

労災疾病臨床研究事業費補助金

ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究
(211101-01)

令和 3～5 年度 総合研究報告書

研究代表者 石田尾 徹

令和 6 年（2024 年）3 月

目 次

I. 総合研究報告

ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究 石田尾 徹	01
--	---------

II. 分担研究報告

1. ベリリウムに関する文献的調査 保利 一, 石田尾 徹, 山本 忍, 大藪 貴子, 東 秀憲	07
2. ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造・取扱いに関するアンケート調査 山本 忍, 石田尾 徹, 大藪 貴子, 東 秀憲, 保利 一	12
3. ベリリウムおよびベリリウム化合物製造・取扱い事業場におけるばく露実態調査 山本 忍, 石田尾 徹, 大藪 貴子, 東 秀憲, 保利 一	34
4. 模擬作業場の設計および施工 石田尾 徹, 山本 忍, 大藪 貴子, 東 秀憲, 保利 一	38
5. 真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作 石田尾 徹, 山本 忍, 大藪 貴子, 東 秀憲, 保利 一	47
6. 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究 東 秀憲, 大藪 貴子, 石田尾 徹, 山本 忍, 保利 一	59

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

.....111

研究代表者

石田尾 徹	産業医科大学	産業保健学部	作業環境計測制御学
-------	--------	--------	-----------

研究分担者

山本 忍	産業医科大学	産業保健学部	作業環境計測制御学
保利 一	産業医科大学	名誉教授	
大藪 貴子	産業医科大学	産業生態科学研究所	労働衛生工学
東 秀憲	産業医科大学	産業生態科学研究所	労働衛生工学

研究協力者

中山 彩	産業医科大学	産業保健学部	環境マネジメント学科
田代 将聖	産業医科大学	産業保健学部	環境マネジメント学科
檜室 文里	産業医科大学	産業保健学部	産業衛生科学科
渋谷 晃弘	産業医科大学	産業保健学部	産業衛生科学科
平井 哲哉	産業医科大学	産業保健学部	産業衛生科学科
内藤 敬祐	ウシオ電機（株）		

I. 総合研究報告

ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究

研究代表者 石田尾 徹

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 講師

研究要旨

本研究では、対象物質としてベリリウムを選択し、これを取り扱う作業の実態を把握し、有効な曝露防止対策を提案することを目的とした。研究は、文献的研究、現場調査および実験室的研究からなる。ベリリウムに関する文献を抽出し整理した結果、合金として原子力関連や兵器製造関連で多く使用されており、環境濃度も含め呼吸域でも高濃度となる報告例があった。工学的対策については、高流速の局所排気装置が環境濃度低減に有効であることが示唆された。アンケート調査（1112 事業場＋452 作業環境測定機関）では、回収数は「製造・取り扱いの可能性のある事業場」が 234 事業場（回収率 21.0%）、「作業環境測定機関」が 270 事業場（59.7%）であった。ベリリウム取り扱いがある事業場は延べ 32 事業場であった。製造・取り扱い時の状態としてはベリリウム合金 41%、ついでベリリウムが 24%であった。また、法令に基づいて適切に行われている事業場がある一方、排気設備のない事業場や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業場もあることがわかった。現場実態調査においては、協力が得られた電子部品・デバイス・電子回路製造業の 1 事業所を調査対象とした。個人ばく露濃度測定、作業環境測定および高濃度ばく露が予想される作業のスポット測定を実施した結果、ばく露濃度は定量下限値未満であり、適切に作業環境管理および作業管理がなされていた。実験室的研究を進めるために、模擬作業場を設計し建設した。その模擬作業場内に、真空紫外線を照射した金属粉じんに対する湿式回収装置を試作した。装置への室内空気の侵入を防ぐ改良を行ったところ、大気じんを約 93%以上カットすることができた。モデル粉じんの銅パウダーについて、ランプ消灯時は、区分 0.3 μm および 0.5 μm では粒子個数に差はみられなかったが、区分 1 μm 以上の金属粒子は水中に比較的回収されることがわかった。このことから、サイズが小さい粉じんは水に回収されにくいことが考えられた。ランプ点灯時では、全ての粒径区分において出口の粒子個数が入口より減少した。特に、区分 1 μm に着目すると、ランプ消灯時の回収率が 46.7%であるのに対して、ランプ点灯時の回収率は 60.0%と増加することがわかった。今後は、他のモデル粉じんを用いて実験データの収集・解析を行うとともに、回収率向上のための装置の改良を行う必要がある。呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズのパラメータとの相関関係について検討した。そのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、フィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法を提案した。

山本 忍

産業医科大学 産業保健学部

作業環境計測制御学 助教

保利 一

産業医科大学 名誉教授

大藪 貴子

産業医科大学 産業生態科学研究所

労働衛生工学 講師

東 秀憲

産業医科大学 産業生態科学研究所

労働衛生工学 教授

A. 研究目的

ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質（低濃度管理物質）を製造、取り扱っている工程では、対策を行うことにより、作業に伴って発生する有害物質の室内への拡散をある程度抑えることができたとしても、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するためには、発生状況を把握するとともに、状況に応じた適切な対策を実施する必要がある。

そこで本研究では、対象物質としてベリリウムを選択し、これを取り扱う作業の実態を把握し、有効な曝露防止対策を提案することを目的とした。なお、本研究では以下の内容について実施した。①ベリリウムに関する文献的調査（令和 3～5 年度）、②ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造・取扱いに関するアンケート調査（令和 3～4 年度）、③ベリリウムおよびベリリウム化合物製造・取扱い事業場におけるばく露実態調査（令和 4～5 年度）、④模擬作業場の設

計および施工（令和 3 年度）、⑤真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作（令和 4～5 年度）、⑥低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究（令和 3～5 年度）。

B. 研究方法

令和 3～5 年度の 3 年間において 6 研究を実施した。以下に詳細を示す。

①「ベリリウムに関する文献的調査」では、PubMed より、beryllium×environment で検索した結果 95 件、beryllium×exposure で検索すると 85 件、beryllium×ventilation で検索すると 20 件がそれぞれ hit した。これらの中から、ベリリウムの作業環境あるいはばく露濃度とベリリウムを取り扱う作業使用の実態、作業の種類、作業内容等、曝露状況等に関する文献を収集し整理した。

②「ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造・取扱いに関するアンケート調査」では、製造・取扱いの可能性がある 1112 事業場を調査対象とした。また、作業環境測定機関として、452 機関についても同様の調査を実施した。調査方法は、自己式質問紙調査により実施し、2022 年の 1 ヶ月間で実施した。質問紙は「製造・取扱いの可能性がある事業場」は安全衛生委員会、「作業環境測定機関」は作業環境測定業務担当者宛に依頼文と返信用封筒を同封し郵送した。回答者は、「製造・取扱いの可能性がある事業場」はベリリウム取扱い現場の責任者、「作業環境測定機関」は作業環境測定業務の責任者となるように依頼し、回答は記名式で実施した。

③「ベリリウムおよびベリリウム化合物製造・取扱い事業場におけるばく露実態調査」では、電子部品・デバイス・電子回路製

造業の 1 事業場を調査対象とした。ベリリウムばく露の可能性のある作業は、クリーンルーム内の真空蒸着機の内面に付着したベリリウム含有合金の清掃作業である。1 回の作業時間は、15～20 分程度で、清掃頻度は 1 月あたり約 1 回程度、作業者は 1 名で、クリーンルーム用の防じん服を着用し、不織布マスク、ポリエステル製防護手袋、牛革製の前掛けを着用していた。なお、真空蒸着機に局所排気装置等の排気設備は設置されていない。ばく露測定として、個人ばく露濃度測定、吸入性粉じんを対象とした作業環境測定および高濃度ばく露が予想される 2 つの作業について、作業時間全体を捕集時間としたスポット測定を実施した。個人ばく露測定はベリリウム取扱い作業（ばく露作業）、非取扱い作業（非ばく露作業）各 1 名にサンプラーを取り付け就業時間中捕集した。分析は誘導結合プラズマ原子発光分析法により行った。

④「模擬作業場の設計および施工」では、模擬作業場を設計・施工した。研究室内に独立した部屋を作り、卓上の囲い式の局所排気装置を常に稼働させ、気流を作り、陰圧状態を保つこととした。局所排気装置内で発生した粉じんについては、トラップユニット内に設置するバグフィルターあるいは水を用いたスクラバーを通して回収し、トラップユニットごと廃棄することとした。

⑤「真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作」では、④の模擬作業場内に試作することとした。装置は粉じん発生部、粉じん希釈部、湿式粉じん回収部、ファン及びバックアップフィルター部の大きく 4 つの部分を設計した。エキシマランプと空気が接触すると、エネルギーが非常

に大きい OH ラジカル等が生成し、これと金属粒子が接触することにより金属粒子がイオン化すると考えられる。イオン化した金属粒子が水槽内の水と接触し、金属粒子が水中に回収される。そして、金属粒子は水ごと処理することになる。回収できない場合を考慮して HEPA フィルターが内蔵されているファンを設置した。

⑥「低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究」では、成人男女対象者(36 名)に対して複数の使い捨て式あるいは半面形面体型取替え式呼吸用保護具に関する短縮定量的フィットテスト (TSI PortaCount 8048) を実施した。対象者が呼吸用保護具を装着してシールチェックをした後に短縮定量的フィットテストを行った。フィットテストの実施と同時に正面および横からの顔写真と顔面 3D 画像を撮影した。得られたフィットファクタ (FF) と対象者の顔写真および 3D 画像より得られる顔サイズのパラメータを用いて多変量解析を実行した。具体的には、フィットテストで得られた呼吸用保護具の FF を、NIOSH のフィットパネルに使用されている 10 カ所に唇幅を加えた顔サイズパラメータの組み合わせで FF に影響を及ぼす因子として解析した。11 個の顔サイズのパラメータの中で特に FF に影響の大きなパラメータを選定し、相関式を作成して呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、テスト結果と比較した。

C. 結果および考察

各研究では次の結果および考察を得た。

①「ベリリウムに関する文献的調査」では、本研究に有用と思われる文献を抽出した。ベリリウムばく露による疾患は感作性

と慢性肺疾患（CBD）が主要なものであった。ベリリウム作業としては原子力関連、兵器製造関連がかなり多く、他の精密機械加工に関してもこれらに関連したものと考えられる。ベリリウムは合金として使用されることが多いが、現在の TLV-TWA から考えれば、高濃度の作業が多かったことが推察される。一方、工学的対策については、1970～1977 年の大量生産期に局所排気装置が用いられていたが、1978～1982 年に生産が減少したため、以前に比べて環境濃度が減少（約 $0.3 \rightarrow 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）した。その後、局所排気装置は改良されたが、1983～1985 年には再び生産が増加したため環境濃度は変わっていない。1986～1988 年は生産が減少するとともに高流速の局所排気装置が設置されたことから、環境濃度は約 $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と改善されている。この様に米国のデータからも、高流速の局所排気装置が環境濃度低減に有効であることが示唆された。ACGIH は、2007 年にベリリウム及びその化合物の TLV-TWA の勧告値をそれまでの $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$) から $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.00005 \text{ mg}/\text{m}^3$) (Inhalable 粒子として)に変更した。日本産業衛生学会は、ベリリウムおよびベリリウム化合物 (Be として) $0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$ を勧告しているが、これは 1963 年に勧告されたものであり、その後更新はされていない。作業環境の管理濃度は、ACGIH 勧告値を考慮しつつも、ベリリウムおよびその化合物を製造または取り扱う事業場の工学的対策の現状や今後の実現可能性を踏まえ、2012 年に従来の $0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$ から $0.001 \text{ mg}/\text{m}^3$ に引き下げる改正を行っている。

②「ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造・取扱いに関するアンケート調査」で

は、質問紙の回収数は「製造・取扱いの可能性のある事業場」が 234 事業場（回収率 21.0%）、「作業環境測定機関」が 270 事業場（回収率 59.7%）であった。ベリリウム取扱いがある事業場は延べ 32 事業場であった。製造・取扱い時の状態としてはベリリウム合金 41%、ついでベリリウムが 24%であった。用途は試薬及び原料としての使用が約半数を占めた。含有率は、3%未満が 34%であり、不明が 49%であった。作業の種類はサンプリング作業及び鑄造作業がそれぞれ 26%、24%であった。年間の取扱量は 500 kg 未満が約半数を占め、それ以外は不明であった。取扱い時の状況は、作業場に局所排気装置等を設置し、工学的なばく露防止措置がされている事業場は 63%で、呼吸用保護具及び保護手袋を着用している事業場はそれぞれ 47%、72%であった。リスクアセスメントは 3 事業所（9%）で実施されており具体的な手法としては定量的手法（作業環境測定又は個人サンプリング法）であった。ばく露濃度測定の実施状況は、「製造・取扱いの可能性のある事業場」からの回答では全て未実施であったが、作業環境測定の対象となる含有率で取扱いがされている事業場はなかった。一方、「実施したことがある」と回答した作業環境測定機関うち 1 事業場のみ作業環境測定に加え、個人ばく露濃度測定も実施されていた。特殊健康診断の実施状況は、実施していないと回答した事業場が 16%あったが、それらの全ての事業場は特殊健診の対象とならない事業場であった。自由記述欄より、作業環境測定機関から、ベリリウムの含有率により作業環境測定の対象とならない事業場での作業環境測定等の定量的なリスクアセスメントの実施

の必要性を訴える回答があった。また、各質問項目において「不明」と回答したのは作業環境測定機関からのものであり、これは機関が把握していない、又は何らかの理由で回答を避けた可能性が考えられる。したがって、本結果は国内のベリリウム取扱い状況を十分に反映していない可能性もある。

③「ベリリウムおよびベリリウム化合物製造・取扱い事業場におけるばく露実態調査」では、個人ばく露濃度測定、作業環境測定、スポット測定を行った。現在、日本においては総粉じんとして日本産業衛生学会が許容濃度 0.002 mg/m^3 を勧告し、厚生労働省が管理濃度 0.001 mg/m^3 を示している。本調査では、個人ばく露濃度測定、作業環境測定およびスポット測定のいずれの測定に置いてもこの値を下回った。真空蒸着機には、局所排気装置等の排気設備はないものの、作業時間は短時間であり、粉じんの飛散も目視でほぼ確認されなかった。また、当該事業場は定期的な作業環境測定も実施しており、過去の測定においても第一管理区分を継続している。したがって、当該作業におけるベリリウムばく露における健康障害リスクは低いと考えられる。

④「模擬作業場の設計および施工」では、設計図をもとに施工を開始した。既存のブローの性能が約 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ であるため、模擬作業場内を陰圧にするための簡易排気装置の性能は最大で $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$ とした。可動式のダンパーを設置することにより、常に密閉状態を保つように工夫した。さらに、壁を断熱材にしたことにより、温度および湿度をコントロール可能となった。

⑤「真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作」では、旧吸入曝露室内

に新設した模擬作業場内で組み立てた。漏れをなくす改良により、粒径区分 $0.3 \mu\text{m}$ で約 95%、 $0.5 \mu\text{m}$ で約 93%の大気じんをカットすることができた。次に、粒子サイズ $1 \mu\text{m}$ の銅パウダーをダストフィーダーにセットし、湿式回収実験を行った。排気流量は $0.54 \text{ m}^3/\text{min}$ とした。ランプ消灯時の測定結果より、区分 $0.3 \mu\text{m}$ および $0.5 \mu\text{m}$ では粒子個数に差はみられなかったが、区分 $1 \mu\text{m}$ 以上の金属粒子は水中に比較的回収されることがわかった。このことから、サイズが小さい粉じんは水に回収されにくいことが考えられた。ランプ点灯時の測定結果より、全ての粒径区分において、出口の粒子個数が入口より減少した。特に、区分 $1 \mu\text{m}$ に着目すると、ランプ消灯時の回収率が 46.7%であるのに対して、ランプ点灯時の回収率は 60.0%と増加することがわかった。さらに回収率を増加させるためには、実験条件や照射条件等を検討する必要があると考える。

⑥「低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究」では、短縮定量的フィットテストの合否判定をまとめた。その結果、顔の横幅、縦幅および唇幅から得られる情報が FF およびフィットテストの合否判定結果に強く相関している傾向が示され、 FF の推定式を 2 変数で表現することで、実験結果を概ね良好に再現できた。一方、顔の正面写真による顔認識機械学習による FF の推定プログラムを Wolfram Mathematica™により作成し実行した。その結果、推定式と同精度以上で学習データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり、未学習データも平均で概ね 7 割程度再現可能であった。今後、学習データの精査や相関法の改善により、特に未学習データのフィット

テスト判定結果の推定精度向上等が課題である。各呼吸用保護具の *FF* の平均値、最小値および最大値より、自身の顔の大きさや形状に合った保護具を選定することも隙間からの漏れを防ぐためには重要である。一方で、各呼吸用保護具の *FF* の平均値とフィルタの透過率から推定される防護係数を指定防護係数と比較した結果、推定される防護係数はいずれも指定防護係数（JIS）を上回っているが、*FF* の平均値がいずれも合格値を超えており、作業者に適した呼吸用保護具を適切に装着していることが前提になっており、当然 *FF* の値が小さいものほど防護係数の推定値も小さくなる。このため、低濃度管理物質を取り扱う場合には、作業者の顔に適した密着性の高いと予想される取替え式の呼吸用保護具あるいはファン稼働時には面体内が正圧に保たれるため隙間からの漏れを防ぐ効果の高い P-PAPR の使用を推奨し、適切に装着したうえで作業を実施していただくことがよいと考えられる。

D. 結論

各研究では次の結論を得た。①文献を抽出し整理した結果、合金として原子力関連や兵器製造関連で多く使用されており、環境濃度も含め呼吸域でも高濃度となる報告例があった。工学的対策については、高流速の局所排気装置が環境濃度低減に有効であることが示唆された。②作業環境管理・作業管理・健康管理が法令に基づいて適切に行われている事業場がある一方、排気設備のない事業場や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業場もあることがわかった。今後は、取扱い実態に応じた作業環境管理・作業管理の構築が必要である。③

調査対象とした作業においては、ばく露濃度は定量下限値未満であり、適切に作業環境管理・作業管理がなされていた。④模擬作業場を設計し建設した。その結果、作業場内を陰圧状態に保つことができた。今後は、模擬作業場内に現場作業および環境を再現し、データ収集および解析を行う予定である。

⑤真空紫外線を照射した金属粉じんに対する湿式回収装置を試作した。装置への室内空気の侵入を防ぐ改良を行ったところ、大気じんを約 93% 以上カットすることができた。モデル粉じんである銅パウダーについては、ランプ点灯時の回収率は 60.0% であった。今後は、他のモデル粉じんを用いて実験データの収集・解析を行うとともに、回収率向上のための装置の改良を行う必要がある。⑥*FF* と顔サイズパラメータとの相関関係について検討した。顔サイズに関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、顔サイズパラメータのうち *FF* に大きな影響を与えるパラメータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法および低濃度管理物質の曝露防止対策としての保護具の有用性を検討・考察した。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

各章に記載

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

H. 引用文献

各章に記載

II. 分担研究報告

1. ベリリウムに関する文献的調査

保利 一¹, 石田尾 徹², 山本 忍³, 大藪 貴子⁴, 東 秀憲⁵

¹産業医科大学 名誉教授

²産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 講師, ³同助教,

⁴産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 講師, ⁵同教授,

研究要旨

本研究ではまず、ベリリウムの使用の実態、作業の種類、作業内容等、曝露状況等に関する国内外の文献を調査・収集した。ベリリウム作業のベリリウムについては、米国 OSHA が最終規則 (Final rule) を公表しており、事業所向けのガイドラインを公表しているため、これも参考にして作業の実態を調査した。その結果、国外でのベリリウム作業としては、主に原子力関連、兵器製造関連が多く、他の精密機械加工に関してもこれらに関連したものと思われる。一方、工学的対策については、1970 年代より局所排気装置が使われているが、高流速の局所排気装置の設置が環境濃度低減に有効である知見が得られた。

A. 研究目的

ベリリウムは、原子番号 4 の銀白色の金属である。密度が 1.85 g/cm^3 と金属としては小さく、熱伝導率が高い、線膨張率が小さい、防振特性が高い、弾性係数が高いなど優れた物理化学的特性を有しているため、金属ベリリウムとして、医療・航空宇宙・軍事・原子力等に、また合金、主にベリリウム銅として、精密機器・通信・自動車・産業機器等、産業界で広く利用されている。

ベリリウムは GHS 区分で発がん性が 1A のほか、呼吸器感作性、皮膚感作性、特定標的臓器・全身毒性(呼吸器系)(単回ばく露、反復ばく露)がいずれも区分 1 となっており、有害性が高いことから、米国の OSHA はベリリウムを取り扱う作業の労働衛生管理を強化するため、2017 年に最終規則(Final rule)を公表している。これは、一般産業、

建設業、造船業に分けて示しているが、いずれもベリリウムを 0.1%以上含有する物質が対象となっている。一方、わが国では、ベリリウムは特定化学物質の第 1 類に分類されているが、特化則の対象となるのはベリリウムを 1% (重量) 以上含有する製剤等、合金の場合はベリリウムを 3% (重量) を超えて含有するものに限られている。わが国で広く使用されているベリリウム銅合金の場合、ベリリウムの含有率は基本的に 3%未満であり、これらを取扱う作業については、作業環境測定や、特殊健康診断の義務はないため、実態が把握されているとはいえない。

本研究の目的は、ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効なばく露対策を検討することであり、そのためには、作業環境とばく露濃度、作業環境対策に関する情報を

収集する必要がある。以上のことから、本研究ではまず、ベリリウム使用の実態を把握するため、ベリリウムを使用する作業の種類、作業内容等、曝露状況等に関する国内外の文献を調査・収集することとした。

B. 研究方法

PubMed より、beryllium×environment で検索した結果、95 件、beryllium×exposure で検索すると 85 件、beryllium×ventilation で検索すると 20 件がそれぞれ hit した。これらの中から、ベリリウムの作業環境あるいはばく露濃度とベリリウムを取り扱う作業使用の実態、作業の種類、作業内容等、曝露状況等に関する文献を収集した。

C. 研究結果

検索結果から、本研究に有用と思われる文献を抽出した。ベリリウムばく露による疾患は感受性と慢性肺疾患（CBD）が主要なものである。Schuler ら[1]は、ベリリウム-銅製品の製造及び剥離作業を行っている事業場で作業環境濃度及び個人ばく露濃度とこれらの疾患との関連を調べ、 $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上で関連があると報告した。Madl ら[2]も 1970～2005 年にかけて同様の調査を行った結果、ばく露状況は年によっても作業によっても異なるが、これらの疾患を発症した濃度の中央値が $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったことを報告している。

Johnson ら[3]は、核兵器施設におけるベリリウムばく露の実態を調べ、ばく露防止策を検討している。1961～1997 年までの 36 年間に 101 作業場の 217,681 人のばく露濃度と 367,757 の定点のデータを収集した結果、

定点の濃度の中央値は $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であったが、鋳物工場では高濃度になるところがあった。また、個人ばく露は 1980 年代は中央値が $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える年もあったが、経年的に低下し、1990 年代は $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後となっていた。

Barnard ら[4]も 1970～1988 年にかけて核兵器製造工場におけるベリリウムの定点測定と個人ばく露の結果を収集した結果、定点の算術平均値が 1970 年代は $0.3 \sim 0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と推移していたが、80 年代後半は $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に低下したこと、一方、個人ばく露濃度は 1984～1987 年で $0.092 \sim 1.195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったことを報告している。

Kreiss[5]は、1984～1993 年におけるさまざまなベリリウム取扱作業において、59,360 の定点測定の結果、中央値（最大値）は 0.6 (2615) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、15,787 の呼吸域の測定で 1.4 (3759) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、18.5%が $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、3.6%が $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。179 の個人ばく露測定の結果は、中央値 1.0 （範囲 $0.1 \sim 52.6$ ） $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であることを示した。

Taiwo ら[6]は米国内の 4 社、3,185 名のアルミニウム精錬作業者について、ベリリウムのばく露濃度とベリリウム感作の関係について調べた結果、ばく露濃度は、 $<0.01 \sim 13.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （算術平均 $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、感作者は 9 名（0.47%）であった。

Kolantz ら[7]は、1940 年代から現在までのさまざまなベリリウム取扱作業における作業環境濃度、ばく露濃度について調べており、作業によって気中濃度は大きく異なること、作業環境濃度に比較し、ばく露濃度が高く、特に炉に原料を投入する工程にお

ける呼吸域の濃度が平均 $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と他の作業 ($0.1 \sim 0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) に比べて高いことを指摘している。

Deubner ら[8]は、1971 年から 1999 年までの鉱山と工場におけるベリリウムの作業環境濃度と個人ばく露濃度を調べた。経年的には気中濃度は低下していること、この間の定点測定での濃度の中央値は $0.3 \sim 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、個人ばく露濃度は $0.05 \sim 0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、作業内容によって濃度は大きく異なり、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるばく露を受ける場合もあった。

Armstrong ら[9]は、ベリリウムを取り扱う 4 つの施設におけるばく露濃度を測定した。幾何平均値は作業によって異なるが、 $0 \sim 3.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、特に粉体製造や真空ホットプレス作業が $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えて高濃度であり、その他の作業はほぼ $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ またはそれ以下の濃度であった。また、手袋や表面のベリリウム濃度も測定しているが、いずれもばく露濃度とよい相関がみられた。

以上を文献ごとに要約し、内容を整理した結果を表 1 に示す。物質の状態としては、銅ベリリウム合金をはじめ、ベリリウム合金という状態が最も多かった。作業内容としては、精錬、鋳造、細線製造、面取り、線材の焼鈍、酸洗、線引き、精密機械加工等があった。濃度に関しては、中央値として最小値 $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ からかなり幅がみられたが、たとえ中央値が $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であっても最大値としては $3 \text{ mg}/\text{m}^3 = 3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるような作業もあるなど、濃度のばらつきが大きいことがわかった。呼吸域のデータは定点より少ないが、中央値で $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、最大値としては $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度の

報告例があった。

D. 考察

表 1 より、ベリリウム作業[1-9]としては原子力関連、兵器製造関連がかなり多く、他の精密機械加工に関してもこれらに関連したものと考えられる。ベリリウムは合金として使用されることが多いが、現在の TLV-TWA から考えれば、高濃度の作業が多かったことが推察される。一方、工学的対策[4]については、1970～1977 年の大量生産期に局所排気装置が用いられていたが、1978～1982 年に生産が減少したため、以前に比べて環境濃度が減少（約 $0.3 \rightarrow 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）した。その後、局所排気装置は改良されたが、1983～1985 年には再び生産が増加したため環境濃度は変わっていない。1986～1988 年は生産が減少するとともに高流速の局所排気装置が設置されたことから、環境濃度は約 $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と改善されている。この様に米国のデータからも、高流速の局所排気装置が環境濃度低減に有効であることが示唆された。

ACGIH は、2007 年にベリリウム及びその化合物の TLV-TWA の勧告値をそれまでの $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$) から $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.00005 \text{ mg}/\text{m}^3$) (Inhalable 粒子として) に変更した。日本産業衛生学会は、ベリリウムおよびベリリウム化合物 (Be として) $0.002 \text{ mg}/\text{m}^3$ を勧告しているが、これは 1963 年に勧告されたものであり、その後更新はされていない。作業環境の管理濃度は、ACGIH 勧告値を考慮しつつも、ベリリウムおよびその化合物を製造または取り扱う事業場の工学的対策の現状や今後の実現可能性を踏

まえ, 2012 年に従来の 0.002 mg/m^3 から 0.001 mg/m^3 に引き下げる改正を行っている.

E. 結論

本研究では, ベリリウム作業の実態把握を目的として, ベリリウムの TLV-TWA が示された ACGIH の引用文献より, 本研究に有用と思われる文献を抽出し整理した. その結果, 合金として原子力関連や兵器製造関連で多く使用されており, 環境濃度も含め呼吸域でも高濃度となる報告例があった.

