

各種ノズルを用いた排煙効果の検証

持丸 洋平*，藤枝 浩史**，仙田 健太郎***，佐藤 良行*，町井 雄一郎****

概 要

これまで過去の検証では、21型改噴霧ノズル及び軽量ノズルの噴霧放水時に生じる風量の測定や、各種ノズルの消火性能等の検証は行われてきたが、その排煙効果を明らかにする検証は実施されていない。

本検証では、現在当庁の消防隊が消防活動で使用しているノズルについて、噴霧放水による排煙効果を明らかにするため、各ノズルで噴霧放水した際に生じる風速の測定実験及び煙を充満させた空間に対して噴霧放水した際の排煙状況の確認実験を実施した。

その結果、ノズルの種別によらず、展開角度が小さいほうが、噴霧放水時の風量は大きいことから、できる限り小さい展開角度で開口部全体を覆うように放水すると排煙効果が高いことがわかった。

1 はじめに

火災現場における排煙作業は、大規模倉庫火災等での火点の早期確認や残火処理活動等に必要な作業である。

これまで様々な火災現場において噴霧放水による排煙作業が実施されており、過去の検証では21型改噴霧ノズル及び軽量ノズルの噴霧放水時に生じる風量を明らかにしてきた。

また、これまで各種ノズルの消火性能等の検証は行われてきたが、その排煙効果を明らかにする検証は実施されていない。

以上のことから、本検証では、現在当庁の消防隊が消防活動で使用しているノズルについて、噴霧放水で生じる風速及び排煙効果を比較し、各種ノズルの噴霧放水における排煙効果に関する知見を得ることを目的とする。

2 検証対象とした各種ノズル

- (1) 21型改噴霧ノズル (写真1)
- (2) 軽量ノズル (写真2)
- (3) フォグガン (写真3)
- (4) ガンタイプノズル (写真4)



写真1 21型改噴霧ノズル 写真2 軽量ノズル



写真3 フォグガン 写真4 ガンタイプノズル

3 検証方法

(1) 各種ノズルの噴霧放水における風速測定(検証1)
 2に示す検証対象の各種ノズルについて、各展開角度において噴霧放水を実施し、その際の放水量、放水圧力及び排気側の風速を測定する。

ア 実験設定

図1に示す実験設定のとおり、表1の設定条件により、表2に示すノズル設定条件で噴霧放水し、排気側開口部に設定した風速計で、風速を測定した。

なお、検証状況を写真5及び写真6に示す。

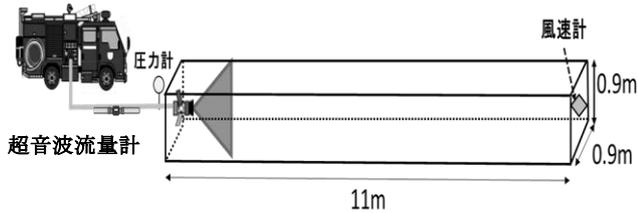


図1 検証1の設定図

表1 設定条件(検証1)

項目	設定条件
放水隊形	φ65mm×20m ホース×2本 +φ65mm×5m ホース×1本 (フォグガンのみφ45mm×20m ホース×2本) 筒先は放水台座に各種ノズル
水利	φ75mm×10m ソフト吸管×1本 10t 水槽から吸水(無圧水利)
風速計	風速計を排気側に設定したL字アングルに固定 風速計①: 開口部中央 風速計②: 開口部左上 (上5cm、左5cm) 風速計③: 開口部右上 (上5cm、右5cm) 風速計④: 開口部左下 (下5cm、左5cm) 風速計⑤: 開口部右下 (下5cm、右5cm)

表2 ノズル設定条件(検証1)

ノズル種別	圧力 [MPa]	流量 [ℓ/min]	展開角度 [度]
21型改噴霧ノズル	0.3	500	30, 60, 90, 120
軽量ノズル	0.3	500	30, 60, 90, 120
フォグガン	1.5	180	40
ガンタイプノズル	0.5	125, 240 345, 450	30, 60 90, 120



写真5 放水状況(検証1)



写真6 風速計設定状況(検証1)

