

高機能面体の実用化検証

本橋 輝行*, 山本 晋士**, 井出 弘之***

山室 直輝****, 舘岡 俊樹****, 宮尾 賢****

概要

消防活動時における消防隊員の受傷、事故等の防止へ向けて、暗所・濃煙環境下でも視覚情報や温度情報が視認できる安全性と活動性を向上させる装備品の導入が求められることから、令和5年度東京消防庁公募型研究（積極支援型）において、暗所・濃煙環境下の視覚が確保できるウェアブル装置に関する研究として高機能面体の実用化検証を行った。

本研究で使用する高機能面体は、空気呼吸器の面体にヘッドマウントディスプレイと赤外線カメラ・可視光カメラを搭載し、赤外線カメラ映像により暗闇や濃煙下の活動や要救助者の検索を支援するものであり、タブレットにより現場隊長や指揮本部との、リアルタイムな情報共有も可能となる。実運用を想定した訓練等により検証した結果、高機能面体の有効性が確認されたものの、実用化へ向けた課題があることが確認された。

1 はじめに

東京消防庁が取り組む課題である「消防活動時における消防隊員の受傷、事故等の防止」に向けて、令和5年度東京消防庁公募型研究（積極支援型）において、暗所・濃煙環境下の活動を支援する高機能面体の実用化検証を行った。検証は実運用を想定した訓練を中心に実施した。

写真4に示す。

なお、本高機能面体は総務省消防庁の消防防災科学技術研究推進制度の令和元年・2年度の委託研究として試作検証したもので、令和4年度にさいたま市消防局の訓練に投入し評価を行っている。今回の研究ではより実運用に近い形での検証を行った。

2 東京消防庁の募集研究テーマ

暗所・濃煙環境下で視界が確保できるウェアラブル装置等に関する研究

3 研究テーマ

高機能面体の実用化検証

4 高機能面体について

高機能面体は、空気呼吸器の面体にヘッドマウントディスプレイと赤外線カメラ・可視光カメラを搭載し、赤外線カメラ映像により暗闇や濃煙下の活動や要救助者の検索を支援する。また、現場隊長や指揮本部との無線技術によるネットワーク化により、リアルタイムな情報共有も可能となる。高機能面体の外観を写真1に、構成を写真2に、ヘッドマウントディスプレイの投影映像例を写真3に、タブレット画面の表示例を



写真1 高機能面体

*日本電気株式会社 **エア・ウォーター防災株式会社 ***株式会社重松製作所
****安全技術課



写真2 高機能面体構成

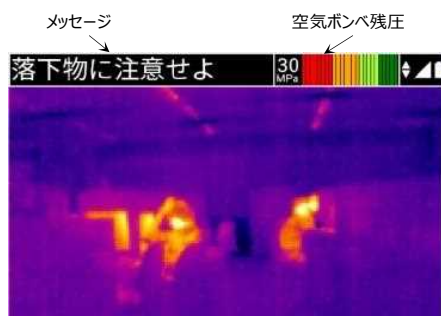


写真3 ヘッドマウントディスプレイ 投影映像例

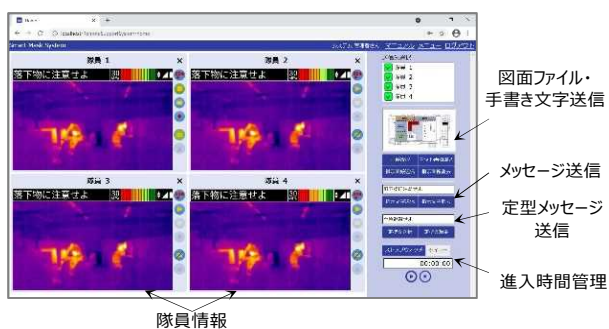


写真4 タブレット画面表示例

5 研究内容

高機能面体の実用化に必要な性能検証や改良内容の抽出のため、検証内容の検討、消防隊員による検証、検証結果の考察を行った。

検証は過去に発生した事故等の状況を踏まえ以下の検証1～4の4項目と面体の視界の1項目について検証し、検証結果から有効性の評価と実用化へ向けた課題を検討した。

検証1 暗闇・白煙下の検索救助活動の有効性検証

検証2 暗闇・白煙下の退避時の有効性検証

検証3 黒煙下における性能検証

検証4 床穴に対する有効性検証

検証5 面体の視野検証

6 検証計画

検証1～4の検証条件と検証ポイントの概要を表1、2に示す。詳細については、各項目ごとに示す。

表1 各検証の条件

検証番号	環境条件	活動条件	場所	高機能面体装着者			タブレット確認者
				筒先担当者	検索員1	検索員2	進入管理者
検証1	暗闇・白煙	検索・救助	街区棟1 (木造家屋)	—	○	○	○
検証2	暗闇・白煙	退避	主訓練塔 地下2階	○	○	—	—
検証3	黒煙	視認	燃焼実験棟	—	○	○	○
検証4	暗闇・白煙	視認	街区棟1 (木造家屋)	—	○	○	○

表2 各検証のポイント

検証番号	環境条件	活動条件	検証時に評価する項目			
			時間の短縮 従来装備との比較	高機能面体の有効性	ホースラインの見え方	床穴(立坑)の見え方
検証1	暗闇・白煙	検索・救助	○	○	○	—
検証2	暗闇・白煙	退避	○	○	○	—
検証3	黒煙	視認	—	—	○	—
検証4	暗闇・白煙	視認	—	—	○	○

また、主観的指標として、Visual Analogue Scale 法 (以下「VAS」という) を用いて、赤外線映像の見え方、情報表示の見え方について記録した。記録するタイミングは、各検証の終了後10分以内とした。VASは記録用に水平100mmの直線を予め記されており、この直線の左端を「全く見えない」、右端を「はっきり見える」とし、測定時に被験者が感じた視認性の程度を直線上に印を記入させた。記された位置を左端から距離(mm)で求め、この数値(0～100)をVAS値といい、主観的評価として用いた。

6-1 検証1 暗闇・白煙下の検索救助活動の有効性検証

(1) 検証項目

- ア 検索時間の短縮／救助活動における有効性
(要救助者の検索、屋内状況・経路等の確認、障害物の回避)
- イ ボンベの残圧表示の有効性
- ウ メッセージ（指示情報）の有効性
- エ 面体からの通知機能の有効性
- オ タブレットの有効性

(2) 検証環境・条件

ア 場所

東京消防庁幡ヶ谷庁舎・街区棟1（木造家屋）
(写真5、6)



写真5 街区棟1 外観



写真6 2階内部

イ 人員

1グループの構成：検索員2名（高機能面体着装）、進入管理者1名、筒先担当者1名、指揮隊・安全管理員1名（タブレット担当）、進行・安全管理2名、要救助者要員2名

ウ 機材

高機能面体2式、スモークマシン、投光器、ホース（水充填）、熱源（電気ストーブ）

エ 条件

検証環境や条件は過去の検証¹⁾を参考にした。

- (ア) 街区棟1（木造家屋）の2部屋を使用する。スモークマシンで濃煙環境を再現すると共に、窓を遮光し暗闇を再現する。
- (イ) 要救助者要員2名と障害物を設置する。障害物や要救助者の配置は全て同一として変更しない。図1に配置図を示す。

