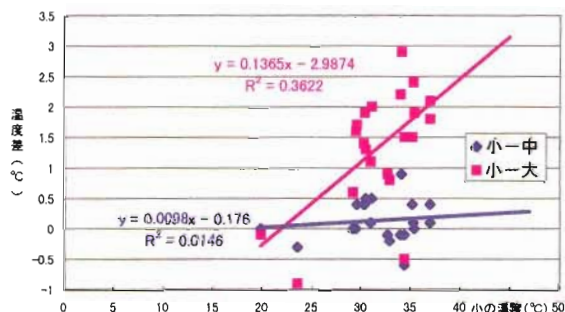


図6 開口部の違いによる最高気温差

違いによる気温差との関係を相関分析したものである。

小と大の差との関係は、気温が上昇するに伴い温度差も大きくなる傾向にあり、相関分析を実施すると、1次関数において係数が0.137、 $r=0.60$ という高い相関性を示した。

しかし、小と中の差との関係は、係数が0.009、 $r=0.12$ という相関性がない結果となった。

5 まとめ

ニュートンの色の理論から実用の全ての色は、緑色-赤色 (A値)、黄色-青色 (B値)、白色-黒色 (L値) で表される。

このうち、カラー鉄板の温度上昇に寄与する赤外線吸収率は黒色度に比例するものと考えられる。今回の実験で使用した鉄板のL値は、黒色が23%、赤色が27%及び銀色が78%となっており、黒色と赤色のL値の差が4%しかなく、模型の気密性の違いが影響したところも見受けられた。

相関分析から小屋裏内部の気温が50℃となった場合に、模型ではあるが条件を以下のように変えることによって、次のとおり気温上昇を押しえることが出来ることが判明した。

- (1) 屋根鉄板の色を、黒から銀に変えることにより6.1℃の気温低下
- (2) 換気口を、床面積の1/1000から1/100にすることによって3.8℃の気温低下
- (3) 設置位置を野地板際から30cm下げることにより5.9℃の気温低下

6 おわりに

今回の実験により、模型の値であるがこれを数値化することにより、建物を建築する以前の設計段階で事前に小屋裏感知器の気温上昇による危険性について助言を行い、自主的に感知器の設置種類などについて再検討を行ってもらうことが可能となった。

なお、これに平行して実在建物の小屋裏の気温測定を実施し、これらの結果を元に、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(その2)で提言するものである。

【参考文献】

- 1) 札幌市消防局予防課：自動火災報知設備の非火災報について、「火災」VOL.31 NO.5 1981
- 2) 高塚 てる彦：気象・天気知識、西東社 1999
- 3) 消防法施行令：第23条
- 4) 消防予第240号(平成3年12月6日)：自動火災報

知設備の感知器の設置に関する選択基準について
5) 消防予第148号(昭和61年11月6日)：自動火災報知設備の非火災報対策の推進上の留意事項について

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）

Research on Appropriate Fire Sensors Installed in the Attic of a Wooden Housing Complex with an M-Shaped Roof with Ducts (No. 2)

橋本 好弘*
Hashimoto Yoshihiro
坂井 宏至**
Sakai Hiroshi

要 約

実在建物の小屋裏内の気温変化を測定し、実際の建物の小屋裏最高気温を把握するとともに、気象庁発表の気温から小屋裏内の気温を推測することが出来た。

また、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考え方をまとめた。

Summary

We measured the temperature changes inside the attic of an existing building, and determined the highest temperature in the attic. Based on the temperature reported by the Meteorological Agency, we were able to estimate the temperature inside the attic. In addition, we summarized the ideas of appropriate fire sensors installed in the attic in a wooden housing complex with an M-shaped roof with ducts

1 はじめに

積雪寒冷地における屋根の形態は、主に雪や寒さに対応できるよう改良、研究が進められており、瓦やスレート屋根を中心とした本州地方とは異なった建築形態を築いてきている。

このような特殊性は、共同住宅に設置された、自動火災報知設備の小屋裏感知器の非火災報発生件数に大きな影響を及ぼしており、特に夏期の最高気温に達する昼前後に集中して小屋裏に設置された自動火災報知設備の感知器が発報し、非火災報が多発する傾向が見られる。

そこで、非火災報を軽減させるため、積雪寒冷地における無落雪型木造共同住宅の小屋裏に設置される感知器の適正なあり方について、前研究では屋根鉄板及び開口部の違いなどによる各種の気温測定を実施した。

今回は、実在建物の小屋裏内の気温を測定し現状を把握することにより、小屋裏感知器のあり方について提言するものである。

2 実験の概要

2.1 日 時

平成10年7月10日 0時00分～平成10年8月30日24時00分までの延べ52日間

2.2 場 所

中央区南23条西10丁目 北海道マイホームセンター内

2.3 実験建物の概要



写真1 実験建物

* 消防科学研究所
** 予防部指導課（現在、手稲消防署）



図1 建物平面図

実験に使用した建物は写真1で、この建物は、2世帯住宅用のモデルハウスとして建築された地上3階建て建築面積94.57㎡、延べ面積236.79㎡、屋根鉄板の色は黒色の住宅で、間取りについては図1のとおりである。

る。

2.4 測定方法

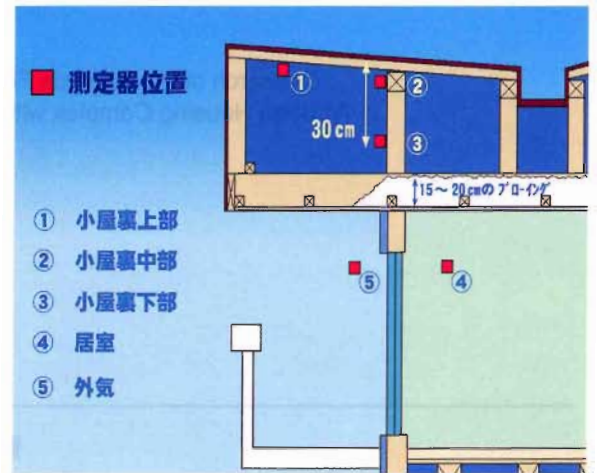


図2 測定位置

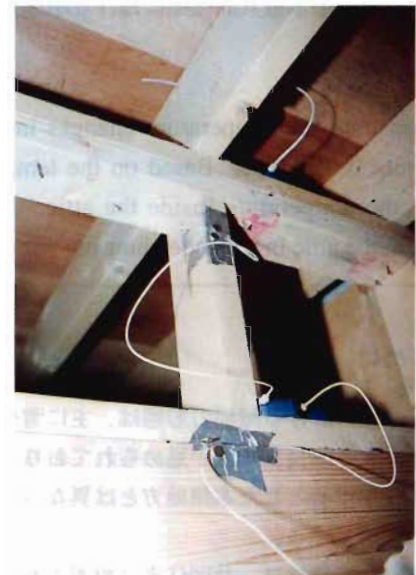


写真2 温度測定器の設置状況

測定位置は、図2のとおりで、小屋裏の上部、中央及び下部（中央から30cm下側）と小屋裏直下の居室及びベランダの合計5箇所である。

設置状況は、写真2のとおりで、Thermo Recorder おんどとりTR-52を設置し、5分毎に継続測定した。

3 実験の結果及び考察

(1) 最高気温及び最高気温平均

7月10日から8月30日までの間の気象庁発表の気温、実験建物のベランダの気温、室温、小屋裏の上部、中央及び下部の最高気温は図3のとおりである。

測定期間の気象庁発表気温の最高は、7月27日の

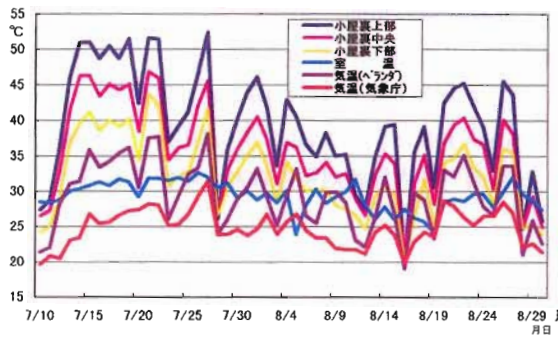


図3 最高気温の推移

31.5℃であり、平均では、24.8℃であった。また、30℃を超えた日は1日のみであった。

ベランダの最高気温は、7月27日の38.1℃で、平均では29.4℃であり、気象庁との差は、最高気温で6.6℃、平均では4.6℃であった。

室内の最高気温は32.6℃、平均では29.4℃であった。

小屋裏上部の最高気温は52.4℃、平均では39.4℃であった。小屋裏中央の最高気温は46.3℃、平均では35.7℃であった。また、小屋裏下部の最高気温は43.7℃、平均では32.2℃であった。

(2) 測定位置の違いによる最高気温差

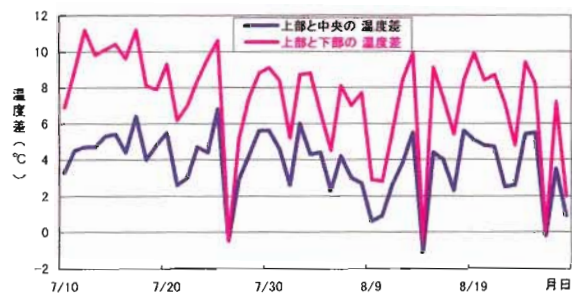


図4 測定位置の違いによる最高気温差の推移

小屋裏上部の最高気温から小屋裏中央及び下部の最高気温を引いた気温差は図4のとおりであり、上部と中央では、気温差の最高が6.4℃、平均が3.7℃となった。また、上部と下部では、気温差の最高が

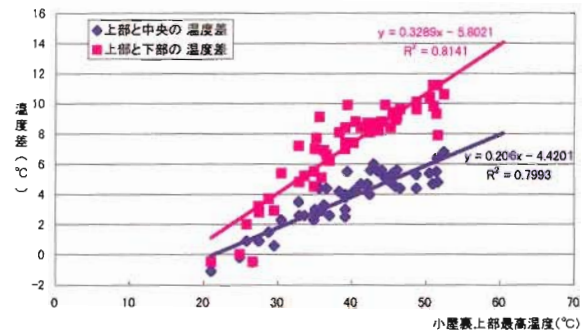


図5 測定位置の違いによる気温差と最高気温

11.2℃、平均が7.2℃となった。

また、気温が高温になるに従って気温差は大きくなる傾向が見られ、上部の最高気温と気温差との関係を図5に示すと、何れも1次関数において非常に高い相関性を示した。

- (3) 気象庁発表の最高気温と小屋裏上部の最高気温
ベランダの最高気温と小屋裏内部の最高気温とは1次関数において非常に高い相関性を示し、係数が1.58、 $r=0.94$ となった。

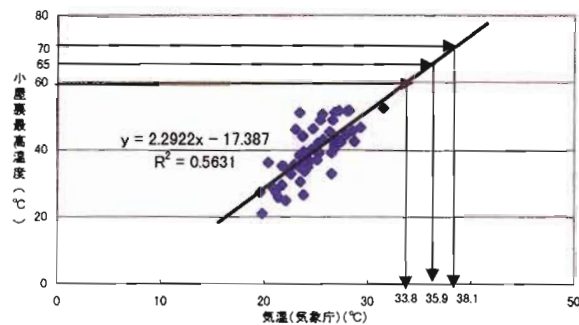


図6 気象庁と小屋裏上部の最高気温

そこで、気象庁発表の最高気温と小屋裏上部の最高気温の関係を示したのが図6であり、グラフから実験建物では、気象庁の気温が33.8℃で小屋裏内部の気温が60℃、気象庁の気温が35.9℃で小屋裏内部の気温が65℃、気象庁の気温が38.1℃で小屋裏内部の気温が70℃という結果となった。

