

援護放水による隊員の安全性に関する検証

木田 哲夫*, 徳永 敦司*, 根本 昌平*, 渡邊 茂男*

概要

突発的な熱気流にさらされた消防隊員に対する援護放水の有効性を確認した。実験は、通常の消防活動で使用されているガンタイプノズルと21型改ノズルの2種類を使用し、ガンタイプノズルは4種類の流量切替ダイヤル値に設定して実験を行った。

その結果、ノズル種別及び放水流量に関わらず、援護放水により進入隊員への熱的影響が抑制されることを確認した。

1 はじめに

当庁管内の建物火災現場で消防隊員が受傷（全身熱傷、重篤）する事故が発生した。受傷原因は、1階から屋内進入した隊員が、屋内階段で2階に至った際、突然後方から噴出した火炎にばく露し、退避する過程においても延焼中の階段及び1階の居室で高温環境下にさらされたことによるものである。このような受傷事故の防止対策として、当庁では、屋内進入検索時には、救助線及び援護線の筒先2線を設定する進入体形を定めた。救助線担当員または検索員（以下、「進入隊員」という）が急激な延焼拡大等による突発的な火炎にばく露など不測の事態に直面した場合、援護線担当員が進入隊員に対してより速やかに援護放水を行える体制を確保した（図1参照）。

このことから、本検証では、進入隊員への受熱量の軽減効果から援護放水の有効性について確認することを目的に実験を行った。

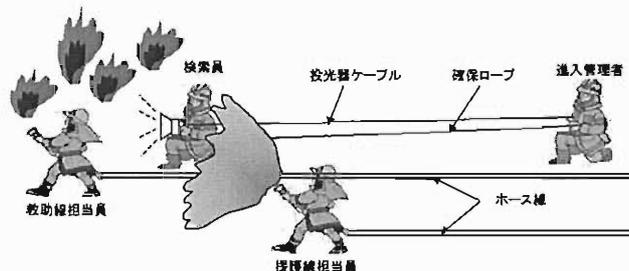


図1 (例) 単隊の屋内進入検索時の体形

2 実験概要

火災実験室（以下、「火災室」という）を用いて進入隊員が火炎にばく露された状況を作り、援護放水を行った。援護放水は、進入隊員に対して包み込むように噴霧放水する方法とし、援護放水時の進入隊員の防火服内外の受熱量変化及び温度変化等を確認した。援護放水前の火炎にばく露の状況を写真1に示す。また、援護放水時の状況を写真2に示す。

進入隊員は、熱による受傷の危険を考慮して、進入隊員に見立てたマネキンを用いた。



写真1 火炎にばく露の状況（援護放水前）

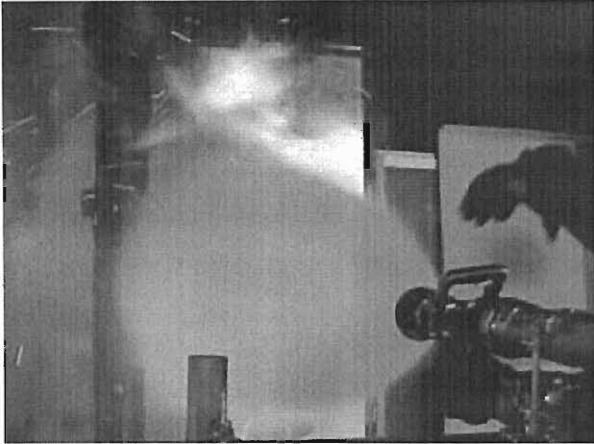


写真2 援護放水時の状況

3 実験場所

火炎に満たされた火災室を設定し、かつ援護放水を行うことが可能な施設として、総務省消防庁消防大学校消防研究センター総合消火研究棟内の火災実験室を使用し、実験を行った。

4 実験

(1) 実験設定

ア 火災室

実験に用いた火災室（室内幅 6000 mm、室内奥行き 6000 mm、室内高 2400 mm）は、鉄骨造で壁、天井及び床に鉄板を貼り付けた構造で、正面に進入口（幅 900 mm、高さ 1800 mm）、側面に開口部（幅 900 mm、高さ 1800 mm）が設けられている（図2、図3参照）。

