

粉じんによる疾病を防ぐ呼吸用保護具の進化

石川 健彦

粉じんによる疾病を防ぐための一つの手段に防じんマスクがある。防じんマスクは作業内容に合わせて機能が進化してきた。しかし適切な使用法がなされなければ効果が発揮できないため近年は防じんマスクの正しい使用の啓発に力が注がれている。また、安全性の高い呼吸用保護具として電動ファン付き呼吸用保護具の粉じん作業への普及が進んでいる。防じんマスクと電動ファン付き呼吸用保護具の進化と現状を併せて紹介する。

キーワード：防じんマスク，電動ファン付き呼吸用保護具，プレスレスポンズ方式

1. はじめに

事業所，建設作業場等で原材料，製品，建造物を作る，または解体する等の作業時に粉じんが発生する。粉じんの種類や粒径は様々であるが，長期間粉じんを吸い続けることによってじん肺等の疾病を発症することがある。作業上発生する有害物を吸わないためのマスク類を呼吸用保護具という。その中で，粉じんを吸わないためのマスクに防じんマスクと電動ファン付き呼吸用保護具がある。

粉じんによる疾病は長期間，繰り返し粉じんを吸引することによって起こるとされている。

また，一度疾病を発症すると病院等での治療によっても元の状態に完治することはないため，予防が最も重要だと言われている。

2. 防じんマスクとは

(1) 防じんマスクの種類と規制法規

防じんマスクの種類は取替え式と使い捨て式の2種類がある。作業環境等に応じて使い分ける必要がある(写真1, 2)。

防じんマスクはその性能，構造，使用しなければいけない作業等が労働安全衛生法，労働安全衛生法施行令，及び各規則で定められている。作業場で発生する粉じんの種類，作業内容等によって選定すべき防じんマスクの性能が異なる。また，防じんマスクは適切な使用をしないと効果を発揮できないことがある。この詳細は厚生労働省より基発第0207006号(平成17年



写真1 取替え式防じんマスク



写真2 使い捨て式防じんマスク

2月7日付け)「防じんマスクの選択・使用等について」で示されている。

防じんマスクの規格，性能，留意点について以下の項目にて説明する。

(2) 防じんマスクの規格

厚生労働省が示している防じんマスクの性能・構造の規格のことを国家検定規格という。防じんマスクを製造するメーカーは製品を厚生労働省から国家検定規

試験粒子	種類	NaCl 粒子 (塩化ナトリウム)		DOP 粒子 (フタル酸ジオクチル)	
	粒径	0.06 μm 以上 0.1 μm 以下		0.15 μm 以上 0.25 μm 以下	
	濃度	50mg/m ³ 以下		100mg/m ³ 以下	
試験流量		85 ℓ /min		85 ℓ /min	
粒子捕集効率 連続的に測定し、右欄の値であること	取替え式	試験粒子が NaCl の場合 100mg 供給まで		試験粒子が DOP の場合 200mg 供給まで	
		RS1	80.0%以上	RL1	80.0%以上
		RS2	95.0%以上	RL2	95.0%以上
	使い捨て式	RS3	99.9%以上	RL3	99.9%以上
		DS1	80.0%以上	DL1	80.0%以上
		DS2	95.0%以上	DL2	95.0%以上
DS3	99.9%以上	DL3	99.9%以上		
吸気抵抗 (試験流量 40 ℓ /min)	取替え式		使い捨て式		
	RS1 RL1	70Pa 以下	DS1 DL1	60Pa 以下 (45Pa 以下)	
	RS2 RL2	80Pa 以下	DS2 DL2	70Pa 以下 (50Pa 以下)	
RS3 RL3	160Pa 以下	DS3 DL3	150Pa 以下 (100Pa 以下)		
排気抵抗 (試験流量 40 ℓ /min)	取替え式		使い捨て式		
	RS1 RL1	70Pa 以下	DS1 DL1	60Pa 以下 (45Pa 以下)	
	RS2 RL2	70Pa 以下	DS2 DL2	70Pa 以下 (50Pa 以下)	
RS3 RL3	80Pa 以下	DS3 DL3	80Pa 以下 (100Pa 以下)		

