

労災疾病臨床研究事業費補助金

電動ファン付き保護具の実用性並びに普及に関する研究

(180302-01)

平成30年度総括・分担研究報告書

研究代表者 大神 明
産業医科大学 産業生態科学研究所
作業関連疾患予防学 教授

平成 31(2019)年 3 月

I. 総括研究報告

電動ファン付き保護具の実用性並びに普及に関する研究

大神 明

．．．．． 2

II. 分担研究報告

1. 作業現場における呼吸用保護具の種類及び装着方法に関する アンケート調査

池上和範、安藤 肇、保利 一、明星敏彦、白坂泰樹

．．．．． 9

2. 装着方法による呼吸用保護具の漏れ率の検討

池上和範、安藤 肇、保利 一、明星敏彦、白坂泰樹

．．．．． 29

3. 通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク（PAPR）における 比較のためのもれ率の測定とアンケート調査

岸本卓巳

．．．．． 50

4. ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発

盛武 敬、石垣 陽

．．．．． 66

5. 夏期の作業現場における呼吸用保護具の装着感に関する調査

長谷川将之、宮本俊明

．．．．． 70

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

．．．．． 78

労災疾病臨床研究事業費補助金
総括研究報告書

電動ファン付き保護具の実用性並びに普及に関する研究
(180302-01)

研究代表者 大神 明
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 教授

研究要旨

本研究では、電動ファン付き保護具(PAPR)の実用性並びに普及を図るために、現場作業におけるPAPRを含む保護具装着による身体影響についてのデータ収集も行い、実際の現場作業に適したPAPRを含む呼吸用保護具の性能について提言することを目的としている。研究初年度である平成30年度は、①実際の現場で認められる作業者の呼吸用保護具の装着バリエーションや使用している呼吸用保護具の種類に関する調査を行い、実態を把握した。②現場で認められる装着バリエーションや呼吸用保護具の種類による漏れ率を安静時と運動時それぞれにおいて評価し、PAPRを含む呼吸用保護具の防護性の評価を行った。③作業場における漏れ率測定調査:粉じん作業従事者を対象に参加者を募り、通常防じんマスクとPAPRの比較を客観的に評価して、PAPRの有用性について評価した。さらに、④PAPR被験者に脱着可能で小型軽量のPM2.5センサー(ウェアラブルデバイス)を開発することにより、被験者の個人曝露量を随時測定し可視化することを試みた。

アンケート調査からは、呼吸用保護具を使用している作業現場では、様々な装着方法が認められ、呼吸用保護具の装着方法に関する教育の不十分さや、個人的・職場環境的要因の課題が明らかになった。漏れ率の調査からは、メリヤスカバーやタオルを使用する装着方法は、呼吸用保護具と顔面の密着性が低下し、取替え式防じんマスクを使用する場合は、十分な防護性を維持できていない可能性がある事が明らかになった。顔面の皮膚障害を有する労働者や、著しい暑熱環境で作業している労働者において、メリヤスカバーやタオルを使用して呼吸用保護具を装着せざるを得ない状況でも、BS-PAPRを使用することで、防護性を維持できる可能性がある事が示唆された。作業場における漏れ率調査からは、PAPRはマスク効率が極めてよく、粉じん吸入を防止できているとともに、粉じん作業従事者にも装着において良い感触が得られた。さらに小型軽量のPM2.5センサー(ウェアラブルデバイス)開発を行った。

分担研究者

岸本卓巳 独立行政法人労働者健康安全機構岡山労災病院・アスベスト疾患ブロックセンター・センター長

明星敏彦 産業医科大学・産業生態科学研究所・労働衛生工学・教授

保利 一 産業医科大学・産業保健学部・作業環境計測制御学・教授

池上和範 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学 講師

安藤 肇 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学 助教

研究協力者

盛武 敬 産業医科大学・産業生態科学研究所・放射線健康医学

石垣 陽 電気通信大学・ヤグチ電子工業(株)

白坂泰樹 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

長谷川将之 新日鐵住金(株)君津製鐵所

宮本俊明 新日鐵住金(株)君津製鐵所

道井聡史 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

菅野良介 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

A 研究の目的

粉じんによる健康障害防止のためには、作業環境の改善と呼吸用保護具の装着が重要である。鉱業・採石業・鉄鋼業などは作業環境改善が困難であり、溶接業や金属研磨・切削業では粉じんの個人ばく露濃度が非常に高い可能性があり、呼吸用保護具の装着が必須と思われる。保護具装着に伴う呼吸抵抗性や顔面への圧迫感による負担感があり、海外では装着に際し医学適性検査を設ける必要があるとするガイドラインも存在する(RK McLellan,2000, OEM Press)。近

年、電動ファン付き呼吸用保護具(Powered Air Purifying Respirators, 以下 PAPR と略)が開発され、粉じんの防護性向上や装着に伴う身体負担の軽減に効果があるとされる。我々は、これまで実験施設(人工気候室)内で、PAPR を含む各種呼吸用保護具装着時の呼吸器系、循環器系、ストレス等の生理学的指標に関する研究(長谷川ら,2017, 呼吸保護)や、作業現場における呼吸用保護具装着時の主観的な疲労感、ストレス、快適度に関する予備調査を実施してきた。実験施設内では、通常の防じんマスクに比べ、PAPR において心身負担の軽減効果を認めたが、実験条件によりその心身負担の軽減効果が減弱する場合もあった。実際の作業現場では暑熱や湿度といった作業環境要因の影響を考慮する必要があり、作業現場に合わせた研究デザインでの評価が必要である。加齢や疾患、嗜好品による影響、呼吸用保護具の種類や性能による相違の検討も必要である。加えて、先行研究では呼吸用保護具の防護性に関して評価しておらず、とりわけPAPRは電動ファン搭載により保護具内部を持続陽圧とすることで、防護性を高める構造になっている。そのため、顔面と接顔体部分の密着性が多少損なわれていた場合(メリヤス使用等)も、十分な防護性を維持している

可能性があり、様々な呼吸用保護具の種類や装着バリエーション毎の防護性についても評価が必要である。通常の防じんマスクと PAPR により、吸入粉じん量がどの程度の相違があり、じん肺になる可能性をどの程度抑制しているかについて検討する。現場作業における呼吸用保護具装着による心身への影響、PAPR 装着の有用性や負担軽減効果、防護性を明らかにし、適切な作業管理、健康管理に役立てること、および実際の現場作業や作業者の特性に適した呼吸用保護具の選定について普及啓発することで、じん肺等の健康障害の予防に繋げることを目的とする。

B 研究の方法・内容

① 実際の現場で認められる作業者の呼吸用保護具の装着バリエーションや使用している呼吸用保護具の種類に関する調査

福岡県、山口県、千葉県に所在している 10 事業場に協力を依頼し、質問紙調査を実施して、作業現場で使用されている呼吸用保護具や、装着方法等の実態を把握した。

呼吸用保護具を業務として日常的に使用している成人作業者を調査対象とし、研究参加事業場に勤務する男性労働者 284 名に対して、自記式質問紙を配布した。最終的に 212 名の労働者から調査参加の同意および質問紙への回答が得られ(回収率:74.6%)、全ての回答を解析対象とした。

質問紙では、対象者の基本属性に関

すること、使用している呼吸用保護具と装着方法に関すること、防護性に対する認識について調査した。また、同時に現地調査も実施し、現地調査では、研究者が実際の作業現場を観察することにより作業現場での呼吸用保護具の使用実態を把握した。

② 装着方法による呼吸用保護具の漏れ率の検討

参加同意の得られた被験者に対して、クロスオーバー比較試験を実施して、呼吸用保護具と装着方法の組み合わせ(以下、装着バリエーションと略する)ごとの漏れ率を測定した。調査は、産業医科大学人工気候室で、2018 年 8 月から 9 月まで実施した。

被験者は、本来推奨される方法及び、現場で実際に観察された装着方法で代替式防じんマスク、BS-PAPR のいずれかを装着した。大気じんを用いた呼吸用保護具の防護係数決定の手順に従い、その装着方法の状態で普通の呼吸(Regular breathing)、深呼吸(Deep breathing)、頭を左右に振る(Right and left)、頭を上下に振る(Up and down)、話す(Speaking)の 5 つの動作を各 1 分ずつ実施させ、動作ごとに漏れ率を測定した。

③ 通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク(PAPR)における比較のためのもれ率の測定とアンケート調査

平成 15 年度及び 20 年度の岡山産業保健推進センターの研究で防じんマスクの効率を測定した粉じん作業従事者を対象に参加者を募り、通常防じんマスクと PAPR の比較を客観的に評価して、

PAPR の有用性について評価した。

耐火レンガ製造作業において、粉碎等の粉じん作業を常時行っている作業
者 24 例を対象とし、通常防じんマスクの
代わりに PAPR を装着して 3 時間作業を
行った後、比較のためのアンケート調査
を行った。また、作業開始時に日常使用
している通常防じんマスクのもれ率も測
定した。

④ ウェアラブル粉塵測定デバイスの開 発

PAPR 被験者に脱着可能で小型軽量
な PM2.5 センサー(ウェアラブルデバイ
ス)を開発することにより、被験者の個人
曝露量を随時測定し可視化することを試
みた。

⑤ 夏期の作業現場における呼吸用保 護具の装着感に関する調査

夏期における PAPR の装着感や疲
労度を調査し、労働者に対する作業管理
の指導に活かすことを目的として、作業
者を対象に質問紙調査を実施した

C 研究結果

① 実際の現場で認められる作業者の 呼吸用保護具の装着バリエーション や使用している呼吸用保護具の種 類に関する調査

常用マスクについて取替え式防じん
マスクと回答したものが 113 名(53.3%)
と最も多く、次いで使い捨て式防じんマ
スクと回答したものが 41 名(19.3%)、防
毒マスクと回答したものが 30 名(14.2%)
であった。PAPR の回答数は 0 名であっ
た。

装着方法に関して、113 名中、54 名
(47.8%) がヘッドバンドの位置は頭頂部
と、52 名(44.2%) がヘッドバンドはヘル
メットの上から固定すると回答した。それ
以外の回答として、ヘッドバンドは後頭
部に固定すると回答したのが 4 名
(3.5%)、タオルや頭巾を巻いた上から
ヘッドバンドを固定すると回答したものが
2 名(1.8%)であった

② 装着方法による呼吸用保護具の 漏れ率の検討

被験者は、本来推奨される方法及び、
現場で実際に観察された装着方法で取
替え式防じんマスク、Breath -
Synchronized Powered Air Purifying
Respirators (BS-PAPR)のいずれかを装
着した。調査で実施する装着方法の 1 つ
を、推奨される装着方法(Recommended
method: R)、メリヤスカバーを使用した
装着方法(Meias: M)、ヘッドバンドをヘル
メットの上から固定する方法(Helmet:
H)、顔面にタオルを巻いた上から呼吸
用保護具を装着する方法(Towel: T)の
3 つとした。大気じんを用いた呼吸用保
護具の防護係数決定の手順に従い、そ
の装着方法の状態で普通の呼吸
(Regular breathing)、深呼吸(Deep
breathing)、頭を左右に振る(Right and
left)、頭を上下に振る(Up and down)、話
す(Speaking)の 5 つの動作を各 1 分ずつ
実施させ、動作ごとに漏れ率を測定した。
BS-PAPR を装着した装着バリエーション
の漏れ率は、装着方法に拘わらず、
DM'M の漏れ率、DM'T における漏れ
率より有意に低くなった(いずれの比較

の際にも $P < 0.001$). BS-PAPR'R の漏れ率, BS-PAPR'M の漏れ率, BS-PAPR'H の漏れ率は, DM'H の漏れ率と比較した際, 有意に低くなったが, (それぞれ $P=0.030$, $P=0.035$, $P=0.035$), BS-PAPR'T の漏れ率とは有意差を認めなかった.

③ 通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク(PAPR)における比較のためのもれ率の測定とアンケート調査

通常防じんマスクは紐のゆるみやメリヤスの装着により平均 34.20% のもれが生じていることが明らかとなった。粉じん作業場における個人ばく露濃度を測定し、マスクのもれ率を考慮し換算したところ、通常防じんマスクでは総粉じん濃度は平均 $1.18\text{mg}/\text{m}^3$ の吸入があり、吸入性粉じん濃度は平均 $0.22\text{ mg}/\text{m}^3$ の吸入が生じていることが明らかになり、作業環境基準濃度を超えていることが判明した。一方、PAPR では、マスクのもれ率は平均 0.76% で、個人ばく露ともれ率を換算しても総粉じん濃度は平均 $0.029\text{mg}/\text{m}^3$ 、吸入性粉じん濃度の平均は $0.004\text{ mg}/\text{m}^3$ と問題になる吸入量では無かった。PAPR 装着に対するアンケート調査結果ではマスクの重さや大きさ、ファンの音さらには動きにくさが気になる作業者もいたが、通常防じんマスクに比較して呼吸が楽あるいはやや楽と感じた作業者は 75% あり、全体の 56.5% は今後 PAPR を使用したいと回答していた。

④ ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発

ヤグチ電子工業(株)にて既に上市し

ている、スマホ接続型の小型 PM2.5 センサー「ポケット PM2.5 センサー」を、外注委託により本研究仕様のウェアラブル粉塵測定デバイスに改良を行った。

⑤ 夏期の作業現場における呼吸用保護具の装着感に関する調査

精神的ストレスに関する指標としては、保護具を付けている間の体調不良、保護具を付けている間の作業ミス、保護具を付けている間の眠気、保護具を付けている間のぐったりとした疲れといった質問において統計学的に有意差を認め、いずれの項目においても PAPR の方が良好な結果を示した。

D. 考察

初年度の調査結果からは、粉じん作業現場では、呼吸用保護具が実際に使用されているとは言えるが、電動ファン付き呼吸用保護具は普及されていない実態が明らかになった。PAPR は、防じんマスクと比べ一般的に防護係数が高く、労働者の健康障害防止の観点からより有用であるため、着用が義務付けられている特定の作業以外の作業においても PAPR を着用することが望まれているが、従来の防じんマスクより高価であること等が一因で、現在のところ作業現場での使用は限定的になっていていると思われる。また、装着方法については、メリヤスやタオルなどの使用実態が比較的高頻度に認められ、漏れ率の現地調査の実態から高い漏れ率の状態で作業していることが明らかになった。

マスクの接顔面と顔面の隙間につい

では、入り込むものがあると回答したものは、全体の 35.8%であった。入り込むものに関しては、メリヤスカバーと回答したものが最も多く、次いで、タオルであった。メリヤスカバーに関しては、マスク装着の際に皮膚に湿しん等を起こす恐れのある場合で、かつ、顔と面体の密着性が良好であるときに限り使用が認められている。しかし、顔と顔面の密着性が不良という理由で、マスク装着の際に皮疹を起こす作業員に対して、事業者がメリヤスカバーの使用を禁止することは、皮疹の発症、増悪の誘発につながる可能性がある。タオルの使用に関しても、メリヤスカバー同様に不快感を防止するために使用している例もあったが、高熱物からの輻射熱を避けるために使用している作業員も確認できた。一概にタオルの使用を禁止するのではなく、呼吸用保護具の防護性を保ちつつ、熱から身を守る対策が必要と考えられる。

現場における調査結果からは、通常防じんマスクの平均もれ率は 34.20%と高率であり、通常防じんマスクの性能が改善された現在でも 15 年前のデータと比較して通常防じんマスクのもれ率が増加していることが判った。一方、PAPR は通常防じんマスクに比較して高額ではあるが、マスクのもれ率は 0.76 ± 0.67 (0.19~3.59)%とその防じん作用は明らかによく、粉じん吸入濃度を軽減していることが実証された。

通常防じんマスクの着用教育を受けたことがある作業員は 73.9%であったが、フィットテストを行ったことがない作業員が 63.7%と過半数を占めた。通常防じん

マスクのもれの理由として、全体の 92%はメリヤス付きの防じんマスクを使用しており、そのもれに対してメリヤスの装着が大きいことが示唆された。通常防じんマスクにメリヤスを装着しても、皮膚のかゆみや痛みを訴える作業員もいたが少数であった。

通常防じんマスクを装着中に一時マスクを外している作業員が 92%あり、その理由として息苦しさ、暑さや汗による不快感が原因として多かった。

よって、通常防じんマスクでは、様々な理由で防じん効率が悪く、一定以上の粉じん吸入が生じている可能性が明らかになった。しかし、先行研究において通常防じんマスクもフィットテストを適正に行って使用すれば、もれ率は 10%以下となりその役目を十分に果たしていたことから、保護具着用に対する教育の重要性が再認識される結果となった。

また、BS-PAPR を装着した動作によるバリエーション間の漏れ率を比較しても、有意差は認めなかった。このことより、PAPR を使用することで、漏れ率の大きいメリヤスカバーを使用する装着方法や、顔面にタオルを巻いた呼吸用保護具装着方法を実施しても、防護性を保てている可能性が考えられ、PAPR の有用性が再認識された。

さらには、今回ウェアラブルの粉じん測定機器開発に着手しその試作品を製作することができた。今後は、この機器を用いて、現場におけるリアルタイムの粉じん曝露量を推測することが可能になると思われ、曝露環境に応じたより適切な作業管理の実施に向けて期待できる結果

となった。

また、夏期においてPAPRの装着が息苦しさによる不快感を軽減し、その装着による精神的ストレスは通常の防じんマスクより優れている可能性が示唆され、PAPRの軽量化が図られれば、有用性が更に向上すると考えられた

E. 結論

以上、全体をまとめると、1)粉じん作業における保護具の装着実態においては、メリヤス使用やタオル使用、不適切な装着などの実態が明らかになり、2)マスクの漏れ率については、現場も含めメリヤスやタオル使用などでは漏れ率が高度になることが明らかになった。

今回新たに開発されたウェアラブル粉

じんモニターも活用しながら、PAPRを現場でどのように活用していくかについてさらに研究を進めていきたい。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

なし

平成30年度労災疾病臨床研究事業費補助金
研究報告書

作業現場における呼吸用保護具の種類及び装着方法に関する
アンケート調査

研究分担者 池上和範¹⁾、安藤 肇¹⁾、保利 一²⁾、明星敏彦³⁾
研究協力者 白坂泰樹¹⁾

¹⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学

²⁾産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

研究要旨

現場で実際に使用されている呼吸用保護具の種類や、その装着方法を把握することを目的に、作業者を対象に質問紙調査を実施した。

研究参加事業場は、福岡県、山口県、千葉県に所在している 10 事業場であり、事業場に勤務する男性労働者 284 名に対して、自記式質問紙を配布した。212 名の労働者から調査参加の同意および質問紙への回答が得られた。(回収率:74.6%)

調査の大項目は、基本属性、使用している呼吸用保護具の種類とその装着方法、防護性に対する認識の 3 項目とした。

常用マスクについて取替え式防じんマスクと回答したものが 113 名(53.3%)と最も多く、次いで使い捨て式防じんマスクと回答したものが 41 名(19.3%)、防毒マスクと回答したものが 30 名(14.2%)であった。電動ファン付き呼吸用保護具(Powered Air Purifying Respirators, 以下 PAPR と略する)の回答数は 0 名であった

装着方法に関して、113 名中、54 名(47.8%)がヘッドバンドの位置は頭頂部と、52 名(44.2%)がヘッドバンドはヘルメットの上から固定すると回答した。それ以外の回答として、ヘッドバンドは後頭部に固定すると回答したのが 4 名(3.5%)、タオルや頭巾を巻いた上からヘッドバンドを固定すると回答したものが 2 名(1.8%)であった

呼吸用保護具を使用している作業現場では、様々な装着方法が認められ、呼吸用保護具の装着方法に関する教育の不十分さや、個人的・職場環境的要因の課題が明らかになった。

A. 研究目的

有害物質にばく露される可能性がある作業場においては、作業環境や作業の改善により根本的な対策を講じることが第一に重要である。しかし、そのような対策を講じることが困難な場合には、作業者が適切な呼吸用保護具を装着することが必要である。呼吸用保護具は、作業環境中の有害物質へのばく露により生ずる様々な職業性疾病を予防するために使用されるものであり、労働安全衛生規則等に呼吸用保護具を使用すべき作業名等が定められている[1]。

職業性呼吸器疾患、とりわけじん肺および合併症は、職業性疾病の中でも重要な疾病であり、労働安全衛生法、じん肺法、粉じん障害防止規則等に基づき、以前より予防対策が講じられている。じん肺およびじん肺の合併症による業務従事上疾病者は、減少傾向にあるものの、近年でも200人前後で推移していて[2]、依然として多い状況にあり、粉じんばく露防止対策の継続的推進が重要と考えられる。厚生労働省は、平成30年度から5カ年に渡る第9次粉じん障害防止総合対策を策定し[3]、計画では呼吸用保護具の使用の徹底および適正な使用の推進を、事業者が特に実施すべき措置の一つとして、重点に置いている。

労働安全衛生規則第35条では、事業者は労働者を雇い入れ、又は労働者の作業内容を変更したときは労働者に対して保護具の取扱いに関する教育を行う義務が課せられている。また、防じんマスクの選択、使用等に関する通達では、

装着の際の正しい締めひもの位置やフィットチェッカー等の使用など適切な呼吸用保護具の使用方法に加えて、タオル等を当てた上からの防じんマスクの装着など、不適切な使用方法および使用に当たっての留意点について詳細に記述されている[4]。しかし実際に、我々が産業医活動を行っている事業場において、様々な使用例を認める。例えば、メリヤスカバーの使用については、マスク装着の際に皮膚に湿しん等を起こす恐れのある場合、かつ顔と面体の密着性が良好である場合に限り使用すべきと定められているが、不適切な状況で使用している例が散見される。また高炉前などの暑熱職場では顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着している例、頭部に直接ではなく、ヘルメットの上からヘッドバンドをかけて装着している例など様々である。現場で確認される装着方法の一部は、呼吸用保護具と顔面の密着性の低下により、防護性に問題が生じている恐れがあるが、現場で確認される装着方法に関する実態を調査した報告はほとんどない。

本研究の目的は、現場で実際に使用されている呼吸用保護具の種類や、その装着方法を把握することである。また、防護性の認識と呼吸用保護具装着方法の教育の受講歴の有無についても調査することにより、教育の効果についても検討を行った。

B. 研究方法

本研究は、まず質問紙調査を実施して、

実際の現場における呼吸用保護具の装着方法や、使用している呼吸用保護具の種類等を把握した。次に現地調査を実施して、質問紙調査で得られた情報の信頼性を高めた。

1. 質問紙調査

1.1 研究デザインとセッティング

機縁法により選択された研究参加事業場の作業者を対象に、質問紙調査を実施して、作業現場で使用されている呼吸用保護具や、装着方法等の実態を把握した。研究参加事業場は、福岡県、山口県、千葉県に所在している 10 事業場であり、日本標準産業分類の中分類別にみると、鉄鋼業が 2 事業場、コークス製造業が 1 事業場、化学工業が 2 事業場、骨材・石工品等製造業が 1 事業場、金属製品製造業 4 事業場であった。また産業医の選任義務がある従業員数 50 人以上であるのは 5 事業場（このうち 1000 人以上は 1 事業場）、50 人未満であるのは 5 事業場であった。調査は、2018 年 7 月から 8 月に実施した。

1.2 対象者

研究参加事業場に勤務する男性労働者 284 名に対して、自記式質問紙を配布した。調査対象となるのは、参加時点で呼吸用保護具を業務として日常的に使用している成人作業者とした。最終的に 212 名の労働者から調査参加の同意および質問紙への回答が得られ（回収率：74.6%）、全ての回答を解析対象とした。

1.3 調査方法

封入された質問紙を分担研究者・研究協力者である研究参加事業場産業医等から対象者へ配布した。質問紙回答後に、

対象者自身によって質問紙を回収用封筒に封入し、返送された。

2. 質問紙

質問紙では、対象者の基本属性に関すること、対象者が使用している呼吸用保護具と装着方法に関すること、防護性に対する認識について調査した。（参考資料として末尾に質問紙参照。）

2.1 基本属性に関する質問

調査項目は、会社名、所属、粉じん作業の内容、粉じん作業への従事状況（これまで、何年程度粉じん作業に従事しているか、また調査時点において、1 週間のうち何日程度粉じん作業に従事しているか、1 日何時間程度の作業があるのか）、呼吸用保護具の装着方法に関する教育の受講歴の有無について、とした。