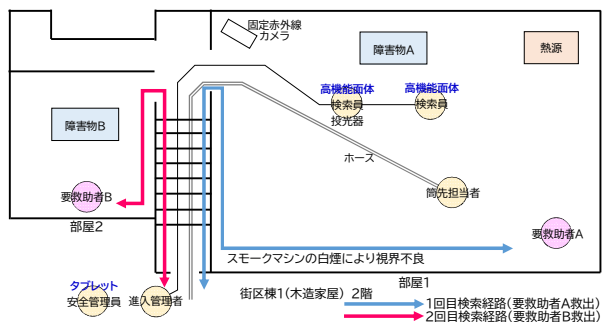


図1 配置図

- (ウ) 安全管理員がタブレットの確認操作をする。安全管理員は進入管理者の横につき、進入管理を補佐する想定とする。

(3) 検証方法

- ア 検証は2グループで行い、各グループで従来装備と高機能面体の各検証を実施する。
- イ 屋内進入から要救助者救出まで行う。通常の屋内進入訓練と同じ流れで行う。
- ウ 従来装備は、無線による圧力指示計によるボンベ残圧確認の指示と応答、要救助者発見通知を行う。
- エ 高機能面体は、指示メッセージによるボンベ残圧確認の指示と無線による応答、高機能面体のスイッチ長押しによる要救助者発見通知を行う。
- オ 検索時間
 - (ア) 進入開始～要救助者A発見
 - (イ) 要救助者A発見～要救助者A救助完了
 - (ウ) 要救助者A救助完了～再進入開始
 - (エ) 再進入開始～要救助者B発見
 - (オ) 要救助者B発見～要救助者B救助完了
 までの5つの時間を計測する。
- カ 赤外線映像の視認性等について VAS 評価とヒアリング、アンケートを実施する。

6-2 検証2 暗闇・白煙下の退避時の有効性検証

(1) 検証項目

- ア ホースラインによる退避／退避時間の短縮
- イ ボンベの残圧表示の有効性

(2) 検証条件

ア 場所

東京消防庁幡ヶ谷庁舎 主訓練塔地下2階
(写真7、8)



写真7 主訓練塔 地下2階(a)



写真8 主訓練塔 地下2階(b)

イ 人員

1グループの構成：筒先担当員1名（高機能面体着装）、検索員2名（1名のみ高機能面体着装）、

進入管理者 1 名、進行・安全管理 4 名
ウ 機材

高機能面体 2 式、スモークマシン、投光器、ホース（水充填）、熱源（電気ストーブ）

エ 条件

検証環境や条件は過去の検証²⁾を参考にした。

- (ア) スモークマシンで濃煙環境を再現すると共に、照明を消灯し暗闇を再現する。
- (イ) 通路（フェンスの設置位置）は全て同一として変更しない。図 2 に配置図を示す。

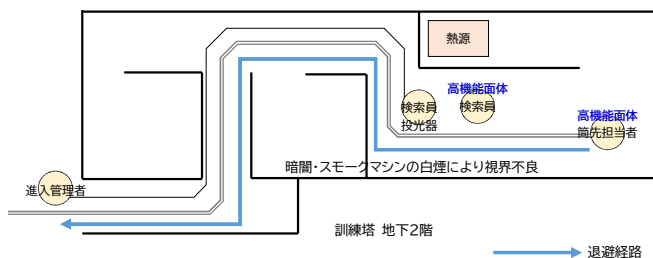


図 2 配置図

(3) 検証方法

ア 検証は 2 グループで行い、各グループで従来装備と高機能面体で各検証を実施する。

イ 地下 2 階は公衆 LTE 網が届かないため、タブレット無しで実施する。（タブレットを用いた検証は別検証で行うため本検証では行わない）

ウ 退路が推測できないよう、被験者（筒先担当者）を退却開始位置へ連れて行く。

エ 従来装備、高機能面体共に、筒先担当者の無線による退避開始報告を行う。

オ 検索員（高機能面体装着）は、赤外線映像によって筒先担当者の退避状況を確認する。

カ 筒先担当員の退避時間を測定する。（退避開始から退避完了までの時間）

キ 赤外線映像の視認性等について VAS 評価とヒアリング、アンケートを実施する。

6-3 検証 3 黒煙下における性能検証

(1) 検証項目

実際の煙における赤外線映像の性能評価

- ア 燃焼物（火炎実態）の見え方
- イ ホースラインの見え方

(2) 検証条件

ア 場所

東京消防庁幡ヶ谷庁舎燃焼実験棟
（写真 9、10）



写真 9 燃焼実験棟



写真 10 ユニット

イ 人員

被験者 2 名（高機能面体装着）、タブレット映像確認者 1 名、進行・安全管理 2 名

ウ 機材

ユニット、燃焼用部材（木材クリブ 0.5 単位）、高機能面体 2 式、ホース

エ 条件

煙を貯めるためユニットを設置する。（幅 3.3 m × 奥行 3.6 m × 高さ 2.15 m）図 3 に配置図を示す。

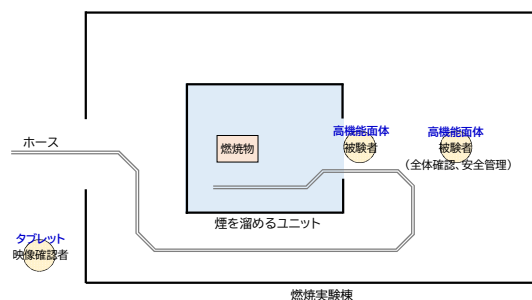


図 3 配置図

(3) 検証方法

ア 被験者 2 名が高機能面体を装着する。俯瞰的な赤外映像の確認と安全管理のため、後方の被験者は全体を確認する。

イ 実際の煙で赤外映像による燃焼物（火炎実態）とホースラインの見え方を検証する。

ウ 燃え始めから徐々に煙が濃くなった場合の燃焼物、ホースの赤外映像見え方を確認する。

エ 赤外線映像の視認性等について VAS 評価とヒアリング、アンケートを実施する。

6-4 検証 4 床穴に対する有効性検証

(1) 検証項目

- ア 床穴（立坑）の検出
- イ タブレットの有効性

(2) 検証条件

ア 場所

東京消防庁幡ヶ谷庁舎 街区棟 1（木造家屋）

イ 人員

1 グループの構成：検索員 2 名（高機能面体着装）、進入管理者 1 名、筒先担当者 1 名、指揮隊・安全管理員 1 名（タブレット担当）、進行・安全管理 2 名

