

# 消防活動・隊員の安全管理に 関する技術改良・検証

# 延焼する室内に対する効果的な放水方法の検証

(中性帯が発生している場合の放水方法)

木田 哲夫\*, 山越 靖之\*\*, 町井 雄一郎\*

## 概要

消防活動時における火災初期の人命検索において、中性帯の発生による火災室下部の空気層は、内部状況の把握に有効である。しかし、検索活動時の放水は、中性帯を破壊し、高温層を降下又は攪拌させ、消防隊員や要救助者の受傷事故につながるおそれがある。

本検証では、中性帯発生時の屋内進入の安全性向上を目的とし、放水による火災室内の状況変化を確認するため、8畳程度の火災室を用いてクリブを燃焼させ、放水条件を変えて消火実験を行った。

その結果、放水による空気の流入が多い霧状90°で連続放水した場合、一旦は発熱速度が上昇し、燃焼物付近の視認は困難となるが早く改善され、火災室内の冷却効果も大きいことが分かった。

## 1 はじめに

火災初期では、火災室上部に燃焼により生成された煙などによる高温層と火災室下部に空気層が形成され、2層に分かれる特徴がある<sup>1)</sup>。外部の空気は火災室下部を通過して流入し、内部の高温層は火災室上部を通過して流出する。消防活動時における火災初期の人命検索において、中性帯の発生による火災室下部の空気層は、内部状況の把握に有効である。しかし、検索活動時の放水は、中性帯を破壊し、高温層を降下又は攪拌させ、消防隊員や要救助者の受傷事故につながるおそれがある。従って、放水による火災室内の状況変化を把握すること、及び放水後も活動隊員の視界を確保することは、安全性向上のために必要である。

このことから、本検証では、中性帯発生時の火災室における屋内進入の安全性向上を目的とし、ガンタイプノズル（以下、「ノズル」という。）による放水時の火災室内の状況（①室内の視認状況、②室内の温度、③燃焼物の発熱速度など）の変化を確認するため、放水条件を変えて実験を行った。

また、一般に中性帯とは、その流入する空気と流出する高温層との境界で両空間の圧力差が0となる高さの水平面をいう<sup>2)</sup>が、本検証では、当庁の消防活動に倣い、写真1に示すような高温層と空気層の2層が形成されている状態をいうこととする。



写真1 火災室（中性帯）

## 2 実験設定

### (1) 火災室（写真2、写真3、図1、図2）

使用した火災室（内寸：幅3600mm、奥行3800mm、天井高2000mm）は、床面のALC板（厚さ：37mm）の上に鋼製単管で梁、柱を組み、内壁及び天井材として、ALC板を貼り付けた構造である。また、壁や天井の目地は、耐火モルタルで埋めて隙間を無くした。正面には、開口部（幅600mm、高さ1750mm）を1箇所設置した。



