

消防活動時の退路確保資器材に関する検証

枝元 孝史*, 水野 守**, 原島 裕貴***
岩瀬 弘樹**, 佐藤 良行**, 湯浅 弘章**

概要

現在、検索時の主な退路確保方法は、筒先担当員がホース線、検索員が検索ロープとされている¹⁾。また、令和2年度検証²⁾で実施した現行装備品及び検索体形の整理・調査結果では、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、及び検索時の視認性向上を図るための装備品が恒常的に求められていることが確認された。そこで、より確実な退路確保を実現するための資器材について、技術革新が進み先端技術が導入されている市販品の無線通信機器、及び現行資器材等を対象に調査・実験を行った。実験結果より退路確保性能及び課題を整理し、退路確保に求められる性能の展望について言及した。

1 はじめに

図1に示すように、検索時、隊員は主な退路確保資器材としてホース線及び検索ロープを活用している¹⁾。しかし、過去の重大な受傷事故を振り返ると、検索時の急激な延焼拡大や濃煙により方向感覚を失い、これら退路線を何らかの原因で見失ったことが受傷の一要因に挙げられている。消防活動では、緊急時の隊員の安全を重視しつつも、検索活動等の平常時の活動性も同時に求められ、退路確保と活動性の両要素について常に改善の努力が必要である。

そこで本検証は、消防活動の将来を見据え、先端技術の活用の可能性及び現行資器材の特性・課題について、実験を通じて整理し、装備品による退路確保の安全性と活動性の向上を図ることを目的としている。

2 検証対象

先端技術が導入された無線通信機器、既存装備を含めた有線器材・発光ライト及び過去の消防技術安全所で実施した検証より活用の見込める熱画像直視装置（以下「直視装置」という。）を検証対象とした。

(1) 無線通信機器

最新の無線通信機器から既製品を対象に、広く市場から調査し、退路方向の確認に活用できると考えられ、相互通信により無線受信器側にて無線送信器側までの距離等を測定可能な機種を検証対象として抽出した。基本性能として屋外での接続可能距離及び屋内での通信精度等を実際の住宅を活用し、実験により確認した。検証対象の無線通信機器を図2、3、4、5に示す。

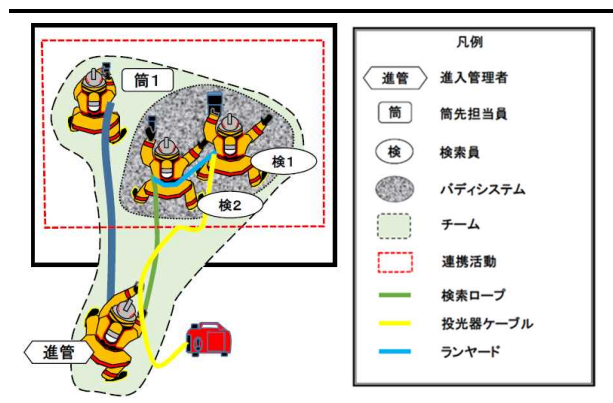


図1 検索体系の一例

Smartphone(A) (以下「SP(A)」という。)	Smartphone(B) (以下「SP(B)」という。)	遭難捜索器 (以下「捜索機」という。)
OS:iOS 2020年度製 バッテリー:2,815mAh 146.7x71.5x7.4 mm 162g, IP68	OS:Android 2020年度製 バッテリー:4,800mAh 161.5x75.6x7.8 mm 200g, IP68	位置情報発信 Tag(E) 専用受信機器 接続通信帯:925 MHz

図2 検証対象（無線受信器側）

位置情報発信 Tag(A) (以下「Tag(A)」という。)	位置情報発信 Tag(B) (以下「Tag(B)」という。)
	
測定単位 0.1m[10m未満] 1m[10m以上]	測定単位 0.1m[10m未満] 1m[10m以上]
無線方式:超広帯域無線通信(以下「UWB」という。)対応 近距離無線通信(以下「BLE」という。)対応 対応 SP:SP(A), IP67 直径 31.9 mm 厚さ 8 mm, 11g 動作環境温度:-20°C~+60°C	

図3 検証対象(無線発信器側)

位置情報発信 Tag(C) (以下「Tag(C)」という。)	位置情報発信 Tag(D) (以下「Tag(D)」という。)	位置情報発信 Tag(E) (以下「Tag(E)」という。)
		
測定単位 0.1m	測定表示 普通 強い とても強い	測定単位 0.5m[10m未満] 10m[10m以上]
無線方式: BLE TagE【検索機接続時(専用通信方式)】 対応 SP:SP(B) 専用 App, IP67 Bluetooth5 対応 60x80x30 mm 75g(電池含)		
無線方式: BLE TagE【検索機接続時(専用通信方式)】 対応 SP:SP(A),SP(B) 専用 App, IP67 Bluetooth4.0 対応 38x38x6.2 mm 7.5g		
無線方式: BLE TagE【検索機接続時(専用通信方式)】 対応 SP:SP(A),SP(B) SP 使用時:専用 App App 仕様 電波強度に応じて「0~100」で表示		

図4 検証対象(無線発信器側)



雪崩ビーコン(A) (以下「雪崩(A)」という。)	雪崩ビーコン(B) (以下「雪崩(B)」という。)
	
測定単位 0.1m[10m未満] 1m[10m以上]	測定単位 0.1m[10m未満] 1m[10m以上]
接続通信帯:457 kHz デジタル式3アンテナ	
165g(電池含) 動作環境温度:-20°C~+45°C 電源:単3電池【1本】 SEND モード:200h	210g(電池含) 動作環境温度:-25°C~+45°C 電源:単3電池【3本】 SEND モード:400h

図5 検証対象(雪崩ビーコン)