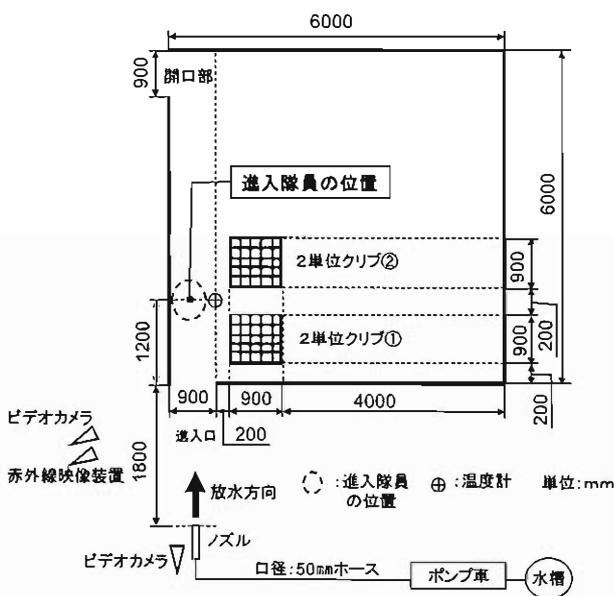


図2 火災室平面図

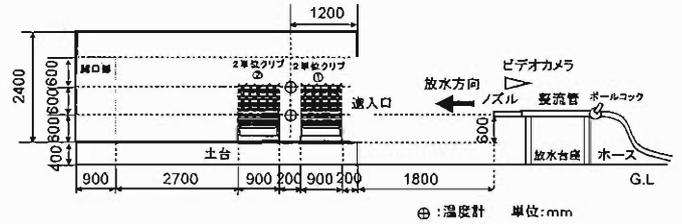


図3 火災室立面図

イ 燃焼物

燃焼物は、2単位クリブ（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）に基づく普通火災に対する消火能力単位2のクリブ）を図2及び図3に示すとおり、火災室内に2基設置した。

ウ 進入隊員

進入隊員及び測定機器の設置状況を写真3に示す。

進入隊員は、折膝の姿勢（高さ1200 mm）とした。この姿勢は、消防隊員が火元に進入する際などに、熱気流のばく露を回避するためにとる姿勢である。進入隊員の防火服内部（胸部（高さ900 mm））には、マネキン正面の受熱量の大きさを計測する熱流束計1点と温度計1点を取り付けた。また、進入隊員の防火服外部（胸部（高さ900 mm））には、マネキン正面の受熱量の大きさを計測する熱流束計1点、マネキンの燃焼物側の受熱量の大きさを計測する熱流束計1点、温度計1点を取り付けた。さらに、手袋内部（右手甲部）に温度計1点を取り付けた。進入隊員には、当庁の特別消火中隊に採用されている防火服（ISO11613（アプローチA）準拠）、防火帽、しころ、防火マスク、手袋（甲側生地（3層積層品）の熱伝達（放射熱）及び熱伝達（対流熱）についてはISO15383のタイプ3を満たす）及び長靴を着装させた。

測定機器の導線等は、熱による損傷を防ぐためにアルミニウム製のダクト内を通し、進入隊員の左側に設置した。

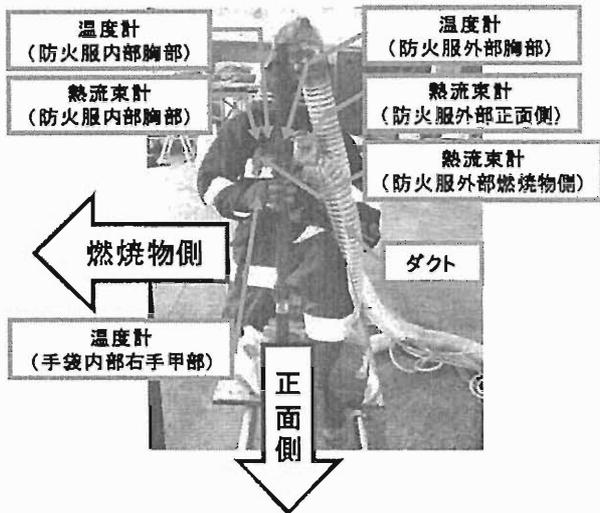


写真3 進入隊員及び測定機器の設置状況

エ 放水器具

援護放水には、ガンタイプノズル（以下、「GN」という）及び21型改ノズル（以下、「21改」という）の2種類を使用した。これらは、当庁で通常、使用されている放水器具である。

