

# 消火用ノズルの性能評価に関する検証

## (その2 消火性能の評価方法について)

田幡 祐基\*, 木田 哲夫\*, 湯浅 弘章\*, 山越 靖之\*\*

### 概要

本検証は、その1において、消火用ノズルの基本性能の評価方法について、反動力と流量が比例することから扱いやすさを流量で比較評価するとともに、各消火用ノズルの特徴を散布度による分類分けで比較評価する方法が有効であることを示した。

本報では、消火用ノズルの消火性能を評価する方法の確立を目的とし、燃焼させた普通火災2単位模型に対し、放水位置からの距離を変えて放水し、消火の成否を確認する実験から消火に最低限必要な単位時間、単位面積当たりの水量（以下「有効散水密度」という。）を推定した。また、散水分布の測定結果から、ノズルごとの有効散水密度が得られる範囲（以下「有効消火面積」という。）を確認した。

その結果、この有効消火面積の大きさを既存の複数のノズル間で比較し評価する手法に、一定の有用性があることを示した。

### 1 はじめに

本検証では、その1において、消火用ノズルの基本性能の評価方法について検証し、反動力と流量が比例することから扱いやすさを流量で比較評価するとともに、各消火用ノズルの特徴を散布度による分類分けで比較評価する方法が有効であることを示した。

本報では、消火用ノズルの消火性能を評価する方法の確立を目的とし、検証を行った。

評価に用いた消火用ノズルは表1のとおりであり、その1（基本性能編）と同じくノズルAからCとする。

表1 検証対象の消火用ノズル

名称	ノズルA	ノズルB	ノズルC
写真			
ノズル元圧 [MPa]	0.3	0.5	0.3
流量ダイヤル (実測値) [L/分]	ダイヤル 無し (495)	125 240 345 450	150 600 MAX (800)

### 2 有効消火面積の定義と検証方法について

消火用ノズルの機械的性能のうち、消火に影響する要素としては、流量、流速、放水形状、水の粒子径、散水分布などが考えられる。本検証では、消火へ影響が大きいと予想される燃焼物にかかる水量に着目した。燃焼物の消火は、消火速度と、すでに消火された領域の再燃速度との競合で決まる<sup>1)</sup>。そのため、燃焼物にかかる水量が少なすぎれば、再燃速度よりも消火速度が小さくなり、消火に至らない。つまり、ある火源に対して消火に最低限必要な単位時間、面積あたりの水量（以下「有効散水密度」という。）があると考えられる。また、この有効散水密度と消火用ノズルの散水分布から、放水によって有効散水密度が得られる範囲の面積が得られる。本検証では、この面積を有効消火面積と定義し、既存の各種消火用ノズル間でこの有効消火面積の大きさを比較することで、消火用ノズルの性能を評価した。

### 3 有効散水密度に関する文献調査

各消火用ノズルの有効消火面積を求めるためには、基準となる有効散水密度を求める必要がある。本検証に先立ち、散水密度に関する研究及び検証について文献調査を行った。

\* 装備安全課 \*\* 城東消防署

過去の検証<sup>2)</sup>では、簡易耐火造建築物の実大消火実験で使用した水量と床面積から消火に必要な散水密度を計算し、平均的な集合住宅の火災荷重において、約 10L/min・m<sup>2</sup>が消火に必要な散水密度であると結論付けている。

また、浅見<sup>3)</sup>によるスプリンクラーの消火性能実験では、火災の抑制に必要な散水密度は木材火源の発熱速度とスプリンクラーヘッドの高さによって変化し、1 MW の火源に天井高さ 2.8m から散水する場合は 2.0mm/min であり、以降、火源の発熱速度及び天井高さが増すごとに必要な散水密度は増えるとしている。この単位 mm/min はそのまま散水密度の単位と互換性があるので、必要水量は 2.0L/min・m<sup>2</sup>と読み替えることができる。

その他、水幕と樹木の併用による延焼防止効果<sup>4)</sup>に関する研究では、燃焼するヘプタンの風下に置いた樹木に連続注水を行い、熱気流の温度と樹木への注水量から延焼阻止の効果を調べており、400℃の熱気流では降水量 9.8mm/min、300℃では 1.9mm/min の降水量が延焼防止のために必要であるとしている。

