

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(2018)～令和2(2020)年度 総合研究報告書

令和3年3月

主任研究者

産業医科大学 産業生態科学研究所

作業関連疾患予防学

大神 明

目 次

I. 総合研究報告

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	・ ・ ・ ・ 3
-----------------------------------	-----------

別添 本研究にて制作した啓発用リーフレット	・ ・ ・ ・ 15
-----------------------	------------

PAPR使用後 1 年間のマスクの漏れ率の測定結果と 使用によるアンケート調査 岸本 卓巳	・ ・ ・ ・ 25
---	------------

II. 研究成果の刊行に関する一覧表	・ ・ ・ ・ 41
--------------------	------------

I . 総合研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助金

平成 30(2018)～令和 2 年(2020)年度 総合研究報告書

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

研究代表者：大神 明 産業医科大学 産業生態科学研究所 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た。

研究初年度である 2018 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。

研究 2 年目である 2019 年度は、①冷風装置付き電動ファン付き呼吸用保護具による身体負荷軽減効果の検討、②電動ファン付き呼吸用保護具装着による呼吸器負担への影響の検討、③ウェアラブル粉じん計を用いた職場環境（屋外）の評価、④現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査、⑤電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の着用直後と 4 週間後の装着における相違の検討、を行った。

研究 3 年目の 2020 年度は、①職場における粉じん発生作業下の呼吸用保護具の防御性能の評価、②実現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査、③電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の着用直後と 4 週間後の装着における相違の検討、④ウェアラブル粉じん測定デバイスの開発改良、および⑤ウェアラブルパーティクルモニターの粉じん職場（屋内）における活用法の検討を行った。

本研究全体を通して以下の知見が得られた。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った。装着感に対する調査では PAPR 着用に対して良い感触が得られた。2）マスクの漏れ率については、従来のマスクは実験室内及び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。一方 PAPR 着用の場合、現場においても従来のマスクより漏れ率が低減され PAPR は高い防護性能を発揮し、粉じんによって引き起こされる健康障害を防止するために有効であると考えられた。3）PAPR 装着時に冷却した呼気を導入すると、装着者の直腸温を下げる効果が期待できること、PAPR 装着により従来のマスクに比較して装着者の代謝への影響が少なく、高齢者や呼吸器疾患を背景に持つ作業者に対してメリットとなり得ると思われた。4）ウェアラブル粉じんモニター装着により、屋外および屋内作業場においてもリアルタイムでの粉じん曝露濃度予測や、作業環境濃度推測に有用であることがわかった。作業環境をモニターすることにより適材適所での PAPR 使用の啓発に繋がることが示唆された。

研究班構成員等

分担研究者

岸本卓巳	独立行政法人労働者健康安全機構アスベスト疾患研究・研修センター	所長
盛武 敬	産業医科大学・産業生態科学研究所・放射線衛生管理学	准教授
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	名誉教授
保利 一	産業医科大学・産業保健学部・作業環境計測制御学	名誉教授
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	准教授
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

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	日本製鉄株式会社・技術開発本部
宮本俊明	日本製鉄株式会社・東日本製鉄所
永野千景	産業医科大学・産業生態科学研究所・産業保健管理学
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
世古口真吾	産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学
吉武英隆	産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学
馬場宏佳	産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学
長嶺紘子	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（PAPR）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

本研究で研究期間（3年間）に行ったことは以下の通りである

1. 人工気候室における調査

- 1) 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。
- 2) 冷風装置付き電動ファン付き呼吸用保護具による身体負荷軽減効果の検討。
- 3) 電動ファン付き呼吸用保護具装着による呼吸器負担への影響の検討

2. 現場における調査

- 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) 職場における粉じん発生作業下の呼吸用保護具の防御性能の評価。
- 3) 作業場における漏れ率測定調査：作業場において通常防じんマスクとPAPRとの漏れ率の相違を客観的に評価。
- 4) 現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査。
- 5) 電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の着用直後と4週間後の装着における相違の検討。

3. ウェアラブルデバイスの開発と実用

- 1) ウェアラブル粉じん測定デバイス（PM2.5センサー（WPM））の開発と改良。
- 2) WPMを用いた職場環境（屋外）の評価。
- 3) WPMの粉じん職場（屋内）における活用法の検討

4. 啓発用リーフレットの制作

C. 研究結果・成果

1 人工気候室における調査

1-1) . 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

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。

1-2) . 冷風装置付き電動ファン付き呼吸用保護具による身体負荷軽減効果の検討

10 名の被験者に対してクロスオーバー比較試験を実施した。PAPR として興研株式会社のサカキ式 BL-321S 型、通常の防じんマスクとして同社のサカキ式 1180 型を用いた。冷風装置は産業医科大学作業関連疾患予防学のスタッフが自作したものを使用した。同一の被験者に対し、冷風装置付き PAPR を装着した条件、通常の PAPR を装着した条件、通常の防じんマスクを装着した条件の計 3 条件で実験を行った。各条件での実験において、被験者は体重測定を行った。その後、気温 28℃、相対湿度 45% (WBGT23℃) に設定した前室にて、安静状態で 20 分間測定した。その後、気

温 36℃、相対湿度 45% (WBGT29℃) に設定した実験室にて、エルゴメーターで最大酸素摂取時の負荷の 30% の負荷で 30 分間測定した。運動終了後、前室にて安静状態で 20 分間測定した。その後、再度体重測定を行った。実験中 10 秒毎に直腸温、食道温、マスク内の温度（冷風装置を使用した際は装置内の呼吸用保護具側の温度）、心拍数を測定した。全被験者のマスク内温度の平均は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して、10℃ほど低く保たれた。全被験者の直腸温差分の平均は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して、運動開始以降は低く保たれた。全被験者の食道温差分の平均と心拍数の平均は、冷風 PAPR を使用した条件とそれ以外の条件とで、明らかな差はないように見受けられた。各測定条件における体重減少率は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して低かった。

1-3) . 電動ファン付き呼吸用保護具装着による呼吸器負担への影響の検討

身体負荷を総合的に評価するため呼気ガス分析を行い、PAPR と通常防じんマスクの消費エネルギーについて検討した。対象者は 10 名でクロスオーバー比較試験を実施した。通常の防じんマスク (DM) として株式会社重松製作所製 DR70SDC2、PAPR として同社製の Sy11 を用いた。呼気ガス分析には有限会社アルコシステム社製 ARCO-2000 を用いた。排気弁から排出される呼気のみを捕集するため専用のアタッチメントを作製した。人工気候室にて気温 20 度、相対湿度 50% の環境下において 10 分間安静ののち 20 分間エルゴメーターにて 70W の運動負荷を行った。呼気ガス分析計にて算出された消費エネルギー量を検討した。安静時 (0~9 分) の平均消費エネルギー量 (標準偏差) は DM92.0 (26.6) W、PAPR86.5 (29.4) W であった。運動時は運動開始直後のデータを除いた 12 分~30 分のデータにおいて、平均消費エネルギー (標準偏差) は DM441.5 (47.3) W、PAPR414.6 (50.4) W であった。PAPR は DM と比較して消費エネルギー量が少ない可能性が示唆された。

2. 現場における調査

2-1) . 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

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。

2-2) . 職場における粉じん発生作業下の呼吸用保護具の防御性能の評価

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た。実験は、被験者が所属する製造業事業場内で、2020 年 12 月に実施した。被験者の選定には、成人男性であり、基礎疾患を有さず、日々の業務で取替え式防じんマスク（RPR）を使用し、粉じん作業に従事している者という条件を設定した。事業場において被験者を募集し、参加同意を得られた 9 名を対象とした。平均年齢（標準偏差）は 44.8（14.2）歳であった。9 名の被験者に対してクロスオーバ

ー比較試験を実施した。PAPR は株式会社重松製作所の Sy11G2（フィルターは PL1）を使用した。RPR は、同社の DR77SR2（フィルターは RL2）を使用した。同一の被験者に対し、RPR を通常通り着用した条件（N-RPR）、RPR を推奨される方法で着用した条件（R-RPR）、PAPR を「RPR の通常通りの着用方法」に準じて着用した条件（PAPR）の計 3 条件で実験を行った。各条件での実験において、被験者には 15 分間連続で粉じん作業を行ってもらい、その間の呼吸用保護具外側・内側の粒子数を基に作業場防護係数を算出した。粒子数の測定には、柴田科学株式会社の労研式マスクフィッティングテスター MT-05U 型を使用した。

作業場防護係数の幾何平均（幾何標準偏差）は、N-RPR が 24.6（3.65）、R-RPR が 14.8（2.82）、PAPR が 110.6（4.77）であった。

PAPR は実際の職場環境下においても高い防護性能を発揮することが示唆された。PAPR は粉じんによって引き起こされる健康障害を防止するために有効であると考えられた。

2-3) . 作業場における漏れ率測定調査（分担研究者：岸本）

（2018 年度の調査結果）：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。

（2019 年度の調査結果）：通常防じんマスクと PAPR のマスクのもれ率について、常時粉じん作業を行っている黒鉛製造等作業 14 名と耐火物粉碎等作業 14 名の合計 28 名

を対象として測定した。対象者は27名が男性で年齢の中央値は45.5歳であった。1日の作業時間は平均7時間で、粉砕、粉詰出等の粉じん量の多い作業で、作業年数は15年であった。測定の結果、通常防じんマスクのもれ率は17.57%、PAPRは0.36%であった。耐火物粉砕等事業場では正しい装着方法の指導を受けていたこともあり、通常防じんマスクのもれ率が12.7%であった。しかし、通常防じんマスクのもれ率が19.32%ある場合、個人ばく露濃度測定結果を基に吸入粉じん量を換算すると0.25mg/m³となり、許容濃度を超えるが、PAPRでは0.00006mg/m³であった。

(2020年度の調査結果)：通常防じんマスクとPAPRのマスクの漏れ率について、常時粉じん作業を行っている溶接作業員11名と粉体製造・粉砕作業11名、築炉関連作業員19名の合計41名を対象として測定した。対象者は40名が男性で1名は女性であった。年齢の中央値は32.0歳であった。1日の作業時間は平均4.8時間で、溶接、粉体製造・粉砕、築炉と粉じん量の多い作業で、作業年数は7.3年であった。通常防じんマスクの漏れ率は13.4%、PAPRは0.7%であった。個人ばく露濃度を測定した11名については通常防じんマスクの漏れ率が19.2%であったが、個人ばく露濃度測定結果を基に吸入粉じん濃度を換算すると0.26mg/m³となり、粉じんの許容濃度を超えるが、PAPRでは0.007mg/m³であった。

2-4) 現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査

日本製鉄株式会社君津製鉄所構内にある粉じん発生職場がある2つの事業場から協力が得られ、対象者が日常的に作業を行っている粉じん発生作業場内において、2019年12月から2020年3月末まで行った。対象者は、この2カ所の事業場に所属する男性従業員の中から、常時フィルター取り替え式防じんマスクを使用している作業員で、本研究への参加同意が得られた者を対象者とした。結果的に41名が研究参加に応募した。

アンケート結果より、1) PAPRは、通常の取り換え式防じんマスクよりも、マスク内の暑さや蒸れの軽減されること。呼吸の負担感が軽減されること。2) PAPRは、通常の取り換え式防じんマスクよりも、保護具の重さを感じる。保護具から発生する音が

気になること。3) 年齢が高い労働者の方が、PAPRの呼吸の負担感および身体への軽減を感じやすいこと。4) 呼吸機能が強い方が、PAPRの呼吸の負担感の軽減を感じやすいこと。5) マスクの装着時間が短い方が、PAPRの呼吸の負担感の軽減を感じやすいこと、が明らかになった。

2-5) 電動ファン付き防じんマスク(PAPR)の着用直後と4週間後の装着における相違の検討。(分担研究者：岸本)

(2018年度の調査結果)：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員もいたが、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員は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。

(2019年度の調査結果)：PAPRを着用して開始後3時間と4週間の装着感についてアンケート調査したところ、大きさや重さなどのデメリットもあったが、呼吸が楽で粉じんを吸入しないなどのメリットにより80%を超える作業員が、着用直後のみならず4週間後であっても着用したいという回答であった。特に通常防じんマスクのもれ率が少なかった作業場でも大多数の作業員がPAPRを着用したいという回答であった。

(2020年度の調査結果)：36名についてPAPRを着用開始3時間後と4週間後の装着感についてアンケート調査したところ、大きさや重さなどのデメリットもあった、一方通常防じんマスクを適切に使用した際に感じる強い圧着、その結果生じる接着面のかゆみや痛みをPAPR着用でそれほど感じない、あるいは呼吸が楽で粉じんを吸入しないなどのメリットにより、86%を超える作業員が着用直後のみならず、4週間後であっても今後も着用したいという回答であった。

3. ウェアラブルデバイスの開発と実用

3-1) ウェアラブル粉じん測定デバイス(PM2.5センサー(WPM))の開発と改良(分担研究者：盛武)

2018年度はヤグチ電子工業(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じん測定デバイスに改良した。初年度の開発では、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。

2019 年度は、実験環境のニーズに合わせて、センサーの各種性能について改良を行い、ウェアラブル粉じん測定デバイス（ウェアラブルパーティクルモニター：WPM）へ機能を追加した。追加した機能は、センサーの大幅な小型化により、より大型のLiPOバッテリーを搭載することができた。これにより、連続使用時間の持続化を確保することができ、現場での有効性が向上した。

また、内蔵メモリーへの記録機能としてスマホと常時接続（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機能を実装した。これにより可搬性が大幅に向上し、現場でのユーザビリティが上がった。さらに現場から要望が高かったアラーム機能（音＋LED点滅）を実装した。

2020 年度は、前回試作機を用いて実施されたフィールドデータや、その使用感をフィードバックし、最終的にこれらを取り入れた新設計として親機＋子機により構成、LEDによるゴーグル上での警報機能、ペンダント・スマートウォッチ型バイブレーション警報機能を R2 年度改良型のコンセプトをまとめ、試作を行った。

3-2) . WPMを用いた職場環境（屋外）の評価

鉄鋼関連事業場内を自動車にて周回し、ウェアラブルパーティクルモニター（WPM）によって、屋外粉じん濃度を計測した。計測時間は、約 1 時間であった。尚、自動車の窓は全開にし、10km/h の低速で周回した。スマートフォンに搭載されている GPS で取得した参考移動経路と、WPM のデータによる粉じん測定値の推移を Microsoft excel を用いてヒートマップ化した。粉じん発生場所に応じて WPM の粉じん濃度がそれぞれ他の場所に比べて高い値を示した。

3-3) WPMの粉じん職場（屋内）における活用法の検討

職場測定（屋内）では、測定者が左右の上腕に装着した計 2 台の WPM を使用して、模擬工場内を周回し、動作中の粉じん濃度相対値を計測した。模擬工場内には、2 台の加湿器を設置し、食塩水を噴霧させ模擬粉じんとした。また、WPM による粉じん測定と並行して、Wi-Fi-RTT (Round Trip Time) を利用したスマートフォンの位置計測アプリケーションを使用して位置情報を測定した。アプリケーションは、MIT ライセンスにて公開されているプログラムに修正を加えたものを使用した。以上の方法により取得した 1 秒間の WPM 測定値と端末座標をもとに、粉じんレベルのヒートマップを作成した。その結果、屋内の測定においても、WPM を使用することで、実験中の模擬工場内の粉じん濃度相対値を測定することができた。また、Wi-Fi-RTT を利用することで、実験中の測定者の位置情報を取得することができた。さらに、粉じん濃度相対値と位置情報を組み合わせることで、粉じんレベルのヒートマップを作成することができた。

4. 啓発用リーフレットの制作

3 年間の研究期間で得られた知見を基にして、①皮膚が弱い作業用、②作業負荷の高い作業用、③高齢作業用、④作業環境測定結果が悪い職場で働いている作業用、⑤屋外作業にて直接粉じんばく露がある作業用、以上の種類の PAPR の着用促進に関する啓発用リーフレットを作成した。

D. 考察

2018 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ては、入り込むものと回答したものは、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、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 ($0.19 \sim 3.59$) %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、防護性を保っ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。

電動ファン付き保護具 (PAPR) は、2018 年度の調査結果より、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ているが、PAPR は楽に外気を取り込めることから、この外気をあらかじめ冷却することができれば身体負荷軽減につながり、熱中症の予防効果にもなり得るのではないかと考えた。本研究費で独自に呼気冷却装置を開発し、実験室内でその効果を調査したところ、冷風 PAPR を使用した条件では、通常 PAPR あるいは防じんマスクを使用した条件と比較して、被験者は 10℃ほど低い空気を吸入していたと考えられ、効果的な冷却装置付き PAPR を用いて作業負荷試験を実施することができた。その結果、全被験者の直腸温差分の平均は、冷

風 PAPR を使用した条件では、通常 PAPR あるいは防じんマスクを使用した条件と比較して、運動開始以降は低く保たれ、冷風 PAPR による冷気吸入が直腸温上昇を抑制したと考えられる。

全被験者の食道温差分の平均と心拍数の平均は、冷風 PAPR を使用した条件と通常 PAPR あるいは防じんマスクを使用した条件とで、明らかな差はないように見受けられた。本実験における測定条件では、食道温上昇や心拍数上昇に明らかな影響を与えずに直腸温のみに影響を与えることが示されたことは、冷風装置付き PAPR は通常の PAPR や通常の防じんマスクと比較し、暑熱環境下における身体負荷を軽減させる可能性が示唆された。

また、PAPR 装着が呼吸機能へどのように負担を軽減するかについて、安静時の消費エネルギーについては一般的な防じんマスク（以下、DM）、PAPR とともに概ね同等の水準で推移しており、正常な測定が実施できたものと推察された。運動時については PAPR が継続的に DM の消費エネルギーを下回り、消費エネルギー上はなお、PAPR の方が代謝への影響が少ないという結果を得た。このことは、高齢者や呼吸器疾患を背景に持つ作業者に PAPR を装着させた場合のメリットとなり得ると思われる。

労働安全衛生法では、事業者に対し、有害な業務を行う作業場で作業環境測定の実施を義務付けているが、厚生労働省は 2020 年 2 月に、作業環境測定を行う際のデザインとサンプリングとして、個人サンプリング法を選択的に導入することを可能とし、個人サンプリング法による作業環境測定の適切な実施を図るため、法令で定める事項のほか、事業者が実施すべき事項を一体的に示すものとして、「個人サンプリング法による作業環境測定及びその結果の評価に関するガイドライン」を策定した。

このような流れの中で、個人の粉じん曝露濃度を簡便的にモニタリングするウェアラブルパーティクルモニターの信頼性・妥当性検証を行い、その有用性を検討すること、ウェアラブルパーティクルモニターを、実際の粉じん発生職場環境で用い、取得したデータから職場の粉じん濃度が高い場所の特定が可能かを調査検討した。前者は、実験

