

放水器具（ノズル）による消火特性の研究

玉越孝一*，根本昌平*，菅原洋一*，富田功**

概要

本研究は、一般住宅などの居室規模空間での火災を想定し、閉鎖空間内に設定した燃焼物に対し、放水形状、放水流量及び放水方法等を組合せた12通りの消火実験を行い、放水による燃焼物の消火状況、温度変化等から消火特性を検討した。また、消火実験で確認された事象の活用方策についても検討した。

1 はじめに

放水は、消火だけに止まらず、遮熱、遮煙、排熱等の消火活動に欠かせない放水による効果が期待できる。

今回の研究では、消火に関する実験を行い、居室規模の空間を想定して、放水形状、放水量、放水方法を組合せた実験でのガス濃度、放水時の空間温度の変化、再燃の結果等から、消火特性を検討し、消火活動時における安全管理、消火戦術に関する数値的データ及び映像記録を行う。

また、特別消火中隊の発足に伴い、消火器具についても各種新資機材の段階的導入が計画されている。このような状況から、一つの消火器具ごとに、実験設定を変えると、他との比較検討や過去に取得したデータとの比較も難しい。よって、今回の実験結果を各種消火器具(ノズル等)の評価手法として活用することについて検討する。

2 実験について

(1) 実験目的

消火活動に科学的根拠を与えることを目標に放水による閉鎖空間内の温度状況、燃焼物の消火状況の数値的データ及び映像から、放水形状、放水量等による消火特性を確認することを目的とする。

(2) 使用施設

消防科学研究所燃焼棟内の移動実験室（写真1,2参照）を使用した。寸法は、縦3.6m×横3.3m×高さ2.15mで壁、床、天井は、ALCにステンレス板を貼り付け、柱は鉄骨造である。



写真1 移動実験室前景

写真2 移動実験室内部

(3) 測定機器

以下の各項目について計測を実施した。計測に使用した機器は表1のとおり。

(ア) 温度の測定

図1に示す①～⑧のそれぞれの位置に、床から0.1m、1.1m、2.05mの高さに熱電対を設置した。

クリブの周囲の温度については、⑨の位置のクリブ下部、クリブ上部、天井面から0.1mの位置に設置した。

(イ) 酸素濃度の測定

図1のクリブ上方天井面に、ガス採集導管を設定し、酸素の濃度を測定した。

(ウ) 可視画像の撮影

図1の△からクリブの燃焼、消火状況をデジタルビデオカメラで撮影を行った。

(エ) 放水流量の測定

図1の■の位置に流量計を設定し、放水流量を測定した。

(オ) データロガー

各計測機器の電圧出力をデータロガーでAD変換したものをパーソナルコンピュータで記録した。

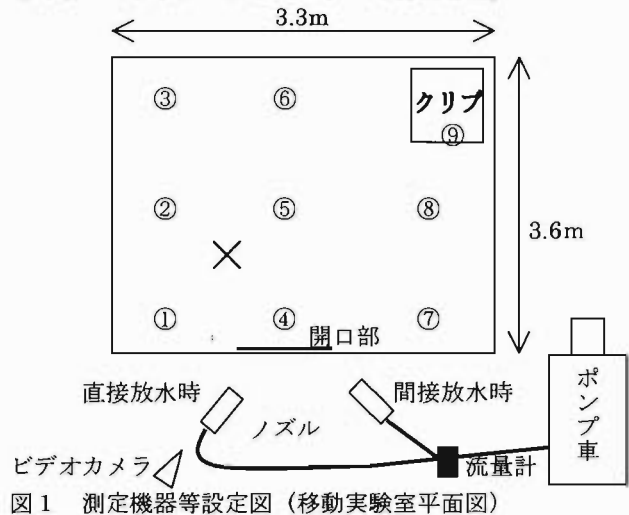


図1 測定機器等設定図（移動実験室平面図）

表1 測定機器

| 測定項目 | 測定機器 |
|-------|------------------------------|
| 温度 | シー型 K 熱電対 JIS C 1605 規格品 |
| 酸素濃度 | 横河電機社製 OX61形 |
| 可視画像 | ソニー社製 DCR-VX2000 |
| 放水流量 | 愛知時計社製 TAV65V-30UEFVFIX10 |
| データ記録 | 江藤電気社製 CADAC21 モデル 9201 |

