

左官職人の技能継承支援システム構築に向けた

技能習熟度の判定の試み

大江 孝明^{*1}, 後藤田 中^{*1}, 蟹澤 宏剛^{*2}, 宮川 優^{*2},
米谷 雄介^{*1}, 神田 亮^{*1}, 八重樫 理人^{*1}, 林 敏浩^{*1}

^{*1} 香川大学, ^{*2} 芝浦工業大学

A Trial Approach to judge skill proficiency aim to develop a Skill Acquisition Support System for Plasterers

Takaaki OE ^{*1}, Naka GOTODA ^{*1}, Hirotake KANISAWA^{*2}, Yu MIYAKAWA^{*2}, Yusuke
KOMETANI^{*1}, Ryo KANDA ^{*1}, Rihito YAEGASHI^{*1+}, Toshihiro HAYASHI ^{*1}

^{*1} Japanese Kagawa University, ^{*2} Shibaura Institute of Technology

In recent years, with the decrease and aging of construction skilled workers in the Japanese construction industry, securing and training the next generation of skilled workers has become an urgent issue. However, it has been carried out on-the-job training in many companies, so manuals for carrying out the training of construction skills and learning evaluation criteria for learning, and treatment according to evaluation are not unified. In the future, in order to decrease the number of leaders in the skills learning is considered, there is a need for an environment in which the learner can learn the skills even one person.

キーワード: 技能継承, 骨格推定, 動作分析, 映像解析, スキル学習

1. はじめに

近年, 日本の建設業界では建設技能労働者の減少と高齢化に伴い, 次世代の技能者の確保と育成が喫緊の課題となっている. しかし, 多くの企業では現場でのOJTによる技能学習が行われており, 建設技能の訓練を行うためのマニュアルや学習の評価基準, 評価に応じた処遇などが統一されていない現状にある. 今後, 技能学習における指導者の数も減少していくと考えられるため, 学習者が一人でも技能を学習できる環境が必要とされている.

2. 先行研究

萩原らは職人歴の異なる左官職人6名に対して身体にマーカを設置し, 下塗り・上塗り作業を背面・側

面・天井の3点から撮影した映像のモーションキャプチャ技術による解析とヒアリング調査を行った. その結果, 左官職人の技能において初級者が中級者になるには身体の軸を固定した状態で技能を行う必要があり, 中級者が上級者になるには, 身体の部位を連動させて技能を行う必要があることを明らかにした.

高井らは京壁塗りの中塗り作業を対象に三次元動作測定や筋活動測定と眼球運動測定を行い, 熟練者と非熟練者におけるそれぞれの測定結果の差を明らかにした. その結果をもとにしたeラーニング教材を使用することで, 作業者の作業姿勢の改善および作業者の精神的疲労解消が減少することが明らかになった.

川井らは, 左官職人の技能動作において物理的なマーカを用いない骨格検知技術を用いた内骨格の測定を行った. その結果, 骨格検知技術によるデータは物理

的なマーカーを用いた場合と比較しても遜色のない結果となり、非接触型マーカーを用いた内骨格による分析方法においても左官技能の可視化・数値化が可能であることが明らかになった。

以上の報告から、本研究では近い将来に技能継承支援システムの構築を実現するために骨格推定技術を用いた建設業界における若年入職者の技能教育支援を目的とし、学習者ごとに技能の分析を行い技能の向上を図る技能継承支援システムの構築を目指す。

3. 左官技能の学習プロセス

3.1 左官技能における初級者と上級者の差異

先行研究では、左官職人の初級者から上級者の技能動作を背面と側面の2点から撮影し、技能動作にどのような違いがあるのかをモーションキャプチャ技術を用いて分析した。その結果、初級者から上級者の技能では身体全体の使い方や、腰、膝の連動性という点において技能動作に差異があることが判明した。

背面から撮影した動画の分析から、上級者になる程、技能動作において腰と膝が連動して移動していることが明らかになった。

さらに、作業動作を技能者の利き手方向である右側面から撮影した動画の分析から、上級者になる程、肩と腰が連動して移動しており、鰻に体重をうまく乗せて作業を行っていることが明らかになった。

