

## 隊員安全管理システムの研究開発（第4報）

野村 敏幸\*, 稲村 武敏\*, 藤田 栄一郎\*

### 概要

隊員安全管理システムの拡張機能として、消防隊員に生じた異常をより早い段階で正確に把握するために、隊員の生命情報の一つである血中酸素飽和度を把握するセンサー及び隊員の異常に関係する空気呼吸器の空気残量を把握するセンサーを本システムに付加する可能性について試作及び実験を実施した。その結果は次のとおりである。

- 1 隊員の生命情報については、反射光型の試作血中酸素飽和度センサーにより、正確な測定が可能であった。同センサーを空気呼吸器の面体に組み込み実験した結果、装着した面体が大きくずれることがない限り、測定が可能であることが分かった。また、測定機器の小型化・軽量化については、消防隊員が携帯するうえで不可欠であり、今後の課題である。
- 2 空気呼吸器の空気残圧センサーについては、東消 300 型空気呼吸器用の圧力センサーを試作した。実験の結果、正確なボンベ残圧を電圧として把握することができた。

### 1 はじめに

隊員安全管理システムは、地下構造物、大規模建築物等の災害において活動する消防隊員の安全管理の徹底及び消防活動の効率化を図ることを目的に、現場指揮本部において、消防活動隊員に関して「どの小隊所属の、誰が、何時から」活動しているかを掌握し、かつ消防隊員に異常が発生した場合に一元的に把握する等、隊員の安全を集中的に管理しようとするものである。

### 2 経過等

#### (1) 全体計画

全体計画を2期に分け、第一期は主に無線によるデータ通信ネットワークシステムの構築を目標とし、第二期は活動隊員の異常検出の機能を充実する研究開発を推進して、センサー精度の向上を図ったシステムを完成することとしている。(図1)

第二期研究開発に取り組んだ理由は、次のとおりである。

ア 第一期研究開発において採用した静止センサーの異常覚知精度が十分ではなく、覚知精度向上の方策として他の方式のセンサーとの複合による判定を計画し、新たな方式のセンサーを開発する必要があったこと

イ 静止センサーは、元来、隊員が動かなくなってから異常判定のプロセスが開始されるものであり、事故

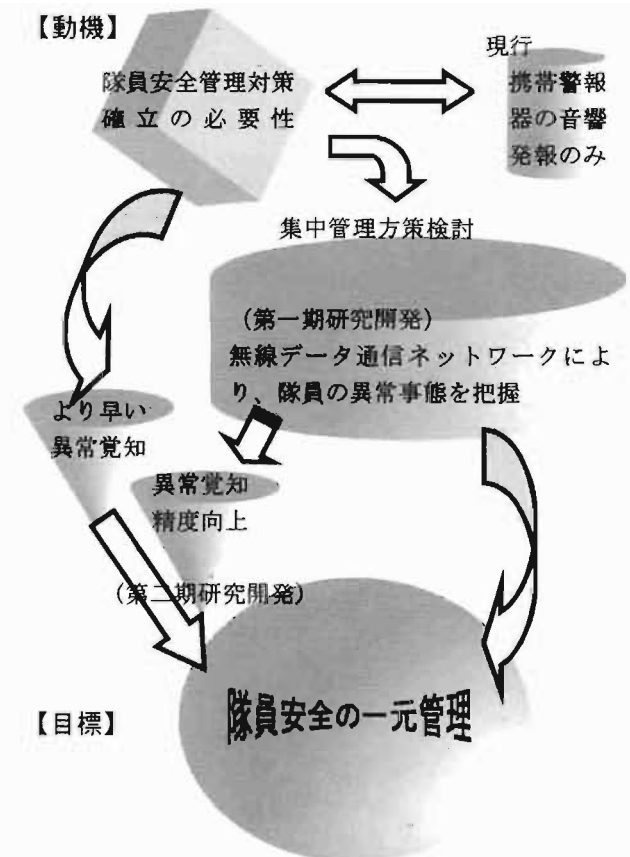


図1 開発ロードマップ

\* 第一研究室

隊員を一刻も早く救出するためには、さらに早い段階での異常感知が望ましいこと

(2) 第一期研究開発（平成8年度～平成10年度）

本システムに必要とされる機能の検討、試作機の製作及び実験局免許の取得（東消共通波 151.75MHz）を経て、当該試作機を使用して超高層ビル、地下街、地下洞道、大規模倉庫等各種対象物において通信実験等を実施し、実用化に向けてのデータの収集、性能の検証を行い、災害現場における無線データ通信ネットワークの構築について完了した。

(3) 第二期研究計画

本システムの拡張機能として、消防隊員に生じた異常をより早い段階で正確に把握することを目的として、研究期間3ヵ年における各年度の研究開発内容は表1のとおりである。

表1 第二期研究計画

平成11年度	隊員の生命情報及び空気呼吸器の残圧を監視するためのセンサーの試作及び実験
平成12年度	高精度動態センサーの試作及び実験 各種演習におけるシステムの機能検証
平成13年度	各種演習におけるシステムの機能検証 実用化に向けた最終仕様の作成

