

# 作業動作カイゼンのための作業負担定量化手法の検討

浅井 博次      渡辺 博己      山田 俊郎

## Study on Quantification of Physical Load for the Motion Improvement

Hirotsugu ASAI      Hiroki WATANABE      Toshio YAMADA

**あらまし** 多くの作業労働者を必要とする製造業では、急激な少子高齢化による労働力不足が懸念されており、労働力の確保と高齢労働者が健康に働くための対策は非常に重要な課題である。我々は、作業者の身体にとって負担の低い作業を実現することがこれらの課題に有効であると考え、作業における筋肉の筋張力（筋肉の発生力）のデータに基づいて身体への負担を定量化し、作業動作カイゼンの効率化に繋げることを提案している。提案手法では、作業動作の計測が不可欠であるが、制約の多い製造現場では多方向から隠れない作業者の映像を撮影することが困難なため、計測ができない場合が多い。そこで、本年度は、作業映像の隠れに対応可能なモーションキャプチャソフトの導入によりこの課題を解決し、製造現場へ適用可能な作業動作計測を実現した。また、提案する負荷定量化手法を実際の組み立て作業に適用し、作業負荷定量化検討を行い、提案手法の可能性を示した。

**キーワード** 改善, 作業負担定量化, 筋張力

### 1. はじめに

#### 1. 1 背景

急激な少子高齢化の進行に伴い、2005年頃から、日本は人口減少時代に突入した（図1）。労働力人口も減少の一途をたどっており、2009年統計データ<sup>[2]</sup>によると、労働力人口比率は6割を切った。パート、派遣、フリーターなど近年の就業形態の多様化の進行に併せ鑑みると、実態は更に低くなると思われる、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。

少子高齢化の影響は労働者の年齢構成にも顕著に表れている。図2、表1に示すように、近年、高齢労働者の比率が急激に増加している。今後、更にこの傾向が強まっていくことが予想される。

多くの作業労働者を必要とする製造業にとって、労働力の確保は非常に重要な課題である。限られた労働力を確保し、有効に活用するために、作業者の身体にとって負担の低い作業の実現により、高齢労働者をはじめとした作業者が働きやすい製造現場を実現することが強く望まれている。

#### 1. 2 作業負担の定量化

作業者の身体にとって負担の低い作業を実現するためには、作業による作業者の疲労（作業負担）の現状を把握する必要がある。直接疲労を測る方法はないため、一般的には、身体負荷を指標として利用している。身体負荷を計測する既存手法としては、観察により姿勢を分類して身体負荷を解析するOWAS法<sup>[3]</sup>・RULA法、表面筋電図により筋活動をモニターする手法などがある。しかし、

観察による手法では作業姿勢を大まかな姿勢に分類して評価を行うため、細かな姿勢の違いに対応できない。

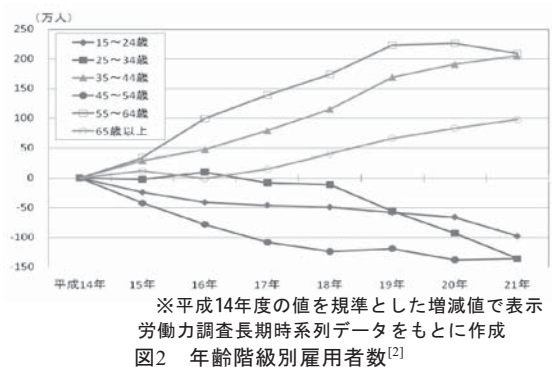
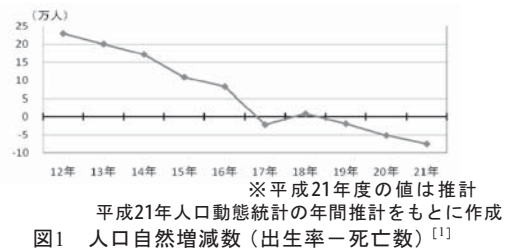


表1 年度毎の年齢階級別雇用者比率（%）<sup>[2]</sup>

	15～24歳	25～34歳	35～44歳	45～54歳	55～64歳	65歳以上
14年	11.3	25.2	21.0	23.9	14.5	4.1
15年	10.8	25.1	21.5	23.1	15.1	4.4
16年	10.5	25.2	21.7	22.3	16.3	4.1
17年	10.3	24.7	22.2	21.6	16.9	4.4
18年	10.1	24.3	22.5	21.0	17.3	4.8
19年	9.8	23.2	23.2	20.8	17.9	5.2
20年	9.7	22.6	23.7	20.5	18.1	5.5
21年	9.2	22.1	24.2	20.8	17.9	5.8