3.2 左官技能の向上に向けた段階的な指標

左官技能の学習者が一人で自身の技能を向上させるための方法として左官技能向上のための段階的な仮説として3段階の指標を仮定する。

まず、初級者と中級者の技能動作を背面カメラの映像から比較した結果、初級者から中級者への指標は下半身を固定させることと、肩と腰を連動させることが仮説として妥当ではないかと考えられた。また、これらの仮説より、技能動作における体の軸を固定と作業面に対する距離を一定に保つことが説明できる。

次に、初級者と中級者の技能動作を背面カメラの映像から比較した結果、中級者から上級者への指標は腰と膝を連動させることと、塗り作業中を行う際に一歩前に踏み込むことであると考えられる。これらの仮説から、体の部位を連動させた技能動作と鰻に体重を乗

せること、作業面に対して適宜距離を変化させていることが説明できる。

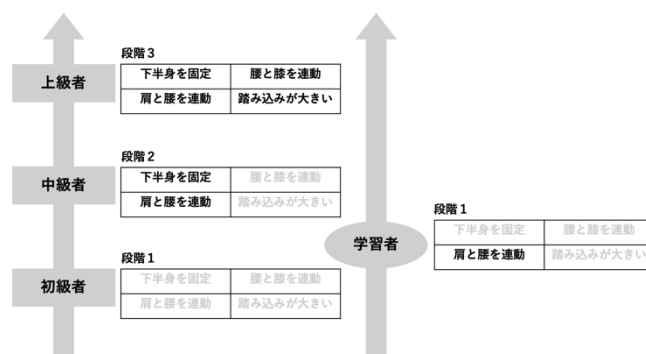


図 1 学習のステップ

3.3 指標に沿って個人で技能を学べる環境の検討

著者らは、建設業界の次世代を担う若者の技能学習を行うためには、多くの学習者にとって学習を始めやすい環境が必要になると考えた。建設業界に興味を持った人や、職業訓練後の就業後においても訓練が継続可能である学習方法が求められると想定し、学習者が一人でも技能を学習できるための学習環境が理想的であると考えた。

具体的な学習方法としては、まず学習者が自身の作業の様子をカメラで撮影し、その動画をパソコン内の習熟度判定システムに入力する。習熟度判定システム内には左官技能の初級者から上級者までの技能の特徴を分析した結果が蓄積されており、学習者の技能を分析することで学習者がどれほど技能を習熟できたかの判定を行う。分析の方法は、技能動作における身体の部位の位置関係、相関係数を出力し採点を行う。最後に、採点した結果をまとめて技能習熟度を点数で評価することで、学習者に技能向上の結果を提示する。



図 2 技能学習の過程

4. 左官技能習得のプロセスにおける要件

4.1 一般的なカメラを用いた学習環境

左官技能を学習するにあたり、学習者が場所や時間を気にすることなく一人でも技能を学習するためには、特殊な機器を用いない学習環境が求められる。つまり、撮影に用いるカメラはスマートフォンやタブレットなどの一般的なカメラを用いることが理想であり、技能の分析においては、物理的なマーカーを用いない分析方法であることが望ましい。

そこで、実際に左官技能の学習者が習熟度判定システムを利用する際の環境として、スマートフォン等のカメラを学習者の全身が入る画角に三脚を用いて固定し、学習者の背面と側面の2点から撮影するものとした。

4.2 左官技能レベルの段階に応じた明瞭な指標

技能習熟度システムを構築するにあたり、システム内で学習者の技能を判定するための明瞭な指標を設定する必要がある。技能者のレベルごとに技能の特徴を明らかにし、仮説として指標が技能を評価するにあたって妥当なものであるかを検証する。

まず初級者から中級者への指標について、技能動作における体の軸を固定と作業面に対する距離を一定に保っていることが技能の習熟度を判定する上での指標である。そこで、初級者と中級者の技能における差異を明確にするために、それぞれの技能動作を背面と右側面の2点から撮影を行う。肩、腰、膝の連動性に注目し、先行研究にて明らかになっている初級者と中級者の技能の差を満たすための条件となりうる各座標の相関を明らかにする。

