

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3報)

—組立セル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[†]、佐伯貴之[†]、阿部佳和[†]

Research of image sensing technology for visualization of quality (Ⅲ)

- Development of operation mistake detection system on assembly cell -

MATSUBARA Sanae^{*}, WATANABE Hiroki^{*}, IKOMA Akihiro^{*},
HAMADA Tadayoshi[†], IKUTA Kenji[†], SAEKI Takayuki[†] and ABE Yoshikazu[†]

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。これまで、作業映像から作業者の両手の位置を検出し、その位置情報を基に作業時間を自動計測する手法や、作業忘れ等の作業ミスを検出する手法を提案した。本年度は、提案手法を空調機器の組立工程に適用し、「組み付け忘れ」の作業ミスを検出するシステムを開発した。そして、その有効性を検証するため、実際の作業映像に対して評価実験を行ったので報告する。

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向上、生産性の維持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、「部品の取り付け忘れ」、「締め付け忘れ」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、すぐに検知するためには、あらゆる作業の後に逐次検査を行う必要があるが、検査員の確保やコストの面から、現実的ではない。

そこで、本研究では、製造現場における作業映像から作業者の動作をリアルタイムに分析し、作業時間の計測、作業ミスの検知を行う技術の開発に取り組んでいる。これまでに、組立セルを見立てた実験環境下での作業を対象として、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自動計測する手法³⁾と、作業忘れ等の作業ミスを検出する手法⁴⁾を提案した。

組立セルでは、部品箱や工具の配置が決められており、固定カメラで取得した画像中の位置と部品箱や工具の種類が対応するため、画像中の作業者の両手の位置が作業内容と深く関係する。そこで、提案手法では、画像中の

両手の位置が大きく変化する「部品へ手を伸ばす」、「ドライバをワークに運ぶ」等の移動動作に注目し、手が手順通り移動するか否かを判定することで、作業ミスを検出することとした。

今年度は、提案手法を実際の空調機器の組立工程に適用し、「組み付け忘れ」の作業ミスを検出するシステムを開発した。そして、現場において撮影した作業映像に対して評価実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 作業ミス検出システム

2.1 システムの概要

対象とする組立工程の作業手順、各作業に対応した手の移動動作を表1に示す。表1は作業順序を示すため、個々の作業終了後に次の作業が開始するように表しているが、実際には、右手の作業中に、左手の作業を開始する場合もある。この工程は、工具を使用せず、ワークへ複数の部品を順に重ねて組み付けていく作業からなる。このような場合、先に組み付けられる部品は、後に組み付けられる部品で重なり隠れてしまうため、工程の終了後に部品の取り付け有無を目視で確認することができない。そこで、提案手法を適用し、作業者の手が手順通りに移動したか否かを判定することで、「組み付け忘れ」の作業ミスを検出する。

システムは、図1に示すように、作業台、部品箱と作業者の上半身が撮影可能な位置、角度に設置した広角カメラと、作業ミス検出処理を行うPC、結果を表示するディスプレイで構成されている。

2.2 両手位置の検出

本システムでは、作業映像中の両手の位置を検出する手法としてCNNベースのSingle Person Pose Estimation (SPPE)⁵⁾を用いる。この手法は、取得したカラー画像か

^{*} 情報技術部

[†] 東プレ株式会社岐阜事業所



図1 提案システムの構成

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。本システムでは、組立セルにおける一人作業を対象としており、移動を伴わないため、予め人物領域を設定することができる。ここでは、17 部位中の右手首、左手首の座標を右手、左手の位置として用いる。以降、右手首を右手、左手首を左手と呼ぶ。図2に、設定した人物領域に対して、姿勢推定を行い、両手を検出した結果を示す。右手を●印（②枠内）、左手を▲印（①枠内）で、人物領域を点線の枠で示す。