室の粉じんばく露チャンバーを用いて実施し、後者は、屋外粉じん発生事業場で実施された。いくつか今後改良すべき点が明らかになったが、ウェアラブルパーティクルモニターは、センサーごとの差異はあるが環境中の粉じん濃度の挙動は、リアルタイムで粉じん濃度の変化計測することができ、粉じん濃度が高い場所の測定や粉じんが発生しやすい時間帯などの特定が可能である。また、濃度分布をヒートマップとして視覚的に提示できることから、職場内で環境の粉じん濃度が高低の評価が十分可能であると思われた。今回の調査は屋外環境のみであったが、作業者のいる屋内環境中においても、場所の同定について工夫できれば、単位作業場所内での粉じん濃度の推定が可能となり、粉じんばく露状況の把握に有用であると考えられた。

現地調査では、分担研究者の岸本らは研究期間の 3 年間を通じて、通常防じんマスクと PAPR のマスクのもれ率について調査を行った。2019 年度は、常時粉じん作業を行なう黒鉛製造等作業 14 名と耐火物粉碎等作業 14 名の計 28 名を対象とした。

28 名すべての通常防じんマスクのもれ率は、中央値 17.57% で、PAPR は 0.36% であった。一方、黒鉛製造等作業の通常防じんマスクのもれ率が 22.66% であったのに対して耐火物粉碎等作業では 12.70% と過去に通常防じんマスクのもれ率を測定した企業の中ではもれ率が最も低かった。

作業者の吸入粉じん量を個人ばく露濃度にマスクのもれ率と呼吸量を考慮して計算したところ、耐火物等粉碎等作業の D では、通常防じんマスクのもれ率が 19.32% あると吸入粉じん量が 0.25mg/m³ となり、許容濃度の 0.15mg/m³ を超えることになるが、PAPR では 0.00006mg/m³ で新たなじん肺発生の危険性が大きく低下することになると思われた。

2020 年度は短時間 PAPR を着用するのみならず、4 週間毎日 PAPR を着用した後の感想についても調査した。マスクの装着感等大きさは 60% 程度、重さは 100% が着用開始直後は感じてはいたが、長期間着用することで約 15% の作業者がその重さを感じなくなっていた。一方視野への影響や動きにくさを感じる作業者は 4 週間後の結果もほぼ同様であった。

また、マスク内への粉じんのもれを感じるあるいは粉じん吸入を感じる作業者は、着用当初においても4週間後でもほとんどなかった。

作業効率の低下については、当初は3.6%、4週間後では14.3%が低下したと述べていたが、作業後の疲労感が減少した作業者ははじめが32.1%であったが4週間後には35.7%とほぼ同様であった。さらに呼吸が楽になったと答えた作業者は当初から4週間後まで100%であり、今後PAPRを着用したいと答えた作業者は当初は92.6%、4週間後は82.1%と大半であった。特に通常防じんマスクが比較的適正に着用されている作業者においてもPAPRを着用したいと回答したが、ほぼ全例であったことは、PAPRの大きな評価につながると思われる。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であろうと思われる。

作業場防護係数は、「PAPR」が最も高かった。前述の通り、従前の実験室における実験においてPAPRの防護性能の高さは示されていたが、今回の結果により、実際の職場環境下においてもPAPRの防護性能が高いことが示唆された。

呼吸用保護具の指定防護係数は、「金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場に係る溶接ヒュームの濃度の測定の方法等」（令和2年厚生労働省告示第286号）において定められおり、本研究で使用したPAPR（半面計面体、B級、PL1）の指定防護係数は14である。指定防護係数は「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」と定義されている。本実験の各被験者の作業場防護係数は全てこの値を上回っており、PAPRは訓練の有無や着用方法の差異に関わらず高い防護性能を発揮することが示唆された。

労働安全衛生法では、事業者に対し、有害な業務を行う作業場で作業環境測定の実施を義務付けているが、厚生労働省は2020年2月に、作業環境測定を行う際のデザインとサンプリングとして、個人サンプリング法を選択的に導入することを可能とし、個人サンプリング法による作業環境測定の適切な実施を図るため、法令で定める事項のほか、事業

者が実施すべき事項を一体的に示すものとして、「個人サンプリング法による作業環境測定及びその結果の評価に関するガイドライン」を策定した。

このような流れの中で、2019年度の本研究で、個人の粉じん曝露濃度を簡便的にモニタリングするウェアラブルパーティクルモニターの信頼性・妥当性検証を行い、その有用性を検討し、屋外粉じん発生事業場で実施されたウェアラブルパーティクルモニターを用い、取得したデータから職場の粉じん濃度が高い場所の特定が可能かを調査検討した。2020年度はさらに改良型のウェアラブルパーティクルモニターを用い、信頼性・妥当性再検証を行い、作業者のいる屋内環境中においても、場所の同定について検討した。その結果ヒートマップを作成した粉じん濃度の推定が可能となり、屋内においても粉じんばく露状況の把握に有用であると考えられた。

現地調査では、分担研究者の岸本らは2019年度に続いて今年度も、通常防じんマスクとPAPRのマスクのもれ率について調査を行った。今年度の岡山産業保健総合支援センターの調査研究において、通常防じんマスクとPAPRのマスクの漏れ率について、耐火レンガ製造作業員72名、自動車部品製造における溶接作業員28名及び磁性粉製造作業員4名の常時行っている作業員104名を対象としてマスクの漏れ率を測定し、通常防じんマスクの漏れ率は24.8%、PAPRでは0.45%であり、PAPRの防じん作用は明らかによく、粉じん吸入量が有意（ $p<0.0001$ ）に軽減していることを実証した。

また、黒鉛製造等作業員14名と耐火物粉砕等作業員14名でいずれも常時粉じん作業員を対象として同様の調査を行ない、通常防じんマスクを装着している作業員28名を対象とした漏れ率は17.8%で、PAPRは0.36%であることを報告した。

2020年度の調査では、41名を対象とした通常防じんマスクの漏れ率は13.4%でPAPRでは0.7%であった。また、溶接・粉体製造・粉砕作業ではPAPRの着用に対して好感を持っていたが、築炉作業員では19名中8名がわずか1日～4週間で拒否して元の通常防じんマスクに変更した。作業内容によりPAPRの着用に対する意向が異なることが

明らかとなった。PAPR を使用したくないと中止した作業者では通常防じんマスクが比較的適正に着用されていたことがその理由としてあげられると思われた。

これ以外の作業者、特に溶接、粉体製造・粉砕作業者では80%以上がPAPRを使用したいと評価していた点はPAPRの大きな評価につながるものと考えられた。特に溶接ヒュームが2021年4月から特定化学物質として扱われるため、早期のPAPRの導入が求められる。

E. 結論

本研究全体を通して以下の知見が得られた。

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った。装着感に対する調査ではPAPR着用に対して良い感触が得られた。

2) マスクの漏れ率については、従来のマスクは実験室内及び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。一方PAPR着用の場合、現場においても従来のマスクより漏れ率が低減されPAPRは高い防護性能を発揮し、粉じんによって引き起こされる健康障害を防止するために有効であると考えられた。

3) PAPR装着時に冷却した呼気を導入すると、装着者の直腸温を下げる効果が期待できること、PAPR装着により従来のマスクに比較して装着者の代謝への影響が少なく、高齢者や呼吸器疾患を背景に持つ作業者に対してメリットとなり得ると思われた。

4) ウェアラブル粉じんモニター装着により、屋外および屋内作業場においてもリアルタイムでの粉じん曝露濃度予測や、作業環境濃度推測に有用であることがわかった。作業環境をモニターすることにより適材適所でのPAPR使用の啓発に繋がることが示唆された。

今後、現場におけるPAPRの適正使用の啓発を行い、さらに健康障害のリスクが高い物質を取り扱う作業者へのPAPR使用の推進を図るべきと思われる。PAPR装着に伴う負担

軽減をどう改善させるかについては、特に頭頸部への負担が主要となると思われるため、PAPR本体の軽量化を図るとともに、作業内容によるPAPRのモデルの適正な選択も必要と思われる。

F. 研究発表

1. 論文発表

A survey on methods of wearing respiratory protective equipment and awareness of respiratory protection among workers engaged in dust-generating work.

Shirasaka T, Ando H, Ikegami K, and Ogami A.

Environ Occup Health Practice doi:10.1539/eohp. 2019-0005-FS

現場で認める装着方法の漏れ率の検討 世古口真吾, 吉武英隆, 白坂泰樹, 安藤肇, 池上和範, 大神 明

Clean Health Safety NEWS 11月号 p8-11, 2019

Evaluation of the performance of replaceable particulate and powered air-purifying respirators considering non-recommended wearing methods.

Shingo SEKOGUCHI, Taiki SHIRASAKA, Hajime ANDO, Kazunori IKEGAMI and Akira OGAMI Industrial Health 2020, 58,

2. 学会発表

現場で認める非推奨な装着法で呼吸用保護具を装着した際の漏れ率 白坂泰樹, 安藤肇, 池上和範, 大神明 第92回 日本産業衛生学会 名古屋 2019.5

ウェアラブル粉じん計試作機の性能評価 世古口真吾, 盛武敬, 吉武英隆, 安藤肇, 池上和範, 石垣陽, 明星敏彦, 大神明, 第29回 日本産業衛生学会全国協議会 仙台 2019.9

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む.)

1. 特許取得 特願 2020-2928

2. 実用新案登録 該当なし
3. その他 該当なし

粉じん作業を 屋外で行う労働者の皆様へ

PAPRは、フィルター取り換え式防じんマスクの約10倍**防護性能が高い**ことが分かっています。実験室内の調査において30分の**軽い運動下でもPAPRは高い防護性を維持**していました。粉じん発生職場でハードは作業をされている方の呼吸器を十分に保護してくれると考えられます。

注) **PAPR**は、非常に優れた呼吸用保護具ですが、基本的な考え方として、保護具による有害物防護よりも、作業環境の改善が優先されます。

屋外での粉じん作業

屋外作業場は、風や気温といった自然環境の影響を受けやすいため、風で粉じんが舞い上がったり、夏は直射日光が当たって熱い等、日々変化するものです。

PAPRは通常防じんマスクと比べて作業時の負荷が少なく、また防護性能は安定しています。調査で軽い運動下で、PAPRでは高い防護性が維持されていました。

POINT! ➡ 屋外での粉じん作業では
PAPRの装着が非常に効果的です。



PAPRはメリットが多い！ぜひ活用しましょう！！

- ① 電動ファンにより、マスク内部に防じんフィルターを通過した綺麗な空気が効率的に供給される。
- ② マスク内部の陽圧が維持される構造でありマスクの隙間からマスク内部へ有害物が侵入することを大幅に防ぐことができる。
- ③ 呼吸サポートによって装着時快適性が得られる。

PAPRは上記のようなメリットが多く、身体活動量の高く長時間の粉じん作業を行う方以外もぜひ活用しましょう。

- ◆ 通常の呼吸用保護具の装着に不慣れな方
- ◆ 有害性の高い粉じんを取り扱う作業に従事している方
- ◆ 屋外の粉じん発生作業に従事しどの程度の粉じんにはく露しているか不明な方



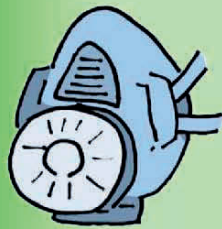
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学
執筆担当：馬場 宏佳



PAPRって何？

— 電動ファン付き呼吸用保護具を活用しよう —

PAPRは、電動ファン付き呼吸用保護具のことです。職場の空気中に浮遊する有害なほこりを保護するためのマスクの一種で、防護性能の高さと呼吸のしやすさが特徴です。「半面型」「全面型」「ルーズフィット型（フード、フェイスシールド）」など数種類があり、作業内容に応じて選択できます。



標準半面型



標準半面型（溶接用）



フェイスシールド型

PRPRの基本構造

- 電動ファンが防じんフィルターを通過した空気をマスク内に送るため、**呼吸が楽にできます**。
- 吸うときも吐くときも、**マスク内が陽圧**になります。マスクと顔面に隙間ができて、その隙間から**有害物がマスク内に侵入することはありません**。
- 電動ファンとバッテリーが取り付けられているため重いですが、マスク・フェイスシールド一体型や小型があります。作業性を損なわないように**業務内容に応じてマスクを選択することができます**。



PRPRを装着すべき業務

- ◆ 石綿除去作業
- ◆ トンネル建設工事作業
- ◆ リフラグトリーセラミックファイバー（RCF）取扱い作業
- ◆ ナノマテリアル取扱い作業
- ◆ インジウム取扱い作業
- ◆ ダイオキシン類取扱い作業

防護性能が非常に高いため、PAPRの着用が法令で義務付けられている又は推奨されている作業があります。その他の作業においても、労働者の健康障害防止の観点でPAPRを着用することが望まれます。

粉じん職場で 作業を行う高齢者の皆様へ

PAPRは、フィルター取り換え式防じんマスクより呼吸が楽と感じる方が多く、疲労感も少ないとの効果が認められています。体力に不安のある高齢の方には負担の少ないPAPRの装着が勧められます。

注) **PAPR**は、非常に優れた呼吸用保護具ですが、基本的な考え方として、保護具による有害物防護よりも、作業環境の改善が優先されます。

PAPRは作業中でも呼吸しやすい！

- PAPRと通常防じんマスクで装着時の呼吸息苦しさや疲労感を5段階評価で比較したところ、PAPRの方が呼吸が楽で疲れにくいとの結果でした。
- PAPRは通常防じんマスクと比べて、運動中の消費エネルギー量が少ないという研究データもあります。

POINT! ☞ **体力に不安のある高齢の方の粉じん作業**
ではPAPRの装着が非常に効果的です。



PAPRはメリットが多い！ぜひ活用しましょう！！

- ① 電動ファンにより、マスク内部に防じんフィルターを通過した綺麗な空気が効率的に供給される。
- ② マスク内部の陽圧が維持される構造でありマスクの隙間からマスク内部へ有害物が侵入することを大幅に防ぐことができる。
- ③ 呼吸サポートによって装着時快適性が得られる。

PAPRは上記のようなメリットが多く、身体活動量の高く長時間の粉じん作業を行う方以外もぜひ活用しましょう。

- ◆ 通常の呼吸用保護具の装着に不慣れな方
- ◆ 有害性の高い粉じんを取り扱う作業に従事している方
- ◆ 屋外の粉じん発生作業に従事しどの程度の粉じんにはばく露しているか不明な方



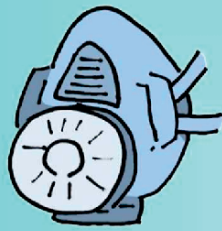
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学
執筆担当：安藤 肇



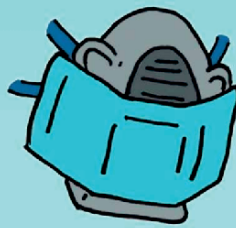
PAPRって何？

— 電動ファン付き呼吸用保護具を活用しましょう —

PAPRは、電動ファン付き呼吸用保護具のことです。職場の空気中に浮遊する有害なほこりを保護するためのマスクの一種で、防護性能の高さと呼吸のしやすさが特徴です。「半面型」「全面型」「ルーズフィット型（フード、フェイスシールド）」など数種類があり、作業内容に応じて選択できます。



標準半面型



標準半面型（溶接用）



フェイスシールド型

PRPRの基本構造

- 電動ファンが防じんフィルターを通過した空気をマスク内に送るため、**呼吸が楽にできます。**
- 吸うときも吐くときも、**マスク内が陽圧**になります。マスクと顔面に隙間ができて、その隙間から**有害物がマスク内に侵入することはありません。**
- 電動ファンとバッテリーが取り付けられているため重いですが、マスク・フェイスシールド一体型や小型があります。作業性を損なわないように**業務内容に応じてマスクを選択することができます。**



PRPRを装着すべき業務

- ◆ 石綿除去作業
- ◆ トンネル建設工事作業
- ◆ リフラクトリーセラミックファイバー（RCF）取扱い作業
- ◆ ナノマテリアル取扱い作業
- ◆ インジウム取扱い作業
- ◆ ダイオキシン類取扱い作業

防護性能が非常に高いため、PAPRの着用が法令で義務付けられている又は推奨されている作業があります。その他の作業においても、労働者の健康障害防止の観点でPAPRを着用することが望まれます。

粉じん職場で

ハードな作業を行う労働者の皆様へ

PAPRは、フィルター取り換え式防じんマスクの約10倍**防護性能が高い**ことが分かっています。実験室内の調査において30分の**軽い運動下でもPAPRは高い防護性を維持**していました。粉じん発生職場でハードな作業をされている方の呼吸器を十分に保護してくれると考えられます。

注) **PAPR**は、非常に優れた呼吸用保護具ですが、基本的な考え方として、保護具による有害物防護よりも、作業環境の改善が優先されます。

PAPRは作業中でも呼吸しやすい！

- **PAPRと通常防じんマスクで装着時の呼吸による消費エネルギーを比較したところ、安静時は、ほとんど相違ありませんでした。一方、運動時のPAPRの消費エネルギーは防じんマスクの90-93%程度を維持**していました。
- **PAPRは通常防じんマスクと比べて、消費エネルギー量が少ない効果はPAPRを装着している間持続すると考えられます。**

POINT! ☞ 身体的にハードな長時間の粉じん作業ではPAPRの装着が非常に効果的です。



PAPRはメリットが多い！ぜひ活用しましょう！！

- ① 電動ファンにより、マスク内部に防じんフィルターを通過した綺麗な空気が効率的に供給される。
- ② マスク内部の陽圧が維持される構造でありマスクの隙間からマスク内部へ有害物が侵入することを大幅に防ぐことができる。
- ③ 呼吸サポートによって装着時快適性が得られる。

PAPRは上記のようなメリットが多く、身体活動量の高く長時間の粉じん作業を行う方以外もぜひ活用しましょう。

- ◆ 通常の呼吸用保護具の装着に不慣れな方
- ◆ 有害性の高い粉じんを取り扱う作業に従事している方
- ◆ 屋外の粉じん発生作業に従事しどの程度の粉じんにはばく露しているか不明な方



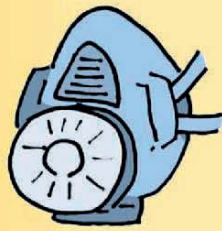
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学
執筆担当：池上 和範



PAPRって何？

— 電動ファン付き呼吸用保護具を活用しましょう —

PAPRは、電動ファン付き呼吸用保護具のことです。職場の空気中に浮遊する有害なほこりを保護するためのマスクの一種で、防護性能の高さと呼吸のしやすさが特徴です。「半面型」「全面型」「ルーズフィット型（フード、フェイスシールド）」など数種類があり、作業内容に応じて選択できます。