次に中級者から上級者への指標について、体の部位を連動させた技能動作と鑊に体重を乗せること、作業面に対して適宜距離を変化させることが技能の習熟度を判定する上での指標である。そこで、中級者と上級者の技能における差異を明確にするために、それぞれの技能動作を背面と右側面の2点から撮影を行う。こちらも肩、腰、膝の連動性に注目し、先行研究にて明らかになっている中級者と上級者の技能の差を満たすための条件となり得る各部位の相関を明らかにする。

初級者から中級者、中級者から上級者への指標を満

たすための身体各部位における相関を明らかにすることで、習熟度判定システムを用いて学習者の技能を判定するための段階的な指標となり得る基準を設定する。

5. 技能習熟度判定の方法

5.1 非接触型マーカーを用いた技能分析方法

被験者にマーカーを設置することなく、人物の骨格を深層学習で推定することが出来る骨格推定ライブラリ「OpenPose」を用いた技能の分析を行う。これにより、特殊な設備や環境がなくともカメラ1台から人の骨格の検出が可能となる。

OpenPoseを用いた技能の分析方法として、左官の初級者、中級者、上級者それぞれの技能を背面と側面の2点から撮影し、背面カメラと側面カメラの映像からOpenPoseを用いて左右の肩、腰の中心、左右の膝の計5点の座標のX座標とY座標をそれぞれ取得する。尚、本研究では技能動作における各部位の相関を数値化するため、周期的に繰り返される動きの2周期分の分析で十分な相関の値が得られると考えられる。各部位の座標の相関から初級者、中級者、上級者それぞれにおける技能の特徴を数値で表し、技能者のレベルごとに現れる各部位の相関の特徴を数値化することで学習者が段階的に技能を向上できるための指標を提示する。

習熟度の判定方法は、先行研究で明らかになっている下半身の安定性と肩、腰、膝の連動性の2つの指標に、考察した技能の特徴を加えて技能の習熟度判定を行うものとする。

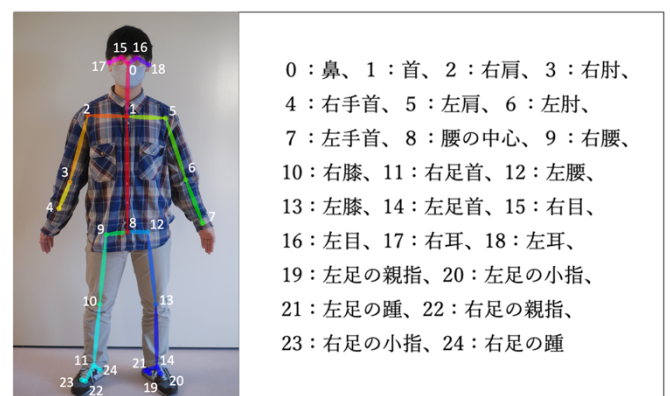


図 3 OpenPose の骨格検出位置

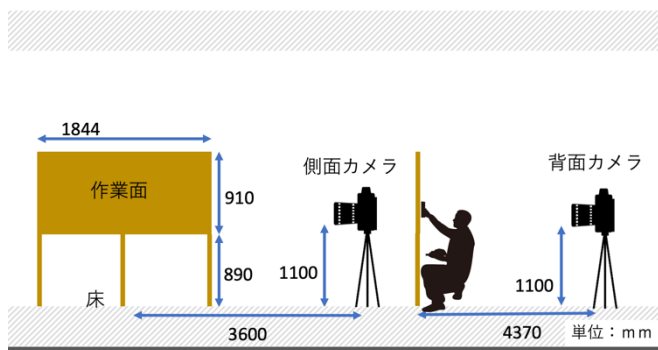


図 4 技能の測定環境

5.2 習熟度の判定結果の提示

習熟度の判定結果の提示するために、まず下半身の安定性の評価を行う。学習者の技能動作を背面カメラから撮影し、OpenPoseを用いた骨格座標の検出を行う。骨格座標の相関を分析した結果から、下半身の安定性について点数で評価する。

次に肩、腰、膝の連動性について評価を行う。学習者の技能動作を側面カメラから撮影し、OpenPoseを用いた骨格座標の検出を行う。骨格座標の相関関係を分析した結果から、肩、腰、膝の連動性について点数で評価する。

