

高濃度の煙が呼吸器におよぼす影響について

Effect of Thick Smoke on Self-Contained Breathing Apparatus

國 本 由 人*
 武 田 松 男*
 篠 塚 孝 夫**
 大神田 郁 夫*

概 要

災害現場で活動する消防隊員が、遭遇する種々の煙が呼吸器の各部分におよぼす影響を把握するため、木材・ポリエチレン・塩化ビニール、ナイロン及び合成ゴムを燃焼させて発生させた煙（最大C_s20以上）による暴露試験を実施した。

試験は、新品及び加熱空気により平常時の約5年の老化に相当する老化処理を施した試験体を使用し、暴露時間は、2時間及び5時間とした。

その結果、呼気弁で最大約20%、面体締めひもで約10%、ダイヤフラムで約6%の引張強度の低下が認められた。しかし、アイピースには何の変化も認められなかった。

When Firefighters meet with various smoke on during a fire, the apparatus is met with various kinds of smoke e.g.wood, polyethylene, polyvinylchloride, nylon, synthetic rubber.

A test has been done on how the various kinds of smoke affects the apparatus.

Exposure tests used new pieces and aged pieces by hot air-pressure.

The test also included a period of 2 and 5 hours.

We have concluded during the test that the exhalation valves degrade by 20%. The strap of the head harness by 10% and the diaphragm by 6%.The visor of the facepiece was not affected in any way.

1 はじめに

消防隊員は、災害現場活動中に種々の煙、薬品、油脂及び有害ガスに遭遇する危険があり、このような環境下における消防活動では、重要な保安器具である呼吸保護具の使用は不可欠である。

しかし、そのような環境下で長時間呼吸器を使用した場合、上記化学物質が呼吸器の各部分（面体、弁、ダイヤフラム等）にどのような影響をおよぼすか未解明の部分が多い。そのため、安全対策上その影響の把握が必要とされ、昭和62年度から、薬品、油脂類及び有毒ガスによる呼吸器各部の劣化試験を実施してきたところであるが、今回各種の燃焼物の煙による劣化試験を実施したのでその結果を報告する。

2 試験方法

(1) 試験体

煙暴露試験に用いた試験体を表1に示した。

表1 試験体の品名、材質、形状

品 名	材 質	形 状
K-3面体頭ひも	ゴ ム	日本工業規格(JIS) K-6301(1975)によるダンベル3号形 ⁽¹⁾ とした。
ダイヤフラム用天然ゴム		
呼気弁用シリコンゴム		
アイピース(K-3面体用)	ポリカーボネート	製品
アイピース(KC D面体用)		

(注) 試験体の厚みは、JISでは2.5mmであるが面体頭ひもを製品の締めひも(厚さ2.0mm)より採取したので、全て頭ひもの厚さに合わせて2.0mmとした。

*第一研究室 **江戸川消防署

なお、ダイヤフラム用天然ゴム、呼吸弁用シリコンゴムは、部品と同一材質のゴムシートから打ち抜いた。

(2) 試験装置

煙暴露試験に使用した装置の概要を図1に示した。試験装置は、ALC板（厚さ37mm）製で、発煙室（燃焼室）及び煙暴露室から構成されている。

発煙室には、加熱用電熱器（最大600W）、発煙材料補給口及び空気供給口を設け、室内中央の電熱器に発煙材料を入れた鋼製かんを乗せ、加熱・燃焼（発煙）させた。また、発煙室内へは、毎分約20ℓで送気し、発煙材料は、一定時間毎に補給して発煙状態がほぼ一定に保たれるようにした。