標準半面型



標準半面型（溶接用）



フェイスシールド型

PRPRの基本構造

- 電動ファンが防じんフィルターを通過した空気をマスク内に送るため、**呼吸が楽にできます**。
- 吸うときも吐くときも、**マスク内が陽圧**になります。マスクと顔面に隙間ができて、その隙間から**有害物がマスク内に侵入することはありません**。
- 電動ファンとバッテリーが取り付けられているため重いですが、マスク・フェイスシールド一体型や小型があります。作業性を損なわないように**業務内容に応じてマスクを選択することができます**。



PRPRを装着すべき業務

- ◆ 石綿除去作業
- ◆ トンネル建設工事作業
- ◆ リフラクトリーセラミックファイバー（RCF）取扱い作業
- ◆ ナノマテリアル取扱い作業
- ◆ インジウム取扱い作業
- ◆ ダイオキシン類取扱い作業

防護性能が非常に高いため、PAPRの着用が法令で義務付けられている又は推奨されている作業があります。その他の作業においても、労働者の健康障害防止の観点でPAPRを着用することが望まれます。

作業環境測定結果の良くない 現場で働く労働者の皆様へ

PAPRは、フィルター取り換え式防じんマスクの約10倍防護性能が高いことが分かっています。実験室内の調査において30分の軽い運動下でもPAPRは高い防護性を維持していました。作業環境測定の結果が良くない職場環境で働く方の健康を十分に保護してくれると考えられます。

注)PAPRは、非常に優れた呼吸用保護具ですが、基本的な考え方として、保護具による有害物防護よりも、作業環境の改善が優先されます。

PAPRは応急処置としても利用できる！

- あなたの働く環境が第3管理区分であれば、設備の見直しなどが必要です。

しかし、その対応には時間がかかるため応急処置として有効な呼吸用保護具の使用が義務づけられています。その際は**高い防護性能を持つ呼吸用保護具であるPAPRを使用しましょう。**

- 隙間のある“有効ではない呼吸用保護具”を着用して作業を続けた場合、様々な健康障害が発生する恐れがあります。



POINT！ 応急処置のみならず、普段の業務でも

PAPRの装着がより安全が高まります。

1. 電動ファンにより、マスク内部に防じんフィルターを通過した綺麗な空気が効率的に供給される。
2. マスク内部の陽圧が維持される構造でありマスクの隙間からマスク内部へ有害物が侵入することを大幅に防ぐことができる。
3. 呼吸サポートによって装着時快適性が得られる。

PAPRは上記のようなメリットが多く、作業環境測定の結果が良くない場所で働く方以外もぜひ活用しましょう。

- ◆ 通常の呼吸用保護具の装着に不慣れな方
- ◆ 有害性の高い粉じんを取り扱う作業に従事している方
- ◆ 屋外の粉じん発生作業に従事しどの程度の粉じんにもばく露しているか不明な方

PAPRはメリットが多い！ぜひ活用しましょう！！



産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学
執筆担当：吉武 英隆

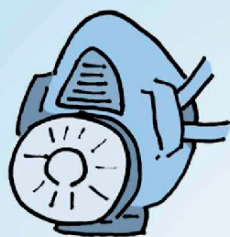


PAPRって何？

— 電動ファン付き呼吸用保護具を活用しましょう —

PAPRは、電動ファン付き呼吸用保護具のことです。職場の空気中に浮遊する有害なほこりを保護するためのマスクの一種で、防護性能の高さと呼吸のしやすさが特徴です。

「半面型」「全面型」「ルーズフィット型（フード、フェイスシールド）」など数種類があり、作業内容に応じて選択できます。



標準半面型



標準半面型（溶接用）



フェイスシールド型

PRPRの基本構造

- 電動ファンが防じんフィルターを通過した空気をマスク内に送るため、**呼吸が楽にできます**。
- 吸うときも吐くときも、**マスク内が陽圧**になります。マスクと顔面に隙間ができて、その隙間から**有害物がマスク内に侵入することはありません**。
- 電動ファンとバッテリーが取り付けられているため、重いですが、マスク・フェイスシールド一体型や小型があります。作業性を損なわないように**業務内容に応じてマスクを選択することができます**。



PRPRを装着すべき業務

- ◆ 石綿除去作業
- ◆ トンネル建設工事作業
- ◆ リフラクトリセラミックファイバー（RCF）取扱い作業
- ◆ ナノマテリアル取扱い作業
- ◆ インジウム取扱い作業
- ◆ ダイオキシン類取扱い作業

防護性能が非常に高いため、PAPRの着用が法令で義務付けられている又は推奨されている作業があります。

その他の作業においても、労働者の健康障害防止の観点でPAPRを着用することが望まれます。

防じんマスクの着用により

皮膚が荒れる労働者の皆様へ

PAPRは、フィルター取り換え式防じんマスクの約10倍**防護性能が高い**ことが分かっています。さらに、防護性能が非常に安定しており**PAPRにメリヤス（ニットカバー）を装着しても防護性能がほとんど損なわれない**ことが明らかになりました。

注）**PAPR**は、非常に優れた呼吸用保護具ですが、基本的な考え方として、保護具による有害物防護よりも、作業環境の改善が優先されます。

PAPRはメリヤスを装着しても性能が低下しない！

- 肌が弱い**ため防じんマスクを着用すると皮膚が荒れてしまう**方は、通常の防じんマスクにメリヤスを装着すると防護性能は低下してしまいます。しかし、**PAPRはメリヤスを装着してもその性能は低下せず安全性が確保されます。**
- **PAPRは肌が弱く、防じんマスクにメリヤスを装着せざるを得ない方の健康を十分に保護してくれる**と考えられます。

POINT！ ☞メリヤスを装着しても防護性能が低下しない
PAPRの装着が非常に効果的です。



PAPRはメリットが多い！ぜひ活用しましょう！！

- ① 電動ファンにより、マスク内部に防じんフィルターを通過した綺麗な空気が効率的に供給される。
- ② マスク内部の陽圧が維持される構造でありマスクの隙間からマスク内部へ有害物が侵入することを大幅に防ぐことができる。
- ③ 呼吸サポートによって装着時快適性が得られる。

PAPRは上記のようなメリットが多く、防じんマスクの着用により皮膚が荒れる方以外もぜひ活用しましょう。

- ◆ 通常の呼吸用保護具の装着に不慣れな方
- ◆ 有害性の高い粉じんを取り扱う作業に従事している方
- ◆ 屋外の粉じん発生作業に従事しどの程度の粉じんにはく露しているか不明な方



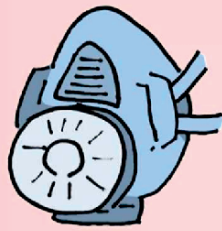
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学
執筆担当：世古口 真吾



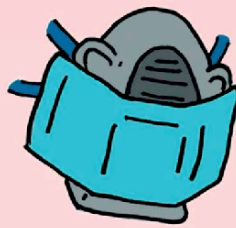
PAPRって何？

— 電動ファン付き呼吸用保護具を活用しましょう —

PAPRは、電動ファン付き呼吸用保護具のことです。職場の空気中に浮遊する有害なほこりを保護するためのマスクの一種で、防護性能の高さと呼吸のしやすさが特徴です。「半面型」「全面型」「ルーズフィット型（フード、フェイスシールド）」など数種類があり、作業内容に応じて選択できます。



標準半面型



標準半面型（溶接用）



フェイスシールド型

PRPRの基本構造

- 電動ファンが防じんフィルターを通過した空気をマスク内に送るため、**呼吸が楽にできます**。
- 吸うときも吐くときも、**マスク内が陽圧**になります。マスクと顔面に隙間ができて、その隙間から**有害物がマスク内に侵入することはありません**。
- 電動ファンとバッテリーが取り付けられているため重いですが、マスク・フェイスシールド一体型や小型があります。作業性を損なわないように**業務内容に応じてマスクを選択することができます**。



PRPRを装着すべき業務

- ◆ 石綿除去作業
- ◆ トンネル建設工事作業
- ◆ リフラクトリーセラミックファイバー（RCF）取扱い作業
- ◆ ナノマテリアル取扱い作業
- ◆ インジウム取扱い作業
- ◆ ダイオキシン類取扱い作業

防護性能が非常に高いため、PAPRの着用が法令で義務付けられている又は推奨されている作業があります。その他の作業においても、労働者の健康障害防止の観点でPAPRを着用することが望まれます。

PAPR 使用後 1 年間のマスクの漏れ率の測定結果と使用によるアンケート調査

研究分担者 岸本 卓巳

(独) 労働者健康安全機構アスベスト疾患研究・研修センター 所長

研究要旨

常時粉じん作業を行っている作業員 28 名に対して PAPR を貸与して、使用開始 3 時間、4 週間、1 年後の装着感およびフィルター交換の時期についてアンケート調査するとともに、3 時間後と 1 年後の PAPR の漏れ率を測定した。その結果、7 名はファンや充電障害あるいはマスクの重さのため継続使用が難しかった。1 年間継続使用した 21 名においては、マスクの大きさや重さ、汚れに対して洗濯ができないなどのデメリットがあったが、70%以上が呼吸のしやすさや粉じん吸入がないなどのメリットにより継続して使用したいと回答した。また、マスクの漏れ率は使用開始 3 時間後には 0.36%、1 年後は 3.10%であり、若干漏れ率が増加したが、じん肺発生が問題になるような程度ではなかった。PAPR は粉じん量の多い職場ではメンテナンス等に配慮すれば十分効果があり、使用継続可能であると思われた。また、現在の PAPR のデメリットもある程度明らかになったので、その点をうまく改善すればさらに多くの粉じん作業員に対して有効な粉じん対策になると思われた。

A. 研究目的

昨年度、常時粉じん作業員 28 名に PAPR を貸与して、そのマスクの漏れ率と使用に関するアンケート調査を行ったが、貸与後 1 年が経過したため、マスクの漏れ率とともに 1 年後の使用状況についてアンケート調査を行ったので報告する。アンケート内容では PAPR を使用する際のマスクのフィルターの交換時期と頻度についても調査した。

B. 対象と方法

対象は黒鉛等を製造している作業員 14 名と耐火物粉砕作業を行っている 14 名でいずれも常時粉じん作業を行っており、1 年前に PAPR を貸与した作業員である。すなわち、興研社製 BL-1500 型 PAPR と重松製作所製 Sy-11 型 PAPR を各 14 名の粉じん作業員に貸与して、装着 3 時間後のマスクの漏れ率を測定するとともに、4 週間使用した後の PAPR の装着感を調査した同じ作業員の 1 年後のアンケート調査とマスクの漏れ率を測定した。マスクの漏れ率の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。(倫理面への配慮)

事前に今回の研究目的を説明し、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

昨年 28 名に PAPR を貸与したが、1 年後に使用していなかった作業員が 7 名あった。その理由はセンサーが粉じん混入のため故障し、ファンが回らなくなかったが 4 名、粉じんにより排気弁が故障しファンの音が大きくなったが 1 名、重さで首が痛くなったが 1 名、電池の充電ができなくなったが 1 名であった。そのため、PAPR から元の通常防じんマスクに変更していた。その他の作業員にも何らかのトラブルはあったが、1 年後にも使用継続していた。使用中の問題点は表 1 に示す。

PAPR の漏れ率測定結果は図 1 に示すように使用当初の 0.39 ± 0.27 ($0.08 \sim 1.07$) % 中央値 0.36 % から 2.81 ± 2.28 ($0.22 \sim 7.00$) % 中央値 3.10%へと増加していた。

PAPR のフィルター交換については図 2 に示すように、1 週間に 1 回が 52.3%、1 か月に 1 回が 38.1%、1 日毎と 1 年に 1 回がともに 4.8%であった。フィルター交換の動機は作業のタイミングが 42.9%、息苦しくなってからが 33.3%、PAPR のフィルターサインが出たらが 14.3%で、その他が 9.5%であった。

フィルターが汚れた際の処置は軽く拭く程度が 90.5%で、丁寧に手入れをするはずが 9.5%であった（図 3）。

PAPR の装着感に関するアンケート結果は図 4～15 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重い、大きさ、重さを少し以上感じる作業者が着用開始 3 時間後では 57.2%、4 週間後には 66.7%、さらに 1 年後には 76.2%と増加した（図 4）。

一方、重さについては 3 時間後が 100%、4 週間後が 90.4%であったが、1 年後には 95.2%が少し以上感じると回答した（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に多少影響があるが 3 時間後には 38.1%、動きにくさが少し以上あるが 47.6%あった。一方、4 週間後には各 38.1%、62.0%、1 年後には各々 47.6%、62.0%とほぼ同様であった（図 6、7）。

ファンの音に対しては 3 時間後には少し気になる以上が 28.6%、メガネの曇りに関しては 100%が曇りを感じていなかった。しかし、4 週間後にはファンの音については

変化なかったが、1 年後には 36.9%に増加した。メガネの曇りは 4 週間後に 38.5%になったが、1 年後は 23.1%と減少した（図 8、9）。

マスク内への粉じんの漏れを感じると答えた作業者は 3 時間後にはいなかったが、4 週間後及び 1 年後には 4.8%が感じるようになっていた。粉じん吸入についても 3 時間後及び 4 週間後には吸入を感じなかったが、1 年後にも 85.7%が粉じん吸入を感じていないと回答した（図 10、11）。

作業効率については PAPR に変更して効率が悪化したと答えた作業者が 3 時間後にはいなかったが、4 週間後及び 1 年後には 14.3%が低下すると回答していた（図 12）。作業後に疲労感が楽であった作業者が 3 時間後には 19.0%であったが、4 週間後には 28.6%、1 年後には 19.0%とすべての時期でほぼ同様であった（図 13）。また、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は 3 時間後と 4 週間後には 100%が楽になったが、1 年後には 4.8%はそうでもなかったと回答していた（図 14）。

以上の感想をまとめて、今後 PAPR を着用したいと希望した作業者は 3 時間後が 95.2%と大半であったが 4 週間後には 81.0%、1 年後には 71.4%へと減少した（図 15）。

様々なトラブルもあったが、70%以上の粉じん作業者が今後も使用したいと希望していることは作業者が PAPR の機能と使用しやすさを評価した結果であると思われる。

表 1. 1 年間 PAPR を使用した際の問題点

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1 粉じんがセンサーや弁に詰まって、ファンが回らなくなった。（マスクのセンサー及び排気弁の故障）2 PAPR を落としたため電池ホルダーが壊れて、使用中電池が落ちることがある3 充電器がスムーズに作動しない4 使用開始 2～3 か月後から十分充電できないため、1 日の作業時間内に電池切れが生じる5 汚れが目立つが、洗濯できない6 使用して次第に重さを感じるために首筋が凝る |
|--|

