

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500801

研究課題名（和文） eラーニングを指向した技能教育支援システムの開発

研究課題名（英文） Development of the educational support system for skill aimed for e-Learning

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

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。本研究ではアーク溶接技能を対象とし、技能動作情報を熟練技能者のデータに基づいて定量的に評価し、さらに動作の類型化をすることで効果的に技能教育が可能な教育支援システムの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：In late years the succession of the expert skill becomes the social problem. Therefore, quantification and database compilation of skill motion, the development of the education support system are extremely important for accumulation and the education of the skill. Then we intended for the arc welding skill in this study. The system which we developed evaluates the three-dimensional motion information that we acquired by the motion capture system based on the judgment standard of the expert skill person quantitatively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：人間工学

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，技能動作，教育支援システム，e-Learning

1. 研究開始当初の背景

近年、特に製造業において「2007年問題」と呼ばれている、団塊世代の大量退職による熟練労働者の不足や熟練技能の継承問題が大きな社会問題となっている。本研究では、これまで暗黙知が主な情報であった技能動作を対象として、(1) 技能動作評価の定量化技術の開発、(2) 技能動作の知的符号化技術の開発、(3) e-ラーニングを指向した技能動作習熟システムを行うことを目的とし、新た

な技能情報の保存・継承システムの実現を目指す。

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練技能者の高齢化、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るといわれており、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。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生じている。近年では、最先端技術を用いた製品や高付加価値製品の国内生産が盛んに行われているが、これらの製品の開発や生産に柔軟に対応するためには、高い技術や熟練技能を持つ人材が不可欠である。

そこで、技術・技能教育が非常に重要になっているが、従来方式はOJT (On the Job Training) などの熟練者が生産現場で若手を直接指導する教育システムが主流であり、教育に時間と手間がかかることで若手のモチベーションの維持が困難であり、また熟練者自身は教育者でないため、適切な教育指導を十分に行うことが難しい。最近では大手企業で技術・技能の教育施設や制度を作り対応しているが、ものづくりの中心であった中小企業ではほとんど対策がされておらず、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。

一方、最近急速に開発、利用されているWBT (Web-Based Training) システム等のeラーニングが新たな教育環境として注目されている。これにより、場所や時間等の物理的制約を受けずに教育を受けることが可能となった。これまで開発されているWBTシステムの多くは知識や情報の伝達を主眼としており、その伝達媒体は言語情報が中心である。

しかし、本研究で対象としている技能動作ではプロセス情報が重要であり、熟練技能者（教授者）の定性的表現による伝達、および定性的評価に大きく依存している。しかも技能教育においては、技能の形式知だけでなく暗黙知の習得が習熟度に大きな影響を与えると考えられる。従来は熟練技能者の直接指導や、「技を盗む」といった未習熟者（学習者）の観察などの徒弟教授システムで暗黙知の獲得、継承を行っていた。

また、類似の研究で舞踊などの伝統芸能やスポーツ分野において、実際の動作をモーションキャプチャ技術により定量化して、熟練者の動作の解析やヒューマロイドロボットや3次元CGでシミュレーションする研究が行われている。しかし、これらのほとんどは技能動作の特性解析や保存技術開発であり、教育を主眼とした技能動作解析・教育支援システムの研究はほとんど行われていない。

2. 研究の目的

現在の技能継承問題においては、これらの技能の暗黙知の定量化やデータベース化、教

育支援システムの開発がきわめて重要である。教授者と学習者間での十分な情報伝達の実現には、技能動作の知的符号化、すなわち動作への意味的情報の付加は、学習者が動作の注視点を認識し、同時に教授者が学習者の学習状況を把握するためにきわめて重要となる。また、主に時系列データである技能の動作プロセス情報のデータベース化、さらに定性的で熟練者に依存していた技能評価を定量化する技術の開発が技能教育支援システムに不可欠である。

したがって、本研究ではまず技能動作を熟練者の評価基準動作を基にして定量的に評価し、誤り動作の抽出、およびその類型化による知的符号化技術の開発を目指す。さらに、評価により得られた情報や誤り動作の類型化から、習熟レベルの判定を行うシステムを開発し、さらに正確な動作を指示するシステムの開発する。これらの技術を統合してeラーニングを指向した技能動作習熟支援システムの開発を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、まず技能動作として溶接動作を対象とし、溶接中の上肢と溶接棒の位置情報と同時に上肢の筋電位を計測する。熟練者と学習者で実施をし、計測データを品質工学的手法により評価を行うシステムを開発する。さらに、熟練者の定性評価や指示などの暗黙知を形式知化し、動作情報の属性としてデータベース化する。最終的にこれらを統合して技能習熟できるシステムを開発を行う。