実験に使用したGNと21改の仕様等を表1に示す。

表1 GN及び21改の仕様

ノズル	ガンタイプノズル	21型改ノズル
圧力	0.7 MPa	0.3MPa
流量切替ダイヤル	115,230,360,475L/分	
外観形状		

オ 放水体形等

放水体形は、図2に示すように水槽に部署したポンプ車から口径50mmのホースを一本20m延長した。また、ノズルは放水台座に固定した整流管（口径50mm、長さ1m）に取り付けた。

放水開始及び放水停止の操作は、GNを用いた場合、GNの開閉ハンドルを操作して行い、21改を用いた場合、整流管とホースの間に取り付け開閉レバーを操作して行った（写真4参照）。

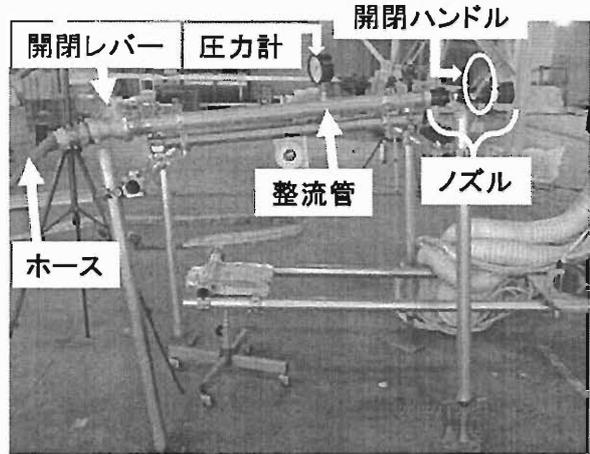


写真4 放水台座

(2) 測定項目と測定機器

測定項目、測定位置及び測定に使用した機器を表2に示す。

測定は、火災室内温度（2点）、防火服外部の受熱量（2点）と温度（1点）、防火服内部の受熱量（1点）と温度（1点）及び手袋内部の温度（1点）について行った。また、デジタルビデオカメラ及び赤外線映像装置により援護放水中の進入口付近の状況を撮影した。

表2 測定項目と測定機器

測定項目	測定位置	測定機器等
火災室内温度	進入隊員と燃焼物の間 (高さ1200mm 1点及び600mm 1点の計2点) (図2、図3参照)	シース型K熱電対 JIS C1605規格品 シース外径1.6mm 素線径0.32mm
防火服外部温度	胸部1点 (写真3参照)	K熱電対 JIS C1602規格品 素線径0.32mm
防火服内部温度	右胸部1点 (写真3参照)	
手袋内部温度	右手甲部1点 (写真3参照)	
防火服外部受熱量	胸部2点(正面及び燃焼物側) (写真3参照)	M社製熱流束計 0~50kW/m ²
防火服内部受熱量	右胸部1点 (写真3参照)	M社製熱流束計 0~5kW/m ²
データ収録		E社製データロガー 測定インターバル1sec
援護放水中の進入口付近の状況	進入口付近 (図2参照)	S社製デジタルビデオカメラ N社製赤外線映像装置

(3) 実験条件

実験条件を表3に示す。

実験では、援護放水時の進入隊員とノズルとの距離（以下、「援護放水距離」という）を3.0mに設定して行った（図2、図3参照）。また、放水展開角度は、噴霧放水で火災室内の進入隊員を覆うことが可能な角度（30°～40°）とした。

なお、噴霧放水で進入口全体を覆う場合を想定して、放水展開角度60°での援護放水を21型改ノズルで行った。

表3 実験条件

実験No.	使用ノズル	放水展開角度	流量切替ダイヤル(L/分)	ノズル圧力(MPa)	援護放水距離
実験1	GN	30° ～ 40°	115	0.7	3.0m
実験2	GN		230		
実験3	GN		360		
実験4	GN		475		
実験5	21改	—	0.3		
実験6	21改	60°		—	