また、国内外の各種法令等の基準でも散水密度の単位が用いられている<sup>5)~8)</sup>。主にスプリンクラーヘッドや水噴霧設備における性能基準として採用されており、放水対象や発熱速度によって 2.0~20 L/min・m<sup>2</sup>の値が必要な性能として定めている。

#### 4 散水密度と消火の可否の関係に関する実験

前3の文献調査の結果、散水密度に関するものはいくつかあり、特に火勢抑制や延焼阻止に関する数値が得られた。しかし、積極的な消火に関するものは当所の過去の検証のみであり、十分とはいえない。そこで、本実験では、有効散水密度を決定するため、散水密度の測定と消火実験の2つを行った。

実験では、放水位置から燃焼させた木材クリブ（消火器の技術上の規格を定める省令第三条に定める第一模型）（以下「クリブ」という。）までの距離を変化させることで散水密度を変えて消火する実験を繰り返し、消火の成否から有効散水密度を推定した。

##### (1) 散水密度の測定

散水密度の測定は、表2に示した条件で放水した水を、図1のように配置した採水升到1分間放水し、升で採水した水の量から計算した。放水条件は、文献調査結果及び散水分布の測定結果（その1、基本性能編）より、ノズル、流量等の条件を決定した。また、本検証で使用した採水升は、採水面の面積が 0.111m<sup>2</sup>（33.3×33.3 cm）であり、9個で1.0m<sup>2</sup>として扱った。

表2 消火実験の放水条件

ノズル	ノズル元圧 [MPa]	流量 [L/min]	仰角 [度]	展開角 [度]
ノズル C	0.3	150	27	0（直状）

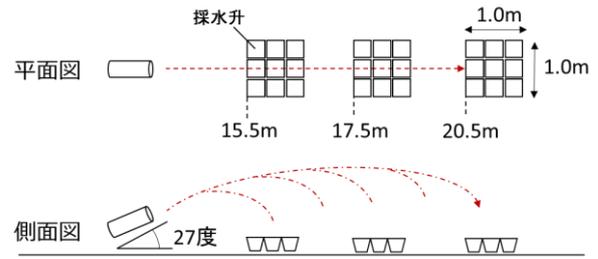


図1 散水分布測定方法の概要

##### (2) 消火実験

消火実験では、散水密度の測定と同条件で放水し、散水密度を測定した各位置においてクリブの消火に要した時間を測定した。クリブの概要を図2に、実験概要を図3に示す。クリブへの着火は、オイルパンに注いだ500mLのn-ヘプタンに着火することで行い、n-ヘプタンへの着火から3分後に消火を開始した。消火の判定は、有炎現象がなくなるとともに、クリブ内に設置したK型熱電対の温度がすべて100℃を下回ること、放水停止から2分間再燃がないことを条件とした。消火時間は、クリブ内に設置した熱電対が100℃を下回るまでの時間とした。また、クリブの自由燃焼時の燃焼継続時間を鑑み、消火開始から5分以上燃焼を継続した場合は消火失敗と判定した。

