

呼吸用保護具の指定防護係数に関する文献等について

1 呼吸用保護具に関する構造規格における規定

- (1) 防じんマスクの規格（昭和 63 年労働省告示第 19 号）では、第 6 条（性能に関する試験）の粒子捕集効率試験の試験条件として、取り替え式、使い捨て式それぞれについて、マスクの捕集効率の等級を RS1/DS1/RL1/DL1：80.0%、RS2/DS2/RL2/DL2：95.0%、RS3/DS3/RL3/DL3：99.9%の 3 等級に区分している。
- (2) 電動ファン付き呼吸用保護具の規格（平成 26 年厚生労働省告示第 455 号）では、第 6 条（性能に関する試験）の粒子捕集効率試験の試験条件として、フィルタの捕集効率の等級を PS1/PL1：95.0%、PS2/PL2：99.0%、PS3/PL3：99.97 の 3 等級に区分している。さらに、同第 6 条は、電動ファン付き呼吸用保護具の漏れ率試験の試験条件として、指定のフィルタを装着したマスクからの漏れ率を等級ごとに S 級：0.1%、A 級：1.0%、B 級：5.0%の 3 等級に区分している。

2 日本工業規格における規定等

- (1) JIS T8150:2006 の付表 2 は、指定防護係数（訓練された着用者が、正常に機能する呼吸用保護具を正しく着用した場合に、少なくとも得られるであろうと期待される防護係数）について、ろ過式の動力なしの呼吸用保護具の指定防護係数は、半面形が 4～50、全面計が 4～100となっており、ろ過式の動力付きの呼吸用保護具の指定防護係数は、半面形で 4～50、全面形で 4～100、フード形で 4～25、フェイスシールド形で 4～25としている。さらに、付表 2 の注では、ろ過式の防護係数は、面体等の漏れ率[Lm(%)]及びフィルタの透過率[Lf(%)]から、 $100/(Lm+Lf)$ によって算出すると規定している。
- (2) JIS T8150:2006 の解説では、付表 2 に示した防護係数は、米国国家規格（ANSI）及び米国職業安全衛生研究所（NIOSH）、英国安全衛生部（HSE）等に示された指定防護係数を参照し、我が国の呼吸用保護具の種類に適した数値について安全性を考慮して決めたものであるとしている。さらに、同解説では、欧米の指定防護係数の根拠は、実験室において被験者が呼吸用保護具を実際に着用し、一定の動作及び発声を行ったときの実測値を集計し、その代表値として帰納した値であり、着用者間のばらつきに対して安全側に設定した値であるとしている。

3 米国の法令等における規定

- (1) 米国安全衛生庁（USOSHA）の規則（29 CFR 1910.134(d））「呼吸用保護具の選択」においては、各種類の呼吸用保護具の指定防護係数(assigned protection factor)を

Table 1 において規定しており、ろ過式の呼吸用保護具については、半面形で10、全面計で50とされている。電動ファン付き呼吸用保護具 (PAPR) については、半面形で50、全面形で1,000、ヘルメット形で25、フード形で1000、ルーズフィッティング形で25としている。

(2) OSHA の指定防護係数

は、米国産業規格 (ANSI) Z88. 2:1992 の指定防護係数を根拠の一つとしている (Steelnack (2007))。ANSI の原案作成委員会では、指定防護係数の根拠としていくつかの文献をあげている (Nelson (1996))。半面形 PAPR については、鉛溶融炉における 高性能フィルタ (HEPA) を備えた半面形 PAPR を着用した作業者の防護係数を実測した結果、防護係数の幾何平均が 431、5 % パーセントイルの推定値が 58 であったことを主な根拠としている (Lenhart and Campgell (1990))。全面形 PAPR については、鉛溶融炉における全面形 PAPR を着用した作業者 (定量的フィットテストの結果、最小のフィット係数は 500であった。) の防護係数を実測した結果、5 % パーセントイルの防護係数が 1400 であったこと (Colton et al. (1990))、ヘルメット・フード形の PAPR の防護係数実測値の 5 % パーセントイルの防護係数が 1470 であった

Type of Respirator ^{1,2}	Quarter mask	Half mask	Full facepiece	Helmet/Hood	Loose-fitting facepiece
1. Air-Purifying Respirator	5	10 ³	50	—	—
2. Powered Air-Purifying Respirator (PAPR)	—	50	1,000	25/1,000 ⁴	25
3. Supplied-Air Respirator (SAR) or Airline Respirator					
• Demand mode	—	10	50	—	—
• Continuous flow mode	—	50	1,000	25/1,000 ⁴	25
• Pressure-demand or other positive-pressure mode	—	50	1,000	—	—
4. Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)					
• Demand mode	—	10	50	50	—
• Pressure-demand or other positive-pressure mode (e.g., open/closed circuit)	—	—	10,000	10,000	—

Notes:

¹ Employers may select respirators assigned for use in higher workplace concentrations of a hazardous substance for use at lower concentrations of that substance, or when required respirator use is independent of concentration.