- 7 フィルターが目詰まりしやすい
- 8 留めひものプラスチックが壊れるあるいは緩む

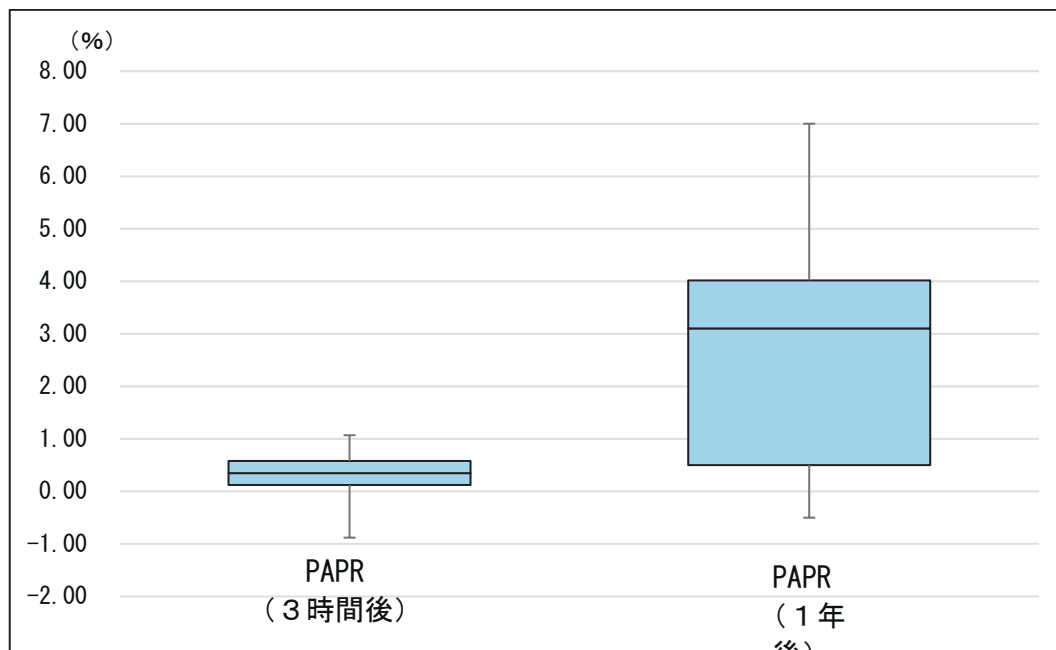


図 1. PAPR の漏れ率の比較

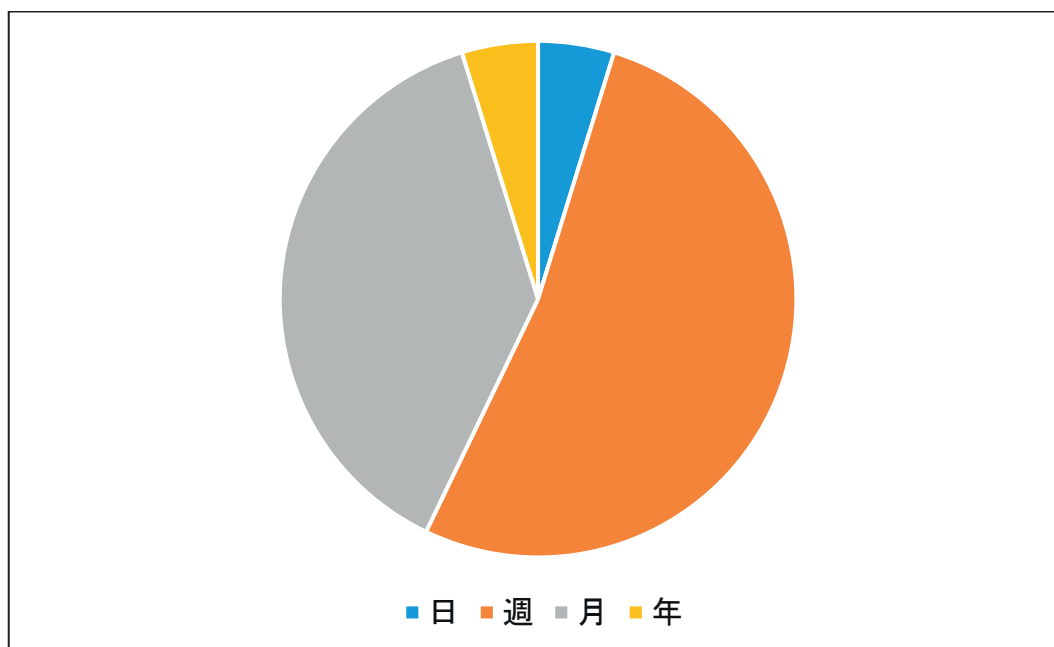


図 2. フィルター交換のタイミング

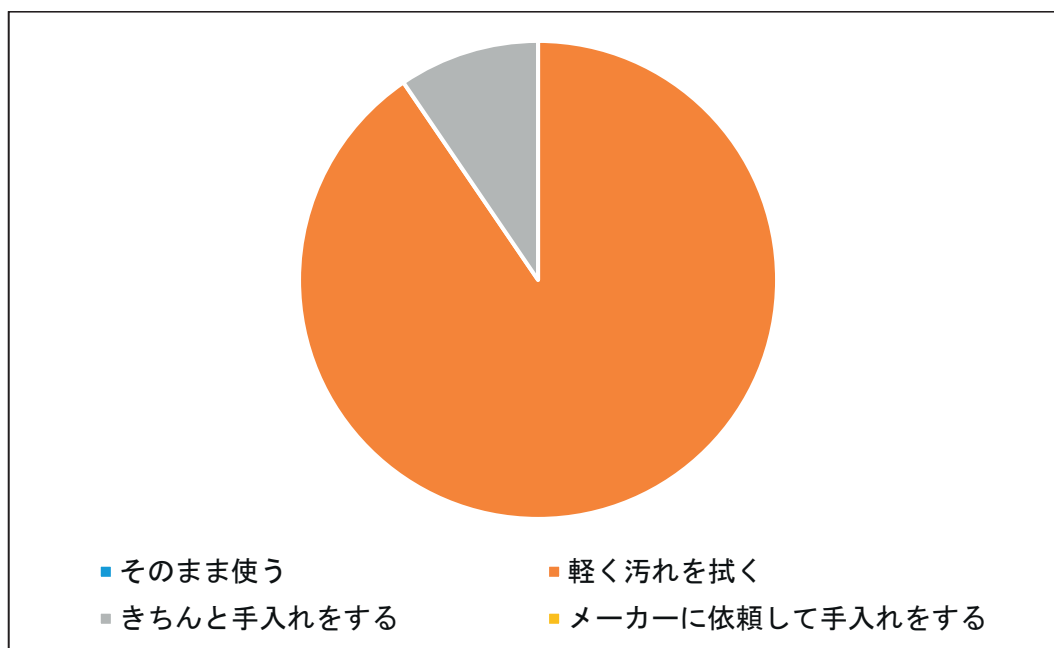


図3. マスクが汚れた際の処置

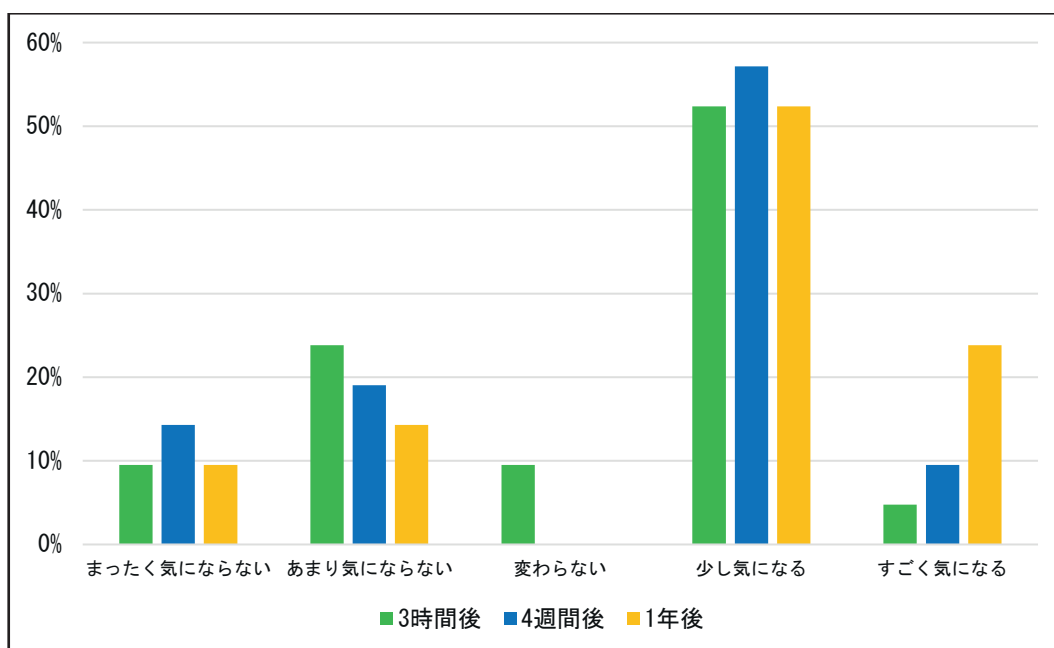


図4. マスクの大きさが気になるか

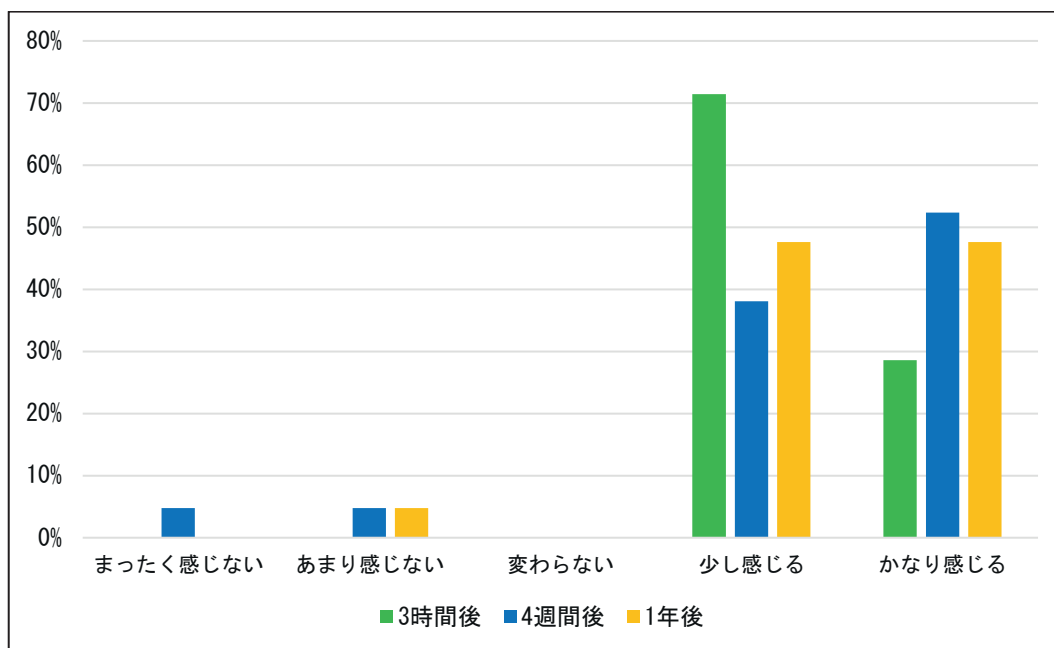


図5. マスクの重さは感じるか

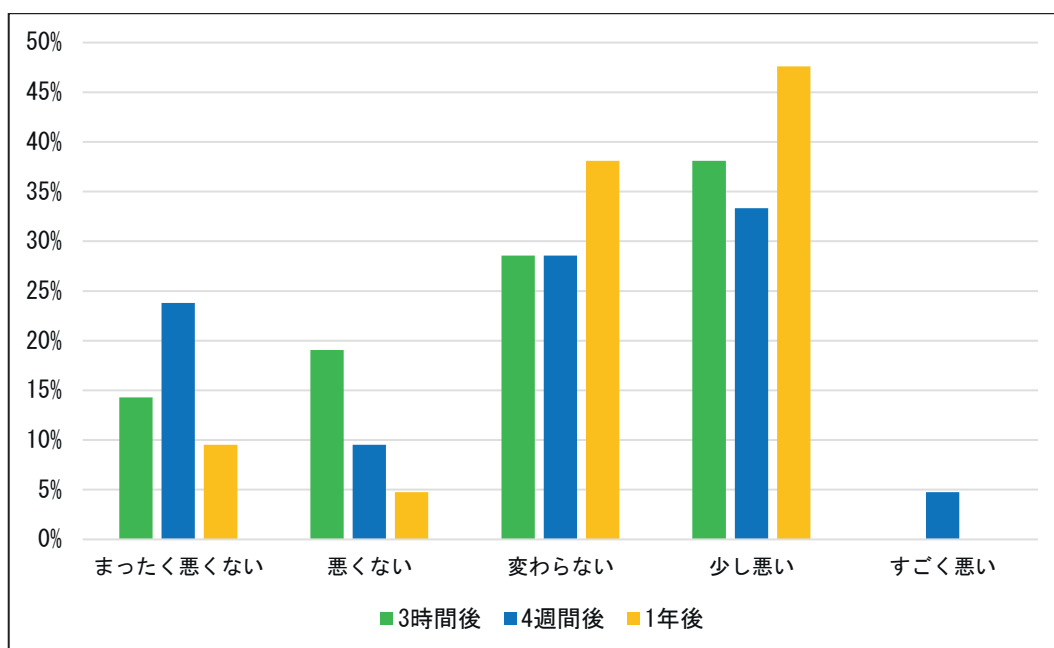


図6. 視界が悪くなったか

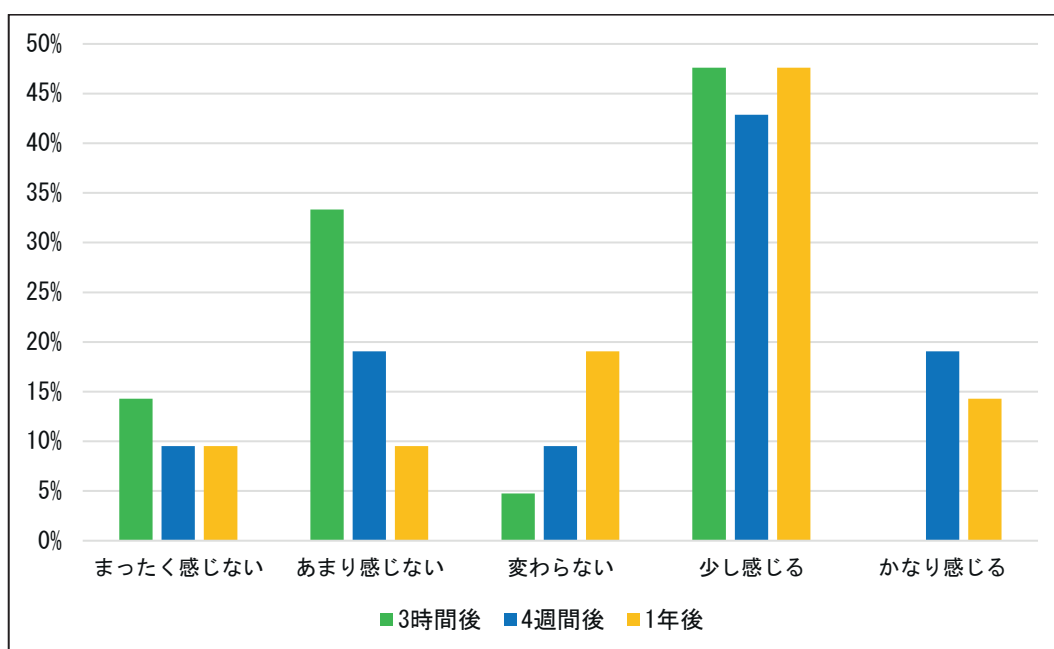


図 7. 動きにくさを感じるか

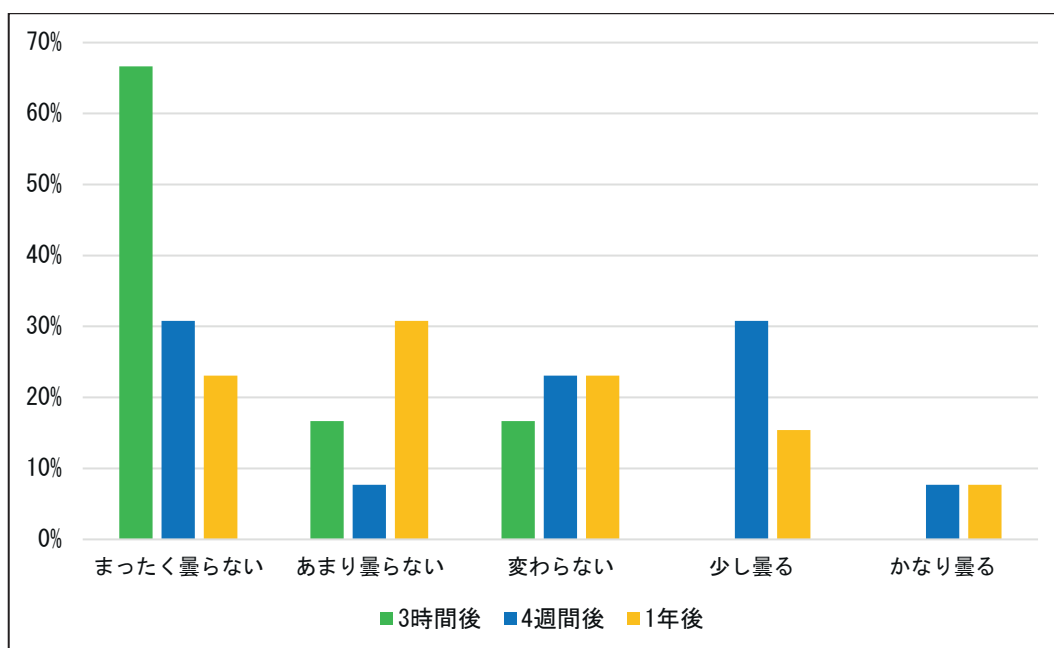


図 8. メガネは曇るか

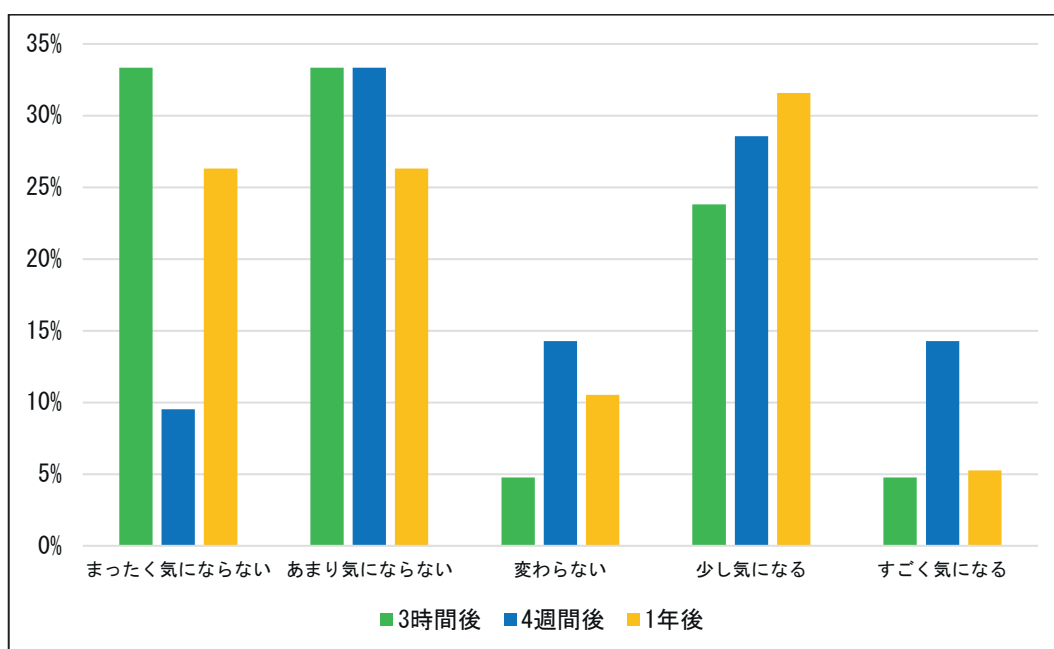


図 9. ファンの音は気になるか

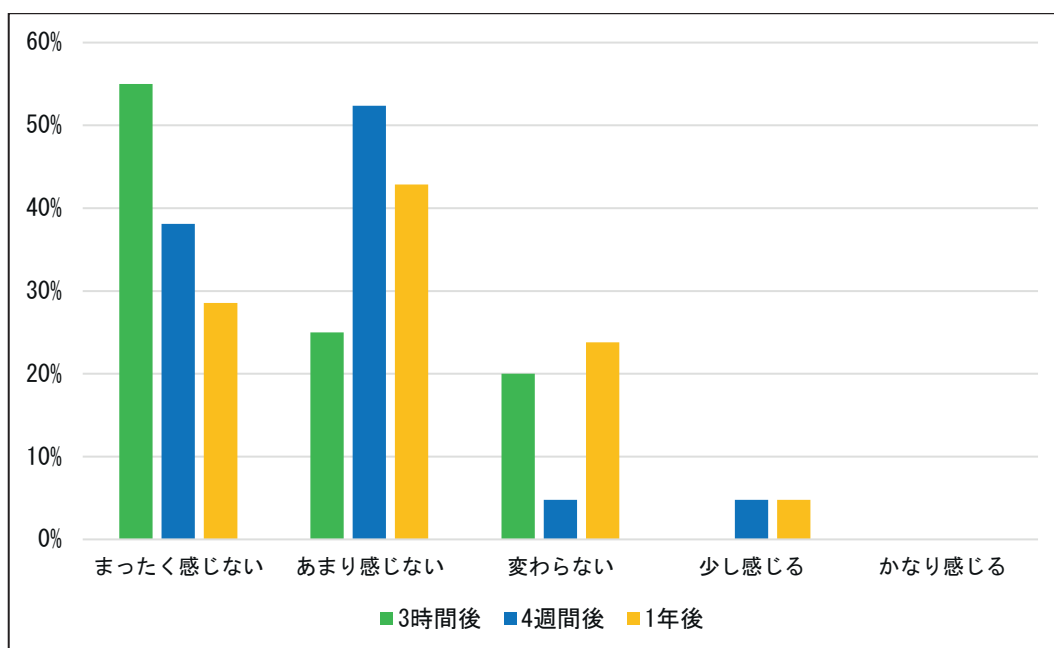


図 10. マスク内へ粉じんの漏れ込みを感じるか

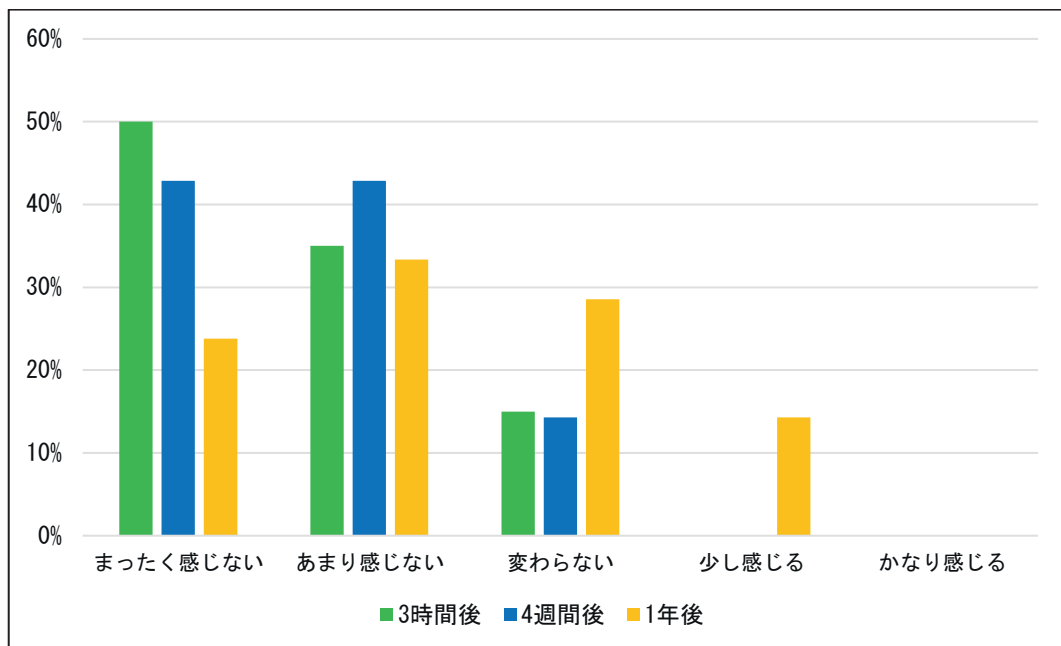


図 11. 粉じんを吸っていると感じることはあるか

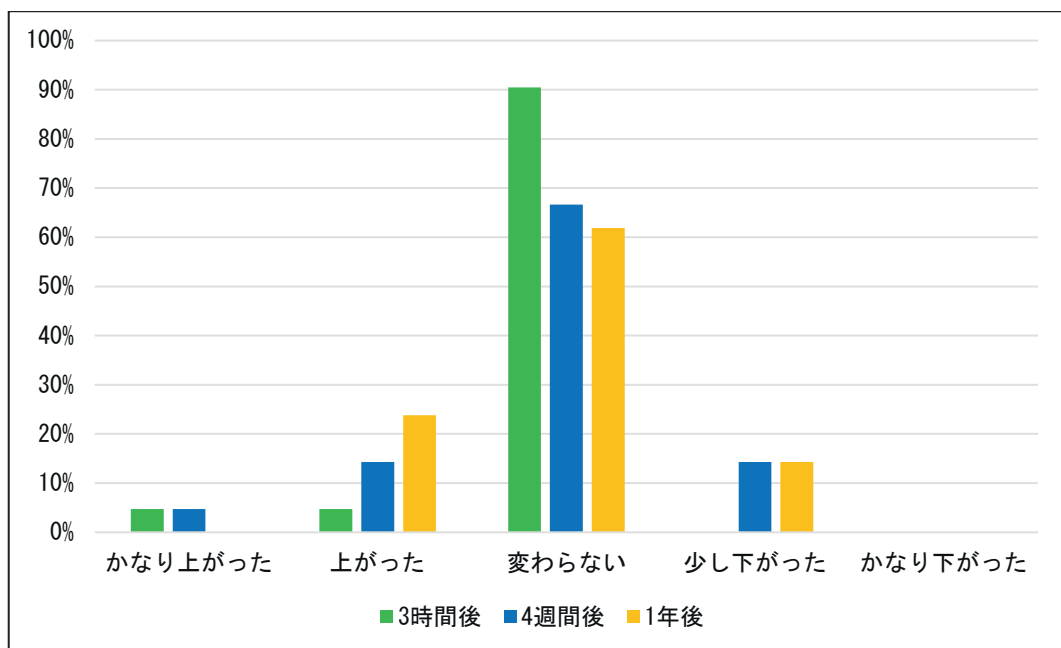


図 12. 作業効率は上がったと感じるか

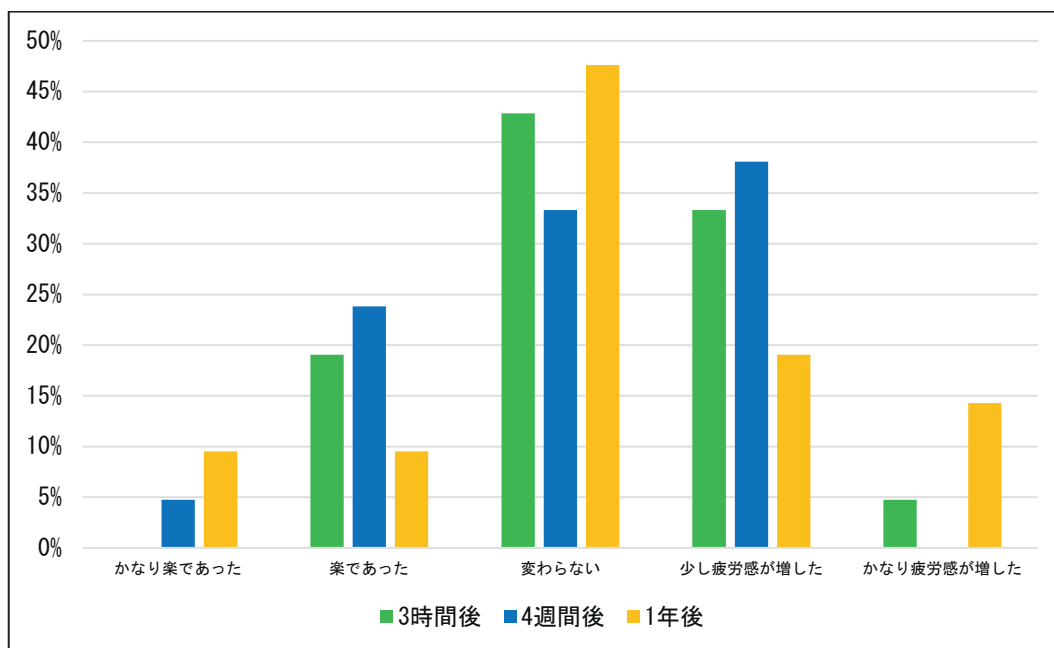


図 13. 作業後に疲労差はあるか

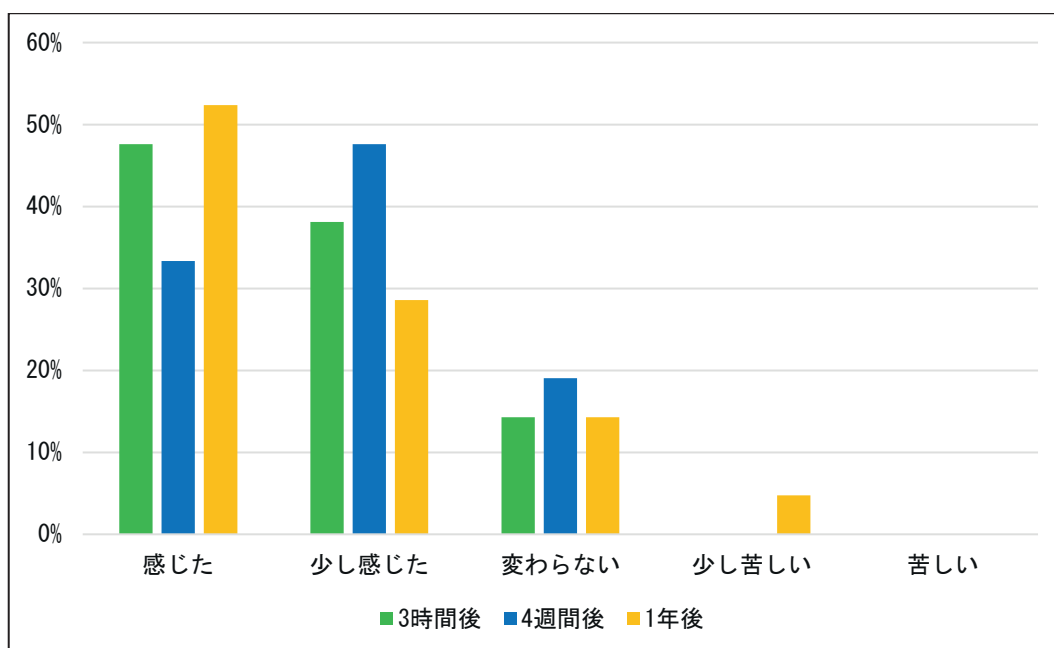


図 14. 呼吸が楽に感じたか

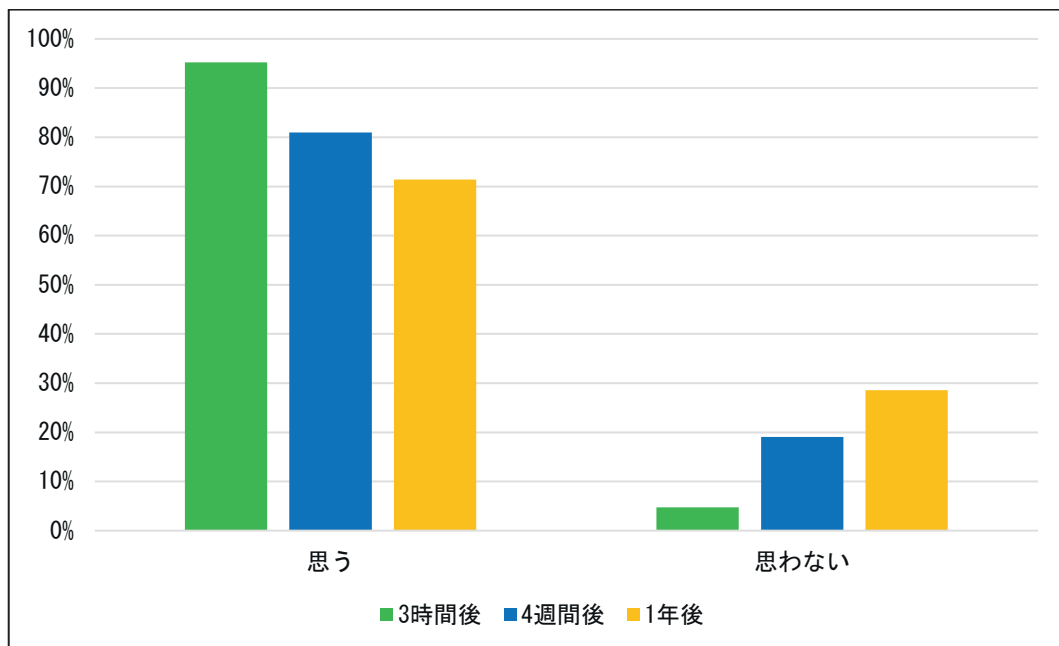


図 15. 今後 PAPR を利用したいか

D. 考察

令和元年度の調査では PAPR はマスクの圧着がそれほど強くなくてもマスク効率が良かったために粉じん吸入が少なく、大きさや重さに問題はあるものの継続して使用したいという作業者が 80%以上あった。しかし、この調査は使用開始後 4 週間までであったため、その後の使用状況がどうであるかについて調査した。

その結果、長期使用により、様々な問題点が上がってきた。その項目については表 1 に示したごとく、重さに対する首の凝り、粉じん堆積によりセンサーが働かず、ファンが回らないあるいは粉じんによりファンが故障して大きな音が出るといった点や、汚れに対する対処等が問題となった。また、使用後電池の充電が不十分であるなどの以前は重さと大きさだけだと思われた PAPR の改善すべき点が指摘された。

PAPR のフィルター交換については 1 週間に 1 回が 52.3%であったが、1 か月に 1 回も 38.1%あり、息苦しくなって交換するが 33.3%と 3 分の 1 であった。粉じん量の多い作業場では、この状態での交換は遅すぎるため、目詰まりの原因となるので意識して早めの交換を行うように指導すべきであると考えられた。

一方、アンケート結果でも、重さや大きさ

が使用後時間経過を追って継続使用に支障があることが明らかとなった。今回調査した対象者では作業における粉じん量が多いため、PAPR に対する粉じん作用が大きく、そのためのセンサーや排気弁に対する影響も大きかったのではないかと推測された。また、洗濯できないことから粉じんに対する汚れを軽くふき取るだけでは使いにくいといった意見もあった。

これら問題点を整理するとマスク内を陰圧としないように PAPR のファンを作動させるセンサーや電池の重さあるいは洗濯ができないなどの諸問題が明らかになった。これらの問題点はマスク製造会社の今後に残された宿題として取組んでいただきたいと思う。また、ひもやフィルター交換は通常防じんマスクでも同様の必要性があることから PAPR に限ったことではないものの、適切な交換をしないと目詰まりやひものゆるみから PAPR の正常な作動を障害することも明らかとなった。

今後は粉じん作業に対してフィルター交換やひもの調整の重要性についても周知する必要があると思われた。

以上のような理由から、PAPR の漏れ率も若干増加傾向にあったが、1 年経過した後も中央値は 5 %未満で、最大の漏れ率でも 7 %であった。PAPR のマスク効率の良さ

は1年の経過後でも通常防じんマスクに比較してはるかによいことが確認できた。
PAPRは通常防じんマスクと比較して高額であるが、適切な使用及びメンテナンスをすれば防じん効果は十分であることが判ったので、発じん量の多い作業では使用すべきマスクであり、1年後にも70%以上の作業者がPAPRを今後も使用したいと回答している点は評価すべきであると考えられた。

E. 結論

PAPRは1年間使用しても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、粉じん作業者にもその装着において一定の評価を得ていることが明らかとなった。しかし、粉じん量が多い作業場等では、粉じんによるPAPRに内蔵されているセンサーの不具合や排気弁の故障があることも事実で、従来より懸念のあった大きさや重さなどが時間経過するとともに負担になったため、通常防じんマスクの方がよいと変更する作業者もいたという事実も受け止めなければならない。しかし、使用后1年経過しても70%以上の常時粉じん作業者が継続して使用したいと述べていることから、PAPRをより多くの作業者に使用してもらえよう努力していくつもりである。

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

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

表 2. 通常使用している呼吸用保護具と電動ファン付き呼吸用保護具の比較調査アンケート（1 年後）

通常使用している呼吸用保護具と電動ファン付き呼吸用保護具の 比較調査アンケート（1 年後）

整理番号（ ）

氏名		年齢	歳
----	--	----	---

Q1. はじめにお聞きします。

❶ 性別	1. 男性 2. 女性
------	----------------

Q2. 通常使用している呼吸用保護具と比較して、1 年前に装着された電動ファン付き呼吸用保護具における感想をお願いいたします。

❶ 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
❷ 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. とても気になる
❸ 視界が悪くなりましたか？	1. まったく悪くない 2. 悪くない 3. 変わらない 4. 少し悪い 5. とても悪い
❹ 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
❺ 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
❻ マスク内へ粉じんの漏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
❼ 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. 少し疲労感が増した 5. かなり疲労感が増した
❽ 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. 少し下がった 5. かなり下がった

*裏面につづく

Q3. 仕事の生産性及び活動障害に関する質問です。

<p>❶ 過去7日間、健康上の問題により、何時間ぐらい仕事を休みましたか？健康上の問題が原因で体調が悪くて休んだ時間、遅刻・早退をした時間などは全て含めてください。この調査に参加するために休んだ時間は含めません。 ※ 休んでなければ0時間です。</p>	<p>_____時間</p>
<p>❷ 過去7日間、休日や祝日、またこの調査に参加するために休んだ時間など、健康上の問題以外の理由で何時間ぐらい仕事を休みましたか？ ※ 休んでなければ0時間です。</p>	<p>_____時間</p>
<p>❸ 過去7日間、実際に働いたのは何時間ですか？ 「0時間」の場合は、質問5にお進みください。 ※ 1日8時間勤務を5日間であれば40時間です。</p>	<p>_____時間</p>
