

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)

令和2年度 研究結果概要

研究代表者 大神 明

産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 教授

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。近年、電動ファン付き呼吸用保護具 (Powered Air Purifying Respirators, 以下 PAPR と略) が開発され、粉じんの防護性向上や装着に伴う身体負担の軽減に効果があるとされる。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した。

B 研究の方法・内容

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

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。

② 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場で、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。

参加者の平均年齢は、36.7歳、1日の作業中の呼吸用保護具の平均装着時間 (標準偏差) は、5.0 (1.8) 時間であった。

本研究は、PAPRの継続的な主観的使用感・身体負担感を評価するため、対象者にPAPRを1

か月間程度連続装着した場合の主観的な使用感（装着感，作業性，心身への負担感など）に関する調査を行った。

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（担当：分担研究者 岸本卓巳）

昨年度は耐火物粉砕作業員及び黒鉛等炭素製造作業員における通常防じんマスクと PAPR 使用に対するアンケート調査を行ったが，本年度は溶接作業員，粉体製造・粉砕作業員と築炉作業員を対象として同様の調査を行った。

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。興研社製 BL-1500 型 PAPR と重松製作所製 Sy-11 型 PAPR をこれら 4 事業場の粉じん作業員 41 名に貸与して，着用開始 3 時間後と 4 週間継続で着用した後の PAPR の装着感についてアンケート調査した。また，粉じん作業開始時には従来から着用していた通常防じんマスクの漏れ率を測定するとともに，新たに貸与した PAPR の漏れ率を着用 3 時間後に測定した。

④ ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発（担当：分担研究者 盛武敬）

PAPR 被験者の個人粉塵曝露量を随時測定し可視化することを目的とし，被験者に脱着可能で小型軽量の PM2.5 センサー（ウェアラブル粉塵測定デバイス）の開発を目指す研究の 3 年度目として，前回試作機（H30-H31 年度版）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タ警報機能を R2 年度改良型のコンセプトをまとめ，試作を行った。

⑤ 労働者の粉じんばく露状況を概観するウェアラブル粉塵測定デバイス（ウェアラブルパーティクルモニター（WPM））の粉じん職場における活用法の検討

ウェアラブルパーティクルモニター（WPM）性能検証では，ばく露チャンバー内に 9 台の WPM を設置し，チャンバー内にネブライザーで粒径の異なる標準粒子を拡散させた際の粉じん測定値を計測した。WPM による測定と並行して，KC-52（気中パーティクルカウンタ）でばく露チャンバー内の粉じん量を測定し，各 WPM と KC-52 それぞれの測定値を比較した。職場測定では，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 台の加湿器で食塩水を噴霧させた。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。

C 研究成果

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

取替え式防じんマスクを通常通り着用した条件（N-RPR）と、電動ファン付き呼吸用保護具を「取替え式防じんマスクの通常通りの着用方法」に準じて着用した条件（PAPR）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。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。

② 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

アンケート結果より以下のことが明らかになった。

- 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の軽減を感じやすいこと。呼吸機能が強い方のほうが、PAPRの呼吸の負担感の軽減を感じやすいこと。マスクの装着時間が短い方のほうが、PAPRの呼吸の負担感の軽減を感じやすいこと。

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

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 $0.26\text{mg}/\text{m}^3$ となり、粉じんの許容濃度を超えるが、PAPRでは $0.007\text{mg}/\text{m}^3$ であった。

対象とした41名中5名についてはPAPR着用後1日で使用を中止した。これら5名を除く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%を超える作業者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。

.

④ ウェアラブル粉塵測定デバイスの開発

今年度行ったウェアラブル粉塵測定デバイスの機能改良の概要は、以下の通りである。1) センサー部改良：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った。2) バッテリー改良：R2年度（今年度）では標準LiPoバッテリーの装着により、4.0hを超

えるより長時間の動作を実現できた。

3) 内蔵メモリーへの記録機能：R2 年度（今年度）では IoT クラウド Ambient と連携することにより確実かつ安全にデータを保全し，なおかつ Web 上でのリアルタイム閲覧やグラフ化，分析にも容易に対応できるようになった。

4) アラームによる警報機能：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。任意の閾値を超えた濃度が検出された場合に起動する。R2 年度（今年度）では親機は LED，子機はバイブレーションと機能が分かれるように改良した。

⑤ 労働者の粉じんばく露状況を概観するウェアラブル粉塵測定デバイス（ウェアラブルパーティクルモニター（WPM））の粉じん職場における活用法の検討

職場測定では，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。

D 結論

1) 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る。

2) ウェアラブル粉じんモニター装着により，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可能性があること確認され，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。

E 今後の展望

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員への 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。