

品質見える化のための画像センシング技術に関する研究開発（第4報）

— 締め付け作業における作業ミス検出システムの開発 —

松原早苗*、渡辺博己*、生駒晃大*、浜田忠美†、生田健治†、長谷川和哉†

Research of image sensing technology for visualization of quality (IV) - Development of operation mistake detection system on tightening work -

MATSUBARA Sanae*, WATANABE Hiroki*, IKOMA Akihiro*,
HAMADA Tadayoshi†, IKUTA Kenji† and HASEGAWA Kazuya†

本研究では、製造業における作業の生産性、品質の向上を目的として、作業者の作業動作を分析することで、作業時間の計測や作業ミスの検知を行うシステムの実現を目指している。本年度は、トルクレンチによるネジの締め付け作業を対象に、カメラ映像から作業者の手の動作を分析し、締め付け作業が行われたかどうかを判定することで、締め付け作業忘れを検出するシステムを試作した。また、実際の製品の組立工程において撮影した締め付け作業映像に対して評価実験を行い、その有効性を確認した。

1. はじめに

製造業の生産現場においては、労働者の高齢化や定着率の低下、多品種少量生産の増加に伴い、人による作業の品質向上、生産性の維持が大きな課題となっている。

人による作業においては、ヒューマンエラーは避けられず、「部品の取り付け忘れ」や「ネジの締め付け忘れ」等の作業ミスによる不良が発生する。作業の後工程に不良品が流れた場合には、後戻り工数が発生する。さらに、不良品が市場に流出した場合、顧客の信頼を損なうことや、回収、修理、交換を行う等のコストが発生するなど、作業ミスによる不良発生が大きな損害につながる¹⁾。そのため、製造現場では、作業ナビゲーションや、ポカヨケ、検査等により、作業ミスによる不良発生を防ぐ対策が行われている。

トルクレンチによる締め付け忘れを検出する方法として、実際の作業現場では、トルクレンチが規定トルクに達した際に、信号を出力することで、締め付け作業が行われたと判定する方法が用いられている。しかし、製品の構造上、信号を出力できない特殊なトルクレンチを用いる場合や、信号のみでは2度締めを区別できない場合がある。

そこで、本研究では、カメラ映像から作業者の動作を分析し、締め付け作業が行われたかどうかを判定することで、締め付け作業忘れを検出するシステムを試作した。また、その有効性を検証するため、実際の現場において撮影した締め付け作業映像に対して評価実験を行った。本稿では、これらの内容について報告する。

2. 締め付け作業忘れの検出

トルクレンチによる締め付け作業では、「締める」動作と「戻す」動作が連続的に繰り返される。つまり、始点から終点までの手の移動を繰り返す連続反復動作として検出することが可能である。そこで、作業映像の各フレームから移動する手の位置を検出し、移動状態を把握することで、締め付け作業が行われたかどうかを判定する。

2.1 手の検出

本研究では、作業映像中の手の位置を検出する手法としてCNNベースのSingle Person Pose Estimation (SPPE)²⁾を用いた。SPPEは、取得したカラー画像から切り出した人物領域を入力すると、17部位の骨格座標を検出する単一人物の姿勢推定手法である。本研究で対象とする締め付け作業は、作業エリアが固定されているため、予め人物領域を設定することが可能であり、17部位中の右手首、左手首の座標を右手、左手の位置として検出した。図1に、設定した人物領域（黄枠）と、検出した上肢の部位を白線で示す。

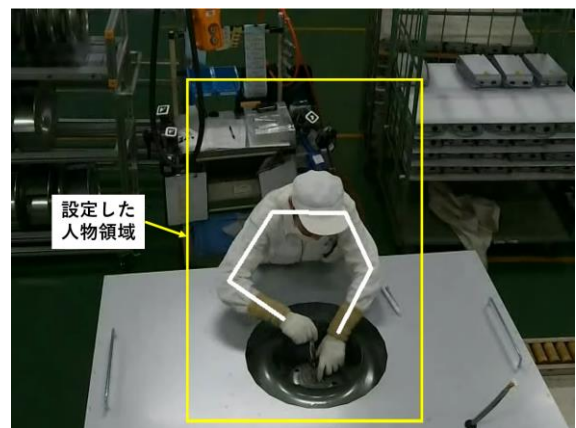
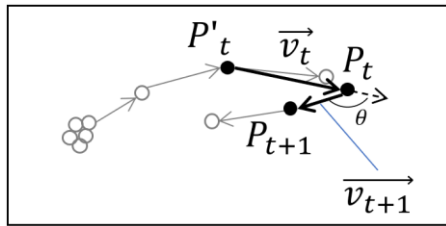