<p>❹ 過去7日間、<u>仕事をしている間</u>、健康上の問題がどれくらい生産性に影響を及ぼしましたか？</p>	
<p style="text-align: center;"><u>仕事をしている間</u>、健康上の問題がどれくらい生産性に影響を及ぼしたかのみ お考えください。（数字を○で囲む）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;">健康上の問題は 仕事に影響を 及ぼさなかった</div> <div style="text-align: center;"> _____ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div> <div style="text-align: right;">健康上の問題は 完全に仕事の妨 げになった</div> </div>	
<p>❺ 過去7日間、健康上の問題がどれくらい、仕事以外の日常の色々な活動に影響を及ぼしましたか？</p>	
<p style="text-align: center;"><u>健康上の問題</u>がどれくらい、仕事以外の日常の色々な活動に影響を及ぼしたかのみ お考えください。（数字を○で囲む）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;">健康上の問題は 日常の諸活動に 影響を及ぼさな かった</div> <div style="text-align: center;"> _____ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div> <div style="text-align: right;">健康上の問題は 完全に日常の諸 活動の妨げにな った</div> </div>	

*裏面につづく

Q4. 健康状態に関する質問です。

① 移動の程度	1. 歩き回るのに問題はない 2. 歩き回るのに少し問題がある 3. 歩き回るのに中程度の問題がある 4. 歩き回るのにかなり問題がある 5. 歩き回ることができない
② 身の回りの管理	1. 自分で身体を洗ったり着替えをするのに問題はない 2. 自分で身体を洗ったり着替えをするのに少し問題がある 3. 自分で身体を洗ったり着替えをするのに中程度の問題がある 4. 自分で身体を洗ったり着替えをするのにかなり問題がある 5. 自分で身体を洗ったり着替えをすることができない
③ ふだんの活動 （例：仕事、勉強、家族・余暇活動）	1. ふだんの活動を行うのに問題はない 2. ふだんの活動を行うのに少し問題がある 3. ふだんの活動を行うのに中程度の問題がある 4. ふだんの活動を行うのにかなり問題がある 5. ふだんの活動を行うことができない
④ 痛み/不快感	1. 痛みや不快感はない 2. 痛みや不快感がある 3. 中程度の痛みや不快感がある 4. かなりの痛みや不快感がある 5. 極度の痛みや不快感がある
⑤ 不安/ふさぎ込み	1. 不安でもふさぎ込んでもいない 2. 少し不安あるいはふさぎ込んでいる 3. 中程度に不安あるいはふさぎ込んでいる 4. かなり不安あるいはふさぎ込んでいる 5. 極度に不安あるいはふさぎ込んでいる

ご協力ありがとうございました。

Ⅱ． 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Shirasaka T, Ando H, Ikegami K, Ogami A.	A survey on methods of wearing respiratory protective equipment and awareness of respiratory protection among workers engaged in dust-generating work.	Environ Occup Health Pract	doi:10.1539/eohp.2019-0005-FS		2019
世古口真吾, 吉武英隆, 白坂泰樹, 安藤肇, 池上和範, 大神 明	現場で認める装着方法の漏れ率の検討	Clean Health Safety NEWS	11月号	p8-11	2019
Sekoguchi S, Shirasaka T, Ando H, Ikegami K, Ogami A,	Evaluation of the performance of replaceable particulate and powered air-purifying respirators considering non-recommended	Industrial Health	58(6)	573-580	2020

Evaluation of the performance of replaceable particulate and powered air-purifying respirators considering non-recommended wearing methods

Shingo SEKOGUCHI^{1*}, Taiki SHIRASAKA¹, Hajime ANDO¹,
Kazunori IKEGAMI¹ and Akira OGAMI¹

¹Department of Work Systems and Health, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan

Received March 23, 2020 and accepted August 24, 2020

Published online in J-STAGE August 29, 2020

Abstract: This study evaluated the performance of two respirators, a replaceable particulate respirator (RPR) and a powered air-purifying respirator (PAPR), worn according to non-recommended methods. Ten subjects wore either an RPR or PAPR according to the recommended method, or according to a non-recommended method, with a knit cover placed between the facepiece cushion and face, with a towel placed between the facepiece cushion and face, or with the headband on a helmet. The leakage rate of each wearing variation was then measured, according to the procedure for determining the protection factor of respiratory protective equipment, using atmospheric dust as required by JIS T8150. The average leakage rate for the RPR was 1.82–10.92%, whereas that of the PAPR was 0.18–0.42%. The performance of the RPR decreased when worn in methods outside of recommendations; however, there was no significant decrease in the performance of PAPR under any method of wear. Therefore, a PAPR is recommended for work in which a replaceable or disposable particulate respirator fails to provide sufficient protection against hazardous dust substances, or for workers who are unable to use a particulate respirator according to the recommended method owing to the work environment or health conditions.