(4) 実験の手順

実験の手順を表4に示す。

進入隊員を載せた台を火炎に満たされた火災室内部へ押し込み、援護放水を行った。援護放水後は、進入隊員を載せた台ごと火災室外部へ引き出した（図4参照）。この手順の利点は、クリブの燃焼が定常状態になってから進入隊員を火災室内部の所定の位置に移動することで、実験開始まで火炎にさらされることなく熱による損傷を防止できることである。また、進入隊員を火災室内部へ進入させることで、突発的な火炎にばく露される状況に似た状況が作れることである。

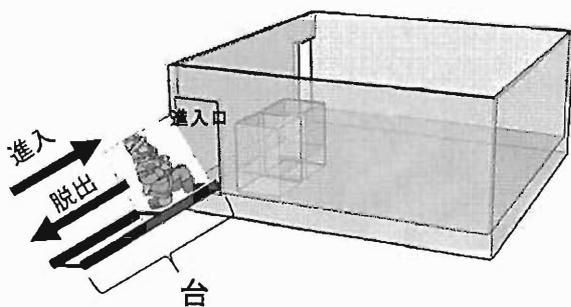


図4 実験の手順

表4 実験手順

手順	行動
① [着火]	2単位クリブ①を、ガソリンを助燃材として燃焼させる（図2参照）。
② [クリブ燃焼・進入準備]	クリブの燃焼が定常状態になるまで燃焼させる。また、進入口の熱防護用の扉(高さ1500mm×幅800mm)の前に進入隊員を移動する。
③ [進入]	熱防護用の扉を開放し、進入隊員を火災室内部の所定の位置に移動する（図2参照）。
④ [援護放水]	進入10秒後、放水開始する。
⑤ [援護放水停止]	放水開始20秒後、放水停止し、火災室外部に進入隊員を移動する。
⑥ [脱出完了]	熱防護用の扉を閉鎖する。



② [クリブ燃焼・進入準備]



③ [進入]



④ [援護放水]



⑤ [援護放水停止]



⑥ [脱出完了]

5 結果及び考察

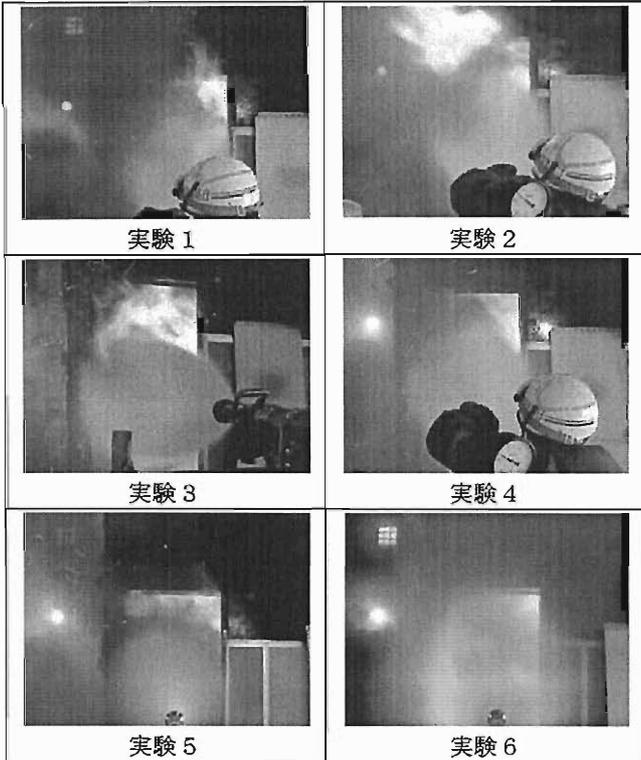
(1) 援護放水中の進入口付近の状況

ア デジタルビデオカメラによる画像

表5に援護放水中（放水開始後15秒）の進入口付近の状況を示す。

援護放水中は、放水により視界が妨げられ進入口からは進入隊員の姿は確認できない。実験1では、火炎の勢いで放水形状が変化し、進入隊員の頭部が水幕から露出している様子が観察された。

表5 援護放水時の進入口付近の状況 (ビデオカメラ)