(4) 1日の気温変化及び気温上昇

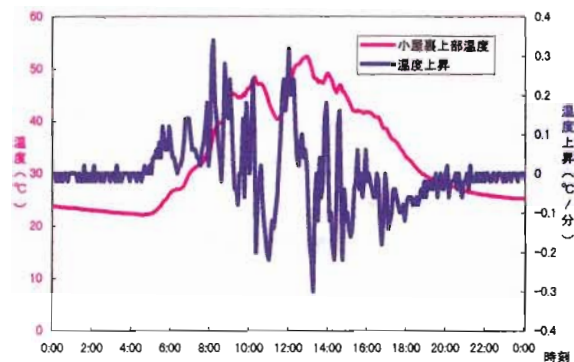


図7 1日の気温変化等

図7は、気温が最も上昇した7月27日の気温変化及び気温上昇を表したものである。この図では、気温上昇は午前6時頃から始まり午前10時頃に一端おさまったが再度、12時頃上昇していることが分かる。

また、気温上昇率は、最高で0.34℃/分である。

4 まとめ

小屋裏に設置されている定温式の感知器については、アンケート調査を実施すると、公称差動温度が60℃という回答もあった。

実験結果では、この温度では気象庁発表の気温が33.8℃に達すると発報することになる。

また、実験を実施した期間は比較的冷夏といえる年であったが、それでも小屋裏の気温が50℃を越える日が7日発生している。

このことから、定温式感知器を設置する場合は、最高周囲温度より20℃高い公称差動気温度70℃～75℃が適正である。

また、小屋裏感知器は冬場の結露による非火災報も気温上昇の次に誤発報の要因となっていることから、無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器の基本的な考え方は次のとおりである。

小屋裏の気温上昇は緩慢であり、定温式よりも差動式が適している。感度は鋭敏のものを避け1種を使用する。また、冬場の結露防止のために防水型が適している。

しかし、定温式感知器を設置する場合は、小屋裏内の気温が50℃を超えることから、公称差動温度が70℃～75℃にして、差動式同様に感度が鋭敏なものをさけ、防水型が適している。

また、これらが設置出来ない場合でも、野地板部分に感知器を設置することを避けることや屋根鉄板の色及び小屋裏の換気状態を良好にすることにより、非火災報が減少できる。

5 おわりに

自動火災報知設備及び維持管理については、設備関係者及び建築主等の関係者に対し、常日頃から適正な対応を指導しているところであるが、建物構造の特性による非火災報の多発により、一時的なベル停止状態が見られるなど、その機能の信頼性並びに早急な対応策が求められており、非火災報の削減に向けて積極的な運用を図るべく、この研究結果が、その一助となるように切に願うところである。

また、現行における感知器の選択基準には位置づけられていない「積雪寒冷地における感知器選択のあり方」として、一指標となることができれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 札幌市消防局予防課：自動火災報知設備の非火災報について、「火災」VOL.31 NO.5 1981
- 2) 高塚 てる彦：気象・天気知識、西東社 1999

3) 消防法施行規則：第23条

4) 消防予第240号（平成3年12月6日）：自動火災報知設備の感知器の設置に関する選択基準について

5) 消防予第148号（昭和61年11月6日）：自動火災報知設備の非火災報対策の推進上の留意事項について

バックドラフトに関する研究（その5）

区画模型床面付近の圧力測定

Research of Backdrafts (No.5)

Measurement of air pressure near the floor of a compartment model

橋本 好弘*

Hashimoto Yoshihiro

早坂 洋史**

Hayasaka Hiroshi

工藤 祐嗣***

Kudou Yuji

要 約

高気密性住宅の居室規模の火災において発生する可能性のある、バックドラフトの発生状況を把握するために、側面を耐火ガラスにした区画模型の床板からステンレス管を設置し、内部の圧力変化を測定しながら、燃焼実験を実施した。

この結果、燃焼の進展に伴う圧力変化及びバックドラフト発生時の圧力を把握することが出来た。

Summary

We conducted a combustion test in a compartment model with fire-resistant glass side walls. We attached a stainless tube to the floor of this model to measure changes in the air pressure inside the model. This test was conducted to learn under what conditions backdrafts were likely to occur with a fire in a room as large as a living room in a highly airtight house.

Through this experiment, we discovered how the air pressure changes inside buildings according to the spread of a fire, and measured the pressure when backdrafts occurred.

1 はじめに

消防科学研究所では、高気密性住宅における火災で発生する可能性のある、バックドラフト現象の発生性状を把握するために、平成6年度から開口部を有する区画模型を製作し実験を行ってきた。

その結果、平成6年度はバックドラフト現象を再現することに成功し、開口部から繰り返し火炎が噴出する現象が確認され、内部の温度及び酸素濃度変化等のデータが得られた。

また、平成7年度は内部の燃焼状況を観察できるように、側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置した区画模型を制作し、バックドラフト現象が発生する前後の内部の火炎状況を捉えることに成功するとともに、燃焼速度、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二

酸化炭素濃度の変化のデータが得られた。

さらに、平成8年度は内部の可燃性ガス等がバックドラフト現象の発生に関係していると思われることから、可燃性ガスの全炭化水素濃度及び、その成分としてメタン濃度を測定した。その結果として実火災においてバックドラフト現象が発生した時の、ファイヤーボールによる被害予測ができ、併せて燃焼形態の異なるゴースティング火炎及び開口部付着火炎などが観測された。

これらの火炎は、区画内部で発生する高温ガスと、流入する外気の圧力バランスの変化により、火炎の位置や形態が変化しながら発生していると考えられることから、「バックドラフトに関する研究（その4）札幌市消防科学研究所報1998No.5」（以下、「前報」という。）では、開口部における流出流入速度の測定を実施した。

この結果、急激な火炎の噴出の発生前には開口部気流速度の増大と減少が見られることが判明した。

* 消防科学研究所
** 北海道大学工学部
*** 北海道大学大学院工学研究科

そこで、今年度は、内部の圧力変化を測定するために、床板にステンレス管を設置して、圧力変化を測定したので、この結果を報告する。

なお、この実験は北海道大学大学院工学研究科空間形態学講座との共同研究として行ったものである。

2 実験の目的

前報と同様の前面に開口部を設けた区画模型を用いて燃焼実験を行い、内部の燃焼状況、温度変化、酸素濃度、可燃性ガス等の濃度変化及び開口部流量、さらに床面付近の圧力変化を測定することにより、燃焼の進展時の圧力変化や火炎噴出時の圧力を把握するとともに、バックドラフト現象の発生メカニズムを解明して消火活動の安全性及び警防戦術の向上に資することを目的とする。

3 実験の内容

3.1 日時

平成10年4月25日 13時30分～16時00分

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 温度及び湿度

室温23℃、湿度46%

3.4 実験方法

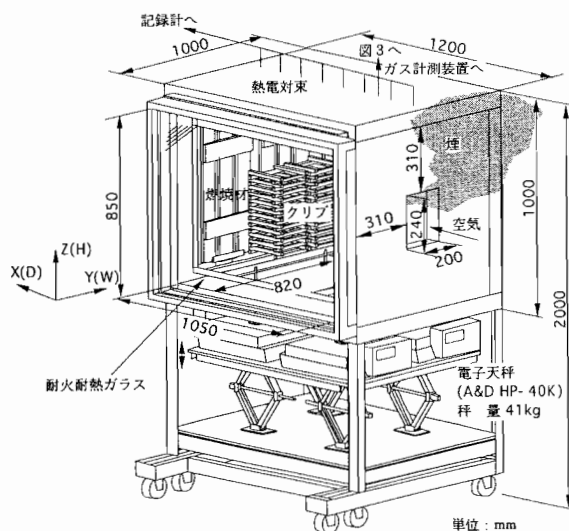


図1 区画模型外観

前報と同じ図1の区画模型を用いて、同じ要領でラワン材を燃焼材（短冊状のラワン材（20mm×20mm×

200mm）2.0kgを井桁状に組み込んだもの（以下、「クリブ」という。）として実験を行い、内部の燃焼状況をビデオカメラ2台により観測しながら、圧力及び前報と同様な測定を行ったものである。

3.5 区画模型の概要

(1) 寸法

図1は、区画模型外観であり、内寸は、高さH=850mm、幅W=820mm、奥行きD=1,050mm、開口部の大きさは幅200mm、高さ240mmとなっている。

(2) 材質

壁面は、耐火耐熱ボード2枚をケイ酸カルシウム板2枚で挿んだ部材を用いて壁体及び天井とし、さらにこの部分をランバーコア合板上に載せて底板とした。また、断熱性の確保と重量測定用鋼製枠の支柱の挿入穴からの空気漏れを防ぐため床面に耐火断熱材を敷いて、鋼製アングル材を用いたキャスター付きの枠台に組上げ製作した。

なお、開口部に向かって左側には耐火耐熱ガラス2枚を組み込んだ窓枠を設置して内部の状況を観察できるようにした。

また、気密性を保持するため、壁体、天井等の継ぎ目や隙間は、耐熱シーリング材やアルミテープでシールした。

3.6 測定方法及び測定機種

(1) 燃焼状況の観察

ガラスの反射及び煙の流入を防ぐために、正面の観察窓外側を暗幕で覆い、この内部にビデオカメラレコーダ（SONY CCD-VX1）を設置して燃焼状態を観察した。また、開口部から噴出する火炎を観



写真1 圧力測定管の設置状況

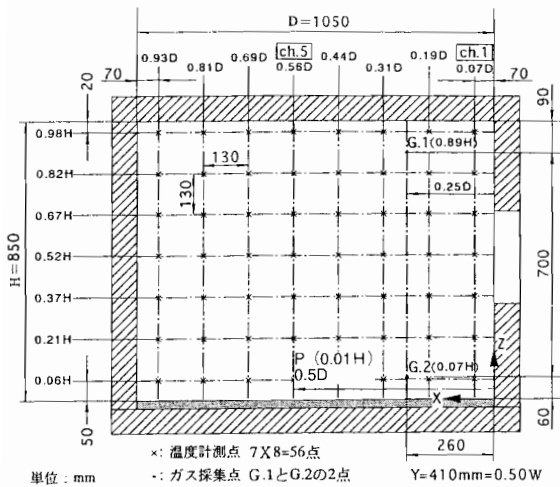


図2 測定点位置

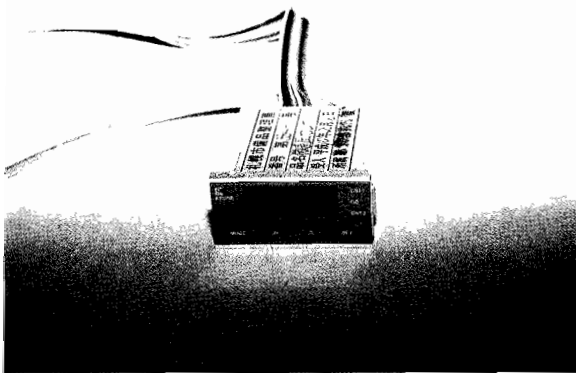


写真2 半導体デジタル微差圧計

察するために、さらにビデオカメラレコーダ (SONY CCD-VX1) を設置した。

(2) 床面付近の圧力の測定方法

区画模型内の底板を貫通させて内径2mmのステンレス管を写真1のように設置した。測定位置については図2の「P」で示しており、写真2の半導体デジタル微差圧計 (株)クロネクスKS2000C) で床面付近の圧力を測定した。

