

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2報）

—両手検出技術を用いた作業ミス検出技術の開発—
松原 早苗*、渡辺 博己*、生駒 晃大*

Research of image sensing technology for visualization of quality (II)
- Development of operation mistake detection system for assembly work using hands detector -
MATSUBARA Sanae*, WATANABE Hiroki* and IKOMA Akihiro*

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、作業者の動作を分析することで、作業時間の計測や作業ミスの検出を行う技術を有するシステムの実現を目指し、研究を進めている。今年度は、組立セルにおける両手作業の品質向上を支援するため、カラー画像カメラの作業映像から両手を検出し、その位置情報を基に作業忘れ等の作業ミスを検出する技術を開発したので報告する。

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、生産性の維持、向上が大きな課題となっている。

この課題の解決のために、製造現場では、作業カイゼンの取り組みが行われている。作業カイゼンの手法の一つとして、インダストリアル・エンジニアリング (IE) と呼ばれる作業者の動作を工学的に分析する手法が広く用いられている¹⁾。しかし、最も基礎的で重要なデータである作業者の動作時間の計測は、ストップウォッチやビデオ映像を用いた手作業で行っており、この作業に膨大な時間と手間を要することが課題となっている²⁾。

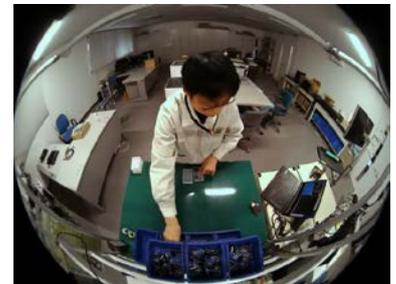
また、「部品を取り付け忘れる」、「締め付け忘れる」といった作業抜け等のミスにより品質や生産性が低下する課題がある。このようなミスを、すぐに検出するためには、あらゆる作業の後に逐次検査を行う必要があり、その負担は大きい。

そこで、本研究では、製造現場における作業映像を用いて作業者の動作を分析し、作業時間の計測、作業ミスの検出を行う技術の開発を目指す。昨年度は、カラー画像カメラを用いて取得した作業映像から、両手の位置を検出し、その位置情報を基に作業の動作時間を測定するシステムの開発を行った³⁾。今年度は、両手位置検出手法の改良を検討し、作業忘れ等の作業ミスを検出する技術を開発したので報告する。

2. 両手の位置検出

本稿にて想定する組立セルの作業環境を図1 (a) に示す。カメラは、作業者から見て正面上部に設置し、作業台上面と作業者の上半身が入る広画角のカメラを用いた。取得した画像例を図1 (b) に示す。

本稿では、作業時の両手の位置を検出する手法として PoseNet⁴⁾を用いる。PoseNet は、人物のカラー画像を入力すると、17 部位の座標を検出する機械学習を用いた



(a) 組立セル

(b) 取得画像例

図1 作業環境と取得画像例

姿勢推定手法である。本稿では、17 部位の中の右手首、左手首の座標を右手、左手の位置として用いる。

図2 (a) に示す人物のカラー画像に対して、PoseNet により姿勢推定を行った結果を図2 (b) に示す。また、図2 (c) に、PoseNet を用いて姿勢推定を行う過程で算出する 17 部位の確信度を表すヒートマップを示す。

PoseNet は、ヒートマップに加え、右肘と右肩のように部位間の連結関係を用いて姿勢推定を行う。そのため、姿勢推定により検出される右手首、左手首の座標は、肩や肘等の他部位の隠れに影響を受けることが考えられる。そこで、手の位置として、手首のヒートマップのピーク座標を検出する方法を検討する。

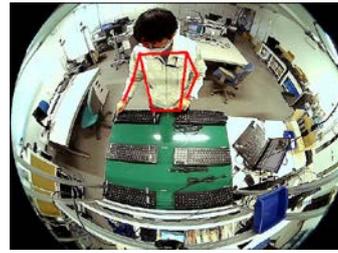
図3 (a) に、作業台上の特定の位置を押下する姿勢を撮影した画像を示す。この姿勢を 100 回撮影し、検出した右手、左手、左肩の位置をプロットした結果を図3 (b) に示す。なお、図3 (b) 中の十字で示す点が PoseNet の姿勢推定により検出 (以下、方法1) した位置を示し、丸で示す点が姿勢推定処理中に生成されるヒートマップから検出 (以下、方法2) した位置を示す。

