

検索活動時に使用する装備品に関する検証

枝元 孝史*, 小田 哲也**, 水野 守*
 岩瀬 弘樹*, 佐藤 良行*, 湯浅 弘章*

概要

当庁では、職員の殉職事故及び法令改正等を受けて機能向上を図った新たな装備品の導入が予定されており、検索方法の見直しについても検討されている。また、これらの現状に加えて、消防活動に寄与できると思慮される高機能な資器材が安価で市場に流通している。それら装備品及び資器材の導入効果・影響について、将来を見据え検討しておくことは重要である。

そこで本検証は、導入予定装備品に加え、導入により検索の安全性及び効率性の向上に寄与できると推測される資器材の効果・影響について実験及び調査を通じて確認し、その有用性について検討した。さらに得られた実験結果から、今後の消防活動が要求する装備性能に対し言及した。

1 はじめに

本検証は、導入予定装備品の検索活動に対する効果及び影響を明らかにし、現在の検索方法及び装備品に対する課題及び展望を各実験及び調査により整理した。その後、安全性及び検索効率性の向上に寄与できると推測した資器材等の有用性等について明らかにした。

なお、今般の火災による死者数の約 90%が「住宅又は共同住宅からの火災」によるものであり、さらにその殆どが防火造又は耐火造である²⁾。そのため本検証では、実際に消防隊が検索活動を実施する頻度が高いと推測される、防火造の住宅及び耐火造共同住宅の住戸の検索を想定し、検証を実施した。

2 検証方法

検証概要及び流れを図 1 に示す。

第一に、「導入（予定）装備品の性能確認」として墜落制止用器具、熱画像直視装置及び警報器一体型空気呼吸器の基本性能について、実験を通じ明らかにする。

第二に、「現行装備品及び検索体形の整理・調査」として現行装備品で検索活動を再現したうえで、検索活動に対する装備品の位置づけを整理し、検索活動に関する検討を行う。併せて、当庁以外の消防本部に対しヒアリング調査を実施する。

第三に、「市販資器材の利用可能性の検討」として第二から得られた結果を踏まえ、安全性及び検索効率性の向上に寄与できると考えられる資器材の性能について明らかにし、消防活動に要求される性能について整理する。



図 1 検証概要

* 装備安全課 ** 深川消防署

3 導入(予定)装備品の性能確認

導入予定装備品の性能を確認したうえで、現在の検索活動に及ぼす影響及び効果について確認した。

(1) 墜落制止用器具

法令改正に伴い、現在使用している安全帯からショックアブソーバが付いた墜落制止用器具(以下「胴ベルト」という。)を使用することとなった。そこで、火災建物内の人命検索時に受けると予想される受熱及び水濡れによるショックアブソーバ(表1)への影響を確認した。

その後、受熱並びに水濡れをさせたショックアブソーバの衝撃吸収性能を確認するため、落下実験により衝撃荷重を測定した。

また併せて、活動中の引っ掛かり等の衝撃を受けたショックアブソーバの性能に変化があるかを確認するため、事前に2.5cm作動させた(以下「作動済」という。)ショックアブソーバの衝撃吸収性能についても、落下実験により確認した。

表1 ショックアブソーバ

外観	
概要	認証：JIS T 8165(2018年) 種別：第1種 使用荷重：130kg

ア 受熱及び水没実験

(ア) 実験方法

ショックアブソーバを180℃及び260℃でそれぞれ5分間受熱させた⁴⁾後の状態を確認した。

また、消火活動中に浴びる消火水を50℃と想定し、50℃の水中にショックアブソーバを10分間水没させたもの、同条件で水没後に乾燥させたもの及び水没と乾燥を8回繰り返したものについての状態を確認した。

(イ) 実験結果及び考察

ショックアブソーバの受熱による影響を確認した結果、180℃で5分間受熱したものは外観に変化はなく、260℃で5分間受熱したものは、ショックアブソーバの表面が変形し、大きく凹んだが変色はなかった(表2)。

また、水没による影響を確認した結果、ショックアブソーバに変形及び変色等はなく、外観の異常はなかった。

表2 260℃で5分間受熱したショックアブソーバ



イ 落下実験

(ア) 実験方法

受熱、水没並びに作動済ショックアブソーバを使用し、完全着装させた人形106kgを1.6m落下させた際の衝撃荷重の測定及び落下状況を確認した。併せて、比較対象として安全帯についても確認した。

(イ) 実験結果及び考察

落下実験の衝撃荷重を図2に示す。

受熱、水没及び作動済ショックアブソーバの衝撃吸収機能に影響はないことが確認できた。

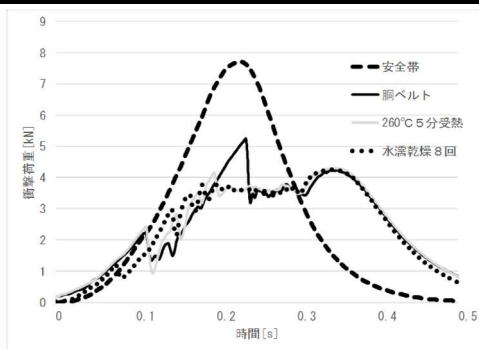


図2 落下時の衝撃荷重

(2) 下衣装着の影響

当庁の一般隊員用防火衣は上衣に胴ベルトを装着することになるが、下衣に胴ベルトを装着する防火衣も一部存在している。そこで、上衣及び下衣に胴ベルトを装着させた場合の差異を、落下の状況にて確認した。

