

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01019

研究課題名(和文) 構造化技能情報による溶接技能教育支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of the skill training system for welding using the structured skill information

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年のものづくり産業における大量退職などの問題により、ものづくり力の教育システムの整備が極めて重要となっている。本研究では溶接技能を対象として、学習者の熟達度に適した技能教育支援システムの開発を目的とした。本システムは、パターンマッチング技術のMT法により技能の定量評価を可能とした。また、技能要因解析および技能情報構造化手法を開発し、被覆アーク溶接の技能情報構造化を実施した。この構造化情報より初級学習者に効果的な学習を実現できる新指導法を作成し、従来指導法との比較から優位な学習効果を得ることができた。また、学習者は技能に関する身体情報の気づきが得られ、情報の再構築が可能となった。

研究成果の概要(英文)：In recent years, many experts have retired in the manufacturing industry, so the development of a skill education system is extremely important. In this research, we aimed to develop a skill education support system based on learners' proficiency in welding skills. In this system, the skill evaluation method was developed by applying the MT method, which is a pattern-matching technology. In addition, skill factor analysis and a skill information-structuring method were developed; skill information on shielded metal arc welding was then structured using these methods. Based on the acquired structured skill information, this system has created a new teaching method that allows beginners to learn effectively. As a result of the comparative experiment, the learning effect was higher with the new teaching method than with the conventional teaching method. Furthermore, learners were able to notice new body sensations, and as a result, the information could be reconstructed.

研究分野：教育工学

キーワード：技能教育 溶接 情報構造化 要因分析 視覚化 技能評価 学習支援 技能継承

1. 研究開始当初の背景

日本のものづくり産業において、中小企業で重要な役割を果たしてきた熟達技能者の大量退職や高齢化、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・技能の継承問題の深刻化が言われて久しい。さらに、昨今の生産拠点の海外移転や、サプライチェーンのグローバル化による完成品における現地調達部品の割合増加等から国内製造業の空洞化が懸念されている⁽¹⁾。一方で、最近では戦略的に重要な基盤技術や先行技術、工程・品質管理技術を国内製造拠点で開発し、その後海外拠点に水平展開するマザー機能化が急速に行われている⁽²⁾。これらの新たな展開により、国内での高度な技能・技術を有した熟達者の重要性、必要性が非常に高くなっているため、早急に技能者養成の仕組みを整える必要がある。

しかし技能者教育の現状は、一部ではマニュアル化やマルチメディア教材で対応しているが、未だに多くの企業ではOJT (On the Job Training) に依存している。OJTは現場の熟達者を指導者役とするが、技能指導者の教育システム自体がないために熟達者の経験に依存しており、教授レベルや教授プロセスにはばらつきが生じたり、学習者の熟達状態を的確に把握することができなかつたりすることで、効果的な教育の実現が難しい。特に身体動作をとともなう技能では、身体の使い方や感覚などの言語化が容易にできない暗黙知と呼ばれる知識が技能の熟達には重要であるが、直接的に学習者が理解し、教授者が学習者の熟達度を把握するのが困難となっている。

申請研究の対象である溶接は、溶接中の品質判定や完成後の破壊検査が困難であることから、特殊工程と呼ばれている。したがって溶接品質は溶接時のアーク状態に大きく依存しているため、いかに良好なアーク状態を実現するかが極めて重要である。特に研究対象としている被覆アーク溶接は直接手で溶接棒を操作するため、良好な溶接品質実現のためには溶接技能の向上が必要である。これまでの溶接技能学習では、溶接棒の角度や運棒動作、アーク状態、熔融池状態といった溶接棒に関する情報がケーススタディ的に与えられているだけである。良好なアーク状態を実現するためには、溶接棒を支持する手や腕、体幹姿勢が非常に重要であるにもかかわらず情報がほとんどなく、また指導も行われていない。これまでの技能教育では技能の結果に対する評価のみが行われ、それらの要因である身体運動制御や感覚情報、意思決定プロセスを評価するという視点、または評価手段がないといえる。いわゆる「技を盗む」という学習は、成果の良否結果からプロセスを試行錯誤する学習であり、習熟に時間がかかったり、モチベーションの維持が難しかったりすることで学習が困難になる。したがって、教育的観点から技能情報の構造化を行い、