援護放水時は、実験6を除いて進入口上部より250℃以上の熱気流が噴出した。これは、放水により火災室内部へ空気が供給されたことにより、火災室内部の圧力が高まり噴出したものと考えられる。実験6は、放水展開角度が他の実験より大きく進入口が放水の水幕により完全に覆われていたため熱気流が噴出しなかったと考えられる。

(2) 火災室内温度

援護放水時の火災室内温度の変化を図5及び図6に示す。

放水開始時の温度は各実験とも高さ1200mmの位置で約450℃～650℃、高さ600mmの位置で約300℃～450℃であった。

放水中は、各実験で異なる温度変化を示した。高さ1200mmの位置では、実験6を除き800℃～1000℃の間で推移し、実験6は、放水開始時とほぼ変わらず500℃前後で推移した。一方、高さ600mmの位置では、実験1及び実験4が約600℃～700℃の間で推移し、その他は約200℃～450℃の間で推移した。放水中は各実験で空気の流入による燃焼の促進と冷却効果等が複雑に作用したと考えられる。

イ 赤外線映像装置による画像

表6に援護放水時(放水開始後15秒)の進入口付近の赤外線映像を示す。

表6 援護放水時の進入口付近の状況 (赤外線映像)

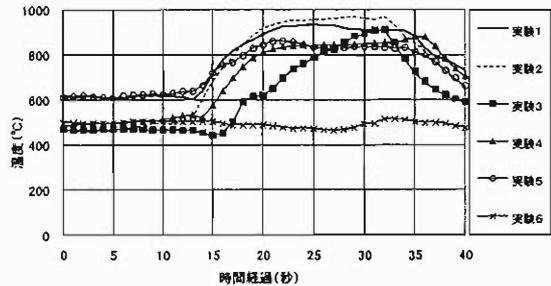
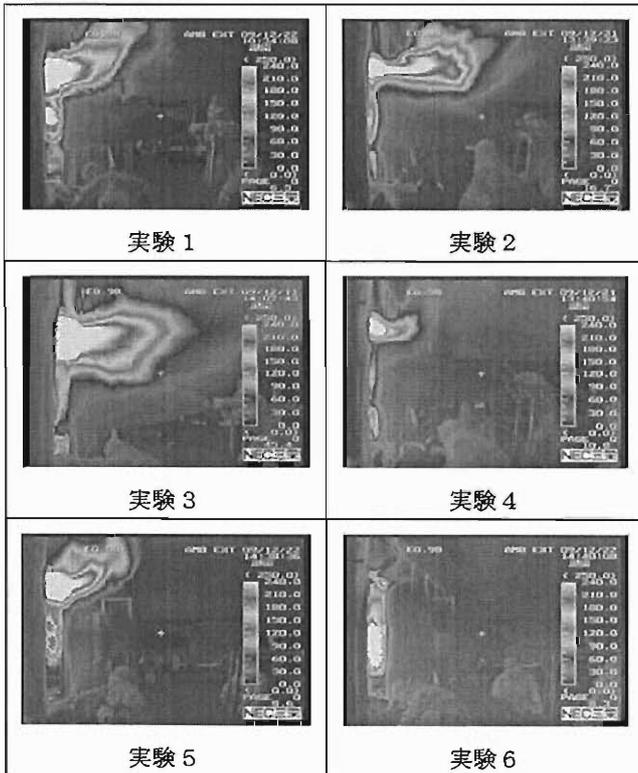


図5 火災室内の温度(高さ1200mm)

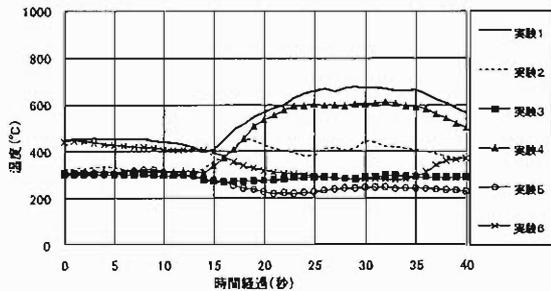


図6 火災室内の温度(高さ600mm)