ア 実験方法

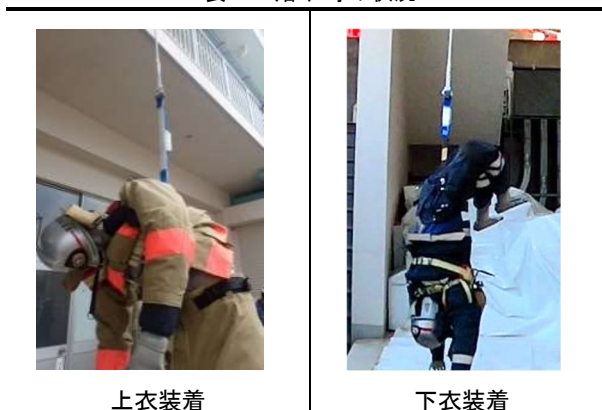
前述(1)イと同様の落下実験で、上衣並びに下衣に胴ベルトを装着した場合について確認した。

イ 実験結果及び考察

落下による状況を表3に示す。

上衣装着による場合は胴ベルトが腰部又は胸部付近で支持しているのに対し、下衣装着の場合は腰部を支点としているが、落下後の姿勢が逆さになったために下衣が離脱し、墜落の可能性があることを確認した。

表3 落下時の状況



上衣装着

下衣装着

(3) 投光器ケーブルでの代用の検討

検索活動の活動性を追求した場合を想定し、胴ベルトのランヤードの代用として、当庁で使用している蓄光型投光器ケーブル（以下「新型投光器ケーブル」という。）、又は蓄光型でない投光器ケーブル（以下「旧型投光器ケーブル」という。）を検索時の命綱として使用した場合の落下による衝撃荷重及び落下防止機能について確認した。

ア 実験方法

前述(1)イと同様の落下実験で、安全帯のD環に新型投光器ケーブル及び旧型投光器ケーブルを連結した場合について確認した。連結位置を写真1に示す。

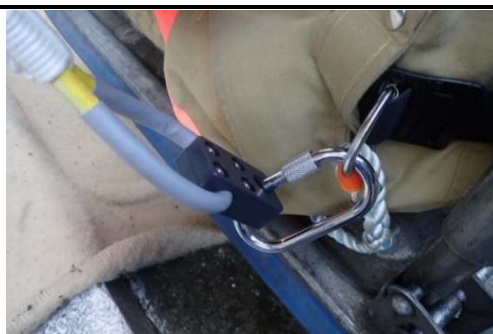


写真1 投光器ケーブルの連結位置

イ 実験結果及び考察

実験の衝撃荷重を図3に示す。

投光器ケーブルを使用した場合、新型投光器ケーブルは落下を防ぐことができるが、落下時の最大衝撃荷重が安全帯と同程度であった。旧型投光器ケーブルは、衝撃によりカラビナ接続部がケーブルから抜けることで人形を支えることができず、人形は地面に衝突した。このことから、新型投光器ケーブルなら落下を防ぐことができることを確認した。

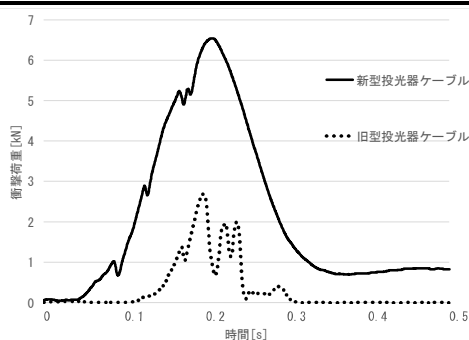



図3 落下時の衝撃荷重

(4) 熱画像直視装置

熱画像直視装置（表4）は、温度分布を画像として視覚的に表示でき、火災現場の熱環境を把握できる。このことから、消防活動の安全管理をサポートする資器材として各ポンプ隊への配置が進められている。

そこで本検証では、配置が進められている熱画像直視装置の更なる活用方策として、基本性能を踏まえたうえで、検索活動に対する有用性について実験により確認した。

表4 熱画像直視装置

外観	仕様
	検出器：2次元非冷却センサ 測定波長：8～13μm 測定温度範囲：-10～400℃ 防塵・防水性能：IP67 耐落下性能：2m

ア 実験項目

火災現場において、消防隊の検索活動に影響を及ぼすものとして暗所、煙による視認性の低下が挙げられる。そこで、本検証では、表5の実験項目で熱画像直視装置（以下「直視装置」という。）による視認状況（以下「熱画像」という。）を確認した。なお、比較対象として、肉眼での見え方をデジタルカメラで記録した（以下「肉眼」という。）。

表5 実験項目

実験1	濃煙及び暗所内での視認確認
実験2	濃煙熱気での視認確認
実験3	火災想定での視認確認
実験4	高温、多湿下での視認確認

イ 実験1 濃煙及び暗所内での視認確認

(ア) 実験方法

実験設定を図4に示す。煙蓄積箱内に、判別対象を直視装置からの距離90cm、180cm、270cm及び360cmの位置に配置し、発煙筒で煙を充満させ暗所及び煙空間での直視装置による視認状況を確認した。発煙筒は、測定開始と同時に1本目、3分後に2本目、8分後に3本目、計3本使用し、煙蓄積箱内の煙濃度が順次濃くなるようにした。判別対象には金属板（縦14cm×横10cm）の表面に当庁の執務服生地を、裏面に使い捨てカイロ（縦12cm×横10cm）を貼付したものを使用した。判別対象の表面温度が約20℃となるように調整し、箱内に吊るして設定した。