技能結果に対する要因を明確にすることで、指導者と学習者が情報共有可能な技能支援システムが必要である。

2. 研究の目的

研究背景で述べたように、これまでの技能に関する研究では主に技能結果や身体の解析・評価を行っているが、技能結果に影響を及ぼす身体運動制御や感覚情報、意思決定プロセスといった身体情報をほとんど扱っていない。さらに、技能情報の構造自体が不明確で評価手法や伝達手段がないため、技能教育情報としてフィードバックが出来ていないのが実情である。したがってこれらの問題点を考慮しなければ、技能情報を十分に共有ができず、教育効果も限定的となってしまう。

そこで、本研究では技能情報のデータ構造と技能教育プロセスに着目した溶接技能教育支援システムの開発の実現を目的とする。これまで用いられている溶接技能の教育情報を品質工学手法である要因分析を適用することにより、溶接品質に影響を与える要因の解析、および教育情報の構造化を目指す。また溶接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MT法を応用することにより定量評価する技能定量評価システムの開発を行う。これらより技能教育の教授—学習プロセスを考慮して技能情報を構築し、特に初級者が気づきによる学習が可能な新たな教育支援システムの開発を行う。さらに教授者—学習者間での技能情報共有を実現し、実際の溶接技能教育への適応についての検証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、溶接技能を効果的に継承するための教育支援システムの開発を行う。具体的には、(1) 要因分析による技能要因の解析および技能教育情報の構造化手法の提案、(2) MT法による技能定量評価システムの開発、(3) 初級者支援を目的とした新たな教育支援システムの開発、(4) 開発システムの検証を行う。

(1) 要因分析による技能要因の解析および技能教育情報の構造化手法の提案

これまでの技能の教育情報の多くは、基礎的な知識の他にケーススタディのような特定の条件における結果を述べており、コツとして提示している。しかし、技能の熟達度に関する位置付けが不明確であるため理解が困難である。したがって、技能の熟達度や成果の品質に対する要因を解析する手段として、品質工学の要因分析を応用した技能教育情報の構造化手法を提案する。

具体的には、溶接技術や溶接教育に関する資料や熟達技能者によるアンケートから、要因—結果に関する情報を収集し、定性・定量情報やアーク、溶接器具、身体情報といった技能情報の属性を明確化する。その後、結果に対する要因に関する記述情報から、特性要

因図を作成して技能情報を構造化する手法を提案し、技能情報構造化支援システムを開発する。これにより、技能の結果に対して直接影響する要因と、副次的に寄与する要因、さらに属性を付与することで器具や身体情報と要因との関係性が明確になり、技能教育情報の共有が容易になる。

(2) MT 法による技能定量評価システムの開発

本研究で対象としている被覆アーク溶接作業の技能評価は品質工学的手法として開発された MT 法により行う。熟達技能者のデータから基準空間を作成し、複数の評価項目からマハラノビス距離により良品・不良品判定を行う。

(3) 初級者支援を目的とした新たな教育支援システムの開発

(1) で構築した技能特性要因図から、新たな技能教育手法の提案を行う。直接要因を習得するためには、その上位にある間接要因や身体要因等のメカニズムの理解が不可欠である。そこで、技能特性要因図を利用することで、修得する直接要因とそのメカニズムを学習者に理解させ、さらに間接要因や身体要因から学習する新たな指導法を提案する。被覆アーク溶接技能では、安定した運棒のための上腕の使い方と体感の安定性について、学習を実施する。これにより、効果的な技能習得の向上を図ることができる。