(4) 消火用燃焼物

消火用燃焼物は、2単位クリブ（2単位クリブとは、「消火器の技術上の規格を定める省令」（昭和39年9月17日自治省令第27号）第3条に規定された第1模型である。）を使用した。（以下「クリブ」という。）

(5) クリブの設置位置

図1のように、オイルパンの上に組んだ高さ0.3mのアンクルの上に2単位クリブを設定し、移動実験室内の右奥に設置した。

(6) 放水器具

放水器具は、アクロン社製 ターボジェットノズル（以下、「ガンタイプノズル」という。）を使用した。（写真3、4参照）

このノズルは、4段階の流量切替えダイヤルにより容易に放水量の調節ができる。

また、回転クシ歯の作動の有無による噴霧及び直状放水の両方が可能である為、今回の実験器具として採用した。



写真3 側面



写真4 全形

(7) 実験設定

一般に、ノズルは水流を変換する構造により、到達距離、放水形状、流量を変化させるものである。

よって、今回の実験では、ノズルを変えて実験するのではなく、ノズルから放出された放水流の形状と流量を変化させた組合せにより実験を行った。

ア 放水形状について

放水形状は、直状放水（ストレート）と噴霧放水（フォグ）の2種類とした。

イ 放水方法について

放水方法は、クリブの側面に水を掛けることのできる範囲で放水する方法（直接放水）及び2単位クリブが存在する閉鎖空間内で、反射水がクリブに掛らない位置（図1×

の位置）の天井面に放水する方法（間接放水）の2方法とした。

ウ 放水量

放水流量は、100L/minと400L/minの2種類とした。

エ 放水時間

実験毎に設定する。

オ 消火対象

2単位クリブ

カ 熱源用クリブ

室内全体に延焼拡大している場合、一方の壁面に放水している場合、対面する壁面も燃焼しており、熱エネルギーを放出し続けていることが考えられる。この場合を想定し、移動実験室内の右隅奥と左隅奥に並置した2個のクリブを燃焼させて右隅奥のクリブに直接放水により消火する実験を行った。

キ 開口部

今回の実験では、縦1.8m×横0.9mの開口部を設定した。また、熱源用クリブのある実験については、開口部の大きさを縦1.8m×横1.8mとした。

ク 実験設定の組合せ

上記の条件を組合せ、表2のように12通りの実験を実施した。

表2 実験設定組合せ

| 放水方法 | 放水形状 | 設置クリブ | 水流量 (100L/min) | 水量 (400L/min) |
|------|------|------------|-------------------|------------------|
| 間接放水 | 直状 | 消火用 | 実験1 | 実験2 |
| | 噴霧 | 消火用 | 実験3 | 実験4 |
| 直接放水 | 直状 | 消火用 | 実験5 | 実験6 |
| | 噴霧 | 消火用 | 実験7 | 実験8 |
| | 直状 | 消火用 熱源用 | 実験9 | 実験10 |
| | 噴霧 | 消火用 熱源用 | 実験11 | 実験12 |

(8) 着火及び消火手順

各実験とも以下の手順で行なった。

- ① 水を張ったオイルパンに着火材として500mlのガソリンを注ぎ、ガソリンに点火し、クリブに着火させる。
- ② 着火後3分後に各放水条件に合せ放水する。
- ③ 再燃確認時には、再度同じ放水条件により放水する。
- ④ 着火後、10分で実験を終了する。