写真2 火災室（俯瞰図）

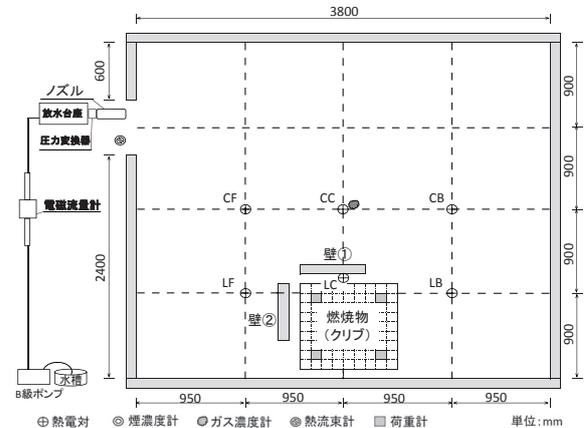


図1 平面図

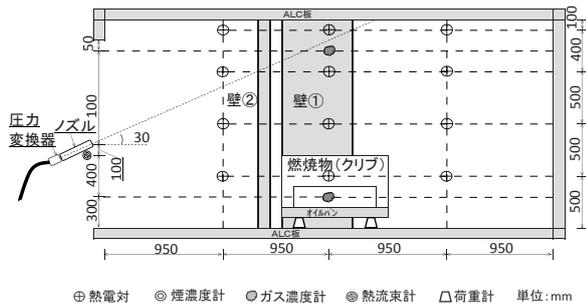


図2 立面図

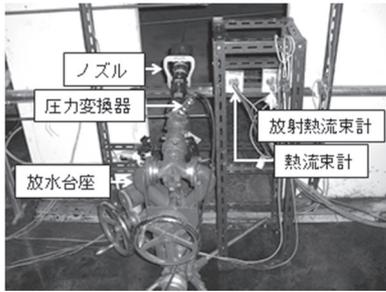


写真3 開口部の設定状況

(2) 放水装置等 (写真3、図1、図2)

放水装置は、ポンプから口径65mmホース(20m)を2本延長し、電磁流量計、放水台座の順に設定し、筒先にはノズル(ノズル元圧の仕様:0.5MPa)を、床面からの高さ800mm、仰角30°で取付けた。

(3) 燃焼物 (写真4、図1、図2)

燃焼物は、床面から約900mmの高さに中性帯を発生させることを事前に確認した大きさのクリブとした。クリブは、放水が直接かからない位置に1箇所設置し、クリブの周囲にはALC板の壁(厚さ37mm、幅600mm、高さ2000mm)を2箇所設置した。



- ・クリブ
- ・杉の気乾材(900×35×30(mm))、計58本。
- ・井桁状に6段組み。
- ・表面積6.42㎡

写真4 クリブ

(4) 測定

測定は、表1に示すとおり、火災室内の温度(図1、図2中、⊕印の高さh=1900、1500、1000、500mmの位置、計24点)、クリブ重量減少速度等について行った。

また、ビデオカメラで開口部の状況、火災室内の状況をそれぞれ撮影した。

表1 測定項目等

測定項目	測定位置	測定機器
火災室内部温度	h_1900mm, 1500mm, 1000mm, 500mm	熱電対(素線径0.32mm)
開口部熱流束値	h_710mm	熱流束計
重量減少速度	オイルパンの下4点支持	荷重計 共和電業製
火災室内部酸素濃度	火災室中央 h_1700mm, 300mm	赤外線ガス分析計 富士電機製
ノズル元圧力	ノズル根元結合金具	圧力変換機 定格容量2MPa 共和電業製 PG-20KU
放水流量	ノズルとポンプの間	電磁流量計 愛知時計電機製
開口部及び室内の状況	開口部付近	ビデオカメラ

3 実験方法

(1) 放水条件

実験は、表2に示す放水条件のとおり、2種類の放水手法と4種類の放水形状を組合せて行った。また、ノズルの流量切替ダイヤルは、当庁の消防隊が耐火造の建物火災で使用する値である2400/分に設定した。

表2 放水条件

実験No.	放水手法	放水形状
自由燃焼		
実験1	連続	棒状
実験2	間欠	棒状
実験3	連続	霧状 30°
実験4	間欠	霧状 30°
実験5	連続	霧状 60°
実験6	間欠	霧状 60°
実験7	連続	霧状 90°
実験8	間欠	霧状 90°

※連続放水の場合は、60秒間連続して放水する。  
 ※間欠放水の場合は、5秒間放水した後、5秒間放水停止する動作を120秒間(12回)繰り返して行う。  
 ※放水形状の角度は、ノズルの放水展開角度である。

(2) 実験手順

実験は、表3に示す実験手順で行った。

表3 実験手順

時間経過(秒)	内容
0"	【着火】 オイルパンのn-ヘプタン(1ℓ)を助燃剤としてクリブを燃焼させる。
180"	【放水開始】 着火から3分後、クリブの燃焼が定常状態であることを確認し、表2に示す放水条件で放水する。
240"	【連続放水終了】
300"	【間欠放水終了】
600"	【測定機器停止】

