

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

加藤 久弥*, 荻野 恭久**, 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、航空救助員用発光ベストを試作し検証を行った。

その結果、発光により航空救助員の周囲視認性の向上が見られる他、操縦士及びホイスト操作者による航空救助員の位置確認が容易になる効果が認められた。

1 はじめに

当庁では防火衣や安全チョッキ等に塩化ビニール製の反射シートを取り付けて隊員の視認性向上に役立っているが、これらの反射シートは光源のないところでは反射しない欠点がある。

特に航空隊の夜間における救助現場は、具体的な課題として、ヘリコプターからホイスト降下する際、降下場所を照らすライト等がなく、また、ホイストを操作する搭乗員は、航空救助員（以下「救助員」と言う。）の存在を救助員の胸元に装着された1本のフラッシュライトで確認しているが、どのような体勢で降下・上昇しているのかを把握することは困難である。また、降下後の活動ではヘルメットに装着されたライトを使用しており、常に手元を照らすための照明方策の検討が要望されている。

そこで高輝度・軽量・省電力を特長とするEL（エレクトロ・ルミネッセンス）やLED（発光ダイオード）を使用して夜間活動する救助員の装備に発光機能を持たせられれば、救助員の視認性や作業性が向上することが期待できることから、ELを埋め込んだベスト（以下「ELベスト」と言う。）とLEDを埋め込んだベスト（以下「LEDベスト」と言う。）を試作しその有効性を検証した。

2 試作発光ベストについて

(1) ELベスト

ホイスト操作員から降下・上昇中の隊員の体勢がわかるように肩部に青色のEL（大きさ：2.5cm×5cm）を取り付け、さらに腹部側に左右2列、縦に白色の発光ダイオードを各3個取り付け隊員の手元を照らすようにしたものである。ベストの色は紺及びオレンジの2色を試作した（写真1参照）。

また、ELベストの仕様を表1及び図1に示す。

(2) LEDベスト

ベストの肩部に、青色の発光ダイオードを一辺5cmの正方形の各頂点に4個配置したものである。他はELベストと同様である（写真2参照）。

LEDベストの仕様を表1及び図2に示す。



写真1 ELベスト



写真2 LEDベスト

表1 試作発光ベストの主な仕様

| 区分 | 規格 |
|----------------|--|
| 反 射 材 | 軟質 PVC 製マイクロプリズム式反射材 S-9000 |
| メッシュ地 | ナイロン 100%メッシュ ラッセル編 |
| L E D | 白色：4200cd φ5mm×6個 青色：2700cd φ5mm×4個 |
| E L | 青色：50×25mm×2枚 |
| ス イ ッ チ | 操作用プッシュスイッチ×1、消灯用プッシュスイッチ×1 |
| 操作ス イ ッ チ 操作方法 | 1回押すごとに、肩部のみ点灯→肩部と照明灯点灯→消灯 |

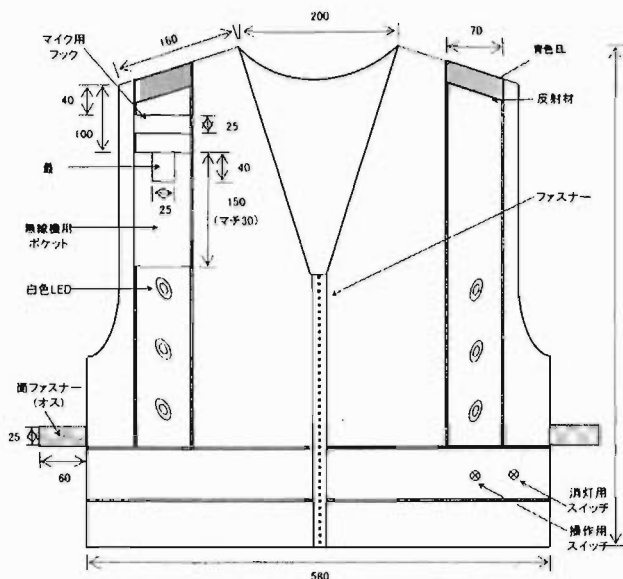


図1 ELベスト概要図

3 検証内容

検証は、隊員の活動環境を考慮し以下の項目とした。

- (1) 輝度（視認性）試験
- (2) 連続使用試験
- (3) 耐熱性試験
- (4) 耐水性試験
- (5) 衝撃試験
- (6) 折り曲げ試験
- (7) 航空隊による試用試験