煙暴露室内には、天井直下に試験体を吊り下げ、煙濃度計及び熱電対を取り付けた。また、かくはん用のファンを設置し、室内の煙濃度及び温度が一様になるようにした。

なお、煙濃度及び温度はペンレコーダで試験中、連続して記録した。

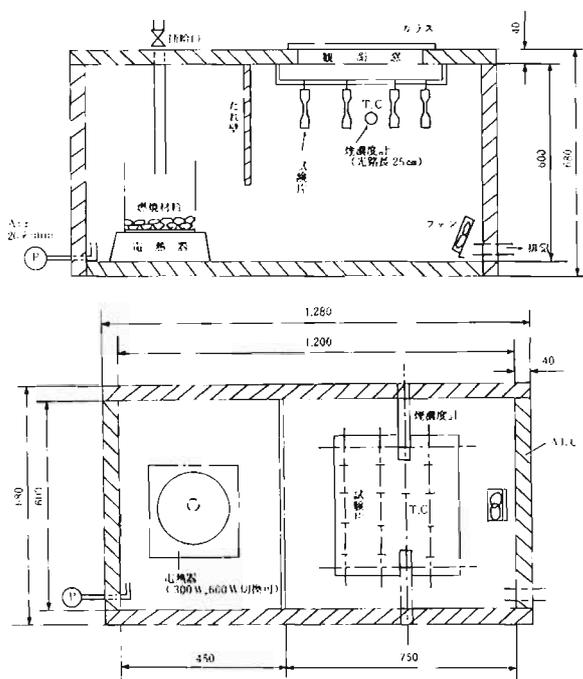


図1 試験装置

(3) 燃焼材料

発煙材料として使用した燃焼物及びその燃焼量を表2に示した。

なお、燃焼量は、予備実験における発煙状況から決定し、材料の補給は、一定時間（木材は30分、他は1時間）毎に、発煙室上部の補給口から行った。

表2 燃焼材料

材 料 名	燃 焼 量
杉 材	200g/30分
ポリエチレン (PE)	200g/1時間
塩化ビニール (PVC)	
ナイロン (PA)	
合成ゴム (SR)	

(4) 試験条件

煙暴露試験は、試験片の状態及び暴露時間により、表3に示す条件で実施した。

表3 試験条件

試験条件	試験片の状態	暴露時間
a	新 品	2時間
b		5時間
c	空気加熱老化処理品 ^(注) (70°C, 180時間)	2時間
d		5時間

(注) 空気加熱老化処理

天然ゴムで23°C、50%RHでの自然老化の6年は、60°Cでの促進老化処理の2.5週間に相当する。また、一般に温度が10°C上昇すると、老化の速度は、約2倍になるといわれている。

このことから、今回の加熱老化処理の処置時間は、平常時の約5年に相当すると考えられる。

(5) 測定項目

ダンベル状の試験片については、煙暴露試験を終了したものそれぞれ3個、新品及び空気加熱老化処理（以下「老化処理」という。）品のそれぞれ4個の試験片について、①外観、②硬度、③引張強さ及び伸びを測定した。

硬度及び引張強さ（伸び）の測定及び試験結果のまとめ方は、JIS-K6301に基づき行った。

アイピースについては、外観観測のみ実施した。

結 果

面体頭ひも、ダイヤフラム用天然ゴム、呼吸弁用シリコンゴムの試験結果を別表1～3に示した。

なお、硬度については、大きな差はなく、測定誤差内に入る値であったため、以下の検討については省略する。

(1) 面体用頭ひも

外観上は、すべてタールの付着以外何の変化も認められなかった。

新品のものを2時間ないし5時間暴露したものは、引張強さ、伸びの低下はいずれもわずか（5%以下）であった。

平常時の約5年の老化に相当する老化処理を施した試験片にあつては、引張強さは、2時間暴露では、最大約6%（PA, SR）、5時間暴露では、最大約12%の低下（SR 2時間暴露、木材・SR 5時間暴露）を示した。

なお、老化処理を施しただけの試験体の強度低下は、5%にも満たなかった。

(2) ダイアフラム用天然ゴム

外観上、木材、PVCで著しく赤茶色から茶色に変色したが、PE, PA, SRでは、ほとんど変化がなかった。また、亀裂や硬直は認められなかった。

引張強さの低下は、PE 2時間暴露（0.5%）と、老化処理品のSR 5時間暴露（約6%）のみに認められた。

伸びの低下は、老化処理後、暴露した試験片の大多数に認められたが、いずれもわずか（5%以下）であった。

老化処理を施しただけの試験体の強度低下はみられなかった。

(3) 呼吸弁用シリコンゴム

外観上、薄茶色から茶色に変色していたが、ひび割れや硬直等は認められなかった。

新品を暴露したものでは、引張強さの低下は、SR 2時間暴露で最大約6%の低下が認められた。老化処理品を暴露した場合には、5つの試験片（PA 2時間暴露、PE・PVC・PA・SR 5時間暴露）で、10%以上（最大約20%）の引張強度低下を示した。