3 試作機の製作及び実験

平成11年度は第二期研究開発の初年度として、隊員の生命情報を監視するための血中酸素飽和度センサー及び空気呼吸器の空気残圧を監視するための圧力センサーについて、以下の4及び5のとおり試作品を製作し、実験により精度等の検証を行った。

4 生命情報を監視するセンサー

測定に適する生命情報について次のように検討した結果、呼吸異常と密接な関係があるとされる血中酸素飽和度を測定項目とするのが適当であると判断した。このことから反射光型プローブを試作し、これを空気呼吸器の面体に組み込み、測定実験を行った。

(1) 監視する生命情報に関する検討・選択

ア 測定に必要な条件

活動隊員に対する測定を実施する上での必要な条件として、次のような条件を設定した。

(7) 非侵襲であること

隊員の身体組織を切り開いたり、注射針を刺したりすることなく測定できるものでなければならない。

(イ) 直接計測できること

隊員の血液や身体組織の一部を採取して別の場所へ搬送するようなことなく、隊員に対して直接測定ができればならない。

(ウ) リアルタイムで測定できること

活動隊員の現在の状況を把握できなくてはならない。

(I) 明確に判断できる測定結果を出せること

見る人によって判断が分かれる測定結果であってはならない。

(ロ) 検出できる事故の種類が多いこと

事故原因を事前に特定できないことから、できるだけ多くの種類の事故に対応できることが望ましい。

イ 生命情報に関する検討

生命情報に関しては医療関係で広く使われている患者モニター方法である血中酸素飽和度、心電図、血圧及び脈拍ならびに脳波について、前(1)の条件を満たすことが可能か否かを調査、検討した。結果は、表2のとおりである。

ウ 検討結果

この結果から、血中酸素飽和度測定(\*1)が条件を満たしていることから、研究開発対象として消防活動時の測定に関して検討を進めることとした。

\*1 血中酸素飽和度測定の原理<sup>2)</sup>

測定装置はプローブと測定器本体で構成され、またプローブは発光部と受光部からなる。測定は次のアからオまでの順に自動的に行われる。

ア 発光部から赤色光（波長 660nm）と赤外光（波長 940nm）を交互（毎秒数百回）に発光させる。

イ 受光部において動脈血と組織を通過した赤色光及び赤外光を受け、光量からそれぞれの吸光度を測定する。

ウ 吸光度の拍動変化を脈波（以下「吸光度脈波」という。）として検出する。

エ 吸光度脈波のピーク値で、赤外光に対する赤色光の振幅比率Rを求める。

$$R = \frac{\beta_{660}}{\beta_{940}}$$

{  $\beta_{660}$  : 赤色光 (660nm) 吸光度脈波の振幅  
 $\beta_{940}$  : 赤外光 (940nm) 吸光度脈波の振幅 }

オ 数秒間のRの平均値を血中酸素飽和度として表示する。

(2) 消防活動時の測定に関する課題

血中酸素飽和度の測定にあたっては、医療用と異なり、消防活動中の隊員に対する測定であり、次の課題を解決する必要がある。

ア きわめて激しい消防活動中に測定が可能であること

イ 測定機器を身体に装着した場合に消防活動への支障が生じないこと

ウ 出場時、現場到着時等に容易にプローブを装着できること

これらのことについては、通常は測定に際し動脈血中

表2 測定項目の検討結果

測定項目		血中酸素飽和度	心電図	血圧、脈拍	脳波
ア	非侵襲であること	○	○	○	○
イ	直接計測できること	○	○	○	○
ウ	リアルタイムで測定できること	○	○	○	○
エ	明確に判断できる測定結果を出せること	○	× 波形読み取りに医学知識と経験を要する。	× 全血液量の25%~40%を失っても、異常が見られない例が多い。 <sup>1)</sup>	× 波形読み取りに医学知識と経験を要する。
オ	検出できる事故の種類が多いこと	○	× 主に心疾患を検出	×	× 主に脳疾患を検出

○：可能

×：現在の技術レベルでは不可能

なお、必要条件オの「検出できる事故の種類が多いこと」については、無酸素症、全血液量の30%程度に達する大量の出血による出血性ショック及び熱傷によるショックが検出できることを条件とした。

に光を透過させる必要があり、プローブを上肢の指先に装着するものであるが、消防隊員の指先にプローブを装着することは現実的ではない。また、指先以外の装着部位としては、出場時の装着を考慮し、皮膚が露出しているか又は容易に露出させることができる部位の中から選定する必要がある。