2 間接放水に関する実験（実験1～4）

(1) 実験日時

平成16年12月8日～9日

(2) 放水条件

ア 放水量・放水時間

放水量は、放水した水が気化することで約1700倍に膨張すると仮定し、その膨張した体積が閉鎖空間の体積と同様の25.5 m³となる水量を放水すると400L/minで約3秒間、100L/minで約10秒間となるが、有炎現象の消滅を考慮し、400L/minで4秒間、100L/minで12秒間を目安に放水を行なった。放水量は約20Lである。

イ 放水方法

放水は、図1の×印の天井面に所定の時間行なった。

(3) 実験結果

ア 2単位クリブの消火状況

(ア) 直状放水

① 100L/min

放水した水は、熱せられた室内空気、天井及び壁面からの受熱により、水蒸気となる。水蒸気は、放水による押し出し、壁面天井からの反射、開口部からの空気流入等の条件から、クリブの方向へ向かい、クリブの下部及び側面から流入付着することで有炎現象が消滅した。（写真5参照）

放水停止後、数秒後には、再発火し、クリブ全体に有炎現象が広がった。以降、再燃を確認する毎に、放水したが、実験終了まで再発火を繰り返した。

② 400L/min

消火の状況は、100L/minと同様である。約4秒間においても、有炎現象の消滅は確認できた。

(イ) 噴霧放水

① 100L/min

1回目の12秒間の放水では、有炎現象は抑制したが、その後の放水では、ある程度の抑制効果は、認められたが有炎現象は継続した。（写真6参照）

② 400L/min

放水により、水と共に空気も燃焼室内に送り込んだため、クリブからの火炎が、放水と同時に大きくゆれた。

また、1回目の4秒間の放水でも有炎現象は消滅せず、その後の放水によっても有炎現象は継続した。（写真6参照）有炎現象を抑制するには、より長い放水時間が必要となると考えられる。



写真5 直状放水

放水により正面のクリブ側面から有炎現象が消滅。



写真6 噴霧放水

放水してもクリブの有炎現象は継続。

イ 放水による温度上昇について

一般に、閉鎖空間内に放水し、燃焼物体からの熱エネルギーが低下すれば、閉鎖空間内の温度も低下すると考えられる。今回の実験においては、閉鎖空間の隅や開口部付近において、放水時の温度変化を測定した。

グラフは、各実験の一回目の放水時の温度変化であり、測定点は、変化の見られた開口部付近（図1の①、④、⑦）の床面上部（床から0.1m）である。

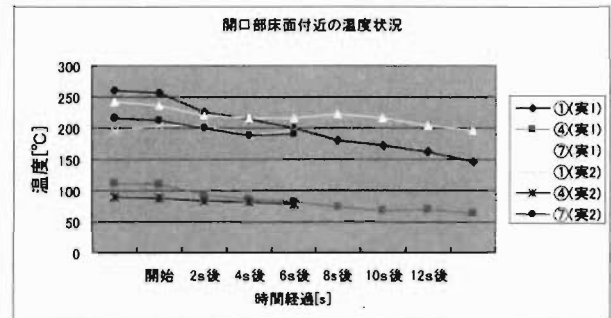


図2 直状放水による温度変化

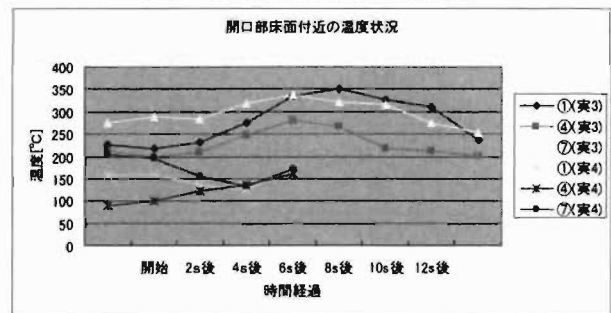


図3 噴霧放水による温度変化

上記の結果から、噴霧及び直状放水による、空間内の温度上昇の有無に関してまとめた結果が表3である。

表3 温度上昇の有無

| 放水方法 | 放水量 L/min | ① | ④ | ⑦ |
|------|--------------|---|---|---|
| 直状放水 | 100 | × | × | × |
| | 400 | × | × | × |
| 噴霧放水 | 100 | ○ | ○ | ○ |
| | 400 | × | ○ | × |

