

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：34407

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16329

研究課題名(和文)自動車修理板金塗装のための熟練者のコツを抽出した教育システムの構築

研究課題名(英文)Construction of an educational system to extract the knack of experts for automobile repair sheet metal painting

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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：手作業が多く、属人的暗黙知を多く有する自動車修理板金塗装における熟練者の有するコツを可視化・数値化し、若手技術者のための教育システムを構築することを目的とした。打ち出し板金およびメタリック塗料を使用したぼかし塗装を対象とし、3次元動作測定等を用いた解析により、熟練者の金槌の挙動やスプレーガンの操作が数値化された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により得られた知見は、自動車修理業界で渴望されているものであり、日本のみならず海外での利用価値も高い。さらに、自動車修理業界では、教育・研究に時間や予算を割くことが困難な中小企業が多いことをふまえ、研究機関が取りまとめて実験・研究を行うことは、日本のものづくり産業の活性化に繋がる。また、多角的なデータを用いた身体知の教育システムは、自動車修理業のみならず、同じような作業を伴う業種においても利用価値が高い。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to construct an education system for young engineers by visualizing and quantifying the knack of experts in automobile repair sheet metal and painting, which has many manual works and many implicit human knowledge. For hammer forming sheet metal and gradation painting using metallic paint, behavior of hammer and operation of spray gun of the expert were digitized by the analysis using three-dimensional motion measurements, etc..

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 塗装 板金 熟練技術者 暗黙知 動作解析 眼球運動解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

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、少子高齢化を原因とし、自動車修理における板金塗装に携わる技術者の全体数が減少し続けていることにより、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年が必要と言われている。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

上記のような状況を改善し日本の技術力を維持するため、本研究では、自動車修理の板金塗装の高度な作業における熟練技術者の技の可視化・数値化を行い、非熟練技術者がより短い期間で技の習得を行うための教育システムの構築を目的とした。この最終目的を達成するため以下の二つの小目的を設定した。

- (1) 板金では打出し板金の作業を、塗装ではメタリック調の塗料を使用したぼかし塗装の作業を解析の対象とし、板金塗装作業における熟練技術者および非熟練技術者を対象とした三次元動作測定等を実施し、熟練技術者の技を見出し、数値化を行う。
- (2) 板金塗装作業を行った製品の仕上がりを数値化し、動作と仕上がりの関連性を明らかにする。

3. 研究の方法

【1. 板金作業に関して】

本実験は、様々な経験年数を有する自動車修理板金技術者に、フェンダーのプレスライン上につけた凹みを金槌と当て盤のみで修理するように指示した。本実験では、自動車修理の板金作業に携わる技術者10名が実験参加者であった。経験年数が15年以上の実験参加者5名を熟練者とし、経験年数が8年未満の実験参加者5名を非熟練者とした。道具として、金槌、当て盤、フェンダー（ワゴンR左フロントフェンダー、スズキ株式会社製）を使用した。金槌と当て盤は、実験参加者10名が同じものを使用した。使用したフェンダーを図1に示す。図1の赤丸で示した部分に損傷に見立てた凹みを機械的に作製した。修理の制限時間を15分に設定し、プレスラインにかかる凹みをハンマリングのみで、極力パテ付け不要な仕上がりを目指して作業するように指示した。実験参加者の身体、フェンダー、金槌には標点となる赤外線反射マーカを貼り付けた。

作業の様子はビデオカメラで撮影を行うと共に、リアル光学式モーションキャプチャシステムMAC 3D SYSTEM（Motion Analysis社製）にて計測を行った。修理前後のフェンダーパネルの形状は、非接触3次元デジタル計測機COMET L3D-8M（スタインベクラー社）を用いて計測した。

金槌の挙動をより詳細に明確化するため、同じ実験参加者を対象とし、ハンマリングの高速カメラ撮影を実施した。修理対象物は、凹みのないフェンダー（ワゴンR左フロントフェンダー、スズキ株式会社製）とした。実験参加者には、普段と同じようにフェンダーを10回ハンマリングすることを指示した。金槌の動きは高速カメラ（FASTCAM SA5、フォトン社製）を用い、500 fpsにて撮影を行った。



図1 フェンダーパネル

【2. 塗装作業に関して】

本実験は、様々な経験年数を有する自動車修理塗装技術者に、ドアの隅に塗布した塗料を周りの箇所と同様に塗装し直す、ぼかし塗装を行うように指示した。実験参加者は、経験年数の異なる11名の技術者であった。経験年数17年以上の技術者を熟練者、経験年数5年未満の技術者を非熟練者とした。実験参加者は、熟練者5名、非熟練者6名であった。