エ 小型化・軽量化に対応可能であること

### (3) 血中酸素飽和度測定用プローブの試作

前(2)を満たすために、以下のとおり反射光型プローブの試作を行うこととした。

プローブは発光部と受光部からなり、普及しているプローブは発光部と受光部が対向している透過光型プローブに限定されている。<sup>3)</sup>

このため、透過光型プローブの装着部位は光が透過可能な部位に限られ、消防活動中の装着を検討する上で大きな制約である。そこで、皮下組織内で乱反射した光を入射部近傍の皮膚表面において捉える反射光型のプローブを試作し(図2)、実験により測定精度を検証することとした。

試作した反射光型プローブ(以下「試作プローブ」と

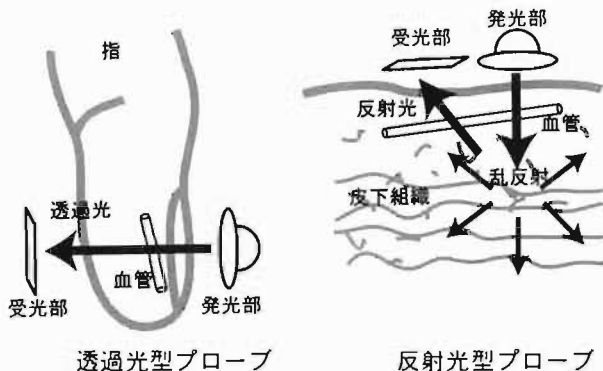


図2 透過光型プローブと反射光型プローブ

いう。)は、市販の透過光型ディスプレイブルプローブ(\*2)の粘着部を取り去って発光部と受光部を並べて固定し、発光部からの光が体内で乱反射され受光部に達するように加工したものである(写真1)。

\*2 米国 Masimo 社製 LNOP.Neo  
(薬事法承認番号 20900BZY00076000)



写真1 試作反射光型プローブ

### (4) 基礎実験

ア 実施日

(7) 平成11年12月13日

(1) 平成12年6月29日~同年7月3日

イ 目的

試作プローブにより身体部位ごとに血中酸素飽和度を測定し、測定精度について判定する。

ウ 方法

(7) 測定する身体部位は、顔、頸部、上肢及び下肢から11箇所を選択した。

(1) 比較のため、透過光型プローブを左手薬指に装着し測定した。(以下、この測定値を「基準値」という。)

(7) 測定は、被験者が可能な限り息を吐き出した直後に開始し、測定時間は80秒間、測定間隔は10秒間とし

た。また、被験者は開始から 40 秒間は息を止め、残りの 40 秒間は呼吸を行った。

(イ) 測定は測定部位 1 箇所につき 10 回行い、被験者 1 名について合計 110 回測定した。

(ウ) 各測定は被験者の脈拍が定常状態になったことを確認後に開始した。

エ 被験者の人数及び年齢構成

当研究室研究員 6 名 (50 歳 1 名、46 歳 1 名、44 歳 1 名、33 歳 1 名、32 歳 2 名)

オ 測定機器

○ 血中酸素飽和度計 2 台

群馬日本電気株式会社製デュラパルス PA2100  
(薬事法承認番号 20900BZZ00142000)

○ 試作プローブ 1 本

○ 透過光型プローブ (基準値測定用) 1 本  
米国 Masimo 社製 LNOP.DC1  
(薬事法承認番号 20900BZY00076000)

