

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

(吹き返しを抑制する放水方法)

清水 幸平*, 木田 哲夫*, 町井 雄一郎*

概 要

高温の火災室への放水時は、吹き返し（放水時に火災室から噴出する火炎や高温の熱気流をいう。以下同じ。）を発生させ、消防隊員の受傷事故につながるおそれがあるが、これについて知見が十分ではない。

本検証では、放水時の安全性向上を目的とし、8畳程度の高温に熱せられた火災室を用いて、放水と吹き返しの関係を確認するため、放水条件を変えて消火実験を行った。

その結果、開口部正面の放水者は、霧状 30° で水平に放水した場合、最も吹き返しによる熱の影響を受けるが室内の熱環境の改善が見込まれ、霧状 90° で火災室開口部全体を覆う放水をした場合、吹き返しによる熱の影響は受けなが

1 はじめに

消防活動における放水は、火災による被害を軽減し、消火する上で有効な方法である。しかし、高温に熱せられた火災室への放水は、吹き返しを発生させ、消防隊員の受傷事故につながるおそれがあるが、これについて知見が十分でない。従って、吹き返し発生

の要因を把握することは、安全性向上のために必要であると考え

る。このことから、本検証では、消防活動における放水時の安全性向上を目的とし、8畳程度の高温に熱せられた火災室を用いて、ノズルによる放水と吹き返しの関係（①吹き返しの発生状況、②開口部正面での受熱量、③室内の温度など）を確認するため、放水条件を変えて消火実験を行った。



図1 吹き返しの定義



写真1 吹き返し①



写真2 吹き返し②

2 実験設定

(1) 火災室 (写真3、図2)

使用した火災室 (内寸: 幅 3300mm、奥行 3600mm、天井高 2150mm) は、壁、天井、床が軽量気泡コンクリート製 (ALC 板) で、内装が全面ステンレス板である。また、正面に開口部 (幅 1600mm、高さ 1800mm) を1箇所設置した。

(2) 燃焼物 (写真4、図2)

燃焼物は、n-ヘプタン (オイルパン面積 0.81 m²、8 l) とし、火災室内に1か所設置した。予備実験で、放水直前の火災室天井面が火炎で満たされる状態になっていることを確認した。

(3) 放水装置等 (写真5、写真6、写真7)

放水装置は、B級ポンプから口径 65mm ホース (5 m) を2本延長し、電磁流量計、放水台座の順に設定し、筒先にはガンタイプノズル (ノズル元圧の仕様: 0.5MPa) 又はアプリーケーターノズルを取り付けた。

(4) 測定

測定は、表1に示すとおり、火災室開口部正面の受熱量と火災室内の温度等について行った。

また、ビデオカメラ等で開口部の状況、火災室内の状況をそれぞれ撮影した。



写真3 火災室 (正面)