2.2 呼吸用保護具とその装着方法

呼吸用保護具に関する調査項目は、最も使用頻度が高い呼吸用保護具（以下、常用マスクと略する）の種類について、とした。装着方法に関する調査項目は、呼吸用保護具のヘッドバンドの位置や、呼吸用保護具装着時に接顔面と顔面の隙間にメリヤスカバーやタオルなどの入り込むものの有無について、とした。ヘッドバンドの位置に関する質問は、選択肢に装着状態の写真を載せた。選択肢は、頭頂部付近、後頭部付近、ヘルメットなど、その他の 4 つとした。ヘルメットなど頭部以外の位置で固定している際は、その部位について質問した。その他の、選択肢以外の位置にヘッドバンドがくる装着方法に関しては、顔面のイラスト上にヘッドバンドの位置を記載した。

呼吸用保護具装着時に接顔面と顔面の隙間に何かが入り込むことはあるかという質問は、何も入らない、メリヤスカバー、タオル、その他という選択肢を用意した。

2.3 防護性に対する認識について

呼吸用保護具装着方法の防護性に対する認識については、問題あると認識している、問題ないと認識している、問題があるかどうか分からない、のいずれかを選択させた。問題があると認識している場合には、どこに問題があると考えるか、ヘッドバンドの位置、接顔面と顔面の隙間、その他の3択で調査した。問題あると認識しながらも当該装着方法を実施する理由について、接顔面の不快感を解消させるため、息苦しさを解消させるため、正しい装着は面倒なため、職場の他の者がその装着方法を実施しているため、その他の5つの選択肢を用意した。

3. 解析方法

対象者の属性、使用する呼吸用保護具の種類、装着方法、防護性に関する認識について単純集計を行った。従事する粉じん作業内容については、対象者が記載した粉じん作業内容を、日本標準職業分類の小分類にしたがって分類し、集計を行った。ヘッドバンドの位置は、使用する呼吸用保護具の種類によって変化するので、今回の調査では評価の対象を、常用マスクが取替え式防じんマスクと回答したものに限定した。呼吸用保護具の防護性に関する認識の評価に関しても、同様の理由で、常用マスクが取替え式防じんマスクと回答したものを評価

対象とした。対象者について、装着方法、教育受講歴、防護性に対する認識についてクロス集計を行った。

4. 現地調査

質問紙調査では調査しにくい特異な装着方法や呼吸用保護具の種類についての細かい情報を得ることを目的に、現地調査を実施した。現地調査を実施したのは、研究参加事業場である10事業場のうちの、調査の同意が得られた8事業場であった。調査は、2018年7月から開始し、1事業場につき半日程度の時間をかけ、実際に呼吸用保護具が使用されている現場を観察するとともに、呼吸用保護具の使用状況等を確認した。また一部の作業者には、本人同意の上インタビューを実施し、呼吸用保護具の装着状況の確認を行った。

5. 倫理的配慮

本研究は産業医科大学倫理委員会の承認を得ており、個人情報取り扱いおよび保管には万全の配慮を行った。質問紙調査において対象者は、本研究に参加することの利益と不利益とを説明された上で、参加または不参加を自由に選択できることを保証した。更に質問紙内に回答できない項目があれば無理に回答する必要のない旨を担当者より説明し、また質問紙内にも同様の記載をした。質問紙調査においても参加に同意を得られた対象者から同意書を得た。

C. 研究結果

1. 対象者の属性

対象となった、212名のうち、鉄鋼業

に従事するものが最も多く（70名）、次いで金属製品製造業（55名）、化学工業（40名）が多かった（図1）。従事する粉じん作業の内容については、非鉄金属精錬設備制御が最も多く（43名）、次いで、金属工作機械作業（38名）、製鉄用石炭製品製造設備保守（37名）が多かった（図2）。

対象者の粉じん作業従事年数の平均（標準偏差）は、14.3（11.8）年という結果になった（図3）。従事年数が1年未満と答えたものは7名で、半数以上が10年以上と回答した（図4）。現在の粉じん作業従事日数/週の平均（標準偏差）は、4.9（1.1）日、更に粉じん作業従事時間/日の平均（標準偏差）は5.0（2.5）時間という結果になった（図5）。

呼吸用保護具の装着方法に関する教育を受けたことがあるかという質問に対して、212名中、158名（74.5%）が受けたことがあると回答した（図6）。

2. 対象者が使用している呼吸用保護具と装着方法

常用マスクについて取替え式防じんマスクと回答したものが113名（53.3%）と最も多く、次いで使い捨て式防じんマスクと回答したものが41名（19.3%）、防毒マスクと回答したものが30名（14.2%）であった。PAPRの回答数は0名であった（図7）。

装着方法に関して、まずヘッドバンドの位置について評価した。呼吸用保護具の種類により、ヘッドバンドの適正位置は異なるものもあるため、評価する呼吸用保護具は、常用マスクが取替え式防じんマスクと回答したもの（n=113）を評

価した。113名中、54名（47.8%）がヘッドバンドの位置は頭頂部と、52名（44.2%）がヘッドバンドはヘルメットの上から固定すると回答した。それ以外の回答として、ヘッドバンドは後頭部に固定すると回答したのが4名（3.5%）、タオルや頭巾を巻いた上からヘッドバンドを固定すると回答したものが2名（1.8%）であった（図8）。現地調査においては、溶接用頭巾の上から呼吸用保護具を装着する作業者也複数名確認できた。

次に、接顔面と顔面の隙間について評価した。接顔面と顔面の隙間に何も入り込まないと回答したものが131名（61.8%）であったのに対して、入り込むと回答したものは、76名（35.8%）であった。入り込むものに関しては、メリヤスカバーと回答したものが55名（72.4%）と最も多く、次いで、タオルが20名（26.3%）であった。結果を図9に示す。現地調査において、メリヤスカバーやタオルを使用している作業者にそれらの装着理由を確認した。メリヤスカバーに関しては、取替え式防じんマスクの使用による皮疹を予防するために使用するという回答もあったが、多くは接顔面の不快感を解消させるために使用するとの回答であった。タオルを使用する装着方法に関しては、鉄鋼業に従事すると答えた回答が多く、現地調査でも、同様の傾向が確認された。現地調査でタオルを使用する理由を作業者に確認したところ、高温物による輻射熱から顔面を保護するためという理由が多く、実際に現場で使用されていたタオルは防

炎性のタオルであった。

3. 防護性に対する認識

ヘッドバンドの位置に関しては、呼吸用保護具の種類によって異なるので、常用マスクが、取替え式防じんマスクと回答した 113 名に分析対象を限定した。

回答した呼吸用保護具装着方法が防護性の観点から“問題ない”と回答したものは、77 名 (68.1%) であった。そのうち、推奨されている装着方法を回答したものは、21 名 (27.3%) であった。推奨されていない装着方法を回答したものは、53 名 (68.8%) であった (図 3-10)。推奨されない装着方法で最も多かったのは、ヘルメットの上でヘッドバンドを固定する方法で、34 名と最も多く、次いでメリヤスカバーを使用するとの回答が 26 名で多かった。その他、ヘッドバンドの位置が後頭部にあるという回答や、ヘッドバンドの位置が後頭部という回答もあった。これらの推奨されない方法を組み合わせて実施している回答もあった (例；ヘルメットの上にヘッドバンドを固定して更にメリヤスカバーを使用する、等)。

防護性の観点から“問題がない”と回答した 77 名のうち、62 名がこれまでに

呼吸用保護具の装着に関する教育を受けたことがあるという回答であった。装着方法別にみると、推奨されている装着方法で呼吸用保護具を使用していると回答した 21 名のうち、17 名が呼吸用保護具に関する教育を受けたことがあると回答していた。こちらの結果も図 10 に示す。教育を受けたことがあると回答したもののうち、推奨される装着方法を回答したものが 62 名中 17 名 (27.4%) で、教育を受けたことがないと回答したもののうち、推奨される装着方法を回答していたものは 15 名中 4 名 (26.7%) であった。

防護性の観点から“問題がある”と回答したのは 113 名中 10 名であり、問題あると認識しながらも、実施している装着方法は、メリヤスカバーを装着する方法や、ヘルメットの上でヘッドバンドを固定する方法、もしくはその両方の装着方法であった。メリヤスカバーを使用する理由としては、不快感を避けるため、息苦しさを解消させるため、肌荒れを避けるため、という理由があがった。ヘルメットの上でヘッドバンドを固定する方法は、装着が面倒なため、という理由であった。

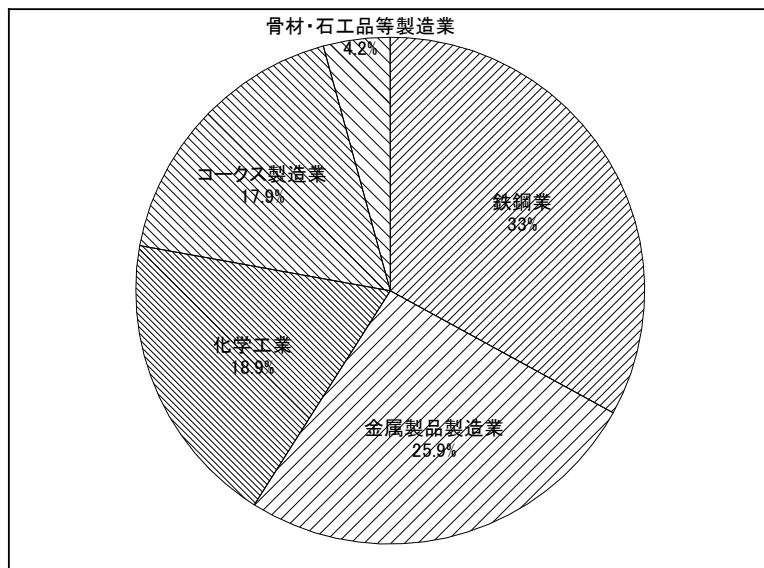


図1. 所属事業所の業種 (n=212)

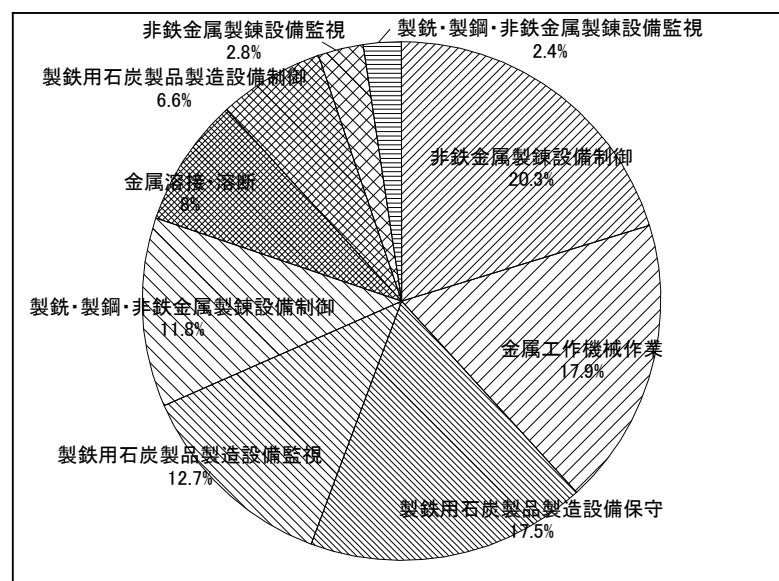


図2. 従事する粉じん作業内容 (n=212)

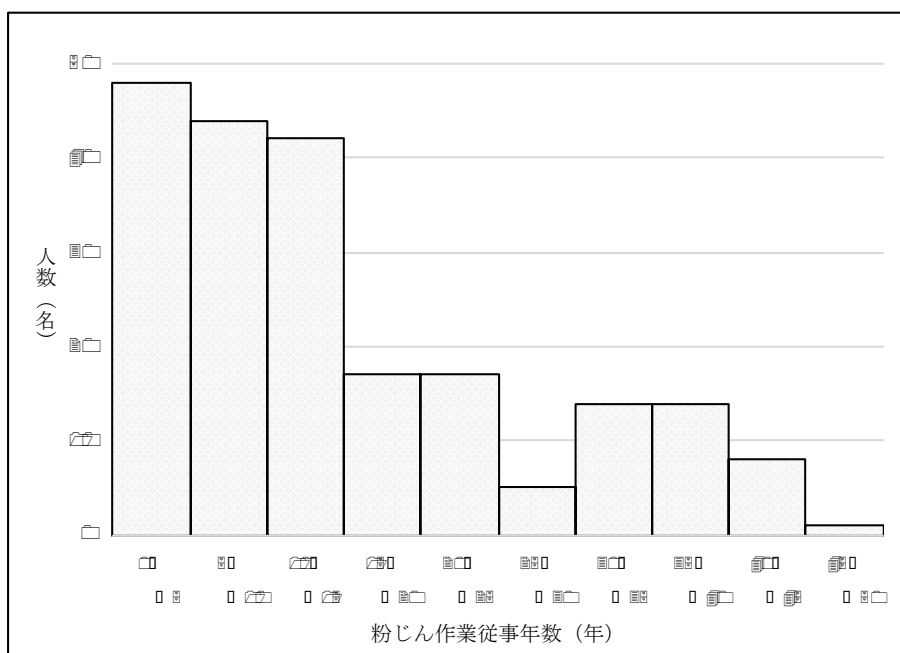


図3. 粉じん作業従事年数 (n=210, 回答なし: 2名)

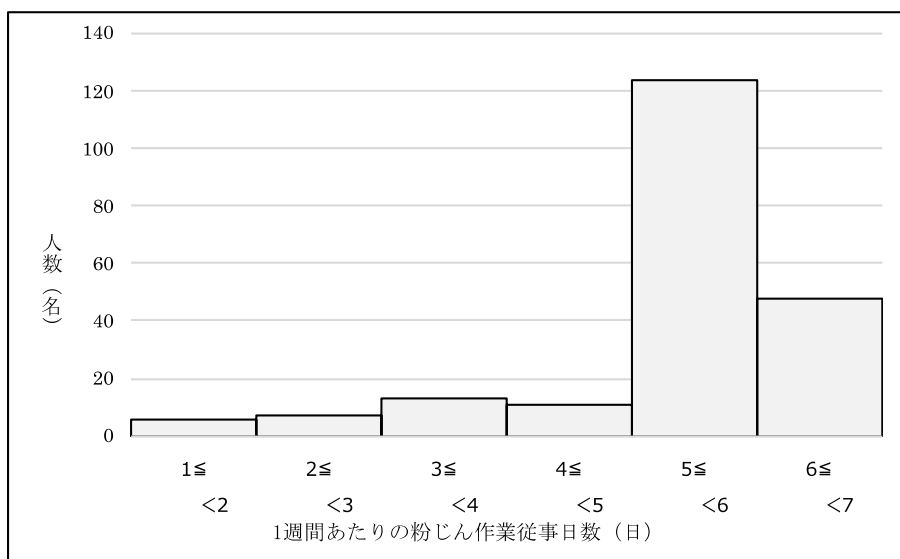


図4. 1週間あたりの粉じん作業従事日数 (n=209, 回答なし: 3名)

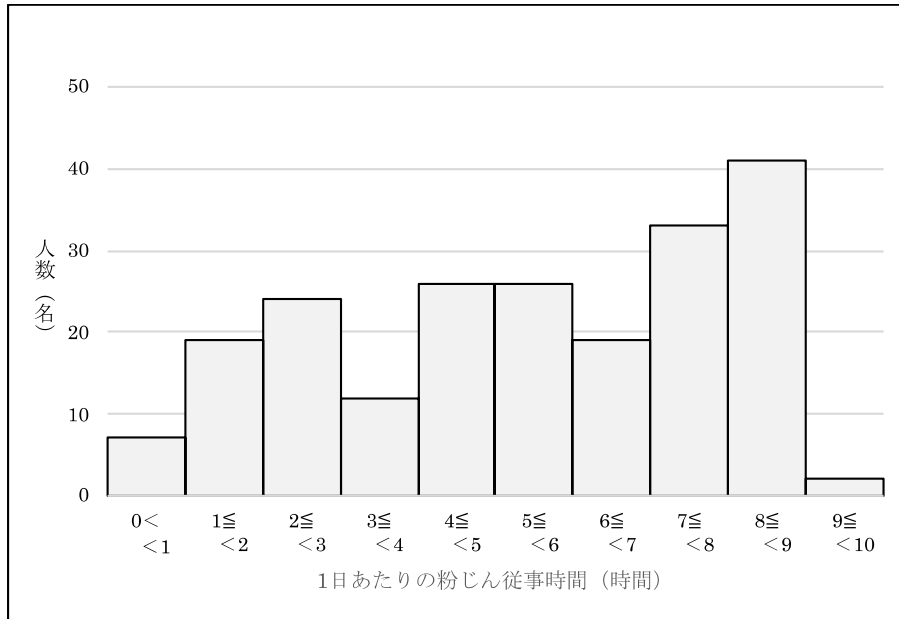


図 5. 1 日あたりの粉じん作業従事時間 (n=209, 回答なし : 3 名)

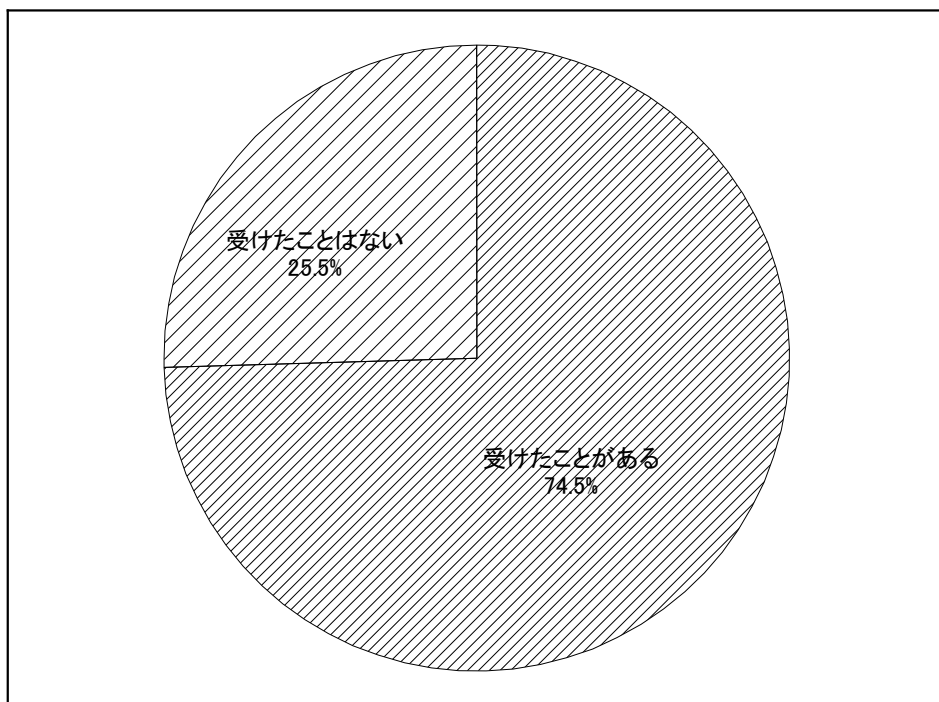


図 6. 呼吸用保護具の装着方法に関する教育 (n=212)

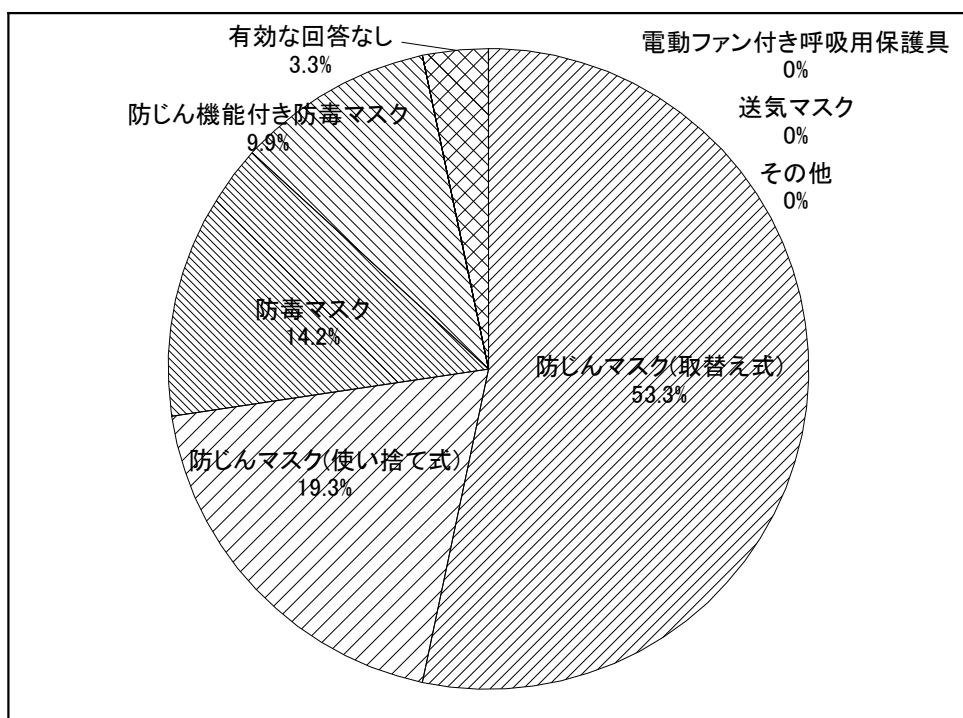


図 7. 最も使用頻度が高い呼吸用保護具 (n=212)

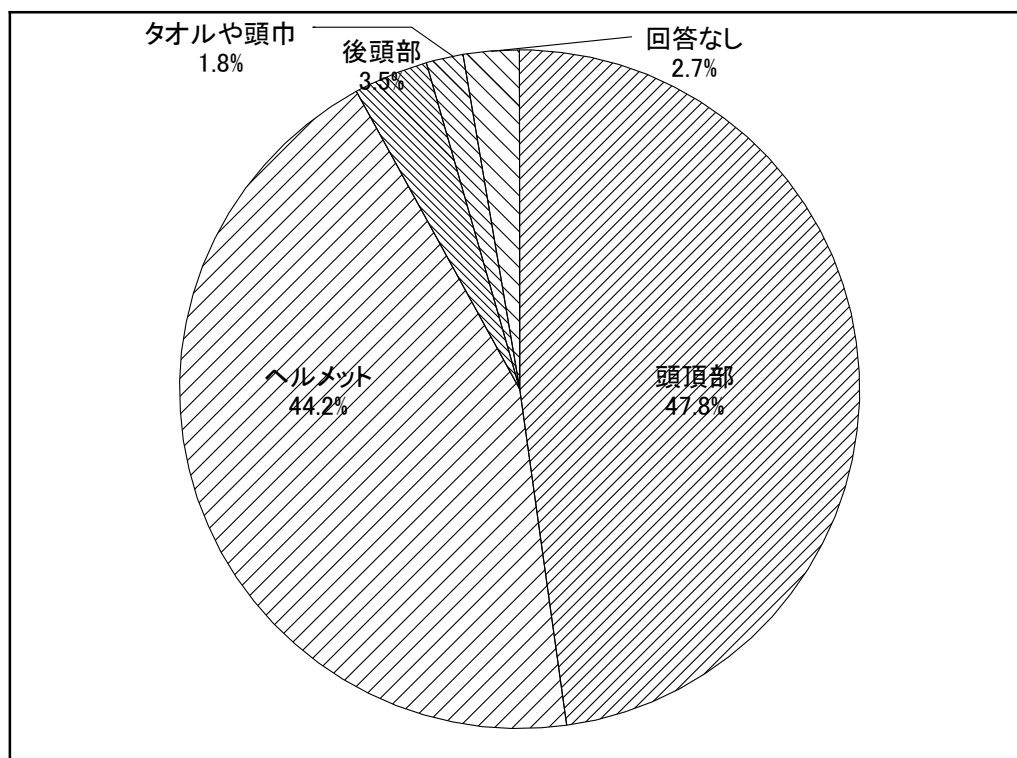


図 8. ヘッドバンドの位置 (評価の対象を、常用マスクが取替え式防じんマスクと回答したものに限定した. n=113)

