

令和 2 年 3 月 9 日現在

機関番号：34407

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882052

研究課題名（和文）自動車修理板金塗装技術者のための自学自習システムの開発

研究課題名（英文）Development of self-learning system for auto repair sheet metal and painting workers

研究代表者

高井 由佳（Takai, Yuka）

大阪産業大学・デザイン工学部・講師

研究者番号：90626368

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：自動車修理の板金・塗装作業における熟練者の技を数値化・可視化し、非熟練者のための自習支援システムを構築することを目的とし、板金・塗装作業の3次元動作解析、把持力測定、仕上がりの評価を実施した。この結果、自習支援システムにおいて、板金では、1)熟練者が板金を行っている動画、2)作業時間の割合、3)道具の選定基準、4)当て盤の把持方法、5)ハンマリングの位置を、塗装では1)熟練者が塗装を行っている動画、2)塗装中の背面、側面からの姿勢とスプレーガンの軌跡、3)ドアと体の位置関係、4)スプレーガンの運行速度、5)脇と肘の角度を教授すべきことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車修理に携わっているのは中小企業や個人事業主がほとんどであるという状況の中、自動車修理を行う企業が体系立てた研究を進めることは大変難しいとされている。このため、多くの技術者の協力により得られた今回の知見は、自動車修理分野では大変貴重であり、今後の若手技術者育成に大きく貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to develop a sheet metalwork and automobile painting learning system for non-experts. As a results, we clarified following learning contents for the learning system. For sheet metalwork, 1)The movie of expert's sheet metalwork, 2)Work rate, 3) Criterion for hammer and dolly, 4)Grip method for dolly, 5)Hammering position. For automobile painting, 1) The movie of expert's painting work, 2) Trajectory of spray gun from back and side, 3) Distance between door and body, 4) Spray gun running speed, 5) Angle of axillary and elbow.

研究分野：教育工学，人間工学，感性工学

キーワード：自動車修理 板金 塗装 教育システム 自習 伝承 技 身体知

### 1. 研究開始当初の背景

自動車産業における板金塗装作業は、かつてはプロトタイプの製造から量産品の製造、修理まで、多くの工程において人の手で行われていた。しかし現在では、プロトタイプにおいてはコンピュータグラフィックスが、量産においてはロボットが人の手に代わっている。修理においては個別の対応が必要となるため、人の手による作業が不可欠である。しかしながら、板金塗装に携わる技術者の全体数が減少したことにより、修理に携わる技術者の質の低下が発生し、技の継承が困難となってきている。一般的に、板金・塗装に携わる技術者は、短大や専門学校において技能を習得するが、板金塗装の実習に充てられる時間は十分とは言えず、就職してから先輩技術者の技を見て盗むことで習得するしかない。しかし、毎回異なる案件に対する最適な作業方法を身に付けるのは容易ではなく、熟練技術者となるには約 10 年が必要とされている。団塊世代が続々と退職し、熟練技術者を多く失いつつある現在、技術者の質の低下を断ち切り、非熟練技術者により早くより確実に技を習得させることが必要である。

### 2. 研究の目的

身体動作をよりの確に伝える手法として、動作の可視化・数値化が挙げられる。そこで本研究では、可視化・数値化されたデータを使用した教育システムの構築を最終ゴールとし、板金塗装作業における熟練者の作業の特徴を明らかにし、非熟練者への教授内容を明確化することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)板金作業

自動車修理における板金加工に携わる職人に自動車のフェンダーへの板金加工を行わせ、その間の作業を記録・計測し、解析を行った。

実験参加者は、近畿圏で自動車修理に携わる職人 10 名であった。このうち、経験年数が 10 年以上の者を熟練者、経験年数が 3 年未満の者を非熟練者とした。熟練者・非熟練者共に 5 名ずつであった。実験参加者の生体情報を表 1 に示す。実験参加者にはあらかじめ、動作を記録すること、記録終了後には直ちに解析結果を公開することを告知した。非熟練者 5 は職歴が 0 年であるが、全く板金作業の予備知識のない者ではなく、日常において自動車塗装修理を職業としている自動車修理に関わる者であった。

