

熟練技能工によるローラーブラシを用いた

上下方向塗装時の腕の関節角度の分析

○横山清子*¹ 砂田治弥*¹ 森田智子*¹ 西浦建貴*² 宮木章吉*² 峯本正直*²
乃一剛英*² 島村元章* 村木克彦*² 津田修*²

1. はじめに

若年塗装作業者が減少している現状において、熟練技能工が最高品質の仕上がりを実現する技能と、身体への負担が少ない効率の良い作業動作の特徴を伝承することが喫緊の課題である。本研究では、若年技能工を対象として、スマートフォンやタブレットのアプリケーションを媒体として、熟練技能工の動作を学ぶ自学用コンテンツ作成を目標とする。コンテンツは、ゲーム感覚で参照可能とすることで、閲覧の動機付けを図り、また、熟練技能工の動作分析に人間工学の実験手法を適用することで客観的かつ定量的に分析する。デジタルコンテンツによる技能伝承、熟練者の技能の客観的な説明のために、熟練技能者の動作の特徴を定量的に分析することが有用である。モーションキャプチャ、3DCGを用いた動作分析、可視化は複数行われており、生産現場の技能分析¹⁾、手指の軌跡や速度による熟練者と未熟者の運針動作の比較²⁾、熟練技能者のヤスリがけ動作を対象としてウェアラブルセンサを活用することで主観評価との関連を分析した例³⁾などがある。

本研究では、ローラーブラシによる直線往復塗装という単純かつ基本的な塗装動作を対象として、光学式モーションキャプチャ装置で測定したデータを用いて、塗装時の腕の関節角度の塗装位置に対する変動を分析し、塗装動作の数理モデル化を視野に入れた特徴抽出を行うことを目的とする。

2. 方法

実験参加者は、塗装歴15年以上、建築塗装技能士

1級以上を有する熟練技能工11名である。全員男性、身長180cm以下、右利きである。作業タスクは、ローラーブラシを用いて、名古屋市立大学北千種キャンパス芸術工学部棟内の映像スタジオに設置したプラスターボードの中央の位置を上から下までの5往復の塗装を行う。塗料は最初にローラーブラシに含ませ、5往復の塗装の途中で、再度塗料を含ませることはしない。図1に実験の様子を示す。

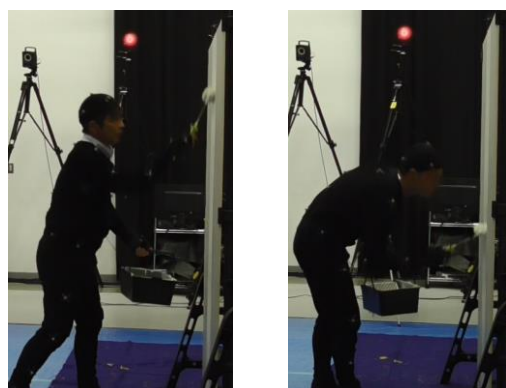


図1 実験の様子

動作は、光学式モーションキャプチャシステムにより測定する。カメラは、赤外線方式のKestrel(Motion Analysis製)10台を使用する。メーカーは、全身42箇所貼付し、50fps(frame per second)で測定する。座標は、z方向を垂直、すなわち、プラスターボードの上下方向とし、プラスターボードの水平方向がx軸、プラスターボードに対する奥行き方向をy軸として設定する。データ測定と編集は、CORTEX-64, v5.5(Motion Analysis製)で行う。

Analysis of Joint Angle of Arm in Vertical Direction Painting using a Roller Brush by Skilled Painting Workers

YOKOYAMA Kiyoko*¹, SUNADA Haruya*¹, MORITA Tomoko*¹,
NISHIURA Tatsuki*², MIYAKI Akiyoshi*², MINEMOTO Masanao*²,
NOICHI Takehide*², SHIMAMURA Motoaki*²,
MURAKI Katsuhiko*², TSUDA Osamu*²

実験は、名古屋市立大学大学院芸術工学研究科内の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した(28 芸倫一第1号)。実験参加者全員に対して、実験の趣旨と内容、各自の意思でいつでも測定の中止が可能なことを、文書と口頭で説明し同意を得た。

本研究では、ローラーブラシを対象として、熟練者に共通する動作の特徴を抽出する。実場面でのローラーブラシ塗装において頻繁に見られ、かつ、単純な基本動作として、上下方向の往復動作の詳細解析を行った。塗装位置・方向に対する腕の関節角度の変動を対象とする。塗装位置は、ローラーブラシを持つ手の甲中指付け根のマーカのz座標で定義する。