2. 3 作業ミスの検出

作業ミスを検出するために、評価対象となる手の移動動作の始点、または終点を含むように、取得画像上でエリアを配置し、通過順序を設定する。作業開始から、設

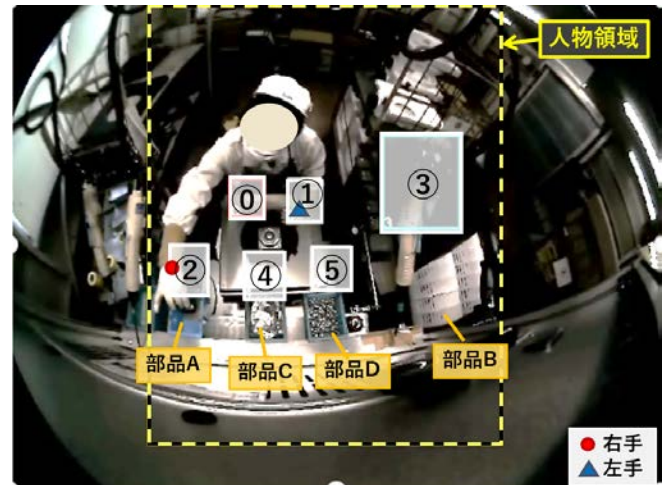


図2 両手の検出結果と通過エリア

定された通過順序で、手の通過を検出し、作業終了時にすべてのエリアを通過した場合を正しい作業（以降、OK 作業と呼ぶ）、通過していないエリアがある場合を作業ミスを含む作業（以降、NG 作業と呼ぶ）と判定することで作業ミスを検出する。本システムでは、この処理を左右の手に対して、独立して動作させる。本システムで設定したエリアの配置を図2に、順序を表1に示す。2つ目の動作以降は、前動作の終点エリアと次動作の始点エリアが同じとなるため、一つのエリアの通過として検出する。

3. 実験

本稿では、開発した作業ミス検出システムの評価実験を、実際の空調機器の組立工程において撮影した作業映像に対して行った。

表1 作業手順、動作及び対応する通過エリア（通過エリアは図2参照）

作業手順		左手		右手	
		動作	通過エリア	動作	通過エリア
W1	右手で部品Aを組み付ける			部品Aへ移動する	②
				部品Aをワークへ運ぶ	② ①
W2	左手で部品Bを組み付ける	部品Bへ移動する	③		
		部品Bをワークへ運ぶ	③ ①		
W3	右手で部品Cを組み付ける			部品Cへ移動する	① ④
				部品Cをワークへ運ぶ	④ ①
W4	左手で部品Dを組み付ける	部品Dへ移動する	① ⑤		
		部品Dをワークへ運ぶ	⑤ ①		

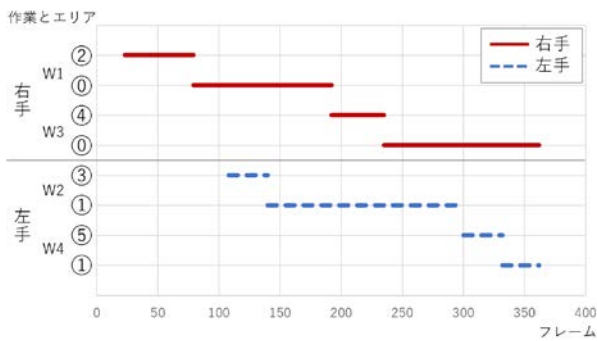


図3 OK作業データに対する
通過エリアの検出結果例

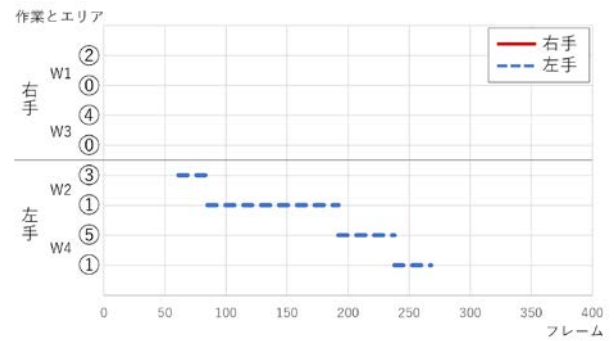


図4 NGシナリオ1のNG作業データに対する
通過エリアの検出結果例

3. 1 実験条件

OK作業のデータ300件、NG作業のデータ6件の合計306件に対して評価を行った。作業者は2名であり、それぞれの作業データ数は209件、97件である。これらの作業は、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、フレームレートは30fpsである。

撮影時において実際の作業でNG作業は存在しなかった。そこで、本システムの有効性を検証するため、以下の2種類のシナリオのNG作業を故意に計6件作成し、それをNG作業データとした。

<OK作業>

W1→W2→W3→W4

<NGシナリオ1>W1が抜けた場合

W2→W3→W4

<NGシナリオ2>W3が抜けた場合

W1→W2→W4

3. 2 実験結果

予めOK、NGがわかっている306件の作業データに対して、作業ミス検出処理を行い、OK作業か、NG作業かを判定し、評価した結果を表2に示す。OK作業データ300件に対して、287件がOK作業と正しく判定され、正解率は95.7%であった。2名の作業者別の正解率は、それぞれ、95.1%、96.8%であり、作業者の個人差による影響は見られなかった。

図3に、OK作業データに対する通過エリアの検出結果例を示す。図3に示すように、OK作業の場合、右手の通過エリアは、②→①→④→①の順に、左手は、③→①→⑤→①の順に、共に正しい順序で検出されている。

