

陽圧式空気呼吸器の性能について

Study on the Performance of Pressure Demand Air-Breathing Apparatuses

国 本 由 人 *
 辻 英 機 *
 高 橋 裕 *

Recently, pressure demand air-breathing apparatuses have been developed and are used in surroundings contaminated by radioactive substances where complete fitness of mask to face is required.

This report describes the performance of pressure demand air-breathing apparatus in comparison with those of demand air-breathing apparatus based on JIS.

1. はじめに

現在、東京消防庁で採用している空気呼吸器は、日本工業規格（以下「JIS」という。）JIST-8115でその性能が規定されており、構造及び機能上から「自給式、開放式、圧縮空気肺力式」と分類されている。

この空気呼吸器は最高充てん圧力150kg/cm²で4ℓ及び8ℓのポンペを使用しており、8ℓの場合呼吸器の総重量は約14kg、使用時間は毎分40ℓの消費量で約30分である。

一方、最近陽圧式空気呼吸器が開発され、面体の密着性が厳しく要求される放射性物質汚染環境等で使用されている。

そこで、陽圧式空気呼吸器の一機種について、JIST-8115に基づきその性能試験を実施したので結果を報告する。ただし、この試験の実施時には陽圧式呼吸器に対するJISが存在しなかったので、従来の呼吸器に対するJISの試験方法を適用した。また、試験は東消5型空気呼吸器との対比で実施した。

2. 試験に供した陽圧式呼吸器の特徴

陽圧式とは、肺力弁から常時吹き出す空気により、面体内が正圧になっている機構をいう。その構造、形式は機種によって異なるが、本試験で実施した陽圧式空気呼吸器は次の特徴がある。以下、

本試験の対象とした呼吸器を「A社製」と略称する。

- (1) 東消型空気呼吸器は減圧器と肺力弁が一体となっているが、A社製は一次減圧器（270kg/cm²を5kg/cm²に減圧）がポンペに直結しており、二次減圧器（5kg/cm²を1kg/cm²に減圧）と肺力弁が面体に取付けられている。
- (2) 陽圧式と肺力式の手動切替が可能であり、また吸引により自動的に肺力式から陽圧式への変換も可能である。
- (3) 面体の二次減圧器に接続している中圧導管は細くフレキシブルなため面体の移動が容易である。
- (4) 水中でも使用でき、水深30mまで潜水可能である。また、潜水用のマウスピースを使用すれば、水深60m以上潜水可能である。

次に、東消5型空気呼吸器とA社製の諸元の比較を表1に示す。

表1 東消5型とA社製の比較

	諸元	東消5型	A社製
面体	型式	肺力式	陽圧式
	重量	0.8kg	0.7kg
調整器	導管	高圧・中圧導管	中圧導管
	重量	1.8kg	1.1kg
ポンペ	最高てん圧力	150kg/cm ²	270kg/cm ²
	材質	クロムモリブデン鋼	クロムモリブデン鋼
	重量	9kg(8ℓ)	10kg(8ℓ)
背負板	材質	鋼板	プラスチック
	重量	2kg	2.3kg
	総重量	13.6kg	14.1kg

3. 試験及び結果

試験はJIST-8115で定める次の六項目である。

- (1) 面体の視野試験
- (2) 気密試験
- (3) 肺力弁の作動気密試験
- (4) 呼気弁の作動気密試験
- (5) 通気抵抗試験
- (6) 警報器作動試験

(1) 面体の視野試験

(ア) 試験方法

図1に示す標準人頭に面体を装着し、標準人頭の眼球の位置に携帯電燈用電球に使用するフィラメントを置き図2に示すように、半球投影面に対する投影によって、上下左右の角度を測定する。