写真4 燃焼物設定状況



写真5 放水装置設定状況



写真6 B級ポンプ等の設定状況

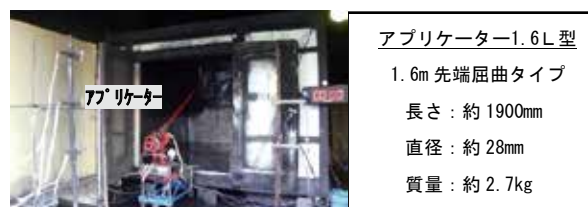


写真7 アプリーケーターノズル設定状況

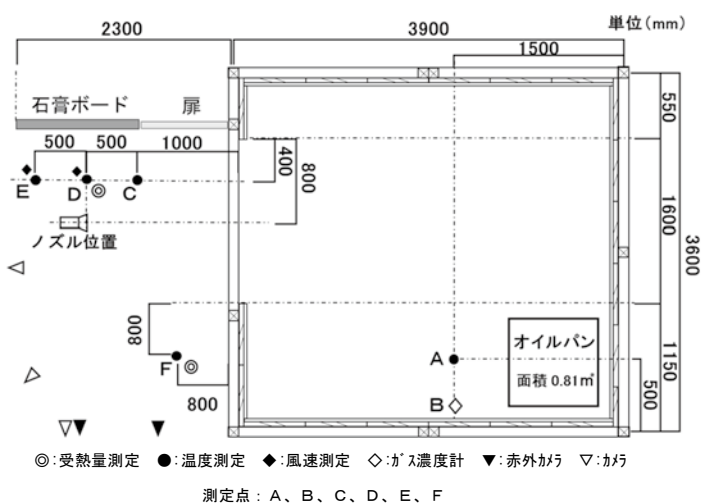


図2 火災室の平面図

表1 測定項目等

測定項目	測定点	測定位置	測定機器
開口部の受熱量	D	H_1500 mm, 1000 mm, 500 mm	熱流束計 (アドサム社製)
	F	H_1000 mm, 500 mm	
火災室内温度	A	H_2000 mm, 1500 mm, 1000 mm, 500 mm	K 熱電対 (素線径 0.32 mm)
	C, D, E, F	H_1500 mm, 1000 mm, 500 mm	
火災室内酸素濃度	B	H_1500 mm, 500 mm	赤外線ガス分析計 (富士電機製)
風速	D, E	H_1000 mm	高温風速計 (日本メテックス製)
ノズル元圧力	ノズル根元結合金具		圧力変換機 定格容量 2 MPa (共和電業製)
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)
開口部付近の状況	赤外カメラ2、ビデオカメラ3配置		赤外カメラ (日本アビオニクス製)
			ビデオカメラ

3 実験方法

実験は、表 2 に示す放水条件のとおり、4 種類の放水形状（棒状、霧状 30°、霧状 60°、霧状 90°）と 2 種類のノズル方向（水平、上向き）を組合せて表 3 に示す実験手順で行った。ノズルが上向きの場合、火災室内中心の天井付近の高温層に向けて放水する方向（仰角 30°）とした。ガンタイプノズルの流量切替ダイヤルは、実験 1 から実験 8 において、当庁の消防隊が耐火造の建物火災で使用する値である 240ℓ/分 で測定を実施した。

また、放水流量の違いによる吹き返しの影響を確認するため、実験 9、実験 10、実験 11 においては、実験 1 から 8 の結果において、最も火災室開口部正面での受熱量が上昇した実験 3 の条件で流量（115ℓ/分、345ℓ/分、475ℓ/分）を変えて測定を実施した。実験 12 では、吹き返しの発生が水分の急激な蒸発に伴う、体積膨張によるものか否か確認するためにアプリケーションノズルについても測定を行った。

さらに、火災室内の放水状況を確認するため、火源がない状態の火災室に対し、同様に放水し、火災室内の様子をカメラで撮影した。

4 実験結果

実験ごとの火災室内の放水状況（火源なし）、放水前の燃烧状況、放水時の状況（開口部付近をカメラ及び赤外カメラで撮影）を表 4 に示す。

また、実験において、測定した開口部正面の受熱量、火災室内温度、火災室内酸素濃度、開口部風速について結果の比較を、それぞれ図 3、図 4、図 5、表 5、図 6 に示す。

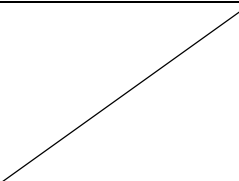
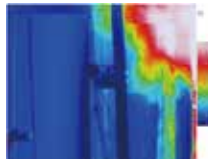
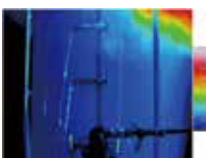
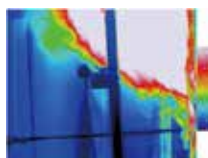
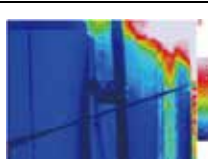
表 2 放水条件

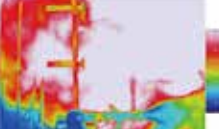
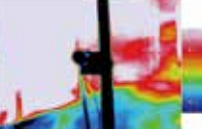
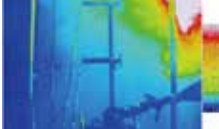
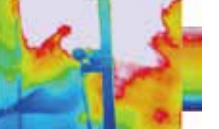
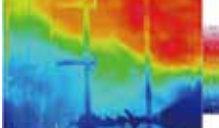
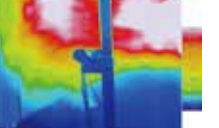
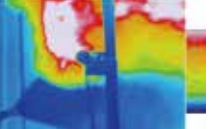
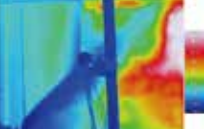
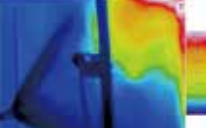
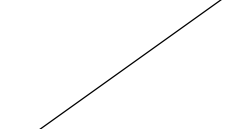
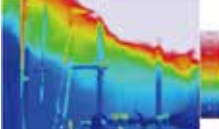
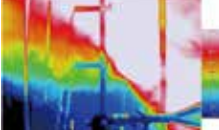
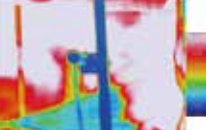
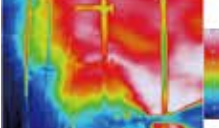
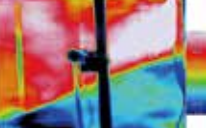
実験No.	放水形状	ノズル方向	流量(ℓ/分)
実験 1	棒 状	水 平	240
実験 2		上向き	
実験 3	霧状30°	水 平	
実験 4		上向き	
実験 5	霧状60°	水 平	
実験 6		上向き	
実験 7	霧状90°	水 平	
実験 8		上向き	
実験 9	霧状30°	水 平	115
実験10			345
実験11			475
実験12	アプリケーションノズル		300 (元圧0.5MPa)