4 検証

(1) 輝度（視認性）試験について

ア 検証方法

各発光体の明るさを輝度計で測定し、又、降下中でも実際に視認可能かどうか確認するために距離を変えて目視で確認した。

表2 輝度計 (LS-100) の主な仕様

| | |
|---------|---------------------------------------|
| 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 ~ 49990 cd/m ² |
| 測定誤差 | 表示値 ± 3% ± 1 digit |
| 応 答 | 0.8 ~ 1.6 秒 |

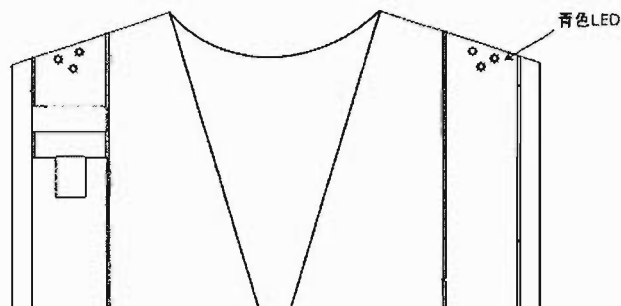


図2 LEDベスト肩部

イ 検証結果

EL及びLEDの輝度は表3のとおりである。ELの方がLEDに比べて輝度は小さいが、視認性を確認するため30mまでの距離での目視による観察ではEL、LED共に充分視認可能であった。

表3 EL及びLED輝度と距離の関係

| | 肩部EL | 肩部LED | 腹部LED |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 輝度 (cd/m ²) | 42.10 | 17496 | 41838 |

(2) 連続使用試験について

ア 検証方法

発光ベストは単三乾電池3本で発光させているが、隊員の活動時間に比べて十分長い時間使用可能か、また電池の消耗に伴い、明るさがどのように変化するかを検証した。

暗室において写真3のように架台に固定したEL及びLEDベストの肩部発光体の明るさの変化を1m離れた位置から輝度計で測定した。尚、使用した電池は、未使用のものを使用した。

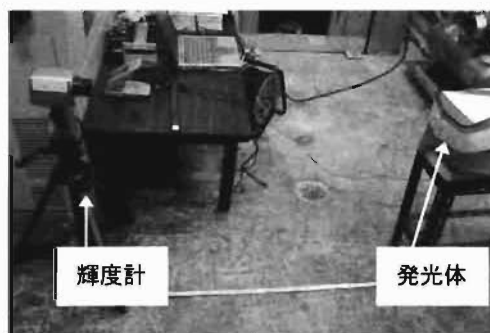


写真3 連続使用試験風景

イ 検証結果

図3はELベストの連続使用による輝度と電圧の関係を示したグラフである。ELの輝度は初期値 48.42 (cd/m²)CcP を示し、ほぼ一定の輝度を保ちながら概ね7時間発光した。その間、電圧は3.73Vから時間とともに低下し、EL消灯時2.04Vの最低電圧を示した。このことからELは、長時間の活動にも十分使用可能であることが確認された。ただ、ELは発光電圧にしきい値があり概ね2.1V以上あれば電圧の値にかかわらず一定の輝度を保つが、それ以下になると突然消えてしまうため、活動前に電圧のチェックが必要であることがわかった。

