

航空救助員用発光ベストに関する検証

加藤 久弥*, 遠藤 隆位**, 渡邊 茂男*

概 要

夜間の航空救助活動における航空救助員の安全性及び作業性の向上を目的として、平成19年度に航空救助員用発光ベストを試作し検証を行った。この課題として、ベストの装着性の向上が活動上必須であることが明確になった。そこで、抽出された改善点を踏まえたより機能的な夜間活動用の発光ベストについて改良検証した。この結果、発光機能の効果とベストの装着性改善が確認され、高い有効性が確認された。

1 はじめに

当庁で現在使用している安全用ベストは、反射材を活用することで夜間における活動の安全性を確保しているが、街灯等の光源が得難い航空救助活動等では反射効果が期待できない。このことから、平成19年度、夜間の航空救助活動における航空救助員（以下「救助員」という）の安全性及び作業性の向上を目的として、エレクトロ・ルミネッセンス（以下「EL」という）及び発光ダイオード（以下「LED」という）を装備した航空救助員用発光ベスト（以下「発光ベスト」という）を試作し検証を行った。この結果、発光ベストを着装しての活動は、操縦士やホイスト操作者にとって夜間の活動における救助員の位置の把握に有効であり、救助員自身にとっても足元を中心とする周囲への照明効果が大きく、安全性や作業性の向上に大きく寄与していることが判明した。しかし、課題として発光ベストの「フィット感」や「着丈」、「胸部・腹部のD環等のフルボディハーネスの操作性」及び「点灯スイッチの操作性」といった部分での改善点が明確になった。

そこで今年度、抽出された改善点を踏まえたより機能的な夜間活動用の発光機能を有するベストについて検証した。

2 発光ベストの概要

(1) ベストの主な仕様

今回検証したベストの主要部の仕様及び概要図を表1及び図1、図2に示す。また、ベストの外観を写真1及び写真2に示す。ベストの形状は写真2のように前胸部が大きく開き、フルボディハーネスの装着に対応したものとなっている。また、着丈は短くし、腰部におけるカラビナ等の取扱いに配慮したものとなっている。サイズはフリーサイズで写真3に示す肩部及び写真4に示す腰部の内側に設けられた二重面ファスナーで体型に合わせた調節ができる機構になっておりフィット感を向上させた。収納は前胸部と腹部の両側にポケットが配置されており、無線機等の収納が可能な構造とし、収納性を向上させた。

表1 ベストの主な仕様

区分	仕様
前後身頃	3629-B ハードメッシュ 黒色
前身頃ポケット	A4400 ナイロンオックスハードタイプ 黒色
前後身頃周囲	A4336 ナイロンオックスソフトタイプ 黒色
両胸ポケット	#5VSC (5号ビスロン止めファスナーダブルスライダー 黒色 Mサイズ×2本) #5VSC (5号ビスロン止めファスナー 黒色 Mサイズ×2本)
反射板	蓄光反射板 グリーンホワイト 30cm幅
縫 糸	ポリエステルフィラメント#50
製品重量	622g(電池含む)

