

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501100

研究課題名(和文)溶接技能継承支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of a welding skill succession support system

研究代表者

松浦 慶総(MATSUURA, YOSHIFUSA)

横浜国立大学・工学研究院・特別研究教員

研究者番号：70282960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：近年、熟練技能の継承問題が大きな社会問題となっている。技能情報が熟練者の定性的表現、経験に大きく依存し情報共有が困難であるので、技能情報の定量化、教育支援システムの開発が重要である。本研究では被覆アーク溶接技能を対象とし、品質工学手法のRT法を適応することで熟達技能者データに基づいて熟達度を定量的に評価するシステムの開発を行った。また学習情報を効果的に共有するために、AR技術を活用してリアルタイムに自身の様子を投影する学習情報提示システムを開発した。また、教授者と学習者が情報共有を行うために特性要因図による提示手法を開発し、共有情報の構造化、視覚化を可能とした。

研究成果の概要(英文)：In late years the issue of succession of the expert skill becomes the big social problem. Because skill information depends on the qualitative expression and experience of the expert, information sharing is difficult. Therefore, quantification of the skill information, the development of the education support system are important. In this study, the skill of shielded metal arc welding is intended for. We developed the system which evaluated a proficiency degree based on proficiency skill person data quantitatively by using the RT method of the quality engineering technique. In addition, we developed the learning information presentation system which reflected one's posture using an AR technology in real time to share learning information effectively. Because a professor person and a learner held information sharing, I developed the presentation technique by the figure of characteristic factor. As a result, I enabled being structured and visualization of the joint ownership information.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：技能教育 情報共有 教育支援システム 技能評価技術 技能継承 被覆アーク溶接

1. 研究開始当初の背景

現在、日本の製造業ではこれまでものづくりで重要な役割を果たしてきた熟達技能者の高齢化、若者の製造業離れによる後継者不足にともなう製造技術・技能の継承問題が深刻化している。特に団塊世代が2007年以降に大量退職する「2007年問題」は、少子化問題と併せて日本の産業、特に工業に大きな影響を与えているといわれており(平成17年度経済財政白書、内閣府、2005年)、早急な対策が必要となっている。

また、1990年代から製品ライフサイクルが急速にグローバル化し、とくに生産工程は製造工程の自動化、部品の標準化を行うことで、中国や東南アジアへの生産・製造拠点の海外移転が盛んに行われた。その流れが最近の急速な円高によりさらに加速され、大手企業の下請け・孫請けといった中小企業も海外に生産拠点を移さなければならない状況となっている。また、同時に技能・技術情報が流出したため、国内の技術力低下や安い海外製品との差別化ができないといった問題が起きており、このままでは、日本国内でのものづくりが成り立たなくなる懸念が生じている。

そこで、海外でのものづくりとの差別化を図るため、最先端技術を用いた製品や高付加価値製品、高品質製品の生産を積極的に推し進めているが、これらの製品の開発や生産に柔軟に対応するためには、高い技術や熟達技能を持つ人材が不可欠であり、技術・技能教育が非常に重要になっている。しかし、従来の教育システムはOJT(On the Job Training)などの熟達者が生産現場で若手を直接指導する手法が主流であり、教育に時間と手間がかかる、若手のモチベーションの維持が困難である、熟達者自身が教育者でないため熟達者ごとに指導のポイントが異なり、効果的かつ適切な教育指導を十分に行うことが難しいといった問題がある。最近では大手企業で技術・技能教育のための制度やマニュアル作りを進めているが、ものづくりの中心であった中小企業では、時間も人材も手配できないためほとんど対策ができず、製造技術や技能の保存技術とその教育支援システムの開発が強く望まれている。

