

身体への優しさを重視した作業動作カイゼン手法に関する研究開発

大野 尚則

Improve of the Motion in an Assembly Line

Naonori OHNO

あらまし 急激な少子高齢化により、近い将来、深刻な労働力不足に陥ることが懸念されている。そのため製造業を主幹産業とする岐阜県では労働者不足を補うために高齢者労働力の確保の重要性が更に高まると考えられる。本研究では高齢者の身体に優しい作業環境の実現を目指し、組立作業などの軽作業における筋肉の筋張力のデータに基づき、その作業性を評価する手法を提案する。本手法では作業空間内での基本動作について場所の違いによる負荷の度合いを身体負荷ポテンシャル場として定義し、この値が最小になる位置を最適な作業位置であることとした。ピッキング作業に関して評価した結果、右利きの身長170cmの作業者が奥行き40cmにある部品の組み付け作業を行う場合には高さ135cm、作業者中心から右40cmが最も身体的負荷が低いことがわかった。また、得られたデータからは一般成人と比べ高齢者は筋肉の負担が大きく、上半身の回転が伴う作業についてはその違いが顕著に現れた。

キーワード 改善, 作業性評価, 筋張力

1. 緒言

1. 1 背景

我が国では、急速な少子高齢化により平成7年をピークに労働人口が減少の一途をたどっており、近い将来、深刻な労働力不足に陥ることが懸念されている。厚生労働省のミレニアム・プロジェクトでは様々な視点から、高齢者が働きやすい製造現場を実現するための調査研究や基準づくりがなされた^[1]。

将来の超高齢化社会にむけて県内の主要産業である製造業における高齢者労働力の確保は重要な政策課題であり、そのため高齢者が働きやすい職場環境に関して改めて検討する必要がある。

1. 2 作業改善の取り組み

作業動作の改善に関する取り組みとして、作業者が歩く動線、部品位置、組立手順などから、動作のムダや時間的なムダを排除することが一般的である。これらの改善により副次的な効果として身体的負荷が軽減される場合もあるが、如何に効率的にモノを作るかといった視点に基づいて行われているため、すべてが身体に優しい作業になるとは限らない。

独立行政法人高齢・障害者雇用支援機構の共同研究事業では、身体的な負荷の軽減を目的とした多くの取り組みが報告されている^[2]。作業姿勢に注目して評価した事例や、人の動作を18の基本動作で分類しすべての作業はそれらの合成であるという考えから改善前後の作業性を数値的に比較し評価した事例が報告されている。これら

の手法は特殊なツールを使わない便利な手法であるが、腕の動きの方向や位置などといった詳細な動作の違いを評価することはできない。

1. 3 目的

本研究では岐阜県の主要産業である製造業において、少子高齢化に伴う労働力不足の解消と高齢者の雇用機会の増加に向けて、高齢者が快適に従事できる身体に優しい労働環境の実現を目的として、作業の身体的な負荷を最小にする作業改善手法の確立を目指す。

身体的負荷が低く、高齢者が従事しやすいと考えられるセル生産での組立作業を対象として長時間持続可能な作業環境の実現を目指し、任意の作業者に対して作業性を評価し快適な作業環境を提示する手法について検討を行う。

2. セル生産での組立作業の作業性評価

2. 1 身体的負荷の評価

身体的な負荷として疲労を用いる。疲労とは身体の使いすぎによる機能低下した状態という意味で用いられる。この疲労には肉体的疲労と精神的疲労に分けられるが、精神的疲労については解明されていない部分が多いため、本研究ではその仕組みが解明されている肉体的疲労を扱う。この肉体的疲労は主に3つに分類できる。