² The assigned protection factors in Table I are only effective when the employer implements a continuing, effective respirator program as required by this section (29 CFR 1910.134), including training, fit testing, maintenance, and use requirements.

³ This APF category includes filtering facepieces, and half masks with elastomeric facepieces.

⁴ The employer must have evidence provided by the respirator manufacturer that testing of these respirators demonstrates performance at a level of protection of 1,000 or greater to receive an APF of 1,000. This level of performance can best be demonstrated by performing a WPF or SWPF study or equivalent testing. Absent such testing, all other PAPRs and SARs with helmets/hoods are to be treated as loose-fitting facepiece respirators, and receive an APF of 25.

⁵ These APFs do not apply to respirators used solely for escape. For escape respirators used in association with specific substances covered by 29 CFR 1910 subpart Z, employers must refer to the appropriate substance-specific standards in that subpart. Escape respirators for other IDLH atmospheres are specified by 29 CFR 1910.134(d)(2)(ii).

TABLE III. Workplace Protection Factors—Powered Air Purifying Respirators

Studies	N	Geometric Mean	Geometric Standard Deviation	Best Estimate 5th Perct.
<i>Half mask</i>				
Lenhart ⁽²⁶⁾	25	431	3.4	58
Myers & Peach ⁽⁸⁾	7	49	2.5	11
daRoza (simulated work data) ⁽¹⁰⁾	—	5000	—	—
Skaggs (simulated work data) ⁽¹¹⁾	—	14300–20000	—	—
<i>Full facepiece</i>				
Ayer (simulated work data) ⁽¹²⁾	—	—	—	—
Myers & Peach ⁽⁸⁾	3	66	3.6	8
Subsequent data				
Colton (13)	55	10300	3.4	1400
<i>Helmet/hood</i>				
Decision based on analogy to atmosphere supplied helmet/hood data				
Subsequent data				
Keys ⁽¹⁴⁾	60	10400	3.3	1470
<i>Loose-fitting facepiece</i>				
Myers (battery) ⁽¹⁵⁾	47	127	2.3	32
Gosselink ⁽¹⁶⁾	7	199	2.6	41
Myers (smelter) ⁽¹⁷⁾	43	184	3.3	27
Que Hee ⁽¹⁸⁾	—	—	—	—
daRoza (simulated work data) ⁽¹⁰⁾	—	—	—	—
Skaggs (simulated work data) ⁽¹¹⁾	—	—	—	—
Dixon (program protection factor) ⁽¹⁹⁾	—	230	—	—
Subsequent data				
Gaboury ⁽²⁰⁾	20	1410	2.5	306
Stokes ⁽²¹⁾	39	1530	5.8	85

こと (Keys et al. (1990)) を主な根拠としている (Table III 参照)。半面型、全面型のろ過式マスクの指定防護係数も、同様に 5 パーセントの防護係数の実測値に基づいて設定されている (Table II 参照)。

- (3) さらに、同規則 1910.134(d)(3)(iv) において、事業者は、米国安全衛生研究所 (USNIOSH) に認証された高捕集効率フィルタ (HEPA) か、42CFR part 84 によって NIOSH が認証したフィルタを使用することを求めている。42CFR part 84 では、試験粒子別に、最低フィルタ捕集効率別に型式を定めており、その捕集効率の種類は、N100/R100: 99.97%、N99/R99: 99%、N95/R95: 95%の3段階となっている。

- (4) 同規則 1910.134(f) においては、事業者は、同規則の付属書 A に従って

フィットテストを実施することを義務付けている。フィットファクター (マスク外の濃度をマスク内の濃度で除したもの) としては、半面型マスクは 100、全面型マスクでは 500 を達成することが求められている。フィットテストの実施時期は、新たなマスクを使用する前、マスクを変更する前や、労働者のフィッティングに影響があること (大幅な体重の増減等) が発生した時に実施するとされている。フィットテストの方法は、定量的テスト (測定器を使用してフィットファクターを計算する方法) と定性的テスト (外部のガスがマスク内に入ってきたことを嗅覚等で検知する方法) があり、定性的テストは、フィットファクターが 100 以下の場合にしか実施できないこととされている。

4 フィットテストに関する ISO の規定

- (1) ISO 16975-3:2017 においては、フィットテストの実施方法と頻度等を定めている。実施時期については、新しいマスクの使用前やマスクの変更の前に実施することとされている。さらに、少なくとも年 1 回実施することが推奨されるとしている。

TABLE II. Workplace Protection Factors—Negative Pressure Air Purifying Respirators