4 実験結果

(1) 火災室内と開口部の状況

自由燃焼、実験1から実験8における放水開始時、放水30秒後、放水60秒後の火災室内と開口部の状況について、表4に示す。なお、表4中、自由燃焼では放水していないが、比較のため、同じ時間軸での状況を示す。

表4 火災室内と開口部の状況

	放水開始時(室内)	放水 30 秒後(室内)	放水 30 秒後(開口部)	放水 60 秒後(室内)	放水 60 秒後(開口部)
自由 燃焼					
実験 1 連続 ・ 棒状					
実験 2 間欠 ・ 棒状					
実験 3 連続 ・ 30°					
実験 4 間欠 ・ 30°					
実験 5 連続 ・ 60°					
実験 6 間欠 ・ 60°					
実験 7 連続 ・ 90°					
実験 8 間欠 ・ 90°					

ア 火災室内の視認状況

実験2（間欠・棒状）では、放水開始から放水終了まで継続して燃焼物付近を視認できた。実験7（連続・90°）では、放水開始後、燃焼物付近の視認は困難となったが、放水30秒後からは徐々に改善し燃焼物付近を視認できた。その他の実験では、水蒸気が発生したこと、及び高温層と空気層が攪拌されたことによる影響で燃焼物付近の視認は困難であった。

イ 開口部の状況

すべての実験において、放水の間は、開口部から白煙の排出が確認され、放水開始からの時間が経過するにつれて、白煙の量も増加する傾向が見られた。

(2) 火災室内の温度

放水展開角度ごとの火災室内（図1中、LB\_1900、1500、1000、500mm）の温度変化について、図3から図11に示す。放水開始時の天井付近（LB\_1900mm）の温度は、各実験とも550℃から600℃の間であった。

放水の間の天井付近（LB\_1900mm）の温度の最低値を図中に示す。

実験2（間欠・棒状）では、天井付近（LB\_1900mm）の温度降下が最も小さかった（図5）。

実験7（連続・90°）では、天井付近（LB\_1900mm）の温度降下が最も大きく、放水開始から27秒後に水の沸点（100℃）以下まで火災室内の温度を降下させることができた（図10）。