図3 (b) の左肩、左手の位置は、方法1、2ともに、ほぼ一箇所に集中していることから、同じ姿勢であることが分かる。しかし、右手の位置は、方法2は一箇所に集中しているのに対して、方法1は広く分布している。

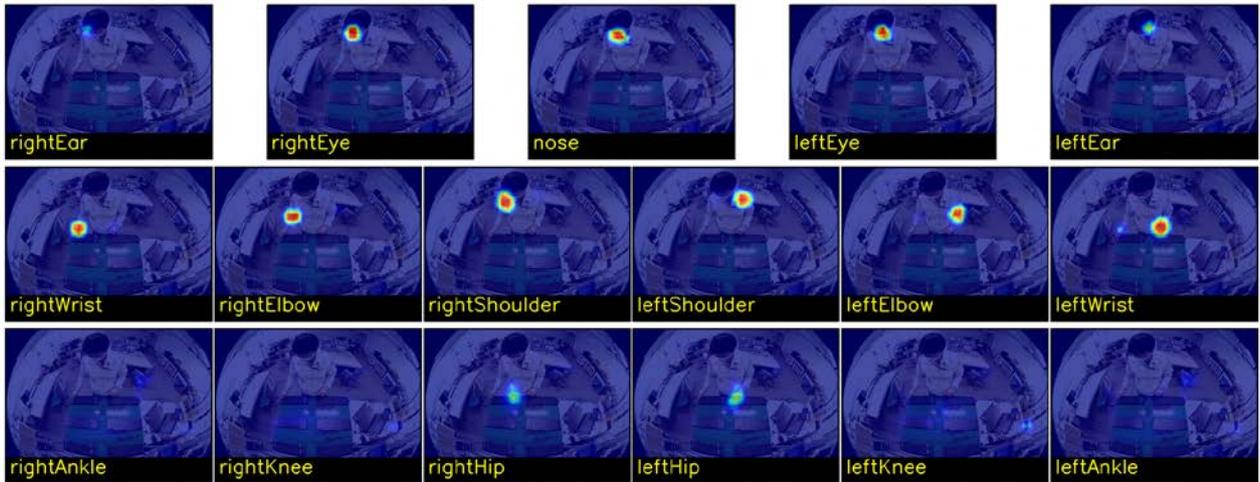
* 情報技術部



(a) 入力画像



(b) PoseNetによる姿勢推定の結果

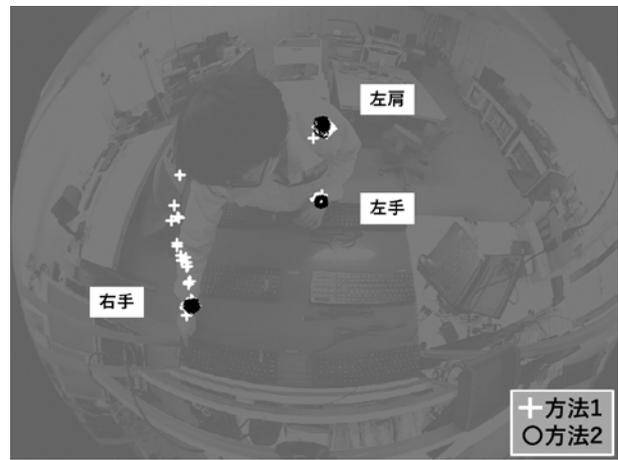


(c) 17部位の確信度を表すヒートマップ

図2 PoseNetによる姿勢推定



(a) 取得画像



(b) 右手、左手、左肩の位置検出結果

図3 位置検出結果

これらのことから、方法1で検出した手の位置は、セルフオクルージョンの影響を受けることが推測される。そのため、本稿では、方法2により検出した手の位置を使用する。

3. 作業ミス検出

作業ミス検出は、昨年度開発した作業動作時間計測システムにおける通過エリア判定処理³⁾を活用し、作業終

了時に、あらかじめ決められたすべての通過判定エリアを通過していない場合を作業ミスとして検出することにした。

通過エリア判定処理は、左右の手に対して、独立に動作するため、一方の手の判定処理が終了しているにも関わらず、他方の手の処理が一定時間経過しても終了していない場合、作業ミスが発生したとして処理することが可能である。