(2) 有線器材・発光ライト

消防隊で使用している主な退路確保資器材は、有線器材としてのホース及び検索ロープである。現在、ホースは退路方向を示すために蓄光性能を付した製品(以下「蓄光ホース」という。)が導入されている。加えて、市場には投光器の反射光を活用しホースの視認性を向上させた製品(以下「反射ホース」という。)もある。また、当庁は未導入だが、検索ロープとして発光機能を付したロープ(以下「発光ロープ」という。)が製品化されている。発光ライトも同様に、消防隊に配置され、LED化が進み、従前の資器材と比較して発光性能が向上している。これら有線器材・発光ライトは、暗所かつ煙が充満している火災室で使用することから、訓練棟廊下でスモークマシンにより白煙を発生させ、暗所及び白煙内における各退路確保資器材の視認性を確認し、退路確保に有効な性能を有しているかどうかを実験にて確認した。また、投光器で照射した場合の視認性及び蓄光機能を有する資器材の蓄光性能についても確認した。検証対象の有線器材を図6に、発光ライトを図7に示す。

発光ロープ	蓄光ケーブル	蓄光ホース	反射ホース
			
タイプ:発光 電源:充電式 長さ:25m	タイプ:蓄光 外径:13.6mm 長さ:30m反射 蓄光:太陽光 1h以上 他:投光器ケーブル	タイプ:蓄光 呼称:50 長さ:20m 蓄光:太陽光 1h以上 納品:令和2年	タイプ:反射 呼称:50 長さ:20m 反射テーフ幅:10mm

図6 検証対象(有線器材)

ライトA	ライトB	ライトC
		
タイプ:点滅 色:白 電源:単三電池3本 発光:上部・側部	タイプ:点滅、白のみ点灯 色:青・赤 電源:充電式 発光:上部側部 他:マグネットタイプ	タイプ:点滅、点灯 色:赤・緑 電源:充電式 発光:上部(白のみ)側部 他:マグネットタイプ

図7 検証対象(発光ライト)

(3) 熱画像直視装置

直視装置は、2022年度より、急激な延焼拡大の事前把握及び屋内進入前後の温度環境の測定による隊員の安全の確保及び活動性の向上を目的に、全ポンプ中隊への配置が進められている。また、過去検証²⁾より、退路確保資器材としての活用が見込めることから、活用の可否について実験にて確認した。検証対象の直視装置を図8に示す。


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°C(高ゲインモード) -10~140°C(低ゲインモード) 防塵・防水性能:IP67 耐落下性能:2m

図8 検証対象(熱画像直視装置)

3 基本性能確認実験

基本性能確認実験を行った。確認項目及び実験場所を表1に示す。

検証対象	無線通信機器	有線器材 発光ライト	熱画像直視装置
確認項目	通信可否 屋外・屋内 通信精度 屋内 接続可能距離 屋外	視認性 暗所・白煙内	視認性 高温環境 暗所・白煙内
実験場所	宅地内路上 屋内住宅 耐火造・準耐火造	消防学校 主訓練棟長廊下 (以下「訓練棟廊下」という。)	消防学校 濃煙熱気棟訓練室

(1) 無線通信機器

ア 実験設定

ア) 屋外実験

実験の状況を図9に示す。最長の接続可能距離を確認するため、屋外（宅地内路上）の障害物のない直線道路（最長95m）で実施した。

実験状況：障害物なし



図9 屋外実験

実験状況：住宅内及び発信器設置位置

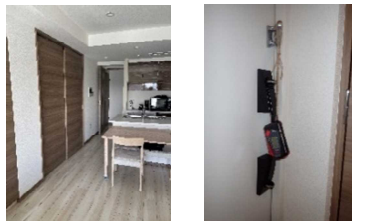


図10 屋内実験

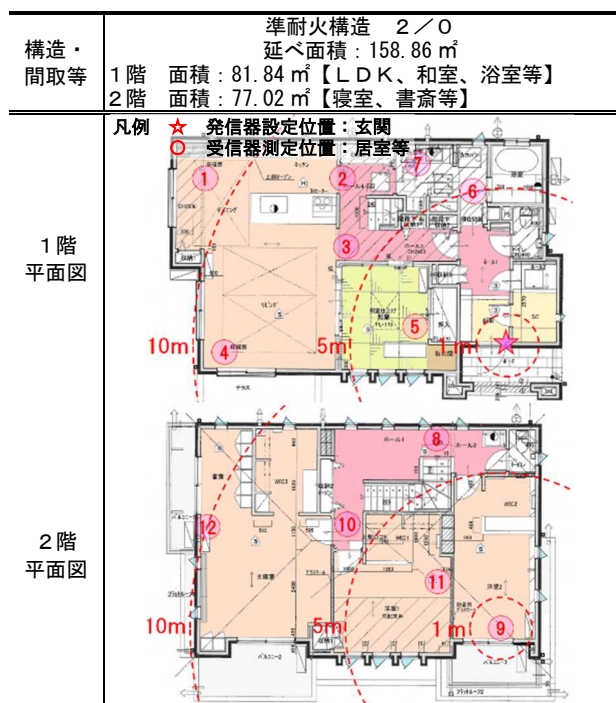


図11 屋内実験（戸建住宅）

イ) 屋内実験

実験の状況を図10に、実験場所の図面等を図11、図12に示す。屋内での通信可否及び通信精度等を確認した。

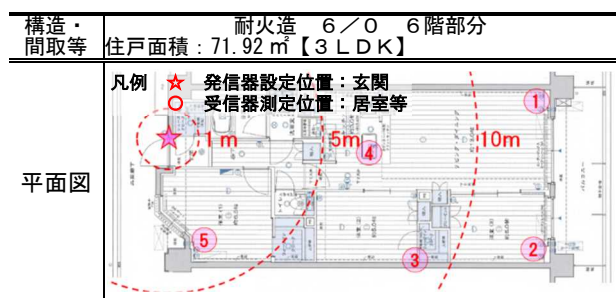


図12 屋内実験（共同住宅）

イ 実験結果及び考察

実験結果を表2に、距離の測位が可能な検証対象の表示状況を図13に示す。

ア) 屋外実験の結果

屋外での最大接続距離は、雪崩(A)は約40m、雪崩(B)は約30mまで、それ以外の機器は100mに近い距離まで接続可能であった。

イ) 屋内実験の結果

全機器で通信可能であり、通信精度として実測と測位の距離誤差は、Tag(A)及び(B)、雪崩(A)及び(B)、Tag(E)（探索機）、Tag(C)の順に小さかった。Tag(D)及び(E)（SP使用）は電波の強弱等を示すのみであるため、距離測位はできない機器であった。また、各機器の特徴として、Tag(A)及び(B)は実測距離が10mを超えると接続が不安定になり、通信が途絶する場合もあった。雪崩(A)及び(B)は実測距離が10mを超えると通信精度が落ちたが、安定した接続が可能であった。Tag(C)は他機器と比較すると精度は劣るが、安定した接続が可能であった。