() は排気弁を有さないもの

排気弁の気密	排気弁の作動気密試験	●空気を吸引した場合に直ちに内部が減圧すること ●内部の圧力が常圧に戻るまでの時間が 15 秒以上であること
二酸化炭素濃度上昇値	試験用人頭で、人工肺により二酸化炭素含有空気を吸・排気させ、マスク使用時とマスク未使用時の、吸気における二酸化炭素濃度の差が 1.0% 以下	
死積	(二酸化炭素濃度上昇値試験) より算定した値	

吸気抵抗 上昇値	試験粒子	NaCl (塩化ナトリウム)
	試験流量	85 ℓ /min で試験粉じんを堆積後、40 ℓ /min で測定
	防じんマスクへの堆積量	100mg

図一 1 防じんマスクの国家検定規格

格の検査を委託されている機関に提出し、製品が国家検定規格以上の性能を有しているかの試験を受け、合格した製品を市場に販売する。

国家検定規格は労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）第 42 条の規定に基づき定められた。その後改正があり性能、構造の規格は平成 12 年 9 月 11 日厚生労働省（当時労働省）告示第 88 号にて示されたものが現在運用されている（図一 1）。

国家検定規格値は主に作業場で発生する細かい粒子を捕捉するフィルタの粒子捕集性能、作業者の呼吸に対する性能、マスクを顔に固定するしめひもの強度に対して設けてある。

フィルタの捕集性能の試験である粒子捕集効率試験は塩化ナトリウム粒子（粒径 0.06 μm 以上 0.1 μm 以下）、DOP 粒子（粒径 0.15 μm 以上 0.25 μm 以下）のいずれかを使用する。本試験の方法は上述の粉じんを含んだ空気を 85 ℓ /分の流量でフィルタを通過させ、フィルタの下流側への漏れ率を測定する。試験粒子が小さいこと、試験流量が大きいことから厳しい試験となっている。また、フィルタを作る上で高い捕集効率を求めると息を吸った時の息苦しさが増す傾向にある。国家検定規格では息を吸った時の息苦しさを吸

気抵抗として上限値を定めている。大雑把に解釈すると微粒子に対し高い捕集効率を備え、且つ、呼吸が苦しくなり過ぎないフィルタを備えたマスクの規格ということができる。

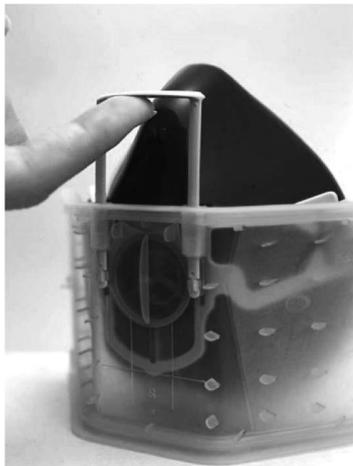
(3) 防じんマスクの留意点

国家検定規格にて厳格な性能の上で作られている防じんマスクであるが、適切な使用がなされないと性能を発揮できないことがある。いくつかの要因はあるが、主要因は着用者の顔面と防じんマスクの接顔部が密着していないことによる漏れである。漏れは個人差があり、我々の作業場での測定経験から、同じ種類の防じんマスクを使用しても粉じんがほとんど漏れていない作業員もいれば、大量の漏れを生じたまま作業をしている作業員もいることを確認している。漏れは防じんマスクを着用する時にしめひもをきちんと締めないこと、着用者の顔と防じんマスクが合わないことなどから起こる。

防じんマスクを着用する際にはフィットチェックが重要である。フィットチェックとは漏れを防ぐために着用者と防じんマスクの接顔部が密着しているかを確認する方法のことである。取替え式防じんマスクは構



