

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4年度 総括研究報告書

研究代表者 石田尾 徹

令和5年（2023年）3月

目 次

I. 総括研究報告

1. ベリリウム及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
.....01
2. 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
.....15
3. 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究
石田尾 徹, 山本 忍, 大藪 貴子, 東 秀憲, 保利 一
.....19

II. 学会報告

1. 第40回産業医科大学学会抄録
.....32
2. 第40回産業医科大学学会スライド
.....34

ベリリウム及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

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

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
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	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	普通会员	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) サンプルリング等	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・軽量パウダート	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°C	16	45.7
(2) 25-50°C	2	5.7
(3) 150°C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

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。

I. 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。

J. 研究方法

(1) 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。

(2) 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。

K. 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。

L. 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

M. 健康危険情報

なし

N. 研究発表

【論文発表】 なし

【学会発表】 なし

O. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 捕集・分析条件

	<u>個人ばく露濃度測定</u>	<u>作業環境測定, スポット測定</u>
捕集		
サンプリング	オープンフェイス形フィルターホルダー φ 25 mm [柴田科学社製]	多段型分流通装置 C-30型 φ 47 mm [柴田科学社製]
フィルター	個人サンプラー用ホルダー-PM4 NWPS-245型 [柴田科学社製]	
ポンプ	メンブレンフィルター (φ 25 mm) [メルク社製]	メンブレンフィルター (φ 47 mm) [メルク社製]
捕集時間	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]
	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

低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎研究

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、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。20名を対象として、フィットテストを行った。不合格の場合は教育後再テストを実施し、教育前後の結果を比較した。同時に顔の寸法を測定した。3M 8210 J-DS は、他のマスクに比べてフィットファクタ (FF) が低い傾向であった。これは、鼻部の金属が固いため、鼻への密着性が悪くなったと考えた。取り替え式マスクのうち、興研 1015-02 型では、2回目も含め全員が合格した。このマスクは他と比較して一番小さく、顔の小さい被験者でもフィットしやすかったと考えた。興研 1005RRX-05 型では、2名が合格できなかった。このマスクは他と比較して一番大きいことから、顔の小さい被験者に対して密着性が低かったと考えた。シゲマツ PAPR Sy11V3A では、1名が不合格であったが、他と比べ1回目で不合格になる人数が多かった。PAPR には電動ファン用のバッテリーが面体に付属しており重いため、テスト中にマスクがずれてしまうことが多かったためであると考えた。各マスクにおけるフィットテストの可否と被験者の顔寸法情報の関係より、鼻根おとがい距離がマスクの密着性に影響を与える可能性が示唆された。以上のことより、保護具の密着性については、装着時の教育と顔の形状が要因であることが示唆された。

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。

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。

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を検討するものである。ただし、現在、低濃度管理物質は14物質あり、物質ごとに作業の種類、作業内容、発生状況等は大きく異なる。そこで、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(環境濃度、作業の姿勢や動作等)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した。本研究では、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する。

B. 研究方法

18歳以上を対象とし、ポスターを掲示して募集した。募集の際は、性別が偏らないように配慮した。研究への参加を希望する者に、口頭および文書で研究の趣旨と方法の説明を行い、同意を得られたものを被験者とした。同意した人数は20名(被験者A-T:男性12名、女性8名)であった。呼吸用保護具としては、市販されている半面の使い捨てマスクと取り替え式マスクから選

択した。今回は、呼吸用保護具のフィットテストにおける密着性に影響を与える因子について客観的に検討するため、サイズは全て標準サイズ(Mサイズ)とした。マスクは計7種となったが、使い捨てと取り替え式、静電フィルタとメカニカルフィルタ、電動付きの有無等、幅広く選定することができたと思われる。

選定したマスクは、シゲマツ DD11-S2-5、興研 ハイラック 350型、3M 8210 J-DS2、興研 1015-02型、興研 1005RRX-05型、シゲマツ TW01SC、シゲマツ PAPR Sy11V3Aの計7種である。各マスクの写真を図1に示す。シゲマツ製のTW01SCとPAPRはメカニカルフィルタであり、それ以外は静電フィルタである。

マスクを装着し、シールチェックをした後に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、マスクのフィルタの種類に依存する。静電フィルタでは、「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(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。

次に、被験者の顔の形状を測定した。メジャーを添えた写真撮影、3Dスキャンおよびノギスを使った顔の幅、「唇の幅」および「鼻根おとがい距離」の測定を行った。各マスクにおけるフィットテストの可否と被験者の顔寸法情報を比較した。

フィットファクタ($FF=C_{out}/C_{in}$)は、マスク外の粒子濃度(個数濃度) C_{out} とマスク内

部の粒子濃度 C_{in} より求められる。4つの動作に対する FF は次式となる

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

今回使用したマスクは、静電フィルタとメカニカルフィルタである。メカニカルフィルタ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を付けて測定した。静電フィルタ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と静電フィルタでは 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。