発信器及び受信器を異なる階で使用する場合、距離の測位は可能であるが、階段等による垂直移動が建物の中心側で行われると活用が困難であることが確認できた。

以上より、10m以上の距離で使用した場合の信頼性が低いことから、退路確保の主装備としての活用は困難ではあるが、発信器及び受信器の距離が縮まり表示距離が小さく（電波が強く）なることで脱出口等に近づいていることを確認することが可能である。

表2 実験結果

検証対象	Tag(A)	Tag(B)	Tag(C)	Tag(D)	Tag(D)	Tag(E)	Tag(E)	雪崩	雪崩
	SP(A)	SP(B)	SP(B)	SP(A)	SP(B)	探索機	SP(A)	SP(B)	(A) (B)
測定場所・点	戸建住宅⑧~⑫:2階部分【測定高さ3.2m】								
	屋外：接続可能距離[m]								
戸建住宅	① x	-	◎	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	② -	-	△	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	③ -	-	◎	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	④ x	-	◎	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑤ -	◎	△	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑥ ◎	◎	▲	-	-	△	-	-	◎ ◎
	⑦ ◎	◎	▲	-	-	△	-	-	◎ ◎
	⑧ ◎	◎	○	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑨ ◎	◎	△	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑩ ◎	-	◎	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑪ ◎	-	△	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑫ -	-	○	-	-	◎	-	-	◎ ◎
共同住宅	① ◎	◎	▲	-	-	△	-	-	△ △
	② -	-	◎	-	-	◎	-	-	△ △
	③ ◎	◎	▲	-	-	△	-	-	△ △
	④ ◎	◎	▲	-	-	◎	-	-	◎ ◎
	⑤ ◎	◎	▲	-	-	△	-	-	◎ ◎
屋外	95m 超							40m	30m

凡例 ◎:±25%未満 ○:±100%未満 △:±250%未満 ▲:±250%以上
(通信精度：表示距離と実測値との誤差割合)
-:電波の「強・弱」のみを表示し距離不明



図13 検証対象（無線通信機器）の表示状況

(2) 有線器材・発光ライト

ア 実験設定

実験の設定状況を写真1、実験条件を表3に示す。各退路確保資器材の設定位置は、有線器材は観測位置から10mの位置まで延長し、発光ライトは観測位置から5mの位置に設定した。白煙は、スモークマシンを用いて10m先から観測位置に向けて発生させ、サーキュレーターで拡散した。検索員の検索時の視線を地上から高さ1mと仮定し、煙濃度計を地上から高さ1mに設定して煙の濃度を測定した。また、カメラも地上から高さ1m、投光器を検索員の検索時の腰の位置として地上から高さ0.4mと仮定した。なお、室内にいる観測者が各資器材を白煙等で視認できなくなったときに測定終了とした。煙濃度の測定は、JIS³⁾に定める減光法による煙濃度測定法を採用して減光係数を求め、透過度を算出した。

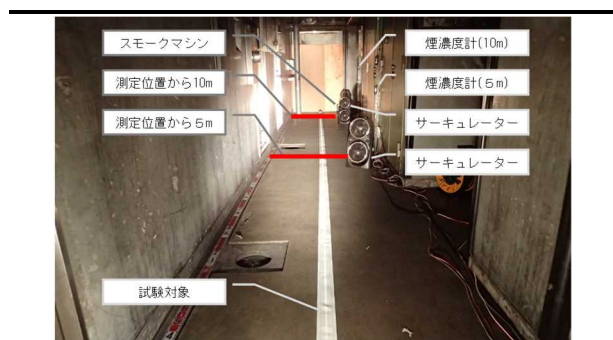


写真1 設定状況

表3 実験条件

	検証対象	条件
実験1	有線器材 発光ロープ 蓄光ホース 蓄光ケーブル	・暗所、白煙 ・距離0~10m ・太陽光で1時間以上蓄光
実験2	発光ライト ライトA ライトB(上部発光) ライトC(側部発光)	・暗所、白煙 ・距離5m
実験3	反射ホース	・暗所、白煙 ・投光器照射 ・距離0~10m
実験4	発光ロープ(詳細)	・暗所、白煙 ・投光器照射 ・距離0~10m
実験5	蓄光ホース(詳細)	・暗所 ・折り島田で約半日ボックス保管 後にボックス灯で10分間の蓄光、太陽光で1時間以上の蓄光 ・ボックス収納状況(図14)



図14 ボックスへの収納状況

イ 実験結果及び考察

(ア) 実験1 (有線器材の比較)

暗所及び白煙内における発光ロープ、蓄光ホース及び蓄光ケーブルの見え方を光の透過度とともに図15に示す。図15より、白煙内では発光ロープは蓄光ホース及び蓄光ケーブルよりも視認しやすく、15分経過後も約1m先の発光ロープは観測者から視認可能であったが、蓄光ホース及び蓄光ケーブルは視認不可能であった。

