

# 空気残量監視機能付き空気呼吸器の研究開発

有山 修平\*, 鈴木 照雄\*, 鎌形 健司\*, 吉村 延雄\*\*

## 概要

本研究では、消防隊員が装着する空気呼吸器について、安全性を更に向上させる一方策として、面体にボンベ残圧をデジタル数字等で表示する装置を取り付け、面体装着時であっても容易に残圧力が確認できる機器の研究開発を行った。

製作したこれらの機器に対し消防隊員による検証を実施し、その有効性が確認できた。

## 1 はじめに

空気呼吸器は、消防活動には必須かつ使用頻度の高い機器である。現在は、各級指揮者及び隊員が細心の注意を払って進入時の圧力管理など安全管理に努めているところである。しかし、更なる安全性の向上のため、面体装着時であっても、容易に残圧の確認ができる機器を開発し、機器側からのレベルアップを図ることを目的とし、空気残量監視機能付き空気呼吸器の研究開発を実施した。

機器の製作に先立ち、仕様を検討するための予備実験等を実施した。また、製作した機器については消防隊員により使用検証を実施し、機能面について調査を行った。

本稿では、それらの概要について述べるものとする。

## 2 仕様の検討

消防隊員が使用する上で最適な機器に近づけるため、事前いくつかの予備実験を行った。検討に際しては、表示装置を面体部分に取り付けること、表示内容については認識が容易であることを前提とした。このため、ボンベ残圧が具体的に数値表示されるデジタル数字表示と、直感的に大まかな圧力を把握可能にするため4段階の色による表示(LED)を組み合わせる方式とした。また、デジタル数字表示には、過去の空気呼吸量から計算した使用可能時間を表示させる機能も加えることとした。

また、表示装置の取り付け位置については、以下のような検討を実施し決定した。

### (1) 面体装着時の視野に関する実験(実験1)

面体装着をしながらの各種作業時に、面体アイピースのどの位置を通して視認しているのかを明らかにするために、次のような実験を実施した。

#### ア 実験方法

面体(川重防災工業㈱製CS型面体)の面体アイピー

スの上部・中部・下部に覆いを付けた3種類の面体を準備し、それぞれの面体を装着した状態で各種作業を行い、どの場所に覆いを付けた場合に視認に支障となるかについて、5段階のアンケート形式で調査した。(覆いには遮光性がある材質を使用し、覆いを通して視認することは出来ない)覆いの場所は、面体アイピースの前面を形成する面の上下の midpoint を結ぶ線の上側を「上部」、下側を「中部」とした。また、吸気管取り付け部の左右の面(面体アイピースの前面を形成する局面以外)を「下部」とした。(写真1~4参照)

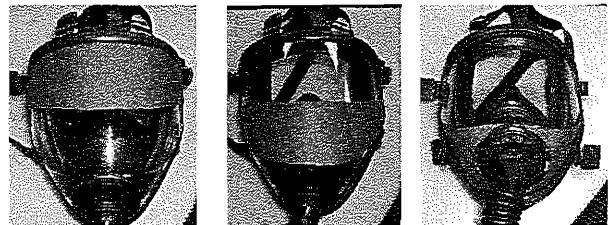


写真1 上部覆い 写真2 中部覆い 写真3 下部覆い

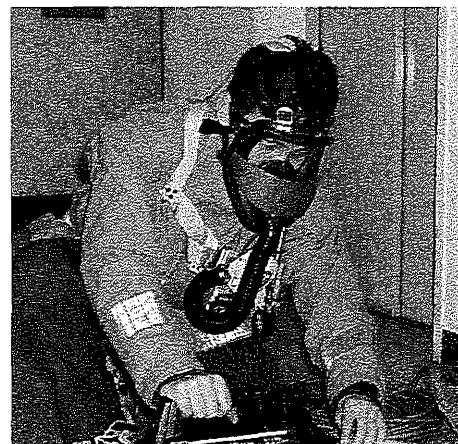


写真4 実験状況

\* 第一研究室 \*\* 世田谷消防署

イ 結果

作業の内容は、手元の作業、自装備品の操作確認、足元の確認及び検索について行った。被験者は7名で、全員消防吏員である。回答は、「よく見える」「まあまあ見える」「どちらとも言えない」「あまり見えない」「見えない」の5段階で実施した。