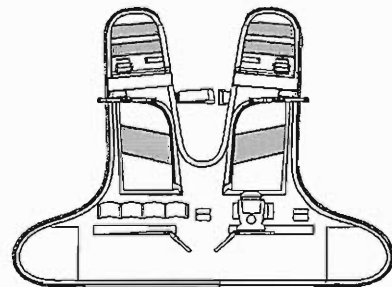


図1 発光ベスト概要図（表面）

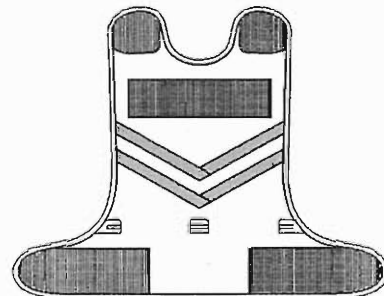


図2 発光ベスト概要図（裏面）

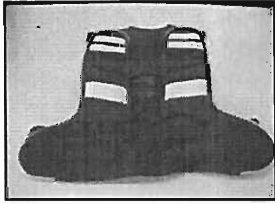


写真1 発光ベスト外観

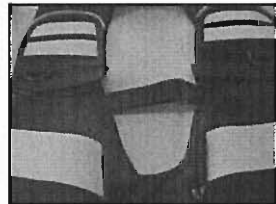


写真2 前胸部

また、ポケットの収容物の落下防止として写真5のようにポケット内に平ゴムが配置され、ファスナーも二個のファスナーが写真6に示すプラスチック製のバックルでつながっており、自然には開閉しない。更に、写真7と写真8に示すように蓄光式の反射板が肩部と前胸部のポケットに縫付けられ安全面に配慮している。

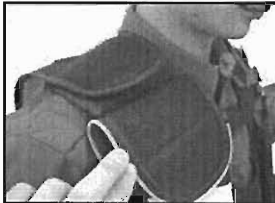


写真3 肩部面ファスナー

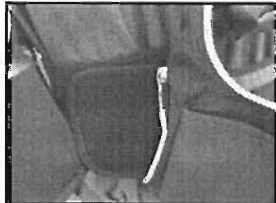


写真4 腰部面ファスナー



写真5 ポケット内平ゴム

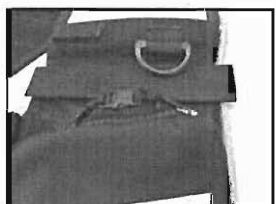


写真6 ポケットファスナー



写真7 胸部蓄光反射板

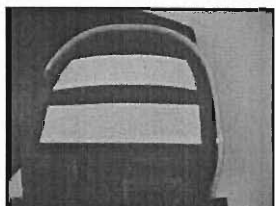


写真8 肩部蓄光反射板

(2) 発光体の主な仕様等

ア EL

ELの取付状況を写真9から写真11に示す。外部から救助員を視認しやすくするため、ファイバー状に加工されたELをベストの縁に沿って取付けた。また、スイッチ操作は、写真12に示すように、左前ポケットに収納された単三電池二個で動作する電源ユニット（以下「電池ボックス」という）で行う。電池ボックスは入力電圧と周波数を変換するインバーターを内蔵しており、切替スイッチで発光パターンを点灯、点滅に選択

できるものとなっている。この検証で使用した発光色は赤色、黄色、緑色及び青色の計四色である。

ELファイバーは、図3に示すとおり金属芯線に多層の特殊素材がコーティングされ、二本の導線を巻き付けた構造で、これに交流電圧で蛍光体層を励起することで発光する仕組みになっている。特徴として防水性、透明性に優れており、均一に発光する。表2にELの主な仕様を示す。

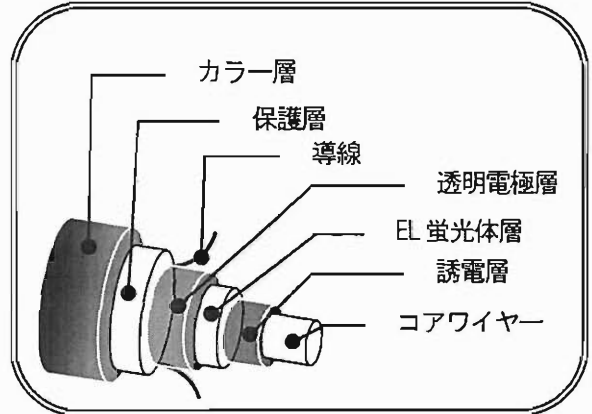


図3 ELファイバーの構造

表2 ELの主な仕様

区分	仕様
耐引張り強度	1.5kgf
耐曲げ強度	12mm以上
耐ねじり強度	30度/m
入力電圧	90V
電流値	100mA
破壊電圧	4,000V
保存湿度	65%以下
保存温度	-20°C~50°C