また, 工学的対策については, 高流速の局所排気装置が環境濃度低減に有効であることが示唆された. 文献的調査については, 引き続き行う必要がある.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 環境測定および曝露測定の調査結果

No.	物質の状態	作業内容	濃度 ($\mu\text{g/m}^3$)	n 数
1	銅ベリリウム合金	細線製造 面取り 線材の焼鈍, 酸洗 線引き	0.06(0.01-7.80) 0.03 (0.01-1.58) 0.12 (0.01-7.80) 0.06 (0.01-0.38)	650 人
2	金属ベリリウム, 酸化物, 合金	精密機械加工	0.02 (median) 0.2 (meam) 2 (95 パーセンタイル)	3831 人
3	金属ベリリウム	核兵器製造	0.11-0.72 (年平均曝露濃度) 0.02-0.32 (年平均定点濃度)	217681 人 367757 点
4	金属ベリリウム	核兵器製造	0.16 $\pm$ 0.33(定点) 1.04 $\pm$ 1.25(呼吸域)	102 点 102 人
5	金属ベリリウム, 酸化物, 合金, セラミックス)	ベリリウム製品(金属, 酸化物, 合金, セラミックス)製造プラント	0.4 (定点) 1.1 (呼吸域) 0.9 (襟元)	2274 人
6	金属ベリリウム	アルミニウム精錬	範囲 : <0.01-13.00 (TWA) GM 0.06 (GSD4.42) AM 0.25	3185 人
7	金属ベリリウム	原料投入	0.5(定点) 2.1(呼吸域)	174 点 5

8	金属ベリリウム	採鉱，粉碎，混合，セラミックス製造	Mean0.3-2.5(Max:271.2) 呼吸域 Mean 0.05-0.8(個人ばく露)	888 点 665 人
9	金属ベリリウム粉体，合金，酸化セラミックス	製品製造 酸化セラミックス 合金製品中間製造 合金剥離作業	GM:0.15(GSD:6.8) GM:0.10(GSD:6.0) GM:0.02(GSD4.5) GM:0.009(GSD:3.5)	325 44 44 22

引用文献：

- Schuler CR, Kent MS, Deubner DC, Berakis MT, McCawley M, Henneberger PK, Rossman MD, Kreiss K: Process-related risk of beryllium sensitization and disease in a copper–beryllium alloy facility. *Am J Ind Med* 47:195–205 (2005).
- Madl AK, Unice K, Brown JL, Kolan ME, Kent MS: Exposure-response analysis for beryllium sensitization and chronic beryllium disease among workers in a beryllium metal machining plant. *J Occup Environ Hyg* 4(6):448–466 (2007).
- Johnson JS Foote K, McClean M, Cogbill G: Beryllium exposure control program at the Cardiff atomic weapons establishment in the United Kingdom *Appl Occup Environ Hyg* 16(5):619–630 (2001).
- Barnard AE, Torma-Krajewski J, Viet SM: Retrospective beryllium exposure assessment at the rocky flats environmental technology site. *Am Ind Hyg Assoc J* 57:804-808 (1996).
- Kreiss K Mroz MM, Zhen B, Wiedemann H, Barnaet B: Risks of beryllium disease related to workprocesses at a metal, alloy, and oxide production plant *Occup Environ Med* 54:605–612 (1997).
- Taiwo OA, Slade MD, Cantley LF, Kirsche SR, Wesdock JC Cullen MR: Prevalence of beryllium sensitization among aluminium smelter workers. *Occup Med* 60(7):569-571(2010)
- Kolan ME, Madl AK, Kelsh MA, Kent MS, Kalmes RM, Paustenbach DJ: A Comparison and critique of historical and current exposure assessment methods for beryllium: Implications for evaluating risk of chronic beryllium disease. *Appl Occup Environ Hyg* 65(5): 593-614(2001)
- Deubner DC, Lowney YW, Paustenbach DJ, Warmerdam J: Contribution of incidental exposure pathways to total beryllium exposures. *Appl Occup Environ Hyg* 16(5):579–592 (2001).
- Armstrong JL, Day GA, Park JY, Stefaniak AB, Stanton ML, Deubner DC, Kent MS, Schuler CR, Virji MA: Migration of beryllium via multiple exposure pathways among work processes in four different facilities. *J Occup Environ Hyg.* 2014; 11(12): 781–79 (2014)

II. 分担研究報告

2. ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造・取扱いに関するアンケート調査

山本 忍¹, 石田尾 徹², 大藪 貴子³, 東 秀憲⁴, 保利 一⁵

¹産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 助教, ²同講師

³産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 講師, ⁴同教授

⁵産業医科大学 名誉教授

研究要旨

本研究では、国内におけるベリリウム及びベリリウム化合物の取扱い等の現状を把握し、適切なばく露低減対策を構築するための基礎資料を得ることを目的とし、1564 事業場を対象にアンケート調査を実施した。その結果、作業環境管理、作業管理、健康管理が法令に基づき適切に行われている事業場がある一方、排気設備のない事業場や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業場もあることがわかった。

A. 研究目的

ベリリウム及びベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、従来の工学的対策（特別則で定められた排気装置の性能要件など）では作業環境管理が適切であると判断される状態にすることが困難であることが予想され、そのような場合は状況に応じた適切な作業環境管理、作業管理が求められる。

ベリリウムのばく露評価に係る規制は特定化学物質障害予防規則のみで作業環境測定及び特殊健康診断の対象となるのはベリリウム含有重量が、1%を超えるベリリウム化合物及び 3%を超えるベリリウム合金のみである。豊岡らは、ベリリウムは日本において主にベリリウム銅合金として使用され、合金として製品利用されるベリリウム銅合金のベリリウム含有率は 0.5–3%であり、流通しているベリリウム銅合金は、ベリリウム含有率 2%以下とみられると報告している[1]。

したがって、従来の労働安全衛生法に基づく作業環境測定及び特殊健康診断ではベリリウムのばく露実態を把握できていないと言えない。本検討では、国内におけるベリリウム取扱いの現状を把握し、適切なばく露低減対策を構築するための基礎資料を得ることを目的とし、製造・取扱いの可能性のある事業場及び作業環境測定機関にアンケート調査を実施した。

B. 研究方法

(1) 対象と調査方法

調査対象は、「製造・取扱いの可能性のある事業場」として、ベリリウム銅の製造メーカー及びその仕入れ・納入先、一般社団法人一般社団法人新金属協会正会員及び賛助会員、日本鋳業協会正会員、一般社団法人日本伸銅協会正会員及び賛助会員、社団法人日本銅センター賛助会員、一般社団法人日本鋳造協会法人正会員及び団体正会員、公益社団法人日本作業環境測定協会自社測定事

業場及び委託測定事業場、公益社団法人保安用品協会普通会員の 1112 事業場とした。また、「作業環境測定機関」として、公益社団法人日本作業環境測定協会の作業環境測定機関及び指定測定機関の 452 機関についても委託・受注先における同様の調査を実施した。調査対象の詳細を表 1 に示す。

調査方法は、自己式質問紙調査（郵送法）により実施し、2022 年 4 月 14 日から 5 月 13 日の 1 ヶ月間で実施した。質問紙は「製造・取扱いの可能性のある事業場」は安全衛生委員会、「作業環境測定機関」は作業環境測定業務担当者宛に依頼文と返信用封筒を同封し郵送した。回答者は、「製造・取扱いの可能性のある事業場」はベリリウム取扱い現場の責任者、「作業環境測定機関」は作業環境測定業務の責任者となるように依頼し、回答は記名式で実施した。

(2) 調査項目

調査項目は、労働安全衛生法第 100 条及び労働安全衛生規則第 95 条の 6 に基づき厚生労働省が平成 18 年より実施している「有害物ばく露作業報告制度」(2022 年より休止)における報告項目を参考に、独自の項目も追加し、①事業場の基本情報（7 及び 8 項目）、②ベリリウムの製造・取扱いについて（11 項目）、③取扱い時の状況（5 項目）、④リスクアセスメントの実施状況（7 及び 10 項目）⑤健康影響に対する取り組み状況（2 項目）、⑥その他（2 項目）とした。なお、項目数が 2 パターンある場合は前者が「製造・取扱いの可能性のある事業場」、後者が「作業環境測定機関」である。

(3) 分析方法

各質問項目について単純集計を行った。

C. 研究結果及び考察

質問紙の回収数は「製造・取扱いの可能性のある事業場」が 234 事業場（回収率 21.0%）、「作業環境測定機関」が 270 事業場（回収率 59.7%）であった。ベリリウム取扱いがある事業場は延べ 32 事業場であった。各質問項目に対する集計結果を表 2～表 20 に示す。

製造・取扱い時の状態としてはベリリウム合金 41%、ついでベリリウムが 24%であった。用途は試薬及び原料としての使用で約半数を占めた。含有率は、3%未満が 34%であり、不明が 49%であった。作業の種類はサンプリング作業及び鑄造作業がそれぞれ 26%、24%であった。年間の取扱量は 500 kg 未満が約半数を占め、それ以外は不明であった。取扱い時の状況は、作業場に局所排気装置等を設置し、工学的なばく露防止措置がされている事業場は 63%で、呼吸用保護具及び保護手袋を着用している事業場はそれぞれ 47%、72%であった。リスクアセスメントは 3 事業所（9%）で実施されており具体的な手法としては定量的手法（作業環境測定又は個人サンプリング法による測定）であった。ばく露濃度測定の実施状況は、「製造・取扱いの可能性のある事業場」からの回答では全て未実施であったが、作業環境測定の対象となる含有率で取扱いがされている事業場はなかった。一方、「実施したことがある」と回答した作業環境測定機関うち 1 事業場のみ作業環境測定に加え、個人ばく露濃度測定も実施されていた。特殊健康診断の実施状況は、実施していないと回答した事業場が 16%あったが、それらの全ての事業場は特殊健診の対象とならない

事業場であった。なお、質問の最後に自由記述欄を設けており、作業環境測定機関から、ベリリウムの含有率により作業環境測定の対象とならない事業場での作業環境測定等の定量的なリスクアセスメントの実施の必要性を訴える回答があった。

また、各質問項目において「不明」と回答したのは作業環境測定機関からのものであり、これは作業環境測定機関が把握していない、又は何らかの理由で回答を避けた可能性が考えられる。したがって、本結果は国内のベリリウム取扱い状況を十分に反映していない可能性もある。

D. 結論

作業環境管理・作業管理・健康管理が法令に基づいて適切に行われている事業場がある一方、排気設備のない事業場や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業場もあることがわかった。今後は、取扱い実態に応じた作業環境管理・作業管理の構築が必要である。

E. 引用文献

1. 豊岡達士, 甲田茂樹 (2021): ベリリウ

ム及びその化合物による健康障害の防止対策と職場における労働衛生管理—最近の動向と我が国の課題—。産業衛生学雑誌 63(2): 31-42

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

【論文発表】 なし

【学会発表】

1. 平井哲哉, 山本忍, 石田尾徹, 中山彩, 大藪貴子, 東秀憲, 保利一: ベリリウム製造・取扱い事業所に関するアンケート調査, 第 40 回産業医科大学学会, 2022 年 10 月
2. 山本忍, 石田尾徹, 大藪貴子, 東秀憲, 保利一: ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造と取扱いに関する質問紙調査, 第 96 回日本産業衛生学会, 2023 年 5 月

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 調査票送付先

調査票送付先		事業場数
製造・取扱いの可能性のある事業場		
ベリリウム銅製造メーカー及びその仕入先・納入先		147
一般社団法人 新金属協会	正会員	19
	賛助会員	20
日本鋳業協会	正会員	45
	賛助会員	13
一般社団法人 日本伸銅協会	正会員	30
	賛助会員	13
社団法人 日本銅センター	正会員	24
	賛助会員	24
一般社団法人 日本鋳造協会	法人正会員	329
	団体正会員	402
公益社団法人 日本作業環境測定協会	自社測定機関	34
	委託測定事業場	13
公益社団法人 保安用品協会	普通会員	36
作業環境測定機関		
公益社団法人 日本作業環境測定協会	作業環境測定機関	451
	指定測定機関	1

表 2 事業の種類

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 飲料・たばこ・飼料製造業	1	3.1
(2) 窯業・土石製品製造業	1	3.1
(3) 非鉄金属製造業	4	12.5
(4) 金属製品製造業	6	18.8
(5) 生産用機械器具製造業	1	3.1
(6) 業務用機械器具製造業	1	3.1
(7) 電子部品・デバイス・電子回路製造業	2	6.3
(8) その他製造業	4	12.5
(9) その他	11	34.4
(10) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 3 製造・取扱い時のベリリウムの状態（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) ベリリウム	8	23.5
(2) ベリリウム合金	14	41.2
(3) その他	4	11.8
(4) 不明	7	20.6
(5) 未記入	1	2.9
合計	34	100

表 4 ベリリウム及びベリリウム化合物の用途（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 製造	1	3.0
(2) 原料として使用	7	21.2
(3) 触媒等	2	6.1
(4) 表面処理等	1	3.0
(5) 試薬として使用	9	27.3
(6) 回収・リサイクル	1	3.0
(7) その他	7	21.2
(8) 不明	4	12.1
(9) 未記入	1	3.0
合計	33	100

表 5 ベリリウム及びベリリウム化合物のベリリウム含有率（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 0.1%未満	3	8.6
(2) 0.1%以上1%未満	1	2.9
(3) 1%以上3%未満	8	22.9
(4) 3%以上	5	14.3
(5) 不明	17	48.6
(6) 未記入	1	2.9
合計	35	100

表6 ベリリウム及びベリリウム化合物を製造又は取扱うことにより
ばく露を受ける恐れがある作業（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 成形・加工又は発泡の作業	3	7.1
(2) 研磨・バリ取り	2	4.8
(3) 掻き落とし・剥離又は回収作業	3	7.1
(4) 軽量・配合等	3	7.1
(5) サンプルング等	11	26.2
(6) 成形・加工等	1	2.4
(7) 鋳造等	10	23.8
(8) 破碎・粉碎等	1	2.4
(9) 保守・点検等	2	4.8
(10) その他	3	7.1
(11) 不明	2	4.8
(12) 未記入	1	2.4
合計	42	100

表7 ベリリウム及びベリリウム化合物の年間の製造・取扱い量

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 500kg未満	15	46.9
(2) 不明	16	50.0
(3) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 8 作業 1 回当たりの製造・取扱い量

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 1kg未満	15	46.9
(2) 1kg以上1t未満	3	9.4
(3) 不明	13	40.6
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 9 ベリリウム及びベリリウム化合物の物理的性状（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) ペレット状の固体	8	21.1
(2) 結晶又は粒状の固体	8	21.1
(3) 微細・軽量パウダーも	5	13.2
(4) 液体	4	10.5
(5) 不明	7	18.4
(6) 未記入	1	2.6
(7) その他	5	13.2
合計	38	100

表 10 ベリリウム及びベリリウム化合物の取扱い時における温度
(複数回答可)

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 0-25℃	16	45.7
(2) 25-50℃	2	5.7
(3) 150℃以上	10	28.6
(4) 不明	6	17.1
(5) 未記入	1	2.9
合計	35	100

表 11 1日当たりの作業時間（作業者1人当たりの1日の
平均ばく露作業時間）（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 15分未満	11	33.3
(2) 15分以上30分未満	4	12.1
(3) 30分以上1時間未満	1	3.0
(4) 1時間以上3時間未満	2	6.1
(5) 3時間以上5時間未満	1	3.0
(6) 5時間以上	3	9.1
(7) 不明	10	30.3
(8) 未記入	1	3.0
合計	33	100

表 12 ベリリウム及びベリリウム化合物取扱い作業者数

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 5人未満	17	53.1
(2) 5人以上10人未満	4	12.5
(3) 10人以上20人未満	2	6.3
(4) 20人以上	1	3.1
(5) 不明	7	21.9
(6) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 13 排気設備等の設置状況（複数回答可）

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 密閉化設備	2	5.0
(2) 囲い式	10	25.0
(3) 外付け式	13	32.5
(4) 全体換気	7	17.5
(5) 設備無し	4	10.0
(6) 不明	3	7.5
(7) 未記入	1	2.5
合計	40	100

表 14 呼吸用保護具の着用状況

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 未着用	11	34.4
(2) 着用	15	46.9
(3) 不明	5	15.6
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 15 保護手袋の着用状況

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 未着用	3	9.4
(2) 着用	23	71.9
(3) 不明	5	15.6
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 16 保護衣の着用状況

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 未着用	16	50.0
(2) 着用	11	34.4
(3) 不明	4	12.5
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 17 ベリリウム及びベリリウム化合物の健康影響に関する
リスクアセスメント実施

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 実施したことがある	3	9.4
(2) 実施したことはない	17	53.1
(3) 不明	11	34.4
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 18 ベリリウム及びベリリウム化合物のばく露濃度測定実施

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 実施したことがある	24	77.4
(2) 実施したことはない	6	19.4
(3) 未記入	1	3.2
合計	31	100

表 19 ベリリウム及びベリリウム化合物の特殊健康診断実施

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 実施している	6	18.8
(2) 実施していない	5	15.6
(3) 不明	19	59.4
(4) その他	1	3.1
(5) 未記入	1	3.1
合計	32	100

表 20 ベリリウム及びベリリウム化合物の使用
又は使用後に健康影響を訴えた作業

	事業場数(延べ)	割合(%)
(1) 健康影響の訴えがあった	0	0.0
(2) 健康影響の訴えがなかった	10	31.3
(3) 不明	21	65.6
(4) 未記入	1	3.1
合計	32	100

37. ベリリウム製造・取扱い事業所に関するアンケート調査

平井 哲哉¹, 山本 忍², 石田尾 徹², 中山 彩³,
大藪 貴子⁴, 東 秀憲⁴, 保利 一⁵

¹ 産業医科大学 産業保健学部 産業衛生科学科2年

² 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³ 産業医科大学 産業保健学部 環境マネジメント学科4年

⁴ 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

⁵ 産業医科大学 名誉教授

目 的 国内におけるベリリウム取扱いの現状を把握し、適切なばく露低減対策を構築するための基礎資料を得ることを目的としアンケート調査を実施した。
対象・方法 調査対象は「製造・取扱いの可能性のある事業所」として1112事業所、作業環境測定機関452機関とし、自記式質問紙調査により実施した。調査票は、「事業所の基本情報」、「ベリリウムの製造・取扱いについて」、「取扱い時の状況」、「リスクアセスメントの実施状況」等で構成され、回答は記名式で、事業所の実務管理者が回答者となるように依頼した。調査時期は2022年4月14日から5月13日の1か月間とした。

結 果 回収率は32.2%であった。取扱いのあった事業所は延べ32事業所であった。製造・取扱い時の状態としてはベリリウム合金41%、ついでベリリウムが23%であった。用途は試薬、原料としての使用で約半数を占めた。含有率は、3%未満が34%であり、不明が49%であった。作業の種類はサンプリング作業(26%)、铸造作業(24%)であった。年間の取扱量は500 kg未満が半数を占め、それ以外は不明であった。取扱い時の状況は、作業場に局所排気装置を設置している事業所は63%で、呼吸用保護具および保護手袋を着用している事業所はそれぞれ47%、71%であった。リスクアセスメントの実施率は10%であった。

考 察 全ての質問項目で「不明」と回答したのは作業環境測定機関からの回答であった。これは作業環境測定機関が把握していない、または何らかの理由で回答を避けた可能性がある。したがって、本結果は国内のベリリウム取扱い状況を十分に反映していない可能性もある。しかしながら、作業環境管理・作業管理が十分に行われている事業所がある一方、排気設備のない事業所や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業所もあった。今後は、取扱い実態に応じた作業環境管理・作業管理の構築が必要である。

謝 辞 本研究は、労災疾病臨床研究補助金事業の助成を受け実施しました。

OD32-1

ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造と取扱いに関する質問紙調査

山本 忍¹⁾、石田尾 徹¹⁾、大藪 貴子²⁾、
東 秀憲²⁾、保利 一³⁾

¹⁾産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学、²⁾産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学、³⁾産業医科大学 名誉教授

【目的】ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、従来の工学的対策では作業環境管理が適切であると判断される状態にすることが困難であることが予想され、そのような場合は状況に応じた適切な作業環境管理、作業管理が求められる。ベリリウムの作業環境測定の対象となるのはベリリウム含有重量が1%を超えるベリリウム化合物あるいは3%を超えるベリリウム合金のみである。しかし、日本において主に使用されるベリリウム合金中のベリリウム含有率は0.5–3%であり、労働安全衛生法に基づく作業環境測定ではベリリウムばく露の実態を把握できているとは言えない。そこで、本研究では国内におけるベリリウム取扱いの現状を把握し、適切なばく露低減対策を構築するための基礎資料を得ることを目的とし、事業場および作業環境測定機関にアンケート調査を実施した。【方法】調査対象は「製造・取扱いの可能性のある事業場」として1112事業場、作業環境測定機関452機関とし、自記式質問紙調査により実施した。調査票は、「事業場または測定機関の基本情報」、「ベリリウムの製造・取扱いについて」、「取扱い時の状況」、「リスクアセスメントの実施状況」、「健康影響に対する取り組み状況」等で構成され、回答は記名式で、事業場の現場責任者または作業環境測定業務の責任者が回答者となるように依頼した。調査時期は2022年4月14日から5月13日の1か月間とした。【結果および考察】回収率は32%であった。取扱いのあった事業場は延べ32事業場であった。製造・取扱い時の状態としてはベリリウム合金41%、ついでベリリウムが23%であった。用途は試薬および原料としての使用で約半数を占めた。含有率は、3%未満が34%であり、不明が49%であった。作業の種類はサンプリング作業および鋳造作業がそれぞれ26%、24%であった。年間の取扱量は500 kg 未満が半数を占め、それ以外は不明であった。取扱い時の状況は、作業場に局所排気装置を設置している事業場は63%で、呼吸用保護具および保護手袋を着用している事業場はそれぞれ47%、71%であった。リスクアセスメントの実施率は10%であった。ばく露濃度測定の実施状況は、取扱い事業場からの回答では全て未実施であったが、作業環境測定の対象となる含有率で取扱いがされている事業場はなかった。特殊健康診断の実施状況は、実施していないと回答した事業場が16%あったが、それらの全ての事業場は特殊健診の対象とならない事業場であった。また、各質問項目において「不明」と回答したのは作業環境測定機関からのものであり、これは作業環境測定機関が把握していない、または何らかの理由で回答を避けた可能性が考えられる。したがって、本結果は国内のベリリウム取扱い状況を十分に反映していない可能性もある。本調査から、作業環境管理・作業管理・健康管理が法令に基づいて適切に行われている事業場がある一方、排気設備のない事業場や適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業場もあることがわかった。今後は、取扱い実態に応じた作業環境管理・作業管理の構築が必要である。【謝辞】本研究は、労災疾病臨床研究補助金(211101-01)の助成を受けたものである。【利益相反】演題発表に関連し、発表者らが開示すべきCOI関係にある企業等はありません。

ベリリウムおよびベリリウム化合物の 製造と取扱いに関する質問紙調査

山本 忍¹⁾, 石田尾 徹¹⁾, 大藪 貴子²⁾, 東 秀憲²⁾, 保利 一³⁾

1) 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

2) 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

3) 産業医科大学 名誉教授

問い合わせ先: shinobu-y@health.uoeh-u.ac.jp (山本 忍)

演題発表に関連し、発表者らが開示すべきCOI関係にある企業等はありません

背景

- ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造, 取り扱う工程では, 従来の工学的対策では作業環境管理が適切であると判断される状態にすることが困難であることが予想され, そのような場合は状況に応じた適切な作業環境管理, 作業管理が求められる。
- ベリリウムのばく露評価に係る規制は特定化学物質障害予防規則のみで作業環境測定および特殊健康診断の対象となるのはベリリウム含有重量が1%を超えるベリリウム化合物あるいは3%を超えるベリリウム合金のみである。
- ベリリウムは日本において主にベリリウム銅合金として使用され, 合金として製品利用されるベリリウム銅合金のベリリウム含有率は0.5-3%であり, 流通しているベリリウム銅合金は, ベリリウム含有率2%以下とみられるとの報告もある。
- したがって, 従来の作業環境測定および特殊健康診断ではベリリウムのばく露実態を把握できているとは言えない。

目的

ベリリウムの取扱実態を把握し, 適切な工学的改善手法およびばく露防止対策を構築する基礎資料を得る

方法 調査対象など

調査対象

1. 製造・取扱い事業者;1112事業所
2. 作業環境測定機関;452機関

調査方法

自記式質問紙調査(郵送法)

調査期間

2022年4月14日～5月13日
(約1ヶ月間)

回答者

製造・取扱い事業者;現場担当者
作業環境測定機関;測定業務の責任者が
回答者になるように依頼

集計方法

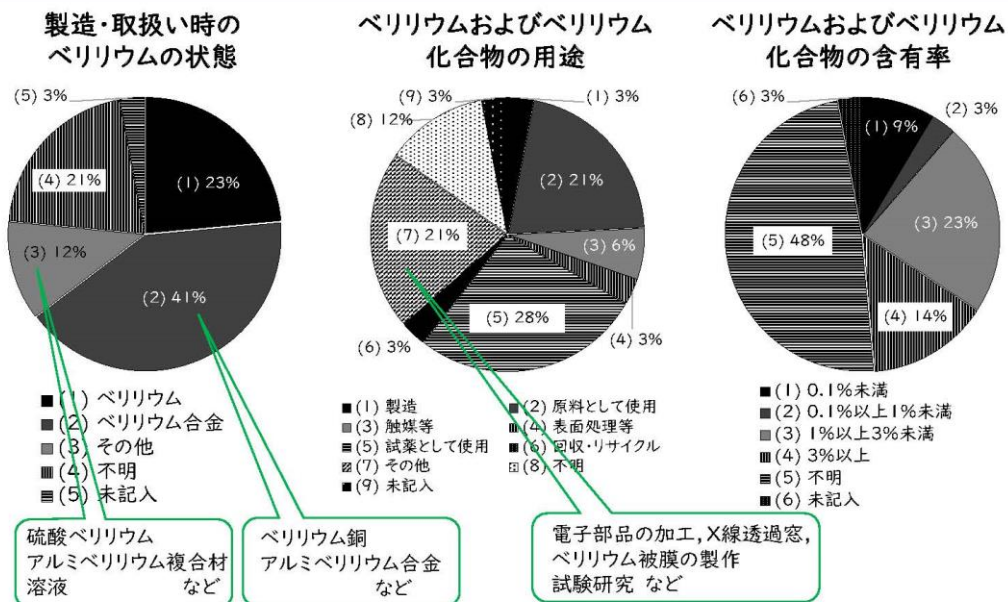
ベリリウムの製造・取扱いがあると回答した
事業者および作業環境測定機関の単純集計

調査項目

- I. 事業所の基本情報
- II. ベリリウムの製造・取扱いについて
- III. 取扱い時の状況
- IV. リスクアセスメントの実施状況
- V. 健康影響に対する取り組み状況
- VI. その他