イ 測定機器

各種ノズルの噴霧放水における風速測定で使用した測定機器を表3及び写真7～写真9に示す。

表3 測定機器 (検証1)

測定機器	デジタル圧力計 (写真7)	超音波流量計 (写真8)	風速計 (写真9)
製造会社	株式会社 クローネ	東京計装株式会社	R a i n W i s e
型名	KDM30	UL330	W i n d L o g
測定範囲	0～5.0MPa	0～4442 m ³ /h	0～67m/s



写真7 デジタル圧力計



写真8 超音波流量計



写真9 風速計

(2) 各種ノズルの噴霧放水における排煙実験 (検証2)

2に示す検証対象の各種ノズルについて、噴霧放水を実施し、放水量、放水圧力、排気側開口部の煙濃度及び排煙完了までの時間を測定する。

ア 実験設定

図2に示す実験設定のとおり、表4の設定条件により、表5に示す各種ノズル設定条件で排煙実験を実施した。

なお、放水側開口部は開口部①(長方形:高さ1.8m×幅0.9m)又は開口部②(正方形:高さ0.9m×幅0.9m)とし、排気側開口部は開口部①とした。

また、放水は各放水距離から、当庁の活動基準である開口部を覆うようにして噴霧放水を実施した。

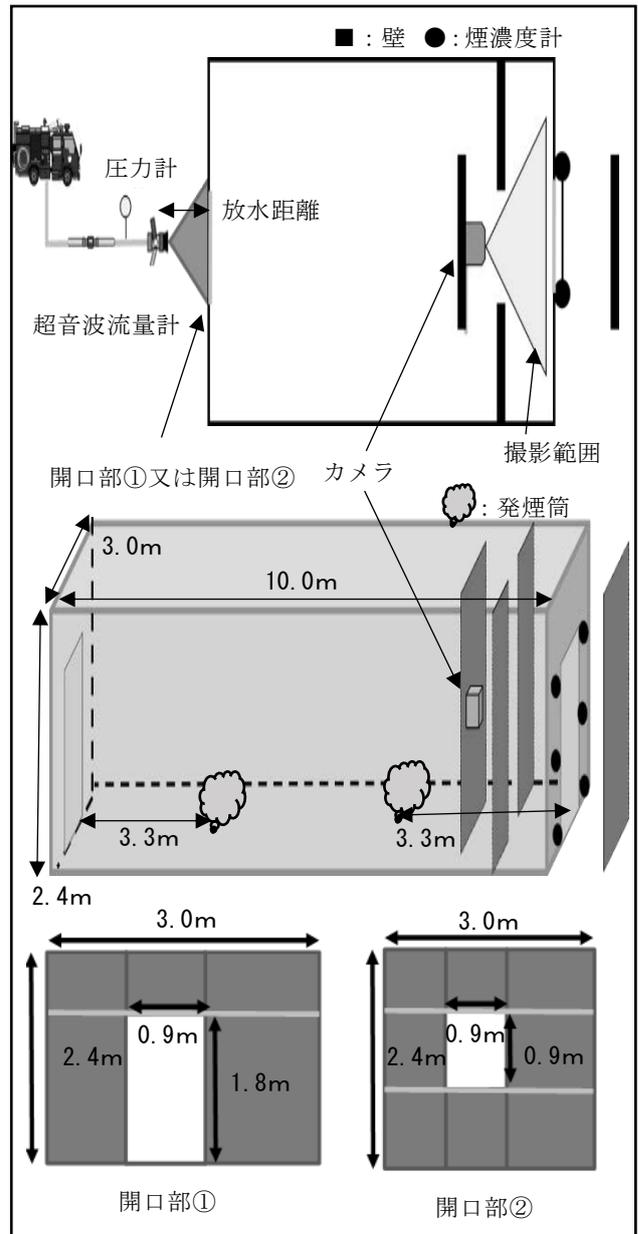


図2 各種ノズルの噴霧放水における排煙実験設定図 (検証2)

表4 設定条件 (検証2)