図 1 に道具を示す。板金修理の道具として、木槌を 1 本 (ハンマー A と呼ぶ 213.3g)、金槌 3 本 (ハンマー B, C, D と呼ぶ それぞれ 433.4g, 296.5g, 240.7g)、当て盤を 3 個 (ドリル a, b, c と呼ぶ) 用意した。板金対象物は、カラーフィールダー (トヨタ自動車株式会社製) の右フロントフェンダーを使用した。図 2 に板金対象としたフェンダーを示す。

フェンダーのプレスラインには、あらかじめ一定の荷重で凹み (図 2 の丸で示した箇所) を作り、この凹みを修理対象とした。

表 1 被験者情報

被験者	職歴 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)	利き手
熟練者 1	23.0	178	78.0	右
熟練者 2	19.0	170	60.0	右
熟練者 3	16.0	177	65.0	右
熟練者 4	15.0	164	84.0	右
熟練者 5	10.9	172	82.0	右
非熟練者 1	2.5	181	80.0	右
非熟練者 2	2.1	171	68.0	右
非熟練者 3	1.9	175	60.0	右
非熟練者 4	0.8	179	70.0	左
非熟練者 5	0.0	184	64.0	右

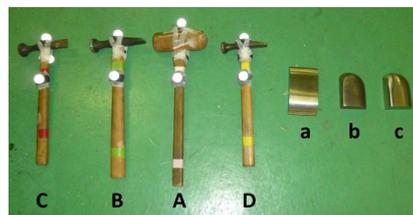


図 1 ハンマーと当て盤



図 2 フェンダー

実験参加者には、実車に取り付けられたフェンダーを、我々が用意した道具のみを使用して修正することを指示した。仕上がりは「次工程でパテ付けに入れるレベル」と指示し、仕上がりの判断は実験参加者に委ねた。ただし、実験の運営上、一人の作業時間は 30 分以内とし、作業開始後 30 分を経過した時点で、仕上がっていない場合でも作業を中断させることを伝えた。

実験参加者の体に 20 箇所、ハンマーに 5 箇所、板金修理するフェンダーに 5 箇所の赤外線反射マーカを貼り付けし、標点とした。標点座標の収集には、光学式三次元自動動作分析装置 MAC 3D SYSTEM (Motion Analysis 社製) を用い、サンプリング周波数は 120Hz とした。測定の様子を図 3 に示す。座標系は、実験参加者に対して左右方向を x 軸、前後方向を y 軸、上下方向を z 軸とした。同時に把持力計 FingerTPS (Pressure Profile Systems 社製) を用い、当て盤を把持する指および手の平へ負荷する荷重を計測した。実験の様子は 3 台のビデオカメラにて撮影した。

撮影した動画より、作業分割を行った。さらにハンマーの使用状況を調査した。三次元

動作解析から得られたデータよりハンマーを使用した際のフェンダーへの打刻位置を明確化した。把持力測定の結果より、指と手の平への荷重の負荷状況を数値化した。熟練者と非熟練者の比較には、平均値の差の検定を行った。有意水準は5%とした。



図3 板金作業の測定の様子

## (2)塗装作業

自動車修理における塗装に携わる職人に自動車のドアパネルへの塗装作業を行わせ、その際のスプレーガンの運行と職人の動作を計測し、解析を行った。

実験参加者は、経験年数 20 年以上の熟練者 5 名と経験年数 3 年以下の非熟練者 5 名の計 10 名の自動車修理に関わる職人とした。被験者の詳細を表 2 に示す。実験参加者には実験前に実験の目的および内容を説明し、インフォームド・コンセントを得てから実験を開始した。