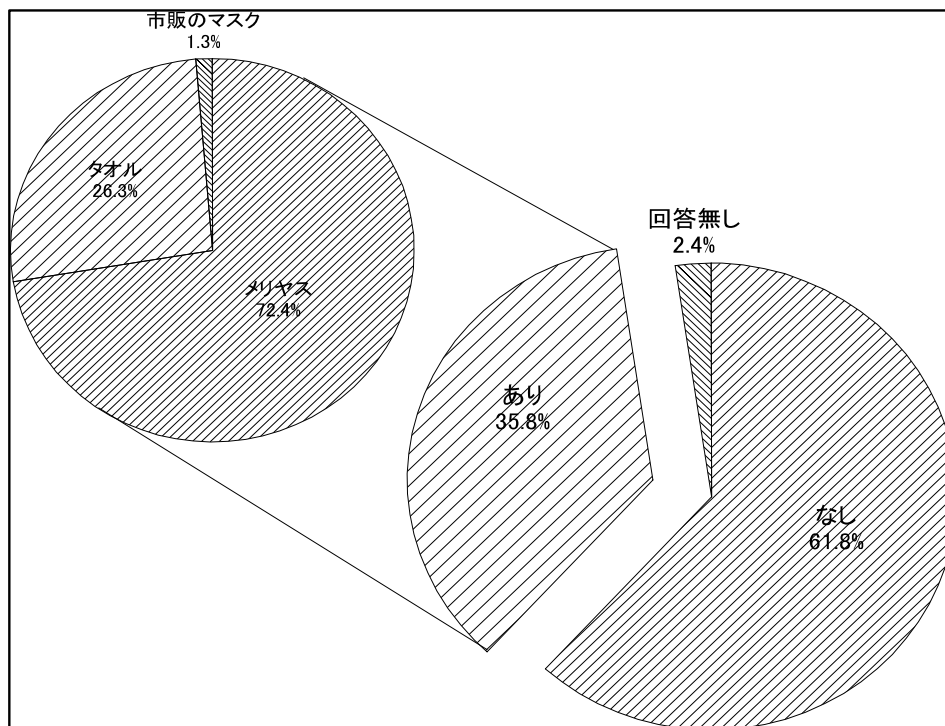


図 9. 接顔面と顔面の隙間に入り込むもの (n=212)

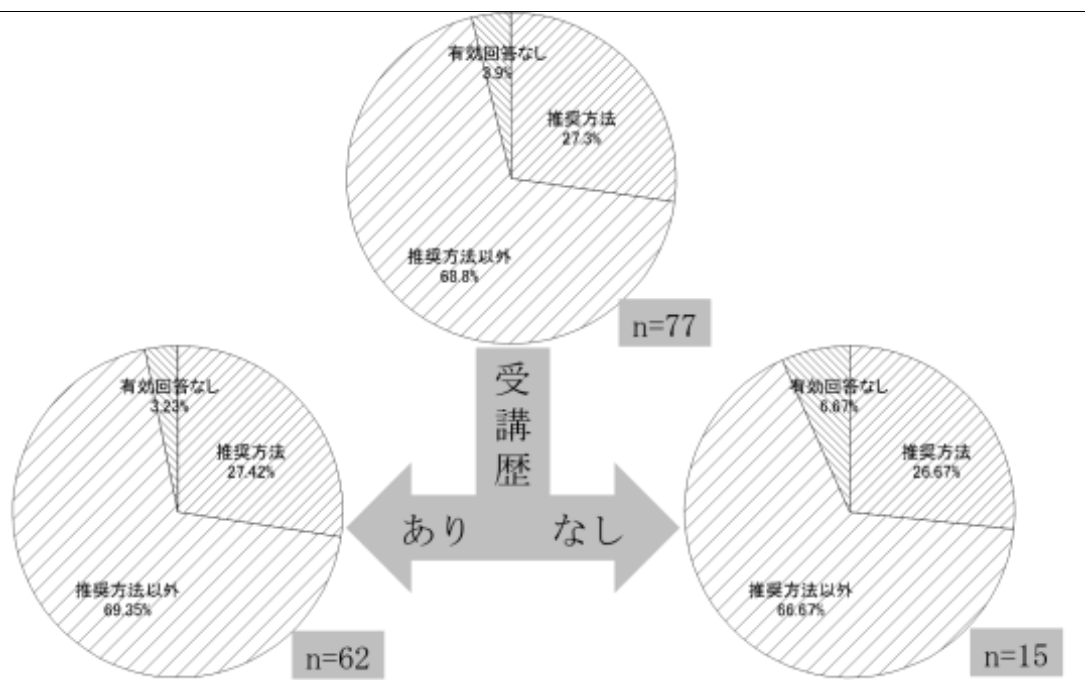


図 10. “防護性に問題がない”と認識している回答者の装着方法.

D. 考察

対象者の平均粉じん作業従事年数（標準偏差）は、14.3（11.8）年，現在の平均粉じん作業従事日数／週（標準偏差）は、4.9（1.1）日／週，更に平均粉じん作業従事時間／日（標準偏差）は 5.0（2.5）時間／日という結果であった．中野らによって，全国の労災病院に対し，2008 年度から 2010 年度までの 3 年間のじん肺合併症の発生状況についての質問紙調査が実施されている．その報告によると，2008 年度からの 3 年間に，労災病院でじん肺合併症と診断された患者数は合計 150 例であり，これらの患者の粉じん作業従事年数は，平均で 27 年間であった[5]．じん肺およびじん肺の合併症は，長い年月をかけて粉じんにばく露することで発症することが知られている．今回の対象者の平均粉じん従事年数は，この 27 年間と比較すると 10 年以上短い．じん肺およびじん肺の合併症による業務上疾病者数が，減少傾向にあることも考慮すると，教育などの際には，健康障害に関わる知識も学ぶべきであると考えられる．

最も使用頻度の高い呼吸用保護具は，取替え式防じんマスクで，次いで使い捨て防じんマスクであった．一方，PAPR の回答数は 0 名であった．PAPR の装着義務がある作業として，粉じん障害防止規則第 27 条第 2 項により装着が義務付けられているトンネル建設工事作業や，

石綿障害予防規則第 14 条第 1 項により装着が義務付けられている石綿除去作業，特定化学物質障害予防規則第 38 条の 7 により装着が義務付けられているインジウム化合物等の取扱作業などがある．今回の調査において，PAPR の装着義務のある作業を行っているとは回答した者は，PAPR を使用すると回答した対象者も含め全ての対象者において認めなかった．

PAPR は，防じんマスクと比べ一般的に防護係数が高く，労働者の健康障害防止の観点からより有用であるため，着用が義務付けられている特定の作業以外の作業においても PAPR を着用することが望まれている[6]．しかし，従来の防じんマスクより高価であること等が一因で，現在のところ作業現場での使用は限定的になっていているとの報告がある[7]．価格の面が改善されるなどして，今後現場で広く普及しやすくなることを期待される．

装着方法に関して，ヘッドバンドの位置，そして，顔面と接顔面の隙間の状況を調査した．評価する呼吸用保護具の種類を取替え式防じんマスクに限定した際に，ヘッドバンドの位置で一番多かった回答は，推奨される位置である頭頂部であったが，回答全体の 47.8%の割合に留まった．頭頂部の次に多かったのは，ヘルメットの上で，44.2%の割合を占めた．ヘルメットの上にヘッドバンドを固定するのは，装脱着の際の手間が一因と

考えられる。作業エリア外の移動や休憩時など、マスクを一時的に外したいと思った際には、ヘルメットを脱いだうえで、マスクのバックルを外し、頭頂部のヘッドバンドをずらすなど多くの手間がかかり、さらに作業再開の際には全ての保護具を装着し直す必要がある。2014年に、上述したような一時的な着脱が必要な時に、ヘルメット等を装着したままワンタッチでマスクを顔から着脱できる呼吸用保護具（スリーエム ジャパン株式会社 Model:3M™ 取替え式マスク 6500 シリーズ）も販売されたが、今後このような機能を持つ取替え式防じんマスクが普及すれば、ヘルメットの上から取替え式防じんマスクを装着するのは減少する可能性が考えられる。

接顔面と顔面の隙間については、入り込むものがあると回答したものは、全体の35.8%であった。入り込むものに関しては、メリヤスカバーと回答したものが最も多く、次いで、タオルであった。メリヤスカバーに関しては、マスク装着の際に皮膚に湿しん等を起こす恐れのある場合で、かつ、顔と面体の密着性が良好であるときに限り使用が認められている。しかし、顔と顔面の密着性が不良という理由で、マスク装着の際に皮疹を起こす作業者に対して、事業者がメリヤスカバーの使用を禁止することは、皮疹の発症、増悪の誘発につながる可能性がある。職場によっては、呼吸用保護具が必要でない職場に配置転換するのは困

難な場合もある。タオルの使用に関しても、メリヤスカバー同様に不快感を防止するために使用している例もあったが、高熱物からの輻射熱を避けるために使用している作業者も確認できた。一概にタオルの使用を禁止するのではなく、呼吸用保護具の防護性を保ちつつ、熱から身を守る対策が必要と考えられる。

防護性の認識に関して考察する。質問紙調査の結果、防護性の観点から“問題ない”と認識している回答のうち、推奨される装着方法を回答したのは3割程度であり、呼吸用保護具の装着方法の教育の受講の有無で、その割合に大きな変化は認めなかった。今回の質問紙調査においては、教育の受講状況のみを質問し、教育内容までは調査できていないが、結果から考えると教育の効果が薄いことは否定できない。

アメリカでは米国の労働安全衛生局 (Occupational Safety and Health Administration: OSHA)により、以下の文章のように定期的に呼吸用保護具の漏れ率を測定する必要があると定められている (You must be fit tested before you use a respirator in the workplace, and you must be retested at least every 12 months to make sure that the respirator you use still fits you.)。一方、日本では労働安全衛生規則により、事業者が労働者を雇い入れ、又は労働者の作業内容を変更したときに労働者に対して教育を行う義務が課せられているが、

漏れ率の測定が必要とは定められていない。したがって日本では装着方法の違いによる呼吸用保護具の漏れの相違について考える機会は少ない可能性がある。装着方法の防護性について確かめる方法には、マスクフィッティングテスターを用いて漏れ率を測定する方法に加えて、陰圧法フィットテスト、陽圧法フィットテストなどがある。陰圧法フィットテストや陽圧法フィットテストは、装着者自身で簡易に防護性の確認をすることは可能だが、管理監督者や衛生スタッフ等の第三者による防護性の確認は困難である。一方、マスクフィッティングテスターを用いて漏れ率を測定する方法は、漏れの状態を定量的に把握可能であることから、粉じん対策に関する作業者の認識向上のために有意義であるとの報告がある[8]。マスクフィッティングテスターを用いて実際に漏れ率測定の実施することや、装着方法と防護性の関係性に関する教育を受けることを義務付けるなど、教育体制や教育内容の改善の余地はあると考えられる。

特に 50 人未満の事業場に関しては、衛生管理者の選任義務がないなど、50 人以上の事業場と比較した場合、安全衛生管理体制は整っていない可能性がある。また粉じんに関しては、有機溶剤、特化物、酸欠などと異なり、作業主任者が存在せず対策が手薄になりやすいことが考えられる。そのような事業場においては、まずは平成 17 年に発出された

「防じんマスクの選択、使用等について」に従い[4]、事業者が作業場ごとに保護具着用管理責任者を選任して、保護具着用管理責任者に防じんマスクの適正な選択、着用及び取扱方法について必要な指導を行わせるとともに、防じんマスクの適正な保守管理に当たらせることが重要と考えられる。加えて外部機関である都道府県産業保健総合支援センター又はその地域窓口である地域産業保健センターへの相談や、公益社団法人日本保安用品協会で定めている保護具アドバイザー制度を活用することが、粉じんばく露防止の管理体制の充実にとって重要である。

E. 結論

呼吸用保護具を使用している作業現場では、様々な装着方法が認められた。それらの装着方法が実施される原因として、呼吸用保護具の装着方法に関する教育の不十分さや、個人的・職場環境的要因が考えられた。呼吸用保護具は、近年、性能の良いものが開発されてきているが、適切な装着方法を実施しなければ性能を十分に発揮することはできない。まずは教育内容を充実させて、適切な装着方法を遵守させることが重要である。しかし個人的・職場環境的要因により、推奨される装着方法が遵守できない場合は、そのような装着方法の際でも防護性を維持できるような対策が必要だと考えられる。

参考文献

- 1.日本保安用品協会(2011):保護具ハンドブック. 第三版. 中央労働災害防止協会, 東京 pp 298-302
- 2.厚生労働省(2018):業務上疾病発生状況等調査. 厚生労働省, 東京
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunit-suite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/toukei.html (Accessed November 23,2018)
- 3.厚生労働省労働基準局(2018):第9次粉じん障害防止総合対策の推進について. 平成30年2月9日基発0209第3号
https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12602000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Roudouseisakutantou/0000197047.pdf (Accessed January 28,2019)
- 4.厚生労働省労働基準局(2005):防じんマスクの選択, 使用等について. 平成17年2月7日基発0207006号. 厚生労働省, 東京
<https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-46/hor1-46-4-1-0.htm> (Accessed November 23,2018)
- 5.中野郁夫, 宇佐美郁治, 岸本卓巳, 他(2013):労災病院における塵肺合併症

の発生状況について. 日職災医誌 61: 236-242

- 6.厚生労働省労働基準局(2018):第9次粉じん障害防止総合対策の推進について. 平成30年2月9日基発0209第3号
- 7.独立行政法人労働者健康福祉機構岡山産業保健総合支援センター(2016):電動ファン付呼吸用保護具装着による負荷の軽減の調査研究
- 8.成清 雄一, 塚島 英明, 名古屋 俊士(1995):マスクフィッティングテスターの実用性に関する研究. 産衛誌 1995 37(3):177-185

F. 研究発表

1. 論文発表
該当なし
2. 学会発表
該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

現場で認める呼吸用保護具の装着バリエーションに関する調査

この度は、調査にご参加いただきありがとうございます。

当研究室では、実際の現場で作業されている方の呼吸用保護具の装着バリエーションや使用している呼吸用保護具の種類に関するアンケート調査を行い、実態を把握したいと考えています。その後、装着バリエーションや呼吸用保護具の種類による漏れ具合を評価し、呼吸用保護具の防護性の評価を行います。

この調査は、その研究目的で実施され、得られたデータは統計的な処理などが行われます。記入していただいた回答内容や個人情報は、研究責任者の管理の下、社内スタッフ(産業医が研究分担者・研究協力者である場合は、その産業医は除きます)に漏れないよう、回答後は社内スタッフを介さず参加者により直接、産業医科大学に結果を郵送して頂くなど、最大限配慮をいたします。ご回答の際は、他の方に質問紙が見られない場所で回答いただくようお願い致します。

質問紙調査への参加は本人の自由意思であり、いつ調査参加を撤回してもいかなる不利益も生じません。質問紙内に回答したくない項目があれば無理に回答する必要もありません。

調査票はこのページを含め、5ページで構成されています。**研究への参加を同意いただける場合は、以下の調査参加同意確認欄にご署名いただいた後、質問紙にご回答下さい。**全ての回答が終わりましたら質問紙は、謝礼送付先を記入して頂いた謝礼送付用封筒と一緒に、質問紙回収用封筒に入れて、産業医科大学作業関連疾患予防学研究室まで郵送して頂けると幸いです。研究参加の同意が難しい場合は、送付の必要はありません。

また、質問紙に個人を特定できる情報についての質問がなく、同意書に関しては回収後直ちに質問紙から取り外して連結が出来ない状態にするため、個人を特定することができません。従って、**質問紙調査同意後の撤回はできません。**十分にご注意ください。

産業医科大学 産業生態科学研究所
作業関連疾患予防学研究室
大学院生 白坂 泰樹、助教 安藤 肇
電話番号 093-603-1611(内線 8329、3123)
E-mail: shirasaka0719@med.uoeh-u.ac.jp

調査参加同意確認欄

私は、上記の説明を理解し質問紙に回答し本研究に参加することに同意します。

同意日：平成 年 月 日

研究参加者氏名(自署)： _____
会社名・所属： _____

添付資料①（質問紙）

Q1 あなたの会社名と所属をお知らせ下さい。

会社名と所属	
会社名	所属

Q2 あなたの現在の仕事について教えて下さい。

Q2_1. 粉じん作業は平均して1週間のうち何日くらいで、また1日のうち何時間くらいですか？
またそれはどのような作業ですか？（作業内容例：グラインダーでの研磨作業）

回答	
1週間のうち _____ 日、1日あたり _____ 時間	作業内容：

Q2_2. 防じんマスクの装着時間は、平均して1日あたり何時間くらいですか。

回答
時間

Q2_3. 粉じん作業に何年間くらい従事していますか。
（違う職場や会社で粉じん作業をしたことがある方は合計をお答えください）

回答
年間

Q2_4. 今までに、呼吸用保護具の装着方法に関する教育を受けたことはありますか。当てはまる数字を1つ、右の回答欄にご記入下さい。

1. 受けたことがある
2. 受けたことはない

回答

Q2_5. 今までに、呼吸用保護具の漏れ率を測定したことはありますか。
当てはまる数字を1つ、右の回答欄にご記入下さい。

1. 受けたことがある
2. 受けたことはない

回答

Q3 以下から、**現在**使用機会のある呼吸用保護具を全て選び、当てはまる数字を右の回答欄にご記入ください。またその中で、最も使用頻度が高い呼吸用保護具を選び、回答欄にご記入ください。

1. 防じんマスク(取替え式)
2. 防じんマスク(使い捨て式)
3. 防毒マスク
4. 防じん機能付き防毒マスク
5. 電動ファン付き呼吸用保護具
6. 送気マスク
7. その他(以下に詳細をお書きください)

現在使用機会のある 呼吸用保護具 (複数回答可)
最も使用頻度が高い 呼吸用保護具

添付資料①（質問紙）

Q4 現在、最も使用頻度が高い呼吸用保護具に関する質問です。

a) その呼吸用保護具のメーカー、型番を分かる範囲でお答えください。

b) どのくらいの期間、同一個体の呼吸用保護具を使用したら保護具本体を新しいものに交換しますか。(フィルターのみの交換など、マスク本体の交換をしたことがない方は、□に✓を記入してください。)

a)の回答	b)の回答	
(例：興研株式会社 防毒マスク R-5X-08 型 など)	同一個体の呼吸用保護具の使用期間	マスク本体は
	力月または 年間	☐ 交換したことはない

Q5 現在、最も使用頻度が高い呼吸用保護具に関する質問です。呼吸用保護具のサイ

ズは、あなたの顔の大きさを考慮されていますか。

当てはまる数字を 1 つ、右の回答欄にご記入下さい。

1. サイズが何種類かあった呼吸用保護具の中から自分の顔にあったものを選択している。(サイズを自分で選択できた)
2. 顔のサイズに関係なく、職場で一律に準備されたものを使用中
(サイズは自分で選択できていない)。
3. 分からない

回答

Q6 呼吸用保護具の装着方法に関する質問です。ヘッドバンド(以下の写真の○の部分

の固定部分のことです)は以下のどの位置にあることが多いですか。以下の写真を参考にして当てはまる数字を 1 つ、右の回答欄にご記入下さい。

1. 頭頂部付近
2. 後頭部付近
3. ヘルメットなど(詳細を下記にご記入下さい)
4. その他(位置を下記にご記入ください)

回答

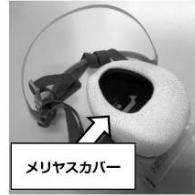
								
1. 頭頂部付近 写真の状態もしくは、この上からヘルメット、帽子、タオルなどをかぶり作業する。	2. 後頭部付近 写真の状態もしくは、この上からヘルメット、帽子、タオルなどをかぶり作業する。	3. ヘルメットなど 頭以外の部位(詳細を以下にご記入ください)でヘッドバンドを固定。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>回答</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(解答例：ヘルメット、タオル)</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table>	回答	(解答例：ヘルメット、タオル)				4. その他 左の写真の状態と異なる位置でヘッドバンドを固定されている方は、上のイラストにヘッドバンドの位置をご記入下さい。 裏に続きます⇒
回答								
(解答例：ヘルメット、タオル)								

添付資料①（質問紙）

Q7 装着方法に関する質問です。呼吸用保護具装着時に接顔面と顔面の隙間に何かが入り込むことはありますか？当てはまる数字を、右の回答欄にご記入ください。

(複数可)

1. 何もない
2. メリヤスカバー(右図)
3. タオル
4. その他(以下に詳細をお書きください)



回答 (複数回答可)

--

Q8 Q6、Q7 でお答えしていただいた装着方法は、同じ職場の皆さんと同じ装着方法ですか？それともあなた独自の装着方法ですか？当てはまる数字を 1 つ、右の回答欄にご記入ください。

1. 職場の皆さんと同じ装着方法
2. あなた独自の装着方法

回答

Q9 あなたの装着方法は、呼吸用保護具の防護性の観点から問題ないと思いますか。当てはまる数字を 1 つ、右の回答欄にご記入ください。

1. 問題ない(“1”と答えた方:次は Q12 へ)
2. 問題ある
3. 分からない

回答

Q10 Q9 の装着方法の防護性に関する質問に対して「2. 問題ある」または「3. 分からない」と回答された方に対する質問です。具体的に、どのような箇所が「問題」または「分からない」と考えていますか。以下の回答欄にお答えください。(複数回答可)

1. ヘッドバンドの位置
2. 接顔面と顔面の隙間
3. その他(詳細を以下にお答えください。)

--

回答 (複数回答可)

Q11 Q9 の質問に対して「2. 問題ある」と回答された方に対する質問です。「問題ある」と考えるのに、その装着方法を取られるのはどうしてですか？以下の回答欄にお答えください。(複数回答可)

1. 接顔面の不快感を解消させるため
2. 息苦しさを解消させるため
3. 正しい装着方法は面倒なため
4. 職場の皆さんがその装着方法を取っているため
5. その他(詳細を以下にお答えください。)

--

回答 (複数回答可)

裏に続きます
(全員を対象とした
質問があります)



Q12 全員を対象にした質問です。あなたは、呼吸用保護具の装着が必要な状況にもかかわらず、呼吸用保護具を外したことはありますか？外したことがある方は、それはどのような状況において外しましたか？以下の回答欄にお答えください。（複数回答可）

1. 外したことはない
2. 暑さや汗が気になるなど、不快感がある状況で外した。
3. 息苦しくなったため外した。
4. 会話において相手に声を届けようとして、呼吸用保護具を外した。
5. その他(詳細を以下にご記入ください)

**回答
(複数回答可)**

Q13 全員を対象にした質問です。呼吸用保護具に関すること(選択方法、使用方法、管理方法等どんなことでも構いません)で疑問に思っていること、分からないこと等ありましたら、以下にご記入お願い致します。

アンケート調査は以上になります。ご参加ありがとうございました。

平成30年度労災疾病臨床研究事業費補助金
研究報告書

装着方法による呼吸用保護具の漏れ率の検討

研究分担者 池上和範¹⁾、安藤 肇¹⁾、保利 一²⁾、明星敏彦³⁾

研究協力者 白坂泰樹¹⁾

¹⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学

²⁾産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

研究要旨

本研究は、事前に実施した調査結果に基づく装着方法で、取替え式防じんマスクもしくは Breath-Synchronized Powered Air Purifying Respirators (BS-PAPR)を用いて防護性の相違を評価し、防護性が十分に維持される呼吸用保護具の選択や、その装着方法を明らかにすることを目的とした。参加同意の得られた被験者に対して、クロスオーバー比較試験を実施して、呼吸用保護具と装着方法の組み合わせ(以下、装着バリエーションと略する)ごとの漏れ率を測定した。被験者は、本来推奨される方法及び、現場で実際に観察された装着方法で取替え式防じんマスク、BS-PAPR のいずれかを装着した。調査で実施する装着方法の 1 つを、推奨される装着方法 (Recommended method: R)、メリヤスカバーを使用した装着方法 (Meias: M)、ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法 (Helmet: H)、顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着する方法 (Towel: T) の 3 つとした。大気じんを用いた呼吸用保護具の防護係数決定の手順に従い、その装着方法の状態での普通の呼吸 (Regular breathing)、深呼吸 (Deep breathing)、頭を左右に振る (Right and left)、頭を上下に振る (Up and down)、話す (Speaking) の 5 つの動作を各 1 分ずつ実施させ、動作ごとに漏れ率を測定した。BS-PAPR を装着した装着バリエーションの漏れ率は、装着方法に拘わらず、DM'M の漏れ率、DM'T における漏れ率より有意に低くなった (いずれの比較の際にも $P < 0.001$)。BS-PAPR'R の漏れ率、BS-PAPR'M の漏れ率、BS-PAPR'H の漏れ率は、DM'H の漏れ率と比較した際、有意に低くなったが、(それぞれ $P=0.030$, $P=0.035$, $P=0.035$)、BS-PAPR'T の漏れ率とは有意差を認めなかった。

結論として本研究では、メリヤスカバーやタオルを使用する装着方法は、呼吸用保護具と顔面の密着性が低下し、取替え式防じんマスクを使用する場合は、十分な防護性を維持できていない可能性がある事が明らかになった。顔面の皮膚障害を有する労働者や、著しい暑熱環境で作業している労働者において、メリヤスカバーやタオルを使用して呼吸用保護具を装着せざるを得ない状況でも、BS-PAPR を使用することで、防護性を維持できる可能性がある事が示唆された。

A. 研究目的

有害物質にばく露される可能性がある作業場においては、作業環境や作業の改善により根本的な対策を講じることが第一に重要である。しかし、そのような対策を講じ

ることが困難な場合には、作業者が適切な呼吸用保護具を装着することが必要である。呼吸用保護具は、作業環境中の有害物質へのばく露により生ずる様々な職業性疾病を予防するために使用されるものであり、

労働安全衛生規則等に呼吸用保護具を使用すべき作業名等が定められている[1].