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を表6に示す。結果より、温度15℃、厚さ360cmの煙では、判別対象を視認することができた。発煙筒を2本、3本と使用するにつれて、煙の濃度が高くなると、判別対象がぼやけて見えることが確認できた。



図4 実験1の設定状況

表 6 濃煙及び暗所内の視認確認結果

	測定前	測定 3 分後 (発煙筒 1 本)	測定 12 分後 (発煙筒 3 本)
肉眼			
熱画像			

このことより、「煙の温度」 < 「判別対象温度」の状況で直視装置を用いることは、検索活動に有効であるといえる。しかし、「煙の濃度」が高くなると視認性が低下すると考えられる。

ウ 実験 2 濃煙熱気での視認確認

(ア) 実験方法

実験設定を写真 2 に、実験条件を表 7 に示す。判別対象の前方で発泡ウレタンを燃焼させることで濃煙熱気を発生させ、その際の判別対象の視認状況を確認した。判別対象に人形を使用し、直射日光に 10 分間さらして、判別対象の表面温度を約 20℃に設定した。

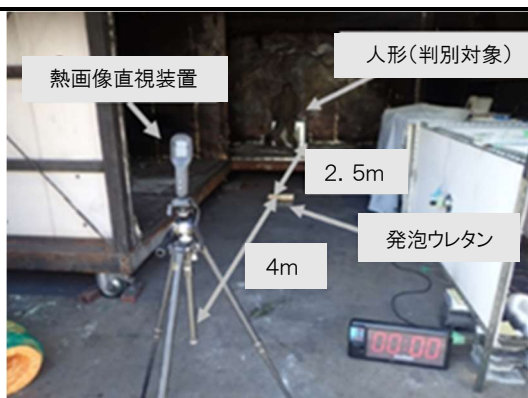


写真 2 実験 2 の設定状況

表 7 実験条件

測定項目	肉眼及び熱画像
判別対象との距離	4 m
環境	濃煙熱気

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を表 8 に示す。肉眼及び熱画像ともに、約 100℃の煙を見通して人形を判別することはできなかった。これは、「煙の温度」 > 「判別対象温度」のとき、熱画像では判別できないことを示す。

表 8 に過去に消防技術安全所で行った実験結果⁵⁾も併せて示す。判別対象(シリコンラバーヒーター)の温度を約 170℃になるように設定し、判別対象の前方に約 120℃の煙を発生させ、判別対象の視認可否を実験により明らかにしている。実験結果より、熱気のある煙が前方にある場合でも「煙の温度」 < 「判別対象温度」であれば、判別対象が視認可能であるといえる。

表 8 濃煙熱気での視認確認結果

	本実験結果	過去の実験結果
肉眼		
熱画像		

エ 実験 3 火災想定での視認確認

(ア) 実験方法

実験設定を図 5 に、実験条件を表 9 に示す。実験室内に、ヘプタン(8.1L)を投入した 90cm 角の火皿(敷水 3cm)を設定し、ヘプタンを燃焼させ、火炎及び煙を発生させた。その際、火炎の成長期から減衰期に発生した煙による、視認状況を確認した。判別対象は実験室の躯体部分とした。

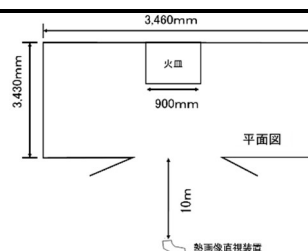


図 5 実験 3 の設定状況

表 9 実験条件

測定項目	肉眼及び熱画像
判別対象との距離	10m
環境	濃煙及び濃煙熱気

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を表 10 に示す。肉眼の燃焼 60 秒後及び 160 秒後を比較すると、煙の噴き出し状況及び煙の量に違いはみられない。しかし、熱画像の燃焼 60 秒後及び 160 秒後を比較すると、温度表示及び煙の透過性に違いがみられる。

表 10 火災想定での視認確認結果

燃焼から 60 秒後		燃焼から 160 秒後	
肉眼	熱画像	肉眼	熱画像

また、熱画像の躯体部分に着目すると、燃焼 60 秒後は煙によって躯体上部の視認ができないが、燃焼 160 秒後は躯体上部の視認ができる。これは、60 秒後は躯体温度より高い熱気等が開口部から噴き出している状況を捉え、160 秒後は熱気等の噴き出しが収まっている状況を捉えているためである。

実験結果から、「判別対象温度」>「煙の温度」のときは視認ができ、「判別対象温度」<「煙の温度」のときは視認ができないといえる。

オ 実験 4 高温、多湿下での視認確認

ア 実験方法

実験設定を図 6 に、実験条件を表 11 に示す。温度 65℃、湿度 60% に設定した熱環境室（縦 3.6m×横 2.7m×高さ 2.3m）で、判別対象の視認状況を確認した。判別対象は人形を使用し、表面温度を約 20℃ に設定した。温度及び湿度設定は過去の検証⁶⁾を参考に設定した。

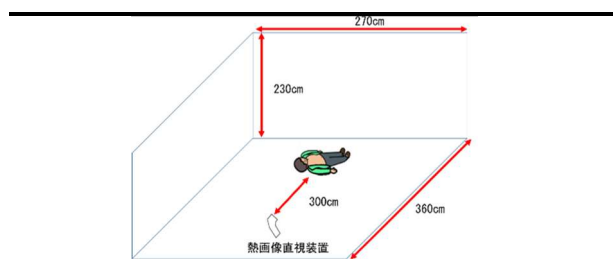


図 6 実験 4 の設定状況

表 11 実験条件

測定項目	肉眼及び熱画像
判別対象との距離	3 m
環境	温度 65℃・湿度 60%

イ) 実験結果及び考察

実験結果を表 12 に示す。実験結果より、肉眼では判別が困難な状況でも、直視装置を使用することで判別対象を視認することができた。このことから、湿度は判別対象を検知する障害にはならないと推測される。