表 2 被験者情報

被験者	職歴 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)	利き 手
熟練者 1	48.0	168	64.5	右
熟練者 2	40.0	161	65.0	右
熟練者 3	30.0	165	67.0	右
熟練者 4	23.0	168	62.0	右
熟練者 5	20.0	173	64.0	右
非熟練者 1	3.0	172	65.0	右
非熟練者 2	2.5	165	75.0	右
非熟練者 3	0.5	170	80.0	右
非熟練者 4	0.2	165	65.0	右
非熟練者 5	0.0	170	78.0	右

塗料は日本ペイント株式会社製のソリッド用塗料の白色を使用した。使用するスプレーガン、塗装対象物となるドアパネルは全ての実験参加者が同じものを使用した。スプレーガンの調整や塗料の希釈は同一条件とした。各被験者には3回の塗装で仕上げることを教示し、それ以外は日常の塗装業務と同様に塗装を行うように指示した。

本実験では、光学式三次元自動動作分析装置 MAC3D SYSTEM (Motion Analysis 社製)を用いて各マーカの座標を計測した。測定の様子を図 4 に示す。サンプリング周波数は 120Hz とした。赤外線反射マーカは各被験者の全身に 18ヶ所、スプレーガンに 4ヶ所、ドアパネルに 8ヶ所貼り付けた。座標系は、被験者に対して左右方向を x 軸、前後方向を

y 軸、上下方向を z 軸とした。

仕上がった塗装の状態は、膜厚計 (LE-300C:株式会社ケツト科学研究所製)にて測定を行い評価した。測定はドアパネル上の 9 点とした。測定場所を図 5 に示す。各測定場所において近傍 5 点の測定を行った。

今回の塗装作業はウェットオンウェットと呼ばれる 1 回目に塗られた塗料が乾かないうちに 2 回目、3 回目を重ねて塗る手法をとった。続けて塗る際に必要な時間とされる表面乾燥 (フラッシュオフタイム) の動きは解析対象としなかった。スプレーガンの運行速度は、図 5 に示すようにプレスラインの上下およびドアの横幅を 3 分割した 6 つのエリアに分割し、詳細な検討を行った。

熟練者と非熟練者の比較及び 3 回の塗装の比較には、二要因分散分析を行った。有意水準は 5% とした。



図4 塗装作業の測定の様子

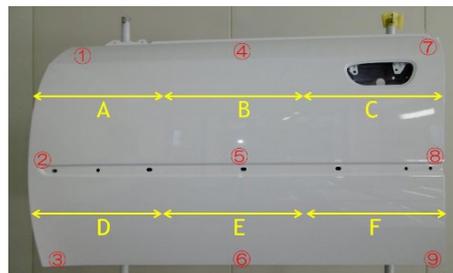


図5 膜厚とスプレーガン速度の測定場所

## 4. 研究成果

### (1)板金作業

#### ①作業時間

板金作業は、「道具を使用したハンマリング」、「手を使用した形状確認」、「目視による形状確認」、「その他」の 4 工程に大別できた。表 3 に工程毎の作業時間を示す。「ハンマリング」、「その他」、「総作業時間」において、非熟練者よりも熟練者は、有意に作業時間が短いことが明らかとなった。非熟練者 2 および 3 は、30 分の作業時間では作業が終了しなかった。一方、熟練者 4 および 5 は、5 分以内で作業を終了していた。非熟練者は「その他」の作業時間が長く、詳細を見ると、ハンマリング前の当て盤の位置調整に時間を要していた。

図 6 に「道具を使用したハンマリング」、「手を使用した形状確認」、「目視による形状確認」の合計を 100% とした場合の作業時間割合を示す。熟練者は非熟練者よりも、「ハンマリング」の作業時間割合が少なく、「手を