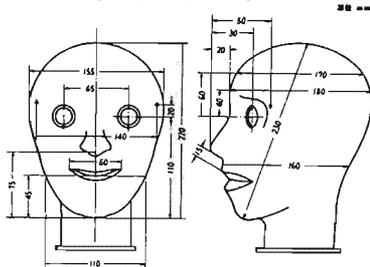


図1 標準人頭

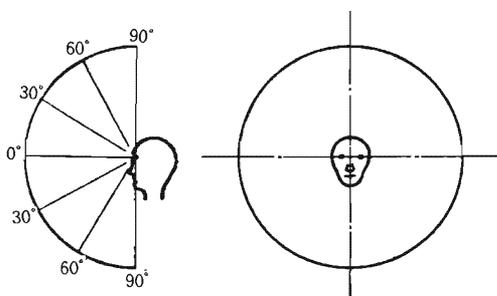


図2 半球投影面

(イ) 試験結果

東消5型とA社製の面体の視野を表2及び図3で示す。

この試験結果から、A社製面体は東消5型の面体に比べ左右に約15度視野が広い。

表2 視野範囲

	上方	下方	右方	左方
A社製	45度	42	95	95
東消5型	45度	43	80	80

図3 視野図

次にアイピースの縦方向及び横方向の長さを表3に示す。

表3 アイピースの測定値

	東消5型	A社製
横最大値	20.0cm	21.5cm
縦最大値	11.3cm	10.0cm
面積	189.5cm ²	216.5cm ²

(2) 気密試験

気密試験は、高圧部（高圧空気容器、そく止弁、減圧弁、圧力指示計、及び各高圧連結部）並びに面体について実施した。

(ア) 試験方法

○ 高圧部

試験圧力を130kg/cm²とし、空気ポンペよりそく止弁を開放し、高圧部からの漏気を圧力指示計で1時間観察する。

○ 中圧部

高圧部に130kg/cm²、及び30kg/cm²の圧力を加え、中圧部からの漏気を圧力指示計で1時間観察する。

○ 面体

吸気管側をゴム栓でふさぎ面体を標準人頭に装着する。人頭内部よりアンモニア含有空気を60mmH₂Oの圧力で送気し、面体全面にフェノールフタレインアルコール溶液を含浸したガーゼで包み、変色により漏気箇所を調べる。

(イ) 試験結果

○ 高圧部・中圧部

東消5型、A社製ともに漏気は認められない。

○ 面体

東消5型は漏気は認められず、送気圧力を1.5倍の90mmH₂Oにしても漏れは認められなかった。

A社製の面体は、標準人頭のこめかみの両側より大量の漏気があった。(写真参照)しかし、人が着装した時は漏気が認められなかった。

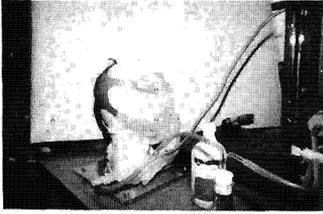


写真 面体からの漏気状況(A社製)

(3) 肺力弁作動試験

(ア) 試験方法

減圧弁130kg/cm²及び30kg/cm²の空気を送気し、肺力弁の出口側から30ℓ/minの吸気量で吸引したときの作動圧力をマノメータで測定する。

なお、A社製の呼吸器はその構造上、肺力弁作動試験を実施することができないので、メーカーの性能データを用いた。

(イ) 試験結果

JISによれば、30ℓ/minの吸気に対しては18mmH₂O以下の作動圧力でなければならないが、東消5型は14mmH₂O、A社製は16mmH₂Oで、ともに規定に適合している。(図4及び図5参照)

ここで、陽圧式の肺力弁について説明する。東消5型の肺力弁は図5に示すように、減圧弁側にある弁式で、吸気管側が吸気により減圧され、ダイヤフラムが裏面側に移動し肺力弁レバーを押し下げ、肺力弁部分に隙間が生じ、減圧された空気が吸気管側に供給される。

肺力弁の作動圧力は、ダイヤフラムの弾性力と肺力弁に取り付けられているバネの力及び二次減圧弁を閉じる状態へ働く力の総和である。そこで、肺力弁を閉る方向に働く力に打ち勝つために、ダイヤフラムを大きくし、肺力弁レバーがこの原理で肺力弁を動かすようになってきている。

一方、陽圧式であるA社製の肺力弁は、図6に示すように、肺力弁から吹き出す空気により、呼気弁と一体となったダイヤフラムが

作動し面体内に適正な陽圧がつけられる。また、肺力弁とダイヤフラムは面体をとおして圧力調整が行われており、ダイヤフラムの移動位置より肺力弁に対してレバーが圧力調整をしている。

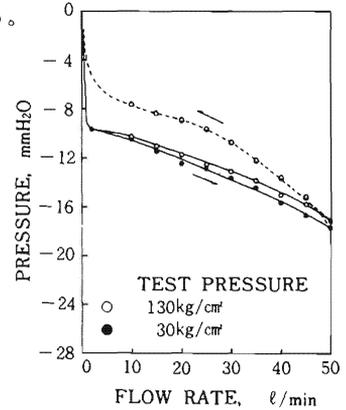


図4 肺力弁の作動圧(東消5型)

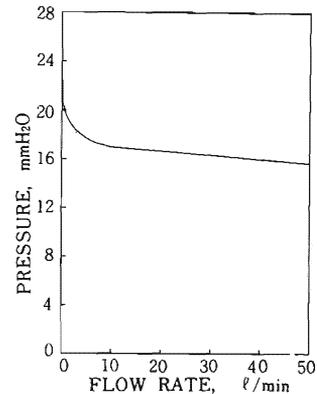


図5 肺力弁の作動圧(A社製)