表 12 高温、多湿下での視認確認結果

肉眼	熱画像

(5) 警報器一体型空気呼吸器

表 13 に示す、導入を検討している空気呼吸器（以下「新型呼吸器」、「新型面体」、「新型警報器」、「新型防火帽」という。）について、新機能、改善された性能及び危険と思慮される環境での使用について確認を行った。

新機能として LED フラッシュ表示装置の効果について、改善された性能として新型警報器の音圧及び新型防火帽等の視野範囲について、危険環境下での使用として低温環境での使用、内部凍結が発生した際の影響及び援護注水が呼吸器に与える影響について確認した。

表 13 空気呼吸器

背負子（警報器含む）	新型面体
高さ：55cm 重さ：6.50kg	重さ：0.60kg
新型防火帽	新型警報器
高さ×幅×奥行 22cm×26cm×33cm	高さ×幅×奥行 130mm×67mm×33mm

ア LEDフラッシュ表示装置の効果確認

ア) 実験方法

実験は、スモークマシンの白煙を実験室に充満させ、減光率が上昇していく過程で、次の 3 条件での LED フラッシュ表示装置の見え方を確認した。条件は、暗所、室内照明（蛍光灯）下及び暗所+投光器照射時の 3 条件で、各 1 回ずつ実施した。なお視認距離は、検索時の隊員間の距離を想定し 1.5m とした。

実験の設定状況を写真 3 に、実験時の状況を写真 4 に示す。



写真 3 設定状況



写真4 実験時の状況 (暗所+投光器投射時)

(イ) 実験結果及び考察

減光率約 50%/m 時の各条件での見え方を表 14 に示す。各条件にて、LEDフラッシュ表示装置を視認することができた。しかし、照明等が存在する場合は煙によって散乱光が発生するため、視認性が低下することが確認できた。

表 14 減光率約 50%/m での視認性



イ 警報器の音圧測定

(ア) 実験方法

屋外及び屋内（耐火造建物居室内）にて、警報器を約 60cm の高さに設置し、警報器から 1 m 及び 2 m 離れた位置での音圧を測定した（表 15）。また、警報器正面からの角度による音圧を測定した。測定音圧は各警報音を 3 回測定し、最高音圧を記録した。

表 15 測定時の状況



(イ) 実験結果及び考察

屋外及び屋内での音圧の測定結果を図 7、8 に示す。警報器の音圧は予備警報から本警報に順に音圧が高くなるように設定されている。新型警報器は現行警報器と同等以上の音圧であることを確認した。また、屋内の音圧が屋外と比較して高いのは、居室内の壁からの音の反射によるものと考えられる。

警報器正面からの角度による音圧の変化を図 9 に示す。0 度、45 度、90 度のどの角度も同等の音圧を示しており変化が小さいため、周囲に対しても警報音が正面と同様に聞こえると考えられる。

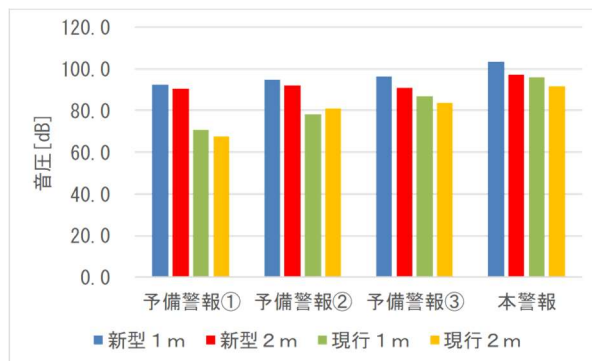


図 7 屋外の音圧測定結果

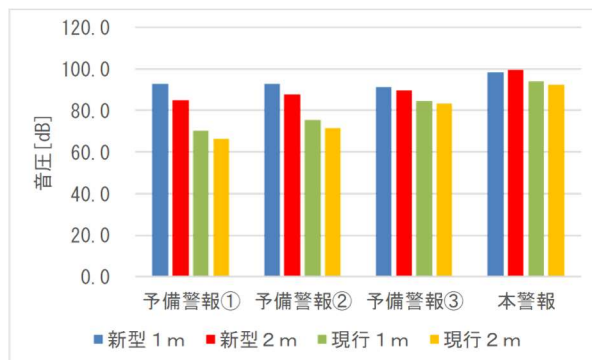


図 8 屋内の音圧測定結果

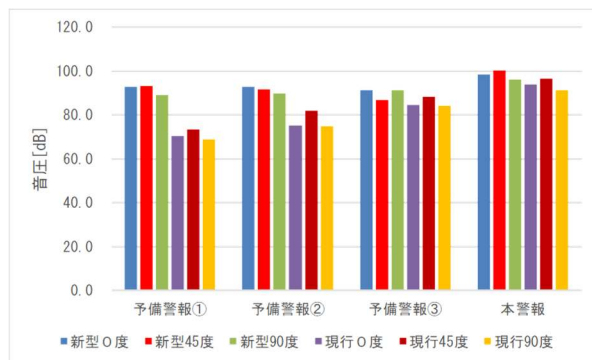


図 9 警報器の角度による音圧の変化

ウ 面体及び防火帽の視野範囲確認

(ア) 実験方法

素面、面体及び防火帽の視野範囲について、半円弧移動による前方 360 度方式の視野計を用いて測定した。左右の限界は 180 度である。実験時の状況を写真 5 に示す。