労働力調査長期時系列データをもとに作成

また、表面筋電図は定量的な評価が困難であり、解析にも高度な知識が要求される。

そこで、我々は、筋骨格モデルを用いて身体負荷を定量化・可視化することで作業負担を定量化することを提案している<sup>[4]</sup>。筋骨格モデルとは、人の身体を筋肉、骨格レベルまでモデル化したものである。姿勢（動作）と人の属性（身長・体重・性別など）から各筋肉の筋張力（筋肉の発生力）や関節間力などを計算できる。筋張力は筋肉の負荷を表していると考えられることから、提案手法では、筋張力データに基づいて作業負担を定量化する。筋肉毎の筋張力データから疲労部位の特定・推定が可能であること、細かな姿勢の違いにも対応可能であること、保持姿勢の評価や動作速度を考慮した評価が可能であることなどから既存手法と比べて詳細な作業負担の解析を行うことができる。また、作業動作に同期して、人体モデル上に身体負荷状況を可視化できるため、専門的な知識がなくても作業負担を直感的に理解できる利点もある。図3に筋骨格モデルによる解析イメージを示す。

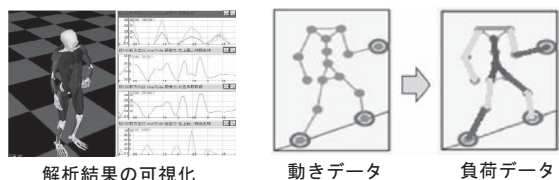


図3 筋骨格モデルによる解析イメージ

本年度は、作業映像の隠れに対応可能なモーションキャプチャソフトの導入により、製造現場へ適用可能な作業動作計測を実現したので報告する。また、提案する身体負荷定量化手法の適用例として、実際の組み立て作業に適用した事例について紹介する。

## 2. 製造現場への適用に向けた検討

図4に筋骨格モデルを用いて作業負担を定量化する手順を示す。

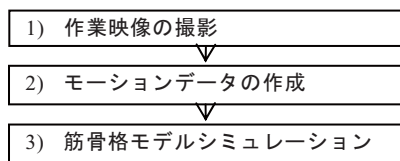


図4 筋骨格モデルによる身体負荷定量化手順

筋骨格モデルを用いた解析を行うためには、モーションキャプチャ装置を用いて対象となる作業者の動きを計測する必要がある。一般的なモーションキャプチャ装置では、全身に多数のマーカを装着した計測対象者を多数のカメラを用いて多方向から撮影することで対象者の動きを計測する。装着されたすべてのマーカが常に2つ以上のカメラに撮影されていないと正しく計測することができない。撮影対象を隠してしまうような障害物がない広い撮影スペースが必要となるため、撮影環境の整

備が容易な専用スタジオを利用した計測が一般的である。しかしながら、カイゼン等により作業環境に変更があるたびに製造現場と同様の環境を構築して作業動作計測をする必要があるなど、動作計測に大きなコストがかかってしまう。一方、実際の製造現場では、広い撮影スペースの確保が困難であり、カメラを設置できる場所も限られているため、作業者の隠れがない映像の取得はほぼ不可能であり、作業者の隠れがある映像を前提とした作業動作計測手法が必要とされる。

そこで、我々は、内部に人体モデルを持ったモーションキャプチャソフトPV STUDIO 3Dを利用することでこれらの問題を解決し、制約の多い製造現場での作業動作計測を可能とした。本ソフトは、マーカの一部が隠れにより正しく計測されない場合でも、内部の人体モデルを活用することで姿勢を推定することが可能である。また、2台のビデオカメラによる作業動作映像のみから動作生成が可能であるため、あまり大きな撮影スペースを必要としない。計測対象へのマーカ装着も必須ではないため、作業者への負担も小さい。

## 3. 適用事例

提案手法を製造業の組み立て現場における単純繰り返し軽作業に適用し、身体負荷の定量化を試みた。軽作業において最も主要な症状が腰痛であることから、腰痛と深い関係があると言われていた3つの筋肉（脊柱起立筋、腸腰筋、腹斜筋）を解析対象とした。脊柱起立筋は脊柱を支える筋肉、腸腰筋は姿勢維持に重要な筋肉である。腹斜筋は体の捻りや曲げを担当する筋肉だが、現代社会では使用頻度が低く、機能不全になりやすい。腹斜筋が機能不全になると、体の安定性が低下し、捻った姿勢がもろくなることから、ちょっとしたことで腰を痛めるようになる。また、姿勢保持に関わる他の筋肉に大きな負担がかかることから、腰痛の原因になりやすい。

作業者属性による負担の違いの一例として作業者の体重の違いによる比較を、また、姿勢による負担の違いの一例として正しい姿勢と不良姿勢との比較を行った。長期間継続される軽作業では、継続的な負担を把握することが重要と考え、解析には定型作業1サイクル間の筋肉の緊張力の平均、および標準偏差を用いた。

### 3. 1 体重差による比較

組み立て現場で計測した同じ作業動作に対し、作業者の体重の違いがどのように負担に影響するかを比較するため、身長150cm、年齢30歳の男性作業者について、体重60Kgと80Kgの2設定でシミュレーションを行った。結

表2 体重の違いによる筋張力の比較

	平均(N)		標準偏差(N)	
	60Kg	80Kg	60Kg	80Kg
脊柱起立筋	69.03	91.42	120.77	162.96
腸腰筋	121.41	146.43	65.61	82.48
腹斜筋	332.25	450.62	444.36	601.79