塗装対象物として、株式会社SUBARU社製レガシィの左フロントドアを使用した。ドアパネルは、実車に取り付けられた普通の作業により近い状況にするため、塗装ブース内に専用の器具を用いて立てて設置した。トヨタ自動車製シルバーマタリック、カラーコード1F7に塗られたパネルに、左下部10cm四方をグレーに塗布することで損傷部位と見立てた。実験参加者には、損傷部位をベースコートで染色させた後、クリヤーコートをドアパネル全面に2回塗布することで仕上げるよう指示した。全ての塗料はロックペイント株式会社製の溶剤型塗料を使用し、メーカーの推奨する配合で溶剤を混ぜ合わせ、スプレーガンに入れた状態で用意した。スプレーガンはアネスト岩田株式会社製W-101を、ベースコート用、ボカシ際処理剤用、クリヤー用として3

丁用意した。調整可能な塗料の吐出量，パターンの広がり具合や入力圧は，3種類の塗料すべて統一し，実験参加者にはスプレーガンを調整してはならないと指示した。実験参加者の身体，スプレーガン，ドアパネルには標点となる赤外線反射マーカを貼り付けした。

実験参加者およびスプレーガンの動きは，リアル光学式モーションキャプチャシステム MAC 3D SYSTEM (Motion Analysis 社製) を用いて計測を行った。実験参加者の視線の測定には，アイトラッキングシステム Tobii Pro グラス 2 (Tobii 社製) を用いた。注視場所を明確化するため，図 2 に示すようにドアパネルを 18 のエリアに分けた。1-4 エリアが損傷部位に見立てた部分にあたる。修理の終わったドアパネルの塗装は，分光測色計 CM-M6 (コニカミノルタ製) およびアピアランスアナライザー Rhopoint IQ (Rhopoint Instrument 社製) にて計測を行った。



図 2 ドアパネルと注視位置の区分

4. 研究成果

【1. 板金作業に関して】

作業は，「打刻」「当て盤の調整・確認」「手を使った形状の確認」「目視での形状の確認」「その他」の 5 つに大別できた。図 3 に作業時間を示す。熟練者 3，熟練者 4，熟練者 5，非熟練者 1，非熟練者 2 は，制限時間である 900 秒まで作業を行っていた。熟練者 1 は 553 秒，熟練者 2 は 238 秒，非熟練者 3 は 279 秒，非熟練者 4 は 178 秒で作業を終えていた。

打刻の作業時間は，熟練者 1 が 88 秒，熟練者 2 が 116 秒と短い時間であったが，熟練者 3 が 502 秒，熟練者 4 が 549 秒，熟練者 5 が 360 秒と長く時間を要した。打刻の作業時間が長い実験参加者は，全工程にかかる時間が長い傾向が見られた。当て盤の確認・調整の作業時間は，熟練者は長く時間を費やす傾向あり，中でも熟練者 1 が 261 秒，熟練者 3 が 213 秒を費やしていた。熟練者 1 は，全体の作業時間の半分以上を費やし当て盤の調整・確認を行っていた。当て盤の調整・確認にかかる時間が短い実験参加者は，手での形状の確認や目視での形状の確認に費やす時間が長くなる傾向にあることが分かった。熟練者の中でも熟練者 5 は当て盤の調整・確認の作業時間が 31 秒と短い時間であるが，手での形状の確認の作業時間は 359 秒と長い時間を要していた。非熟練者は，5 名とも当て盤の調整・確認の作業時間は手での形状の確認や目視での形状の確認の作業時間よりも短い時間であった。

高速度カメラで撮影した金槌の挙動について解析を行った。図 4 にハンマリング 5 回目における金槌を最も引いた時から打刻までの槌の速度の推移を示す。横軸は技術者に対して前後方向の位置を示し，打刻時の位置を 0mm とした。熟練者は，最高速度に達するまで，距離に比例して速度が増す傾向が見られた。熟練者の最高速度に達した位置は，-3 mm から -1 mm の間であった。とりわけ熟練者 2 は打刻直前の減速が顕著であった。非熟練者はフェンダーに近づくにつれて距離に対する速度の増分が減少していく傾向が見られた。非熟練者の最高速度に達した位