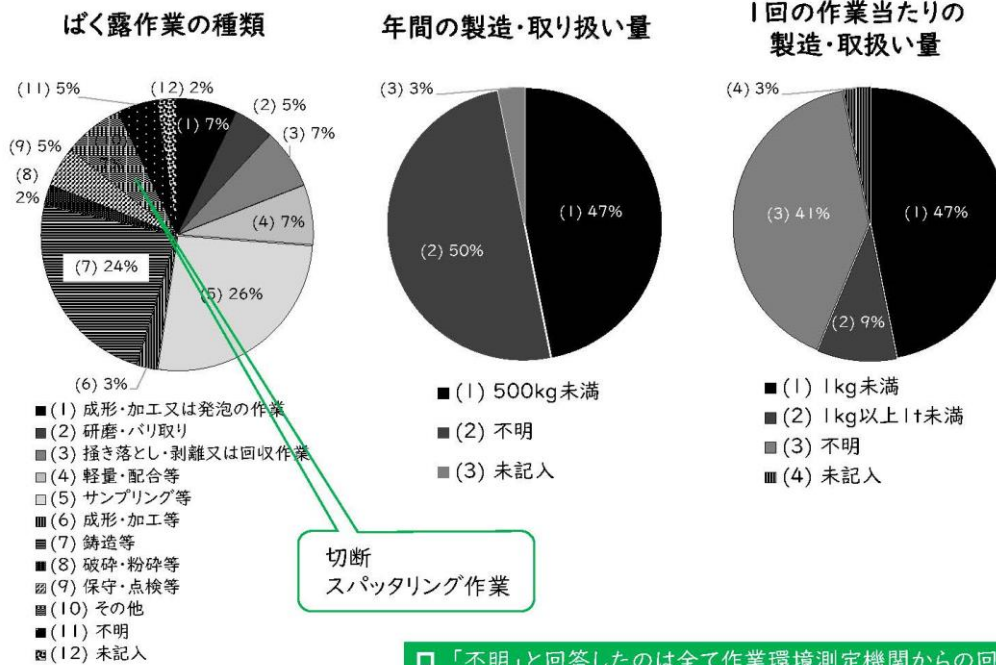
■ 回収率;32.2%

結果① ベリリウムの製造・取扱いについて

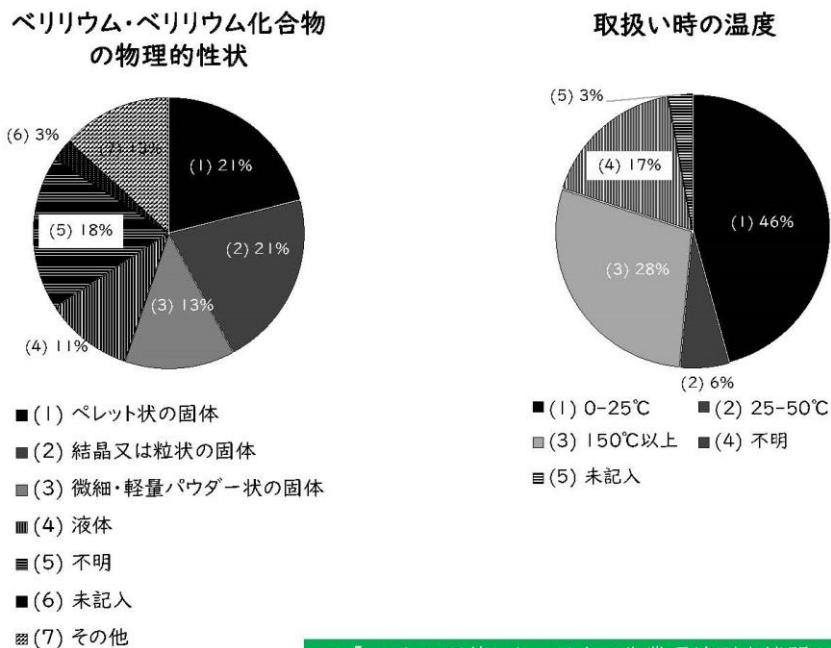


- 「不明」と回答したのは全て作業環境測定機関からの回答
- 作業環境測定および特殊健康診断が必要とされる含有率で取り扱う事業場は全て実施していた

結果② ベリリウムの製造・取扱いについて

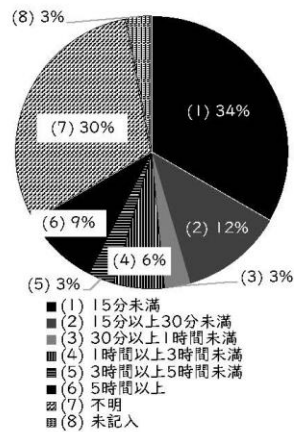


結果③ ベリリウムの製造・取扱いについて

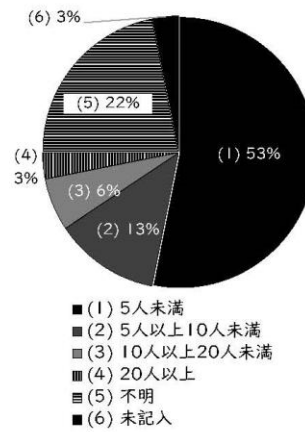


結果④ ベリリウムの製造・取扱いについて

1日当たりの作業時間



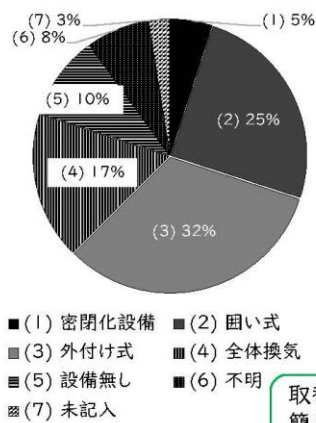
作業人数



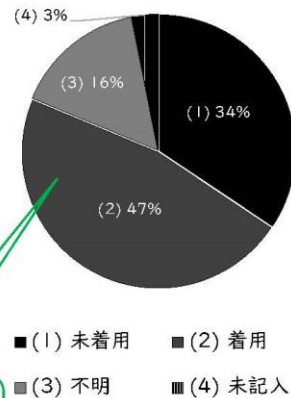
□ 「不明」と回答したのは全て作業環境測定機関からの回答

結果⑤ ベリリウム取扱い時の状況

排気設備の状況



呼吸用保護具の着用状況

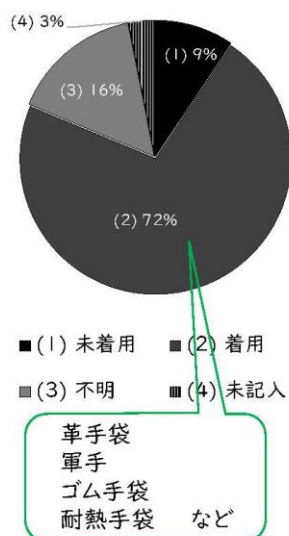


取替え式防じんマスク
簡易マスク
防毒マスク など

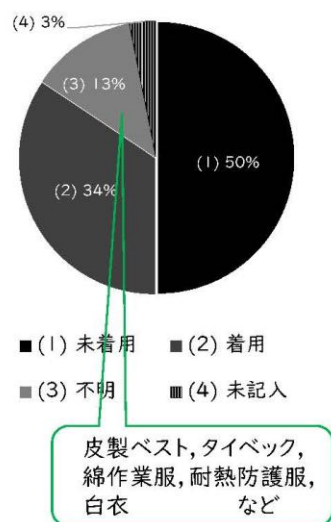
- 「不明」と回答したのは全て作業環境測定機関からの回答
- 「排気設備無し」の事業場は、取扱量は少量で、作業時間も短時間であった
- 「防毒マスク」を着用している事業場もあった

結果⑥ ベリリウム取扱い時の状況

保護手袋の着用状況



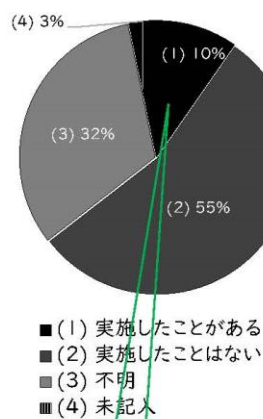
保護衣の着用状況



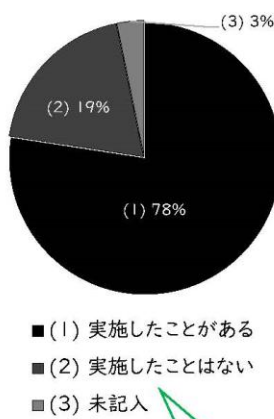
□ 「不明」と回答したのは全て作業環境測定機関からの回答

結果⑦ リスクアセスメント等の実施状況

リスクアセスメントの実施状況

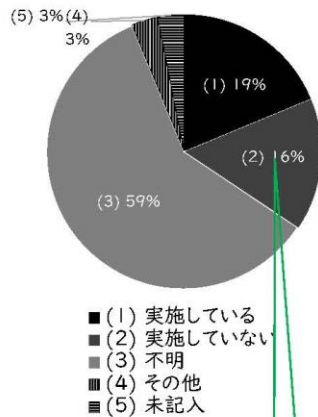


ばく露濃度測定の実施状況



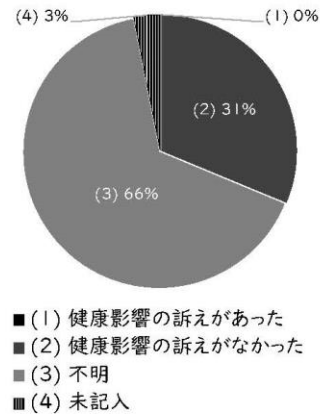
結果⑧ 健康影響に対する取り組み

特殊健康診断の実施状況



ベリリウム含有率3%未満
の事業場

使用中または使用後に健康影響
を訴えた作業着



□ 「不明」と回答したのは全て作業環境測定機関からの回答

考察およびまとめ

- ◆ 作業環境測定機関からの回答は質問項目に対して「不明」と回答した機関も多く、国内のベリリウム取扱い状況を十分に反映していない可能性がある。
- ◆ しかしながら、作業環境管理・作業管理が十分に行われている事業所がある一方、排気設備のない、あるいは適切な保護具の選定がなされていない可能性のある事業所もあった。
- ◆ 今後は、取扱い実態に応じたばく作業環境管理および作業管理の構築が必要である。

謝辞

本研究は、労災疾病臨床研究補助金(211101-01)の助成を受け実施しました



II. 分担研究報告

3. ベリリウムおよびベリリウム化合物製造・取扱い事業場におけるばく露実態調査

山本 忍¹, 石田尾 徹², 大藪 貴子³, 東 秀憲⁴, 保利 一⁵

¹産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 助教, ²同講師

³産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 講師, ⁴同教授

⁵産業医科大学 名誉教授

研究要旨

本研究では、ベリリウム取扱い時のばく露実態を調査し、適切なばく露低減対策を構築するための基礎データを得ることを目的とし、本年度はパイロット調査として、ベリリウム含有率が1%以下の事業場を対象にばく露実態調査を実施した。その結果、個人ばく露濃度測定、作業環境測定およびスポット測定のいずれの測定においてもベリリウム濃度は定量下限値未満であった。次年度、他業種の作業についても引き続きばく露実態調査を行う予定である。

A. 研究目的

ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、従来の工学的対策（特別則で定められた排気装置の性能要件など）では作業環境管理が適切であると判断される状態にすることが困難であることが予想され、そのような場合は状況に応じた適切な作業環境管理、作業管理が求められる。

ベリリウムのばく露評価に係る規制は特定化学物質障害予防規則のみで作業環境測定および特殊健康診断の対象となるのはベリリウム含有重量が、1%を超えるベリリウム化合物および3%を超えるベリリウム合金のみである。豊岡らは、ベリリウムは日本において主にベリリウム銅合金として使用され、合金として製品利用されるベリリウム銅合金のベリリウム含有率は0.5–3%であり、流通しているベリリウム銅合金は、ベリリウム含有率2%以下とみられると報告

している[1]。

したがって、従来の労働安全衛生法に基づく作業環境測定および特殊健康診断ではベリリウムのばく露実態を把握できているとは言えない。本検討では、ベリリウム含有量が1%以下の合金を取り扱う事業場を対象にばく露実態を調査した。

B. 研究方法

(ア) 対象

調査対象事業場は、電子部品・デバイス・電子回路製造業で、ベリリウムを電極成膜を目的として使用している。当該事業場のベリリウムばく露の可能性がある作業は、クリーンルーム内に設置されている真空蒸着機の内面に付着したベリリウム含有合金の清掃作業で、真空蒸着に使用する合金中のベリリウム含有量は約0.19%である。1回の作業時間は、15～20分程度で、清掃頻度は1月あたり約1回程度、作業者は1名で、

クリーンルーム用の防じん服を着用し、不織布マスク、ポリエステル製防護手袋、牛革製の前掛けを着用していた。なお、真空蒸着機に局所排気装置等の排気設備は設置されていない。

(イ) 調査方法

ばく露測定として、個人ばく露濃度測定（総粉じんおよび吸入性粉じんを対象）、吸入性粉じんを対象とした作業環境測定（A・B測定）および高濃度ばく露が予想される2つの作業（作業①：真空蒸着機内面に付着した合金を削り取る作業、作業②：真空蒸着機内の合金のカスをミニ箒でかき集めミニ塵取りに集める作業）について、作業時間全体を捕集時間としたスポット測定を実施した。個人ばく露測定はベリリウム取扱い作業（ばく露作業）、非取扱い作業（非ばく露作業）各1名にサンプラーを取り付け就業時間中捕集した。分析は誘導結合プラズマ原子発光分析法により行った。捕集条件等を表1に示す。なお、本調査は産業医科大学倫理委員会での承認（第R4-019号）を得て実施した。

C. 研究結果および考察

個人ばく露濃度測定、作業環境測定、スポット測定結果を表2～4に示す。現在、日本においては総粉じんとして日本産業衛生学会が許容濃度 0.002 mg/m^3 [2]を勧告し、厚生労働省が管理濃度 0.001 mg/m^3 [3]を示している。本調査では、個人ばく露濃度測定、作業環境測定およびスポット測定のいずれの測定に置いてもこの値を下回った。

真空蒸着機には、局所排気装置等の排気

設備はないものの、作業時間は短時間であり、粉じんの飛散も目視でほぼ確認されなかった。また、当該事業場は定期的な作業環境測定も実施しており、過去の測定においても第一管理区分を継続している。したがって、当該作業におけるベリリウムばく露における健康障害リスクは低いと考えられる。

D. 結論

今回、調査対象とした作業においては、ばく露濃度は定量下限値未満であり、適切に作業環境管理・作業管理がなされていた。

引用文献

1. 豊岡達士、甲田茂樹（2021）：ベリリウム及びその化合物による健康障害の防止対策と職場における労働衛生管理－最近の動向と我が国の課題－。産業衛生学雑誌 63(2)：31-42
2. 日本産業衛生学会：許容濃度等の勧告（2022年度）、日本産業衛生学会、64(5)、258、2022
3. 厚生労働省：作業環境評価基準第二条別表、1988

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

【論文発表】 なし

【学会発表】 なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 捕集・分析条件

捕集		個人ばく露濃度測定	作業環境測定, スポット測定
サンプ ラ	オープンフェイス形フィルタ－ホルダ－	φ 25 mm [柴田科学社製]	多段型分流通装置 C-30型 φ47 mm [柴田科学社製]
	個人サンプラー用ホルダ－	PM4 NWPS-245型 [柴田科学社製]	
	フィルタ－	メンブランフィルタ－ (φ 25 mm) [メルク社製]	メンブランフィルタ－ (φ 47 mm) [メルク社製]
	ポンプ	ミニポンプMP-W5P (2.5 L/min) [柴田科学社製]	LVS-30 (9.6 L/min) [柴田科学社製]
捕集時間	ばく露作業者	443分間	作業環境測定 10分間
	非ばく露作業者	447分間	スポット測定 (作業①・②) 5.5分間
分析			
装置	誘導結合プラズマ原子発光分析装置 ICPE-9000 [島津製作所製]		

表 2 個人ばく露濃度測定結果

	ベリリウム濃度 (mg/m ³)	
	総粉じん	吸入性粉じん
ばく露作業者	< 0.0001	< 0.0001
非ばく露作業者	< 0.0001	< 0.0001

表 3 作業環境測定結果

測定位置番号	ベリリウム濃度 (mg/m ³)	備考
A測定①	< 0.0003	
A測定②	< 0.0003	
A測定③	< 0.0003	
A測定④	< 0.0003	
A測定⑤	< 0.0003	
E _{A1}	0.0009	
E _{A2}	0.0004	
B測定	0.0003	清掃作業時
管理区分	第一管理区分	

表 4 スポット測定結果

作業No.	ベリリウム濃度 (mg/m ³)	備考
作業①	< 0.0006	合金を削り取る作業
作業②	< 0.0006	合金をかき集める作業

II. 分担研究報告

4. 模擬作業場の設計および施工

石田尾 徹¹, 山本 忍², 大藪 貴子³, 東 秀憲⁴, 保利 一⁵

¹産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 講師, ²同助教,

³産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 講師, ⁴同教授,

⁵産業医科大学 名誉教授

研究要旨

本研究は、ベリリウム等の低濃度管理物質や発がん物質を製造、取り扱う作業場において、作業者の健康障害を防止するために有効な工学的な曝露防止対策を検討するものである。ベリリウムに関する文献的調査により、高流速の局所排気装置の設置が環境濃度低減に有効である知見が得られている。本研究においても局所排気装置の有用性の検討を最終目標とするが、その局所排気装置を設置するための模擬作業場を設計および施工した。

A. 研究目的

ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質（低濃度管理物質）を製造、取り扱っている工程では、対策を行うことにより、作業に伴って発生する有害物質の室内への拡散をある程度抑えることができたとしても、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するためには、発生状況を把握するとともに、状況に応じた適切な対策を実施する必要がある。

従来、有害作業の工学的対策としては、特定化学物質障害予防規則（特化則）や有機溶剤中毒予防規則（有機則）等で、設備の密閉化、局所排気装置およびプッシュプル型換気装置の設置等が義務付けられ、局所排気装置等の性能要件も定められているが、低濃度管理物質については、作業環境管理のみで作業環境を十分低減することが困難な

場合も多いと考えられ、その他の方法、すなわち、個人保護具（呼吸用保護具、保護手袋等）の使用等を含めた総合的な管理が必要になると考えられる。一方、工学的対策についても、平成 24 年の有機則等の改正で、局所排気装置やプッシュプル換気装置に替わる多様な発散防止抑制措置も認められるようになっており、対策の方法も多様化している。

本研究室ではこれまで、局所排気フードの簡易設計法、破過検出が可能な防毒マスク吸収缶、光触媒や真空紫外光（エキシマランプ）を用いた VOC の分解、たばこ煙に適した呼吸用保護具のフィルターの検討など、有害化学物質を取扱う作業現場において労働者の健康障害防止を防止するために有用な対策機器の研究開発を行ってきた。本研究は、これらの経験を踏まえて、ベリリウム等の低濃度管理物質や発がん物質を製造、取り扱う作業場において、作業者の健康障害を防止するために有効な工学的な曝露防

止対策を検討するものである。

B. 研究方法

実験室内に模擬作業場を設計した。設計の際は、模擬作業場から外部に空気以外漏れないように計画した。まず、模擬作業場内でのベリリウム粉塵の曝露防止については、研究室内に独立した部屋を作り、卓上の囲い式の局所排気装置を常に稼働させ、気流を作り陰圧状態を保つこととした。局所排気装置内で発生した粉塵については、トラップユニット内に設置するバグフィルターあるいは水を用いたスクラバーを通して回収し、トラップユニットごと廃棄することとした。また、この模擬作業場の気中濃度をモニタリングするために、粉塵用のパーティクルカウンターと作業環境中に共存の可能性がある有機化合物用の濃度測定機器を準備する。

C. 研究結果および考察

模擬作業場を設計するにあたり、仕様書を作成した（資料1参照）。この仕様書をもとに模擬作業場を設計した。設計図の詳細を図1に示す。

設計図をもとに施工を開始した。施工前の状態を図2に、曝露チャンバー撤去作業を図3に、施工開始から完成までを図4-6に示す。既存の曝露チャンバーのフロアの性

能が約 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ であるため、模擬作業場内を陰圧にするための簡易排気装置の性能は最大で $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$ とした。可動式のダンパーを設置することにより、常に密閉状態を保つように工夫した。さらに、壁を断熱材にすることにより、温度および湿度をコントロール可能と考えられる。

D. 結論

本研究では、実験室レベルでの模擬作業によるデータ収集、解析を最終目標として、本年度は実験室内に独立した模擬作業場を設計し建設した。その結果、卓上の囲い式の局所排気装置を常に稼働させることにより、作業場内を陰圧状態に保つことができた。今後は、来年度調査予定である現場実態調査を参考に、模擬作業場内に現場作業および環境を再現し、データ収集および解析を行う予定である。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

資料 1 模擬作業場の仕様書

1 工事名称

産業医科大学 大学本館 6 号館 6 階模擬作業場設置工事

2 工事目的

本研究では、大学本館 6 号館 6 階の研究室（6601）内に模擬作業場を作製する。作製の際は、常時、模擬作業場から外部に空気以外漏れないように設計しなければならない。そのため、独立した完全密閉の部屋とし、卓上の囲い式の局所排気装置を常に稼働させ、気流を作り陰圧状態にする。模擬作業場内外の空気温度は断熱材等により、常時コントロール可能とする。模擬作業場内外の空気濃度は、パーティクルカウンターとガスクロマトグラフを用いて、常時モニタリングする。実験室（以前は動物実験用吸入曝露室）には、既存の配管ダクトおよび排気のためのブロー等があり、それらと接続すれば経費を抑えることができる。また、実験室の形状や配管ダクト等に合わせた独立設計とすれば、密閉性を高めることができる。本研究で研究対象とするベリリウムは、管理濃度が $0.001\text{mg}/\text{m}^3$ 、TLV-TWA が $0.00005\text{mg}/\text{m}^3$ と非常に低く危険な物質である。実験室は教員の居室と併設されているため、研究終了後も模擬作業場は解体せず、模擬作業場内外の有害物質濃度が完全にゼロになるまでモニタリングする必要がある。以上の理由より、独立設計および電気工事を含む建設工事が必要と判断する。

3 仕様

- ・ 6601 研究室内の窓側に設置する独立した空間（約 $2\text{m} \times$ 約 3m ）とする。
- ・ 6601 研究室内の窓側の形状に合わせた設計とする。
- ・ 既存の動物用曝露チャンバー等を撤去（排気装置、電源、配水管）する。
- ・ 断熱材を用いたパネルにより、温度コントロールを可能とする。
- ・ 窓を設置することにより、模擬作業場内を外から目視することができる。
- ・ 装置の搬出入のため、幅 90cm 以上のワイド扉とする。
- ・ ドラフター等を内部に設置することにより陰圧状態を維持できる。
- ・ 模擬作業用の作業台（ステンレス製）を設置する。
- ・ 既存の排気用配管ダクトを利用する。
- ・ 模擬作業場内に電源を設置する。
- ・ 将来、他の局所排気装置を設置するための配管ダクト（あるいは穴）がある。

以上。

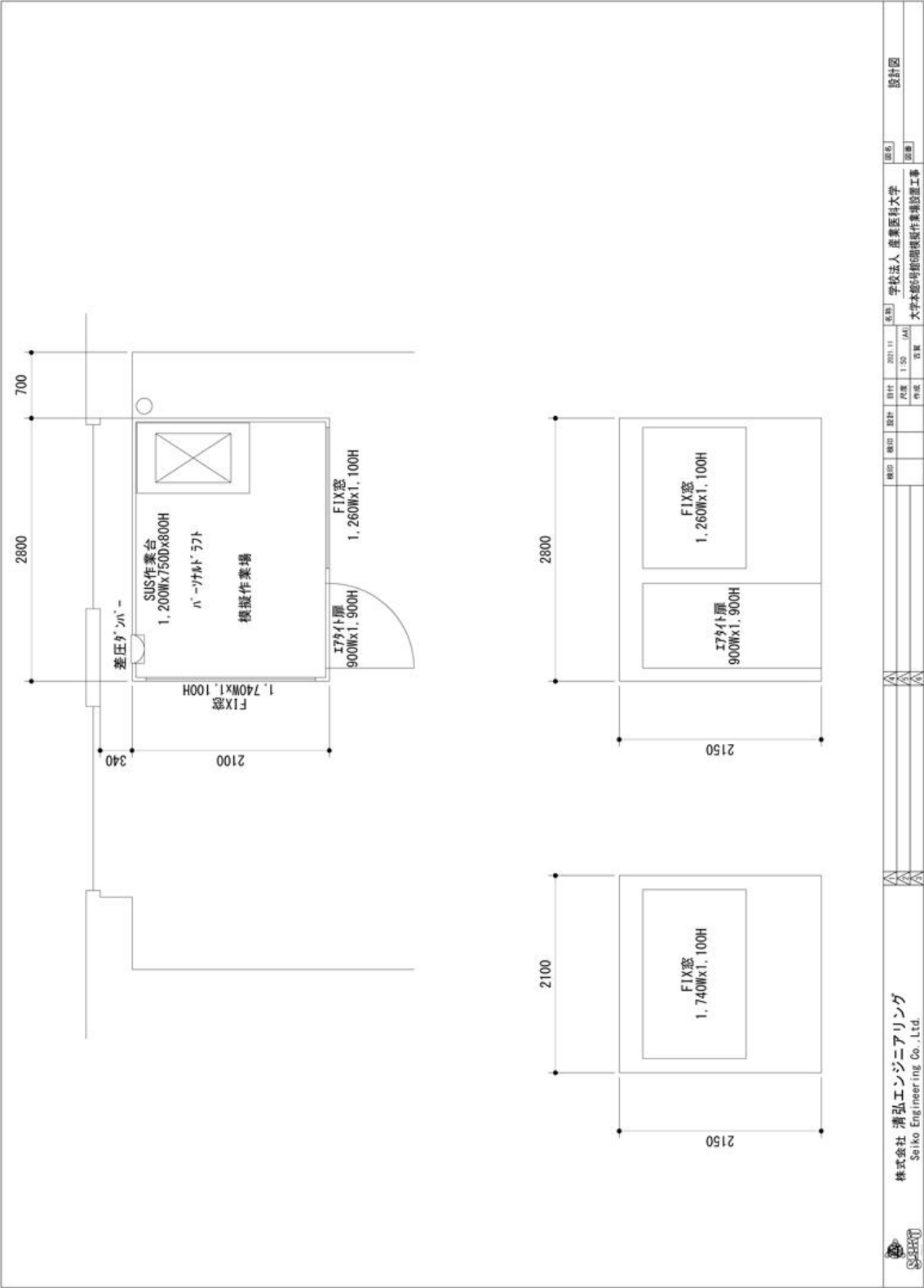


図 1 模擬作業場の設計



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 着工前
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 着工前
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :

図 2 吸入曝露チャンバー撤去前



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 既設装置撤去搬出作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 既設装置撤去搬出作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :

図 3 吸入曝露チャンバー撤去作業



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : H° 柵取付作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 : L-L 取付



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : H° 柵取付作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 : H° 柵建込

図 4 模擬作業場・壁設置



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : H° 祢取付作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 : H° 祢建込完了



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : H° 祢取付作業
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 : H° 祢周囲コーキング完了

図 5 模擬作業場・ドアと窓設置



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 完成
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :



工 種 : 模擬作業場設置工事
 種 別 : 設備工事
 細 別 : 完成
 撮 影 箇 所 : 6階教室内
 施 工 管 理 値 :

図 6 模擬作業場完成

II. 分担研究報告

5. 真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作

石田尾 徹¹, 山本 忍², 大藪 貴子³, 東 秀憲⁴, 保利 一⁵

¹産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 講師, ²同助教,

³産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 講師, ⁴同教授,

⁵産業医科大学 名誉教授

研究要旨

本研究では、局所排気装置における二次的曝露を防止するための粉じん回収システムの試作を行った。ダクト内のエキシマランプを用いて金属粉じんをイオン化し、水と接触・吸収させる方法とした。まず、大気じんのみで実験を行い、装置の改良等を行った。その結果、大気じんの侵入を約93%以上カットすることができた。次に、粒子サイズ1 μm の銅パウダーを用いて、ランプ前後の粒子個数をパーティクルカウンターで測定した。ランプ消灯時の結果より、サイズが小さい粉じんは水に回収されにくいことが考えられた。ランプ点灯時の結果では、全ての粒径区分において、出口の粒子個数が入口より減少した。粒径区分1 μm に着目すると、回収率は60.0%であった。さらに回収率を増加させるためには、実験条件や照射条件等を検討する必要があると考える。

A. 研究目的

ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質（低濃度管理物質）を製造、取り扱っている工程では、対策を行うことにより、作業に伴って発生する有害物質の室内への拡散をある程度抑えることができたとしても、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するための有効な曝露防止対策を検討することが最終目標である。本研究は、共同研究プロジェクトの一部である。共同研究は現場実態調査、工学的対策（局所排気装置）、呼吸用保護具の検討からなる。

粉じんの場合、局所排気装置内の空気清

浄機としてはバグフィルター等が用いられるが、運転停止時の逆流やフィルターの掃除および交換時等において、二次的曝露が起こる可能性がある。そこで本研究では、二次的曝露を防止するための粉じん回収システムの試作を行う。つまり、局排ダクト内のエキシマランプ[1]を用いて粉じんをイオン化し、水と接触・吸収させ、その水を廃棄することで二次的曝露を防止できると考える。

B. 研究方法

1) 金属粉じんの湿式回収メカニズム：空気中の水と酸素がエキシマランプに接触すると、エネルギーが非常に大きい活性酸素やOHラジカル等が生成する。これと金属粒子が接触することによりイオン化すると考えられる。イオン化した金属粒子が水槽内の

水と接触し、水中に回収される。そして、金属粒子は水ごと処理することになる。

2) 対象：本研究のモデル粉じんは、粒子サイズ $1\text{ }\mu\text{m}$ の銅および酸化第二鉄、 $3\text{ }\mu\text{m}$ のアルミニウムパウダーおよび α -アルミナパウダー、 $5\text{ }\mu\text{m}$ の酸化第二銅の計 5 物質とした。今回の装置の検証実験では、粒子サイズ $1\text{ }\mu\text{m}$ の銅を使用した。

3) 実験装置の試作

3-1) 粉じん発生部：低濃度で発じんできる柴田科学製の間欠式ダストフィーダー (DF-3 型) を用いた。ターンテーブルに小さい穴が開いており、ダストホッパーの金属粒子が穴に入り、テーブルが回転することにより、エゼクターに移動し、空気を使って真上に上昇する仕組みである。

3-2) 粉じん希釈部：プラスチック製のデシケータを用いた。粉じんは左サイドの入口から導入する。デシケータ下部に穴を開けることにより外部の空気を導入し、希釈する。希釈された粉じんはデシケータ上部へと移動する。

3-3) 湿式粉じん回収部：水槽はプラスチック製で、中に 3 つの仕切りを作った。アルミダクト内にはウシオ電機製のエキシマランプ (172 nm 、 14 W) を設置した。希釈部からの粉じんはこの装置内を通ることにより、エキシマランプと接触し、その後水と接触する。

3-4) ファンおよびバックアップフィルター部：水槽内を通った空気はダクトを通過してファンへと進む。ファンにはプレフィルターが内蔵されており、ファン通過後にさらに HEPA フィルターを通過する。

4) 実験装置の改良 (添付資料参照)