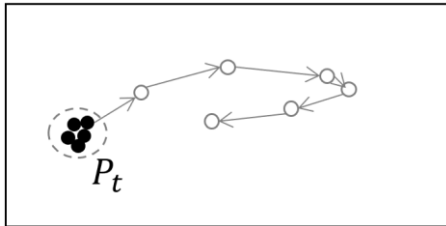
図1 締め付け作業映像に対する上肢部位推定結果

* 情報技術部

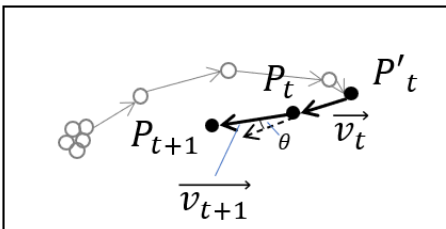
† 東プレ株式会社岐阜事業所



(a) 方向転換



(b) 滞留



(c) 遷移状態

図2 時刻 t における手の状態分類 (丸：手の時系列位置情報、黒丸：状態分類に関わる手の位置)

2.2 反復動作の検出

連続反復動作を検出するために、映像中の手の位置から始点と終点を検出する。図2及び以下に処理手順を述べる。

- (1) 時刻 t における手の位置を点 P_t 、時刻 t から時間 Δt だけ前の位置を点 $P_{t-\Delta t}$ とする。
- (2) 点 P_t と点 $P_{t-\Delta t}$ との画像上の距離が閾値 Th_d より大きくなるまで、 Δt を1から1ずつ増やし、 Th_d より大きくなるペア点を探索する。
- (3) 見つかったペア点を点 P'_t とし、その時の Δt の値を Δt_p とする。また、点 P'_t から点 P_t へのベクトルを点 P_t におけるベクトル \vec{v}_t とする。

この時、ベクトル \vec{v}_t と、時刻 $t+1$ でのベクトル \vec{v}_{t+1} とのなす角 θ が、閾値 Th_θ より大きければ、点 P_t は移動方向を転換した点として、始点または終点として検出することができる(図2(a))。また、最初の「締める」動作を開始する前には、手の位置が同じ位置に滞留する(図2(b))ことから、 Δt_p が大きくなる。そのため、閾値 Th_t より大きな Δt_p が含まれる点を始点とし、始点と終点を区別する。始点と終点が求めれば、その間の手の位置は遷移状態(図2(c))であることがわかるため、始点と終点との間を遷移している状態の手の位置を



図3 システムを配置した作業現場の様子

検出し、反復動作として設定する。

2.3 締め付け作業の判定

2.2の反復動作を「締める」と「戻す」の動作候補として動作区間を設定する。この時、 N 回以上連続して「締める」と「戻す」を繰り返した動作区間を締め付け作業として判定する。また、作業映像中に締め付け作業として判定される動作がなければ、締め付け作業忘れとして検出する。

3. 実験

締め付け作業忘れ検出処理を組み込んだシステムを試作し、実際の製品の組立工程において撮影した作業映像に対して評価実験を行った。

3.1 試作システムの概要

システムは、作業者の正面上方に設置したカメラと、締め付け作業忘れ検出処理を行うPC、処理開始信号の入力と判定結果を表示するタッチパネルディスプレイで構成した。図3にシステムを配置した作業現場の様子を示す。

作業者は、トルクレンチを手にとってから、タッチパネルディスプレイに表示されている開始ボタンをタッチし、締め付け作業を開始する。設定時間内に、連続反復動作を検出した場合、締め付け作業が行われたと判定し、連続反復動作を検出なかった場合、締め付け作業忘れが発生したと判定する。また、判定時には、その判定結果をディスプレイに表示するとともに、アラート音を出力し、作業者に知らせる。なお、締め付け作業忘れ検出処理における処理のフレームレートは30fpsであり、 $Th_d = 8$ 、 $Th_t = 15$ 、 $Th_\theta = 150\text{deg}$ 、反復動作の連続回数 N は5回として実験を行った。