表 3 実験手順

時間(秒)	内 容
0"	【着火・実験開始】オイルパンのn-ヘプタン（8ℓ）を燃焼させる。
90"	【放水開始】着火から 90 秒後、火災室天井面が火炎で満たされていることを確認し、表 2 に示す放水条件で放水する。
100"	【放水終了・実験終了】

表 4 実験状況（赤外カメラ：0℃  500℃）

No.	火災室内の放水状況 (火源なし)	放水前の燃焼状況	放水時の状況 (可視) (開口部、筒先付近撮影)	放水時の状況 (赤外) (筒先付近撮影)	放水時の状況 (赤外) (開口部付近撮影)
自由 燃焼					
実験 1 棒状 水平					
実験 2 棒状 上向					

実験 3 霧状 30° 水平					
実験 4 霧状 30° 上向					
実験 5 霧状 60° 水平					
実験 6 霧状 60° 上向					
実験 7 霧状 90° 水平					
実験 8 霧状 90° 上向					
実験 9 実験3 115 0/分					
実験 10 実験3 345 0/分					
実験 11 実験3 475 0/分					
実験 12 アプリ ケーター					

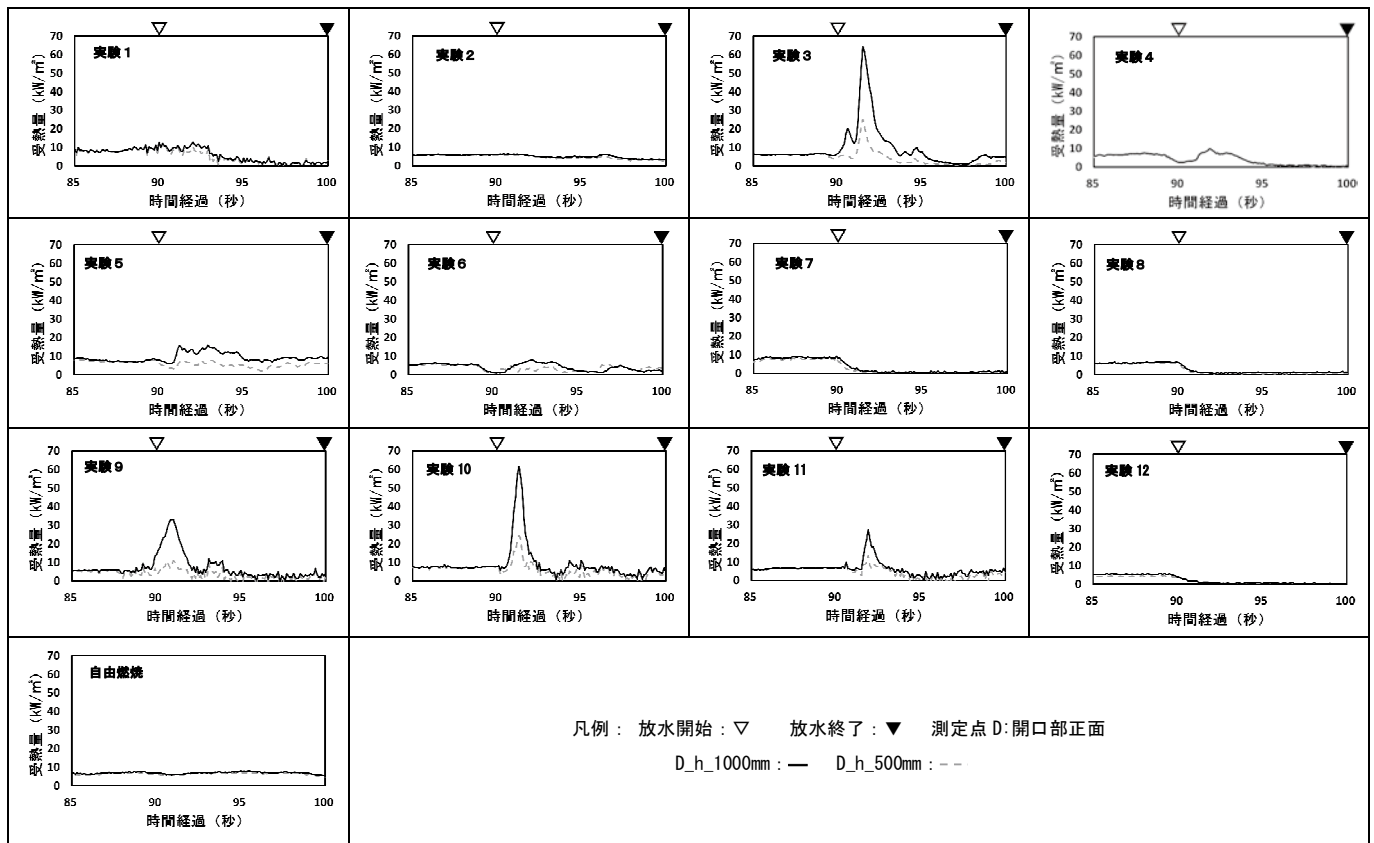


図3 開口部正面の受熱量比較

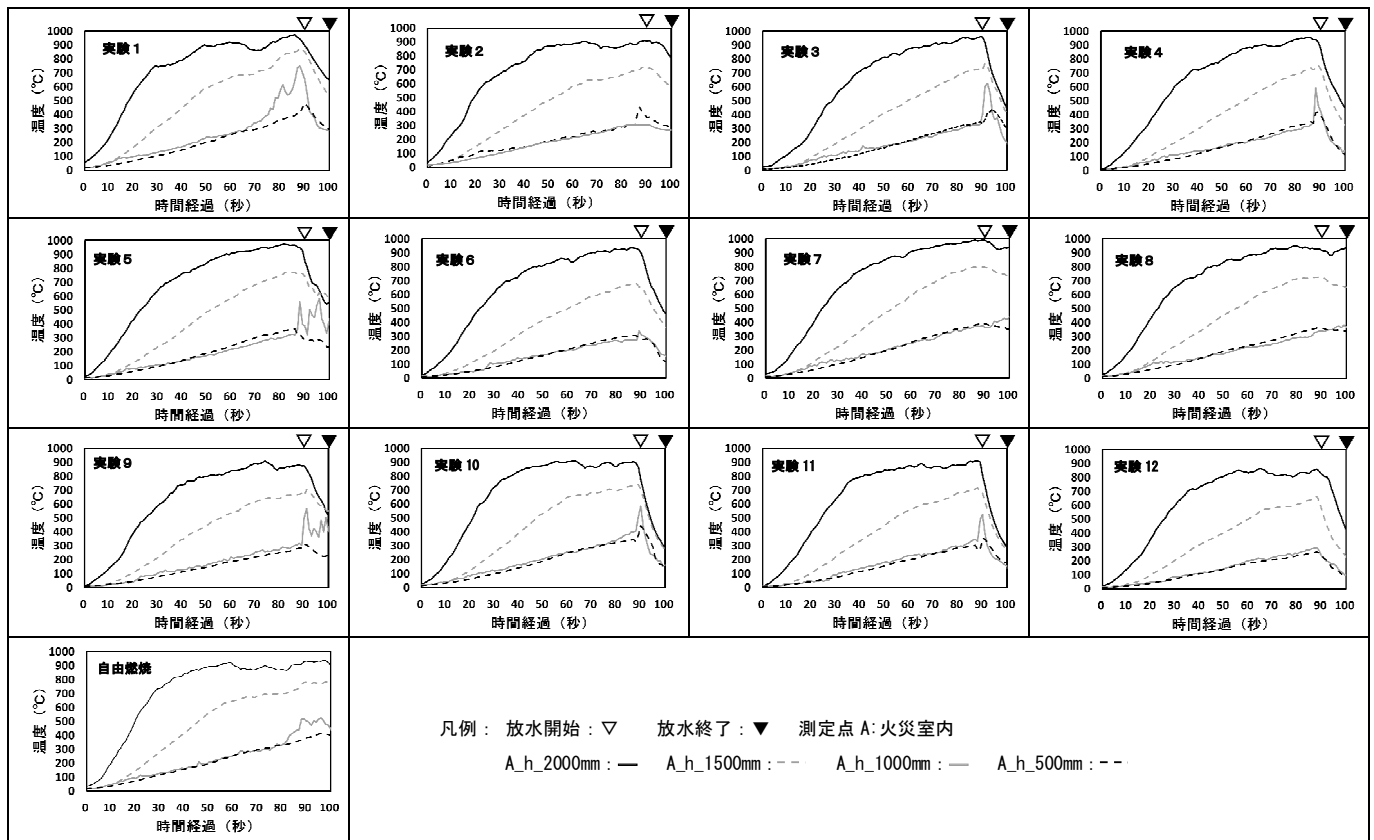


図4 火災室内の温度比較

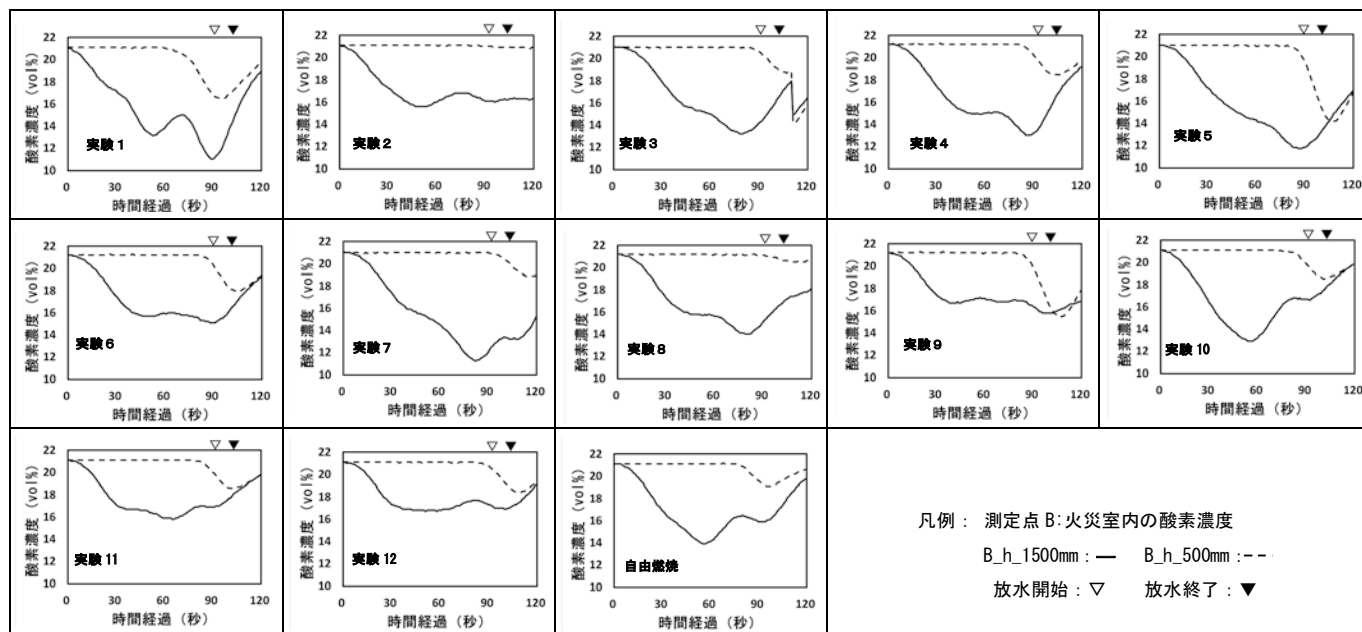


図5 火災室内の酸素濃度比較

表5 開口部正面で受ける風速

実験 No	最大風速 [m/s]	平均風速 [m/s]	実験 No	最大風速 [m/s]	平均風速 [m/s]
実験 1	1.07	0.62	実験 8	1.25	0.94
実験 2	1.12	0.55	実験 9	1.53	0.88
実験 3	1.98	0.96	実験 10	4.13	1.82
実験 4	22.81	4.38	実験 11	7.62	3.13
実験 5	24.99	10.91	実験 12	1.74	0.87
実験 6	18.35	7.48	自由燃焼	1.01	0.72
実験 7	1.67	0.89	※平均風速：放水時(90～100 秒、10 秒間平均値)		