※【図5から図6の[時間経過]について】
 0秒：屋内進入開始 10秒：援護放水開始
 30秒：援護放水停止 40秒：脱出完了

(3) 進入隊員の受熱量変化及び温度変化

ア 防火服内外部の受熱量及び温度

援護放水時の進入隊員の防火服内外部の受熱量変化及び温度変化を図7から図12に示す。

(7) 防火服外部

正面側の受熱量の変化を図7に、温度変化を図8に示す。また燃焼物側の受熱量の変化を図9に示す。

放水開始時の正面側の受熱量は約7~13 kW/m²、温度はどの実験も概ね150℃前後であった。放水中は、受熱量が最大で15 kW/m²を超えたケースをはじめ各実験で異なる変化を示した。前(2)と同様に空気の流れによる燃焼の促進と冷却効果等が複雑に作用したものと考えられる。また、放水開始時の燃焼物側の受熱量は20 kW/m²~27 kW/m²であった。この場合も放水中は、受熱量が35 kW/m²を超えたケースをはじめ、各実験で異なる変化を示しており、放水に伴う空気の流れによる燃焼の促進と冷却効果等が複雑に作用したものと考えられる。

(i) 防火服内部

図10に示すとおり、放水開始までの間はどの実験においても受熱量は上昇を続けた。しかし、放水開始後2~3秒で受熱量は一転して急激に減少をはじめ、放水停止時にはどの実験においても0.2 kW/m²に収束した。このことは、温度変化でも同様の結果であり、図11に示すとおり放水停止時にはどの実験においても30℃以下となった。

表7及び表8に示すとおり、一般的に人体が長時間の露出に耐えられる最大輻射熱は1.2 kW/m²とされている。また、皮膚温度は44℃に達すると苦痛または痛みを感じるとされている。今回の実験条件において、正面側での最大受熱量は15 kW/m²、燃焼物側では35 kW/m²を超えており、こういった熱環境下において援護放水は進入隊員を一時的に熱から防護する上で有効であると考えられる。