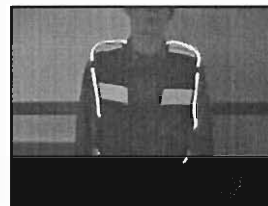


写真9 EL発光状況1



写真10 EL発光状況2



写真11 EL発光状況3

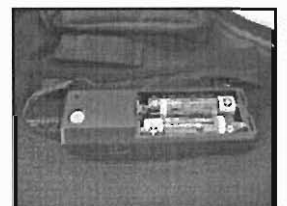


写真12 電池ボックス

イ LED

救助員自身の足元の照明用として、腹部に写真13に示す着脱可能なLED（発光ダイオード）ライトを取付けた。写真14は白色LEDの発光状況を示したものである。LEDライトは白色の他、赤色をボタン操作で切替えることができる。表3にLEDの主な仕様を示す。

表3 LEDの主な仕様

区分	仕様
光源	φ5mmLED(白色)×2灯 φ5mmLED(赤色)×1灯
電池	リチウムボタン電池CR2032×2個
電池寿命 (カタログ値)	白色LED:連続点灯で約25時間 赤色LED:連続点灯で約33時間
サイズ	約幅64×高さ44×奥行12.5mm
重量	約26.5g(電池含む)

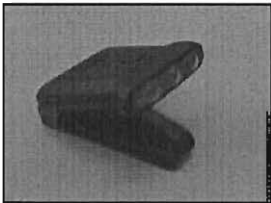


写真13 LEDライト



写真14 LED発光状況

3 検証内容

(1) 輝度試験

写真15に示す輝度計を室温16°Cの暗室内に設定し、写真16のように架台に固定した発光ベストの発光体（EL及びLED）の点灯時、5分後、30分後、1時間後、2時間後の輝度を測定した。発光色は赤色、黄色、緑色及び青色とし、それぞれの輝度を測定し、比較した。

(2) 連続使用試験

前(1)の輝度試験と同様にして、暗室内の架台に固定した四色のEL及びLEDの輝度を30秒間隔で72時間（3日間）測定し、連続使用した場合の輝度の変化について測定した。

表4 輝度計の主な仕様

区分	仕様
形式	ハンディタイプ・デジタル輝度計
測定角	1°
光学系	一眼レフ方式 対物レンズ f=85 mm ファインダー視野9°
測定距離	∞~1014 mm
最少測定径	14.4 mm
輝度計測範囲	0.001~49990cd/m ²
測定誤差	表示値±3%±1digit
応答	0.8~1.6秒

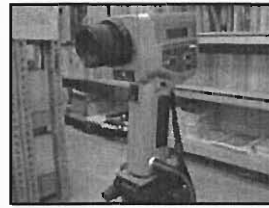


写真15 輝度計



写真16 発光ベスト設定状況

(3) 航空隊による試用試験

発光ベストの総合的な有効性を検証するため、航空隊の操縦士とホイスト操作者7名、救助員14名に夜間訓練で試用してもらい表5及び表6に示すアンケート表を用いて調査を実施した。

アンケートによる評価項目は、操縦士やホイスト操作者が救助員の位置を把握するために必要な項目（表5）と救助員自身の快適性や機能性を評価する上で必要な項目（表6）をあげた。これらの各項目について訓練で試用した隊員により1点から5点の5段階で評価を受けた。結果の集計は、評価項目ごとに得た点数を合算し回答数で割ることで平均値を求め、3点を中間点として、これを上回るか否かで評価の良否を検証した。

表5 操縦士・ホイスト操作者用アンケート
改良発光ベストに関するアンケート(パイロット・ホイスト操作者用)

発光色	評価項目	パイロット・ホイスト操作者						
		マイナス評価	評価					プラス評価
			1	2	3	4	5	
赤	EL発光体の明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかにOを付けてください)						丁度良い
	EL発光体の色彩	目障り						目障りではない
	救助員の視認性	悪い						良い
	発光ベストの総合評価	悪い						良い
黄	EL発光体の明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかにOを付けてください)						丁度良い
	EL発光体の色彩	目障り						目障りではない
	救助員の視認性	悪い						良い
	発光ベストの総合評価	悪い						良い
緑	EL発光体の明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかにOを付けてください)						丁度良い
	EL発光体の色彩	目障り						目障りではない
	救助員の視認性	悪い						良い
	発光ベストの総合評価	悪い						良い
青	EL発光体の明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかにOを付けてください)						丁度良い
	EL発光体の色彩	目障り						目障りではない
	救助員の視認性	悪い						良い
	発光ベストの総合評価	悪い						良い
上記4色のEL発光色のうち最も良いと思う色でOを囲んでください。		赤・黄・緑・青						

