

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14994

研究課題名（和文）労働現場で簡便に利用できるOWASに基づく姿勢評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of a posture evaluation system based on OWAS for easy use in the work site

研究代表者

肥田 拓哉（Hida, Takuya）

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：70748326

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：労働現場における作業姿勢の評価を簡便に実施するために、観察法の一つであるOWASに基づく姿勢評価システムを開発した。本システムでは、評価者がタブレット端末等のカメラで作業者を撮影し、画像中の作業者の各関節をタップすることで姿勢評価を実施する。これを実現するために、被験者実験によりOWASに基づく姿勢における関節の3次元座標を取得し、これを変換して求めた2次元座標を教師データとして機械学習モデルを作成した。その結果、約80%の精度で姿勢評価を実施できることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

労働現場では腰痛などの筋骨格系障害が頻発しており、その主な要因は作業姿勢、取扱い重量、反復動作の有無などである。しかし、これらの要因による身体への影響を評価するには知識や機器、手間が必要である。本研究で開発されたシステムを使用することで、知識や特別な機器、手間がかからず作業姿勢を評価することができる。さらに、評価結果を分析することで、作業姿勢による負担が少ない、人にやさしい作業の設計に寄与することができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a posture evaluation system based on OWAS, one of the observation methods, was developed to easily evaluate work posture at a work site. In this system, an evaluator takes a picture of a worker with a camera such as a tablet terminal, and performs posture evaluation by tapping each joint of the worker in the image. To achieve this, the 3D coordinates of the joints in the OWAS-based posture were obtained through subject experiments, and a machine learning model was created using the 2D coordinates obtained by transforming them as the teaching data. As a result, it was confirmed that posture evaluation can be performed with an accuracy of approximately 80%.

研究分野：人間工学

キーワード：作業姿勢 OWAS 人間工学 経営工学 筋骨格系障害

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

労働現場では、仕事における作業様態などに起因する職業性疾患である WMSDs が頻発している。平成 30 年の業務上疾病数（休業 4 日以上）は 8,684 件であり、そのうちの約 8 割が腰痛や頸肩腕症候群などの WMSDs である。WMSDs を予防するためには、個々の職場で WMSDs 要因を特定し、それを避けるか減らす必要がある。WMSDs の主な要因は作業姿勢、取扱い重量、反復動作の有無などであるが、これらの要因による身体への影響を評価するには知識や機器、時間が必要である。

WMSDs 要因による身体への影響については、生体計測や筋骨格モデリングソフトウェアにより定量的な評価が可能であるが、計測や評価には専門知識が必要である。さらに、それらに利用する機器が高価であることから、労働現場での継続的な実施は困難である。また、生体計測より簡易な方法として、作業者を目視で観察して大まかに姿勢の評点をつける観察法があり、特別な機器は不要であるが、正確な評価の実施には十分な訓練が必要である。

### 2. 研究の目的

労働現場における WMSDs を予防するためには、簡便に実施できる実用的な方法が必要である。そこで本研究では、十分な訓練を受けていない作業者でも、WMSDs 要因による身体影響を評価できるシステムの開発を目的とする。具体的には、評価者がタブレット端末等のカメラで作業者を撮影し、画像に写っている作業者の関節をタップ（以下、デジタイズ）することで、観察法である OWAS に基づいた作業姿勢の評価を実施できるシステムを開発する。

### 3. 研究の方法

本システムでは、十分な訓練を受けていない観察者でも OWAS に基づいた作業姿勢の評価を簡易に実施できることを目的とする。そこで、作業画像から得られる 2 次元座標を用いて評価する方法を提案する。具体的には、ビデオカメラやタブレット端末で撮影された作業画像に対して、その画像に写っている作業者の関節座標を観察者が手動でデジタイズすることで、OWAS に基づいた作業姿勢の評価を実施するという方法である。

本システムを実現するために、各関節の 2 次元座標を入力情報として、機械学習により OWAS に基づいた姿勢コードの分類と AC の判定を実施する。そのためには、教師データとして OWAS 評価値がラベル付けされた各関節の 2 次元座標が必要である。そこで、被験者実験を実施して、モーションキャプチャシステムにより実空間座標系の関節の 3 次元座標を取得し、DLT 法によりカメラ画像座標系の 2 次元座標に変換する。また、機械学習を実施するにあたり、特徴量および姿勢コードを分類するアルゴリズムの選定、およびハイパーパラメータの調整を実施する。