3.2 実験条件

評価する作業データは、作業者が作業の開始ボタンをタッチしてから制限時間が経過するまでの映像である。開始から制限時間内に連続反復動作が検出された場合を

OK 作業、検出されなかった場合を NG 作業と判定する。実験的に制限時間は 15 秒と設定した。

評価を行った作業データは、作業者が A~D の 4 名、それぞれ、226 件、96 件、260 件、33 件であり、OK 作業データは 608 件、NG 作業データは 7 件であった。そのうち NG 作業データは、作業者 C が 5 件、作業者 D が 2 件であった。7 件の NG 作業データは、下記の 3 つに分類される。

<NG 状況 1 (1 件) >

締め付け作業に入る前にトルクレンチを落とし、拾う動作に時間がかかったため、制限時間内に締め付け作業が終了しなかった。

<NG 状況 2 (4 件) >

締め付け作業を始める前に、周囲の人に声を掛けられ、他の作業を行ったため、制限時間内に締め付け作業が終了しなかった。

<NG 状況 3 (2 件) >

対象工程での作業が初めてとなる作業者が、トルクレンチを手にとってから、締め付け作業に入る前の手締め等の作業に時間がかかり、締め付け作業が制限時間内に終了しなかった。

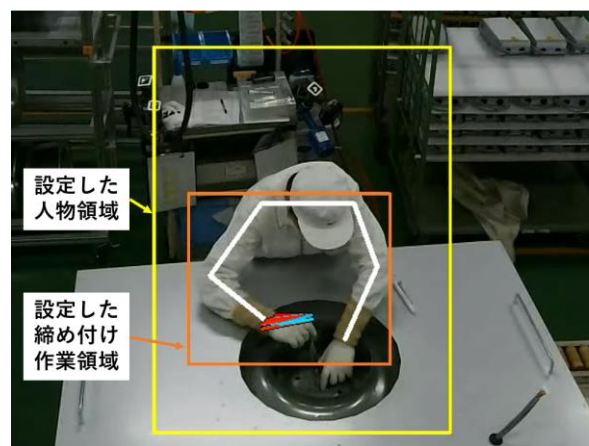
作業は一日を通して行われたため、作業映像データはその時間経過に伴う照明変化を含んでいる。作業映像の解像度は、640×480 である。

本システムで対象とする締め付け作業は、作業エリアが固定されているため、反復動作を検出する領域を設定することが可能である。図 4 (a) に、実験において設定した締め付け作業領域を橙色の枠で示す。

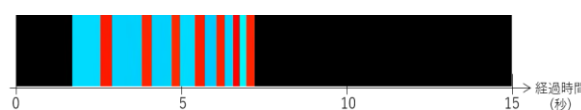
3. 3 実験結果

予め OK、NG がわかっている 615 件の作業データに対して、反復動作検出処理を行い、OK 作業か、NG 作業かを判定し、評価した結果を表 1 に示す。作業者 4 名の OK 作業データ 608 件に対して、608 件すべて正しく OK 作業と判定された。また、作業者 2 名の NG 作業データ 7 件に対しても、すべて正しく NG 作業と判定された。

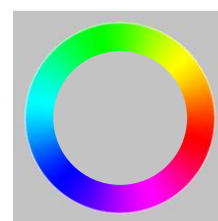
図 4 に、作業者 A の OK 作業データに対して反復動作検出処理を行った結果の例を示す。図 4 (a) の青線、