(4) 開発システムの検証

前年度までに開発した (1) ~ (3) のシステムから溶接技能教育支援システムを開発し、その検証実験を行う。実際に大学付属工場において、初級者に対する溶接技能学習効果を検証する。

4. 研究成果

(1) 要因分析による技能要因の解析および技能教育情報の構造化手法の提案

技能教育においては、成果物の品質に直接影響する要因と、その要因に間接的に影響を及ぼす製作機械や器具の状況の評価がほとんどである。さらに、その評価を学習者にフィードバックしても、評価に対する原因の全体構造が把握できていなければ、改善案を考察することが出来ず、結果として学習効果が現れないためにモチベーションが低下する。そこで、身体動作を伴う技能を構造化する技能情報構造化法を提案する。

①直接要因：技能成果物の品質に直接影響する要因と定義する。一般的に技能教育の評価項目となっている。

②間接要因：直接要因に対して影響を及ぼす要因と定義する。この間接要因は、操作対象の機械や器具、道具類の状況を表し、技能により N 次の間接要因で構成される。

③身体要因：身体に関する要因と定義する。この身体要因は、間接要因である機械・器具を操作する身体部位を上位身体要因とし、体幹に近づく程、次数が大きくなるように定義

する。

④体性感覚要因：身体の操作制御に関わる要因と定義する。重心位置や筋活動の活性化部位、すなわちどの部位に意識をして力を入れ、どの部位を弛緩させるかといった感覚である。この体性感覚要因は、従来の技能教育ではほとんど扱われていない。

⑤視覚要因：注視点に関わる要因と定義する。動作中にどこの何に注目して視るかが重要である。この視覚要因も従来教育ではあまり情報がない。

溶接技能教育において、これまでの文献やマルチメディア教材、実際の技能教育現場から技能教育に必要な情報を調査し、技能教育に必要な情報要素を解析する。これを基に技能情報の構造化を行う。情報構造は表 1 のように溶接品質に直接影響を及ぼす直接要因と、溶接道具に関する間接要因、道具を操作する身体に関する身体要因、身体制御に関わる体性感覚要因、注目点に関わる視覚要因に構造化した。

表 1 溶接技能構造化情報

要因	構成要素	評価項目
直接要因	溶融池	形状, 大きさ, スラッグ状態
	溶接ビード	幅, 余盛高さ
1次間接要因	アーク状態	長さ, 音, 形状
2次間接要因	溶接棒	角度, 運棒速度・加速度
1次身体要因	ホルダ保持手	握り方, 保持角度
	手首	位置, 角度, 速度
2次身体要因	肘部	位置, 角度, 速度
	肩部	位置, 角度, 速度
3次身体要因	頭部	位置, 角度
	胸部	角度
	腰部	角度
	足部	位置, 角度
体性感覚要因	重心	位置, 移動ベクトル
	力覚	筋活動, 部位
視覚要因	視線	注目点

これまで著者らが提案した技能情報の構造化手法は、品質工学手法の一つである特性要因図を応用して技能情報の各要因の関係を視覚化している。特性を技能品質とし、品質に影響を与える項目を主要因として明示する。ここで、技能品質への影響度を考慮し、直接要因から間接要因、身体要因の順で記載する。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直接影響するので、左端にまとめて記載する(図 1)。今回の被覆アーク溶接においては、特性を溶接技能品質とし、溶接品質に直接影響を及ぼす直接要因をビードとし、そのビード形成に影響を及ぼす間接要因を影響の関係からアーク、溶融池、溶接棒としている。

間接要因までは、これまでの文献調査やインタビューの知見により多くの情報があるため、要因の関係を構造化することができた。しかし、溶接棒の挙動に影響を与える身体要因については、身体各部の情報が少なく、

また身体部位同士の関係性や体感といった身体動作を修得する上で重要な情報はほとんどない。したがって、初期構造としてホルダ保持手から体幹-頭部-足部までで構造化した図をもとに、インタビューおよび動作解析を行い、新たに効果的に習得が可能な教育支援を行った。