1) 重作業による疲労：

極度な負荷により筋肉が不酸素状態となり乳酸が蓄積し最大筋張力が低下する

2) 軽作業の疲労：

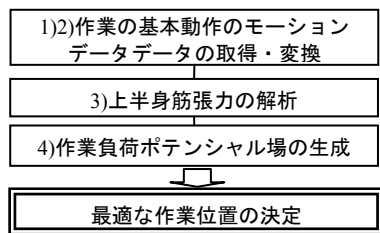


図1 作業環境の決定手順

筋肉の伸縮の連続に伴うエネルギー不足により最大筋張力が低下する

3) 血流不足による疲労：

筋肉の筋張力の持続により、血管が圧迫され血流量が減少することにより最大筋張力が低下し更に筋肉痛が生じる

本研究ではセル生産における組立作業の軽作業を対象とするため、2)3)が作業性評価の指標となるが、本年度は繰り返し作業による肉体的疲労について検討するため、2)についてのみ論じる。これに関しては、佐藤ら^[3]により、筋肉に与える疲労の指標として筋張力あるいは筋電位 (EMG) の積分値を用いることが有効であることが報告されている。よって本研究においても疲労の指標として、各筋肉の筋張力の積分値を用いることとした。

2. 2 提案する作業性評価手法

セル生産などの軽量部品を扱う組立作業における筋張力の発生はピッキング動作に占める割合が高い。したがって、各筋肉の筋張力の積分値を最小にする部品配置にすることにより、ピッキング動作に必要な筋張力は最小となると考えられる。

本提案では任意の作業姿勢から作業動作に係る全ての筋肉の筋張力の総和を身体負荷ポテンシャルと定義する。よって、すべての作業姿勢は作業内容・作業位置によって変化する身体負荷ポテンシャル場を持つ。本研究では、立位姿勢でのピッキング動作に注目し、ピッキング空間を身体負荷ポテンシャル場に関連づけて作業性を評価する手法を用いる。したがって、このポテンシャル値が高い位置ほどピッキング作業に係る身体負荷が高いため作業性が低いといえる。逆にポテンシャル値が低い位置でのピッキング作業は作業性が高いこととなる。

本研究で提案する手法は、一連の作業中に含まれる基本作業に対し、身体負荷ポテンシャルが最も最も低くなる作業姿勢と作業動作を求めるものである。その手順を図1に示す。

1)作業の基本動作のモーションデータの取得

身体負荷ポテンシャル場を生成するために、セル生産における組立作業にて想定される範囲内（手が届く位置など）での作業に含まれる基本動作のモーションデータを取得する。一般的に組立作業は「(ワーク又は部品の)ピッキング」「(部品のワークへの)組み付け」「(完成品を)置く」の3つの基本動作で構成される(図2)。複雑な組立作業も殆ど場合はこれらの組み合わせとなり、



「ピッキング」「組み付け」「置く」

図2 デジタルマネキンによる組立作業

これらの身体負荷ポテンシャルが最も低い動作となるピッキング位置が最適な作業位置であることとする。

基本動作「ピッキング」は手先が作業点から部品を取って作業点に戻るまでの動作であり、この動作に要した各筋肉の筋張力の積分値の総和が身体負荷ポテンシャルである。したがってピッキング位置によって身体負荷ポテンシャルが大きく変化する。また基本動作「組み付け」については作業者正面での作業台上での定点作業となるため、身体負荷ポテンシャルは作業台の高さに影響する。基本動作「置く」は作業の妨げにならない位置とし、複雑な組立作業においても1回のみである。

以上を考慮して実用上想定される範囲内において作業点の高さ、ピッキング位置を入力パラメータとした身体負荷ポテンシャル場を生成するためのモーションデータを取得する。

2)モーションデータの変換

BVH(BioVison Hierarchical data)形式のデータを後述する筋張力解析システムの入力データ形式であるDIFF(Data Interface File Format)形式^[4]に変換する。BVH形式は拡張性が高い一方で身体形状や身体部位のラベル名が標準化されておらず、BVH形式からDIFF形式へ変換するための専用ツールを開発し、データ変換を行った。