4-1) 粉じん発生部：標準装備のターンテー

ブルは、金属粒子をトラップする穴が大きいため、粒子個数が高くなり、パーティクルカウンターの測定限界を超えた。そのため、ターンテーブルの穴のサイズを数種類用意し、濃度調整をすることにした。また、HEPA フィルターを通過した空気を発生部へ導入した。

4-2) 粉じん希釈部：試作段階では大気じんの漏れが大きかったため、希釈用デシケータのフタにグリースを塗り、テープで補強した。希釈した粉じんを水槽へ送るアルミダクトはビニール袋で覆い、外部からの空気の侵入を遮断した。また、HEPA フィルターを通過した空気を希釈空気とした。

4-3) 湿式粉じん回収部：漏れを防止するため、水槽の本体とフタをテープで補強した。エキシマランプが内蔵されているアルミダクトはビニール袋で覆い、空気を遮断した。

4-4) ファンおよびバックアップフィルター部：試作段階でのフィルター付き吸引ファンは、流量が $3.9\text{ m}^3/\text{min}$ と固定値であり、希釈流量が大きかったため、制御が可能な旧吸入曝露室内の排気処理装置を使用し流量を調整することとした。

5) 検証実験：まず、モデル粉じんを使用せず、大気じん (室内空気) のみで実験を行った。希釈部および水槽後方の粒子個数をパーティクルカウンター (Model 9306、ニッタ製) を用いて測定した。次に、粒子サイズ $1\text{ }\mu\text{m}$ の銅を用いて、同様の実験を行った。

C. 研究結果及び考察

完成した改良後の実験装置の概略図を図 1 に示す。装置は(A)の粉じん発生部、(B)の粉じん希釈部、(C)の湿式粉じん回収部、(D)のバックアップフィルター部の大きく 4 つ

の部分から構成されている。この装置は、本学 6 号館 6 階にある旧吸入曝露室内に新設した模擬作業場内で組み立てた。模擬作業場は常に陰圧に制御されており、実験中の粉じんの一般環境への漏洩を防ぐことができる。

改良前後の大気じんの入口（希釈部）の測定結果を図 2 に示す。ランプは消灯状態である。前述の漏れをなくす改良により、粒径区分 $0.3\ \mu\text{m}$ で約 95%、 $0.5\ \mu\text{m}$ で約 93% の大気じんをカットすることができた。これは主に HEPA フィルターの効果であると考えられる。

次に、粒子サイズ $1\ \mu\text{m}$ の銅パウダーをダストフィーダーにセットし、湿式回収実験を行った。ターンテーブルは TA-35 (特注)、排気流量は $0.54\ \text{m}^3/\text{min}$ とした。ランプ消灯時の測定結果を図 3 に示す。図より、区分 $0.3\ \mu\text{m}$ および $0.5\ \mu\text{m}$ では粒子個数に差はみられなかったが、区分 $1\ \mu\text{m}$ 以上の金属粒子は水中に比較的回収されることがわかった。このことから、サイズが小さい粉じんは水に回収されにくいことが考えられた。

ランプ点灯時の測定結果を図 4 に示す。全ての粒径区分において、出口の粒子個数が入口より減少した。特に、区分 $1\ \mu\text{m}$ に着目すると、ランプ消灯時（図 3）の回収率が 46.7% であるのに対して、ランプ点灯時の回収率は 60.0% と増加することがわかった。さらに回収率を増加させるためには、実験条件や照射条件等を検討する必要があると考える。

D. 結論

本研究では、真空紫外線を照射した金属粉じんに対する湿式回収装置を試作した。装置への室内空気の侵入を防ぐ改良を行ったところ、大気じんを約 93% 以上カットすることができた。モデル粉じんである銅パウダーについては、ランプ点灯時の回収率は 60.0% であった。今後は、他のモデル粉じんを用いて実験データの収集・解析を行うとともに、回収率向上のための装置の改良を行う必要がある。

E. 引用文献

1. Kogelschatz U (1990): Silent discharges for the generation of ultraviolet and vacuum ultraviolet excimer radiation. Pure & Appl. Chem. 62 (9): 1667-1674

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

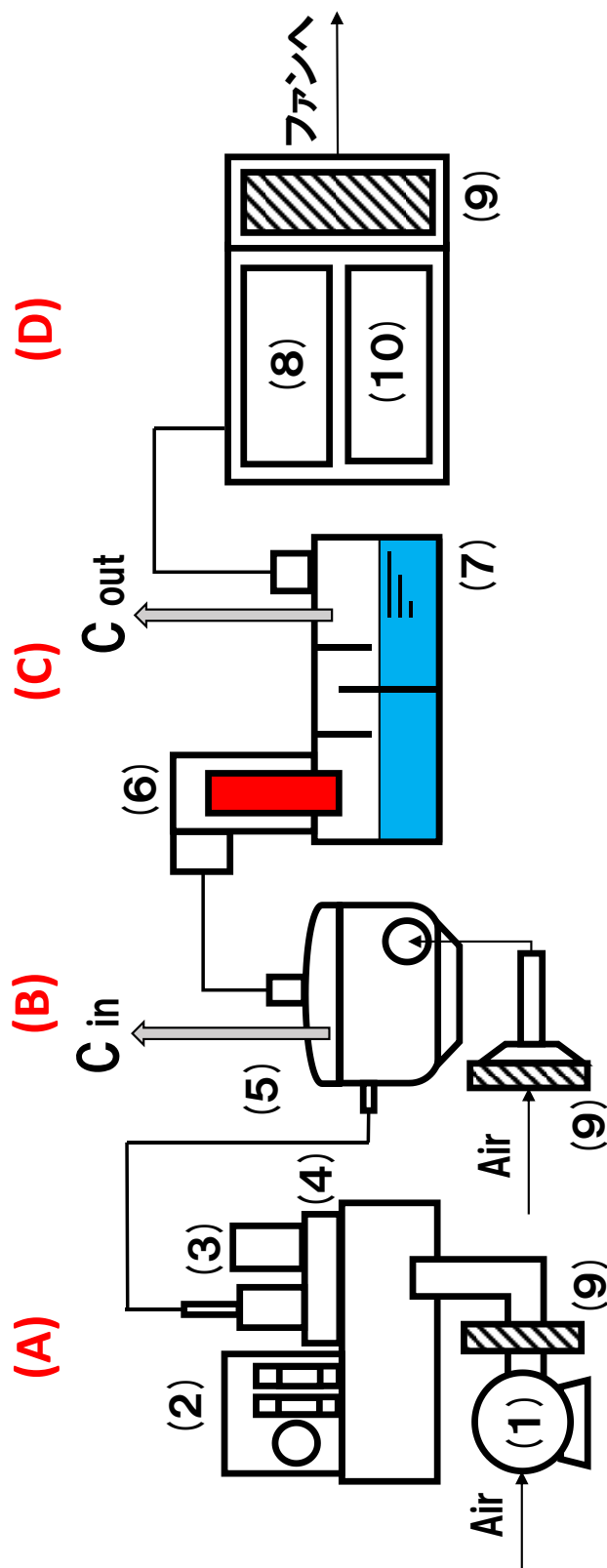
【論文発表】 なし

【学会発表】

1. 渋谷晃弘, 石田尾徹, 山本忍, 保利一, 大藪貴子, 東秀憲: 真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作, 第 41 回産業医科大学学会, 2023 年 10 月

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし



- (A) : 粉じん発生部
 (B) : 粉じん希釈部
 (C) : 湿式粉じん回収部
 (D) : バックアップ
 フィルター部
- (1) コンプレッサー (2) マノメータ (3) ダストホッパー
 (4) ターニンテール (5) デシケータ (6) エキシマランプ
 (7) 水槽 (8) プレフィルター (9) HEPAフィルター
 (10) 活性炭フィルター

図 1 実験装置の概略図

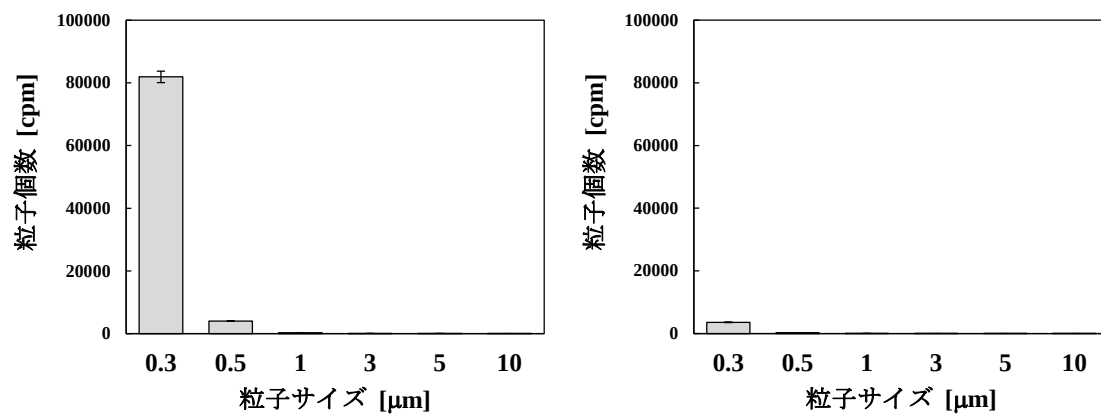


図2 大気じんの入口（希釈部）の測定結果
（左：改良前（n=3）、右：改良後（n=9））

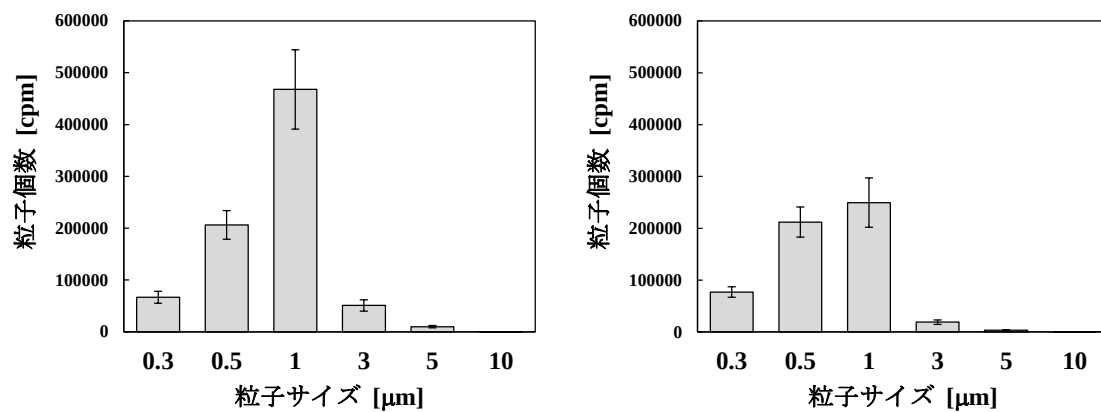


図3 ランプ消灯時の銅パウダーの測定結果
（左：入口、右：出口、n=10）

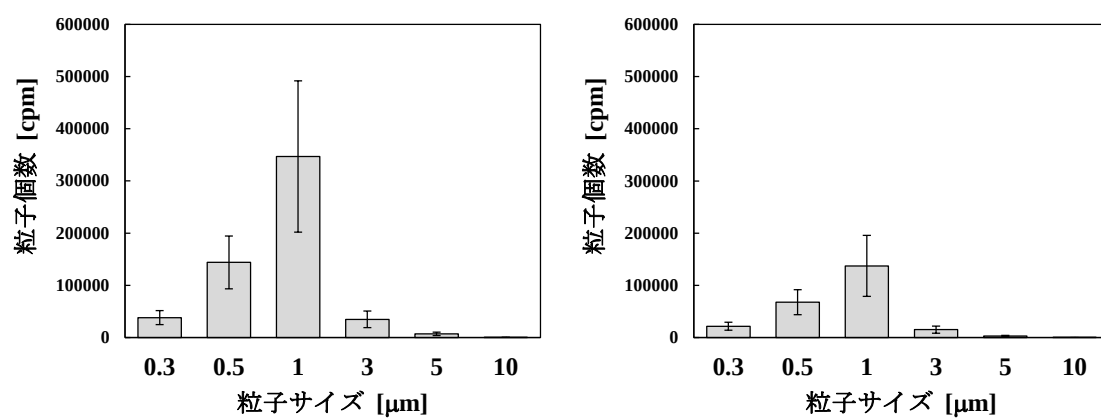
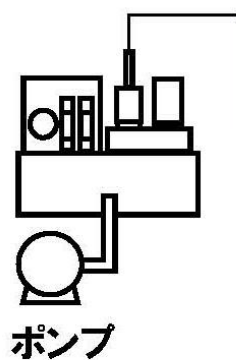


図4 ランプ点灯時の銅パウダーの測定結果
(左：入口、右：出口、n=10)

試作：粉じん発生部 (A)



ダストフィーダー DF-3 (柴田科学製)

改良：粉じん発生部 (A)

コンプレッサーに変更



+

HEPAフィルター



ターンテーブル

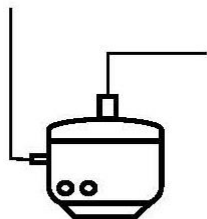


TA-31



TA-35

試作：粉じん希釈部 (B)



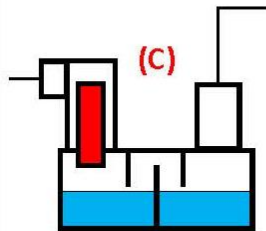
改良：粉じん希釈部 (B)

漏れの防止

HEPAフィルターの導入



試作：湿式粉じん回収部 (C)

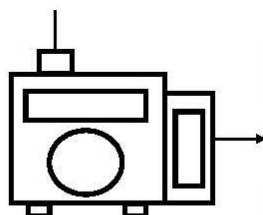


改良：湿式粉じん回収部 (C)

漏れの防止



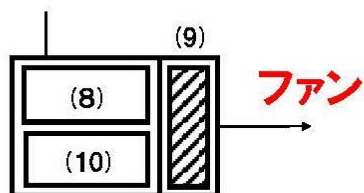
試作：ファンおよびバックアップ フィルター (D)



改良：バックアップフィルター (D)

ファンおよびバックアップフィルターの変更

旧吸入曝露室内の
排気処理装置



(8) プレフィルター

(9) HEPAフィルター

(10) 活性炭フィルター



20. 真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作

渋谷 見弘¹，石田尾 徹²，山本 忍²，保利 一³，
大藪 貴子⁴，東 秀憲⁴

¹ 産業医科大学 産業保健学部 産業衛生科学科 4 年生

² 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³ 産業医科大学 名誉教授

⁴ 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

目 的 ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱っている工程では、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するための有効な曝露防止対策を検討することが最終目標である。粉じんの場合、局所排気装置内の空気清浄機としてはバグフィルター等が用いられるが、運転停止時の逆流やフィルターの掃除および交換時等において、二次的曝露が起こる可能性がある。そこで本研究では、二次的曝露を防止するための粉じん回収システムの試作を行う。つまり、局排ダクト内のエキシマランプを用いて粉じんをイオン化し、水と接触・吸収させ、その水を廃棄することで二次的曝露を防止できると考える。

方 法 モデル粉じんは、銅、酸化第二鉄、アルミニウム、 α -アルミナおよび酸化第二銅（粒子サイズ $1\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ ）の計 5 物質とした。次に、実験装置を試作した。粉じん発生源については、低濃度で発じんできる柴田科学製の間欠式ダストフィーダーを用いた。粉じん希釈部については、プラスチック製のデシケータを用いた。粉じんは左サイドから導入し、下部の穴から外部の空気を入れ希釈する。湿式粉じん回収部については、プラスチック製の水槽内に 3 つの仕切りを作った。アルミダクト内にはウシオ電機製のエキシマランプ（172 nm, 14 W）を設置した。ファンおよびバックアップフィルター部については、プレフィルターおよび HEPA フィルターが内蔵されている装置を用いた。

結果・考察 完成した装置を用いて予備実験を行った。流量は $0.49\ \text{m}^3/\text{min}$ とし、 $3\ \mu\text{m}$ のアルミニウムパウダーを使用した。湿式回収装置によるランプ点灯時の回収率には、若干の効果が確認できた。今後は、実験条件や装置の改良等を行うとともに、全てのモデル粉じんに対する実験データを蓄積する必要がある。

真空紫外線を照射した粉じんに対する 湿式回収装置の試作

○渋谷 晃弘¹, 石田尾 徹², 山本 忍², 保利 一³, 大藪 貴子⁴, 東 秀憲⁴

¹産業医科大学 産業保健学部 産業衛生科学科4年生
²産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学
³産業医科大学 名誉教授 ⁴産業医科大学 産業生体科学研究所 労働衛生工学

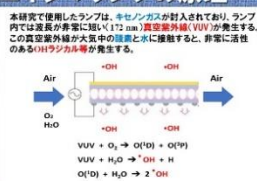
背景および目的

ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質(低濃度管理物質)を製造、取り扱っている工程では、対策を行うことにより、作業に伴って発生する有害物質の室内への拡散をある程度抑えることができたとしても、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するための有効な曝露防止対策を検討することが最終目標である。粉じんの場合、局所排気装置内の空気清浄機としてはバグフィルター等が用いられるが、運転停止時の逆流やフィルターの掃除および交換時等において、二次的曝露が起こる可能性がある。そのため、二次的曝露を防止するための粉じん回収システムの試作を行う。つまり、局排ダクト内のエキシマランプを用いて粉じんをイオン化し、水と接触・吸収させ、その水を廃棄することで二次的曝露を防止できると考える。

モデル粉じん

品名	黒パウダー	1 μm
純度	99.99 %	
品名	酸化第二鉄パウダー	1 μm
純度	99.9 %	
品名	アルミニウムパウダー	3 μm
純度	99.9 %	
品名	α-アルミナパウダー	3 μm
純度	99.99 %	
品名	酸化第二鉄パウダー	5 μm
純度	99.9 %	

エキシマランプの原理



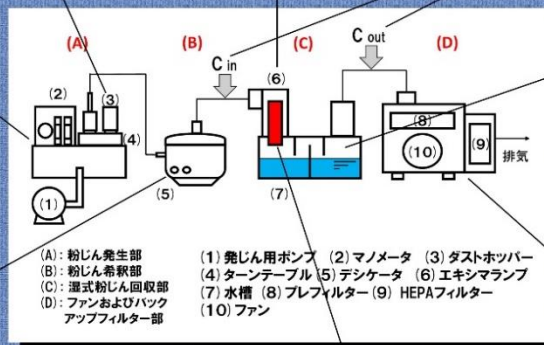
パーティクルカウンター



(A)粉じん発生部



(B)粉じん希釈部



(C)湿式粉じん回収部



(D)ファンおよびバックアップフィルター



水槽の下部からみた
エキシマランプ (特注)



結果および考察

- 真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置を組み立てた。粉じん発生部については、導入予定であった流動層を利用した装置ではなく、低濃度で実験が行うことができる間欠式の装置を使用した。粉じん希釈部については、加工を考慮しプラスチック製のデシケータを使用した。上部に穴をあけ、湿式粉じん回収部へとつながるダクトを作製した。湿式粉じん回収部については、中に3つの仕切りを作り、2回水と接触させる仕組みとした。回収できなかった粒子を回収するために、バックアップフィルター付きのファンを使用した。
- 完成した装置を用いて予備実験を行った。流量は0.49 m³/minとし、3 μmのアルミニウムパウダーを使用した。湿式回収装置によるランプ点灯時の回収率には、若干の効果が確認できた。今後は、実験条件や装置の改良等を行うとともに、全てのモデル粉じんに対する実験データを蓄積する必要がある。

II. 分担研究報告

6. 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究

東 秀憲¹, 大藪 貴子², 石田尾 徹³, 山本 忍⁴, 保利 一⁵

¹産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学 教授, ²同講師,

³産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 講師, ⁴同助教,

⁵産業医科大学 名誉教授

研究要旨

本研究では、呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストを行い、その保護具の密着性に影響を及ぼす因子を検討するとともに、低濃度管理物質の曝露防止対策としての呼吸用保護具の有用性について検討した。同意の得られた成人男女対象者に対して複数の使い捨て式あるいは半面形面体型呼吸用保護具に関する短縮定量的フィットテストを実施した。得られたフィットファクタと対象者の顔写真および 3D 画像より得られる顔サイズパラメータを用いて多変量解析を実行した。顔サイズパラメータの中で特にフィットファクタに影響の大きなパラメータとして選定し、フィットテストで得られた呼吸用保護具のフィットファクタの相関式を作成した。得られた相関式より呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、作業者により適した呼吸用保護具を選定するための方法について検討するとともに、低濃度管理物質の曝露防止対策としての呼吸用保護具の有用性について検討した。

A. 研究目的

ベリリウム等の管理濃度が極めて低い物質（低濃度管理物質）を製造、取り扱っている工程では、対策を行うことにより、作業に伴って発生する有害物質の室内への拡散をある程度抑えることができたとしても、特に発生源付近では管理濃度を超えることが考えられ、従来の工学的対策では第一管理区分にすることは困難になるといわれている[1, 2]。このような環境において、作業者の当該物質の曝露による健康障害を防止するためには、発生状況を把握するとともに、状況に応じた適切な対策を実施する必要がある。

一方、有害作業の工学的対策としては、特

定化学物質障害予防規則（特化則）や有機溶剤中毒予防規則（有機則）等で、設備の密閉化、局所排気装置およびプッシュプル型換気装置の設置等が義務付けられ、局所排気装置等の性能要件も定められているが、低濃度管理物質については、作業環境管理のみで作業環境を十分低減することが困難な場合も多く、個人用保護具（呼吸用保護具、保護手袋等）の使用等を含めた総合的な管理が必要である。

これまで、局所排気フードの簡易設計法、破過検出が可能な防毒呼吸用保護具吸収缶、光触媒や真空紫外光（エキシマランプ）を用いた VOC の分解、たばこ煙に適した呼吸用保護具のフィルタの検討など、有害化学物

質を取扱う作業現場において、労働者の健康障害防止を防止するために有用な対策機器の研究開発を行ってきた。本研究は、これらの経験を踏まえて、ベリリウム等の低濃度管理物質や発がん物質を製造、取り扱う作業場において、作業者の健康障害を防止するために有効な曝露防止対策として呼吸用保護具の有効性を検討するものである。本研究では、低濃度管理物質への有効な曝露防止対策の一つとして、呼吸用保護具のフィットテストを行い、その保護具の密着性に影響を及ぼす因子を検討することを目的とする。

B. 方法

大学倫理委員会の承認後（R4-006）、説明により同意の得られた成人男女対象者に対して複数の使い捨て式あるいは半面形面体型取替え式呼吸用保護具に関する短縮定量的フィットテストを実施した。本研究でテストに用いたフィットテストは、短縮定量的フィットテストが可能な TSI PortaCount 8048 であり、テストに用いた呼吸用保護具は Table 1 に示したものである。同意がえられた対象者は 2022 年度に 20 名（男性 12 名、女性 8 名）および 2023 年度に 16 名（男性 8 名、女性 8 名）であった。

対象者が呼吸用保護具を装着してシールチェックをした後に短縮定量的フィットテストを行った。使い捨て式および半面形面体型呼吸用保護具のフィットテストの合格基準はフィットファクタが 100 以上である。

フィットファクタ ($FF=C_{out}/C_{in}$) は、呼吸用保護具外（テスト環境中）の粒子濃度 C_{out} [個数濃度] と呼吸用保護具内部の粒子濃度 C_{in} の比で定義され、総合的な FF は 4 つの

動作からそれぞれ得られるフィットファクタ FF_n を用いて次式で与えられる。

$$\text{総合フィットファクタ (FF)} = \frac{4}{\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \frac{1}{FF_4}}$$

ここで、静電フィルタを使用している呼吸用保護具については、装置に内蔵されている N95 コンパニオン機能を使うことで、フィルタを通過する粒子を無視できる状態で測定した。また、N95 コンパニオン機能を使用する場合の FF の上限値は 200 と設定されているため、本研究では、合格基準等を考慮し、すべてのテストにおいて FF の上限値を 200 で統一して解析を実行した。

フィットテストの実施と同時に正面および横からの顔写真と顔面 3D 画像を撮影した。得られたフィットファクタと対象者の顔写真および 3D 画像より得られる顔サイズパラメータを用いて多変量解析を実行した。具体的には、フィットテストで得られた呼吸用保護具のフィットファクタを、NIOSH のフィットパネルに使用されている 10 カ所に唇幅を加えた顔サイズパラメータの組み合わせでフィットファクタに影響を及ぼす因子として解析した。

11 個の顔サイズパラメータの中で特にフィットファクタに影響の大きなパラメータを選定し、相関式を作成して呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、テスト結果と比較した。さらに、作業者により適した（フィットファクタが大きいと予想される）呼吸用保護具を選定するための方法について検討するとともに、低濃度管理物質の曝露防止対策としての呼吸用保護具の有用性について検討した。

C. 結果と考察

短縮定量的フィットテストの合否判定をまとめた結果を Table 2 に、対象者の顔サイズパラメータより得られた情報の NIOSH フィットパネルへの分布を Fig.1 に示す。

解析の結果、顔の横幅、縦幅および唇幅から得られる情報がフィットファクタおよびフィットテストの合否判定結果に強く関連している傾向が示され、フィットファクタの推定式を 2 変数で表現することで、実験結果を概ね良好に再現できた。関連の一例を Fig.2(a)に示す。また、推定結果の詳細と実測との比較 Table 3(a)に、まとめを Table 4 に示す。

一方、顔の正面写真による顔認識機械学習によるフィットファクタの推定プログラムを Wolfram Mathematica™ により作成し、実行した。顔認識機械学習のイメージを Fig.2(b)に示す。この結果、推定式と同精度以上で学習データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり（推定結果の詳細と実測との比較を Table 3(b)、まとめを Table 4 に示す）、未学習データも平均で概ね 7 割程度再現可能であった。今後、学習データの精査や相関法の改善により、特に未学習データのフィットテスト判定結果の推定精度向上等が課題である。

各呼吸用保護具のフィットファクタの平均値、最小値および最大値より a、d のように比較的多くの対象者にフィットしやすいタイプと b のように全体的にフィットしにくいタイプ、あるいは c、e、f のようにフィットするものとしにくいものに分かれるタイプに大別されるため、特に c、e、f のようなタイプの保護具を用いる際には、自身の顔の大きさや形状に合った保護具を選定す

ることも隙間からの漏れを防ぐためには重要である。

一方で、各呼吸用保護具のフィットファクタの平均値とフィルタの透過率から推定される防護係数を指定防護係数と比較した結果を Table 5 に示す。推定される防護係数はいずれも指定防護係数（JIS）を上回っている（P-PAPR に関してはメーカーの保証値には達していない。これは、FF の上限値をすべて 200 で統一していることに加えて、単にファンを稼働させていない状態での全漏れ率から防護係数を算出しているためと考えられる）が、FF の平均値がいずれも合格値（100）を超えており、作業者に適した呼吸用保護具を適切に装着していることが前提になっており、当然フィットファクタの値が小さいものほど防護係数の推定値も小さくなる。このため、低濃度管理物質のように、より健康障害性の高い恐れのある物質を取り扱う場合には、作業者の顔に適した密着性の高いと予想される取替え式の呼吸用保護具あるいはファン稼働時には面体内が正圧に保たれるため隙間からの漏れを防ぐ効果の高い P-PAPR の使用を推奨し、適切に装着したうえで作業を実施していただくことがよいと考えられる。

D. 結論

呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストにより得られたフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討した。顔のサイズに関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、顔サイズパラメータのうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラ

メータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法および低濃度管理物質の曝露防止対策としての呼吸用保護具の有用性について検討した。

E. 引用文献

1. 豊岡達士, 甲田茂樹 (2021): ベリリウム及びその化合物による健康障害の防止対策と職場における労働衛生管理ー最近の動向と我が国の課題ー. 産業衛生学雑誌 63(2): 31-42
2. Kolanz ME (2001): Introduction to beryllium: uses, regulatory history, and disease. Appl Occup Environ Hyg. 16: 559-567

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 中山 彩, 石田尾徹, 山本 忍, 保利 一, 大藪貴子, 東 秀憲, : 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究, 第 40 回産業医科大学学会, 2022 年 10 月

2. 東 秀憲: 作業環境中のエアロゾルの計測とリスク (低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究～呼吸用保護具のフィットテストと顔サイズの影響因子の相関～), 日本エアロゾル学会主催エアロゾルシンポジウムシリーズ, 2023 年 4 月

3. 大藪貴子, 中山 彩, 石田尾徹, 東 秀憲, 山本 忍, 保利 一: ベリリウムおよびその化合物の製造および取扱いにおける保護具の選定, 第 96 回日本産業衛生学会, 2023 年 5 月
4. 東 秀憲, 大藪貴子, 檜室文里, 渋谷晃弘, 中山 彩, 石田尾徹, 山本 忍, 保利一: 防じん呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関, 第 41 回産業医科大学学会, 2023 年 10 月
5. 東 秀憲, 大藪貴子, 檜室文里, 渋谷晃弘, 中山 彩, 石田尾徹, 山本 忍, 保利一: 呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関, 第 62 回労働衛生工学会, 2023 年 11 月