使用した形状確認」の作業時間割合が多かった。

表 3 作業時間

Participant	Hammering (s)	Judge by hand (s)	Judge by eyes (s)	Others (s)	Total work time (s)
Expert 1	408.5	77.1	0.0	111.0	596.6
Expert 2	322.7	430.2	23.4	233.9	1010.2
Expert 3	192.5	33.5	0.0	83.7	309.6
Expert 4	90.0	34.1	2.9	89.4	216.5
Expert 5	120.6	23.5	0.0	128.6	272.8
Non-expert 1	348.9	69.2	18.3	229.6	666.0
Non-expert 2	1149.8	114.6	4.6	607.0	1876.1
Non-expert 3	796.7	142.7	34.9	879.3	1853.5
Non-expert 4	364.5	184.7	0.0	201.2	750.4
Non-expert 5	742.8	366.2	2.3	407.9	1519.3
Expert Avg.	226.9	119.7	5.3	129.3	481.1
Non-expert Avg.	680.5	175.5	12.0	465.0	1333.1

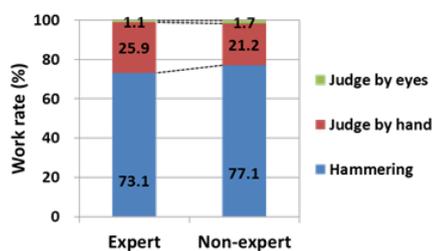


図 6 作業時間割合

## ②ハンマーの使用時間

図7にAからDのハンマーの使用時間を示す。全ての熟練者が、単一のハンマーで作業を終了していた。一方、非熟練者は2種類ないし3種類のハンマーを使用していた。熟練者は木槌であるハンマーAを使用していなかった。

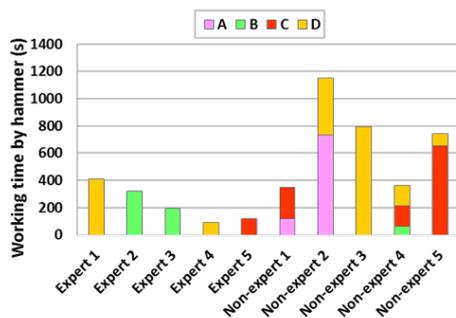


図 7 ハンマーの使用時間

## ③打刻位置

熟練者の中で最もハンマーの使用時間が短かった熟練者 4、最もハンマーの使用時間が長かった熟練者 1、非熟練者の中で最もハンマーの使用時間が短かった非熟練者 1、最もハンマーの使用時間が長かった非熟練者 2 の打刻位置を図 8 に示す。図内の黒丸は打刻位置を、灰色丸はフェンダーに貼付けた赤外線マーカーの位置を示している。熟練者と比較し、非熟練者は打刻を行った位置が広範囲におよんでいることが分かった。熟練者 4 の打刻位置は凹みのあったプレスライン上に多くはなく、凹みの周辺から打刻することで修理を進めていたことが明らかとなった。さらに打刻位置を詳細に見ると、熟練者 4 は

まず凹みの下部を打刻し、次に凹みの上部を打刻していた。それぞれの実験参加者の打刻回数は、熟練者 4 が約 1500 回、熟練者 1 が約 4300 回、非熟練者 1 が約 8100 回、非熟練者 2 が約 11900 回であった。

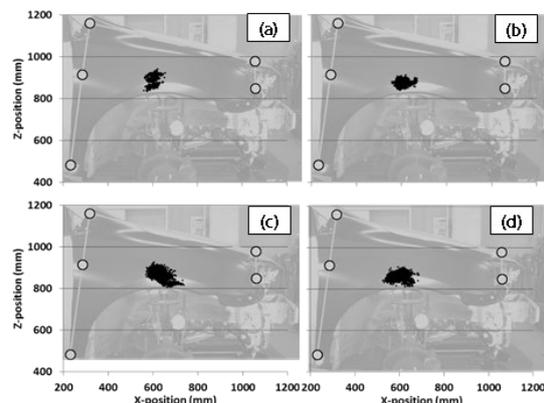


図 8 打刻位置(a)熟練者 4、(b)熟練者 1、(c)非熟練者 1、(d)非熟練者 2

## ④把持力

把持力の結果を表 4 に示す。全ての被験者が中指または人差し指と手の平で当て盤を支えていた。熟練者は 5 人中 4 人が手の平よりも指で把持する力が大きかった。一方、非熟練者は 5 人中 4 人が指よりも手の平で把持する力が大きかった。指の把持力が大きかった熟練者 1、2、3、4 の把持力の平均値は指が 13.9N、手の平が 4.0N であり、指と手の平の割合は 8:2 であった。手の平の把持力が大きかった非熟練者 1、2、3、5 の把持力の平均値は指が 7.7N、手の平が 17.0N であり、指と手の平の割合は 3:7 であった。

