

補助事業番号 2024M-389
補助事業名 2024年度 筋力特性の時間変化を考慮した主観的作業負担の
生体力学的評価 補助事業
補助事業者名 東京科学大学 工学院 システム制御系 助教 倉元 昭季

1 研究の概要

労働安全衛生上、作業負担アセスメントを参考にして身体負担が少なくなるよう作業環境が設計される。しかし長時間作業中に労働者は、主観的負担感を減らし筋肉の不調を予防するためよく姿勢・動作を変える。これは作業環境評価用の作業負担アセスメントがいずれも短時間の実験的手順にのみ基づくからであり、長時間作業の身体負担の考慮は未だ不十分である。そこで本研究は長時間作業における筋疲労など作業者の“内的な”変化に着目し、各時刻における主観的負担感を作業者の姿勢・動作データから客観的に推定する手法を確立する。

2 研究の目的と背景

労働安全衛生の観点から、身体負担が少ない作業環境の設計が求められている。特に長時間繰り返し作業においては、疲労が蓄積し主観的負担感が高まると、作業ミスや筋骨格障害のリスクが高まる。そのため、より良い作業環境の実現には、長時間作業を続けた際の疲労が少なく主観的負担感が低くなるような設計が必要と考えられる。作業動作に係る作業環境の設計において、生産効率が高くなるよう配慮されることは多い。しかし、長時間作業における身体負担の考慮は十分でない。その理由は、作業環境の身体負担評価が短時間の実験的手順のみに基づく点にある。労働安全衛生分野で用いられる反復作業を考慮した作業負担アセスメント（RULA, RSI 等）は短時間の観察法である。生体力学的観点による身体負担指標である椎間板圧縮力や筋活動率も、短時間実験における値の小ささが長時間作業時の負担の少なさも表すとされている。実際、前述の評価法に基づいて設計された作業環境においても、作業者はよく姿勢・動作を変える。この目的は作業中の主観的負担感の低減と、筋肉の不調の予防だという（Luttmann, 2010）。つまり作業者は何らかの機序により負担感が高まると身体を守るため姿勢や動作を変える。ただし、同じ作業において“外的な”力学的負担に大きな変化はない。ゆえに作業動作の変化に影響する負担感の高まりは、筋疲労など作業者の“内的な”変化に起因すると予想される。

したがって、長時間作業における身体負担が少ない作業環境を設計するためには、長時間作業中の筋疲労と主観的負担感の変化を考慮した作業環境の身体負担評価指標の構築が必要と考えられる。その構築に重要な基盤として、本研究は各時刻における主観的負担感を作業者の姿勢・動作データから客観的に推定する手法を確立することを目的とする。

3 研究内容

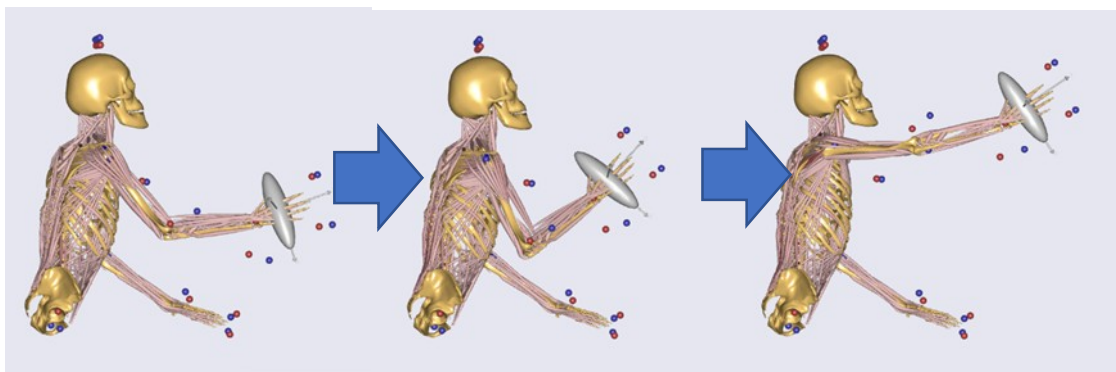
(1) 筋疲労を考慮した身体負担のモデリング手法について、その構成要素である筋骨格シミュレーションモデルと先行研究で提案された筋疲労-回復モデルを改良した筋疲労モデルを構築した。新たな筋疲労モデルは、個人差・個人内変化を考慮した（すなわち疲労の進行によって変化する最大発揮筋力と負担の感じ方の個人差を考慮した）実質的筋活動率を算出するものであり、そのモデルパラメータは主観的負担感との誤差を最小化するように同定された。

(2) モデリング手法の検証のために、繰り返し作業動作の実験を行った。主観的負担感では主に肩や上腕の負担が増加したが、その幅やタイミングは異なり、感じ方には個人差があることが示された。筋活動率では、作業動作に変化や違いを反映した結果が得られたと考えられるが、主観的負担感の増加と比較すると変化が少なく、そのまま身体負担の評価に用いることは難しいことを示した。