カ 判定方法

図 3 のようなフローに従い測定結果を判定した。判定項目(ア)~(ウ)については次のとおりである。

○ 判定項目(ア)：測定継続可能

測定が開始の可否及び測定中のエラー発生の有無について判定する。

○ 判定項目(イ)：明確な変化

基準値の変化と同様の変化が読み取れるか否かについて判定する。

○ 判定項目(ウ)：初期値 95%以上

健康人の血中酸素飽和度は 95%以上とされていることから、測定開始時の値が 95%未満の場合には測定値が不適正であると判断した。ただし、判定項目(ア)及び

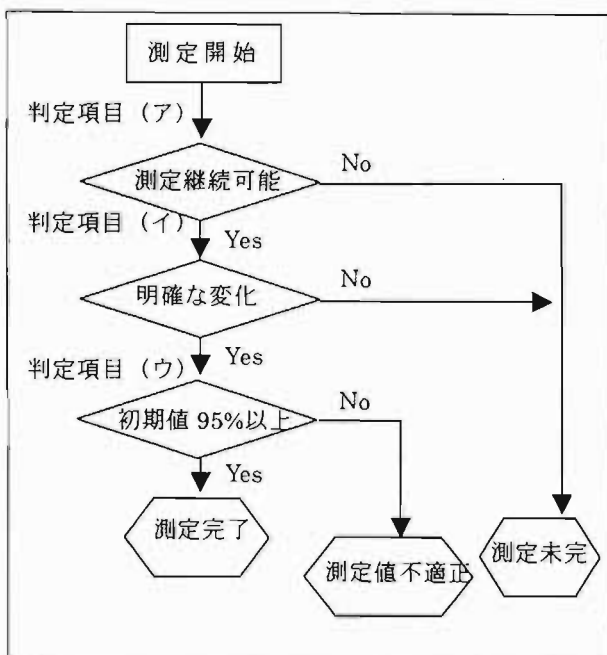


図 3 判定フロー

(イ)が満足すれば、異常覚知の用途としては可能性が残るため、「測定値不適正」という分類にした。

キ 実験結果

表 3 は、判定フローにおける各判定項目で「Yes」に分類された件数を集計したものである。測定完了の件数 (判定項目(ウ)欄の件数) により順位付けを行った。この結果から試作プローブによる測定に最も適している測定部位は、鼻梁を除く顔面、特に頬であることが分かった。

表 3 基礎実験の結果

身体部位	判定項目	被験者						合計	順位		
		①	②	③	④	⑤	⑥				
顔面	額	(ア)	10	10	10	9	10	10	59	4	
		(イ)	3	7	10	8	4	7	39		
		(ウ)	3	7	10	8	4	7	39		
	左頬	(ア)	10	10	10	10	10	10	60	1	
		(イ)	5	7	10	9	8	9	48		
		(ウ)	5	7	10	9	8	9	48		
	左耳腔前	(ア)	10	10	10	10	10	10	56	2	
		(イ)	8	10	8	9	7	4	46		
		(ウ)	8	10	8	9	7	4	46		
	鼻梁	(ア)	0	10	10	10	5	6	41	6	
		(イ)	0	9	9	8	1	1	28		
		(ウ)	0	9	9	8	1	0(1)	27(1)		
	鼻腔上部	(ア)	10	10	8	10	10	10	58	3	
		(イ)	8	10	3	10	5	6	42		
		(ウ)	1(7)	10	3	10	5	6	42(7)		
	頸部	頸動脈部	(ア)	6	1	10	1	10	8	36	5
			(イ)	6	1	7	1	10	6	31	
			(ウ)	6	1	7	1	10	6	31	
咽喉		(ア)	0	10	9	10	10	5	44	7	
		(イ)	0	2	8	3	5	3	21		
		(ウ)	0	2	8	3	5	3	21		
上肢	手首	(ア)	1	5	8	3	8	4	29	10	
		(イ)	0	2	2	2	5	2	13		
		(ウ)	0	1(1)	1(1)	1(1)	3(2)	1(1)	12(6)		
	上腕内側	(ア)	0	0	8	0	9	2	19	9	
		(イ)	0	0	8	0	7	1	16		
		(ウ)	0	0	8	0	7	1	16		
上腕外側	(ア)	1	0	9	0	8	2	20	8		
	(イ)	1	0	9	0	6	2	18			
	(ウ)	1	0	9	0	6	2	18			
下肢	脛脛	(ア)	0	0	10	0	6	1	17	11	
		(イ)	0	0	4	0	6	1	11		
		(ウ)	0	0	3	0	6	1	10		

注 ( ) 内の数値は測定値不適正に分類されたものの件数を示す。

(5) 空気呼吸器面体への試作プローブの組み込み

基礎実験の結果を踏まえ、また、消防活動中の消防隊員が着装する呼吸保護具が顔面皮膚に接触することに着目し、試作プローブを東消 300 型空気呼吸器用 CS300 型面体の左頬に接する位置に組み込み、固定し

た。(写真2)

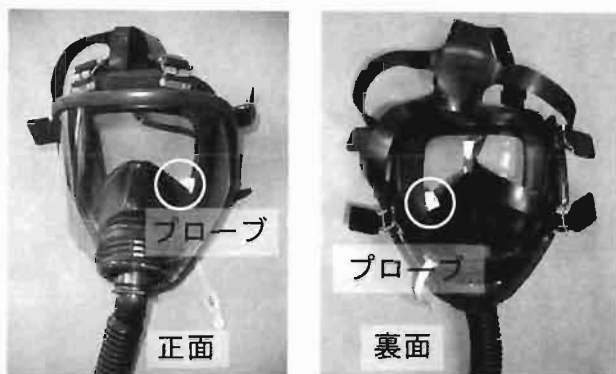


写真2 呼吸器面体に組み込んだ試作プローブ

(6) 本実験（面体組み込み試作プローブの性能試験）

ア 実施日

(7) 平成12年2月1日

(イ) 平成12年6月29日～同年7月3日

イ 目的

呼吸器面体に組み込んだ試作プローブにより測定した血中酸素飽和度の精度を把握する。

ウ 方法

(7) 試作プローブを組み込んだ空気呼吸器面体を被験者が装着し測定する。また同時に市販の透過光型プローブを左手薬指に装着して基準値を測定する。

(イ) 測定は前(4)、ウ、(ウ)と同様とする。

(ウ) 被験者の姿勢・動作及びそれぞれの姿勢・動作での測定回数は表4のとおりとする。

表4 被験者の姿勢・動作と測定回数

姿勢・動作	1名あたりの測定回数(6名合計)
1 着席して静止状態を継続する。	5 (30)
2 直立して頭部を前後左右に振る。	4 (24)
3 直立して頭部を振る動作に加え、被験者が手で面体を上下左右にずらす操作を行う。	1 (6)