意見(気づかれた点やご意見または改善する点等がありましたら、ご記入お願いします。)

表6 救助員用アンケート
改良発光ベストに関するアンケート(救助員用)

評価項目	マイナス評価	低い←評価→高い					プラス評価
		1	2	3	4	5	
活動中の暑さ	暑い						暑くない
活動中の寒れ	寒れる						寒れない
生地の上つき	べとつく						べとつかない
快適性の総合評価	快適でない						快適である
フィット感	フィットしない						フィットする
圧迫感	過度な圧迫感がある						過度な圧迫感がない
動きやすさ	動きにくい						動きやすい
重さ	重い						重くない
ベスト生地の硬さ	硬い						硬くない
着やすさ	着にくい						着やすい
脱ぎやすさ	脱ぎにくい						脱ぎやすい
フルボディーハーネスとの干渉	干渉する						干渉しない
電池BOXが気になるか	気になる						気にならない
電気配線が気になるか	気になる						気にならない
ポケットの収納性	悪い						良い
LEDライトの位置と構造	悪い						良い
LEDライトのスイッチ操作性	悪い						良い
LEDライトの明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかに○を付けてください)						丁度良い
ELファイバーの埋め込み位置	悪い						良い
ELファイバーのスイッチ操作性	悪い						良い
ELファイバーの明るさ	明るすぎる・暗すぎる (どちらかに○を付けてください)						丁度良い
ELファイバーの色影	目障り						目障りではない
機能性の総合評価	機能的でない						機能的である
改良発光ベストの総合評価	悪い						良い

意見(気づかれた点やご意見または改善する点等がありましたら、ご記入お願いします。)

4 結果

(1) 輝度試験

新品の電池を用いて、発光体を点灯させ5分後から2時間経過までの任意の経過時間での輝度を測定し、比較した。

ア E L

表7は各色のELの点灯時から2時間後までの輝度を示したものである。

いずれのELもLEDと同様、点灯時から時間経過とともに輝度が減少した。青色のELは点灯時55cd/m²から2時間後には29 cd/m²、緑色は点灯時70cd/m²から2時間後に38 cd/m²、赤色は点灯時6 cd/m²から2時間後に3 cd/m²、黄色が点灯時45cd/m²から2時間後に24 cd/m²となり、色別で最も高い輝度を示したのが緑色、最も低い輝度は赤色であった。

表7 経過時間別のEL輝度

	青色	緑色	赤色	黄色
点灯時	55	70	6	45
5分後	43	57	5	34
30分後	36	48	4	29
1時間後	33	43	3	27
2時間後	29	38	3	24

※単位：cd/m²

イ LED

色別の点灯時、5分後、30分後、1時間後及び2時間後の輝度を表8に示す。白色のLEDは点灯時の輝度は13.0×10⁴cd/m²を示し、5分後に5.4×10⁴cd/m²まで減少し、30分後には3.0×10⁴cd/m²、1時間後に2.2×10⁴cd/m²、2時間後に1.6×10⁴cd/m²となった。一方、赤色は点灯時5.5×10⁴cd/m²で5分後に2.9×10⁴cd/m²となり、30分後には1.4×10⁴cd/m²、1時間後に1.2×10⁴cd/m²、2時間後に0.9×10⁴cd/m²となった。値が示すとおり赤色に比べ白色の方が高輝度であることや、赤色が一つに対して白色は二つのライトであることから、照明として使用する際は白色を使用した方が効果的である。

表8 経過時間別のLED輝度

	白	赤
点灯時	13.0	5.5
5分後	5.4	2.9
30分後	3.0	1.4
1時間後	2.2	1.2
2時間後	1.6	0.9

※単位：×10⁴cd/m²

(2) 連続使用試験

輝度試験同様、新品の電池を用いて、発光体の点灯時から30秒間隔で輝度を測定し、LEDおよびELを連続使用した場合の輝度の変化について測定した。

ア E L

図4および図5は、ELの輝度の推移を示したものである。全てのELの輝度が点灯後徐々に減少し、11時間経過後から著しい低下がみられ、12時間経過時に値がほぼ0となった。どの色も点灯後11~12時間の間で輝度の著しい低下が見られ、12時間経過時にはいずれの色も目視が困難となった。