各種作業時に覆いをつけた場所ごとの「あまり見えない」または「見えない」と回答した被験者の割合を図1に示す。

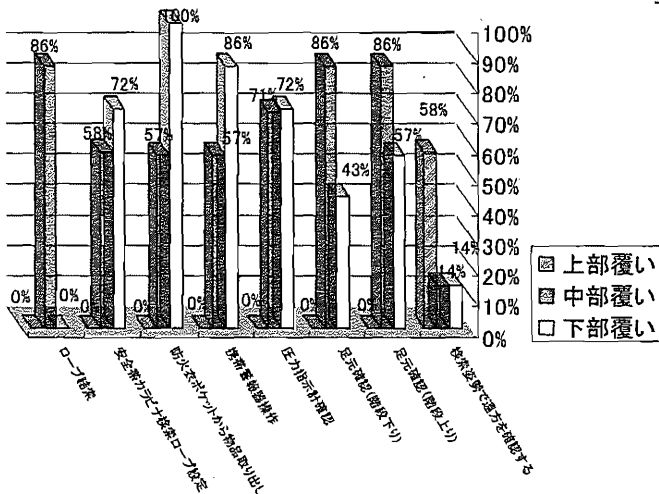


図1 覆いをつけることにより支障を感じた被験者の割合

実験1の結果をまとめると、概ね写真5のようになる。

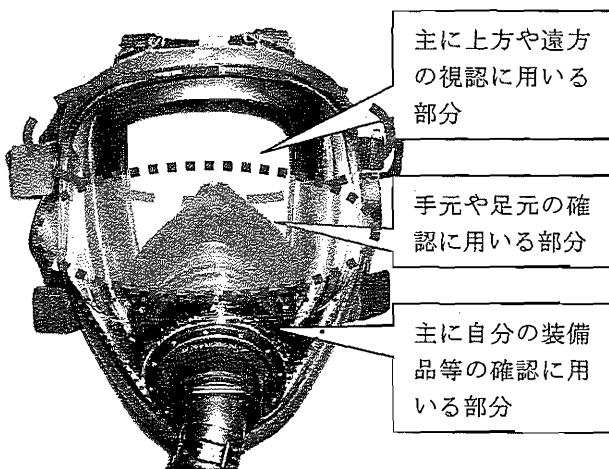


写真5 面体アイピースの使用状況

写真5からわかるとおり、面体アイピースにおける視認に使用する頻度の高い部分は、中部及び下部であり、この部位の重要度が高いと言える。

(2) 眼球運動計測実験 (実験2)

作業時において、実際に眼球がどのような動きをしているのかを確認するため、次のような実験を実施した。

ア 実験方法

眼球運動測定装置 (竹井機器工業株式会社 T.K.K.2930) を取り付けた面体を装着し、救助ロープ結索作業や投光器組み立て作業等を行い、実際に眼球がどのような動きをしているのかを映像で記録した。本装置は、人間が見ている映像に、眼球がどこを見ているのかをカーソルで示す装置である。計測可能視野角度は上下及び左右方向に各40°であり、本実験では写真6の面体アイピースの白線枠内に示す範囲 (概ね実験1の「中部」にあたる部分) が測定範囲に入るように校正を行った。また、検出眼は片眼 (右眼) とした。



写真6 計測範囲



写真7 計測状況

イ 結果

眼球運動計測中の視線の動きを0.1秒毎にプロットした状況を、写真8から10に示す。(視線が測定範囲内から外れたところを見ている場合は、プロットはされていない)

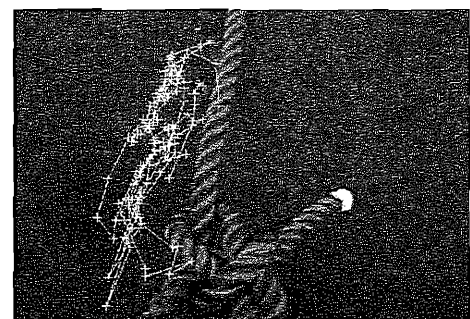


写真8 ロープ結索時の眼球運動の状況 (計測時間約20秒間)