(1) RT法 (T法 (3)) による類型化

本システムで使用しているRT法 (T法 (3)) は品質工学の良・不良品判定手法のMT法の一手法である。RT法では、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。

計算手順は以下のとおりである。

- ①単位空間の感度 β と標準SN比 η を求める。
- ②単位空間のデータから2変数 Y_1, Y_2 を求める。
- ③求めた2変数で分散共分散行列を求め、余因子行列を求める。
- ④単位空間のマハラノビス距離 D を求める。

このRT法は主にパターン認識に利用でき、単位や尺度の異なる複数の評価項目を総合的に判定することが可能である。また従来の統計的手法を用いた判別システムでは、パラメータ設計や閾値設定がデータ量やばらつきの問題で難しい場合が多かった。しかし、RT法では単位空間を構成するデータ群は熟練技能者の判断に一存されており、熟練技能者の定性的、総合的判定と高い整合性をとる判定が可能になると期待される。単位空間を部位、動作、評価パラメータごとに作成する

ことで、技能動作のどこを注目し評価しているのかといった、熟練者の暗黙知をシステムに利用することが可能となる。

また本研究では、技能動作を位置や速度等の物理パラメータで変化の大きい個所や熟練技能者の注目点により、要素動作として分解する。この要素動作を定義することで、要素動作ごとの正誤判定から誤りの傾向を把握することが可能となる。

(2) 技能動作定量化技術の開発

技能動作を熟練者の判断基準を基に品質工学的的手法により評価する技術の開発を行う。

①溶接動作撮影システム

3次元時系列位置情報を取得するには、2方向から同期して撮影した動画像が必要となる。また今回はアーク溶接の技能動作を測定対象としているため、非常に強いアーク光が撮影時に白飛びを引き起こし、マーカを撮影することが困難になってしまう。したがって、本研究ではIEEE1394カメラ(PGR社製Flea2カメラ白黒VGAモデル)2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、通常CCDカメラには赤外線カットフィルタがCCD素子に取り付けられているが、今回使用したカメラは脱着可能であり、それを取り外してレンズに光吸収・赤外線透過フィルタ(富士フィルム製)を装着した。これは、アーク光の影響を最小限にし、さらに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、マーカのみを撮影するためである。そのため、マーカには6V電球を使用した(図1, 2)。

②モーションキャプチャシステム

モーションキャプチャシステムは、溶接動作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(図3)。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。

③筋電位計測システム

本システムでは、溶接動作時の腕の筋電位を測定することで、溶接棒を操作する際の腕の姿勢や溶接棒の位置の違いだけでなく、腕の使い方、溶接棒の保持、移動の仕方のコツを抽出する。筋電計はEMGアンプ(電極・アンプ一体型)とアイソレータ(バイオメトリクス社製)、データロガー(キーエンス社製)で構成されている。EMGアンプの貼付個所は、僧帽筋、烏口腕筋、上腕二頭筋、橈側手根屈筋の4か所である。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、溶接動作撮影システムと同期させている(図4)。

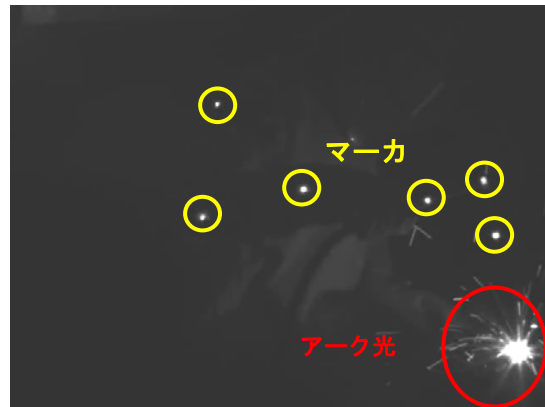


図1 アーク溶接作業図



図2 撮影結果例

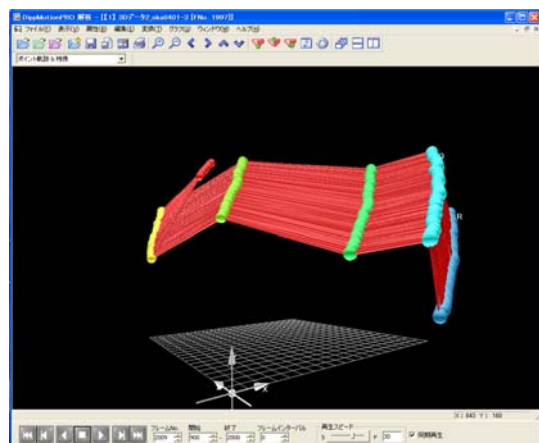


図3 溶接動作の3次元軌跡(DippMotionPro)