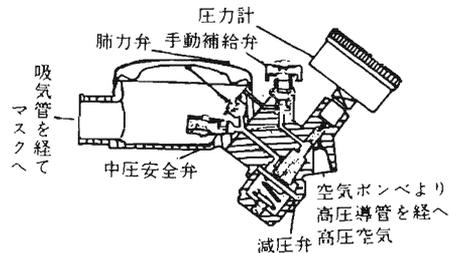


図6 圧力調整器(東消5型)

(4) 呼気弁の作動気密試験

(ア) 試験方法

吸気弁をその弁の取付けられている弁型に装着し、面体側に50mlの容器を取付ける。そして、この容器内圧力を測定するパイプと吸気用のパイプを取付け吸引によって内

部圧力を $-100\text{mmH}_2\text{O}$ とし、 $-90\text{mmH}_2\text{O}$ となる時間を測定する。

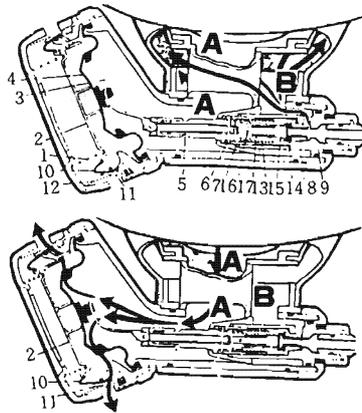


図7 肺力弁(A社製)

(イ) 試験結果

試験結果を表4に示す。東消5型に取付けられている呼気弁は、昭和53年までは天然ゴムであったが、それ以後はシリコンゴムに変更されつつある。

表4 気密保持時間

		測定値(秒)		
		最大	最小	平均
東消 5型	天然ゴム	36.5	15.1	21.0
	シリコンゴム	50.2	45.6	48.7
A社	シリコンゴム 呼気弁のみ	1.7	1.1	1.6
	シリコンゴム ダイヤフラムを含む	2.1	1.1	1.9

なお、この表において最大とは、呼気弁の表面をエタノールで洗浄し乾燥後測定したもので、呼気弁の気密性が最も良好な場合であり、最小とは、このような処置を施さない場合の測定値である。

JISによれば、この気密時間は15秒以上でなければならないが、東消5型は天然ゴム、シリコンゴムのいずれもJISに適合している。特に、シリコンゴムの気密性が優れている。

A社製の場合は、本来の使用状態では呼気弁が外部よりばねで押されている。

表4において、「呼気弁のみ」とはばねを付けない状態における気密保持時間であり、

「ダイヤフラムを含む」とは、ばねを付けた本来の使用状態における気密保持時間である。A社製はいずれにしても気密保持時間は短い、実際の使用時には面体内が外気に対し正圧であるため、外気の浸入を十分に防いでいる。

以上述べてきた呼気弁の諸元を表5に示す。

表5 呼気弁の諸元

項目	天然ゴム	シリコンゴム	A社 (呼気弁のみ)	A社 (ダイヤフラム含む)
重量	0.717g	1.15g	0.678g	3.774g
直径	35.0mm	35.0mm	42.2mm	64.1mm
弁の厚み	0.50mm	0.51mm	0.29mm	0.63mm
固定用足の長さ	31.5mm	30.7mm	5.5mm	21.3mm
材質	天然ゴム	シリコンゴム	シリコンゴム	ABS樹脂
弁型の材質	アルミダイキャスト クロムメッキ	アルミダイキャスト クロムメッキ	ABS樹脂	ABS樹脂 天然ゴム受

(5) 通気抵抗試験

○ 呼気弁の通気抵抗試験

(ア) 試験方法

呼気弁を気密試験器の弁型に装着し、カバーを取付け空気を 30 l/min 及び 85 l/min の流量で通し、呼気弁の内外の圧力差をマノメータ(水柱)で測定する。

(イ) 試験結果

JISによれば、呼気弁の通気抵抗は 30 l/min の通気に対しては $6\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下、 85 l/min の通気に対しては $25\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下でなければならない。

試験結果を図8に示す。

この試験結果から、東消5型(生ゴム、シリコンゴム)及びA社製のいずれもJISの規定に適合している。

東消5型は流量 50 l/min までは通気抵抗が直線的に増加しているのに対し、A社製の呼気弁は 28 l/min を境に流量が増加しても通気抵抗が一定となっている。これは、A社製の呼気弁の径が大きいため、流れる気体の風圧により完全に変形し、通路ができたためである。