最後に左官技能の総合的な習熟度判定するために、背面と側面からの習熟度判定の結果を統合する。下半身の安定性を評価した点数と肩、腰、膝の連動性を評価した点数を合計し、最終的な習熟度判定の結果とする。

6. 技能習熟度判定にむけた評価実験

6.1 実験内容

本実験では左官技能の初級者、中級者の技能動作の向上を支援するために左官技能を段階的に学習できる習熟度判定システムの構築をする。初級者から中級者、中級者から上級者への指標を数値化し、学習者の技能が現在どのレベルにあるのかをシステム内で判断するための基準を定める。そのために、本実験ではOpenPoseを用いた骨格推定から左官技能における初級者、中級者、上級者の技能の差を明らかにし、身体の部位における相関を数値で表すことで学習者の習熟度を判定する基準を設定する。

実験対象は、香川県高松市で日本の若手技能者育成

の振興のため職人技能士の育成に取り組んでいる一般社団法人「職人育成塾」と左官工事会社S社から実験にご協力いただいた左官職人歴16年の男性（上級者）、左官職人歴5年の男性（中級者）、左官職人歴2か月の男性（初級者）の3名の技能動作の映像とする。尚、本研究では左官職人歴4年未満の職人を初級者、左官職人歴が5年以上10年未満の職人を中級者、左官職人歴10年以上の職人を上級者とし、分析する映像は左官技能における下塗り工程の映像とした。3名の技能動作をそれぞれ背面と右側面から技能動作を撮影した合計6つの映像から、技能において周期的に繰り返される動作の2周期分の長さの映像を切り出し、それぞれを分析する。左官技能における初級者、中級者、上級者の技能の差を明らかにする方法として、それぞれの技能動作を背面と技能者の利き手方向である右側面から撮影した動画を用いて技能の分析を行う。背面から撮影した映像と側面から撮影した映像のそれぞれにおいて、左右の肩、腰の中心、左右の膝のXY座標を、OpenPoseを用いて検出する。各点についての相関を表に表し、職人ごとの技能に現れる差を読み取ることで初級者から上級者の技能動作の特徴を考察する。

習熟度の判定を行うための指標を数値で設定するために、骨格座標の相関関係の考察により明らかになった技能の特徴と、先行研究にて明らかになっている左官技能の指標を考慮し、技能の特徴に重みを付けた加減点方式による習熟度判定方法を検討する。

6.2 骨格座標の検出結果

6.2.1 身体全体の部位の相関

まず上級者における技能動作の特徴として、多くの部位において0.7以上の強い正の相関が現れていることが判明した—（結果1）。また、左右の膝と腰の相関関係に注目すると、腰と膝の腰のY座標と左膝のY座標に-0.54程の負の相関が現れていることが判明した—（結果2）。

次に中級者における技能動作の特徴として、各部位に正負どちらの相関も確認できるが、全体的には相関が0に近い値が多く相関が現れにくいことが判明した—（結果3）。また、左右の膝と腰の相関関係に注目すると、腰のY座標と左膝のY座標に-0.16程の負の相

関が現れていることが判明した—（結果 4）。

続いて初級者における技能動作の特徴としては、各部位の相関において正の相関も負の相関も現れやすいことが判明した—（結果 5）。また、左右の膝と腰の相関関係に注目をする、腰の Y 座標と左膝の Y 座標では 0.69 程の正の相関が現れていることが判明した—（結果 6）。