一方、LEDベストの連続使用での輝度と電圧の変化については、初期輝度 15,720 (cd/m²)CcP、初期電圧 3.85V (図4参照) からそれぞれ徐々に減少し、およそ24時間後の輝度は44.34 (cd/m²)CcP となりELベストの初期輝度とほぼ同等となった。このことから、LEDはELよりもさらに長時間の使用が可能である。また、LEDの明るさの変化はELと異なり、電圧降下に伴い輝度も低下していくため、LEDが暗くなったら電池を交換すればよい。

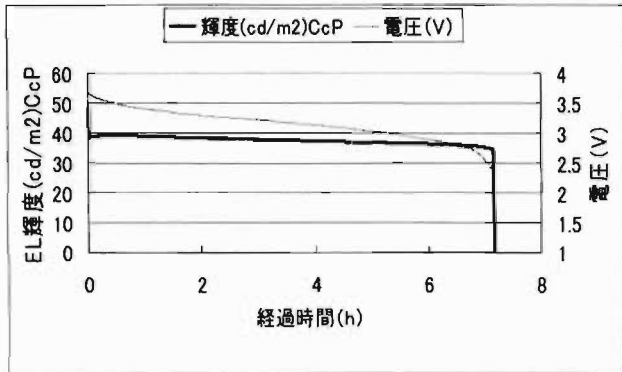


図3 EL 輝度と電圧の時間変化

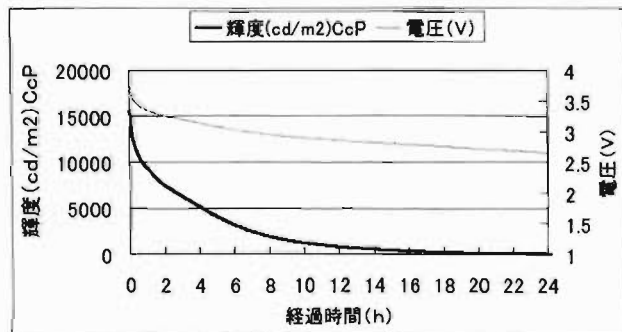


図4 LED 輝度と電圧の時間変化

(3) 耐熱性試験

ア 検証方法

高温環境下での使用を想定し、雰囲気温度100℃での輝度を検証した。

100℃に設定した恒温槽において架台に固定したEL及びLEDベストを発光させ、明るさの変化を1m離れた位置に設置した輝度計により測定し、熱環境による影響を検証した。

表4 熱風循環式定恒温器の主な仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------|----------------------------|
| 温度調節器 | マイクロコンピュータ |
| 温度制御方式 | オートチューニング機能付 ゼロクロスPID制御 |
| 温度指示精度 | ±0.5% |
| 使用周囲温湿度 | 0~50℃ 30~85% |
| 使用温度範囲 | 40~260℃ |

イ 検証結果

図5は、100℃の熱環境がELの輝度にどのように影響するか示したものであるが、前(2)の連続使用試験時と比較しても輝度の低下は起こらず、連続使用時間も概ね5時間と、高温環境でも長時間有効に発光した。

LEDは、仕様上動作保証温度が最高で80℃(表5参照)となっていたが、ELと同様100℃の環境でも機能が確保されるか検証した(図6参照)。輝度は20分で8,284 (cd/m²)CcP をピークに6時間を経過しても発光しておりEL同様100℃の熱環境においても十分機能することが確認された。