### 3 製作した機器の概要

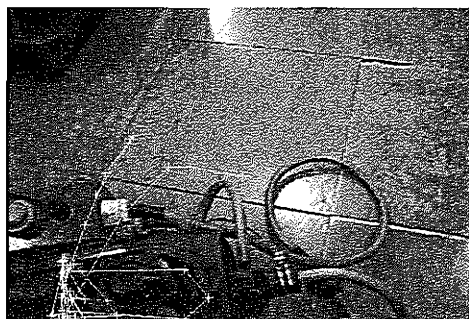


写真9 発動式発電機操作時の眼球運動の状況  
(計測時間約13秒間)

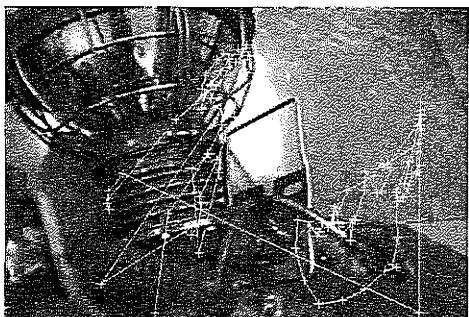


写真10 投光器点検時の眼球運動の状況  
(計測時間約22秒間)



写真11 表示部分

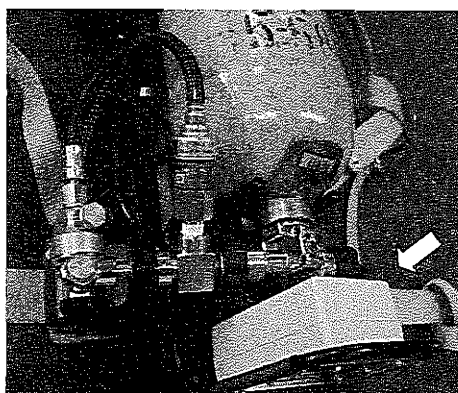


写真12 電源・本体部

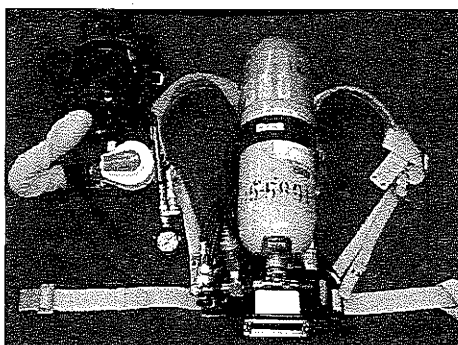


写真13 外観



写真14・15 装着状況

写真8から10に示したように、作業中、資器材を身体の近くに置いて作業することが多いため、身体の上に視線が動く頻度が高いと言える。今回の実験に使用した計測範囲は、実験1で言う面体アイピースの「中部」(写真2参照)であるが、この領域で視野が動き回ることが多く、またこの領域よりも下側に視野が外れることも頻繁にあり、このことから面体「中部」及び「下部」の使用頻度が高いと言える。

#### (3) 表示装置の取り付け部分の決定

実験1及び2から、使用頻度の高い部分は面体「中部」及び「下部」であることがわかった。このことから、残量表示部分は、面体上部とし、視認性を低下させることの無いよう、なるべく端に寄せて取り付けることとした。ただし、上部を視認する時等に、視認が阻害される可能性もあることから、跳ね上げることにより、視野範囲から表示部分が外れる機能も付加した。

今回の仕様は、あくまで事前検討であり、実際の利便性等は、消防隊員による使用実験において明らかにすることとした。

表示装置（写真 11 参照）は、残圧力をデジタル数字で残圧力表示としたものと（以下「残圧表示」という）、使用可能時間を表示（以下「使用可能時間表示」という）したものを、2 種類製作した。この表示装置部分は、固定ビスを外すことにより交換が可能である。

(1) 表示装置の構造

7セグメント素子によるデジタル数字表示と LED による表示を基板上に配置して筐体奥に組み込み、その上にスモークフィルム及びフレネルレンズを重ねた構造とした（図 2 参照）。スモークフィルムは、7 セグメント及び LED の陰影をはっきりと見やすくするためのものである。またフレネルレンズは、面体アイピースと眼の位置が近接しているため、焦点距離を調節するためのものである。レンズを用いない場合、眼にあまりに近づいて焦点が合わず、ぼやけて見えてしまうが、このレンズを用いることにより、眼と近接した状態でもはっきりとデジタル数字や LED 表示を認識することが可能である。またこのレンズは、曲面をつなぎ合わせてほぼ平面にした構造であるため、厚みも無く軽量である。