C. 研究結果

1. 使い捨てマスク

シゲマツ DD11-S2-5の結果を図2に示す。このマスクでは、被験者Pが不合格であった。ハイラック 350型の結果を図3に示す。このマスクでは全員が合格することができた。3M 8210 J-DS2の結果を図4に示す。このマスクでは、被験者Lが不合格であった。

2. 取り替え式マスク

興研 1015-02型の結果を図5に示す。このマスクでは、2回目も含め全員が合格した。興研 1005RRX-05型の結果を図6に示す。このマスクでは、被験者PおよびTの2名が合格できなかった。シゲマツ TW01SCの結果を図7に示す。このマスクでは、被験者Cが不合格であった。シゲマツ PAPR Sy11V3Aの結果を図8に示す。このマスクでは、被験者Lが不合格であったが、他の

取り替え式マスクに比べて、1回目で不合格になる人数が多かった

3. 顔寸法情報

各マスクにおけるフィットテストの合否と被験者の顔寸法情報の関係を図9に示す。プロットは、唇の幅と鼻根おとがい距離の関係であるが、両者に相関は見られなかった($R=0.13$)。各マスクにおいて、最終的に合格できなかった被験者は計4名であった。

D. 考察

1. 使い捨てマスク

使い捨てマスクのフィットテストでは、3M 8210 J-DS2が他に比べて FF が低い傾向であった。これは、鼻部の金属が固いため、鼻への密着性が悪くなったことが原因であると考えられる。また、マスク内に返しがなくとも、顔への密着性を悪くしている原因であると考えられる。被験者Lは、顔にマスクがフィットせずシールチェックも難しかったため、2回テストを行ったが不合格であった。

2. 取り替え式マスク

興研 1015-02型では、2回目も含め全員が合格した。これは、このマスクの大きさが他のマスクと比較して一番小さく、顔の小さい被験者でもフィットしやすかったことが考えられる。興研 1005RRX-05型では、被験者PおよびTの2名が合格できなかった。これは、このマスクの大きさが他のマスクと比較して一番大きいことから、顔の小さい被験者に対して密着性が低かったことが考えられる。シゲマツ TW01SCでは、被験者Cが不合格であった。これについては、詳しい原因は不明である。シゲマツ PAPR Sy11V3Aでは、被験者Lが不合格であった

が、他の取り替え式マスクに比べて、1回目で不合格になる人数が多かった。これは、PAPRには電動ファン用のバッテリーが面体に付属しており、他のマスクに比べて重く、フィットテスト中にマスクがずれてしまうことが多かったためであると考えられる。

3. 顔の寸法情報

図8より、唇の幅と鼻根おとがい距離の間に相関は見られなかった。これについては、被験者が20名と少なく、データ間のばらつきが大きかったことが原因と考えた。しかし、女性の方が男性よりも鼻根おとがい距離が低い傾向であった。被験者Pについては、シゲマツ DD11-S2-5 および興研 1005RRX-05 型の2種類が不合格であった。この被験者は、他の被験者と比べて顔が小さく、前述の2種のマスク以外のFFについても、他の被験者に比べて低い傾向であった。被験者Lについては、3M 8210J-DS2 とシゲマツ PAPR Sy11V3A の2種類が不合格であった。この被験者は、他の被験者と比べて鼻根の高さが低く、マスクの鼻根部分への密着性が悪かった可能性が考えられた。各マスクにおいて、最終的に合格できなかった被験者は計4名であった。この4名は鼻根おとがい距離が低い方であり、すべて女性であった。このことから、鼻根おとがい距離がマスクの密着性に影響を与える可能性が示唆された。

4. 結論

本研究では、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した。その結果、次の知見が得ら

れた。1) 装着時の再教育によって、フィットテストの結果が改善した被験者がいた。2) 面体が大きい、重い、あるいは装着しづらい呼吸用保護具は、全体的にFFが低い傾向がみられた。3) 鼻根おとがい距離が短い傾向にある被験者は、フィットテストの結果が不合格か、合格したとしてもFFが低い傾向であった。以上の結果より、装着時の教育と顔の形状(鼻根おとがい距離)およびマスクの形状が、保護具の密着性に影響を及ぼす要因である可能性が示唆された。

5. 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

6. 健康危険情報

なし

7. 研究発表

1. 中山彩, 石田尾徹, 山本忍, 大藪貴子, 東秀憲, 保利一: 低濃度管理物質の曝露防止対策に関する基礎的研究, 第40回産業医科大学学会, 2022年10月