本研究では溶接技能のうち、溶接実技に関する技能動作を対象とする。溶接は溶接過程での品質判定や製品での破壊検査が困難といったことから、製造工程において「特殊工程」と呼ばれている。例えば原子力発電所の配管溶接の場合であり、実際に溶接作業を行う技能者の高度な技能レベルが要求される。この技能動作の習熟にはプロセス情報が重要であるが、熟達技能者の定性的評価に大きく依存している。これまでは、OJTなどで熟達技能者が直接指導する、未習熟者が熟達技能者の作業を観察するといった徒弟教授システムにより、技能の獲得、継承を行っていた。この場合、熟達技能者ごとに指導するポイントが違ったり、習熟プロセスの構造が未

解明なため試行錯誤することが多かったりし、未習熟者が戸惑い、また習熟に時間がかかってしまう。

したがって、技能プロセス情報や技能レベルを定量化し、それらを基にした教授システムの開発がきわめて重要である。また熟達技能者が無意識で行っている溶接作業において、製品品質を左右するポイント、また技能向上のためのコツといった、これまで「暗黙知」として作業経験のみで獲得していた知識を構造化し、誰もが理解できる表現手法で提示する、「暗黙知の可視化」が必要である。これにより、学習過程において未習熟者が動作の注視点を認識し、同時に熟達技能者が未習熟者の学習状況を把握することが可能となる。したがって、本研究では溶接技能継承支援システムの開発の実現を目的とし、熟達技能動作知的符号化システム、溶接技能評価システム、溶接技術学習支援システムを開発する。

2. 研究の目的

技能継承問題においては技能プロセスの暗黙知の定量化、可視化、教育支援システムの開発がきわめて重要である。また、本研究で対象としている溶接技能では、熟達者ごとに指導するポイントが違う、技能動作という暗黙知を相手に表出することが困難といった問題が生じていた。既往研究では動作データの運動学的解析、保存技術の開発はあるが、技能教育を主眼とした評価・学習支援システムの開発は行われていない。

そのためにまず、熟達技能動作を定量的に評価し、熟達者の技能動作に対する知識や感覚といった定性情報と比較することで技能情報の構造化を行う、熟達技能動作の知的符号化が重要である。さらに知的符号化された熟達技能を基に技能動作の定量的評価、技能レベル判定を行い、これらの情報を熟達技能者と未習熟者双方が容易に理解できる形で提示する。技能判定にはパターンマッチング技術の応用することで、熟達者の評価基準を基にした評価技術の開発を目指している。また暗黙知の可視化では、AR(Augmented Reality: 拡張現実感)技術の適応を検討する。VR技術を用いた技能シミュレーションシステムも開発されているが、多くの感覚情報を再現するためには、非常に大規模なシステムが必要となる。そこで、実際の作業を行いながら、学習情報をリアルタイムに提示できるAR技術の実現可能性、問題点の検討を行う。溶接技能の暗黙知の「可視化」や「注視点の共有」は、熟達者や未習熟者の「気づき」にきわめて重要な技術である。熟達度の評価とともに、AR技術により作業中に技能情報の提示をすることで、これまで潜在していた知識を「気づかせる」ことを目的としている。

したがって、本研究では熟達技能動作知的符号化システム、溶接技能評価システム、溶接技能継承システムの開発を目指すことを

目的とした。

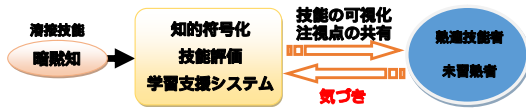


図1 技能情報の共有

3. 研究の方法

本研究では、熟達技能動作知的符号化システムと溶接技能評価システムで、溶接技能を定量的に評価し、それらを統合して教授者と学習者との情報共有を促進して教育支援を行う、溶接技能継承支援システムの開発を行った。

(1) 熟達技能動作知的符号化システム

熟達技能動作知的符号化システムでは、同期撮影システムと筋電位測定システム、モーションキャプチャシステムで構成されている。同期撮影システムで複数のカメラで技能動作を同期撮影でき、さらに筋電位測定システムとの同期計測が可能である。これらにより、技能動作の定量的計測が実現できる。