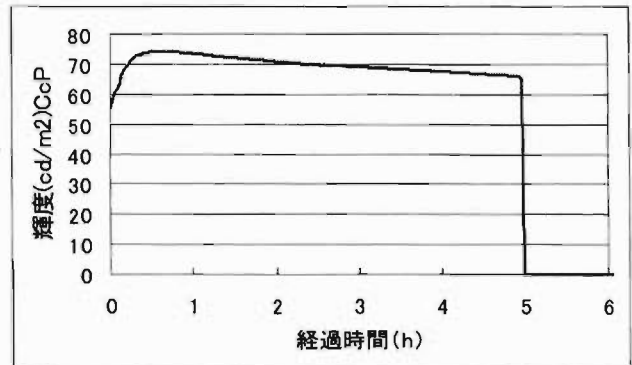


図5 雰囲気温度100℃でのEL輝度の時間変化

表5 LEDの主な仕様

| | |
|------|-------------|
| 許容損失 | 120mW |
| 視野角 | 0° ~ 30° |
| 動作温度 | -40℃ ~ 80℃ |
| 保存温度 | -40℃ ~ 100℃ |

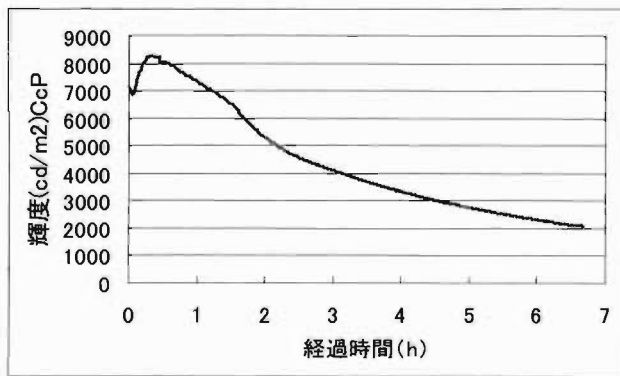


図6 霧困気温度 100°CでのLED輝度の時間変化

(4) 耐水性試験

ア 検証方法

発光ベストを着装し、全ての発光体を点灯した状態でシャワーにより水道水を全身にかけて耐水性を確認した。

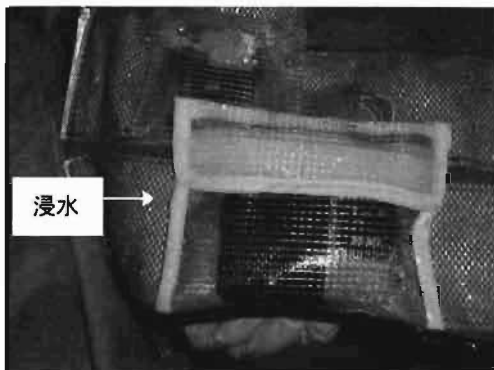


写真4 浸水状況

イ 検証結果

EL及びLEDともに発光体に直接水をかけても機能に影響は認められなかったが、ELベストは10分27秒でインバータを入れたポケット内に水が溜まり水没しスイッチ操作が不可能となり、点灯状態のままとなった(写真4参照)。また、LEDベストについても4分06秒に電池ボックスを入れたポケットが浸水し、接触不良により点滅を繰り返した。

発光体自体に直接水がかかっても影響がないこと、また通常の活動では、インバータや電池ボックスの入ったポケット内に水が溜まる可能性は少ないとの救助員の意見から耐水性能は十分であると考えられる。

(5) 衝撃試験

ア 検証方法

活動中の発光ベストに衝撃が加わる可能性としては、活動中の転倒が考えられる。そこで質量75kgのダミーにEL及びLEDベストを着装させ、起立した状態からコンクリート面に前方向に連続して3回転倒させ、発光に影響が及ぶか確認した(写真5参照)。

