

〔日本学術振興会 科学研究費助成事業・基盤研究C〕

ウェルビーイング社会のための作業補助具のパーソナライゼーションデザイン

平田一郎

1 目的

少子高齢化の進行に伴い生産年齢人口の減少が加速し、深刻な労働力不足が顕在化している。この人口動態の変化は、我が国の産業構造および労働環境に急速かつ大きな影響を及ぼしており、持続可能な産業発展を実現するためには、「人」を中心に据えた新たな産業モデルの構築が喫緊の課題となっている¹⁾。このような背景の下、従業員の「働きやすさ」や「働きがい」など、労働の質（Quality of Working: QoW）の向上に対する社会的・学術的関心が高まっている。

本研究では、作業個々の特性や作業環境に適合することを目的とした作業補助具のパーソナライゼーションデザイン手法の確立を目的とする。身体的負荷の評価においては、作業中の動作姿勢、重心動揺、ならびに把持動作における圧力分布等の計測を通じて、身体的負荷と作業効率の両面から多角的な解析を行う予定である（図1）。なお、身体的負荷の軽減と作業効率の向上はしばしばトレードオフの関係にあるため、本研究では両者の重要度に応じた重み付けを考慮した設計手法の検討を行う。対象とする作業姿勢は、溶接作業に代表される「工具等を保持しながら操作を行う作業姿勢」とし、その作業特性に適合する補助具設計を進める。最終的には、これまでに開発を進めてきた「デジタルハンドモデルを活用したグリップデザインシステム」²⁾を応用し、製造業における新たな産業モデルの構築を見据えた人間中心設計（Human-Centered Design）に基づく作業支援の方向性を提示することを目指す。

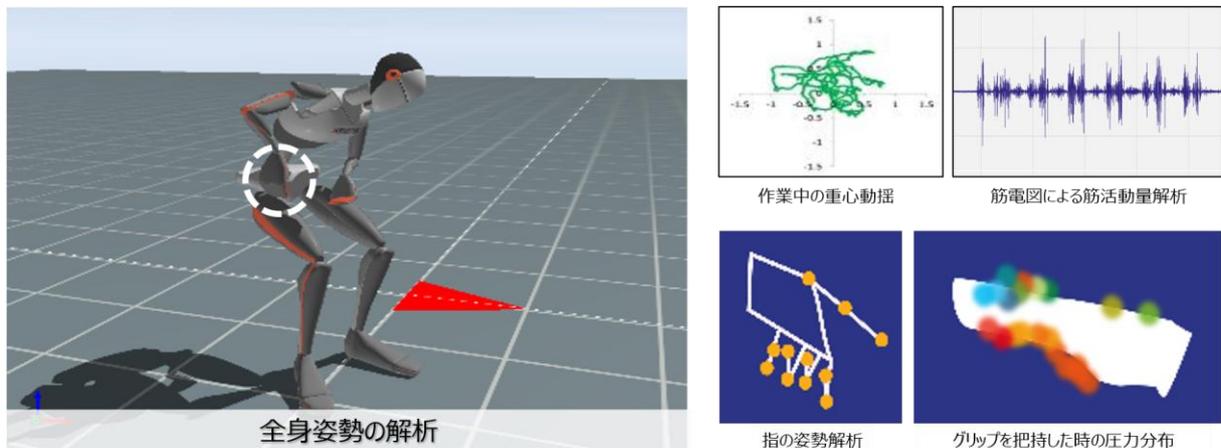


図1 研究概要

2 実験方法

身体的負荷の軽減と作業効率の向上を両立させるための最適パラメータを明らかにし、個々の作業員に対応した作業補助具のパーソナライゼーションデザインシステムの実現可能性を検討するため、下記4項目に基づき研究計画を立案した。

2.1 全身および手指における身体負荷の計測

作業時における全身の姿勢、手指の動作、物体把持時の圧力分布、ならびに重心動揺を同時に計測し、身体負荷の時系列的変化を解析する。これまでの研究において、筋骨格シミュレーションモデル「AnyBody」³⁾を用いることで、下肢の筋活動量の定量的な再現が可能であることが確認されている⁴⁾。