8. 知的財産権の出願・登録状況

なし

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*

図1 フィットテストに使用した呼吸用保護具

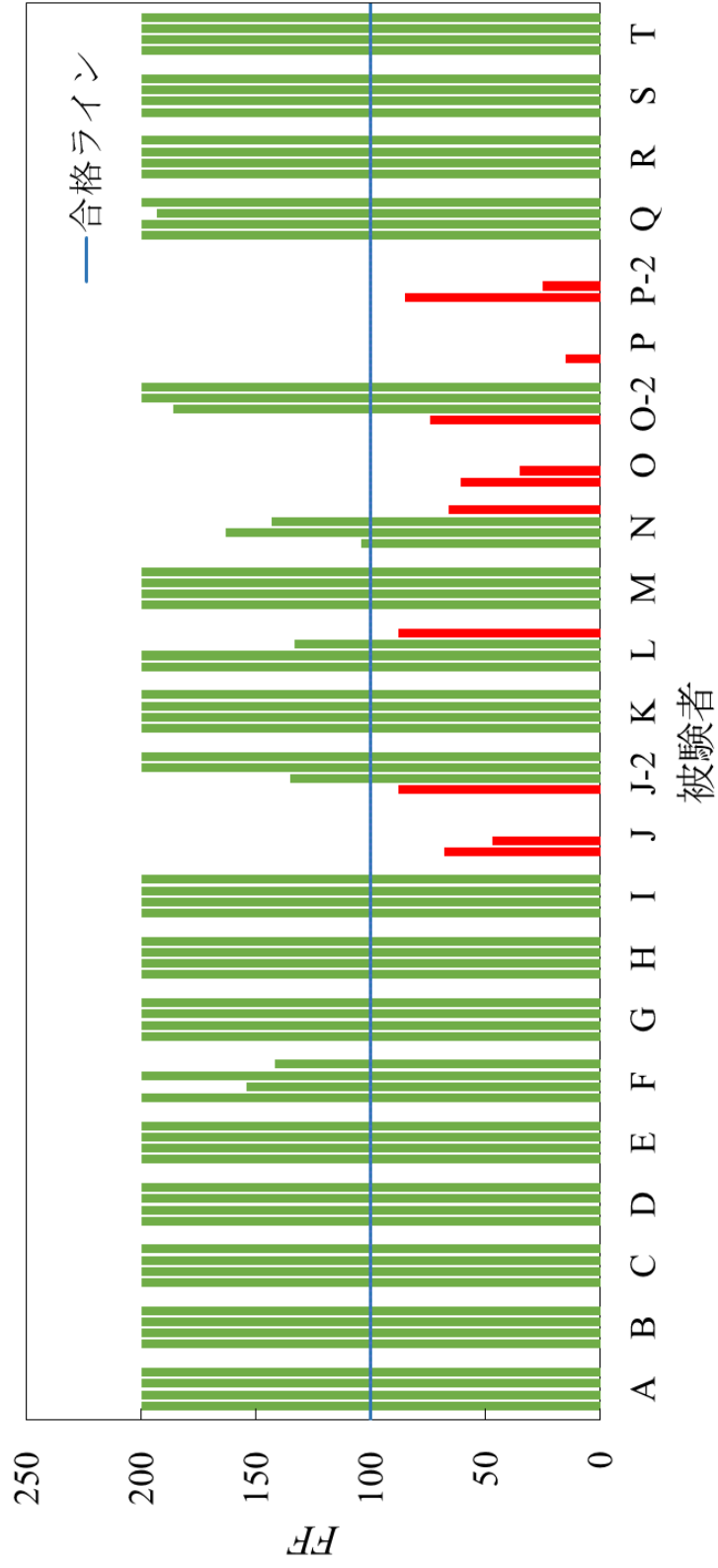


図2 フィットテストの結果 (シゲマツ DD11-S2-5)