職業性呼吸器疾患, とりわけじん肺および合併症は, 職業性疾病の中でも重要な疾病であり, 労働安全衛生法, じん肺法, 粉じん障害防止規則等に基づき, 以前より予防対策が講じられている. じん肺およびじん肺の合併症による業務従事上疾病者は, 減少傾向にあるものの, 近年でも 200 人前後で推移していて[2], 依然として多い状況にあり, 粉じんばく露防止対策の継続的推進が重要と考えられる. 厚生労働省は, 平成 30 年度から 5 カ年に渡る第 9 次粉じん障害防止総合対策を策定し[3], 計画では呼吸用保護具の使用の徹底および適正な使用の推進を, 事業者が特に実施すべき措置の一つとして, 重点に置いている.

労働安全衛生規則第 35 条では, 事業者は労働者を雇い入れ, 又は労働者の作業内容を変更したときは労働者に対して保護具の取扱いに関する教育を行う義務が課せられている.

しかし我々が以前に実施した調査において, 実際の作業現場では様々な推奨されていない呼吸用保護具装着方法が実施されていることを確認している. これらの装着方法が実施される一因として, 呼吸用保護具の装着方法に関する教育の不十分さが考えられた. 加えて, 皮疹の予防や接顔面の不快感の解消のためにメリヤスカバーを使用するというような個人的要因や, 高温物による輻射熱から顔面を保護するために顔面にタオルを巻いてから呼吸用保護具を装着するというような職場環境的要因も考えられた. 理由が個人的要因や職場環境的要因の場合は, 適切な装着方法を指示したとしても当該職場においては必ずしも最適ではない可能性もある.

一方, 第 9 次粉じん障害防止総合対策の中では, 都道府県労働局及び, 労働基準監督署の実施事項として, 電動ファン付き

呼吸用保護具 (Powered Air Purifying Respirators, 以下 PAPR と略する) の活用周知を挙げている. 具体的には, PAPR の着用が義務付けられている, 粉じん則等における特定の作業以外に従事する労働者にも, その性能の高さから PAPR を推奨している. PAPR とは, 電動ファンの働きにより, 強制的に面体内に清浄空気を送り込む機構を有している呼吸用保護具のことである. 従来は, 連続して面体内に送風する連続送風型 PAPR が使用されていたが, 連続送風型 PAPR は, フィルター及びバッテリーの寿命が短いなどの問題があった. 一方, その後実用化されている呼吸追従型 PAPR (Breath-Synchronized Powered Air Purifying Respirators, 以下 BS-PAPR と略する) は, 作業者の呼吸に合わせて, 強制的に面体内に清浄空気を送り込む機構を有している. BS-PAPR でも連続送風型 PAPR 同様に, 面体内は常に陽圧に保たれる構造になっていることが, 湯浅らにより報告されている[4]. このことから, BS-PAPR を使用することで顔面と接顔体部分の密着性が多少損なわれていたとしても, 十分な防護性を維持できる可能性が示唆される. 使い捨て式防じんマスクの漏れ率に関する調査報告はあるものの[5-6], 取替え式防じんマスクの漏れ率に関するものは少なく, 取替え式防じんマスクや BS-PAPR を用いた, 装着方法ごとの漏れ率に関する報告は見当たらない.

本研究の目的は, 事前に実施した調査結果に基づく装着方法で, 取替え式防じんマスクもしくは BS-PAPR を用いて防護性の相違を評価し, 防護性が十分に維持される呼吸用保護具の選択や, その装着方法を明らかにすることである. 本研究は, 職場や個人に適応した適正な呼吸用保護具の使用を推進し, じん肺をはじめとする様々な健康障害の発生予防に資すると考える.

B. 研究方法

1. 研究デザインとセッティング

参加同意の得られた被験者に対して、クロスオーバー比較試験を実施して、呼吸用保護具と装着方法の組み合わせ(以下、装着バリエーションと略する)ごとの漏れ率を測定した。調査は、産業医科大学人工気候室で、2018年8月から9月まで実施した。

2. 被験者

今回の漏れ率測定調査は、大気じんを用いた呼吸用保護具の防護係数決定の手順[7]に従い実施した。被験者の選定には治療中の疾患がないという条件を設定した。更に漏れ率測定の際にマスク内側の粉じん数にタバコ粉じんの粒子数が加算されることを防ぐために、非喫煙者という条件も設定した。産業医科大学内にて被験者を募集し、参加同意を得られた8名の男性と2名の女性を対象とした。男性の平均年齢(標準偏差)は32.1(3.98)歳で、女性の平均年齢(標準偏差)は34.0(5.0)歳であった。

3. 実施手順

人工気候室の気候条件は、室温 20 度、相対湿度 50%を維持するよう設定した。被験者は、本来推奨される方法及び、現場で実際に観察された装着方法で取替え式防じんマスク、BS-PAPR のいずれかを装着した。大気じんを用いた呼吸用保護具の防護係数決定の手順[8]に従い、その装着方法の状態ですべての呼吸(Regular breathing)、深呼吸(Deep breathing)、頭を左右に振る(Right and left)、頭を上下に振る(Up and down)、話す(Speaking)の5つの動作を各1分ずつ実施させ、動作ごとに漏れ率を測定した。漏れ率測定の概要を図1に示す。

呼吸用保護具装着の際は、装着能力の個人差を最小化するため鏡を見ながら装着させた。また、呼吸用保護具の締めひもが頭部を圧迫する力が均一となるよう、締めひもの締め具合を測定器で測定して、締めひもの締め具合を調節した。詳細は“2.7 個人の装着技術による影響を最小限にする方法”に後述する。

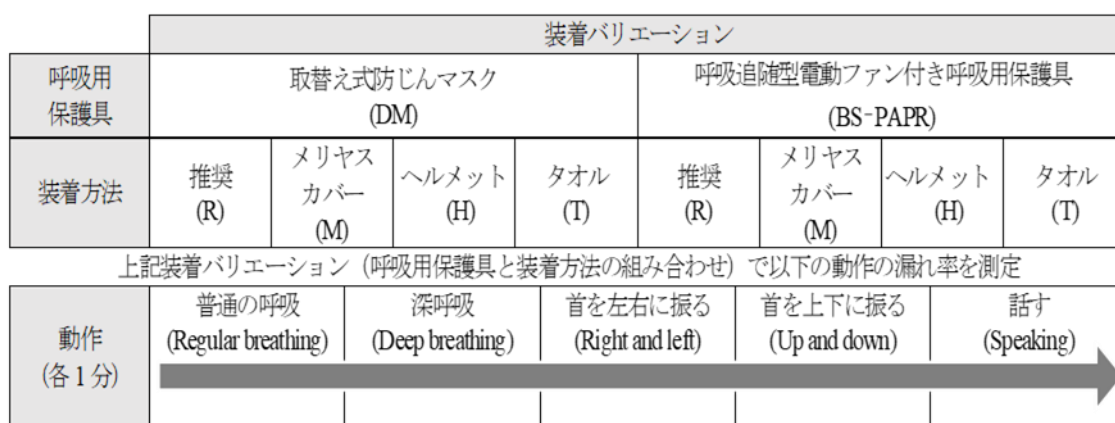


図1. 調査概要

DM: 取替え式防じんマスク, BS-PAPR: 呼吸追随型電動ファン付き呼吸用保護具

4. 漏れ率の測定機器と定義について

測定には、労研式マスクフィッティングテスターMT-03 型(柴田科学株式会社製)(以下、MT-03 と略する)を用いた。

MT-03 は、検出部に光散乱方式パーティクルカウンターを使用しており、1L/min で吸引されるマスクの外部と内部の空気中に存在する粒子を計数する。マスク外側の空気を 17 秒間測定した後に本器の経路を切り替えて、マスク内側の空気を 17 秒間測定する設定とした。

測定開始時並びに測定経路切り替え時の配管内残留粉じんの置換時間は、それぞれ 10 秒と設定した(1 回の測定に要した時間は約 1 分)。測定対象粒子は、粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の大気粉じんと設定した。なお測定中は、環境中の粉じんが MT-03 の推奨値である約 1000 count/3 秒(今回の調査においてマスク外側の空気のサンプリング時間が 17 秒であるため、MT-03 の表示上は約 5000 count)になるよう線香を燃焼させて環境を維持した。

マスク内部の測定については、正確に測定するために、試験ガイドをマスク面体と顔面の間からマスク内に挿入するのではなく、チューブジョイントセットを使用して、図

2 のようにサンプリングチューブと呼吸用保護具を固定し、面体内部の空気をサンプリングした。マスク外部の空気は、呼吸用保護具付近にサンプリングチューブ先端が来るようにチューブを天井から吊るしたひもで固定し、チューブからサンプリングした。

漏れ率については、大気じんを用いた呼吸用保護具の防護係数決定の手順[8]に則り、以下のように定義した。

$$\text{漏れ率(\%)} = (\text{Ni}/\text{No}) \times 100$$

Ni:呼吸用保護具面体内部の粒子数

No:呼吸用保護具面体外部の粒子数

解析に用いる漏れ率は、上記の計算式に従って MT-03 のディスプレイ上に表示される値を用いた。

今回の調査において、各装着バリエーションの測定において、普通の呼吸、深呼吸、頭を左右に振る、頭を上下に振る、話すの 5 つの動作を実施した。それぞれに対して漏れ率を測定しているが、5つの漏れ率の算術平均したものを、そのバリエーションの漏れ率と定義して以下のように表現した(例;取替え式防じんマスクを推奨方法で装着した際の漏れ率を、“DM’R の漏れ率”と表現)。今回の調査では漏れ率の許容範囲を 5.0%未満とした。



図 2. サンプリングチューブが固定された防じんマスク

5. 使用した呼吸用保護具

質問紙調査の結果を参考にして取替え式防じんマスクを、比較対象として BS-PAPR を用いた。取替え式防じんマスクは、国家検定規格 RL2 (粒子捕集効率 95% 以上) に該当する興研株式会社 Model; サカキ式 1180 型を、BS-PAPR は国家検定規格 PL1 (粒子捕集効率 95% 以上) に該当する興研株式会社, Model; サカキ式 BL-321S 型を用いた。取替え式防じんマスク、または BS-PAPR いずれかを使用して、下記の 4 種類の装着方法を実施した。

6. 装着方法と装着バリエーション

今回の研究において、装着する呼吸用保護具と装着方法の組み合わせを装着バリエーションと定義した。調査で実施する装着方法の 1 つを、推奨される装着方法 (ヘッドバンドは頭頂部に固定する。接顔面と顔面の隙間には何も入り込まない装着方法。Recommended method: 装着バリエーションを表現する際は R と省略する) とした。他の装着方法は、質問紙調査および現地調査の結果をもとにして、メリヤスカバーを使用した装着方法 (Meias: 装着バリエーションを表現する際は M と略する)、ヘッドバ

ンドをヘルメットの上から固定する方法 (Helmet: 装着バリエーションを表現する際は H と略する)、顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着する方法 (Towel: 装着バリエーションを表現する際は T と略する) の 3 つとした。4 種類の装着方法を図 3 に示す。メリヤスカバーは、新品の興研株式会社の接顔メリヤスカバー二重 (防じんマスク用) を使用した。サンプリングチューブを通すため、メリヤスカバーの顔面と呼吸用保護具の間に位置しないような位置に穴を開けた。ヘルメットは、ミドリ安全株式会社が発売しているヘルメット SC-1BNa RA (飛来/落下物用, 墜落時保護用, 電気用) を使用した。顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着する方法は、現地調査で確認された方法と同一となるように、接顔面全体にタオルを密着させ、呼吸用保護具の接顔面が顔面と直接触れないような装着方法に統一した。タオルは実際の現場で呼吸用保護具装着時に使用されていた、防災加工タオル [レスキュー] (ダイワタオル協同組合, 大阪) の新品を使用した。

装着バリエーションは、呼吸用保護具 2 種類, 装着方法 4 種類の組み合わせ, 合計 8 種類である

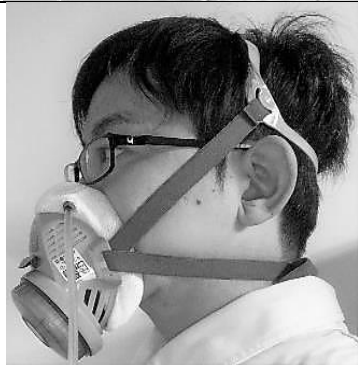
推奨 (R) ヘッドバンドは頭頂部に固定する。接顔面と顔面の隙間には何も入り込まないように装着した。		
メリヤスカバーを使用 (M) 接顔面が、全てメリヤスカバーで覆われるように、メリヤスカバーを装着させて、そのマスクを装着した。		
ヘルメットの上から固定 (H) ヘッドバンドをヘルメットの上から固定させて、装着した。		
タオルを使用 (T) 顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着した。 接顔面全体にタオルを密着させることで、呼吸用保護具の接顔面が顔面と直接触れないようにした。		

図 3. 装着方法

写真は例として取替え式防じんマスクを使用した場合について示している。

7. 個人の装着技術による影響を最小限にする方法

個人の装着技術による影響を極力少なくするために、鏡で装着状況を確認させながら呼吸用保護具を装着させた。更に測定毎の締めひもの締め具合を確認するために、下側の締めひもが頭部を抑える圧を測定した。下側の締めひもによる皮膚を圧迫する力(以下、締め圧と略する)が 1.0～2.0N になるように調整して、締め具合が被験者や装着バリエーションによって、極端に異なることを避けた。測定には、図 4 に示すような圧縮力等の測定に用いられるフォースゲージを利用した(株式会社イマダ model:アンプ部分;eZT ロードセル部分;

eLM-50N)。

呼吸用保護具の締めひもの締め具合に関する明確な基準や測定方法は定まっていない。複数名に対して防じんマスクを装着させ、ロードセル部分を呼吸用保護具の下側の締めひもと頸部の間に固定し、締め圧を測定したところ、凡そ 1.5N 前後であることが多かった。今回、被験者 1 名において、実際の測定に用いた取替え式防じんマスクを用いて、締め圧ごとの漏れ率を測定した。表 1 の結果より、回帰直線を求めたところ、図 5 のようになった。今回、漏れ率の許容範囲を 5%としており、締め圧を 1.0～2.0N になるように統一したことは妥当だと考えた。

表1. 締め圧ごとの漏れ率

締め圧(単位 : N)	漏れ率(%)
0.25	6.90
0.50	5.10
0.75	4.92
0.95	0.92
1.50	3.03
1.93	1.83



図4. 締め圧測定機器と締め圧測定風景
左の写真が測定機器で、大きい機器がアンプ部分、手で持っている部分が、ロードセル部分である。右の写真が測定風景。呼吸用保護具の下側の締めひもと頸部の間にロードセルを挟んで測定を実施した。

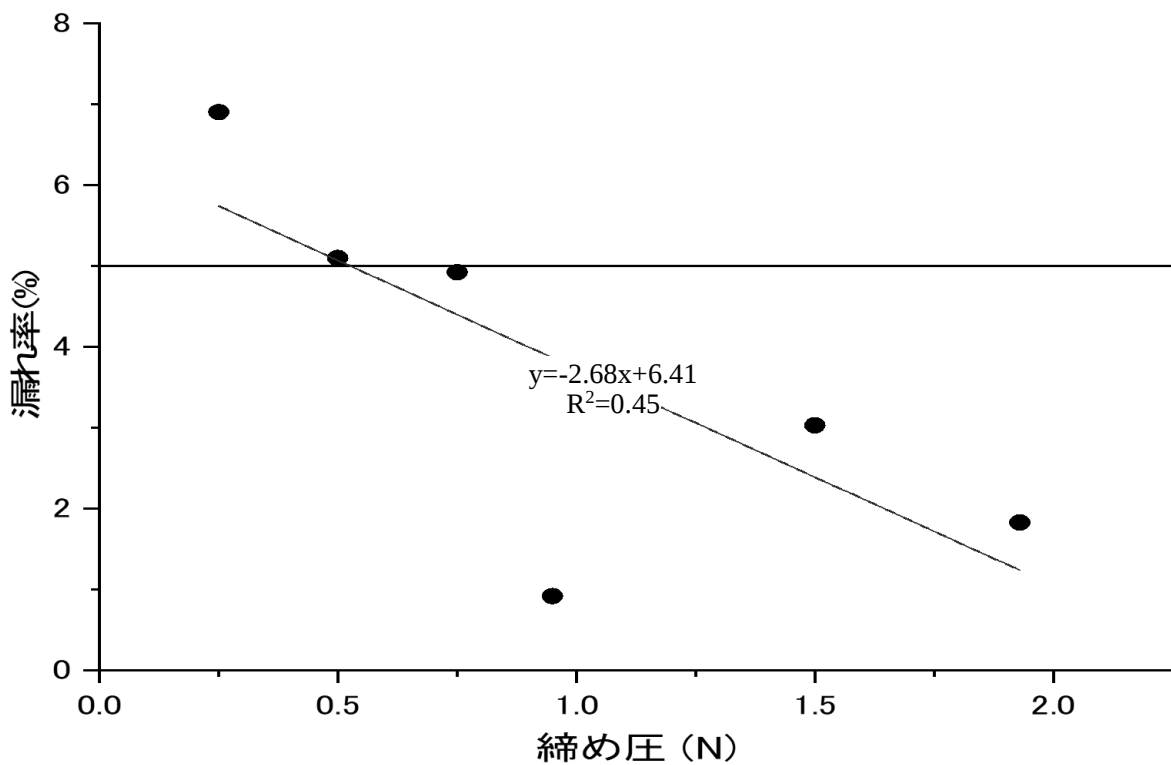


図5. 締め圧ごとの漏れ率
グラフの横軸は、呼吸用保護具の下側の締めひもと頸部の間の圧力（単位：N），縦軸は呼吸用保護具の漏れ率（単位：%）である。図中の点線は測定値の回帰直線を示す。グラフ内の横線は、漏れ率5%を示している。

8. 統計解析方法

データの統計処理は、線形混合モデル (linear mixed model: LMM) を用いた。目的変数を漏れ率として、説明変数のうち、変量因子を調査の被験者、固定因子を性別、動作、装着バリエーション、そして動作と装着バリエーションの交互作用項の 4 つの因子とした。多重比較は、Bonferroni 法を用いた。分析には、IBM SPSS statistics 23.0 の混合モデルを用いた。有意水準は、0.05 とした。

9. 倫理的配慮

本研究は産業医科大学倫理委員会の承認を得ており、個人情報取り扱いおよび保管には万全の配慮を行った。対象者は本研究に参加することの利益と不利益とを説明された上で、参加または不参加を自由に選択できることを保証した。参加に同意を得られた対象者からは同意書を得た。

C. 研究結果

1. 装着バリエーションごとの漏れ率

性別の主効果は、漏れ率に有意に影響を与えなかった ($F[1, 359]=1.058$, $P=0.304$)。装着バリエーションの主効果は、漏れ率に有意な影響を与えた ($F[7, 359]=36.26$, $P<0.001$)。漏れ率の中央値 (四分位範囲)%は、DM'R においては 0.76 (0.31-1.79)%, DM'M においては 7.41 (5.82-13.49)%, DM'H においては 1.11 (0.39-2.76)%, DM'T においては 5.00 (3.47-7.09)%, BS-PAPR'R においては、0.12 (0.06-0.19)%, BS-PAPR'M においては 0.12 (0.06-0.19)%, BS-PAPR'H におい

ては 0.11 (0.07-0.22)%, BS-PAPR'T においては、0.16 (0.11-0.46)%という結果になった。図 6 に装着バリエーションごとの漏れ率の分布を示す。

次に、装着バリエーション別の漏れ率について、多重比較を行った。DM'R の漏れ率は、DM'M の漏れ率と DM'T の漏れ率と比較して、有意に低い値になった ($P<0.001$)。それ以外の装着バリエーションの漏れ率とは有意差を認めなかった。DM'M の漏れ率は、他のどの装着バリエーションの漏れ率よりも、有意に高くなった ($P<0.001$)。DM'H の漏れ率は、DM'R の漏れ率とは有意な差は認めなかったが、DM'M の漏れ率と DM'T の漏れ率と比較して有意に低くなった (それぞれ $P<0.001$, $P=0.014$)。BS-PAPR'R の漏れ率、BS-PAPR'M の漏れ率、BS-PAPR'H の漏れ率と比較した際は、有意に高くなったが (それぞれ $P=0.030$, $P=0.035$, $P=0.035$)、BS-PAPR'T の漏れ率と比較した際は、有意な差は認めなかった。DM'T の漏れ率は、DM'M における漏れ率と比較すると有意に低かったが ($P<0.001$)、それ以外の装着バリエーションのそれと比較すると、有意に高かった (DM'H と比較した際は、 $P=0.014$, それ以外と比較した際は、 $P<0.001$)。

BS-PAPR を装着した装着バリエーションの漏れ率は、装着方法に拘わらず、DM'M の漏れ率、DM'T における漏れ率より有意に低くなった (いずれの比較の際にも $P<0.001$)。BS-PAPR'R の漏れ率、BS-PAPR'M の漏れ率、BS-PAPR'H の漏れ率は、DM'H の漏れ率と比較した際、有意に低くなったが、(それぞれ $P=0.030$, $P=0.035$, $P=0.035$)、BS-PAPR'T の漏れ率とは有意差を認めなかった。

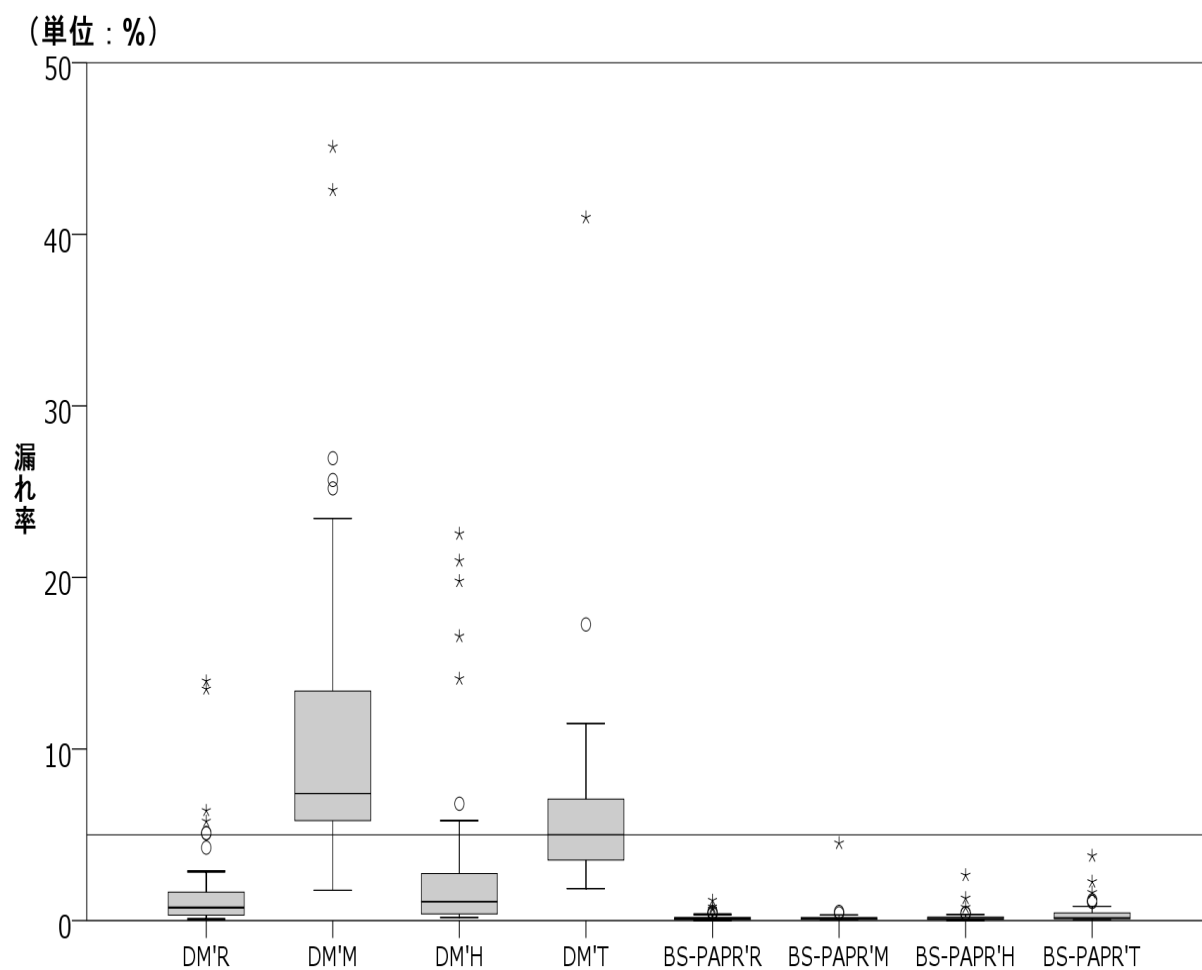


図 6. 装着バリエーションごとの漏れ率

縦軸には、漏れ率（単位：%）横軸には装着バリエーションを記している。

箱ひげ図では、箱中の横線が中央値、箱の下端が第一四分位、箱の上端が第三四分位を示す。ひげの両端が箱の長さの1.5倍以内にある最大値および最小値、1.5倍より大きくて3倍以下の範囲にある○が外れ値、3倍より大きい範囲にある★が極値を示す。グラフ内の横線は、漏れ率5%を示している。