ウ 機材

高機能面体 2 式、疑似床穴、投光器、熱源（電気ストーブ）

エ 条件

検証環境や条件は過去の検証³⁾を参考にした。

- (ア) 事前に赤外線映像で床穴を認識できるかを確認する。
- (イ) 街区棟 1（木造家屋）の 1 部屋を使用する。スモークマシンで濃煙環境を再現すると共に、窓を遮光し暗闇を再現する。
- (ウ) 疑似床穴と障害物を設置する。疑似床穴と障害物の配置は全て同一として変更しない。図 4 に配置図を示す。

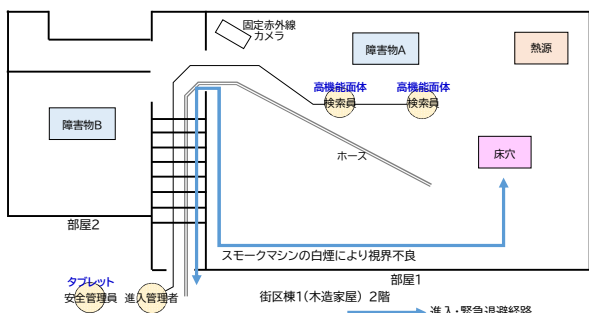


図 4 配置図

- (エ) 安全管理員がタブレットの確認操作をする。安全管理員は進入管理者の横につき、進入管理を補佐する想定とする。

(3) 検証方法

- ア 事前の赤外線映像による床穴の確認は、周囲（赤外線映像内）に熱源がある場合とない場合で行う。
- イ 検証は 2 グループで行い、高機能面体で検証する。
- ウ 屋内進入から床穴発見による緊急退避までを行う。通常の屋内進入訓練と同じ流れで行う。
- エ 床穴を発見し緊急退避する際に、高機能面体のスイッチ 長押しによる通知で退避報告を行う。
- オ 緊急退避時間を測定する。（進入開始～床穴発見（緊急退避開始）までの時間、穴発見（緊急退避開始）から退避完了までの時間）
- カ 赤外線映像の視認性等について VAS 評価と

ヒアリング、アンケートを実施する。

6-5 検証 5 面体の視野検証

(1) 検証項目

ア 高機能面体と X-1 用面体（エア・ウォーター 防災株式会社製空気呼吸器「X-1」用の面体）の比較

イ 視野が塞がれる箇所の明確化

(2) 検証条件

ア 場所

株式会社重松製作所 技術研究所

イ 人員

試験者 1 名

ウ 機材

視野測定装置、高機能面体 1 式（M サイズ、専用防火帽を含む）、X-1 用面体 1 式（M サイズ、専用防火帽を含む）

エ 条件

参照規格 EN136⁴⁾ 「Respiratory protective devices -Full face masks- Requirements, testing, marking」

(3) 検証方法

ア 高機能面体、X-1 用面体の二つを測定し、比較する。

イ 測定は EN136 の 8.17 Field of vision による。

ウ 写真の人頭に、漏れがないように且つ視野が最大になるように面体を装着する。

エ 人頭の両目に設けられた電球から面体のアイピースを透過し、写真 11、12 の半球面に投影された光の範囲を記録する。



写真 11 測定装置(a)



写真 12 測定装置(b)

7 結果

7-1 検証1 暗闇・白煙下の検索救助活動の有効性検証

(1) 検証環境

東京消防庁幡ヶ谷庁舎・街区棟1の2階部屋1及び2の配置位置について、写真13、14に示す。



写真13 2階部屋1 写真14 2階部屋2

(2) 検索救助時間

進入開始からの経過時間を表3に示す。従来装備と高機能面体で要救助者B退避完了までの時間を比較すると、第一グループは従来装備時間+2秒、第二グループは従来装備時間-38秒だった。

表3 進入開始からの経過時間

	従来装備		高機能面体	
	第一グループ	第二グループ	第一グループ	第二グループ
進入開始	—	—	—	—
要救助者A発見	0分50秒	0分50秒	0分59秒	0分50秒
要救助者A救助完了	2分30秒	1分43秒	1分59秒	1分50秒
再進入開始	3分35秒	2分30秒	3分24秒	2分25秒
要救助者B発見	3分45秒	3分45秒	3分51秒	2分55秒
要救助者B救助完了	4分37秒	4分38秒	4分39秒	4分00秒
平均	4分38秒		4分20秒	

(3) 検証項目確認

各検証項目の対応を確認した。各検証項目確認結果を表4に示す。

表4 検証項目確認結果

検証項目	内容	結果
残圧確認	従来装備 無線で確認指示「圧力指示計で残圧確認せよ」 →無線による応答	OK
	高機能面体 指示メッセージ送信「高機能面体で残圧確認せよ」 →無線による応答	OK
要救助者発見報告	従来装備 無線による報告	OK
	高機能面体 面体のスイッチ長押しにより通知 (タブレットは「緊急」表示点灯)	OK

(4) 赤外線映像の見え方

高機能面体の赤外線映像の録画面像と VAS 評価結果を写真15~20、図5、6に示す。

ア 赤外線映像

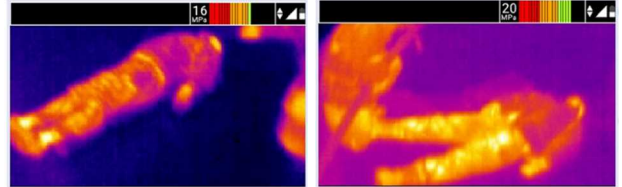


写真15 要救助者A 写真16 要救助者B

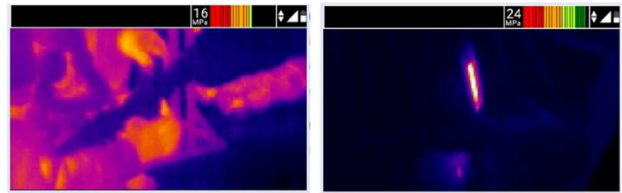


写真17 障害物A(架台) 写真18 高温熱源

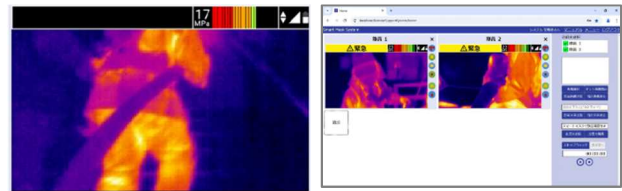


写真19 ホースライン 写真20 タブレット画面表示例

イ VAS 評価結果

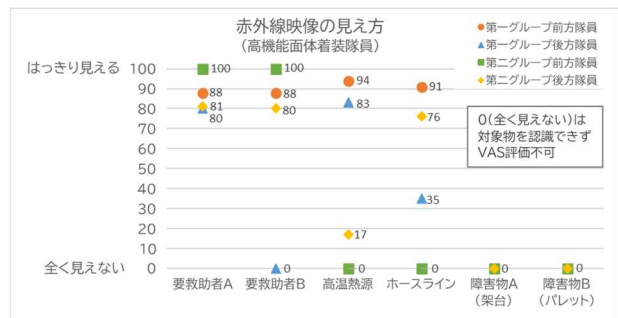


図5 VAS 評価結果 赤外線映像 (高機能面体)