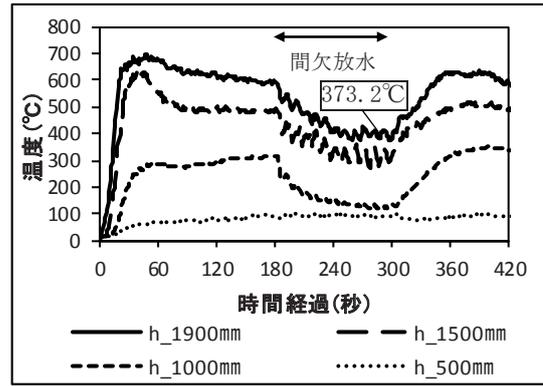


図5 実験2（間欠・棒状）

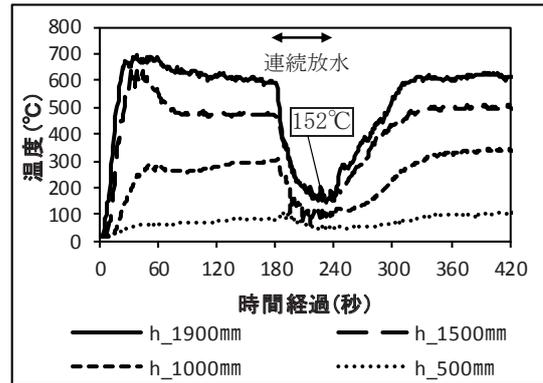


図6 実験3（連続・30°）

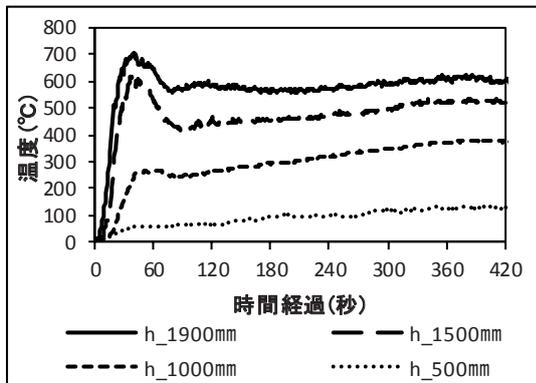


図3 自由燃焼

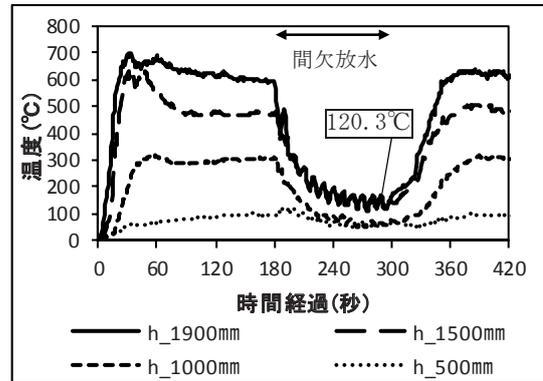


図7 実験4（間欠・30°）

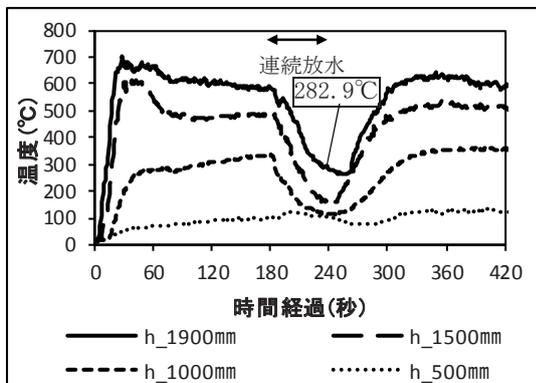


図4 実験1（連続・棒状）

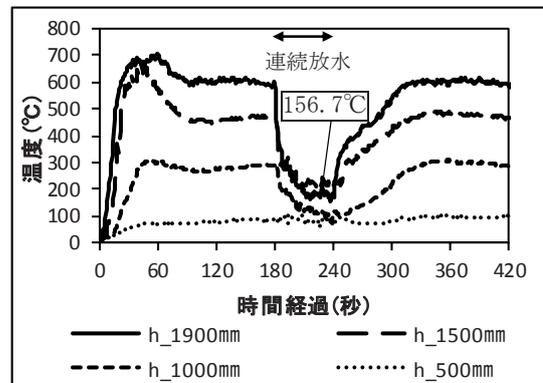


図8 実験5（連続・60°）

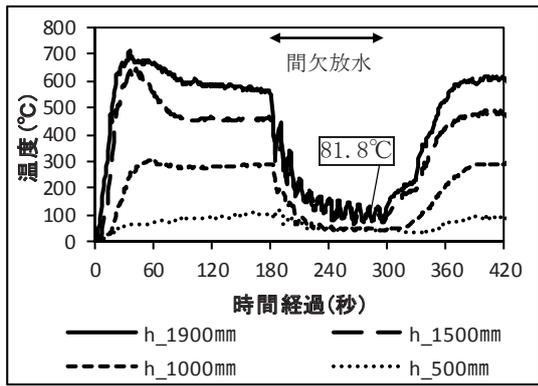


図9 実験6 (間欠・60°)

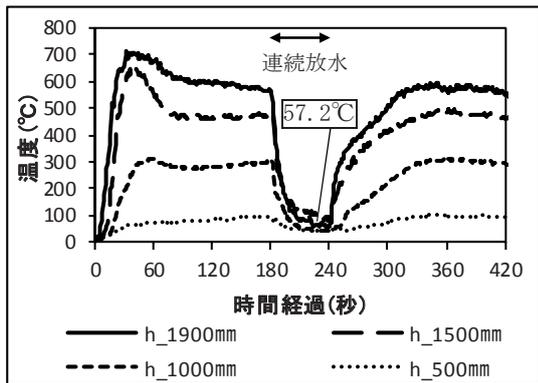


図10 実験7 (連続・90°)