表 4 把持力の結果

被験者	中指		人差し指		手の平	
	Avg.[N]	S.D.[N]	Avg.[N]	S.D.[N]	Avg.[N]	S.D.[N]
熟練者1	3.4	5.3			1.8	1.7
熟練者2			13.2	16.0	2.5	3.2
熟練者3	24.8	28.0			3.1	3.9
熟練者4	14.3	15.1			8.8	5.3
熟練者5	10.9	12.7			25.8	17.7
非熟練者1			6.5	31.5	9.2	11.0
非熟練者2	15.3	47.3			43.4	17.5
非熟練者3			3.6	7.8	5.1	7.8
非熟練者4	20.1	3.7			1.9	3.7
非熟練者5	5.3	8.4			10.3	21.7

## (2)塗装作業

### ①作業姿勢

三次元動作解析から得られた右手首、右肘、右肩、左肩、右大転子、左大転子、右膝、左膝、右足首、左足首の x と z の座標位置からの姿勢を図 9 に示す。それぞれの始点、中点、終点はドアの右端から左端までの塗装における開始点、中点、終了点を表している。身長が同じである熟練者 3 と非熟練者 4 を比較した。熟練者は上半身の肩の傾きが始点では 17.7°、中点では 22.9°、終点では 32.1°と左に傾いた。非熟練者 4 は肩の傾きが始点では 19.0°、中点では 27.9°、終点では 32.5°と左に傾いた。また下半身を見てみると、非熟練者は始点の左足首が中点と終点に比べて右にあり、立ち位置を変えていたことが分かった。熟練者は立ち位置を塗布するパネルに向か

って若干左側に取り、足の位置を変えないことで、体の傾きを最小限に抑えることを可能にしていることが見出された。これらが姿勢の崩れを少なくし、体の横方向への動きを安定させ、プレーガン運行のバラつきを抑えているものと考えられる。

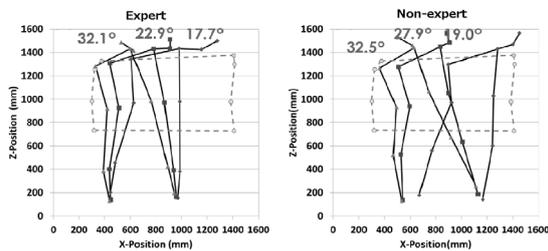


図 9 1 方向の塗装における始点、中点、終点の姿勢

### ②脇および肘の角度

スプレーガンを持つ脇の角度を図 10 に示す。非熟練者と比較すると、熟練者は脇の角度が小さいことから、脇を閉じている傾向が見られた。また、作業を重ねるにつれた角度の大きな変化は見られなかった。熟練者と非熟練者間の有意差は見られなかった。

スプレーガンを持つ肘の角度を図 11 に示す。非熟練者と比較し、熟練者は肘の角度が小さいことから肘を曲げている傾向が見られた。また、熟練者と非熟練者ともに作業を重ねるにつれて肘の角度が小さくなったことから、肘を曲げていく傾向にあることが分かった。熟練者と非熟練者間の有意差は見られなかった。