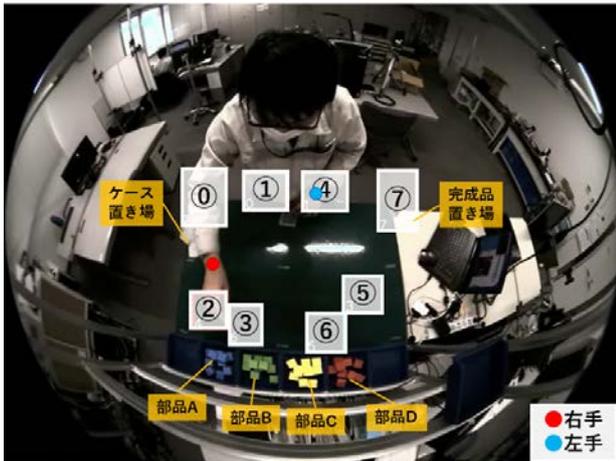


図4 両手の検出結果と通過判定エリア

4. 実験

本稿では、ケースに4種類の部品を順に入れる作業の映像に対して、作業ミス検出方法を検証する実験を行った。作業映像の解像度は640×480、フレームレートは30fpsである。

実験における作業手順、各作業に対応した左右の手の動作及び各動作の開始、終了通過エリアを表1に示す。

また、画像における通過判定エリアの位置を図4に示す。図5は正しい作業手順で行われた場合の検出結果である。図5に示すように、正しく作業が行われた場合、右手の通過エリアは、①→②→③→①の順に検出され、左手は④→⑤→④→⑥→④→⑦の順に検出される。

本実験では、以下の2種類の作業手順における作業ミスの検出を試みた。

<作業手順1> W4が抜けた場合

W1→W2→W3→W5→W6

<作業手順2> W3,W5が入れ替った場合

W1→W2→W5→W4→W3→W6

なお、作業ミスの検出処理は、①を通過した時から作業映像再生終了までを1回のサイクルタイムとして実行した。

図6は作業手順1、図7は作業手順2で行われた場合の検出結果である。図6より、手順W4が抜けたことにより、右手の通過エリア判定処理が完了しているにもかかわらず、左手の処理が2回目の④検出以降、中断していることが分かる。また、図7より、手順W5とW3が入れ替わったことにより、左手の通過エリア判定処理が完了しているにもかかわらず、右手の処理が2回目の①検出以降、中断していることが分かる。これは、実際には①→②→③→①→②→①の順に通過しているが、作業ミス検出処理では、①→②→③→①の正しい順

表1 作業手順、各作業に対応した左右の手の動作及び各動作の開始・終了通過エリア

作業手順		左手		右手	
		動作	通過エリア	動作	通過エリア
W1	右手でケースを作業台中央へ置く	/		ケース置き場から ケースを作業台へ運ぶ	① ②
W2	左手で部品Dをケースに入れる			部品Dへ移動	④ ⑤
		部品Dをケースへ運ぶ	⑤ ④		
W3	右手で部品Aをケースに入れる	/		部品Aへ移動	① ②
				部品Aをケースへ運ぶ	② ①
W4	左手で部品Cをケースに入れる	部品Cへ移動	④ ⑥	/	
		部品Cをケースへ運ぶ	⑥ ④		
W5	右手で部品Bをケースに入れる	/		部品Bへ移動	① ③
				部品Bをケースへ運ぶ	③ ①
W6	左手でケースを完成品置き場へ置く	ケースを完成品置き場へ移動	④ ⑦	/	