(注) 姿勢・動作の2及び3は、消防活動中の体動及び活動中に受ける衝撃により面体がずれることを想定したものである。

エ 被験者

前(4)、エに同じ。

オ 測定機器

試作プローブをCS300型空気呼吸器面体に組み込んだ他は前(4)、オと同様である。

カ 実験結果

(7) 前(4)の基礎実験と同様の判定を行い、集計した結果を表5に示す。

表5 本実験の結果

姿勢動作	判定項目	被験者						結果
		①	②	③	④	⑤	⑥	
1 静止	(7)	5	5	5	5	5	5	6名全て可
	(イ)	5	5	5	5	5	5	
	(ウ)	5	5	5	5	5	5	
2 頭部を振る	(7)	4	4	4	4	4	4	6名全て可
	(イ)	4	4	4	4	4	4	
	(ウ)	4	4	4	4	4	4	
3 面体をずらす	(7)	0	1	0	0	0	1	可2名 不可4名
	(イ)	0	1	0	0	0	1	
	(ウ)	0	1	0	0	0	1	

(注) 面体をずらす動作において、「不可4名」のうち2名は、エラー発生後に短時間で回復し測定を再開できたが、集計では加えていない。

(イ) 測定したデータ(10秒間隔)については、被験者ごとの分布、平均値及び標準偏差を図4(試作プローブ測定値に関するもの)及び図5(基準値に関するもの)に掲げる。

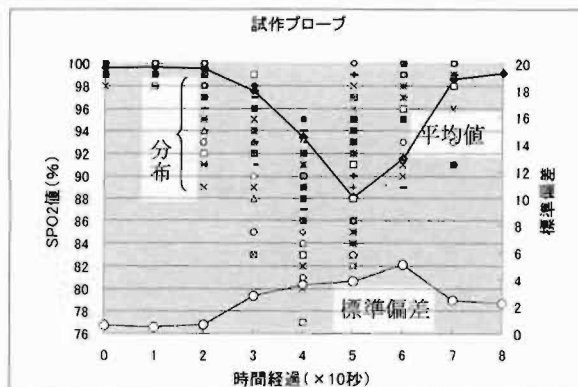


図4 試作プローブ実験結果集計グラフ(分布、平均値、標準偏差)

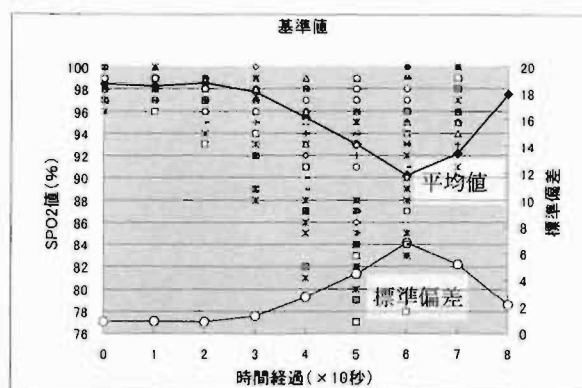


図5 基準値集計グラフ(分布、平均値、標準偏差)

(ウ) 全ての被験者について、静止状態及び頭部を振る動作状態いずれも試作プローブにより血中酸素飽和度の低下を明瞭に把握できた。しかし、装着した面体の位置

を測定中に故意にずらすと、測定エラーが発生する場合が多かった。

(1) 被験者が椅子に着席して静止した状態で測定した場合と直立して頭部を振りながら測定した場合は、測定値に顕著な差異はなかった。

(2) 測定開始時においては、基準値より試作プローブによる値のほうがやや大きい場合が多かった。ただし、その差は3ポイント以下であった。

(3) 呼吸停止に伴う血中酸素飽和度最小値は、基準値より試作プローブのほうが早い時点で現れた。(図6)

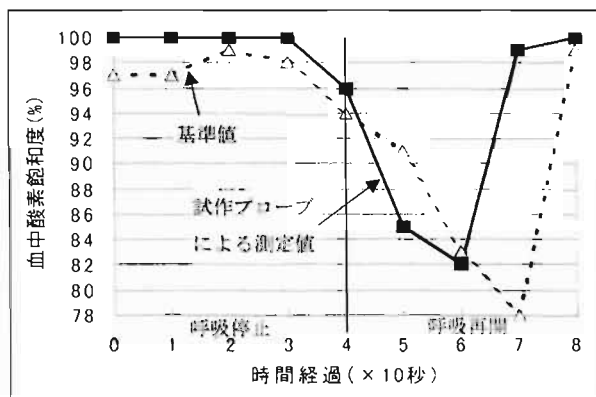


図6 血中酸素飽和度測定値の例  
(静止状態での測定例)