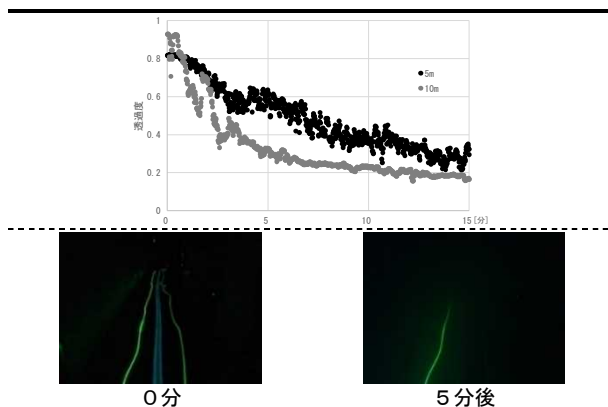


図15 透過度及び白煙内での発光ロープの見え方

(イ) 実験2 (発光ライトの比較)

暗所及び白煙内における発光ライトの見え方を図16に示す。図16より、白煙内ではどのライトも同等に視認しにくくなった。また、ライトの発光箇所が上部又は側部であるかの違いによって、白煙内での見え方に大きな相違はなかった。

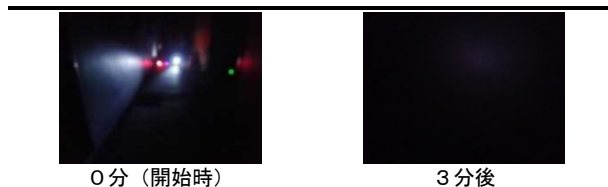


図16 白煙内での発光ライトの見え方

(ウ) 実験3 (反射ホース詳細)

暗所及び白煙内において、投光器を使用して光を照射した場合の反射ホースの見え方を図17に示す。図17より、白煙内ではホースが視認できる範囲では光を反射してテープ部分がホース部分よりも視認しやすかったが、ホースが視認できないほど白煙が濃くなるとテープも視認できなくなった。



図17 白煙内で投光器照射時の反射ホースの見え方

(エ) 実験4 (発光ロープ詳細)

暗所及び白煙内において、投光器を使用して光を照射した場合の発光ロープの見え方を図18に示す。図18より、白煙内では投光器の光が白煙で乱反射して、発光ロープ自体を視認できなくなった。発光ロープは投光器等の照明器具を使用することで視認が困難となることから

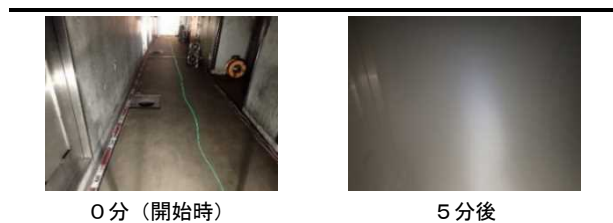


図18 白煙内で投光器照射時の発光ロープの見え方

(オ) 実験5 (蓄光ホース詳細)

暗所において、ポンプ車のボックスで約半日保管した後にボックス灯で10分間蓄光させた蓄光ホースと太陽光で1時間以上蓄光させた蓄光ホースの時間経過による見え方の比較を図19に示す。図19より、ボックス灯で10分間蓄光させた蓄光ホースは、発光している箇所がホースの折り島田の折り返し部分及びホースの縁であり、その強さは太陽光で1時間以上蓄光させたホースよりも弱かった。また、どちらの蓄光ホースも時間とともに光の強さは弱くなり、10分で当初の半分程度に弱くなった。20分後でもどちらのホースも視認可能であるが、目が暗闇に慣れていないと視認が困難であると感じる。また、ライトを当てれば蓄光されるが、その強さは当てる範囲及び時間に影響される。

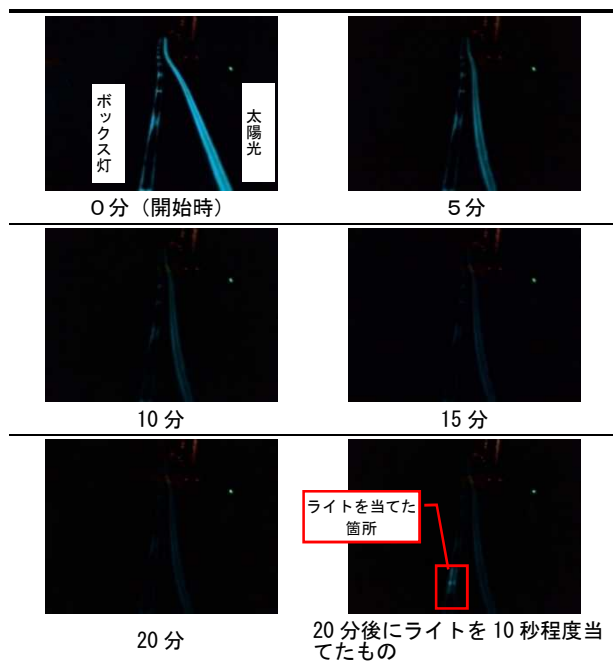


図19 暗所での蓄光ホースの見え方

実験1から実験5の結果より、白煙内で退路確保として使用する資器材の中で視認性が一番高いものは発光機能であり、発光ロープが他の資器材よりも有効であると考えられる。しかし、発光ロープも投光器等の照明器具を使用することで、光が白煙で乱反射して発光ロープ自体が視認できなくなることがあることを認識する必要がある。

(3) 熱画像直視装置

ア 実験設定 (共通)

濃煙熱気棟訓練室(以下「訓練室」という。)を活用し、火災室を想定した高温環境・暗所・白煙下の室内にホース(充水状態)を配置し、表4の実験項目について直視装置によるホースの視認状況(以下「熱画像」という。)を確認した。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4 実験項目

実験1	濃煙及び暗所内での視認状況
実験2	濃煙熱気内での視認状況
実験3	濃煙熱気内への放水による影響

イ 実験1 濃煙及び暗所内での視認状況

(ア) 実験設定

実験設定を図20に、実験条件及び測定項目を表5に、訓練室の全景及び内部の設定状況を写真2に示す。開口部を閉鎖し、1分間スモークマシンを使用して室内を煙で充満させ、直視装置でホースの視認状況について確認した。また、検索員を想定して室内に職員を配置し、職員の視認状況を確認した。なお、温度の測定は、床から2000mm及び1500mmの位置にある熱電対により行った。