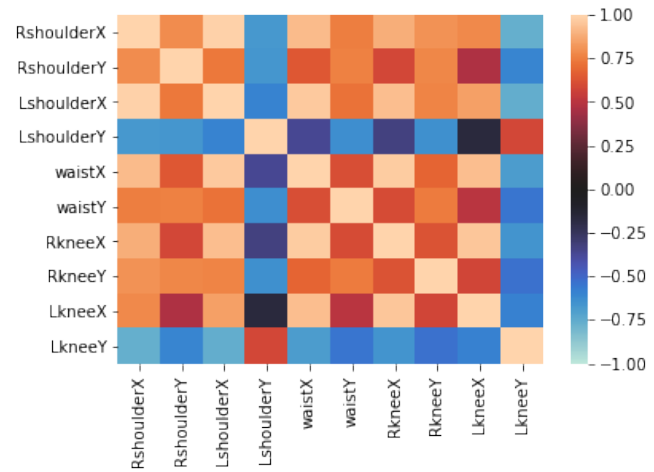


図 5 上級者の各部位の相関（背面）

表 2 上級者の腰と膝の相関（背面）

上級者	右膝X	右膝Y	左膝X	左膝Y
腰X	0.974135		0.935462	
腰Y		0.743176		-0.544787

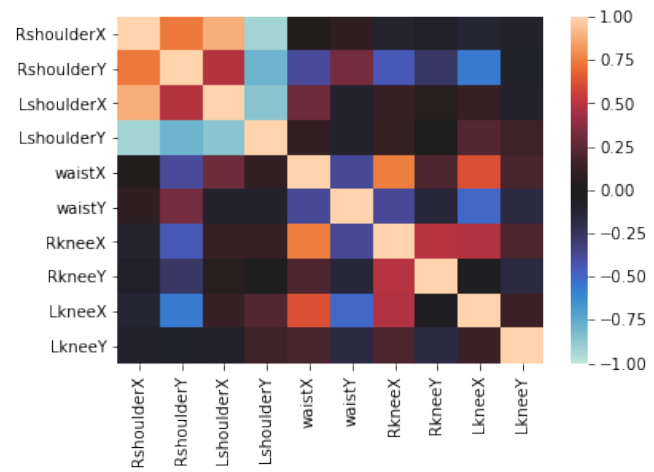


図 6 中級者の各部位の相関（背面）

表 2 中級者の腰と膝の相関（背面）

中級者	右膝X	右膝Y	左膝X	左膝Y
腰X	0.757184		0.61982	
腰Y		-0.14358		-0.166642

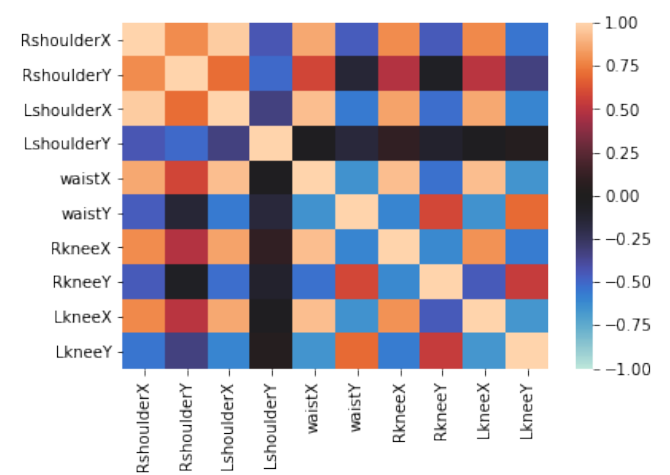


図 7 初級者の各部位の相関（背面）

表 3 初級者の腰と膝の相関（背面）

初級者	右膝X	右膝Y	左膝X	左膝Y
腰X	0.930561		0.931125	
腰Y		0.587727		0.695842

6.2.2 作業面に対する身体部位の相関関係

まず上級者における作業面に対する技能動作の特徴として、多くの部位において 0.7 以上の強い正の相関が現れていることが判明した—（結果 7）。また、腰と膝の相関関係と肩と膝の相関関係に注目をする、腰の X 座標に対し、両膝の X 座標に 0.8 以上の強い相関が現れており、右肩と右膝の相関においても X 座標に強い相関が現れていることが判明した—（結果 8）。

次に中級者における作業面に対する技能動作の特徴として、作業面に対する各部位の相関に正の相関と負の相関が現れており -0.73～0.79 までの相関が確認できた。全体的には強い相関が現れる箇所は少なく、初級者や上級者に比べても相関が 0 に寄っていることが判明した—（結果 9）。また腰と膝の相関関係と肩と膝の相関関係に注目をする、腰の X 座標に対し両膝の X 座標に 0.6～0.8 程の正の相関が現れており、右肩と右膝の相関においても X 座標に 0.6 程の相関が現れていることが判明した—（結果 10）。