### 4. 研究成果

#### (1) 教師データ取得のための被験者実験の実施

OWAS に基づいた作業姿勢における座標データを取得するために、OWAS に基づく背部 4 水準、上肢 3 水準、下肢 5 水準を組み合わせた計 60 姿勢を被験者 10 名（男女 5 名ずつ）に課す実験を実施した。実験では、モーションキャプチャシステム OptiTrack による 3 次元座標の取得、および 8 台のデジタルビデオカメラによる動画撮影を実施した。取得した関節座標を図 1、カメラのレイアウトを図 2 に示す。

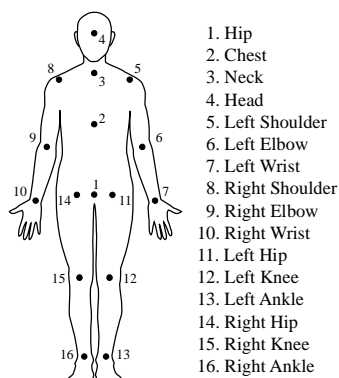


図 1 取得した関節座標

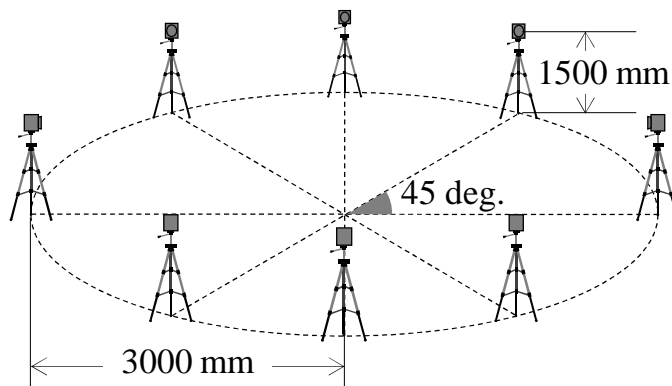


図 2 カメラのレイアウト

#### (2) DLT 法によるカメラ画像座標系の 2 次元座標の取得

本研究では DLT 法を使って、実験で得た実空間座標系における各関節の 3 次元座標からカメラ画像座標系における 2 次元座標を推定し、これを本提案手法における教師データとする。DLT 法では、カメラ画像座標系の 2 次元座標 ( $u, v$ ) を実空間座標系の 3 次元座標 ( $X, Y, Z$ ) によ

て表すと式 1 および式 2 となる．このとき、 $m_1$  から  $m_{11}$  はカメラパラメータである．

$$u = \frac{m_1X+m_2Y+m_3Z+m_4}{m_9X+m_{10}Y+m_{11}Z+1} \dots \text{式 1}$$

$$v = \frac{m_5X+m_6Y+m_7Z+m_8}{m_9X+m_{10}Y+m_{11}Z+1} \dots \text{式 2}$$

カメラパラメータを推定するために、20 点の反射マーカを設置したキャリブレーションスクエアを準備し、OptiTrack を用いて実空間座標系におけるキャリブレーションスクエアの 3 次元座標を取得した．そして、8 台のデジタルビデオカメラによりキャリブレーションスクエアを撮影し、カメラ画像座標系における 20 点の 2 次元座標を取得した．これらにより、式 3 から最小二乗法を用いてカメラパラメータを推定した．そして、式 1、式 2、および式 3 により、実空間座標系における各関節の 3 次元座標からカメラ画像座標系における 2 次元座標を算出した．

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -uz \end{bmatrix} [m_1 \ m_2 \ m_3 \ m_4 \ m_5 \ m_6 \ m_7 \ m_8 \ m_9 \ m_{10} \ m_{11}]^T = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \dots \text{式 3}$$

### (3) 特徴量の選定および機械学習モデルの作成

図 1 に示す通り、本実験では 16 か所の 3 次元座標を取得しているため、これら 16 か所における 2 次元座標である計 32 個を特徴量として利用可能である．この特徴量の組み合わせを 32 features とする．その特徴量から、OWAS 評価に使用しない 4 か所の身体部位を省いたものを 24 features とする．さらに、OWAS における姿勢の変化に伴って変化する身体部位を考慮して、計 13 か所の特徴量を作成し、前述の 32 features と 24 features に加えたものをそれぞれ 45 features、37 features とする．

これら 4 種類の特徴量について、応答変数を OWAS の背部・上肢・下肢の姿勢コードとした機械学習モデルをそれぞれ作成した．なお、重さの姿勢コードはすべて 1 とした．機械学習アルゴリズムは k 近傍法とし、パラメータ k は予備検討において最も分類精度が高かった k=1 とした．また、距離の算出にはユークリッド距離を使用した．さらに、分類精度を確認するために leave-one-person-out cross-validation を実施した．