(イ) 実験結果及び考察

視野範囲の測定結果を図 10 に示す。新型面体及び新型防火帽は現行面体及び現行防火帽と比較して上方への視野が約 10 度、下方への視野が約 30 度広がった。視野範囲の拡大により現場での作業性が向上し、視認範囲改善により安全性も向上したと考えられる。



写真5 実験時の状況

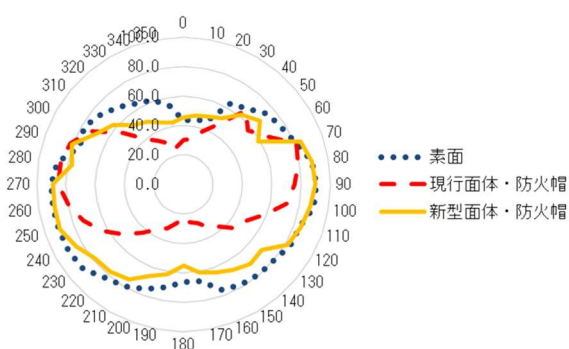


図10 新型と現行の視野範囲の比較

エ 低温環境下での使用実験

(ア) 実験方法

低温環境下での使用実験として、室温 1℃の実験室内で 20 分間の踏み台昇降を行いながら、実際に空気呼吸器を使用した際の状況を確認した (写真6)。



写真6 実験時の状況

(イ) 実験結果及び考察

低温環境下での使用実験結果は、通常通りの呼吸が可能なこと、異常な圧力低下が確認できなかったことから、低温環境による影響はなかった。

オ 凍結が呼吸器に与える影響

(ア) 実験方法

プレッシャデマンド内の凍結による影響及び圧力検知部内の凍結による影響について確認を行った。実験は、プレッシャデマンド弁室へ注水した状態及び圧力検知部へ注水した状態の各状態から、-20℃の実験室に静置し水を凍結させ、その後、室温 15℃の部屋で融解に至る際の空気の供給状況を確認した。なお、実験毎に内部の水抜きを行った。

(イ) 実験結果及び考察

凍結時は、両条件ともに空気が供給されなかった。しかし、弁部等を温めると徐々に空気が供給された。その後、プレッシャデマンド弁室へ注水した場合は融解された氷塊及び水が空気とともに噴出したが (表 16)、圧力検知部へ注水した場合は水等の噴出はなかった。

低温環境下での使用時に空気が供給されない場合、呼吸ホース等内に水が入り凍結した可能性を疑う必要があるが、融解後は通常使用が可能である。

表 16 氷塊及び水の噴出



カ 呼吸器の水没実験

(ア) 実験方法

援護注水による水濡れの影響を想定し、水道水で満たしたポリバケツに新型呼吸器を 5 分間水没させた。その後、ポリバケツから取り出しその際の空気の供給状況、LEDフラッシュ表示装置並びに警報器等の作動状況及び電気配線等への影響を確認した。実験時の状況を写真7に示す。



写真7 実験時の状況

(イ) 実験結果及び考察

水没後の呼吸器は正常に作動しており、上記確認項目については援護注水による影響はないと考えられる。

4 現行装備品及び検索体形の整理・調査

(1) 検索に関する整理及び調査

現行装備品を使用して、現行検索方法で検索活動を再現し、装備品に要求される課題、性能及び検索活動に対する考え方を整理した。

令和2年度大都市消防防災研究機関連絡会⁷⁾を通じ、検索時に活用する資器材に関する現状の問題点、導入に至った経緯等の情報を収集するために、検索方法に関する議題を提案し、参加各消防本部に対し調査を実施した。

(2) 調査及び整理結果

調査及び整理の結果として、装備品に求められる課題、性能及び検索活動の考え方について図11に示す。

装備品は、目指している検索方法に応じて適切に選択される必要があり、例えば、当庁の検索は物理的な連結で確実に退路を確保するために検索ロープを使用しているが、仮に消火・検索効率を重視する組織であれば、隊員が自由、軽快に活動できる装備が導入されることもあり得る。

活動方針			装備依存	個人能力		検索方法
				技量	専門・特殊知識	
消火・検索	マンパワー	個人重視	重装備	高度・応用	高難度	高度・複雑
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
延焼阻止	資器材	隊重視	軽装備	基本	基礎	平易

図11 装備品及び検索方法に関する整理

消防本部から得られた調査結果を図12に示す。過半数の本部にて、熱画像直視装置を導入しており、検索時の視認性に対し有用性がある旨の回答を得た。検索ロープについては、使用状況に差があることが確認できた。屋内進入については、当然に退路を見失う危険を伴うため単独行動を禁止している。

調査より、検索時の視認性向上を図るための装備品の導入及び屋内進入による退路を見失う危険を回避して検索を可能とする資器材が求められていることが確認できた。

熱画像直視装置	退路確保方法に関する記載内容	屋内進入時
A本部 ○	ロープ・ホース線等で退路の確保 確保ロープ未設定時はホース線 主な退路確保：ホース線	原則：2名以上で行動 単独行動禁止
B本部	—(記載なし)	
C本部	—(記載なし)	
D本部 ○	必ず検索ロープを使用	最低2名1組
E本部 ○	確保ロープを携行	2名1組
F本部 ○	誘導ロープなどを活用 建物規模・用途によっては、 ホースのみに頼らず誘導ロープを設定	原則：2名以上1組
G本部 ○	屋内進入時：命綱を用いる 広範・長距離時：誘導ロープ	緊急時を除き単独行動の禁止
H本部 ○	熱画像直視カメラ 熱画像直視装置 (ヘルメット装着型) 誘導ロープ、フラッシュライトを携行 退路確保ロープのロープを設定する	2名以上で行動