3)上半身筋張力の解析

DIFF形式のモーションデータに基づき、セル生産での組み立て作業で使用する上半身を構成する筋肉の筋張力を算出する。筋骨系解析システムとしてARMO(株式会社ジースポーツ社製)を用いる(図3)。ARMOは関節数27、モデル化された筋肉192本を有する全身の筋肉シミュレータである。モーションデータから各筋肉の筋張力等を算出することが可能である^[5]。日本人の成人と高齢者の身体的慣性特性^{[6][7]}を加味しており、標準的な体型の筋張力を算出することができる。

4)作業負荷ポテンシャル場の生成

各基本動作の筋張力の総和を元に、作業空間における作業負荷のポテンシャル場を求める。本年度は組立作業の基本動作を対象にして作業性評価を行うため、作業の詳細作業に係わる指と手首の動きに必要な筋肉は対象外とする。図3に示す組立作業の基本動作に関係する上半身の5筋群の筋張力の総和を作業負荷ポテンシャルとして用い、作業負荷ポテンシャル場の極小値を最適な作業として決定した。

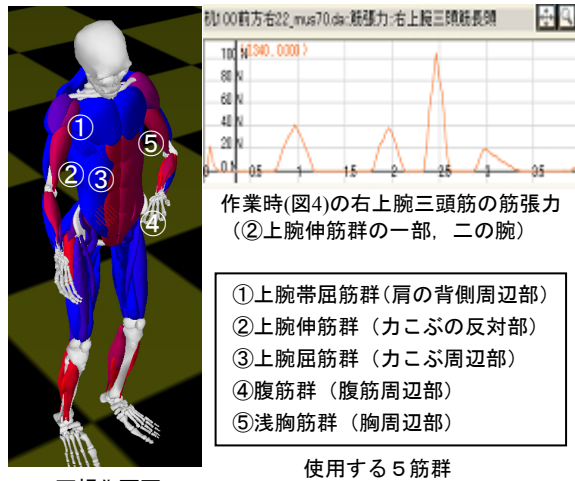


図3 筋骨系解析システムARMOと使用する5筋群

3. 実験

提案した作業性評価手法に対し実証実験を行った。

3. 1 作業定義

想定した作業は図4のとおりであり, 実験に使用した作業は, 部品①に部品②, 部品③, 部品④を組み付けて, パレット⑤に完成品を置く, といった基本的な組立作業である. 本実験では作業正面で高さ120cmを作業位置とし, ピッキング位置は高さ方向には80~150cmの範囲の10cm間隔, 水平方向には作業正面を原点として-40, 0, +40cm, 奥行き方向には作業者の位置から40cmで固定した(図5). これら24通りのピッキング作業をデジタルマネキンソフトウェアPoser (Smith Micro Software, Inc 社製)でモデリングした. 身長170cmの男性デジタルマネキンをを用い, 1回のピッキングに要する時間を1秒に設定し, DVH形式でモーションデータをファイル出力した.

3. 2 筋張力の解析とポテンシャル場の生成

24通りのピッキング作業に対し, 作業者を身長170cm, 体重70kgとし, 60歳以下の成人男性と, 60歳以上の高齢者男性について, ARMOで筋張力の解析を行った. ARMOの身体セグメントパラメータとして, 60歳以下の成人男性は文献6の値を用い, 60歳以上の高齢者については文献7の値を内部的に用いている.

解析された各筋肉の筋張力データについて先に述べた5筋群について積分し総和を求め, 身体負荷ポテンシャル場とした. そのデータを等高線表示したグラフを図6に示す. 一般成人男性の右上半身と全身の身体負荷ポテンシャル場は図6(a), (b), 高齢者男性のデータは図6(c), (d)である. 縦軸を床面からの高さ, 横軸を作業者の中心からの水平方向への距離とした.