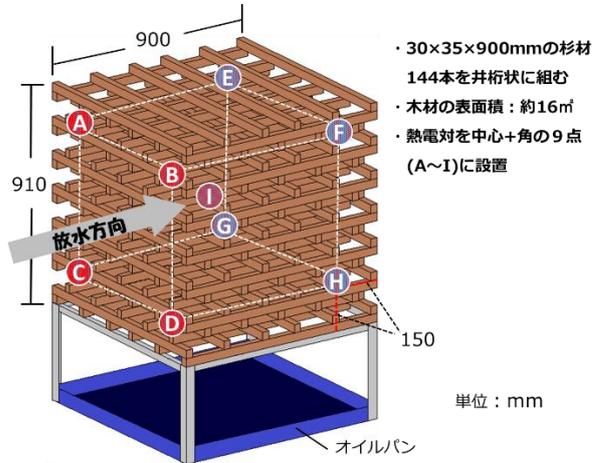


図2 クリブの概要

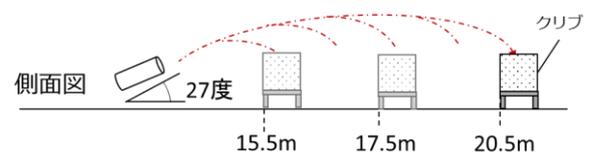


図3 消火実験の概要

##### (3) 実験結果と考察

燃焼するクリブ内の温度測定結果を図4に示した。図中の各線は、各実験における熱電対の測定結果のうち、最も長時間 100℃以上を記録した位置の温度測定結果で

ある。15.5m及び17.5mに配置した実験1及び実験2では放水面から遠いクリブ後面の下部が最後まで高温となっていた。一方で、クリブを距離20.5mに配置した実験3では放水面であるクリブ前面の上側が最後まで高温となっていた。

消火実験の結果を表3にまとめた。平均散水密度7.8L/min・m<sup>2</sup>の実験1では消火に失敗しているが、11.3L/min・m<sup>2</sup>の実験2では成功した。

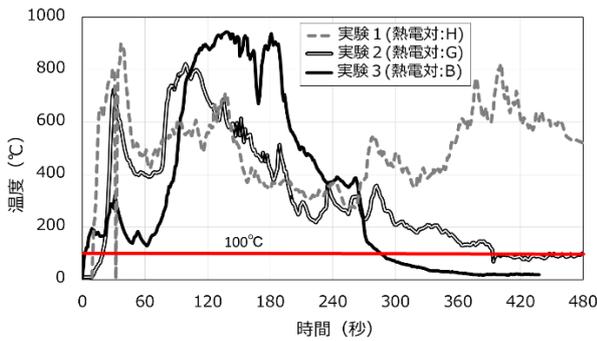


図4 クリブ温度変化の測定結果

表3 消火実験の結果

	実験1	実験2	実験3
放水距離 [m]	15.5	17.5	20.5
散水密度 [L/min・m <sup>2</sup> ]	7.8	11.3	20.2
消火時間 [min・sec]	-	3' 24	1' 47
消火の成否	失敗	成功	成功

(4) 有効散水密度の決定

消火実験の結果より、クリブを火源とした場合の有効散水密度は7.8から11.3L/min・m<sup>2</sup>の間に存在することが推定できた。この数値は過去の検証<sup>2)</sup>とも矛盾しない。よって、本検証では10L/min・m<sup>2</sup>を普通火災での有効散水密度として用いた。また、比較用に、延焼阻止に関する文献<sup>3), 4)</sup>から最小値である2L/min・m<sup>2</sup>を延焼阻止に有効な散水密度と仮定し使用した。

5 有効消火面積の算定

前4の結果及び各消火用ノズルの散水分布から、有効消火面積を算定する。各消火用ノズルの散水分布はその1(基本性能編)のとおりであり、測定に用いた採水升は本検証で使用したものと同一物である。また、その1の実験では、採水升は間隔をおいて配置されているため、面積を求めるには採水升1つが代表する面積を算出する必要がある。

その1における各升の配置間隔は図5のとおりである。直状放水の場合、升の中心が放水方向に1mずつ、横方向に0.5mずつずれるように配置されている。つまり、各升は1m×0.5m=0.5m<sup>2</sup>の長方形の中心に配置されてい

る。このことから、升ひとつから得られる散水密度が有効散水密度を超えた場合、升を中心とした0.5m<sup>2</sup>を有効消火面積として加算することとした。同様に、噴霧放水では升ひとつにつき2.0m<sup>2</sup>として考えられる。図6はこの方法に基づいて散水分布を区分し、さらに、有効散水密度の条件で色分けした。図6中(a)A495直状のように得られた散水分布を有効散水密度の条件(10及び2L/min・m<sup>2</sup>)で分けるとそれぞれ(b)及び(c)のように表せる。この色分けした部分の面積が有効散水面積となる。同様に、(d)B450直状の散水分布から(e)及び(f)のように、(g)C600直状の散水分布から(h)及び(i)のように有効消火面積が得られる。以下、それぞれの面積を10L有効消火面積、2L有効消火面積と呼称する。