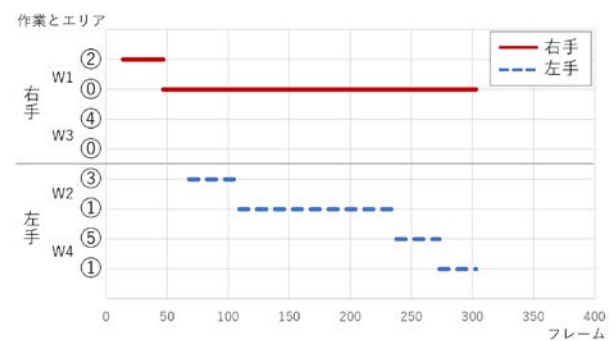


図5 NGシナリオ2のNG作業データに対する
通過エリアの検出結果例

ることがわかる。

図4に、<NGシナリオ1>のNG作業データに対する通過エリアの検出結果例を示す。図4より、左手は③→①→⑤→①の順に通過エリアの検出が完了しているのにも関わらず、右手は通過エリアの検出がされていないことがわかる。これは、実際には、W1が抜けたことで右手は②→①→④→①の順にエリアを通過しているが、本システムは、②の通過を検出後に、①→④→①と順に検出するため、初めの②が検出されず、結果として右手の移動については一切検出されない結果となった。

図5に、<NGシナリオ2>のNG作業データに対する通過エリアの検出結果例を示す。左手は③→①→⑤→①の順に検出が完了しているが、W3が抜けたことにより、右手は②→①の検出以降、通過エリアが検出されていない。

これらのことにより、作業終了時に、通過していないエリアがある場合を、「組み付け忘れ」等の作業の抜けのミスとして検出可能であることがわかる。また、手がエリアを通過した時刻から次のエリアを通過するまでの時間を動作時間として計測することが可能である。

3. 3 誤判定の検証

作業ミス検出システムでは、作業ミスを含むNG作業

表2 実験結果

			判定結果	
			OK作業	NG作業
入 力	OK作業データ	300	287	13
	NG作業データ	6	0	6

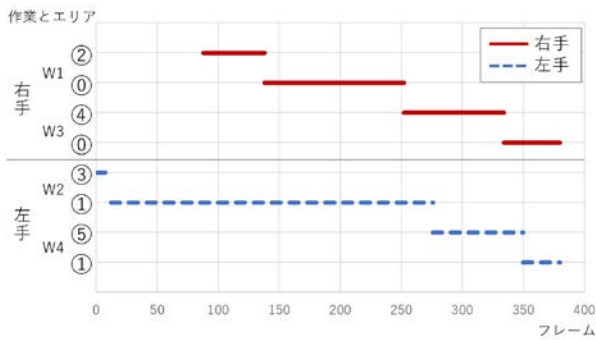


図6 W1とW2の順序が入れ替わった場合の作業データに対する通過エリアの検出結果例

が誤ってOK作業と判定され、不良が流れることは許されない。ここでは、NG作業データ6件はすべてNG作業と正しく判定され、未検出率は0%であった。

次に、OK作業データがNG作業と誤判定される過検出については少ないことが望まれるが、ここでは、OK作業データ300件に対して13件がNG作業と誤判定され、過検出率は4.3%であった。

過検出13件の原因について、10件は、手が工具やディスプレイに重なり隠れることで、通過を検出できなかった場合であった。これについては、作業環境を整備することで対応することができた。残りの3件は、部品箱へ手が移動する動作の際、実際には手を伸ばして部品を取っているが、検出された手の位置が設定したエリアからわずかに外れ、通過が検出されなかったためであった。これについては、エリアの配置やサイズを調整することで対応することができた。これにより、今回過検出された原因については、作業環境の整備と現場でのエリアの調整で対応可能であり、過検出を0件とできることを確認した。

3.4 両手順序評価について

本システムは、左手の作業はW2→W4、右手の作業

はW1→W3と、左右個々の手の作業ミスを検出する。しかしながら、利用者から、作業者がW1→W2→W3→W4と順に行うところをW2→W1→W3→W4と、左右個々の作業手順は正しいとしても、両手全体としては間違った手順で実施した場合も、作業ミスとして検出したいという要望があった。W2→W1→W3→W4の場合の作業データに対して、通過エリアを検出した結果例を図6に示す。右手は、②→①→④→③の順に、左手は③→①→⑤→①の順にすべてのエリアの通過が検出され、現システムは、OK作業と判定される。

今後、「両手全体の作業順序の間違い」による作業ミスも検出できるように、両手全体の作業順序を評価する処理方法を検討する。

4. まとめ

本稿では、組立セルに設置したカメラを用いて、作業者の手が特定の領域を通過する順序を評価することにより、作業ミスを検出するシステムを開発した。単一人物の姿勢推定手法を用いて、両手の位置を検出し、予め設定した順序でエリアの通過を検出することで、作業終了時に通過していないエリアが存在する場合、作業ミスを含む作業と判定し、作業ミスを検出した。実際の製造現場における作業映像に対して実験を行い、「組み付け忘れ」の作業ミスを検出できることを確認した。

今後は、「作業順序間違い」の作業ミス検出方法について検討する。また、製造現場において長期間の評価実験を行い、提案手法の安定性を検証する予定である。

【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) 松原ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告, No.2, pp.95-98, 2021
- 5) Newell et al., Proc of ECCV, pp. 483-499, 2016.