### (4) OWAS における姿勢コードの分類精度検証

4 種類の機械学習モデルにおける姿勢コードの分類精度および AC の一致率の結果を表 1 に示す．背部の分類精度は 64.4% から 68.3% であり、学習モデルの違いによる差が部位別で最も大きかった．上肢の分類精度は 93.5% から 95.5% であり、部位別で最も高かった．下肢の分類精度は 62.1% から 64.0% であり、部位別で最も低く、機械学習モデルの違いによる差が部位別で最も小さかった．AC の一致率は 66.3% から 69.7% であった．

表 1 姿勢コード分類精度 (k 近傍法)

features	Back	Arms	Legs	AC
24	64.4%	93.5%	63.1%	66.3%
32	65.2%	93.7%	62.1%	66.7%
37	68.3%	95.5%	64.0%	69.7%
45	67.3%	95.5%	63.3%	68.9%

32 features と 24 features を比較すると、特徴量の違いによる分類精度の差はおおむね 1% 程度であった．そのため、OWAS 評価に使用しない身体部位は特徴量には不要であると考えられる．また、OWAS の姿勢変化に伴って変化する身体部位を考慮した 13 特徴量を追加したことによって分類精度は向上した．以上より、37 features の分類精度が最も高くなったが、OWAS の専門家による姿勢評価の一致率である 85% には及ばないため、分類精度向上のための方策を講じる．

### (5) 分類精度の改善

本提案手法では、姿勢の変化による 2 次元座標の違いによって姿勢を分類している．そのため、姿勢の変化によらない 2 次元座標の違いは極力排除すべきである．しかし、作業画像の左上を原点としているため、作業画像内に写っている評価対象の位置によって 2 次元座標は変化してしまう．そこで、デジタル化した 2 次元座標の中のある 1 点を基準とした座標の正規化を実施する．本研究で取得した 16 か所のデジタル座標のうち、座標のばらつきが最も小さかった右足関節を原点とした座標の正規化を実施した．さらに、機械学習アルゴリズムを k 近傍法から、一般的に汎化性能が高い手法である support vector machine classification (以下、SVC) に変更した．なお、多クラス分類は one-versus-the rest とし、ハイパーパラメータは scikit-learn の ver.0.23.1 におけるデフォルトの値を基本とするが、C のみ 100 とした．

右足関節を原点として座標を正規化した 37 features における各姿勢コードの分類精度と AC の一致率を表 2 に示す．分類精度および AC の一致率は、背部では 9.1% の向上、上肢では 1.9% の向上、下肢では 17.6% の向上、AC は 10.8% の向上であった．

表 2 姿勢コード分類精度 (SVC)

features	Back	Arms	Legs	AC
37	77.4%	97.4%	81.6%	80.5%

### (6) 姿勢評価システムの開発

本システムは、カメラによる作業者の画像撮影、撮影画像のデジタル化、機械学習モデルによる姿勢コード分類および AC 算出の 3 つの要素を含むアプリケーションとした．プラットフォームは iOS、使用言語は JAVA とし、機械学習に関する部分には Core ML を利用した．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takuya HIDA, Takato OKADA, Toshiyuki MATSUMOTO	4. 巻 16
2. 論文標題 Work postural ergonomic assessment using two-dimensional joint coordinates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2022jamdsm0055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 肥田拓哉, 高橋典花, 松本俊之
2. 発表標題 作業画像のデジタイズによるOWASに基づいた作業姿勢評価支援アプリの開発
3. 学会等名 日本経営工学会2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 肥田拓哉, 日野朝咲, 松本俊之
2. 発表標題 姿勢推定モデルを用いた新型コロナウイルス感染予防対策の実施判定
3. 学会等名 日本人間工学会第63回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 肥田拓哉, 三宅咲里, 松本俊之
2. 発表標題 手動デジタイズ座標による作業姿勢評価支援方法の精度検証
3. 学会等名 日本経営工学会2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 肥田拓哉, 林実希, 松本俊之
2. 発表標題 OpenPoseによる作業姿勢画像における撮影方向の推定
3. 学会等名 日本人間工学会第62回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 肥田拓哉, 中丸千聖, 松本俊之
2. 発表標題 OWASにおける作業姿勢評価ミスに着目した教育方法の提案
3. 学会等名 日本設備管理学会2021年度春季研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 肥田拓哉, 遠藤晴香, 松本俊之
2. 発表標題 慣性計測装置を用いたOWASに基づく姿勢の判別
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田詩織, 松本俊之, 肥田拓哉
2. 発表標題 作業順序を考慮したOWASに基づく作業姿勢推定方法の提案
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅井徹、松本俊之、肥田拓哉
2. 発表標題 デジタイズの自動化を導入したOWASに基づく身体負担評価システムの開発
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関