写真一3 専用のゴム栓を使用したフィットチェック



写真一4 フィットチェック機能付き防じんマスク

造上、フィルタの吸気口を塞ぐと息を吸うことができない。息を吸うことができなければ着用者と防じんマスクの接顔部が密着していることの確認になる。逆に息を吸うことができれば漏れが生じていることが確認できるため、着用方法等を見直し、安全な状態で作業に臨むことができる。フィットチェックは簡便に実施できるがフィルタの吸気口を手で押さえる方法は防じんマスクを顔に押し付けてしまう恐れがあるので漏れを正しく判断できないことがある。専用のゴム栓（写真一3）を使用するか、フィットチェック機能付き防じんマスク（写真一4）を使用することが望ましい。

使い捨て式防じんマスクは構造上簡便にフィットチェックを行うことができない。フィットチェックを行う方法は専用のフードをかぶり、甘い味のついたミストを専用のスプレーでフード内に噴霧し、マスク着用者が甘い味を感じたら漏れがあるという定性的な判断により行われる（写真一5）。ただし、忙しい作業場においてこの方法を随時実施することは非現実的であり作業場の粉じんの濃度や種類を測定し、疾病のリスクが高いようであれば取替え式防じんマスクを選択することが適切である。



写真一5 使い捨て式防じんマスクのフィットチェック

また、簡便にフィットチェックができないという理由から使い捨てマスクを選定する際も作業者の顔にフィットする形状のものを選ぶことも必要である。

3. 防じんマスクの進化と正しい使用方法の啓発方法の進歩

(1) 製品の進化

防じんマスクは作業の実情に合わせ進化している。取替え式防じんマスクにおいては、昔は接顔部のゴム素材が天然ゴム等で、肌荒れを起こす着用者が多く見られた。また、ゴムの経時変化により素材自体が硬くなり、着用者から顔が痛いという意見が多く聞かれた。今は素材が改良されシリコンゴム等を使うことにより、肌荒れも減少し、経時変化しにくい製品が多くなった。その他、作業場の要求に合わせ、マスクの重量が軽いもの、呼吸が楽なもの、伝声器という会話がし易い機能、及び先に紹介したフィットチェック機能付きマスクも増えてきた。使い捨て式防じんマスクにおいてもフィット性の向上を図るために、しめひもの調整機能がついているだけでなく、接顔部をフィットしやすい曲線に成形した製品が開発された。今後も作業者が使いやすく、フィット性のような国家検定規格ではフォローできない部分の安全性を向上させた製品開発を模索して行く。

(2) ‘漏れ’の測定

先に述べたように防じんマスクは適切な使用をしないと性能を発揮できないことがある。漏れの危険性について、いくら口頭で説明しても作業者が危険と思わなければ作業場でのフィットチェックの定着が進まず、防じんマスクに期待される性能を発揮しない状態

での使用が続くこととなり疾病のリスクとなってしまう恐れがある。

防じんマスクの適切な使用を訴える方法としてマスクの漏れ測定装置がある。これは作業者のマスク内に粉じんがどれだけ漏れこんでいるかをカウントし漏れ率(%)として表示できる測定装置である。測定は数十秒で終了するため作業者1名1名測定し、作業者の防じんマスクの運用が適切か否かを可視化して見せることができる。漏れが数値で見えることによる作業者の意識改革の効果は口頭で説明するより遥かに大きいことをその反響から経験している。本装置は昔からあったが、作業場に手軽に持ち運べるような大きさではなかったことが課題であった。近年は測定装置が小型化されたために作業場に携え訪問できるようになった。

当社は2006年より、このマスクの漏れ測定装置を用い作業場に訪問し、防じんマスクの漏れ測定を実施するサービスを開始し、作業者に隙間漏れを認識させ、適切な使用方法を啓発している。近年は同活動を実施する業者も増え、業界として作業場の啓発活動に取り組んでいる。非常に地道な活動であるが防じんマスクの適切な使用により作業場での粉じんによる疾病が少しでも減少するよう今後も継続的に取り組んでいく(写真—6)。