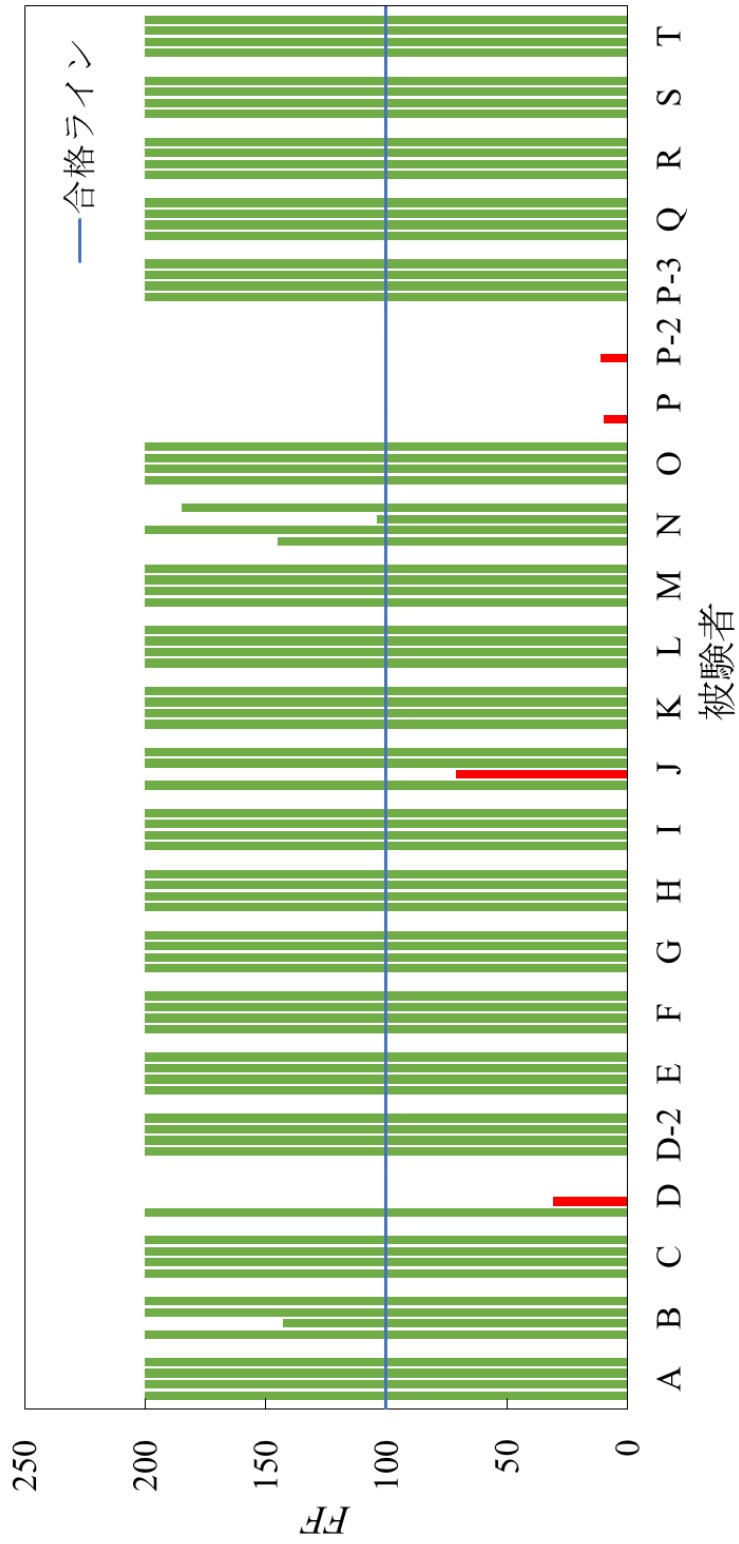


図3 フィットテストの結果 (ハイラック 350型)

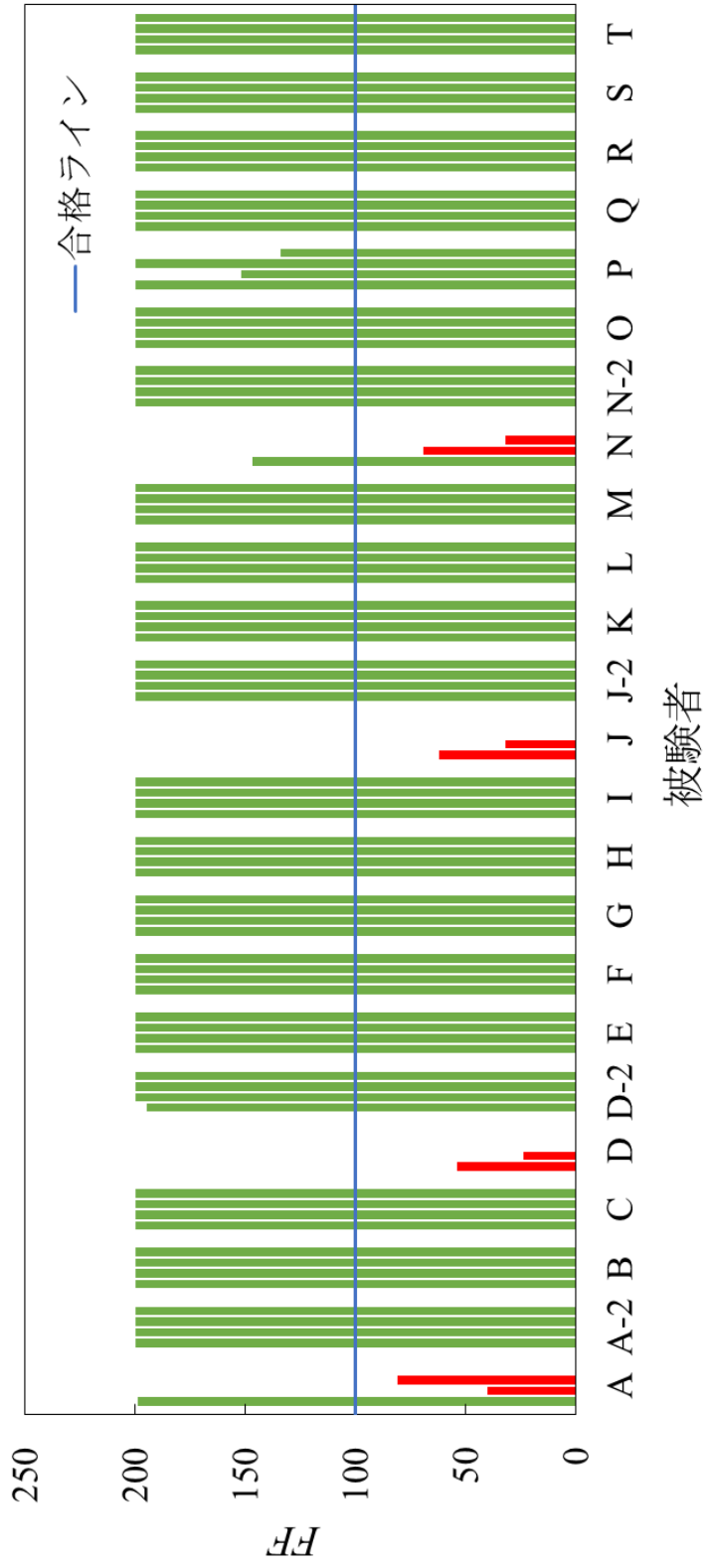


図5 フィットテストの結果 (興研 1015-02 型)

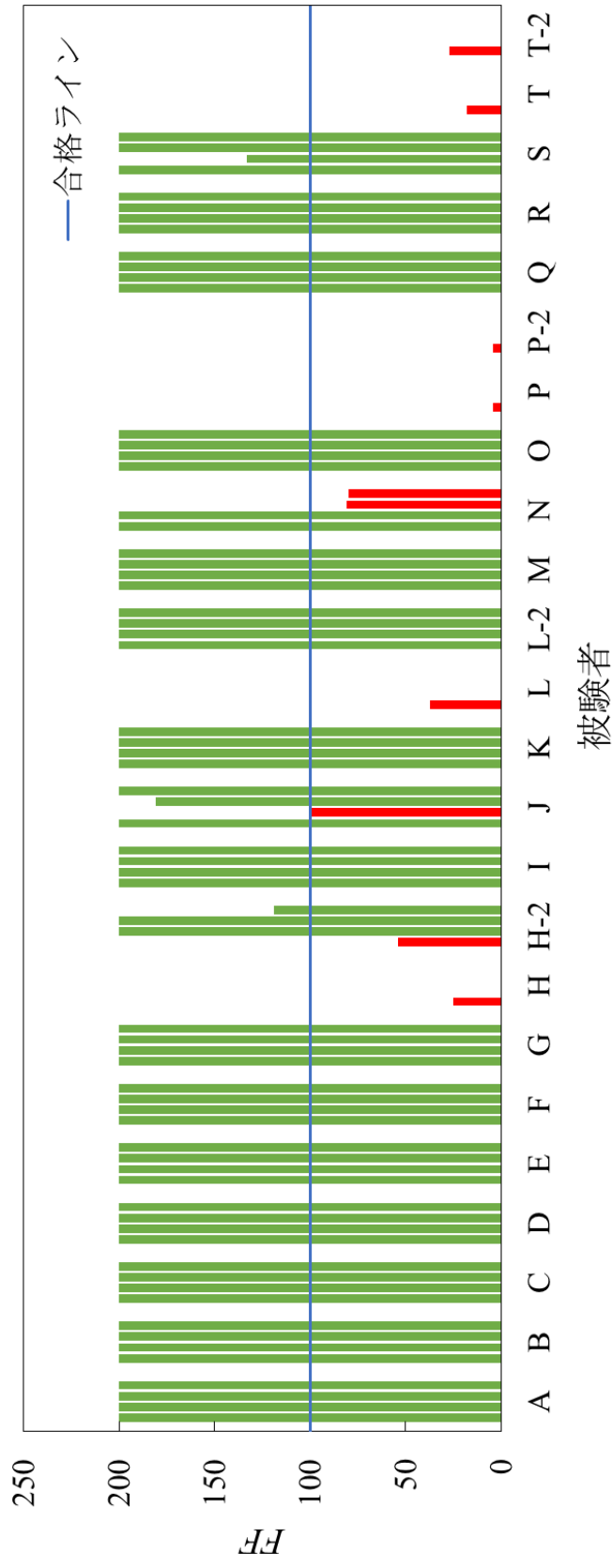


図6 フィットテストの結果 (興研 1005RRX-05 型)

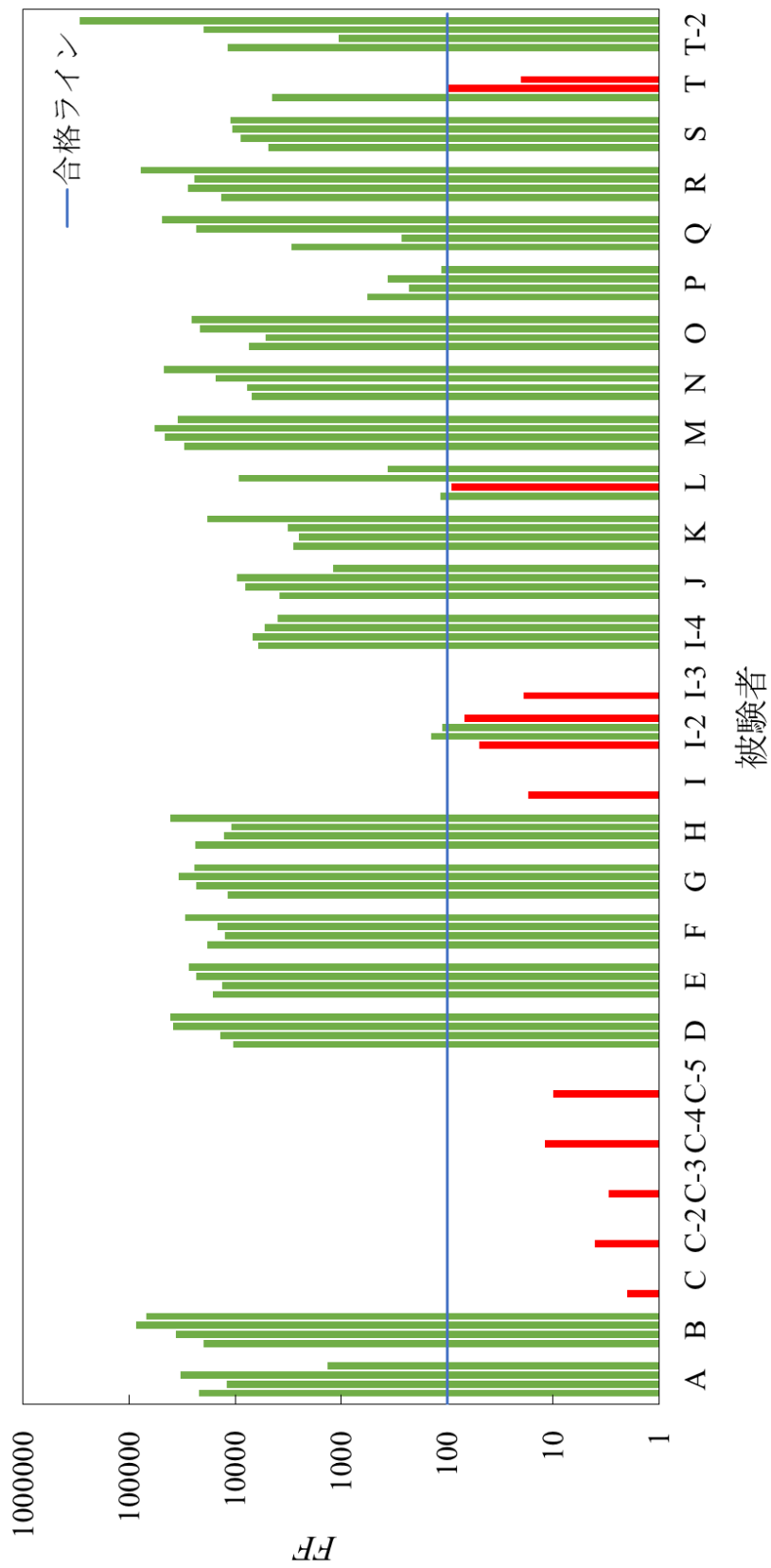


図7 フイットテストの結果 (シガマツ TW01SC)

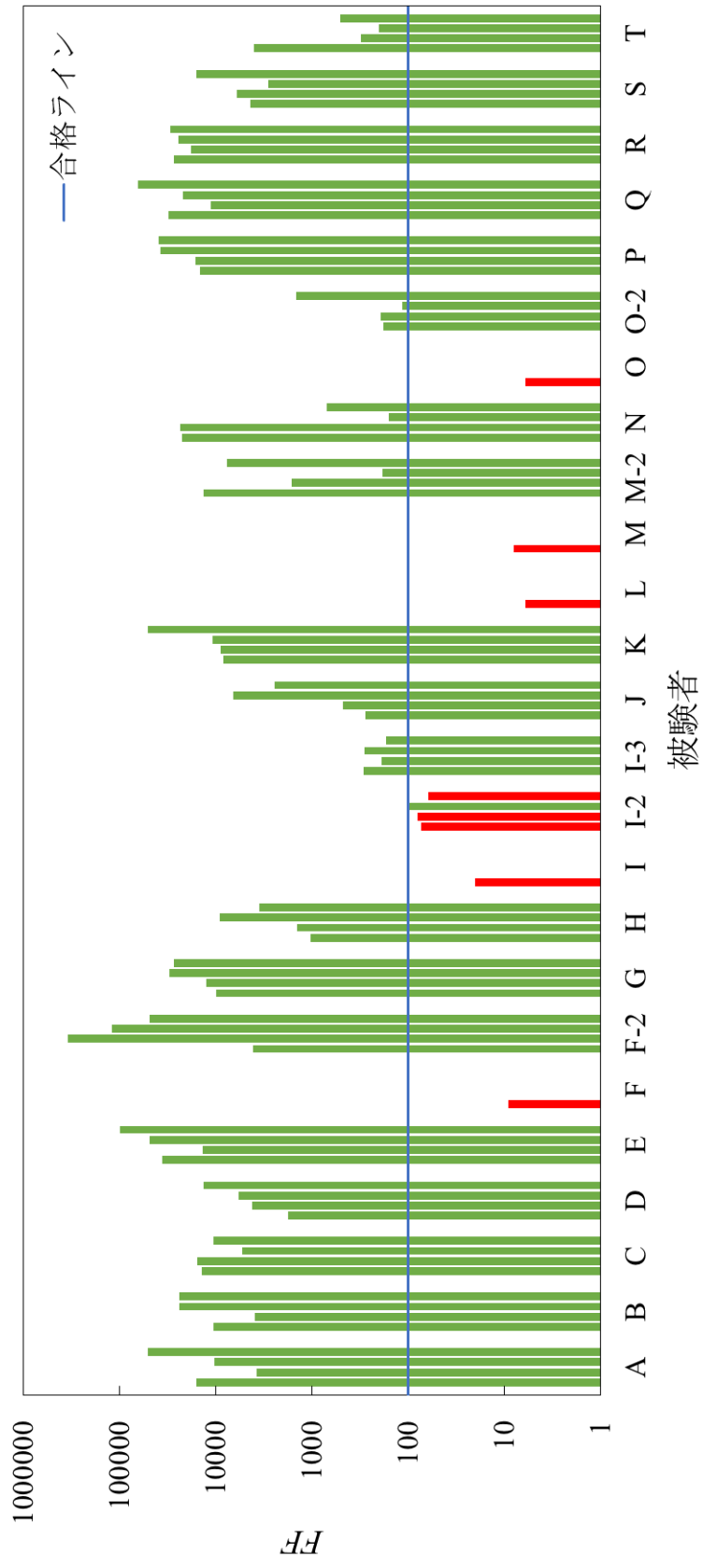


図8 フィットテストの結果 (シゲマツ PAPR Sy11V3A)

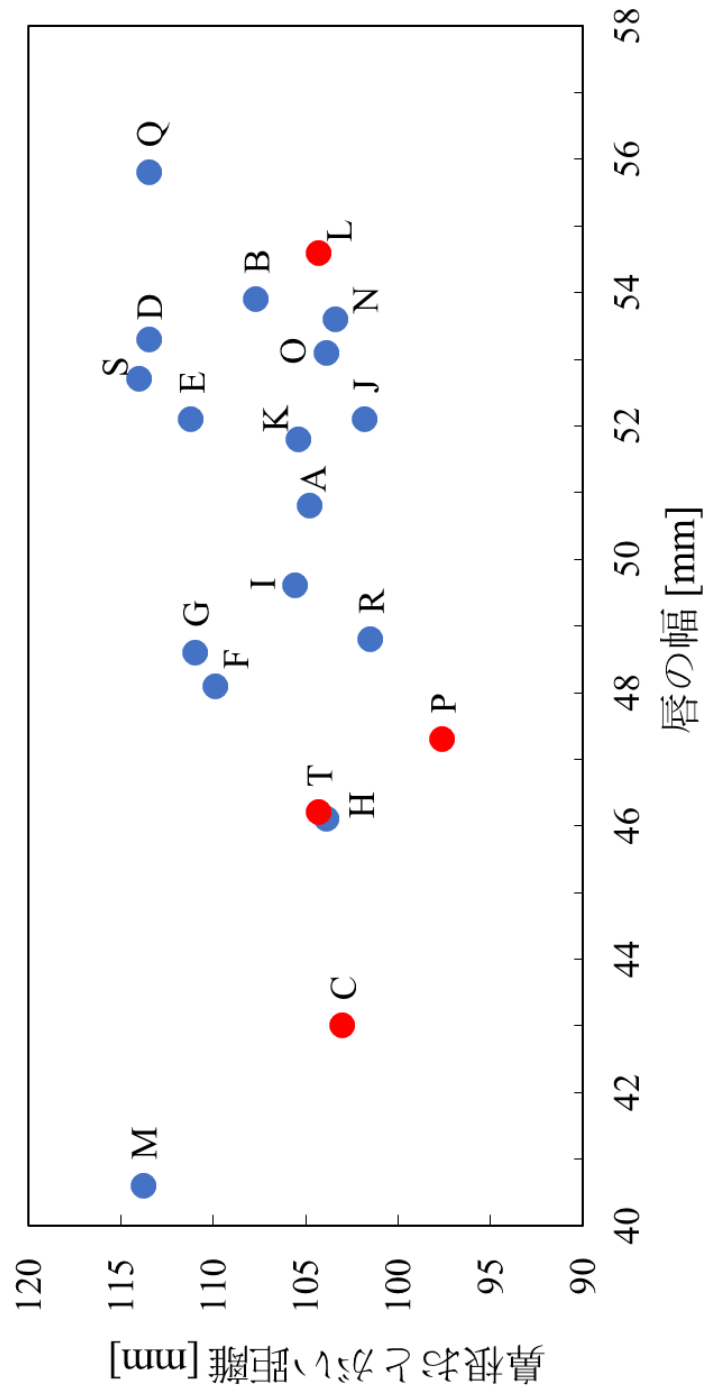


図9 フィットテストの合否と顔寸法情報の関係
(●:合格、●:不合格)

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、取り扱っている工程では、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。

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%)、鑄造作業(24%)であった。年間の取扱量は500kg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。

32



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。

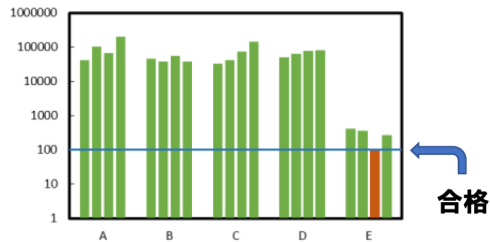
$$FF = \frac{4}{\left(\frac{1}{FF_1}\right) + \left(\frac{1}{FF_2}\right) + \left(\frac{1}{FF_3}\right) + \left(\frac{1}{FF_4}\right)}$$

- 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。

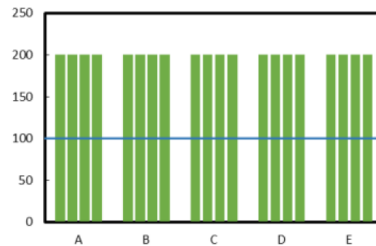
結果(1回目で合格マスク)

取り換え式マスク

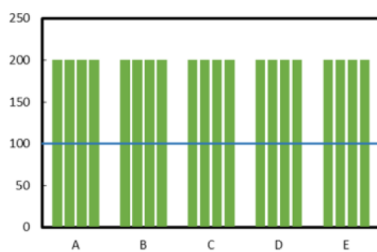
シゲマツ TW01SC



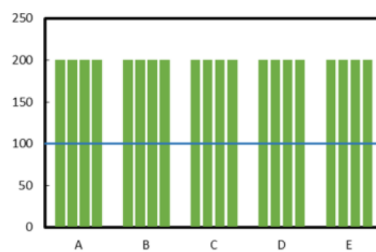
興研 1005RRX-05型 AD-



興研 1005RRX-05型 AD+



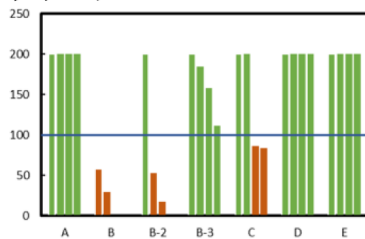
興研 1015-02型



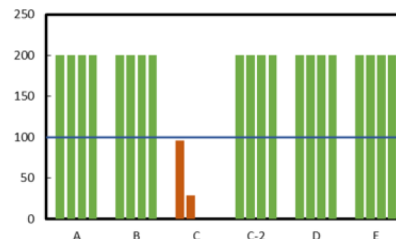
結果(複数回目で合格したマスク)

使い捨てマスク

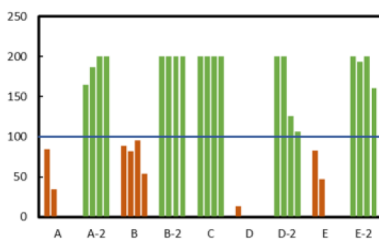
シゲマツ DD11-S2-5



興研 ハイラック350型

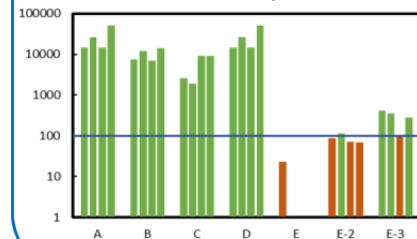


3M 8210 J-DS2



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。