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

Table 1 Respirator protective equipment (* tested by N95 companion mode)

Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
a. KOKEN ハイテック 350 *	b. 3M 8210 J-DS2 *	c. SHIGEMATSU DD11-S2-5 *	d. KOKEN 1015-02 *	e. KOKEN 1005RRX-05 *	f. SHIGEMATSU TW01SC	g. SHIGEMATSU Sy11V3A
						

Table 2 Results of Fit-test (Number of Fail)

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
PortaCount*	20(8)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount	16(8)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

* tested in 2022 and learning data

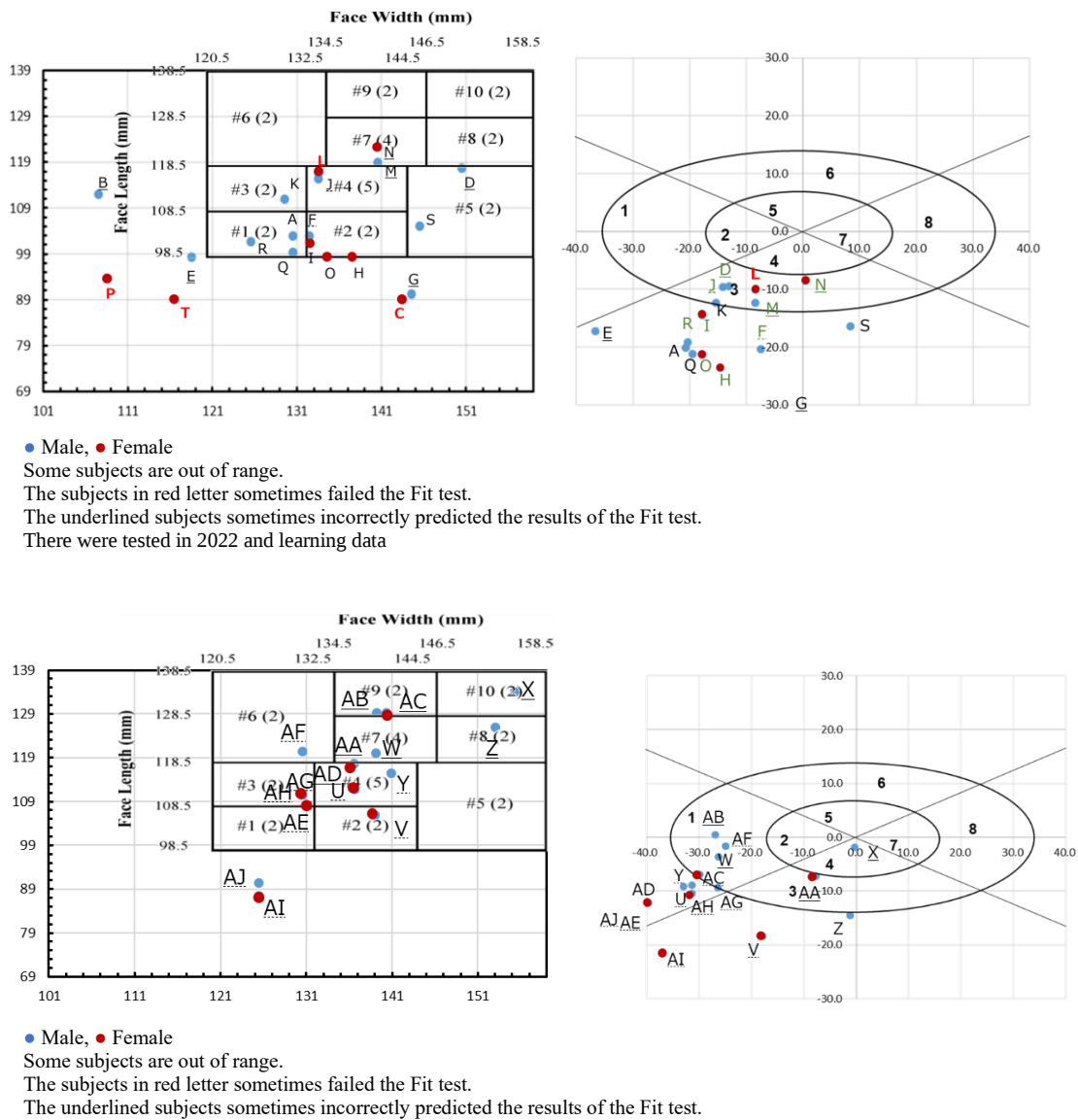
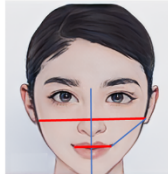


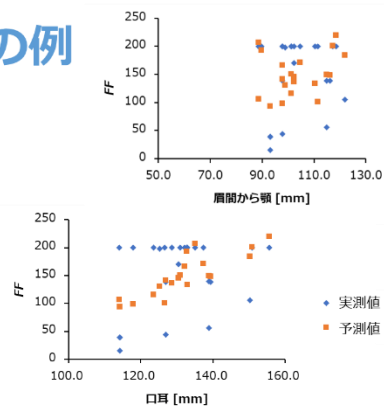
Fig.1 Face size distribution in NIOSH Fit panel

パラメータ決定の例 (DD11-S2-5)

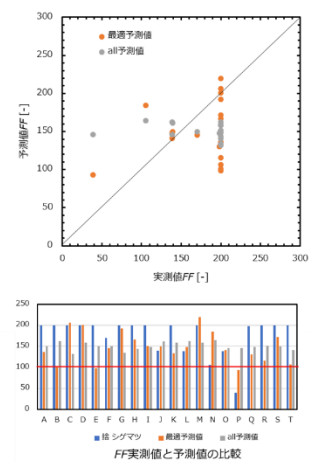
着用者の顔サイズ
パラメータのイメージ



縦幅 (肩間から顎) と口耳
{(顔幅-口幅)²+縦幅²}^{0.5}
をパラメータ

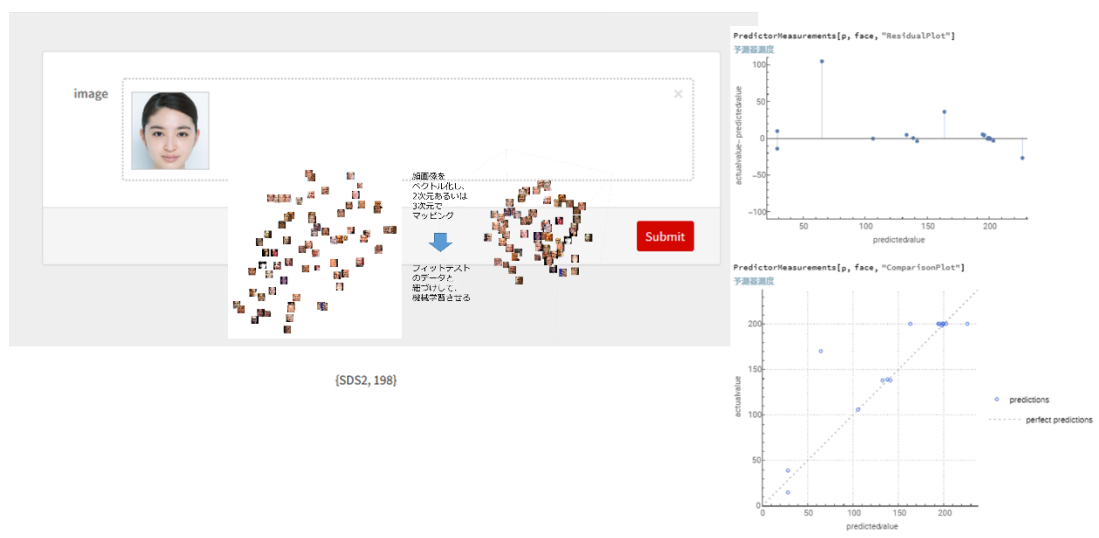


$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$



	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i>
All Data	84.99	1.172	-0.4205	180	0.124
DD11-S2-5	-187.3	-2.846	4.871	27	0.520

(a) Regression equation



(b) Face recognition

Fig.2 Image of parameter adjusting for (a) Regression equation and (b) Face recognition.

Table 3 Estimated results of Fit-factor by (a) Regression equation and (b) Face recognition.

(a) Regression equation

(Learning data)

	all予測値	350	最適予測値	8210 J-DS2	最適予測値	DD11-S2-5	最適予測値	1015-02	最適予測値	1005RRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
A	153	200	187	200	119	200	137	200	146	200	138	200	167	200	163
B	163	182	204	200	119	200	101	200	145	200	129	200	241	200	100
C	138	200	162	101	115	200	206	200	155	200	161	2	42	200	265
D	177	200	215	125	77	200	201	199	200	200	201	200	173	200	115
E	145	200	179	158	139	200	98	200	120	200	106	200	183	200	170
F	154	200	187	130	116	170	145	200	150	200	143	200	159	200	167
G	139	200	164	200	118	200	193	200	150	200	154	200	60	200	253
H	148	200	179	165	116	200	167	200	152	108	150	200	119	200	200
I	152	200	185	162	116	200	150	200	150	200	145	200	149	200	175
J	171	138	211	158	97	139	150	200	173	156	166	200	210	200	104
K	164	200	202	199	109	200	134	200	158	200	148	200	205	200	121
L	172	200	213	24	96	138	148	200	174	200	167	177	217	6	98
M	179	200	217	200	69	200	220	200	211	200	215	200	160	200	118
N	182	149	223	139	76	106	185	200	201	115	198	200	208	200	84
O	147	200	179	175	124	138	141	200	140	200	134	200	143	198	189
P	138	200	170	131	147	39	93	166	110	4	96	200	167	200	191
Q	148	200	181	131	126	198	130	200	137	200	128	200	158	200	178
R	150	200	185	116	128	200	116	200	134	200	123	200	182	200	160
S	158	200	192	120	104	200	172	200	166	178	164	200	145	200	167
T	133	200	162	182	149	200	106	200	109	18	97	200	135	200	220

(Estimated)

	平均値	350	最適予測値	8210 J-DS2	最適予測値	DD11-S2-5	最適予測値	1015-02	最適予測値	1005RRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
U	197	196	188	181	116	200	192	200	192	200	197	200	180	200	137
V	170	126	193	189	130	200	171	200	185	200	171	200	177	200	161
W	163	200	179	198	86	200	178	200	193	119	204	134	220	200	83
X	177	200	169	163	58	200	266	200	215	200	293	200	194	200	46
Y	170	139	184	200	104	144	194	200	194	117	206	200	191	200	117
Z	175	117	177	173	81	200	238	200	206	200	256	200	187	200	83
AA	162	146	181	200	93	111	165	151	190	200	189	200	221	200	94
AB	160	200	171	133	60	200	185	200	199	200	226	144	244	200	38
AC	165	200	172	198	63	200	204	197	202	200	239	200	229	200	46
AD	165	200	182	200	95	200	179	200	192	200	199	200	209	200	100
AE	166	200	190	200	120	200	163	111	185	195	171	124	193	124	141
AF	150	200	168	165	86	200	163	198	146	200	182	200	220	200	85
AH	153	200	171	185	102	200	156	200	165	200	162	200	183	200	132
AI	154	200	173	200	100	200	161	131	165	200	165	200	178	200	135
AJ	154	200	163	123	154	200	99	115	211	200	90	142	135	108	225
AK	158	200	173	200	139	200	129	100	204	200	114	200	120	200	224

Table 3 continue
(b) Face recognition
(Learning data)

	最適予測値 平均値	350	最適予測値	8210 J-DS2	最適予測値	DD11-S2-5	最適予測値	1015-02	最適予測値	1005RRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
A	198	200	200	200	200	200	196	200	187	200	200	200	203	200	198
B	196	182	179	200	200	200	195	200	200	200	200	200	200	200	200
C	140	200	200	101	154	200	200	200	200	200	198	2	1	200	27
D	169	200	174	125	127	200	164	199	135	200	184	200	200	200	199
E	200	200	208	158	156	200	200	200	200	200	234	200	203	200	199
F	168	200	206	130	194	170	65	200	199	200	204	200	199	200	108
G	203	200	220	200	202	200	200	200	200	200	197	200	202	200	197
H	180	200	201	165	167	200	200	200	199	108	108	200	187	200	200
I	175	200	200	162	161	200	203	200	198	200	196	200	164	200	106
J	137	138	140	158	154	139	133	200	184	156	124	200	200	200	25
K	184	200	157	199	167	200	199	200	198	200	200	200	164	200	200
L	137	200	199	24	26	138	142	200	201	200	183	177	210	6	1
M	198	200	189	200	197	200	196	200	200	200	204	200	199	200	198
N	156	149	176	139	139	106	106	200	158	115	117	200	201	200	196
O	173	200	201	175	178	138	139	200	165	200	204	200	200	198	125
P	125	200	154	131	130	39	29	166	164	4	3	200	195	200	202
Q	189	200	209	131	131	198	199	200	200	200	201	200	186	200	195
R	193	200	206	116	116	200	227	200	200	200	203	200	200	200	198
S	186	200	204	120	121	200	200	200	199	178	179	200	200	200	197
T	158	200	196	182	167	200	200	200	201	18	19	200	126	200	197

(Estimated)

	平均値	350	最適予測値	8210 J-DS2	最適予測値	DD11-S2-5	最適予測値	1015-02	最適予測値	1005RRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
U	197	196	1	181	148	200	130	200	137	200	149	200	139	200	165
V	162	126	207	189	160	200	123	200	130	200	96	200	207	200	211
W	130	200	8	198	153	200	162	200	198	119	142	134	144	200	104
X	138	200	113	163	182	200	90	200	105	200	95	200	185	200	193
Y	157	139	75	200	186	144	140	200	198	117	176	200	112	200	211
Z	166	117	235	173	145	200	129	200	130	200	164	200	157	200	205
AA	145	146	127	200	112	111	136	151	130	200	154	200	153	200	205
AB	141	200	192	133	139	200	127	200	129	200	81	144	126	200	193
AC	174	200	291	198	167	200	106	197	137	200	140	200	198	200	181
AD	183	200	240	200	172	200	214	200	197	200	172	200	137	200	147
AE	121	200	1	200	172	200	107	111	137	195	40	124	164	124	227
AF	154	200	129	165	142	200	185	198	130	200	151	200	166	200	174
AH	154	200	1	185	178	200	157	200	103	200	210	200	210	200	218
AI	136	200	112	200	181	200	184	131	60	200	34	200	174	200	208
AJ	165	200	180	123	153	200	173	115	198	200	130	142	203	108	119
AK	156	200	168	200	158	200	138	100	155	200	80	200	186	200	210

Table 4 Estimated results of Fit-test (Number of Fail and Accuracy Rate)

Regression eq.	Subjects(Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
No. of Fail	20(8)	0(0)	5(2)	2(1)	0(0)	2(2)	2(1)	3(2)
PortaCount*	A.R., %	100	75	95	100	100	95	90
No. of Fail	16(8)	0(0)	8(3)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	7(2)
PortaCount	A.R., %	100	50	94	100	94	100	56
Face recognition	Subjects(Female)	a	b	c	d	e	f	g
No. of Fail	20(8)	0(0)	1(1)	2(1)	0(0)	2(2)	1(1)	3(2)
PortaCount*	A.R., %	100	100	95	100	100	100	90
No. of Fail	16(8)	5(2)	0(0)	1(0)	1(1)	6(3)	0(0)	0(0)
PortaCount	A.R., %	69	100	94	94	63	100	100

Table 5 Estimated results of Protection factor and Assigned Protection factor.

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
Assigned Protection factor	-	10	10	10	10	10	10	300(50)
Correction efficiency [%]		95	95	95	95	95	95	99.97
Fit factor (Exp.)	36(16)	189(117,200)	165(24,200)	183(39,200)	188(100,200)	178(4,200)	187(2,200)	190(6,200)
Protection factor		18(17,18)	18(11,18)	18(13,18)	18(17,18)	18(3,18)	18(2,18)	181(6,189)
Fit factor (Reg eq.)	36(16)	184(162,223)	107(58,154)	162(93,266)	170(109,215)	167(90,293)	175(42,244)	141(38,265)
Protection factor		18(18,18)	17(15,18)	18(16,19)	18(17,18)	18(16,19)	18(14,18)	133(38,245)
Fit factor (Face rec.)	36(16)	163(1,291)	134(69,186)	147(90,220)	149(60,211)	138(34,215)	163(42,241)	172(84,265)
Protection factor		18(1,19)	17(15,18)	18(16,18)	18(15,18)	17(13,18)	18(14,18)	164(82,245)

※Fit factor, Protection factor – Ave. (Min., Max)

32. 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究

中山 彩¹, 石田尾 徹², 山本 忍², 保利 一³,
大藪 貴子⁴, 東 秀憲⁴

¹ 産業医科大学 産業保健学部 環境マネジメント学科4年

² 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³ 産業医科大学 名誉教授

⁴ 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

目 的 ベリリウム等の低濃度管理物質を製造、取り扱いしている工程では、発生源付近では従来の工学的対策では管理濃度以下に抑え、第一管理区分にすることは困難であるといわれている。このような環境において、作業者の健康障害を防止するためには、曝露濃度低減の総合的な管理が必要になると考えられる。今回は、有効な曝露防止対策の一つとして、呼吸用保護具のフィットテストを行い、その保護具の密着性に影響を及ぼす因子を検討することを目的とした。

方 法 男性4人、女性1人を実験対象者とし、マスクは計8種類を使用した。フィットテストには、PORTACOUNT 8048（TSI社製）を用いた。フィットファクタ（FF）は、マスク外の粒子濃度（個数濃度）とマスク内の粒子濃度の比で算出する。メカニカルフィルターのマスクについては、99.9%以上の粒子捕集性能をもつフィルターを付けて測定し、静電フィルターのマスクについては、装置に内蔵されているN95コンパニオン機能を使い測定した。半面形マスクのフィットテストの合格基準はFFが100以上である。不合格であった場合には教育を行い、再テストを実施し、教育前後の結果を比較した。

結果および考察 取り換え式マスクは、使い捨てマスクよりもFFが高い傾向であった。取り換え式マスクは、面体がゴムであるため、密着性が高いと考えられる。加えて、使い捨てマスクは陽圧シールチェックであるが、取り替え式マスクは陰圧シールチェックであるため、実験対象者にとって密着性の判断がしやすいことが考えられる。使い捨てマスクは、複数回のテストによりFFが上昇した。これは、特に鼻の部分の漏れに注意して装着を行い、複数回のテストを実施することで、合格する実験対象者が増えたと考えられる。このことから、特に使い捨てマスクを使用する際には、装着上の注意事項等を十分に教育する必要がある。



低濃度管理物質の 曝露防止対策に関する 基礎研究

University of Occupational and Environmental Health, Japan

- 中山 彩 産業保健学部・環境マネジメント学科4年生
- 石田尾 徹 産業保健学部・作業環境計測制御学
- 山本 忍 産業保健学部・作業環境計測制御学
- 保利 一 産業医科大学・名誉教授
- 大藪 貴子 産業生態科学研究所・労働衛生工学
- 東 秀憲 産業生態科学研究所・労働衛生工学

z194414@info.uoeh-u.ac.jp

背景

ベリリウム等の低濃度管理物質を製造、取り扱っている工程では、局所排気装置等により室内への拡散をある程度抑えることができるが、発生源付近では従来の工学的対策では管理濃度以下に抑え、第一管理区分にすることは困難であるといわれている。このことから、個人保護具の使用等を含め、曝露濃度低減の総合的な管理が必要になると考えられる。

目的

- ・本研究では、対象物質としてベリリウムを選択し、これを取り扱う作業の実態を把握し、有効な曝露防止対策を提案することを最終目標とする。
- ・今回は、有効な曝露防止対策の一つとして、呼吸用保護具のフィットテスト(密着性テスト)を行い、その保護具の密着性に影響を及ぼす因子を検討することを目的とした。

実験方法

- ・ 男性4人、女性1人を実験対象者(A~E)とした。
- ・ **マスク**を装着してシールチェック後に、PORTACOUNT 8048 (TSI社製)を用いて、フィットテストを行った。
- ・ **フィットテスト**のプログラムは、マスクのフィルターの種類に依存し、静電フィルターでは、「**前屈**」、「**発声**」、「**頭を左右に**」、「**頭を上下に**」の4つの動作を行い、メカニカルフィルターでは、「発声」を「**その場で駆け足**」とした。
- ・ 半面形マスクのフィットテストの合格基準はフィットファクタが**100以上**である。不合格であった場合には教育を行い、再テストを実施し、教育前後の結果を比較した。

呼吸用保護具

使い捨てマスク



シゲマツ
DD11-S2-5



興研 ハイラック
350型 排気弁なし



3M 8210 J-DS2

電動ファン付 (PAPR)



シゲマツ
PAPR Sy11V3A*

取り換え式マスク



シゲマツ
TW01SC*



興研 1005RRX-
05型 AD-



興研1005RRX-
05型 AD+



興研
1015-02型

*メカニカル
フィルター、
それ以外は
静電フィル
ター

評価方法

- ・フィットファクタ (FF) は $FF = C_{out}/C_{in}$ と定義される。ここで、 C_{out} はマスク外の粒子濃度 (個数濃度)、 C_{in} はマスク内部の粒子濃度である。4つの動作に対するフィットファクタは次式で表される。

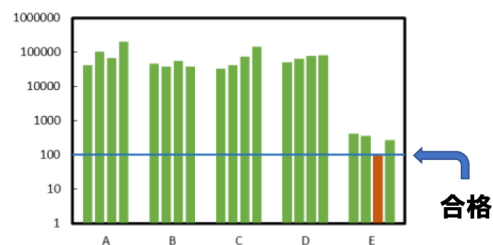
$$FF = \frac{4}{\left(\frac{1}{FF_1}\right) + \left(\frac{1}{FF_2}\right) + \left(\frac{1}{FF_3}\right) + \left(\frac{1}{FF_4}\right)}$$

- ・メカニカルフィルターのマスクについては、99.9%以上の粒子捕集性能をもつフィルターを付けて測定し、静電フィルターのマスクについては、装置に内蔵されているN95コンパニオン機能を使い測定した。これより、メカニカルフィルターと静電フィルターではFFの表示値が異なる。N95コンパニオン機能を使用する場合のFFの上限値は200となる。

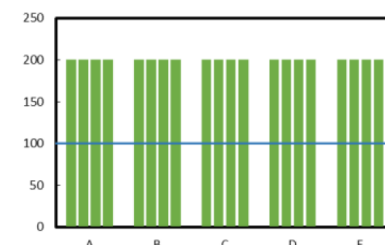
結果(1回目で合格マスク)

取り換え式マスク

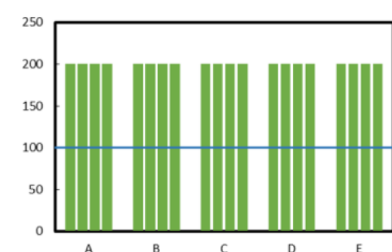
シゲマツ TW01SC



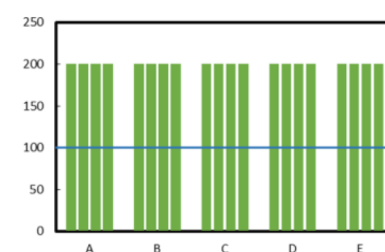
興研 1005RRX-05型 AD-



興研 1005RRX-05型 AD+



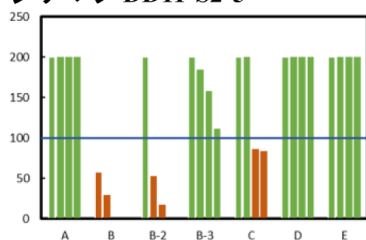
興研 1015-02型



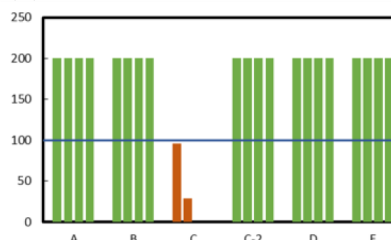
結果(複数回目で合格したマスク)

使い捨てマスク

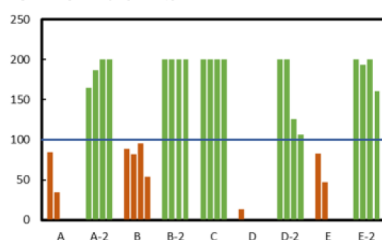
シゲマツ DD11-S2-5



興研 ハイラック350型

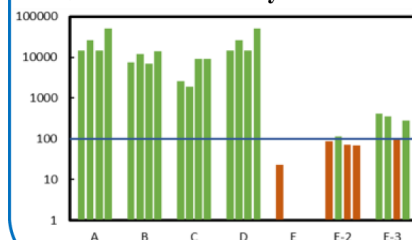


3M 8210 J-DS2



電動ファン付 (PAPR)

シゲマツ PAPR Sy11V3A



結果のまとめと考察

- **取り換え式マスク**は、**使い捨てマスク**よりもフィットファクタが高い傾向であった。取り換え式マスクは、面体がシリコンゴムであるため、密着性が高いと考えられる。また、使い捨てマスクは陽圧シールチェックであるが、取り替え式マスクは陰圧シールチェックであるため、実験対象者にとって密着性の判断がしやすいことが考えられる。
- **使い捨てマスク**は、複数回のテストによりフィットファクタが上昇した。これは、1回目のテストで不合格が多かった使い捨てマスクでも、特に鼻の部分の漏れに注意して装着を行い、複数回のテストを実施することで、合格する実験対象者が増えたと考えられる。
- このことから、特に使い捨てマスクを使用する際には、装着上の注意事項等を十分に教育する必要がある。しかし、今回は実験対象者の数が少ないため、今後データを増やして更なる検討をする予定である。

OD34-4

ベリリウムおよびその化合物の製造および取扱いにおける保護具の選定

大藪 貴子¹⁾、中山 彩²⁾、石田尾 徹²⁾、
東 秀憲¹⁾、山本 忍²⁾、保利 一³⁾

¹⁾ 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学、²⁾ 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学、³⁾ 産業医科大学 名誉教授

【目的】ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、局所排気装置や全体換気などの作業環境管理のみでは対応が難しい場合があり、保護具の使用による防護を視野に入れる必要がある。ベリリウムやその化合物に対する管理濃度は、ベリリウムとして 0.001mg/m³ と極めて低いが、現在の規制は、含有率 1% を超える製剤と 3% を超える合金に対してのみ特定化学物質障害予防規則が適用され、それ以下では作業環境測定や健康診断は義務化されていない。その場合でも、長期に曝露されれば呼吸器障害のみならず、皮膚感作の危険も十分に考えられる。今回はまず呼吸器障害の予防に焦点を当て、溶接ヒュームで義務化されている呼吸用保護具のフィットテストを行い、作業者の保護具選定の方法について検討した。

【方法】保護レベルの異なる標準サイズの半面形呼吸用保護具を対象とし、複数メーカー（シゲマツ、興研、3M）の使い捨て式マスク、取り替え式マスクおよび電動ファン付き呼吸用保護具（PAPR）のフィットファクター（FF）を測定した。対象者は男性 12 名、女性 8 名の計 20 名とした。フィットテスターは、Portacount 8048 型（TSI 社）を用いた。この機種は、凝集核カウンタ（CNC）を有しているので、JIS T8150:2021 に従い、短縮定量的フィットテストを行った。半面形マスクでは、FF の合格基準は 100 以上である。不合格であった場合は、装着法を教育後、再テストを行い、教育前後の結果も比較した。

同時に FF に影響すると考えられる顔の形状と呼吸用保護具の面体の形状を測定した。顔の形状は、メジャーを添えた写真撮影とノギスでの直接測定で、顔の幅、唇の幅、鼻根と頤の距離等を測定し、面体の形状は、面体の縦幅、横幅、高さ等を測定し、被験者と呼吸用保護具との相性（顔と呼吸用保護具間の漏れ）について検討した。

【結果および考察】使い捨てマスクの中では、3M 製のマスクが FF が低い傾向にあった。この原因としてはマスク内側に返しがなかったことや、サイズが他と比較して大きいことが考えられた。シゲマツと興研製の使い捨てマスクは、いずれもサイズが 3M より小さかったが、それでも最終的に合格しない者もいた。取り替え式のマスクの形状は使い捨てより小さいものが多かったが、顔面との接触部分がシリコンゴム製であるため、締め紐を絞めると形状を変えながら顔面に密着することから、比較的 FF は高かった。しかしそれでも教育後不合格者はいた。PAPR は、面体がシリコンゴム製のため取り替え式同様 FF は高いことを予想したが、予想したより FF が低い者もあり、顔面前方にあるバッテリーの重さが原因と考えられた。バッテリー隔離型の PAPR についても検討する必要がある。