3. 3 考察

図6の身体負荷ポテンシャル場のデータから身長170cmの右利きの作業者の組立作業におけるピッキング位置は, 一般成人, 高齢者共に高さ135cm, 右40cmが最適であり, その位置から内側にピッキング位置を設定し

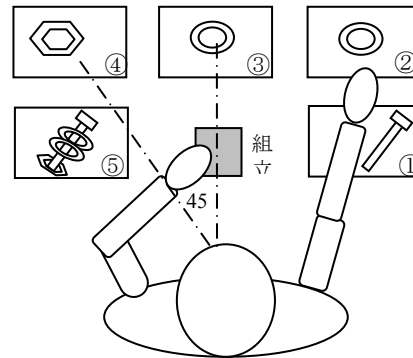


図4 実験における組立作業

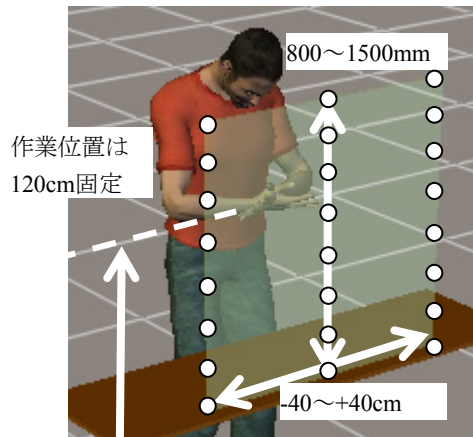


図5 ピッキングの範囲

た作業環境が最適であると推定できる。

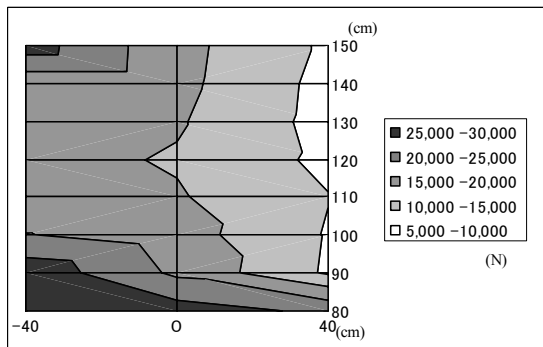
また, 図から, 90cm以下の高さと利き手の反対方向20cm以上で急激に負担が増加することがわかる。

図6の一般成人と高齢者のポテンシャル場を比較した場合, 身長, 体重が同じである場合, 全体的に高齢者の身体負荷ポテンシャルが高くなった. これは高齢者の下肢の筋肉の低下により, 身体慣性特性のバランスが上半身に偏っている^{[6][7]}ことに起因することが考えられる. したがって高齢者は一般成人と比較し, 同じ作業を行う場合にはポテンシャル値が高い上に筋力も落ちていることから身体的な負担が大きい.

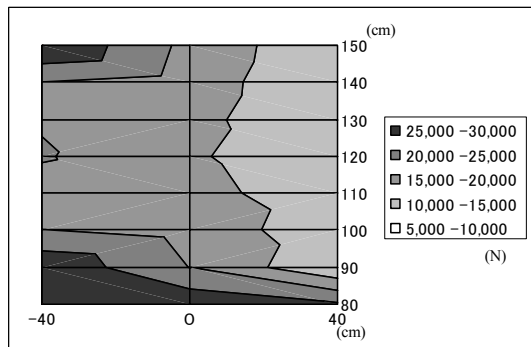
また, 腹筋群と浅胸筋群の体幹部分について一般成人と比較して, 身体負荷ポテンシャル場の差が特に大きかった(図7). 本データからは, 高齢者にとっては, 体幹が動かないような動作が望ましいと考えられるが, 筋肉の緊張状態が持続する場合には2.1で述べた血流圧迫による疲れとなる場合が考えられ, 腰痛などの原因となる場合があるため, 筋肉の適度な伸縮が必要である. 本年度の作業改善手法には, 筋張力の持続や, 筋肉の休息による回復については考慮しなかったため, 今後, このような項目も加えることを検討する.