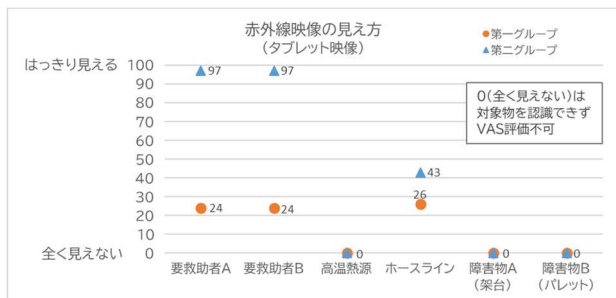


図6 VAS 評価結果 赤外線映像 (タブレット)

(5) 検索行動の比較 (部屋1に設置した固定赤外線カメラで撮影)

従来装備と高機能面体の検索行動の比較を写真21、22に示す。

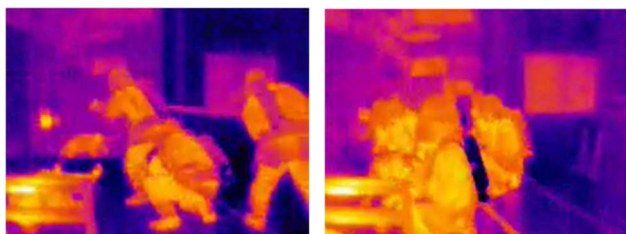


写真21 従来装備 写真22 高機能面体

(6) 情報表示の見え方

高機能面体の情報表示映像の録画画像とVAS評価結果を写真23、図7に示す。

ア 情報表示例

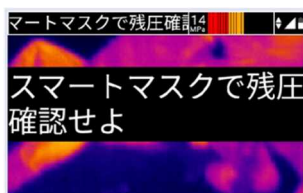


写真23 指示メッセージ例

イ VAS 評価結果

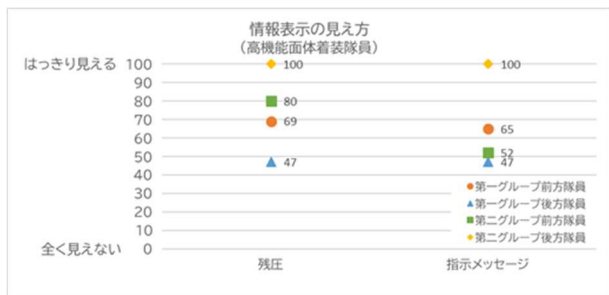


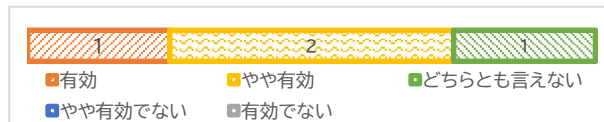
図7 VAS 評価結果 情報表示

(7) ヒアリング・アンケート結果

ア 高機能面体装着隊員

(7) 両手が空いた状態で赤外線映像を確認しながらの活動

質問内容：熱画像直視装置と比較して



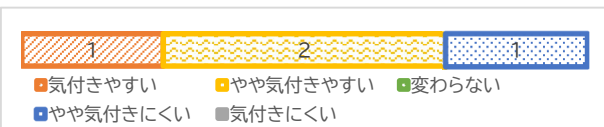
(イ) 残圧表示の視認性 (圧力指示計との比較)

質問内容：圧力指示計と比較して



(ウ) 指示メッセージの気付き (無線との比較)

質問内容：無線による指示と比較して



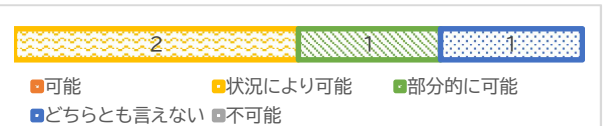
(エ) 指示メッセージの活動への有効性

質問内容：指示メッセージは有効か



(オ) スイッチの長押しによる通知機能の有効性

質問内容：信号付き投光器や検索ロープによる合図の代わりとして活用できるか



イ タブレット (指揮隊・安全管理中隊)

(7) 指示メッセージの活動への有効性

質問内容：指示メッセージは有効か



(イ) 通知機能の有効性

質問内容:信号付き投光器や検索ロープによる合図の代わりとして活用できるか



ウ 全般

- (ア) タブレットは、今想定した指揮隊での運用は難しく、最適な部隊の検討が必要との意見があった。
- (イ) 要救助者や火源は見つけやすいとの意見があった。
- (ウ) 高機能面体からの情報は、無線のように同報が出来ないとの意見があった。

7-2 検証2 暗闇・白煙下の退避時の有効性検証

(1) 検証環境

主訓練棟地下2階の配置状況を写真24、25に、地下2階ホースの配置を図8に示す。

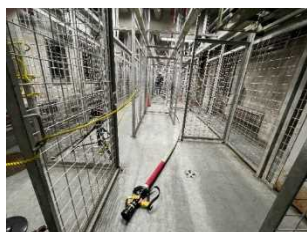


写真24 主訓練棟地下2階

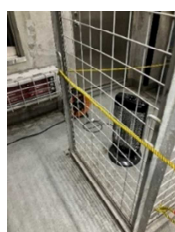


写真25 火源想定(電気ストーブ)

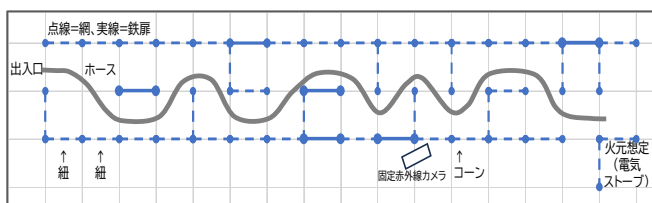


図8 地下2階ホース配置

(2) 退避時間

従来装備と高機能面体で退避完了までの時間を表5に示す。従来装備の平均2分11秒に対して高機能面体は平均1分30秒だった。

表5 退避開始からの経過時間

	従来装備				高機能面体			
	第一グループ		第二グループ		第一グループ		第二グループ	
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
退避開始	—	—	—	—	—	—	—	—
退避完了	2分03秒	2分17秒	2分24秒	1分59秒	1分28秒	1分28秒	1分37秒	1分27秒
平均	2分11秒				1分30秒			

(3) 検証項目確認

各検証項目の対応を確認した。検証項目確認結果を表6に示す。

表6 検証項目確認結果

検証項目	内容	結果
筒先担当者 退避開始報告	無線による報告	OK
筒先担当者の退避状況確認	検索員(高機能面体着装)による赤外線映像による確認	OK

(4) 赤外線映像の見え方

高機能面体の赤外線映像の録画画像とVAS評価結果を写真26、27、図9に示す。各グループ1回目と2回目で筒先担当者を変更している。ア 赤外線映像(高機能面体と同等の赤外線カメラで撮影)



写真26 ホースライン(a)



写真27 ホースライン(b)