Key words: Particulate respirator, Powered air-purifying respirator, Leakage rate, Respiratory disease, Occupational hygiene

Introduction

To prevent a variety of occupational respiratory diseases caused by hazardous dust substances, fundamental measures, such as engineering measures, should be prioritized. If these methods are not viable, measures should be taken to reduce exposure to hazardous dust substances. The

particulate respirator is used in many workplaces wherein workers may be exposed to hazardous dust substances and is highly effective when used appropriately. The appropriate use of the particulate respirator is indicated by the circular notice: selection and use of a particulate respirator, issued by Japan Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW), Labour Standards Bureau¹⁾, or The OSHA respiratory protection standard in Title 29 of the Code of Federal Regulations Part 1910.134 for General Industry (29 CFR 1910.134)²⁾, among other standards.

However, a previous study revealed that workers in dust-generating occupations in Japan did not adhere to the

*To whom correspondence should be addressed.

E-mail: s-sekoguchi@med.uoeh-u.ac.jp

©2020 National Institute of Occupational Safety and Health

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives (by-nc-nd) License. (CC-BY-NC-ND 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

recommended method of wearing the particulate respirator. Some regular users of particulate respirators placed fabric between the facepiece cushion and their face, whereas others wore the headband around a helmet³⁾. The circular notice of MHLW states that a particulate respirator should not be used by placing fabric between the facepiece cushion and face because of the risk of hazardous dust substances leaking into the facepiece¹⁾. Moreover, 29 CFR 1910.134 states that the employer shall not permit respirators with tight-fitting facepieces to be worn by employees who have any condition that interferes with the face-to-facepiece seal or valve function²⁾. Non-recommended wearing methods may result in not only acute intoxication but also respiratory diseases such as pneumoconiosis and lung cancer, which develop over many years^{4, 5)}. In Japan, approximately 200 new cases of pneumoconiosis are diagnosed each year, although the number of individuals being diagnosed with pneumoconiosis and related symptoms is currently decreasing⁶⁾.

Japanese laws and regulations state that a powered air-purifying respirator (PAPR) must be worn during certain work activities including tunnel construction, asbestos removal, and refractory ceramic fiber handling^{7–9)}. Moreover, in 2018, MHLW published the Ninth Comprehensive Measures to Prevent Hazards Due to Dust report, which recommended the use of PAPR for work activities in addition to those described above¹⁰⁾. The PAPR provides a high level of protection because it filters the air to a safe level and eliminates leakages through the face seal¹¹⁾. The high flow of air prevents the wearer from entraining contaminated ambient air¹¹⁾. Therefore, a PAPR has the potential to ensure adequate performance even if adhesion between the PAPR and the face is impaired—namely, if workers do not comply to the recommended wearing methods observed in the workplace that reduce adhesion between the particulate respirator and the face.

Several studies have been published on respirator performance; however, the majority have been performed on volunteers or health care workers using N95 filtering facepiece respirators^{12–17)}. Although several studies have been published on the influence of facial hair^{18, 19)}, no previous studies have evaluated the performance of a respirator being worn by non-recommended methods. Therefore, this study aims to evaluate the performance of a replaceable particulate respirator (RPR) and a PAPR when they are being worn by non-recommended methods. This study also will clarify the combinations of particulate respirator type and wearing method that maintain an adequate performance.

Methods

Study design and participants

A crossover trial was conducted on ten subjects who provided informed consent prior to participation. Eligible participants were all healthy adults aged over 18. To prevent contamination of tobacco dust while measuring the leakage rate, all participants were non-smokers. The subjects were recruited from the University of Occupational and Environmental Health, Japan, and the group was composed of eight men and two women. The average age (SD) for men was 32.1 (4.0) yr and for women 34.0 (5.0) yr. We prepared a combination of eight experimental patterns and assigned participants to a pattern using a random number table. The study was conducted at the artificial climate chamber of the University of Occupational and Environmental Health, Japan, during August and September in 2018. The artificial climate chamber was set to room temperature conditions (20°C) with a relative humidity of 50%.

Particulate respirator

The PAPR selected for testing was the BL-321S (Koken Ltd., Japan). The selected PAPR was tight-fitting, with a half facepiece and a breath-synchronized airflow system. The performances of this PAPR were as follows. Motor blower capacity: large airflow volume type (over 138 L/min), leakage rate: B class (less than 5.0%), filtering efficiency: PL 1 (Over 95.0%). The RPR selected for testing was 1180–05 (Koken Ltd., Japan). The filtering efficiency of this RPR was RL 2 (Over 95.0%). This RPR consisted of a half facepiece and a single filter, a similar shape to BL-321S.

Wearing variations

The subjects wore either an RPR or a PAPR according to either the recommended method or one of the methods previously observed in the workplace³⁾. In a previous study, 39% of participants indicated that they placed something between the facepiece cushion and their face; a knit cover was the most commonly used item, followed by towels³⁾. Furthermore, 50% of participants reported that they wore the headband of the particulate respirator over a helmet³⁾. Therefore, four wearing methods were implemented in this study (Fig. 1): the recommended method (where the headband is placed on the area from the parietal region to the occipital region, with nothing between the facepiece cushion and the face) (R); K, where a knit cover is placed between facepiece cushion and the face; T, where

a towel is placed between the facepiece cushion and the face; and H, where the headband is placed over a helmet.

Measurement procedure

In this study, the performance of the respirator was assessed by the leakage rate. The leakage rate was measured according to the procedure for the determination of protection factor of respiratory protective equipment using atmospheric dust provided by JIS T8150: the guidance for the selection, use, and maintenance of respiratory protective equipment²⁰⁾.

Although the procedure for measuring the leakage rate was specified in JIS T8159: the procedure for measuring the leakage rate of respiratory protective equipment²¹⁾, it was technically and economically difficult to perform. Therefore, JIS T8150 was adopted in this study.

The measurement procedure of JIS T8150 was as follows (Fig. 2):

1) The measurer showed the subjects the relevant particulate respirator and explained how to put it on.

2) With the subjects wearing the particulate respirators, the measurer connected the particulate respirators to the measurement devices with the attached sampling tubes. The subjects adjusted the strap to find the optimal wearing position with minimal leakage. The measurer helped as appropriate.

3) The subjects wore the particulate respirator and performed five actions (normal breathing, deep breathing, turning head side-to-side, moving head up and down, and speaking). The subjects performed each action for 1 min. The measurement device measured the concentration of atmospheric dust inside and outside the particulate respirator.

4) The measurer asked the subject questions related to their impression of the experiment, their physical condition, etc., before the measurement ended.

To minimize individual differences, the subjects wore the particulate respirator while looking in a mirror. The tightness of the strap was measured with a Sensor Interchangeable Amplifier (force gauge) (eZT, IMADA CO., LTD, Japan) and adjusted so that the force of the particulate respirator strap applied to the participants' head was approximately equal. The force of the lower strap applied to the participants' skin was adjusted to 1.0–2.0 Newton (N).

Calculation of leakage rate

According to JIS T8150, the leakage rate was calculated by dividing the concentration within the particulate respi-

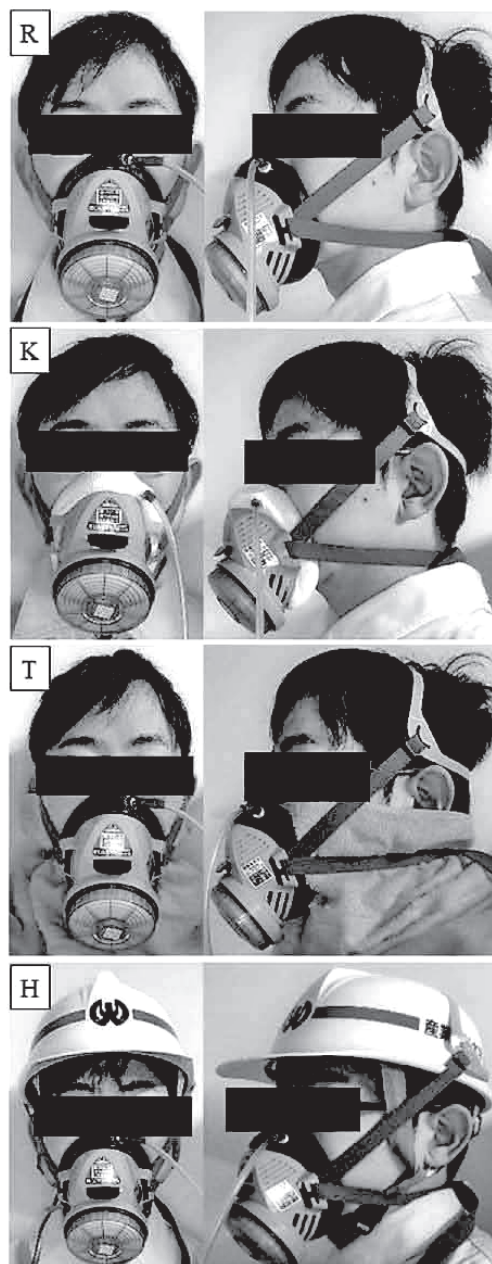


Fig. 1. Photographs depicting different wearing methods, using a replaceable particulate respirator as an example.

R: Recommended: the respirator headband is placed on the area from the parietal region to the occipital region, with nothing between the facepiece cushion and face. K: Knit: a knit cover is placed between the facepiece cushion and face. T: Towel: a towel is placed between the facepiece cushion and face. H: Helmet: the headband is worn over a helmet.

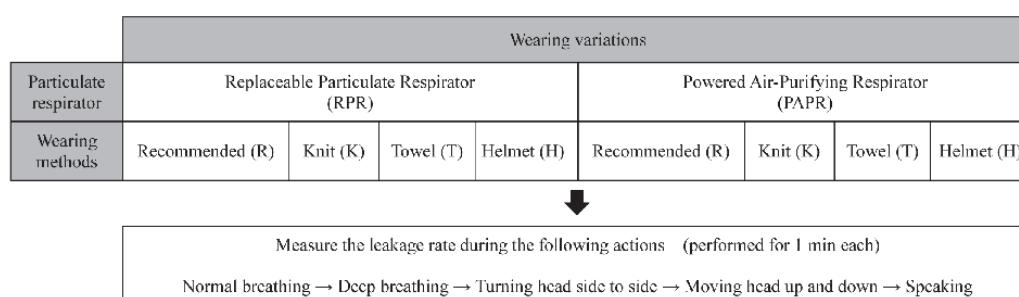


Fig. 2. Outline of the study.

rator (Ni) by the concentration outside of it (No)²⁰⁾:

$$\text{Leakage rate} = \text{Ni}/\text{No} \times 100 (\%)$$

The leakage rate of the five actions was measured for each wearing variation. Then, the arithmetic average of the leakage rates of the five actions was defined as the leakage rate of that wearing variation. For example, the average leakage rate for the PAPR worn according to the recommended method (R) was referred to as PAPR-R. All other leakage rates used the same notation format as previously described.

The leakage rate was measured using MT-03 (Sibata Scientific Technology Ltd., Japan). A widely-used OSHA-accepted quantitative fit testing has been primarily conducted previously using PortaCount (TSI Inc., USA), an instrument that measures the aerosol concentrations inside and outside the respirator using the principle of condensation nuclei counting²²⁾. Unlike the PortaCount, the MT series utilizes an optical particle counting principle, based on the light scattering from aerosol particles²²⁾. The light scattering can be described as follows²³⁾; sample air surrounded by sheath air that has been generated by passing through the HEPA filter is transferred to the detector where it is illuminated by a light beam (semiconductor laser) which is perpendicular to the direction of its path, resulting in the scattering of light. The magnitude of scattered light is proportional to the size of the particles. The scattered light is detected by a photodiode after being condensed by a lens. The intensity of the photocurrent in a pulse in proportion to the scattered light is compared with that obtained in the calibration using a polystyrene latex, with the diameter of standard particles being 0.7 µm. A previous study stated that the MT series adequately quantified a respirator fit²²⁾.

The MT-03 quantified the air particles present inside and outside the particulate respirator sampled at 1 l/min.

After measuring the air outside the particulate respirator for 17 s, the instrument measured the air inside for 17 s. The time taken for the dust remaining in the pipe at the start of the measurement to be replaced when switching the measurement path was set to 10 s. Therefore, the full time required for one measurement was approximately 1 min. The particles measured by the device were atmospheric dust with a particle size of at least 0.5 µm. During the measurement, incense sticks were burned to maintain a level of dust in the environment greater than the recommended sampling rate of 1,000 particles/3 s, for the MT-03.

The concentration within the particulate respirator was measured by sampling the air inside the facepiece using a tube joint set fixed to both the sampling tube and particulate respirator. The concentration outside the particulate respirator was measured by sampling air using a sampling tube fixed with a string hung from the ceiling so that the end of it was close to the particulate respirator.

In this study, the allowable leakage rate was set to less than 5.0% in accordance to the specified leakage rate of the PAPR (B class).

Statistical methods

We used a linear mixed model (LMM), with the leakage rate (leakage rate for each action and each wearing variation) as the objective variable. Among the explanatory variables, the random factor was the survey participants and the fixed factors were participant sex, actions, wearing variations, and the interaction between the actions and wearing variations. We used the Bonferroni method for multiple comparisons. All statistical analyses were conducted using IBM SPSS advanced statistics 23.0. The significance level was set to 0.05.

Ethics approval

The ethics and informed consent procedure for this study were approved by the Ethics Committee of Medical Research, University of Occupational and Environmental Health, Japan (Receipt No. H30-058). Informed consent was obtained in writing from all participants.

Results

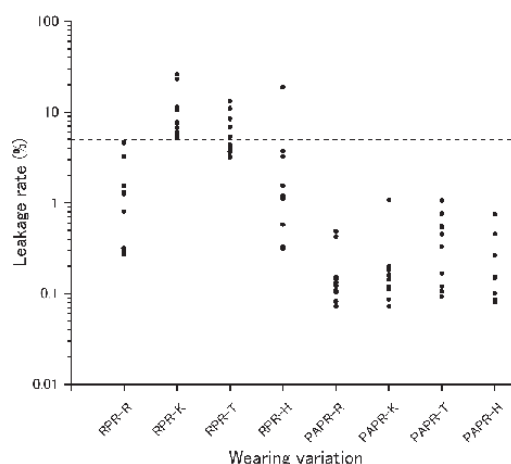
The main effect of the wear variation was its significant effect on the leakage rate ($F[7, 359]=36.26, p<0.001$). On the other hand, participant sex ($F[1, 359]=1.058, p=0.304$), actions ($F[4, 359]=0.977, p=0.420$), as well as the interactions between the actions and the wearing variations ($F[28, 359]=0.418, p=0.997$) did not have any significant effect on the leakage rate.

The RPR leakage rates for RPR-R, RPR-K, RPR-T, and RPR-H were 1.82% (range: 0.27–4.63%), 10.92% (range: 5.15–26.05%), 6.39% (range: 3.19–13.17%), and 3.19% (range: 0.31–18.79%), respectively. On the other hand, for PAPR-R, PAPR-K, PAPR-T, and PAPR-H, the PAPR leakage rates were 0.18% (range: 0.07–0.49%), 0.23% (range: 0.07–1.08%), 0.42% (range: 0.09–1.07%), and 0.23% (range: 0.08–0.75%), respectively. The 5% leakage rate (i.e., the allowable leakage rate range) was exceeded by 100%, 50%, and 10% for RPR-K, RPR-T, and RPR-H, respectively; however, this value was zero for RPR-R, PAPR-R, PAPR-K, PAPR-T, and PAPR-H (Fig. 3).

Additionally, multiple comparisons of the leakage rates as a function of the wearing variation were made. The results obtained showed that the leakage rate of RPR-R was significantly lower than those of RPR-K and RPR-T ($p<0.001$ for both cases), while the leakage rate of RPR-K was significantly higher than that of any other wearing methods ($p<0.001$). Additionally, the leakage rate of RPR-T was significantly higher than those of RPR-H ($p=0.014$), PAPR-R, PAPR-K, PAPR-T, and PAPR-H ($p<0.001$ for the four cases), and the leakage rate of RPR-H was significantly higher than those of PAPR-R, PAPR-K, and PAPR-H ($p=0.030, p=0.035, p=0.035$, respectively). Other combinations showed no significant differences.

Discussion

When using RPR according to the recommended method (RPR-R), the leakage rate was below 5% (the allowable range of leakage rate), confirming that RPR was effective for the prevention of hazardous dust substances when used appropriately.



a helmet for a long period of time. Therefore, the leakage rate of wearing RPR with a helmet may not be as low as the results of this demonstrate in an actual workplace. Further research on this aspect is required; however, wearing RPR with a helmet is not currently recommended.