なお、測定点の位置はH (床面からの高さを天井高さで除したもの) 及びD (測定位置の開口部からの距離を区画奥行長さで序したもの) で表した。

(3) 燃焼速度の測定方法

区画内の底板を貫いている燃焼材を固定したアングル鋼製枠の3本の支柱を、区画模型下に設置した3台の電子天秤 (株)A&D HP-40K) で燃焼材の重量減少を1秒毎に計測して、燃焼速度を測定した。

(4) 区画模型内の温度の測定方法

区画模型内部の温度分布変化の測定は、7本のシース型K熱電対 (素線径1.6mm) を130mm間隔でずらして束ねたもの8本を区画模型中心線に沿って130mm間隔で区画天井から吊るした状態で設置し、図2に示すように、合計56点 (7×8=56) について測定した。

なお、各測定点の位置はH (床面からの高さを天井高さで除したもの) 及びD (測定位置の開口部からの距離を区画奥行長さで序したもの) で表した。

データの収録はハイブリッドレコーダ (日本電気三栄株)RD3500) で1秒毎に計測して、パソコンに収録した。

(5) 区画内模型内部のガス濃度の測定方法

区画模型内部のガス濃度変化の測定は、ステンレス製の導管 (内径4mm) を用い、図2で示す天井及び床面付近の2か所 (G.1, G.2) について内部の燃焼ガスを毎分0.6 dm^3 吸引し測定した。

酸素濃度については、ガルバニ電池式酸素計 (理研計器株)GD-F4A,OX-6321A) で、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度については、赤外線式ガス分析計 (理研計器株)RI-550A) で測定して、出力信号はハイブリッドレコーダ (日本電気三栄株)RD3500) で1秒毎に測定した。

全炭化水素濃度については、水素炎イオン化検出方式 (FID) 全炭化水素ガス分析計 (株)堀場製作所 FIA-510) で、メタン換算濃度として1分毎に測定した。

(6) 開口部における気流速度の測定方法

内径8mmと13mmの銅製を用いて2方向管を作成し、風圧差を差圧トランスデューサー (共和電業株)PDS-10GA) で検出して、増幅アンプ (共和電業株)CDV-230C) により測定した。

4 実験結果

4.1 燃焼の状況経過

実験の開始から終了までの45分間に、弱い炎の噴出が2回、強い炎の噴出が1回発生した。

点火後35秒、開口部から白煙が流出し始め、しだいに煙の量が増加し始めた。

点火後9分から2分間、区画内部の中性帯部分でゆったりとなびくように動く比較的暗い火炎、いわゆるゴースティング火炎が見られた。

点火後11分から22分までの11分間は、無炎燃焼を継続した。

点火後21分58秒、区画内部に急激に火炎が拡散して

1回目の火炎が噴出（弱い）し、その後無炎燃焼となった。

点火後23分42秒、2回目の火炎が噴出（弱い）し、その後開口部付着火炎が発生し5分間継続した。

点火後29分、開口部付着火炎が消失し無炎燃焼が2分間継続した。

点火後31分23秒、3回目の火炎の噴出（強い）した。

その後、前述のゴースティング火炎、開口部付着火炎及び無炎燃焼を継続したが、火炎の噴出現象は発生しなかった。

点火後45分00秒、実験を終了した。

4.2 床面付近の圧力変化について

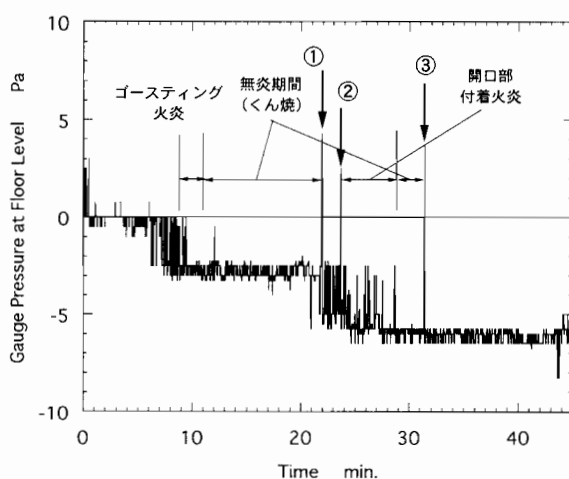


図3 床面付近の圧力変化

図3に床面における大気圧との圧力差（ゲージ圧）を示す。実験開始直後は区画内外の圧力差は小さいが、区画内ガスの温度が上昇するにつれて、床面付近の圧力は低下する。ゴースティング火炎発生までの時期は、開口流量が乱れており、0～-3 Pa程度で変動している。

ゴースティング火炎が発生する時期には、圧力変動は小さくなる。この安定した状態は無炎燃焼期間にも見られる。この時期、区画内の温度変動も比較的小さい。

実験開始後21分58秒に、1回目のバックドラフトが発生した。バックドラフトの発生により、床面の圧力は急激に上昇し、4.85Paに達した。それまでの負圧から正圧に転じたことから、バックドラフト発生時には外気の吸い込みはなく、開口部全面からの火炎噴出であると言える。

バックドラフト発生後、床面付近の圧力は-5 Pa程度まで低下し、その変動は大きくなった。実験開始後23分42秒は2回目のバックドラフトが発生した。この

ときの床面圧力は2.5Paに達した。

2回目のバックドラフト発生後、開口部付着火炎が見られた。この時期、床面圧力は低下し、-6 Pa程度の値を取った。また圧力変動も比較的大きかった。

3回目のバックドラフトは、31分23秒に発生した。床面付近の圧力は、3.75Paに達した。

4.3 燃焼速度の変化

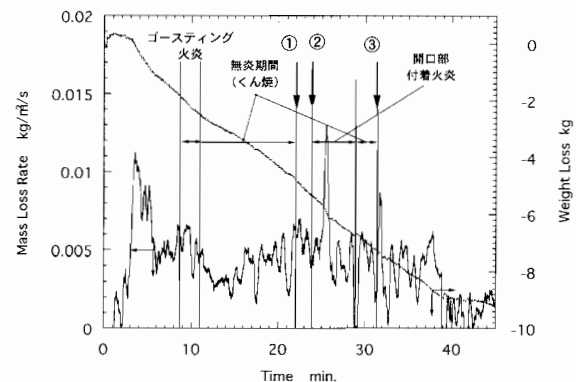


図4 燃焼材の重量変化及び重量減少量

図4に燃焼材の重量変化と時間当たりの重量減少量（燃焼測定）の変化を示す。燃焼材の重量変化は、実験終了時までには9.2kg減少しており、ほぼ一定の割合で減少している。

平均燃焼速度は、0.0034kg/sとなっている。

燃焼速度は、1、2回目のバックドラフト発生時にはほとんど変化は見られなかったが、3回目ではかなりの上昇が見られた。

4.4 区画模型内の温度変化

(1) 開口部付近

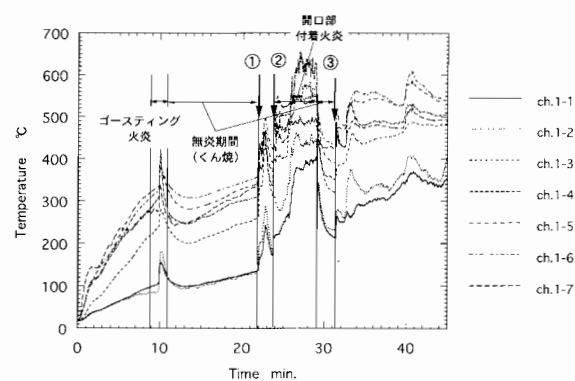


図5 開口部付近の温度変化

図5は開口部付近に設置した熱電対ch.1 (0.07D) の測定結果である。

点火後、滑らかに上昇を続けたが、点火後9分から11分のゴースティング火炎発生時、一時的に温度

が急上昇し、その後1回目のバックドラフト発生までさらに滑らかな上昇が続いた。

1回目及び2回目のバックドラフト発生時に温度は一時的に急上昇した。

点火後24分頃からの開口部付着火炎の発生時には温度の上昇は乱れるとともに、この間に最高温度を記録した。

点火後29分頃から温度は急激に低下、低下が緩慢になった後に3回目のバックドラフトが発生して、急上昇した。

また、バックドラフト発生時の温度の急上昇は、下部よりも上部が大きくなった。

その後、変動を続けながら、温度は上昇を続けた。

(2) 中央付近

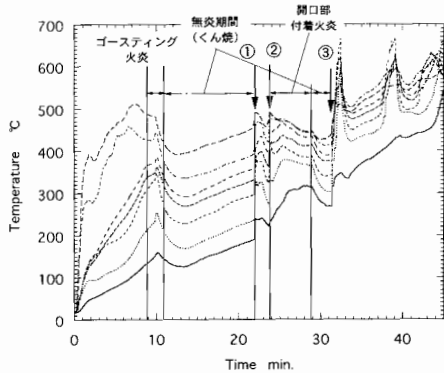


図6 中央付近の温度変化

図6は中央付近に設置した熱電対ch.5 (0.56D)の測定結果である。

中央付近は開口部付近に比べて温度の変動が少なく、全体的に滑らかになっている。

また、測定高さの違いが開口部付近に比べて均等化している。

4.5 区画内模型内部のガス濃度の変化

(1) 天井付近

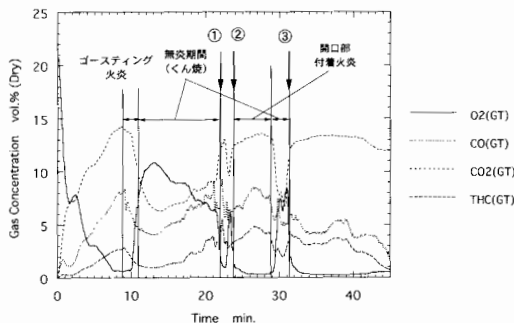


図7 天井付近のガス濃度変化

図7は、天井付近 (G.1:0.89H, 0.25D) の全炭化

水素濃度、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の測定結果である。

全炭化水素濃度は、点火後緩やかに上昇を続け点火後9分に2分間継続したゴースティング火炎時には減少を続けたが、その後の無炎燃焼時には上昇して、濃度が急上昇して4.5%を超えたところで、1回目のバックドラフトが発生した。

点火後9分、酸素濃度は急激に低下して1%以下となったことに伴い、一酸化炭素濃度が8.5%、二酸化炭素濃度は14.5%になりゴースティング火炎が発生し、以後2分間に酸素濃度は急激に上昇した。

その後、酸素濃度は緩やかに低下したが、点火後21分過ぎから急激に減少している時に1回目のバックドラフトが発生した。

(2) 床付近

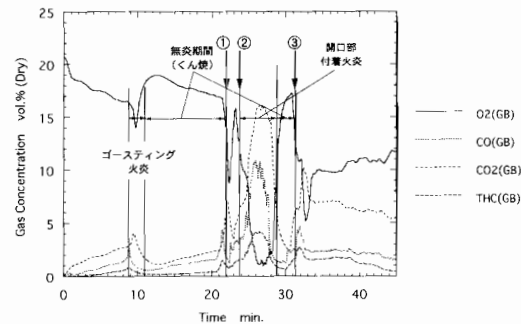


図8 床付近のガス濃度変化

図8は、床付近 (G.2:0.07H, 0.25D) の全炭化水素濃度、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の測定結果である。