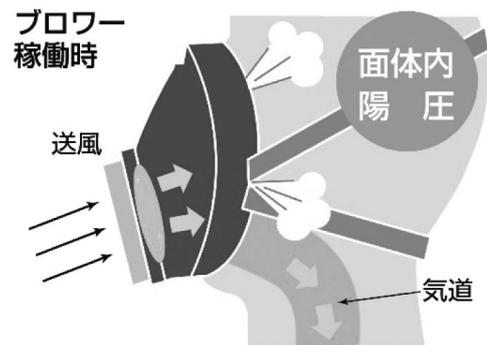


写真—6 防じんマスクの漏れ測定装置を用いた‘漏れ’測定

4. 進化した防じんマスク ブレスレスポンズ方式電動ファン付き呼吸用保護具

(1) 電動ファン付き呼吸用保護具とは

防じんマスクの他に、作業場で発生する粉じんばく露防止のための呼吸用保護具による手段として電動ファン付き呼吸用保護具がある。フィルタで粉じんをろ過し清浄化された空気を呼吸する構造は防じんマスクと同様であるが、防じんマスクが人間の肺力で空気を吸い込むのに対し、電動ファン付き呼吸用保護具は



図—2 電動ファン付き呼吸用保護具の陽圧構造

電動のファンモーターの動力でマスク内に空気を送り込んでくれる。そのため防じんマスクと比較し息苦しさがほとんどない、及び、マスクの中が陽圧となり防じんマスクの不適切な使用で起こる漏れが生じ難い(図—2)。防じんマスクの漏れの大小は前述の通り作業者毎に異なるが、電動ファン付き呼吸用保護具はマスク内が陽圧となるため、どの作業者が使用しても概ね同一の高い防護性能を発揮できる。

実は電動ファン付き呼吸用保護具は昔から製品化されていたが、用途が限定的であり大きなメリットを有しながらも普及しているとは言えない状態であった。昔の電動ファン付き呼吸用保護具の弱点は非常に高価であったこと、バッテリーが大きいために全体的に大きく重かったこと、ファンモーターで連続的に空気を送り込むためフィルタへの粉じんの堆積が防じんマスクよりも早くフィルタが粉じんの詰まりにより持ちが悪い、更にフィルタの目詰りによる通気抵抗の上昇でファンモーターへの負荷が高くなり電力消費が激しくバッテリー切れが早いといったものであった(写真—7)。



写真—7 1990年代に販売されていた電動ファン付き呼吸用保護具

(2) ブレスレスポンス方式とは

現在の製品に多く見られる送風方式であるブレスレスポンス方式とは着用者の常に変化する呼吸（空気を吸う，吐く）に合わせてマスク内に送風する方式である。仕組みは呼吸によって変化するマスクの内の圧力をセンサーで感知し，呼吸に応じてファンモーターを動かし送風する。この方式は着用者が息を吐いた時にファンモーターが低回転になるためモーターの稼働を大幅に減らすことができ電力消費量が小さくなるばかりでなく，過送風による粉じんのフィルタへの目詰まりも減らすことができフィルタを長持ちさせる。電力消費量が小さくなればバッテリー容量も小さなもので運用できるため製品自体も小型軽量化することができた。この技術が確立されたことにより電動ファン付き呼吸用保護具は大きく普及することとなった。

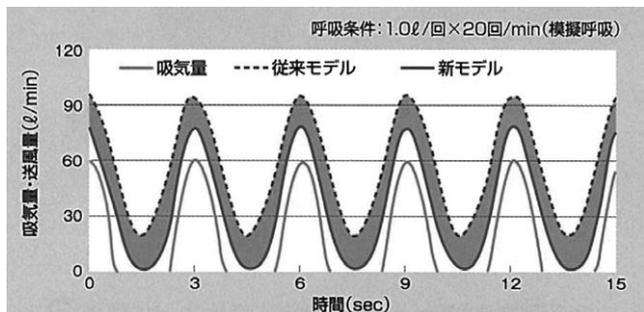
その後，さらに過送風によるフィルタへの詰まり，電力消費量の低下を図るために作業者の呼吸に緊密に追随し送風する機構の性能を向上させた（図—3）。これに伴い小型化されたバッテリーを更に小さくすることができ（写真—8），電動ファン付き呼吸用保護具の課題である重量のさらなる軽量化を図ることができた（写真—9）。