写真17にEL(緑色)の時間経過に伴う輝度の変化を示す。点灯から2時間間隔で撮影を行い、10時間経過以降は30分間隔で撮影を行った。この結果、12時間経過後から視認が困難となり、13時間経過以降は発光を確認できなくなった。

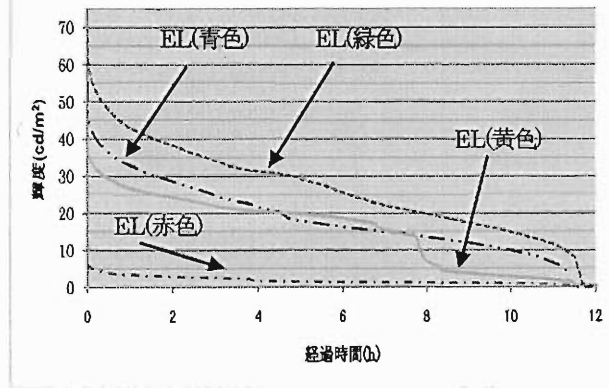


図4 EL輝度の減少状況

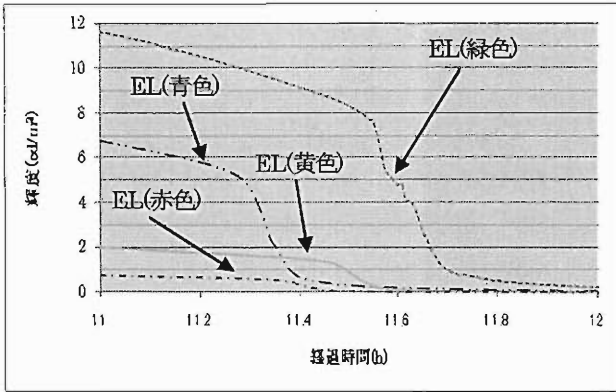


図5 11時間経過後のEL輝度減少状況

いことから、救助作業中の照明として活用する場合は、白色の方が効果的であるといえる。

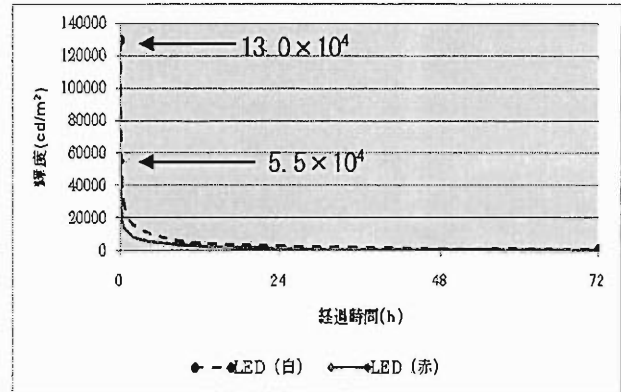


図6 LED輝度の減少状況

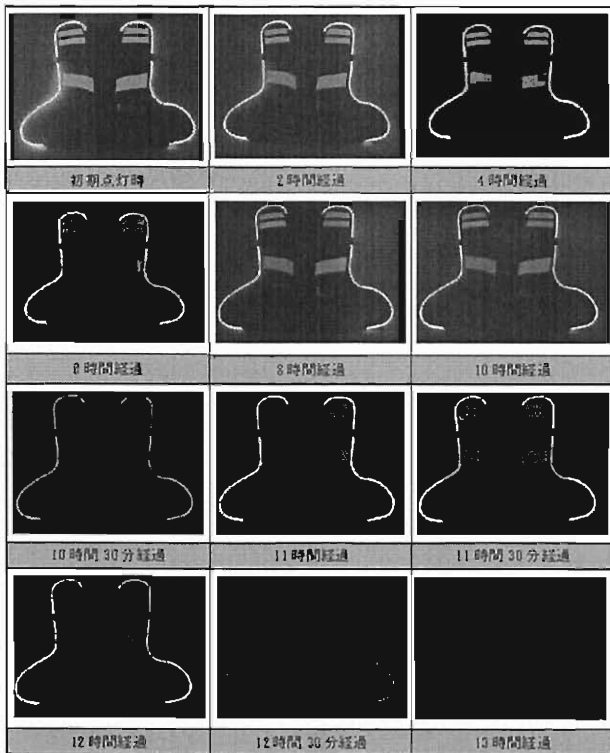


写真17 時間経過に伴うEL減少状況(緑色)

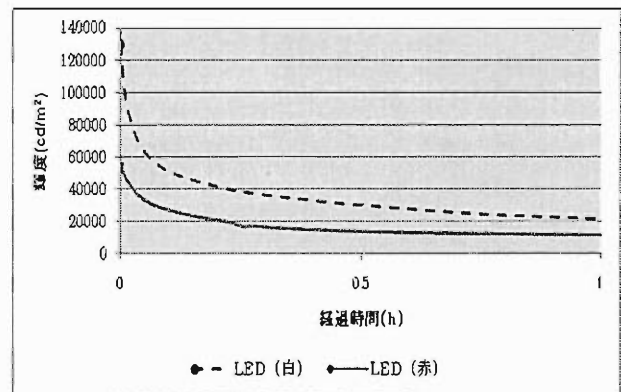


図7 発光開始から1時間のLED輝度

イ LED

図6および図7は、LEDの輝度の推移を示したものである。白色のLEDは点灯時 $13.0 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ を示した後、急激に低下し1時間経過した時点で $2.2 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ まで減少した。以降は時間とともに徐々に低下を続け、24時間経過時に $3.4 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ まで減少し、48時間経過時には $1.9 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ 、72時間後には $1.3 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ となったが、この程度の輝度でもLED前方の視界を確保できることが確認できた。

一方、赤色についても点灯時 $5.5 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ から値が急激に低下し、1時間後には $1.2 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ となった。12時間経過時に $3.3 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ となり、その後は緩やかな減少傾向となった。24時間経過時には $2.0 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ 、48時間後は $1.1 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ 、72時間後に $8.4 \times 10^2 \text{cd/m}^2$ を示した。白色と比較すると輝度が小さ