全炭化水素濃度は、ほとんどが天井付近の半分の数値で推移しており、バックドラフト発生時は1~2%である。

酸素濃度は、天井付近と同様に低下しているが、天井付近に比べて、低下は少なくなっている。また、1回目のバックドラフト発生直前から急激に低下し、その後急上昇し、さらに急激に低下している時に2回目のバックドラフトが発生しており、この傾向は3回目も同様である。

4.6 開口部における気流速度の変化

図9は、開口部の流速測定結果を時定数60秒で移動平均化したものであるが、開口部気流の乱れによるノイズが強く、不適切であった。

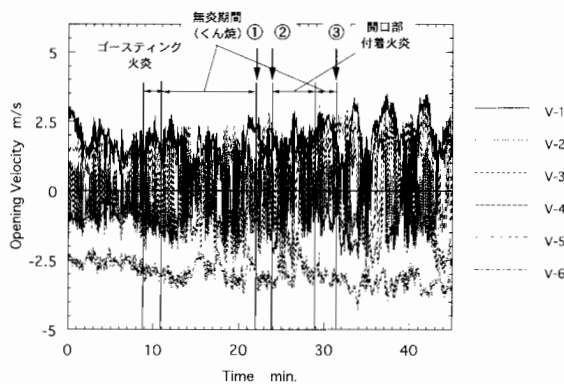


図9 開口部の流速変化

5 考察

(1) 圧力からの開口部流速及び質量流速の予想

Bernoulliの運動方程式から、速度 v は次のようになる。

$$v = \sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho} \quad (1)$$

ただし、単位は、流速 V (m/s)、圧力 P (Pa = N/m²)、空気密度 ρ とする。

(1)式から、バックドラフトの流速は1回目 3.53m/s 、2回目 2.64 m/s 、3回目は 3.40m/s となる。

また、開口を通る質量流速 m は、次のようになる。

$$m = \alpha A (2\rho \Delta P)^{1/2} \quad (2)$$

ただし、単位は、質量流速 m (kg/s)、開口の面積 A (m²)とする。

(2)式から、バックドラフトの質量流速は、1回目 0.0922kg/s 、2回目 0.0637kg/s 、3回目 0.0741kg/s となる。

(2) 床面付近の圧力変化

区画内で火災が発生すると、区画内のガス温度は上昇し、外界との温度差を生じる。温度上昇によって外部の空気と区画内のガスには密度差が生じる。区画に開口部があれば、密度差によって外部の空気が開口部下部から区画内に流入し、区画内のガスは開口部上部から外部に流出する。このような流れが生じた結果、区画内外には圧力差が生じる。

この圧力差は、床面付近のガス温度が 100°C 未満のゴースティング火炎発生前は変動しながら減少していったが、床面付近のガス温度が $100^\circ\text{C} \sim 140^\circ\text{C}$ の間のゴースティング火炎発生時や無炎燃焼の間では -2.8Pa で安定していた。

点火後20分過ぎに一時的に -6.0Pa となり50秒後に1回目のバックドラフト発生した。

これにより、急速に新鮮な空気が供給され、燃焼が活発化した。酸素濃度の低下により炎は消えて

2回目のバックドラフトが発生した。この間、 $-2.5\text{Pa} \sim -6.0\text{Pa}$ の間を激しく変動した。

その後、開口部付着火炎が6分程度発生し、下部の温度は 220°C から 405°C に上昇したが、圧力は $-2.5\text{Pa} \sim -6.5\text{Pa}$ の間を激しく変動した。

この後、2分程度無炎燃焼となり、この間に酸素濃度の上昇及び低下が見られ3回目のバックドラフトが発生したが、圧力は -6.2Pa 前後で安定しており、この状況は実験終了まで続いたが一時的に最高の -8.2Pa になった。

6 まとめ

今回の実験から、燃焼時の床面付近の圧力は、火災の進展に伴い徐々に減少し最高では -8.2Pa となった。

また、バックドラフト発生時の圧力は、 4.85Pa 、 2.5Pa 、 3.75Pa となり、流速に換算すると、 3.53m/s 、 2.64m/s 、 3.40m/s であり、前回の実験と同程度の規模となった。質量流速に換算すると、 0.0922kg/s 、 0.0637kg/s 、 0.0741kg/s となった。

今回の圧力測定結果及び前報までの研究結果から、次のようなことが判明した。

区画内で火災が発生すると、区画内のガス温度は上昇し、外界との温度差を生じ、密度差によって外部の空気が開口部下部から区画内に流入し、区画内のガスは開口部上部から外部に流出する。圧力の低下により、空気がさかんに供給され燃焼が活発となり、酸素濃度が低下して炎が消える。

これにより、開口部からの流出は低下するが、流入が増大することから、酸素濃度が再び増加して急激な火炎噴出、すなわち、バックドラフト現象が発生する。

7 あとがき

高気密性住宅における居室規模の区画火災でのバックドラフト現象のメカニズムを解明し、消火活動時の安全性及び警防戦術の向上を資するため、開口部を有する区画模型を製作、改良し、また種々の計測装置を作成しながら、バックドラフト現象の再現燃焼実験及び解析を行ってきた。

今後は、いままでの実験結果から、実火災規模でのバックドラフトの発生時期や開口部の影響等のシミュレーションを実施していく予定である。

【参考文献】

- 1) 「バックドラフトに関する研究」小島秀吉
札幌市消防局消防科学研究所報No.2 (1995)
P1～P16

- 2) 「バックドラフトに関する研究 (その2)」小島秀吉 札幌市消防局消防科学研究所報No.3 (1996)
P1～P17
- 3) 「バックドラフトに関する研究 (その3)」小島秀吉 札幌市消防局消防科学研究所報No.4 (1997)
P1～P18
- 4) 「バックドラフトに関する研究 (その4)」小島秀吉 札幌市消防局消防科学研究所報No.5 (1998)
P29～P37
- 5) 田中 孝義 「建物火災安全工学入門」, 日本建築センター, 1993

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

Review of Eco-Friendly Fuel Used for Fire Drills for Citizens

橋 上 勉*
Hashigami Tsutomu
大 友 達 哉**
Otomo Tatsuya

要 約

本市の火災予防業務の中で、市民防火指導の重要な効果を上げている消火器を使用した消火実験では、現在、灯油とガソリンを混合したものを燃料として火をつけて使用しているが、燃焼する際に黒煙を発生するとともに、実験後の残留物処理が大変であるなど、環境保全の上から問題となる点が見受けられる。

これの対策の一つとして、灯油・ガソリンの代替燃料としてイソプロピルアルコールを使用した燃焼実験を行った。

Summary

Fire drills in which local citizens are encouraged to use fire extinguishers have played an important role in this city's fire prevention guidance for citizens. At present, we burn a mixture of kerosene and gasoline as fuel in fire fighting exercises. This mixture has several problems from the viewpoint of environmental preservation. It namely produces black smoke when burnt and leaves stubborn residues that area troublesome to clean after exercises. To solve these problems, we conducted a combustion test with isopropyl alcohol as an alternate fuel for the mixture of kerosene and gasoline

1 はじめに

現在、本市において、事業所や町内会等の市民に対する防火指導を行う際、消火器の取り扱い操作方法を口頭で説明するだけでなく、実火災の臨場感を出す目的で、模擬火点としてオイルパン内で油分（水、灯油、ガソリンの混合油分）を燃焼させ、粉末消火器による消火実験を実施している。

しかしながら、都心部の事業所をはじめ、住宅街の一角に所在する公園等で実施する場合、燃焼時に発生する多量の黒煙、消火時に飛散する粉末消火薬剤及び実験後の残留物処理など、環境保全の観点から今後問題となる可能性があることから、代替燃料について検討する必要がある。

代替燃料の要件としては、

- (1) 炎の確認が容易であり、発煙量が少ない。
- (2) 燃焼生成物または残留物が環境に対して影響が少ない。
- (3) 消火実験用の消火器での消火が容易である。

* 消防科学研究所

** 予防部予防課予防広報係

- (4) 都心部などの狭い場所においても消火訓練を行うための取り扱いが容易である。

などが考えられることから、検討の結果、現在京都市消防局において使用実績があるイソプロピルアルコールを選択し、実験を行った。

2 イソプロピルアルコールの概要

(1) 物質特性

ア 消防法

危険物政令別表 第四類 アルコール類
指定数量～400ℓ

イ 化学式

$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$

ウ 性状

無色透明の液体でアルコール臭、水溶性、引火点11.7℃、発火点 460℃、比重0.79、蒸気比重2.07、融点-89.5℃、沸点82.4℃、蒸気圧32mmHg、爆発範囲 2.0～12.7%

エ 主な用途

医療機材の消毒、無機薬品の脱臭材、化粧品
の配合、ラジエーター冷却水の凍結防止

(2) 価格

500ml	～特級	620円	(1ℓ当たり)	1,240円)
	一級	570円	(1ℓ当たり)	1,140円)
14kg	～特級	6,940円	(1ℓ当たり)	392円)
(17.7ℓ)	一級	5,470円	(1ℓ当たり)	309円)

※ 特級と一級は純度の相違による。

3 実験内容

(1) 実験場所

消防科学研究所

(2) 実験日時

平成10年8月27日(木) 13時00分～16時00分

(3) 気象状況

天候～晴れ, 気温～26℃, 湿度～65%,
風向～東, 風速～6m

(4) 実験1

現行の模擬火点用燃料1ℓ(ガソリン 100ml, 灯油 400ml, 水 500ml)とイソプロピルアルコール1ℓをそれぞれ別の鉄製オイルパンに入れ,
ア 盛夏時の晴天下における炎の視認性
イ 発煙状況の観察
ウ サーモグラフによる温度分布の比較
について, 実験を行った。

(5) 実験2

実験1と同様の燃焼実験を行い, 消火器具として消火訓練用トレーナーを使用し, イソプロピルアルコールと現行模擬火点用燃料の両方を燃焼させて,

ア 消火薬剤を使用した場合と水を消火剤として使用した場合との消火効果の比較

イ 消火指導時における複数回の消火実験を想定し, 双方の燃料を使用した場合の再点火の容易性の確認
について, 実験を行った。

(6) 実験3

イソプロピルアルコール及びアルコール類として一般的なメチルアルコールを使用して燃焼状態を比較した。

4 測定方法

(1) イソプロピルアルコールと模擬火点用燃料をそれぞれ同じ量鉄製オイルパンに入れて, 燃焼時間及び燃焼状況などを記録し, サーモグラフにより温度を測定した。

(2) 消火訓練用トレーナーに消火薬剤と水をそれぞれ充填して使用し, 実際に消火実験を行い, 消火時間, 消火効果及び消火後の再点火の容易性について検証した。

5 実験結果及び考察

(1) 実験1の結果

ア イソプロピルアルコールの炎の視認性については, 写真1のとおりであり, 煙の発生が極めて少ない。このため, 晴天時の炎の視認性には模擬火点用燃料と比較して, 確認しにくい可能性がある。



写真1 イソプロピルアルコールの炎の視認性

イ イソプロピルアルコールの発煙状況は写真2のとおりであり, 煙はほとんど発生していない。

ウ サーモグラフによる温度分布については, イソプロピルアルコールと模擬火点用燃料を比較したが, 燃焼時の温度分布については, 大きな相違は認められない。(写真3・4参照)