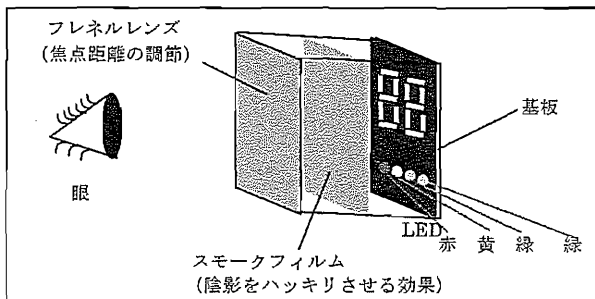


図 2 表示装置の構造

筐体は、写真 16 のように跳ね上げが可能である。これは、表示部分の存在により、活動に支障が生じた場合に、一時的に視野から表示部分を排除することが出来る機能であり、取り付け部分にある蝶番により動作するものである。



写真 16 跳ね上げた状態

(2) 表示内容

ア 残圧力表示

表示は、デジタル数字を用いた圧力表示（MPa の整

数部分の表示とした）と、視覚で直感的に認識できるように LED の色による表示の 2 つの表示を組み合わせたものとした。また、全ての表示は 5 秒毎に更新されるものとした。

各圧力における点灯パターンについては、表 1 に示す。  
イ 使用可能時間表示

この表示は、デジタル数字で使用可能時間を表示するものである。（使用可能な「分」数を整数で表示）この使用可能時間は、脱出圧力 6 分を引いた時間が表示され、進入時に実施している使用可能時間の速算式との整合性を図った。また、5 秒毎に過去 1 分間の空気使用量も監視しており、実際の空気使用量から推定される使用可能時間も計算している。計算方法については表 2 に示す。

また、LED 表示については、残圧力表示と同様に動作させた。（表 1 参照）

表 1 表示方法

圧力(MPa) または状態	20.1 以上	20.0~10.1	10.0~6.6	6.5 以下	電源投入時 (5秒間)
デジタル数字 (残圧力表示)	MPa の整数部分を表示				全灯
デジタル数字 (使用可能時間表示)	過去 1 分間の空気使用量から計算した使用可能「分」を表示 ※脱出時間 6 分を差し引き表示。空気使用量が毎分 40L 以下の場合は、毎分 40L として計算。				全灯
LED					
※写真は残圧力表示のもの	緑2灯点灯	緑1灯点灯	黄色点灯	赤点滅	全灯

表 2 使用可能時間の計算方法

		使用可能時間表示
電源投入後	1 分間	呼吸量毎分 40L で計算した使用可能時間 (速算式とほぼ同値)
1 分後以降	実際の呼吸量 毎分 40L 以下	呼吸量毎分 40L で計算した使用可能時間 (速算式とほぼ同値)
	実際の呼吸量 毎分 40L 超	過去 1 分間の呼吸量から算出した使用可能時間

(3) 諸元

諸元については次表のとおりである。

表 3 諸元

電源・本体部	寸法	114×72×46mm
	質量	300g(電池含む)
	電源	単三電池 3 本 (20°C で約 5 時間動作)
表示部	寸法	縦 49.2×横 49×奥行き 52mm
	質量	48g
圧力センサ部	アンプ内蔵型歪ゲージセンサ	

#### 4 視野実験

製作した空気残量監視機能付き空気呼吸器の表示部分が、視野範囲に及ぼす影響を明らかにするため、視野範囲計測実験を実施した。

##### (1) 視野範囲計測実験

視野計（竹井機器工業株式会社 T.K.K.101）を用いて、素面、CS 型面体装着時及び残量監視機能付き空気呼吸器面体装着時（CS 面体に表示部分を取り付けたもの）について視野を測定し、表示装置部が視野に及ぼす影響を調査した。

##### ア 実験方法

計測は、3 名について片眼ずつ実施し、 $10^\circ$  ごとの視野範囲を円グラフにプロットする方式とし、3 名の平均値を算出した。このグラフの形状とグラフ上の面積から視野の分析を実施した。（写真 17 参照）また、どちらかの眼が見える範囲を「視野範囲」として面積の算定をした。



写真 17 計測の状況

##### イ 結果

結果は以下のとおりである。（面積は図 3～5 までに示した視野範囲の部分の面積で、素面を 100 として計上した）

素面に比較し、CS 面体の視野範囲は、図 4 のように、下部中央付近の視野が減少している。この部分は、隔障及び吸気管が影響しているものと考えられる。面積は、素面に比較して 8.5% 減少している。