同期撮影システム

3次元時系列位置情報を取得するために、USBカメラ(PGR社製Flea3カメラ)3台とPCを用いて、30fpsで同期撮影が可能なシステムを作成した。またアーク光の影響を最小限にし、後工程のモーションキャプチャの時にマーカ追尾を容易にするためにレンズに光吸収・赤外線透過フィルタを装着した。

筋電位計測システム

溶接動作時の腕の筋電位を測定することで、腕の使い方、溶接棒の保持、移動の仕方のコツを抽出する。筋電位データ4chとマーカ電圧1chをデータロガーに接続し、計測開始時にマーカをON/OFFさせることで、3カメラ同期撮影システムと同期させている。

モーションキャプチャシステム

3カメラ同期撮影システムで撮影した動画データをDippMotionPro(ディテクト社製)により計測ポイントの3次元位置の時系列データに変換する。なお、今回の測定は、肩部、肘部、手首部の各1か所と、安全ホルダ部3か所の計6か所にマーカを貼付している(図2)。

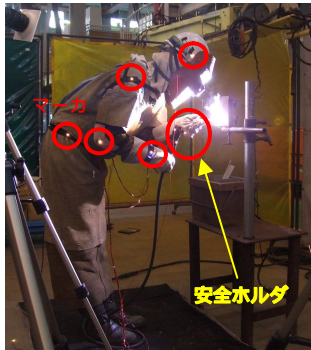


図2 溶接作業測定例

(2) 溶接技能評価システム

熟達技能動作知的符号化システムで熟達

者の技能動作を定量的に測定し、そのデータから品質工学手法であるRT法(立林和夫、長谷川良子、手島昌一、入門MTシステム、日科技連出版社、2008年)のパターンマッチング技術により熟達動作を分類、評価する溶接技能評価システムの開発を行った。

RT法は品質工学の一手法であり、良品群の測定データから単位空間を設定し、判定する測定データと単位空間とのマハラノビス距離を求めることで良品判別を行う。

単位空間の作成

熟達者の技能動作を用いて、単位空間を作成する。評価項目はRT法により、評価に大きな寄与を及ぼす項目の選定を行う。今回の評価項目は、肩部、上肢の相対位置と体幹と肘との角度、筋電位データを対象とした。

技能判定

未習熟者のデータと単位空間よりマハラノビス距離を求めて、技能判定を行う。これにより、どの評価項目で問題があるかが判定できる。

(3) 溶接技能継承支援システム

(1)と(2)により得られた技能情報を技能教育に効果的に利用するための情報共有システムの開発を行った。具体的には、溶接作業中にリアルタイムに学習情報を提示するためにAR技術の利用の検討と溶接技能教育において教授者と学習者の着目点を明確にするために、品質工学手法の特性要因図を用いた共有情報構造化技術の開発を行った。

4. 研究成果

本研究では、企業の溶接技術センターに勤務する溶接技能者6名を対象に、ウィーピング運棒法による裏金有立向突き合わせ溶接の技能評価実験を実施した。

具体的には、熟達溶接技術者として実務経験15年(A)、8年(B)の2名、溶接技能者として実務経験4~5年(D,E,F)の3名、初級溶接技能者として実務経験4ヶ月(C)の1名を対象としている。溶接対象は、10mmの軟鋼板の裏当て金有りの立向突き合わせによるアーク溶接とし、ウィーピング運棒法で3層溶接、5枚試行を実施した。

位置計測箇所は、溶接ホルダ:3箇所、手首、肘、肩の6箇所とし、EMG測定箇所は橈側手根屈筋、上腕二頭筋、烏口腕筋、僧帽筋の4箇所とした。なお、EMG解析では実験開始前に高負荷を腕にかけて、各計測部位の最大随意収縮力(MVC)を計測し、溶接時のEMGデータをRMS(Root Mean Square:自乗平均平方根)で時定数0.15secで平滑化し、MVCから%RMSを求めた。