伸びの減少は、新品を暴露したものでは、最大でも約1%（木材 2時間暴露）、老化処理品を暴露したものでは、PVC 2時間暴露、PVC・PE・SR 5時間暴露で5%を越え最大約11%（PVC 5時間暴露）であった。

(4) アイピース

試験終了時、いずれもタール分の付着が著しかったが、タールを洗い流した後のものはいずれも外観上、変形、ひび割れ、曇り等認められなかった。

考 察

(1) 燃焼材料、暴露時間、老化が劣化におよぼす影響等について

燃焼材料及び試験条件と各試験片の引張強さ、伸び及び変色との関係を表4にまとめて示した。

表4 煙の暴露試験結果（劣化状況のまとめ）

燃 焼 材 料		木 材	P V C	P A	P E	S R
試 験 条 件		a b c d	a b c d	a b c d	a b c d	a b c d
K-3 頭ひも	引張強さ	✓✓○	✓✓✓△	△△	✓✓✓✓	△△
	伸び	✓✓○	✓ ✓△	△△		○○
	変色					
呼 気 弁 用 シ リ コ ン ゴ ム	引張強さ	✓	✓✓△◎	✓ ○○	✓○	△ ✓○
	伸び	✓ ✓	△○	✓✓	✓△	✓△
	変色	○○ ○	△			△
ダ イ ア フ ラ ム 用 天 然 ゴ ム	引張強さ				✓	△
	伸び	✓	✓	✓✓	✓	✓✓
	変色	○○△○	△○△○			

〔凡例〕 引張強さ・伸び

- ✓：5%未満の劣化
- △：5%以上10%未満の劣化
- ：10%以上20%未満の劣化
- ◎：20%以上の劣化

変色

- △：かなりはっきりした変色
- ：著しい変色

ア 燃焼材料の影響

頭ひもでは、PA, SR, 木材の煙による劣化が比較的大きく、呼気弁用シリコンゴムでは、PVC, PAの煙による劣化が比較的大きかった。

一方、ダイヤフラム用天然ゴムでは、燃焼材料の種類による影響はほとんど見られなかった。

イ 暴露時間の影響

頭ひも、呼気弁用シリコンゴム、ダイヤフラム用天然ゴムいずれも大多数のものが暴露時間を2時間から5時間にすることにより引張強さ(伸び)は減少している。

ところで、新品のものを暴露した場合と老化処理品を暴露した場合を比較すると、2時間暴露に対する5時間暴露の強度低下は、前者ではいずれもわずか(5%以下)であるのに対し、後者では数%~10数%となっており、暴露時間の長短は、新品のものより、老化したものに対し大きい影響をおよぼすことが確認された。

ウ 老化の影響

平常時の5年に相当する老化が、煙の暴露による劣化を促進することは、頭ひも(木材, PVC, PA, SR)及び呼気弁用シリコンゴム(PVC, PA, PE, SR)の試験結果から確認され、老化により促進される強度低下は、数%~10数%であった。

エ 変色と強度低下の関係

ダイヤフラム用天然ゴム及び呼気弁用シリコンゴムの一部で著しい変色が認められたが、引張試験結果では、変色の著しいものより、ほとんど変化のないものに大きい強度低下があり、変色の程度と強度低下との関係は認められなかった。

(2) 薬品類の浸せき及び有毒ガス暴露試験結果との比較

薬品、油脂類の浸せき試験及び有毒ガスの暴露試験における強度劣化の最大がそれぞれ70~80%におよんだのに対し、煙の暴露試験では、最大10~20%の低下に留まった。