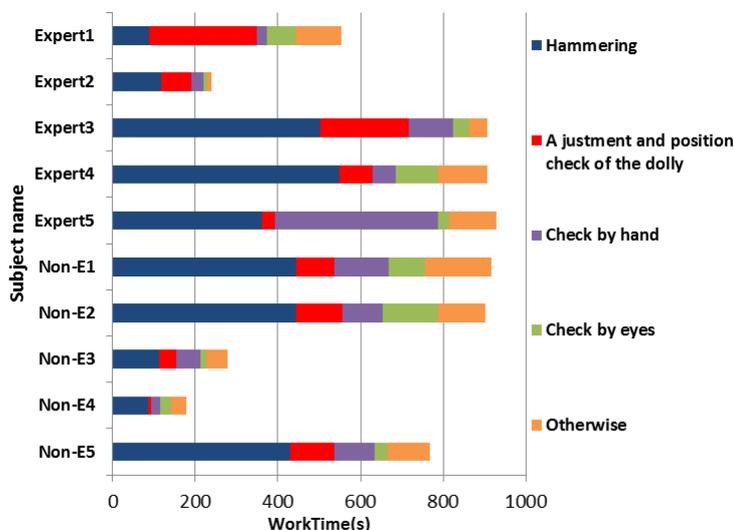


図 3 打ち出し板金の作業時間

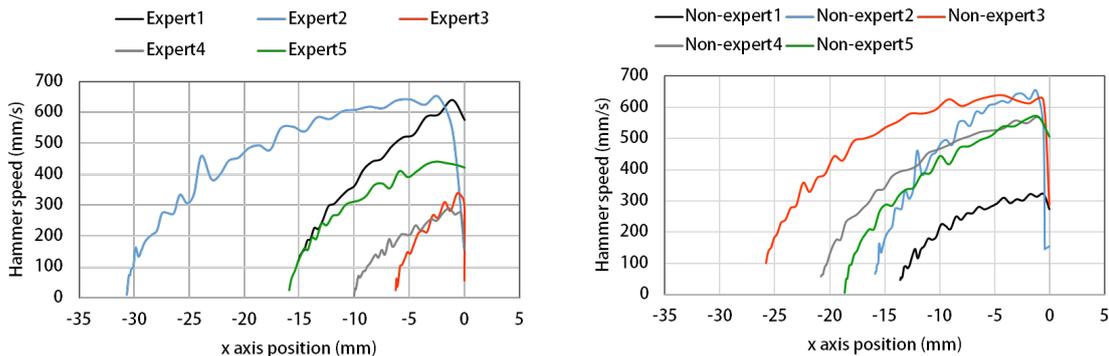


図 4 金槌を最も引いた時から打刻までの金槌の速度と位置の関係

置は-1 mm から 0 mm の間であった。

【2. 塗装作業に関して】

塗装作業は、「拭き」「乾燥」「塗装」「スプレーガンの選別」「目視確認」の5工程に大別された。全ての実験参加者が、同一の塗料を複数回に分けて塗装を実施していた。異なる工程を行うまでの連続した塗装を『1回の塗装』と呼ぶこととする。

図5に各工程の作業時間を示す。熟練者は非熟練者より乾燥と目視確認の時間が短いことがわかった。

ベースコート塗装における塗装回数ごとのスプレーガンの運行速度の平均値推移を図6に示す。実験参加者ごとにスプレーガンの速度が異なるが、熟練者は概ね500mm/sから1000mm/sの速度で、非熟練者は概ね200mm/sから700mm/sの速度で作業を行っていた。

ベースコートの全塗装時間を100%とした際の

各エリアの注視時間割合を図7に示す。熟練者は5エリアの注視時間割合が最も高かった。続いて、8, 11, 10, 1, 12エリアの順で注視時間割合が高かった。熟練者と同様に非熟練者も5エリアの注視時間割合が最も高かった。続いて、6, 8, 7, 4, 2エリア順で注視時間割合が高かった。1-4エリアにあたる損傷部位直上を注視する熟練者の時間割合は他のエリアと比較し低かった。熟練者は8, 10, 11, 12エリアといった広い範囲を見ながら塗装をしていた。熟練者と同様に非熟練者の1-4エリアにあたるの損傷部位直上を注視する時間割合は他のエリアと比較し低い。熟練者と比較すると約3倍高い時間割合で注視していた。非熟練者の注視時間割合の高いエリアは5-8に集中していた。非熟練者は11, 12といったプレスラインより上部の注視時間割合が熟練者に比べ低かった。

