

AI を用いたカメラ映像解析による作業支援技術に関する研究（第1報）

— 熟練・非熟練作業者の視線と手の動作の比較 —

松原早苗*、前田紗良*、浜田忠美†、生田健治†

Study on a work support system using AI-based image analysis (I)
- Comparison of eye and hand movements of skilled and unskilled workers -
MATSUBARA Sanae*, MAEDA Sara*, HAMADA Tadayoshi† and IKUTA Kenji†

製造現場の作業者の動作を AI で分析し、作業を支援する技術の開発を行っている。その一環として、シロッコファンの組立工程における熟練作業者と非熟練作業者の作業特性を明確にするため、ウェアラブルアイトラッカーを用いて視線データや映像データを取得し、視線と手の動作を比較した。その結果、熟練作業者は視線や手を効率的に移動させ作業を進めているのに対し、非熟練作業者は視線の移動範囲が広く、手の動きに無駄が多い傾向が見られた。また、作業特性の把握や熟練度の違いを明確にするには、視線と手のデータを同時に取得し、統合して評価することが有効であることがわかった。

1 はじめに

近年、製造業の現場では、熟練作業者の高齢化や人材不足が深刻化しており、高度な技能の効率的な継承が重要な課題となっている¹⁾。これらの技能は、経験や直感に基づく暗黙知であり、明確な手順として言語化し、体系的に共有することが難しい。そのため、熟練作業者の持つ優れた技能を具体的なデータとして記録し、それを分かりやすく後継者に伝えるシステムの開発が必要とされている²⁾。このような背景から、熟練作業者の技能を客観的に分析する方法として視線計測技術³⁾が活用されており、視線の動きを分析する研究⁴⁾⁵⁾や、視線と手の動作の関係性を分析する研究⁶⁾が進められている。

本研究では、製造現場における作業者の動作を、AIを活用して分析し、作業を支援する技術の開発を目指している。その一環として、本稿では、手で組み立てる作業の技能継承の効率化を目的に、熟練作業者と非熟練作業者の視線と手の動作を計測し、比較分析を行った。

具体的には、ウェアラブルアイトラッカーを用いて熟練作業者・非熟練作業者の視線データを取得し、シーンカメラ映像を基に視線と手の動作パターンを観察することで、両者の違いを評価した。

2 対象作業

2.1 対象作業の概要

本稿の対象は、シロッコファン組立工程である。シロッコファンは円筒状に配置した羽根板で構成され、空調機器や換気システムに広く用いられる。組立工程は、まず、材料置き場から羽根板を取り出し、専用の機械で成形する。次に、作業者が成形した羽根板を両



図1 対象作業の様子

手で持ち、円筒状に丸める。丸めた羽根板を上下の円形フレームに手作業ではめ込む。その後、組み立てた部品を機械で加締め、最後に目視検査を行い、完成品を梱包する。本稿では、特に熟練度が問われる「羽根板のフレームへのはめ込み作業」を評価対象とした。対象作業の様子を図1に示す。

2.2 被験者および対象作業の動作と順序

被験者は、対象作業を常時担当している熟練作業者1名と、通常は他工程を担当し、対象作業経験が限られる非熟練作業者1名の計2名とした。対象作業を構成する動作とその順序は以下のとおりである。

- (1) 円筒状に丸めた羽根板のつなぎ目を作業台に置かれた上フレームにはめ込む
- (2) 羽根板全体を上フレームに軽くはめる
- (3) 作業者自身と羽根板のつなぎ目を結んだ軸を中心に羽根板を上下に回転させる
- (4) 羽根板全体を作業台に置かれた下フレームに軽くはめる
- (5) 羽根板のつなぎ目を下フレームにはめ込む