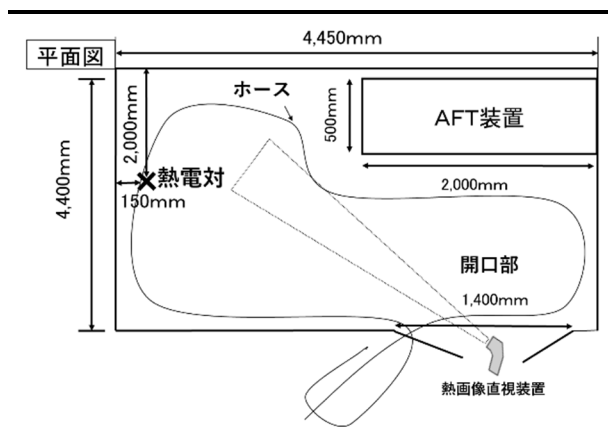


図20 実験の設定状況

表5 実験条件及び測定項目

測定項目	肉眼、熱画像、温度
ホースとの距離	5 m
環境	濃煙、暗所



写真2 訓練室全景及び内部設定状況

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を図21に示す。図21より、温度24℃、濃煙内において、肉眼ではホースを視認することができないが、熱画像（高ゲイン、低ゲイン）では煙を透過してホース及び検索員の位置を視認することができた。しかし、検索員に比べ、ホースは視認しづらいことが読み取れる。これは、検索員と室内の躯体等の温度差に比べ、ホースと室内の躯体等の温度差が小さいため、温度表示の濃淡が出にくくなったためであると考えられる。

以上のことから、濃煙及び暗所において直視装置を用いれば、ホースを退路線として視認することができるが、ホースと室内の躯体等の表面の温度差が小さい状況では、熱画像を注視して見る必要があることがわかった。

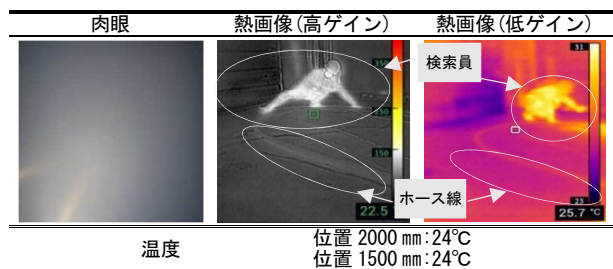


図21 濃煙及び暗所内での視認確認結果

ウ 実験2 濃煙熱気内での視認状況

(ア) 実験設定

実験設定を図20に、実験条件及び測定項目を表7に、実験状況及び実験の流れを図22に示す。開口部を閉鎖後、火炎を1分間発生させて室内を加熱したのち、火炎を停止し、1分間スモークマシンを使用して煙で充満させ、直視装置でホースの視認状況について確認した。

表7 実験条件及び測定項目

測定項目	肉眼、熱画像、温度
ホースとの距離	5m
環境	濃煙熱気



図22 実験状況及び実験の流れ

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を図23に示す。図23より、肉眼ではホースを視認することができないが、熱画像（高ゲイン、低ゲイン）ではホースを視認することができた。さらに、図21の結果と比較すると、図25の視認結果の方が、ホースをより鮮明に視認できている。これは、ホースの表面温度（低温）と室内の躯体等の表面温度（高温）には温度差があり、熱により室内の温度表示の濃淡ができることで、直視装置の温度表示の性能上、視認が容易になったと考えられる。また、熱画像（高ゲイン）よりも熱画像（低ゲイン）の方がホースを視認しやすい。これは、低ゲインモードの測定温度範囲が高ゲインモードより狭いため、室内の躯体等の表面温度が低い場合、熱画像の色の濃淡が明確になるためであると考えられる。

このことから、濃煙熱気内において直視装置を用いれば、退路線のホースを視認することができ、140℃以下の温度帯では低ゲインモードに切り替えることにより、ホースの視認性が向上することがわかった。

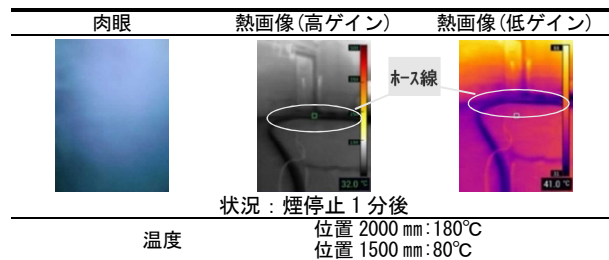


図23 濃煙熱気での視認状況確認結果

エ 実験3 濃煙熱気内への放水による影響

(ア) 実験設定

実験設定を図20、実験条件及び測定項目を表8に、実験状況及び実験の流れを図24に示す。開口部を閉鎖後、火炎を1分間発生させて室内を加熱したのち、火炎を停止し、1分間スモークマシンを使用して煙で充満させ、1分間放水した。その際、直視装置でホースの視認状況について確認した。

表8 実験条件及び測定項目

測定項目	肉眼、熱画像、温度
対象物との距離	5m
環境	高温、多湿下

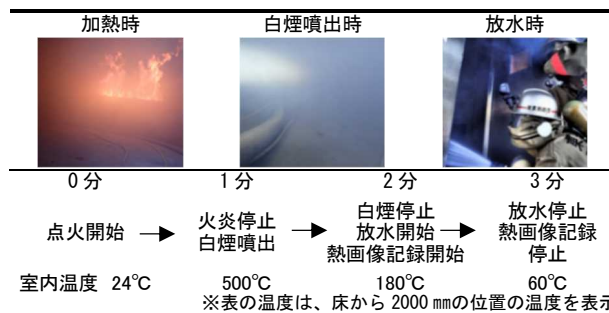


図24 実験状況及び実験の流れ

(イ) 実験結果及び考察

実験結果を図 25 に示す。図 25 より、放水開始直前及び放水中ともに、実験 2 の結果と同様に、肉眼ではホースを視認することはできないが、熱画像（高ゲイン、低ゲイン）ではホースを視認することができた。