イ VAS 評価結果

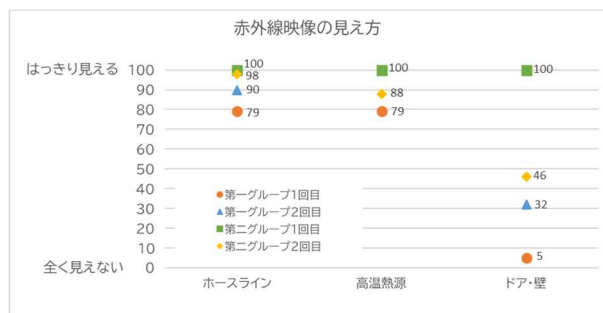


図9 VAS 評価結果 赤外線映像

(5) 情報表示の見え方

高機能面体の情報表示のVAS評価結果を図10に示す。各グループ1回目と2回目で筒先担当者を変更している。



図10 VAS評価結果 情報表示

(6) 退避行動の比較 (固定赤外線カメラで撮影)

従来装備と高機能面体退避行動状況を写真28、29に示す。

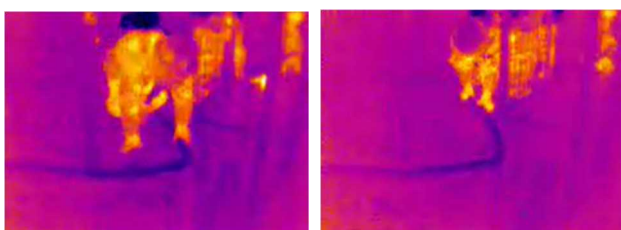


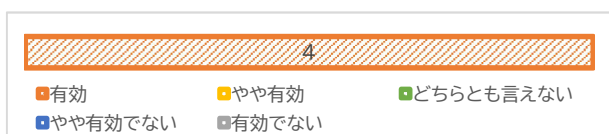
写真28 従来装備

写真29 高機能面体

(7) ヒアリング・アンケート結果

ア 赤外線映像 (ホースライン等) を確認しながらの退避

質問内容：赤外線映像は有効か



イ 全般

(ア) 緊急退避がしやすく活動の安全性が向上する、映像が見えることで不安感が減ったとの意見があった。

(イ) 呼吸器の残圧をより意識しながら活動しやすいとの意見があった。

(ウ) 面体装着後でもヘッドマウントディスプレイの位置を調整できると良いとの意見があった。

7-3 検証3 黒煙下における性能検証

(1) 検証環境

ユニット外観と内部状況を写真30、31に示す。



写真30 ユニット外観

写真31 ユニット内部

(ア) ユニットサイズ

幅 3.3m × 奥行 3.6m × 高さ 2.15m

(イ) ユニット内部の配置

木材クリブ 0.5 単位、ホース (水充填)

(2) 黒煙における赤外線映像による燃焼物 (火炎実態) ・ホースラインの見え方

ア 検証前

検証前のユニット内部の資器材等の配置状況を写真32、33に示す。ホースラインは確認可能だった。床面よりもホースの方の温度が高いことが分かる。(高機能面体と同等の赤外線カメラで撮影)

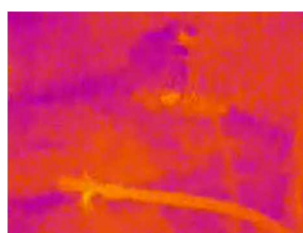


写真32 検証前(a)



写真33 検証前(b)

イ 燃焼中・黒煙少

木材クリブを燃焼させた時の、燃焼初期の黒煙が少ない状況を写真34、35に示す。ホースラインは確認可能だった。燃焼物の形状は、壁面温度も高くなっているため判別は困難だった。

ホースラインは周囲温度よりも低く識別できた。

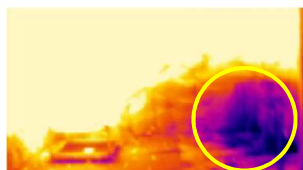


写真34 燃焼中・黒煙少(a)



写真35 燃焼中・黒煙少(b)

ウ 燃焼中・黒煙多 (ユニット内充満)

木材クリブを燃焼させた時の、燃焼中・後期の黒煙が多い状況を写真 36、37 に示す。ホースラインは確認可能だった。燃焼物の形状は、壁面温度も高くなっているため判別は困難だった。

ホースラインは周囲温度よりも低く識別できた。

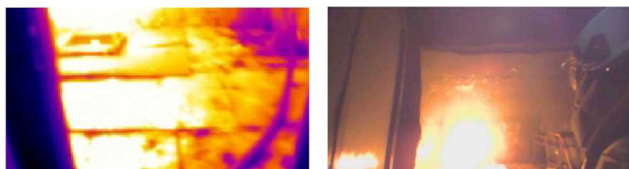


写真 36 燃焼中・黒煙多(a)

写真 37 燃焼中・黒煙多(b)

エ 消火時・水蒸気あり

木材クリブに放水した状況を写真 38、39 に示す。放水した水を確認でき、放水により床面の急激な温度低下を確認した。水蒸気は火炎に放水した際に、赤外映像で霧が確認できた。その後水蒸気が充満したが、水蒸気を透過して燃焼物は確認可能だった。

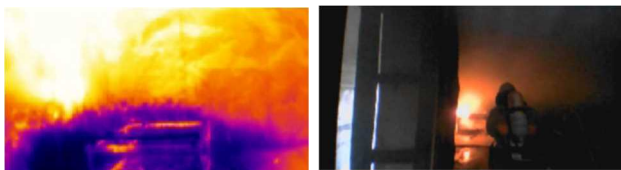


写真 38 消火時(a)

写真 39 消火時(b)

オ 消火後

木材クリブを消火した状況を写真 40、41 に示す。炎はないが木材クリブがまだ高温であることが確認できた。

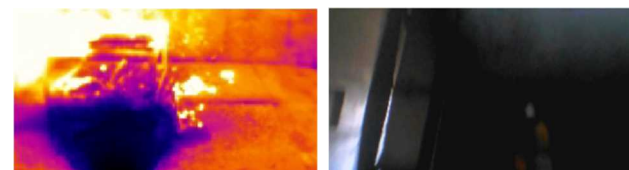


写真 40 消火後(a)

写真 41 消火後(b)

(3) 赤外線映像による見え方の VAS 評価結果

高機能面体の赤外線映像の VAS 評価結果を図 11 に示す。

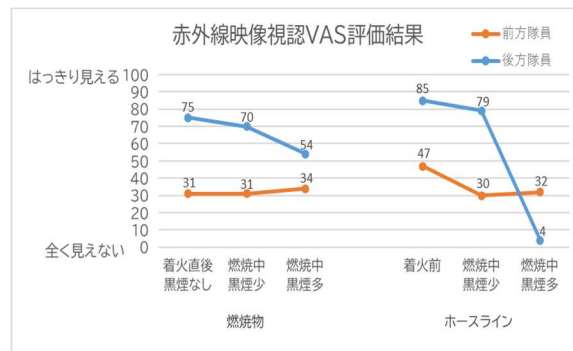


図 11 VAS 評価結果 赤外線映像

7-4 検証4 床穴に対する有効性検証

(1) 検証環境

東京消防庁幡ヶ谷庁舎・街区棟 1 の 2 階における床穴の設置状況を写真 42、43 に示す。



疑似床穴設置位置

写真 42 2階位置

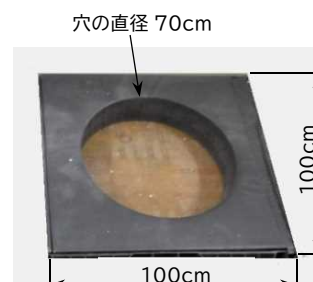


写真 43 疑似床穴

(2) 事前確認

赤外線映像により疑似床穴が検出可能であることを確認した。ただし、周囲(赤外線映像内)に高温熱源がある場合は熱源の状況により疑似床穴が検出できる場合とできない場合がある。