There are many reasons why workers wear respirators using methods outside the guided recommendations. For example, knit covers are used to reduce discomfort, such as pressure on the face³⁾. Towels are also used for this reason and for protection from the radiant heat of furnaces³⁾. Some workers may wear the headband on a helmet to reduce the difficulty of removal³⁾. With respect to knit covers, it has been reported that the absence of supervisors' instructions increases the use of it^{2,4)}. The circular notice of MHLW states that employers shall provide workers with sufficient education and training on how to properly wear and use a particulate respirator and how to check the contact between the facepiece cushion and face¹⁾. Moreover, 29 CFR 1910.134 states that the employer shall establish and implement a written respiratory protection program with worksite-specific procedures²⁾. It has been reported that education regarding accurate respirator fit and usage resulted in improvements in the levels of leakage rate^{2,5)}. To prevent exposure to hazardous dust substances, it is necessary to ensure that sufficient education by the employer is provided.

When using a PAPR, the leakage rates of the three non-recommended wearing methods were below 5%. Compared to the average leakage rate for RPR worn according to the recommended method (1.82%), those for the PAPR worn with a knit cover between the facepiece cushion and face (0.23%), with a towel between the facepiece cushion and face (0.42%), or with the headband on a helmet (0.23%) were all lower. Because the inside of a PAPR is under positive pressure, it may be possible to maintain the performance of the respirator even if adhesion between the PAPR and the face is impaired. These results may be equally applicable to any PAPR with the same characteristics as the PAPR used in this study. The result of this study suggests that a PAPR may be more effective than an RPR for preventing a variety of occupational respiratory diseases. The use of a knit cover is permitted when there is a high risk of dermatopathy and when the cover conforms to particulate respirator fitting requirements¹⁾. We suggest that PAPR should be used preferentially for work where a replaceable or disposable particulate respirator will not provide sufficient protection against hazardous dust substances, or for workers who have to use a knit cover and other adjustments because of the health conditions. Nota-

bly, with the exception of work activities that require the use of a PAPR, few workers are using PAPR³⁾. One reason for this is that PAPR is more costly than replaceable or disposable particulate respirators. Therefore, further studies of the benefits that outweigh the cost disadvantages with regards to PAPR are required.

Limitations and Future Research Directions

This study has several limitations. First, only one type of RPR and PAPR was used in this study; hence, it may be necessary to extend this analysis to multiple types of the particulate respirators. Moreover, the particulate respirator, knit cover, and towel were all unused; however, these items are typically used for long periods in the workplace. The impact of equipment deterioration on the performance of the respirator should be a subject for future investigation. Regarding the wearing method, to minimize the effect of the individual's ability to accurately fit the respirator, the subjects wore the particulate respirator while looking in a mirror; if the examiner noticed an abnormality such as a twisted strap, the subject was asked to remove the particulate respirator and re-attach it. Therefore, actual leakage rates may vary according to the individual's ability to fit it accurately. It is also important to verify the leakage rate of an actual worker who has received no advice on how to attach the equipment.

Conclusion

This study evaluated the performance of two types of respirators, RPR and PAPR, worn according to methods that contrast widely circulated recommendations. The performance of the RPR was reduced when commonly non-recommended wearing methods were adopted; however, the PAPR performance did not exhibit a significant decrease with the different wearing methods. Therefore, a PAPR is recommended for work where a replaceable or disposable particulate respirator fails to provide sufficient protection against hazardous dust substances or for workers who are unable to use a particulate respirator according to the recommended method because of the work environment or health conditions. These findings have important practical applications for the health and safety of workers exposed to hazardous dust in the workplace.

Funding

This study was funded by Industrial Disease Clinical

Research Grants (180302-01).

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

We acknowledge Soft Wave Pro Co., Ltd. for helping with data aggregation work, as well as all participants, and staff members. We would also like to thank Editage (www.editage.com) for English language editing.

References

- 1) Japan Ministry of Health, Labour and Welfare, Labour Standards Bureau The circular notice: selection and use of a particulate respirator (released on February 7, 2005) (in Japanese). https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc2747&dataType=1&pageNo=1. Accessed June 20, 2020.
- 2) Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. The OSHA respiratory protection standard in Title 29 of the Code of Federal Regulations Part 1910. 134 for General Industry. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>. Accessed June 20, 2020.
- 3) Shirasaka T, Ando H, Ikegami K, Ogami A (2019) A survey on methods of wearing respiratory protective equipment and awareness of respiratory protection among workers engaged in dust-generating work. *Environ Occup Health Pract* **1**, 39–45. [CrossRef]
- 4) Jafari AJ, Assari MJ (2004) Respiratory effects from work-related exposure to welding fumes in Hamadan, Iran. *Arch Environ Health* **59**, 116–20. [Medline] [CrossRef]
- 5) Yamada G, Igarashi T, Sonoda H, Morita S, Suzuki K, Yoshida Y, Abe S (1998) Use of bronchopulmonary lavage for eliminating inhaled fume particles from a patient with arc welder's lung. *Intern Med* **37**, 962–4. [Medline] [CrossRef]
- 6) Jp NA, Imanaka M, Suganuma N (2017) Japanese workplace health management in pneumoconiosis prevention. *J Occup Health* **59**, 91–103. [Medline] [CrossRef]
- 7) Ministry of Labour Ordinance (April 25, 1979). Ordinance on Prevention of Hazards Due to Dust (in Japanese). https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74107000&dataType=0&pageNo=1. Accessed June 20, 2020.
- 8) Ordinance of the Ministry of Health, Labour and Welfare (February 24, 2005). Ordinance on Prevention of Health Impairment due to Asbestos (in Japanese). https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74aa6787&dataType=0&pageNo=1. Accessed June 20, 2020.
- 9) Japan Ministry of Health, Labour and Welfare, Labour Standards Bureau Enforcement of Cabinet Ordinance Partially Amending Order for Enforcement of Industrial Safety and Health Act and Ministerial Ordinance Partially Amending Ordinance on Prevention of Hazards Due to Specified Chemical Substances and Ordinance on Industrial Safety and Health (released on November 20, 2016) (in Japanese). https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc2349&dataType=1&pageNo=1. Accessed June 20, 2020.
- 10) Japan Ministry of Health, Labour and Welfare, Labour Standards Bureau Ninth Comprehensive Measures to Prevent Hazards Due to Dust (released on February 9, 2018) (in Japanese). <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeniseibu/0000202860.pdf>. Accessed June 20, 2020.
- 11) Tompkins BM, Kerchberger JP (2010) Special article: personal protective equipment for care of pandemic influenza patients: a training workshop for the powered air purifying respirator. *Anesth Analg* **111**, 933–45. [Medline]
- 12) Lee SA, Grinshpun SA, Reponen T (2008) Respiratory performance offered by N95 respirators and surgical masks: human subject evaluation with NaCl aerosol representing bacterial and viral particle size range. *Ann Occup Hyg* **52**, 177–85. [Medline] [CrossRef]
- 13) Reponen T, Lee SA, Grinshpun SA, Johnson E, McKay R (2011) Effect of fit testing on the protection offered by n95 filtering facepiece respirators against fine particles in a laboratory setting. *Ann Occup Hyg* **55**, 264–71. [Medline] [CrossRef]
- 14) Coffey CC, Lawrence RB, Campbell DL, Zhuang Z, Calvert CA, Jensen PA (2004) Fitting characteristics of eighteen N95 filtering-facepiece respirators. *J Occup Environ Hyg* **1**, 262–71. [Medline] [CrossRef]
- 15) Hon CY, Danyluk Q, Bryce E, Janssen B, Neudorf M, Yassi A, Shen H, Astrakianakis G (2017) Comparison of qualitative and quantitative fit-testing results for three commonly used respirators in the healthcare sector. *J Occup Environ Hyg* **14**, 175–9. [Medline] [CrossRef]
- 16) Manganyi J, Wilson KS, Rees D (2017) Quantitative respirator fit, face sizes, and determinants of fit in South African diagnostic laboratory respirator users. *Ann Work Expo Health* **61**, 1154–62. [Medline] [CrossRef]
- 17) Yu Y, Jiang L, Zhuang Z, Liu Y, Wang X, Liu J, Yang M, Chen W (2014) Fitting characteristics of N95 filtering-facepiece respirators used widely in China. *PLoS One* **9**, e85299. [Medline] [CrossRef]
- 18) Floyd EL, Henry JB, Johnson DL (2018) Influence of facial hair length, coarseness, and areal density on seal leakage of a tight-fitting half-face respirator. *J Occup Environ Hyg* **15**, 334–40. [Medline] [CrossRef]
- 19) Sandaradura I, Goeman E, Pontivivo G, Fine E, Gray H, Kerr S, Marriott D, Harkness J, Andresen D (2020) A close shave? Performance of P2/N95 respirators in healthcare workers with facial hair: results of the BEARDS (BENchmarking Adequate Respiratory DefenceS) study. *J Hosp Infect* **104**, 529–33. [Medline] [CrossRef]
- 20) Japanese Industrial Standards JIS T8150: the guidance for

- the selection, use, and maintenance of respiratory protective equipment (released on April 25, 2006) (in Japanese). <https://kikakurui.com/t8/T8150-2006-01.html>. Accessed June 20, 2020.
- 21) Japanese Industrial Standards JIS T8159: the procedure for measuring the leakage rate of respiratory protective equipment (released on February 20, 2006) (in Japanese). <https://kikakurui.com/t8/T8159-2006-01.html>. Accessed June 20, 2020.
- 22) Wu B, Leppänen M, Yermakov M, Grinshpun S (2018) Evaluation of a new instrument for aerosol quantitative fit testing. *J Int Soc Respir Prot* **34**, 111–27.
- 23) Kikuzi K (1991) A study on facepiece-to-face fitting of dust respirators (Report 3): mask fitting tester. *Rodo Kagaku* **67**, 1–8.
- 24) Aiba Y, Kobayashi K, Suzuki J, Shimizu Y, Nishimura M, Sasaki N, Makino S, Utsunomiya T (1995) A questionnaire survey on the use of dust respirators among lead workers in small scale companies. *Ind Health* **33**, 35–41. [Medline] [CrossRef]
- 25) Takemura Y, Kishimoto T, Takigawa T, Kojima S, Wang BL, Sakano N, Wang DH, Takaki J, Nishide T, Ishikawa K, Ogino K (2008) Effects of mask fitness and worker education on the prevention of occupational dust exposure. *Acta Med Okayama* **62**, 75–82. [Medline]

Field Study

A survey on methods of wearing respiratory protective equipment and awareness of respiratory protection among workers engaged in dust-generating work

Taiki Shirasaka¹ | Hajime Ando¹  | Kazunori Ikegami^{1,2}  | Akira Ogami¹¹Department of Work Systems and Health, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan²BASF TODA Battery Materials LLC, Tokyo, Japan

Abstract

Objectives: The aim of this study was to clarify the current status of respiratory protection and associated problems among workers engaged in dust-generating work, including the type of respiratory protective equipment (RPE) used, methods for wearing RPE, and awareness of respiratory protection. **Methods:** We surveyed 212 male workers involved in dust-generating work from 10 plants on the current status and problems associated with respiratory protection. The survey inquired about work environment, type of RPE used, methods for wearing RPE, and knowledge of respiratory protection. Questions about methods for wearing RPE inquired about the position of the headband and placement of something like fabric between the face-piece cushion and face when wearing RPE. Analyses were performed using simple tabulation of each question item. **Results:** A total of 53.3% of RPE used by participants were replaceable filter dust masks and 19.3% were disposable dust masks. Of the workers who regularly used replaceable filter RPE, 50.0% wore the headband around the helmet. Meanwhile, 27.4% placed a knit cover between the face-piece cushion and their faces, and 11.0% used a towel instead of a knit cover. A total of 69.5% of workers who placed fabric between the face-piece cushion and their face perceived that “there was no problem with respiratory protection”. **Conclusion:** We found that workers engaged in dust-generating work used a variety of methods for wearing RPE. Workers should be provided with appropriate education on respiratory protection and instruction on appropriate methods for wearing RPE in the workplace.

Keywords: dust-generating work, education, occupational health, personal protective equipment, respiratory protection, methods of wearing respiratory protective equipment

(Received April 9, 2019; Accepted August 22, 2019; Published online in J-STAGE November 4, 2019)

Introduction

Appropriate measures should be taken to improve the work environment, practices, and conditions of workplaces in which workers may be exposed to hazardous dust substances. If this is not possible, workers should wear appropriate respiratory protective equipment (RPE),

which is used to prevent a variety of occupational respiratory diseases caused by exposure to hazardous dust substances in the workplace. In Japan, RPE use is mandatory as specified in the Ordinance on Industrial Safety and Health¹⁾.

Studies have reported the occurrence of occupational respiratory diseases resulting from inappropriate use and management of respiratory protection. Cases of acute and chronic respiratory diseases have been attributed to inadequate or lack of RPE use²⁻⁴⁾. Inappropriate use and management of RPE may result in not only acute intoxication but also respiratory diseases, such as pneumoconiosis

Correspondence

Kazunori Ikegami: Department of Work Systems and Health, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan
E-mail: kikegami@med.uoeh-u.ac.jp



This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes. © 2019 The Authors.

and lung cancer, that develop over many years. Pneumoconiosis, in particular, is one of the most important respiratory diseases, and preventive measures have been implemented in accordance with several laws in Japan⁵⁻⁷⁾. While the number of individuals being diagnosed with pneumoconiosis and its complications is decreasing, approximately 200 new cases per year of pneumoconiosis have been diagnosed recently⁸⁾. Therefore, the improvement of dust exposure prevention measures is necessary. In 2018, the Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) published the 9th Comprehensive Measures to Prevent Hazards Due to Dust, which made thorough and proper use of RPE one of the priority measures in dust exposure prevention in the workplace⁹⁾.

The Ordinance on Industrial Safety and Health indicates that workers should be educated on the handling of personal protective equipment (PPE) in the event that they may be exposed to harmful substances⁴⁾. The notification on the selection and use of dust masks by the MHLW details the appropriate and inappropriate methods for wearing dust masks and the use of fit checkers¹⁰⁾. Inappropriate wearing of RPE may result in reduced respiratory protection because of the reduced contact between the RPE and the face. While workplace patrol by industrial health staff and health officers has identified occasional cases of improper wearing of RPE, few reports have surveyed the current status of respiratory protection in workplaces.

Here, we surveyed the types of RPE used by workers engaged in dust-generating work, the methods for wearing RPE, and awareness regarding respiratory protection. The aim of this study was to examine the present status of respiratory protection and the associated problems for workers engaged in dust-generating work and to determine the necessary measures related to RPE to prevent respiratory diseases due to dust.

Methods

Study design and setting

This was a cross-sectional study on respiratory protection using a questionnaire conducted in 10 plants of nine participating manufacturing companies in Japan. In addition, an on-site investigation was conducted sequentially after the questionnaire to improve the reliability of the questionnaire data. Using the categories provided by the Japan standard industrial classification¹¹⁾, the participating companies were categorized into the following industries: manufacture of iron and steel ($n=2$); manufacture of petroleum and coal products ($n=1$); manufacture of chemical and allied products ($n=1$); manufacture of ceramic, stone, and clay products ($n=1$); and manufacture of fabricated metal products ($n=4$). Regarding the number of workers, one factory had more than 1,000 workers, four had between 50 to 500, and five had less

than 50. The study period ranged from July until December 2018.

Participants and procedures

We distributed the original questionnaire regarding respiratory protection to 284 male workers at the participating companies who used RPE daily. We obtained informed consent for participation in the study from 212 participants (response rate, 74.6%), and data from all these participants were included in the analysis. We subsequently conducted an on-site investigation based on the responses.

Questionnaire

The questionnaire included questions about participants' basic work-related duties, the types of RPE used, the method for wearing RPE, and participants' awareness regarding respiratory protection (Supplementary Figure 1). The questionnaire was developed by gathering opinions from eight occupational physicians.

Questionnaire items on basic work-related characteristics

Participants were asked about their company and division name, nature of dust-generating work according to the Japan standard occupational classification¹²⁾, the period of engagement in dust-generating work, and the number of working days per week and working hours per day spent in dust-generating workplaces at the time of this study. In addition, participants were asked whether or not they had received training on methods for wearing RPE and assessment of the RPE leakage rate.

Questionnaire items on the type and method for wearing RPE

Participants were asked about the type, manufacturer, and model numbers of RPE that they used regularly (referred to as regular-use RPE). The options provided for the type of RPE were: disposable dust mask, replaceable filter dust mask, gas mask with dust-preventing function (replaceable filter mask), gas mask (replaceable filter mask) without dust-preventing function, powered air-purifying respirator (PAPR), supplied-air respirator, and other.

For workplaces in which both dust and harmful gas are generated, the notification by the MHLW^{10,13)} suggests first choosing a gas mask with dust protection, although it also suggests selecting a gas mask as an alternative option. Therefore, we included a "gas mask without dust-preventing function" as an option. Questions on the methods for wearing RPE enquired about the position of the headband and placement of something like fabric between the face-piece cushion and face when wearing the RPE. The position of the headband included four options that were depicted in the images: on the area from the parietal region to the occipital region (parietal-

occipital region) (most appropriate method), on the area from the occipital region to the posterior neck (occipital-posterior neck region), on the helmet, and other positions. Participants who selected the last option were requested to indicate the position of the headband on the image on the answer sheet. The options for the placement of something between the face-piece cushion and face when wearing RPE were: none (most appropriate method), knit covers (Supplementary Figure 2), towels, and other.

Awareness of respiratory protection

Participants were asked several questions about their awareness of respiratory protection, including whether or not they were following workplace guidelines regarding methods for wearing RPE, and what they thought about their own method of wearing RPE in terms of respiratory protection. The response options were: it is correct, it is incorrect, and no idea. Participants who chose the second response were requested to provide a reason.

On-site investigation

An on-site investigation was conducted to obtain detailed information on wearing RPE that was difficult to investigate using the questionnaire. Of the 10 plants, 8 agreed to the on-site investigation. This survey was started on July 2018 and was conducted sequentially after the questionnaire was completed in each plant. The investigators spent approximately half a day per factory observing the environment in which the participants actually worked when wearing RPE and checking the use of

RPE. We also interviewed some participants to confirm the actual use of RPE.

Analysis

Simple tabulation was performed for each question item. Some types of RPE, such as full-face masks and disposable masks, did not allow for variations in how they could be worn because their structures were fixed. Therefore, relevant question items were analyzed only among participants who regularly used replaceable filter half-masks (replaceable filter dust masks, gas masks, and gas mask with dust-preventing function). For assessment of the awareness of respiratory protection, only participants who regularly used replaceable filter masks were analyzed for the same reason. Participants were cross-tabulated for their awareness of RPE protection and the method by which they wore the RPE.