Studies Available to Committee	N	Geometric Mean	Geometric Standard Deviation	Best Estimate 5th Perct.
<i>Half mask</i>				
Dixon ⁽²⁴⁾	42	3360	4.8	254
Reed ^{(25),A}	19	18	3.17	2.7
Lenhart ⁽²⁶⁾	25	166	3.8	18
Nelson ⁽²⁷⁾	76	258	5.2	17
<i>Subsequent data</i>				
Gosselink ⁽²⁸⁾	44	96	2.3	24
Gaboury ⁽²⁰⁾	18	47	2.5	10
Colton (welding) ⁽²⁹⁾	32	147	2.5	33
Myers ⁽³⁰⁾	153	346	7.2	14
Johnston ^{(31),B}	18	44.8	2.85	8
Colton (brass foundry) ^{(32),B}	42	469	3.87	50
Colton (Al smelter) ^{(33),B}	38	28.2	2.06	8.6
Galvin ^{(34),B}	63	75	3.1	11.7
Wallis ^{(35),B}	70	50	3.5	7.5
<i>Full facepiece</i>				
No WPF studies available; since no new data, no change from 1980 standard				
<i>Subsequent data</i>				
Colton(7)	32	4790	7	194

^AANSI and Nelson concluded that sampling bias may have been a factor in the WPF measured

^BNelson concluded that sampling bias may have been a factor in the WPF measured

5 考察

- (1) 構造規格においては、防護係数の直接の規定はない。OSHA 規則の指定防護係数の根拠となる文献が、それぞれ、高性能フィルタ (HEPA) を使用し、又は、フィットファクターが 500 あるなど、フィルタからの漏れ率をほぼ無視できる状態での実測値であることから、OSHA の指定防護係数は、面体からの漏れ率の逆数と考えるのが妥当 (全面形で 0.1%、半面形で 2%) である。したがって、この漏れ率と構造規格のフィルタ等級に応じたフィルタからの漏れ率を JIS T8150 の防護係数の計算式 ($100/(L_m+L_f)$) に当てはめて防護係数を計算した結果を表 1 及び 2 に示す。なお、99.9% のフィルタ漏れ率は 0 として計算している。
- (2) 現在、JIS T 8150 は改訂作業中であり、それと連携を図りつつ、指定防護係数を明確にしていく必要がある。
- (3) フィットテストについては、従来、定量的フィットテストによる防護係数の確認を実施することを通達等によって指導している。溶接ヒュームについては、局所排気装置等によるマンガンの濃度の低減が困難であることを踏まえ、定期的に、定量的フィットテストを確実に実施することが必要である。

表 1 防じんマスクの防護係数の計算値

	捕集効率 95% のフィルタ ($PF_2=20$)	捕集効率 99.9% のフィルタ ($PF_2=1,000$)
全面形 ($PF_1=50$)	$PF_{total}=14.3$	$PF_{total}=47.6$
半面形 ($PF_1=10$)	$PF_{total}=6.7$	$PF_{total}=9.9$

表 2 電動ファン付き呼吸用保護具の防護係数の計算値

	捕集効率 95% の フィルタ ($PF_2=20$)	捕集効率 99% の フィルタ ($PF_2=100$)	捕集効率 99.9% のフィルタ ($PF_2=1,000$)
全面形 ($PF_1=1000$)	$PF_{total}=19.6$	$PF_{total}=90.9$	$PF_{total}=1000$
半面形 ($PF_1=50$)	$PF_{total}=14.3$	$PF_{total}=33.3$	$PF_{total}=50$

PF_1 : 面体と顔の隙間からの漏れ率に対応する防護係数

PF_2 : フィルタからの漏れ率に対応する防護係数

PF_{total} : 全体の防護係数

(参照文献)

29 CFR 1910.134 Respiratory Protection Standard, US OSHA

- 42 CFR Part 84 Respiratory Protective Devices, NIOSH
OSHA (2009) Assigned Protection Factors for the Revised Respiratory Protection Standard, US OSHA
- Colton, C.E., Mullis, H.E., Rhoe, C.R.(1990) Workplace Protection Factor for a Powered Air-Purifying Respirators. Paper presented at the American Industrial Hygiene Conference Orland, FL, May 1990.
- Keys, D.R., Guy, H.P., Axon, M. (1990) Workplace Protection Factors of Powered, Air-Purifying Respirators. Paper presented at the American Industrial Hygiene Conference Orland, FL, May 1990.
- Lenhart, S.W. and Campbell, D.L. (1984) Assigned protection factors for two respirator types based upon workplace performance testing. Ann. Occu. Hyg. Vol.28, pp.173-182
- Nelson, T.J. (1996) The Assigned Protection Factor According to ANSI, AIHA Journal, Vol.57. pp.735-740
- Steelnack, J. (2007) Assigned Protection Factor (APF) Table Added to OSHA's Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134. Paper presented at the American Industrial Hygiene Conference, June 2007.
- JIS T8150:2006 呼吸用保護具の選択、使用及び保守管理方法・同解説