写真2 イソプロピルアルコールの発煙状況



写真3 イソプロピルアルコールの燃焼時におけるサーモグラフの温度分布

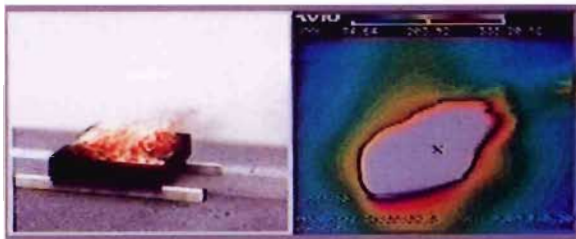


写真4 模擬火点用燃料の燃焼時におけるサーモグラフの温度分布

(2) 実験2の結果

ア イソプロピルアルコールを直接鉄製オイルパンに入れて燃焼させた場合、模擬火点用燃料と比較して、燃焼時間が短い(表1参照)ことから、イソプロピルアルコールを多量に消費するが、合板などの木材(以下「燃焼板」という。)にイソプ



写真5 燃焼板にイソプロピルアルコールを浸した場合の燃焼状況

表1 燃焼状況と燃焼時間の測定と推定価格

燃 料	計測時間	価 格
イソプロピルアルコール 500ml	4分15秒 (自然鎮火)	309円
灯 油 400ml 水 500ml を混合 ガソリン 100ml	6分00秒 (計測中止) 以降も燃焼は 継続	33円

※1 イソプロピルアルコールは一級14kg缶入価格

※2 ガソリン1ℓ=100円、灯油1ℓ=46円として計算

ロピルアルコールを浸して燃焼させてみると(写真5参照)、燃焼時間を現行の模擬火点用燃料とほぼ同じ位に延長させることが可能であった。

なお、燃焼板は若干の焼けは認められるものの(写真6参照)、繰り返し使用することは可能であった。

また、イソプロピルアルコールでは訓練用トレーナーに水を充填した消火器を使用して消火した後も再点火することは可能ではあった。

しかし、価格はイソプロピルアルコールの方が模擬火点用燃料より約10倍高価(表1参照)である。



写真6 燃焼板の燃焼後の状況

イ 消火薬剤と水のそれぞれについて消火効果を比較した場合、イソプロピルアルコールを燃焼させた場合は、消火薬剤で消火した方が燃焼面を不活性の石鹸状の泡で覆うため、消火効果は高く、消火時間は短い。また、水を使用した場合(写真7参照)には、消火時間は長くなるものの、完全に消火することができた。

さらに、現行の模擬火点用燃料を燃焼させた場合は、消火薬剤では完全に消火できるが、水による消火は危険物の燃焼であり、危険なことから実施していない。

なお、消火薬剤で消火した場合、イソプロピル



写真7 イソプロピルアルコールを燃焼させた場合の水による消火実験

アルコールを燃焼させた方が、現行模擬火点用燃料を燃焼させるより短時間で消火することができた。

また、消火後の再点火については、水による消火ではイソプロピルアルコールを燃焼させた場合、容易に点火することが可能であった。

しかし、消火薬剤による消火では現行の模擬火点用燃料を燃焼した場合、液表面が消火薬剤で覆われているため（写真8参照）、このままでは再点火することが困難な状態であったが、イソプロピルアルコールを燃焼した場合は、短時間で消火できることから、消火薬剤の使用量が少ないため、少量の消火薬剤が残っているだけであり（写真9参照）、再点火が容易な状態であった。



写真8 現行の模擬火点用燃料の消火後
※ 燃焼面が消火薬剤で覆われ、粘着状になっているために、再度点火することが困難である。



写真9 イソプロピルアルコールの消火後
※ 燃焼面には少量の消火薬剤が残り、イソプロピルアルコールが全て燃焼していないため、再度点火することが容易である。

(3) 実験3の結果

イソプロピルアルコール以外のアルコール類の燃焼状況を比較するために、アルコール類で一般的なメチルアルコールを燃焼させたが、青白い炎は上がるものの視認することは困難であった。（写真10参照）



写真10 イソプロピルアルコールとメチルアルコールの燃焼状態の比較

※ イソプロピルアルコールは炎を視認することができるが、メチルアルコールについては、炎を視認することができない。

6 まとめ

現行の模擬火点用燃料は燃焼する際に黒煙を発生するが、イソプロピルアルコールはほとんど煙を発生しない。このため、イソプロピルアルコールの場合、晴天時には燃焼状況が確認しにくい可能性も考えられる。また、煙がほとんど発生しないため、市民が消火体験訓練として行う場合、臨場感には少し乏しい

印象も予想できる。しかし、消火器の操作要領や消火効果を理解してもらうということに限定するのであれば、イソプロピルアルコールを燃料として使うことには支障はない。

さらに、イソプロピルアルコールは模擬火点用燃料と比較して、燃焼時間が短い点であるが、実際の消火体験訓練は即消火できる態勢を整えて、訓練を開始することと、点火後ある程度炎が大きくなれば、訓練を開始するため、燃焼時間の短さについては支障ない。

なお、イソプロピルアルコールは煙がほとんど発生しないため、環境保全には有効と考えられる。

また、同時に行った消火実験では、イソプロピルアルコールは消火薬剤と水を、模擬火点用燃料は消火薬剤をそれぞれ使用し、消火時間及び消火効果を比較した。

その結果、イソプロピルアルコールの燃焼では消火薬剤の方が消火能力は優れているが、消火薬剤が液表面に残ることから再点火しての再訓練については、水で消火した方が消火能力は劣るが、有効であると思われ、水で消火した場合は複数回の消火実験が容易に実施できた。

また、現行の模擬火点用燃料を燃焼した場合、水による消火は危険で実施できないことから、消火薬剤使用のみの消火であり、消火後は消火薬剤が液表面を覆うため、このまま継続しての複数回の消火実験実施は無理であった。

以上の結果から双方を比較すると、現行の模擬火点用燃料の場合、燃料本体の価格はイソプロピルアルコールの約10分の1と断然安価であり、燃焼時の煙も迫力があり、火災の臨場感が得られる。

なお、イソプロピルアルコールの引火点は11.7℃であるため、外気温が11.7℃以下になる秋から春にかけての消火訓練には着火しにくくなる。

しかし、イソプロピルアルコールは複数回の訓練実施が容易であり、煙がほとんど発生しないこと、さらに、消火剤として水を使用した場合は、消火薬剤の残留物が発生しないため、消火訓練終了後にはアルコール分を全て燃焼させれば、残る物質はほとんど水分になるため、その後の処理も容易になり、環境保全にも有効である。

さらに、ガソリンは引火点が-30℃以下とイソプロピルアルコールの引火点よりかなり低いため、取り扱いについては、危険性が增大することや、消火剤として使用する消火薬剤と水との価格差、消火訓練事前準備の消火器への充填の容易さ等を考慮すると、市民への消火体験訓練では燃料としてイソプロピルアルコールを使用し、消火器に水を充填しての消火が有効であ

ると考察する。

7 あとがき

イソプロピルアルコールについては、今後の市民防火指導時の消火実験等では有効であると考えられるが、長時間の燃焼を必要とする大規模な防災訓練などに使用するには不向きな場合も想定できる。

近年、札幌市も都市化に伴い、消火訓練を行う場所が少なくなっており、特に都心部においては高層化した防火対象物が密集しており、基礎的な消火訓練を行うことが難しくなっている。

また、住宅地における町内会の防火指導についても、場所を確保することが困難になっており、公園や空き地などを利用して消火実験を行っているが、公共の場所での火の使用については、今後理解を得ることが難しくなるものと考えられる。

この状況は、他の政令指定都市においても同様の状況にあり、関東地方の都心部では、消火訓練を行う際に火を使用せず、火点として看板などを利用し、水消火器により消火訓練を実施しているのが現状である。

しかしながら、火災に対する警戒心を喚起し、非常時における迅速で的確な対応を習得するためには、実際に火を燃やして消火するなどの訓練は必要であり、今後も継続して検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 「化学品安全管理データブック」化学工業日報社

静電気に関する調査・研究について

Research and Study on Static Electricity

橋上 勉*
Hashigami Tsutomu

要 約

可燃性ガスが発生している災害現場では、静電気の発生による放電は、引火・爆発事故につながる可能性がある。このようなことから、静電気に関する基礎的な調査を行うとともに、静電気発生装置により、静電気を人体に帯電させ、放電することによりメチルアルコールに着火するか実験を行った。

Summary

In disaster-stricken areas where combustible gasses are released, it is possible that the electric discharge of static electricity may induce fires or explosion accidents. Therefore, we conducted basic research on static electricity. The experiment was aimed to see whether methyl alcohol could be ignited or not if the human body discharged after it had been electrified with a static electricity generator.

1 はじめに

服を脱ぐとき、パチパチと放電したり、ドアのノブをつかもうとすると指先から放電するのは、静電気のいたずらで、気持ちのよいものではない。

気持ちが良い・悪いという程度ならまだしも、放電によって可燃性ガスに引火・爆発したり、人体がショックを受け転倒してけがをしたりする可能性がある。

このことから、静電気に関する基礎的な調査・研究を行いまとめたので報告する。

2 静電気とは

電気には正と負の2種類あるが、普通の物質には正と負の電荷が同じ量入っているため、電気的に中性であり電気を持たないのと同じ状態である。

すなわち、原子を構成する原子核の持つ正電荷とその回りを運動している電子の負電荷とが、1度打ち消しあって電気的に中性となっているのである。

しかし、このような中性の物質からなんらかの方法で電子の一部を奪うか、電子を受けると、電子を奪われた物質では、奪われた電子分だけ正電荷が余り、また、電子を受けた物質では受けた分だけ負電荷が余ることになり、それぞれの物質が帯電することとなる。

このように帯電していることを直流、交流のような動く電気と対比し、静電気と呼んでいる。

3 静電気の発生メカニズム

静電気は基本的には異なる二つの物質が接触し、さらに分離した時に発生する。

二つの物質が接触すると、図1のように、その界面で電荷の移動が起こり、正・負の電荷が相対して並ぶ電気二重層が形成される。

その後、物質が分離すると二つの物質にはそれぞれ極性の異なる等量の電荷が発生する。

静電気は同種の物質であっても表面の状態の違いにより接触、分離が起こると発生する。

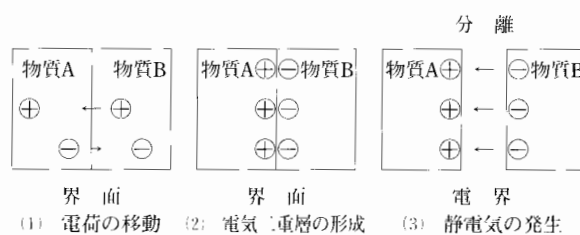


図1 静電気発生メカニズム

4 静電気の種類

(1) 摩擦帯電

摩擦帯電は物質が摩擦を起こした時、摩擦によって接触の位置が移動し、電荷分離が生じ静電気が発生する現象をいう。

摩擦帯電は接触、分離という発生過程を経て静電

* 消防科学研究所

気が発生する代表的な例であり、固体、液体、粉体類に静電気が発生するのは、主としてこれに起因している。

(2) 剥離帯電

剥離帯電は互いに密着している物質が剥離された時、電荷分離が生じて静電気が発生する現象をいい、着衣を脱いだときにバチバチ放電するのは、これに該当し、数万ボルトに達する場合がある。