項目	設定条件
放水隊形	φ 65 mm×20m ホース× 3本 + φ 65 mm× 5 m ホース× 1本 (フログガンのみ φ 45 mm×20m ホース× 3本) 筒先は放水用台座に各種ノズル
水利	φ 75 mm×10m ソフト吸管× 1本 10 t 水槽から吸水 (無圧水利)
煙濃度計	煙濃度計を排気側開口部のL字アングルに固定 煙濃度計①: 高さ 175 cm 煙濃度計②: 高さ 90 cm 煙濃度計③: 高さ 5 cm
発煙筒	発煙筒を各開口部から 3.3m の位置で各 1本ずつ発煙 製造会社: 株式会社ケイアンドケイ 煙の色: 白色 発煙時間: 1分 30秒 発煙量: 100 m ³

表5 各種ノズル設定条件 (検証2)

ノズル種別	圧力 [Mpa]	流量 [ℓ/min]	各種条件
21型改噴霧ノズル	0.3	500	放水距離 3m 開口部① (条件①)
軽量ノズル	0.3	500	
フログガン	1.5	180	
ガンタイプノズル	0.5	125, 240, 450	放水距離 3m 開口部① (条件①)
		345	
			345
		345	

イ 測定機器

各種ノズルの噴霧放水における排煙実験で使用した測定機器は煙濃度計 (写真 10) であり、セレン光を照射する光源とセレン光で発電する受光器に分かれており、通常の電圧と煙が存在する電圧を比較し煙濃度を示す。

なお、圧力及び流量の測定機器は前(1)イと同じ。



写真 10 煙濃度計

4 検証結果

(1) 各種ノズルの噴霧放水における風速測定 (検証1)

表2に示すノズル設定条件ごとの風速測定結果を表6に、平均風速を図3に示す。

ア ガンタイプノズル (450 ℓ/min) について、各展開角度を比較すると、展開角度 30 度のとき平均風速 8.6 [m/s]、展開角度 60 度のとき平均風速 7.5 [m/s]、展開角度 90 度のとき平均風速 5.8 [m/s]、展開角度 120 度のとき平均風速 4.4 [m/s] であり、展開角度が大きくなるほど風速は低く、展開角度が小さくなるほど風速は高くなった。

各種ノズルにおける噴霧放水時の風速について、どのノズルを比較しても同様の傾向がみられた。

イ 風速の結果は、風速が高い順に、それぞれ展開角度 30 度で、ガンタイプノズル (450 ℓ/min) が平均風速 8.6 [m/s]、ガンタイプノズル (345 ℓ/min) が平均風速 7.7 [m/s] であった。

ウ ガンタイプノズルのような流量切替式ノズルでは、流量が多いほうが風速は高くなった。

表6 風速測定結果

ノズル種別	展開角度 [度]	筒先圧力 [Mpa]	放水量 [ℓ/min]	風速① [m/s]	風速② [m/s]	風速③ [m/s]	風速④ [m/s]	風速⑤ [m/s]	平均風速 [m/s]
21型改噴霧ノズル	30	0.304	509	7.4	6.7	7.0	6.7	6.9	6.9
	60	0.307	505	6.3	6.0	6.3	6.0	6.5	6.2
	90	0.305	506	5.0	4.5	4.7	4.6	4.7	4.7
	120	0.292	519	3.5	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3
軽量ノズル	30	0.298	496	7.0	7.1	7.3	7.4	7.3	7.2
	60	0.295	502	6.7	6.8	6.2	6.4	6.6	6.5
	90	0.288	508	5.9	5.9	5.9	5.7	5.6	5.8
	120	0.297	492	4.3	3.9	3.9	4.1	4.0	4.0
ガンタイプノズル (125 ℓ/min)	30	0.498	115	5.4	5.1	5.1	5.0	5.1	5.1
	60	0.5	115	5.0	4.5	5.1	4.5	4.9	4.8
	90	0.499	112	4.1	3.7	3.7	4.1	4.3	4.0
	120	0.496	112	3.7	3.3	3.5	3.5	3.7	3.5
ガンタイプノズル (240 ℓ/min)	30	0.476	237	7.0	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8
	60	0.477	237	6.4	6.0	6.4	6.0	6.3	6.2
	90	0.478	237	5.3	4.9	5.1	5.1	5.2	5.1
	120	0.477	237	4.6	4.3	4.3	4.3	4.5	4.4
ガンタイプノズル (345 ℓ/min)	30	0.489	341	7.7	7.6	7.7	7.6	7.7	7.7
	60	0.488	341	7.0	7.3	6.8	7.1	6.7	7.0
	90	0.488	342	5.6	5.1	5.5	5.2	5.7	5.4
	120	0.487	341	4.9	4.6	4.6	4.5	4.7	4.7
ガンタイプノズル (450 ℓ/min)	30	0.489	437	8.2	8.8	8.8	8.7	8.7	8.6
	60	0.485	443	7.5	7.5	7.5	7.6	7.3	7.5
	90	0.481	448	6.1	5.5	5.7	5.8	6.1	5.8
	120	0.479	451	4.6	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4
フログガン	40	1.47	-	7.1	6.3	6.5	6.7	6.8	6.7