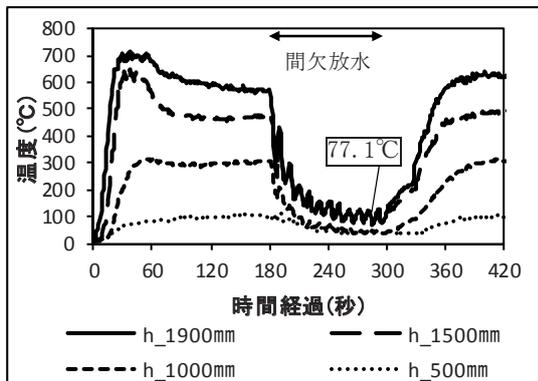


図11 実験8 (間欠・90°)

### (3) クリブの発熱速度

放水展開角度ごとのクリブの発熱速度を図12から図15に示す。発熱速度は、クリブの単位時間あたりの減少重量に杉材の単位発熱量(15.5MJ/kg)<sup>3)</sup>を乗じて求めた。なお、グラフは、15秒間の移動平均値を示す。放水開始前の発熱速度は、各実験ともおよそ800kWから900kWであった。

放水により上昇した発熱速度の最大値を図中に示す。連続放水時の発熱速度は、放水形状が棒状の場合を除き、放水開始後、一旦上昇(放水開始後15秒から20秒の間に最大となる。)した後、低下する傾向を示した。

連続放水時の発熱速度は、放水形状が棒状の場合を除き、放水開始後、一旦上昇(放水開始後15秒から20秒の間に最大となる。)した後、低下する傾向を示した。

間欠放水時の発熱速度は、放水形状が棒状の場合を除き、放水開始と放水停止の度に上昇と降下を繰り返したが、全体的には、放水開始後、一旦上昇(放水停止2回目と放水開始3回目の間に最大となる。)した後、低下する傾向を示した。

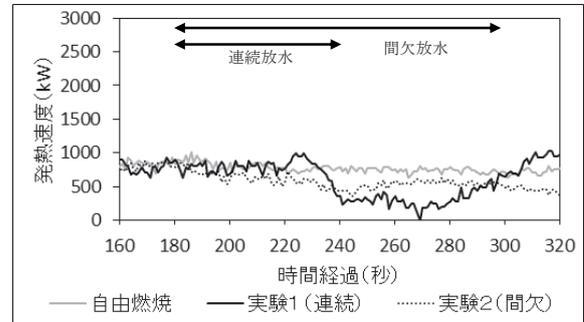


図12 自由燃焼, 実験1 (連続・棒状), 実験2 (間欠・棒状)

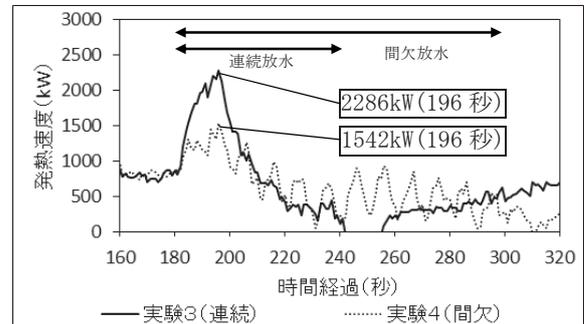


図13 実験3 (連続・30°), 実験4 (間欠・30°)

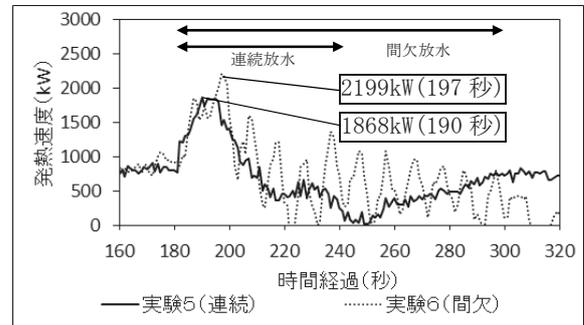


図14 実験5 (連続・60°), 実験6 (間欠・60°)