イ 検証結果

試験の結果、各ベストとも転倒の衝撃では電池及びインバータには損傷はみられず、発光状況にも影響はみられな

かった。このことから、航空救助活動で考えられる衝撃には十分耐えられることが確認できた。

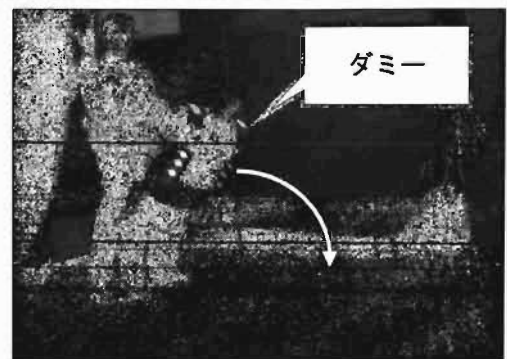


写真5 衝撃試験の様子

(6) 折り曲げ試験

ア 検証方法

ELベストの発光部、LEDベストの配線部を前後180°に折り曲げ、発光機能に障害が発生するまで繰り返した。

イ 検証結果

ELベスト(発光体を折り曲げた場合)は20回で部分断線を起こし、部分的な発光不良が見られた。LEDベスト(配線を折り曲げた場合)については、1,140回で断線し、断線部分から先の発光体は消灯したままとなった。どちらのベストも全ての発光体が消灯してしまわないものの、部分断線することが共通してみられた。このことから、収納する際に、発光体部分に極度な荷重をかけた折り曲げを行わなければ、通常の使用には影響がないと考えられる。

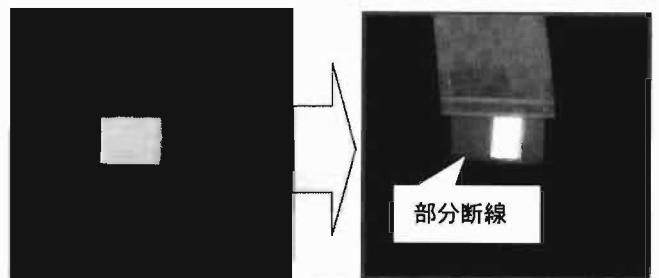


写真6 折り曲げ試験前と試験後 (EL)

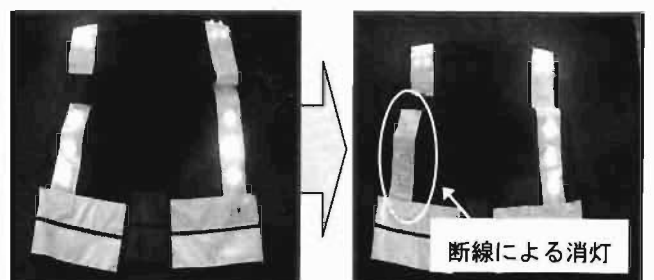


写真7 折り曲げ試験前と試験後 (LED)

(7) 航空隊による試用試験

ア 検証方法

試作した発光ベストの実用性を検証するため、ホイスト操作者4名及び救助員4名の計8名に対して、発光ベストを使用して夜間降下訓練を行い、発光ベストに関するアンケート調査を実施した。アンケート項目の抽出に当たっては、ホイスト操作者による救助員の安全確認上必要な項目をあげ、また、救助員自身の安全確認上必要な項目及び作業性を評価する上で必要な項目をあげた。ホイスト操作者

に対するアンケート項目を表6、救助員に対するアンケート項目を表7に示す。これらの項目について満足である場合を+1点から+2点で評価し、不満足である場合を-1点から-2点で、どちらともいえない場合を0点で評価した。結果の集計は、質問項目ごとに点数を合算し、平均値を求め、各質問項目について-2点から+2点の間で評価を行った。

表6 ホイスト操作者に対するアンケート項目

| アンケート項目 | | | | | | |
|----------------------|----|----|---|----|----|----------------------|
| 不満足要因 | 評価 | | | | | 満足要因 |
| ELはLEDより見にくい | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | ELはLEDより見やすい |
| 降下する救助員を確認しにくい | | | | | | 降下する救助員を確認しやすい |
| 地表に降下した救助員の位置を確認しにくい | | | | | | 地表に降下した救助員の位置を確認しやすい |
| 吊り上げ中の救助員を確認しにくい | | | | | | 吊り上げ中の救助員を確認しやすい |