	肉眼	熱画像(高ゲイン)	熱画像(低ゲイン)
放水開始直前			
放水中			
放水停止直後の温度	位置 2000 mm: 70°C 位置 1500 mm: 60°C		

図 25 濃煙熱気内での水による影響確認結果

実験 1 から実験 3 の結果より、直視装置は濃煙熱気内でホースを視認することができるため、退路確保資器材として活用が見込まれる。しかし、ホースの表面温度と室内の躯体等の表面温度に温度差が少ない場合では、ホースが視認しにくくなるため、使用する環境によっては、熱画像を注視して見る必要がある。

4 退路確保性能確認実験

(1) 退路確保資器材

ア 退路確保向上資器材の抽出

3 基本性能確認実験を踏まえ、脱出時に活用することで安全性・活動性の向上が見込める検証対象（以下「退路確保向上資器材」という。）を選定した。図 26 に退路確保向上資器材を示し。図 26 下段に示す理由で、退路確保に関する効果が得られると予測される資器材を抽出した。

直視装置	蓄光ホース	発光ロープ	雪崩(B)
濃煙熱気内での視認性の向上	脱出方向の明示	暗所・白煙内で一部視認可能	安定した接続 高精度な測位

図 26 退路確保向上資器材

イ 退路確保向上資器材及び現行資器材の組み合わせ

過去検証²⁾からも明らかになっているが、装備品は目指すべき検索方法に応じて適切に選択する必要がある。そこで、退路確保に注目したうえで、目指すべき退路確保方法に応じて、表 9 に示すように退路確保向上資器材及び現行装備品を組み合わせ、その際に得られる効果を実験により確認した。なお、実験には現行手法による課題整理及び比較のため、現行資器材のみの実験も行った。

表 9 退路確保方法及び確認項目

項番	資器材の組み合わせ	確認項目(効果)
実験1	ホース・高機能ロープ・投光器	現行資器材の課題
実験2	ホース・発光ロープ・強カライト	資器材自体の視認性向上 物理的連結の解除による効果
実験3	ホース・直視装置・強カライト	資器材による視認性向上 物理的連結の解除による効果
実験4	ホース・投光器	物理的連結の解除による効果
実験5	ホース・強カライト・雪崩(B)	無線通信器導入による活動性向上

(2) 実験方法及び設定(共通)

実験は、表 9 に示した資器材を活用し、図 27 に示した暗所に白煙を充満させ火災現場を模した空間から、内部状況及び構造を把握していない完全装備した実験実施者 3 名に脱出行動(⑤→⑥)までの移動)をとらせた。その際の脱出に要する時間、行動記録及び実施者に対するヒアリングを行い、各実験についてのメリット・デメリットの整理をした。

実験設定は、現行資器材を使用した際の脱出時に発生しうる問題から実験の評価ポイントをあらかじめ設定した。(評価ポイント: 図 27 参照)

		<p>16m 4m</p> <p>⑤ 開始位置 ⑥ 終了位置</p> <p>凡例 — 高機能ロープ・投光器 — ホース ⑤: 開始位置 ⑥: 終了位置 ④: 測定者(行動観察等) ③: 実施者</p>
【退路線及び退路方向の確認】	【脱出時の検索ロープ等の処理: 難易度小】	
【脱出時の検索ロープ等の処理: 難易度大】	【分岐点による脱出方向の判断】	

実験実施者
(完全装備(呼吸器除く))
装備安全課員: 3名

消防司令補 1名(補)
消防士長 2名(長①、長②)

実際の実験時の状況(煙・暗所)

図 27 実験の共通設定及び評価ポイント

(3) 実験 1

ア 実験方法及び設定

実験 1 の設定状況を図 28 に示す。実験 1 は現行資器材を活用した脱出を行い、発生する課題の抽出をした。

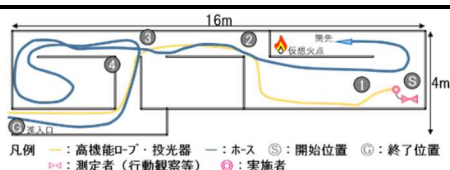


図 28 実験 1 の設定状況

イ 実験 1 の結果

実験結果を図 34 に、実施者の行動軌跡を図 29 に、課題の整理を図 40 に示す。脱出可否及び行動軌跡から、評価ポイント③のロープ等とホースとの絡まりを処理できず、評価ポイント④を通過後に脱出不能となることが確認できた。また、ヒアリング結果より、煙・暗所内では絡まりが発生していることに気付くことは困難である、という声も確認できた。

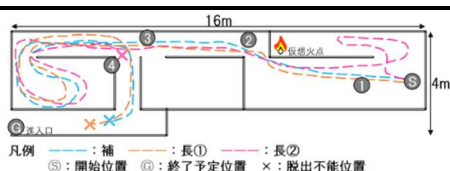


図 29 実験 1 の行動軌跡

(4) 実験 2

ア 実験方法及び設定

実験 2 の設定状況を図 30 に示す。実験 2 はロープを発光させることで脱出方向の視認性を高められるか、さらに、投光器を強力ライトに変更することで物理的連結の一部を解除し、ケーブルの絡まり排除による効果があるかを確認した。



図 30 実験 2 の設定状況

イ 実験 2 の結果

実験結果を図 34 に、実施者の行動軌跡を図 31 に、課題の整理を図 40 に示す。脱出可否及び行動軌跡から、実験 1 同様に、評価ポイント④を通過後に脱出不能となることが確認できた。ヒアリング結果より、煙内では強力ライトによる乱反射が発生し発光ロープが視認できない、という声も確認できた。一方、投光器のケーブルを使用しないことで、脱出時の負担が減ったという声もあった。