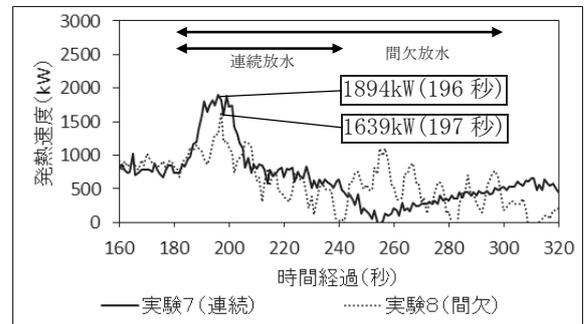


図15 実験7 (連続・90°), 実験8 (間欠・90°)

(4) 火災室内の酸素濃度

実験ごとの火災室内の酸素濃度について図16～図24に示す。全ての実験において、放水によりh\_300mmの値は降下し、h\_1700mmの値は上昇する傾向で推移した。

また、実験2（間欠・棒状）以外では、放水によりh\_1700mmとh\_300mmの値が同程度となった。

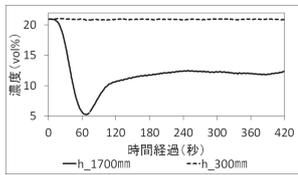


図16 自由燃焼

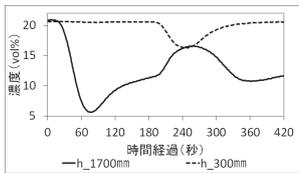


図17 実験1(連続・棒状)

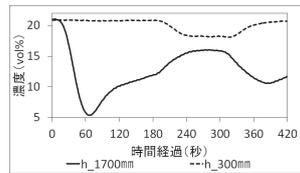


図18 実験2(間欠・棒状)

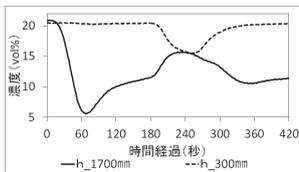


図19 実験3(連続・30°)

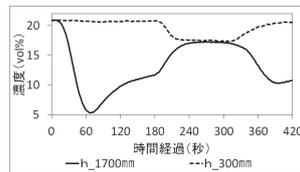


図20 実験4(間欠・30°)

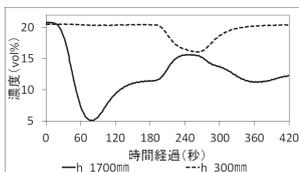


図21 実験5(連続・60°)

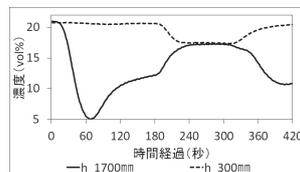


図22 実験6(間欠・60°)

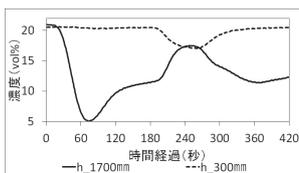


図23 実験7(連続・90°)

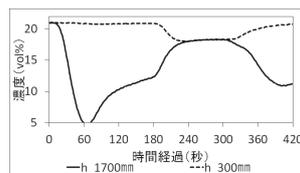


図24 実験8(間欠・90°)

(5) 開口部での熱流束値と放射熱流束値

ノズルの放水展開角度ごとの開口部における熱流束値と放射熱流束値について、図25から図28に示す。放水開始前の熱流束値は、約0.2W/cm<sup>2</sup>であり、放射熱流束値は、0.06～0.08 W/cm<sup>2</sup>であった。

実験1（連続・棒状）では、熱流束値の増加は確認できなかった。一方、実験4（間欠・30°）、実験5（連続・60°）、実験6（間欠・60°）、実験7（連続・90°）、実験8（間欠・90°）では、約0.5～0.6 W/cm<sup>2</sup>まで熱流束値が増加したことを確認した。