(3) 流動帯電 (図2 参照)

流動帯電は液体をパイプ等で輸送した時、これに静電気が発生する現象をいう。

流動帯電は液体がパイプと接触すると、液体とパイプとの界面に電気二重層が形成され、この電気二重層を形成する電荷の一部が液体の流動とともに流れるため、静電気が発生するものであり、液体の流動速度が静電気の発生に大きく影響する。

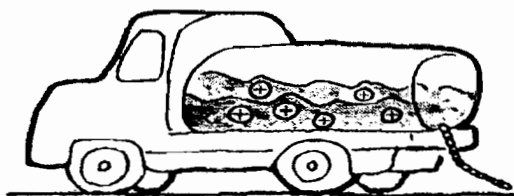


図2 液体と固体の摩擦 (流動帯電)

(4) 噴出帯電

噴出帯電は粉体、液体、気体が断面積の小さい開口部から噴出した時、これとの間に摩擦が生じて静電気が発生する現象である。

噴出帯電は開口部との摩擦だけでなく、液体、粉体同士の衝突及び細かく飛び散って飛沫状態になることも影響しており、一般的には後者の原因によって多くの静電気が発生する。

《水素ボンベからの噴出帯電》

水素ボンベは新しいときは内面がきれいであるが、約2か月充填工場との間を往復したものは若干のさびと水滴が認められるようになり、約1年以上使用したものは油と水の混合したねり状のよごれが付着する。

このようなボンベからガスが噴出すると、静電気が発生し、その放電により発火爆発する。

(5) 衝突帯電

衝突帯電は粉体のような粒子同士、又は粒子と固体との衝突によって素早く接触、分離が行われ静電

気が発生する現象をいう。

5 人体帯電の危険性

人体が帯電すると、可燃性ガスの着火源となる火花放電が発生する危険性がある。

物体が導体であると、これから放電が発生したとき、帯電物体のエネルギーは一度の放電で、ほぼすべてが放射される。

従って、静電エネルギー≒放電エネルギーの関係が成立する。

人体帯電が危険なのは、

(1) 人体は移動体で、動くことで摩擦により、服や靴に静電気が帯電する。

(2) 人体は電気的に導体で静電気を貯める容量が大きく、また、静電誘導により着衣などに帯電した静電気が人体に移り蓄積する。

着火エネルギーとは、可燃性物質の着火に必要なエネルギーのことで、放電エネルギーが可燃性物質の最小着火エネルギーより大きい場合、可燃性物質の着火が起こり、爆発・火災の原因となる。

表1 最小着火エネルギー

可燃性ガス	最小着火エネルギー (mj)
メタン	0.28
エタン	0.25
プロパン	0.26
ブタン	0.25
トルエン	2.50
ベンゼン	0.20
アセチレン	0.019
水素	0.019
メチルアルコール	0.215

表2 作業者の動作による帯電の例 (化繊の衣服、絶縁靴使用)

動作・作業	帯電電位 (v)	
	22°C, 30%	25°C, 60%
ソファから立ち上がる	3,000~5,000	1,000~2,000
衣服を脱ぐ	1,600~3,500	1,000~2,500
カーペット上の1分間歩行	1,000~4,000	500~1,000
塩ビタイル床上の1分間歩行	1,000~3,000	500~1,000
塩ビタイル床上で摺り足運動	1,500~3,500	500~1,500

6 静電気発生防止対策

(1) 作業者の帯電防止

作業服、履き物、床の3位一体による帯電防止が必要である。しかしながら、災害現場において床材を取り替えることは、不可能である。現実的には、作業服及び履き物に注意することになる。

ア 帯電防止作業服の着用による作業者の帯電防止
導電性繊維が混入された静電気帯電防止作業服（JIS T8118、静電気用品構造基準適合品）を使用する。

当消防局で使用の作業衣は、帯電電荷量が $7 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 未満（メタリアン糸 1本/3cm以上混入）でJIS基準に適合している。

使用上の注意としては、危険場所での脱衣の禁止、高周波機器への接近作業の禁止等である。

イ 履き物の導電化による電荷漏洩の促進（人体の接地）

静電気帯電防止用安全・作業靴（JIS T8103静電気用品構造基準適合品）を使用する。

当消防局で使用の革製作業靴は、靴一足当たりの電気抵抗値 R が $1.0 \times 10^5 < R < 1.0 \times 10^8 \Omega$ でJIS基準に適合している。

使用上の注意としては、絶縁性の敷物の使用禁止、特に厚手の靴下の使用禁止等である。

ウ 床の導電化による電荷漏洩の促進

(2) その他の帯電防止方法

ア 人体の接地による帯電防止（アースをとる）

除電用接地棒、接地手摺等による。

帯電電荷の漏洩効果が継続しないこと及び接触時に危険な放電が発生する場合もある。

イ 環境の多湿化による帯電防止

ウ 装備用品（手袋、ヘルメット等）の帯電防止

7 静電気による放電での着火実験

7.1 実験目的

静電気による放電でメチルアルコールを着火させ、着火エネルギーと放電エネルギーの関係を検証する。



写真1 静電気測定器



写真2 静電気発生装置



写真3 静電気発生装置に手を触れた状態

7.2 実験方法

(1) 床に発泡ウレタンを敷き、実施者の上着に帯電す

る電圧を静電気測定器（写真1参照）で測定し、7KV以上となるまで静電気発生装置（写真2参照）に手を触れる。（写真3参照）

ア 静電気測定器～シド静電気株式会社製

STATIRON-DH型

イ 静電気発生装置～株式会社マリス製 CUO型

- (2) 電圧が7KV程度になった時点で、静電気発生装置から手を離し、不動状態で鉄製の器に入っているメチルアルコールに指先を近づけ放電させる。（写真4,5参照）



写真4 メチルアルコールに指先を近づけた状態1



写真5 メチルアルコールに指先を近づけた状態2

7.3 実験実施日

平成11年1月21日

7.4 実験場所及び環境

- (1) 実験場所 消防科学研究所燃焼実験室
- (2) 実験環境 温度18.5℃, 湿度18.6%

7.5 着衣

作業衣, 作業ズボン, 運動靴

表3 実験結果

回数	帯電圧 (KV)	放電の		着火の		感想 (痛さ, しびれ等)
		有	無	有	無	
1	7.58	○	×	×		少し痛い
2	7.05	○	×	×		痛くない
3	7.01	○	×	×		少し痛い
4	7.01	×	×	×		
5	7.01	○	×	×		痛くない
6	7.00	○	×	×		少し痛い
7	7.00	○	×	×		痛くない
8	7.00	○	×	×		痛くない
9	7.00	○	×	×		痛くない
10	7.00	○	×	×		少し痛い
11	-7.00	○	×	×		痛くない
12	-7.00	○	×	×		痛くない
13	-7.00	×	×	×		
14	-7.00	×	×	×		
15	-7.00	×	×	×		
16	-7.00	○	×	×		少し痛い
17	-7.00	○	×	×		少し痛い
18	-7.00	○	×	×		少し痛い
19	-7.00	○	×	×		痛くない
20	-7.00	○	×	×		少し痛い
21	-7.00	○	×	×		少し痛い
22	-7.00	○	×	×		痛くない
23	-7.00	○	×	×		少し痛い
24	-7.00	○	×	×		少し痛い
25	-7.00	○	×	×		痛くない
26	-7.00	○	×	×		痛くない
27	-7.00	×	×	×		
28	-7.00	○	×	×		痛くない
29	-7.00	×	×	×		
30	-7.00	○	×	×		痛くない
31	-7.00	○	×	×		少し痛い
32	-7.00	○	×	×		痛くない
33	-7.00	○	×	×		痛くない
34	-7.00	×	×	×		
35	-7.00	○	○	○		非常に痛かった
36	-7.00	○	×	×		痛くない
37	-7.30	○	×	×		痛くない
38	-8.00	○	×	×		痛くない
39	-8.10	○	×	×		痛くない
40	-8.50	○	×	×		少し痛い
41	-8.70	○	×	×		少し痛い
42	-9.00	○	×	×		少し痛い
43	-10.00	○	×	×		痛くない
44	-10.00	○	×	×		痛くない
45	-10.60	○	×	×		痛くない
46	-12.00	○	×	×		少し痛い
47	-12.00	○	×	×		少し痛い
48	-12.00	○	×	×		痛くない
49	-12.30	○	×	×		痛くない
50	-12.30	○	×	×		非常に痛かった
51	-13.00	○	×	×		非常に痛かった
52	-13.80	○	×	×		痛くない
53	-15.00	×	×	×		
54	-15.00	○	×	×		少し痛い
55	-20.00	○	×	×		痛くない

7.6 実験結果

表3に実験結果を示し、また表4に人体帯電と電撃の関係の文献値を示した。

表4 人体帯電と電撃の関係 (文献値)

人体帯電電位 (KV)	電撃の程度	備考
1.0	全く感じない	
2.0	指の外側に感じるが痛みなし	かすかな放電音発生 (感知電圧)
2.5	放電した部分が針でさわられた感じ、ピクリとを感じるが痛くない	
3.0	チクリとした痛みを感じる 針で刺された感じを受ける	
4.0	指にかすかな痛みを感じる 針で深く刺された痛みを感じる	放電の発光をみる
5.0	手のひらないし前腕まで電撃を感じ痛い	指先から放電発光が延びる
6.0	指に強い痛みを感じ、電撃を受けた後腕が重く感じる	
7.0	指、手のひらに強い痛みと、しびれた感じを受ける	
8.0	手のひらないし、前腕までしびれた感じを受ける	
9.0	手首に強い痛みと、手がしびれた重みを感じる	
10.0	手全体に痛みと電気の流れた感じを受ける	
11.0	指に強いしびれと、手全体に強い電撃を感じる	
12.0	強い電撃で手全体を強打された感じを受ける	

7.7 考察

今回の実験における実施者の感想 (図3参照) として、「非常に痛い」3人 (5%)、「少し痛い」18人 (33%)、「痛くない」26人 (47%)、「放電なし」8人 (15%) となった。

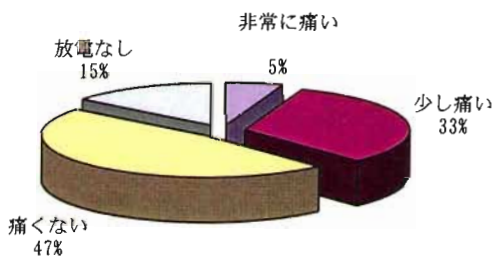


図3 実験者の感想

この結果をみると放電しているにもかかわらず「痛くない」と答えた人が約半数、「非常に痛い」と答えた人は3人おり、そのうち1人はメチルアルコールに着火させた。

そこで、放電エネルギーと着火エネルギーの関係について考察すると、理論上の放電エネルギーは

$$E = 1/2 QV = 1/2 CV^2 \quad \dots(1)$$

C (F) : 帯電体の電気容量

V (V) : 帯電電圧

で表される。着火した電圧値 $V = 7 \times 10^3$ (V) と人体の静電容量 $C = 100 \times 10^{-12}$ (F) として(1)式に代入すると放電エネルギー $E = 1/2 \times (100 \times 10^{-12}) \times (7 \times 10^3)^2 = 2.45$ (mJ) となる。

メチルアルコールの着火エネルギー0.215mJと比べ放電エネルギーの値は10倍以上もあり、メチルアルコールは理論上では着火するはずであるが、ほとんどの人が着火できなかった。