Ethics approval

This study was approved by the Ethics Committee of Medical Research, University of Occupational and Environmental Health, Japan. We explained the benefits and disadvantages of participating in this study to the participants to ensure that they made an informed decision.

Results

Basic work-related characteristics

Of the 212 participants, 70 (33.0%) worked in the manufacture of iron and steel, 55 (25.9%) in the manufac-

Table 1. Basic work-related characteristics (n = 212)

Items	n	(%)
Type of Industry		
Manufacture of iron and steel	70	(33.0%)
Manufacture of fabricated metal products	55	(25.9%)
Manufacture of chemical and allied products	40	(18.9%)
Manufacture of petroleum and coal products	38	(17.9%)
Manufacture of ceramic, stone, and clay products	9	(4.2%)
Type of occupation		
Manufacturing facility control and monitoring workers (metal products)	79	(37.3%)
Product manufacturing and processing workers (metal products)	55	(25.9%)
Manufacturing facility control and monitoring workers (except metal products)	41	(19.3%)
Product manufacturing and processing workers (except metal products)	37	(17.5%)
Years of dust generating work		
Less than 1	7	(3.3%)
1–4	41	(19.3%)
5–9	44	(20.8%)
10–19	59	(27.8%)
Over 20	59	(27.8%)
No response	2	(0.9%)
Days of dust generating work per week		
Less than 3	13	(6.1%)
3–4	24	(11.3%)
5	172	(81.1%)
No response	3	(1.4%)

ture of metal products, and 40 (18.9%) in the manufacture of chemical and allied products. Regarding the type of occupation, 79 participants (37.3%) were manufacturing facility control and monitoring workers (metal products), 55 (25.9%) were product manufacturing and processing workers (metal products), and 41 (19.3%) were manufacturing facility control and monitoring workers (except metal products).

Participants had spent an average of 14.3 years conducting dust-generating work, and 55.7% of participants had conducted such work for more than 10 years. Participants spent an average of 4.9 days per week performing dust-generating work in the current week, and 81.1% of participants worked more than 5 days per week (Table 1). They spent an average of 5.0 hours per day conducting dust-generating work.

Concerning education, 158 participants (74.5%) had been previously educated about respiratory protection, and 56 participants (26.4%) had previously tested the leakage rates of RPE in the workplace.

Type and method for wearing RPE by the participants

As regular-use masks, 113 participants (53.3%) used replaceable filter dust masks, 41 (19.3%) used disposable

dust masks, 30 (14.2%) used replaceable filter gas masks, and 21 (9.9%) used replaceable filter gas masks with dust protection. None of the participants used PAPR as a regular-use mask (Table 2). In the on-site investigation, we confirmed that both replaceable filter gas masks without dust protection and replaceable filter gas masks with dust protection were used in workplaces in which dust and large amounts of harmful organic gas were generated. Additionally, we noted that a few participants used PAPR when handling large amounts of heavy metal dust.

To examine methods for wearing RPE, we analyzed the position of the RPE headband. Given that the most appropriate position of the headband depends on the type of RPE being used, we only analyzed participants who regularly used replaceable filter half-masks ($n = 164$). Seventy participants (42.7%) wore the headband on the parietal-occipital region, 82 (50.0%) wore it on the helmet, 8 (4.9%) wore it on the occipital-posterior neck region, and 1 (0.6%) wore it on a cloth wrapped around the head. In the on-site investigation, we observed some participants who wore the RPE on their welding hood.

We also examined whether participants placed something like fabric between the face-piece cushion and face. Given that some types of RPE may not allow placement of a piece of fabric between the face-piece cushion and face, we only evaluated participants ($n = 164$) who regularly used replaceable filter masks. One hundred participants (61.0%) responded that they did not place anything between the face-piece cushion and face, while 64 (39.0%) responded that they did. As for the type of fabric, 45 (27.4%) used a knit cover, 20 (11.0%) used towels, and 1 (0.6%) used a non-woven mask (a replaceable mask layered over a non-woven mask) (Table 3). All participants who used towels were working in the manufacture of iron and steel. During the on-site investigation, we identified the reasons for wearing knit covers and towels. Some participants who used knit covers reported doing

Table 2. Types of respiratory protective equipment used by participants ($n = 212$)

Type of respiratory protective equipment	n	(%)
Replaceable filter dust mask	113	(53.3%)
Disposable dust mask	41	(19.3%)
Replaceable filter gas mask	30	(14.2%)
Replaceable filter gas mask with dust protection	21	(9.9%)
Powered air purifying respirator (PAPR)	0	(0.0%)
Supplied-air respirator	0	(0.0%)
Other respiratory protective equipment	0	(0.0%)
No response	7	(3.3%)

Table 3. Methods of wearing replaceable filter masks ($n = 164$)

	n	(%)
Position of the headband		
On the parietal-occipital region (most appropriate method ^a)	70	(42.7%)
On the helmet	82	(50.0%)
On the occipital-posterior neck region	8	(4.9%)
On the cloth wrapped around the head	1	(0.6%)
No response	3	(1.8%)
The fabric placed between face-piece cushion and face		
None (most appropriate method ^a)	100	(61.0%)
Knit cover	45	(27.4%)
Towel	18	(11.0%)
Nonwoven mask	1	(0.6%)

^a Most appropriate methods of wearing indicated by the Ministry of Health, Labour and Welfare and the personal protective equipment (PPE) manufacturers in Japan.

so to prevent the development of a rash due to the use of a replaceable filter RPE. However, many stated that they used the knit cover to relieve the discomfort associated with wearing the mask. Reasons for the use of towels included protecting the face from heat radiation and hot materials, with many participants using flame-retardant towels.

Awareness of respiratory protection

Of the 212 participants, 172 (81.1%) responded that they followed workplace protocols regarding methods for wearing RPE, 36 (17.0%) responded that they used their own methods for wearing RPE, 3 (1.4%) did not provide a response, and 1 (0.5%) provided an invalid response because it was an incorrect response method. Of the 212 participants, 156 (73.6%) believed that their method for wearing RPE was correct (in terms of respiratory protection), 18 (8.5%) indicated that their method was incorrect, 33 (15.6%) replied “I don’t know,” and 5 (2.6%) did not provide a response.

A total of 164 participants who regularly used replaceable filter masks were also analyzed. Of these, 114 participants (69.5%) believed that their method of wearing RPE was correct, 17 (10.4%) indicated that their method was incorrect, 29 (17.7%) replied “I don’t know,” and 4 (2.4%) did not provide a response. Of the 114 participants who thought their method for wearing RPE was correct, 29 (25.4%) wore the headband on the parietal-occipital region and did not place anything between the face-piece cushion and face, which is indicated by the MHLW and PPE manufacturers in Japan as the appropriate method. In contrast, 56 participants (49.1%) wore the headband on the helmet and 27 (23.7%) used a knit cover. Of the 17 participants who believed that their method for wearing

RPE was incorrect, 2 (11.8%) actually wore it correctly, 10 (58.8%) wore the headband on the helmet, and 7 (41.2%) placed a towel between the face-piece cushion and their face (Table 4). The following were the reasons why the participants were using the incorrect method while wearing RPE despite recognizing that their method is incorrect: “to relieve discomfort” in 9 (52.9%), “to relieve shortness of breath” in 3 (17.6%), and “difficulty detaching the RPE” in 1 (5.9%) participant.

Discussion

In this study, more than half of the participants had engaged in dust-generating work for more than 10 years. The average number of days spent conducting dust-generating work was 4.9 per week. This suggests that most participants were frequently exposed to dust. Approximately 75% of participants had previously been educated about respiratory protection, and approximately 25% had tested the leakage rate of RPE. Pneumoconiosis and its complications are known to be caused by very long-term exposure to dust¹⁴⁾. To help prevent pneumoconiosis, it is necessary to improve current measures, including providing regular education on respiratory protection and protective equipment.

The most frequently used RPE was the replaceable filter dust mask, followed by the disposable dust mask. No participants regularly used the PAPR, and some workplaces used PAPR only during specific operations, such as when handling large amounts of heavy metal dust. Japanese laws and regulations state that PAPR must be worn during certain work, including tunnel construction, asbestos removal, and handling of indium compound¹⁵⁻¹⁷⁾. In this study, no participants were engaged in these types

Table 4. Awareness of respiratory protection according to the methods of wearing respiratory protective equipment

Position of the headband of RPE	Fabric placed between the face-piece cushion and face	How do you think about your own method of wearing RPE in terms of respiratory protection?					
		It is correct. (n = 114)		It is incorrect. (n = 17)		I don't know. (n = 29)	
		n	(%)	n	(%)	n	(%)
On the parietal-occipital region (most appropriate method ^a)	None (most appropriate method ^a)	29	(25.4%)	2	(11.8%)	6	(20.7%)
	Knit cover	15	(13.2%)	3	(17.6%)	7	(24.1%)
	Towel	6	(5.3%)	2	(11.8%)	0	(0.0%)
On the occipital-posterior neck region	None (most appropriate method ^a)	2	(1.8%)	0	(0.0%)	2	(6.9%)
	Knit cover	3	(2.6%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
On the helmet	None (most appropriate method ^a)	43	(37.7%)	2	(11.8%)	7	(24.1%)
	Knit cover	9	(7.9%)	3	(17.6%)	4	(13.8%)
	Towel	4	(3.5%)	5	(29.4%)	1	(3.4%)
	Other	0	(0.0%)	0	(0.0%)	1	(3.4%)
On the cloth wrapped around head	None (most appropriate method ^a)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	1	(3.4%)
No response	None	3	(2.6%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)

^a Most appropriate methods of wearing indicated by the Ministry of Health, Labour and Welfare and the personal protective equipment (PPE) manufacturers in Japan.

of work, so they had no legal obligation to use PAPR. Given that PAPR is generally more effective than other dust masks for preventing respiratory impairment, it is desirable for workers to wear PAPR not only when conducting work that mandates its use but also when conducting other dust-generating work in which workers are frequently exposed to high dust concentrations¹⁰. However, PAPR is associated with a higher cost than other dust masks, which may be one reason why it is not more commonly used. We propose that appropriate PAPR use is important for respiratory protection in the future.

We surveyed participants using replaceable filter RPE about their preferred wearing method, including the position of the headband and placement of something like fabric between the face-piece cushion and face. We found that 50% of participants wore the headband on the helmet, which is a higher rate than that of those wearing it on the parietal-occipital region. One reason for a large number of participants wearing the headband on the helmet may be a difficulty with removal. Recently, most replaceable half-masks have now been made such that they are easy to temporarily remove when the headband is worn under a helmet. However, due to differences in methods for removal among replaceable half-masks, it is important for workers to choose a suitable type of RPE and to be provided with appropriate instruction on the correct method for use at worksites.

A total of 39% of participants indicated that they placed something between the face-piece cushion and face. A knit cover was the most commonly used, followed by towels. Face-pieces with knit covers are permitted only when there is a high risk of dermopathy and when the cover conforms to RPE fitting requirements. We found that knit covers were used to reduce discomfort, such as pressure on the face. Towels were also used for this reason, and as protection from radiant heat from furnaces. To ensure that workers receive appropriate respiratory and heat protection, it is necessary to identify measures to protect the body from heat while maintaining adequate respiratory protection, rather than prohibiting the use of towels completely.

Of the participants who reported that they were using the correct method for wearing RPE, approximately 25% were, in fact, wearing the RPE using the appropriate method indicated by the MHLW and PPE manufacturers. Additionally, 75% of all participants received education regarding respiratory protection and 80% were wearing RPE according to their workplace protocol. In this study, we investigated the implementation of education, but did not examine the contents of the education or its comprehension among recipients. Therefore, the education provided may not have been sufficient for participants to fully understand the appropriate methods for wearing RPE. The Occupational Safety and Health Administration in the United States indicates that a fit test must be

conducted before workers use RPE in the workplace, and that a retest must be performed at least every 12 months to ensure that the RPE fit is still appropriate¹⁸. The Health and Safety Executive in the United Kingdom also provides criteria for fit testing for RPE use¹⁹. In Japan, while the Occupational Safety and Health Regulations indicate that employers must educate workers and new employees or when there are changes to employees' work duties, it does not require fit testing of RPE, including measurement of the leakage rate. There may, in reality, be little opportunity for workers to confirm the fitting of their method of wearing RPE. It may be important and effective to conduct quantitative mask fit tests that include leakage rate measurements using a mask fitting tester²⁰, or qualitative mask fit tests, including evaluation using saccharin aerosol²¹ at worksites, as doing so will raise workers' awareness of the proper methods for wearing RPE and respiratory protection. In addition, in accordance with the guidelines for "selection, use, etc. of dust masks" issued by the MHLW Labor Standards Bureau of Japan¹⁰, employers should appoint a person to manage the use of RPE in the workplace. This person is responsible for selecting appropriate RPE and for providing instructions about the most appropriate method for wearing the RPE according to the work environment and relevant guidelines⁹.

When proper use is difficult due to personal factors, such as health conditions, several measures can be taken. For example, the worker can be relocated to a non-dust-generating worksite or to worksites where the personal dust exposure level is sufficiently low when the worker is wearing a disposable mask or an RPE-attached knit cover, or wearing a face-shield type PAPR. In any case, employers should consult an occupational physician or respiratory protection specialist regarding methods for improving the work environment, work condition and practice, and health management.

Limitations and future direction

This study has several limitations. First, all workplaces that participated in the questionnaire were classified into appropriate manufacturing industries according to the Japan standard industrial classification¹²; therefore, there could have been sampling bias. In addition to the manufacturing industry, other industries, such as mining, quarrying, gravel picking, and construction, also use RPE. Given that there are likely differences in the use and methods for wearing RPE among industries, it may not be possible to generalize the results to all industries or workplaces. Second, because the self-administered questionnaire is slightly complicated, it is possible that participants did not completely understand the meaning of the questions. Third, while this study revealed that RPE was worn in a variety of ways in the field, it was not clear to what extent these methods impaired protection.

We plan to measure and evaluate the leakage rate for the various methods for wearing RPE identified in this study.

Conclusion

Workers who engaged in dust-generating work used a variety of methods for wearing RPE, some of which may be reducing the effectiveness of the RPE. Our results suggest that work-related environmental factors and insufficient education regarding methods for wearing RPE may be leading to insufficient respiratory protection. Therefore, appropriate education, including background on respiratory protection and appropriate methods for wearing RPE, and fit tests should be conducted in the workplace to improve respiratory protection for workers.

Acknowledgements

We thank Soft Wave Pro Co., Ltd. for helping with data aggregation work and DMC Corp. for proofreading the manuscript. We would like to thank all participating companies, participants, and staff members.

Funding

This study was funded by a Health Labour Sciences Research Grant.

Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to be disclosed regarding this study.

Supplementary material

This article contains supplementary material (Appendix), which is available in the online version (doi: 10.1539/eohp.2019-0005-FS).

ORCID

Hajime Ando  <https://orcid.org/0000-0001-7717-0030>

Kazunori Ikegami  <https://orcid.org/0000-0001-5486-8639>

References

1. Personal PEH, ed. *Japan Safety Appliances Association*. Tokyo, Japan: Japan Industrial Safety and Health Association; 2011: 298-302. (In Japanese).
2. Kishimoto T. The Present Condition of Pneumoconiosis in Japan. *Japanese Journal of Occupational Medicine and Traumatology*. 2005; 53: 54-60. (In Japanese).
3. Jafari AJ, Assari MJ. Respiratory effects from work-related exposure to welding fumes in Hamadan, Iran. *Arch Environ Health*. 2004; 59(3): 116-120. [Medline] [CrossRef]
4. Yamada G, Igarashi T, Sonoda H, et al. Use of bronchopulmonary lavage for eliminating inhaled fume particles from a patient with arc welder's lung. *Intern Med*. 1998; 37(11): 962-964. [Medline] [CrossRef]
5. Industrial Safety and Health Act in Japan, 1972.
6. Pneumoconiosis Law in Japan, 1960.
7. Ministry of Labour Ordinance of Japan, Ordinance on Prevention of Hazards Due to Dust, 1979.
8. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan: Survey on occupational injury and illnesses. [Online]. 2018 [cited 2019 December 5]; Available from: URL: https://www.mhlw.go.jp/stf/sesakunituite/bunya/koyou_roudouukijun/anzen/toukei.html (In Japanese).
9. Ministry of Health, Labour and Welfare, Labor Standards Bureau of Japan: Ninth Comprehensive Measures to Prevent Hazards Due to Dust, which started from 2019. [online]. 2018 [cited 2019 December 15]; Available from: URL: https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12602000-Seisakutukatsukatsukan-Sanjikanshitsu_Roudouseisakutantou/0000197047.pdf (In Japanese).
10. Ministry of Health, Labour and Welfare Labor Standards Bureau of Japan: Selection, use, etc. of dust masks. [online]. 2005 [cited 2019 Jan 12]; Available from: URL: <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-46/hor1-46-4-1-0.htm> (In Japanese).
11. Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan Standard Industrial Classification (Rev. 13, October 2013). [online]. 2013 [cited 2019 Jun 12]; Available from: URL: http://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/seido/sangyo/index13.htm
12. Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan Standard Occupational Classification (Rev. 5th, December 2009). [online]. 2009 [cited 2019 Jun 12]; Available from: URL: http://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/seido/shokgyou/index09.htm
13. Ministry of Health, Labour and Welfare Labor Standards Bureau of Japan: Selection, use, etc. of gas masks. [online]. 2005 [cited 2019 Jun 14]; Available from: URL: <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/hor/hombun/hor1-46/hor1-46-3-1-0.htm> (In Japanese).
14. Nakano I, Usami I, Kishimoto T, et al. Complications of Pneumoconiosis In Rosai Hospital Group, Japanese journal of occupational medicine and traumatology 2013, 61: 236-242 (In Japanese).
15. Ministry of Labor Ordinance of Japan, Ordinance on Industrial Safety and Health. 1972.
16. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan, Ordinance on Prevention of Health Impairment due to Asbestos. 2005.
17. The Ministry of Labor Ordinance of Japan, Ordinance on Prevention of Hazards Due to Specialized Chemical Substance. 1972.
18. The Occupational Safety & Health Administration. *Respiratory Protection*. Washington, DC; 2011.
19. The Health and Safety Executives, Fit testing of respiratory protective equipment face-pieces. 2012.
20. Narukiyo Y, Tsukashima H, Nagoya T. [A study for the practical use of the mask fitting tester]. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 1995; 37(3): 177-185. (In Japanese). [Medline] [CrossRef]
21. Marsh JL. Evaluation of saccharin qualitative fitting test for respirators. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1984; 45(6): 371-376. [Medline] [CrossRef]