※ ○印は温度上昇「有り」、×印は温度上昇「無し」を意味する。

今回の結果では、噴霧放水時において、温度上昇が確認される箇所があり、特に開口部付近は、流量に関係なく測定された。

(4) まとめ

間接放水時は、放水する天井面だけでなく、空間形状や水の気化による天井面から床面への高温部分の押し下げによる床面付近における温度上昇に留意する必要がある。

また、熱環境の空間内で水が水蒸気となり、燃焼物の有炎現象は抑制することもあるが、熱エネルギー、可燃物、酸素の条件が整えば、再発火する。現場では、間接消火に

より、有炎現象が収まった部分であっても、スポット注水により直接消火する必要がある。

3 直接放水に関する実験（実験5～8）

(1) 実験日時

平成16年12月9日～10日

(2) 放水条件・放水時間

ア 放水量・放水時間

放水時間は、間接放水の設定時間と同様に、400L/minで約4秒間、100L/minで約1.2秒間を目安に放水時間を行った。放水量は、約20Lである。

イ 放水方法

放水は、移動実験室の開口部に面したクリブ面に直接放水した。

(3) 計測結果

ア クリブの消火状況

(ア) 直状放水

① 100L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。壁面側等の直接水が掛りにくい部分は、放水停止直後は、有炎現象が消滅しても、数分後には、再発火した。（写真8参照）

② 400L/min

400L/minにおいても、消火状況については、100L/minの場合と同様であった。

(イ) 噴霧放水

① 100L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。壁面側等の直接水が掛りにくい部分は、放水停止直後は、有炎現象が消滅しても、数分後には、再発火し、壁面側の有炎現象は継続した。また、噴霧放水の場合、空気の巻込み量が多い為、壁面に面した有炎現象の消滅には時間を要した。

② 400L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。壁面側等の直接水が掛りにくい部分は、放水停止直後は、有炎現象が消滅するが、数分後には、再発火し、壁面側の有炎現象は継続した。また、100L/minと比べると、壁面に面した部分の再発火には時間を要した。