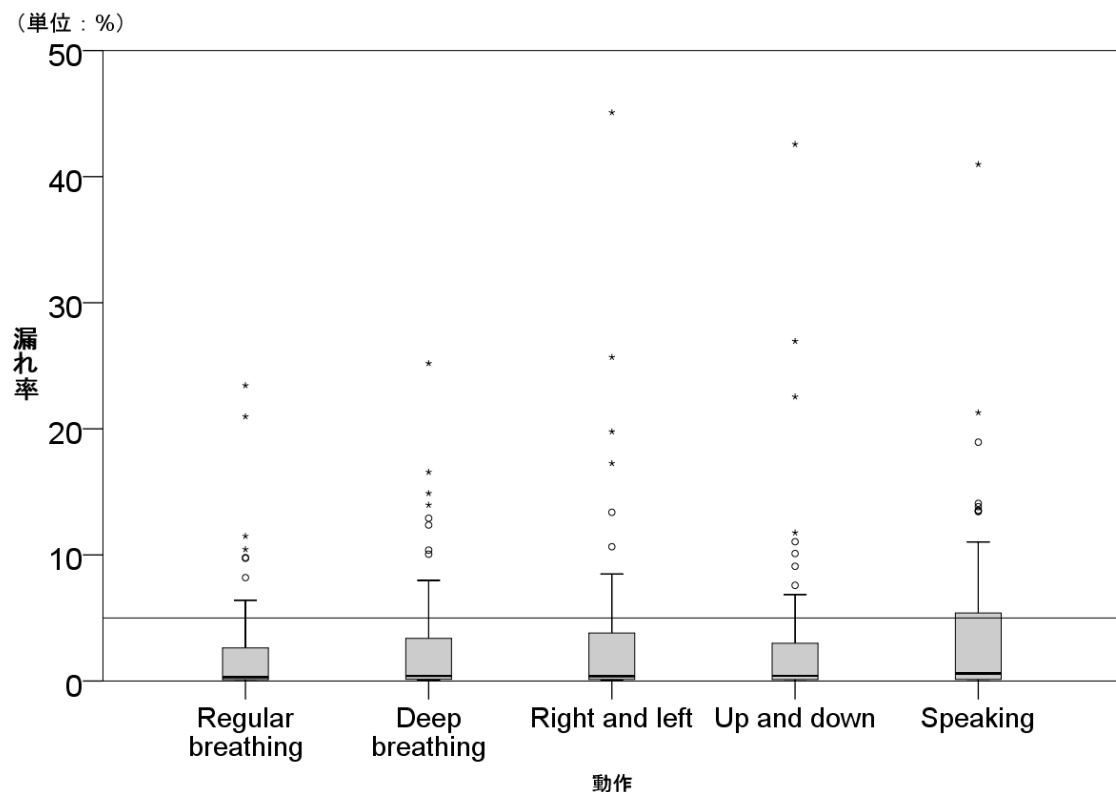


図 7. 動作ごとの漏れ率

縦軸には、漏れ率（単位：％）横軸には動作ごとの漏れ率測定時の動作を記している。箱ひげ図では、箱中の横線が中央値、箱の下端が第一四分位、箱の上端が第三四分位を示す。ひげの両端が箱の長さの1.5倍以内にある最大値および最小値、1.5倍より大きくて3倍以下の範囲にある○が外れ値を示す。グラフ内の横線は、漏れ率5%を示している。

2. 各動作の漏れ率

各動作の主効果においては漏れ率に有意差が認められず ($F[4, 359]=0.977$, $P=0.420$), またその後の多重比較検定においても、動作間の漏れ率に有意差は認めなかった(図 7)。

3. 装着バリエーションごとの各動作の漏れ率

装着バリエーションごとの各動作の漏れ率を図 8 に示す。この結果をもとに、バリエーションごとの漏れ率、そして動作ごとの漏れ率について分析した。性別の主効果は、漏れ率に有意に影響を与えなかった ($F[1,$

$359]=1.058$, $P=0.304$)。装着バリエーションの主効果は、漏れ率に有意な影響を与えたが ($F[7, 359]=36.26$, $P<0.001$)、それ以外は、有意な影響を与えなかった。性別の主効果 ($F[1, 359]=1.058$, $P=0.304$)、動作の主効果 ($F[4, 359]=0.977$, $P=0.420$)、動作と装着バリエーションの交互作用 ($F[28, 359]=0.418$, $P=0.997$) であった

装着バリエーション

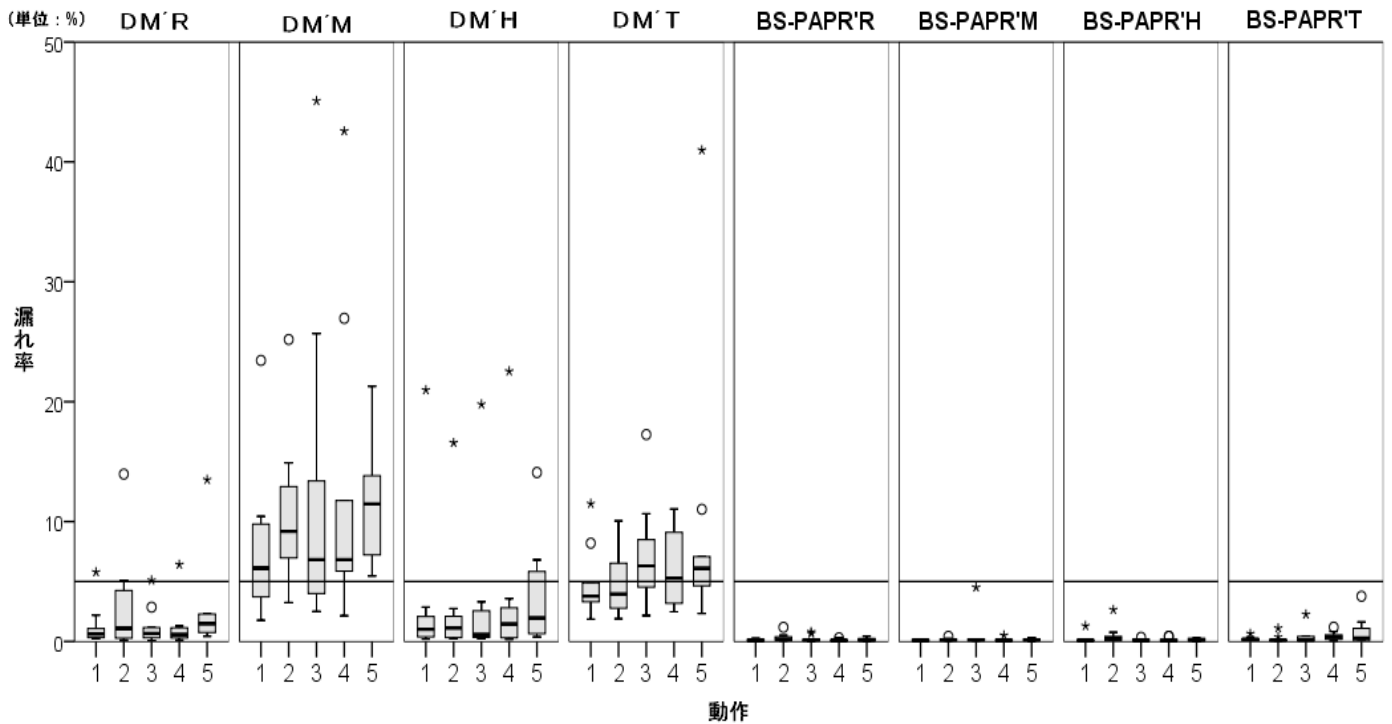


図 8. 動作別, 装着バリエーションごとの漏れ率

装着バリエーションは, 呼吸用保護具と装着方法の組み合わせである. 呼吸用保護具は, DM=取替え式防じんマスク, BS-PAPR=呼吸追随型電動ファン付き呼吸用保護具である. 装着方法は, R=推奨, M=メリヤスカバー, H=ヘルメット, T=タオルである. 縦軸には, 漏れ率(単位:%)横軸には装着バリエーションごとの漏れ率測定時の動作を記している. 箱ひげ図では, 箱中の横線が中央値, 箱の下端が第一四分位, 箱の上端が第三四分位を示す. ひげの両端が箱の長さの1.5倍以内にある最大値および最小値, ○が1.5倍より大きく3倍以下の範囲にある外れ値, ★が3倍より大きい範囲にある極値を示す. グラフ内の横線は, 漏れ率5%を示している.

D. 考察

1. 漏れ率測定調査

DM'Rの漏れ率は、DM'Mの漏れ率とDM'Tの漏れ率と比較して有意に低くなった。取替え式防じんマスクを装着する際、メリヤスカバーを使用する装着方法や顔面にタオルを巻いた上からマスクを装着する方法は、呼吸用保護具の漏れにつながる可能性がある。

一方DM'Rの漏れ率と、DM'Hの漏れ率と比較した際は、有意差は認めなかった。このことは、ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法は、メリヤスカバーを使用する方法や顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着する方法と異なり、接顔面と顔面の隙間には何も挟まれていないこともあり、必ずしも呼吸用保護具の漏れにつながっていないと考えられた。しかし、DM'Rの漏れ率と比較した際に、DM'Hの漏れ率は四分位範囲が広く、また外れ値の数が多い。ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法は、安定して呼吸用保護具を固定できていれば問題ないが、ヘッドバンドの位置がずれて、呼吸用保護具の締め付けが弱くなる、もしくは呼吸用保護具の位置自体がずれている可能性が示唆される。以上のことから、仮にヘッドバンドをヘルメットの上から固定する場合は、ヘッドバンドがずれないように固定するなどの工夫をする必要があると思われる。

DM'RとBS-PAPR'Rの漏れ率の中央値を比較したところ、BS-PAPRの漏れ率の中央値は、防じんマスクの漏れ率の中央値と比較して6分の1以下であった。

BS-PAPRを装着したバリエーション間の漏れ率を比較しても、有意差は認めなかった。このことより、呼吸用保護具の漏

れにつながっている可能性があるメリヤスカバーを使用する装着方法や、顔面にタオルを巻いた上から呼吸用保護具を装着する装着方法を実施しても、防護性を保っている可能性が考えられた。

使用した呼吸用保護具の種類にかかわらず、各動作間の漏れ率を比較したが、どの比較においても有意差を認めなかった。原因として、被験者の呼吸用保護具装着技術による影響を極力少なくするために、装着時に鏡を使用して、締めひもの締め具合も被験者によって差が出ないように調節した。これらは、動作による呼吸用保護具のずれが少なかったことが一因と考えられた。同時に装着バリエーションによる漏れ率への影響が過大で、動作の効果が相対的に反映しなかった可能性も考えられた。まずは、教育などにより、漏れの少ない装着バリエーション(DM'RやBS-PAPRを使用する装着方法)を実施させることが必要である。合わせて装着時には毎回鏡を使用する、または作業場で装着状況を確認し合うなども呼吸用保護具の漏れの防止につながると考える。

今回の漏れ率測定調査の結果をもとに、仮に作業時におけるBS-PAPRの装着が義務化された場合、日本にどのような影響を及ぼすかを考察する。

粉じんの吸入ばく露による生じる代表的疾患として、じん肺や、じん肺の合併症でもある肺がんなどがあり、また呼吸機能の低下を引き起こすこともある。

じん肺は、一定量の粉じんを数年から10年以上吸入することにより発症する病気であり、粉じんばく露から発症までの期間が長いとされている[8]。岐阜県東濃地

方における窯業じん肺の発生および粉じん環境の推移[9]をもとに、1998 年～2000 年にかけての当該地域の窯業従事男性の年齢・病型別にみた有所見率を図 9 に示す。この結果からもじん肺の発症には、時間を要することが分かる。また、じん肺の所見出現と累積粉じんばく露量は線形に依存して、20 歳から窯業に従事し、各個人の毎年のばく露量が一定であるというような仮定のもとに考えると、図 9 の内容は図 10 に示すように置き換えられ、じん肺の発生は従事年数すなわち累積粉じん曝ばく露量に依存することとなる。（例えば 40 歳代の対象者の累積粉じんばく露量は 20～29 年分のばく露量で、また 20 年分のばく露量は 10 年分のばく露量の 2 倍となる。20～29 年分のばく露量においては 0.033%の確率でじん肺の有所見が出現する）。これまでの仮定に加えて、調査対象者が全員防じんマスクを適切に装着していたという仮定を加えたとする。その際に今回の漏れ率調査の結果を用いると、BS-PAPR を使用した際、防じんマスクを使用する際と比較して粉じんばく露量を 6 分の 1 以下に減少、つまりばく露年数が長い 40～49 年相当のばく露量に関しては、10 年以下に相当するばく露水準となることから、図 11 に示すようにじん肺有所見者を著明に減らせる可能性があると考えられる。したがって BS-PAPR はじん肺の患者を減少させることに大いに役立つと思われる。

肺がんに関しても、原因物質が結晶質シリカのものに関しては結晶質シリカへの累積ばく露の増加に伴って肺がんのリスクが増大することが海外で報告されている[10]。また呼吸機能に関しては、炭鉱夫を対象とした海外の調査において、累

積粉じんばく露量が多い者ほど肺機能低下を示す割合が多くなると報告されている[11]。いずれにおいても、じん肺同様に、粉じんの吸入ばく露を減らすことが疾病予防のために重要と考えられる。

また防じんマスクを装着した際、装着方法によっては有意に漏れ率が上昇したが、BS-PAPR を装着した際は、どの装着方法間においても有意差は認めなかった。BS-PAPR は装着方法の違いで漏れ率に影響が現れにくいと考えられ、BS-PAPR の優位性が明らかとなった。

BS-PAPR の装着が義務化された場合の影響についてまとめると、作業者の装着方法に影響を受けずに、これまで取替え式防じんマスクのみを使用してきた際と比較して、粉じんばく露量を 6 分の 1 以下に低減することができる。これらのことは、今後日本における新たなじん肺などの発症数を著しく減少させる可能性を秘めていると考える。

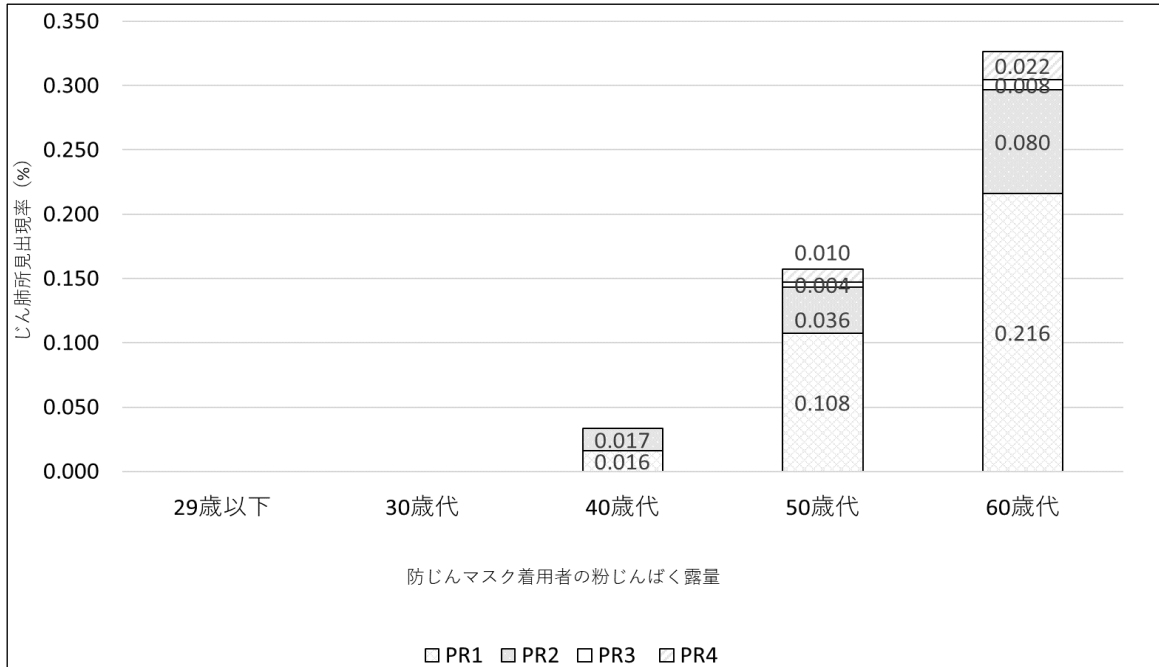


図 9. 年齢・病型別にみたじん肺有所見率（1998 年～2000 年）

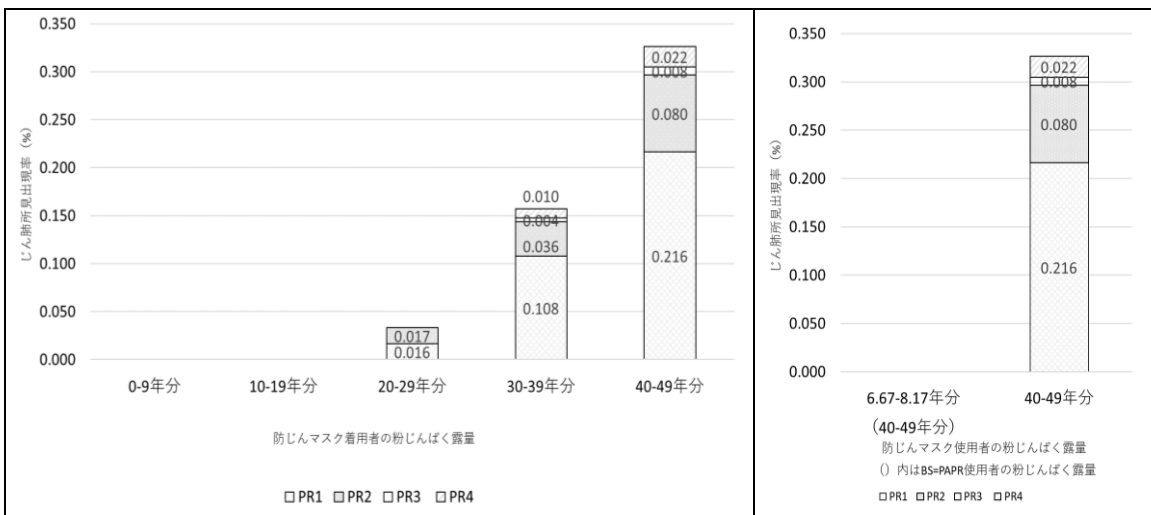


図 10（左図）. 防じんマスク使用者の粉じんばく露量とじん肺所見出現率

図 11（右図）. 防じんマスク使用者と BS-PAPR 使用者のじん肺所見出現率の比較

BS-PAPR を使用した際、防じんマスクを使用する際と比較して粉じんばく露量を 6 分の 1 以下に減少させる。防じんマスク使用者のばく露量が 40～49 年分の場合 BS-PAPR を使用すればばく露量を 6 分の 1 にできて、防じんマスク使用者の 6.67～8.17 年分の粉じんばく露量に減少させる。その場合のじん肺所見出現率は図 4-2 より 0%である。

2. 質問紙調査ならびに現地調査と合わせた複合的考察

今年度に実施した質問紙調査ならびに現地調査により、実際の作業現場では、必ずしも推奨される装着方法が遵守されていない実態が明らかになっている。推奨される装着方法を使用していない理由については、呼吸用保護具を装着した際の不快感や息苦しさを緩和させるため、肌荒れを防止するため、熱から身を守るためといった理由が挙がっていた。実際の作業現場では個人的要因や職場環境などから、やむなく推奨されない装着方法が実施される場合があることが明らかとなった。これらの装着方法の漏れ率を測定したところ、取替え式防じんマスクにおいて、メリヤスカバーやタオルを使用する方法は、推奨される方法と比較して漏れ率が有意に高く、本来のフィルター性能である 5%を超えて粉じんが侵入していた。ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法は、接顔面と顔面の隙間には何も挟まれていないこともあり、必ずしも呼吸用保護具の漏れにつながっていないと考えられた。メリヤスカバーに関しては、木村らの報告により、密着性をより確実なものにするために着用しないほうが望ましいとの報告されており[12]、今回の結果を支持している。漏れの多い状態で粉じん作業を行うことは十分なじん肺予防につながらない可能性があり、企業の安全配慮義務の観点から考えても問題である。しかしながら、各個人の要因や職場の要因によって生じた装着方法を変更することは困難が伴うことが予想され

る。一方で、BS-PAPR においては、これらの装着方法についても漏れ率は、推奨される装着方法と比較して有意差を認めず、フィルター性能値である 5%を大きく下回った。このことより BS-PAPR の使用は、じん肺予防として取替え式防じんマスクより有効であることが示唆された。また、長谷川らは、BS-PAPR は、取替え式防じんマスクと比較した際、循環器系にかかる負担が少ない可能性があることを報告している[13]ことから、BS-PAPR の使用はじん肺の予防のみならず身体負荷軽減にも寄与する可能性がある。BS-PAPR は防護性を維持した状態で様々な装着バリエーションを許容できることから、様々な個人・職場環境の要因によって発生した装着方法について、粉じん防護の観点から問題なく使用できる可能性がある。じん肺の予防においては粉じんのばく露を防止することが極めて重要であり、BS-PAPR はその対策の一端を担うことが期待される。

今回の研究において、BS-PAPR が防護性の面から有効であることは示された。しかしコストなどの問題から、粉じん作業員全員に BS-PAPR を普及させるのは現段階では困難であり、作業環境要因等を考慮して必要性が高い作業員に優先的に普及させることが重要と考えられる。

BS-PAPR を普及させる際に、まず作業員ばく露濃度を把握して、呼吸用保護具の防護係数を考慮した適切な種類の呼吸用保護具を選定することが重要である。特に作業環境測定の結果が第三管理区分の場合は、定常的に

作業環境が過酷と考えられるため、その職場の作業者に優先的に装着させることが必要だと考えられる。しかし作業環境測定は、多くの粉じん作業場で実施されているが作業環境測定は外部機関が測定することが多いことから、非定常な粉じん作業の測定が困難な場合があり、また結果がでるまでに時間がかかる場合がある。したがって、作業内容ごとの粉じんばく露の状況を細かく把握できない、リアルタイムでばく露状況を知ることができない等の問題がある。

これらの問題点の解決策として個人ばく露測定が考えられる。非定常作業で粉じんの高濃度ばく露にさらされる可能性がある作業員、作業中の移動が多く様々な粉じん作業に従事する作業員など、作業環境測定の結果のみでは粉じんばく露状態の把握が困難な作業員に関しても、個人レベル、また作業内容ごとで粉じんばく露の測定が可能である。粉じんに限定したことはないが、個人レベルのばく露状況把握に関して、平成 30 年に厚生労働省が定めた第 13 次労働災害防止計画において、化学物質等による健康障害防止対策の推進のために、「作業環境測定の実施方法に個人サンプラーによる測定方法を追加し、作業態様に応じた測定・評価方法を選択できるようにする」と、個人ばく露状況の把握の重要性に関する記載がある。

現在、個人レベルの粉じんばく露の程度を把握する際には、上述した個人サンプラーを用いた方法に加えて、データロギング機能を有する携帯型のデジタル粉じん計を装着して個人ば