今回、教育の効果も認められたが、被験者によっては、教育後に装着状態を改善しても、合格しない者もあり、特に顔の小さい女性において多く認められた。これはマスクのサイズや形状が顔の小さな女性に合っていないためと考えられる。今後、働く女性が増加すれば、その作業者に合ったマスクの選定が必要になり、漏れの少ない呼吸用保護具の選定を可能とするには、作業者の顔形状の情報と FF の相関が有益な情報となる。

【謝辞】本研究は労災疾病臨床研究補助金(211101-01)の助成を受けた

【利益相反】本発表に関連し、開示すべき COI はありません

本研究は産業医科大学倫理委員会の承諾を得て行った（承認番号 R4-006）

ベリリウムおよびその化合物 の製造および取扱いにおける 保護具の選定

大藪貴子¹⁾、中山彩²⁾、石田尾徹²⁾、東秀憲¹⁾、山本忍²⁾、保利一³⁾

¹⁾ 産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

²⁾ 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

³⁾ 産業医科大学 名誉教授

【目的】

ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、局所排気装置や全体換気などの作業環境管理のみでは対応が難しい場合があり、保護具の使用による防護を視野に入れる必要がある。ベリリウムやその化合物に対する管理濃度は、ベリリウムとして $0.001\text{mg}/\text{m}^3$ と極めて低いですが、現在の規制は、含有率1%を超える製剤と3%を超える合金に対してのみ特定化学物質障害予防規則が適用され、それ以下では作業環境測定や健康診断は義務化されていない。その場合でも、長期に曝露されれば呼吸器障害のみならず、皮膚感作の危険も十分に考えられる。

今回はまず呼吸器障害の予防に焦点を当て、溶接ヒュームで義務化されている呼吸用保護具のフィットテストを行い、作業者の保護具選定の方法について検討した。

【方法】

保護レベルの異なる標準サイズの半面形面体の呼吸用保護具を対象とし、複数メーカー(シゲマツ、興研、3M)の使い捨て式マスク、取り替え式マスクおよび電動ファン付き呼吸用保護具(PAPR)のフィットファクター(FF)を測定した。対象者は男性12名、女性8名の計20名とした。個人が特定できないようにするため、対象者をそれぞれA～Tで表現した。

フィットテスターは、PORTACOUNT 8048 型(TSI 社)を用い、JIS T8150:2021に従い、短縮定量的フィットテストを行った。マスクを装着し、シールチェックをした後に測定を行った。半面形面体のマスクでは、FFの合格基準は100以上である。100未満の場合は、装着法を再教育後、時間が許す範囲で再テストを行い、教育の効果も検討した。

同時にFF値に影響を与えると考えられる顔の形状と呼吸用保護具の面体の形状を測定した。顔の形状は、メジャーを添えた写真撮影とノギスで直接サイズ測定をし、顔の幅、唇の幅、鼻根と頤の距離等を測定した。面体の形状は、面体の縦幅、横幅、高さ等のサイズを測定し、対象者と呼吸用保護具との相性(顔と呼吸用保護具間の漏れ)についても検討した。

使用した呼吸用保護具の種類

使い捨てマスク



シゲマツ
DD11-S2-5



興研 ハイラック
350型



3M 8210 J-DS2

*メカニカルフィルター、
それ以外は静電フィル
ター

取り換え式マスク



興研
1015-02型



興研1005RRX-
05型 AD



シゲマツ
TW01SC*

電動ファン付 (PAPR)



シゲマツ
PAPR Sy11V3A*

フィルターの性能はすべてDS2あるいはDL2以上

使用機器: TSI社 PORTACOUNT 8048

小さな粒子(20nm~1000nm程度)の測定が可能なので、

大気塵での測定が可能

(CNC装置で粒子を大きくしてレーザーでカウント)

フィットテストの短縮プログラムが使用可能で測定時間が短縮

N95コンパニオン機能の使用により、フィルターの透過を0に近づけて測定する
呼吸用保護具の外側、内側それぞれの粒子の個数濃度を測定し、

(外側の個数濃度)÷(内側の個数濃度)

により、「フィットファクタ」を求める。



短縮フィットテストの動作

■半面形面体又は全面形面体

順序	時間	動作の内容
1	50秒	前屈
2	30秒	その場の駆け足
3	30秒	頭を左右に回す
4	39秒	頭を上下に動かす

■使い捨て式防じんマスク

順序	時間	動作の内容
1	50秒	前屈
2	30秒	発声
3	30秒	頭を左右に回す
4	39秒	頭を上下に動かす

短縮フィットテストで測定した場合のフィットファクターの算出

$$FF = \frac{4}{\left(\frac{1}{FF_1}\right) + \left(\frac{1}{FF_2}\right) + \left(\frac{1}{FF_3}\right) + \left(\frac{1}{FF_4}\right)}$$

測定例: 使い捨て呼吸用保護具

興研製 ハイラック

355-01型(排気弁あり)

DS2

固体粒子捕集効率95%

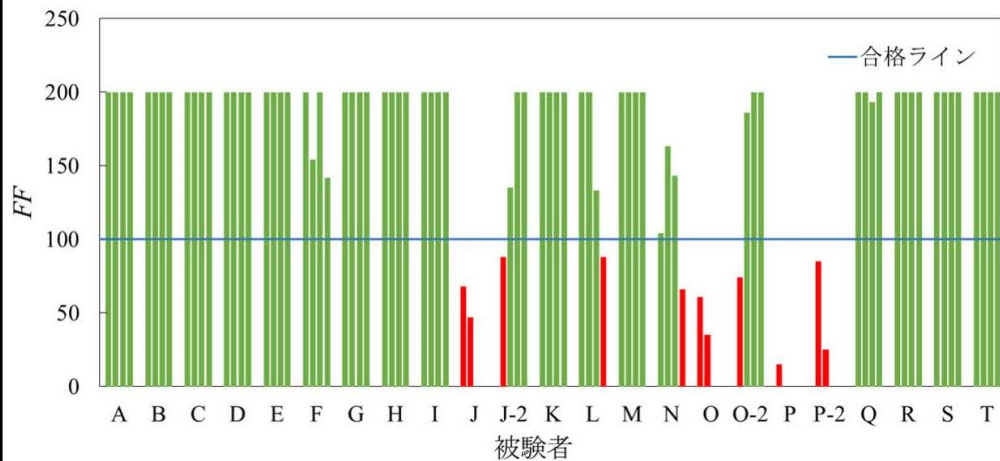
指定防護係数 10



結果の
4本の
棒グラフ

【結果】

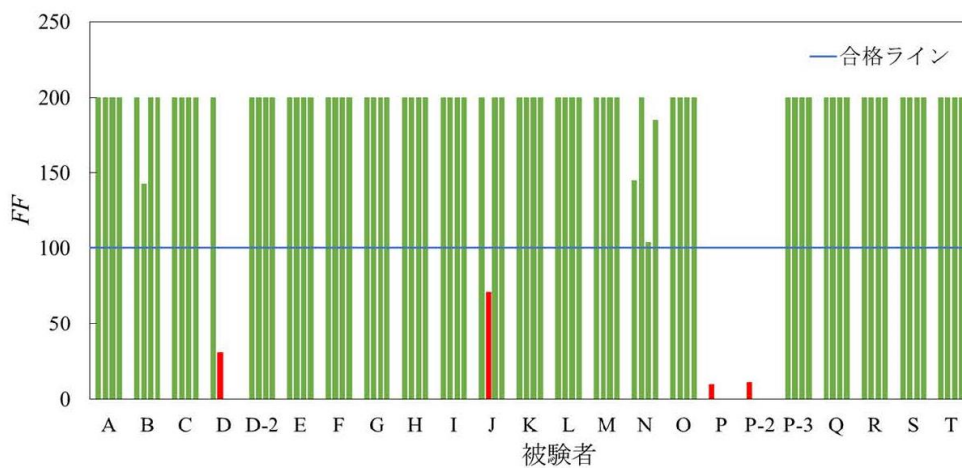
使い捨てマスク（シゲマツ製DD11-S2-5）



* 結果は1つの動作につき1本の棒グラフで示した
合格ライン100に満たない結果は赤色で示した

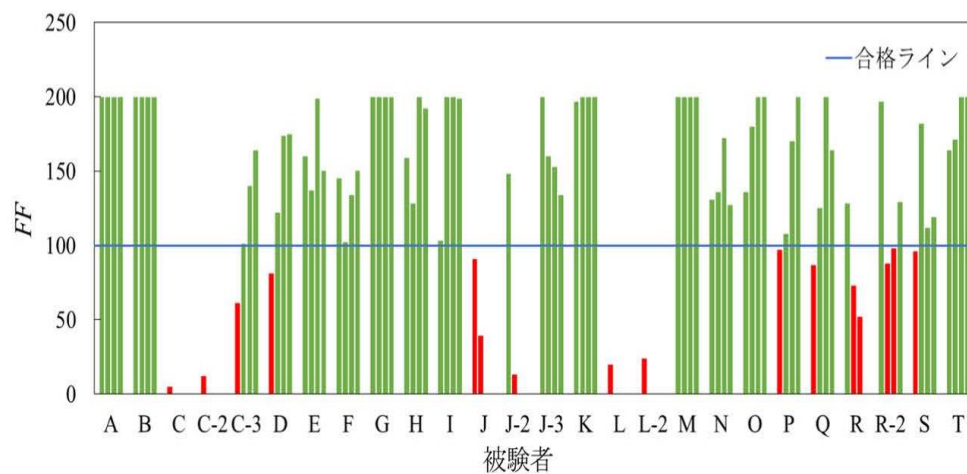
【結果】

使い捨てマスク（興研製ハイラック350型）



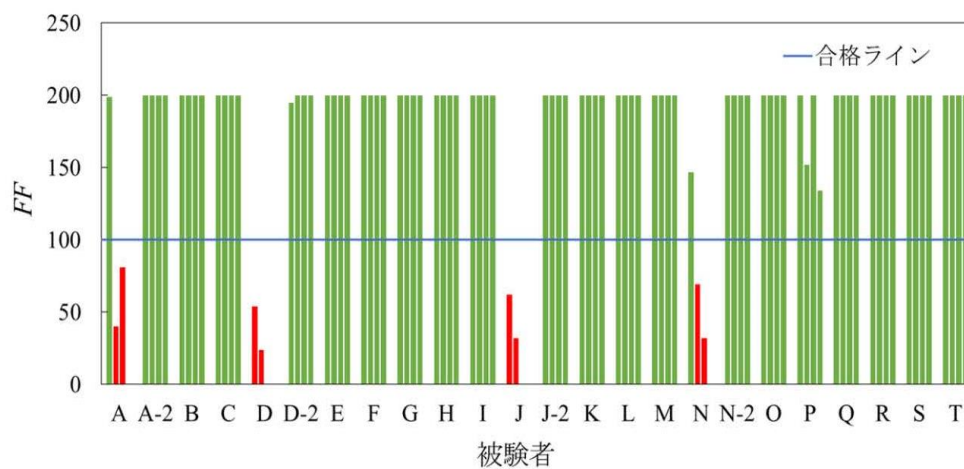
【結果】

使い捨てマスク（3M製8210 J-DS2）



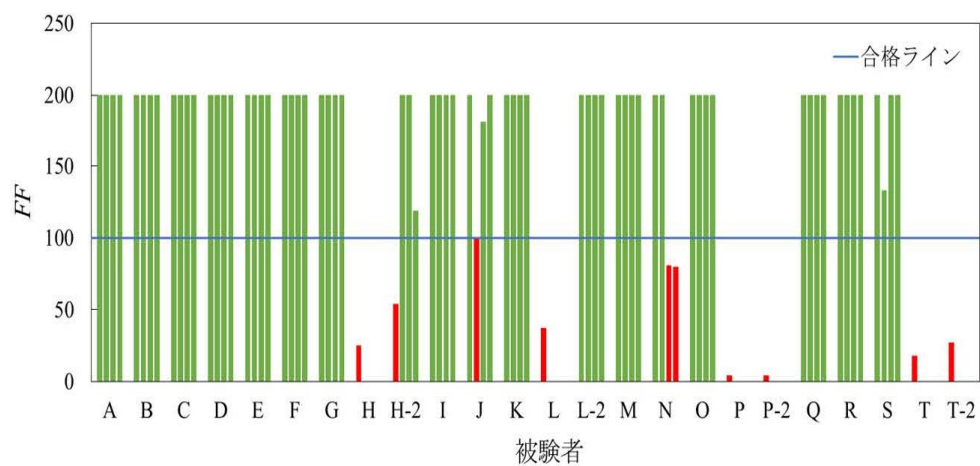
【結果】

取り替え式マスク（興研製1015-02型）



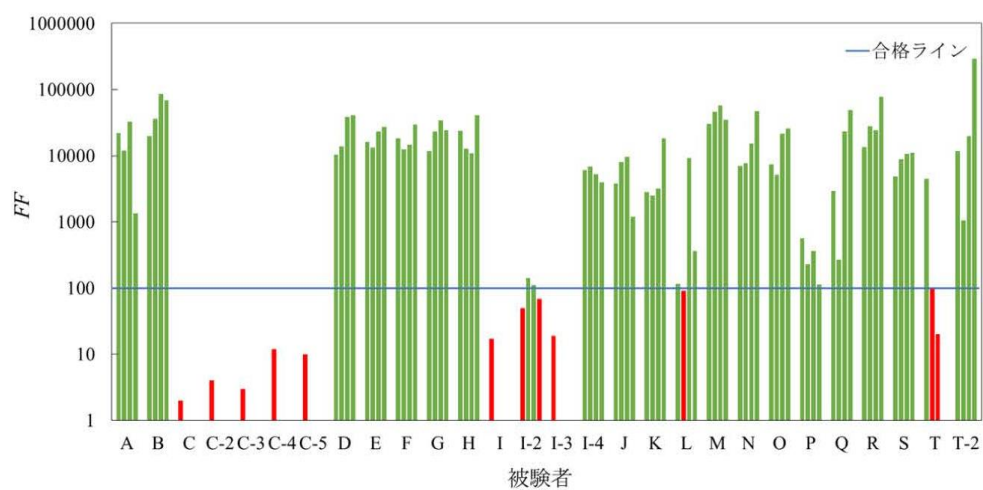
【結果】

取り替え式マスク（興研製1005RRX-05型）



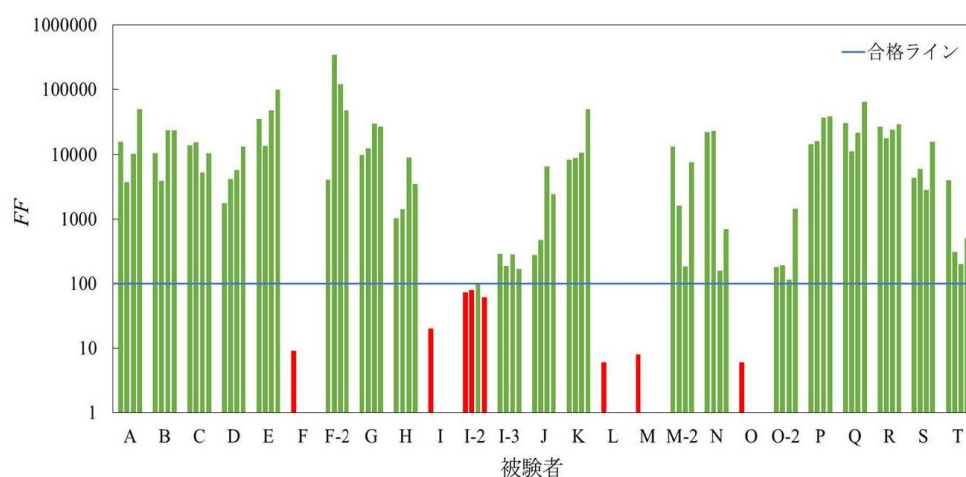
【結果】

取り替え式マスク（シゲマツ製TW01SC）



【結果】

電動ファン付き呼吸用保護具(PAPR)(シゲマツ製PAPR Sy11V3A)



【結果のまとめ】

使い捨てマスクの中では、3M製のマスクがFFが低い傾向にあった。この原因としてはマスク内側に返しが無いことや、サイズが他と比較して大きいことが考えられた。シゲマツ製と興研製の使い捨てマスクは、いずれもサイズが3M製より小さかったが、それでも最終的に合格しない者もいた。

取り替え式のマスクのサイズは使い捨てマスクより小さいものが多く、さらに顔面との接触部分がシリコンゴム製であるため、締め紐を絞めると形状を変えながら顔面に密着しやすいことから、比較的FFは高かった。しかしそれでも教育後不合格者はいた。

電動ファン付き呼吸用保護具(PAPR)は、面体がシリコンゴム製のため取り替え式同様FFは高いことを予想したが、予想していたよりFFが低い者もあり、顔面前方にあるバッテリーの重さが原因と考えられた。バッテリー隔離型のPAPRについても検討する必要がある。

今後、対象者を増やして、顔のサイズとFFとの関係を求めると同時に、接顔面の素材やマスク重量についても検討の必要がある。

【考察】

今回の試験で、教育によりテスト結果の改善が認められたが、対象者のうち教育により装着状態を改善しても合格しなかった者は、全員女性であり、特に顔の小さな女性であった。これはマスクのサイズや形状が顔の小さな女性に合っていないためと考えられる。今後、働く女性が増加することが考えられ、その作業者に合ったマスクの選定が必要になる。漏れの少ない呼吸用保護具の選定を可能とするには、作業者の顔のサイズとFFの相関が有益な情報となると考える。

【謝辞】

本研究は労災疾病臨床研究補助金(211101-01)の助成を受けた

【利益相反】

本発表に関連し、開示すべきCOIはありません

本研究は産業医科大学倫理委員会の承諾を得て行った

(承認番号R4-006)

24. 防じんマスクのフィットファクタと顔サイズ因子の相関

東 秀憲¹、大藪 貴子¹、檜室 文里²、渋谷 晃弘³、
中山 彩³、石田尾 徹⁴、山本 忍⁴、保利 一⁵

¹産業医科大学 産業生態科学研究所 労働衛生工学

²産業医科大学 産業保健学部 産業衛生科学科4年生

³産業医科大学 産業保健学部 環境マネジメント学科

⁴産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

⁵産業医科大学 名誉教授

目的 労働安全衛生規則等の一部を改正する省令等により、新たな化学物質管理が導入されたことに伴い、「防じんマスク、防毒マスク及び電動ファン付き呼吸用保護具の選択、使用等について」（基発 0525 第3号：令和5年5月25日）により、防じんマスク、防毒マスク等の呼吸用保護具を使用する労働者の健康障害を防止するため、その適切な選択、使用、保守管理等に当たって留意すべき事項が更新された。その中で、呼吸用保護具の適切な装着の項目に、フィットテストに関する記述があり、有効な呼吸用保護具を漏れのないように適切に装着することの重要性が記述されている。本研究では、今後主流となると思われる呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストを対象とし、防じんマスクのフィットファクタと顔サイズ因子との相関関係について検討し、作業者に適した呼吸用保護具の選定の基礎データの蓄積と、日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発を目的とした。

対象・方法 大学倫理委員会の承認後（ER23-002）、同意の得られた成人男女対象者に対して使い捨て式および半面形面体型呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストを複数の保護具およびフィットテストを用いて実施した。同時に正面および横からの顔写真と顔面3D画像を撮影した。得られたフィットファクタと対象者の顔写真および3D画像より得られる顔サイズ因子を用いて多変量解析を実行し、顔サイズに関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、テスト結果と比較した。さらに、顔サイズ因子をパラメータとし、フィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報とともに、作業者により適した（フィットファクタが大きいと予想される）呼吸用保護具を選定するための方法について検討した。

結果・考察 フィットテストで得られた防じんマスクのフィットファクタを、NIOSHのフィットパネルに使用されている10カ所に唇幅を加えた顔サイズ因子をフィットファクタに影響を及ぼすパラメータとして解析した。その結果、顔の横幅、縦幅、唇幅から得られる情報がフィットファクタおよびフィットテストの結果に強く相関している傾向が示された。一方、顔の正面写真による顔認識機械学習によるフィットファクタの推定プログラムをWolfram MathematicaTMにより作成し、実行したところ、上記相関式とほぼ同精度でフィットテストの結果を再現することが可能であった。今後は、相関精度の向上とともに、日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発が課題である。

謝辞 本研究は厚生労働省労災疾病臨床研究補助金（211101-01）、厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業JPMH23JA1007の交付を受けて実施した。

防じんマスクのフィットファクタと顔サイズ因子の相関

Correlation between fit factor of dust mask and face size parameters

東 秀憲, 大藪 貴子, 檜室 文里, 渋谷 晃弘, 中山 彩, 石田尾 徹, 山本 忍, 保利 一



Background and Objective

呼吸用保護具を使用する労働者の健康障害の防止にあたり、適切な選択、使用、保守管理等に当たって留意すべき事項＜呼吸用保護具の適切な装着の項目＞

フィットテストに関して、有効な呼吸用保護具を漏れのないように適切に装着することの重要性に関する記述

今後主流となると思われる短縮定量的フィットテストを対象

- 防じんマスクのフィットファクタと顔サイズ因子との相関関係を明らかにすること
- 作業者に適した呼吸用保護具の選定の基礎データの蓄積と、日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発

Strategy

- 複数のメーカーの防じんマスクおよびテスターを用いた短縮定量的フィットテストの実施
- フィットファクタと顔サイズ因子との相関関係について検討
- 作業者に適した呼吸用保護具の選定法の検討

Method

1. 短縮定量的フィットテスト

・SIBATA MT-11D

・TSI PortaCount 8048

・KANOMAX JAPAN AccuFIT9000Pro



半面形面体および全顔形面体の検査の動作			
1. 前額 (5.0秒)	1. 前額 (5.0秒)	2. 頬 (3.0秒)	2. 頬 (3.0秒)
2. 口の横の幅 (3.0秒)	3. 顎を左右に回す (3.0秒)	3. 顎を左右に回す (3.0秒)	3. 顎を左右に回す (3.0秒)
4. 顎を上下に動かす (3.0秒)	4. 顎を上下に動かす (3.0秒)	4. 顎を上下に動かす (3.0秒)	4. 顎を上下に動かす (3.0秒)

フィットファクタ (FF) = 試験具外側子集積量 (cm³) / 試験具内側子集積量 (cm³) × 100

2. 呼吸用保護具

Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
a. KOKEN	b. 3M	c. SHIGEMATSU	d. KOKEN	e. KOKEN	f. SHIGEMATSU	g. SHIGEMATSU
h5m350 *	8210 J-D52 *	DD11-S2-5 *	1015-O2 *	1005RX-O5 *	TW101C	Sy11V3A

* tested by NIOS compatible mode

3. 解析

フィットテストの実施と同時に正面および横からの顔写真と顔面3D画像を撮影した。得られたフィットファクタと対象者の顔写真および3D画像より得られる顔サイズパラメータを用いて多変量解析を実行した。

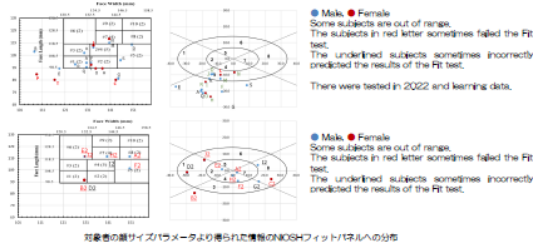
具体的には、フィットテストで得られた防じんマスクのフィットファクタを、NIOSHのフィットパネルに使用されている10カ所に幅を加えた顔サイズパラメータの組み合わせでフィットファクタに影響を及ぼす因子として解析した。その中で特にフィットファクタに影響の大きなパラメータを選定し、相関式を作成して呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、テスト結果と比較した。

Results and Discussion

フィットテストの結果 (不適合者数)									
Subjects		Disposable type			Replaceable type			P-PAPR	
PortaCount *	20/8	0/0	1/11	1/11	0/0	2/21	0/0	1/11	1/11
AccuFIT	10/48	0/0	3/2	0/0	2/11	0/0	0/0	0/0	0/0
MT-11D	10/48	0/0	2/11	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	3/2

* tested by 2022 and learning data

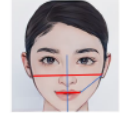
1. 対象者の顔サイズ分布



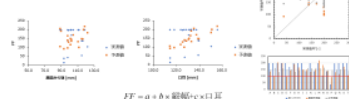
2. 学習データ (tested by PortaCount in 2022)

A. 回帰式による推定

着用者の顔サイズパラメータのイメージ



パラメータ決定の例 (DD11-S2-5)



縦幅 (眉間から顎) と口幅 (口幅 - 口幅) + 縦幅 (口幅) のパラメータ

フィットテストおよび回帰式による推定結果 (フィットファクタ: 上乗値200で統一)									
	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
A	155	200	187	200	115	200	117	148	200
B	163	200	204	200	119	200	145	200	241
C	178	200	151	200	151	200	151	200	241
D	179	200	115	124	12	200	201	200	175
E	145	200	179	158	139	200	120	200	183
F	154	200	157	143	143	200	143	200	183
G	156	200	164	200	113	200	152	200	201
H	148	200	179	164	116	200	147	183	200
I	152	200	185	156	142	200	142	200	183
J	171	200	211	162	147	172	172	200	212
K	164	200	203	191	129	200	154	200	208
L	152	200	154	143	143	200	143	200	183
M	174	200	217	200	147	200	211	200	183
N	162	146	213	134	106	105	111	146	200
O	156	147	157	156	142	142	142	146	200
P	156	200	179	131	147	147	147	146	200
Q	148	200	181	131	126	126	137	138	200
R	152	200	185	156	142	142	142	146	200
S	156	200	182	130	104	200	172	146	200
T	152	200	182	130	104	200	172	146	200
Y	133	200	182	130	104	200	172	146	200

B. 機械学習による推定

【設定】機械学習による顔画像からフィットファクタの推定

Mathematica (Machine Learning) (Trained on CASIA-WebFace and FaceScrub Data)

Represented as face image as an input



フィットテストおよび機械学習による推定結果 (フィットファクタ: 上乗値200で統一)									
	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
A	155	200	200	200	200	200	196	200	200
B	163	200	200	200	200	200	187	200	200
C	178	200	200	200	200	200	200	200	200
D	179	200	200	200	200	200	196	200	200
E	145	200	200	200	200	200	200	200	200
F	154	200	200	200	200	200	200	200	200
G	156	200	200	200	200	200	200	200	200
H	148	200	200	200	200	200	200	200	200
I	152	200	200	200	200	200	200	200	200
J	171	200	200	200	200	200	200	200	200
K	164	200	200	200	200	200	200	200	200
L	152	200	200	200	200	200	200	200	200
M	174	200	200	200	200	200	200	200	200
N	162	200	200	200	200	200	200	200	200
O	156	200	200	200	200	200	200	200	200
P	156	200	200	200	200	200	200	200	200
Q	148	200	200	200	200	200	200	200	200
R	152	200	200	200	200	200	200	200	200
S	156	200	200	200	200	200	200	200	200
T	152	200	200	200	200	200	200	200	200
Y	133	200	200	200	200	200	200	200	200

3. 末学習データへの適用

フィットテストおよび推定結果 (不適合者数, 推定正解率)									
Subjects		Disposable type			Replaceable type			P-PAPR	
PortaCount *	20/8	0/0	6/22	2/11	0/0	2/21	2/11	3/21	3/21
AccuFIT	10/48	0/0	7/5	9/5	10/0	0/0	10/0	9/5	9/5
MT-11D	10/48	0/0	6/5	0/0	0/0	0/0	0/0	4/11	4/11
PortaCount *	20/8	0/0	6/22	2/11	0/0	2/21	2/11	3/21	3/21
AccuFIT	10/48	0/0	7/5	9/5	10/0	0/0	10/0	9/5	9/5
MT-11D	10/48	0/0	6/5	0/0	0/0	0/0	0/0	4/11	4/11

解析の結果、顔の縦幅、縦幅および幅から得られる情報からフィットファクタおよびフィットテストの適合判定結果に強く相関している傾向が示され、フィットファクタの推定式を2変数で表現した。一方、顔の正面写真による顔認識機械学習によるフィットファクタの推定プログラムをWolfram Mathematicaにより作成し、実行したところ、推定式と同精度以上で学習データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり、末学習データも概ね7割以上再現可能であった。

Conclusion

呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストにより得られたフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討した。顔のサイズに関するいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、顔サイズパラメータのうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法について検討した。

Acknowledgment

本研究は厚生労働省労働安全衛生研究補助金 (211101-01) および厚生労働省研究費補助金労働安全衛生総合研究事業 JPMH23JA1007の交付を受けて実施した。

呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関

○東 秀憲，大藪貴子（産業医科大学 産業生態科学研究所），檜室文里，
渋谷晃弘，中山 彩，石田尾徹，山本 忍（産業医科大学 産業保健学部），
保利 一（産業医科大学 名誉教授）