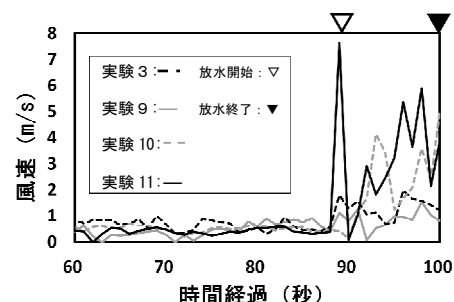


図6 流量の違いによる風速比較

(1) 開口部の状況

ア 火災室内の放水状況（表4、1列目）

火災室内に流入する放水の状況は、放水展開角度が大きくなるほど霧状になり、到達距離が短くなる傾向を示した。霧状 90° では、放水はほとんど区画の奥まで流入していなかった。また、アプリケーションノズルの放水形状は、火災室内中心の天井付近から火災室内全体に放水されることを確認した。

イ 放水時の状況（表4、3列目、4列目、5列目）

放水時に開口部から噴出する火炎は、カメラ及び赤外カメラにより、実験7（霧状 90°、水平）、実験8（霧状 90°、上向き）、実験12（アプリケーション）を除いて確認でき、実験3（霧状 30°、水平）で最も大きくなった。

また、実験3（霧状 30°、水平）の放水条件で放水流量を変化させた実験9（実験3、1150/分）、実験10（実験3、3450/分）、実験11（実験3、4750/分）についても同様に、大きな火炎の噴出が見られた。

また、放水形状が、棒状、霧状 30°、霧状 60° にお

いて、ノズル方向が水平の場合、上向きと比較し、噴出する火炎が大きくなる傾向が見られた。

(2) 開口部正面での受熱量（図3）

ア 放水条件ごとの開口部正面の受熱量（図2中、測定点：D:h_1000mm）は、放水流量 2400/分において、実験3（霧状 30°、水平）が最も大きくなった。また、実験7（霧状 90°、水平）、実験8（霧状 90°、上向き）が最も小さく、放水前と比較して受熱量が低下した。

イ ノズル方向（水平、上向き）による開口部正面の受熱量（D:h_1000mm）は、棒状、霧状 30°、霧状 60° では、上向き方向と比較して水平方向の放水時に受熱量が大きくなる傾向を示し、特に霧状 30° では顕著になった。霧状 90° ではノズル方向（水平、上向き）による開口部正面の受熱量に大きな違いはなかった。

ウ 放水流量（1150/分、2400/分、3450/分、4750/分）による開口部正面の受熱量（D:h_1000mm）は、全ての流量で上昇したが、実験3、実験10（実験3、3450/分）において特に大きくなり、実験9（実験3、1150/分）、実験11（実験3、4750/分）ではそれら

と比較して小さくなった。

エ 実験 12 のアプリケーションノズルにより、火災室内で直接放水した場合の開口部正面での受熱量は、霧状 90° で放水した実験 7、実験 8 と同様に放水前と比較して低下した。

オ 受熱量が上昇した全ての実験において、測定点の高さによる受熱量の違いを比較すると、h_500 mm より、h_1000 mm の場合で受熱量が大きくなった。

(3) 火災室内の温度 (図 4)

放水の間の火災室内の温度は、実験 3 から実験 6、実験 9 から実験 11、実験 12 では大きく低下したが、実験 2 (棒状、上向き)、実験 7 (霧状 90°、水平)、実験 8 (霧状 90°、上向き) では、火災室内の温度低下はほとんど見られなかった。また、霧状 30°、霧状 60°、霧状 90° では、ノズル方向 (水平、上向き) による大きな違いはなく、同様の傾向で推移した。

(4) 火災室内の酸素濃度 (図 5)

実験ごとの火災室内の酸素濃度は、放水による変化がほとんど見られなかった実験 2 (棒状、上向き) 以外において、放水により h_500 mm の値は降下、h_1500 mm の値は上昇する傾向で推移した。

また、放水形状が棒状、霧状 90° の実験 1、実験 2、実験 7、実験 8 以外では、放水により h_1500 mm、h_500 mm の値が同程度となった。

(5) 開口部正面での風速 (表 5、図 6)

火災室開口部正面で受ける風速は、放水流量 240ℓ/分において、放水形状が霧状 60° の実験 5、実験 6 と霧状 30° (上向き) の実験 4 で大きく、放水形状が、棒状、霧状 90° の場合は小さかった。