表7 航空救助員に対するアンケート項目

| アンケート項目 | | | | | | |
|-----------------|----|----|---|----|----|------------------|
| 不満足要因 | 評価 | | | | | 満足要因 |
| 待機中暑い | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | 待機中暑くない |
| 待機中蒸れる | | | | | | 待機中蒸れない |
| 活動中暑い | | | | | | 活動中暑くない |
| 活動中蒸れる | | | | | | 活動中蒸れない |
| フィット感は悪い | | | | | | フィット感は良い |
| 動きにくい | | | | | | 動きやすい |
| 重い | | | | | | 軽い |
| 着にくい | | | | | | 着やすい |
| 脱ぎにくい | | | | | | 脱ぎやすい |
| LED(手元灯)は暗い | | | | | | LED(手元灯)は明るい |
| フルボディーハーネスと干渉する | | | | | | フルボディーハーネスと干渉しない |
| 電池ボックスは気になる | | | | | | 電池ボックスは気にならない |
| 電気配線は気になる | | | | | | 電気配線は気にならない |
| 足元は暗い | | | | | | 足元は明るい |
| 点灯スイッチは操作しにくい | | | | | | 点灯スイッチは操作しやすい |

イ 検証結果

ホイスト操作者に対するアンケート結果を図7に、救助員に対するアンケート結果を図8に示す。

(1) ホイスト操作者に対するアンケート結果等

アンケートの結果、図7に示すとおり、ホイスト操作者はLEDよりもELの方が見やすいこと、発光により上空から救助員の位置等の把握がより確実に行えるようになることがわかった。

アンケート調査後パイロット及びホイスト操作者に対して聞き取り調査を行ったところ、「機内で発光した場合、LEDよりもELの方が目障りになりにくく操縦に支障を及ぼさない。」、「ELの方が目障りな明るさではなくパイロットの目に対する刺激が少ない。」、「ホイスト活動では、上昇・下降する隊員や発光ベストを着装した地上誘導員をはっきりと識別することができた。」という意見が大勢を占め、発光ベストの有効性が確認された。

(2) 航空救助員に対するアンケート結果等

図8に示すとおり、着装時の快適性（暑さ等）、着脱のしやすさ、LEDの照明効果について良好な結果が得られた一方で、フィット感の悪さ、フルボディハーネスとの干渉、スイッチ操作の困難性が指摘された。

フィット感の悪さは、写真8に示すとおり、ベストが大きく身体への密着度が欠けていることによるものであり、胸回り又は胴回り等で密着性を持たせる工夫が必要である。また、写真9に示すとおり、着丈が長いことにより腰部のカラビナがベストの裾に隠れてしまいベストがカラビナを取り出す際の障害

となった。着丈については、概ね10 cm程度の短縮が必要である。

フルボディハーネスとの干渉は、写真10に示すとおり、胸部・腹部のD環との干渉であり、発光ベストの胸部・腹部部分の構造をさらに開放的にする改善が求められる。

点灯スイッチについては、押しボタン式であるが、誤って点灯してしまうことがないように、また、スイッチの位置をわかりやすくする工夫が必要であり、押しボタン式からダイヤル式（ダイヤルを回転させることによってスイッチを入れる構造）への改善が求められる。