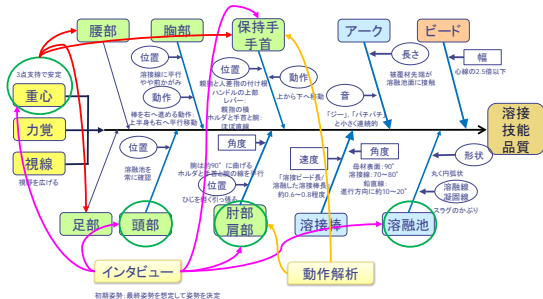


図1 被覆アーク溶接技能特性要因図

(2) MT 法による技能定量評価システムの開発

本システムで使用している MT 法は品質工学の一手法として開発され、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。MT 法の特徴として、単位や尺度の異なる複数の評価項目を統合的に評価することが可能であることから、パターン認識に応用されている。また、MT 法ではデータを良品群に分類する基準を設計者が決定するとしている。したがって、技能教育において熟達者の判断で良品群を構築することで、熟達者の意思決定過程を熟達度判定システムに反映することが可能である。

この MT 法を用いて技能動作を評価するシステムを構築した。まず解析した身体部位の 3 次元位置情報から加速度の変化に着目をして、動作情報を分割する。分割した単位で MT 法による良品判定を行い、技能動作の熟達度を評価する。なお、あらかじめ熟達者の溶接動作から単位空間を作成しておいた。

実際に判別可能性を検証するためにストリング運棒法による実験を行った。ここで、評価データは溶接棒と溶接面との角度、手首、肘、肩の角度を用いている。表 2 のデータ No. 1, 2 は熟達者データ、No. 3~5 は学習者データの単位空間とのマハラノビス距離を表している。熟達者のデータはマハラノビス距離がおよそ 1 かそれ以下となり、単位空間に含まれる、すなわち熟達者のデータと判別された。しかし、学習者のデータのマハラノビス距離は非常に大きくなり、明らかに異なると判別できた。さらに、各要素の判別を行うことで、溶接棒と溶接面の角度と腕全体の角度が判別に大きく寄与していることがわかった。

表 2 熟達者および学習者のマハラノビス距離データ

データNo.	MD(2乗)	Y1 =β	Y2 =√Ve
1	1.067	1.001	2.523
2	0.184	1.005	1.311
3	146.561	0.913	12.579
4	176.459	0.896	12.868
5	165.668	0.898	12.382
平均値	97.988	0.943	8.333

(3) 初級者支援を目的とした新たな教育支援システムの開発

(1) の技能情報構造化手法によるアーク溶接技能の構造化により、アークの安定性向上にはホルダ保持手の制御が極めて重要であることがわかった。熟達者のホルダ動作を解析した結果から、「ホルダ保持手を下向き方向に動か」し、その動作をさらに安定するために、上腕、肩を「ホルダを保持するように支えるように力かける」、アーク、溶融池状態を常時楽人するために頭部は「常に溶融池が確認できる位置」に制御するという、新たな初心者用学習法を作成した。

具体的には、今回の実験で対象としたストリング運棒法において、溶接棒と溶接面の角度を安定させて、かつ直線的に移動させるには、保持手を進行方向には動かさず、ほぼ「鉛直下向き」に移動させる必要がある。その動作を実現するには、ホルダと溶接棒の荷重を利用し、保持手はホルダを保持することに注意し、鉛直方向に移動させることが重要である。これは、従来の指導方法には無い情報である。この保持手の運動を溶接棒が短くなるまでスムーズに行うために、次の学習情報をまず初めに提示する。

- ①ストリング運棒法では、溶接棒を進行方向に 10~20 度傾けながら溶融して短くなることで、進行方向に溶接できる。したがって、ホルダを支持している手には、ホルダを支える意識で力を入れ、重力方向に一定速度で下げる。
- ②決して、進行方向にホルダを移動しようと意識しない。
- ③溶接棒と溶接線、ホルダの進行方向で構成される三角形が相似形で小さくなるイメージを持つ。
- ④予め溶接棒長さ最短時の位置で余計な力がかからない姿勢になるように、肘・肩部の位置と角度を調節する。
- ⑤頭部は保持手、肘・肩部の動きを阻害せず、さらに溶融池が常に視認できる位置にする。