放水流量 (115ℓ/分、240ℓ/分、345ℓ/分、475ℓ/分) による風速の違いは、本検証において、流量が多くなるほど、火災室開口部正面で受ける風速が大きくなった。また、火災室内で直接放水するアプリケーションノズルの実験 12 では、風速の変化がほとんど見られなかった。

5 考察

(1) 開口部の状況

ア 火災室内の放水状況

4(1)アより、火災室内の放水状況は、放水形状ごとで異なり、図 7 で示すように、放水展開角度が大きくなるほど空気を巻き込み、霧状となり、到達距離が短くなった。このことから、到達距離は長い「棒状放水」と、巻き込み空気は多いが、到達距離が短い「霧状 90° 放水」においては、火災室内に形成された高温層と空気層が攪拌されなかったため、火災室内の天井付近と床面付近の酸素濃度に差が見られたと考えられる。

イ 放水時の状況

4(1)イより開口部からの火炎の噴出が大きく見られた霧状 30° 放水”、“霧状 60° 放水”の実験において、前アで述べた火災室に流入する巻き込み空気の量が多いこ

とから、吹き返しの発生要因の 1 つとして、巻き込み空気の影響が考えられる²⁾。

4(1)イ、4(2)イより、ノズル方向によって、噴出する火炎の大きさと受熱量に違いが見られたのは、開口部が 1 箇所の火災室において、ノズル方向が水平の場合、放水により流入する空気の“入口”と、それにより押されて排出する気流の“出口”が上下で形成され、流入する巻き込み空気の気流が、高い位置にある高温の熱気層をより滑らかに上部の出口から排出したため、噴出する火炎が多くなり、受熱量も大きくなったと考えられる。

一方、ノズル方向が上向きの場合、“入口”、“出口”が同一となり、放水で排出を抑えるため噴出する火炎が少なくなり、受熱量が小さくなったと考えられる (図 8)。

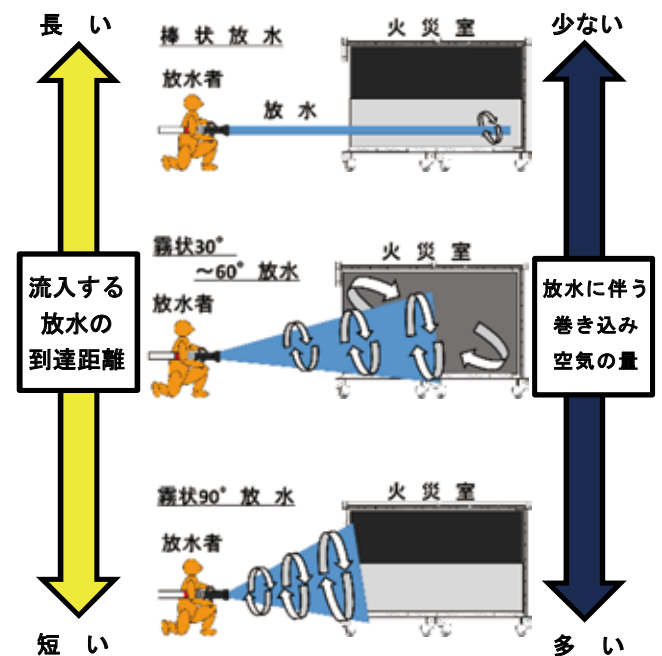


図 7 放水形状による火災室内の状況

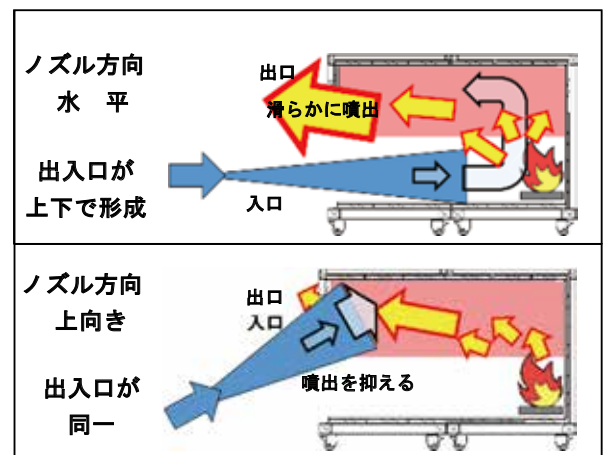


図 8 ノズル方向による気流の流れ

(2) 開口部正面の受熱量

4(2)アより、放水流量 240ℓ/分において、実験 3（霧状 30°、水平）が最も大きい受熱量となった。これは、火災室内部に到達した放水と巻き込み空気の流入が多く、それに押されて室内から排出した吹き返しも大きくなったためと考えられる。