4. まとめと今後の課題

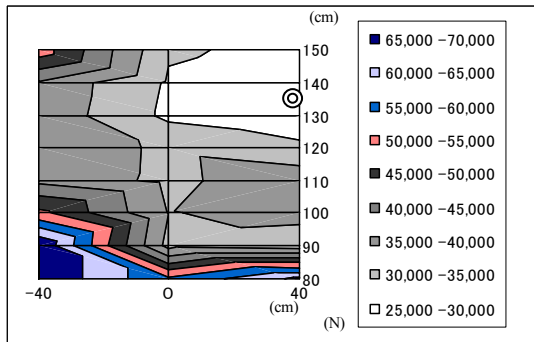
高齢者の身体に優しい作業環境の実現を目指し, 組立作業などの軽作業において筋肉の筋張力のデータに基づき, 作業性を評価する手法を提案し, 基本的な組立作業



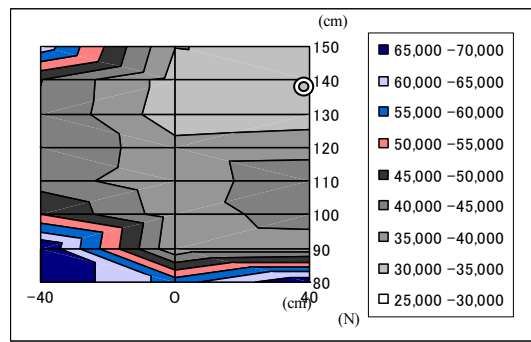
(a) 一般成人 (男性) の右上半身



(c) 高齢者 (男性) の右上半身



(b) 一般成人 (男性) の上半身 (◎: 最小値)



(d) 高齢者 (男性) の上半身 (◎: 最小値)

図6 身体負荷ポテンシャル場の等高線グラフ

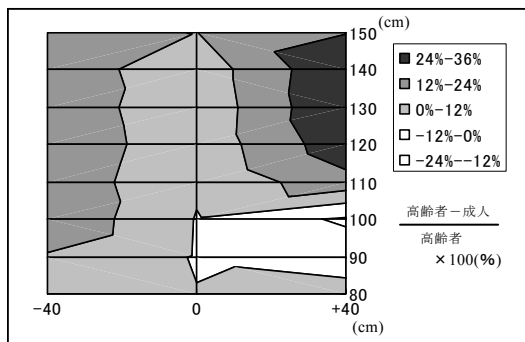


図7 腹筋群の差

を例に実験を行った。その結果、右利きの身長170cmの作業者が、奥行き40cmにある部品の組み付け作業を行う場合には高さ135cm、前方右45°が最も身体的負荷が低いことがわかった。

今後、今回生成されたデジタルマネキンでモデリングされたデータを元に生成された身体負荷ポテンシャル場と、モーションキャプチャ装置を用いて取得した動作データを用いて生成された負荷ポテンシャル場を比較し、その整合性を評価する。

また、本年度は筋張力の積分値とその和を用いて作業性を評価したが、腰痛などといった筋張力が持続した場合や筋張力が働いていない場合の筋肉の回復については考慮していない。今後、これらの要素も含めつつ、実際の組立作業に対して実証実験を行い、本手法の有効性を示す。

謝 辞

モーションデータの取得について板東主任研究員をはじめ岐阜県生活技術研究所の皆様にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- [1] 厚生労働省, “ミレニアム・プロジェクト (高齢者の雇用・就労を可能とする経済社会の実現のための大規模な調査研究) の最終報告”, 厚生労働省ホームページ, 2002.
- [2] 株式会社トーエネック, “配電作業における作業者負担の定量評価法の開発とそれに基づく作業支援システム設計に関する調査報告”, 共同研究年報H16, pp.31-54, 2005.
- [3] 佐藤ら, “随意収縮および電気刺激による筋非老後の筋電図学的解析”, 山形保健医療研究第9号, pp.11-17, 2006.
- [4] 臨床歩行分析研究会, “DIFF解説書”, 1999.
- [5] 黒田篤, “Inverse Dynamicsによる筋活動シミュレーションと可視化技術”, 日本トレーニング学会学会誌第20巻2号, 2008.
- [6] 阿江ら, “日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定”, バイオメカニズム11, pp.18-61, 1992.
- [7] 岡田ら, “日本人高齢者の身体部分慣性特性”, バイオメカニズム13, pp.125-139, 1996.