手首の関節角度は、手の甲中指付け根、手首、前腕中央の3マーカの成す角度とする。肘の関節角度は、前腕中央、肘、上腕中央の成す角度とする。肩の関節角度は、上腕中央、肩、右前腰の成す角度とする。3マーカの座標を $M1(x1,y1,z1)$ 、 $M2(x2,y2,z2)$ 、 $M3(x3,y3,z3)$ として、 $M1M2$ と $M3M2$ の成す角度 θ を (1) 式で求める。

$$\begin{aligned} \vec{a} &= (x1 - x2, y1 - y2, z1 - z2) \\ \vec{b} &= (x3 - x2, y3 - y2, z3 - z2) \\ \theta &= \cos^{-1} \frac{\vec{a}\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \vec{a}\vec{b} &= (x1 - x2)(x3 - x2) + (y1 - y2)(y3 - y2) \\ &\quad + (z1 - z2)(z3 - z2) \\ |\vec{a}| &= \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2 + (z1 - z2)^2} \\ |\vec{b}| &= \sqrt{(x3 - x2)^2 + (y3 - y2)^2 + (z3 - z2)^2} \end{aligned}$$

上方向への塗装と下方向への塗装、加えて塗装位置を地面から 40cm まで、40~80cm、80~120cm、120cm 以上に分けて分析した。

3. 結果と考察

図2は、1名の実験参加者を例とした、塗装位置に対する、図左から肩、肘、手首の関節角度の変動を示している。上の行のグラフが下方から上方への塗装、下の行のグラフは上方から下方への塗装である。手首の角度は、塗装位置と方向に対して、ほぼ変動せずに一定であり、肩と肘については、ボードと身体との距離が近くなる、塗装の高さ 100cm 付近では角度が小さくなり、上端および下端に近付くと角度が大きくなることが確認できる。また、塗装方向について、位置に対する角度の変動は、類似しているが、この実験参加者の場合、肘と手首の角度が、上方向への塗装時の方が小さくなっている。

塗装位置を 0~40cm、40~80cm、80~120cm、120cm 以上に4分割し、それぞれの区間内での塗装における関節角度の平均値を実験参加者毎に求めた。その値に対する 11 名の実験参加者の分布を図3に箱ひげ図で示している。図の横軸は、塗装位置を表し、u は下から上方向への塗装、d は上から下方向への塗装を示す。例えば、d80 は下方向への塗装で塗装位置が 40~80cm を示す。箱ひげ図は、長方形の中央の線がメディアン値を、長方形の上端が 75% タイル、

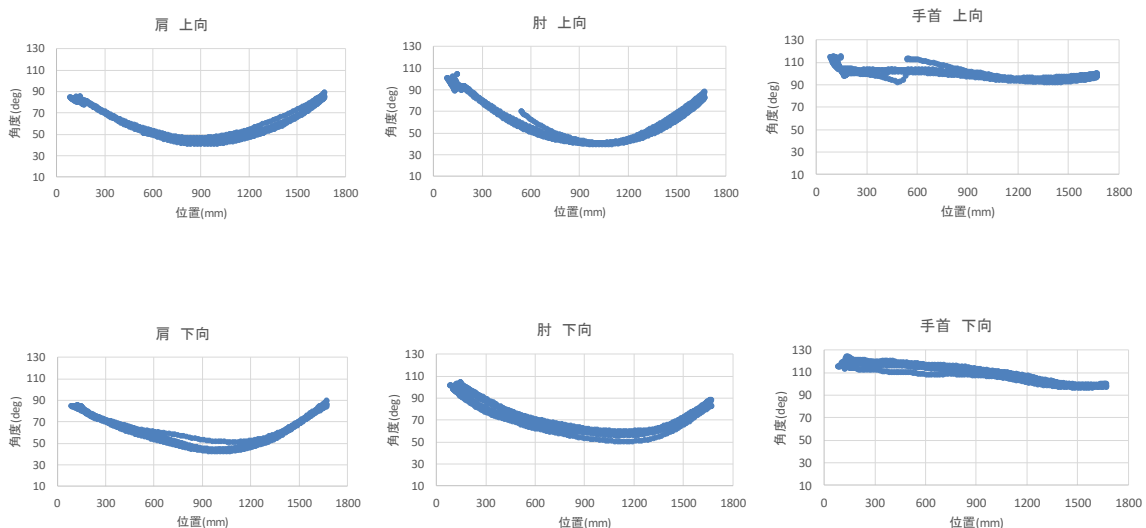


図2 塗装位置・方向に対する、肩、肘、手首の関節角度の変動 (1名の実験参加者の例)