く露量を測定する方法もある。個人サンプラーを用いる方法よりもリアルタイムで測定が可能なデジタル粉じん計の方が、1 回の測定で複数作業の粉じんばく露状況を把握できるという点では優れている。更にリアルタイムで測定結果を確認可能なので、仮に職場の粉じん濃度が、何らかの原因で平常時より高くなったとしても、即時に粉じんばく露状況を把握することで早急な対策が可能である。しかし、機器質量が作業員の負担になることもあり、長時間機器を装着した状態で作業するのに適しているとは言い難い状況である。今後、測定の精度を維持しつつも測定対象者に負担が少なく、また特別な教育を受けることなく作業員自身により測定可能である操作性を持つデジタル粉じん計が開発されることを期待する。その結果として、現場における個人粉じんばく露の測定が普及しやすくなると考える。

上記のようなデジタル粉じん計が開発された際の今後の展望としては、引き続き作業環境測定は継続されつつも、多くの粉じんにばく露される恐れがあるが、作業環境測定の結果だけではその実態を把握することが難しい作業員については、個人粉じんばく露量の測定が推奨されると考えられる。特に、平成 18 年 4 月 1 日より労働安全衛生法第 28 条 2 第 1 項において、実施が努力義務化されたリスクアセスメントを実施する際には、強く推奨されると考える。事業者は、事業場の安全衛生水準の向上を図っていくための最低基準としての危害防止基準を遵守するだけでなく、リスクアセ

スメントを実施することで、自主的に事業場に潜在する有害性等の調査を実施し、その結果に基づいて労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講じなければならない。リスクアセスメントは、既存の設備、作業については事前に計画された時期の定期実施が必要とされる一方で、設備や原材料、そして作業方法などを新規に採用、又は変更するなどリスクに変化が生じた際にも必要とされる。粉じんもリスクアセスメントの対象物質であるが、作業方法などの新規採用や変更などでリスクに変化が生じる際にも、作業員自身で操作可能で作業内容ごとの個人ばく露量をリアルタイムで確認することのできる個人ばく露測定は、非常に有用になると考える。

測定の結果で個人ばく露濃量が高かった場合に最初に実施すべきことは作業環境の改善である。作業環境測定の結果に加え、個人ばく露測定の結果を活用することにより、より焦点を絞った粉じんばく露防止対策が可能になってくると思われる。例えば非定常時の粉じん発生量が多い際にも、良好な作業環境を維持できる局所排気装置の設置などである。しかし、それらの対策が難しく、作業員が多くの粉じんにばく露する可能性がある場合はBS-PAPRなどの保護具の充実が必要になってくる。個人ばく露測定を元に作業員別・作業別にリスクを判断することにより、費用対効果に優れた呼吸用保護具の選択につながるものと考ええる。

3. 本調査の限界と今後の展望

今回の研究の漏れ率測定時において、日本工業規格 (Japanese Industrial Standards, 以下 JIS と略す) T 8150 のプロトコルに則り、普通の呼吸、深呼吸、頭を左右に振る、頭を上下に振る、話すの 5 つの動作を実施した。一方、OSHA のプロトコルにおいては、上記の 5 つの動作に加えて、顔をしかめる、腰を曲げる動作、そして最後に普通の呼吸の動作が加わる。今回の研究において、労作時における防護性も評価するために、論文に記載した安静時の漏れ率測定に加えて運動時の漏れ率の測定も実施した。その際にエルゴメータを用いて運動負荷としたが、OSHA のプロトコルを採用すると、測定中に腰を曲げる動作が加わり、運動負荷中にこの動作を実施することは安全性に問題があると考えたため、JIS のプロトコルを採用した。本来、OSHA のプロトコル中にある顔をしかめる動作は、敢えて呼吸用保護具の位置をずらして顔面との防護性を低下させて、その後の動作時にその密着性が戻るかを確認するために実施している動作である[14]。実際の作業現場においても、呼吸用保護具の位置に多少のずれが生じた際に、その後の防護性を確認するのは重要なことと考えられるが、今回の調査ではそのことに関する測定は実施できておらず、調査の限界だと考えられる。

また使用した呼吸用保護具は、取替え式防じんマスク、BS-PAPR いずれも一種類のみであったので、複数の呼吸用保護具での検証が必要だと考えられる。また、メリヤスカバーやタオ

ルについても同様である。更に呼吸用保護具、メリヤスカバー、タオルはいずれも新品を使用した。実際の現場では長年使用されるため、接顔面のシリコンが経年劣化したり、メリヤスカバーやタオルに関しては洗濯に伴う劣化が生じ、漏れ率に影響することが考えられる。装着方法に関しては、個人の装着能力の影響を可能な限り除くため、調査では鏡を使用して装着状況を被験者が確認するとともに、締めひもが捻れている等の異常を検者が確認した際は、一旦外した上で再装着とした。個人の装着能力が呼吸用保護具の漏れにつながることは、使い捨て式防じんマスクにおいては報告されている[15]。他のマスク、特に電動ファンのサポートのない取替え式防じんマスクなどでも同様に個人の装着能力によって、漏れ率は変わってくることが想定される。装着の際に助言等がない、実際の作業における漏れ率を検証することも、重要と思われる。

今回の調査において被験者1名に対して、安静時で普通の呼吸をしている際の漏れ率を測定した。締めひもの締め圧に関しては、現段階で定まった測定方法は存在しないため、今回の研究においては、呼吸用保護具の下側の締めひもと頸部の間に圧測定機器を固定して、締め圧を測定したが、まずは締め圧測定方法を確認することが重要である。その上で被験者の数を増やして、締め圧と漏れ率の関係を確認することが望まれる。締め圧測定方法が確立した後には定期的な教育の場などにおいて、締め圧と同時に漏れ率を測定することが望ましいと考えられ

る。また締め圧を装着者の体感に拠らずに一定にできるような機能をもつ呼吸用保護具が開発されることが望ましい。

次に装着方法について述べる。今回調査対象とした装着バリエーションは質問紙調査や現地調査の結果をもとに、多くの作業者が普段使用していると考えられる方法を採用した。今回調査に含まれなかった、装着方法については漏れ率への影響は不明であり、今後さらに検討していく必要があると考える。

E. 結論

呼吸用保護具を使用している作業現場では、様々な装着方法が認められる。今回の調査において、事前に実施した質問紙調査・現地調査の結果をもとに現場で確認される主要な装着方法であったメリヤスカバーを使用する装着方法、ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法およびタオルを顔面に巻いた上から装着する方法の漏れ率を測定した。ヘッドバンドをヘルメットの上から固定する方法は、顔面と接顔面の密着性が維持できていて、防護性を維持できている可能性がある。メリヤスカバーやタオルを使用する装着方法は、呼吸用保護具と顔面の密着性が低下し、取替え式防じんマスクを使用する場合は、十分な防護性を維持できていない可能性がある。顔面の皮膚障害を有する労働者や、著しい暑熱環境で作業している労働者において、メリヤスカバーやタオルを使用して呼吸用保護具を装着せざるを得ない状況でも、BS-PAPR を使

用することで、防護性を維持できる可能性がある。保護具メーカーによる、皮膚障害を起こしにくい面体の開発や、ずれにくいヘッドバンドの開発に加えて、呼吸用保護具の選択や漏れ率を考慮した適切な装着方法が、じん肺をはじめとする健康障害予防の一助になると考える。

利益相反

本研究には開示すべき利益相反はない

参考文献

- 1.日本保安用品協会 (2011): 保護具ハンドブック. 第三版. 中央労働災害防止協会, 東京 pp 298-302
- 2.厚生労働省 (2018): 業務上疾病発生状況等調査. 厚生労働省, 東京 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/toukei.html (Accessed November 23,2018)
- 3.厚生労働省労働基準局 (2018): 第9次粉じん障害防止総合対策の推進について. 平成30年2月9日基発0209第3号 https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12602000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Roudouseisakutanto/0000197047.pdf (Accessed January 28,2019)
- 4.湯浅久史, 本田健志, 栗山智, 木村一志, 江見準, 野崎旦右 (2006): 呼吸追従型 PAPR の開発. 呼吸保護 19 (2): 11-18

- 5.川島正敏, 和田耕治, 久保公平, 大角彰, 吉川徹, 相澤好治 (2009): 改良型 N95 マスク (DS2 マスク) のフィットする割合の向上に関する研究. 環境感染誌 24(3): 155-161
- 6.黒洲一見, 小林寛伊, 大久保憲 (2011): 各種 N95 微粒子用マスクの漏れ率に関する基礎的研究. 環境感染誌 26(6): 345-349
- 7.日本工業標準調査会 (2006): 呼吸用保護具の選択, 使用及び保守管理方法. JIS T 8150 : 21-22
- 8.内山 巖雄 (2011): 東日本大震災における粉塵吸入による長期健康影響－アスベストのリスク評価を考える. 日本リスク研究学会雑誌 21: 175-182
- 9.鹿毛明 (2008): 産業保健ハンドブックIV じん肺－臨床・予防管理・補償のすべて－. 第二版. 財団法人 産業医学振興財団, 東京 pp 138-143
- 10.Lacasse Y., Martin S., Gagne D., Lakhal L. (2009): Dose-response meta-analysis of silica and lung cancer. Cancer Causes Control 20: 925-933
- 11.Qian Q. Z., Cao X. K., Qian Q. Q., Shen F. H., Wang Q., Liu H. Y., Tong J. W. (2016): Relationship of cumulative dust exposure dose and cumulative abnormal rate of pulmonary function in coal mixture workers. Kaohsiung J Med Sci 32: 44-49
- 12.木村菊二 (1984): 防じんマスクの顔面への密着性に関する研究. 労働科学 60(12): 559-568
- 13.長谷川将之, 池上和範 (2017): 呼吸用保護具の装着が身体にどのような

な影響を及ぼすのか. 呼吸保護 44

14.TSI Incorporated (2006).
INTRODUCTION TO RESPIRATOR
FIT TESTING. TSI Application Note
ITI-070 : 1-12

15.飯田裕貴子, 吉川徹 (2014) : 新規
開発された使い捨て呼吸用保護具の
装着教育効果に関する研究. 労働科学
90(2) : 53-64

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3.その他

該当なし

平成30年度労災疾病臨床研究事業費補助金
分担研究報告書

通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク(PAPR)における
比較のためのもれ率の測定とアンケート調査

研究分担者 岸本 卓巳
(独)労働者健康安全機構岡山労災病院アスベスト疾患ブロックセンター長

研究要旨

粉じん作業者を対象として、通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク(PAPR)の比較を行った。通常防じんマスクは紐のゆるみやメリヤスの装着により平均 34.20% のもれが生じていることが明らかとなった。粉じん作業場における個人ばく露濃度を測定し、マスクのもれ率を考慮し換算したところ、通常防じんマスクでは総粉じん濃度は平均 $1.18\text{mg}/\text{m}^3$ の吸入があり、吸入性粉じん濃度は平均 $0.22\text{mg}/\text{m}^3$ の吸入が生じていることが明らかになり、作業環境基準濃度を超えていることが判明した。一方、PAPR では、マスクのもれ率は平均 0.76% で、個人ばく露ともれ率を換算しても総粉じん濃度は平均 $0.029\text{mg}/\text{m}^3$ 、吸入性粉じん濃度の平均は $0.004\text{mg}/\text{m}^3$ と問題になる吸入量では無かった。通常防じんマスクのもれが大きい原因として、マスクの適切な使用方法あるいはフィットテストに対する教育が不十分であることも考えられた。

PAPR 装着に対するアンケート調査結果ではマスクの重さや大きさ、ファンの音さらには動きにくさが気になる作業者もいたが、通常防じんマスクに比較して呼吸が楽あるいはやや楽と感じた作業者は 75% あり、全体の 56.5% は今後 PAPR を使用したいと回答していた。

以上、通常防じんマスク着用の問題点と PAPR の利点及び欠点が明らかになったが、新たなじん肺の発生を防ぐために PAPR の着用は有用と思われた。

A. 研究目的

日本の粉じん作業場は職場の作業環境改善により、過去のじん肺発生が多かった時代に比較して著しくばく露粉じん量が減少している。しかし、新規のじん肺有所見者数は毎年 100 人以上あり、減少傾向を示していない。新たなじん肺の発生要因として、防じんマスクの適切な使用がなされていないこともその可能性として考えられる。そこで、粉じん作業者が装着している通常防じんマスクのもれ率について調査を行った。

一方、ファンの作動によりマスク内が陰圧とならないため、もれが少ない電動ファ

ン付き防じんマスク(Powered Air Purifying Respirator (PAPR))を貸与して粉じん作業者に装着し、通常防じんマスクとのもれ率の比較検討を行った。更には個人の粉じんばく露濃度を測定するとともにもれ率を考慮して、粉じん作業者が実際に吸入している総粉じん濃度及び吸入性粉じん濃度を換算した。

また、PAPR の装着が作業において従来の通常防じんマスクと比較してどのような差異があるかを比較することを目的とした。

B. 研究方法

耐火レンガ製造作業において、粉碎等

の粉じん作業を常時行っている作業員 24 例を対象とした。通常防じんマスクの代わりに PAPR を装着して 3 時間作業を行った後、比較のためのアンケート調査を行った。

対象には性別、年齢、呼吸器疾患の既往歴、粉じん作業歴を聴取した。また、個人ばく露濃度測定は 6 例を対象として行った。

まず、作業開始時に日常使用している通常防じんマスクのもれ率を測定した。測定機器は柴田化学社製のマスク内圧・フィッティングテスター(MNFT ver.2)を使用した。その後、通常防じんマスクの代わりに用意した PAPR は興研社製 BL-1500 と重松製作所製 SY28RX2 を使用した。そして、どちらかの PAPR を装着してマスクのもれ率を測定した。

PAPR にて 3 時間作業を行った後の装着感等の比較についてアンケート調査を行った。一方、個人サンプラーを用いて、個人の吸入粉じん濃度(総・吸入性粉じん濃度)を測定した。個人ばく露濃度とマスクのもれ率から作業員の吸入粉じん濃度(総・吸入性粉じん濃度)を換算した。

通常防じんマスクと PAPR を使用した作業中の感想を PAPR 着用後に表 1 に示す調査票を用いてアンケート調査し、比較検討を行った。

また、PAPR を使用していない作業員には通常防じんマスクの使用状況についてアンケート調査した(表1)。

(倫理面への配慮)

事前に研究目的を説明し、全ての作業員の研究同意を得てから調査を開始した。

C. 研究結果

対象とした 24 例中 22 例は男性で、2 例が女性であった。年齢は 32 ± 10.6 歳(中央値 31.5 歳)と比較的若年者が多かった。また、呼吸器疾患既往歴がある例はいなかった。

粉じんばく露年数は 1~5 年が 45.8%、6~10 年が 29.2%、11~15 年が 12.5%、16~20 年が 4.2%、21 年以上が 8.3%と比較的経験年数の短い作業員が多かった(図1)。また、通常防じんマスクの着用期間はほぼ作業期間と同様であった(図1)。使用されていた通常防じんマスクの種類はほとんどが取替え式で、使い捨ての簡易マスクを使用していたのはわずか 2 例(4%)のみであった(図 2)。

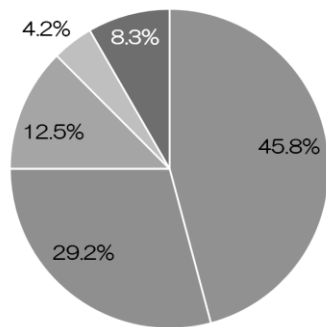
通常防じんマスクのもれ率は図 3 に示すように 34.20 ± 22.53 (7.00~76.25) % 中央値 35.46%であり、PAPR では 0.76 ± 0.67 (0.19~3.59) %中央値 0.65%であった。

一方、個人ばく露濃度は図 4 に示すように総粉じん濃度は 2.5 ± 2.31 (0.33~6.13) mg/m^3 中央値 $1.15\text{mg}/\text{m}^3$ で、吸入性粉じん濃度は 0.48 ± 0.27 (0.08~0.81) mg/m^3 中央値 $0.55\text{mg}/\text{m}^3$ であった。

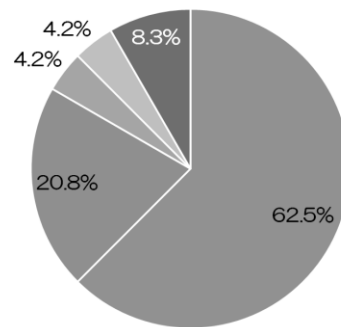
個人ばく露濃度とマスクのもれ率から換算した通常防じんマスク装着者における総粉じん濃度が 1.177 ± 1.471 (0.016~4.358) mg/m^3 中央値 $0.626\text{mg}/\text{m}^3$ であり、PAPR 装着者では 0.029 ± 0.032 (0.002~0.072) mg/m^3 中央値 $0.004 \text{ mg}/\text{m}^3$ であった。

吸入粉じん濃度は 0.221 ± 0.189 (0.004~0.557) mg/m^3 中央値 $0.152 \text{ mg}/\text{m}^3$ であり、PAPR では 0.004 ± 0.004 (0.001~0.010) mg/m^3 中央値 $0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$ であった。

粉じん作業の経験



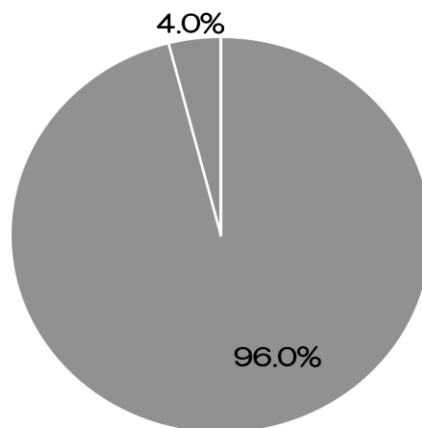
通常防じんマスクの使用期間



■ 1～5年 ■ 6～10年 ■ 11～15年
■ 16～20年 ■ 21年以上

■ 1～5年 ■ 6～10年 ■ 11～15年
■ 16～20年 ■ 21年以上

図 1. 粉じん作業の経験および防じんマスクの使用期間



- 防じんマスク（取替え式）
- 防じんマスク（使い捨て式）
- 防毒マスク
- 防じん機能付き防毒マスク
- 電動ファン付き呼吸用保護具
- 送気マスク

図 2. 現在使用機会のある呼吸用保護具

表 1. 電動ファン付き呼吸用保護具の調査アンケート

		整理番号()	
氏名		年齢	歳

Q1. はじめにお聞きします。

① 性別	1. 男性 2. 女性
② 粉じん作業の経験	_____年_____か月
③ どんな作業で防じんマスクを使用していますか？	「グラインダーでの研磨作業」「アーク溶接作業」「原料の投入作業」等具体的にお答えください
④ 現在使用機会のある呼吸用保護具を全て選んで下さい(複数回答可)	1. 防じんマスク(取替え式) 2. 防じんマスク(使い捨て式) 3. 防毒マスク 4. 防じん機能付き防毒マスク 5. 電動ファン付き呼吸用保護具 6. 送気マスク
⑤ 防じんマスクの使用期間はどのくらいですか？	_____年_____か月
⑥ 呼吸器疾患はありますか？	1. ない 2. ある 差し支えなければ、疾患名をお書きください ()

Q2. 防じんマスクと比較して電動ファン付き呼吸用保護具におけるアンケートをお願いいたします。

① この度装着された電動ファン付き呼吸用保護具を教えてください	1. 面体形 製品名() 2. ルーズフィット形 製品名()
② 防じんマスクと比較して電動ファン付きは呼吸が楽に感じましたか？	1. 感じた 2. 少し感じた 3. 変わらない 4. 少し苦しい 5. 苦しい

*裏面につづく

③ マスクの大きさは気になりますか？	1. まったく気にならない 2. あまり気にならない 3. 変わらない 4. 少し気になる 5. 大変気になる
④ 視界に変化を感じませんか？	1. まったく気にならない 2. 少し気になる 3. 大変気になる
⑤ マスクの重さは感じますか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑥ 動きにくさを感じますか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑦ マスク内へ粉じんのもれ込みを感じますか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑧ 作業後の疲労感に差はありましたか？	1. かなり楽であった 2. 楽であった 3. 変わらない 4. 少し増した 5. かなり増した
⑨ 作業の効率が上がったと感じますか？	1. かなり上がった 2. 上がった 3. 変わらない 4. 少し落ちた 5. かなり落ちた
⑩ 粉じんを吸っていると感じることはありますか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑪ メガネが曇りませんか？	1. まったく曇らない 2. 変わらない 3. 少し曇る 4. かなり曇る
⑫ ファンの音は気になりますか？	1. まったく気にならない 2. 少し気になる 3. 大変気になる
⑬ 今後、電動ファン付き呼吸用保護具を使用していきたいと思えますか？	1. 思う 2. 思わない その理由等があればお答えください ()

Q3. 日頃、作業で防じんマスク(電動ファン付き呼吸用保護具以外)を使用している人にお聞きします。

① 防じんマスクの装着時間は、平均して1日あたり何時間くらいですか？	_____時間
② 今までに、呼吸保護具の装着方法に関する教育を受けたことはありますか？	1. ない 2. ある
③ フィットテストをしたことがありますか？	1. 作業前に必ず行う 2. 時々行う 3. 行ったことがない どのようにフィットテストをしていますか？ ()
④ 呼吸保護具装着時に接顔面と顔面の隙間に何かが入り込むことはありますか？(複数回答可)	1. 何もない 2. メリヤスカバー 3. タオル 4. その他()
⑤ 通常防じんマスクは圧着がきついと息苦しいですか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑥ 接着面の皮膚はかゆいですか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑦ 接着面の皮膚は痛いですか？	1. まったく感じない 2. あまり感じない 3. 変わらない 4. 少し感じる 5. かなり感じる
⑧ 呼吸用保護具の装着が必要な状況にもかかわらず、呼吸用保護具を外したことはありますか？外したことがある方は、どのような状況において外しましたか？(複数回答可)	1. 外したことはない 2. 暑さや汗が気になるなど、不快感がある状況で外した 3. 息苦しくなったため外した 4. 会話において相手に声を届けようとして外した 5. その他()
⑨ 使用していて、機能の低下等を感じますか？(感じる部分はどこですか？)	1. まったく感じない 2. 少し感じる() 3. 強く感じる()