最小値出現までの時間の差は10秒前後と思われるが、測定間隔が10秒であるため明確ではない。

キ 考察

(7) 試作プローブを空気呼吸器面体に組み込むことにより、血中酸素飽和度の低下を明瞭に把握できることが分かった。

測定値の精度については、基準値と比較し、脈拍が定常状態においては3ポイント以内、呼吸を停止し血中酸素飽和度が変化している場合には、さらに大きな差は生じた。しかし、測定値の変化は明瞭であり、この測定誤差により血中酸素飽和度の低下状況を把握することが困難になることはないと判断される。

(1) 測定値変化の出現が早いので、隊員の異常検知には適している。

血中酸素飽和度を指先で測定するより頬で測定する場合のほうが10秒程度早い時点で変化が現れることが分かった。この原因はわからないが、耳たぶの血中酸素飽和度低下は指先の血中酸素飽和度低下に比べて約4.4秒早いことが知られている<sup>2)</sup>。今回の実験で把握した頬での測定における早い時点での変化出現は、隊員の異常検知手段としては、指先での測定に比較し、より適していると考えられる。

(2) 着装した面体が大きくずれると測定が継続できないおそれがある。

被験者自身が全力で頭部を振る程度では確実な測定が可能であった。しかし、測定中に故意に面体をずらしたことが原因で測定エラーになる場合があった。

(7) その他

今回、試作プローブで検出したデータは、血中酸素飽和度計により処理を行った。消防現場における測定は、プローブの制御及び測定データの演算処理を行う電子回路部分を小型、軽量化し、消防隊員が携帯できるようになれば可能になる。小型化・軽量化、高い測定精度の維持については、関連技術の発展を視野に入れながら、今後の課題としていきたい。

## 5 空気呼吸器ボンベ残圧を監視するセンサー

圧力を電気的なデータとして出力できる圧力計について市販品を調査した結果、空気呼吸器用として30MPa(≒306kg/cm<sup>2</sup>)まで測定可能なものがなかったため、一般工業用途として製品化されている圧力センサーユニットを応用し、空気呼吸器に取り付けられる圧力センサーを製作した。

また、圧力センサーの測定値を実験中にリアルタイムで読み取る必要があるため、圧力センサーから出力される電圧値をデジタル変換し表示する装置(以下「表示部」という。)を製作した。なお、表示部は圧力センサー単体の実験・検証のために製作するものであって、本システムの機能として必要なものではない。

(1) 圧力センサー取付位置の検討

空気呼吸器については、高压空気はそく止弁の二次側約10cmの位置で分岐し、そこから一方は中圧(約0.7Mpa)へ減圧され、さらに圧力調整器を経て低压となり面体へ導かれる。他の一方は高压のまま圧力ゲージへと導かれている。(図7)

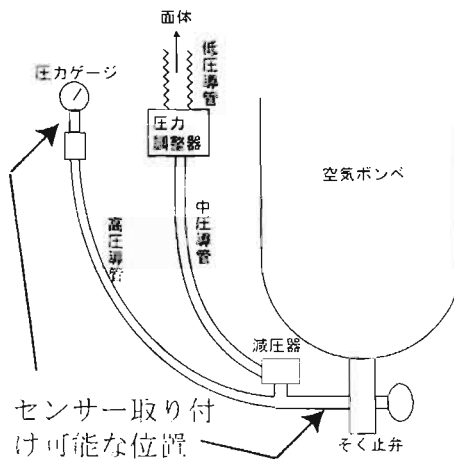


図7 空気呼吸器配管系統図

空気ボンベの圧力を計測するには、高压空気の経路に圧力センサーを取り付ける必要があり、現用の呼吸器については、そく止弁の直近又は圧力ゲージ周辺に限定さ

れる。

取付位置について検討した結果を表7に示す。

表7 圧力センサー取付位置の検討結果

取付位置	検討結果
そく止弁直近	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 空気ポンペに堅固に固定できる。</li> <li>○ そく止弁から圧力ゲージまでの管長が短いため、呼吸に伴う圧力変動が最小限で済む。</li> <li>○ 本システム端末機（腰ベルトへ装着）との配線の処理が容易である。</li> </ul>
圧力ゲージ周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 胸の位置に装着する圧力ゲージの重量に圧力センサーの重量が加わり、機器取り扱い上の負担が増加する。</li> <li>○ 高圧空気が分岐される位置の圧力を測定することになり、呼吸に伴う圧力変動が懸念される。</li> <li>○ 圧力センサーが胸の位置となるので本システム端末機（腰ベルトへ装着）との配線処理の困難性が高い。</li> </ul>