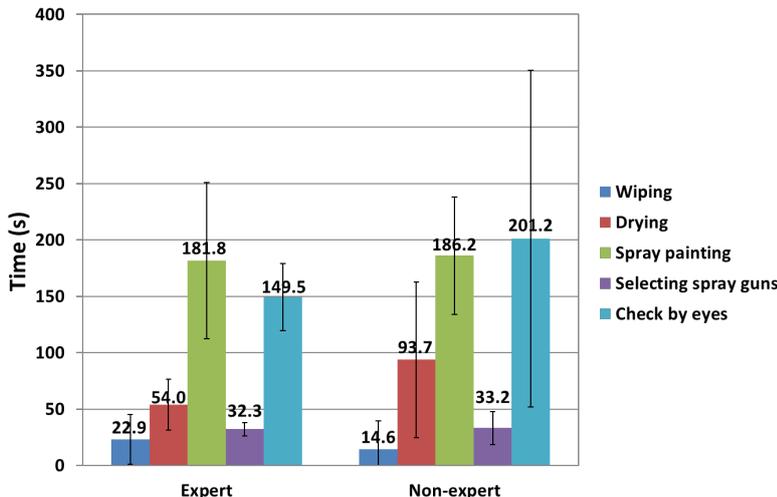


図5 ぼかし塗装の作業時間

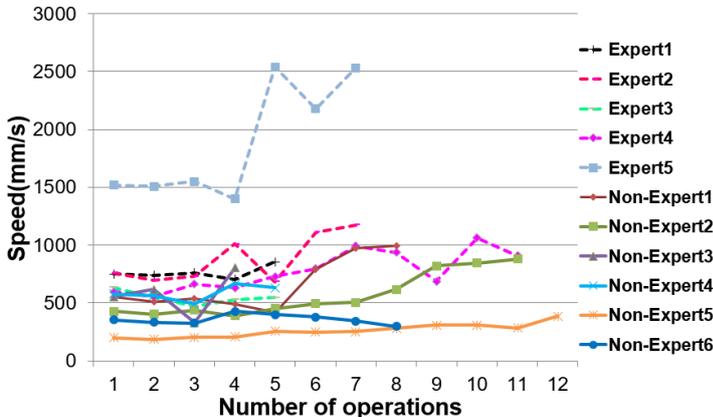


図6 ベースコート塗装における塗装回数とスプレーガン速度の関係

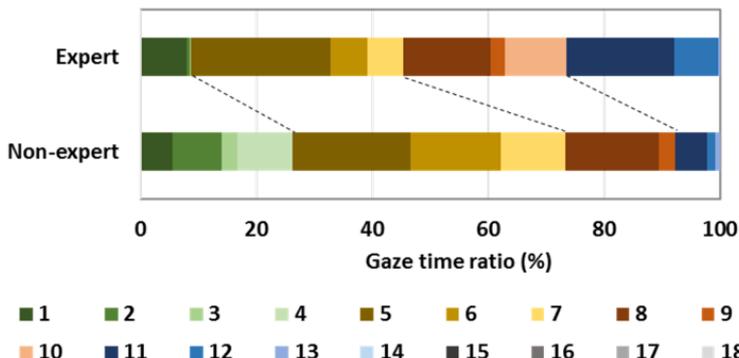


図7 ベースコート塗装におけるドアパネルの各エリアにおける注視時間割合

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高井由佳、池元茂
2. 発表標題 自動車修理打ち出し板金におけるハンマーとドリルを把持する力と作業手順の関係
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuka Takai, Shigeru Ikemoto
2. 発表標題 Activity Process Analysis in Automobile Sheet Metal Dent Repair
3. 学会等名 International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池元茂、高井由佳
2. 発表標題 高速度カメラを用いた自動車修理板金における金槌の挙動解析
3. 学会等名 第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅林真也、高井由佳、池元茂
2. 発表標題 自動車修理板金作業における経験年数の違いによる作業プロセスに関する研究
3. 学会等名 第5回材料WEEK
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高井由佳、池元茂
2. 発表標題 自動車修理部分塗装の確認工程における熟練技術者の特徴
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池元茂、高井由佳
2. 発表標題 自動車修理部分塗装におけるベースコート塗装時のスプレーガン運行の動作解析
3. 学会等名 自動車技術会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池元茂、高井由佳
2. 発表標題 自動車修理塗装におけるメタリック色を用いた部分塗装時のスプレーガン把持力と作業工程の関連性
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日笠貴裕、高井由佳、池元茂
2. 発表標題 自動車修理のメタリック塗装における熟練者の3次元動作解析
3. 学会等名 第4回材料WEEK
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池元茂、高井由佳
2. 発表標題 メタリックカラーの部分塗装時における技術者の眼球運動特性
3. 学会等名 自動車技術会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陳思楠、高井由佳、池元茂
2. 発表標題 自動車修理のぼかし塗装における工程分析
3. 学会等名 教育システム情報学会学生研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----