これらの条件で得られた散水分布から有効消火面積を求め、各ノズル間で比較した。

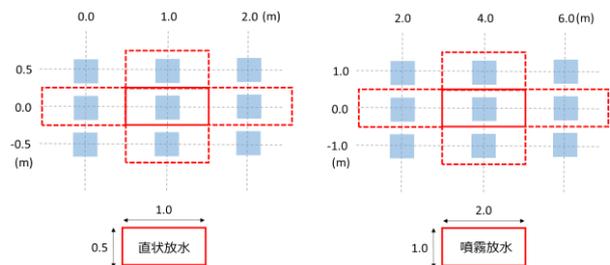


図5 散水升の配置と代表する範囲

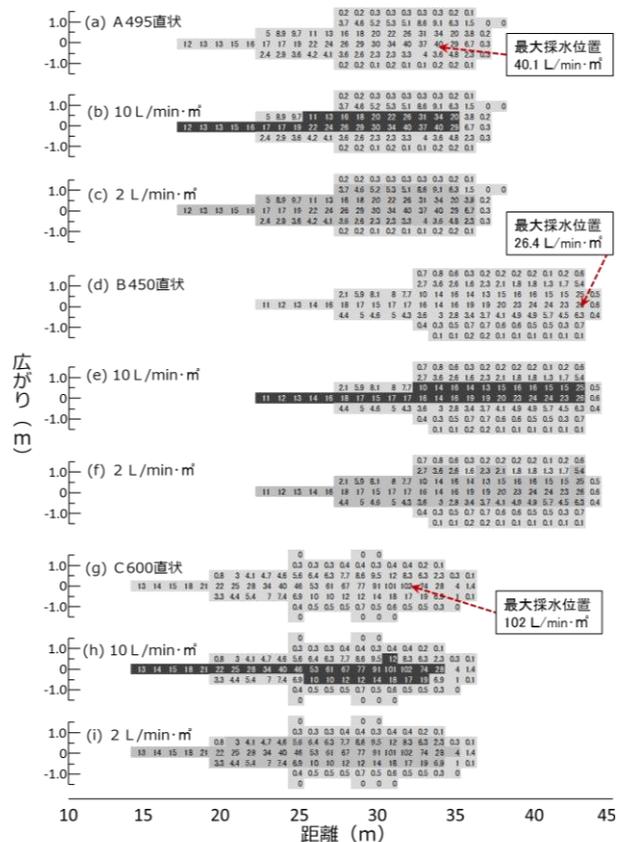


図6 有効消火面積の可視化

(1) 10L有効消火面積

各消火用ノズルの10L有効消火面積を図7に示す。以後、ノズル名と流量設定をつなげて表記する(例:ノズルBの450L/minをB450と表記)。

図7のとおり、A495、B450、C800及びC600の直状放水では、流量に差があるにも関わらず、10L有効消火面積は各ノズルとも同程度の値となった。一方、展開角30度における10L有効消火面積は、A495、C800及びC600がB450より高い値となっている。また、C800では展開角を増すごとに10L有効消火面積が大きくなっている。特に、展開角60度でのC800の10L有効消火面積は、全ノズルの各放水形状中最大の面積となった。一方、B450においては、展開角を変えても有効消火面積の変化は小さかった。

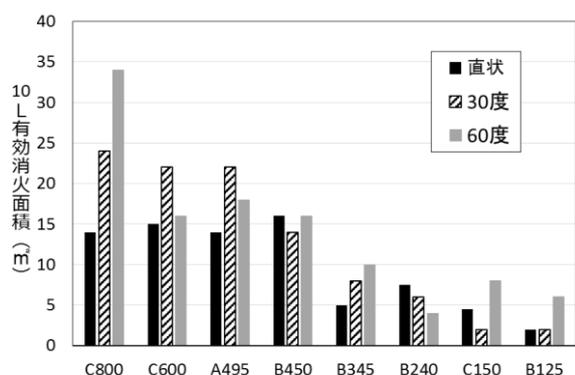


図7 各ノズルの展開角ごとの10L有効消火面積

(2) 2L有効消火面積

各消火用ノズルの2L有効消火面積を図8に示す。図8より、直状放水においてはノズルA及びBがCに対して優位となっている。特にB345が最大となる結果となった。また、60度噴霧放水における2L有効消火面積は、各ノズルにおける流量の大小の傾向とほぼ一致した。また、A495、C800及びC600の2L有効消火面積は展開角を増すごとに増えている。B450は展開角の違いによる変化が少ないが、B345及びB240では直状が最大となった。