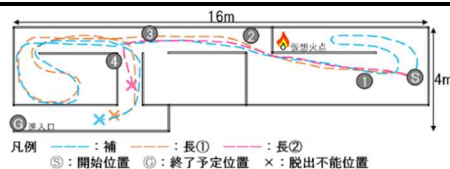


図 31 実験 2 の行動軌跡

(5) 実験 3

ア 実験方法及び設定

実験 3 の設定状況を図 32 に示す。実験 3 は、ロープ等の有線器材を活用しないことで物理的連結の完全解除によるホースとの絡まり除去、熱画像の活用による脱出の可否及び内部状況の視認性向上の効果を確認した。



図 32 実験 3 の設定状況

イ 実験 3 の結果

熱画像の表示状況を図 33 に、実験結果を図 34 に、実施者の行動軌跡を図 35 に、課題の整理を図 40 に示す。図 33 から、ホースと内部構造体の表面温度の差が僅かである場合は、熱画像での視認は困難であることが確認できた。

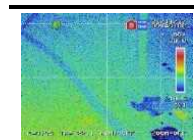


図 33 熱画像状況

ヒアリング結果より、捌くべきロープ等がないため負担が軽減された、という声があった。しかし、物理的に繋がっていない不安があることや両手が資器材で埋まることで活動しづらい、という声も確認できた。

脱出可否	実験 1			実験 2			実験 3			実験 4			実験 5		
	補	長①	長②	補	長①	長②	補	長①	長②	補	長①	長②	補	長①	長②
	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	○
評価ポイント通過タイム															
	<p>※脱出不能：× (通過直前の評価ポイントまでのタイムを記録)</p>														

図 34 実験結果

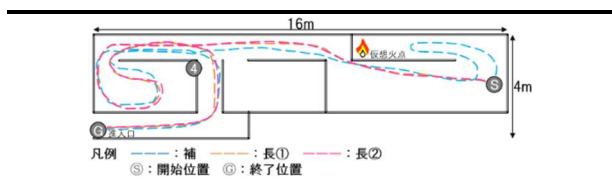


図 35 実験 3 の行動軌跡

(6) 実験 4

ア 実験方法及び設定

実験 4 の設定状況を図 36 に示す。実験 4 は、検索ロープによる物理的連結の一部を解除し、投光器ケーブルを退路線とした際の活動性向上の効果を確認した。



図 36 実験 4 の設定状況

イ 実験 4 の結果

実験結果を図 34 に、実施者の行動軌跡を図 37 に、課題の整理を図 40 に示す。脱出可否及び行動軌跡から、実験 1、2 同様に、評価ポイント④を通過後に脱出不能となることが確認できた。実施者の司令補は脱出可能であったが、これは評価ポイント③を処理できたのではなく、ロープ等の余長分で進入口まで進むことができたためであった。

ヒアリング結果より、検索ロープが省略されているため活動の負担が軽減された、という声を確認できた。

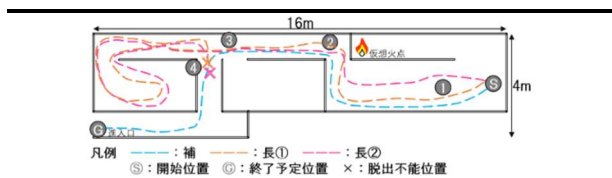


図 37 実験 4 の行動軌跡

(7) 実験 5

ア 実験方法及び設定

実験 5 の設定状況を図 38 に示す。実験 5 は誤って単独行動をとり退路を見失った場合に、無線通信機器の活用が、筒先担当及びホース線の発見若しくは単独での脱出に寄与できるかの確認を行った。

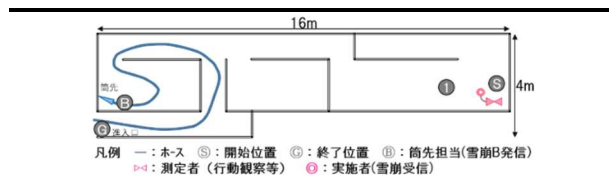


図 38 実験 5 の設定状況

イ 実験 5 の結果

実験結果を図 34 に、実施者の行動軌跡を図 39 に、課題の整理を図 40 に示す。行動軌跡より、実施者全員が移動途中でホース線を発見後、進行方向の分岐点で雪崩(B)が示す方向に移動することで、筒先担当と合流することを選択した。

ヒアリング結果より、開始直後の脱出方向の判断には活用が困難であり、内部を把握するために動きまわった結果、送信器に近づいていることが分かった、という声を確認できた。さらに、ホース発見後はホースを主に活用した、という声も確認できた。