(4) 開発システムの検証

(3) で作成した新たな学習法の有効性を調べるため、従来指導法との比較実験を実施した。また、習熟効果の影響を考慮するために、従来指導をせずに新指導法から導入して実

験を行った。

まず溶接棒の角度や運棒法を中心とした従来指導法で5回実習した後、作成した新指導法により実習をして溶接ビード結果を比較検討した。被験者は、大学2年次に工場実習で3時間溶接実習を経験した4名の大学院生とし、2名(被験者A, B)は従来指導法を5試行、新指導法を5試行、情報フィードバックによる指導を5試行、2名(被験者C, D)は新指導法を5試行、情報フィードバックによる指導を5試行×2日間をそれぞれ3日間、合計15試行を行った。運棒法は下向きストリング運棒法とし、母材を6mm厚のSS400、軟鋼用溶接棒(棒径3.2mm、棒長350mm)を用いた。溶接線は、長さ110mm、幅15mmの長方形を母材に記し、溶接するように指示した。

結果として、従来指導法では繰り返し練習をしても溶接ビード品質はほとんど向上しなかったが、提案した新指導法による学習後は、すぐに溶接ビード結果に変化が現れ、最終的に品質が大幅に向上した。図2は従来指導法の5試行目の結果と、その直後に新指導法により行った1試行目の結果である。明らかにビードが安定しているのがわかる。インタビュー結果でも、熔融池・アークの安定性と身体動作の関係性が理解でき、自らの注意すべきポイントを見出して学習していた。

習熟効果の影響を考慮するために、従来指導をせずに新指導法から導入して実験を行った。実験の結果、新指導法後では2,3回目から既にビード品質が向上することが確認できた(図3)。また、ホルダ保持手の動作に意識を向けさせたことで、スムーズな保持手動作を実現させるための上肢や体幹状態の試行、気づきを誘発させることができた。



従来指導法 (5 試行目)



新指導法 (1 試行目)

図2 溶接ビード結果 (被験者A)



新指導法 (2 試行目)

図3 溶接ビード結果 (被験者C)

<参考文献>

- (1) 通商白書 2012, 経済産業省, 2012年
- (2) 2012年版製造基盤白書, 経済産業省, 2012年

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)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 松浦 慶総, 高田 一, 被覆アーク溶接技能の定量的評価手法の開発, 日本産業技術教育学会第58回全国大会, 2015年
- ② 松浦 慶総, 高田 一, 技能教育における情報構造化手法の一提案, 日本産業技術教育学会第58回全国大会, 2015年
- ③ 松浦 慶総, 高田 一, 技能教育における学習効果を考慮した情報構造に関する研究, 2016年度人工知能学会全国大会, 2016年
- ④ 松浦 慶総, 高田 一, 構造化技能情報による教育支援手法の提案, 日本産業技術教育学会第59回全国大会, 2016年
- ⑤ 松浦 慶総, 高田 一, 学習効果向上を指向した技能教育支援手法の開発, 2017年度人工知能学会全国大会, 2017年
- ⑥ 松浦 慶総, 高田 一, 初心者に対する効果的な技能修得を指向した教育支援手法の開発, 日本産業技術教育学会第60回全国大会, 2017年
- ⑦ 松浦 慶総, 高田 一, 溶接技能における初心者教育支援システムの開発, 日本機械学会 技術と社会部門講演会 2017年度講演会, 2017年
- ⑧ 松浦 慶総, 高田 一, 技能構造化手法による新たな技能学習法の提案と学習効果, 人工知能学会第25回身体知研究会, 2018年

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

高田 一 (TAKADA Hajime)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 20154792