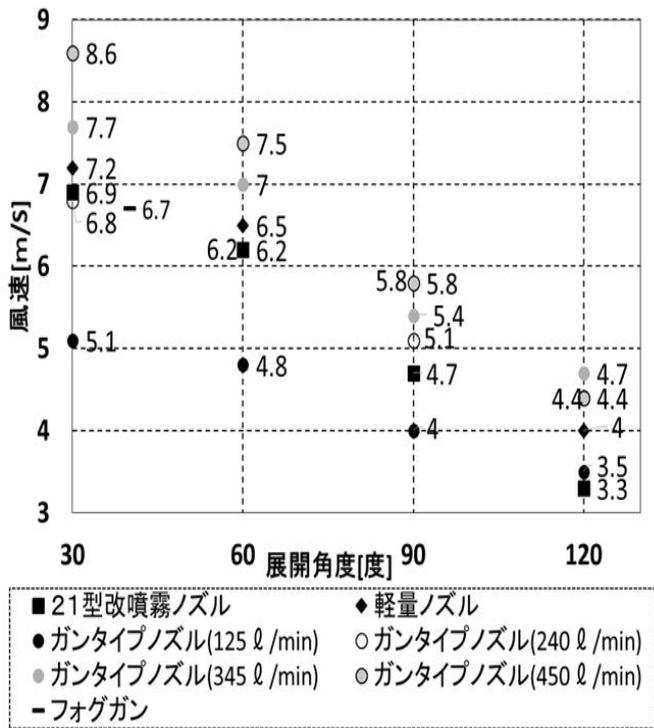


図3 各種ノズル、各展開角度における平均風速

(2) 各種ノズルの噴霧放水における排煙実験 (検証2)

ア 各種ノズルごとの排気側開口部の視認状況

放水開始 60 秒後から 500 秒後までの排気側開口部の煙濃度について、15 秒間の平均値を図 4 に示す。

なお、図 4 については、各煙濃度が 0 に近づく速さがかかるように、放水開始 60 秒後から 500 秒後を表示した。

次に、各種ノズルごとの排気側開口部の視認状況について、画像成分である赤 (以下「R」という。)、緑 (以下「G」という。)、青 (以下「B」という。) の各比率 (以下「RGB 値比率」という。) で比較する。表 5 に示す条件①のノズル設定条件において、放水開始から 10 秒ごとの静止画について、RGB 値比率を図 5 に示す。

写真 11 に示す排煙完了時の静止画の RGB 値比率を算出すると、R : 40%、G : 32%、B : 28% (以下「基準値」という。) であった。各種ノズルごとに、基準値に戻った時間を表 7 に示す。

流量切替式ノズルでは流量が大きいほど排煙効果は高く、基準値に戻る時間が特に短いものは、ガンタイプノズル (450 l/min) が 290 秒、ガンタイプノズル (345 l/min) が 320 秒であった。

イ ガンタイプノズル (345 l/min) 各条件ごとの排気側開口部の視認状況

表 5 に示すガンタイプノズル (345 l/min) の各条件において、放水開始 60 秒後から 500 秒後までの排気側開口部の煙濃度について、煙濃度の 15 秒間の平均値を図 6 に示す。