また、間欠放水時の熱流束値は、放水停止1回目と放水開始2回目の間に最大になる傾向を示した。

全ての実験において、放水による放射熱流束値の増加は確認できなかった。

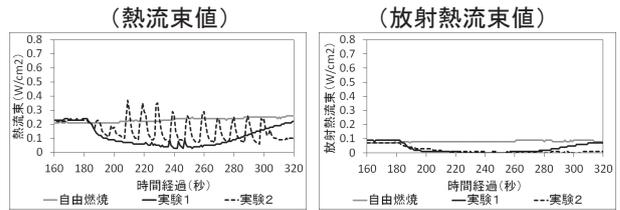


図25 自由燃焼, 実験1(連続・棒状), 実験2(間欠・棒状)

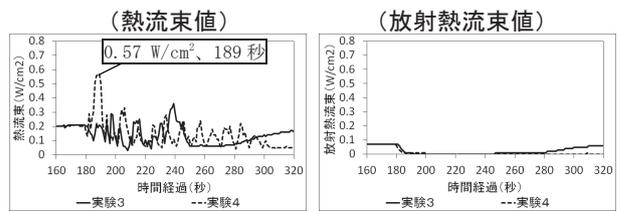


図26 実験3(連続・30°), 実験4(間欠・30°)

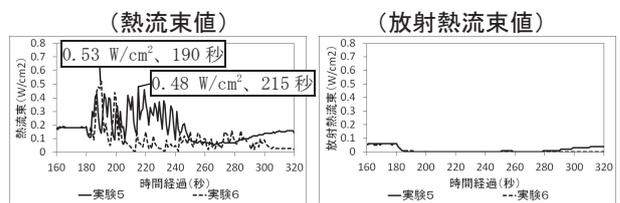


図27 実験5(連続・60°), 実験6(間欠・60°)

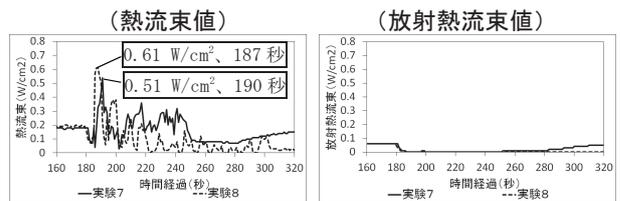


図28 実験7(連続・90°), 実験8(間欠・90°)

5 考察

(1) 火災室内及び開口部の状況等

ア 火災室内の状況

実験2（間欠・棒状）は、火災室内の温度降下が小さく、放水時も火災室内の天井付近と床面付近の酸素濃度に差が確認できた。このことから、放水による空気の流入が少なく、かつ、放水による火災室内の冷却効果が小さかったことにより、火災室内の攪拌が小さくなり、燃焼物付近を視認できたと考えられる。

一方、実験7（連続・90°）は、火災室内の温度降下が大きく、放水により火災室内の天井付近と床面付近の酸素濃度が同程度となった。このことから、放水による空気の流入が多く、かつ、放水による火災室内の冷却効果が大きかったことにより、一旦は、放水による水蒸気の発生や高温層の攪拌により燃焼物付近の視認は困難となった。その後、火災室内の温度を短時間で水の沸点以下まで降下させ水蒸気の発生を抑制したこと、及び放水により火災室内に多くの空気を流入させ火災室外へ煙を排出させたこと<sup>4)</sup>により、燃焼物付近の視認状況が改善したと考えられる。

## イ 開口部の状況

全ての実験で放水開始からの時間経過に伴い開口部から排出される白煙の増加が見られた。

くん焼時のように火災にならず熱分解生成物が外部に排出される場合、熱分解生成物に含まれる沸点の低い成分は生成時には気体状であっても、次第に冷却されると液体になる<sup>5)</sup>。

放水開始からの時間経過に伴う火災室内の温度低下及び発熱速度低下、並びに床面付近の酸素濃度低下によりクリブが有炎からくん焼状態となったため、熱分解生成物が増加し、これが外部で冷却されたことによって、開口部から排出される白煙が増加したと考えられる。