動作(2)では、作業者が羽根板を円筒状に丸める際のわずかなズレや、羽根板の形状の個体差が影響し、円形のフレームにはめ込む際に収まりにくいことがある。

* 情報技術部

† 東プレ株式会社岐阜事業所

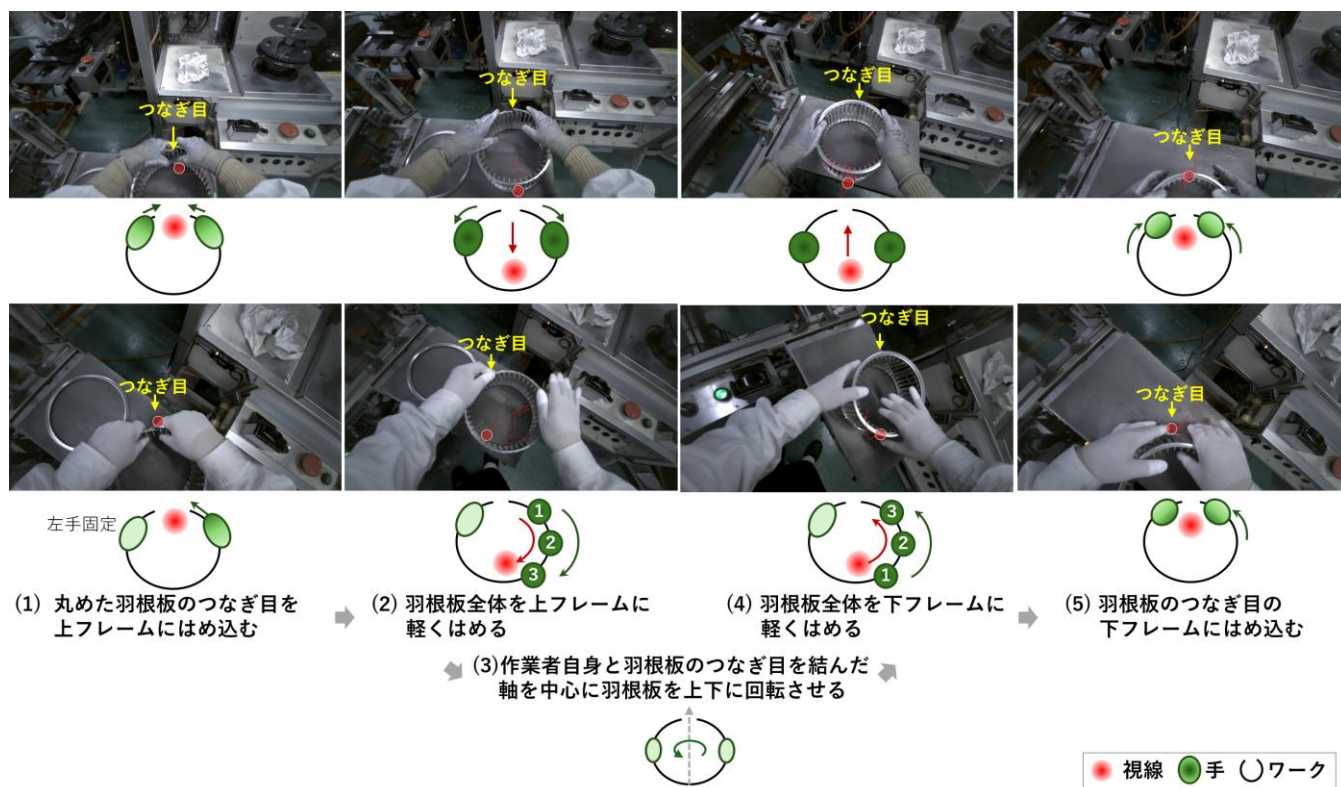


図2 手と視線の動きの比較結果 (上段：熟練作業、下段：非熟練作業)

そのため、羽根板の形状に応じてフレームへの調整が必要になる場合がある。

3 データの取得

データの取得には、眼鏡型アイトラッカー(Tobii 社製 Pro Glasses 3)を使用した。この装置では、作業者の視線方向や注視点等の視線データや、シーンカメラ映像データを取得することができる。なお、視線データは 100Hz のサンプリングレートで、シーンカメラ映像データは解像度 1920×1080 ピクセル、25Hz で記録した。