（注）端末機とは、本システム機器のうち消防隊員が携帯するものであり、圧力センサーの電圧信号等隊員の安全管理に必要なデータを、指揮本部の監視装置へ向けて電波により送信する機器である。

この結果から、圧力センサーの取付位置についてはポンペそく止弁直近を選択することとした。

(2) 圧力センサーの試作と実験

試作機は各々写真3及び4のとおりであり、空気呼吸器に取り付けた状況を写真5に示す。試作圧力センサー



写真3 試作圧力センサー 写真4 試作表示部

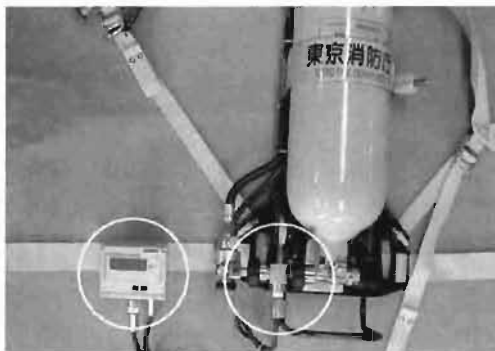


写真5 空気呼吸器に組み込んだ試作表示部と試作圧力センサー

は、ダイヤフラムの変位を歪ゲージで測定し、電圧変化で出力するものであり（図8）、高圧空気の圧力を測定し電圧信号として出力する。試作圧力センサーの重量は0.4kgである。表示部は試作圧力センサーの電圧信号を受け、デジタル表示する。

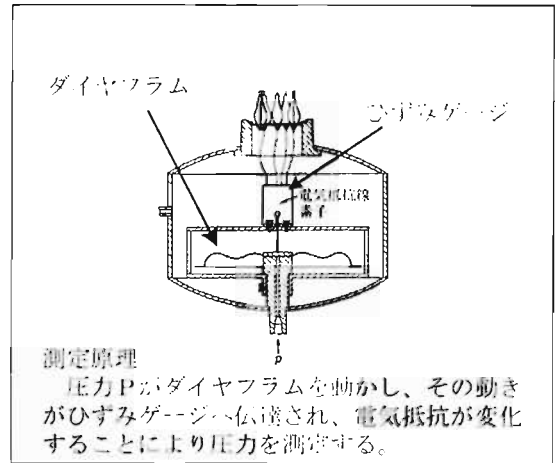


図8 圧力センサーの構造<sup>1)</sup>

なお、圧力センサー製作にあたりセンサーユニットは次のものを使用した。

長野計器株式会社製 KH-17型 レンジ0～35MPa

(3) 実験

ア 実験実施日及び場所

(7) 平成11年12月20日 当庁第二消防方面訓練場

(イ) 平成12年2月11日 消防科学研究所実験室

イ 方法

前ア、(7)及び(イ)共に、試作圧力センサーを取り付けた空気呼吸器を着装して、ポンペが満充填の状態から約30分間使用し、随時、表示部の値と空気呼吸器の圧力ゲージの値を読み取り、測定誤差を把握する。また、前ア、(イ)においては試作圧力センサーからの出力電圧をA-D変換器を通じてパソコンで収録し、その出力電圧値から計算で求めた圧力値と表示部に表示された値の比較を行い、表示部の精度を確認する。

ウ 使用資機材

東消300型空気呼吸器 1台

試作圧力センサー及び試作表示部 各1台

（以下は、実験室における実験で使用）

A-D変換器 共和電業株式会社製 PCA-12A 1台

パソコン 1台

エ 実験結果

(7) 空気呼吸器付属の圧力ゲージ読み取り値、試作圧力センサーを用いて表示部に表示させた値及び試作センサーから出力される電圧値から計算で求めた圧力の値は常に一致し、呼吸に伴う変動は生じなかった。

(イ) 空気呼吸器を使用しながら、試作圧力センサーから出力された電圧値をプロットしたグラフを図9に掲げ



る。この電圧値から計算した圧力値(\*3)と、ゲージ圧及び表示部の値は常に一致し、試作圧力センサーにより正確な圧力を測定できることが分かった。

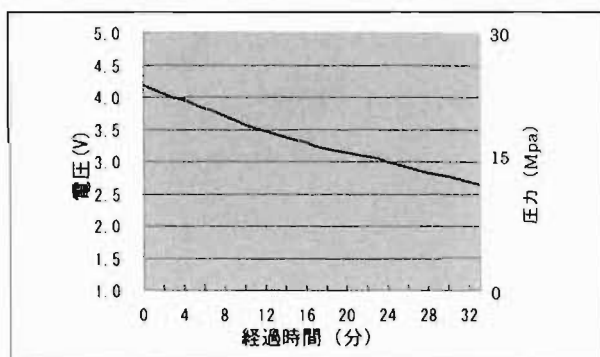


図9 時間の経過と出力電圧・圧力

\* 3 圧力計算式

電圧出力から圧力を計算するために、センサーユニットの次の特性から計算式を求めた。

- (7) 圧力 30MPa で出力電圧 5V
- (f) 圧力 0MPa で出力電圧 1V
- (ウ) 圧力変化と出力電圧変化は比例する。

従って圧力 P (MPa) と出力電圧  $V_{out}$  (V) の関係は次の式であらわされる。

$$P = 30 / (5 - 1) * V_{out} = 30 / 4 * (V_{out} - 1)$$

$\left[ \begin{array}{l} P : \text{圧力(MPa)} \\ V_{out} : \text{出力電圧の変化分} \\ V_{out} : \text{出力電圧} \end{array} \right]$
--