ア 確認結果

赤外線映像による疑似床穴の確認結果を表 7 に示す。

表 7 赤外線映像による疑似床穴の確認結果

条件	結果
周囲(赤外線映像内)に熱源が無い場合	検出可能
周囲(赤外線映像内)に熱源が有る場合	検出可能(状況による)

イ 赤外線映像

周囲に高温熱源があるかないかによる赤外線の見え方を写真 44、45 に示す。

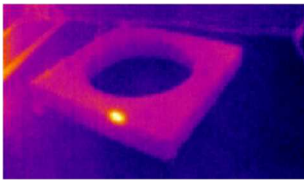


写真 44 周囲に高温熱源がない場合

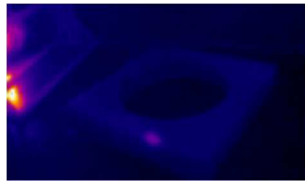


写真 45 周囲に高温熱源がある場合

(3) 緊急退避時間

高機能面体装着時の進入開始からの経過時間を表 8 に示す。進入開始から退避完了までの時間はグループによって差が発生した。

表 8 進入開始からの経過時間

	第一グループ	第二グループ
進入開始	—	—
床穴発見(緊急退避開始)	0分45秒	1分23秒
退避完了	1分45秒	2分23秒

(4) 検証項目確認

検証項目確認結果を表 9 に示す。

表 9 検証項目確認結果

検証項目	内容	結果
退避(床穴発見)報告	面体のスイッチ長押しにより通知(タブレットは「緊急」表示点灯)	OK

(5) 赤外線映像の見え方

高機能面体の赤外線映像の録画面像と VAS 評価結果を写真 46、47、図 12、13 に示す。

ア 赤外線映像

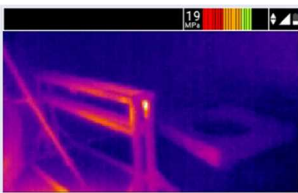


写真 46 疑似床穴の赤外線映像(a)

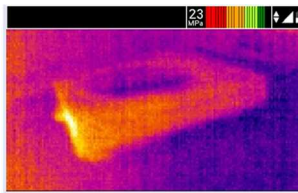


写真 47 疑似床穴の赤外線映像(b)

イ VAS 評価結果

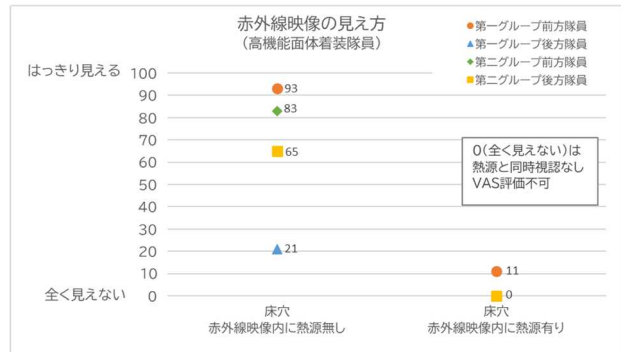


図 12 VAS 評価結果 赤外線映像 (高機能面体)

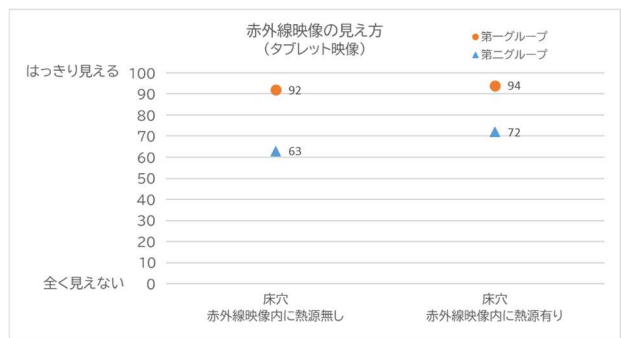


図 13 VAS 評価結果 赤外線映像 (タブレット)

(6) 活動の様子 (固定赤外線カメラで撮影)

グループ別の活動状況を写真 48、49 に示す。

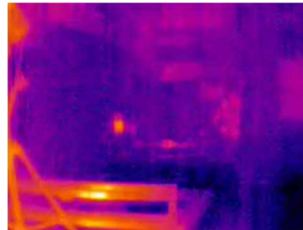
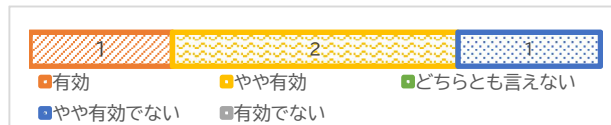


写真 48 第一グループ 写真 49 第二グループ (部屋への進入なし)

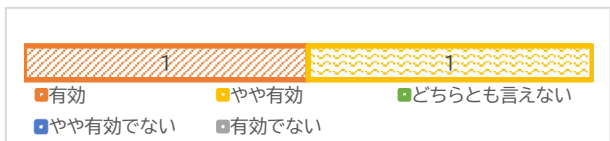
(7) ヒアリング・アンケート結果

ア 高機能面体装着隊員

質問内容: 赤外線映像による床穴検出の有効性



イ タブレット（指揮隊・安全管理員）
質問内容:赤外線映像による床穴検出の有効性



ウ 全般

- (ア) 周りの床と違う見え方で異常がすぐにわかった、前方にいる小隊長や1番員の着装が有効との意見があった。
- (イ) 現場の状況(火点位置や穴が床にあるか天井にあるか)で視認性に影響する可能性があるとの意見があった。
- (ウ) 画面のON、OFFが意図せず起きたとの意見があった。
- (エ) 面体装着後のヘッドマウントディスプレイの位置調整ができないとの意見があった。