(3) 航空隊による試用試験

ア 救助員によるアンケート結果

アンケートの集計結果を図8に示す。「改良発光ベストの総合評価」は、4.1点で中間点(3点)を上回ったことから、今回の発光ベストに対する救助員の満足度は高かったといえる。特に、平成19年度の検証結果で問題となったフィット感の悪さやフルボディハーネスとの干渉は、今回の発光ベストでは改善され、いずれも良い評価を得ることができた。また、平成19年度の検証結果で有効性が確認された発光機能や、今回、収納性の向上を目的に増設したポケットについても良い評価を得ることができた。生地質感、活動中の蒸し暑さなどの「快適性の総合評価」は4.5点、発光体の明るさ、操作性、フィット感といった「機能性の総合評価」は4.2点といずれの評価項目も、中間点より高い評価を得た。

評価項目	マイナス評価	低い←評価→高い					プラス評価
		1	2	3	4	5	
快適性	座席中の揺れ	多い					多くない
	座席中の揺れ	揺れる					揺れない
	生地へのべつつき	べつつく					べつつかない
	総合評価	快適でない					快適である
	フィット感	フィットしない					フィットする
機能性	圧迫感	過度な圧迫感がある					過度な圧迫感がない
	動きやすさ	動きにくい					動きやすい
	重さ	重い					重くない
	ベスト生地の硬さ	硬い					硬くない
	着やすさ	着にくい					着やすい
	脱ぎやすさ	脱ぎにくい					脱ぎやすい
	フルボディーハーネスとの干渉	干渉する					干渉しない
	座席BOXが気になるか	気になる					気にならない
	気圧配線が気になるか	気になる					気にならない
	ポケットの収納性	悪い					良い
	LEDライトの点滅と構造	悪い					良い
	LEDライトのスイッチ操作性	悪い					良い
	LEDライトの明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い
	ELファイバーの埋め込み位置	悪い					良い
	ELファイバーのスイッチ操作性	悪い					良い
	ELファイバーの明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い
	ELファイバーの色形	目障り					目障りではない
総合評価	機能的でない					機能的である	
改良発光ベストの総合評価	悪い					良い	