更に、今回試作した空気残量監視機能付き空気呼吸器面体の視野範囲は、図 5 のようになり、右眼の視野範囲にあたる右端側が減少しており、CS 面体装着時より 20.3% 減少している。

今回の試作品では、減少部分を少なく抑えるために、表示部分の形状を（上部から見て）真四角ではなく台形状とした。これは、表示部分に厚みがあることによる死角を減少させることを目的としたものである。今回は、この形状の効果もあり、減少した右眼右側視野を左眼が補っていることが確認できた。表示部分の厚みを減少させ、全体として更に小型化することにより、更に死角を減少させることが必要である。

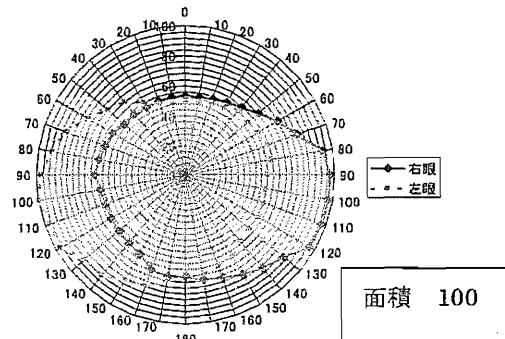


図 3 素面の視野状況

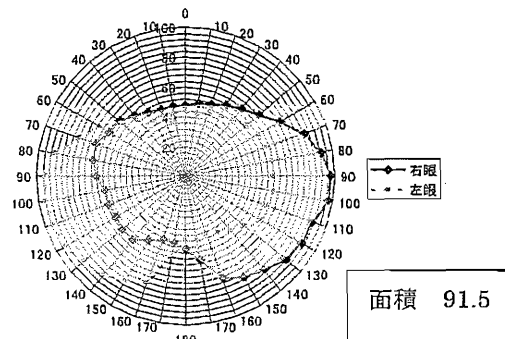


図 4 CS 面体の視野状況

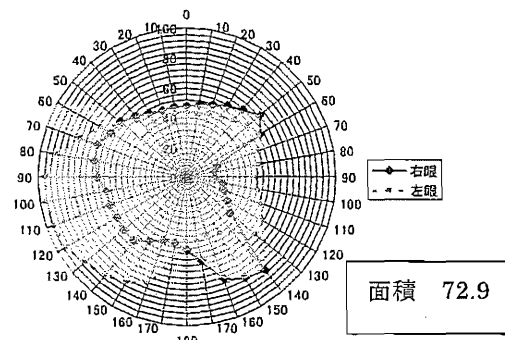


図 5 空気残量監視機能付き空気呼吸器面体の視野状況

#### 5 使用検証

製作した機器の実用面からの評価をするため、消防隊員に対し、訓練での使用実験を実施し、アンケートによる聞き取り調査を実施した。本稿では、その一部を示す。



写真 18 検証状況

(1) 実験方法

消防隊員 16 名に、残量監視機能付き空気呼吸器を使用させた後、アンケート調査を実施した。訓練は、全員に対し、明所及び暗所で実施し、残圧表示用及び使用可能時間表示用のそれぞれ両方を使用させた。(しころは閉めない状態での活動とした) アンケートの内容及び結果については、「(2) 結果」に示す。