次に、JISの通気抵抗試験には定められてはいないが、呼気弁の取付け角度(送気

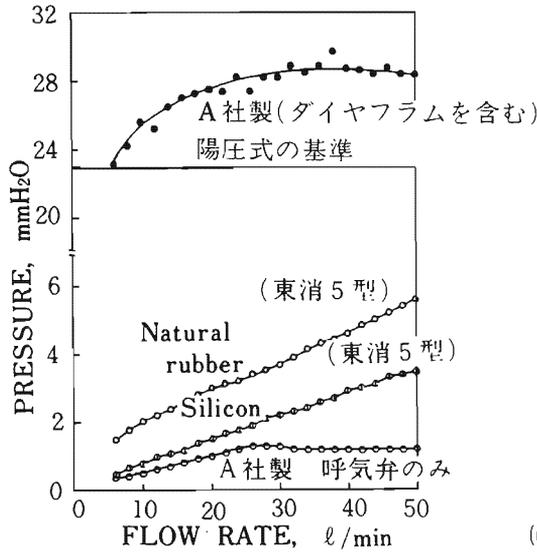


図8 肺力弁の通気抵抗

した空気の吹き出し方向が水平である場合を 0° 、上向きを 90° 、下向きを 270° とする。)による通気抵抗の変化を測定した。(図9参照) その結果、生ゴムはシリコンゴムよりも通気抵抗が大きく、また、自重の影響を受けない 270° が最も少く、続いて 0° 、 90° の順であった。ただし、シリコンゴムは 0° と 270° がほぼ同じであるので、下向でも弁の型状を保つ剛性がある。

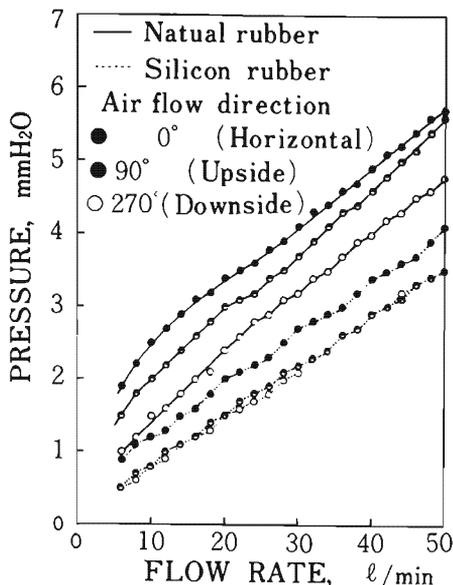


図9 呼吸弁の取付け角度による通気抵抗

○吸気管の通気抵抗試験

(ア) 試験方法

吸気管の通気抵抗試験は、内部に 30 l/min の流量で通気し、吸気管内外の圧力差をマノメータで測定する。

(イ) 試験結果

JISの規準は、 30 l/min の通気に対して直通の場合 $1\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下であって、 180° 屈曲した場合は $3\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下である。

東消5型では、直通の場合 $0.1\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下であり、 180° 屈曲した場合でも $0.1\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下であった。

A社製は面体に二次減圧器が取付けられているため吸気管は存在しない。

(6) 警報器の作動試験

(ア) 試験方法

高压部に 50 kg/cm^2 以上の空気を加え、肺力弁またはバイパス弁を作動させて高压空気を減小し、警報開始時の圧力を測定する。

(イ) 試験方法

JISでは、高压空気圧力が 30 kg/cm^2 に低下したとき警報器が作動を開始するものとしている。

東消5型は 30 kg/cm^2 に低下したとき、警報器が作動した。

A社製の警報器はホイッスル形式で、一次残圧(ポンペ圧力)が 54 kg/cm^2 に低下すると作動した。

4. 結 論

試験結果からA社製の陽圧式空気呼吸器の特徴をまとめると次のとおりである。

- (1) 一次減圧器と肺力弁が分離し、それぞれ小型軽量化されている。しかし、警報器が胸元にあるため、一次圧力を警報器に導く高压導管と、中圧導管が胸元に配管され動作が不便となる。
- (2) 面体は横方向に視野が広く、また、面体の視野外に中圧導管及び肺力弁が取付けられているため下方が見易い。
- (3) 低压部がプラスチックで作られているため軽量である。
- (4) 面体の気密試験では標準人頭からの漏れが

あったが、実際の装着時では気密性が十分であった。

- (5) 呼気時では肺弁が閉じる機構になっている。
- (6) 呼気弁の気密保持時間がきわめて短い、面体内が常時正圧であるため、それをカバーしている。
- (7) 呼気弁の通気抵抗は流量に関係なくほぼ一定である。
- (8) 警報器の作動圧力はJISの規準より高い。

5. 考 察

陽圧式空気呼吸器のJIS規格はなく、比較試験に対しては測定上困難を感じた面があった。呼気弁の気密試験では東消5型が群をぬいて良好であった。一方、A社製の呼気弁の気密性が劣るが、陽圧機構がそれを補なっているといえる。

6. おわりに

この報告書はJISに基づき東消5型とA社製の空気呼吸器の比較試験を行ったものであるが、今後は各種の陽圧式呼吸器の試験を実施し、さらにJIS以外の警報器の音量、空気消費量及び呼気抵抗に影響をおよぼす面体内の圧力等について試験していきたい。