図8 救助員によるアンケート結果

イ 操縦士及びホイスト操作者によるアンケート結果

アンケートの結果を図9に示す。ELの発光色別にそれぞれアンケートを行った結果、今回検証した赤・黄・緑・青の全色について、良好な評価を得た。中でも緑色が見易いとする意見が最も多く、次いで黄色の人気の高かった。一方、搭乗員から得られた意見の中には、「発光色を統一するのではなく、隊員別又は任務別で色分けすることも有効では」や「周囲の環境の変化等、フライトの条件によって有効な色は変化するので色を統一する必要はない」といった、発光色を活用することでより効果的な活動の可能性を示唆する意見が得られた。

発光色	評価項目	マイナス評価	低い←評価→高い					プラス評価
			1	2	3	4	5	
赤	EL発光色の明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い	
	EL発光色の色形	目障り					目障りではない	
	隊員の識別性	悪い					良い	
	総合評価	悪い					良い	
黄	EL発光色の明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い	
	EL発光色の色形	目障り					目障りではない	
	隊員の識別性	悪い					良い	
	総合評価	悪い					良い	
緑	EL発光色の明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い	
	EL発光色の色形	目障り					目障りではない	
	隊員の識別性	悪い					良い	
	総合評価	悪い					良い	
青	EL発光色の明るさ	明るすぎる・暗すぎる					丁度良い	
	EL発光色の色形	目障り					目障りではない	
	隊員の識別性	悪い					良い	
	総合評価	悪い					良い	

図9 操縦士・ホイスト操作者によるアンケート結果

5 おわりに

(1) 発光ベストの有効性

今回の検証により、発光体の輝度試験及び連続使用試験からELは概ね10時間、LEDについては72時間を超えてもなお連続使用できることが確認できた。この結果から、発光機能は通常の航空救助活動に要する時間と照らし合わせても十分対応できることがわかった。

航空隊での試用試験によるアンケート結果では、救助員及び搭乗員の双方から発光ベストに対する良好な回答が得られ、実際の夜間航空救助活動への有効性が確認できた。特に先の検証結果で課題となったフィット感の悪さ及びフルボディーハーネスとの干渉については、面ファスナーの活用及び前胸部の開放面積を大きくとることで課題の解決を図った。また、救助員が異なる発光色のベストを着ることで、隊員の識別が容易にできるといった建設的な意見が示された。

(2) 今後の課題

改良ベストの発光操作は、スイッチ部が小さいこと、ポケットに収納された電池ボックスを取り出して行うことから、手間がかかり時間もかかる。また、繰り返しの電池ボックスの出し入れは、配線に与える負荷を考慮するとあまり望ましいとは言えない。このことから、ポケットからの出し入れを必要としないスイッチへの改善及び配線コードの強化が課題である。また、電池ボックスが防水仕様になっていないことから、防水措置が講ぜられればより使用範囲が広がる可能性が考えられる。

【参考文献】

- 1) 加藤久弥、荻野恭久、渡邊茂男 2008 発光機能を持たせた航空救助員用装備品の安全性及び作業性に関する検証 平成20年消防技術安全所報45号 東京消防庁消防技術安全所

Verification Concerning the Illuminating Vest for the Air-Rescue Crew

Hisaya KATOU*, Takai ENDOU**, Shigeo WATANABEA*

Abstract

In fiscal 2007 we prototyped and tested an illuminating vest for our aviation crew to enable them to work safely and smoothly in night-time operations. As a result, we found it indispensable to make the vest more comfortable to wear for the crew's efficient operations. Based on the result of the fiscal 2007 verification, we made a new illuminating vest and conducted various verifications on it, and confirmed its effectiveness in air rescue operations.