図12 検索と装備に関する調査結果

(3) 検索に関する検討

ア 検索活動時に使用する検索ロープには、退路確保のほかに落下防止の効果も期待されている。そこで、3(1)で得られた結果を踏まえ、検索時の検索員の高所からの落下を想定したうえで、実際に進入管理者が確保可能な荷重を測定した。

結果及び実験時の状況を図13に示す。実験結果より進入管理者である確保者は、落下衝撃に耐えることが困難であり、検索ロープを設定することでの落下防止は見込めないことが確認できた。

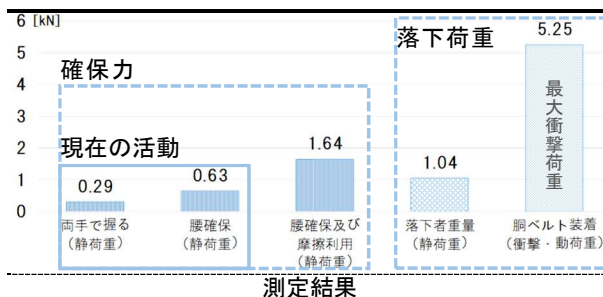


図13 検索ロープ確保時の耐荷重

このことより、検索ロープに落下防止性能を求めることができないのであれば、退路確保性能を維持したまま活動性の向上を目指すために新型投光器ケーブルのみを退路確保線とすることも一方策だと考えられる。

イ 3(4)より、熱画像直視装置は、検索に活用した場合、検索室内の状況把握及び要救助者等の発見に寄与できる。特に、検索室入口から要救助者を発見できた場合は、直線的に救助ができるため、状況によっては検索体形として並列検索、壁伝いの検索等の必要性が無くなり、検索の姿勢も変更されるなど、より安全で確実な検索につながっていく可能性もある (図14)。



図14 熱画像直視装置の可能性

5 市販資器材の利用可能性の検討

前4より、検索時の視認性向上を図るための装備品及び屋内進入による退路を見失う危険を回避して検索を可能にする資器材の導入が求められていることから、改善を図ることが可能な資器材を調査した。

(1) 暗視スコープ

市場調査より、容易に入手可能で、検索時の視認性向上に寄与できる資器材として、暗視スコープ(表17)が挙げられる。実験にて有用性を確認した。

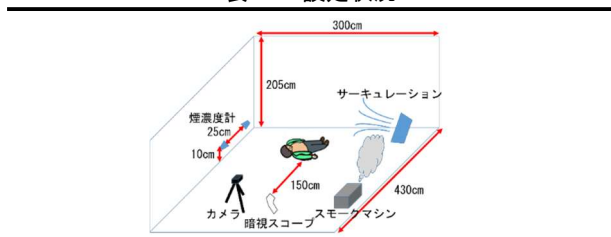
表17 暗視スコープ

外観	概要
	広角:9度 最低フォーカス距離:3m 最大夜間撮影距離:400m 解像度:640×480 赤外発光部:0.85μm

ア 実験方法

実験設定を表18に示す。暗室の実験室にスモークマシンで煙を充満させていき、150cm離れた判別対象の視認状況を測定した。なお、判別対象は当庁職員とし、実験時の表面温度は約30℃であった。

表18 設定状況

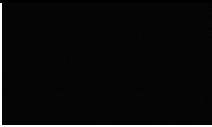





イ 実験結果及び考察

実験結果を表19に示す。暗視スコープは、煙が充満する前の暗所では判別できたが、煙が充満した状態では判別できなかった。これは、暗視スコープで使用している赤外線の波長域が0.85μmであり、可視光の波長領域に近く、煙に対する透過性が低くなるためと考えられる。また、近距離のピント調整が困難であることを確認した。

そのため、検索時に暗視スコープを使用しても活用が見込めないといえる。

表19 実験結果

肉眼		
	測定直後	2分後
暗視画像		
	開始直後	2分後

(2) 検索用地上走行型ロボット

屋内進入による退路を見失う危険を回避して検索を可能とする資器材として、検索性ロボットが挙げられる。検索性ロボットには、飛行型、地上走行型及び多脚型など様々な種類がある。飛行型については、過去の所報⁷⁾にて検証を実施している。本検証では、市場調査の結果から、入手可能な検索性地上走行型ロボット(表20)を検証対象とした(以下「ロボット」という)。

ア 実験方法

消防活動において、検索性ロボットに要求される性能は、操作性、探査性能、運動性能、耐熱性能、耐水性能等が考えられる。本実験では火災現場を想定しており、消防隊が進入困難な場所(濃煙熱気空間等)や検索性範囲が広大な場所(倉庫火災、高層建築火災等)において必要性が高いと推察される。また、表20のロボットは耐熱性能及び耐水性能を備えていないため、ロボットの仕様により実施する必要がない実験もある。

したがって、実施する必要がある実験は伝送性、探査性、運動性で、実験方法は参考文献⁹⁾に準じ、検索性ロボットの必要性が高い場面を想定したものとした。

表20 ロボット

	
縦×横×高さ[mm]	320×240×270
質量[kg]	約3.3
最大速度[m/s]	前進3.5、後退2.5
積載品	カメラ、スピーカー、マイク
電池駆動時間[min]	約35(定速2m/sで移動時)
接続方式	無線(WiFi)

(ア) 映像伝送確認実験

検証場所は当庁の南多摩総合防災施設とした。図15に示すように、障害物のない屋外及び障害物のある屋内において、ロボットを操作者から徐々に離し、映像が途切れない範囲を確認した。実験状況を表21に示す。

(イ) 探査性能確認実験

表22に示す実験条件でロボットを操作し、探査性能を確認した。

表21 実験状況

	
障害物のない屋外	障害物のある屋内

The diagram for the indoor test shows a robot, an operator, a relay station, and a target. The distance between the operator and the robot is 5.6m. The target is at a height of 5.6m.