(4) 考察

空気呼吸器ポンプの残圧情報を監視するための圧力センサーについては、本システムの拡張機能として採用することが十分に可能であることが明らかとなった。このことから、圧力センサーからの電圧データを指揮本部の監視装置に伝送するための仕様を今後取りまとめる必要がある。

6 その他のセンサーに関する検討

(1) 高精度動態センサー

現行の静止センサーの異常検知精度の向上については、関連技術の調査・検討を行った結果、早期実用化が可能であることが判明したことから、高精度動態センサーの開発を行うこととしている。

(2) 隊員の位置を監視するセンサー

ア GPS

屋内の活動では GPS が利用できない。

GPS は人工衛星からの電波を受信して現在地を算出する。人工衛星からの電波は建物内では受信することができない。従って、本システムの主要な用途である大規

模かつ複雑な建築物や地下施設等の災害では、GPS を利用できる見込みがない。

イ ジャイロと加速度センサーの組み合わせ

測定誤差が使用中に増大を続け、測定値の信頼性が低下してしまう。また、小型化・軽量化に対応できない。

この方法は原理的には可能であるが、現在の技術では使用時間中常に測定誤差が累積され続け、活動開始からしばらくの間は正確な測定ができて時間経過に伴い位置情報の正確性が失われてしまう。

ウ PHS による位置の特定

位置情報の精度が不十分である。

PHS 端末がどの基地局のサービスエリア内に存在するかというレベルでの位置把握は可能であるが、基地局が特定されたとしてもそのサービスエリアの広さは基地局から半径 100m 以上もあって災害現場を一つのサービスエリアがカバーしてしまう場合が多く、本システムの位置情報としては精度が十分ではない。

エ 建築物の設備の活用

自動火災報知設備の警戒区域別配線の利用など、建築物に既に設けられている設備を利用するアイデアはあるが、実際に応用可能な技術は開発されていない。

(3) 隊員の活動環境を監視するセンサー

ア 隊員周囲の温度測定については、高温状態が一定時間継続すると警報を発する携帯警報器も実用化されており、技術的な困難性はない。

イ 有毒ガス・可燃性ガス等の濃度測定については、検出対象ガスの種類を絞り込んだとしても酸素濃度、一酸化炭素濃度、石油系可燃蒸気濃度等複数に対応できる必要がある。また、半導体ガスセンサーは小型化・軽量化に関して極めて有利であるが、耐水性が低いために放水飛沫の中での使用は困難と考えられ、また、ポンプによるガスの吸引を必要とする場合も多く、機器の小型化に限界があることから、本システムの端末機の一部として取り込むことは難しい。

[参考文献]

- 1) 児玉俊夫ほか1名：災害外科の理論と実際、p46、金原出版株式会社、1969年
- 2) 丸川征四郎：救急医学 Vol.23、No.2、p126-132、へるす出版、1999年
- 3) 諏訪邦夫：Clinical Engineering Vol.7、No.2、p115、1996年
- 4) 工業技術院計量研究所計量技術ハンドブック編集委員会：改訂 計量技術ハンドブック、株式会社コロナ社、1955年



# STUDIES OF THE SAFETY MANAGEMENT SYSTEM FOR FIREFIGHTERS (Series 4)

Toshiyuki NOMURA\*, Taketoshi INAMURA\*, Eiichiro FUJITA\*

## Abstract

This study aims at early detection of unusual signs of firefighters on scene using extended functions of the Safety Management System for Firefighters.

In this study we made two kinds of sensor prototypes and tested them to grasp their performance.

One was to measure oxygen saturation in blood, and the other was to gauge the air remains in the SCBA cylinder.

We also studied the techniques to identify the location of firefighters and their environment.

1 The catoptric light-type probe to measure the oxygen saturation in blood was effective under certain conditions. However, it is uncertain whether or not the probe continues to be effective during a firefighter's violent activities on fire scene. As for its size, it is difficult for the current technology to make small and light-weight device which a firefighter can wear.

2 We made the pressure sensor prototype for the TFD-300-type SCBA air cylinder and tested it. We could measure the correct amount of air remains in terms of voltage.

---

\*First Laboratory