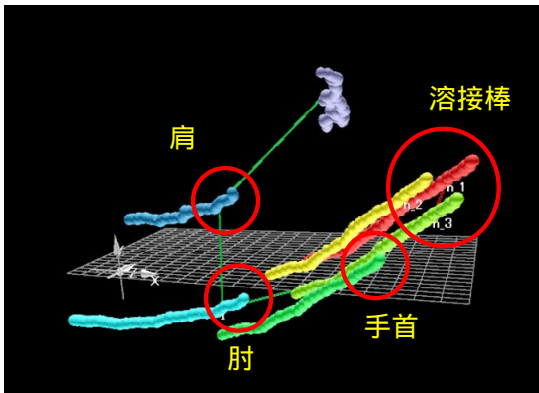


図3 動作解析例(3次元表示:被験者A)

この結果から、溶接開始時点の姿勢データは初級溶接技能者を除きほぼ変わらない結果となったが、上方に運棒を進めると熟達者は姿勢があまり変化しないが、経験が浅いほど脇が開く結果となった。初級溶接技能者は姿勢が大きく異なっている(図4~6)。

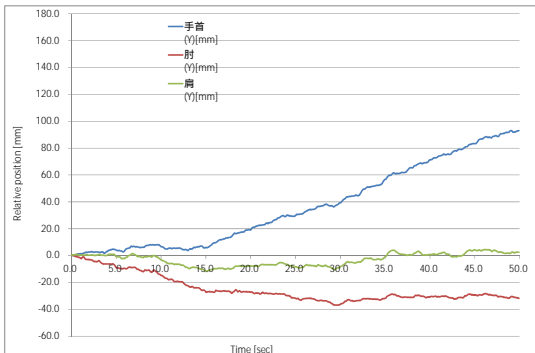


図4 相対位置(Y座標,被験者A)

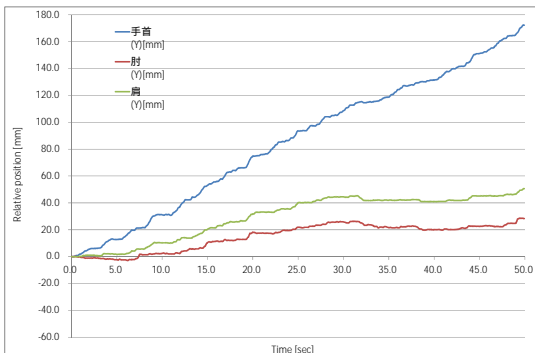


図5 相対位置(Y座標,被験者F)

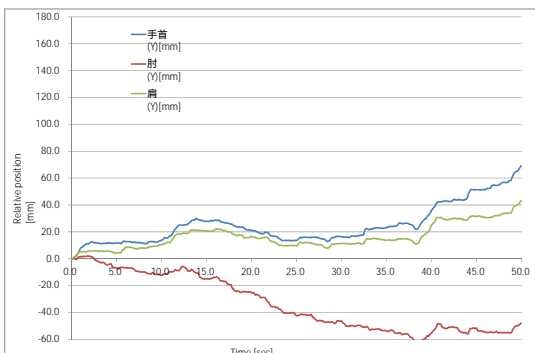


図6 相対位置(Y座標,被験者C)

またEMG解析では熟達者の結果は最大筋電位に対して30%以下で、時間的変化もあまりないが、3~5年の技能者では運棒に対して筋電位が不安定で、しかも肩付近の筋電位が大きくなる傾向が分かった。初級溶接技能者は全ての%RMSで大きくなっている(図7~9)。同様のことが上腕でも観察された