果を表2に示す。

体重が重いほうが、すべての筋肉で平均、標準偏差とも筋負担が大きいう結果であった。これにより、体重が重い作業員ほど、腰痛関連筋肉への負担が増加するという傾向があることがわかる。

### 3. 2 姿勢による比較

長時間継続される作業では、姿勢の影響が大きいと考えられる。そこで、腰痛の主要な原因の一つとされている不良姿勢「反り腰」を例にとり、正しい姿勢との比較を行った。「反り腰」とは、背骨のS時カーブが過剰に曲がっている姿勢のことで、骨盤が前傾して腰に大きな負担がかかる。長時間の立ち作業やハイヒールの多用などでよく見られ、主な原因は背筋と腹筋とのアンバランスだと言われている。

組み立て現場で計測したモーションデータをもとに、正しい姿勢での作業データと不良姿勢である反り腰での作業データを作成し、姿勢の違いがどのように筋負担に影響するかを比較した。身長150cm、体重60Kg、年齢30歳の男性作業員について、シミュレーションを行った結果を表3に示す。

表3 姿勢の違いによる筋張力の比較

	平均(N)		標準偏差(N)	
	通常	反り腰	通常	反り腰
脊柱起立筋	69.03	27.57	120.77	64.45
腸腰筋	121.41	99.69	65.61	39.42
腹斜筋	332.25	200.94	444.36	233.65

反り腰のほうが、すべての筋肉で平均、標準偏差とも筋負担が大幅に小さくなっていることが分かる。特に、脊柱を支える脊柱起立筋が半減している。反り腰が癖になっていると、長時間にわたり姿勢保持に関わるこれらの筋肉への負担が減る、つまり、楽をさせていることになる。結果として、筋肉の機能が低下し、腰痛を誘発するものと考えられる。

## 4. 作業動作カイゼンへの適用

一般的なカイゼンサイクル同様、作業動作カイゼンにおいても図5のカイゼンサイクルを回し続けることが最も重要である。図6に示すように、提案手法により定量化

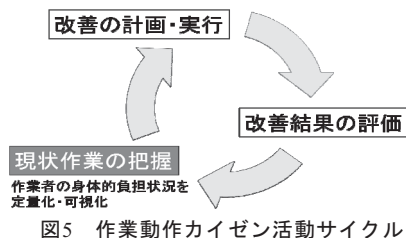


図5 作業動作カイゼン活動サイクル

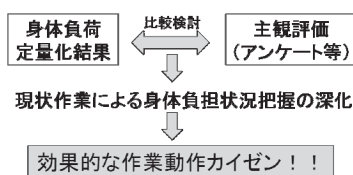


図6 作業動作カイゼンへの適用イメージ

された身体負担データとアンケート等による作業員の主観評価とを比較することで、作業による身体的負担状況の把握が深まり、より正しい現状把握に基づいてカイゼンサイクルを回すことで、効果的な作業動作カイゼンが実現できるものと考えている。

筋骨格モデルによる身体負担定量化のメリットを活かした作業動作カイゼン項目の案を以下に挙げる。

- 身体負担の可視化によるカイゼンモチベーションの向上  
既知の不良姿勢などによる身体負担を可視化し、作業員へ提示することで、カイゼンへのモチベーション向上に活用する
- 疲労部位特定による作業動作カイゼンの効率化
- 負担の継続、繰り返しを考慮した作業動作カイゼン  
筋肉単位で疲労と休息による回復を考慮し、作業環境のレイアウト改善、作業ローテーション改善、作業員ローテーション改善に活用する
- 作業員属性に応じた作業動作カイゼン  
同一作業における作業員属性（性別、体重など）による作業負担の違い（傾向）を作業動作カイゼンに活用する

## 4. まとめ

作業映像の隠れに対応可能なモーションキャプチャソフトの導入により、製造現場へ適用可能な作業動作計測を実現した。また、提案する負担定量化手法を実際の組み立て作業に適用し、作業負担定量化検討を行い、提案手法の可能性を示した。

労働力の確保や増加する高齢労働者対策として、「作業員に選ばれる職場づくり」、「健康に仕事をやり続けられる職場づくり」の必要性はますます増加していくものと考えられる。本研究では、身体負担に着目して疲労の定量化を行ったが、このような客観的指標で評価した疲労の度合いと、実際に感じる疲労感とは、かい離することが多い。そのため、今後は、精神的疲労も含め、総合的に疲労を定量化することが重要になる。

## 謝辞

本システムへの助言や現場提供等、御支援・御協力を頂きました皆様に感謝致します。

## 文献

- [1] 厚生労働省、平成21年人口動態統計の年間推計
- [2] 総務省、労働力調査、総務省ホームページ、2010.
- [3] <http://homepage2.nifty.com/aseo/owas.htm>, 2010.3参照
- [4] 大野尚則, “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”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第10号, pp.15-19, 2009.