表5に各燃焼材料の発煙が最も激しい時期(C_s20以上)に採取した煙を液体クロマトグラフで分析した結果を示した。この表からわ

かるように、C_s20以上の高濃度の煙中においてもCl⁻(有毒ガス暴露で最も劣化が著しかった)は、最高約1,000ppm、SO₃⁻は最大でも2ppmであった。

煙の暴露による劣化が小さかったのは、上記のように、煙中のガス濃度が数時間で劣化を促進させる程、高濃度にならないこと。また、試験片表面に付着したタール(有機酸、炭化水素、その他の有機化合物等が含まれている)による影響についても、タール中に燃焼の際に発生する多量の水分が含まれ、タール中の成分の濃度が小さく、付着時間が数時間にも満たなかったことから、タール中の成分が試験体内に十分浸透し劣化させるに至らないためと考えられる。

表5 煙中のガス濃度

燃焼物	Cl ⁻ [ppm]	SO ₃ ⁻ [ppm]
木材	20	1
PE	152	2
PVC	999	1
PA	100	1
SR	10	1

5 ま と め

以上の試験結果をまとめると、次のとおりである。

- (1) 煙の暴露により劣化が大きかった部材は、呼気弁であり、最大約20%の強度低下が認められた。
- (2) ダイヤフラムは、いずれの燃焼物の煙に対しても著しい強度低下はなかった。
- (3) 頭ひもの強度低下は、最大約10%であった。
- (4) アイピースは、いずれの場合にも、何ら変化が認められなかった。
- (5) 燃焼材による影響は、頭ひもでは、PA, SR, 木材, 呼気弁では、PVC, PAの煙による劣化が比較的大きかった。
- (6) 暴露時間の長短は、新品よりも老化した部材の劣化により大きく影響した。
- (7) 老化(平常時の約5年)により煙暴露による強度低下は促進され、その率は数%~10数

%であった。

(8) 煙の暴露による劣化は、薬品類の浸せき及び有毒ガスの暴露による劣化に比べはるかに小さかった。

6 あとがき

以上、煙暴露による呼吸器各部分の劣化について検討してきたが、前述したような劣化が実際の使用に際し、どのような意味を持つか検討すると最も煙の影響を受けた呼気弁の強度劣化は最大21%であったが、呼気弁では、機能上強度はそれ程重要な因子でなく、最も重要な密着性（漏気）に係るひび割れや硬直が見られなかったこと、また、呼気弁の点検や交換が容易にできることなどを考慮すると、この呼気弁の劣化は、機能上それ程問題ではないと考えられる。

一方、面体の頭ひもやダイヤフラムでは、強度が重要であるが、頭ひもの場合、強度低下の最大が約10%と小さく、しかも初期強度が大きいことを考慮すれば、煙暴露による劣化が着装中の破断や伸びによる面体のゆるみ等に直ちに結びつくことは考えられない。

ダイヤフラムの場合、直接目視できないため、最も劣化が事故に結びつき易い部分であるが、強

度低下の最大が約6%しかなかったことに加え、実際のダイヤフラムでは煙に接触するのが片面だけであり、強度低下は更に小さくなると考えられることなどを考慮すると、煙の暴露による劣化がダイヤフラムの破損に結びつくことは考えられない。

以上のことを考慮すると、煙の暴露による呼吸器の機能低下は、使用上ほとんど問題にならないと考えられる。現実的に考えると、高濃度の煙に暴露された場合、使用上問題となるのは、タールによる呼気弁の付着であり、また、暴露後の呼吸器は、機能低下によるよりも、むしろ洗浄しても消えない強烈な臭気により使用ができなくなるものと考えられる。

参考文献

- (1) 消防科学研究所報 25号（昭和63年）
- (2) 消防科学研究所報 26号（平成元年）
- (3) Eller, S.A., Rubber July. 91(1967) (Effect of accelerated heat aging and shelf storage on SR and NR materials)
- (4) ゴム工業便覧（新版）日本ゴム協会編
- (5) 火災（VoL. 25 No.1, 1975）
（建築物の煙制御設計(1)）