データは、実際のシロッコファン組立工程の現場で取得した。

4 熟練作業者と非熟練作業者の作業比較

4.1 動作の比較結果

熟練作業者と非熟練作業者の作業特性を比較するため、視線位置を赤丸で重ねたシーンカメラ映像を用いて比較評価を行った。まず、2.2 節で示した動作(1)から(5)に手動で分割し、各動作における手の動きの目的や左右の手の協調性、手と視線の動きの関係について観察した。その結果を図2に示す。本節では、動作(2)は、羽根板の形状調整が不要な場合に対して比較した。調整が必要な場合は調整方法が作業毎に異なり、一貫した比較が難しいためである。

動作(1)では、熟練作業者は丸めた羽根板のつなぎ目を両手で同時に上フレームにはめ込んだ。一方、非熟

練作業者は、まず左手で羽根板の左端を上フレームにはめ込み、次に右手で右端をはめ込んでつなぎ目を調整した。どちらの作業者も、はめ込む箇所を注視していた。

動作(2)では、熟練作業者は両手をつなぎ目から羽根板の左右に移動させ、両手で1~2回押し、上フレームへはめた。一方、非熟練作業者は左手でつなぎ目を固定し、右手をつなぎ目から反対側に向かって時計回りに動かしながら、3~4箇所まで押し、はめた。視線の動きについて、熟練作業者は手の移動と同時につなぎ目から反対側へまっすぐ視線を移し、はめ終わるまで留めていた。これに対し、非熟練作業者は視線をつなぎ目から反対側へフレームに沿いながら右手を先導するように動いていた。

動作(3)では、どちらの作業者も自身と羽根板のつなぎ目を結んだ軸を中心に回転させ、上下面を反転させた後、下フレームに位置を合わせて配置した。視線は、どちらの作業者も下フレームの手前を注視し、羽根板の位置を調整していた。

動作(4)では、熟練作業者は両手を羽根板の左右に移動させ、両手で押しながら、下フレームにはめた。一方、非熟練作業者は左手で羽根板の左を固定し、右手をつなぎ目の反対側からつなぎ目まで反時計回りに動かしながら、3~4箇所順に押し、はめた。視線の動きについて、熟練作業者は下フレームの手前をはめ終わるまで注視し、その後つなぎ目へまっすぐに移動さ