一方、上肢（特に前腕および手指）は筋肉量が比較的少ない。そのため既存シミュレーションモデルと実測の筋活動量との間に乖離が生じる可能性が高い。そこで本研究では、筋電位（EMG）センサを併用し、シミュレーション結果との相関関係を検証する。また、従来は定量評価が困難であった手指の把持姿勢についても計測・分析を行い、将来的には筋電位センサを用いずに負荷推定を可能とする解析手法の構築を目指す。

2.2 作業効率との比較分析および重み付けの設定

身体負荷軽減を目的とした代替姿勢と従来の作業姿勢とを作業効率の観点から比較し、両者のバランスに基づく重み付けを調整することで最適姿勢を探索する。解析には AnyBody を用い、姿勢差に起因する移動量や作業時間をコンピュータ上でシミュレーション・可視化し、定量的に評価する。

2.3 重み付けに基づく作業補助具設計アルゴリズムの検討

身体負荷軽減を目的とした作業補助具について、異なる重み付け条件に応じた設計アルゴリズムの構築を行う。現行の作業環境を簡易に模擬した仮想空間をコンピュータ上に再現し、各重み付け条件に対応した補助具形状の設計パターンを生成・評価可能な手法を検討する。

2.4 作業補助具のパーソナライゼーション設計

個々の作業姿勢や身体特性に適合する作業補助具のパーソナライズ設計手法を構築する。さらに、試作した補助具モデルを用いて、「2.1」と同様の計測方法により有効性を実証的に評価する。試作には 3D プリンタを用い、得られた結果から「身体寸法に基づく重み係数」「動作特性に応じた動的重み係数」「個人の身体的特性による補正係数」などを抽出し、最終的には意匠設計を含めたパーソナライズ設計プロセスの体系化を目指す。

3. 結果と考察

作業時における身体的負荷を高精度に可視化・定量化することを目的として、全身および手指の動作を対象とした計測と筋骨格シミュレーションを組み合わせた解析手法について検討した。

- ・ 全身の姿勢計測方法：

慣性センサベースのモーションキャプチャシステム「Xsens MVN Awinda (Movella 社製)」を採用した。本システムは、光学式と異なり、マーカー設置や視野制限を必要とせず、現場に近い実作業環境下においても高精度かつ非拘束で全身動作の計測が可能である。

- ・ 上肢および手指の動作取得：

全身計測用のモーションキャプチャシステムのオプション機器「Xsens Metagloves by MANUS」を併用した。これにより、指関節の屈曲・伸展や回内・回外など、複雑な手内運動を含むデータ取得が可能であることを確認した。

- ・ 反力の取得方法：

手指筋活動量の推定には、対象物との接触により生じる外力情報が必要であるが、現状の計測手法では指先に作用する外力を直接計測することが困難である。そこで、AnyBody 上に指先接触モデルに仮想筋を定義することで仮想的な外力を導入した。

今後は、表面筋電計測データとの比較検証を通じて、仮想筋による手指部の力推定精度を向上させるとともに、把持対象との相互作用をより現実的に反映したモデル構築に取り組む予定である。

4 結論

本研究は、筋骨格シミュレーションおよび動作解析を用いて、各作業者の身体的特性や動作パターンに適合する補助具の設計と最適化を実施した点に特徴がある。また、本研究で実施している設計手法は、製造業における作業環境の改善に寄与するのみならず、高齢化が進行する農業分野への応用可能性についても検討しており、産業分野を横断した実践的かつ汎用性の高いアプローチとして位置付けられる。

参考文献

- 1) 産業競争力懇談会, 「人」が主役となる新たなものづくり 最終報告書, 2018
- 2) 平田一郎, 宮田なつき, 多田充徳, 後藤泰徳, デジタルヒューマン技術の活用による製品の把持姿勢シミュレーション, 日本人間工学会 関西支部大会 講演論文集, pp.57-58, 2017
- 3) <https://www.anybodytech.com/> (2025年6月23日)
- 4) 平田一郎, 福井航, 福田純, 後藤泰徳, 日常活動における筋活動量の計測と可視化の取り組み 1D-2-05, 第24回感性工学会大会論文集, 2022

(問合せ先 平田一郎)

(校 閲 阿部 剛)