7-5 検証5 面体の視野検証

高機能面体とX-1用面体の視野の測定結果
図14、15、16に映像投影機部を写真50に示す。

なお、しころは閉じた状態で測定した。

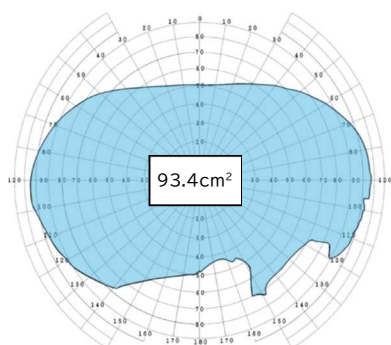


図14 視野測定結果 高機能面体

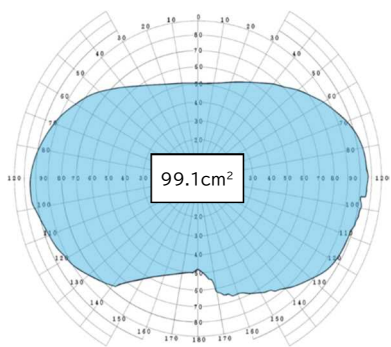


図15 視野測定結果 X-1用面体

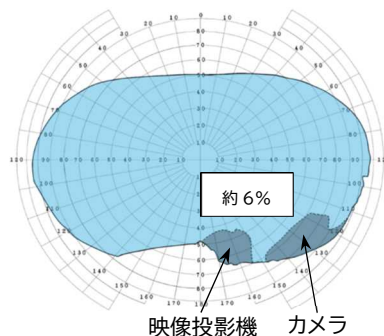


図16 赤外線映像機器によって阻害された視野



写真50 赤外線映像機器

8 考察

8-1 検証1 暗間・白煙下の検索救助活動の有効性検証

(1) 検索時間の短縮・救助活動における有効性
ア 高機能面体有無による検索時間

従来装備と比較すると、時間が短縮できた部分もあったが、逆に増加してしまった部分もあった。また、第一グループ、第二グループともに発見時間及び救助時間はバラつきが生じ、検索時間については大きな差は見られなかった。

イ 赤外線映像による要救助者検索

要救助者を赤外線映像に鮮明に映されていることが確認出来た。VAS評価においても良好な結果を得ており、要救助者検索に有効であると考ええる。

ウ 赤外線映像による障害物の判別

障害物A(架台)、障害物B(パレット+ブルーシート)共に障害物と認識されない結果となった。障害物Aは赤外線映像にはっきりと映し出されており視認可能だったが、障害物Bは周囲と同化して赤外線映像での判別は困難だったと推測される。障害物の形状や材質、周囲との関係で認識に違いが出ると考える。

エ 赤外線映像によるホースラインの視認性

VAS評価では結果に大きなばらつきが見られた。今回、高機能面体装着者は検索員であり、要救助者の救出を最優先とするため、要救助者に

意識を向けてしまったためであると考え。また、要救助者発見後、抱えて救助する際も、足元に気を付けてはいるものの、検索員は出口に戻る際に壁面やロープ及び投光器のコードを優先的にたどっていくため、あまりホースラインを意識していなかったためであると推測される。

オ 両手が空いた状態で赤外線映像の確認

高機能面体装着時も従来装備と同様の体勢となっており、熱画像直視装置を手に持つ場合と比較して制約になることがないことが確認できた。

(2) ボンベの残圧表示の有効性

従来の圧力指示計との視認性の比較では、VAS 評価は概ね良好な結果となり、有効であると考え。しかし、表示文字が小さく、ぶれて見難いとの意見もあり、残圧数値のサイズ等に改善の余地があることを確認した。

(3) 指示メッセージ（指示情報）の有効性

概ね有効との意見が多く、無線が聞き取り難い場合でも有効との結果も得た。視認性の VAS 評価も概ね良好な結果で、検索救助活動に有効であると考え。ただし、文字情報のため、認識性を高めるべく簡潔な文にする等の配慮も必要になると考える。

(4) 面体からの通知機能の有効性

信号器付き投光器や検索ロープによる合図の代わりになるかについては、状況によるや部分的にとの意見が多い結果となった。従来機材の置き換えではなく、補完的に使用することで有効性を発揮できると考える。

(5) タブレットの有効性

ア 指示メッセージ

アンケート結果から概ね有効と考える。しかし、検証時の指示メッセージの運用が限定的だったこともあり、実際の活動に即した活用方法の検討が必要と考える。

イ 隊員からの通知機能

信号器付き投光器や検索ロープによる合図の代わりになるかについては、用途や状況によっては有効と考える。

ウ タブレットの運用部隊

今回は指揮隊か安全管理隊を想定したが、有効な活用に向けて最適な運用部隊や方法の検討が必要と考える。

(6) その他

ア 赤外線映像の温度範囲

赤外線映像の温度範囲（測定レンジ）は自動調整であり、画面内に高温物が入ると低温の物が見え難くなる。このため今回の検証でも高温熱源（電気ストーブ）と要救助者を同時に見ると、

要救助者が識別し難い映像を確認した。要救助者を検索する場合は、それに合った温度範囲に設定することが出来れば改善の余地がある。

イ 面体のスイッチ

面体のスイッチ（長押しでタブレットへの通知、単押しで赤外線映像表示 ON/OFF）の誤押下が発生した。意図せず押下しないような形状の改善が必要と考える。

ウ 表示部の位置合わせ

面体装着時に面体内の表示部の位置合わせに時間を要した。位置調整機構はあるが面体内のため装着後は調整できないこと、映像が見える範囲が限定されていることが要因と考える。構造や光学系の制約から大幅な改善は困難だが、運用を含めて位置合わせしやすい方策の検討が必要と考える。

8-2 検証2 暗闇・白煙下の退避時の有効性検証

(1) ホースラインによる退避／退避時間の短縮

ア 退避時間

従来装備の平均が2分11秒に対して、高機能面体の平均は1分30秒となり、従来装備と比較すると約3/4に短縮し大きな効果を得た。第一グループが42秒の短縮（2回の平均）、第二グループが40秒の短縮（2回の平均）となった。視界不良の暗闇白煙下において、赤外線映像でホースラインを視認しながらの退避は非常に有効であると考え。

イ 赤外線映像によるホースラインの視認性

ホースを明確に識別可能であり VAS 評価も良好な結果を得た。ホースと床との温度差があればホースを識別可能であると考え。

ウ 退避行動

高機能面体装着時はホースラインを視認できていることで移動速度が向上しており、退避時間の短縮につながっていると考える。

(2) ボンベの残圧表示の有効性

VAS 評価は概ね良好な結果となり、有効であると考え。

(3) その他

表示部の位置合わせと面体スイッチについて検証1と同様の指摘があり、改善が必要と考える。

8-3 検証3 黒煙下における性能検証

(1) 赤外線映像による燃焼物の視認性

燃焼が初期の段階では、赤外線映像により実際の煙（黒煙）の中で、燃焼物を視認可能なことが確認できた。そのため、視界がない黒煙下でも火

点や燃焼状態の確認に有効と考える。しかしながら、赤外線映像は温度を見ているため、燃焼物から発生した黒煙が温度上昇してしまうと判別は困難となる。今回の映像にもあるように、燃焼が中・後期では、広範囲な高温領域を確認したものの、黒煙と燃焼物が赤外線映像で一体化してしまうことが分かった。

(2) 赤外線映像によるホースラインの視認性

ホースラインについても赤外線映像により実際の煙（黒煙）の中で、視認可能なことが確認できた。ホースと周囲、主に床との温度差があれば識別することができ、退避時にホースラインをたどる場合に赤外線映像は有効と考える。