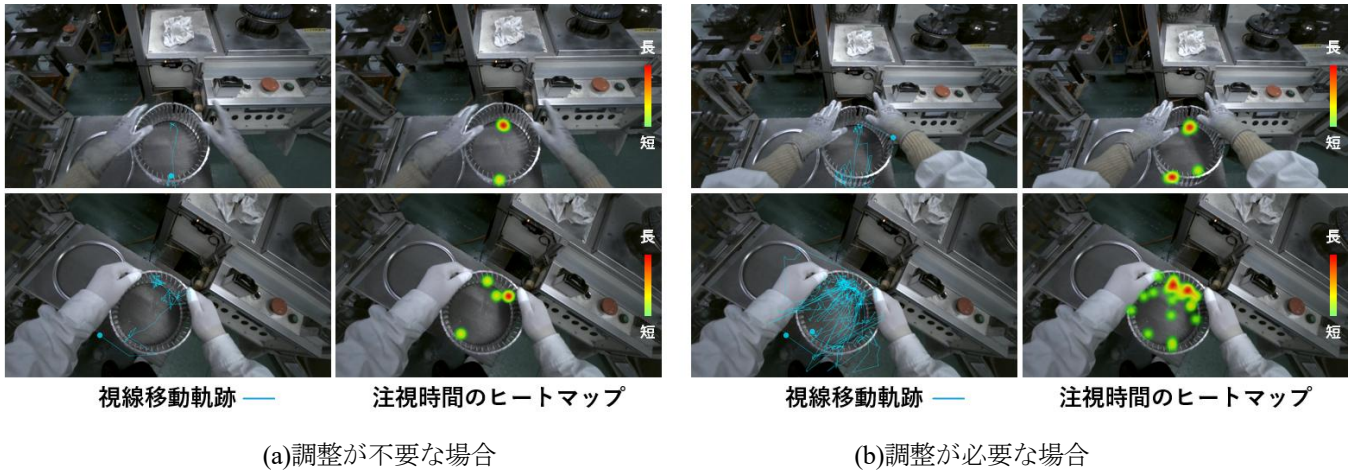


図3 視線データの比較結果 (上段：熟練作業、下段：非熟練作業)

せた。これに対し、非熟練作業者は視線をつなぎ目の反対側からつなぎ目までフレームに沿いながら右手を先導するように動いていた。

動作(5)では、熟練作業も非熟練作業もつなぎ目付近に両手を動かし、同時に下フレームにはめ込んだ。視線は、どちらの作業もはめ込む部位を注視していた。

全体として、熟練作業者はほぼすべての動作において両手を左右対称に同時に使用し、効率的に作業を進めていた。一方、非熟練作業者は左手でワークを固定し、右手を用いてフレームに沿って作業を行っていた。視線の動きについては、次節で詳しく述べる。

4.2 視線データの比較結果

視線データの評価の目的は、作業者の視線がどのような経路をたどり、どの部位に注目しているのかを明らかにすることで、熟練作業者と非熟練作業者の視線の動き方を比較するためである。そこで、シーンカメラ画像に視線移動軌跡を重ねることで、作業中の視線の流れを評価した。また、特定の部位への注視時間をヒートマップとして表現し、作業者が特に注目した箇所を評価した。

動作(2)では、作業者が羽根板を円筒状に丸める際のわずかなズレや、羽根板の個体差が影響し、丸めた羽根板の形状にばらつきが生じる。そのため、羽根板の形状をフレームに合わせる調整が必要な場合と不要な場合がある。これらの違いについて視線データを用いて比較した結果を図3に示す。

調整が不要な場合、図3(a)右の注視時間のヒートマップを見ると、熟練作業者の視線はつなぎ目とその反対側の2箇所集中している。一方、非熟練作業者の視線はつなぎ目を中心に、つなぎ目から時計回りに2箇所、つなぎ目の反対側の計4箇所に広がっている。また、図3(a)左の視線移動軌跡を見ると、熟練作業者はつなぎ目から直線的に反対側へ視線を移動させてい

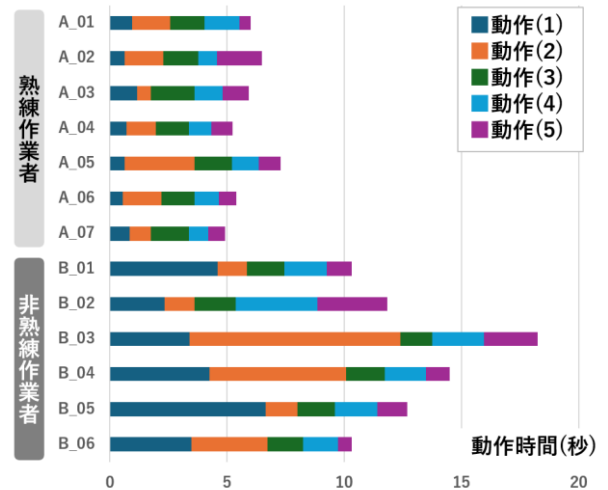


図4 動作時間の比較結果

るが、非熟練作業者はつなぎ目から時計回りに視線を移動させた後、つなぎ目の反対側へと移動している。

非熟練作業者は左手でつなぎ目を固定し、右手を時計回りに動かしながら作業を進めるため、視線もそれに伴い複数の箇所を移動していると推測される。

調整が必要な場合、図3(b)右のヒートマップを見ると、熟練作業者の視線は調整が不要な場合と同様に、つなぎ目とその反対側の3箇所に集中している。一方、非熟練作業者の視線はつなぎ目を中心に、フレーム全体に広がっている。また、図3(b)左の視線移動軌跡では、熟練作業者はつなぎ目とその反対側を直線的に行き来しているが、非熟練作業者はつなぎ目を起点にフレーム全体を広い範囲に視線が移動していることがわかる。