その理由として

- (1) 着火できなかった実施者の放電衝撃が弱いことから一度に全ての放電エネルギーが放出されず着衣などに残留したと考えられる。
- (2) 実施者の着衣は帯電防止用の作業衣であり、空気放電したことが考えられる。

8 まとめ

静電気の実験は、湿度の影響を受ける他、再現性が悪く、なかなかデータが既存の文献値のような結果が得られなかった。

本実験では、着火エネルギーの10倍以上の静電気 (放電エネルギー) で実験を行ったが、メチルアルコールに着火したのは、55人中のうち1人であった。

1人でも着火したことを考慮すると、静電気の危険性が否定されたわけではなく、可燃性ガスが発生している現場では、十分に注意をする必要がある。

今後は、静電気防止スプレー、アースキーなどの効果について調査し、このような静電気防止器具等が現場活動に活用できるか検討したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 「やさしい電気の手ほどき」 (株) 電気書院, 紙田公
- 2) 「静電気ハンドブック」 オーム社, 静電気学会編
- 3) 「静電気対策マニュアル」 オーム社出版局, 村崎憲雄監修, 二澤正行著
- 4) 「静電気」 培風館, 近藤聰信監修, 永田一清著

- 5) JIS T8118 静電気帯電防止作業服
- 6) JIS T8103 静電気帯電防止用安全・作業靴
- 7) セーフティニュース96年4月号

灯油とガソリンの混合比の分析について

Analysis of the Mixing Ratio of Kerosene and Gasoline

菅原 法之*
Sugawara Noriyuki

要 約

本市の火災原因の中で、灯油ストーブにガソリンを誤って給油し火災となる事例が毎年数件発生している。灯油にガソリンを混入した場合の混合比を灯油に含まれる軽油識別剤の検出方法より測定し、ガソリン誤給油が原因で発生する火災を防止するための基礎データを蓄積することができた。

Summary

Every year, a few fires occur in our city as a result of a kerosene stove being mistakenly refueled with gasoline. We mixed gasoline with kerosene, and measured the mixture ratio by detecting the gas-oil screening agent in the mixed fuel. We were then able to collect basic data to prevent fire accidents due to mistakenly refueling kerosene stoves with gasoline.

1 はじめに

危険物の流出事故、或いは危険物が火災原因になる件数は、毎年数多く発生している。特に本市は積雪寒冷地であることから、寒冷時期の暖房用燃料として灯油は欠かせない必需品となっており、毎年10月から4月までの7か月間は、ほとんどの家庭で暖房用として灯油を使用している。

さらに、最近アウトドアブーム、レジャーの多様化及び冬期の家庭用除雪機の普及により、一般家庭でも自家用車の燃料以外にもガソリンを取り扱う場合が増えてきている。

このガソリンを一般家庭で10リットルを超える量を貯蔵する場合、金属製容器で貯蔵しなければ火災予防条例違反となるが、実際はガソリン用の10リットルのポリ缶は製造されていないため、18リットルの灯油用ポリ缶で貯蔵し、灯油と同じ場所で保管している場合が見受けられる。

本来であれば、灯油とガソリンの区別は両者を比較してみると、臭いや色で明らかであるが、どちらかを確認せずに灯油用ストーブに誤ってガソリンを誤給油するケースがあり、火災発生の一因になっている。

2 軽油識別剤（クマリン）について

産業の機械化、ディーゼルエンジンの普及により軽油の需要が増えたことから、灯油やA重油をディーゼルエンジンの燃料にして軽油取引税を支払わず、「脱税軽油」として使用する場合が多くなったため、これらの脱税を防止するために、平成3年3月から灯油（A重油にも）に軽油識別剤（クマリン）を添加するようになり、この軽油識別剤の有無を確認することにより、容易に灯油と軽油の判別が可能になった。

この軽油識別剤として添加されているクマリンは、次のような無色の物質で、灯油及びA重油に1 ppm添加されている。

※ クマリン $C_9H_6O_2$ （ベンゾ- α -ピロン）
分子量 146.15 融点69℃ 沸点 290℃
引火点 151℃ 比重0.94

性 質 無色の結晶、板状または粉末、枯草を思わせる香気がある。桜の葉などに含まれている。アルコールによく溶けるが、水には微溶。

用 途 香料、各種調合、医薬製造。

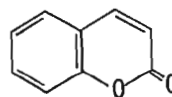


図1 クマリンの構造式

* 消防科学研究所

この結果、軽油識別剤は軽油と同様にガソリンにも添加されていないため、クマリン含有の有無によって、灯油とガソリンの判別が可能になった。

3 実験内容

(1) 実験場所

消防科学研究所

(2) 実験日時

平成11年3月8日(月) 9時00分～17時00分

平成11年3月16日(火) 9時00分～17時00分

(3) 温度及び湿度

室温～22℃、湿度～50%

(4) 測定方法

灯油にアルカリ水溶液とアルコール液を加えて振とうすると灯油中のクマリンは、アルコール液に抽出され、加水分解されてシス-O-ヒドロキシケイヒ酸になり水溶液中に抽出される。

これに紫外線を照射すると蛍光物質であるトランス-O-ヒドロキシケイヒ酸に異性化され、緑色の蛍光を発する。この蛍光波長を分光蛍光光度計で測定することにより、クマリン含有の有無がわかる。

※分光蛍光光度計 (写真1 参照)

日本分光株式会社 EP-750型



写真1 分光蛍光光度計

(5) クマリンの加水分解による一連の反応

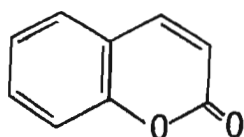


図2 クマリン

クマリンは、アルカリ液中で加水分解され、シス-O-ヒドロキシケイヒ酸になる。

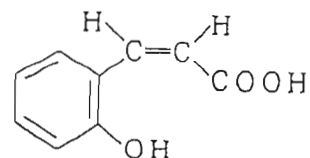


図3 シス-O-ヒドロキシケイヒ酸

この加水分解物を紫外線によって異性化すると、トランス-O-ヒドロキシケイヒ酸になり、緑色の蛍光を発する。

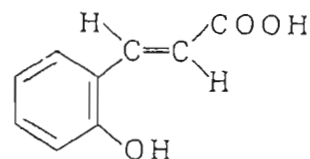


図4 トランス-O-ヒドロキシケイヒ酸

(6) 実験方法

ガソリンと灯油を混合し、異なる比率の11種類の混合液10mlにn-ドデカン90mlを加え、さらに、アルカリ液(水酸化ナトリウムと硝酸ナトリウムの混合液) 5mlとアルコール液(1-ブタノールとエタノールの混合液) 17.5mlを加え、5分間振とう後10分間静置すると、この溶液は上層が油層、中層がアルコール層、下層がアルカリ層の三層に分離する。

この下層のアルカリ層を採取し、蒸留水で10倍に薄め、石英セルに採取し、分光蛍光光度計に装着して360nmの紫外線を5分間照射し、異性化させる。その後360nmの紫外線で励起した時の500nm付近における蛍光強度を分光蛍光光度計により測定し、それぞれ比較した。

4 分光蛍光光度計によるクマリンの測定結果

ガソリンと灯油を混合させ、その混合比率を変え、分光蛍光光度計で測定した結果を表1及び図5～図7に示す。ガソリン100%と灯油100%のスペクトルは明らかに異なった形状を示している。クマリンを含有する灯油100%は、蛍光波長500nm付近に紫外線で異性化されたトランス-O-ヒドロキシケイヒ酸の蛍光波長が現れ、ガソリンの比率が増加するに伴って、この蛍光波長が小さくなっている。

表1 ガソリン・灯油の混合比率を
変化させた時の蛍光強度

実験 番号	割 合		蛍 光 強 度
	灯 油	ガソリン	
1	0	10	14.2606
2	1	9	40.9472
3	2	8	64.3887
4	3	7	110.0954
5	4	6	154.4911
6	5	5	182.4472
7	6	4	202.2803
8	7	3	272.4697
9	8	2	288.8339
10	9	1	341.0707
11	10	0	361.9796

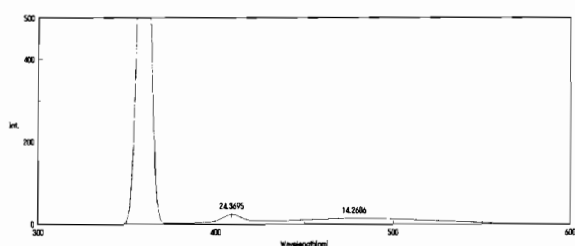


図5 実験1

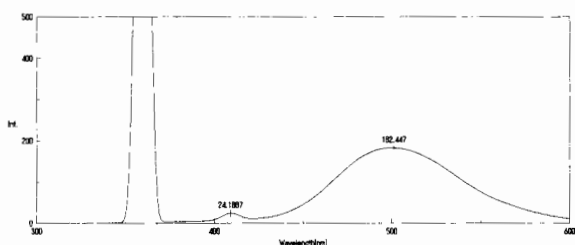


図6 実験6

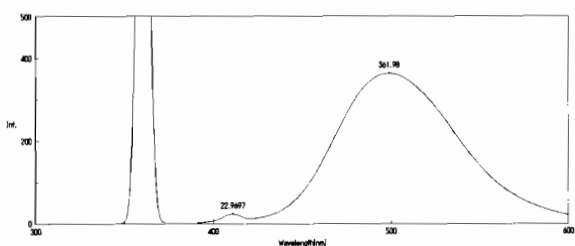


図7 実験11

5 まとめ

今回の実験結果からクマリンを含有する灯油の割合を増加していくと、蛍光強度も増加するという実験結果が得られた。

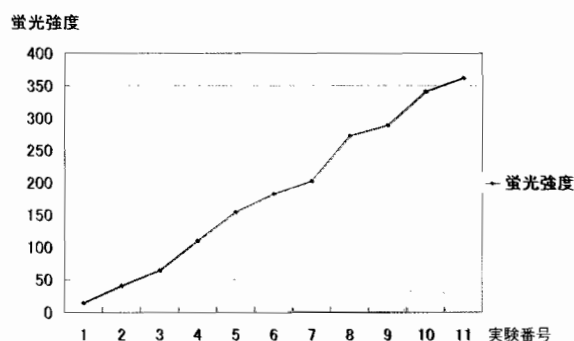


図8 ガソリン灯油の混合比率の変化による蛍光強度の変化

図8を見ると、試料調整誤差等によると思われるグラフの点が一部直線からずれている点はあるが、正比例的な相関にあることがわかる。

今後においては、厳密な同一条件下（抽出時間、静置時間、薬剂量等）で実験を行うことにより、分析精度の向上を図り、ガソリンと灯油の割合を測定することができるよう、経験を積み重ねることが必要である。

なお、クマリンが含まれていないガソリン100%についても蛍光波長500nm付近で若干の蛍光強度が得られることから、灯油濃度の薄いものの分析については、検討を加える必要があると思われる。また、蛍光分光光度計を使用した他の応用についても検討を重ねていく必要がある。

【参考文献】

- 1) 「消防科学研究所報 平成10年35号」
東京消防庁消防科学研究所
- 2) 「軽油識別剤標準分析方法」全国石油協会
- 3) 「知っていますか『石油の話』」大日本図書
- 4) 「化学大辞典」共立出版

放射性物質等に関する基礎知識

Basic Knowledge about Radioactive Materials etc.