写真7 直状放水

直状放水により、クリブに放水している状況



写真8 直状放水

クリブの壁面側が燃焼している状況



写真9 噴霧放水

噴霧放水により火炎がクリブ裏面（壁面側）に火炎が押されている状況

イ 放水による温度上昇

今回の実験では、閉鎖空間の隅や開口部付近における、放水時の温度上昇は見られなかった。

グラフは、間接放水と同様に各実験の一回目の放水時の温度変化であり、測定点は開口部付近（図1の①、④、⑦）の床面上部（床から0.1m）である。

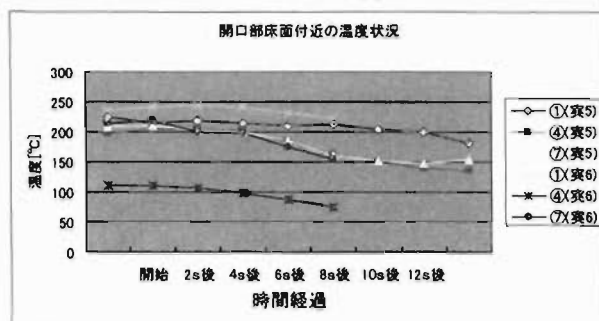


図4 直状放水による温度変化

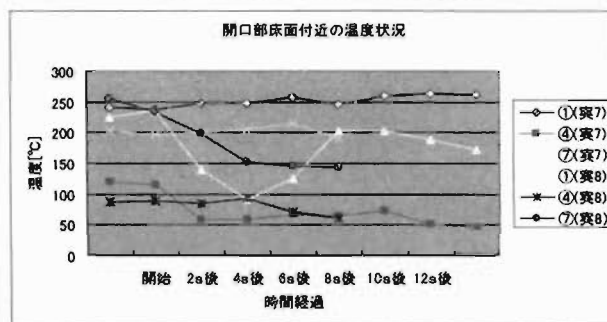


図5 噴霧放水による温度変化

上記の結果から、噴霧及び直状放水による、空間内の温度上昇の有無に関してまとめた結果が表4である。

表4 温度上昇の有無

| 放水形状 | 放水量 L/min | ① | ④ | ⑦ |
|------|--------------|---|---|---|
| 直状放水 | 100 | × | × | × |
| | 400 | × | × | × |
| 噴霧放水 | 100 | × | × | × |
| | 400 | × | × | × |

※ ○印は温度上昇「有り」、×印は温度上昇「なし」を意味する。

今回の結果では、開口部床面付近の温度上昇は、直状・噴霧のいずれの直接放水時においても確認できなかった。

(4) まとめ

直接放水では、燃焼物自体に放水するので、水が十分に掛った箇所は、再燃しないが、クリブ裏面の壁面側は、放水を受け難く再発火しやすい。

4 直接放水に関する実験（熱源）（実験 9～12）

(1) 実験日時

平成16年12月10日～14日

(2) 放水条件

ア 放水量・放水時間

放水時間は、間接放水の設定時間と同様に、400L/minで約4秒間、100L/minで約1.2秒間を目安に放水を行った。放水量は、約20Lである。

イ 放水方法

熱源に用いたクリブには、放水する水がかからないように注意し、消火するクリブに直接放水した。

(3) 計測結果

ア クリブの消火状況

(ア) 直状放水

① 100L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。クリブ裏面の壁面側等の直接放水を受けにくい部分は、放水停止直後には有炎現象が消滅するが、その後、再発火した。

その際、熱源として用いたクリブの火炎に揺れ、縮小等の影響は、少なかった。（写真11参照）

② 400L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。熱源として用いたクリブに面した消火用クリブの面は、放水停止直後には、有炎現象が消滅した後に再発火した。100L/minに比べると、再発火するのに時間を要した。

その際、熱源として用いたクリブの火炎には揺れ、縮小等の影響は、少なかった。

(イ) 噴霧放水

① 100L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。クリブ裏面の壁面側等の直接放水を受けにくい部分、熱源として用いたクリブに面した面は、放水停止直後は、有炎現象が消滅した後に、再発火した。

熱源として用いたクリブの火炎は揺らぎ、縮小した。開口部からの火炎の噴出しが確認された。

② 400L/min

直接、水が掛った部分は、有炎現象が消滅した。クリブ裏面の壁面側等の直接放水を受けにくい部分、熱源として用いたクリブに面した面は、放水停止直後は、有炎現象が消滅した後に再発火した。

熱源として用いたクリブの火炎は、クリブの左側から大きく揺らぎ、一旦全体の有炎現象が消滅した。（写真12参照）開口部全面からの火炎の噴出しが確認された。

（写真13参照）



写真10 設置状況
クリブ2個の燃焼状況



写真11 直状放水
熱源用クリブへの影響がない状況。



写真12 噴霧放水
放水による熱源用クリブへの影響



写真13 噴霧放水
開口部からの吹き返しの状況

イ 放水による温度上昇

放水時の温度変化は中間（床面から1.1m）の位置、床面付近の位置に確認された。

グラフは、直状、噴霧放水ともに、各実験の一回目の放水時の温度変化であり、測定点は、変化の見られた開口部付近（図1の①、④、⑦）の床面上部（床面から0.1m）である。