続いて初級者における作業面に対する技能動作の特徴として、各部位に正の相関と負の相関が現れており、-0.63～0.82 までの広い範囲で相関が現れていることが判明した。さらに中級者に比べても青色の箇所、つまり負の相関が現れている箇所が多いことも明らかになった—（結果 11）。また、腰と膝の相関関係と肩と

膝の相関関係に注目をするすると腰の X 座標に対し、両膝の X 座標に 0.3~0.7 程の正の相関が現れており、右肩と右膝の相関においても X 座標に 0.5 程の相関が現れていることがわかった— (結果 12)。

以上の特徴から、左官技能の初級者、中級者、上級者における技能の特徴をまとめる。まず上級者において、(結果 1)、(結果 7) の特徴より、上級者は身体全体が連動した動作をしている。続いて (結果 2) の特徴より、塗り動作において、利き手と反対側の足を一步踏み込むことで下半身の動作を安定させている。さらに (結果 8) の特徴より、塗り動作中に身体を大きく前後に動かしており、壁に対して体重を乗せた動作を行っている。

次に中級者において、(結果 3)、(結果 9) の特徴より、中級者は身体全体の連動性は見られないが、体のブレが少ない動作をしていることがわかる。さらに (結果 4) の特徴より、塗り動作において、上級者ほどではないが、利き手と反対側の足を一步踏み込むことで下半身の安定した動作を生み出している。さらに (結果 10) の特徴より、塗り動作中に上級者ほどではないが、身体を前後に動かして作業を行っており、壁に対して体重を乗せた動作を行っている。

最後に初級者において、(結果 5)、(結果 11) の特徴より、初級者は身体全体のブレが大きく、不安定な動作をしている。加えて (結果 6) の特徴より塗り動作を行う際の踏み込みが浅く、下半身の動作が安定していない。さらに (結果 12) の特徴より塗り動作中に上級者や中級者ほどではないが、壁に対して体重を乗せた動作を行っている。

6.2.3 習熟度判定の方法について

背面と側面の技能の分析結果から明らかになった技能の特徴をもとに、段階的な指標を用いて技能の評価をした。技能の特徴ごとに重みを付けた加点方法は表 7、表 8 のようになった。加点を行う項目として、以下の 2 つの項目を設けた。

加点項目 1.

1 つの部位における他の部位の相関が正である。

$$r > 0$$

(r はある 1 つの部位の他の部位における相関の値)

加点項目 2.

1 つの部位における相関係数の値が初級者<中級者<上級者となっている。

$$r1 < r2 < r3$$

(r1, r2, r3 は同じ箇所における初級者、中級者、上級者の相関係数の値)

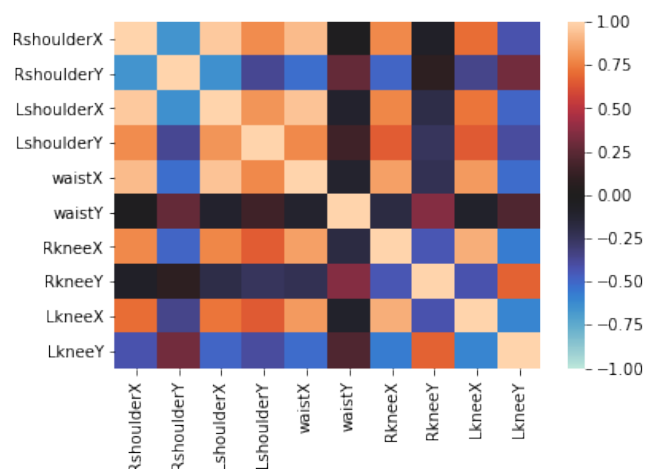


図 8 上級者の各部位の相関 (側面)

表 4 上級者の腰と膝の相関 (側面)