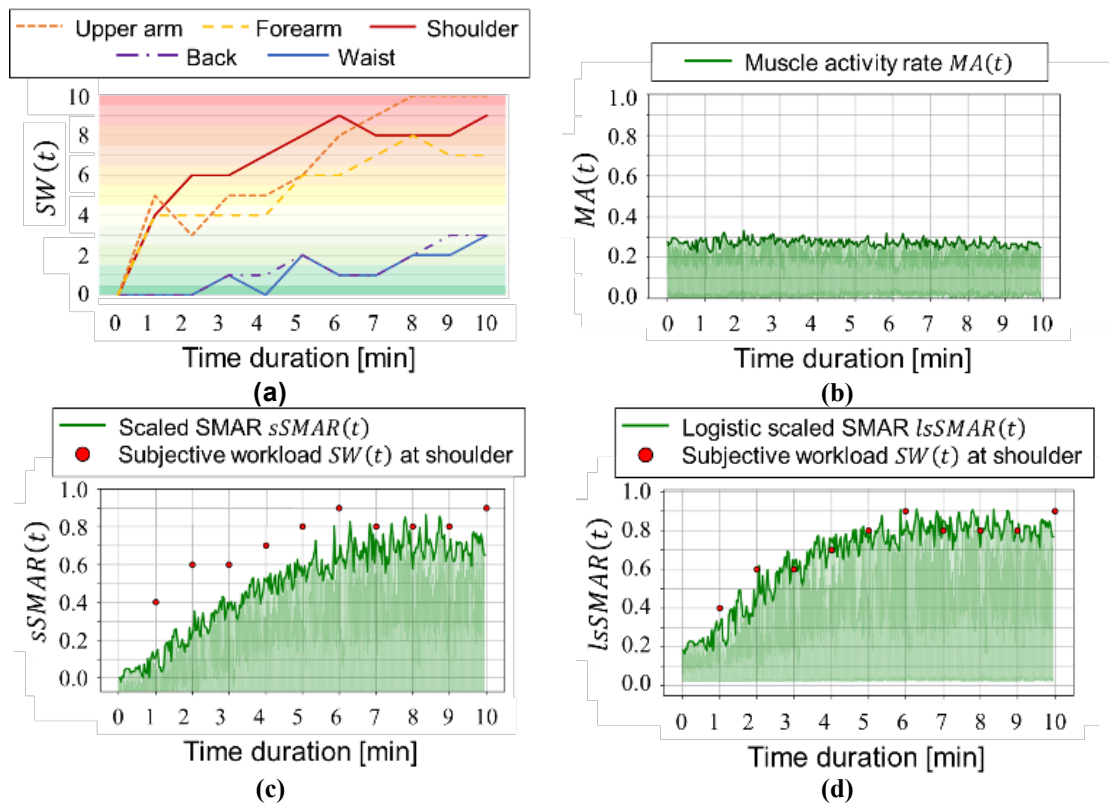
一方で、(1)の取り組みにより算出された、個人差・個人内変化を考慮した実質的筋活動率の推移は、主観的負担感と近い結果が得られ、モデリング手法が妥当であることを明らかにした。また、先行研究のパラメータを用いたモデリング結果との比較から、モデルパラメータを同定することが有用であることを示し、最適なモデルパラメータを用いた筋の残存能の推移の傾向は筋電図の中間周波数の推移の傾向と概ね一致した。



実験タスク内容. この作業を2秒に1回ペースで10分間継続した.



構築した筋骨格シミュレーションモデル（筋疲労モデルを搭載したもの）



実験参加者 6 の結果例. (a): 主観的負担感の回答結果 (b): 三角筋中部の筋活動率
(c): 三角筋中部の実質的筋活動率(緑)と肩部の主観的負担感 (赤)
(d): 動作データと筋骨格シミュレーションにより得られた三角筋中部の主観的負担感の推定値(緑)と肩部の主観的負担感 (赤)

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

筋骨格系障害は、労働関連の健康問題のうちあらゆる業種・職種に関係する世界的に最頻の課題であり、リスク低減は非常に重要である。本研究は、長時間作業における身体負担が少ない作業環境の設計に大きく役立つ。例えば筋電図測定を用いずとも、短時間の実験から、同じ動作を長時間繰り返した場合の疲労感の変化を推定可能になったので、将来的に、長時間作業を考慮した作業環境の新たな身体負担評価指標「姿勢や動作を変える主観的疲労レベルへの推定到達時間」などの定義・利用への貢献も期待できる。実際の工場など作業環境においては、監視カメラ等を用いた作業動作観測システム等との連動により、作業ミスや怪我に繋がるレベルに達する前に、休憩への誘導・作業内容の変更・作業環境の調整などの対応が取りやすくなる。つまり、本研究の成果は生産効率の向上と労働災害の抑制の両方に大きく貢献できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

応募者はこれまでに、作業動作や休息姿勢における身体負担を生体力学的観点から定量的に評価することにより、働きやすさや心地良さなど主観的な印象である「快適性」

を客観的に表現する研究について実績をあげ続けてきた。

今回の研究は、短時間動作に限られていた既存の「負担感の客観的推定手法」の適用可能範囲を、複数の新たな手法の導入により長時間作業に拡張したものである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. ○**Kuramoto A**, Noguchi M, and Nakashima M Biomechanical modelling of subjective fatigue during high-frequency repetitive manual handling tasks, 2024 AHFE International Conference on Human Factors in Design, Engineering, and Computing, Human Factors in Design, Engineering, and Computing, Dec. 2024.
2. ○野口将也, **倉元昭季**, 中島求. 筋疲労を考慮した繰り返し作業における作業負担の筋骨格シミュレーション, 日本機械学会 スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門講演会 2024 (SHD2024) , Nov. 2024.

7 補助事業に係る成果物

査読付き国際学会における発表原稿（オープンアクセス）

https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-964867-35-9/article/978-1-964867-35-9_158

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京科学大学

住 所： 〒152-8550

東京都目黒区大岡山2-12-1

担 当 者： 助教 倉元昭季（クラモトアキスエ）

担 当 部 署： 工学院 システム制御系

E - m a i l : akisuekura@sc.eng.isct.ac.jp

U R L : https://www.hei.sc.e.titech.ac.jp/nakashima_labo/kura/index.html