ご協力ありがとうございました。

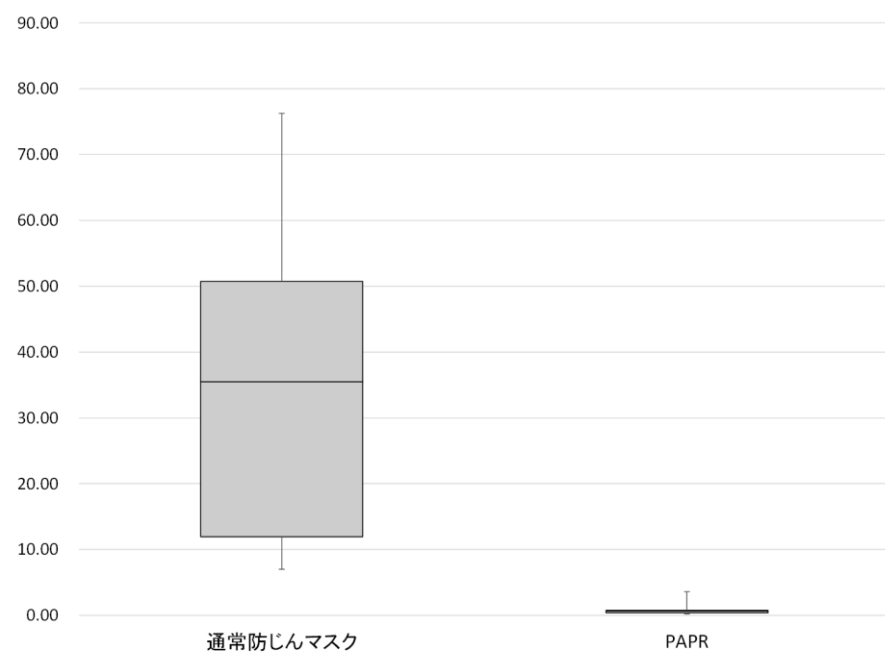


図3. 通常防じんマスクとPAPRのもれ率の比較

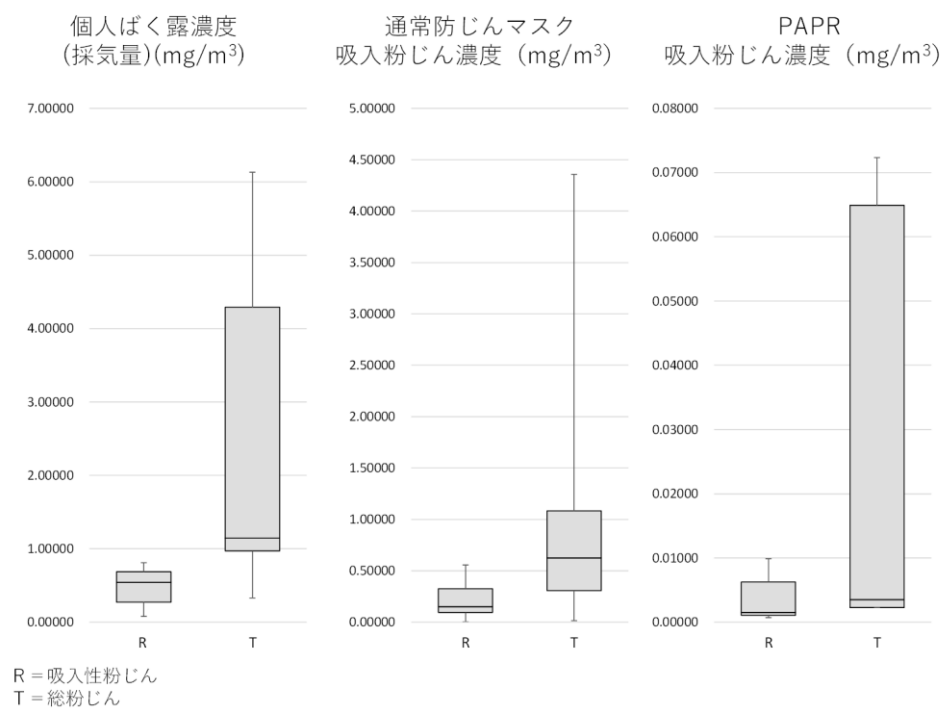


図4. 個人ばく露濃度 通常防じんマスクとPAPRの比較

アンケート結果は図 5～16 に示す。PAPR は大きさが大きく、電池が組み込まれているため通常防じんマスクに比べると重い、大きさ、重さを少し以上感じる作業者が各 79.1%あった(図 5)。また、視界や動きに変化を感じるかどうかの問いに対しては、視界が気になる作業者が 50%、動きにくさを訴えた作業者が 37.5%あった(図 6)。しかし、ファンの音に対しては大変気になる作業者は 16.7%で、メガネの曇りに関しては 92.3%が曇りを感じていなかった(図 7)。マスク内への粉じんのもれを感じると答えた作業者はわずか 4.2%であり、粉じん吸入についても 87.5%がほとんど粉じん吸入を感じていないと回答した(図 8)。作業効率についてはPAPRに変更しても変化はなかったが、作業後の疲労感が改善したと回答した作業者が 25%あった(図 9)。そのため、通常防じんマスクと比較して呼吸が楽になったと回答した作業者が 75%であった(図 10)。

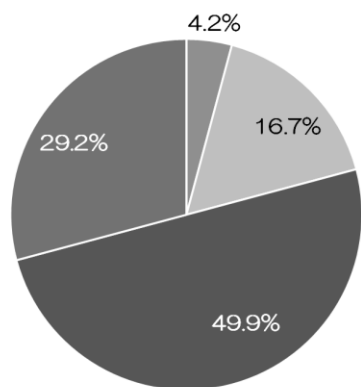
通常防じんマスクを使用している作業者にその装着時間を聞いたところ、大半の 68.2%は 5～8 時間と回答した(図 11)。装着方法に関する教育を受けたことがない作業者が 26.1%あった。また、フィットテストを行ったことがある作業者は 36.3%あったが、作業前に必ず行う作業者はわずか 4.5%で、残りの 31.8%は 1 度しかフィットテストを行ったことがないと回答した(図 12)。また、通常防じんマスクの圧着がきついや息苦しいと回答した作業者は 43.5%あった(図 13)。96%が通常防じんマスク使用時に接着面と顔の隙間に何かが入り込むと回答、内訳として 92%がメリヤスカバー、4%がタオルであった。(図 13)。圧着している部分のかゆみをわずかに感じる作業者は 34.8%、痛みを感じる作業者は 17.4%で予想していた

より少なかった(図 14)。

一方、通常防じんマスクでは機能低下を感じる作業者は 30.4%あり、その中には排気弁の劣化や黒い鼻水がでると回答した作業者がいた。通常防じんマスクを粉じん作業中に外したことのある作業者は 92%あり、その原因として暑さや汗のための不快感や息苦しさ、会話のためと回答していた(図 15)。

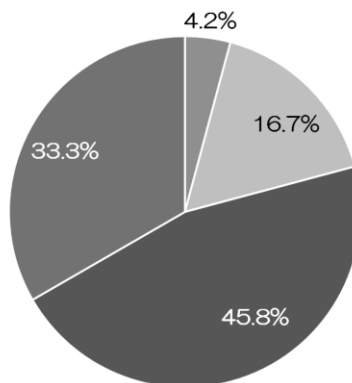
今後 PAPR を使用したいと希望した作業者は 56.5%(図 16)と過半数以上であり、PAPR の装着感は概してよかったと判断した。特に通常粉じんマスクのもれ率が 10%以上あった作業者の 66.7%が PAPR を使用したいと回答していた。一方、通常防じんマスクにおける粉じんもれ率が 10%以下の作業者のうち 80%が PAPR を使用したくないと回答しており、通常防じんマスクであっても適正使用ができている作業者では必ずしも PAPR は必要ない可能性が示唆される。

マスクの大きさは気になるか



- 全く気にならない
- あまり気にならない
- 変わらない
- 気になる
- 少し気になる

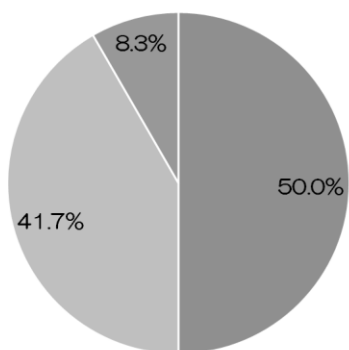
マスクの重さは感じるか



- 全く感じない
- あまり感じない
- 変わらない
- かなり感じる
- 少し感じる

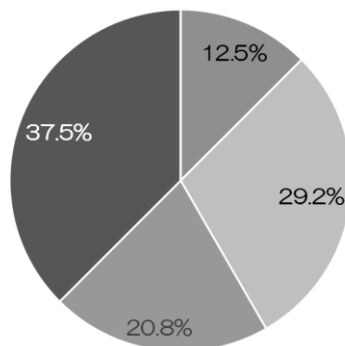
図 5. マスクの大きさは気になるか、重さは感じるか

視界に変化を感じるか



- 全く気にならない
- あまり気にならない
- 変わらない
- 大変気になる
- 少し気になる

動きにくさを感じるか



- 全く感じない
- あまり感じない
- 変わらない
- かなり感じる
- 少し感じる

図 6. 視界に変化を感じるか、動きにくさを感じるか

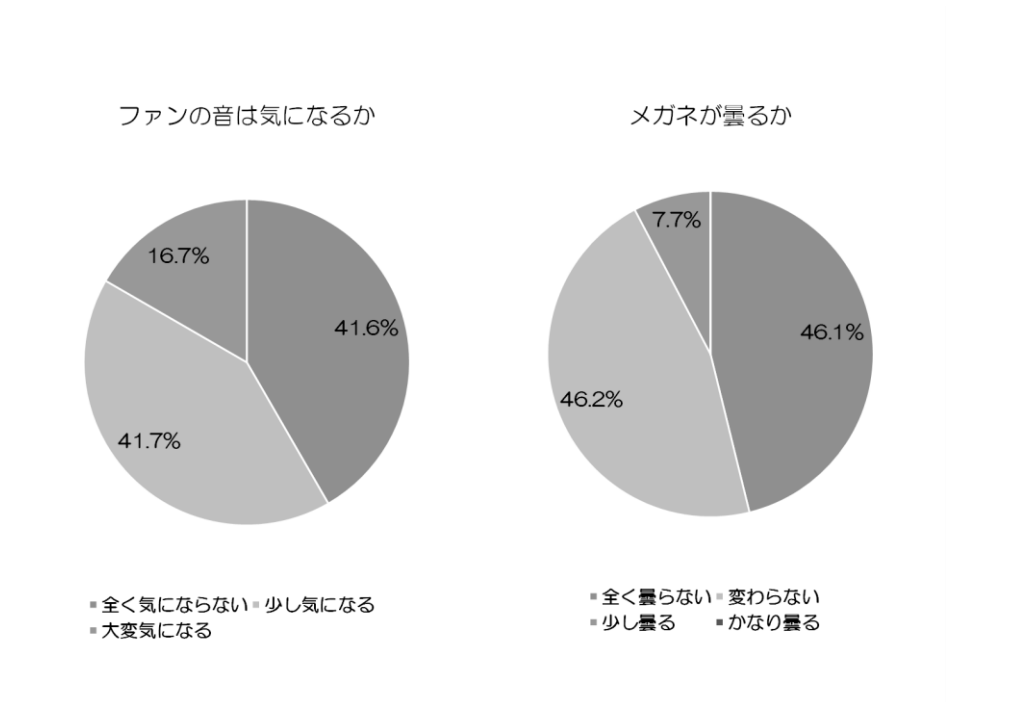


図 7. ファンの音は気になるか、メガネが曇るか

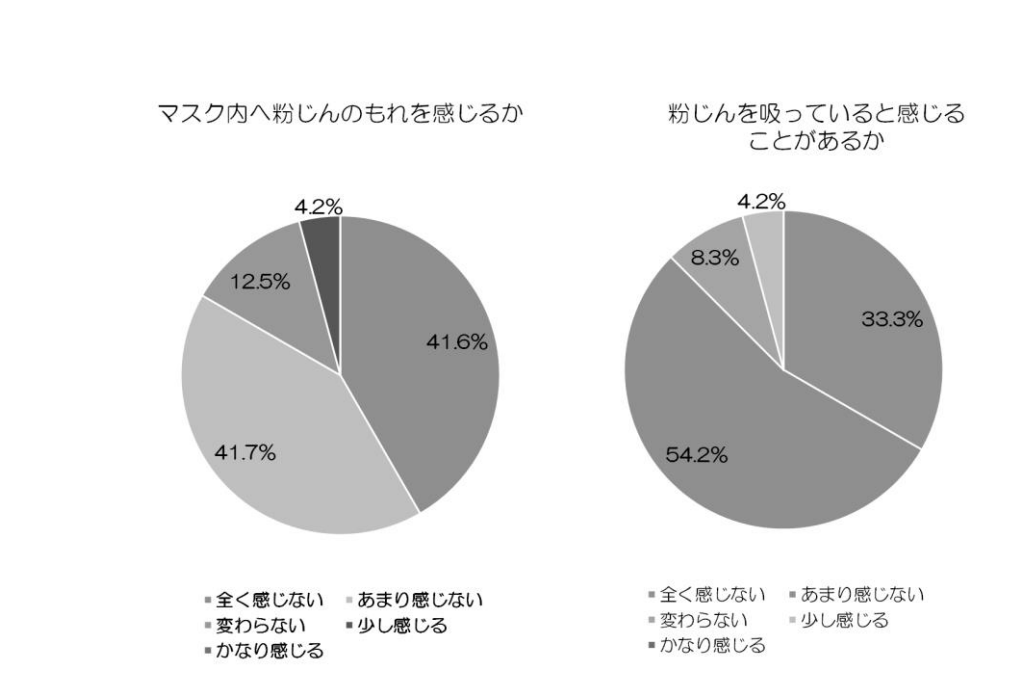
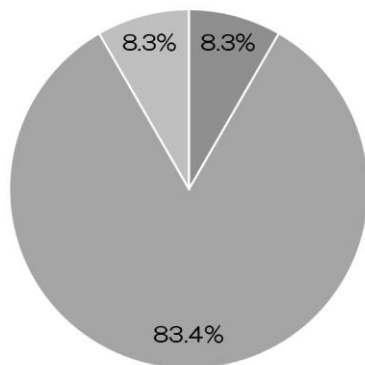


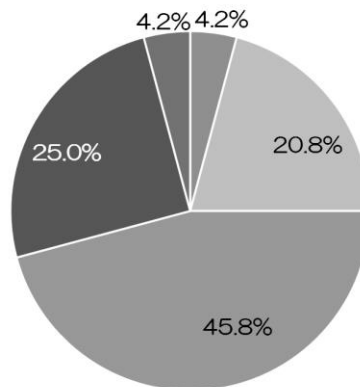
図 8. マスク内の粉じんのもれを感じるか、粉じんを吸っていると感じることがあるか

作業効率が上がったと
感じられるか



- かなり上がった ■ 上がった
- 変わらない ■ 少し落ちた
- かなり落ちた

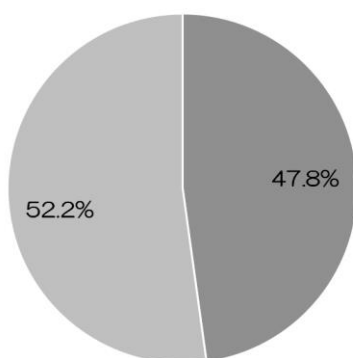
作業後の疲労感に差があるか



- かなり楽であった ■ 楽であった
- 変わらない ■ 少し増した
- かなり増した

図 9. 作業効率が上がったと感じられるか、作業後の疲労感に差があるか

使用したPAPRの種類



- BL1005 ■ Sy28

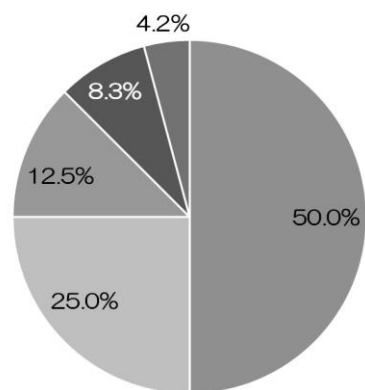


BL1005
(興研)



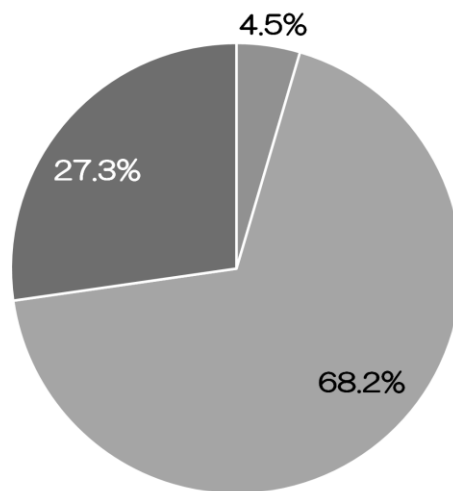
Sy28
(ジゲマツ)

通常防じんマスクと比較して
呼吸が楽に感じたか



- 感じた ■ 少し感じた ■ 変わらない
- 少し苦しい ■ 苦しい

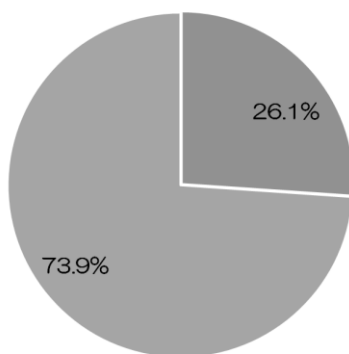
図 10. 使用した PAPR の種類、通常防じんマスクと比較して呼吸が楽に感じたか



■ 1～4時間 ■ 5～8時間 ■ 9～12時間

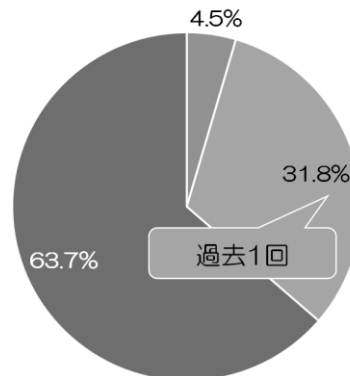
図 11. 一日あたりの装着時間の平均

装着方法に関する教育を受けたことがあるか



■ ない ■ ある

フィットテストを行ったことがあるか



■ 作業前に必ず行う ■ 時々行う
■ 行った事が無い

図 12. 装着方法に関する教育を受けたことがあるか、フィットテストを行ったことがあるか

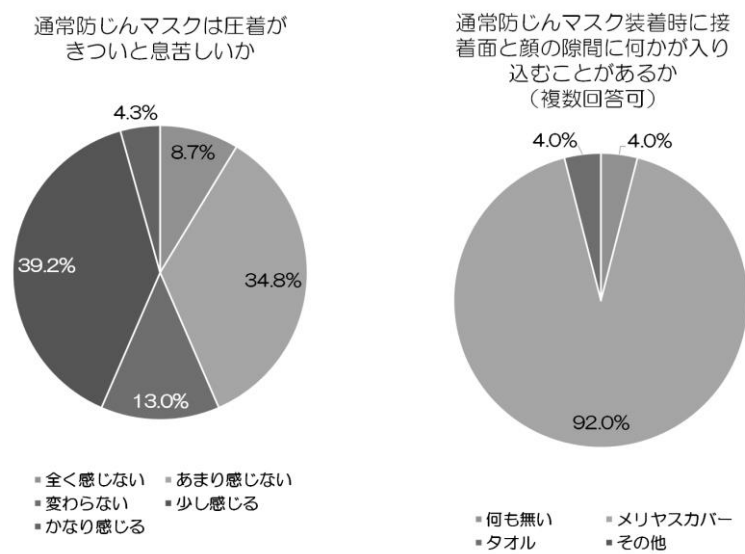


図 13. 通常防じんマスクは圧着がきついと息苦しいか、通常防じんマスク装着時に接着面と顔の隙間に何かが入るこむことがあるか

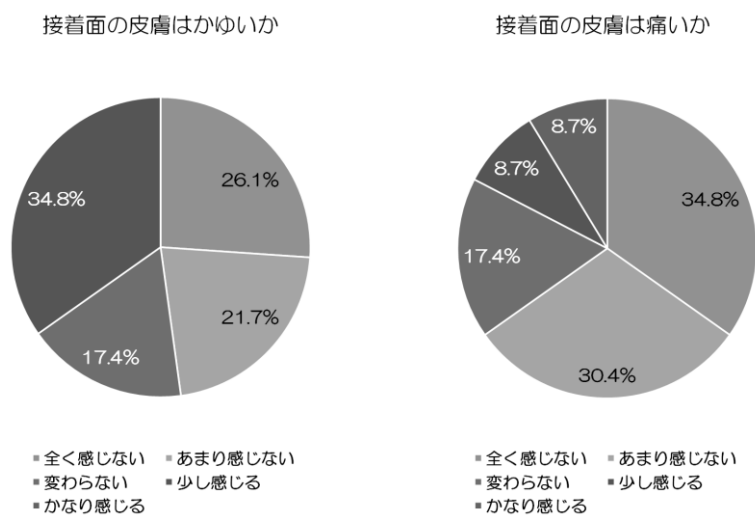


図 14. 接着面の皮膚はかゆいか、痛い

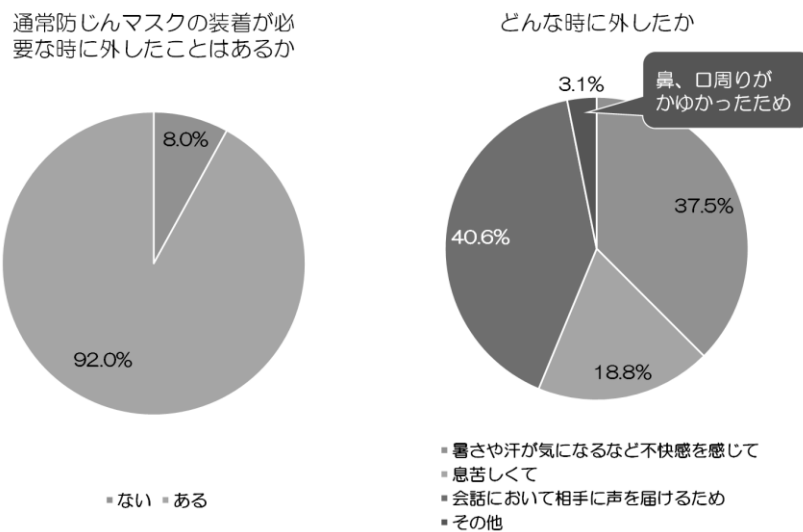


図 15. 通常防じんマスクの装着が必要な時に外したことはあるか、

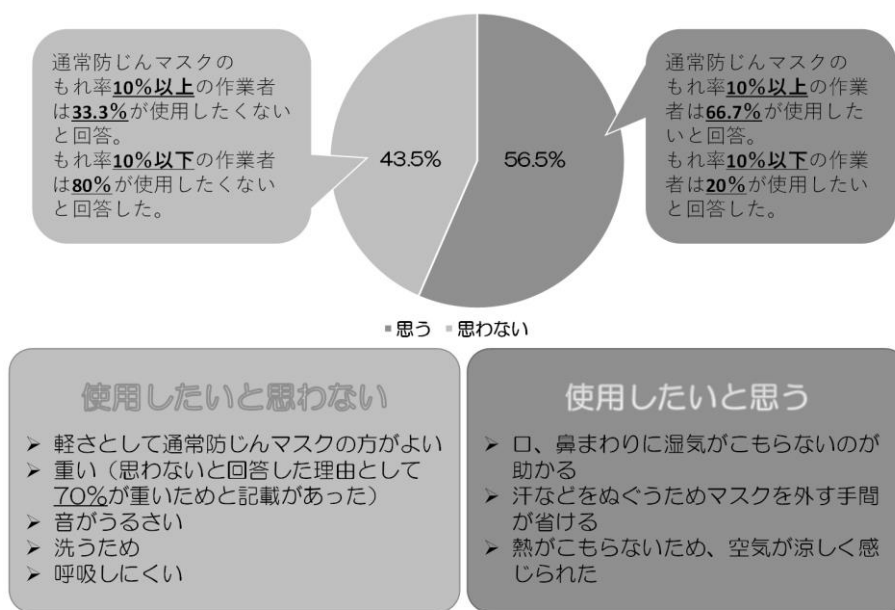


図 16. 今後 PAPR を使用したいか

D. 考察

平成 15 年度の岡山産業保健推進センターの調査研究において、じん肺有所見者が高率に存在する理由として、通常防じんマスクのもれが問題ではないかと考え、粉じん作業者が着用している通常防じんマスクの平均もれ率を測定した。その結果、もれ率の平均が 24.3%あり、その原因が紐の締め具合がゆるいあるいはメリヤス付きのマスクであることが原因ではないかということを経験した。そのため、耐火物粉砕作業 14 例にマスクの適正な装着方法を指導したところ、指導前の平均もれ率が 20.6%であったが、指導後には 5.8%に減少しており、直後の指導効果を確認出来た。

そのため、粉じん作業場に定期的(1 か月に 1 度)に出向いて通常防じんマスクの適切な使用方法について 5 年間指導した。その結果、短期的なもれ率は平成 15 年度と同様に有意に改善されたが、長期的な改善が認められた事業場は指導した 7 事業場のうち 2 事業場のみであった。

そこで、通常防じんマスクに替えて、フィットテストが厳しくなくても吸入粉じん濃度を減少させることが想定される PAPR を選択し、通常防じんマスクとの比較試験を施行した。

今回の研究においての通常防じんマスクの平均もれ率は 34.20%と高率であり、通常防じんマスクの性能が改善された現在でも 15 年前のデータと比較して通常防じんマスクのもれ率が増加していることが判った。一方、PAPR は通常防じんマスクに比較して高額ではあるが、マスクのもれ率は 0.76 ± 0.67 (0.19~3.59) %と その防じん作用は明らかによく、粉じん吸入濃度を有意に軽減していることが実証された。

通常防じんマスクの着用教育を受け

たことがある作業者は 73.9%であったが、フィットテストを行ったことがない作業者が 63.7%と過半数を占めた。通常防じんマスクのもれの理由として、全体の 92% はメリヤス付きの防じんマスクを使用しており、そのもれに対してメリヤスの装着が大きいことが示唆された。通常防じんマスクにメリヤスを装着しても、皮膚のかゆみや痛みを訴える作業者もいたが少数であった。