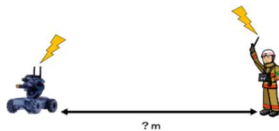
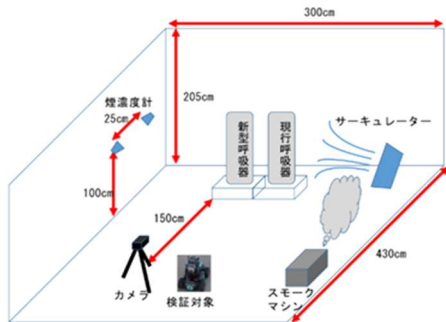


図 15 映像伝送確認実験イメージ

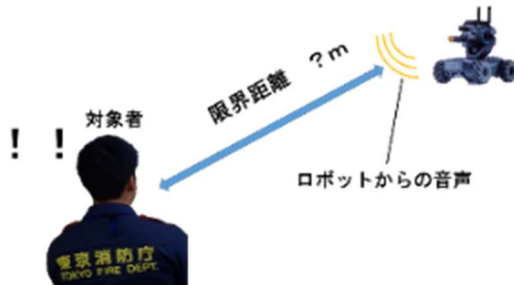
表 22 実験条件

視認性	
環境条件	煙（白煙）＋照明 煙（白煙）＋暗所
目標物	空気呼吸器
目標物までの距離	1.5m
確認事項	目標物を映像で視認すること



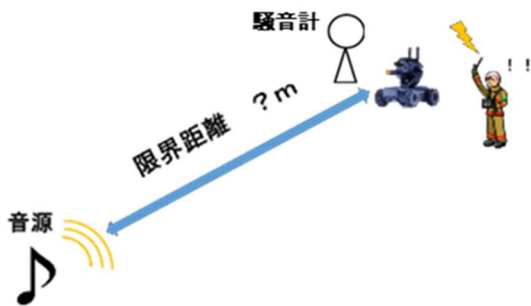
ロボット音声の可聴距離

音源音圧 [dB]	76.9 (音源から 1m 地点)
ロボットから人間までの距離	10m ずつ離す
確認事項	ロボットからの音声を操作者が聞き取れる距離



音源の集音距離

環境騒音 [dB]	52
音源音圧 [dB]	76.9 (音源から 1m 地点)
音源からロボットまでの距離 [m]	10~50m
確認事項	音源からの音を、ロボットを介して操作者が聞き取れる距離



(ウ) 運動性能確認実験

表 23 に示す実験条件でロボットを操作し、運動性能を確認した。

表 23 実験条件

各種路面走行実験	
材質	コンクリート、ケイ酸カルシウム板
確認事項	金属板、グレーチング、毛布、合板 前後左右、斜行、回転ができること
登坂実験	
傾斜角度	10 度、20 度、30 度
材質	合板、金属板
確認事項	登坂ができること
段差実験	
段差高さ	1 cm、2 cm、3 cm、4 cm、5 cm
確認事項	段差を乗り越えることができること

イ 実験結果

(ア) 映像伝送確認実験

映像伝送確認実験結果は表 24 に示すとおりである。送信電力の大きいルーターの方が屋内・屋外ともに伝送距離が長いことが分かった。

表 24 映像伝送確認実験結果

映像伝送可能距離		
実験場所	WiFi	ルーター
屋内	26m	50m
屋外	192m	254m

(イ) 探査性能確認実験

視認性確認結果は表 25、ロボット音声の可聴距離及び音源の集音距離の結果は表 26 に示すとおりである。ロボットは煙や暗所では視認性がないことが分かった。また、音は周辺の騒音の大きさに依存し、南多摩総合防災施設のような静かな環境では約 170m までロボットの音声を人間が聞き取ることができた。ロボットを介して音を聞くと、音の減衰が大きく、都心の一般的な騒音環境下では音源から 45m の地点が限界集音距離であり、騒音が大きくなるにつれて、限界集音距離は短くなる。

表 25 視認性確認結果

白煙+照明	白煙+暗所

表 26 可聴距離及び音源の集音距離

可聴距離	約 170m
集音距離	約 45m

(ウ) 運動性能確認実験

運動性能確認実験結果は表 27 に示すとおりである。表 27 から、ロボットは各種路面を走行可能、金属板は傾斜 20 度まで、合板は傾斜 25 度までそれぞれ登坂可能、段差は 4 cm まで乗り越え可能だが、階段走行はできないことが分かった。

表 27 運動性能確認結果

各種路面走行実験結果	
コンクリート、ケイ酸カルシウム板、金属板、グレーチング、毛布、合板	走行可能
登坂実験結果	
金属板	20 度まで登坂可能
合板	25 度まで登坂可能
段差実験結果	
段差 1 ~ 3 cm	乗り越え可
段差 4 cm	条件付きで乗り越え可
段差 5 cm	乗り越え不可