図4 EMG計測例

(3) 動作判定システム

動作判定システムでは、以下の手順により単位空間の作成、および学習者の動作判定を行う。

①要素動作の抽出

本システムでは、動作の「静」と「動」の切り替わる時点に着目し、この時点を基準として対象動作を複数の動作に分割する。これを解析の基本単位とし、「要素動作」と定義する。今回の実験では溶接技能動作のうちストレートビードを対象とし、アーク開始時操作とビード終点時の操作は除外した。

②評価項目の算出

今回の実験では、溶接棒と板との角度（水平面、垂直面）、各部位の位置、速度ベクトルの各情報を算出した。

③単位空間作成

熟練技能者のアンケートから技能動作で重要、かつ習熟度に応じて必要と思われる評価項目を選択し、各要素動作の単位空間を作成する。ここで、あらかじめ熟練技能者の動作データからマハラノビス距離を求める。

④動作判定

学習者の動作データも上記の処理を同様に行い、教授者の単位空間からマハラノビス距離を求める。設定した閾値によりどの要素動作が誤っているかを判定する。

次に技能動作の評価において重要な動作プロセスのポイントと評価項目を、熟練者のアンケート結果と3次元情報から決定し、これらを基に動作を分割する。この分割した動作を技能動作を構成する重要な要素動作として定義し、要素動作単位で評価を行う。また、表面筋電位測定装置により技能動作時の筋電位を測定し、3次元情報と同期解析を行う。表面筋電位は、筋肉の収縮運動の際に生じる微小な電位であり、特に力を入れたときに特徴的な電位波形を取得することが可能である。

(4) 技能習熟度評価システム

動作を伴う技能の習熟の場合、習熟度に応じて技能の習熟に重要な動作要素を明確に意識しながら繰り返し学習を行う必要がある。そこで、技能動作の習熟過程の構造を明確化、さらに学習者の習熟度を評価するシステムの開発を行う。具体的にはまず熟達者にアンケートを実施し、定性評価における技能動作の習熟階層と評価時の重要な注目点を抽出する。この結果とこれまで開発をした技能動作類型化システムと筋電位データを比較し、技能習熟の構造化を行う。この構造化データに基づいて、学習者の学習データから習熟度を評価する技術を開発する。

次にこれまで開発した技能動作定量化システム、技能動作評価システム、技能動作類型化システムを統合した技能動作習熟システムの開発を実施した。システム構成とし

て、熟達者側として技能情報データベース、学習者側として技能動作評価システム、技能動作類型化システム、熟練度評価システムである。学習者が技能動作データを技能動作評価システムに入力することで、動作データの類型化、習熟度の判定をして、現在の習熟度、問題点を明示することが可能である。

4. 研究成果

(1) 実験概要

今回の実験ではアーク溶接を対象とし、手技をストレートビードとした。また、被験者は実務経験のある上級溶接者と学生の比較を行った。

(2) RT法解析結果

まず、上級溶接者の9データを単位空間とし、そのマハラノビス距離を求めた結果を示す。

表1 単位空間マハラノビス距離

単位データのMD			
データNo.	MD(2乗)	Y1 = β	Y2 = $\sqrt{V_e}$
1	0.138902	0.996734	1.133163
2	1.198859	0.988482	1.203154
3	3.016679	1.014364	2.499054
4	1.832367	0.994466	2.850331
5	0.609382	0.99251	1.827266
6	0.160882	1.002453	0.947814
7	0.136547	0.999798	0.927139
8	0.674723	1.002939	0.429195
9	1.23166	1.008254	0.349302
平均値	1	1	1.351824