なお、図 6 については、各煙濃度が 0 に近づく速さがかかるように、放水開始 60 秒後から 500 秒後を表示した。

次に、放水開始から 10 秒ごとの静止画について、RGB 値比率を図 7 に示す。

ガンタイプノズル (345 l/min) 各条件ごとの排気側開口部の視認状況について、図 7 の RGB 値比率で比較する。各条件ごとに、基準値に戻った時間を表 8 に示す。

開口部は幅 0.9m × 高さ 1.8m の長方形 (開口部①) よりも、幅 0.9m × 高さ 0.9m の正方形 (開口部②) のほうが早く基準値に戻った。

また、ノズル展開角度が大きい放水距離 1m よりも、ノズル展開角度が小さい放水距離 3m のほうが早く基準値に戻った。



写真 11 排煙完了時の状況

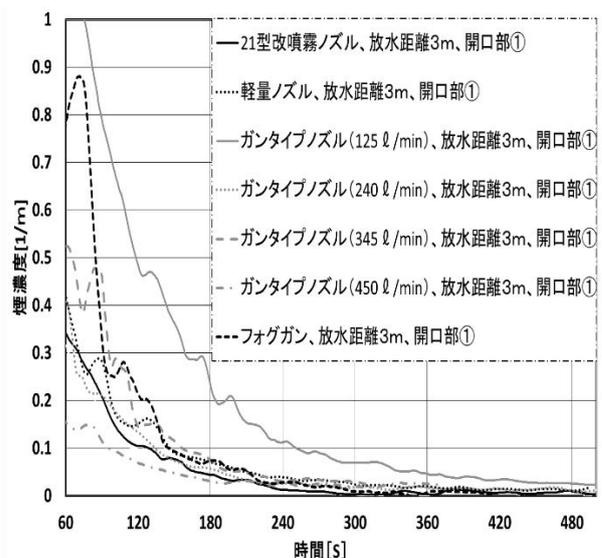


図4 煙濃度の 15 秒平均値

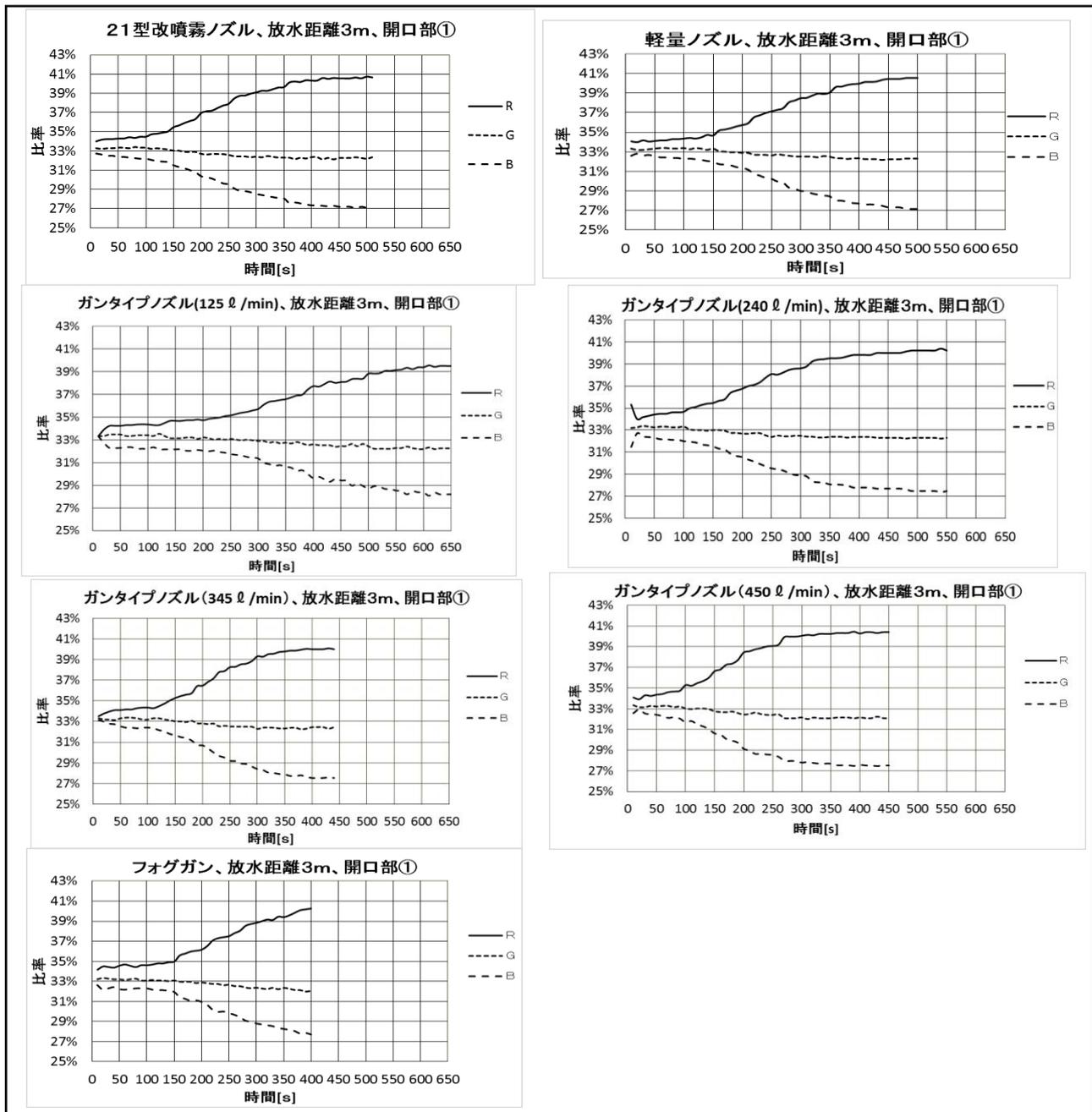


図5 各種ノズルにおけるR B G値比率

表7 各種ノズルにおける基準値に戻る時間

ノズル種別	時間[s]
21型改噴霧ノズル	340
軽量ノズル	360
フォグガン	360
ガンタイプノズル(125 l/min)	610
ガンタイプノズル(240 l/min)	350
ガンタイプノズル(345 l/min)	320
ガンタイプノズル(450 l/min)	290