上級者	右肩X	右肩Y	右膝X	右膝Y
腰X	0.925516		0.849946	
腰Y		0.274404		0.360897

上級者	右膝X	右膝Y
右肩X	0.78154	
右肩Y		0.092634

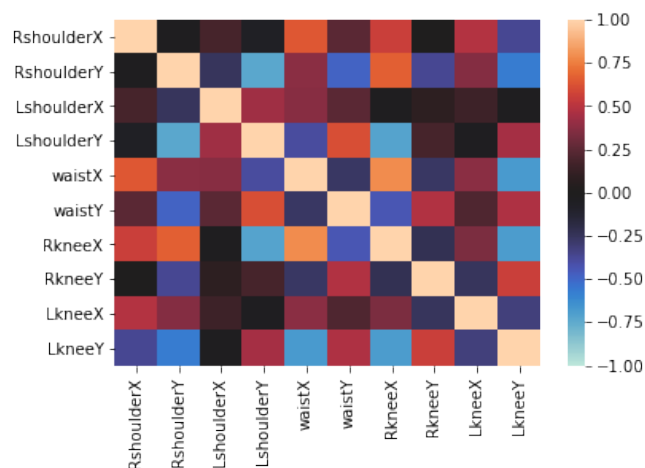


図 9 中級者の各部位の相関 (側面)

表 5 中級者の腰と膝の相関（側面）

中級者	右肩X	右肩Y	右膝X	右膝Y
腰X	0.641119		0.791851	
腰Y		-0.481835		0.481307

中級者	右膝X	右膝Y
右肩X	0.560318	
右肩Y		-0.366196

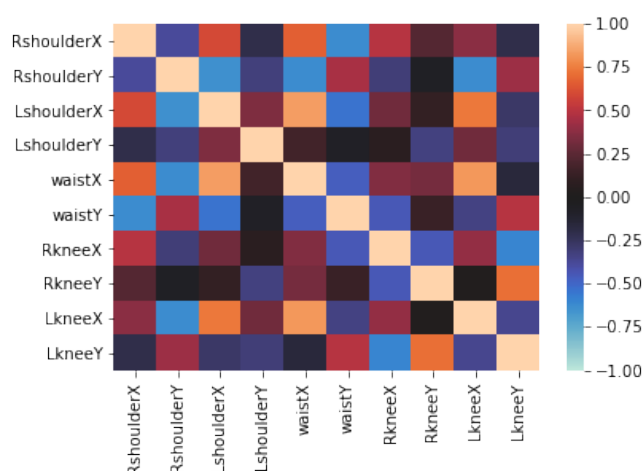


図 10 初級者の各部位の相関（側面）

表 6 初級者の腰と膝の相関（側面）

初級者	右肩X	右肩Y	右膝X	右膝Y
腰X	0.670477		0.357154	
腰Y		0.460056		0.138631

初級者	右膝X	右膝Y
右肩X	0.49277	
右肩Y		-0.059278

表 7 背面からの技能分析によるスコア表

条件（ボーナス条件）	Point（ボーナスPoint）
腰と両膝のXの段の相関が正	それぞれ +1
腰と両膝のYの段の相関が正	それぞれ +1
腰Xと右膝Xの相関が0.7以上	+1
腰Xと左膝Xの相関が0.7以上	+1
腰Yと右膝Yの相関が0.7以上	+1
腰Yと左膝Yの相関が0以下（-0.5以下）	+2（+1）

表 8 側面からの技能分析によるスコア表

条件（ボーナス条件）	Point（ボーナスPoint）
腰Xの段の相関が正	それぞれ +1
腰Xと右肩Xの相関が0.8以上	+2
腰Xと右膝Xの相関が0.7以上（0.8以上）	+2（+1）
右肩Xと右膝Xの相関が0.5以上（0.7以上）	+2（+1）

6.2.4 技能習熟度の判定結果

習熟度の判定方法に基づき、背面カメラからの初級者から上級者のまでの技能動作を比較し、習熟度判定の指標となるスコアを出力した結果、上級者は48点、中級者は37点、初級者は31点という採点結果が得られた。

側面カメラからの技能分析においても同様に、スコアを出力した結果と、上級者は14点、中級者は10点、初級者は7点という採点結果が得られた。

以上の結果より、総合的な習熟度を判定するためのスコアの指標は、上級者は62点、中級者は47点、初級者は38点となり、背面から技能を測定した結果と側面から技能を測定した結果の両方において、上級者、中級者、初級者の順でスコアが大きい結果となった。