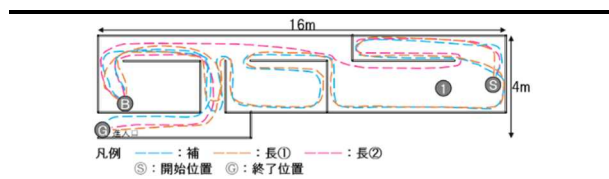


図 39 実験 5 の行動軌跡

	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5
評価ポイント(行動)	①脱出方向の判断が容易 ②処理不要 ③覚知不可・脱出不能 ④上側のホース線を辿った	①脱出方向の判断が容易 ②処理不要 ③覚知不可・脱出不能 ④上側のホース線を辿った	①脱出方向の確認が困難 ④上側ホース線を辿った	①脱出方向の判断が容易 ②処理不要 ③覚知不可・脱出不能 ④上側ホース線を辿った	①脱出方向の確認が困難 ⑧筒先担当と合流
ヒアリング	・ロープとホースの絡まりは確認不可のため処理できない ・確実に繋がっていることで安心感がある ・ホースが分かりやすいため、ホースを辿った	・ロープとホースの絡まりは確認不可のため処理できない ・検索ロープがないことで負担が減って活動しやすい ・発光ロープは視認できない ・ホースを辿った	・直視装置は、温度条件で見える物と見えない物がある ・両手が塞がるので、資器材が使用しづらい ・拘束する物がないので動きやすいが、不安感がある	・検索ロープがないことで負担が減って活動しやすい ・ケーブルとホースの絡まりは確認不可のため処理できない ・ホースが分かりやすいため、ホースを辿った	・拘束する物がないので動きやすい ・脱出方向が不明確 ・無線通信機器は確実な性能把握が必要 ・ホース発見後は、ホースを辿った
メリット	・退路方向が明確 ・精神的な安心感	・負担軽減	・白煙内でも内部が把握可 ・負担軽減	・退路方向が明確 ・負担軽減	・電波発生元への誘導可
デメリット(課題)	・絡まりにより脱出不能 ・絡まり等の発生確認不可	・乱反射で視認不可 ・絡まりにより脱出不能	・均一な温度環境下では視認が困難 ・操作性に難	・絡まりにより脱出不能 ・絡まり等の発生確認不可	・単独での脱出使用は困難 ・長距離の精度難

図 40 課題の整理

(8) 考察

行動軌跡より、有線器材を活用した退路確保は、検索ロープ等とホースとの絡まりが発生していた際に、暗所・煙内ではその状況に気付くことができず、処理できないことで脱出困難に陥る可能性がある。

ヒアリング結果より、有線器材でつながっていることで安心感が得られること、進入口から延長されているホース線への信頼性が高いことが確認された。ホースへの脱出方向の明示ができればさらに信頼性が高まると考えられる。

行動軌跡及びヒアリング結果より、投光器ケーブルのみを退路確保とした場合は、絡まりの処理は変わらず困難であるが、捌く資器材が減ることで脱出時の負担軽減が見込める。

直視装置については、本実験環境下では活用が困難であったが、より実際の火災現場に近い環境で実施した基本性能確認実験から、退路確保として視認性の向上に有効な資器材であると考えられる。

無線通信機器の活用については、基本性能確認実験結果を踏まえ活用が見込めたが、接続が不安定なことや内部構造を正確に把握できていない状況での使用等を考慮すると、単独での使用には課題が多く残るため、現時点では現行資器材の補助的な役割としての活用が推奨される。

本実験結果からは、行動軌跡及び脱出可否等による各評価ポイント通過タイムへの影響は確認できなかった。

5 退路確保資器材の類型化及び今後の展望

これまでの、基本性能確認実験結果及び退路確保性能確認実験結果を踏まえ、今後考えられる退路確保資器材の類型化及び特性を踏まえた展望の整理を実施した。その結果を図 41 に示す。過去検証 2) でも明らかにしたが、退路確保資器材においても目指すべき活動・手法に応じて、装備品の特性（メリット・デメリット）を整理し、技術を選択・発展させていく必要がある。

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) 有線器材は発光、蓄光でも白煙内での視認は困難である。現在の無線通信機器は電波到達等に課題が残る。
- (2) 退路確保性能確認実験より、現状では退路方向の確認は有線器材のホースの信頼性が高く、主な退路手法として評価が高かった。熱画像直視装置は温度差があれば煙内でも視認可能で、効果的な資器材といえる。

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行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) 東京消防庁警防部、消防活動基準、中小隊の消防活動基準、pp. 2-1-1-pp. 2-1-5
- 2) 枝元孝史ほか5名、検索活動時に使用する装備品に関する検証、消防技術安全所報 58 号、pp. 42-54、2021
- 3) 一般財団法人日本規格協会：減光法による煙濃度の測定方法（JIS A1306）、2014
- 4) Head-Up Display




	現行基準発展型	熱画像活用型	無線通信活用型
資器材 イメージ	退路線：ホース (方向明示) 自動巻取り式ロープ 	退路線：ホース 直視装置 (ハンスフリー) 	退路線：ホース インフラ設備に依存しない 屋内測位技術 
方法	ホースと検索員の有線器材による連結	HUD ^a を活用した映写方式	より高度な測位技術の活用
メリット	進入口からの検索ロープ等が不要となることから、ホースとの絡まりが解消される。 退路を一時的に見失っても、有線として信頼性が高いホースに戻ることが可能となる。 退路方向をより確実に認識できる仕様にすることで脱出に要する判断が早まる。	ハンスフリーとすることで、実用性が向上し、HUDにより常時、熱画像の情報を視認することができ、大胆な移動も可能となる。 252 検索にも活用可能で、建物の内部構造の把握も可能となる。 内部構造等が把握可能となるため、有線器材に依存しなくてもよい。	行動軌跡が確認できるため、視界等が遮られ退路を一時的に見失っても退路方向に復帰できる。 退路確保のみだけでなく、進入管理も可能となる。 HUD等との連携の可能性がある。
デメリット	ホースとの連結状況によっては、資器材がホースと地面に挟まれる恐れがある。挟まれ回避や摩擦の軽減させる必要である。	均一な温度空間では極微細なレンジ調整ができなければならない。一般的に高性能な機種は非常に高価である。	技術の確立がなされていないため、技術的な開発の働きかけが必要である。

図 41 退路確保資器材の展望についての整理

Verification for the Equipment for Securing Retreat Routes after Firefighting Activities

EDAMOTO Takafumi*, MIZUNO Mamoru**, HARASHIMA Yuuki***

IWASE Hiroki**, SATOU Yoshiyuki**, YUASA Hiroaki**

Abstract

Conventionally, a hose nozzle operator's use of the hose line has been considered the primary method for retreat for the operator, and a searcher's use of the search rope also the primary way for retreat for the searcher. We reviewed and checked conventional equipment and search systems in fiscal 2020. Then, we confirmed a constant need for the equipment enabling searchers to achieve their task with no risk of losing retreat routes after indoor entry and also another constant need for the devices to improve visibility during the search. Therefore, we conducted an experiment with state-of-the-art commercially available radio communications equipment and conventional materials for obtaining safer exit access. Based on the experiment results, we summarized their functions and issues in achieving an escape and specified an outlook for the performance desired for securing retreat routes.