1 根拠法令等

- (1) 放射性同位元素等による放射線障害防止に関する法律
- (2) 放射性同位元素等による放射線障害防止に関する法律施行令
- (3) 放射性同位元素等による放射線障害防止に関する法律施行規則
- (4) 原子力基本法
- (5) 核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令

2 放射線と放射能

- (1) 放射能とは、物質が自発的に放射線を放出する性質をいい、物理量としては不安定核種（地球上に天然に存在するものは62種類）の単位時間当たりの崩壊率として定義されている。

単位はベクレル（SI単位）で、放射性物質の量（放射能の強さ）を表している。

- (2) 放射線とは、原子内の電子を電離する作用を持つものをいい、自然放射性元素から放出される α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線のほか、これらと同程度以上の運動エネルギーをもつX線、中性子線などをいう。

α 線～ヘリウム原子核の粒子の流れをいい、透過力が弱く、線源から数cmの空気層、また薄いゴム手袋で十分遮断される。

β 線～放射性核の β 崩壊による電子または陽電子放射線をいい、通常エネルギーの β 線は1cm程度のプラスチック板で遮断される。

γ 線～波長の短い電磁波で、中性子とともに遮蔽の中心課題となるもので、透過性が高く、鉛またはコンクリート等により、できるだけ線源近くで遮蔽を行う必要がある。

3 ウラン（U）

天然に産出するウランは、2種類の同位元素 ^{235}U と ^{238}U から構成されており、天然ウラン中の ^{235}U の存在比は0.713%と少なく大部分は ^{238}U である。原子炉内で核分裂反応を行うのは ^{235}U であるが、 ^{238}U も中性子を吸収して ^{239}Pu （プルトニウム・天然には存在しない）になり、核分裂を行う燃料となる場合がある。高速増殖炉はこのような潜在性核燃料物質としての ^{238}U の有効利用を図るものである。

4 放射線の単位

放射線を取り扱うにあたっては、その使用目的により多くの単位が使用されているが、通常よく使用される単位としては表1のようなものがある。

表1 放射線の単位

項目	SI単位	表示内容
放射能	ベクレル (Bq)	放射性物質の量(放射能の強さ)を表す
照射線量	クーロン (C)/kg	放射線場の強さなどを表す
吸収線量	グレイ (Gy)	放射線を照射した物質の単位質量あたりに吸収される放射線のエネルギー量を表す
線量当量	シーベルト (Sv)	人間が受ける放射線の量を表す

5 放射線の人体への影響

放射線の人体に及ぼす影響には、放射線を浴びた本人に限定される身体的影響と、子孫に現れる遺伝的影響がある。

(1) 身体的影響

ア 全身が放射線を受けた場合

全身が比較的短期間に放射線をあびると急性放射線症を起こす。大まかに1～10Sv（シーベルト）で造血器官の障害を起こし、10Sv程度で骨髄死により生命が失われるとされている。

そして、10～15Svでは胃腸管の内表面粘膜の損傷による腸死、そして数十Sv以上では中枢神

経の損傷により生命が失われるとされている。

イ 皮膚に対する影響

皮膚の放射線被ばくでは、皮膚表面から約70 μ mの深さにある細胞分裂を起こす基底層の受ける線量が問題となる。

1回照射によるX線及び β 線の線量と障害との関係は、3～5Gy（グレイ）で脱毛、6～8Gyで紅斑や色素の沈着、7Gyで水泡の形成、10Gyで潰瘍形成がみられるとされている。

ウ 白内障の発生

医学的に問題となるような白内障は、X線の場合7.5Gy以上の線量によって起こるといわれている。

特に中性子は γ 線、X線に比べ白内障を起こしやすいといわれている。

エ 胎児に対する影響

胎児は身体の臓器がまだ十分にできあがっておらず、放射線に対する感受性が一般に高く、放射線量がある程度以上高いと奇形が産まれるといわれている。

オ 悪性腫瘍の発生

放射線被ばくから悪性腫瘍の出現までの潜伏期は器官組織により異なり、2～30年あるいは一生に及ぶ可能性があるといわれている。

白血病の場合は潜伏期が短く、2～25年であるとされている。

悪性腫瘍は被ばくした人々の全員に発生するのではなく、小さな確率でそのうちの何人かの人に発生するといわれている。

(2) 遺伝的影響

遺伝的影響については、はっきりとしたものはなく、1980年にアメリカ研究審議会が、また1986年に国連科学委員会が、ある程度の障害発生の推定値を出している。

また、国際放射線防護委員会（ICRP）が子孫に現れる重大な遺伝的疾患の評価を実施し、ICRPのリスク係数として採用されている。

(3) 線量当量限度

ICRPが放射線防護の観点から考えた新しい防護基準である。（表2参照）

現在、国際的に最も妥当といわれているもので、

わが国の法令にも採用されている。

表2 線量当量限度（単位：mSv/年）

線量当量の区分	実行線量当量	水晶体の組織線量当量	水晶体の以外の組織線量当量	緊急作業の実行線量当量
放射線作業員	50	150	500	100
公衆	1	50		

6 放射線の防護

放射線被ばくを防ぐためには、

- (1) 放射性物質から距離をとること。
 - (2) 放射線を遮蔽すること。
 - (3) 放射線にさらされている時間を短くすること。
- である。

点状の線源の場合、線源からの距離の2乗に反比例して線量率は減少する。つまり、距離が2倍になれば1/4になる。

表3 全身照射を一時的に、受けた場合の障害（外部被ばく）

被ばく量 Sv (シーベルト)	障 害
0～0.5	わずかな血液変化を除いては明白な影響なし
0.8～1.2	5～10%の人が1日吐き気、おう吐、疲労を感じるが行動に重大な支障はない
1.3～1.7	25%の人が1日吐き気、おう吐が続き、その他の放射線病の症状。死亡の可能性なし。
1.8～2.2	約50%の人がほぼ1日吐き気、おう吐が続き、その他の放射線病の症状。死亡の可能性なし。
2.7～3.3	全ての人が最初の1日に吐き気、おう吐が続いて、その他の放射線病の症状。照射を受けてから2～6週間以内に約20%が死ぬ。生存者は約3か月で回復
4～5	全ての人が最初の1日に吐き気、おう吐が続いて、その他の放射線病の症状。1か月以内に50%死亡、生存者は回復までに約6か月かかる。
5～7.5	全ての人が4時間以内に吐き気、おう吐が続いて、その他の放射線病の症状。100%まで死ぬことがある。少数の生存者は回復まで約6か月かかる。
10	全ての人が1～2時間以内に吐き気、おう吐、おそらく放射線病をのりこえて生存するものはいない。
50	即座にすべての行動能力を失う。1週間以内に全員死亡

また、放射線は物質中を通過するときに吸収され弱くなる。従って、距離をおくことや鉛、コンクリート、水等で遮蔽することにより線量率を低下することができる。

さらに、放射線による障害は被ばくした線量の総計による部分があるため、線量率の高い場所に長く居るほど障害も大きくなる。従って、高線量率の場所にとどまる時間を短くすることにより障害を防止することが可能である。

7 放射性物質の利用

放射線を利用した機器は、工業用の非破壊検査装置、厚さ計、レベル計から民生用の夜光塗料、煙感知器に至るまで数多くの種類がある。

表4 放射性物質の利用

利用機器	放射線物質
非破壊検査装置	イリジウム192、コバルト60、セシウム137
厚さ計	炭素14、プロメチウム147、クリプトン85、タリウム204、ストロンチウム90、アメリシウム241、セシウム137、コバルト60
レベル計	コバルト60、セシウム137
密度計	コバルト60、セシウム137
蛍光X線分析装置	鉄55、アメリシウム241、プルトニウム238、カドミウム109、コバルト57
水分計	アメリニウム241+ベリリウム、カルフォルニウム252、ラジウム226+ベリリウム
ガスクロマトグラフ(ECD)	ニッケル63、水素3
煙感知器	アメリシウム241
発光塗料	プロメチウム147、水素3
心臓ペースメーカー	プルトニウム238、プロメチウム147
ガン治療	コバルト60、リン32
レントゲン検査装置	エックス線発生装置

8 汚染除去

身体汚染で特に気をつけることは、皮膚を傷つけないことである。

(1) 手の除染

中性粉石けんを汚染箇所にもふりかけ、水でぬらしてブラシで軽くこすりながら、大量の流水で洗い流す。温水が良い。

それで除染できないときは、酸化チタンペーストを十分塗りつけて2～3分放置し、水をしみ込ませたガーゼでペーストをとり、残ったペーストをハン

ドブラシでこすり、流水で流す。

(2) 顔の汚染

息を止めて手が汚染したときと同様に顔を洗う。目と口に注意する。毛髪の汚染は十分なシャンプーと流水で洗い流す。

その際、耳や目、口に汚染が入らないようにする。

(3) 傷口、目の除染

傷ついた皮膚が汚染したときは、15秒以内（血液循環速度からの制約）に大量の水で洗い流す。このとき傷口をひらき、血をしぼり出すようにする。

目に放射性物質が入ったときは、ただちに大量の流水で洗う。また目を洗うと鼻を通して呼吸器や口に入る場合があるから注意を要する。

9 臨界事故とは

一定以上の量の核分裂性物質が集まると、核分裂で生じた中性子がさらに分裂を招き、核分裂が持続的に進む状態になる。これを臨界という。核分裂性物質を取り扱う際はあらゆる工程で核分裂性物質が集まる量を制限する「臨界安全管理」が必要になるが、誤って物質が集中してしまうと発熱、物質の溶融や爆発などに至る臨界事故に発展する。

臨界の仕組み



図1 臨界の仕組み

10 市内の放射性同位元素使用施設

研究所、試験所、検査所等	24
大学等教育期間	13
民間工場、作業場	13
病院など医療機関	9
自衛隊	2
計	61

11 消防装備測定器具等

(救助隊10隊合計)

放射線測定器	10
放射線防護服	35
線量計	35



写真1 放射線防護服

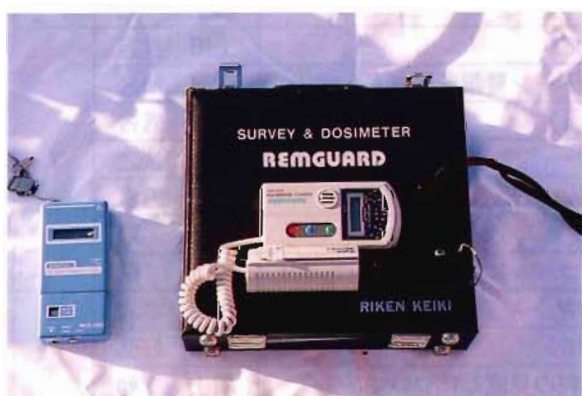


写真2 線量計（左）と放射線測定器（右）

【文責 上田】

参考文献：放射線のやさしい知識（オーム社）

研究実績表（消防科学研究所報掲載）

年度	所報 No	分野	研究テーマ	研究担当者	件数	
平成5年度	No.1	燃焼	耐火煉瓦と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 ₃) ₂ CHO.PFCH ₃] 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）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	硬質発泡ウレタンと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				
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 情報	静電気に関する調査・研究について	橋上 勉		1
			放射性物質等に関する基礎知識	上田 孝志		

平成12年 3月発行

消防科学研究所報 (1999 No.6)

編集・発行 **札幌市消防科学研究所**
〒063-0850
札幌市西区八軒10条西13丁目3番1号
☎ (011) 616-2262
印刷 **富士プリント株式会社**

市政等資料番号	01-P00-99-845
---------	---------------