4.3 動作時間の比較結果

対象作業のシーンカメラ映像を動作(1)から(5)に手動で分割し、各動作の所要時間を算出した。このデータを用いて、熟練作業者と非熟練作業者の作業の時間を

比較し、その違いを評価した。

対象とした作業映像は、熟練作業員 7 件、非熟練作業員 6 件であり、それぞれの動作時間を算出した結果を図 4 に示す。比較の結果、熟練作業員は非熟練作業員より全体の作業時間が短く、ばらつきも小さいことが確認された。

また、動作(2)においては、熟練作業員・非熟練作業員ともに他の動作と比べて時間のばらつきが大きかった。

4.4 考察

比較の結果、熟練作業員と非熟練作業員の動作や視線の違いが確認された。

熟練作業員は、両手を左右対称に同時に動かすことで、作業の効率を高めていると推測される。一方、非熟練作業員は左手でつなぎ目を固定し、右手で順にはめるため、作業効率が低下すると考えられる。

視線に関して、熟練作業員の視線は、両手を左右対称に動かして羽根板をはめることで、調整が必要な箇所がつなぎ目の反対側に発生しやすくなり、効率的に特定できている可能性がある。一方、非熟練作業員は調整箇所の特定が難しく、フレーム全体を広範囲に探索する必要があるため、結果として移動量が多くなると考えられる。

また、動作(2)においては、熟練作業員・非熟練作業員ともに他の動作と比べて時間のばらつきが大きかった。この要因として、丸めた羽根板の形状にばらつきがあり、フレームにはめ込む際にスムーズに収まらないことが考えられる。特に、非熟練作業員は調整に時間を要する傾向があり、作業時間の増加につながっていると考えられる。

これらの視線と手の動きの違いは、作業時間や作業品質に大きな影響を与える要因であると考えられる。特に、熟練作業員の動作パターンを明確にし、それを非熟練作業員に共有することで、作業の効率化や精度向上が期待できる。

5 まとめ

本稿では、シロッコファンの組立工程において、熟練作業員と非熟練作業員の作業特性を比較し、その違いを明らかにした。視線データはウェアラブルアイトラッカーを用いて取得し、作業映像を動作ごとに分割して分析した。その結果、動作時間や視線、手の使い方にも明確な違いが見られた。

比較の結果、熟練作業員はほぼすべての動作で両手を左右対称に同時に使い、効率的に作業を進めていた。一方、非熟練作業員は左手でワークを固定し、右手でフレームに沿って作業を進めるため、動作の効率が低下していた。また、熟練作業員は視線を素早く移動させ、調整が必要な部位を即座に特定していたのに対し、非熟練作業員は手と視線の移動範囲が広くなり、調整

箇所を探す時間が長くなる傾向があった。

本稿で得られた知見から、作業特性の把握や熟練度の違いを明確にするには、視線と手のデータを同時に取得し、統合的に評価することが有効であることがわかった。

今後は、被験者を増やして本研究で得られた結果をさらに検証し、多様な作業環境や異なる作業内容における視線と手の動作の分析を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 経済産業省,2024年版ものづくり白書,2024
- 2) 中山,人工知能学会誌 Vol.22,No.4, pp467-471,2007
- 3) 大野,日本認知科学会誌 Vol.9,No.4, pp565-579,2002
- 4) 武雄,職業能力開発報文誌 No.26, pp1-8,2014
- 5) 屋代ら,土木学会論文集 F4 (建設マネジメント) Vol.77,No.2, pp1-15,2021
- 6) 川瀬ら,精密工学会誌 Vol.87,No.2, pp221-225,2021