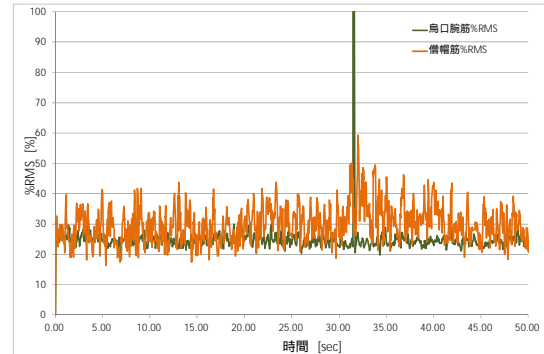


図7 %RMS解析結果(肩近傍,被験者A)

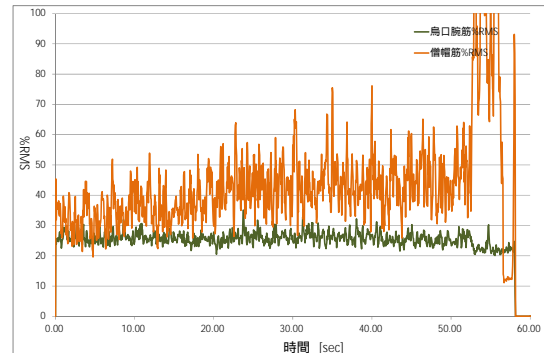


図8 %RMS解析結果(肩近傍,被験者F)

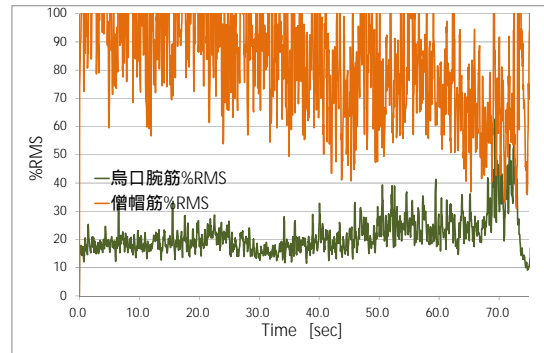


図9 %RMS解析結果(肩近傍,被験者F)

以上の結果から、肘と体幹の位置関係と上腕、肩近傍の%RMSと熟達度の関係があるとわかり、これよりRT法に単位空間と学習者のデータとのマハラノビス距離を求めることで、溶接技能の習得レベルと技能動作、筋活動の部位とタイミングについて評価が可能となった。

次に、学習者が自主学習時に熟達度向上のための指導情報を提示するシステムの初期研究を行なった。具体的にはAR技術を利用し、シースルー型HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を溶接作業時に被験者に装着させ、

同時に撮影している被験者自身の身体状態を提示する実験を行った(図10)。

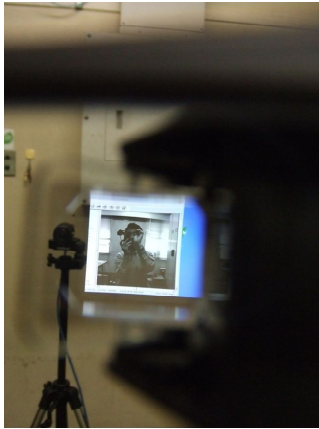


図10 シースルー型HMD

アンケートの結果、これまで全く観察したことがなかった自身の溶接姿勢を観察することで、姿勢学習への効果の可能性が高いが、溶接品質に極めて重要な溶融池の確認の阻害にもなるという結果になった。今後は、必要時に提示出来るような、提示タイミング制御を開発する必要があることがわかった。