### (2) 発熱速度の変化等

発熱速度は、温度の上昇とともに増大し、完全燃焼組成の付近にある時が最高<sup>5)</sup>となることから、放水形状が霧状の場合のクリブの発熱速度は、一旦は放水により流入した空気が燃焼物に酸素を供給したことで上昇した。その後、放水による冷却効果及び床面付近における酸素濃度の低下が大きく寄与し、降下に転じたと考えられる。

### (3) 開口部での熱流束値等の変化

放水の間の放射熱流束値は、0付近で推移したことから、放水開始後の熱流束値の上昇は、放水により火災室内に流入した空気に押され排出された気体による対流熱伝達と考えられる。

## 6 まとめ

表5に各実験の放水条件と本検証で確認された火災室内の状況変化の関係をまとめた。

表5 放水条件と火災室内の状況変化

	視認状況	室内温度 降下	発熱速度 上昇抑制
実験1 (連続・棒状)	困難	×	◎
実験2 (間欠・棒状)	十分可能	×	◎
実験3 (連続・30°)	困難	○	×
実験4 (間欠・30°)	困難	○	△
実験5 (連続・60°)	困難	○	×
実験6 (間欠・60°)	困難	○	×
実験7 (連続・90°)	可能	◎	×
実験8 (間欠・90°)	困難	○	△
◎ > ○ > △ > × の順で変化が大きい。			

## 7 おわりに

本検証では、区画火災における消火活動時の中性帯、火災室内の温度に着目し、8畳程度の居室に見立てた区画を用いて、中性帯発生時の放水の影響を確認した。

その結果、放水による空気の流入が少ない棒状で間欠放水した場合、発熱速度が上昇せず燃焼物付近を視認できたが、火災室内の冷却効果は小さかった。一方、放水による空気の流入が多い霧状 90° で連続放水した場合、一旦は発熱速度が上昇し、燃焼物付近の視認は困難となるが早く改善され、火災室内の冷却効果も大きいことが分かった。

発熱速度は、放水の影響で変化し、霧状で放水した場合は、大きく上昇するおそれのあることが分かった。

本検証では、放水条件ごとに状況変化の有無が確認でき、変化がない放水条件は確認できなかった。消防隊員が、放水条件による火災室内の状況変化を理解、予測して放水方法を選択することが、屋内進入時の安全性向上につながると思う。

## 謝辞

本実験にあたり、消防庁消防大学校消防研究センターに実験施設等をご提供いただきました。また、同センターのスタッフの皆様からは多大なご協力を頂いたことに厚く御礼申し上げます。

## [参考文献]

- 1) 日本火災学会編：火災と建築、共立出版、p. 94
- 2) 田中哮義：建築火災安全工学入門、日本建築センター、p. 168
- 3) 森林総合研究所監修：木材工業ハンドブック改訂4版、丸善、p. 802
- 4) 鶴田 俊：区画火災煙層挙動の密度流モデル、平成20年度日本火災学会研究発表会概要集、p. 228-229
- 5) 安全工学協会編：火災、海文堂、p. 5、p. 80、p. 157

# Study on Effective Water Discharge Methods to Prevent the Spread of Indoor Fires

(Water Discharge Methods in the Case a Thermal layer has Formed)

Tetsuo KIDA\*, Yasuyuki YAMAKOSHI\*\*, Yuuichirou MACHII\*

## Abstract

Due to the formation of a thermal layer, an air space emerges in the lower part of a burning room. The space is useful to grasp the room conditions when searching for survivors at the initial stage of a fire. However, if water is discharged then, the thermal layer is disrupted and the layer of high temperature descends or is mixed with the thermal layer. This might cause firefighters and trapped people to be injured.

In this study, wood cribs are burned in a 13m<sup>2</sup> room, and water is discharged using various water discharge methods to monitor the changing conditions of the room. The study aims at improving the safety of firefighters who enter the room in which a thermal layer has formed.

As a result, When sluicing water continuously by 90 deg of fog shape with a lot of aerial inflow by the spray, heat generation rate rose once, and a visual recognition around the burning thing became difficult, but it was improved early and I found out that the negative reheat in a fire interior is also big.