表 9 技能者のレベルごとのスコア結果

	背面からの判定結果	側面からの判定結果	合計
上級者	48点	14点	62点
中級者	37点	10点	47点
初級者	31点	7点	38点

6.3 技能習熟度判定方法の考察

評価実験の結果から、背面と側面からの両方の分析結果において技能学習のレベルごとに現れる技能の差異を明らかにすることができ、非接触型マーカーを用いた技能動作の分析であっても技能における身体の各部位の相関関係を明らかにする方法は有用であると考えられる。よって各部位の相関関係を分析することが、技能の段階的な指標を明らかにする上で有効な方法であると言える可能性を示せた。

習熟度を判定する方法として、相関の値の差が技能者のレベルごとに顕著に現れている箇所を、左官技能を向上させるためのポイントとして与えるスコアに重みを付けた。また、相関の値による左官技能の習熟度の判定を行うことで、段階的な指標の提示と習熟度の判定が行える可能性を示せた。よって、非接触型マーカーを用いた骨格座標の分析により、学習者の技能動作が現在どのレベルにあるのかを判定し、習熟度を判定することができる可能性を示すことができた。

技能動作の採点結果について、習熟度判定結果の得点が職人の経験年数に伴って大きくなっているため判定

方法についても妥当な結果を得られたと言える。これにより、左官技能の習熟度の目安となる、初級者、中級者、上級者それぞれのスコアの得点を得ることができた。よって、学習者が技能習熟度判定システムを利用するうえで、自身の習熟度を認識できる可能性を示せた。

7. 結論

本研究では、左官技能の学習者を対象に、技能教育を一人で行える技能継承支援システムの構築にむけた技能習熟度の判定を試みた。評価実験では、左官職人の初級者から上級者までの技能動作を、非接触型マーカーを用いた骨格検出技術により左官技能の習熟度を判定するための基準を設定し、左官技能における学習者の習熟度を段階的に評価できる可能性を示すことができた。

また、技能の分析において骨格検出技術を用いることで、学習者が特殊な機器を用いることなく、スマートフォンなどの身近にあるカメラのみを用いて技能学習を行える環境を構築できる可能性を示せた。これにより、技能の習熟度判定システムが建設業界を志望する若者や、建設業界に興味を持った人たちにとって利用しやすいシステムとなる可能性も示せた。

今後の展望として、技能習熟度判定システムを実際の技能学習に用いることで対象者を広げた本システムの有用性を検証する必要がある。さらに、今回の実験では技能者の身体の部位における連動性を中心に、技能の習熟度判定を試みたが、より精密に習熟度を判定するための方法として身体の部位の相関だけの判定でなく、技能動作の周期性や、塗り作業以外の動作も考慮する必要があると考えられる。よって、技能継承支援システムを構築する上では、対象者を広げた本研究の有用性の検証と、より細かな判定結果を出力する必要があると考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K12270, JP18H03344 の助成を受けたものです。また、新日本建工株式会社との共同研究による。

参 考 文 献

- (1) 川井翼:“建設技能者の技能習得に関する研究”, 日本建築学会北陸 p. 1 (2019)
- (2) 高井由佳:“熟練職人の形式知を取り入れた京壁塗り習熟 e ラーニング教材の構築”, 教育システム情報学会誌, Vol33, No.2 p84-93(2016)
- (3) 肥田竜馬:“建設技能者の技能習得に関する研究”, Human-Agent Interaction Symposium, p9(2017)
- (4) 藤白智也:“授業中の画像からの姿勢推定による集中度の評価”, 一般社団法人人工知能学会第 34 回全国大会 (2020)
- (5) 浅利恭美:“子どもの動作からの関心測定に向けたセンシングシステムの開発”, 教育システム情報学会誌, JSiSE Research Report, Vol. 33, No. 5(2019)
- (6) 宗陽一郎, 江部宏典, 中村英夫:“技能継承活動支援システムの開発:溶接技能教育での試行導入” 導入” システム制御情報学会誌, Vol.52, No.4, pp.136-141(2008)
- (7) Nobuyasu Nakano:“Evaluation of 3D Markerless Motion Capture Accuracy Using Open-Pose With Multiple Video Cameras” Front Sports Act Living(2020).