最後に、教授者と学習者が情報共有を行うために、共有情報の構造化、および情報の視覚化として品質工学手法の特性要因図による提示手法を開発した。

特性要因図は、現象や結果などの特性とその特性に影響を与える要素、原因の関係性を整理する図であり、特性への影響の度合いから要因を階層化している。また、品質管理の観点から5M(人、機械、材料、方法、測定)により要因を分類し、関係性について視覚化している。これを技能情報の構造化に対して応用する。特性を技能のパフォーマンスとし、パフォーマンスに影響を与える項目を主要因として明示する。技能ではパフォーマンスへの影響度を考慮し、直接的に影響を及ぼす主要因から描いていく。さらに主要因に影響を及ぼす要因を子要因、孫要因として枝を追加する。このように要因を配置すると、パフォーマンスに直接影響する器具などの状態が技能パフォーマンスの一番近くに配置され、その器具を操作する身体の一部(手、足)から体幹と記載される。また、要因の子要因として評価項目を記載する際に、定量的評価を四角、定性的評価を丸で描いて視覚的に表現する。また、身体をどのように動かしたらよいかという意識、体性感覚については主要因に点線で直接繋げて描くという技能特性要因図を作成する。ここで被覆アーク溶接に関する文献を調査し、溶接技能に関する記載を抽出して、主要因、および子要因を決定する(表1)。

表1から、子要因までが決定され、これから技能特性要因図を作成する(図11)。

表1 被覆アーク溶接技能の要因

主要因	項目	子要因	主要因	項目	子要因
要因1	溶融池	形状	要因5	保持する手	位置
		大きさ	要因6	上半身の状態	肘の位置
		凝固線			腕
要因2	ビード	幅	要因7	下半身の状態	足
		余盛高さ			膝
		外観形状	要因8	姿勢	体の向き
要因3	アーク	長さ			姿勢
		音	要因9	視線(注目点)	視線の高さ
		安定性	要因10	重心位置	溶融池
要因4	溶接棒	角度			無し
		運棒速度			
		ピッチ			
		運棒法			

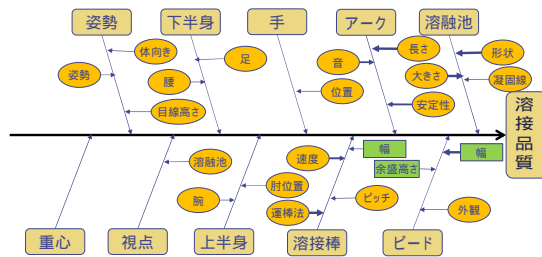


図11 被覆アーク溶接技能特性要因図

これにより、溶接技能情報の構造を視覚的に提示することができ、教授者、学習者が互いに現在の技能習得状況や、注目点、課題の要因を理解することが可能となる。また、学習者の気付きを誘発することで、高い学習効果を得ることが期待できる。

本研究の成果は、伝統芸能、スポーツ、リハビリテーション等の福祉関係等、応用範囲が広い。特に団塊世代の退職により余暇市場の成長が期待され、スポーツや陶芸などの趣味で今回開発するシステムを提供することで新たな市場を形成できると考える。また、福祉分野では急速な高齢化に対して十分な理学療法士の確保が難しく、理学療法士の教育が問題となっている。これらの問題にも今回のシステムがきわめて有用性が高いと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 4件)

- 松浦 慶総, 高田 一, 溶接技能における技能情報共有手法の提案, 人工知能学会, 2014年度人工知能学会全国大会(第28回), 2014.5.12, 愛媛県県民文化会館
- 松浦 慶総, 高田 一, 溶接技能における技能情報提示法の提案, 人工知能学会, 2013年度人工知能学会全国大会(第27回), 2013.6.4, 富山国際会議場
- 松浦 慶総, 高田 一, 溶接技能における熟達度評価法の開発, 人工知能学会, 2012年度人工知能学会全国大会(第26回), 2012.6.12, 山口県教育会館

松浦 慶総, 高田 一, 溶接技能における熟達度評価に関する研究 -溶接動作の筋活動と熟達度との関係性-, 人工知能学会, 第11回身体知研究会, 2011.12.14, 慶應義塾大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 慶総 (MATSUURA YOSHIFUSA)
横浜国立大学・大学院工学研究院・特別研究教員
研究者番号：70282960

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：