ウ 考察

前イの実験結果、参考文献⁹⁾及びロボットの機能を鑑み、検索用ロボットの要求性能及び優先順位は表 28 に示すようにまとめることができると推察される。この表 28 に基づき、前イの実験結果から火災現場でのロボットの性能評価をしたものは表 29 に示すとおりである。実際の火災現場で使用することを考慮すると、可搬性及び迅速起動などで示される操作性が何よりも優先され、探査性（音）が各項目の中では最も優先順位が低いと推測される。

表 28 検索用ロボットの要求性能及び優先順位

項目	機能	優先順位
操作性	可搬性、簡易整備、迅速起動、簡易操作	↑ 高
伝送性	3 次元的操縦で映像が途切れない	
探査性（視認）	可視・赤外・暗視カメラを搭載し、切替え可能	
運動性	階段を登坂可能	
探査性（作業）	開口部を自力で開放可能	
耐環境性	霧困気温度 65 度以上で 10 分以上活動可能	
探査性（音）	音声通話可能	

表 29 火災現場でのロボットの性能評価結果

操作性	○
伝送性	△
探査性（視認）	×
運動性	×
探査性（作業）	×
耐環境性	×
探査性（音）	△

○：概ね要求性能を満たす
△：一部要求性能を満たす
×：ほぼ要求性能を満たさない

このように考えると、本検証で使用したロボットは、火災現場では操縦性、伝送性及び探査性（音）は一部要求性能を除き、満たしているが、その他の部分は要求性能を満たしていないと考えられる。

6 おわりに

本検証で得られた結果を以下のようにまとめる。

- (1) 「導入（予定）装備品の性能確認」の節より
 - ア 墜落制止用器具のショックアブソーバは受熱、放水を受けた場合でも機能を発揮できる。
 - イ 防火衣下衣への胴ベルトの装着は、落下時に離脱の恐れがある。
 - ウ 新型空気呼吸器は、LEDによる視認向上、警報器の音圧向上、新型防火帽による視野範囲拡大、水没後並びに-20℃下で使用できることを確認した。
 - エ 熱画像直視装置は、検索環境下において視認性が向上する。
- (2) 「現行装備品及び検索体形の整理・調査」の節より
 - ア 現在の装備品及び検索方法を整理した結果から、検索時の視認性向上及び退路を見失う危険の回避が求められていることが確認できた。
 - イ 熱画像直視装置を今後使用した場合、室内、要救助者等が見えるため、検索体勢、並列検索、壁伝いに検索、検索棒等の必要性が無くなる可能性がある。
 - ウ 検索ロープには退路確保のほか、隊員の落下防止が期待されるが、進入管理者の確保による落下防止は困難である。
 - エ 検索ロープに落下防止性能を求められないのであれば、退路確保性能を維持したまま活動性の向上を目指すために新型投光器ケーブルのみを退路確保線とすることも一方策だと考えられる。
- (3) 「市販資器材の利用可能性の検討」の節より
 - ア 検索時の視認性向上に暗視スコープを採用することで、暗所では対象を判別できるが、煙下では判別できない。暗視スコープと熱画像直視装置を切替えてできるものがあれば、暗所及び煙下でも、より視認性が向上する。
 - イ 人に代わり検索をさせる地上走行型ロボットは、階段移動や閉鎖された扉の開放といった運動性及び探査性が最大のボトルネックとなるが、可搬性を維持しながら改善されれば活用の可能性がある。

7 謝辞

本検証にあたり、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。ここに感謝の意を表します。

[参考文献及び注釈]

- 1) 東京消防庁企画調整部企画課、東京の消防白書 2020 令和 2 年版、2020 年 10 月発行
- 2) 東京都都市整備局、「東京の土地利用 平成 28 年東京都区部」

- 3) 東京都都市整備局、「東京の土地利用 平成 29 年東京都多摩・島しょ地域」
- 4) ISO 11999-3 に準じる
- 5) 真田良仁ほか 5 名、放射温度計の活用方策に関する検証、消防技術安全所報 57 号、pp. 33-40、2020
- 6) 三野正浩ほか 3 名、火災室内の検索救助活動時における消防隊員の生理的、心理的に係る検証、消防技術安全所報 45 号、pp. 84-88、2008
- 7) 参加機関及び消防本部 消防庁、札幌市消防局、横浜市消防局、川崎市消防局、名古屋市消防局、大阪市消防局、神戸市消防局、北九州市消防局、京都市消防局及び東京消防庁 合計 9 消防本部参加し、書面会議にて実施
- 8) 山越靖之ほか 2 名、屋内空間におけるドローンの活用に関する検証、消防技術安全所報 56 号、pp. 26-37、2019
- 9) 経済産業省 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、トンネル災害およびプラント災害のための対応陸上移動ロボット性能評価手順書 Ver1.0、2018

Study on the Equipment used during Search Activities

EDAMOTO Takafumi*, ODA Tetsuya**, MIZUNO Mamoru*,

IWASE Hiroki*, SATOU Yoshiyuki*, YUASA Hiroaki*

Abstract

In response to the on-duty deaths of personnel and revisions to laws and regulations, we plan to introduce new equipment with improved functionality and to review the methods used in searches. In addition to the current situations, high performance materials and equipment thought to contribute to firefighting activities are found in the market at low prices. Considering the effects of introducing such materials and equipment is important for anticipating future actions.

Therefore, in addition to the equipment planned to be introduced, experiments and investigations were used to confirm the effectiveness of the items in improving the safety and efficiency of searches. The experimental results were used to evaluate the performance of the equipment required in future firefighting activities.