(ア) 床面付近

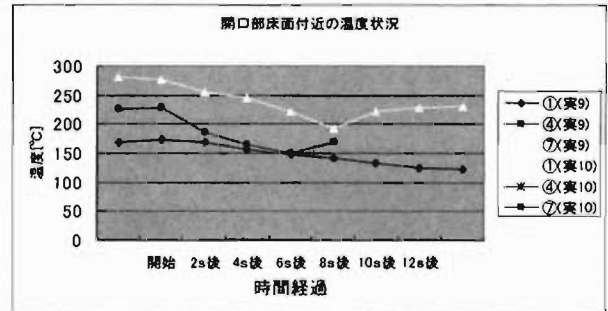


図6 直状放水による変化

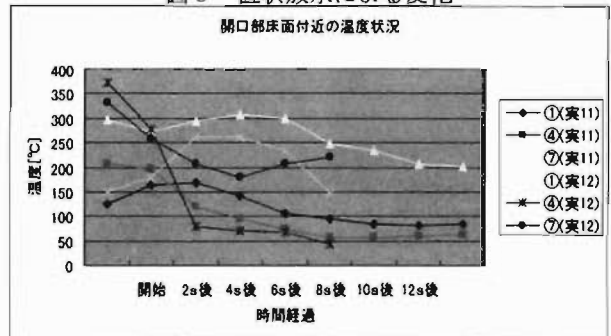


図7 噴霧放水による変化

上記の結果から、噴霧及び直状放水による、空間内の温度上昇の有無に関してまとめた結果が表5である。

表5 温度上昇の有無

| 放水形状 | 放水量 L/min | ① | ④ | ⑦ |
|------|--------------|---|---|---|
| 直状放水 | 100 | × | — | × |
| | 400 | — | — | × |
| 噴霧放水 | 100 | ○ | × | ○ |
| | 400 | ○ | × | × |

※ 一印は、異常な値が測定されたため、評価から外した。
 ※ ○印は温度上昇「有り」、×印は温度上昇「なし」を意味する。

(イ) 中間層

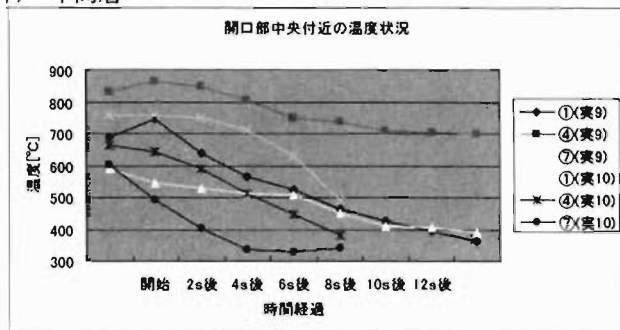


図8 直状放水による温度変化

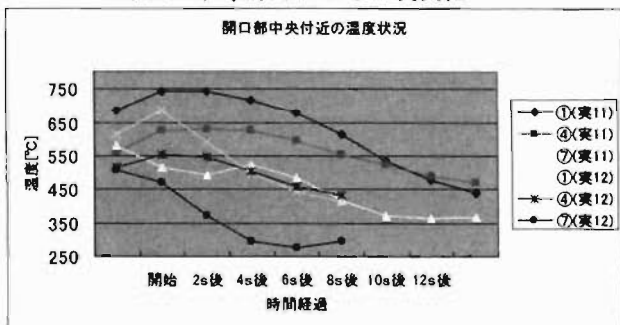


図9 噴霧放水による温度変化

上記の結果から、噴霧及び直状放水による、空間内の温度上昇の有無に関してまとめた結果が表6である。

表6 温度上昇の有無

| 放水形状 | L/min | ① | ④ | ⑦ |
|------|-------|---|---|---|
| 直状放水 | 100 | × | × | × |
| | 400 | × | × | × |
| 噴霧放水 | 100 | ○ | ○ | × |
| | 400 | ○ | ○ | × |

※ ○印は温度上昇「有り」、×印は温度上昇「なし」を意味する。

放水中も、熱エネルギーを受ける空間内では、吹き返しなどによる温度上昇は、直状放水では確認されないが、噴霧放水では、中間層においても確認された。

(4) まとめ

放水した部分以外から、熱エネルギーが放出されている空間においては、直状放水は、放水を受けた部分だけの消火効果であり、他にあまり影響を与えないが、噴霧放水の気化による膨張や放水による送風等によって、吹き返しの