(a) 動作のベクトル検出例



(b) 反復動作の検出例



動作のベクトルの方向と色の対応

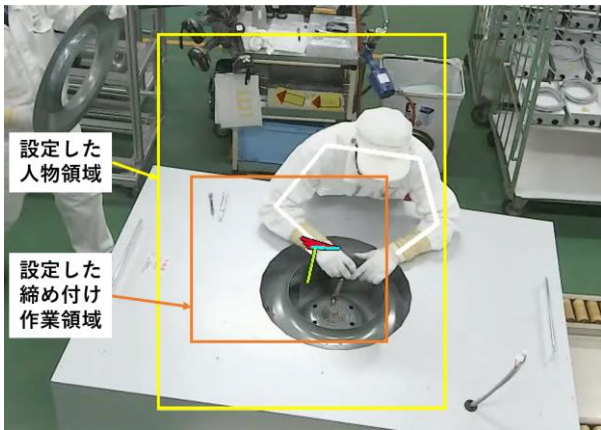
図 4 作業者 A の OK 作業データに対する反復動作の検出結果例

赤線は、動作の始点と終点を結ぶベクトルを示す。図 4 (b) は、横軸を経過時間とした動作の検出結果である。色は、動作のベクトルの方向と対応させ表示した。「締める」、「戻す」の連続した反復動作が 5 回以上検出されていることがわかる。

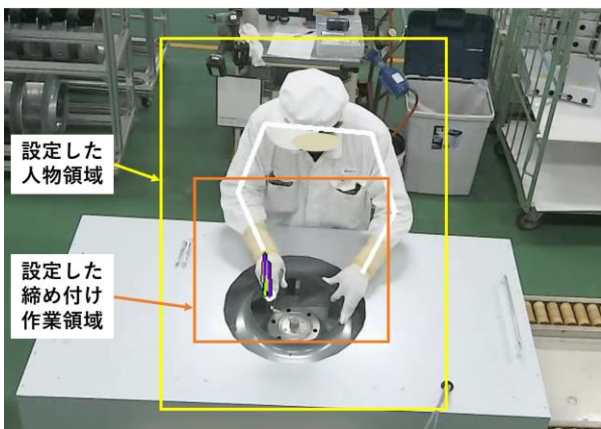
図 5 (a) に作業者 B、図 5 (b) に作業者 C の OK 作業データに対する反復動作の検出結果を示す。同様に、

表 1 締め付け作業判定処理の実験結果

入力	判定結果	作業者				合計
		A	B	C	D	
OK 作業データ	OK 作業	226	96	255	31	608
	NG 作業	0	0	0	0	0
NG 作業データ	OK 作業	0	0	0	0	0
	NG 作業	0	0	5	2	7



(a) OK 作業データ (作業者 B)



(b) OK 作業データ (作業者 C)

図5 動作のベクトル検出例

「締める」、「戻す」の連続した反復動作が5回以上検出された経過時間の検出結果を図6(a)、(b)に示す。ベクトルの方向から、反復動作を作業者Bは左右に、作業者Cは上下に行っているが、個人の締め付け方向のクセに影響を受けず正しく検出できていることがわかる。

図6(c)に、<NG状況1>のNG作業データに対する反復動作の検出結果を示す。トルクレンチを落とし拾う動作に時間がかかり、締め付け作業の開始が遅れ、制限時間内では、初めの1動作のみを検出し、反復動作は検出されなかった。

図6(d)に<NG状況2>、図5(e)に<NG状況3>のNG作業データに対する反復動作の検出結果を示す。両状況とも、制限時間以内に、締め付け作業領域内で締



(a) OK 作業データ (作業者 B)



(b) OK 作業データ (作業者 C)



(c) NG 状況1のNG作業データ (作業者 C)



(d) NG 状況2のNG作業データ (作業者 C)



(e) NG 状況3のNG作業データ (作業者 D)

図6 反復動作の検出結果例

め付け作業は行われず、動作が検出されなかった。

これらのことより、連続反復動作を検出することで、締め付け作業が行われたことを判定できることを確認した。

4. まとめ

本稿では、カメラ映像を用いて、作業者の手の動きを分析することで、トルクレンチによる締め付け作業忘れを検出するシステムの試作を行った。単一人物の姿勢推定手法を用いて検出した手の時系列位置情報から、連続反復動作を検出し、締め付け作業が行われたか否かを判定した。実際の製造現場における作業映像に対して実験を行い、「締め付け作業忘れ」の作業ミスを検出できることを確認した。

今後は、長期間の評価実験を行いシステムの安定性を検証する。また、動作分割結果の情報から、作業者のクセ等の動作の分析を試みる予定である。

【参考文献】

- 1) 平野裕之, 品質保証と自動化, 日刊工業新聞社, 2001
- 2) Newell et al., Proc of ECCV, pp. 483-499, 2016.