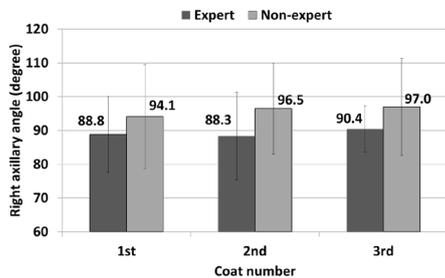


図 10 脇の角度

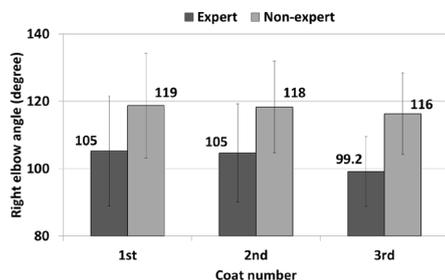


図 11 肘の角度

### ③ドアとスプレーガンおよび腰の距離

ドアとスプレーガンの距離を図 12 に示す。非熟練者と比較し、熟練者はドアとの距離が短かった。熟練者、非熟練者ともに作業を重ねるにつれてドアとスプレーガンの距離が短くなる傾向がみられた。また、熟練者はバラつきが小さく、最適な塗装距離に合わせてスプレーガンを動かしていたことがうかが

えた。熟練者と非熟練者間の有意差は見られなかった。

ドアと腰の距離を図 13 に示す。非熟練者と比較すると、熟練者はドアと腰の距離が 0.07m 短かった。作業毎に比較すると、熟練者は全ての回で約 1m の距離で作業を行っていた。一方、非熟練者は作業を重ねるにつれて距離が短くなる傾向にあり、立ち位置がドアに近づいていることか分かった。熟練者と非熟練者を比較すると、1 回目と 2 回目において有意差が見られた。

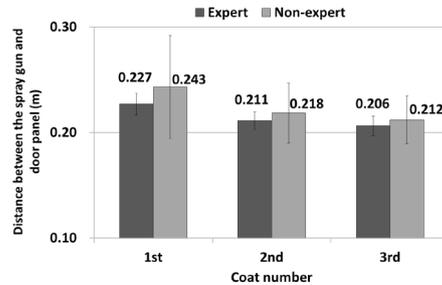


図 12 ドアとスプレーガンの距離

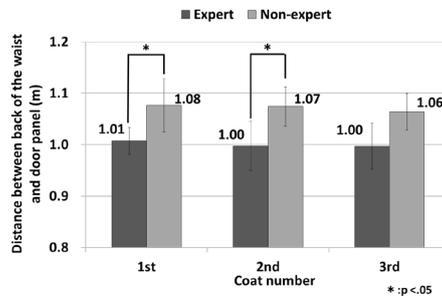


図 13 ドアと腰の距離

### ④スプレーガンの運行速度

スプレーガンの運行速度を図 14 に示す。非熟練者と比較し、熟練者は速度が速いことが分かった。熟練者と非熟練者を比較すると、1 回目と 2 回目において有意差が見られた。熟練者 2 のドア右端から左端までの 1 方向の塗装における速度と位置の関係を図 15 に示す。ドアの右端は 1.47m、左端は 0.34m に位置していた。この図より、ドアの場所によって速度が変化していることが分かる。そこで、図 5 に示した 6 つの領域におけるスプレーガンの速度を算出した。それぞれの領域のスプレーガンの速度を表 5 に示す。すべての領域で非熟練者よりも熟練者の速度が速いことが分かった。また、ドアの中央である B や E の速度はドアの両端と比べると約 0.35m/s 速いことが分かった。熟練者と非熟練者を比較すると、上側の A, B, C では 1 回目と 2 回目において有意差が見られた。D では 2 回目において有意差が見られた。E, F では 2 回目と 3 回目において有意差が見られた。