【はじめに】労働安全衛生規則等の一部を改正する省令等により，新たな化学物質管理が導入されたことに伴い，「防じんマスク，防毒マスク及び電動ファン付き呼吸用保護具の選択，使用等について」（基発 0525 第 3 号：令和 5 年 5 月 25 日）により，防じんマスク，防毒マスク等の呼吸用保護具を使用する労働者の健康障害を防止するため，その適切な選択，使用，保守管理等に当たって留意すべき事項が更新された．その中で，呼吸用保護具の適切な装着の項目に，フィットテストに関する記述があり，有効な呼吸用保護具を漏れのないように適切に装着することの重要性が記述されている．

本研究では，今後主流となると思われる呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストを対象とし，防じんマスクのフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討し，作業者に適した呼吸用保護具の選定のための基礎データの蓄積と，日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発を目的とした．

【方法】大学倫理委員会の承認後（ER23-002），説明により同意の得られた成人男女対象者に対して複数の使い捨て式あるいは半面形面体型呼吸用保護具に関する短縮定量的フィットテストを実施した．本研究でテストに用いたフィットテストは，短縮定量的フィットテストが可能な TSI PortaCount 8048，日本 KANOMAX AccuFIT9000Pro，柴田科学 MT-11D の 3 機種であり，呼吸用保護具は Table 1 に示したものである．

Table 1 Respirator protective equipment (* tested by N95 compatible mode)

Disposable type				Replaceable type		P-PAPR
a. KOKEN バフック 350 *	b. 3M 8210 J-DS2 *	c. SHIGEMATSU DD11-S2-5 *	d. KOKEN 1015-02 *	e. KOKEN 1005RRX-05 *	f. SHIGEMATSU TW01SC	g. SHIGEMATSU Sy11V3A
						

フィットテストの実施と同時に正面および横からの顔写真と顔面 3D 画像を撮影した．得られたフィットファクタと対象者の顔写真および 3D 画像より得られる顔サイズパラメータを用いて多変量解析を実行した．具体的には，フィットテストで得られた防じんマスクのフィットファクタを，NIOSH のフィットパネルに使用されている 10 カ所に唇幅を加えた顔サイズパラメータの組み合わせでフィットファクタに影響を及ぼす因子として解析した．その中で特にフィットファクタに影響の大きなパラメータを選定し，相関式を作成して呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し，テスト結果と比較した．さらに，作業者により適した（フィットファクタが大きいと予想される）呼吸用保護具を選定するための方法について検討するとともに，フィットテスト手法簡略化のための情報とした．

【結果】短縮定量的フィットテストの合格判定をまとめた結果を Table 2 に，対象者の顔サイズパラメータより得られた情報の NIOSH フィットパネルへの分布を Fig.1 に示す．

Table 2 Results of Fit-test (Number of Fail)

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
PortaCount*	20(8)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount	10(4)	0(0)	2(1)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)
AccuFIT	10(4)	0(0)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
MT-11D	10(4)	1(1)	4(3)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	3(3)

* tested in 2022 and learning data

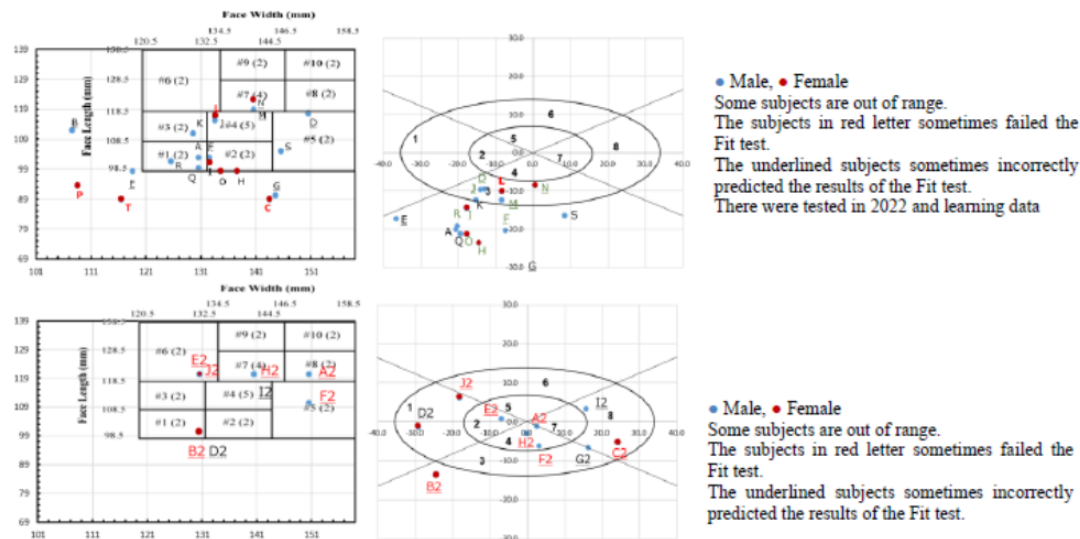


Fig.1 Face size distribution in NIOSH Fit panel

【考察】解析の結果、顔の横幅、縦幅および唇幅から得られる情報がフィットファクタおよびフィットテストの合否判定結果に強く関連している傾向が示され、フィットファクタの推定式を2変数で表現した。一方、顔の正面写真による顔認識機械学習によるフィットファクタの推定プログラムをWolfram Mathematica™により作成し、実行したところ、推定式と同精度以上で学習データのフィットテストの判定結果を再現することが可能であり、未学習データも概ね7割以上再現可能であった（Table 3）。今後は、学習データの精査や相関法の改善により、特に未学習データの判定結果の推定精度向上とともに、日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発が課題である。

Table 3 Estimated results of Fit-test (Number of Fail and Accuracy Rate)

Regression eq.	Subjects(Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	
No. of Fail	20(8)	0(0)	5(2)	2(1)	0(0)	2(2)	2(1)	3(2)
PortaCount*	A.R., %	100	75	95	100	100	95	90
No. of Fail	10(4)	0(0)	6(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(1)
PortaCount	A.R., %	100	70	100	80	100	100	60
AccuFIT	A.R., %	100	60	100	100	100	100	50
MT-11D	A.R., %	90	70	90	100	90	100	60
Face recognition	Subjects(Female)	a	b	c	d	e	f	g
No. of Fail	20(8)	0(0)	1(1)	2(1)	0(0)	2(2)	1(1)	3(2)
PortaCount*	A.R., %	100	100	95	100	100	100	90
No. of Fail	10(4)	3(2)	0(0)	2(1)	1(0)	3(1)	0(0)	0(0)
PortaCount	A.R., %	70	70	80	70	70	100	100
AccuFIT	A.R., %	70	80	80	90	70	100	90
MT-11D	A.R., %	80	60	70	90	60	100	70

【まとめ】呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストにより得られたフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討した。顔のサイズに関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。さらに、顔サイズパラメータのうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法について検討した。

【謝辞】本研究は厚生労働省労災疾病臨床研究補助金（211101-01）および厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業 JPMH23JA1007 の交付を受けて実施した。

（連絡先）東 秀憲

産業医科大学 産業生態科学研究所

北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1

093-691-7459

呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関



産業医科大学 ○東 秀憲, 大藪貴子, 檜室文里, 渋谷晃弘,
中山 彩, 石田尾徹, 山本 忍, 保利 一



- 本研究は、厚生労働省労災疾病臨床研究補助金事業（211101-01）および厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業（23JA1007）を受けて実施しました。
- ご協力いただきました実験対象者の方々に感謝いたします。
- 本発表に関連して、開示すべき利益相反に該当する項目はありません。
- 本研究は、産業医科大学の倫理委員会の承認（No. R4-006およびER23-002）を得て実施しました。

背景と目的

呼吸用保護具を使用する労働者の健康障害の防止にあたり、適切な選択、使用、保守管理等に当たって留意すべき事項

＜呼吸用保護具の適切な装着の項目＞

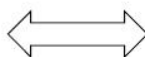
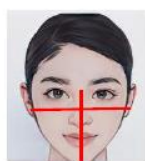
フィットテストに関して、有効な呼吸用保護具を漏れのないように適切に装着することの重要性に関する記述

今後主流となると思われる**短縮定量的フィットテスト**を対象

- 呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係を明らかにすること
- 作業者に適した呼吸用保護具の選定の基礎データの蓄積と、日常的に使用可能なより簡便なフィットテスト手法の開発

実施・検討事項

- 複数のメーカーの呼吸用保護具およびテスターを用いた短縮定量的フィットテストの実施
- フィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討
- 作業者に適した呼吸用保護具の選定法の検討



フィットテスト（短縮定量的フィットテスト）
→ **フィットファクタ**

方法 1

1. 短縮定量的フィットテスト

- TSI PortaCount 8048



- KANOMAX JAPAN AccuFIT9000Pro



- SIBATA MT-11D



半面形面体および全面形面体の場合の動作	使い捨て式防じんマスクの場合の動作
1. 前屈（50秒）	1. 前屈（50秒）
2. その場の駆け足（30秒）	2. 発声（30秒）
3. 頭を左右に回す（30秒）	3. 頭を左右に回す（30秒）
4. 頭を上下に動かす（39秒）	4. 頭を上下に動かす（39秒）

$$\text{フィットファクタ (FF)} = \frac{\text{保護具外粒子濃度}[\text{個}/\text{cm}^3]}{\text{保護具内粒子濃度}[\text{個}/\text{cm}^3]} = \frac{1}{\text{希釈率}}$$

$$\text{総合フィットファクタ (FF)} = \frac{4}{\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \frac{1}{FF_4}}$$

方法 2

5

2. 呼吸用保護具

Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
a. KOKEN	b. 3M	c. SHIGEMATSU	d. KOKEN	e. KOKEN	f. SHIGEMATSU	g. SHIGEMATSU
ハイラック350 *	8210 J-DS2 *	DD11-S2-5 *	1015-02 *	1005RRX-05 *	TW01SC	Sy11V3A
						

* tested by N95 compatible mode

3. 解析

- フィットテストの実施と同時に正面および横からの顔写真と顔面3D画像を撮影した。
- 得られたフィットファクタと対象者の顔写真および3D画像より得られる顔サイズパラメータを用いて多変量解析を実行した。
 - 得られた呼吸用保護具のフィットファクタを、NIOSHのフィットパネルに使用されている10カ所に、唇幅を加えた顔サイズパラメータの組み合わせでフィットファクタに影響を及ぼす因子として解析した。
 - 特にフィットファクタに影響の大きなパラメータの組み合わせを選定し、相関式を作成して呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、テスト結果の実測値と比較した。
 - 顔認証機械学習によるフィットテスト結果の推定を行った。

結果と考察

6

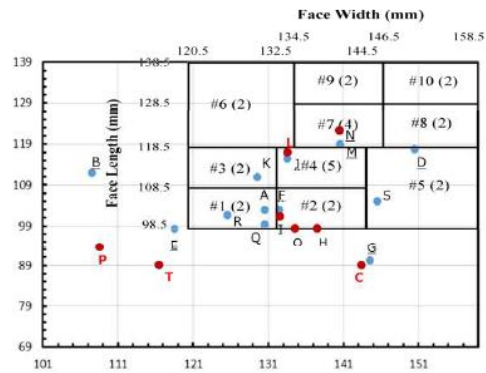
フィットテストの実験結果（不合格者数）

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	g
PortaCount (A) *	20(8)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount (B)	11(6)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
PortaCount (C)	10(4)	0(0)	2(1)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)
AccuFIT	10(4)	0(0)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
MT-11D	10(4)	1(1)	4(3)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	3(3)

* tested in 2022 and learning data

顔サイズ分布 1

PortaCount (A)



● Male, ● Female

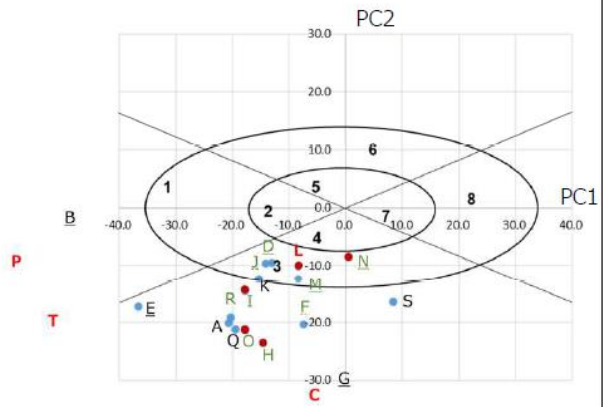
Some subjects are out of range.

The subjects in **red letter** sometimes failed the Fit test.

The underlined subjects sometimes incorrectly predicted the results of the Fit test.

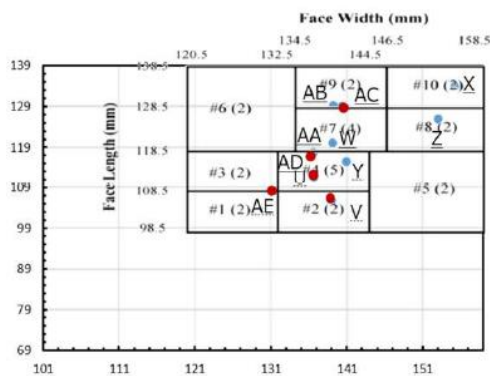
There were tested in 2022 and learning data.

7



顔サイズ分布 2

PortaCount (B)



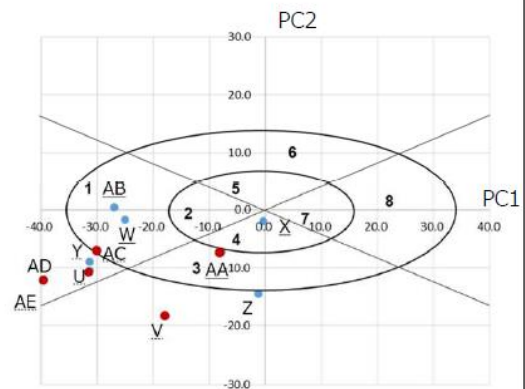
● Male, ● Female

Some subjects are out of range.

The subjects in **red letter** sometimes failed the Fit test.

The underlined subjects sometimes incorrectly predicted the results of the Fit test.

8



顔サイズ分布 3

● Male, ● Female

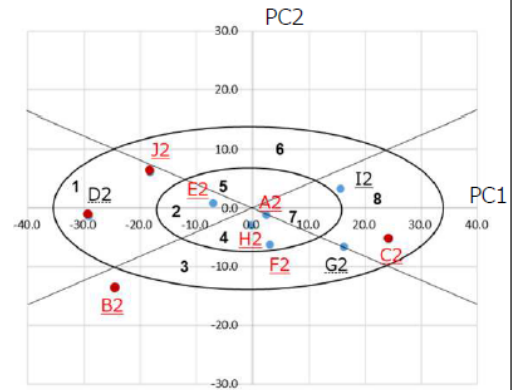
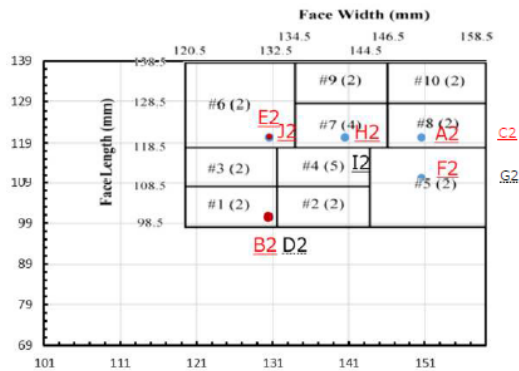
Some subjects are out of range.

The subjects in **red letter** sometimes failed the Fit test.

The underlined subjects sometimes incorrectly predicted the results of the Fit test.

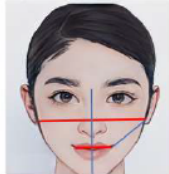
9

PortaCount (C), AccuFIT, MT-11D

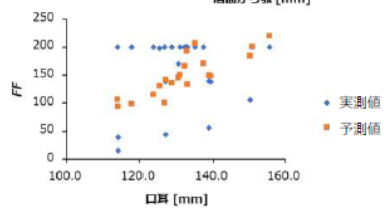
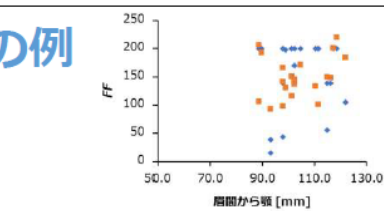


パラメータ決定の例 (DD11-S2-5)

着用者の顔サイズ
パラメータのイメージ

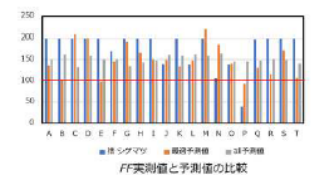
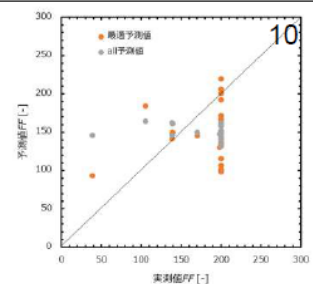


縦幅 (眉間から顎) と口耳
{(顔幅-口幅)²+縦幅²}^{0.5}
をパラメータ



$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i>
All Data	84.99	1.172	-0.4205	180	0.124
DD11-S2-5	-187.3	-2.846	4.871	27	0.520



回帰式によるフィットファクタの推定（学習データ）

11

	all予測値	350	最適予測値	8210-J-DS2	最適予測値	DD11-S2-S	最適予測値	1015-02	最適予測値	1005RRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
A	153	200	187	200	119	200	137	200	146	200	138	200	167	200	163
B	163	182	204	200	119	200	101	200	145	200	129	200	241	200	100
C	138	200	162	101	115	200	206	200	155	200	161	2	42	200	265
D	177	200	215	125	77	200	201	199	200	201	200	173	200	115	115
E	145	200	179	158	139	200	98	200	120	200	106	200	183	200	170
F	154	200	187	130	116	170	145	200	150	200	143	200	159	200	167
G	139	200	164	200	118	200	193	200	150	200	154	200	60	200	253
H	148	200	179	165	116	200	167	200	152	108	150	200	119	200	200
I	152	200	185	162	116	200	150	200	150	200	145	200	149	200	175
J	171	138	211	158	97	139	150	200	173	156	166	200	210	200	104
K	164	200	202	199	109	200	134	200	158	200	148	200	205	200	121
L	172	200	213	24	96	138	148	200	174	200	167	177	217	6	98
M	179	200	217	200	69	200	220	200	211	200	215	200	160	200	118
N	182	149	223	139	76	106	185	200	201	115	198	200	208	200	84
O	147	200	179	175	124	138	141	200	140	200	134	200	143	198	189
P	138	200	170	131	147	39	93	166	110	4	96	200	167	200	191
Q	148	200	181	131	126	198	130	200	137	200	128	200	158	200	178
R	150	200	185	116	128	200	116	200	134	200	123	200	182	200	160
S	158	200	192	120	104	200	172	200	166	178	164	200	145	200	167
T	133	200	162	182	149	200	106	200	109	18	97	200	135	200	220

※ N95モード相当に合わせて、すべてFFの上限は200として整理

【暫定版】機械学習による顔画像からフィットファクタの推定

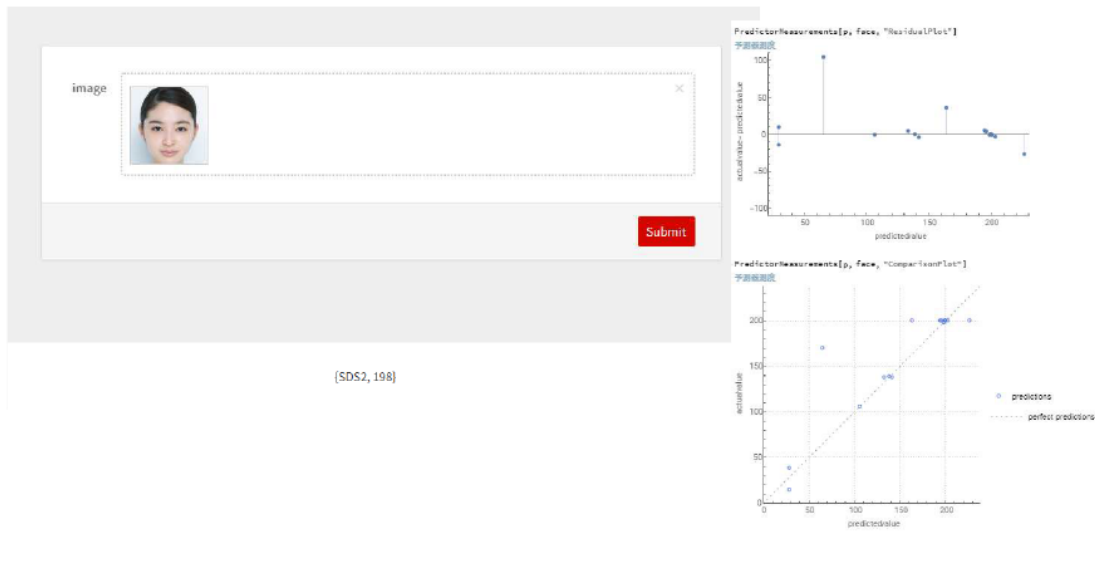
12

Wolfram Mathematica
 NetModel["OpenFace Face Recognition Net Trained on CASIA-WebFace and FaceScrub Data"]
 Represent a facial image as a vector



【暫定版】機械学習による顔画像からフィットファクタの推定

13



【暫定版】機械学習による顔画像からフィットファクタの推定（学習データ）

14

	最適予測値 平均値	350	最適予測値	8210 J-DS2	最適予測値	DD11-S2-S	最適予測値	1015-02	最適予測値	100SRX-05	最適予測値	TW01SC	最適予測値	Sy11V3A	最適予測値
A	198	200	200	200	200	200	196	200	187	200	200	200	203	200	198
B	196	182	179	200	200	200	195	200	200	200	200	200	200	200	200
C	140	200	200	101	154	200	200	200	200	200	198	2	0	200	27
D	169	200	174	125	127	200	164	199	135	200	184	200	200	200	199
E	200	200	208	158	156	200	200	200	200	200	234	200	203	200	199
F	168	200	206	130	194	170	65	200	199	200	204	200	199	200	108
G	203	200	220	200	202	200	200	200	200	200	197	200	202	200	197
H	180	200	201	165	167	200	200	200	199	108	108	200	187	200	200
I	175	200	200	162	161	200	203	200	198	200	196	200	164	200	106
J	137	138	140	158	154	139	133	200	184	156	124	200	200	200	25
K	184	200	157	199	167	200	199	200	198	200	200	200	164	200	200
L	137	200	199	24	26	138	142	200	201	200	183	177	210	6	0
M	198	200	189	200	197	200	196	200	200	200	204	200	199	200	198
N	156	149	176	139	139	106	106	200	158	115	117	200	201	200	196
O	173	200	201	175	178	138	139	200	165	200	204	200	200	198	125
P	125	200	154	131	130	39	29	166	164	4	3	200	195	200	202
Q	189	200	209	131	131	198	199	200	200	200	201	200	186	200	195
R	193	200	206	116	116	200	227	200	200	200	203	200	200	200	198
S	186	200	204	120	121	200	200	200	199	178	179	200	200	200	197
T	158	200	196	182	167	200	200	200	201	18	19	200	126	200	197

※ N95モード相当に合わせて、すべてFFの上限は200として整理

未学習データへの適用（回帰式）

15

フィットテストの実験結果（不合格者数）

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	
PortaCount (A) *	20(8)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount (B)	11(6)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
PortaCount (C)	10(4)	0(0)	3(2)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)
AccuFIT	10(4)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
MT-11D	10(4)	1(1)	4(3)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	3(3)

* tested in 2022 and learning data

フィットテストおよび推定結果（不合格者数、結果正解率）

A.Regression eq.	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	
No. of Fail	20(8)	0(0)	5(2)	2(1)	0(0)	2(2)	2(1)	3(2)
PortaCount (A) *	A.R. %	100	75	95	100	100	95	90
No. of Fail	11(6)	0(0)	7(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	6(2)
PortaCount (B)	A.R. %	100	36	100	100	100	100	45
No. of Fail	10(4)	0(0)	6(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(1)
PortaCount (C)	A.R. %	100	70	100	80	100	100	60
AccuFIT	A.R. %	100	60	100	100	100	100	50
MT-11D	A.R. %	90	70	90	100	90	100	60

未学習データへの適用（顔認証機械学習）

16

フィットテストの実験結果（不合格者数）

	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	
PortaCount (A) *	20(8)	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	2(2)	1(1)	1(1)
PortaCount (B)	11(6)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
PortaCount (C)	10(4)	0(0)	3(2)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)
AccuFIT	10(4)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)
MT-11D	10(4)	1(1)	4(3)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	3(3)

* tested in 2022 and learning data

フィットテストおよび推定結果（不合格者数、結果正解率）

B.Face recognition	Subjects (Female)	Disposable type			Replaceable type			P-PAPR
		a	b	c	d	e	f	
No. of Fail	20(8)	0(0)	1(1)	2(1)	0(0)	2(2)	1(1)	3(2)
PortaCount (A) *	A.R. %	100	100	95	100	100	100	90
No. of Fail	11(6)	4(2)	0(0)	1(0)	0(0)	4(2)	0(0)	0(0)
PortaCount (B)	A.R. %	64	100	91	100	64	100	100
No. of Fail	10(4)	3(2)	0(0)	2(1)	1(0)	3(1)	0(0)	0(0)
PortaCount (C)	A.R. %	70	70	80	70	70	100	100
AccuFIT	A.R. %	70	80	80	90	70	100	90
MT-11D	A.R. %	80	60	70	90	60	100	70

- 呼吸用保護具の短縮定量的フィットテストにより得られたフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関関係について検討した。
- 顔のサイズに関わるいくつかのパラメータから呼吸用保護具のフィットテストの結果を推定し、実際のテスト結果と比較した。
- さらに、顔サイズパラメータのうちフィットファクタに大きな影響を与えるパラメータに関する情報の抽出とともに、作業者に適した呼吸用保護具を選定するための方法について検討した。
- 学習データおよび最適化手法の検討により推定精度の向上が見込まれる。

資料：エアロゾルシンポジウム（チラシとスライド）



日本エアロゾル学会主催
エアロゾルシンポジウムシリーズ

作業環境中のエアロゾルの 計測とリスク

日時：2023年4月25日（火）15:00-16:30

開催方式：完全オンライン（要事前登録）

参加費：無料

参加登録は以下のリンクから

Sponsored by

クリーン、ヘルス、セーフティで社会に



興研株式会社

<https://sites.google.com/view/jaast-symposium-series/home>

エアロゾルシンポジウムシリーズは、日本エアロゾル学会が主催するオンラインシンポジウムです。学会員の資格を問わずどなたでも参加できます。今回のシンポジウムは、興研株式会社様（<https://www.koken-ltd.co.jp/>）のご支援により開催します。

講師：産業医科大学 教授 東 秀憲

主な経歴

2001年 博士(工学) (九州大学)

2018年 2018年度日本エアロゾル学会論文賞受賞

2020年 第37回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会 研究奨励賞受賞

2022年 日本エアロゾル学会誌編集委員



労働衛生工学研究室では従来研究所内外と協力のもと、作業環境中のエアロゾルの生体影響（有害性）とその対策について検討を行っています。本講演では、コロナ禍で着目され、労働環境における感染防止効果の観点から実施した呼吸用保護具およびプロテクタ類の飛沫飛散防止効果の計測とその結果に基づく感染リスクの相対的評価について紹介します。一方、感染リスクを低く保ちながら快適な条件を維持するためには、換気と空調のバランスを調整する必要があり、このような室内環境の快適性の評価と解析について少し紹介します。さらに、低管理濃度物質を扱う現場での曝露低減対策であり、呼吸用保護具の有効性評価の基礎実験として実施しているマスクのフィットテストについても触れます。

低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究 ～呼吸用保護具のフィットテストと顔サイズの影響因子の相関～

- 本研究は、厚生労働省労災疾病臨床研究事業「ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究」（課題番号：211101-01、研究代表者：石田尾徹）の補助を受けて実施しました。
- ご協力いただきました実験対象者の方々に感謝いたします。
- 本発表に関連して、開示すべき利益相反に該当する項目はありません。
- 本研究は、産業医科大学の倫理委員会の承認を得て実施しました。
(No. R4-006)