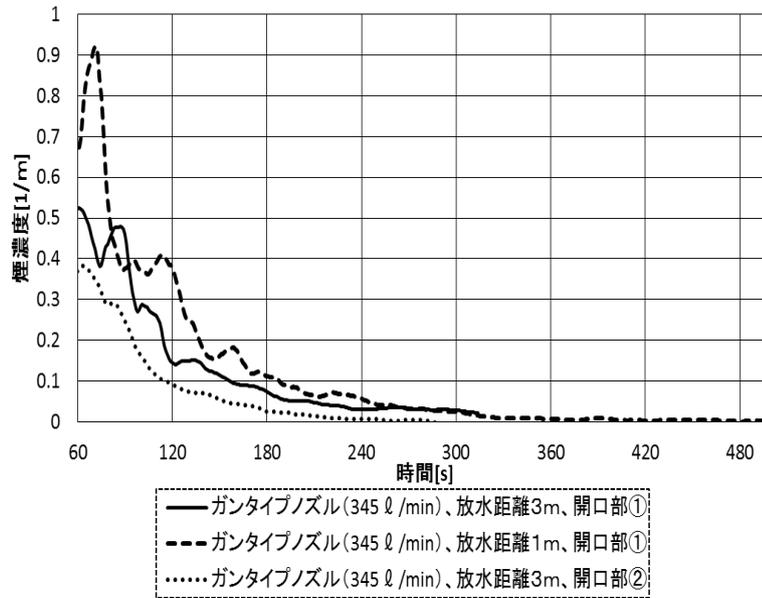


図6 ガンタイプノズル(345 ℓ/min)各条件ごとの煙濃度の15秒平均値

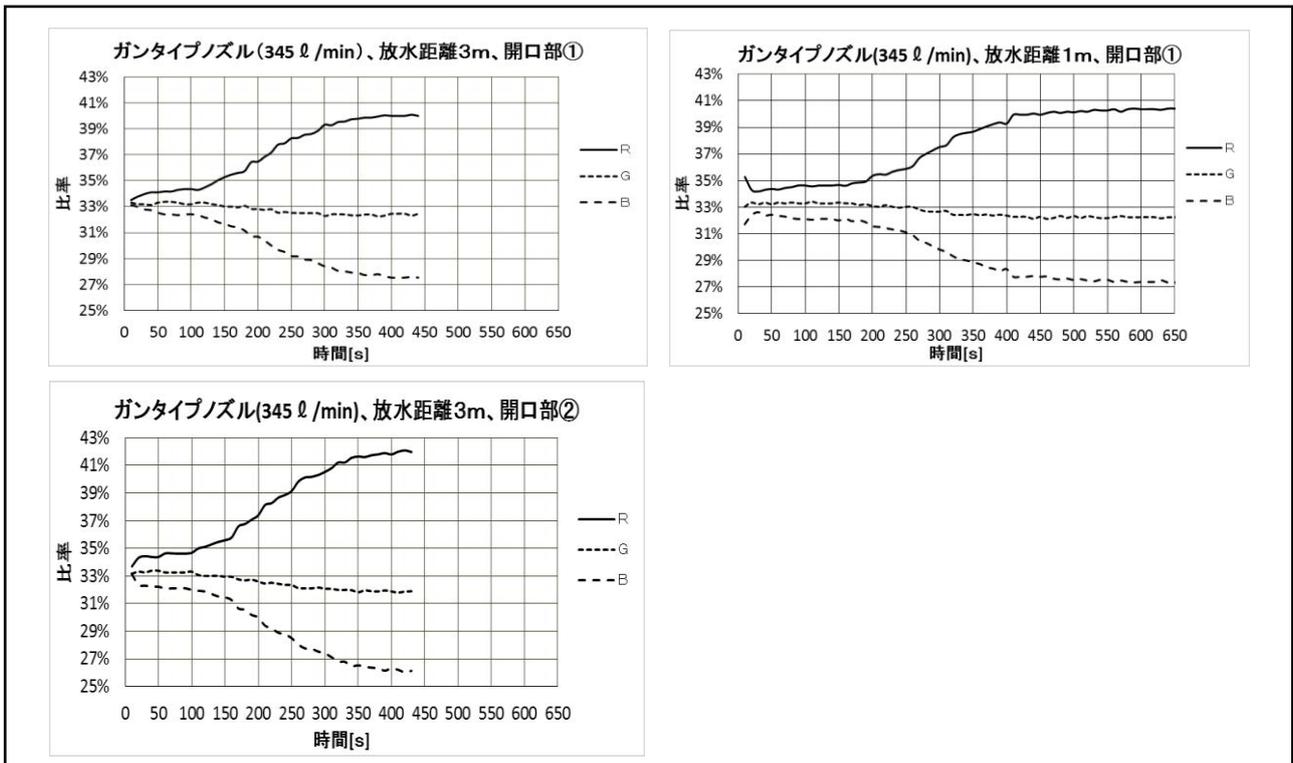


図7 ガンタイプノズル(345 ℓ/min)各条件ごとのRGB値比率

表8 ガンタイプノズル(345 ℓ/min)各条件ごとの基準値に戻る時間

ノズル種別	条件種別	時間 [s]
ガンタイプ ノズル (345 ℓ/min)	放水距離 3 m、開口部① (条件①)	320
	放水距離 1 m、開口部①	410
	放水距離 3 m、開口部②	260

5 考察

(1) 各種ノズルの噴霧放水における風速測定 (検証1)

検証1の条件においては、ノズルごとの展開角度によって風速の差が確認でき、展開角度が小さくなるほど風速は高くなった。

これは、本検証の場合、展開角度が大きくなるほど水平方向への力が弱くなるためと考えられる。

(2) 各種ノズルの噴霧放水における排煙実験 (検証2)