危険が増大する。

5 まとめ

今回の実験結果から以下のような状況を確認した。

- (1) 間接放水時は、高温層のある天井面からの熱だけに気をとられるのではなく、空間の形状や放水による水蒸気の天井面から床面への熱気流の流れの変化等から、床面付近で温度上昇する可能性がある。
- (2) 間接放水では、熱環境内で水が、水蒸気となり、燃焼物(クリブ)の有炎現象は抑制できたが、熱エネルギー、可燃物、酸素の条件が整えば、直に発火する状態であることから、間接消火により、有炎現象が収まった部分であっても、直接消火しなければ完全消火には到らない。
- (3) 噴霧放水は、直状放水より送風効果が大きく熱気流、水蒸気等の吹き返し危険が増大する。また、流量が大きいほど吹き返し効果は大きくなる。
- (4) 噴霧放水では、床面、中間層においても温度上昇が確認されたことから現場では、放水時は、壁など遮蔽物を利用して開口部から熱気流の噴出しに注意することが重要である。

6 活用方策

(1) 消火システム(ノズル等)の評価

今回の実験から、同一空間を使用して行なったことにより、消火システム(ノズル等)の比較検討が可能となった。例えば、間接放水では、どのような条件であってもクリブ全体が火炎に包まれる再燃現象、噴霧放水での床面付近の温度上昇を確認できたので、比較検討する消火システムで間接放水することにより、これらの状況の有無を1つの指標とすることができる。

また、熱源用クリブを使用した実験によれば、噴霧放水の場合、中間層の温度上昇と共に著しい吹き返しが確認された。比較する他の消火システムにおいても同様の設定で放水を行えば、吹き返しに関する1つの指標がえられるものとする。

今回の実験から、消火システム(ノズル等)に関する複数の指標を提案できたが、さらに、放水した水による遮熱、遮煙、排煙効果等を加えれば、消火効率だけでなく、消火システムの評価並びに消防隊員の活動の安全化に関する指標として総合的に評価手法として発展できると考える。

(2) 安全管理に関する展示

今回の実験と同じ現象を再現することが可能であり、再燃状況、吹き返し等の展示に活用できる。

(3) 訓練への活用

現在の訓練では、主に現示旗による訓練や発煙筒を用いた訓練が主であり、実際に放水による吹き返し、再燃の危険性等の放水による火災性状の変化を実体験できるの訓練は少ない。

今回の実験は、モデル実験なので火災現場をそのまま再現したものではないが、火災現場において起こり得る現象

として再現可能であることから、十分に安全を確保した上で訓練としての活用が図れるものとする。

7 参考文献

- 1) Fire ENGINEERING June 2004
FLASHOVER RISK MANAGEMENT P106～P108
- 2) 火災便覧 新版 日本火災学会編
- 3) 根本昌平、高井啓安、富田功 高圧噴霧消火装置等による消火効果に関する研究、消防科学研究所報、40号 P17～P24
- 4) 根本昌平、渡邊茂男、高井啓安、富田功 屋内天井に反射させた場合の散水分布について、消防科学研究所報、39号 P9～P14

STUDY OF FIRE EXTINGUISHING CHARACTERISTICS
WHEN USING FIRE EXTINGUISHING TOOLS
(NOZZLES)

Koichi TAMAKOSHI*, Shohei NEMOTO*, Youichi SUGAWARA*, Isao TOMITA**

Abstract

Using a simulated fire with a combustible set in a living room, we conducted a fire extinguishing experiment in twelve way that consider the water discharge shape, water discharge method and the quantity of discharged water.

From the result of the fire extinguishing experiment revealing the effectiveness of water discharge, temperature gradation and others, we examined fire extinguishing characteristics. In addition, we examined the practical application of the experiment result confirmed in the fire extinguishing experiment.