(2) 結果

結果については、以下のとおり。

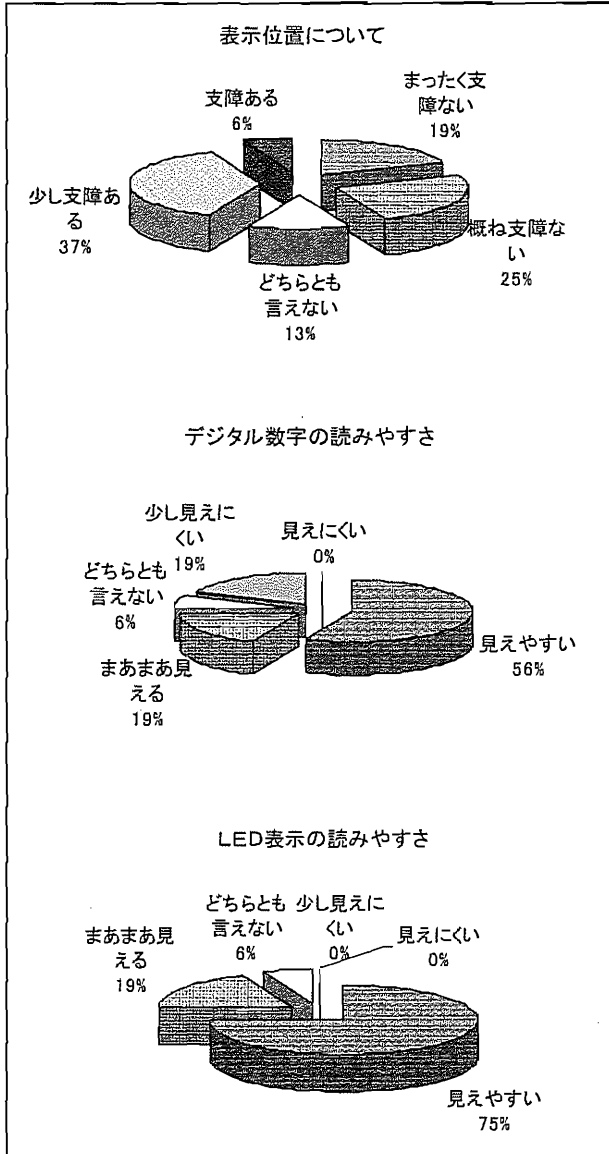


図6 見えやすさについて

表示装置の位置について支障の有無を尋ねる間には、回答が2分された。(「全く支障無い」または「概ね支障無い」と回答した者は 43%、「少し支障ある」または「支障ある」と回答した者も 43%であった)「支障あり」と回答したほとんどの者が、その理由として「顔面保護版との併用が出来ないこと」を挙げている。(死角による支障を挙げた者は見られなかった) また、表示部

分の筐体の「厚み」及び「大きさ」から、しころとの併用を心配する声も聞かれた。今回の試作機は、機能面の検証を実施することを目的としたため、小型化を極限まで追及したものではないが、これらの意見に対する対応策として、更なる小型化が必要であり、実戦での使用には必須の条件と言えることは明らかである。

デジタル数字の読みやすさについては、75%の者が、「見えやすい」または「まあまあ見える」と回答している。実験中も「思ったよりよく見えた」との意見が多く聞かれ、概ね良好な結果であったと言えるが、一方で「2桁あるうちの、一の位(今回は、右目側に表示部を設置したため、面体の端側の数字)が見えにくい」との意見もあり、個人差も見られた。これは、顔面の形状や、視野範囲の微妙な違いも影響していると思われる、取り付け位置についても微調整ができるような機能があることが望ましいと言える。