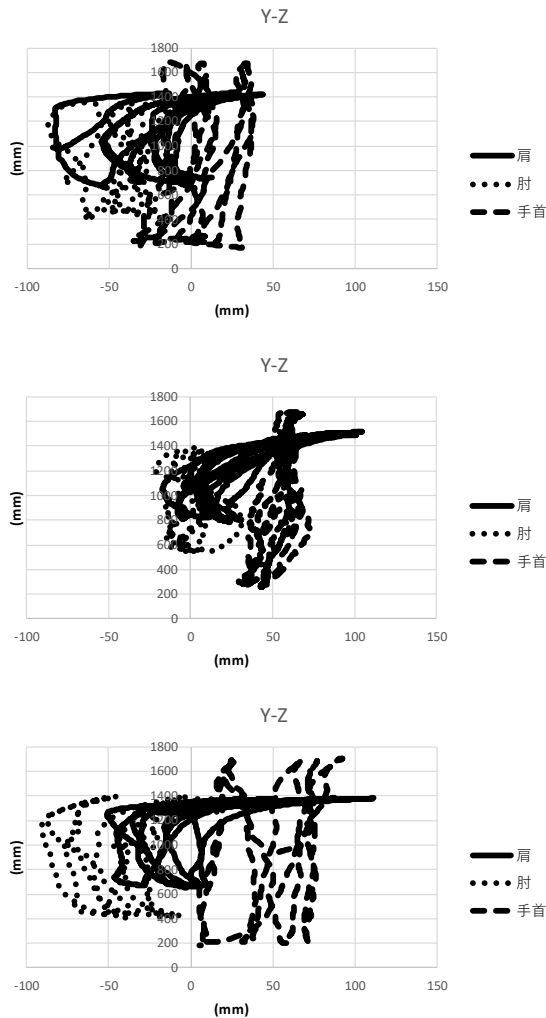


図4 3名の実験参加者を例とした肩、肘、手首座標のy-z平面での軌跡

ている。図4は、5往復の上下方向直線塗装時の肩、肘、手首の3次元空間での座標をy-z平面に投影した軌跡を示している。3名の実験参加者のデータであり、上中下の表示位置も対応している。z軸は塗装の上下方向を示す。y軸は塗装ボードに対する奥行き方向である。それぞれ3つの軌跡が描画されており、肩を実線、肘を点線、手首を破線で示している。軌跡の下端のz座標が小さいものから順に手首、肘、肩となっている。従って下段のグラフの例では、左から肘、肩、手首の軌跡となる。立位時の肩より高い位置となる140cm以上の塗装においては、肩のy軸方向の座標が大きく変動しており、肩の関節角度が広がっていることと対応している。肩と肘の軌跡の下端部分は、肩が60~80cm、肘が60~40cmとなっており、40cm以下の位置については、腰部を曲

げるなどの上半身の位置の移動は行わず、肩の関節角度の変化に現れるような腕の動作で塗装を行っていることが確認できる。

4. まとめ

本研究では、若年技能工を対象として、スマートフォンやタブレットのアプリケーションを媒体として、熟練技能工の動作を学ぶ自学用コンテンツ作成を目標として、熟練技能工の動作を客観的かつ定量的に分析することを目的としている。本稿では、熟練技能工11名を対象として、ローラーブラシによる直線往復塗装時の腕の動作を光学式モーションキャプチャで測定し、肩、肘、手首の関節角度を分析した結果を述べている。

分析の結果、11名の塗装技能工に共通する特徴として、手首の角度は上下の塗装位置に依らず一定であること、120cmを超える位置と40cm以下の位置の塗装については、肩の関節角度が、そして、肘の関節角度については120cmを超える位置の塗装において、それ以外の位置と比較して大きくなることが確認できた。

今後、今回の分析結果を踏まえた動作の分かりやすい可視化方法を検討し、若年塗装技能工を対象とした、熟練技能工の塗装動作の自学用コンテンツを作成する予定である。

[参考文献]

- 1) 竹島壮郎, 安田駿一郎, 篠田心治, 松本俊之, 篠田正行 : 作業者の動きとものの変化に着目した技能分析手法の考案、日本経営工学会論文誌、Vol. 65, No. 1, pp. 1-8 (2014)
- 2) 鈴木明子, 古田幸子 : 動作解析コンピュータシステムによる縫製作業分析の研究 - 熟練者と未熟練者の運針動作の比較、人間工学、Vol. 30, No. 5, pp. 323-329 (1994)
- 3) 榎堀優, 間瀬健二 : ウェアラブルセンサを用いた熟練指導員のヤスリがけ技能主観評価値の再現、人工知能学会論文誌、Vol. 28, No. 4, pp. 391-399 (2013)

*1 公立大学法人名古屋市立大学

*2 一般社団法人日本塗装工業会