実験 7（霧状 90°、水平）、実験 8（霧状 90°、上向き）において、展開角度が大きく、巻き込み空気は多いが、受熱量は小さかった。これは、火災室内に到達する放水と空気の流入が少ないため、排出も少なく、吹き返しが発生しにくくなったためと考えられる。

また、4(2)ウより、放水流量の違いによる差も見られ、流量の少ない実験 9（実験 3、115ℓ/分）では、受熱量が小さくなった。これは、火災室に流入する放水量と巻き込み空気の量が少なく、火災室からの熱気の排出も少ないため、開口部正面で受ける風速は小さく、受熱量も小さくなったと考えられる。

一方、流量の多い実験 11（実験 3、475ℓ/分）でも、受熱量が小さくなった。これは、この条件では、火災室に流入する放水量と巻き込み空気の量が多く、熱気の排出も多いので、開口部正面で受ける風速は大きくなっていくが、放水による火災室内の冷却効果も大きいため、冷やされた気流が排出され、受熱量が小さくなったと考えられる。

さらに、4(2)エより、火災室内で直接放水するため、室内の水量は多いが、巻き込み空気を伴わない実験 12（アプリケーションノズル）において、受熱量が小さくなった。これは、火災室に流入する巻き込み空気がなく、排出も少ないので、開口部正面で受ける風速は小さくなり、放水による火災室内の冷却効果も大きいため、受熱量が小さくなったと考えられる。

このことから、吹き返しの発生要因は、流入する水の蒸発に伴う体積膨張より、巻き込み空気の影響が大きいと考えられる。

(3) 火災室内の温度

放水流量 240ℓ/分において、受熱量の上昇が最も大きかった実験 3（霧状 30°、水平）では、室内に到達した放水と巻き込み空気の流入が多かったため、火災室内の冷却効果が大きくなり、室内温度を低下させたと考えられる。

一方、受熱量の上昇が見られなかった実験 7（霧状 90°、水平）、実験 8（霧状 90°、上向き）では、展開角度が大きく、火災室に流入する放水と巻き込み空気が火災室内に到達しなかったため、冷却効果が小さくなり、温度低下が少なかったと考えられる。

6 まとめ

吹き返しは、火災室内へ流入する放水量、巻き込み空気の量、それにより排出させる気流の流れの影響が大きいことが分かった。

一方、放水時に火災室内に流入する水分の急激な蒸発に伴う体積膨張の影響は、巻き込み空気の影響と比べ

て小さいことが分かった。

また、火災室内における冷却効果も、放水により流入する放水量、巻き込み空気の量の影響が大きいことが分かった。

7 おわりに

本検証の結果から、開口部正面の放水者は、霧状 30°で水平に放水した場合、最も吹き返しによる熱の影響を受けるが室内の熱環境の改善が見込まれ、霧状 90°で火災室開口部全体を覆う放水をした場合、吹き返しによる熱の影響は受けないが室内の熱環境が改善されないことが分かった。

このように、放水者が、放水条件による火災室内の状況変化と、放水による吹き返しの発生危険を理解、予測して放水方法を選択することが、放水時の安全性向上につながると考える。

[参考文献]

1) 新村出編：広辞苑、岩波書店、p. 2224

2) 湯浅弘章ほか 2 名：梯子車からの放水による開口部からの噴出熱気流に関する検証、日本火災学会概要集、p. 97、2011 年

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

—Water discharge methods to inhibit backflow—

Kouhei SHIMIZU*, Tetsuo KIDA*, Yuuichirou MACHII*

Abstract

Spraying water into a room that is burning at a high temperature can cause backflow—the generation of flames and high-temperature thermal currents. Backflow can lead to the risk of accidents resulting in injuries to fire fighters. However, there is only insufficient information about this phenomenon at present.

This study's goal was to enhance personnel safety when water is sprayed. We experimented by changing water discharge conditions when extinguishing fires to check the relationship between sprayed water and backflow, using a high-temperature fire we created in a room that was about thirteen square meters in size.

The result showed that personnel in front of the opening who discharge mist horizontally at 30° would be most affected by backflow with the room's thermal environment likely to be improved. In the meantime, when mist is sprayed at 90° with the entire opening to the fire-affected room covered, personnel would not be affected by heat backflow but the room's thermal environment would not improve.

*Equipment Safety Section