LEDの表示の読みやすさについては、概ね良好であった。

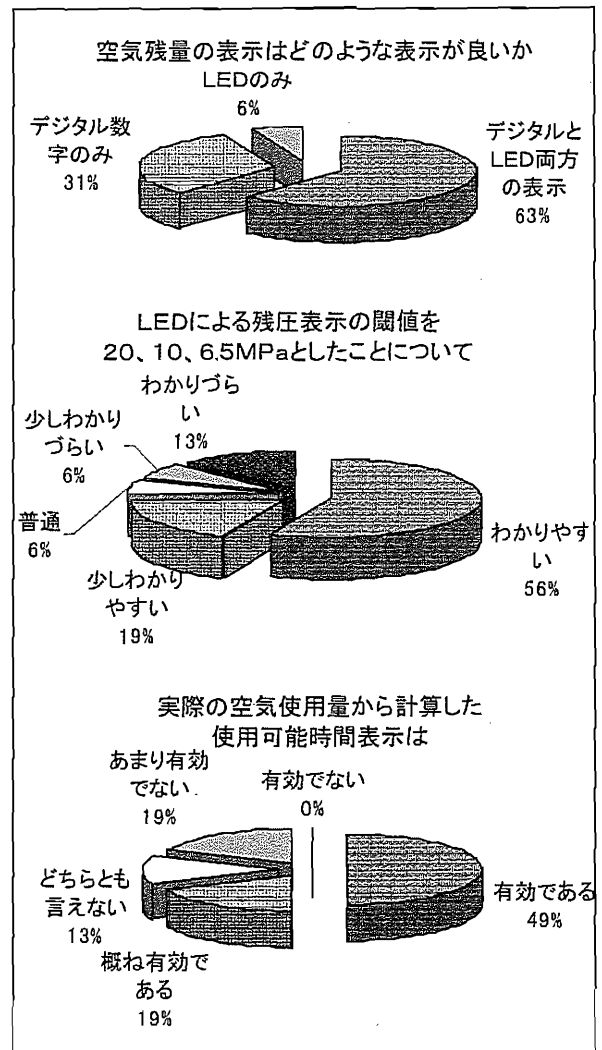


図7 表示内容について

空気残量の表示はどのような表示が良いかについては、63%の者が「LED・デジタル数字の両方同時表示」を希望している。これは、おおまかな情報はLEDの色で直感的に確認し、正確な圧力は数字で確認出来る、利便性が評価されたと考えられる。表示を注視しては危険という状況下では、横目でLEDの色だけを確認することも可能であり、初期の目的をほぼ満足した結果となった。

LEDの表示の閾値を、20、10、6.5MPaとしたことについては、75%の者が「わかりやすい」または「少しわかりやすい」と回答した。これは区切りの良い数字と、特徴的な数字(6.5MPaはホイッスル鳴動圧力である)であることから、記憶しやすい数字を表示に採用したことが好評の理由であったと思われる。

実際の呼吸量から計算した使用可能時間表示は、約70%の者が「有効である」または「概ね有効である」と回答した。一方で、19%の者が「あまり有効でない」と回答している。有効でない理由として、「呼吸量は大きく変動するので、頼りすぎると事故のもとになる」との意見が出された。一方で、「使用時間の変動がわかり、こんなに吸っているのかと、実感できた。」と、有効性を感じた者もいた。「変動するから危険」と感じる者と、「変動することがわかるので、意識付けができ安全」と2通りの感じ方があったことになり、使用可能時間表示は、その特性を理解して使用することにより、活動時間の目安ととして、有効性が高くなる。

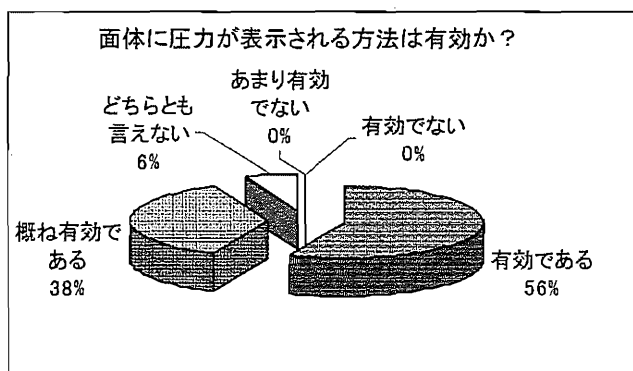


図8 有効性について

今回の試作機のように、面体に圧力等が表示される手法を用いた機器の有効性については、94%の者が、「有効である」または「概ね有効である」と回答した。また、「圧力指示計にのみ依存していた圧力の管理方法に比較し、より安全性が高まる」と自由意見を挙げる者もあり、今回のような方式での圧力表示に関して、その有効性を確認することができた。

## 6 考察・まとめ

今年度試作した、空気残量監視機能付き空気呼吸器の開発にあたり実施した事前実験から、面体の使用時に視線が集中する面体アイピースの部分や、眼球運動に関する資料も得る事が出来た。

特に、「面体アイピースにおける視認に使用する部分の確認実験(実験1)」においては、面体の「中部」・「下部」は、作業中の手元・足元の状況及び装備品の安全確認等にも頻繁に使用する重要な部分であることが明らかになった。しかしながら、この重要な「中部」及び「下部」は、しころを閉めることにより、隠れてしまう部分に該当することから、単に「視野情報」に着目した効率性を考慮した場合、現状は満足できるものとは言えない。このことから、近い将来、「しころ」についても、形状等の見直しを検討することにより、更なる活動能力の向上についても期待ができるであろう。

本題の、空気残量監視機能付き空気呼吸器に対しては、機能面での有効性が確認できた。面体に、表示部分を設ける方策は、アンケート結果でも非常に好評であり、その有効性は顕著に表れた。しかしながらいくつかの改良が必要な点も明らかになり、前述した改良を加え、更に装置の特性を理解した上で使用することにより、空気呼吸器の安全性能を更に高めることが期待できる。

### [参考文献]

- 1) 消防科学研究所報 第26、32号
- 2) 近代消防 2004年11月号