通常防じんマスクを装着中に一時マスクを外している作業者が 92%あり、その理由として息苦しさ、暑さや汗による不快感が原因として多かった。

以上のように、通常防じんマスクでは、様々な理由でマスク効率が悪く、一定以上の粉じん吸入が生じている可能性が明らかになった。しかし、通常防じんマスクもフィットテストをきちんと行って使用すれば、もれ率は 10%以下となりその役目を十分に果たしていた。PAPR は電池やファンの使用により、大きさや重さが増したため、装着し作業する上で不利益が想定された。そのため、アンケート調査により作業者にその感想を求めたが、意外にその欠点を指摘する率は低く、呼吸が楽で、粉じん吸入濃度が少ないというメリットを述べ、56.5%が PAPR を使用したいという結果を得た。なお、着用の推進に問題があるとするならば、高額である費用とどれくらいの耐用性があるかが問題となる。

しかし、今後の新たなじん肺防止のため通常防じんマスクの適正な使用指導を行うとともに PAPR を上手く活用することが必要であると考えられた。

E. 結論

PAPR はマスク防じん効率が極めてよく、粉じん吸入を防止できているとともに、粉じん作業従事者にも装着において良

い感触が得られた。今後は症例を増やしてこの事実を確認して行く予定である。

参考文献

1. 粉じん作業場におけるマスク効率と呼吸機能に関する研究 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 3月 2004
2. 防じんマスク適正使用の教育指導の効果に関する検討 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 3月 2009

F. 研究発表

1. 論文発表
該当なし
2. 学会発表
該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発

研究協力者 盛武 敬¹⁾、石垣 陽²⁾

¹⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線健康医学

²⁾電気通信大学・ヤグチ電子工業(株)CTO

研究要旨

PAPR 装着が必要とされるシチュエーションや作業において、作業者の個人粉塵ばく露量を随時測定し可視化して、具体的な粉塵濃度を基に体内への粉塵取り込み量と具体的な作業内容を関連づけることが可能にすることを目的として、脱着可能で小型軽量な PM2.5 センサー(ウェアラブル粉塵測定デバイス)を開発した。

A.本研究の目的

本研究では、PAPR 被験者に脱着可能で小型軽量な PM2.5 センサー(ウェアラブル粉塵測定デバイス)を開発し、被験者の個人粉塵ばく露量を随時測定し可視化することを目的とする。このデバイスの完成により、体内への粉塵取り込み量と具体的な作業内容を関連づけることが可能となるため、PAPR 装着が必要とされるシチュエーションや作業内容を、具体的な粉塵濃度を基に指摘できるようになり、粉塵作業現場の労働衛生管理の改善に貢献できると考えている。

B.ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発手法

ヤグチ電子工業(株)にて既に上市している(www.pocket-pm.com)、スマホ接続型の小型 PM2.5 センサー「ポケット PM2.5 センサー」を、外注委託により本研究仕様のウェアラブル粉塵測定デバイスに改良する。

これまでの「ポケット PM2.5 センサー」による研究成果と課題

盛武・石垣らはこれまでに、ポケット PM2.5 センサーを用いた環境粉塵濃度のマッピングに成功している。以下に例を示す。

ポケット PM2.5 センサーで北九州市内屋外テニスコートの粉塵濃度測定を行った(図 1)。このとき得られた粉塵濃度のト

レンドグラフを見ると、クレートコート(水はけの良い土)の方がオムニコート(砂入り人工芝)よりもやや粉塵濃度が高い結果

クレートコート



オムニコート



図 1. クレートコート (左) とオムニコート (右) での PM2.5/10 測定風景。ポケット PM2.5 センサー作動中にスマートフォンで写真撮影すると、左上に GPS 情報、右下に PM2.5/10 濃度が示され、測定状況の詳細な記録として、後日解析に用いることができる。

となり、想像通りの理にかなった結果となった(図2)。しかし、このコート上の粉塵濃度は、ほぼ同時時間帯に測定した幹線道路沿いの値よりも全体的に低値であり(データ示さず)、当日のコート上はスポーツをするのに適した環境であることが示された。

電力化に取り組むことで動作時間を延長し、およそ 2.5～3.0h 程度の動作が可能となった。

(2)Bluetooth 無線化

現状のポケット PM2.5 センサーは、20cm 程度の USB シリアルケーブルでセンサー本体とスマホを接続する必要がある。そのため、本研究で粉塵作業者が胸～肩にセンサーを置いて測定することを考えると、USB シリアルケーブルを数 10cm 以上に延長することが必要となる。このことは、電磁ノイズの影響の増大を

来するため、様々なスマホに対応する汎用 Bluetooth 無線接続方式を採用して、ケーブルレスにセンサー本体とスマホとのデータリンクを確立した。測定中は常に両者が通信する「同期方式」と、測定時は内蔵メモリーへの記録（後述）を行い測定終了後にスマホと随時リンクしてデータを取得する「非同期方式」の2つの実装方法が想定されるが、本年度は時間と予算の制約により、前者の「同期方式」での試作を行った。



図 4. Bluetooth 無線方式でスマホと連結されたポケット PM2.5 センサー。約 2.5～3.0 時間の連続測定が実現された。PM2.5/10 値 ($0\sim999\mu\text{g}/\text{m}^3$)、GPS 情報、時刻を csv 形式で書き出すことができる。

D. 考察 検出粉塵レベルの仕様について

現行では測定上限濃度は $999 \mu\text{g}/\text{m}^3$ までとなっており、それを超える極端な粉塵作業現場では値が飽和してしまう。そのような状況下での個人粉塵暴露濃度の評価には、個人サンプリングした粉塵質量を曝露持続時間で除すことで、個別粉塵現場での概算粉塵濃度/時間の暫定値を用いるなど、運用方法の検討が必要である。しかし、本年度の開発では、これまでの測定では不可能であった「個人暴露濃度の時間トレンドを相対的に観察する」という機能の実現に焦点を当てて開発を行った。

E. 結論 次年度のウェアラブル粉塵測定デバイスの開発(平成 31 年度)

1. 実装実験の実施と試作 2 号機へのフィードバック

平成 30 年度に試作を行ったデバイスを実際の粉塵現場で使用してみて、改善点を抽出し試作 2 号機の設計へフィードバックする。特に、初年度に手がけられなかった以下の点については早期に解決を図る。

2. 初年度試作 1 号機で達成できなかった機能追加

(1)利用者情報の登録、識別機能

被験者の ID 等を登録・管理できるよう改良することで、実験データの分析(被験者ごとの曝露量解析など)を可能とする。

(2)作業の邪魔にならない装着方法

PAPR や作業着及び周辺機器など現場と被験者の状態に応じて、作業の邪魔にならないようにポケット PM2.5 センサーを装着できるよう工夫する。

(3)内蔵メモリーへの記録

スマホと常時接続(無線・有線を問わず)していなくても、単独で内蔵メモリーを準備し一定のデータを記録できるような実装を検討する。後述の Li-ion バッテリーと合わせることで、完全にスタンドアロン(独立型)で動作させることも可

能となる。

(4)Li-ion バッテリー内蔵

現状のポケット PM2.5 センサーはスマホ側から電源を供給しており、電源容量が限られるため、センサー本体にリチウムイオン電池を内蔵する。充放電回路や保護回路などが必要となり内部スペースに限りがあるため、連続動作時間とのトレードオフにより仕様を検討する。

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

1. 特許取得

検討中

2. 実用新案登録

検討中

3.その他

該当なし

平成30年度労災疾病臨床研究事業費補助金
研究報告書

夏期の作業現場における呼吸用保護具の装着感に関する調査

研究協力者 長谷川将之、宮本俊明
新日鐵住金(株)君津製鐵所

研究要旨

夏期における PAPR の装着感や疲労度を調査し、労働者に対する作業管理の指導に活かすことを目的とした。調査対象者は常時呼吸用保護具を使用している男性作業員 18 名で調査は 2018 年 8 月から 9 月にかけて実施された。被験者を 2 群に分け、クロスオーバー法に則り、通常の防じんマスク着用、電動ファン付き防じんマスク着用の 2 種類の状態で測定を行った。作業中の気温、湿度、暑さ指数(WBGT)の測定を行い、作業内容として点検・清掃といった通常の業務を 3 時間程度行い、作業終了後に装着時間、装着感や疲労度、精神的ストレスに関する情報を得た。

夏季において PAPR の装着が息苦しさによる不快感を軽減し、その装着による精神的ストレスは通常の防じんマスクより優れている可能性が示唆され、PAPR の軽量化が図られれば、有用性が更に向上すると考えられた。

A. 研究目的

近年、粉じんばく露による健康障害防止対策の一環として電動ファン付き防じんマスク(PAPR)が注目されており、規格の制定や法令の改正により今後 PAPR を使用する作業場が増加することが想定される(1)(2)。我々は 2018 年 1 月から 2 月にかけて PAPR の装着感や疲労度を通常の防じんマスクと比較検討し、マスク内の暑さは PAPR のほうが良好である一方、マスクの重さや集中力低下、仕事中断回数などが PAPR の課題であることが示された。今回、夏期における PAPR の装着感や疲労度を調査し、労働者に対する作業管理の指導に活かすことを目的とした。

B. 研究方法

調査対象者は常時呼吸用保護具を使

用している男性作業員 18 名で調査は 2018 年 8 月から 9 月にかけて実施された。被験者を 2 群に分け、クロスオーバー法に則り、通常の防じんマスク着用、電動ファン付き防じんマスク着用の 2 種類の状態で測定を行った。作業環境は装着感や疲労度などの調査項目に影響を与えることが想定されるため、作業中の気温、湿度、暑さ指数(WBGT)の測定を行った。作業内容としては点検・清掃といった通常の業務を 3 時間程度

行い、作業終了後に装着時間、装着感や疲労度、精神的ストレスに関する情報を得た。作業終了

後に質問票を用いて装着感や疲労度、精神的ストレスに関する情報を得た。



図 1.測定順序

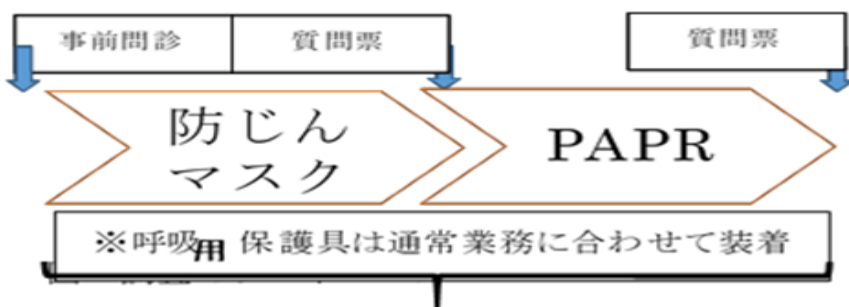


図 2.調査のプロトコール

C. 研究結果

1. 調査時の作業状況および作業環境について

調査対象者の基本属性は表 1 の通りであ

った。

本調査における平均気温は 28.2℃, 平均 WBGT は 26.1 であった(表2).

表1.対象者の属性

項目		平均	標準偏差
年齢	歳	37.89	11.60
身長	cm	173.72	5.92
体重	kg	75.78	15.74
粉じん作業時間 /日	時間	4.08	1.11
保護具装着時 間/日	時間	3.75	1.43

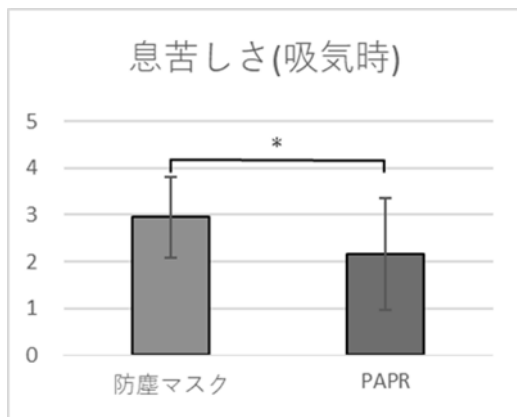
表 2.調査時の作業環境

項目		平均	標準偏差
気温	℃	28.2	3.4
湿度	%	70.0	15.7
黒球温度	℃	30.6	6.9
暑さ指数 (WBGT)	℃	26.1	3.2

i 装着感に関する指標

吸気時の息苦しさの質問項目においては防じんマスクよりも PAPR の方が統計学的に有意に良好な結果を示した (図

1). 一方, 保護具の重さにおいては, PAPR よりも防じんマスクの方が統計学的に良好な値を示した (図2).

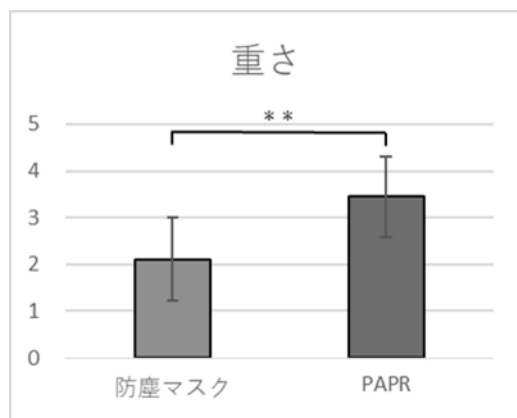


1. とても楽～5. とてもきつい の5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

*; $p < 0.05$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図1. 息苦しさ (吸気時)



1. とても軽い～5. とても重い の5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

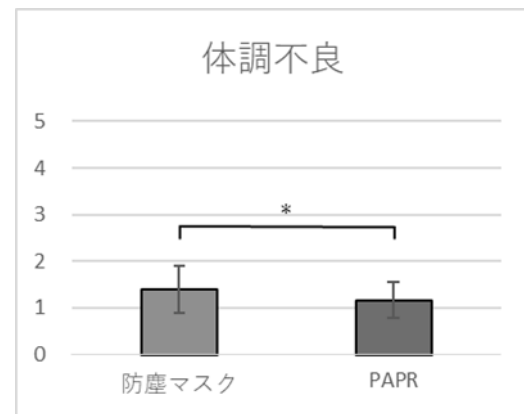
**; $p < 0.01$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図2. 保護具の重さ

i. 精神的ストレスに関する指標

精神的ストレスに関する指標としては、保護具を付けている間の体調不良、保護具を付けている間の作業ミス、保護

具を付けている間の眠気、保護具を付けている間のぐったりとした疲れといった質問において統計学的に有意差を認め、いずれの項目においても PAPR の方が良好な結果を示した。

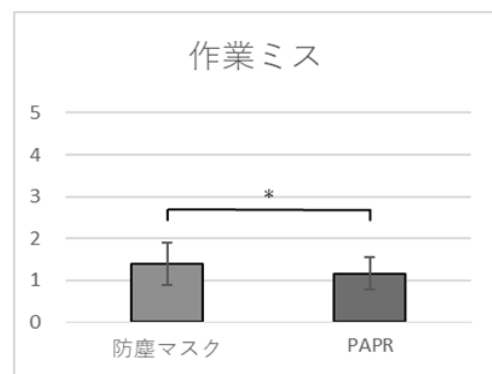


1. 全くなかった～5. 強くあった の5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

*; $p < 0.05$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図3. 保護具を付けている間の体調不良

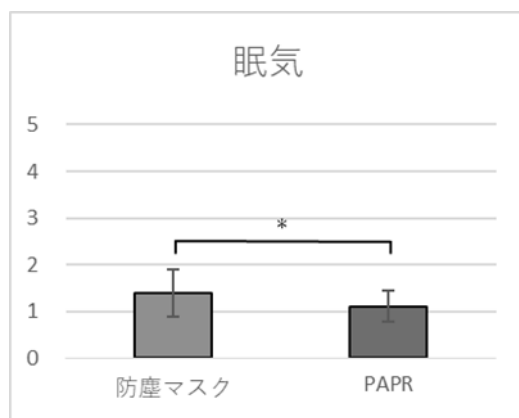


1. 全くなかった～5. 強くあった の5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

*; $p < 0.05$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図4. 保護具を付けている間の作業ミス

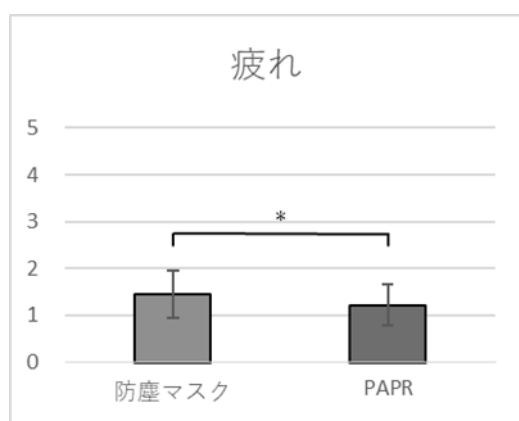


1. 全くなかった～5. 強くあった の5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

*; $p < 0.05$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図5. 保護具を付けている間の眠気



1. ほとんどない～5. ほとんどずっと の5段階

5段階

エラーバーは平均値の標準偏差を示す

*; $p < 0.05$ Wilcoxon 符号付き順位検定

図6. 保護具を付けている間のぐったりとした疲れ

D. 考察

冬季において実施された調査では、平均気温 10.4℃、平均 WBGT 8.3℃であったのに対して、本調査では平均気温 28.2℃、平均 WBGT 26.1℃と明らかに暑い条件下での調査となっていた。本調査の対象者は、シャベル等を用いる作業を行っているが、厚生労働省が推奨する「身体作業強度等に応じた WBGT 基準値」(3)において、シャベルを使う作業は高代謝率作業とされており 1)、熱に順化している作業員においてもその基準値は WBGT 26℃とされていることから、本調査の平均 WBGT 26.1℃という作業環境は夏季の作業環境として評価するに十分であると考えられ、冬季との差についても季節の異なる条件下での調査という本調査の目的に沿う結果であると考えられた。

i. 装着感に関する指標

冬季に実施した調査においては、マスク内の暑さにおいて有意に PAPR の方が良好な結果を示し、保護具の重さにおいて通常の防じんマスクの方が良好な結果を示した。夏季に実施された本調査においては、マスク内の暑さにおいては有意差を認めなかったが、吸気時の息苦しさにおいて PAPR のほうが良好な結果を示した。気温が高い状況においては、電動ファンにより送気される空気の温度も高いことが想定され、マスク内の暑さに違いが認められなかったと考えられた。夏季におけるマスク内の暑さを軽減するには、送気される空気自体を冷却する装置を加えるなどの対策が必要であ

ると考えられる。

一方、息苦しさについては冬季の調査においても有意差は認めないものの、PAPRの方が良好な結果を示しており、今回の調査においては吸気時において有意差を認めたことから、息苦しさを軽減し、それに伴う作業の不快感を改善する可能性が示唆された。高原ら、川波らによる防じんマスクの種類による呼吸への影響に関する報告においてPAPRが換気の補助に有効である可能性が示されている点（４）（５）において、本調査は相違ない結果であったと考えられる。

マスクの重さについてはメーカー基準として防じんマスクは155 g程度（1005R）であり、PAPRは278 g程度（BL-1005）である。バッテリー一体型のPAPRとしては調査時において最軽量のものを使用した。有意差をもってPAPRの方が重いという結果であった。問診票の自由記載項目において、鼻根部から鼻背部にかけての圧迫感を訴える意見が複数認められたことから、軽量化と共に当該部位への圧迫感を軽減することが今後望まれる。

ii. 精神的ストレスに関する指標

精神的ストレスに関する指標では、冬季の調査においては憂鬱、集中力低下、仕事中断が増えたといった項目で有意に防じんマスクの方が良好な結果を示していたが、下記の調査ではこれらの項目では有意差を認めず、体調不良、作業ミスの増加、眠気、疲れにおいてPAPRの方が良好な結果を示した。冬季におい

ては不慣れであるPAPRの不快感や違和感が集中力低下等をきたしたと考えられるが、過酷な夏季においては、息苦しさをはじめとしたPAPRの快適性が不慣れによる不快感を上回ったと考えられ、今回の調査作業場を超える暑熱環境下では更なる快適性が期待される。

iii. 調査の限界と今後の展望

本調査は屋外作業従事者を対象とした調査であったため、作業環境や作業内容を完全に一致することが困難であった。また、輻射熱を主体とする暑熱作業では装着感や快適性が異なる可能性があり、今後様々な条件下での調査が望まれる。

また、冬季、夏季いずれの調査においても短期間の装着感を評価しており、保護具への慣れが影響した可能性がある。今後、長期的な装着を想定した調査により、慣れの影響に配慮した調査が望まれる。

E. 結論

夏季においてPAPRの装着が息苦しさによる不快感を軽減し、その装着による精神的ストレスは通常の防じんマスクより優れている可能性が示唆され、PAPRの軽量化が図られれば、有用性が更に向上すると考えられた。

参考文献

1. 厚生労働省、電動ファン付き呼吸用保護具の規格。厚生労働省告示第四百五十五号、2014
2. 厚生労働省、労働安全衛生法施行令の

一部を改正する政令及び労働安全衛生規則等の一部を改正する省令の施行について. 基発 0930 第 9 号, 2015.

3. 厚生労働省, 平成 31 年「STOP! 熱中症 クールワークキャンペーン」実施要綱

4. 高原 しおん 砂健, 川波 祥子, 井上 仁郎, 堀江 正知, 明星 敏彦 暑熱環境における 5 種類の防じんマスク装着による体温及び呼気ガスの変化(第 30 回産業医科大学学会総会学術講演・展示抄録集). Journal of UOEH. 2013;35(1): 75

5. 川波 祥子, 中田 博文, 松井 亜弓, 濱本 貴史, 井上 仁郎, 堀江 正知. 防じんマスクの種類による呼吸への影響 (第 31 回産業医科大学学会総会学術講演・展示抄録集) Journal of UOEH 2014;36

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

資料

電動ファン付き防じんマスクの装着感に関する調査票

Q1. 電動ファン付き防じんマスクの装着感について該当する番号を下線部に記入ください.

Q1-1. 装着感についてお答えください. _____

1.とても快適 2.やや快適 3.普通 4.やや不快 5.とても不快

Q1-2. マスク内の湿度についてお答えください. _____

1.とても湿潤 2.やや湿潤 3.普通 4.やや乾燥 5.とても乾燥

Q1-3. マスク内の暑さについてお答えください. _____

1.とても暑い 2.やや暑い 3.普通 4.やや涼しい 5.とても涼しい

Q1-4. 息苦しさ(吸うとき)についてお答えください. _____

1. とても楽 2.やや楽 3.普通 4.ややきつい 5.とてもきつい

Q1-5. 息苦しさ(吐くとき)についてお答えください. _____

1.とても楽 2.やや楽 3.普通 4.ややきつい 5.とてもきつい

Q1-6. 作業中息切れをしたことがありますか. _____

1. 全くない 2.ほとんどない 3.多少 4.頻繁に

Q1-7. 口で呼吸することがありましたか. _____

1. 全くない 2.ほとんどない 3.多少 4.頻繁に

Q1-8. 作業の疲労感についてお答えください. _____

1.とても楽 2.やや楽 3.普通 4.ややきつい 5.とてもきつい

Q1-9. 作業時の発汗についてお答えください. _____

1.とても少ない 2.やや少ない 3.普通 4.やや多い 5.とても多い

Q1-10. マスクの重さについてお答えください. _____

1.とても軽い 2.やや軽い 3.普通 4.やや重い 5.とても重い

Q1-11. 電動ファンの音についてお答えください. _____

1.とても気になる 2.やや気になる 3.普通

4.あまり気にならない 5.まったく気にならない

裏に続きます➡

Q2. 今回保護具を使用した後の自覚症状について、該当する番号を下線部に記入ください。

1.全くなかった 2.ほとんどなかった 3.多少あった 4.強くあった

Q2-1. 保護具を付けている間のイライラ感. _____

Q2-2. 保護具を付けている間の不安感. _____

Q2-3. 保護具を付けている間の落ち着かない感じ. _____

Q2-4. 保護具を付けている間のゆううつな感じ. _____

Q2-5. 保護具を付けている間の体調不良. _____

Q2-6. 保護具を付けている間の集中力低下. _____

Q2-7. 保護具を付けている間の作業ミス. _____

Q2-8. 保護具を付けている間の眠気. _____

Q2-9. 保護具を付けている間のやる気低下. _____

Q2-10.保護具を付けている間のぐったりした疲れ. _____

Q3. 普段の体調が良い時と比べて、保護具を使用した後の仕事に関して以下のようなことがどのくらいありますか。

1.ほとんどない 2.まれに 3.ときどき 4.頻繁に 5.ほとんどずっと

Q3-1. 社交的にふるまえなかった. _____

Q3-2. ていねいに仕事をする事ができなかった. _____

Q3-3. 考えがまとまらなかった. _____

Q3-4. 仕事を中断する回数が増えた. _____

Q3-5. 仕事もうまいかないと感じた. _____

Q3-6. 冷静に判断することができなかった. _____

Q3-7. 自発的に仕事ができなかった. _____

装着感など気づいた点があれば自由に記載ください。

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍
本年度は該当なし

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌
本年度は該当なし

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年