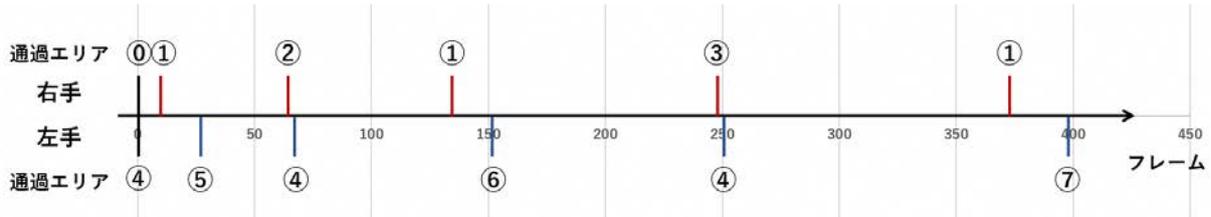


図5 正しい作業手順のエリアの検出結果

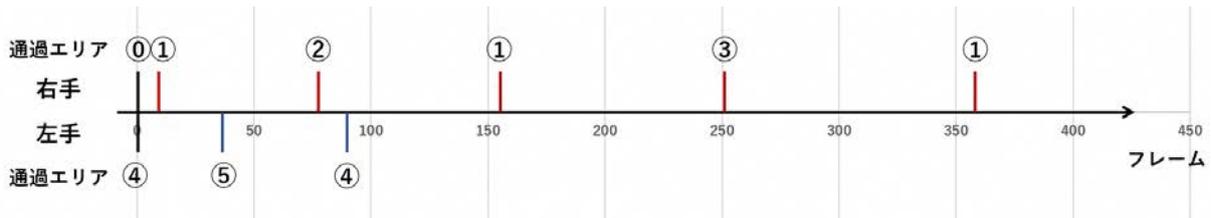


図6 作業手順1のエリア検出結果

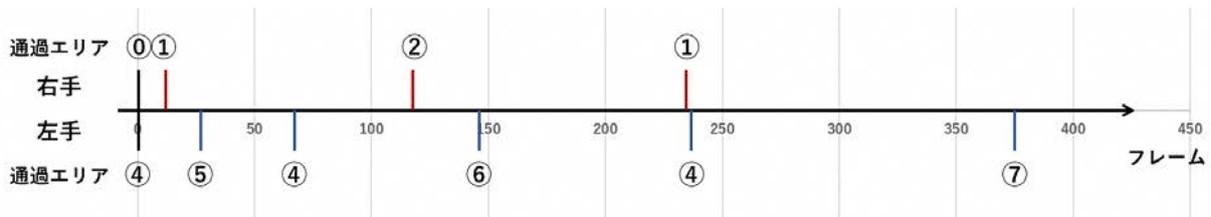


図7 作業手順2のエリア検出結果

に通過エリア判定処理を行っており、②以前に通過した③→①は検出されないためである。

これらのことにより、本方法で作業の抜けや入れ替わり等の作業ミスの検出が可能であることを示した。

5. まとめ

本稿では、組立セルにおける両手作業の品質向上を支援するため、カメラを用いて両手の位置を検出し、作業の作業ミスを検出する手法を開発した。まず、両手の位置検出方法として、PoseNetの姿勢推定結果の両手位置をそのまま用いるのではなく、姿勢推定処理過程において得られる両手のヒートマップから位置を検出することで、セルフオクルージョンの発生による検出ミスの軽減手法を検討した。そして、右手、左手それぞれに対して、動作の順に手が通過するエリアを画像上で設定し、作業の開始から、手が順序通りエリアを通過することを判定することで、作業終了時に通過していないエリアが存在する場合、作業忘れ等の作業ミスとして検出する手法を開発した。

今後は、製造現場での作業映像に対して手法の評価実験を行い、その有効性を検証する。

【謝辞】

本研究の一部は、一般財団法人越山科学技術振興財団の研究補助金により実施しました。ここに深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 藤田彰久, IEの基礎, 建帛社, 1997
- 2) 平野裕之, 新作業研究, 日刊工業新聞社, 2001
- 3) 松原ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告, No.1, pp.85-86, 2020
- 4) Papandreou et al., Proc of ECCV, pp.269-286, 2018