ブレスレスポンス方式は開発当初は呼吸追随型という名前で販売されていた。呼吸追随型ができた当時は



写真—9 軽量小型化された電動ファン付き呼吸用保護具

新技術のため JIS 規格にこの仕組みが該当しなかった。その後平成 21 年の JIS T 8157 の改正に合わせて本技術が追加された。さらに平成 26 年 6 月に労働安全衛生法の一部を改正する法律（平成 26 年法律第 82 号）により，電動ファン付き呼吸用保護具が譲渡等制限及び型式検定（国家検定）の対象とされたことを受け，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）が平成 26 年 11 月 28 日に公布された。このために電動ファン付き呼吸用保護具は平成 26 年 12 月 1 日より，防じんマスクと同様，国家検定規格により製造されることとなった。



図—3 ブレスレスポンス方式の送風波形。従来モデルと比較し呼吸への追随性が向上した

(3) 電動ファン付き呼吸用保護具の使用

電動ファン付き呼吸用保護具は現在様々な粉じん作業で使用されている。既に隔離作業場内で行われる石綿の除去作業，インジウム・スズ酸化物等の取扱い作業の一部，トンネル建設工事の粉じん則で規制された作業等といった粉じん作業で電動ファン付き呼吸用保護具の使用が義務化されている。また，じん肺の発生率の多い溶接作業においては使用の義務化はなされていないが，厚生労働省より第 8 次粉じん障害防止総合



写真—8 ブレスレスポンス方式とさらなる呼吸追随性向上によるバッテリーの小型化

対策により電動ファン付き呼吸用保護具が勧奨されている。電動ファン付き呼吸用保護具は安全性が高いことから発がん性が疑われる粉じん作業，発生する粉じん濃度が高い作業等，粉じんの吸引による疾病のリスクが高い作業に普及が進んでいる。

(4) 電動ファン付き呼吸用保護具の留意点

電動ファン付き呼吸用保護具の安全性はマスク内が陽圧であるからである。だからバッテリーの電圧が低下すると送風量が低下しマスク内の陽圧を保てなくなる。また，フィルタが一定以上詰まった時はフィルタの通気抵抗が上昇し，やはり送風量が低下するためマスク内の陽圧が保てなくなる。特にルーズフィット形という種類の電動ファン付き呼吸用保護具は注意が必要である。マスクにあたる部分がフェイスシールドやフード状になっており，着用者の顔が密着していない構造となっているため，フェイスシールドやフードの中が送風量低下により陰圧になった時点で大きな漏れ込みが発生する。

電動ファン付き呼吸用保護具を安全に使用するための主要な留意点はバッテリーを満充電にして使用することとフィルタを適切に交換することである。作業環境や作業強度が高い作業では，必要に応じて予備のバッテリーとフィルタを用意して交換できるようにしておくことが必要である。

5. おわりに

粉じんによる疾病の防止に使用する呼吸用保護具である防じんマスクと電動ファン付き呼吸用保護具は粉じんにはばく露されないように作業自体の改善，作業環境の改善を実施した上での‘最後の砦’というのが基本的な位置づけである。しかしながら建設業のように作業場が1回毎に異なる作業も少なくないことから，呼吸用保護具による粉じんの個人ばく露防止対策が主体となる場合も往々にしてある。防じんマスクも電動ファン付き呼吸用保護具もただ着用すれば必ず効果があるものではなく，正しい使用方法がなされて初めて効果を発揮する。これからも呼吸用保護具の適切な使用法を伝える努力を継続的に実施していく。

JCMA

【筆者紹介】

石川 健彦（いしかわ たけひこ）

興研㈱

安全衛生ディビジョン 販売企画セクション
セクションリーダー