### ⑤膜厚

平均膜厚および膜厚の最大値と最小値の差分の平均値を表 6 に示す。膜厚は熟練者よりも非熟練者が厚かった。膜厚の最大値と最小値の差分は熟練者が小さかった。

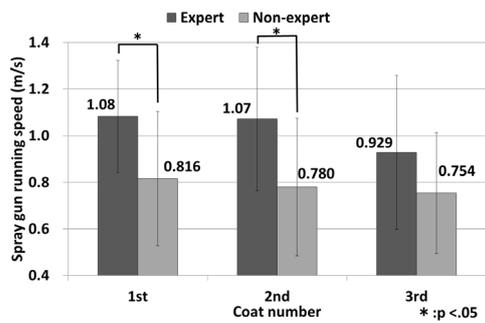


図 14 スプレーガンの運行速度

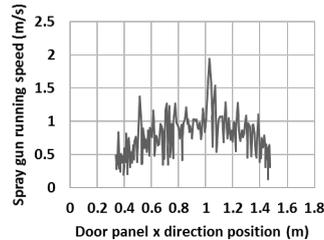


図 15 スプレーガン速度とドア横方向位置との関係

表 5 6つの領域におけるスプレーガン速度

Spray gun running speed (m/s)	Area					
	A	B	C	D	E	F
1st	Expert: 1.02	1.36	0.98	0.96	1.40	1.00
	Non-expert: 0.81	1.01	0.77	0.72	0.92	0.71
2nd	Expert: 0.99	1.37	0.98	0.96	1.34	1.00
	Non-expert: 0.77	0.96	0.72	0.69	0.89	0.69
3rd	Expert: 0.87	1.14	0.86	0.90	1.19	0.91
	Non-expert: 0.75	0.93	0.69	0.68	0.84	0.66

(\*:p<.05)

表 6 膜厚測定結果

	Expert		Non-expert	
	AVG.	S.D.	AVG.	S.D.
Film thickness (μm)	104.3	8.42	107.6	9.95
Difference of Max. and Min. (μm)	5.92	1.57	9.67	4.26

(3)教授内容

本研究の結果より、今回の実験条件に関する修理をする場合に非熟練者へ教授する内容として下記が挙げられた。

【板金】

- 1) 熟練者が板金を行っている動画
- 2) 作業時間の割合
- 3) 道具の選定基準
- 4) 当て盤の把持方法
- 5) ハンマリリングの位置

【塗装】

- 1) 熟練者が塗装を行っている動画
- 2) 塗装中の背面、側面からの姿勢とスプレーガンの軌跡
- 3) ドアと体の位置関係
- 4) スプレーガンの運行速度
- 5) 脇と肘の角度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① Shigeru Ikemoto, Kenta Morimoto, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hiroyuki Hamada, Effects of Spray Gun Handling of Automobile Repair on Carrier of Car Mechanic, Digital Human Modeling, 査読有, Vol. 9184, 2015, pp.289-298  
DOI: 10.1007/978-3-319-21073-5\_29

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 池元茂, 濱田泰以, 高井由佳, 自動車補修板金作業における熟練者の作業時間と打刻位置, 日本機械学会関西支部第91期定期講演会, 2016年3月11日, 大阪電気通信大学寝屋川キャンパス(大阪府寝屋川市)
- ② 池元茂, 濱田泰以, 高井由佳, 自動車補修塗装でのスプレーガン運行が仕上がりに及ぼす影響, 平成27年度日本人間工学会関西支部大会, 2015年12月5日, 大阪府立大学 I-site なんば(大阪府大阪市)
- ③ 池元茂, 濱田泰以, 高井由佳, 自動車補修塗装工程における熟練技術者に見られる姿勢の特徴, 日本機械学会 2015年度年次大会, 2015年9月14日, 北海道大学工学部(北海道札幌市)
- ④ 池元茂, 濱田泰以, 高井由佳, 自動車補修板金の経験年数が道具の使用方法に及ぼす影響, 日本機械学会 2015年度年次大会, 2015年9月14日, 北海道大学工学部(北海道札幌市)
- ⑤ 高井由佳, 池元茂, 濱田泰以, 自動車修理における熟練塗装技術者のスプレーガン運行の特徴, 日本機械学会関西支部第90期定期講演会, 2015年3月17日, 京都大学(京都府京都市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

高井 由佳 (TAKAI, Yuka)

大阪産業大学・デザイン工学部・講師

研究者番号: 90626368