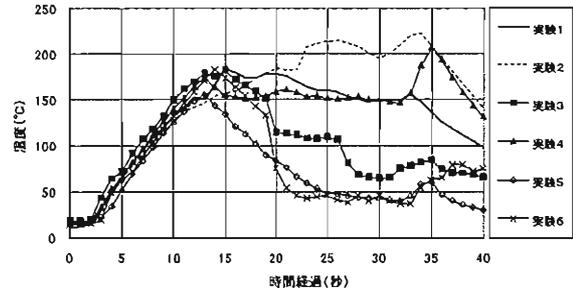


図8 防火服外部(胸部)の温度

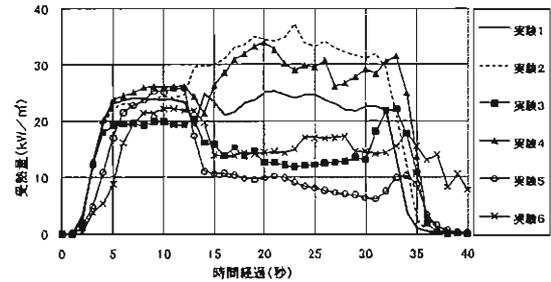


図9 防火服外部(胸部(燃焼物側))の受熱量

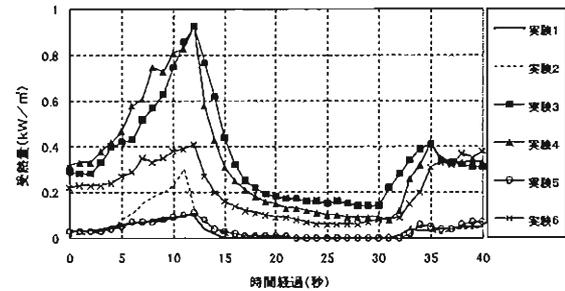


図10 防火服内部(胸部)の受熱量

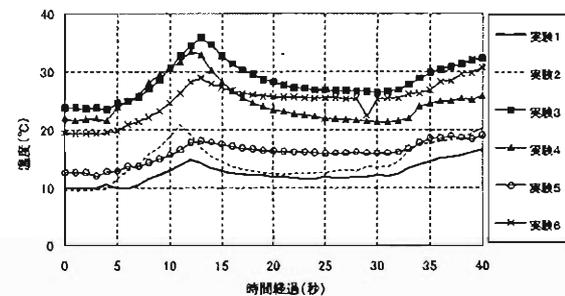


図11 防火服内部(胸部)の温度

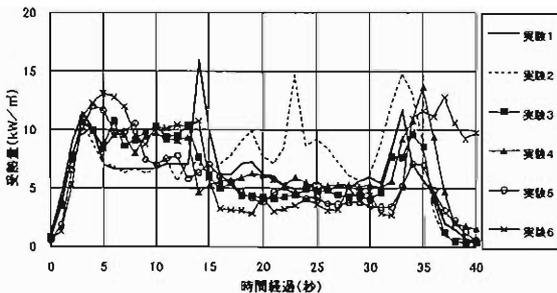


図7 防火服外部(胸部(正面側))の受熱量

イ 手袋内部(右手甲部)の温度変化

進入隊員の手袋内部の温度変化を図12に示す。

すべての実験において、援護放水停止時の温度は、援護放水開始時の温度と比較して20℃~40℃上昇した。

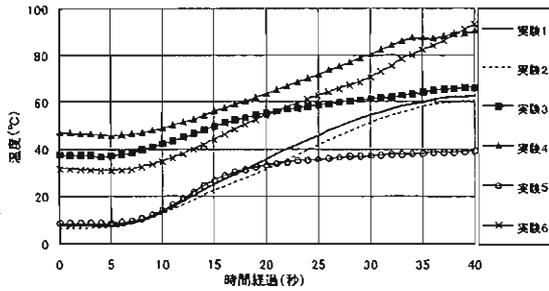


図 12 手袋内部(右手甲部)の温度

※【図7から図12の[時間経過]について】

0秒：屋内進入開始 10秒：援護放水開始
30秒：援護放水停止 40秒：脱出完了

表 7 受熱量と症状¹⁾

受熱量	身体の症状
1.2 kW/m ²	長時間の露出に耐えられる最大値
1.4 kW/m ²	苦痛を感じ始める
2.1 kW/m ²	1分後苦痛
4.2 kW/m ²	10～20秒後苦痛
10.5 kW/m ²	3秒後苦痛、10～20秒後火ぶくれ
11.6 kW/m ²	木材の自然発火

表 8 皮膚温度による熱傷評価²⁾

熱傷の症状	皮膚温度
苦痛または痛み	44°C
一度熱傷	48°C
二度熱傷	55°C
三度熱傷	>55°C
瞬間的皮膚崩壊	72°C

6 まとめ

本検証では、援護放水中の防火服内部（胸部）の受熱量及び温度は、放水条件によらず一般的に人体が長時間の露出に耐えられる範囲内で推移した。このことから、援護放水は、不測の事態に直面した進入隊員の熱的影響の軽減に有効であることが確認できた。

7 おわりに

進入隊員の熱的影響を軽減させる効果が認められたのは援護放水中であつた。このことから、火災室内部の熱的環境を改善せずに援護放水を停止することは危険である。

また、この検証実験は、急激に火炎が拡大する中でばく露された場合を想定して行ったものである。熱傷は、必ずしも激しい火炎による熱にさらされた場合にだけ、生じるものではない。高温でなくても、長時間

ばく露されていることによって、熱傷を負うことがある。火災現場では、火炎性状や熱的成長過程など、状況の変化を敏感にキャッチして、熱傷から身を守る必要がある。

謝辞

本検証にあたり、実験場所等をご提供いただいた総務省消防庁消防大学校消防研究センターに深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 火災便覧新版 P1314、火災便覧新版 P175
- 2) 「Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection」 Stoll, Aerospace Medicine, Nov, 1969

Verification Concerning the Safety of Firefighters When a Back Up Line is Used

Tetsuo KIDA*, Atsushi TOKUNAGA*, Syouhei NEMOTO*, Shigeo WATANABE*

Abstract

We examined the effectiveness of a back up line in protecting firefighters who are exposed to the sudden thermal air current. We used two types of nozzles for ordinary firefighting: a gun-type nozzle and a modified 2l-type nozzle. In regard to the gun-type nozzle, we applied four different water flow levels by adjusting the flow-rate-changeover dial.

We confirmed that the water spray from the back up line reduces the thermal effect on the firefighters regardless of the nozzle type and the water flow rate.