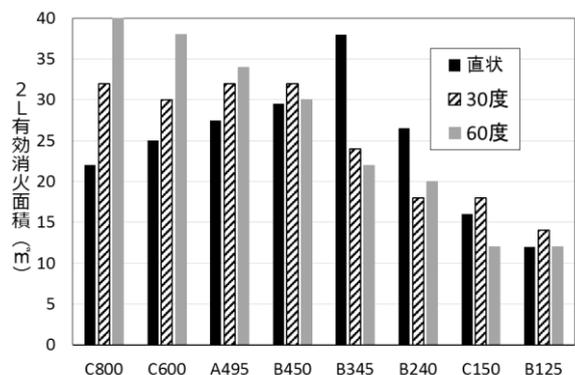


図8 各ノズルの展開角ごとの2L有効消火面積

(3) 評価方法の妥当性に関する考察

10L有効消火面積の結果から、直状放水においては流量の違いがあっても各ノズルとも近い値をとり、噴霧放水においてはノズルごとに異なる有効消火面積の変化が明確に表れるなど、その1で明らかにした機械的性能からは判別できない特性が明らかになった。また、C800のように展開角度を増すごとに有効消火面積が2倍以上になるノズルがあることが分かるなど、実火災での消火活動においても有用となる情報が得られた。また、2L有効消火面積の結果は、各ノズルの展開角ごとに、比較可能な差として表れていることが分かる。よって、有効消火面積を比較することが、消火性能を評価する方法として一定の有用性を持つと考えられる。

(4) 既存のノズルを用いた有効消火面積の比較

A495、B450、C800及びC600を有効消火面積の大きさから比較すると、表4及び表5のとおりとなった。表4及び表5では上から有効消火面積の大きい順に並べており、上に位置するノズル、展開角ほど消火性能が高いものとなる。

表4 10L有効消火面積

ノズル	放水形状	面積 (m²)
C800	60度	34.0
C800	30度	24.0
C600	30度	22.0
A495	30度	22.0
A495	60度	18.0
B450	直状	16.0
C600	60度	16.0
B450	60度	16.0
C600	直状	15.0
C800	直状	14.0
A495	直状	14.0
B450	30度	14.0

表5 2L有効消火面積

ノズル	放水形状	面積 (m²)
C800	60度	40.0
C600	60度	38.0
A495	60度	34.0
C800	30度	32.0
A495	30度	32.0
B450	30度	32.0
C600	30度	30.0
B450	60度	30.0
A495	直状	29.5
B450	直状	27.5
B240	直状	26.5
C600	直状	25.0

ここで、上記の比較には流量の差が考慮されていない。そこで、有効消火面積を流量で除することにより単位流量あたりの有効消火面積を算出し比較した。結果は図9及び図10のとおりである。単位流量あたりの10L有効消火面積がB450を超える結果となったのは展開角30度のA495及びC600並びに展開角60度のC800のみであった。この結果を加味した比較は表6及び表7のとおりである。