ア 検証2の条件においては、ノズルの展開角度が小さくなるほど、排煙効果は高くなった。

これは、検証1の結果と併せて考えると、同じ条件下では、風量が多いほど排煙効果が高くなるためと考えられる。

イ ガンタイプノズル (345 ℓ/min) において、異なる放水距離で実施した検証について、放水距離が1 mよりも3 mのほうが排煙効果は高かった。

これは、距離を遠ざけたことにより、展開角度が小さくなり、風量が大きくなったために、排煙効果が高くなったと考えられる。

ウ ガンタイプノズル (345 ℓ/min) において、異なる大きさの開口部で実施した検証について、長方形の開口部よりも正方形の開口部のほうが排煙効果は高かった。

これは、長方形の開口部よりも正方形の開口部のほうが、展開角度が小さくなり風量が大きくなったことと、図8に示すように、噴霧放水によって生じた風がより効率的に区画内に供給されたため、差が生じたと考えられる。

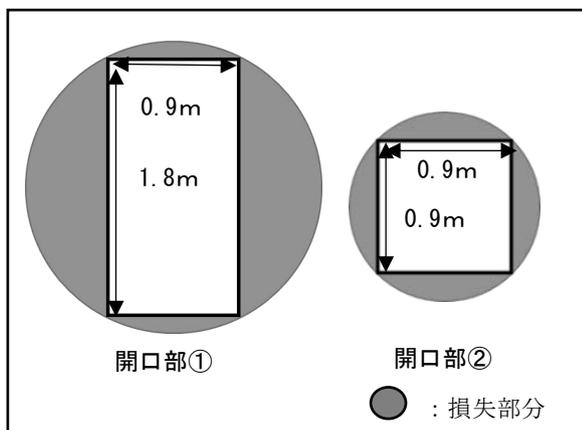


図8 異なる大きさの開口部で実施した検証における風量の損失

6 まとめ

本検証のまとめは以下のとおりである。

(1) ノズルの種別によらず、展開角度が小さいほうが、噴霧放水時の風量は大きいことから、できる限り小さい展開角度で開口部全体を覆うように放水すると、排煙効果は高い。

(2) 検証した条件では、ガンタイプノズル(450 ℓ/min)での噴霧放水が、最も排煙効果は高い。

(3) 今回の検証条件では、一般的な玄関扉のような長方形の開口部よりも、正方形の小さい開口部に対して噴霧放水するほうが、展開角度が小さく、かつ、風が効率的に区画内に供給されるため、排煙効果が高い。

7 おわりに

本検証では、高さ0.9m×幅0.9m×奥行き11mの風洞に対して、各種ノズルの噴霧放水における風速と、高さ2.4m×幅3.0m×奥行き10mの開口部を2か所有する区画に対して、各種ノズルの噴霧放水における排煙効果について確認した。

その結果、上記条件において、ノズルの種別によらず、大きい流量により、できる限り小さい展開角度で損失が少なくなるように、開口部全体を覆うようにして噴霧放水すると排煙効果は高いことがわかった。

消防隊員が噴霧放水による排煙効果の違いを理解し、効率の良い排煙方法を選択することが、効果的な排煙活動につながると考える。

8 謝辞

本検証の実施にあたり、総務省消防庁消防研究センター大規模火災研究室長の田村裕之先生より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

Study on the Effects of Smoke Ventilation Using Various Nozzles

Youhei MOCHIMARU*, Hiroshi FUJIEDA**, Kentarou SENDA***

Yoshiyuki SATOU*, Yuuichirou MACHII****

Abstract

While previous studies have been conducted to measure the air volume generated when spraying water using the 21 type nozzle and the lightweight nozzle, as well as the fire extinguishing performance of various nozzles, studies to clarify their smoke ventilation effects have not been performed.

This study sought to clarify the smoke ventilation effects of spraying with the nozzles currently used by the Tokyo Fire Department for firefighting. For this purpose, we conducted experiments on the wind velocity generated when water was sprayed using each type of nozzle in smoke-filled spaces to confirm the state of smoke ventilation.

In the study, regardless of the type of the nozzle used, the smaller the deployment angle, the larger the air volume during spraying; thus, it was found that when the water was discharged to cover the entire opening at as small a deployment angle as possible, the smoke ventilation effect was high.

*Equipment Safety Section **Azabu Fire Station ***Itabashi Fire Station
****Community Safety and Disaster Education Section