求めたマハラノビス距離から単位空間として十分収束していることが分かり、単位空間として問題がないことが分かる。

次にこの単位空間データを用いて、単位空間に使用していない上級者データと学生のデータのマハラノビス距離を求める。

表2 未知データのマハラノビス距離

未知データのMD			
データNo.	MD(2乗)	Y1 = β	Y2 = $\sqrt{V_e}$
1	1.067425	1.001406	2.523327
2	0.183519	1.004601	1.311461
3	146.5613	0.91318	12.57878
4	176.4595	0.896331	12.86833
5	165.6676	0.898338	12.38205
平均値	97.98786	0.942771	8.332788

この表の1, 2が上級者データ、3~5が学生データである。この結果から明らかに学生データが上級者データと違うことが分かる。次に、各評価項目の結果を検討する。

表3の結果から、学生は肩の角度は比較的上級者と同等の結果が得られているが、その他はほとんど一致していない。また上級者のデータを比較すると、腕角度と肩角度に関し

では、試行に関係なく一致しているが、肘や手首は状況に対応して動かしているため、一致度が低い試行がある。

表 3 各評価項目のマハラノビス距離
(a) 溶接棒角度 (b) 腕角度

データNo.	MD(2乗)
1	4.170366
2	5.936707
3	192.2393
4	195.3858
5	238.0681

データNo.	MD(2乗)
1	1.067425
2	0.183519
3	146.5613
4	176.4595
5	165.6676

(c) 手首角度

データNo.	MD(2乗)
1	7.144888
2	1.39197
3	70.68521
4	93.82237
5	80.40334

(d) 肘角度

データNo.	MD(2乗)
1	7.606412
2	0.661919
3	9.829995
4	35.23835
5	43.61642

(e) 肩角度

データNo.	MD(2乗)
1	2.146152
2	0.242742
3	2.889381
4	14.8349
5	1.176135

(3) 筋電位計測結果

筋電位計測結果(図5, 6)から、明らかに学生が溶接時に余計な力が入っていることが分かる。特に肩や肘から先の筋肉の電位が大きく、アークの変化が起きた時にスムーズに対応することが難しく、また筋疲労の増大が顕著になっていることが分かる。

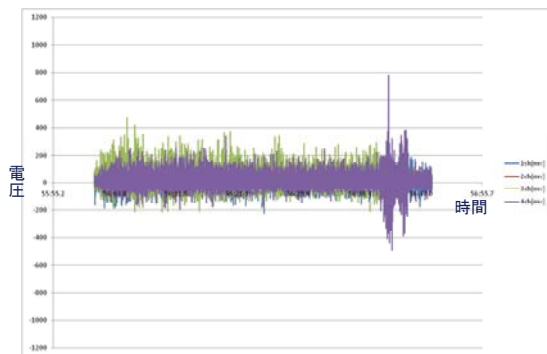


図 5 筋電位計測例 (上級者)

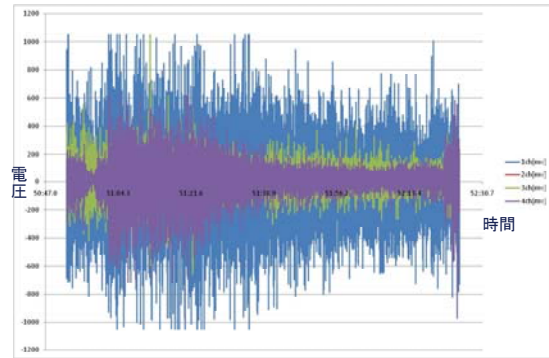


図 6 筋電位計測例 (学生)

実際にアーク溶接の上向きウィービングによる突合せ溶接を実施し、本システムを適用した。対象は配管溶接業務従事者 8 名で、1 名は就業期間 1 年、7 名は 4~15 年であった。熟達者のアンケートでは一般的なアーク溶接の注意点しか抽出できなかった。これは、熟達者が身体の使い方のコツを内在化してしまい、かつ通常溶接時の身体状態を外部に表現することをしないためである。本システムで上腕の操作を空間移動、筋電位による筋活動を定量的に類型化したことで、習熟時の重要なポイントを構造化することができた。

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 2 件)

- ① 松浦慶総, 技能継承を指向した溶接技能解析の研究, 人工知能学会第 9 回身体知研究会, 2011 年 2 月 24 日, 慶應義塾大学三田キャンパス (東京都港区三田)
- ② 松浦慶総, 溶接技能動作の評価手法に関する研究, 2010 年度人工知能学会全国大会, 2010 年 6 月 11 日, 長崎ブリックホール (長崎県長崎市)

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

()
研究者番号:

(3) 連携研究者

()
研究者番号: