

労災疾病臨床研究事業費補助金

保護具に係る作業性の改善等に係る研究

(250602-1)

令和7年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 宮内 博幸

令和8年(2026年)3月

目 次

I 総括研究報告	
保護具に係る作業性の改善等に係る研究.....	3
研究代表者 宮内 博幸	
II 分担研究報告	
1 労働現場における手指作業の種類, および影響を受けやすい機能側面と評価指標について	10
研究分担者 倉岡 宏幸	
2 ハンドモーションキャプチャを用いた化学防護手袋着用時の手指動作解析と作業性評価に関する基礎的検討	19
研究分担者 竹内 大樹	
3 化学防護手袋における巧緻性の研究	38
研究研究責任者 宮内 博幸 ・ 研究分担者 樋上 光雄	
4 適切な化学防護手袋のサイズ選定基準についての検討	49
研究協力者 高橋 一誠	
5 ハンドロボットを用いた手全体の疲労を含めた作業性を客観的に評価する方法の開発	61
研究分担者 久池井 茂	
6 化学防護手袋の新材料の開発	74
研究分担者 青木 隆昌	
7 化学防護手袋の長時間耐透過性能測定方法の検討	81
研究協力者 石上 温	
III 研究成果の刊行に関する一覧表	86

研究代表者

宮内 博幸

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

樋上 光雄

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

竹内 大樹

産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学

久池井 茂

北九州工業高等専門学校 生産デザイン工学科

青木 隆昌

九州工業大学 管理本部 安全衛生課

倉岡 宏幸

公立千歳科学技術大学 理工学部 情報システム工学科

研究協力者

石上 温

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

高橋 一誠

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

I 令和7年度 労災疾病臨床研究事業費補助金

総括 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

研究責任者 宮内博幸

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学講座 教授

研究要旨

本研究は、化学防護手袋の性能評価の一つである化学物質の耐透過性能のみならず、手全体の疲労を含めた作業性を客観的に評価する方法を確立し、良好な性能の化学防護手袋を開発することを目的とした。作業性の評価方法に対して、一般的に使用されている化学防護手袋についての問題点を抽出し、可能な対策について検証を行った。研究方法として4つのテーマに分けて研究を行った。3年間計画の初年度である令和7年度は、既に公表されている二つの作業性評価試験の検証を行った。一つはISO 21420: 2020に準じた化学防護手袋の指先巧緻性についての評価試験である。その結果、巧緻性の評価基準の一つとして活用できることが明らかとなった。もう一つは厚生労働省による一般職業適性検査(GATB)器具検査である。検査時に被験者へ装着した手袋内ハンドモーションキャプチャによる画像自動計測値により、GATB 器具検査の有用性のみならず動作の質的側面も解析評価できる可能性が示唆された。一方、作業性評価方法の汎用性を目指すため、ハンドロボットによる評価方法の構築を試みた。開発した動作シミュレーションの範囲で良好な結果が得られた。今後は指先の巧緻性のみならず、触覚感度、把持力、可動域・姿勢、疲労や作業負担なども考慮し、作業効率や身体への影響も評価できる方法を目指す課題が示された。多くの化学物質に対する長時間の耐透過性能を有する観点よりの新手袋材料の開発については、自動試験システムを構築し、長時間の耐透過性能について試験を行った。試験対象とした手袋材料においては、トルエンに対して比較的長時間まで透過しない結果を得た。他の新規材料も含め、更なる解明が必要と言えた。令和7年度の研究により、計画していた化学防護手袋の性能評価として作業性も含めた客観的評価方法の解明に対する基礎的な研究の成果が得られた。

樋上 光雄

産業医科大学 産業保健学部

作業環境計測制御学 教授

石上 温

産業医科大学 産業保健学部

作業環境計測制御学 助教

高橋 一誠

産業医科大学 産業保健学部

作業環境計測制御学 助教

竹内 大樹

産業医科大学 産業保健学部

安全衛生マネジメント学 助教

久池井 茂

北九州工業高等専門学校

生産デザイン工学科 教授

青木 隆昌

九州工業大学 管理本部

安全衛生課 准教授

倉岡 宏幸

公立千歳科学技術大学

理工学部情報システム工学科 講師

A. 研究目的

化学物質は吸入以外に皮膚からも吸収されることが解明され、皮膚吸収による健康障害をおこすリスクを低減させることが重要視されている。令和6年4月からは、労働安全衛生規則594条の2により皮膚吸収性有害物質として 320 物質、および皮膚刺激性有害物質として 868 物質が皮膚等障害化学物質として挙げられ、製造、取り扱う業務に従事する労働者へは、不浸透性の保護手袋他の適切な保護具の使用が義務となった。令和8年4月からは対象物質が追加された。また、労働安全衛生規則

594 条の3では、皮膚若しくは眼に障害を与えるおそれや、皮膚から吸収若しくは浸入して健康障害を生ずるおそれが無いことが明らかではない化学物質等を、製造または取り扱う場合は、適切な化学防護手袋等の使用することが努力義務となっている。化学物質は目で見えて接触しているかの判断が難しい場合もあり、常にある程度の健康影響リスクは存在していると考えられる。実際の現場においては多種類の化学物質が同時に使用されており、その物質自体の有害性は弱くても、他の有害な物質を吸収促進させる物質の存在も明らかになった[1]。本研究の対象とすべき化学物質について、規則にて義務化された皮膚等障害化学物質等のみならず、同時に使用されている他の化学物質も含めて検討すべきと考えられた。以上より、多くの物質に対して耐透過性を有する材料による化学防護手袋の更なる開発が望まれる。既に開発された手袋として多層性フィルム材料があるが、一般的に手に対するフィット感が少なく、厚みが薄いものでもやや硬い。複数種類の化学防護手袋を重ねて使用することも考えられるが、重ねることで厚手となり、作業性は悪くなる。作業性の悪い手袋を長時間使用することで、手の疲労が生じることや、さらに巻き込まれのリスクなどの安全上の問題も生じることが懸念される。

本研究では化学防護手袋の性能評価の一つとして、手袋装着時の手全体の疲労を含めた作業性を客観的に評価する方法を確立すること、そして、現場にて有用な性能を有する手袋を開発することを目的と

した。

B. 研究方法

研究期間は3年間とし、目的を考慮して具体的な方法として以下の4つのテーマによりアプローチする、また、各年度の進捗目標を定めて研究計画を立案した。

検討テーマⅠ

化学防護手袋に係る作業性および疲労感を評価するため、手指作業等について、人間工学的な機能・動作解析を用いた定量化方法の検討を行う。そのため令和7年度は、実際の労働現場における手指作業について、人間工学的な機能・動作解析の観点より、手・指の具体的な問題点の洗い出し、分類・解析を行う計画とした。

検討テーマⅡ

定量方法を汎用とするためにはハンドロボットを開発し、ロボットによる疲労を含めた作業性を客観的に評価する方法を確立することである。そのため令和7年度の計画は、工学的な視点も踏まえて試験評価指標の検討、評価システムの構築とシステムのシミュレーションの構築、装置の基本的な設計を実施することとした。

検討テーマⅢ

化学防護手袋の性能として重要な、耐透過性と耐劣化性に優れる材料を用い、使用時の疲労が少なく、かつ、複数の化学物質に対して480分を超える耐透過性能を有する安価で作業性の良い新材料を用いた化学防護手袋の開発をする。このテーマに対して、令和7年度の計画は化学防護手袋の新材料の開発を行い、まずは各化学物質に対する480分以下の耐透過性試験を実

施するとした。

検討テーマⅣ

一般的に使用されている化学防護手袋全体の耐透過性能について、実際の使用状況を踏まえ、手指動作による材料伸縮の有無による違い、連続接触や間欠接触により480分を超える接触時の耐透過性能の解明を行う。これに対して令和7年度の計画は、手袋材料について実際の作業条件を考慮した連続480分を超えるの液体接触による透過試験を実施するとした。

以上を受けて、令和7年度の研究を行った。具体的な内容に以下に示した。

検討テーマⅠは、まず国際規格、公的機関の資料、人間工学および産業保健学関連の国際誌を中心に学術文献を検索し、作業性および疲労感に関する実験的検討に向けた基礎資料を収集した。規格についてはISO 21420: 2020を参照し、防護手袋におけるdexterity評価の位置づけと限界を確認した。公的機関であるOSHA、HSE、NIOSH、CDC、ならびに厚生労働省の関連資料を精査し、手指反復作業や上肢負担による健康影響へのリスク因子と、防護手袋評価を検討する上での基本的な視点について整理した。尚、文献検索については、防護手袋(Protective glove)手指巧緻性(manual dexterity)、触覚感度(tactile sensitivity)、把持力(grip strength)、可動域(range of motion)、筋活動(muscle activity)、快適性(comfort)、疲労(fatigue)などをキーワードとし、防護手袋に及ぼす影響を扱ったレビューおよび実験研究を対象とした。

さらに手指作業についての工学的な機能・動作解析による定量化の方法において、手指および手腕の器用性に着目し、手袋装着時における基礎的検討を行った。その方法の一つとして厚生労働省による一般職業適性検査(General Aptitude Test Battery: GATB)の器具検査を用いた。検査の方法として、化学防護手袋装着時における試験作業の成績解析の他、手袋作業性に関する主観評定、および手袋装着時にハンドモーションキャプチャによる手指動作データの取得と解析を行った。これらの解析結果から推定できる複数の指標について、巧緻性に差があると推定される手袋間で比較することで、作業性評価に適切な指標を模索した。

作業性評価用ハンドロボットの開発を目的とする検討テーマIIに対しては、設計をするに当たり、デジタル空間上で人間の手の挙動を精密に再現可能なシミュレーション基盤の構築を試みた。ハンドロボットは5本指構造を有するものである。まずは数値解析する環境を構築し、手袋装着時の物理的な負荷を定量評価する基盤を作るため、初年度のは以下の2つの方針を考えた。

1つ目として3Dモデルによる指の姿勢制御と、順運動学に基づく指先座標算出プロセスの確立である。指先座標算出には、シュンク社製5指ロボットハンド「SVH」の3次元CADモデルを用いた。

2つ目は有限要素解析(Finite Element Method: FEM)による接触状態評価に向けた解析モデル構築手法の体系化と、制約条件の明確化である。

検討テーマIIIに対して、まずは多くの有機溶剤について高い耐透過性能を有する材料としてエチレンビニルアルコール共重合体(Ethylene-vinylalcohol copolymer: EVOH)材料を対象とした。近年、手袋製品の材料として、EVOHを含む多層フィルム材料が開発されている。ただし、EVOHはやや硬い性状のため、作業性において問題があり、対処としてEVOHを含む多層フィルム材料の薄手タイプである製品b(厚み35 μ m)が開発された。従来タイプのEVOH多層フィルム材料である製品a(厚み50 μ m)を対称として日本産業規格(Japanese Industrial Standard: JIS) T8116: 2005に基づいた、5種類の有機溶剤であるトルエン、ジクロロメタン、アセトン、エタノール、メタノールに対する耐透過試験を実施し、その耐透過性能を評価した。

検討テーマIVに対しては、複数の化学防護手袋材料について長時間連続してJIS T8116: 2005の耐透過性試験の実施が可能な試験系システムを開発した。まずは一般に使用されているEVOH多層フィルム材料について、480分を超える透過時間の試験を実施した。試験対象化学物質はトルエンとした。

試験系システムの特徴は、試験セルを通気する捕集媒体の温湿度の制御として制御精度の高い微小流量用温湿度制御装置を用い、捕集媒体の温度制御には自動制御機能があるクールインキュベーターを用いたことである。また、試験セル自体の自動温度制御には、個々のセルの制御をするためにコンパクトクールインキュベーターを用いた。分析装置は、ガスクロマトグ

ラフシステム 8890 (アジレント株式会社)を用い、複数の試験セルを自動でサンプリングするために、オートガスサンプラーと連結させた。

C. 研究結果

検討テーマⅠの、化学防護手袋に係る作業性および疲労感を評価するための学術文献検索により、化学防護手袋装着時の手全体の疲労を含めた作業性を客観的に評価するためには、指先器用性のみではなく、触覚感度、把持力・力発揮、可動域・姿勢、疲労・作業負担など、複数の側面からの評価が重要であることが確認された。また、作業影響の現れ方は、精密な指先課題と比較的粗大な課題とで異なり、課題特性の違いを考慮した評価が必要であることが解明された。これらを踏まえると、実施した ISO 21420: 2020 などの国際規格に基づく標準化試験は、基礎指標としては有用である一方、実際の作業性を十分に把握するためには、更に多様な操作要素を含む課題構成が必要と考えられた。

実施した GATB 器具検査は、職業適性を評価する目的で設計された検査であり、基礎的かつ再現性の高い指標の可能性が示唆された。しかし、手腕作業と、指先作業の双方を含む検査課題に、主観指標、姿勢評価、表面筋電図、自律神経系活動指標を組み合わせることで、手袋装着時における作業の効率性、作業負担や疲労をより多面的に計測できる可能性も解明された。実施した GATB 器具検査時に、化学防護手袋内面に装着したハンドモーションキャプチャによる自動計測結果より、ピン把持

タイミングにおけるピンチ距離(親指・人差し指間距離)の計測精度は、手袋タイプ(形状)や透明度による僅かな差は認められたが、概ね計測は可能である結論を得た。ただし、動作の質的側面を評価するには限界があり、速度や協調性などの指標も併せて解析することで、手袋が作業動作に与える影響をより詳しく解明できることが解明された。

一方、化学防護手袋の指先巧緻性について ISO 21420:2020 の方法に準じて 32 名の被験者を対象に行ったピンの摘み試験では、摘まめるピンの最低直径と手袋の厚みの関係において、手袋材料が薄手であるほど巧緻性が高まる傾向が確認された。しかし、厚みのみでなく材料も決定因子であることが示唆された。形状においては、皮膚への密着性が高いニトリルゴムの薄型が最も優れた巧緻性を示す傾向にあった。これらより、化学防護手袋の巧緻性は厚み・素材・形状等も複合的に作用していると推定された。本研究で用いた評価方法は、巧緻性の評価基準策定の一つとして寄与すると考えられた。

検討テーマⅡの作業性評価用ハンドロボットを開発において、指の各関節における順運動学モデルを定義し、数値入力による姿勢制御及び指先座標の算出システムが確立された。これにより 5 指ハンドロボットを用いた作業性評価のための幾何学的な動作シミュレーション基盤が構築された。本シミュレーション基盤をさらに発展させ、人間の手の複雑な挙動を精密に再現することで、化学防護手袋の製品評価において、より高度な解析の可能性が示唆さ

れた。本年度は線形静解析を前提とした検討にとどまったが、実際の作業動作を評価するためには、非線形接触解析や動的解析の導入望まれる結果を得た。今後、本シミュレーション環境と他の研究（画像解析、新材料開発、透過試験など）の成果を統合させて構築させる必要性を示唆された。

手袋の性能として重要な高い耐透過性能で疲労が少なく、かつ、安価で作業性の良い新材料の開発である検討テーマⅢについては、新規開発された厚みが薄い EVOH フィルムについての耐透過試験の結果、メタノールにおいて耐透過性能の向上したことが解明された。ただし、更に多くの試験を繰り返し、再現性を検証する必要がある。

検討テーマⅣである、480 分間を超える長時間の耐透過性性能を有する化学防護手袋材料の検証については、まずは試験系システムの構築を行った。試験セル通気捕集媒体の正確な温湿度制御、複数の試験セルの自動分析等を導入することで、正確に安定して自動測定できるシステムが構築された。作製した実験系システムを用いて、市販されている汎用な EVOH 多層型フィルム材料に対してトルエンによる測定を行った結果、更なる再現性の確認が必要であるものの、2,400 分経過時においても透過速度は $0.1(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min})$ を超えない結果が示された。

D. 考察

本研究は、化学防護手袋の作業性について、現状の問題点を模索し対策を立てることで、作業性が良く、かつ、性能の良い製

品を作製することを最終目標として取り組んだ。そのため、4 つの研究テーマに分けてアプローチした。3 年間計画の初年度である令和 7 年度の研究では、まずは既存の指先巧緻性に関する試験方法として存在する ISO 21420: 2020 に準じた試験を行った。その結果、行ったピンの摘み試験は、巧緻性の評価基準の一つとして活用できるものの、巧緻性は、厚み・材料・形状等も複合的に作用していることが解明された。また、GATB 器具検査では、被験者の装着した手袋内にハンドモーションキャプチャを装着することで、異なる手袋形状タイプ間による作業性差の評価として活用できる可能性が明らかとなった。

GATB にさらなる指標も加えることで、作業動作に与える影響をより深く解明できる可能性も示された。実施した作業性および疲労感を評価するための学術文献検索の結果においても、作業性については指先の巧緻性試験のみでなく、触覚感度、把持力、可動域・姿勢、疲労や作業負担試験などを加えることで、手袋装着による作業効率や身体への影響を詳しく評価できる結果が得られた。

行った二つの試験作業による検査では良好な検査結果が得られ、活用の有用性が明らかになった。評価方法の汎用化を図るため、人を介さずに行うハンドロボットを用いた作業性評価構築の結果、作成したた動作シミュレーションでは良好な結果が得られ、有効性が明らかになった。ただし、今後、新たに画像解析、新材料開発、透過試験結果等の成果を統合させ、精度を上げる必要性が示唆された。

E. 結論

本年度の研究として、化学防護手袋の作業性を対象とし、2つの既存方法にての試験の結果、巧緻性等を評価において、有用であることが明らかとなった。今後、試験結果から得られた改善点等や、ハンドモーションキャプチャの評価について整理し、情報を相互連携させることで、ハンドロボットによる評価方法の構築を図る。

これらの評価結果も踏まえて、作業性も含めた良好な新規手袋材料の開発が必須である。対象物質、耐透過時間等の側面からも解明し、現場にて有用である化学防護手袋を開発する基盤が構築された。

F. 健康危険情報

無し

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

- 1) 竹内大樹、他. ハンドモーションキャプチャを用いた化学防護手袋装着時の器用性の定量評価に向けた基礎検討. 電気電子情報通信学会 2026 年総合大会. 2026.
- 2) 竹内大樹、他. ハンドモーションキャプチャを用いた化学防護手袋着用時の手指動作解析と作業性評価. 日本人間工学会第 67 回大会. 2026.
- 3) 長野晴子、川添敏嵩、佐々木涼斗、樋上光雄、竹内大樹、石上温、高橋一誠、宮内博幸. 2025 年 第 43 回産業医科大学学会. 化学防護手袋

の操作性の研究.

- 4) 宮内博幸、樋上光雄、竹内大樹、石上温. 2025 年 第 64 回日本労働衛生工学会. 化学防護手袋の操作性の研究.
- 5) 石上温、高橋一誠、樋上光雄、宮内博幸. 2026 年 第 99 回日本産業衛生学. 化学防護手袋の繰り返し使用に関する基礎研究.
- 6) 佐々木涼斗、長野晴子、川添敏嵩、樋上光雄、竹内大樹、石上温、高橋一誠、宮内博幸. 2025 年 第 43 回産業医科大学学会. 適切な化学防護手袋の選定方法の検討.
- 7) 高橋一誠、石上温、樋上光雄、竹内大樹、青木隆昌、宮内博幸. 2026 年 第 99 回日本産業衛生学会. 適切な化学防護手袋の選定基準についての検討.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. 宮内博幸. (2026). 化学物質の皮膚接触による健康障害防止（皮膚吸収促進作用のある化学物質を中心に）. 産業医学レビュー, 38(3), 188-200.
(その他は各章に記載)

Ⅱ 令和7年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

労働現場における手指作業の種類，および影響を受けやすい機能側面と評価指標について

研究分担者 倉岡 宏幸

公立千歳科学技術大学 理工学部 情報システム工学科 講師

研究要旨

本研究では、防護手袋装着が手指機能に及ぼす影響と、その評価方法に関する知見を整理した。防護手袋は化学物質、切創、熱などから手部を保護するうえで不可欠である一方、厚み、剛性、適合性などの違いにより、手指作業における効率性や生産性を変化させる可能性がある。ISO 21420: 2020 では効率性に関わる項目として指先器用さが位置づけられているが、規格試験のみでは実作業に含まれる複合的な操作過程を十分に表しきれない。そこで、国際規格、公的機関資料、人間工学および産業保健関連文献を対象に、労働現場における手指作業の種類、影響を受けやすい機能側面、および評価指標を整理した。その結果、手指作業は、把持や移送などを中心とする手腕作業と、小部品の組合せ及び分解などを中心とする指先作業に整理でき、検査課題の検討においては、GATB の器具検査にみられるように、手腕作業と指先作業を区別して課題を構成する考え方が有用であると考えられた。さらに、防護手袋装着時の影響は、手指の巧緻性のみならず、触覚感度、把持力、可動域、姿勢、疲労および作業負担に及ぶことが確認された。評価法としては、作業成績や主観指標に加え、局所筋負担を把握する表面筋電図、心理的負担を補助的に捉える自律神経系活動指標を組み合わせることの有用性が示された。以上より、防護手袋評価においては、手腕作業と指先作業の双方を含む課題構成を前提とし、多面的な評価指標を併用することが妥当であると考えられた。

A. 研究背景および目的

防護手袋は、化学物質、切創、熱、寒冷、機械的危険などから手部を保護するために広く使用されており、多様な作業現場で不可欠な保護具である。一方で、防護性能を高めるための材料および構造特性（厚み、剛性、積層構造、表面加工）は、手指の動きや感覚入力に影響する可能性がある。そ

の結果として、労働者の作業効率の低下や局所負担の増加が生じるおそれがある。したがって、防護手袋は単なる保護具ではなく、手指作業の遂行に関与する要素として捉える必要がある。

防護手袋の規格面では、一般要求事項として、設計、無害性などに加え、「快適性と効率性」を明示している[1]。ISO21420:

2020 における効率性には指の巧緻性 (finger dexterity) が含まれており、小ピンをつまめる最小径に基づく性能レベルが示されている。この枠組みは、防護手袋の操作性を最低限の共通尺度で把握できる点に意義がある。しかし、finger dexterity test は、主として母指と示指を中心としたつまみ動作であり、実際の労働現場においては、対象物の把持、位置合わせ、差し込み、組立、分離などの操作が連続して行われる。したがって、規格試験は操作性評価としては有用であっても、現場で求められる手指機能の全体を十分に表すものではない。

手指作業を人間工学の観点からみると、操作性だけでなく、反復動作や過大な力発揮、不自然な姿勢は上肢障害や筋骨格系障害の主要な危険因子として知られている[2-4]。OSHA は、finger intensive task (指で細かい操作や力発揮を繰り返す作業) では、手関節をできるだけまっすぐ保持することが重要だとしている[2]。また、NIOSH においては、手や手関節領域では反復と力発揮の組み合わせが問題になりやすいと指摘している[4]。これらの知見は、防護手袋が操作性に影響するだけでなく、余分な力や不自然な姿勢を誘発することで、作業負担を増加させる可能性を示している。しかし、防護手袋の影響は、すべての作業で同じように現れると考えにくい。小部品のつまみや位置合わせのような精密動作では、触覚や微細な指の運動の寄与が大きく、比較的大きな対象物の把持や移送のような粗大動作では、要求される感覚精度や運動精度が相対的に低い場合がある。したがって、手指作業を粗大動作と精密動作の

観点から整理することで、まずは防護手袋と作業特性の関係について文献的に確認する必要がある。

加えて、防護手袋装着時における手指機能の評価法を整理することも重要である。既存研究では、標準化された巧緻課題による評価に加え、作業時間や誤り数などの作業成績による評価、触覚や操作感に関する主観評価、さらに筋活動などの生理機能を用いた評価が行われている。医療用手袋を対象とした研究では、触覚、器用性および把持感などを独立した評価指標として扱う尺度も提案されている。これらの知見は、防護手袋の影響を単一指標のみで把握することに限界があることを示している。

以上より、防護手袋装着時の手指機能の評価するには、対象となる作業内容と影響を受けやすい機能を整理する必要がある。また、パフォーマンス、主観指標および生理指標の役割を明確にすることも重要である。

本調査は、次年度以降の作業性および疲労感に関する実験的検討に向けた基礎資料を得ることを目的として実施した。

B. 研究方法

本調査では、国際規格、公的機関資料、人間工学および産業保健関連の国際誌を中心に文献を収集した。規格については ISO 21420: 2020 を参照し、防護手袋における dexterity 評価の位置づけと限界を確認した。公的機関資料としては OSHA、HSE、NIOSH、CDC、ならびに厚生労働省関連資料を参照し、手指反復作業や上肢負担のリスク因子と、防護手袋評価を検討するうえでの基本的な視点を整理した。文献

検索については、防護手袋 (Protective glove) 手指巧緻性 (manual dexterity)、触覚感度 (tactile sensitivity)、把持力 (grip strength)、可動域 (range of motion)、筋活動 (muscle activity)、快適性 (comfort)、疲労 (fatigue) などをキーワードとし、防護手袋に及ぼす影響を扱ったレビューおよび実験研究を対象とした。

(倫理面への配慮)

本研究は学術文献を対象として行ったもので、人を対象としていないため倫理面の問題は無い。

C・D. 調査結果および考察

1. 手指作業の分類

収集した文献で扱われていた手指作業には、対象物を把持して移送するような比較的粗大な操作を中心とする課題と、小部品を扱う精密な指先操作を中心とする課題とが含まれていた[2, 6-7]。ASTM においては、手袋の器用さ評価は、小さな対象物を扱う課題と、比較的大きな対象物を扱う課題の双方を念頭に置いて整理されている[5]。

課題の構成に着目すると、標準化された巧緻性課題は、特定の作業要素を切り出して評価しやすい点に利点がある[2, 8]。一方、実作業では、把持、移送、位置合わせ、差し込み、組合せ、分解といった操作が連続して生じることが多い。そのため、単一の動作のみを対象とする課題では、実作業を構成する連続的な操作過程を十分に反映できない場合がある。このように、手指作業の評価では、課題がどの操作要素を対象としているのかを明確にすることが重

要となる。特に、手腕全体を用いた比較的粗大な操作と、指先を中心とした精密な操作とでは、課題構成上の要件が異なる。したがって、評価課題を設定する際には、手腕作業と指先作業の双方を視野に入れて構成する必要がある。

さらに、検査課題の具体例を検討するうえでは、厚生労働省「一般職業適性検査 (GATB)」の器具検査に準拠した手指作業が参考になる[9]。解説では、器具検査 1・2 が手腕作業検査盤、器具検査 3・4 が指先器用検査盤を用い、内容については「差し込み」「差し替え」「組み合わせ」「分解」で構成されている。したがって、本検査は、前述した両作業の条件を満たしており、今後の課題設計に有用だと考えられた。

2. 防護手袋装着に影響を受ける機能

防護手袋装着時の影響は、単一の機能低下として捉えることは困難であり、複数の機能側面に分けて検討する必要がある。関連文献を整理した結果、主な評価対象は、巧緻性、触覚感度、把持力・力発揮、姿勢・可動域、疲労・作業負担に大別された。これらの側面は相互に関連するものの、評価指標および影響の現れ方が異なるため、区別して整理することに意義がある。表 1 に、防護手袋装着時に影響を受けやすい機能と主な評価方法を示した。

まず、手指の巧緻性は、防護手袋の影響を比較的鋭敏に反映する機能である。精密な指先課題では手袋の材質差が成績差として現れる一方、比較的粗大な課題では差が明瞭ではないことが報告されている[6]。また、複数の防護手袋を対象とした比較では、検査の種類によって手袋間の差の検出

しやすさが異なることが示されている[6, 10]。消防用手袋や工業用手袋の検討でも器用さ課題の成績差が確認されており[11]、巧緻性評価では課題特性の選定が結果解釈に大きく関与する。

触覚感度は、とくに精密操作との関連が大きい機能である。圧感受性を含む評価では、手袋設計の違いが触覚関連の成績差として表れることが示されている[12]。また、医療用手袋を対象とした評価尺度では、触覚は器用さや握力とは独立した領域として位置づけられている[13]。また、手袋装着が触覚感度に不利に作用しうること整理されており[7]、位置合わせや差し込みを伴う作業については触覚感度を独立した指標として扱うことが望ましいといえる。

把持力・力発揮については、防護手袋装着が握力やつまみ力に影響しうることが示されている。防護手袋の種類によって握力値が異なることが報告されており[13]、最大握力課題を含む比較でも手袋設計差が成績に反映されている[12]。把持、つまみ、ねじりを含む課題でも差が確認されていることから[14]、評価にあたっては最大出力だけでなく、操作毎に要する力発揮の違いを考慮する必要がある。

可動域・姿勢に関しては、防護手袋の厚みや剛性が指および手関節の運動自由度を制限し、不自然姿勢や把持の修正を生じさせる要因となる。実際に、手袋装着時に手関節偏位が増加する傾向も報告されている[15]。また、不自然姿勢、反復動作、過大な力発揮は、上肢負担の主要因として一貫して整理されている[2-4]。このため、防護手袋の影響評価では、関節角度や姿勢

観察を指標として併用する意義が大きいと示唆された。

疲労・作業負担は、防護手袋装着時の影響を実用的に把握するうえで重要な側面である。作業課題を用いた検討では、手袋装着によって不快感が増加し、作業後の主観的評価にも差が生じることが示されている[15]。また、関連する整理では、疲労感や快適性の低下が防護手袋評価の一側面として位置づけられている[7]。このことは、防護手袋の影響が作業成績や器用さの変化だけでなく、作業者が自覚する負担の増加としても現れうることを示している。このような主観的作業負担については、日本語版 NASA-TLX のように多次元的に評価できる尺度が妥当だと考えられる[16-17]。

以上より、防護手袋装着時による影響については、巧緻性、触覚感度、把持力・力発揮、可動域・姿勢、疲労・作業負担を区別して捉える必要がある。また、これらの側面は単一の評価法では十分に把握しがたく、関節角度を含む姿勢評価や、疲労や作業負担感などの主観評価を組み合わせた多面的な構成が妥当と考えられる。

3. 生理指標の位置づけ

防護手袋評価においては、作業成績、主観指標、動作指標が重要である一方、局所筋負担や全身的緊張の変化は、これらの指標のみでは十分に反映されない場合がある。防護手袋装着時の影響を補完的に把握する手段として、生理指標の位置づけを整理する。表2にその結果を示した。

まず、表面筋電図は、局所負担を直接的に把握できる指標として位置づけられる。

把持、つまみ、差し込み、分解などの作業に伴う筋活動量を定量化できるため、防護手袋装着によって余分な力発揮が生じているかどうかを検討しやすい。先行研究では、手袋装着時に筋活動量が増加したことも報告されており[15]、前腕・手部の筋活動評価に表面筋電図が広く用いられていることも整理されている[18]。職場での活用可能性については、NIOSH の資料でも古くから言及されている[19]。これらより、表面筋電図は、防護手袋評価における生理機能の中核に置くことが示唆される。

心拍数、心拍変動、発汗・皮膚電気活動、脈波は、いずれも自律神経系活動に関連する指標であり、防護手袋装着時の身体的負担や心理状態の変化を補助的に把握する目的で用いることができる。これらの指標は、手指局所の機能低下そのものを直接表すものではないが、作業に伴う緊張、努力感、覚醒水準の変化を反映しうするため、局所筋負担を示す表面筋電図とは異なる役割を担う。手作業や組立作業における負担評価では、心拍や皮膚電気活動が、精神的負荷あるいは作業全体の負担を捉える指標として用いられてきた。例えば、精神的負荷と身体的負荷を組み合わせた課題において、皮膚電気反応頻度が負荷水準に応じて変化することを示している[20-23]。

Human-Robot 領域においては、手作業と人協働作業の比較で、心拍変動および皮膚電気活動を用い、身体的負担やストレス反応の違いを検討している[21]。さらに、同領域の研究において、手作業と協働ロボット支援作業の比較から、組み立て課題の複雑さと支援条件の違いが心理生理反応に反映される傾向が示されている[22]。これら

の知見は、手作業場面において、自律神経系活動指標が作業負担評価の補助指標として一定の有用性をもつことを示している。防護手袋に関連する知見については、消防用防護手袋の着用条件を比較し、心拍数や皮膚温を用いて検証した研究はあるが[24]、研究例としては極めて少ないのが現状である。

以上より、自律神経系活動指標は、防護手袋装着時の局所的な操作性低下そのものを示す指標ではなく、操作困難性や不快感に伴う身体的負担および心理状態の変化を補助的に把握する指標として位置づけるのが妥当である。したがって、防護手袋評価においては、表面筋電図や関節角度のような局所負担・動作指標を中核に据えつつ、自律神経系活動指標を補助的に組み合わせる構成が適切と考えられる。

E. 結論

本調査では、防護手袋装着が手指機能に及ぼす影響と、その評価方法に関する知見を整理した。その結果、防護手袋の影響は指先器用さの低下だけではなく、触覚感度、把持力・力発揮、可動域・姿勢、疲労・作業負担など、複数の側面に及ぶことが確認された。とくに、影響の現れ方は、精密な指先課題と比較的粗大な課題とで異なり、課題特性の違いを踏まえた評価が必要であることが示された。

また、ISO 21420 などの国際規格に基づく標準化試験は基礎指標として有用である一方、実際の作業性を十分に把握するためには、多様な操作要素を含む課題構成が必要と考えられた。今後は、GATB の器具検査を参考とした手腕作業と指先作業の双

方を含む検査課題に、主観指標、姿勢評価、表面筋電図、自律神経系活動指標を組み合わせることで、防護手袋装着時における効率性、作業負担および疲労をより多面的に検証する。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記載)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

無し

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 参考文献

1. International Organization for Standardization. ISO 21420:2020/Amd 1:2022 Protective gloves - General requirements and test methods - Amendment 1. Geneva : ISO; 2022.
2. Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Ergonomics: Identify problems. U.S. Department of Labor. Retrieved April 22, 2026, from <https://www.osha.gov/ergonomics/identify-problems>
3. Health and Safety Executive. (n.d.). Risk factors - Background information. Retrieved April 22, 2026, from <https://www.hse.gov.uk/msd/uld/art/riskfactors.html>
4. National Institute for Occupational Safety and Health. (2024, February 21). About ergonomics and work-related musculoskeletal disorders. Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved April 22, 2026, from <https://www.cdc.gov/niosh/ergonomics/about/index.html>
5. ASTM International. (2018). Standard test method for evaluation of glove effects on wearer finger dexterity using a modified pegboard test (ASTM Standard No. F2010 / F2010M-18). Retrieved April 22, 2026, from https://store.astm.org/f2010_f2010m-18.html
6. Sawyer, J. O., & Bennett, A. (2006). Comparing the level of dexterity offered by latex and nitrile SafeSkin gloves. *Annals of Occupational Hygiene*, 50(3), 289-296.
7. Dianat, I., Haslegrave, C. M., Stedmon, A. W., & Gray, M. I. (2012). Methodology for evaluating gloves in relation to the effects on hand performance capabilities: A literature review. *Ergonomics*, 55(11), 1429-1451.
8. Elangovan, N., Herrmann, A., & Konczak, J. (2022). An accessible, open-source dexterity test: Evaluating the grasping and dexterous manipulation capabilities of humans and robots. *Frontiers in*

- Robotics and AI, 9, 808154.
9. 労働政策研究・研修機構. (n.d.). 厚生労働省編 一般職業適性検査 (General Aptitude Test Battery: GATB) .
 10. Khanlari, P., Malakoutian, M., Dianat, I., Asghari Jafarabadi, M., Hasanzadeh, A., & Allahyari, T. (2023). Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. *Heliyon*, 9(3), e14183.
 11. Ni, J., Gao, J., Li, J., et al. (2023). Effects of firefighting gloves styles on manual performance. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 29(4), 1532-1541.
 12. Muralidhar, A., Bishu, R. R., & Hallbeck, M. S. (1999). The development and evaluation of an ergonomic glove. *Applied Ergonomics*, 30(6), 553-563.
 13. Zare, A., Choobineh, A., Razeghi, M., Ghaem, H., Jahangiri, M., & Omid, L. (2021). The Medical Gloves Assessment Tool (MGAT): Developing and validating a quantitative tool for assessing the safety and ergonomic features related to medical gloves. *Journal of Nursing Management*, 29(4), 750-758.
 14. Sosa, E. M., et al. (2024). Assessing the impact of industrial glove use on perceived hand dexterity, function, and strength. *Applied Ergonomics*, 114, 104134.
 15. Dianat, I., Haslegrave, C. M., & Stedmon, A. W. (2010). Short and longer duration effects of protective gloves on hand performance capabilities and subjective assessments in a screw-driving task. *Ergonomics*, 53(12), 1468-1474.
 16. Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: Hancock, P.A. and Meshkati, N. (Eds.): *Human Mental Workload*, 139-183, Elsevier Science Publishers.
 17. 芳賀 繁, 水上 直樹. (1996). 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度—. *人間工学*, 32(2), 71-79.
 18. National Institute for Occupational Safety and Health. (1992). Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting: Expert perspectives.
 19. Jarque-Bou, N. J., Sancho-Bru, J. L., & Vergara, M. (2021). A systematic review of EMG applications for the characterization of forearm and hand muscle activity during activities of daily living. *Sensors*, 21(11), 3661.
 20. Kohlisch, O., & Schaefer, F. (1996). Physiological changes during computer tasks: Responses to mental load or to motor demands? *Ergonomics*, 39(2), 213-224.
 21. Brillinger, M., Manfredi, S., Leder, D., Bloder, M., Jäger, M., Diwold, K., Kajmakovic, A., Haslgrübler, M., Pichler, R., Brunner, M., Mehr, S., & Malisa, V. (2024). Physiological workload

- assessment for highly flexible fine-motory assembly tasks using machine learning. *Computers & Industrial Engineering*, 188, 109859.
22. Capponi, M., Gervasi, R., Mastrogiacomo, L., & Franceschini, F. (2024). Assembly complexity and physiological response in human-robot collaboration: Insights from a preliminary experimental analysis. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102789.
23. Gervasi, R., Capponi, M., et al. (2024). A human-centered perspective in repetitive assembly processes: preliminary investigation of cognitive support of collaborative robots. *Procedia Computer Science*, 232, 2249-2258.
24. Yang, J., et al. (2025). Effects of firefighters' protective gloves on physiological responses, psychological responses, and manual performance in a cold environment. *Journal of Safety Science and Resilience*, 6(1), 48-57.

表 1 防護手袋装着時に影響を受けやすい機能

機能	防護手袋装着時に想定される影響	主な評価方法	文献
手指の巧緻性	精密操作の遅れ，誤操作，修正動作の増加	器用さ検査，作業時間，誤り数	6,10,11
触覚感度	感覚入力の下下，挿入や位置合わせの困難化	触覚評価，主観評価	7,12,13
把持力・力発揮	握力低下，余分な力発揮，力伝達効率の低下	握力，つまみ力，ねじり課題，筋電図	12-14
姿勢・可動域	不自然姿勢，把持修正の増加	動作観察，姿勢評価，関節角度	2-4,15
疲労・作業負担	筋緊張増加，疲労感，不快感の増加	表面筋電図，主観疲労尺度	15-17

表 2 防護手袋評価に関連する生理指標

指標区分	指標	防護手袋評価における主な意義	文献
局所筋負担	表面筋電図	局所筋負担，筋活動量，疲労蓄積の把握	15,18-19
自律神経系活動	心拍数，心拍変動 発汗・皮膚電気活動	作業負荷，疲労，緊張，不安，メンタルワークロード 作業負荷，覚醒，緊張	20-24

Ⅱ 令和 7 年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

ハンドモーションキャプチャを用いた化学防護手袋着用時の 手指動作解析と作業性評価に関する基礎的検討

分担研究者 竹内 大樹

産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学講座 助教

研究要旨

令和 6 年の労働安全規則改正により、皮膚等障害化学物質を取り扱う作業者には不浸透性手袋の着用が義務化されたが、手袋着用による手指動作の変化や作業性低下については十分な知見がなく、定量的評価手法も確立されていない。本研究では、巧緻性に差があることが既知の複数種類の化学防護手袋を対象とし、作業性の中でも手指および手腕の器用性に着目して、その評価指標の妥当性と有用性を検討した。健常成人 15 名を対象に、化学防護手袋着用下で厚生労働省編一般職業適性検査（GATB）器具検査を実施し、作業成績、作業性に関する主観評価、およびハンドモーションキャプチャによる手指動作データを取得した。手指検出率およびピンチ距離の計測誤差から、ハンドモーションキャプチャは手袋着用下でも概ね安定して動作計測が可能である一方、手袋のタイプ、厚み、透明性、グリップ力といった物性が計測精度に影響することが示された。作業成績では、手袋条件に応じた明確な成績差が認められ、特に作業性が大きく低下する手袋を識別できた。主観評価では、操作性の低下や違和感が手袋の種類によって明瞭に分かれ、作業者が感じる負担の把握に有用であった。さらに、Dynamic ROM を用いた手指動作解析により、手袋条件による動作パターンの変化を時系列的に捉えることができた。以上より、作業成績・主観評価・手指動作解析を組み合わせた多面的な評価枠組みは、従来の ISO 巧緻性検査では捉えきれない手袋の作業性への影響を把握するうえで有効であることが示唆された。一方で、各手法には評価範囲や実施負荷の違いがあり、目的に応じた指標選択が必要である。本研究は、化学防護手袋の作業適合性をより精緻に評価するための基礎的知見を提供するものである。

A. 研究目的

令和 6 年の労働安全規則の改正[1]により、皮膚等障害化学物質を製造または取り扱う業務に従事する作業者について、不浸

透性の保護手袋をはじめとする適切な保護具の着用が義務化された。化学防護手袋の選定においては、健康障害予防の観点から、各化学物質に対する不浸透性が最も重

視されている。一方で、手袋の着用によって生じる手指動作の変化や作業性の低下、手指の疲労といった作業遂行面への影響については、知見が十分に蓄積されておらず、定量的な評価は困難である。

そこで本研究では、すでに巧緻性に差があることが確認されている複数種類の手袋を対象とし、作業性の中でも特に手指および手腕の器用性に着目し、その定量的評価手法の確立に向けた基礎的検討を行った。具体的には、化学防護手袋着用下で、厚生労働省編 一般職業適性検査 (General Aptitude Test Battery、以下 GATB) の器具検査を実施し、作業成績および手袋の作業性に関する主観評定、ハンドモーションキャプチャによる手指動作の取得を行った。これら複数の指標について、巧緻性に差があると判明している手袋間で比較することで、作業性評価に適切な指標を模索した。

B. 研究方法

文書によるインフォームドコンセントを得た健康成人 15 名 (男性 8 名、女性 7 名、 28.0 ± 10.0 歳、右利き 14 名、左利き 1 名) の協力のもと、GATB 器具検査実施中の手指動作の取得を目的とした実験を行った (産業医科大学倫理委員会 承認番号: ER25-042)。検査盤はドラフトチャンバー内に配置し、挿し込み検査・挿し替え検査・組み合わせ検査・分解検査の 4 検査を実施した。実験風景を図 1 に示す。検査結果から換算点を求め、手腕器用性及び手指器用性のスコアを算出し、これを作業成績とした。

実験条件は、ISO21420-2020 準拠の巧緻性検査において差があることが示されて

いる化学防護手袋を参照[2]し、素手条件を加えて、材質および厚さの異なる 5 種類の化学防護手袋からなる 6 条件とした。使用した化学防護手袋の詳細を図 2 に示す。実験条件の実施順序は実験参加者間でカウンターバランスをとった。

各検査終了時には、作業性および着用感に関する主観評定を実施した。質問項目は表 1 の通りとし、4 段階のリッカート尺度を用いて取得した。

手指動作は、ハンドモーションキャプチャ (Leap Motion Controller2、UltraLeap 社製、サンプリングレート 100Hz) を、頭部に装着下ヘルメット前面に固定した状態でヘッドマウントモードにて計測を行った。計測された手指動作について、各関節における Dynamic ROM (Dynamic Range of Motion、動作中に実際に発揮された関節可動域) を算出 (各検査内で得られた関節角度の 95 パーセンタイルと 5 パーセンタイルの差分) し、評価対象とした。また、検査盤前方には Web カメラ (C920n、Logicoool 社製、サンプリングレート 10fps) を設置し、作業の様子を記録した。

全検査結果から算出した手腕器用性および手指器用性のスコア、挿し込み検査における各関節の Dynamic ROM について、条件間の差を検討するために、1 元配置分散分析を実施した。有意差が認められた場合には Tukey の多重比較を行った。また、主観評定については、条件間の差を検討するために、フリードマン検定を実施し、有意差が認められた場合には Conover 法による多重比較を行った。また、同一条件内における手腕系タスク (挿し込み検査・挿し替え検査) と手指系タスク (組み合わせ

検査・分解検査)の比較には、Wilcoxon 符号付順位検定を用いた。いずれの検定についても有意水準は5%とした。

C. 試験結果

1. 化学防護手袋着用下におけるハンドモーションキャプチャ計測の妥当性検証

ハンドモーションキャプチャは一般に、素手での使用が想定されている場合が多い。そこで本研究では、化学防護手袋着用下における手指動作計測の妥当性検証として、手指検出率の評価、およびピン保持タイミングにおけるピンチ距離(親指・人差し指間距離)の計測精度検証を行った。

図3~6に、4検査における手指の正常取得率(手指が正しく検出され、かつIQR法により外れ値と判定されなかったデータの割合)、データ欠損率、およびIQR法により外れ値と判別されたデータの割合を示す。いずれの検査においても、条件6の手袋における手指検出率は低い値を示した。

図7に差し込み検査におけるピンチ距離の時系列データの一例を示す。差し込み検査中、ピンを把持している区間を図7の赤線部のように特定し、該当区間におけるピンチ距離の平均値を算出した(図8)。

ピンチ距離は物体径(7.4mm)、指腹厚、手袋厚、計測誤差の合算として定義される。本検討では、素手条件の差し込み検査における実測値から物体径と指腹厚(右手平均4.1mm、左手平均11.2mm ※把持力や個人差により変動、利き手は非利き手よりもピンチ力が18%高い報告あり[3])、手袋厚を差し引いた値を計測誤差と定義した。算出した各条件の誤差を表2に示す。先行研究

[4]において、Leap Motion Controller2の計測誤差は、素手による動的動作時で平均1.2mm(最大2.5mm)と報告されている。本実験の素手条件においても、同程度のデバイス由来の誤差が含まれると考えられるが、算出された誤差を比較すると、手袋4、27、29はおおむね先行研究の範囲に収まった。一方で、手袋6、40は先行研究の報告値を大幅に上回る結果となった。

2. 作業成績評価

GATB 器具検査の検査結果から算出した手腕器用性スコア及び手指器用性スコアの条件間比較結果を図9、10に示す。素手条件と比較すると、手袋29は同程度の作業成績を維持していたが、手袋40では著しい成績の低下が認められた。

3. 主観的作業性評価

GATB 器具検査の各検査における5項目の主観評価結果を図11~14に示す。全体的な傾向として、手腕系タスクと比較して、手指系タスクにおいて評価値が有意に高くなる傾向が見られた。条件間比較では、手袋4および29は素手条件との間に有意差は認められず、素手に近い評価値が維持されていた。一方、手袋6および40は、素手条件に対して有意に高い評価値を示した。

4. ハンドモーションキャプチャを用いた手指動作解析

図15~19に、差し込み検査における右手親指および人差し指のDynamic ROMの比較結果を示す。素手条件と比較し、手袋4、27、29においてはDynamic ROMに有

意な差は認められなかった。一方、手袋 6 は人差し指のすべての関節において Dynamic ROM が有意に拡大し、手袋 40 は人差し指の CMC、MCP、DIP 関節において Dynamic ROM が有意に大きくなった。親指 IP 関節については、素手条件と比較して有意差は認められなかったものの、手袋 6 では IQR（四分位範囲）が大きく、手袋 40 では Dynamic ROM がやや小さくなる傾向が認められた。

D. 考察

1. 化学防護手袋着用下におけるハンドモーションキャプチャ計測の妥当性検証

図 3~6 より、フィットタイプの手袋 4、29 において比較的高い手指検出率 (> 70%) が得られた。フィットタイプの手袋は、指形状の保持および指間分離が明確であり、手モデルの推定が安定したためと考えられる。発泡タイプの手袋では、手袋 27 は比較的高い手指検出率 (> 70%) であった一方、手袋 40 は 55~80%程度とやや低い値にとどまった。発泡タイプの手袋は、指形状は保持されているものの、指間分離がやや不明瞭であることが手袋 40 における検出率低下の要因と考えられる。一方、手袋 27 については、透明素材のため手袋越しの皮膚形状の視認性が高く、フィットタイプと遜色ない手指検出率が得られたと推察される。シートタイプの手袋 6 は、すべての検査において低い手指検出率 (30~70%程度) であった。これは、シート構造に起因する指形状の崩れや、指間の接触増加により指間分離が不明瞭となったことが原因であると考えられる。

表 2 より、フィットタイプの手袋 4、29

および透明素材の手袋 27 について、ピンチ距離の計測誤差が先行研究の報告値の範囲内に収まった。これは手指検出率と同様の傾向であり、手モデルの推定が安定していたことを示唆している。一方、手袋 6 については計測誤差が著しく増大する傾向が確認された。これも手指検出率の低下と符合しており、手モデルの推定が正常に行われなかったことに起因すると考えられる。手袋 40 についてもやや計測誤差が大きい傾向にある。図 13 や実験中の参加者の発言等から、ややサイズが大きいことが指摘されていることや、図 14 より、本手袋は非常に滑りにくい素材であったことなどを鑑みると、実験参加者が強く把持をすることなく手袋のグリップ力でピンをつまんでいた可能性があり、その結果として指先と手袋の間に空隙が生じていたことが推察される。

以上の結果から、ハンドモーションキャプチャは化学防護手袋着用下でも基本的には安定して計測可能であると考えられるが、手袋のタイプや厚み、透明性、さらにはグリップ力といった物性の違いが、手指検出率や計測誤差に影響を及ぼすことが示唆された。したがって、手袋の物性が手モデル推定に与える影響を考慮しつつ計測条件を設定することが、精度の高い動作解析を行ううえで重要である。

2. 作業成績評価

図 9、10 より GATB 器具検査による手腕器用性スコアおよび手指器用性スコアは、手袋条件の違いによって明確に変化し、特に作業成績が大きく低下する条件を識別できた。このことは、GATB 器具検査が

手袋着用時の作業性の変化を捉えるための客観的な性能評価指標として機能し得ることを示している。また、手腕系・手指系の双方で同様の傾向が得られた点は、本検査が特定の動作特性に依存せず、総合的な作業遂行能力の変化を反映する汎用性の高い評価手法であることを示唆する。

一方で、GATB 器具検査は複数の動作要素が統合されたタスクであり、成績の変化がどの動作の違いに由来するのかを特定することはできない。また、本来は職業適性を評価する目的で設計された検査であり、手袋による操作性の微細な変化を高い精度で検出することを想定した指標ではない。そのため、成績差の大きさが実際の作業性のどの程度の違いを意味するのかについては、GATB の枠組みだけでは十分に解釈できない。

以上より、GATB 器具検査は、化学防護手袋のように装着条件によって作業性が変化する装備の評価において、基礎的かつ再現性の高い比較指標として活用可能である一方、成績差の背景にある動作特性までは評価できないという限界を併せ持つ。

3. 主観的作業性評価

本研究の主観評定では、手袋の種類によって評価がはっきり分かれ、特に手袋 6 と 40 では「動かしにくい」「細かい操作がしにくい」といった感覚が強く表れた (図 11、12)。このことから、主観評価は手袋による作業のしやすさの違いを捉えるうえで重要な指標であり、作業者が感じる負担や違和感を把握するために有効であると考えられる。また、手指を使うタスクで評価が高くなる傾向があったことは、作業

者が細かい操作の場面で手袋の影響をより強く感じていることを示している。

一方で、主観評価には注意すべき点もある。評価は人によって感じ方が異なり、経験や慣れの程度にも左右される。先行研究でも、手袋に慣れていない場合は違和感が強く出やすいことが指摘されており 5)、本研究でも同じような影響があった可能性がある。そのため、今回の評定値が「本当に操作性が悪かったから高くなった」のか、「慣れていない手袋だったから高くなった」のかを区別することはできない。

このように、主観評価は作業者の感じ方を直接知ることができるという利点がある一方で、個人差や慣れの影響を受けやすく、評価のばらつきが生じやすいという限界もある。

4. ハンドモーションキャプチャを用いた手指動作解析

本研究では、ハンドモーションキャプチャを用いて作業中の手指動作を記録し、手袋条件による動作の違いを時系列的に捉えた。この方法を用いることで、作業者がどのように指を動かしているかを客観的に把握でき、手袋の種類によって動作パターンが変化する様子を確認できた点は大きな利点である。

本研究では、取得した動作データの中でも Dynamic ROM に着目し、関節角度の変化量を指標として比較を行った。ROM は動作の大きさを定量的に示すことができ、手袋条件による動作の違いを比較しやすい指標として有用であった。一方で、ハンドモーションキャプチャで取得できる情報は ROM に限られず、本来はより多

様な動作指標を抽出することが可能である。たとえば、関節角度の変化速度や加速度、動作の滑らかさ、指同士の協調パターン、動作の周期性やリズムなど、動作の質的側面を評価する指標も得られる。これらの指標は、作業効率や動作の安定性と関連する可能性があり、手袋による影響をより多面的に理解するうえで重要な情報となり得る。

しかし、本研究では ROM のみに焦点を当てており、これらの質的指標については扱っていない。そのため、今回示された動作の違いが、動作の効率性や安定性の変化を伴うものなのか、あるいは単に動作の大きさが変わっただけなのかを判断することはできない。また、ROM は動作の「量」を示す指標であるため、動作の滑らかさや協調性といった側面を評価するには不十分である。

このように、ハンドモーションキャプチャは手袋による動作の違いを詳細に捉えるための有用な方法であり、ROM はその中でも比較しやすい指標として機能した。一方で、本研究では ROM 以外の動作指標を十分に活用できておらず、動作の質的側面を評価するには限界がある。今後は、ROM に加えて速度や協調性などの指標も併せて解析することで、手袋が作業動作に与える影響をより深く理解できると考えられる。

5. 全体的な考察

本研究では、作業成績、主観評価、およびハンドモーションキャプチャによる手指動作解析を組み合わせることで、化学防護手袋が作業性に及ぼす影響を多面的に

評価した。これらの手法はそれぞれ異なる側面を捉えており、単独では評価できる範囲が限定されるものの、併用することで手袋による影響の生じ方を構造的に理解できる可能性が示された。

本研究で用いた複合的な評価枠組みは、従来の ISO 検査のように単一の巧緻動作に依存した評価とは異なる性質を持つ。ISO 検査は単純で再現性が高い一方、作業全体の遂行能力や動作戦略の違いを捉えることはできない。これに対し、本研究の枠組みでは、作業の結果、作業者の体験、動作の変化という複数の層を評価でき、手袋が作業性に及ぼす影響をより立体的に理解できる。

しかし、このような多面的な評価は、その有用性と引き換えに実施負荷が高いという現実的な課題も伴う。GATB の実施には一定の時間と環境が必要であり、主観評価は参加者の説明や理解を要し、ハンドモーションキャプチャは計測環境の整備やデータ処理の手間が大きい。ISO 検査が持つ「簡便で標準化されている」という強みは、本研究の複合的手法では必ずしも代替できない。したがって、どの評価手法をどの目的で用いるのか、また複数の指標をどの程度組み合わせるのかについては、評価の精度と実施負荷のバランスを考慮して選択する必要がある。

このように、本研究で用いた複数の評価手法は、それぞれが異なる側面を補完し合う関係にあり、組み合わせることで手袋の作業性をより多面的に捉えられる可能性を示した一方で、評価体系として運用する際には実施負荷や指標の選択性といった課題も残されている。

E. 結論

本研究では、化学防護手袋着用時の作業性を、作業成績、主観評価、およびハンドモーションキャプチャによる手指動作解析の三つの観点から評価した。その結果、これらの手法はそれぞれ異なる側面を捉えており、単独では評価範囲が限定されるものの、併用することで手袋が作業動作に及ぼす影響を多面的に把握できる可能性が示された。GATB 器具検査は作業遂行能力の変化を反映し、主観評価は作業者が感じる操作性の低下を捉え、ハンドモーションキャプチャは動作の変化を客観的に記述するという補完的な関係にあった。

また、従来の ISO 検査が特定の巧緻動作に依存した単一評価であるのに対し、本研究で用いた複合的な評価枠組みは、作業の結果、作業者の体験、および動作特性を統合的に捉える点で異なる特徴を持つ。一方で、各手法には実施負荷や評価範囲の制約があり、目的に応じて適切な指標を選択する必要がある。

本研究の結果は、化学防護手袋の作業適合性を評価するうえで、複数の指標を組み合わせた評価手法が有効である可能性を示すものであり、今後の評価体系の構築に向けた基礎的知見を提供するものである。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記載)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

- 1) 竹内大樹、他. ハンドモーションキ

ャプチャを用いた化学防護手袋装着時の器用性の定量評価に向けた基礎検討、電気電子情報通信学会 2026 年総合大会, 2026.

- 2) 竹内大樹, 他. ハンドモーションキ
ャプチャを用いた化学防護手袋着用時の手指動作解析と作業性評価,
日本人間工学会第 67 回大会, 2026.

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト:皮膚等障害化学物質, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo108_1.html, (参照 2026-04-14).
2. 宮内博幸, 竹内大樹, 他. 化学防護手袋の操作性の研究. 第 64 回日本労働衛生工学会. 旭川市. 2025. 10. 31.
3. Kawabata, H., Demura, S., et.al. (2013). Superior pinch strength in the dominant versus nondominant hand. Sport Sciences for Health, 9(1), 7-11.
4. Weichert, F., Bachmann, D., et.al. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. Sensors, 13(5), 6380-6393.
5. 岡田淳子, 廣川恵子, 他. (2010). 血時の手袋着用率向上における手袋

素材の比較検討. 日本赤十字広島看護大学紀要, 10, 1-6.

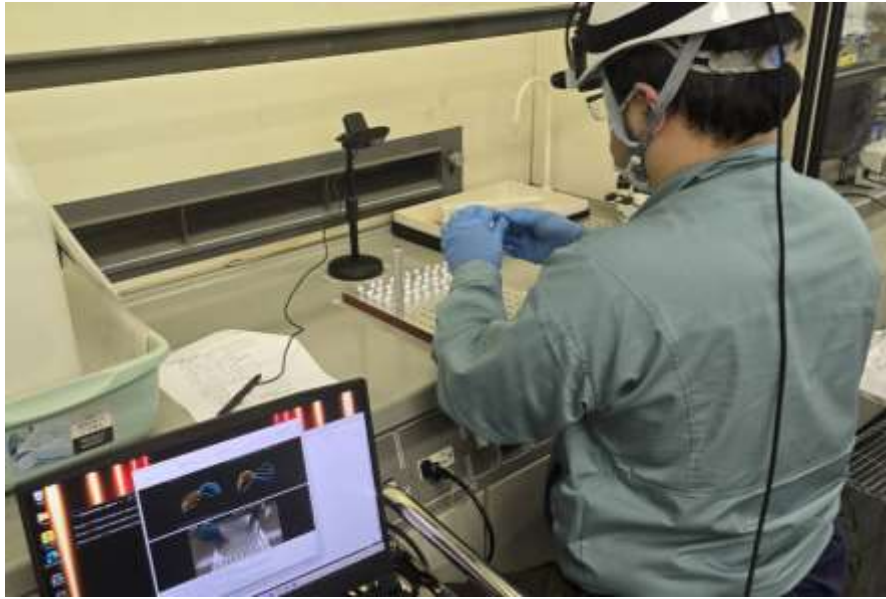


図 1 実験中の様子

	手袋4	手袋6	手袋27	手袋29	手袋40	素手
見た目						—
材料	ニトリル /ネオプレン ゴム	ポリエチレン	シリコン	ナイロン /EVOH	ポリウレタン	—
厚み(mm)	0.23	0.07	0.75	0.06	0.95	—
形状タイプ	フィット	シート	発泡	フィット	発泡	—
ISO巧緻性 試験 (mm)	0.73	1.24	0.67	—	2.24	—

図 2 実験の条件

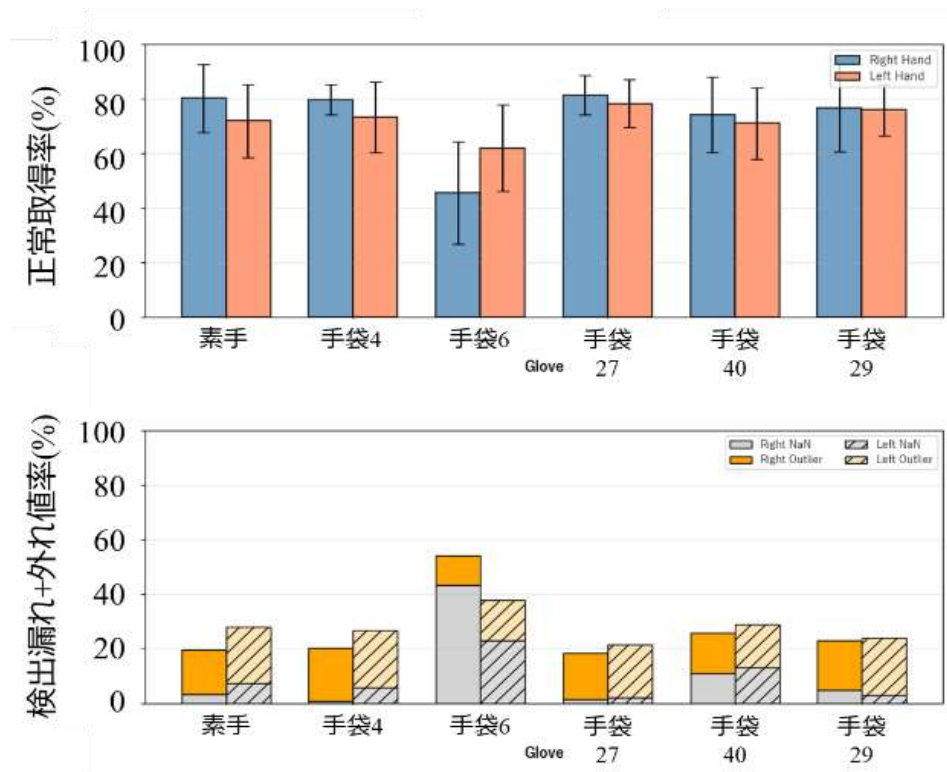


図3 挿し込み検査の正常取得率（上）およびデータ欠損率+外れ値率（下）

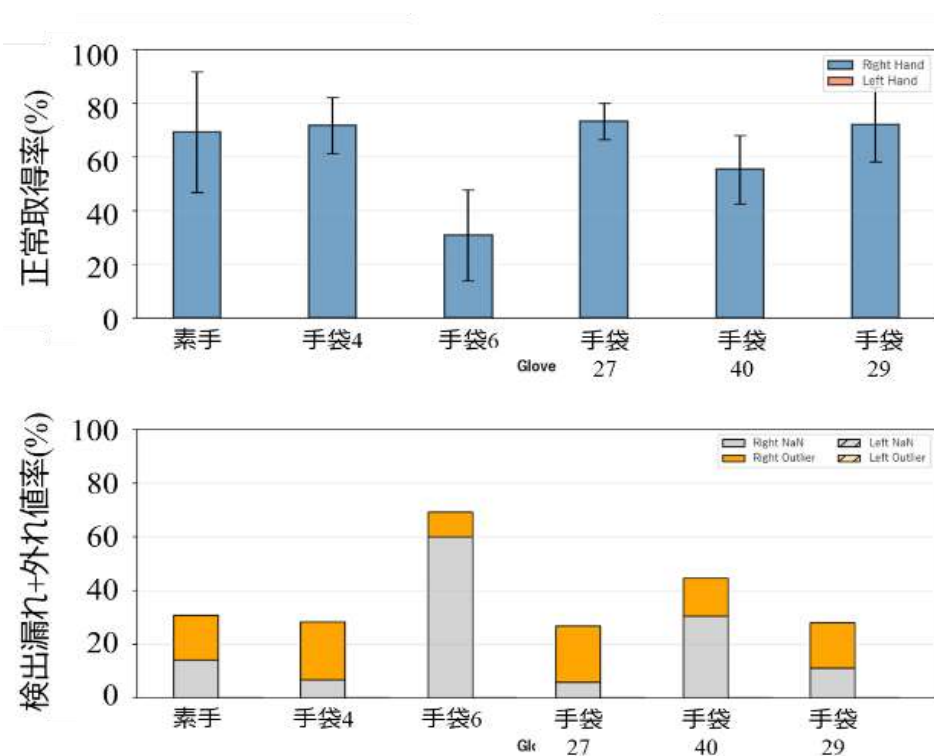


図4. 挿し替え検査の正常取得率（上）およびデータ欠損率+外れ値率（下）（利き手のみ）

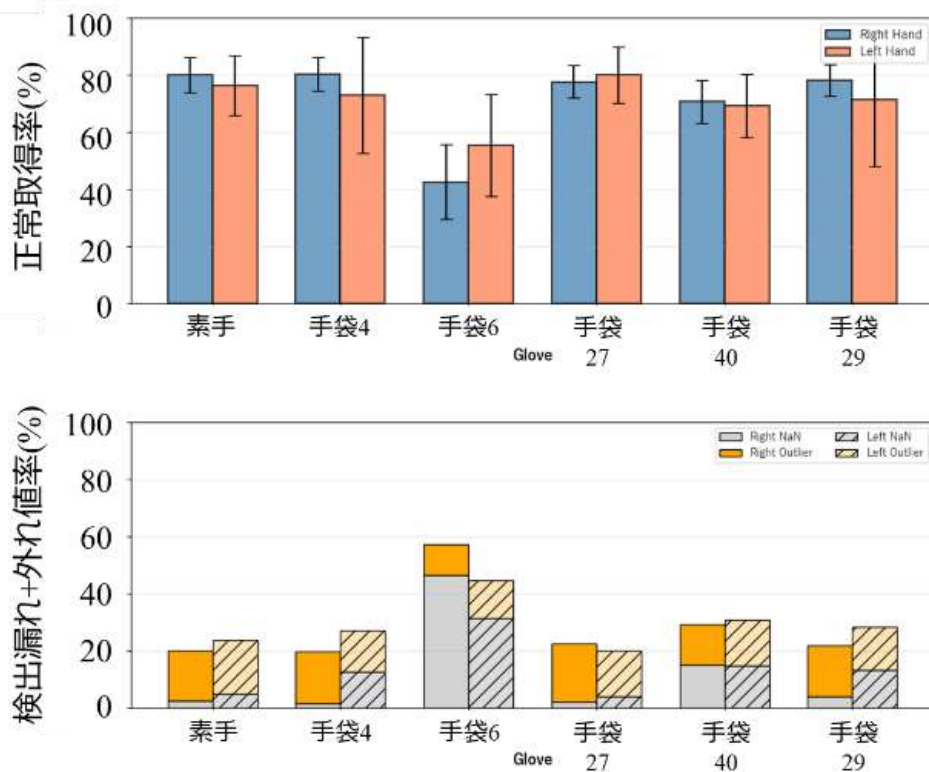


図5 組み合わせ検査の正常取得率（上）およびデータ欠損率+外れ値率（下）

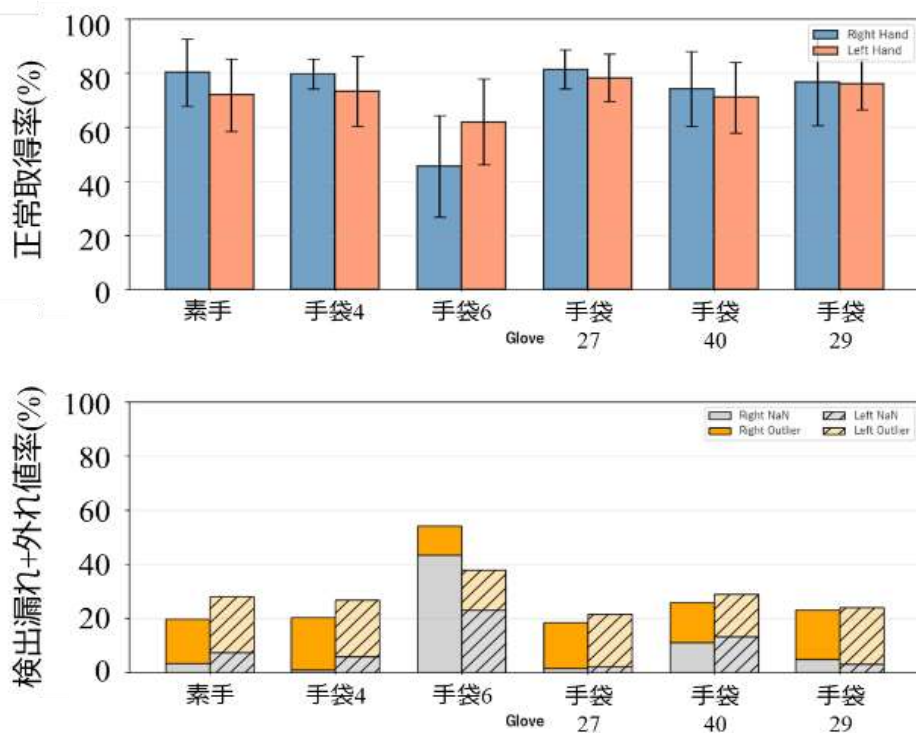


図6 分解検査の正常取得率（上）およびデータ欠損率+外れ値率（下）

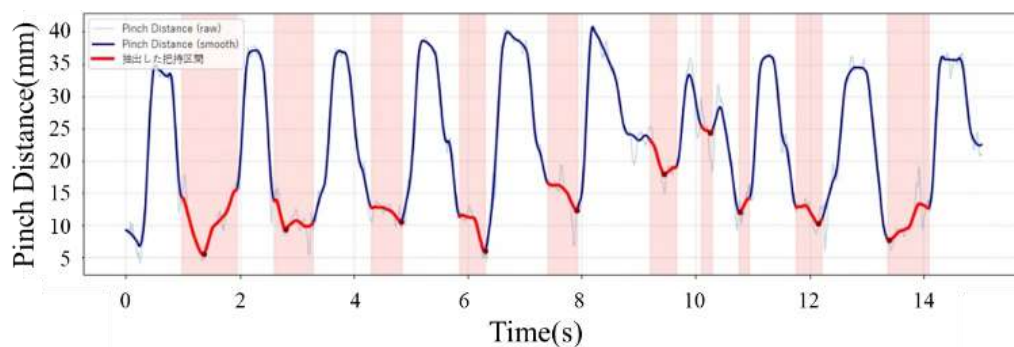


図7 差し込み検査におけるピンチ距離の一例

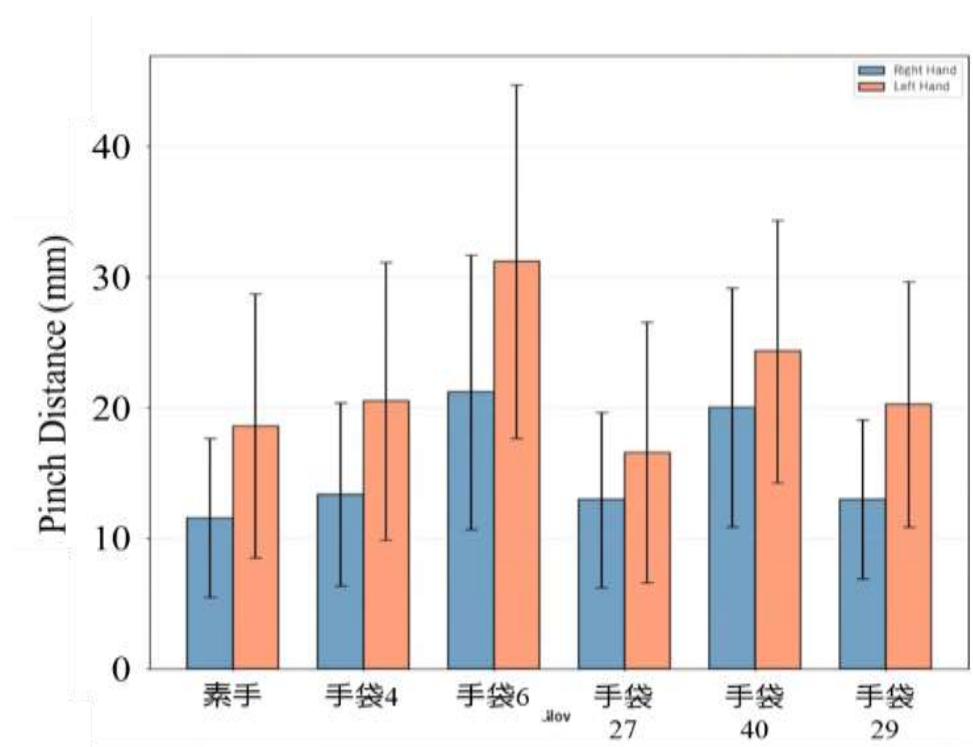


図8 各実験条件におけるピン把持時の平均ピンチ距離 (mm)

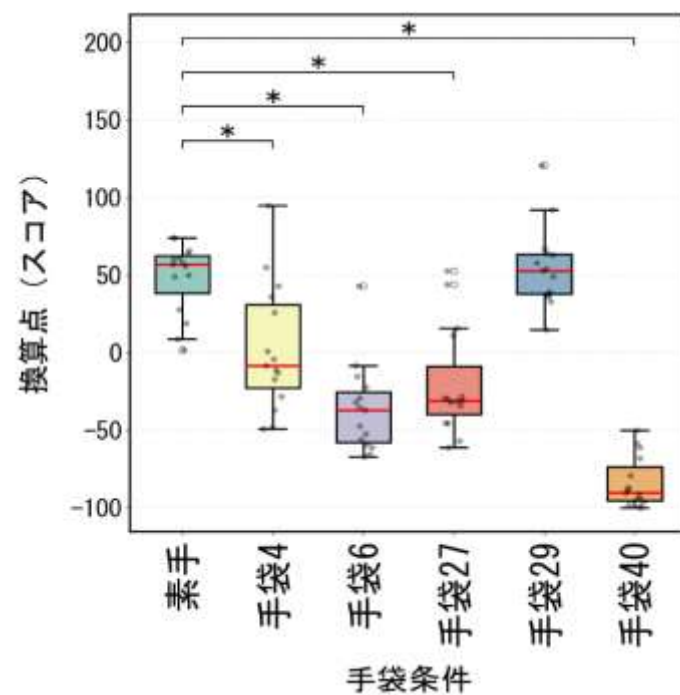


図 9 手袋の種類の違いによる手腕器用性の比較 (* : $p < 0.05$ (素手条件のみと比較))

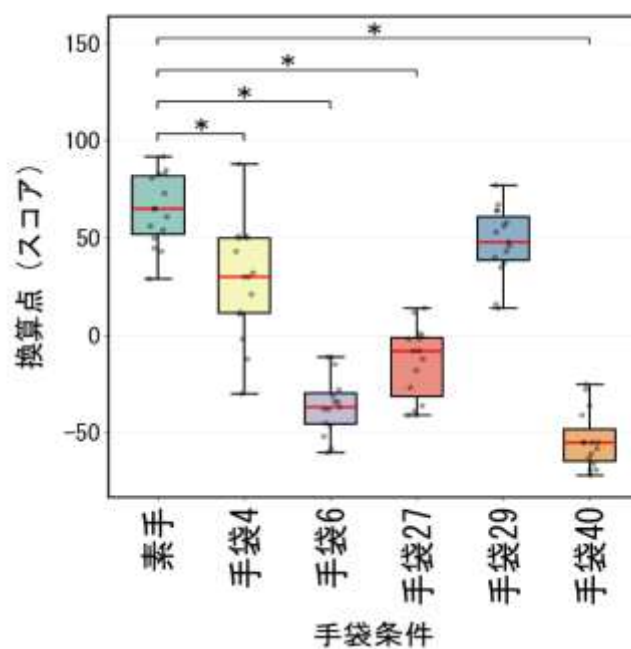


図 10 手袋の種類の違いによる手指器用性の比較 (* : $p < 0.05$ (素手条件のみと比較))

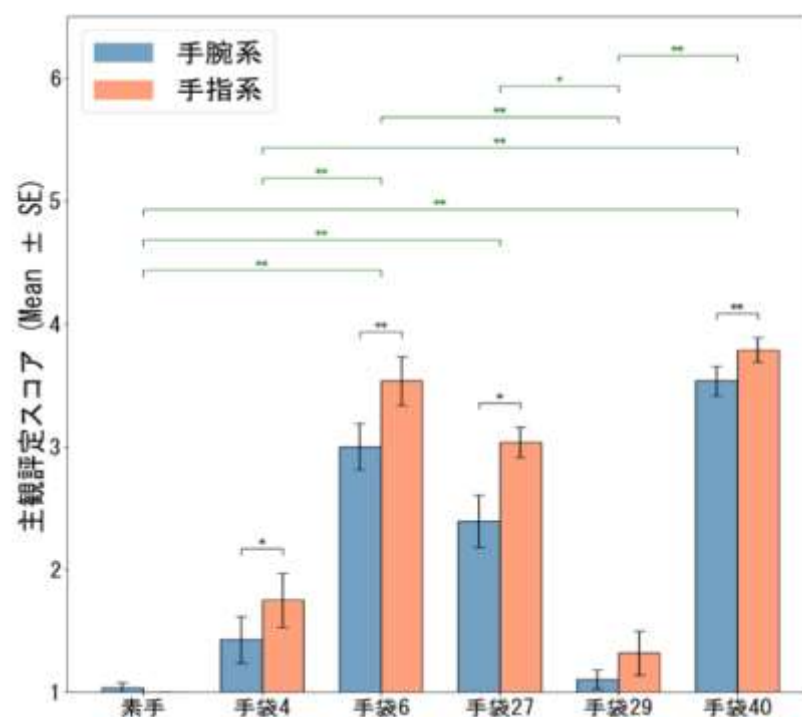


図 11. GATB 器具検査における「指の動かしやすさ」に関する主観評価結果
(*: p<0.05, **: p<0.01)

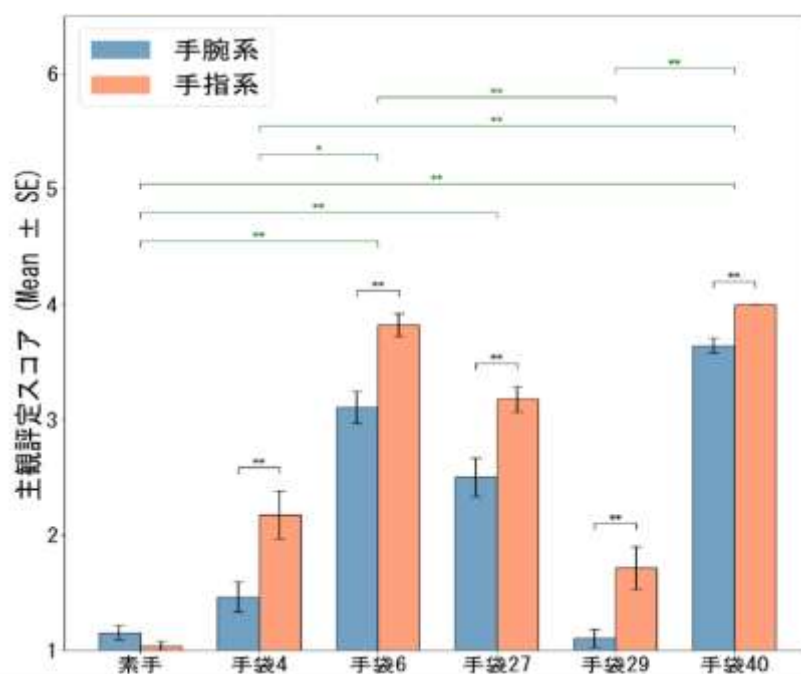


図 12. GATB 器具検査における「細かい操作性」に関する主観評価結果
(*: p<0.05, **: p<0.01)

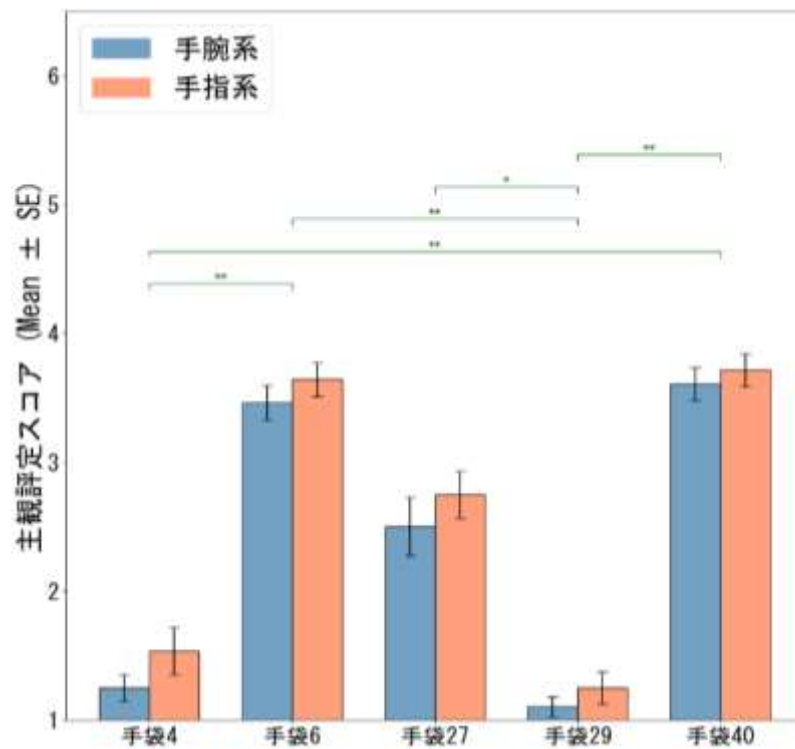


図 13 GATB 器具検査における「フィット感」に関する主観評価結果
(*: $p<0.05$, **: $p<0.01$)

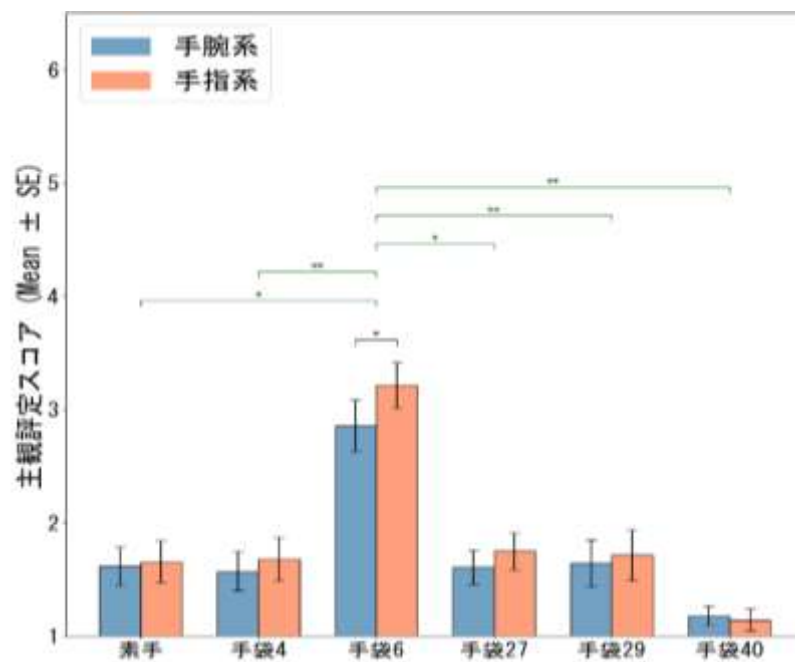


図 14 GATB 器具検査における「滑りにくさ」に関する主観評価結果

(*: $p<0.05$, **: $p<0.01$)

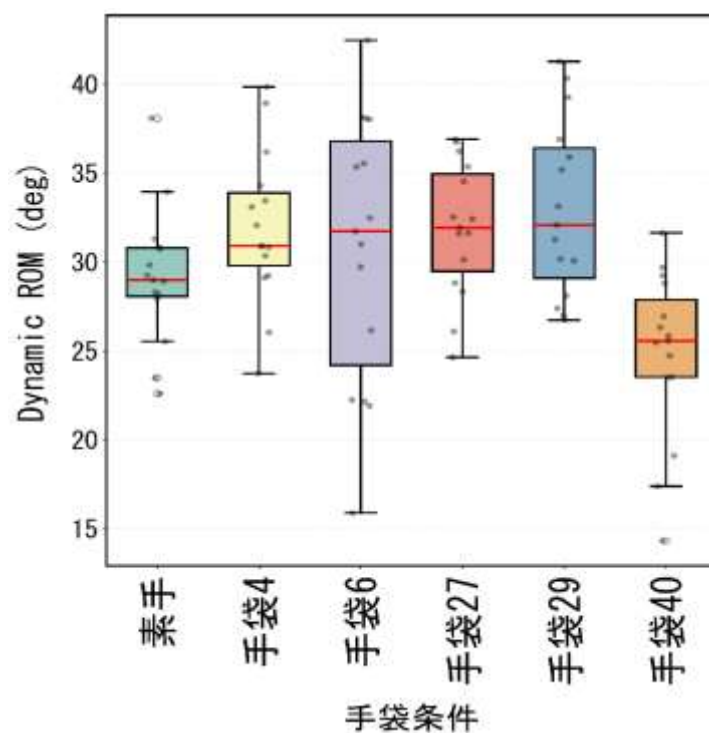


図 15 挿し込み検査における右手親指 IP 関節の Dynamic ROM の比較

(* : $p<0.05$ (素手条件のみと比較))

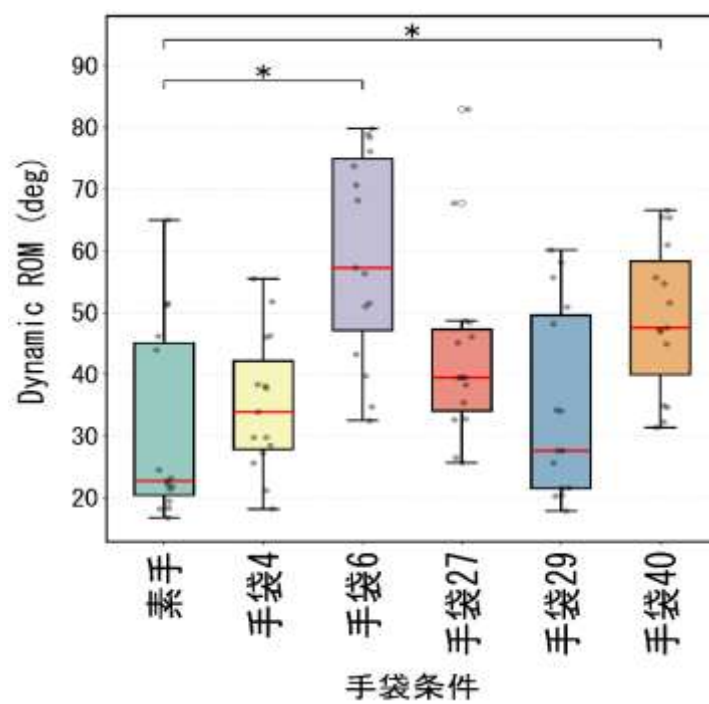


図 16 挿し込み検査における右手人差し指 CMC 関節の Dynamic ROM の比較

(* : $p<0.05$ (素手条件のみと比較))

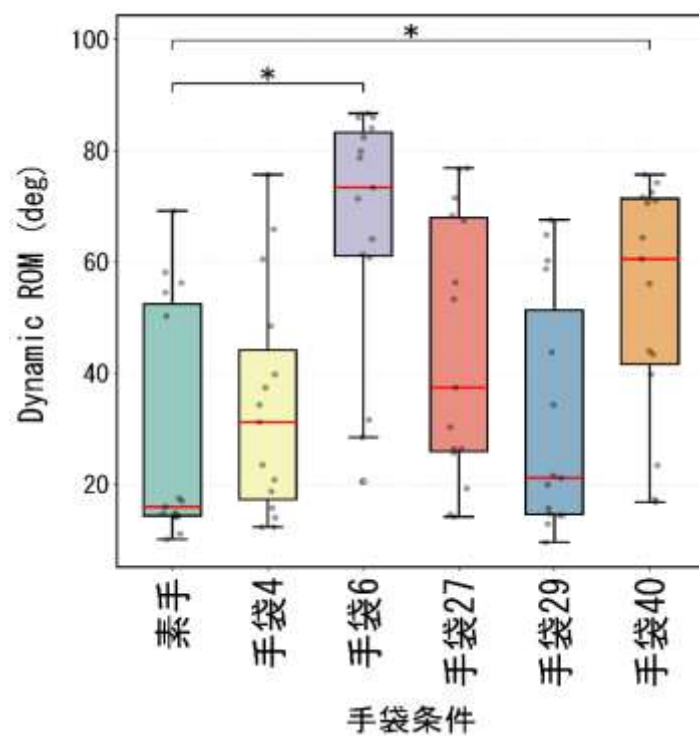


図 17 挿し込み検査における右手人差し指 MCP 関節の Dynamic ROM の比較
 (* : $p < 0.05$ (素手条件のみと比較))

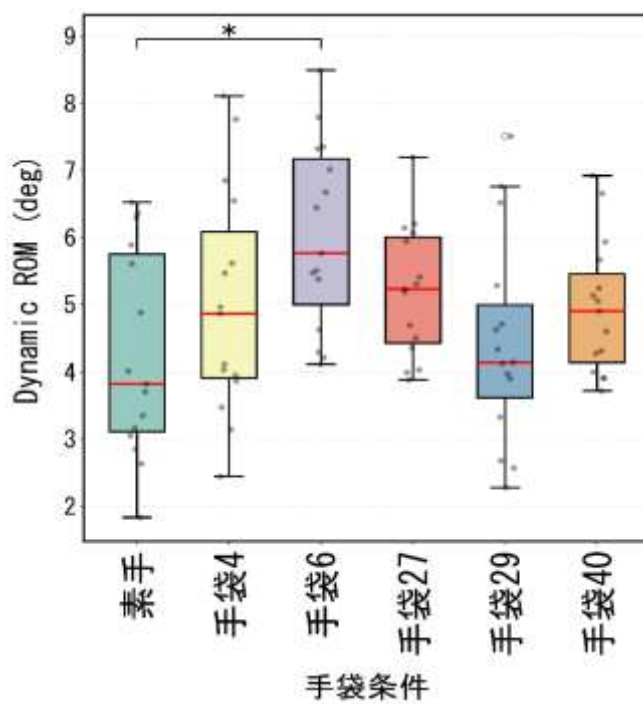


図 18 挿し込み検査における右手人差し指 PIP 関節の Dynamic ROM の比較
 (* : $p < 0.05$ (素手条件のみと比較))

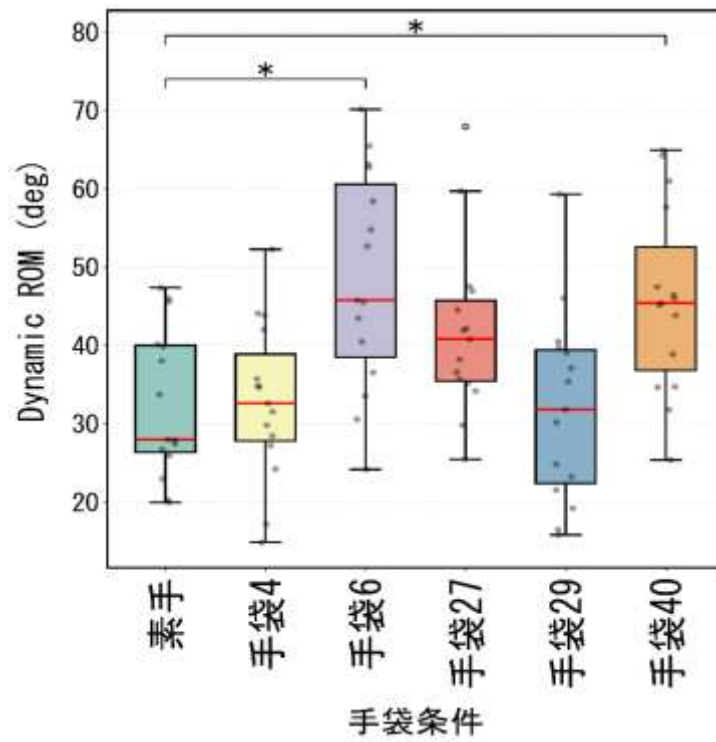


図 19 挿し込み検査における右手人差し指 DIP 関節の Dynamic ROM の比較
 (* : $p < 0.05$ (素手条件のみと比較))

表 1 作業性および着用感に関する主観評定の質問項目

a) 指の動かしやすさ(手袋を着用した状態で指が自由に動かせたか)
1. 非常に動かしやすい / 2. やや動かしやすい / 3. やや動かしにくい / 4. 非常に動かしにくい
b) 細かい操作のしやすさ(ピンのつまみや差し込みやすかったか)
1. 非常に容易 / 2. やや容易 / 3. やや困難 / 4. 非常に困難
c) 手袋のフィット感(サイズ感やずれによる違和感の有無)
1. 非常に良い / 2. やや良い / 3. やや悪い / 4. 非常に悪い
d) 滑りにくさ, 把持(ピンをつまんだ時に滑りにくかったか)
1. まったく滑らない / 2. やや滑りにくい / 3. やや滑りやすい / 4. 非常に滑りやすい
e) 全体的な作業のしやすさ(総合的に操作がしやすかったか)
1. 非常に容易 / 2. やや容易 / 3. やや困難 / 4. 非常に困難

表 2. 各条件におけるピンチ距離の計測誤差 (mm)

条件	右手	左手
手袋4	1.4	1.4
手袋6	10.5	12.4
手袋27	0.1	3.5
手袋29	1.3	1.5
手袋40	6.6	3.8

Ⅱ 令和 7 年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

化学防護手袋における巧緻性の研究

研究責任者 宮内博幸

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学講座 教授

研究分担者 樋上光雄

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学講座 教授

研究要旨

労働者の健康を担保する上で重要なのが個人用保護具の適切な選定と使用である[1]。化学防護手袋は、その性能である耐透過性能、耐浸透性能等について JIS T 8116: 2015[2] のクラスにより評価される。しかし、防護性能以外に作業性を考慮した化学防護手袋の選定が不可欠である。以上のことを踏まえ、本研究では化学防護手袋の作業性について、特に指先の巧緻性に関する評価方法を検討することを目的とした。ISO 21420:2020[3]の方法に準じて巧緻性評価した。多種の材料や形状の化学防護手袋として、国内外製品の 11 種類の手袋を対象とし、32 名の被験者について摘まむことができる最低のピン直径値より評価した。その結果、手袋の厚みが増すことで指先の触覚の感度が低下し、さらに柔軟性も低下して巧緻性は低下した。材料や形状による因子も影響し、統計的な有意差は認められなかったものの、皮膚への密着性が高いニトリル製の薄型手袋が最も優れた巧緻性を示す傾向にあった。巧緻性は厚み・素材・全体形状などの要素が複合的に作用して決定されると推定された。以上より、本研究にて行った評価方法が、化学防護手袋の巧緻性を評価する方法の一つとして有用であることが解明された。

A. 研究目的

作業用手袋の性能評価に関して、杉村桃子らは、園芸等の軽作業における消費者の使い心地と、手の寸法および手袋のゆとり率との関係を報告している[4]。同研究では、手袋の「総合的な使い心地」が作業後の「通気性」や「蒸れ感」と極めて強い相関（通気性： $r = 0.959$ 、蒸れ感： $r = 0.898$ ）を示すことを明らかにした。さらに、動作

機能性においては、小さい種をつまむ等の巧緻性が求められる動作において、中指よりも人差し指のゆとり率との相関が高く（ $r = 0.910$ ）、人差し指の適合性が指先感覚の伝わりやすさに大きく影響することを指摘している。

皮膚吸収による健康障害を防ぐためには、耐透過性能、耐浸透性能等を有する化学防護手袋を使用することが重要である。

しかし、耐透過性や耐浸透性の確保のみならず、作業時の操作性についても十分に考慮する必要がある。操作性が著しく損なわれる場合、作業効率の低下を招くだけでなく、手袋の着脱頻度の増加や誤操作による化学物質ばく露のリスクを誘発する恐れがある。本研究では化学防護手袋の操作性のうち、特に指先の巧緻性に関する評価方法を検討することを目的とした。

B. 研究方法

1. 試験動作

手や指を使った主な動作として表 1 に示した動作等が考えられるが、試験動作として、摘まむ動作である指尖つまみについて検討した。指尖つまみは、親指と人差し指の対立運動により、微小な対象物を把持する高度な巧緻動作である。また、化学防護手袋は材料の厚みや柔軟性により、指先の繊細な感覚や関節の曲げやすさに変化が生じるため、人間の本来持つ運動機能をどの程度阻害しているかを判定するために最も感度の高い指標と考えた。

2. 試験方法

2.1 試験対象者および手指計測

某大学の学生（20 歳から 21 歳）30 名及び教員 2 名の男女とし、合計 32 名に対して試験を実施した。

被験者に適合したサイズの手袋を装着した状態で試験を実施するために、ISO 21420 :2020[3]に記載されている「手の大きさと測定方法」や日本手袋工業組合の手袋製品品質表示基準書[4]を参考にして被験者の手指等の大きさを測定した。

測定にはメジャーを用いた。測定箇所は

5 カ所であり、手指長（手首の掌側の皺の midpoint から指先点までの直線距離）、第二指長（人差し指の掌側の皺の midpoint から指先点までの直線距離）、第一指長（親指の掌側の皺の midpoint から指先点までの直線距離）、手の周囲は ISO 21420:2020[3]による親指と人差し指の付け根の間から 20mm の地点における親指を除いた掌の周囲、および手首周囲とした（図 1）。試験は左右手について行った。

2.2 試験対象手袋

手袋 A から手袋 K の計 11 種類の手袋を対象とし、それらの素材、厚み、形状タイプ、製造元を表 2 にまとめた。これら 11 種類の手袋を試験対象とした理由は、特定の製品特性に依存しない客観的なデータを得るためであり、特性の異なる 11 種類を網羅的に選択した。具体的には、汎用的なニトリルやネオプレンから、高度なバリア性を有するエチレン・ビニルアルコール共重合樹脂 Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer (EVOH)、柔軟性に優れたポリウレタンやシリコンに至るまで、化学的性質の異なる材料を幅広く抽出した。これに加えて、手袋の厚さや形状による操作性への影響についても検証するため、極薄タイプから極厚タイプの手袋を選択した。製造元は、国内外製品を比較するために汎用として流通している手袋製品のメーカーである A 社(米国)および B 社(日本)等を主とした。

このように、化学防護手袋における性能の全体像を網羅的に検証するために、試験対象手袋を抽出した。

2.3 試験方法

2.3.1 摘まみ試験対象物

摘まむ対象物は、ステンレス製の試験用ピンとした。ピンは 4 種類あり、直径が 0.50 mm、1.0 mm、2.0 mm、3.0 mm、長さは全て 40 mm $\pm$ 1 mm とした。

2.3.2 試験実施場所

巧緻性試験は産業医科大学の実験室にて実施した。実験室の室温は約 26 °C、相対湿度約 50%に保った。

2.3.3 試験場所

試験の手順は下記にしたがった。

- 1) 長さ 40 mm $\pm$ 1 mm、直径 0.5 mm、1.0 mm、2.0 mm、3.0 mm のステンレス製試験ピンを平らな机上に用意した。
- 2) 手袋を左右に装着後、右手の次に左手にて試験した。人差し指と親指の間でピンの外周を 0.50 mm から太いピンに向けて順番につまみ上げる。
- 3) ピンは、机の表面に触れない程度まで持ち上げ、5 秒後に戻す。30 秒以内にこの机の表面から拾い上げる動作を連続して 3 回を行う。
- 4) 1)から 3)を行い、各々の最低直径を記録した。試験時に摘まみ上げている状況を図 2 に示した。

(倫理面への配慮)

本研究の実施にあたっては、産業医科大学倫理委員会に申請して許可を得た(審査番号 ER25-042)。

C. 試験結果

1. 手指測定結果

32 名の測定結果のまとめを表 3 に示した。測定結果を参考に適合する手袋のサイズを選定した。

2. 巧緻性の試験結果

各試験対象手袋に対する 32 名の被験者が摘まむことのできた最低直径値を巧緻性の評価と考え、その結果を表 4 および図 3 に示した。これらの結果から、32 名の算術平均値として手袋 K が最も高く、手袋 F が最も低かった。

3. 手袋の厚さと摘まめる太さの関係

手袋の厚さと摘まめる太さの関係について図 4 に示した。これより、弱い正の相関 ($r = 0.527$) が見られた。

4. 材料の厚み違いによる巧緻性の関係

厚みの近似した材料について、材料の種類別の巧緻性を表 5 に示した。

5. 化学防護手袋の全体形状タイプと巧緻性の関係

化学防護手袋の全体形状タイプと巧緻性試験結果の関係について表 6、及び図 5 に示した。

D. 考察

日本手袋工業組合の製品品質表示基準書[5]により、手の寸法や手袋寸法の計測方法について提案された方法が示されているものの、寸法と作業性についての評価方法は定められていない。本研究では、作業性の一つの指標である指先操作の巧緻性について研究した。その結果、32 名の被験者が摘まめる最低直径値より、手袋 K (ポリウレタン) が最も平均値が高く、手袋 F (シリコン) の平均値が最も低かった(表 4、図 3)。平均値に差が生じた要因として、手袋の厚み、素材、形状等が考えら

れたため、これら 3 つの要因について解析した。

手袋の厚さとおさむことのできた最低直径値の平均値の相関関係（図 4）より、弱い正の相関（ $r = 0.527$ ）が見られた。これは、手袋の厚みが増すことで、指先の触覚の感度が低下し、さらに柔軟性も低下したことで最低直径値が大きくなったと推定された。一方、図 4 の外れ値である手袋 F の厚みは 0.75 mm と比較的厚みが大きいシリコン材料であるものの、全体形状はウレタン発泡型であるため、巧緻性は低い傾向と考えられたが、おさめる最低直径の平均値は最小値の手袋であった。そのため、厚みのみではなく材料による因子も影響していると推定された。

厚みが近似した手袋で、材料によるおさみ可能な最低直径の平均値を表 5 に示したが、手袋 F に注目すると、厚みの近い手袋 K よりも平均値が小さかった。手袋 F は厚みが大きいものの柔軟性が高く、摩擦係数が高いというシリコンの特性より、手袋 K よりも平均値が小さく、巧緻性が高くなったと判断された。また、手袋 B（ポリエチレン）と手袋 G（ナイロン/EVOH）の平均値を比較すると、手袋 B の方がわずかに小さかった。この原因として、材料の要因だけではなく、手袋の細かい形状も要因として考えられた。手袋 B と手袋 G はどちらも薄手で、シート型の手袋だった。しかし、手袋 G の指の幅が手袋 B の幅より大きかったため、手指へのフィット感の違いから平均値に差が生じたと推測された。また、手袋 G の表面は比較的平滑であった。手袋 C（ニトリルゴム）と手袋 H（ポリウレタン）、手袋 A（ニトリル/ネ

オプレンゴム）と手袋 E（ネオプレン）を比較して、平均値に大きな差はなかった。

全体形状タイプの違いによる最低直径の平均値を算出し、表 6 及び図 5 に示した。ニトリル薄手タイプの平均値が最も低かった。また、多層フィルムタイプとウレタン発砲タイプは同様な傾向であった。

E. 結論

本研究は、多様な材料や形状の化学防護手袋を対象に、指先の繊細な操作性を評価する巧緻性評価方法について検討することを目的とした。32 名の被験者のみによる計測の結果ではあるが、おさみ可能な最低直径と手袋の厚みには弱い正の相関が認められ、基本的には薄手であるほど巧緻性が高まる傾向が確認された。しかし、シリコン素材のように、厚みが大きくても柔軟性と摩擦係数に優れることで高い巧緻性を発揮する例もあり、厚みのみでなく材料も決定因子であることが示唆された。全体形状においては、統計的な有意差はなかったものの、皮膚への密着性が高い「ニトリル薄型」が最も優れた巧緻性を示す傾向にあり、ゴムであるため伸縮性が可能な形状の有効性が示された。以上のことから、化学防護手袋の巧緻性は厚み・素材・形状等が複合的に作用して決定されると推定された。

本研究で用いた評価方法は、現場における最適な手袋選定の指針となるだけでなく、今後のより高度な巧緻性を持つ手袋開発における評価基準策定の一つとして寄与するものと考えられた。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記載)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

- 1) 長野晴子、川添敏嵩、佐々木涼斗、樋上光雄、竹内大樹、石上温 高橋一誠、宮内博幸. 2025 年 第 43 回産業医科大学学会. 化学防護手袋の操作性の研究.
- 2) 宮内博幸、樋上光雄、竹内大樹、石上温. 2025 年 第 64 回日本労働衛生工学会. 化学防護手袋の操作性の研究.

3. International Organization for Standardization (2020) : Protective gloves – General requirements and test methods, ISO 21420:2020, pp5-8

4. 日本手袋工業組合：手袋製品品質表示基準書. 日本手袋工業組合, 香川 <https://www.tebukurokumiai.jp/quality/> (最終アクセス日 2026/1/17)

5. 杉村桃子, 鋤柄佐千子(2018): 作業用手袋の着用感評価. 新潟大学学術リポジリ.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. 厚生労働省（2025）：皮膚障害等防止用保護具の選定マニュアル. 厚生労働省, 東京. <https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/001443253.pdf> (最終アクセス日 2026/1/17)
2. Japanese Industrial Standards Committee (2015): Protective gloves for use against chemicals, JIS T 8116, Japan Industrial Standards Association, pp.1-9

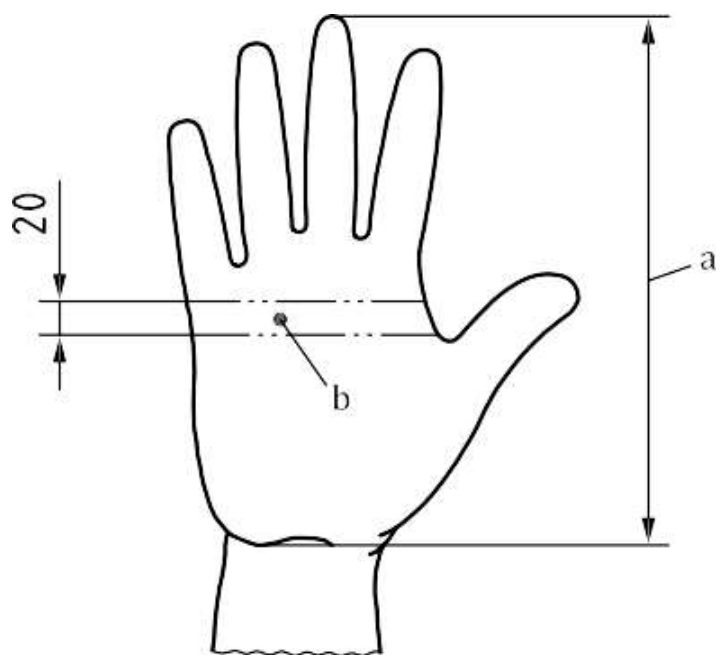


図 1 手指計測の位置 (ISO 21420:2020 より)



図 2 巧緻性試験における摘み動作

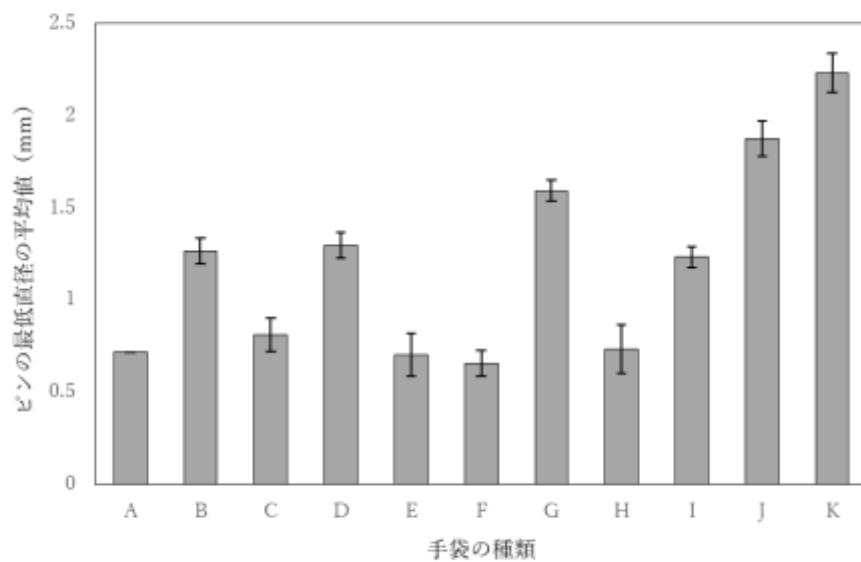


図3 巧緻性試験の結果

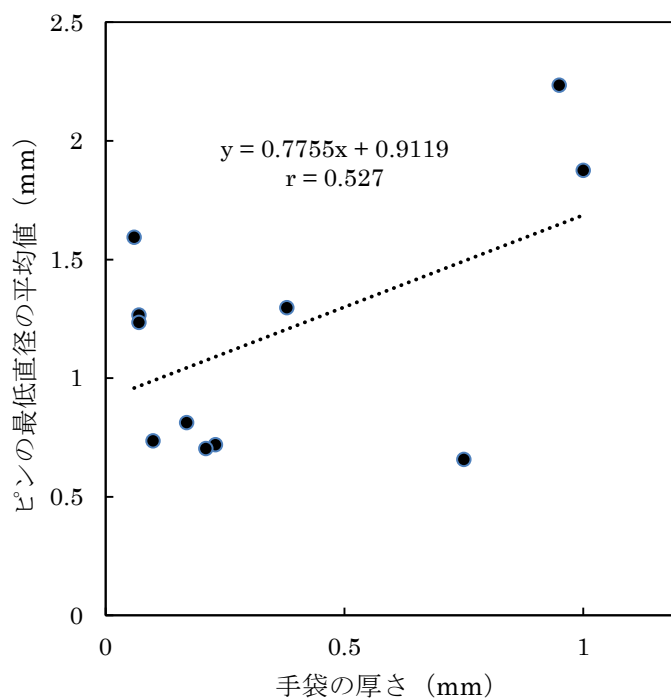


図4 手袋の厚さと平均値の関係

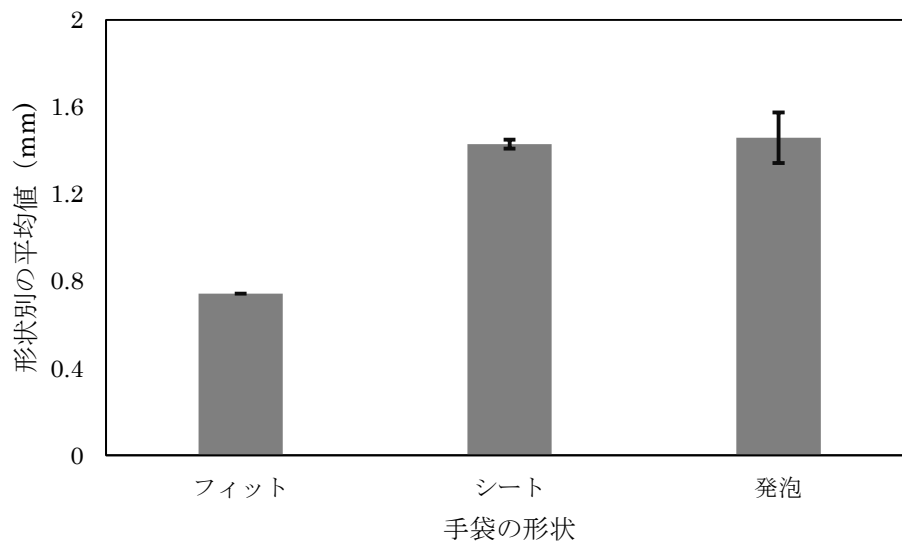


図 5 手袋形状タイプと巧緻性試験の結果

表 1 手指動作の例

1.	摘まむ：指尖つまみ、指腹つまみ、側方つまみ
2.	握る（対象物）：球体、筒状、鍵型等
3.	押す・置く・持つ
4.	指の屈曲・伸展
5.	指の外転・内転
6.	手指のひらのアーチ動作
7.	円運動：手首の「屈曲・伸展・尺屈・撓屈」や母指関節の「屈曲・伸展・外転・内転」の組み合わせ

表 2 試験対象手袋

手袋	素材	厚み(mm)	サイズの種類	形状タイプ
A	ニトリル/ ネオプレンゴム	0.23	XS S M L XL	フィット
B	ポリエチレン	0.07	7 8 9 10	シート
C	ニトリルゴム	0.17	XS S M L XL	フィット
D	ニトリルゴム	0.38	S M L XL	発泡
E	ネオプレン	0.21	SS S M L	フィット
F	シリコン	0.75	S M L LL	発泡
G	ナイロン/EVOH	0.06	M L	シート
H	ポリウレタン	0.10	S M L LL	フィット
I	EVOH	0.07	M	シート
J	ポリウレタン	1.00	M	発泡
K	ポリウレタン	0.95	L	発泡

表 3 手指寸法計測結果のまとめ

	手指長		第二指長		第一指長		手の周囲		手首周囲	
[cm]	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左
平均	17.8	17.8	6.9	6.9	5.9	6.1	18.0	17.8	15.1	15.0
最大	20.8	20.6	8.0	7.7	6.7	7.7	20.9	20.7	17.5	17.3
最小	15.6	15.2	5.8	5.7	4.7	4.9	15.1	14.8	13.4	13.4
標準偏差	1.3	1.5	0.5	0.4	0.5	0.6	1.4	1.4	1.1	1.1

表 4 巧緻性試験結果の概略

手袋	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
平均 [mm]	0.72	1.27	0.81	1.30	0.70	0.66	1.59	0.73	1.23	1.88	2.23
標準誤差 [mm]	0.07	0.09	0.07	0.12	0.07	0.06	0.13	0.06	0.10	0.11	0.15

表 5 厚みが近似した材料の種類と巧緻性試験の結果

手袋	厚み (mm)	材料	平均値 (mm)	標準誤差 (mm)
B	0.07	ポリエチレン	1.27	0.091
G	0.06	ナイロン/EVOH	1.59	0.130
C	0.17	ニトリルゴム	0.81	0.069
H	0.10	ポリウレタン	0.73	0.058
A	0.23	ニトリル/ネオプレンゴム	0.72	0.070
E	0.21	ネオプレン	0.70	0.069
F	0.75	シリコン	0.66	0.056
K	0.95	ポリウレタン	2.23	0.145

表 6 手袋形状タイプと巧緻性試験結果のまとめ

形状タイプ	手袋	平均値 (mm)	形状タイプの平均値 (mm)	形状タイプの 標準 誤差 (mm)
ニトリル薄手	A	0.72	0.74	0.02
	C	0.81		
	E	0.70		
	H	0.73		
多層フィルム	B	1.27	1.43	0.12
	G	1.59		
ウレタン発泡	D	1.30	1.46	0.24
	F	0.66		
	I	1.23		
	J	1.88		
	K	2.23		

Ⅱ 令和7年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

適切な化学防護手袋の選定基準についての検討

研究分担者 高橋 一誠

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学講座 助教

研究要旨

化学防護手袋の選定において、不適切なサイズの手袋の使用は隙間からの化学物質気体の侵入、筋骨格系の負荷による疲労の増加、作業性や巧緻性の低下、怪我や事故の誘発などのリスクが生じるため、使用者の手に合った大きさを選定することは重要である。化学防護手袋には国際規格 ISO21420:2020 が存在するが、サイズ規定は統一されておらず、手袋の寸法の実態は明らかではない。本研究では世界的なサイズの表記である S・M・L 等を中心に手袋の寸法の実計測を行い、適切なサイズ選定基準について解明することを目的とした。化学防護手袋の寸法計測部位は ISO21420:2020 に準拠し、手袋の全長と周囲長とした。研究対象手袋は米国製および日本製を含む合計 35 種類の化学防護手袋とした。さらに、計測した手袋を材料や外観形状に基づき、4 タイプ「多層フィルム型」、「ニトリル等薄手型」、「ポリウレタン（PU）発泡厚手型」、「その他の手袋」に分類し、形状タイプごとに表記サイズの傾向を検討した。各表記サイズ間の手袋周囲長では、表記サイズにより有意な差が認められ ($p < 0.05$)、表記サイズが大きくなると手袋の全長よりも周囲長が大きくなる傾向が認められた。製造国別の比較では、周囲長は日本製が米国製と比較して大きい傾向が認められた ($p < 0.05$)。形状タイプ別では、多層フィルムタイプは他のタイプと比較して、同一表記サイズにおいて手袋全長と周囲長が最も大きかった。適切なサイズの化学防護手袋の選定においては、手の寸法を計測した上で、周囲長を主として考慮することが重要であると言えるが、手や腕を防護する範囲の状況を考慮し、さらに多くの形状等の製品を含めて検討を行う必要があると考えられた。

A. 研究目的

化学防護手袋を選定する際に、使用化学物質に対して十分な防護性能を有する材料の手袋を選定することは、労働災害防止の観点から非常に重要である。さらに、不適切な大きさの手袋の使用は、隙間からの化学物質気体の侵入[1]、筋骨格系の負荷によ

る疲労の増加[2]、作業性や巧緻性の低下[3]、怪我や事故の誘発[4]などを生じるリスクがあり、使用者の手の大きさに合った手袋を選定することも非常に重要である。

Kwon ら（2009）[5]は、手袋のサイズ決定には使用者の手の長さや手の周囲の寸法から決定することが合理的であると報告し

ている。また、Vergara ら (2019) [6]は、使用者の掌と指の形状も手袋のフィット感に影響を及ぼすことを指摘している。日本の一般的な手袋選定方法として JISS4051: 2009[7]がある。使用者の手囲いの寸法を計測し、サイズ (cm) の区分から手袋のサイズ表示 (cm) を選択し、サイズ表示に該当するサイズ表記 S・M・L 等により選定する方法である。ただし、化学防護手袋はその特殊性から当該選定方法の適用外とされている。一方、国際的な化学防護手袋の設計と構造基準規格として ISO 21420: 2020[8]があり、手袋の設計と構造、無害性、快適性、効率性に関する一般的な要件を示している。しかし、手袋のサイズ表示は 4 から 13 という数字を基本として定義されているものの、製造元独自のサイズも認められ、統一はされていない。欧州規格である EN ISO 21420: 2020[9]においては、旧 EN420: 2003 規格で規定されていた手袋の最小長さに関する要求事項が削除されている。

化学防護手袋について、日本においては JIST8116: 2005[10]による手袋自体の寸法の計測方法がある。その他、一般的な手袋の寸法について日本手袋工業組合では手袋製品品質表示基準書[11]を作成している。しかし、一般的なユーザーが手の周囲を計測し、手袋の大きさの計測結果と照らし合わせて選択する必要性について十分に理解されておらず、普及しているとは言い難い。このため、現状ではユーザーが適切な大きさの化学防護手袋を選定することは容易ではないという問題がある。

本研究では、米国製品や国産製品について世界的なサイズの表記である S・M・L 等を中心に、実計測結果を踏まえて化学防

護手袋の適切な大きさの選定基準について考察することを目的とした。

B. 研究方法

検討対象とした化学防護手袋は、サイズ表記がされている日本製と米国製の合計 35 製品とし、サイズ表記は X S・S・M・L・XL 等とした(表 1)。計測部位は手袋の中指の先端から手袋の下端までの寸法である手袋全長と、手の甲側から親指と人差し指の間の付け根を通し、計測開始位置から 20 mm 下げた位置で一周した長さを手袋の周囲長とした (図 1)。計測にはノギスや定規を検討したが、厚みや弾力性のある手袋の誤差をなくすため、巻き尺を使用した。試験場所は試験室内であり、室温は約 23℃、相対湿度は約 50%であった。試験対象手袋は試験室内に保管され、常時、室内空気にコンディショニングされた。化学防護手袋は多種の材料と形状があるため、比較検討する際の参考として①多層フィルム型、②ニトリル等薄手型、③ポリウレタン (PU) 発泡厚手型、④その他の手袋の四種類に分類した (図 2)。

サンプル数が少数であった X S サイズ (n=6) を除外し、残り 4 サイズの手袋全長または周囲長の計測値を用いて、サイズ間差の検討を行なった (表 2)。正規性をカイ二乗適合度検定により確認した後、サイズ間の多重比較には Steel-Dwass test を用いた。また、日本製と米国製の差の比較には Mann Whitney の U 検定を用いた。有意水準はいずれも両側 5%とした。統計解析には SPSS 27 (IBM) を用いた。

(倫理面への配慮)

本研究の対象は手袋製品であり、人を対象としていないため倫理面の問題は無い。

C. 研究結果

サイズ表記の違いによる手袋全長は、全タイプとも、サイズが大きくなるにつれて、最大値は増加傾向であったが、平均値および最小値には増加傾向は認められなかった（図 3）。一方、周囲長はサイズ表記が大きくなるにつれて平均値、最大値および最小値の全てにおいて増加傾向であった（全ての比較において $p \geq 0.05$ ）（図 4）。さらに、タイプ別のサイズ表記における手袋全長の差を比較したところ、明確な傾向は認められなかった（図 5）。一方、手袋の周囲長の差は、各サイズ表記間にて差がある傾向であった（図 6）。

全手袋を対象にしたサイズ表記ごとの製造国別の比較では、手袋の全長と周囲長は、同じサイズ表記でも日本製が米国製より大きく傾向であった（表 3）。さらに、日本製と米国製の計測値の差を比較した結果、手袋全長には有意差は認められなかった（すべての比較において $p \geq 0.05$ ）（表 4）。一方、手袋の周囲長には有意差が認められた（すべての比較において $p < 0.05$ ）。また、全長の最小値は米国製ではすべてのサイズで約 24 cm であったのに対し、日本製では約 30 cm で大きかった（表 5、表 6）。

サイズ表記別にした際の、各タイプの比較では、多層フィルム型は他のタイプと比較して全長および周囲長が大きかった（表 7）。また、ニトリル等の薄手型およびポリウレタン発泡厚手型は、各サイズ表記間の全長において明確な差は認められなかった。

D. 考察

計測結果より、手袋の周囲長は手袋全長よりもサイズ表記変化に伴う変動が大きい傾向を示し、周囲長は手袋の大きさを選定する際の重要な基準になり、着用時のフィット感に与える基準になっていると考えられた。JIST8116: 2005 では手の全長および手首の周囲長を寸法計測部位としているが、手首よりも手の周囲長の方が、一般作業用手袋と同様に化学防護手袋の選定時に重視される必要がある要素になると考えられた。

化学防護手袋のサイズ表記が同一であっても、製造国および形状によって異なる傾向があることが判明した。日本においては、JIST8116: 2005 にて化学防護手袋のサイズ表記は、着用者の手の寸法（手首の周囲長、手の長さ及びその他の手の寸法）範囲から製造業者が指定するとされている。また、このサイズは着用者の目的に応じた作業を妨げるものであってはならないとされている。一方、米国では特に手袋の長さに関しては、通常の使い捨てラテックスまたはニトリル手袋は一般的に長さが 240 mm/(9.4 インチ)であり、手袋の袖口が手首の小さな領域しかカバーしていないことには注意を要する。前腕をより確実に保護するには長さがさらに長い手袋を選択する必要があるとされている。

使用者に合った適切な大きさの化学防護手袋を選定するためには、S・M・L等の表記による選定だけではなく、製造元が表示した寸法や、本測定による形状ごとに分類して求めたサイズ表記を拠り所にし、着用者の手の寸法を基に選定することも一つの方法と言えた。

E. 結論

手袋周囲長は、サイズが大きくなると全長よりも変動が大きい傾向を示し、選定の際に重視される必要があると考えられた。手袋サイズの実測値は、製造元（国）別、製品の形状別に異なる値であった。適切な大きさの製品を選定するためには、製品を形状タイプごとに分類し、さらに実際の手袋全長と周囲長の寸法を得る必要がある。

化学防護手袋は、適切な性能を有するものを選択することが重要だが、大きさの情報を得た上で、適切なサイズ記号を選定し、使用時の作業性も考慮して製品を選定することが必要である。ただし、結論づけるには、サンプル数が限られていたため、今後更に多くの製品について検討していく必要がある。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

- 1) 佐々木涼斗、長野晴子、川添敏嵩、樋上光雄、竹内大樹、石上温、高橋一誠、宮内博幸. 2025 年 第 43 回産業医科大学学会. 適切な化学防護手袋の選定方法の検討.
- 2) 高橋一誠、石上温、樋上光雄、竹内大樹、青木隆昌、宮内博幸. 2026 年 第 99 回日本産業衛生学会. 適切な化学防護手袋の選定基準についての検討.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を

含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. Banaee S, Que Hee SS. Glove permeation of chemicals: The state of the art of current practice, Part 1: Basics and the permeation standards. J Occup Environ Hyg. 2019;16(12):827–839. doi:10.1080/15459624.2019.1678754
2. Chatterjee A, Spratt DL, Enz A, Bah-Rösman J, Brindle CT. Hands deserve better: A systematic review on surgical glove fit and provider performance. J Clin Med. 2025;14(21):7695. doi:10.3390/jcm14217695
3. Drabek T, Boucek CD, Buffington CW. Wearing the wrong size latex surgical gloves impairs manual dexterity. J Occup Environ Hyg. 2010;7(3):152–155. doi:10.1080/15459620903481660
4. 労災事例（2023）日本労働評議会「サイクロンコンベア巻き込まれ事故」
<https://www.rouhyo.org/news/nakasho01>
5. Kwon O, Jung K, You H, Kim HE. Determination of key dimensions for a glove sizing system by analyzing the relationships between hand dimensions. Appl Ergon. 2009;40:762–766.
6. Vergara M, Agost MJ, Bayarri-Porcar V. Anthropometric characterisation of palm

- and finger shapes to complement current glove-sizing systems. *Int J Ind Ergon.* 2019; 79:102836. doi:10.1016/j.ergon.2019.102836
7. 日本工業標準調査会. JISS4051: 2009 成人用手袋のサイズ及びその表示方法. 2009.
 8. International Organization for Standardization (2020) : Protective gloves – General requirements and test methods, ISO 21420:2020, pp5-8.
 9. Ansell Ltd. (2020). Guide to EN ISO 21420:2020.Retrieved.
<https://www.ansell.com/jp/ja/campaigns/enresourcecenter/en-iso-21420-2020-standard>
 10. 日本工業標準調査会. JIST8116: 2005 学防護手袋. 2005.
 11. 日本手袋工業組合 手袋製品品質表示基準書.

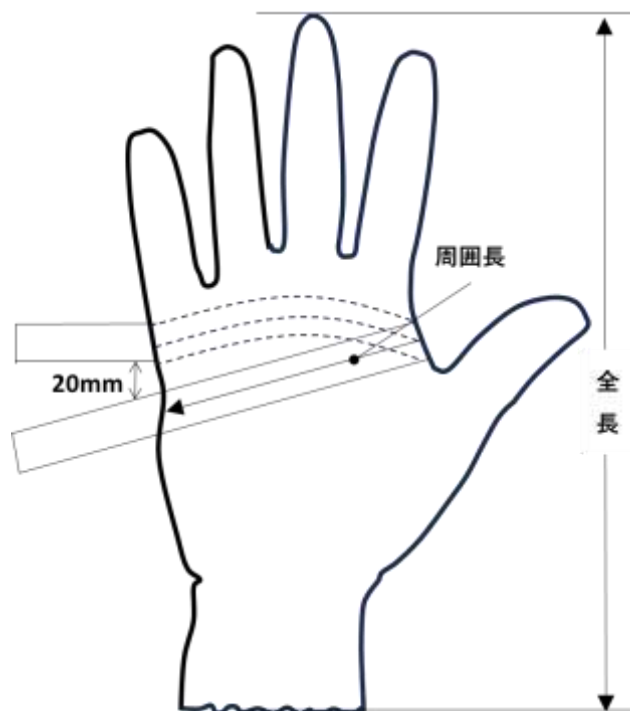


図1 手袋の計測部位



図2 計測した化学防護手袋の形状ごとの分類

MLXL

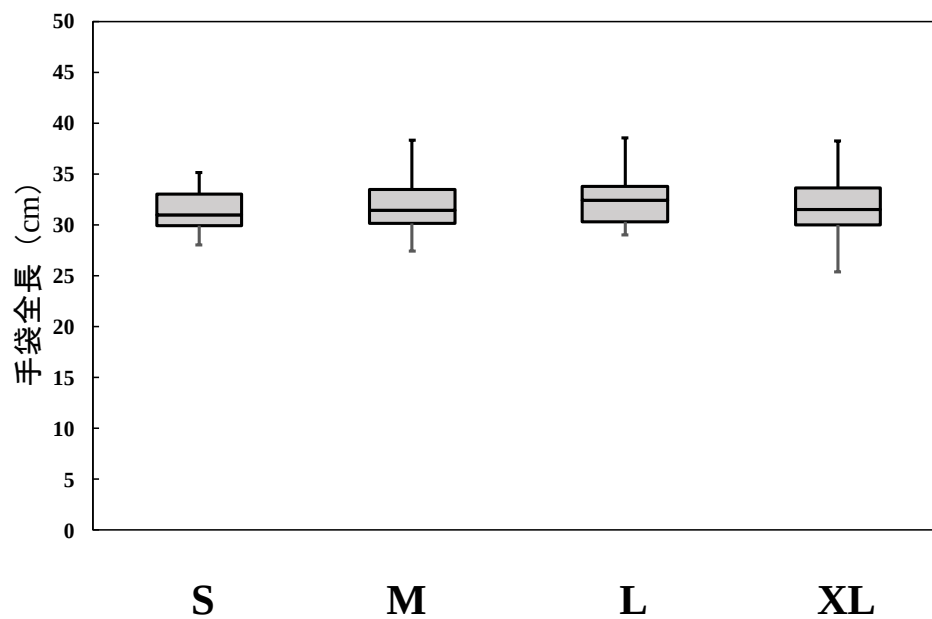


図 3 手袋のサイズ別の全長分布

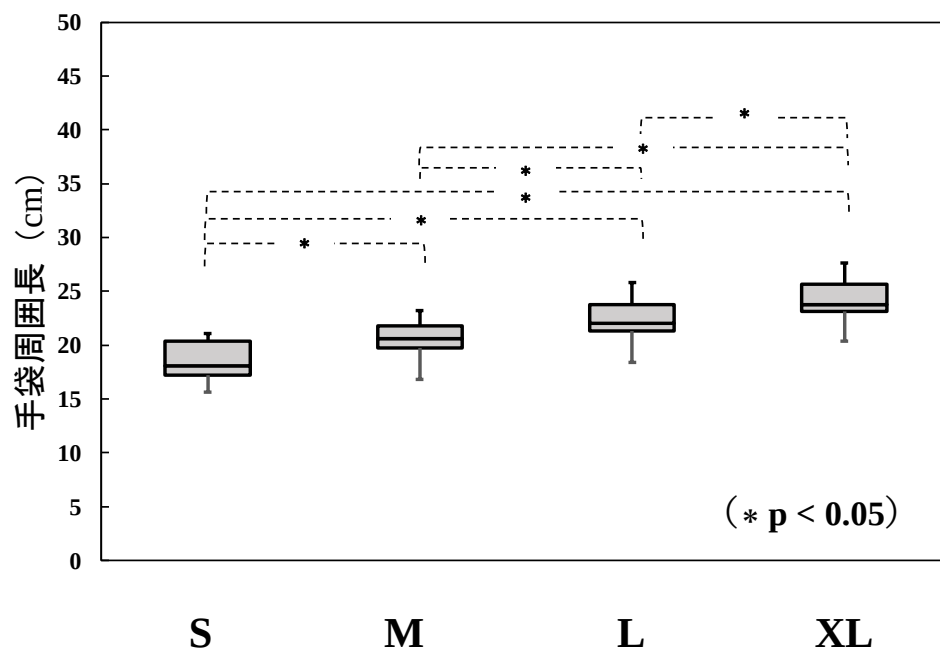


図 4 手袋のサイズ別の周囲長分布

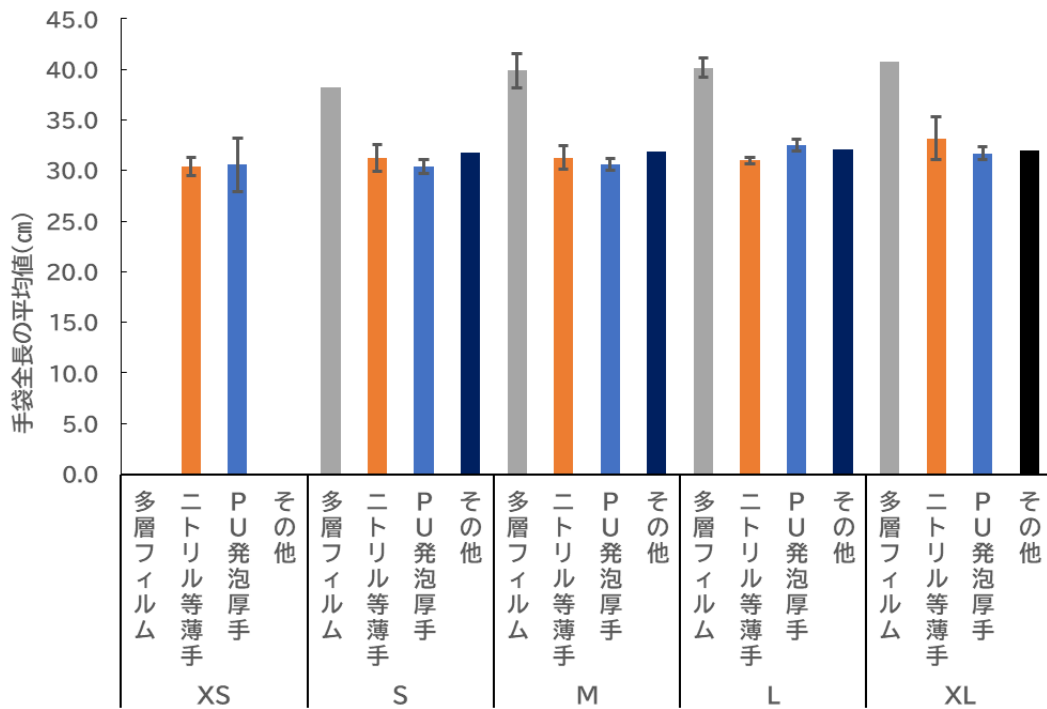


図5 タイプ別各サイズの手袋全長の平均値

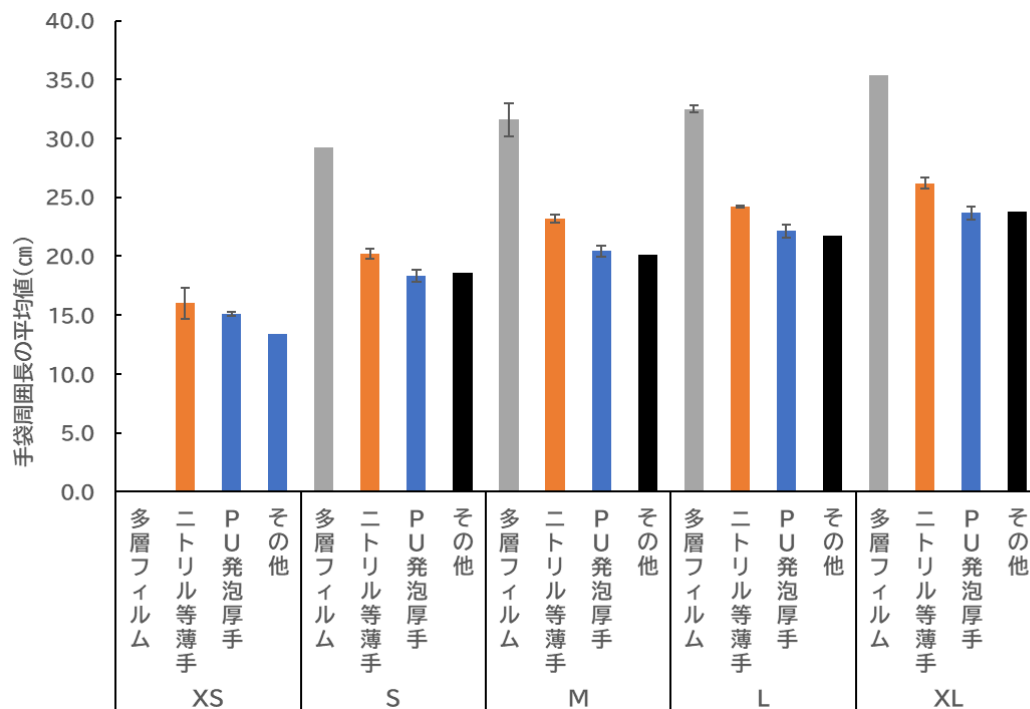


図6 タイプ別各サイズの手袋周囲長の平均値

表 1 試験対象とした化学防護手袋一覧

番号	材料	厚み(mm)	サイズ	番号	材料	厚み(mm)	サイズ
1	バイトンブチル	0.30	M・L・XL	18	ネエブレイン	0.18	XS・S・M・L
2	ネオブレイン/天然ゴム	0.68	S・M・L・XL	19	ネエブレイン	0.18	S・M
3	ニトリル/ネオブレインゴム	0.20	S・M・L・XL	20	ネエブレイン	0.43	L・XL
4	ニトリル/ネオブレインゴム	0.20	XS・S・M・L・XL	21	ネエブレイン	0.68	M・L・XL
5	ニトリル/ネオブレインゴム	0.38	S・M・L・XL	22	CSM	0.90	L・XL
6	LLDPE	0.062	S・M・L・XL	23	天然ゴム	0.23	S・M・L・XL
7	ニトリルゴム	0.10	XS・S・M・L・XL	24	ブチルゴム	0.45	XL
8	ニトリルゴム	0.11	XS・S・M・L・XL	25	シリコン	0.75	S・M・L・XL
9	ニトリルゴム	0.12	XL	26	ブチルポリマー	0.35	S・M・L・XL
10	ニトリルゴム	0.13	XS・S・M・L・XL	27	ロバストニトリル	0.11	S・M・L・XL
11	ニトリルゴム	0.20	S・M・L・XL	28	ロバストニトリル	0.11	S・M・L・XL
12	ニトリルゴム	0.30	M・L・XL	29	多用途ニトリル	0.11	S・M・L・XL
13	ニトリルゴム	0.38	S・M・L・XL	30	ニトリル	0.12	XS・S・M・L・XL
14	ニトリルゴム	0.45	M・L・XL	31	ナイロン/EVOH	0.06	M・L
15	ニトリルゴム	0.46	S・M・L・XL	32	CSM	0.5	S・M・L
16	ニトリルゴム	0.23	S・M・L・XL	33	ポリウレタン	0.2	S・M・L・XL
17	ブチルゴム	0.35	S	34	ポリウレタン	0.1	S・M・L・XL
				35	ポリウレタン	1.0	S・M・L・XL

表 2 表記サイズ別手袋の計測結果

検討手袋		手袋全長(cm)			手袋周囲長(cm)		
サイズ	サンプル数	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
XS	6	30.3	37.8	25.0	15.0	16.0	13.4
S	26	31.3	39.2	24.1	18.9	29.2	15.6
M	30	31.9	41.6	24.2	21.1	33.0	16.8
L	31	32.8	55.1	24.1	22.7	32.8	17.2
XL	30	32.2	55.0	24.0	24.3	35.4	19.2

表 3 表記サイズ別、製造国別の計測結果

検討手袋			手袋全長(cm)			手袋周囲長(cm)		
サイズ	製造国	サンプル数	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
XS	米国	6	30.3	37.8	25.0	15.0	16.0	13.4
	日本	—	—	—	—	—	—	—
S	米国	21	31.2	39.2	24.1	18.6	29.2	15.6
	日本	5	32.0	37.1	30.2	20.2	21.1	19.4
M	米国	24	31.4	38.3	24.2	20.5	33.0	16.8
	日本	6	33.8	41.6	30.1	23.6	30.2	21.5
L	米国	24	31.6	39.2	24.1	22.0	32.2	17.2
	日本	7	36.9	55.1	30.2	25.1	32.8	21.8
XL	米国	24	31.4	40.8	24.0	23.9	35.4	19.2
	日本	6	35.5	55.0	30.3	25.7	27.6	23.2

表 4 日本製と米国製手袋の全長・周囲長の比較 (Mann Whitney のU検定)

計測部位	サイズ	U値	p値	有意差
全長	S	48.5	0.795	—
	M	58.5	0.484	—
	L	56.0	0.186	—
	XL	58.5	0.484	—
周囲長	S	20.0	0.034	*
	M	10.0	0.001	**
	L	24.0	0.005	**
	XL	28.5	0.024	*

* p < 0.05、** p < 0.01

表 5 米国製品における表記サイズ別の計測結果

米国製		手袋全長(cm)			手袋周囲長(cm)		
サイズ	サンプル数	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
XS	6	30.3	37.8	25.0	15.0	16.0	13.4
S	21	31.2	39.2	24.1	18.6	29.2	15.6
M	24	31.4	38.3	24.2	20.5	33.0	16.8
L	24	31.6	39.2	24.1	22.0	32.2	17.2
XL	24	31.4	40.8	24.0	23.9	35.4	19.2

表 6 日本製品における表記サイズ別の計測結果

日本製		手袋全長(cm)			手袋周囲長(cm)		
サイズ	サンプル数	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
XS	—	—	—	—	—	—	—
S	5	32.0	37.1	30.2	20.2	21.1	19.4
M	6	33.8	41.6	30.1	23.6	30.2	21.5
L	7	36.9	55.1	30.2	25.1	32.8	21.8
XL	6	35.5	55.0	30.3	25.7	27.6	23.2

表 7 各標記サイズのタイプ別計測結果

検討手袋			手袋全長(cm)			手袋周囲長(cm)		
サイズ	タイプ	サンプル数	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
XS	多層フィルム	—	—	—	—	—	—	—
	ニトリル等薄手	1	30.4	30.4	30.4	16.0	16.0	16.0
	PU発泡厚手	4	30.6	37.8	25.0	15.1	15.4	14.6
	その他	1	28.7	28.7	28.7	13.4	13.4	13.4
S	多層フィルム	1	38.2	38.2	38.2	29.2	29.2	29.2
	ニトリル等薄手	1	31.2	31.2	31.2	20.2	20.2	20.2
	PU発泡厚手	12	30.4	39.2	24.1	18.3	21.1	16.4
	その他	12	31.7	35.1	28.0	18.6	21.1	15.6
M	多層フィルム	2	39.9	41.6	38.2	31.6	33.0	30.2
	ニトリル等薄手	13	31.3	31.3	31.3	23.2	23.2	23.2
	PU発泡厚手	1	30.6	38.3	24.2	20.4	22.4	18.6
	その他	14	31.9	35.3	27.4	20.1	22.2	16.8
L	多層フィルム	2	40.2	41.1	39.2	32.5	32.8	32.2
	ニトリル等薄手	1	31.0	31.0	31.0	24.2	24.2	24.2
	PU発泡厚手	14	32.5	55.1	24.1	22.2	25.8	20.8
	その他	14	32.1	35.2	29.0	21.7	23.8	17.2
XL	多層フィルム	1	40.8	40.8	40.8	35.4	35.4	35.4
	ニトリル等薄手	2	33.2	33.3	33.1	26.2	26.8	25.6
	PU発泡厚手	14	31.7	55.0	24.0	23.7	27.6	21.6
	その他	13	32.0	36.4	27.9	23.8	26.0	19.2

Ⅱ 令和 7 年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

ハンドロボットを用いた手全体の疲労を含めた作業性を客観的に評価する方法の開発

研究分担者 久池井 茂

北九州工業高等専門学校 生産デザイン工学科 教授

研究要旨

本研究は、化学物質の皮膚吸収による健康障害を防止するための保護具（化学防護手袋）について、防護性能と作業性を両立させた評価指標の確立を最終目標としている。令和 7 年度から 9 年度の 3 ヶ年計画のうち、本年度は「ハンドロボットによる作業性評価」に焦点を当て、デジタル空間上で人間の手の挙動を精密に再現可能なシミュレーション基盤の構築を試みた。具体的には、シュンク社製 5 指ロボットハンド「SVH」の 3 次元 CAD モデルを用い、多自由度指モデルにおける順運動学を用いた座標算出システムの確立、および有限要素法（Finite Element Method : FEM）解析による作業時の接触圧力分布の可視化を検討した。検証の結果、幾何学的な姿勢制御と座標算出の基盤は構築されたが、実機を忠実に再現した詳細モデルを用いた FEM 解析では、複雑な形状に起因するメッシュ生成の技術的課題が浮き彫りとなった。これは次年度以降の試作装置開発に向けた重要な知見であり、モデル簡略化（デフイーチャリング）の必要性が示唆された。

A. 研究目的

産業現場においてジメチルホルムアミド（DMF）等の化学物質を取り扱う際、吸入ばく露だけでなく皮膚吸収による健康障害リスクの低減は極めて重要である。実態調査では、体内に取り込まれた DMF のうち経皮吸収の寄与が 26～62%に達する事例も報告されており、皮膚ばく露対策は喫緊の課題である。これを受け、令和 6 年 4 月施行の安衛則改訂により、皮膚障害等化学物質を扱う際の保護具（化学防護手袋）の使用が義務化・努力義務化された。しかし、高い防護性能（耐透過性）を有す

る手袋ほど素材が厚く硬いため、手指の自由度を制限し、巧緻性の低下や作業効率の悪化、身体的負荷の増大を招く。従来の評価法は材料片の試験や人間による主観的評価が中心であり、個体差を排除した客観的かつ定量的な作業性評価手法は確立されていない。

そこで、本研究の目的は、5 本指構造を有する多指ハンドロボットを用いた数値解析環境を構築し、将来的に手袋装着時の物理的負荷を定量評価する基盤を作ることである。初年度の具体的な目標は以下の通りである。

1. 3D モデルによる指の姿勢制御と、順運動学に基づく指先座標算出プロセスの確立。

2. 有限要素解析による接触状態評価に向けた解析モデル構築手法の体系化と制約条件の明確化。

B. 研究方法

1. 解析対象および環境

解析対象として、図 1 に示す人間手指構造を精密に模したシュンク社製 5 爪サーボ電動グリップハンド「SVH」を採用した。

本モデルは 20 個の関節（9 自由度）を有し、人間と同等の外形寸法と可動域を持つ。人間の手とほぼ同等の外形寸法及び可動域を有しているため、工具の把持といった繊細な作業のシミュレーションにおいて高い親和性を有するという利点がある。本研究では、この複雑な構造を忠実に再現したモデルを用いることで実機では困難な試行回数の学習を計算機上で行うことが可能であると考え、本モデルを採用した。

解析ソフトウェアには、ダッソー・システムズ社の「3DEXPERIENCE」および「CATIA」「SolidWorks」を使用した。図 2 に本研究で開発した 5 指ロボットハンドの CAD モデルを示す。

2. 多自由度指モデルの動作定義と幾何学的算出

指先に着目し、3 つの回転自由度を有するリンク機構としてモデル化した。

・ 関節・可動域の定義

図 3 に示す労災保険等の障害認定で準拠される「主な関節の参考可動域角度」を

指標とし、CATIA の「エンジニアリング・コネクション」を用いて、図 4 の回転ジョイントを設定した。

・ 順運動学の定式化

図 5 に示すよう指先の空間座標 (x, y) を算出するため、以下の数式を「ナレッジ機能」により定義し、パラメータ同期システムを構築した。

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

3. 接触圧カシミュレーションの検討

5 指ハンドロボットを用いた把持動作時の応力分布を可視化するため、有限要素法（FEM）の適用性を検討した。

3DEXPERIENCE における解析モデル構築には、Structural Model Creation を使用した。本アプリケーションは、解析前処理を行うためのツールであり、幾何形状の修正・部品の結合・接触関係の定義などを行うことができる。

本研究では、STP 形式のハンドロボットモデルを Structural Model Creation にインポートし、各部品の形状状態を確認した。5 指ハンドロボットでは、部品間の接触関係が非常に多いため、すべてを接触解析として扱うと解析が不安定になる可能性が高い。そこで、関節部などの可動部を結合条件として簡略化することで、静解析向けのモデル構築を試みた。

解析モデル構築後は、Linear Structural Validation を用いて解析条件の設定した。

本アプリケーションでは、材料物性の設

定(図 6)、荷重条件の設定(図 7)、境界条件(接触条件)の付与(図 8)を行い、線形静解析を実行することが可能となった。

本研究では、把持動作を簡易的に再現するため、掌部または手首部を固定し、指先部に外力を付加する条件を想定した。

・材料物性と境界条件

各部品にアルミニウム合金や樹脂の物性を定義し、手首部を完全固定、指先部に垂直荷重を付加する条件を設定した。

・メッシュ生成の試行

ダッソー・システムズ社の SolidWorks2022 および 3DEXPERIENCE CATIA の両環境において、3次元ソリッド要素によるメッシュ分割を試みた。本研究では、5指ハンドロボットに対する有限要素解析を行うにあたり、3次元ソリッド要素を用いた解析を基本方針とした。将来的に指先部や関節部に生じる接触圧力や内部応力を評価することを想定すると、表面要素のみを用いた解析では十分な情報が得られないと考えたためである。3次元ソリッド要素を用いることで、部材内部の応力状態や変形挙動を含めた力学的評価が可能になると期待される。

一方で、5指ハンドロボットは部品点数が多く、関節構造や曲面形状を多数含む複雑な形状を有している。このようなモデルに対して、全体を一様に細かいメッシュで分割した場合、要素数が膨大となり、計算時間の増大や計算資源の制約により、現実的な解析が困難となる可能性が高い。そこで本研究では、解析精度と計算負荷の両立を図ることを目的として、部位ごとにメッ

シュ密度を調整する方針を採用した(図 9)。

具体的には、外力が直接作用し、応力集中が生じる可能性の高い指先部および関節部に対しては、局所的に細かいメッシュを適用することで、力学的挙動を詳細に表現することを目指した。一方、掌部など全体として剛性が高く、変形量が比較的小さいと考えられる部位については、粗いメッシュを用いることで、要素数の削減を図る方針とした。

さらに、設計モデルに含まれる微小なフィレットや面取り、小径穴などの微小形状が、メッシュ生成および解析安定性に与える影響についても考慮した。これらの形状は設計上重要であるものの、解析においてはメッシュの歪みや極端な細分化を引き起こす要因となる場合がある。このような解析前処理段階におけるメッシュ作成条件の検討は、有限要素解析の精度および安定性を左右する重要な要素であり、数値解析全般においてもその重要性が指摘されている。

(倫理面への配慮)

本研究はハンドロボットを対象としており、人を対象としていないため倫理面の問題は無い。

C. 試験結果

1. 姿勢制御と座標算出の結果

構築した「エンジニアリング・コネクション」に対し、「キネマティクス・プレイヤー」を用いた動作検証を行った。各関節のコマンドスライダを操作することで 3D モデルが定義した可動域内で円滑に動作することを確認した。

本研究では、「キネマティクス・プレイヤー」による機構動作と、作成したパラメータによる座標算出を段階的に実行するシミュレーションフローを構築した。

「キネマティクス・プレイヤー」上のスライダーを用いて各関節の回転角を決定し、指の任意の姿勢をシミュレーション空間上に再現した。

プレイヤーによって決定された関節角度の値をユーザーパラメータの入力値として転記した。入力された角度に基づき、ナレッジ機能に定義した順運動学の計算式が実行され、構築したシステムにより数値入力による指の姿勢制御と指先座標(x,y)の自動算出が可能となった。

・操作フロー

本研究で構築したシミュレーション実行画面の構成を図 10 に示す。本環境は、視覚的な動作確認を行う「3D ビューア」、機構を制御する「操作パネル」、および算出された数値を表示する「データ出力部」の3つの領域で構成される。

操作者は、まず「操作パネル」で指の姿勢を決定しその角度数値を「データ出力部」の対応するパラメータに入力する。これにより、3D モデルの視覚的情報と指先座標という定量的情報を同時に取得することが可能な評価フローを確立した。

以上より、構築した順運動学モデルの精度を検証することができるようになり、パラメータによる算出値である理論値と CATIA 上の測定機能による実測値の比較を行った（図 11・12、表 1）。

D. 考察

1. 幾何学的モデルの誤差要因

座標算出における乖離の主因は、CATIA のグローバル座標系と数理モデルの定義の不一致、および3次元実体の「ねじれ」や「傾き」による非平面成分の影響である。今後は座標変換行列を導入し、モデル配置を正規化することで、符号と数値の完全同期が可能になると考えられる。

・2次元モデルと3次元実体の幾何学的差異

実測値にはオフセット成分が含まれていた。構築した数式では平面運動を前提としているが、実際の3Dモデルは厚みがあり、関節回転軸が厳密には垂直ではない。そのため3次元空間における「ねじれ」や「傾き」による非平面成分が誤差となり、測定値の乖離が出たと考える。

・関節回転中心の特定

数理モデルでは、パーツ単体の設計値を用いたが、CATIA の「エンジニアリング・コネクション」で設定した「回転ジョイント」の中心点は、パーツの端点ではなく機構学的な回転中心に配置されている。この配置の差が、累積的な誤差として現れたと推測される。

・妥当性の評価

上記の分析により、幾何学的な乖離は認められるものの、関節角度の変化に応じて動的に座標が算出されるシステムの基盤は確立された。

2. FEM 解析における技術的制約

本研究で実機構造を忠実に再現した詳細モデルをそのまま用いる方針を重視し

たが、これがメッシュ生成を極めて困難にする要因となった。

- ・微小形状の影響

設計モデルに含まれる微小なフィレットや面取り、小径穴がメッシュの極端な細分化と歪みを招き、解析の不安定化を引き起こした。

- ・関節構造の複雑性

回転運動を前提とした近接部品間の隙間が、メッシュ生成アルゴリズムの限界を超えたと推測される。

3. 次年度（令和 8 年度）への展望

令和 8 年度の目標「評価装置の試作と作業性解析」に向けては、次の改善が不可欠である。

- ・形状簡略化（デフィーチャリング）

解析結果に影響を与えない範囲で微小形状を削除し、モデルを単純化する手法の確立。

- ・部分モデル解析の導入

ハンド全体ではなく、評価に重要な指先部等に限定した部分解析による実現可能性の向上。

- ・圧力センサーの統合

シミュレーション知見を基に、高精度センサーを組み込んだ物理的ハンドロボットの設計・試作への展開。

E. 結論

令和 7 年度の研究により、5 指ハンドロ

ボットを用いた作業性評価のための幾何学的な動作シミュレーション基盤が構築された。本研究では、3DEXPERIENCE CATIA のナレッジ機能を用いたパラメータ同期による、多自由度指モデルの動作シミュレーションの環境構築を行った。

本研究の成果として、指の各関節における順運動学モデルを定義し、数値入力による姿勢制御及び指先座標の算出システムを確立した。

一方で、定義した連動式パラメータを機構上の「ドライビングコマンド」に直接リンクさせ、動的な姿勢変化と座標算出を完全同期させる必要がある。現状ではプレイヤーの角度値をパラメータへ転記するプロセスが必要であるが、これをリアルタイム化し、双方向のデータ連携を実現させることが今後の課題である。

本シミュレーション基盤をさらに発展させ、人間の手の複雑な挙動を精密に再現することで、化学防護手袋の製品評価においてより高度な支援が可能になると考えている。

上記の指先のモデルの順運動学による姿勢制御システムを確立した一方で、詳細な 3D モデルを用いた力学的解析には、メッシュ生成における技術的な壁が存在することが明確となった。本年度で得られた「詳細モデルをそのまま用いることの限界」という知見は、次年度以降の計算負荷軽減と解析精度向上のための重要な指針となる。本年度は線形静解析を前提とした検討にとどまったが、実際の作業動作を評価するためには、非線形接触解析や動的解析の導入が不可欠である。これらの解析を行うためには、より安定したメッシュ作成

手法の確立が求められると考えている。
今後は、本シミュレーション環境と他の研究(画像解析、新材料開発、透過試験など)の成果を統合し、化学防護手袋の選定指針策定に寄与する高度な評価システムを確立していく。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記載)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

無し

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

無し



図1 5爪サーボ電動グリップハンド (SCHUNK : <https://schunkjapan.jp/>)

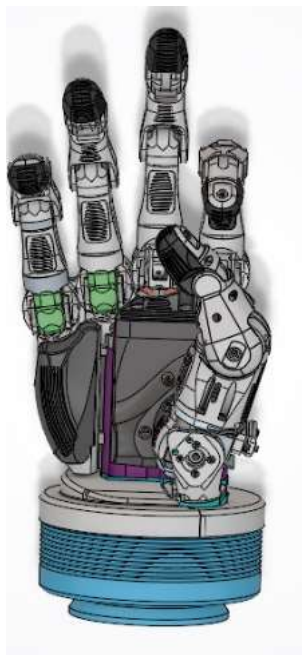
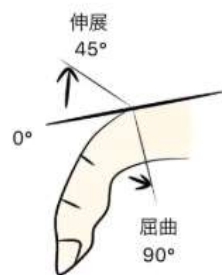
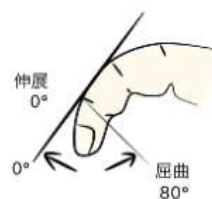


図2 5指ロボットハンドの CAD モデル

屈曲・伸展（MCP関節）



屈曲・伸展（DIP関節）



屈曲・伸展（PIP関節）

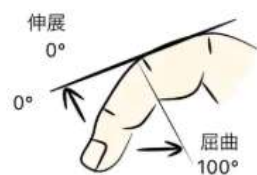


図 3 主な関節の参考可動域角度

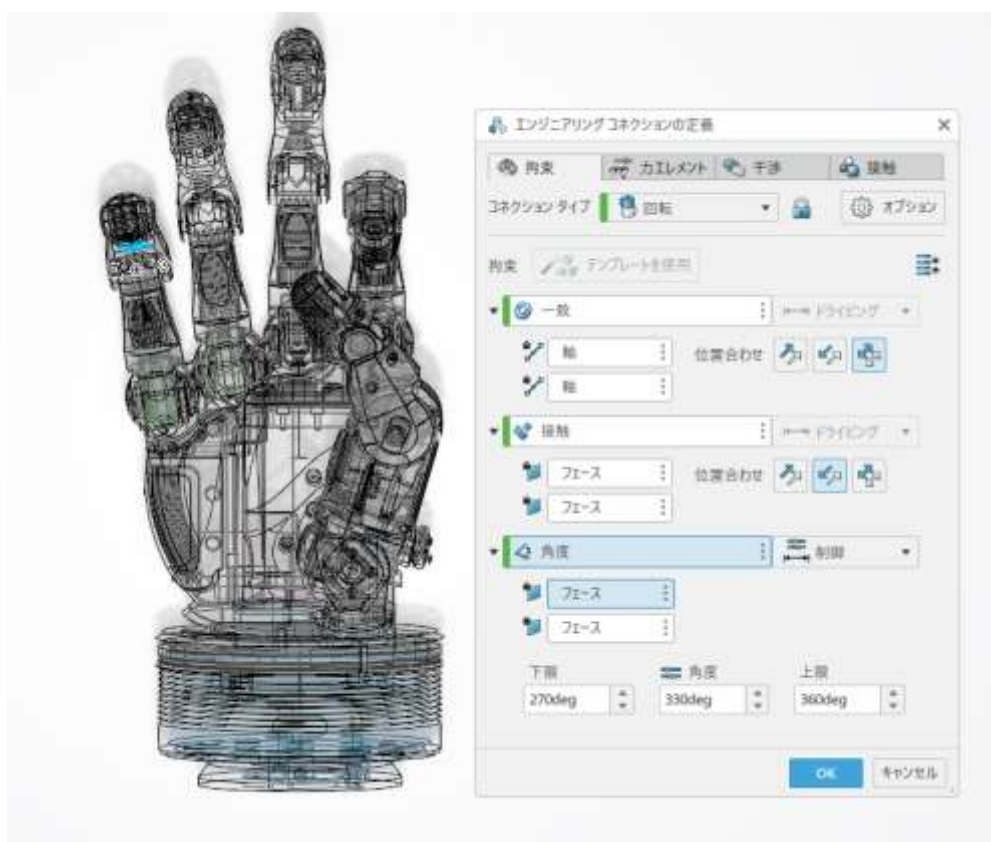


図 4 回転ジョイントの設定



図 7 荷重条件の設定



図 8 境界条件（接触条件）の設定

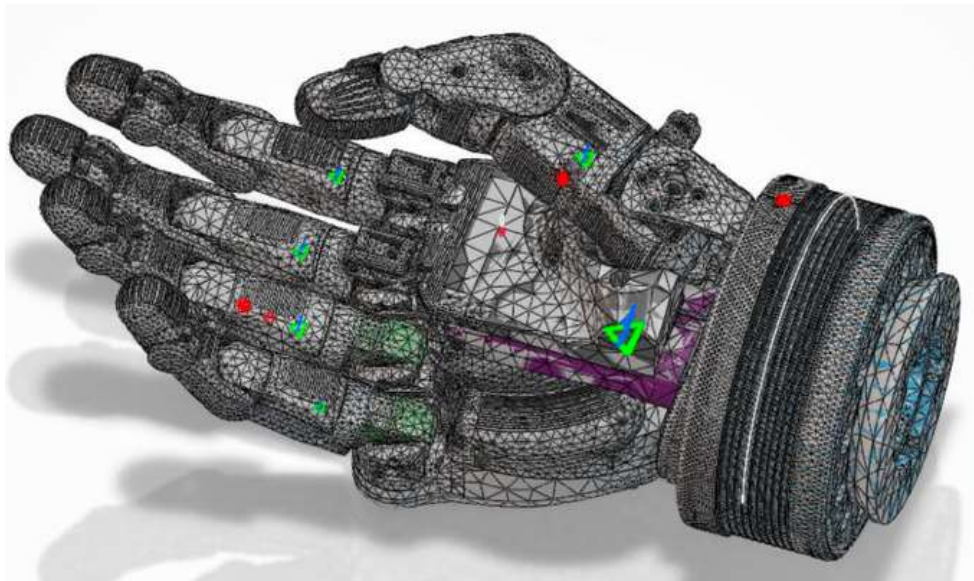


図9 メッシュの設定

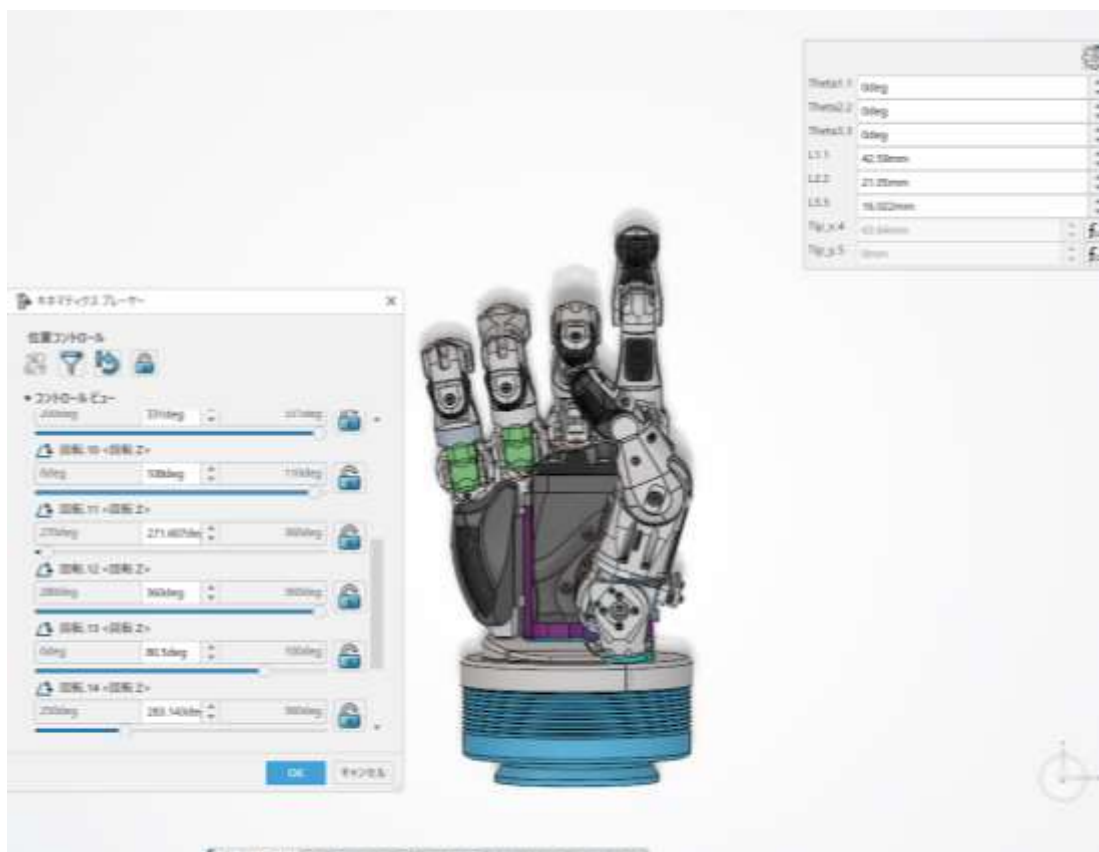


図10 シミュレーション実行画面

表 1 パラメータ

パラメータ名	役割
θ_1 (Theta1.1)	第 1 関節角度
θ_2 (Theta2.2)	第 2 関節角度
θ_3 (Theta3.3)	第 3 関節角度
L_1 (L1.1)	第 1 関節長さ
L_2 (L2.2)	第 2 関節長さ
L_3 (L3.3)	第 3 関節長さ
x (Tip_x.4)	指先の現在位置 x 座標
y (Tip_y.5)	指先の現在位置 y 座標

Ⅱ 令和 7 年度 労災疾病臨床研究事業費補助金研究 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

化学防護手袋の新材料の開発

研究分担者 青木 隆昌
九州工業大学 管理本部 安全衛生課 准教授

研究要旨

エチレンビニルアルコール共重合体（Ethylene-vinylalcohol copolymer、EVOH）は、その化学物質に対する高い耐透過性能より、多層フィルム型化学防護手袋の材料として利用されている。一方、EVOH はその「硬さ」が作業性において問題となっている。本研究では、この問題に対して開発された「薄手タイプ」の新規多層フィルム型化学防護手袋材料について、有機溶剤に対する材料の透過試験を行った。試験対象材料は A 社の厚さ 50 μ m の製品 a と 35 μ m の製品 b とし、日本産業規格 Japanese Industrial Standard（JIS）T8116: 2005 に基づき 5 種類の有機溶剤（トルエン、ジクロロメタン、アセトン、エタノール、メタノール）に対して透過試験を実施した。メタノール以外は、両材料とも最も長い耐透時間であるクラス 6 の 480 分を超えとなった。メタノールは 480 分以下であったが、製品 a（35 μ m）が製品 b（50 μ m）より長い透過時間となった。厚みが大きい方が小さい方より長い透過時間となったのは、EVOH フィルム層のエチレン含有量の違いや、フィルム他層の材料の耐透過性能の違いによる可能性が推定された。EVOH を含む多層フィルム型化学防護手袋は、厚みのみでなく、EVOH エチレン含有量やフィルム積層他材料の違いにより、メタノール等のアルコール系溶剤に対する耐透過性能が向上する可能性が示唆された。今後、更に多くの試験を行い、再現性等についての検討を行うことが必要と言えた。

A. 研究目的

化学防護手袋はその材質により、耐透過性能が異なる。例えば、フッ素ゴムは *N,N*-ジメチルホルムアミドに対して 5 分後から破過が始まるが、ブチルゴムでは 480 分を超える耐透過性能がある[1]。しかし、実際の産業現場では、多種の化学物質を 1 シフトの中で取り扱うことが多く、それぞれの

化学物質に対応した化学防護手袋に交換することは、作業効率において問題がある。また、式(1)にあるように同一材料において厚みが増せば、厚みに比例して透過量が小さくなり耐透過性能は向上するが、厚い材料の手袋は作業性が悪くなり、作業不可になる可能性もある[2-3]。

$$Q = P \cdot (P_1 - P_2) \cdot A \cdot t / L \quad \cdots \text{式(1)}$$

Q: 透過量 P: 透過係数 P₁: 高圧側のガス圧 P₂: 低圧側のガス圧 A: フィルムの面積 T: 時間 L: フィルムの厚さ

このような課題を解決するため、多くの化学物質に耐透過性能があり薄手の材料を可能としたエチレンビニルアルコール共重合体(Ethylene-vinylalcohol copolymer: EVOH)を用いた多層フィルム材料による化学防護手袋が注目され、流通し始めている。しかし、フィルムという性質上、ゴムのように柔軟性が乏しく硬いため、ごわつきがあり、細かな操作がし難いといった欠点がある。そこで本研究では、作業性を考慮した更に薄手の新規材料（製品 a、b）に対して、多種の有機溶剤についての耐透過性試験を行い、その性能を検証することを目的とした。

B. 研究方法

1. 試験対象手袋材料

市販の EVOH 多層フィルム手袋（60 μm ～100 μm 程度）よりもさらに薄手にした以下の EVOH 多層フィルム新規手袋材料 2 種類を対象とした。

製品 a: 7 層・厚さ 50μm (A 社, 図 1)

製品 b: 7 層・厚さ 35μm (A 社, 図 2)

2. 試験化学物質

試験対象とした化学物質は、化学防護用手袋の耐薬品性試験方法を規定した日本産業規格(JIS) T8030 の付属書 A[4]において、化学防護服・防護衣材料の耐薬品性試験に推奨されている物質を参考にした。この中から、大学で多く使用されている 6 物質(ト

ルエン、ジクロロメタン、アセトン、エタノール、メタノール)を用いて試験した(表 1)。

3. 試験方法

耐透過性試験は、化学防護服—防護服材料の耐透過性試験 JIS T 8116 (2005) に従った[5]。図 3 および図 4 にそれぞれ耐透過性試験装置の概略図および耐透過性試験セルの概略図を示す。

耐透過試験セルは、室温 22.6°C (±1.5°C) に保たれた九州工業大学実験室内の局所排気装置内に設置した。

新規材料のうち、A 社の各手袋の手の甲に相当する部分から 3 枚の試験片を切り出した(試料番号 1～3)。

試験は、耐透過性試験セル内に試験片を入れ、ボルトで固定して仕切り壁として機能させた。次に、耐透過性試験セルの片面に試験化学物質 70 mL を入れ、試験片に接触させた。もう一方のセルには、シリカゲルと活性炭で清浄化した空気を 350 mL/min の流量で連続的に送り込んだ。

化学物質と試験片の接触から 480 分後、試験セルから排出された空気 1 mL を試験用資料とした。アルコール類(エタノール、メタノール)は早期に透過する可能性があるため、接触後 1 分、10 分、20 分、30 分、60 分、240 分、480 分に採取し、分析をした。さらに、透過速度が標準速度 0.1 μg/cm²/min に達した時点で試験を終了した。透過した化学物質の総量を測定するために、採取した空気をガスクロマトグラフネクシィシステム Nexis GC-2030 FID (島津製作所) に導入した。JIS T8116 で規定される標準透過速度 0.1 μg/cm²/min に達するまでの

時間を透過時間とした。透過速度 P は次式で求めた（式2）。

$$P = C \cdot F / A \cdots \cdots \text{式(2)}$$

C: チャンバー中の有機溶剤蒸気濃度 ($\mu\text{g/mL}$) F: 流量 (350 mL/min) A: 試験セルのばく露表面積 (20.42 cm^2)

(倫理面への配慮)

本研究は手袋製品を対象としており、人を対象としていないため倫理面の問題は無い。

C. 試験結果

2 種類の新規手袋材料透過試験結果を表2、表3に示した。製品 a: 厚さ 50 μm 7 層の材料では、メタノール以外は 480 分を超える耐透過性能であった。メタノールは 10 分時点で透過が確認された製品 b: 厚さ 35 μm 7 層の材料でも、メタノール以外は 480 分を超える耐透過性能が確認され、メタノールは 60 分時点で透過が確認された。

D. 考察

今回、試験した 2 種類の手袋材料は何れも EVOH フィルムをメイン材料とした多層フィルム手袋材料である。その特性から多くの化学物質に耐透過性を示した。ここで、透過量を算定する式1に示した透過係数 P をさらに分解すると式3のようになる。

$$Q = P \cdot (P_1 - P_2) \cdot A \cdot t / L \\ = D \cdot S \cdot (P_1 - P_2) \cdot A \cdot t / L \cdots \cdots \text{式(3)}$$

D は拡散係数、 S は溶解度係数である。式3にあるように、溶解度係数が大きくなる

と透過量も大きくなる。EVOH フィルムは、製造の過程においてアルコール溶剤はエチレンビニルエステル共重合体を精製・ケン化するために使用されている。そのため、アルコール溶剤自体が溶解度係数を大きくするため、EVOH フィルムの弱点と言える。

今回の試験結果から、エタノールは 480 分を示しており、同じアルコール類においても耐透過性を示した。さらにメタノールでは、製品 a (50 μm) では 10 分時点で透過が確認されたが、製品 b (35 μm) では 60 分時点で透過が確認されており、アルコール類に対する溶解耐性についても向上が見られた。先述したように、厚みが大きいほど耐透過性能は高くなるが、厚みを小さくしても機能向上を示した。これは、1 つに EVOH フィルムの材質の改良があると思われる。EVOH の製造メーカーが公開しているデータによると、エチレン含有量 (mol%) が 27 から 48 に変化すると透過度 (酸素) が 0.1 から 3.7 と、37 倍変わるとされている[6]。エチレン含有量を調整することでアルコール類に対する透過性を改善した可能性がある。その他に、EVOH フィルム層以外の積層他材料の違いにも推定された。

E. 結論

本研究は、作業性を考慮したさらに薄手の新規材料について耐透過性試験を行い、その性能の検証を行った。A 社により試作された 2 種類の EVOH 多層フィルム手袋材料では、従来のフィルム材料の操作性の悪さを、厚みを小さくすることで改善した設計となっている。厚さを小さくすることによる耐透過性能の低下に対して、EVOH フィルム層の材料特性、または EVOH フィル

ム層以外の積層材料の変更、その両方を行うことで耐透過性能を向上させることの可能性が示唆された。今後、更に多くの試験を行い、再現性を検証する必要がある。

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

第 99 回日本産業衛生学会 (大阪)
(2026 年 5 月)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. Miyauchi H, Tanaka S, Nomiya T, Imamiya S & Seki Y (2004): Comparison of degradation and permeation tests to four organic solvents on commercially available chemical protective gloves in Japan. J Sci Labour 80(3): 118-122.
2. Bensek CK (1993): The effects of various thicknesses of chemical protective gloves on manual dexterity. ERGONOMICS 36 (6): 687-696.
3. Wells R, Hunt S, Hurley K & Rosa P

(2010): Laboratory assessment of the effect of heavy rubber glove thickness and sizing on effort, performance and comfort. International Journal of Industrial Ergonomics 40: 386-391.

4. Japanese Industrial Standards Committee. (2015) Protective clothing-Protection against chemicals-Determination of resistance of protective clothing materials to permeation by liquids and gases JIS T 8030. Tokyo: Japanese Standards Association.
5. Japanese Industrial Standards Committee. (2005): Protective gloves for use against chemicals JIS T 8116, Tokyo: Japanese Standards Association.
6. 株式会社クラレ: 〈エバール®〉の酸素バリア性に影響を与える要因. 株式会社クラレ, 東京.
<https://eval.kuraray.com/ja-as/products-services/about-eval-evoh/properties/barrier-to-oxygen/> (最終アクセス日 2026/4/29)



図1 製品 a: A 社 厚さ 50μm



図2 製品 b: A 社 厚さ 35μm

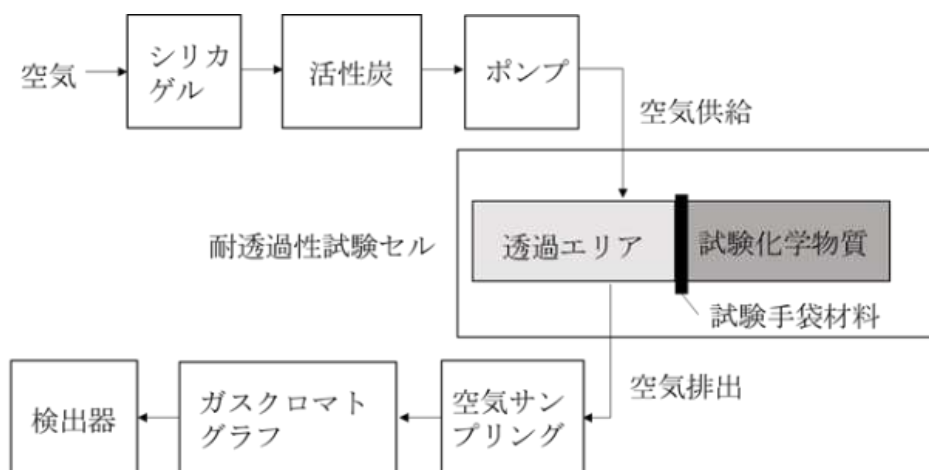


図3 耐透過試験装置全体の概略図

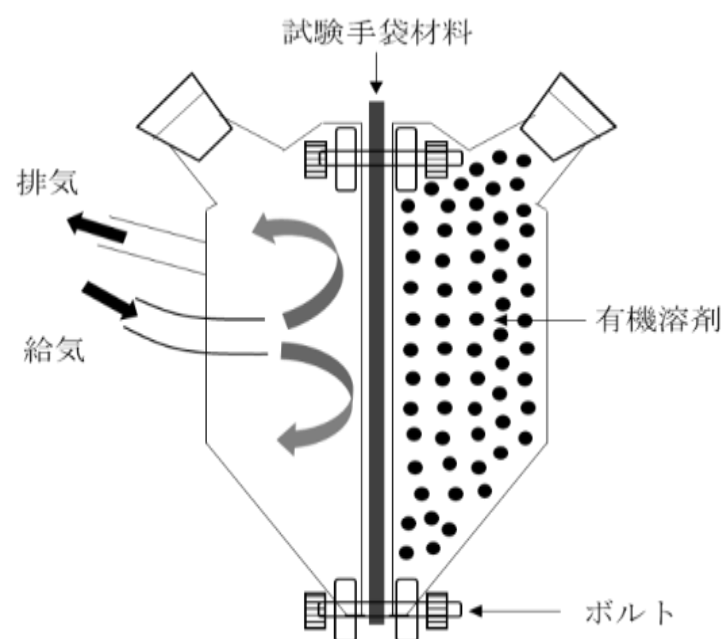


図 4 耐透過試験セルの概略図

表 1 試験化学物質の製造元と純度 (%)

製品名	製造元	純度 (%)
トルエン	関東化学株式会社	99.5
ジクロロメタン	関東化学株式会社	99.5
アセトン	関東化学株式会社	99.5
エタノール	関東化学株式会社	99.5
メタノール	関東化学株式会社	99.8

表 2 製品 a 厚さ 50 μ m 7 層試験材料の透過時間

試験化学物質	トルエン	ジクロロメタン	アセトン	エタノール	メタノール
Sa1	>480	>480	>480	>480	<10
Sa2	>480	>480	>480	>480	<10
Sa3	>480	>480	>480	>480	<10

表 3 製品 b 厚さ 35 μ m 7 層試験材料の透過時間

試験化学物質	トルエン	ジクロロメタン	アセトン	エタノール	メタノール
Sa1	>480	>480	>480	>480	<60
Sa2	>480	>480	>480	>480	<60
Sa3	>480	>480	>480	>480	<60

Ⅱ 令和 7 年度 労災疾病臨床研究事業費補助金 分担 研究報告書

保護具に係る作業性の改善等に係る研究（250602-1）

化学防護手袋の長時間耐透過性能測定方法の検討

研究協力者 石上 温

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学講座 助教

研究要旨

耐透過性試験は JIS T8116: 2005 により化学物質との液体接触により行われる。この試験結果は 6 つのクラスに分類され、クラス 6 は 480 分を超えると分類される。しかし、クラス 6 と分類された場合、具体的な平均標準破過点検出時間は不明である。本研究ではこの問題について、複数の化学防護手袋材料に対して長時間連続して JIS T8116: 2005 耐透過性試験が可能な試験系システムを作製し、一般に使用されている手袋材料の 480 分を超える透過時間について研究した。試験対象化学物質はトルエン、試験対象化学防護手袋はエチレンビニルアルコール共重合体(ethylene-vinylalcohol copolymer: EVOH)含多層フィルム手袋材料について耐透過性試験を行ったところ、2,400 分経過時においても透過速度は $0.1(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min})$ に達せず、破過が確認されなかった。更なる再現性試験の検討が必要だが、作製した試験系システムにより長時間の耐透過性試験を自動測定し、破過時間を評価できることが確認された。

A. 研究目的

化学防護手袋に対する耐透過性能試験は JIS T8116: 2005[1]、ASTM F739-91: 2020 [2]により、平均標準破過点検出時間（破過時間）は 6 クラスに分類されている。この内、クラス 6 は 480 分を超えると分類される。クラス 6 の場合は、480 分を超える具体的な耐透過性能は不明であり、製造元への問い合わせが必要である。現場では、クラス 6 の場合は 480 分までの使用時間としているのが現状である。480 分より高い耐透過性能を有する化学防護手袋であっても、480 分までしか使用していないのが実状と言える。

一方、Aoki ら[3]はガス状のトルエンに対する EVOH 含む多層フィルム手袋の材料の耐透過試験を実施し、1,440 分においても透過速度が $0.1(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min})$ に達しなかったと報告している。

複数の化学防護手袋を長時間連続し、JIS T8116 耐透過性試験が実施できる試験系を作製した。一般的に使用されている手袋材料に対して長時間の透過試験を行い、手袋材料の長時間の耐透過性能評価の可能性について検討することを目的とした。

B. 研究方法

複数の化学防護手袋を長時間連続して、

JIS T8116: 2005 に示されている耐透過性試験を実施可能にするために、図 1 で示す試験系システムを作製した。本試験系の特徴は、

①試験セルを通気する捕集媒体の精密な温湿度制御、②ドラフトチャンバー内における複数の試験セルに対する正確な試験環境温度制御、③複数の試験セルを自動測定する分析システムの整備であり、以下の①から④の方法により重点的に検討した。

①試験セルを通気する捕集媒体の温湿度の制御は、微小流量用温湿度制御装置 KTC-Z02A-S (コトヒラ工業株式会社) を用いて湿度の制御を行い、捕集媒体を温度制御ができるクールインキュベーター CN-25C (三菱電機株式会社) 内へ導入し、温度 25℃、相対湿度 40% に自動制御した。調整後の捕集媒体はエアースAMPLING ポンプ ASP-1200 (光明理化学株式会社) を用いて各試験セルに送気した。捕集媒体の温湿度制御は、クールインキュベーター内部にセンサーを設置することで管理した。

②ドラフト内で複数の試験セルの試験環境温度の制御は、試験セル毎に温度管理を行う方法を検討した。コンパクトクールインキュベーター ICI-1 (アズワン株式会社) に追加工を行うことで、試験セルの試験環境温度の制御が可能となった(図 2,3 参照)。

③複数の試験セルを自動で測定するために、オートガスサンプラー GS5100 (ジーエルサイエンス株式会社) とガスクロマトグラフシステム 8890 (アジレント株式会社) を組み合わせることで、自動でサンプリング・分析できる可能性を確認した

(図 4 参照)。

④本試験系を用いて、一般的な市販されている EVOH 多層フィルム型化学防護手袋の材料において、トルエン (試薬特級富士フィルム製) に対する耐透過性能を調べた。

(倫理面への配慮)

本研究は手袋製品を対象としており、人を対象としていないため倫理面の問題は無い。

C. 研究結果

本試験系により EVOH を含む多層フィルム材料について、トルエンを用いて耐透過試験を行った結果、連続 5 日間の使用を想定して行った 2,400 分経過時において透過速度は $0.1 (\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min})$ を超えなかった。

D. 考察

作製した試験系を用いて、連続 5 日間の使用を想定して行ったトルエンに対する 2,400 分経過時においても透過速度は $0.1 (\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min})$ を超えなかった結果より、本試験系は耐透過性試験を自動でサンプリング、高感度分析できることが示唆された。今後は更に長時間の測定、及び再現性について検討する。また、多くの種類の化学物質を対象として検討する。

E. 結論

複数の化学防護手袋を、長時間連続して JIS T8116: 2005 に示されている耐透過性試験により実施できる試験系システムを作製した。作製した試験系を用いて、EVOH を含む多層型フィルム材料対して

トルエンによる測定を行い、480 分間を超える長時間の耐透過性試験を行い、2,400 分経過時においても透過速度は 0.1 (μ g/cm²/min)を超えない結果を得た。

simple method for determination of gas permeability resistance of whole chemical protective gloves. 2021. Envi and Occup Health 1(3): 1-8.

F. 健康危険情報

無し(総括研究報告書にまとめて記載)

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

石上温、高橋一誠、樋上光雄、宮内博幸
2026 年 第 99 回日本産業衛生学. 化学
防護手袋の繰り返し使用に関する基礎
研究.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

I. 引用文献

1. 日本工業標準調査会. JIST8116(2005)
化学防護手袋.
2. American Society for Testing Materials
materials to penetration by liquid or gases
under conditions of continuous contact
F739-91.1991. (ASTM): Standard test
method for resistance of protective
clothing.
3. Aoki T, Miyauchi H. Development of a

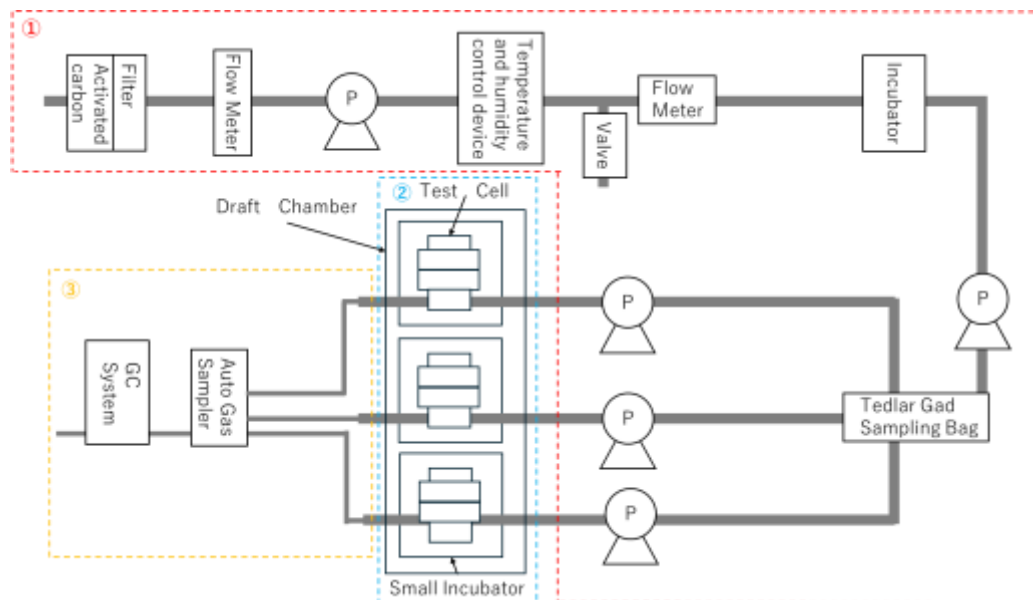


図 1 作製した試験系の概略図

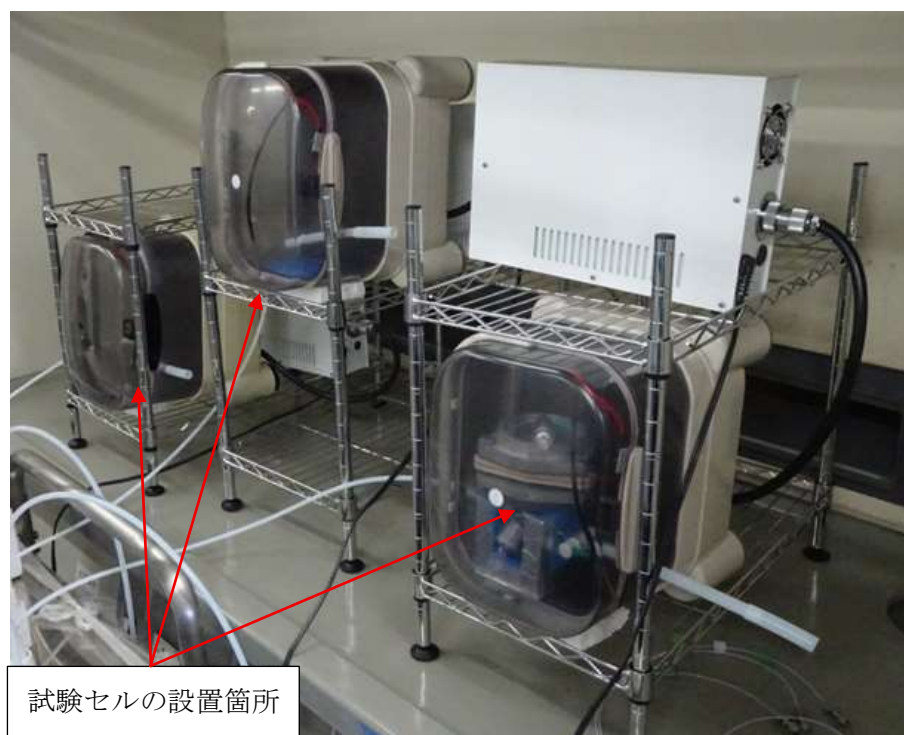


図 2 ドラフトチャンバー内の試験セルのシステム

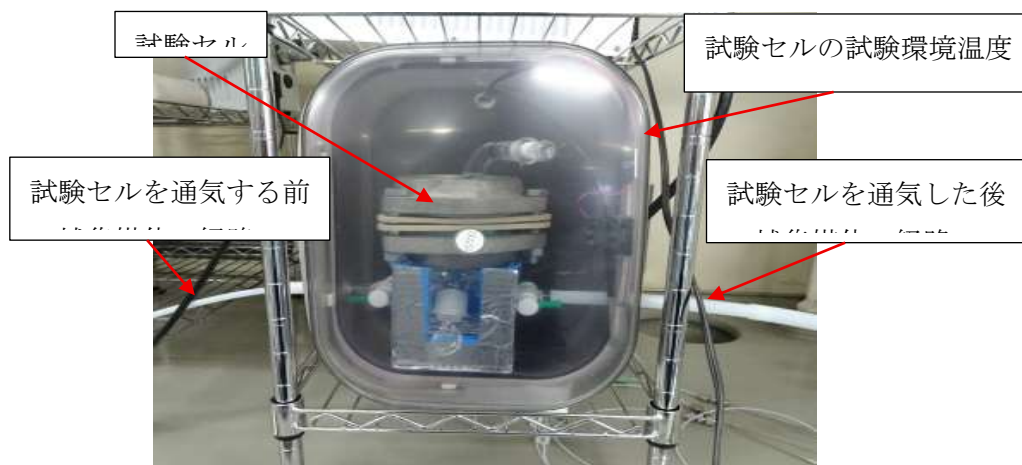


図 3 試験セル温度管理の状況

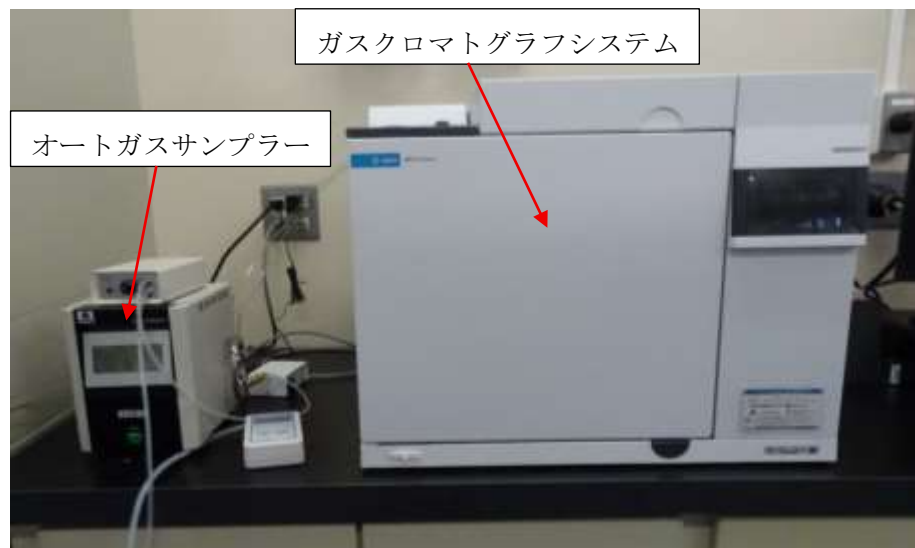


図 4 試験セル自動分析装置の外観

III 研究成果の刊行に関する一覧表

著者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
宮内 博幸	化学物質の皮膚接触による健康障害防止（皮膚吸収促進作用のある化学物質を中心に）	産業医学レビュー	38巻3号	188-200	2026