(3) VAS 評価結果

前方隊員と後方隊員とで差が大きい結果となった。前方隊員の方が後方隊員よりも評価数値が低い原因の一つは、ヒアリング・アンケート結果にもあるヘッドマウントディスプレイの映像が火炎の明るさにより見え難いことが原因と考えられる。後方隊員は火炎から離れていることと、前方隊員が壁となり前方隊員よりも見やすくなっている。

(4) タブレットの有効性

赤外線映像に加えて可視映像による状況確認も行った。完全な暗闇や濃煙下ではなく可視映像が確認できる場合は、火災状況や隊員の状況がリアルタイムに把握でき、消火救助活動に有効であると考ええる。

(5) その他

燃焼物により周囲が明るい場合にヘッドマウントディスプレイの映像が見え難い場合があった。ヘッドマウントディスプレイの輝度は、周囲の明るさに応じて自動調整する等の対応が必要と考える。

赤外線映像の温度範囲について検証1と同様の指摘があり、改善が必要と考えられる。

8-4 検証4 床穴に対する有効性検証

(1) 床穴(立坑)の検出

ア 赤外線映像による疑似床穴の検出

事前確認、および検索の何れでも赤外線映像で疑似床穴を検出でき、VAS 評価も良好な結果となった。赤外線映像は床穴の検出に有効であると考ええる。今回の検証は疑似床穴として床抜け用装置を用いており、基本的には床と穴部で温度差があれば検出可能と想定されるが、様々なケースでの検証が必要と考える。

イ 高温熱源の影響

周囲に高温の熱源があり、画面内にその高温物が入ると疑似床穴が見え難くなることが確認さ

れた。高機能面体の赤外線映像の温度範囲（測定レンジ）は自動調整のため、画面内に高温熱源（電気ストーブ）が入ると低温の物が見え難くなる。床の状況や要救助者を検索する場合は、それに合った温度範囲に設定することが出来れば改善の余地がある。

ウ 緊急退避時間

緊急退避時間はグループによる差が認められた。第一グループは階段踊り場で赤外線映像により床穴と認識してすぐに緊急退避している。一方、第二グループはアンケート結果から赤外線映像により床の異常を認識したものの穴とは判断できず、疑似床穴まで近づき確認後に緊急退避している。この差が緊急退避時間に表れたと考える。

(2) タブレットの有効性

タブレットの赤外線映像により、疑似床穴を確認することができた。タブレットの利用想定 of 安全管理員や指揮隊も床の状況を確認し、検索員へ注意喚起する等の活用の可能性が考える。

(3) その他

面体スイッチについて検証1と同様の指摘があり、改善が必要と考える。

8-5 検証5 面体の視野検証

高機能面体の視野は、X-1用面体比で、約94%となった。赤外線映像機器によって阻害された視野(6%)は下端付近であることから、活動への影響は小さいものと考ええる。

9 まとめ

検証結果のまとめを表 10 に示す。

(1) 高機能面体の有効性

今回の研究で想定した次の各状況において、高機能面体の有効性が確認された。

ア 暗闇や白煙下の検索救助活動時の有効性

要救助者を赤外線映像で視認でき、暗闇や白煙下の検索救助活動に有効であると考え。両手を空けた状態で赤外線映像を見ながら検索できることも、検索活動において有効であると考え。

イ 暗闇や白煙下の退避時の有効性

ホースラインを赤外線映像で視認でき、暗闇や白煙下の退避時に有効であると考え。

ウ 黒煙下における有効性

黒煙下で燃焼物を視認でき、視界がない黒煙下でも火点や燃焼状態の確認に有効と考える。

エ 床穴に対する有効性

疑似床穴を赤外線映像で視認でき、暗闇や白煙下で床穴の検出に有効であると考え。

オ その他搭載機能の有効性

ポンベの残圧表示や指示メッセージ(指示情報)は概ね良好な検証結果から有効であると考え。また面体からの通知機能は、従来機材の置き換えではなく補完的に使用することで有効性を発揮できると考える。

タブレットはリアルタイムに情報の共有ができ有効性が確認されたが、効果的な活用に向けて最適な運用部隊等の検討が必要と考える。

(2) 実用化へ向けた課題

今回の研究により以下の課題が明らかになった。これらの課題の対策検討を進め、実用化へ向けてより完成度を高めていく必要があることが確認された。

ア 赤外線映像の画面内に高温物が入った場合に低温物が見え難くなる。

イ 面体の操作スイッチを意図せず押ししてしまう。





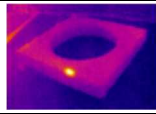
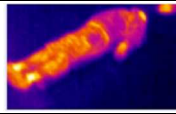

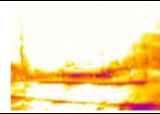
ウ ヘッドマウントディスプレイの位置合わせが難しく、また面体装着後の位置調整が出来ない。

エ ヘッドマウントディスプレイの輝度の自動調整が必要である。

10 東京消防庁の課題解決に資する今後の展望及び方向性

消防活動時における消防隊員の受傷、事故等を防止すべく、暗所・濃煙環境下で視界が確保できるウェアラブル装置として高機能面体の有効性が確認されたと考える。実用化へ向けて今回の研究により明らかになった課題の対策検討を進めていく必要がある。

表 10 検証結果のまとめ

	床穴		要救助者		ホースライン		燃焼物	
通常時の視認状況								
高機能面体の視認状況								
環境	暗所		地上 (暗所+白煙)		地下 (暗所+白煙)		暗所+火炎	
現行の面体 (視認性)	×		×		×		△ (光のみ視認可能)	
高機能面体 (視認性)	○		○		○		△ (燃焼物は視認可能。 煙熱気と同一化する。)	
タブレット (通信性)	○		○		× (地下は不通)		○	
質問事項 (どの程度見えたか) VAS 値	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
	65.5	27.6	77.1	30.1	91.8	8.3	49.2	18.3

1.1 その他東京消防庁の課題解決に寄与すると思われる事項

今回の研究により、ボンベの残圧表示や指示メッセージ（指示情報）、面体からの通知機能、タブレットによるリアルタイムの情報共有、赤外線映像に加えて可視映像による状況確認についても有効性が確認されたと考える。これらを活用することで、消防活動の安全性の向上や効率化に寄与すると考える。

1.2 おわりに

高機能面体の実用化に必要な性能検証や改良内容の抽出のため、検証内容の検討、消防隊員による検証、検証結果の考察を行い、有効性の評価と実用化へ向けた課題を検討した。高機能面体の実用化へ向けてより完成度を高めるべく、課題の対策検討を進めていく。

[参考文献]

- 1) 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、pp44-46、2021
- 2) 枝元孝史ほか5名、消防活動時の退路確保資器材に関する検証、消防科学セーフティレポート第 59 号、pp10-13、2022
- 3) 眞田良仁ほか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、pp34-35、2020
- 4) CEN、Respiratory protective devices -Full face masks- Requirements, testing, marking、EN136、1998