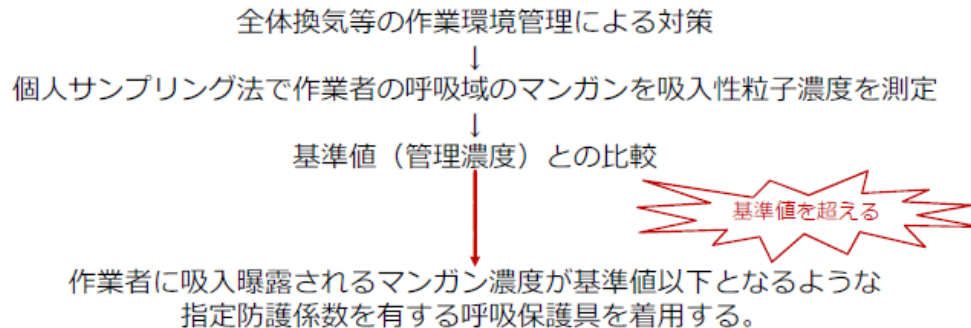
46

背景と目的

- ベリリウムおよびベリリウム化合物等の管理濃度が極めて低い物質を製造、取り扱う工程では、局所排気装置や全体換気などの作業環境管理のみでは対応が難しい場合があり、呼吸用保護具の使用が必要な場合がある。
- ベリリウムやその化合物に対する管理濃度は、ベリリウムとして 0.001 mg/m^3 と極めて低いが、現在の規制は含有率 1 % を超える製剤と 3 % を超える合金に対してのみ特定化学物質障害予防規則が適用され、それ以下では作業環境測定や健康診断は義務化されていない。
- その場合でも、長期に曝露されれば呼吸器障害のみならず、皮膚感作の危険も十分に考えられる。本研究では、呼吸器障害の予防に焦点を当て、溶接ヒュームで義務化されている呼吸用保護具のフィットテストを行い、フィットファクタに影響を及ぼす顔のサイズ因子との相関について検討した。

47

溶接ヒューム特化則（管理第2物質）対応による必要な措置



さらに、**1年以内毎に1回のフィットテスト**が義務付けられた。
フィットテストは溶接ヒューム作業にのみ義務付けられているが、今後は低管理濃度物質の作業場や医療現場にもフィットテストの義務化は広がると考えられる。

48

フィットファクタと防護係数

フィットファクタと防護係数は、ともに保護具内外の粒子濃度の比で定義される。

① フィットファクタ (FF)

フィルタを透過する粒子を無視できる状態で測定され、保護具の面体と顔面の隙間からの漏れ（サイズや形状のフィッティング）の尺度を表す値、すなわち希釈率の逆数とし通常個数濃度で測定される。

② 防護係数 (PF)

隙間からの漏れとフィルタを通過する粒子を合わせた、全漏れ率の逆数として質量濃度で定義される。

※保護具の選定の基準

各保護具の（指定）防護係数 > 要求防護係数 = 環境濃度 / 管理濃度

49

呼吸用保護具の指定防護係数(JIS T8150) 2021改定

マスクの種類		指定防護係数	
防じんマスク	使い捨て式 (DS3又はDL3)	10	
	取替え式 (半面形、RS3又はRL3)	10	
	取替え式 (全面形、RS3又はRL3)	50	
電動ファン付呼吸用保護具	半面形 (S級、PS3又はPL3)	50/300*	
	全面形 (S級、PS3又はPL3)	1,000	
	フード形 (S級、PS3又はPL3)	25/1,000*	
	フェイスシールド形 (S級、PS3又はPL3)	25/300*	
送気マスク	一定流量形	半面形	50
		全面形	1,000
		フード形	25/1,000*
		フェイスシールド形	25
	プレッシャデマンド形	半面形	50
		全面形	1,000
空気呼吸器	デマンド形	半面形	10
		全面形	50
	プレッシャデマンド形	全面形	10,000

注：表中の防じんマスクの規格の規定による区分（ろ材の性能：DS3又はDL3）、電動ファン付き呼吸用保護具の規格の規定による区分（漏れ率：S級およびろ材の性能：RS3又はRL3、PS3又はPL3）は指定防護係数が最大となる場合で、使用する保護具の規格の規定（漏れ率およびろ材の性能）等により、表記より低くなる場合がある。

* 呼吸用保護具製造業者による技術資料が添付されている製品にだけ適用

50

注：表中の防じんマスクの規格の規定による区分（ろ材の性能：DS3又はDL3）、電動ファン付き呼吸用保護具の規格の規定による区分（漏れ率：S級およびろ材の性能：RS3又はRL3、PS3又はPL3）は指定防護係数が最大となる場合で、使用する保護具の規格の規定（漏れ率およびろ材の性能）等により、表記より低くなる場合がある。

* 呼吸用保護具製造業者による技術資料が添付されている製品にだけ適用

50

方法

① フィットテスト

保護レベルの異なる標準サイズの半面形面体呼吸用保護具を対象とし、複数メーカーの使い捨て式、取替式および電動ファン付き呼吸用保護具（PAPR）のフィットファクタ（FF）を測定した。

フィットテストにはPORTACOUNT 8048型（TSI社）を用い、JIS T8150:2021に従って短縮定量的フィットテストを行った。半面形面体型マスクでは、FFの合格基準は100以上である。

② 顔サイズの測定

FFに影響すると考えられる顔のサイズを測定した。メモリ付き計測器を添えた写真撮影とノギスによる直接測定により行い、縦幅（形態学顔高）、横幅（耳珠間幅）、唇幅（口裂幅）等を測定し、FFに影響を及ぼす顔サイズの因子との相関について検討した。

51

防塵マスク

静電フィルタ	使い捨て式	DS2-1	DS2-2	DS2-3
				
	取替式	RL2-1A0 (アダプタ無)	RL2-1A1 (アダプタ使用)	RL2-2
				
メカニカルフィルタ	RL3		PL3 (PAPR)	
				

52

静電フィルタとメカニカルフィルタの捕集メカニズムの相違

▶ 静電フィルタ

ろ材による静電気を帯電させ、静電気力により粒子を捕集するため、フィルタの目が細かくななくても静電気により高い捕集効率を得られる。そのため、フィルタの目がメカニカルフィルタより粗く、呼吸がしやすい。

▶ メカニカルフィルタ

フィルタの目より大きな粒子は物理的にフィルタで捕集し、フィルタの目より小さな粒子は、沈降、慣性、遮り、拡散などの効果により捕集される。静電フィルタに比べて息がしづらい。

53

①フィットテスト

- 対象者は男性12名、女性8名の計20名とした。
- 防じんマスクをつけた状態で4種の動作を行い、マスクがフィットした状態が維持されるかを判定した。
- 半面形面体のマスクではフィットファクタ100を超えると期待される防護性能を示すと判断して合格である。

$$\text{フィットファクタ (FF)} = \frac{\text{保護具外粒子濃度}[\text{個}/\text{cm}^3]}{\text{保護具内粒子濃度}[\text{個}/\text{cm}^3]} = \frac{1}{\text{希釈率}}$$

54

フィットテスト PORTACOUNT 8048 (TSI社)

※凝集粒子計数(CPC)機能



N95コンパニオン機能

フィットテストはマスクと顔に隙間が生じていないかのフィッティングについてテストするため、フィルタを透過する粒子による粒子濃度上昇を無視できる条件で測定する必要がある。

帯電粒子の性能を利用しているために、静電フィルタを使用しているマスクでは機能をONにして測定するが、メカニカルフィルタを使用しているマスクの場合には、捕集性能の高いフィルタを使用することで、フィルタを透過する粒子による粒子濃度上昇を無視できる条件とし、本機能はOFFにして測定する。

55

短縮定量的フィットテストの手順

・使い捨て式

- ①前屈(50秒)
- ②発声（指定された文章を
読む）(30秒)
- ③頭を左右に回す(30秒)
- ④頭を上下に動かす(39秒)



・取替式

- ①前屈(50秒)
- ②その場の駆け足(30秒)
- ③頭を左右に回す(30秒)
- ④頭を上下に動かす(39秒)



4つの動作ごとのフィットファクタを FF_1 , FF_2 , FF_3 , FF_4 とすると最終的なフィットファクタは下式で定義される。

$$FF = \frac{4}{\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \frac{1}{FF_4}}$$

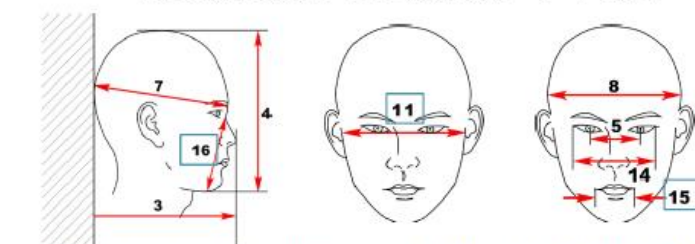
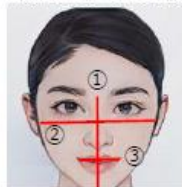
56

②顔サイズの測定

- ▶ ノギスを用いて呼吸用保護具を選定する際に重要とされている顔サイズの因子として①縦幅（形態学顔高）、②横幅（耳珠間幅）、③唇幅（口裂幅）の三つの長さを計測し、 FF に影響を及ぼす顔サイズの因子について検討した。

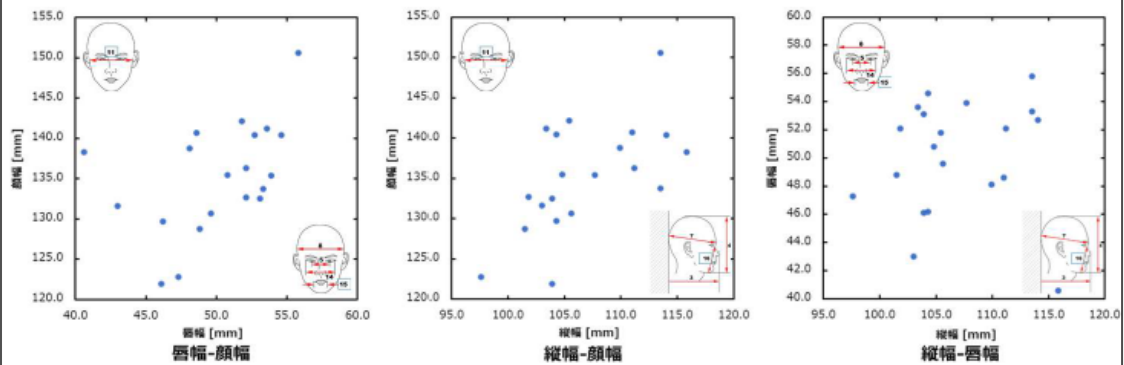
産業技術総合研究所 日本人頭部寸法データベース2001

着用者の顔サイズの計測



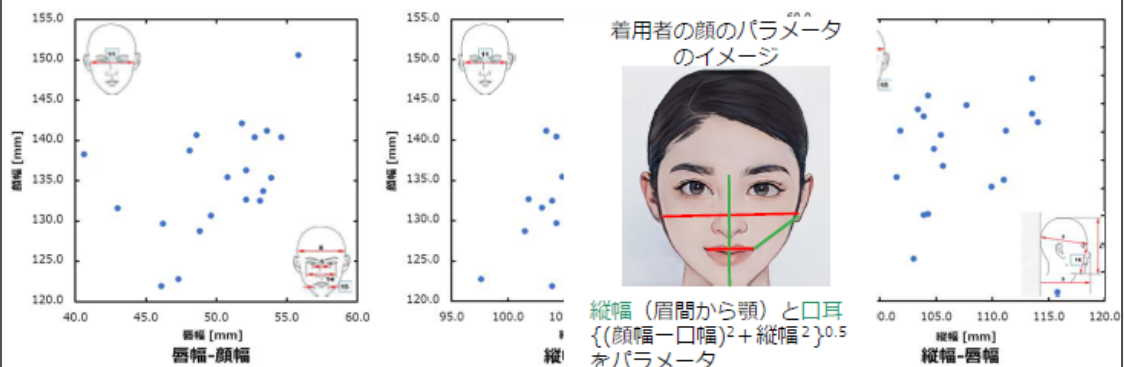
①縦幅（形態学顔高）16、②横幅（耳珠間幅）11、③唇幅（口裂幅）15 57

顔サイズの測定結果と各因子の関係



いずれも右上がりの関係にあるように見える。つまり、これら3つのパラメータは相互に相関関係がある（顔が大きいと縦幅、横幅、口幅いずれも大きくなる）可能性が高く、3つのパラメータをすべて重回帰分析に用いるのは良くない可能性もある。一方で、横幅が小さく、口幅が大きかった場合に漏れが大きくなるようなことも考えられるために、必ずしも悪いとも言えないので、いろいろな組み合わせで相関を行った。

顔サイズの測定結果と各因子の関係

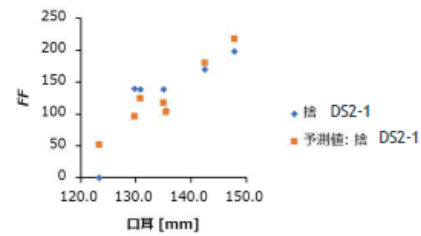
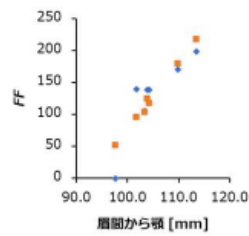


いずれも右上がりの関係にあるように見える。つまり、これら3つのパラメータは相互に相関関係がある（顔が大きいと縦幅、横幅、口幅いずれも大きくなる）可能性が高く、3つのパラメータをすべて重回帰分析に用いるのは良くない可能性もある。一方で、横幅が小さく、口幅が大きかった場合に漏れが大きくなるようなことも考えられるために、必ずしも悪いとも言えないので、いろいろな組み合わせで相関を行った。

現時点では、縦幅（眉間から顎）と口耳をパラメータとした。

$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$

パラメータ決定の例 (DS2-1)



$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i>
DS2-1	-1041	14.80	-2.841	7	0.873

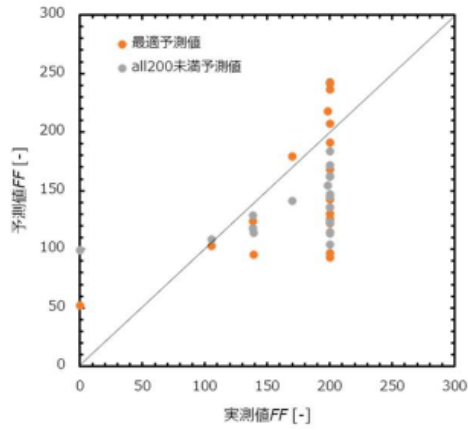
重回帰分析の結果

$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$

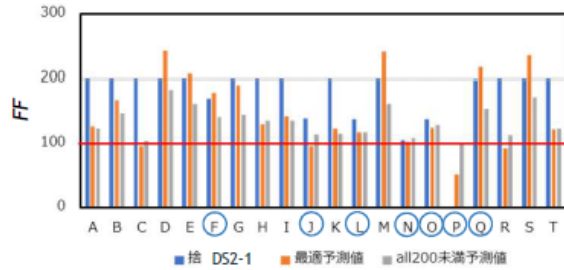
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i>
all200未満	-327.4	8.605	-3.348	38	0.384
DS2-1	-1041	14.80	-2.841	7	0.873
DS2-2	-618.8	7.715	-0.2238	3	1
DS2-3	188.5	2.812	-2.581	16	0.169
RL2-1	-826.2	3.444	4.377	5*	0.789
RL2-2	0	3.222	-1.201	2*	1
RL3※	-9120	124.9	-27.54	4	0.999
PL3※	0	44.38	-33.34	4	0.856

※メカニカルフィルタ

結果 (DS2-1)

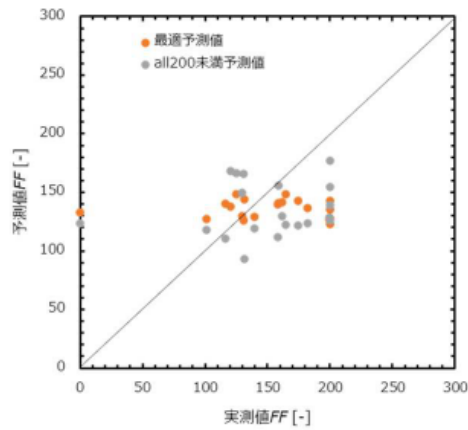


FF実測値と予測値の比較

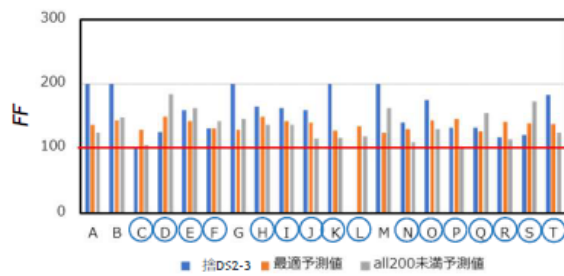


FF実測値と予測値の比較

結果 (DS2-3)

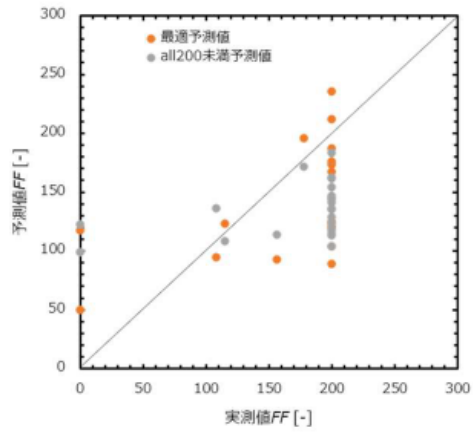


FF実測値と予測値の比較

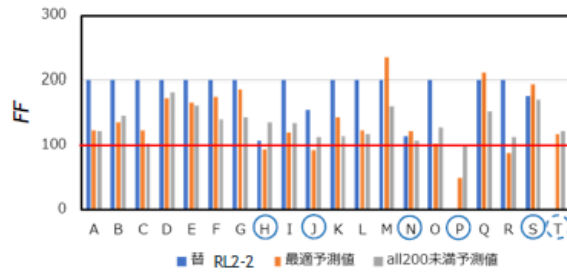


FF実測値と予測値の比較

結果 (RL2-2)

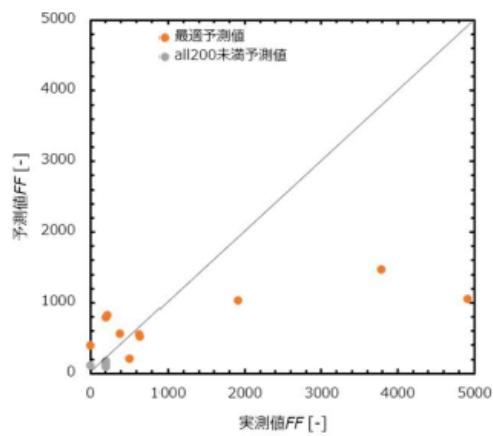


FF実測値と予測値の比較

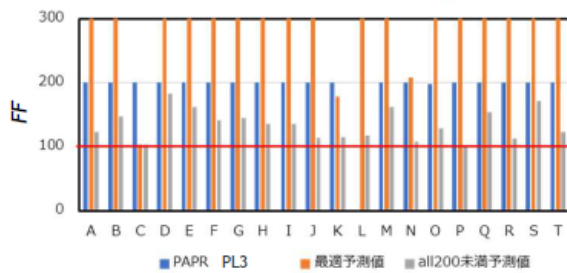


FF実測値と予測値の比較

結果 (PL3)



FF実測値と予測値の比較



FF実測値と予測値の比較

重回帰分析の結果（合否最適化暫定）

$$FF = a + b \times \text{縦幅} + c \times \text{口耳}$$

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i>
all200未満	-327.4	8.605	-3.348	38	0.384
DS2-1	-988.0	15.46	-3.719	7*	0.836
DS2-2	-618.8	7.715	-0.2238	3	1
DS2-3	188.5	2.812	-2.581	16	0.169
RL2-1	-732.6	2.259	4.685	5*	0.705
RL2-2	0	3.222	-1.201	2*	1
RL3※	-7426	506.1	-329.8	5*	0.547
PL3※	-2179	163.8	-107.4	7	0.452

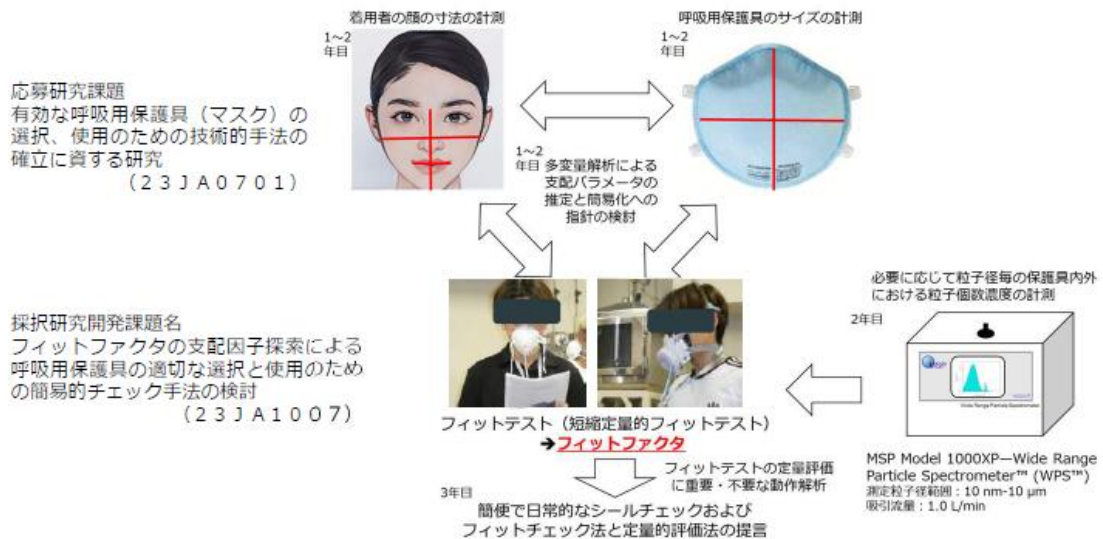
※メカニカルフィルタ

結果まとめ（合否最適化）

	all200未満 予測値	DS2-1	最適予測値	DS2-2	予測値	DS2-3	最適予測値	RL2-1	最適予測値	RL2-2	最適予測値	RL3	最適予測値	PL3	最適予測値
A	123	200	131	200	160	200	135	200	135	200	176	4403	1177	8933	521
B	147	200	175	182	182	200	143	200	144	200	185	38255	2534	9242	960
C	104	200	100	200	146	101	127	200	137	200	169	0	-109	9501	104
D	184	200	250	200	226	125	148	200	176	199	199	18227	4136	3782	1476
E	163	200	213	200	208	158	141	200	172	200	191	18486	2849	30289	1059
F	141	170	181	200	197	130	130	200	183	200	183	16903	1202	14536	524
G	145	200	192	200	205	200	128	200	194	200	185	20064	1181	15841	516
H	136	200	140	200	154	165	149	108	105	200	180	16819	2740	1913	1030
I	136	200	150	200	166	162	142	200	130	200	180	5327	2112	219	824
J	114	139	103	138	138	158	140	156	106	200	172	3011	1276	638	556
K	115	200	125	200	163	199	126	200	156	200	173	3568	128	11523	179
L	118	138	122	200	156	0	133	200	136	200	174	177	812	0	-403
M	162	200	239	200	241	200	123	200	239	200	191	39456	1215	642	523
N	109	106	107	149	149	139	129	115	136	200	171	11086	213	511	208
O	129	138	132	200	154	175	143	200	115	200	178	9666	2029	198	799
P	99	0	62	200	107	131	144	0	66	166	166	226	1278	21789	561
Q	154	198	217	200	224	131	126	200	217	200	188	978	1242	21807	534
R	113	200	101	200	135	116	140	200	102	200	172	24474	1333	23748	575
S	172	200	240	200	229	120	138	178	199	200	195	7962	2832	4913	1051
T	123	200	128	200	156	182	137	0	129	200	176	3673	1299	381	561

- ・ C, L, P, Tが実際にフィットテストで失敗した保護員がある。
- ・ C, J, N, P, Rはall200未満の予想FF値が比較的100~110に近く、顔の寸法の傾向としてフィットテストに失敗しやすい可能性があると思われ。
- ・ 顔の寸法のみ情報でもある程度フィットテストの合否を再現できている（C, Pの否を再現。L, Tの否は未再現）。
- ・ LとTに関しては他の要因による漏れが考えられ、FFの絶対値は環境中の粒子濃度の影響を受ける可能性を考慮すると、合否の再現精度としては概ね良好な結果と考え、保護員の選択の指針を示すことが可能か。

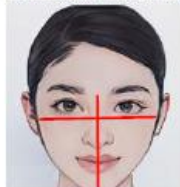
労働安全衛生総合研究事業



顔サイズの測定結果（韓国文献との比較）

Seo et al., J. Int. Soc. Respir. Prot., 38(2), 1-11 (2021)

着用者の顔サイズの計測



縦幅として、眉間から顎
横幅として、耳の付け根幅：顔幅

	16 形態学顔高 (縦幅)	11 耳珠間幅 (横幅)
高齢群男性	123.9	148.5
高齢群女性	114.7	140.0
青年群男性	121.1	147.7
青年群女性	113.9	138.0

日本人頭部寸法データベース2001

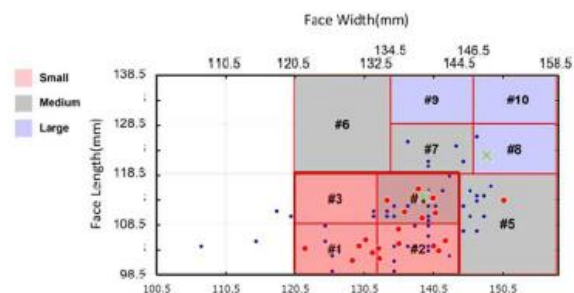


Figure 3. Distribution of study participants in the NIOSH bivariate fit test panel.

今回の対象者●は主に#1,2,4に分布

日本人向けのパネルの必要性の検討？

× 日本人頭部寸法データベース2001

日本人頭部寸法データベース2001

2001年11～12月に計測された日本人青年男女約120名と、2002年1月～3月に計測された60歳以上の日本人約200名の頭部寸法のオリジナルデータから成る。

- ◆ 16 形態学顔高、11 耳珠間幅、15 口裂幅のデータを抽出して適用してみる。

	16 形態学顔高	11 耳珠間幅	15 口裂幅	all200	DS2-1	DS2-2	DS2-3	RL2-1	RL2-2	RL3	PL3
高齢群 男性	123.9	148.5	55.8	221	352	302	138	272	213	4247	1497
高齢群 女性	114.7	140.0	<u>51.3</u>	174	246	234	137	206	195	2804	1036
青年群 男性	121.1	147.7	49.7	193	304	281	<u>127</u>	271	203	2485	926
青年群 女性	113.9	138.0	45.8	162	228	227	131	211	191	1889	739

河内まき子・持丸正明, 2008 : 日本人頭部寸法データベース2001,
産業技術総合研究所H16PRO-212.

まとめ

- ▶ 低管理濃度物質の曝露低減法としての呼吸用保護具の有効性の検討のためフィットテストを実施し、フィットファクタと顔のサイズの相関について検討した。
- ▶ 今回の実験対象者は顔サイズ（縦・横幅）が比較的小さい領域に該当する者が多く、フィットテストの結果に影響を及ぼす顔のサイズの因子としては、顔の縦幅（形態学顔高）と口元から耳元までの距離が最も強い影響を与えていた。
- ▶ より多くの対象者によるフィットファクタに対する顔サイズの支配因子の検証とフィットファクタと顔サイズの相関に関する有効性の精度の向上が課題である。
- ▶ 厚生労働省労働安全衛生総合研究事業「フィットファクタの支配因子探索による呼吸用保護具の適切な選択と使用のための簡易的チェック手法の検討」（代表：東秀憲）において詳細に検討する。

71

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

学会発表

発表者	演題	学会名	発表年月
中山 彩	低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究	第40回産業医科大学学会	R4年10月
平井 哲哉	ベリリウム製造・取扱い事業所に関するアンケート調査	第40回産業医科大学学会	R4年10月
東 秀憲	作業環境中のエアロゾルの計測とリスク	エアロゾルシンポジウム（オンライン）	R5年4月
山本 忍	ベリリウムおよびベリリウム化合物の製造と取扱いに関する質問紙調査	第96回日本産業衛生学会	R5年5月
大藪 貴子	ベリリウムおよびその化合物の製造および取扱いにおける保護具の選定	第96回日本産業衛生学会	R5年5月
東 秀憲	防じんマスクのフィットファクタと顔サイズ因子の相関	第41回産業医科大学学会	R5年10月
渋谷 晃弘	真空紫外線を照射した粉じんに対する湿式回収装置の試作	第41回産業医科大学学会	R5年10月
東 秀憲	呼吸用保護具のフィットファクタと顔サイズパラメータとの相関	第62回日本労働衛生工学会	R5年11月

ベリリウム等の低濃度管理物質に対する有効な曝露防止対策に関する研究
労災疾病臨床研究事業費補助金（211101-01）
令和 3～5 年度 総合研究報告書
発行者 石田尾 徹
産業医科大 学産業保健学部 作業環境計測制御学
令和 6 年（2024 年）3 月

不許複製