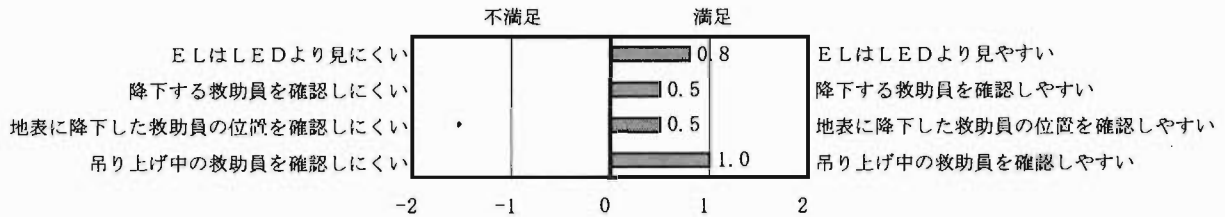


図7 ホイスト操作者に対するアンケート調査結果

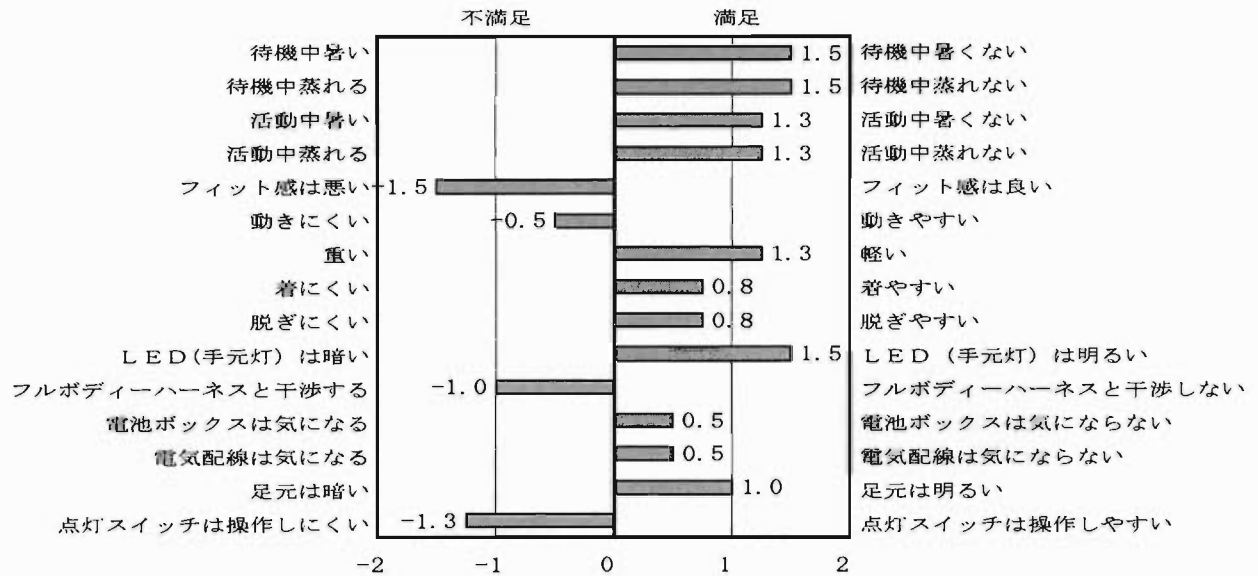


図8 航空救助員に対するアンケート調査結果



写真8 ベスト装着時の干渉状況1



写真9 ベスト装着時の干渉状況2



写真10 ベスト装着時の干渉状況3

5 まとめ

- (1) 前3(1)から(6)の検証の結果、発光ベストは通常の航空救助活動に十分耐えられる仕様であるといえる。
- (2) 発光ベストはホイスト操作者及び操縦士にとって、夜間における航空救助員の位置を把握する上で有効である。
- (3) 発光ベストは、航空救助員にとって夜間作業時、周囲への照明効果は大きく、安全性及び作業性の向上に有効である。
- (4) 今後の課題は、フィット感の改善、着丈の短縮、胸部・腹部D環の干渉の改善、点灯スイッチの操作性の改善である。

Verification of safety and workability of equipment with a light-emitting function for air rescue crew

Hisaya KATO*, Yasuhisa OGINO**, Shigeo WATANABE*

Abstract

A light-emitting vest for air rescue crew is made experimentally for enhanced safety and workability in night air rescue activities and its verification is conducted.

As a result, while improvement in working efficiency of air rescue workers due to emission of light is observed, the vest has proven effective for securing visibility of the air rescue crew to the pilot and hoist operators as well.