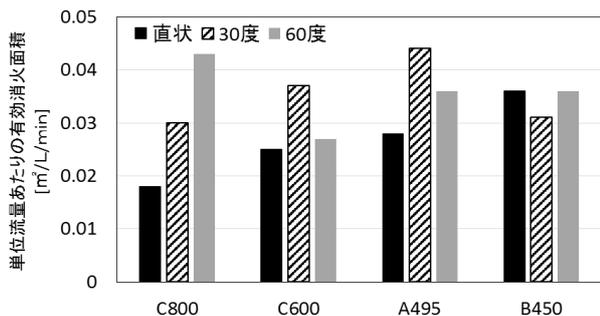


図9 単位流量あたりの10L有効消火面積比較

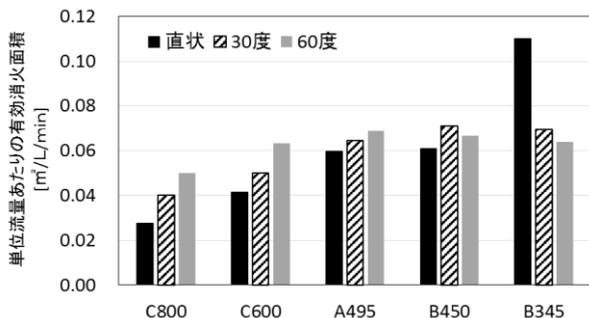


図10 単位流量あたりの2L有効消火面積比較

表6 単位流量あたりの10L有効消火面積

ノズル	放水形状	面積/流量
A495	30度	0.044
C800	60度	0.043
C600	30度	0.037
B450	直状	0.036
A495	60度	0.036
B450	60度	0.036
B450	30度	0.031
C800	30度	0.030
A495	直状	0.028
C600	60度	0.027
C600	直状	0.025
C800	直状	0.018

表7 単位流量あたりの2L有効消火面積

ノズル	放水形状	面積/流量
B450	30度	0.071
A495	60度	0.069
B450	60度	0.067
A495	30度	0.065
C600	60度	0.063
B450	直状	0.061
A495	直状	0.060
C600	30度	0.050
C800	60度	0.050
C600	直状	0.042
C800	30度	0.040
C800	直状	0.028

## 6 まとめ

消火用ノズルの消火性能に関する評価方法確立のため、各ノズルの有効消火面積を比較する方法を考案し実施した。

その結果、その1で明らかにした機械的性能からは判別できない特性が明らかになったとともに、各ノズルの展開角ごとに比較可能な差として表すことができた。また、C800のように展開角度を増すことで有効消火面積が2倍以上になるノズルがあることが分かるなど、実火災での消火活動においても有用となる情報が得られた。さ

らに、有効消火面積を反動力や流量、射程距離等と組み合わせることで、表8のように様々な方向から検討可能となった。

以上のとおり、この方法によって消火ノズルの特徴が客観的な数値に置き換えて、大きく得られることから、評価手法として有用であることが明らかとなった。

## 7 おわりに

本検証では消火用ノズルの性能評価のみならず、消防戦術に応用可能な知見が得られた。さらに、有効散水密度を見直すことで様々な火災に対する性能評価に応用できる可能性がある。一方で、近距離での直状放水は、ほぼすべての放水が局所的に放水対象に到達するため、有効消火面積に着目する本検証での評価方法は有効とは言えず、今後の課題とする必要がある。

## 8 謝辞

本検証の実施に際して、総務省消防庁消防大学校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、多くの貴重な助言を賜りました。また、同センターからは、実験施設の御提供並びにスタッフの皆様の御協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

### [参考文献]

- 1) 日本火災学会編：火災便覧第4版、共立出版、平成30年
- 2) 高井啓安、ほか2名：最大放水射程における散水分布について、消防科学研究所報、第39号、pp.15-19、平成14年
- 3) 浅見高志：スプリンクラーの消火性能実験、火災誌、第275号、pp.42-48、平成17年
- 4) 消防庁消防研究所：水幕と樹木の併用による延焼防止向上効果に関する研究報告書、消防研究所技術資料第15号、昭和60年
- 5) 総務省消防庁：放水型ヘッド等を用いるスプリンクラー設備の設置及び維持に関する技術上の基準の細目、平成8年消防庁告示第6号
- 6) 総務省消防庁：水噴霧消火設備に関する基準、消防法施行規則第16条
- 7) 経済産業省：液化石油ガス保安規則の機能性基準の運用について、平成30年3月30日経済産業省通達
- 8) National Fire Protection Association: NFPA15; Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection, 2017

表8 消火用ノズルの性能検討例

