

溶接技能動作の評価手法に関する研究

Study on Evaluation Method of Welding Skill Motion

松浦 慶総^{*1}
Yoshifusa Matsuura

高田 一^{*2}
Hajime Takada

^{*1} 横浜国立大学
Yokohama National University

^{*2} 横浜国立大学
Yokohama National University

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. Furthermore, this system extracts the error motion of the learner and can become a type of the error motion.

1. はじめに

日本の製造業では、「2007年問題」による団塊世代の大量退職や熟練技能者の高齢化、若者の製造業離れにより継承問題が深刻化してきている[経済産業省 2009]。ものづくりの中心であった中小企業では製造拠点の海外移転や、景気低迷の影響、後継者不在の影響で対策がほとんどできない状況である。しかし、大量生産品の製造拠点が海外に移転し、国内での製造では多品種少量生産や、高付加価値製品の生産等に対応する必要があり、これまで培ってきた高度な製造技術は不可欠であり、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。また、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なeラーニングが注目されており、とくに若者への導入教育に適していると考えられる。しかし、これまで開発されているeラーニングシステムの多くは知識や情報の伝達を主眼としており、その伝達媒体はテキストや図、表といった言語情報が中心であった。

本研究で対象としている技能動作は、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。これまでは、OJT(On the Job Training)などで熟練技能者が直接指導したり、未習熟者(学習者)が熟練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、習熟プロセスが未解明なため、技能向上には試行錯誤することが多く、習熟に時間がかかってしまう。また、未習熟者には「察する」力が要求されるが、これは熟練技能者とのコミュニケーションが重要となり、これらが若者に敬遠される要因と考えられる。

したがって、技能プロセス情報の定量化やデータベース化、教授システムの開発がきわめて重要である。さらに教授者と学習者との情報伝達の際には、動作への意味的情報の付加を実現することが、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。したがって、本研究ではeラーニングによる技能教育システム開発の実現を目的とし、その初期研究として動作の定量的評価と類型化を行うシステムを開発する。

2. 動作解析システム

動作解析システムでは、まず赤外線透過フィルタを用いた2カメラ同期撮影システムで、溶接時の動作を撮影する。撮影した溶接動作からモーションキャプチャシステムにより3次元時系列位置情報を取得する。取得した位置情報から、動作習得の際に重要となる要素動作の分類、および評価項目データの算出を行う。これらのデータから品質工学の一手法であるMT(Mahalanobis-Taguchi)法[田口 2002]により、熟練者技能の模範動作データを「良品」として単位空間を作成し、学習者の動作データとのマハラノビス距離を求めて正誤判定を行う。

2.1 2カメラ同期撮影システム

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)。

2.2 MT(Mahalanobis-Taguchi)法

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(以下 D^2 とする)を求めることで良品判別を行う。

D^2 を求めるためには、まず測定データの基準化を行う。基準化では測定データをZ変換して基準化値を求める。次に基準化値の相関行列、および相関行列の逆行列を求める。この逆行列が単位空間であり、この単位空間との D^2 を求める。なお、単位空間の D^2 の平均は1であり、1に近いほど単位空間に近いことを意味する。

この MT 法はパターン認識にも応用されており、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。MT 法では基準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となる。基準空間を部位、動作、評価パラメータごとに作成することで、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。またこの類似の誤り動作から新たに単位空間を作成することで、誤り傾向を判定して習熟度別に学習者を分類して指導することが可能となり、学習者同士による学習効果の向上が期待される。



図1 アーク溶接作業図



図2 撮影結果例

2.3 システム概要

(1) 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、2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(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。

(2) 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、2カメラ同期撮影システムと同期させている。

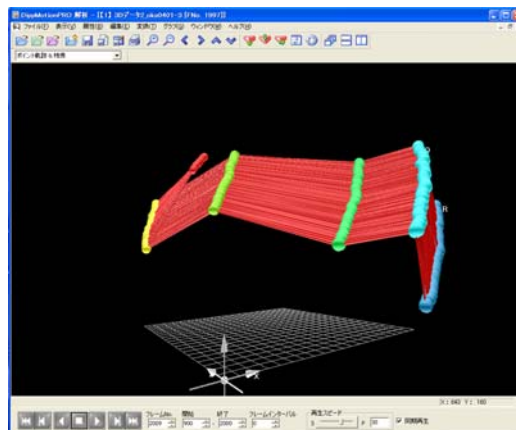


図3 溶接動作の3次元軌跡 (DippMotionPro)

(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。

- 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、この時点を経験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。

- 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。

- 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、あらかじめ教師の動作データの D^2 を求め、正誤判定のための閾値を設定する。

- 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、教師者の単位空間から D^2 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。

3. まとめ

本研究では、溶接技能動作を対象とし、MT 法を利用した動作の定量的評価・類型化システムの初期研究を行った。このシステムにより、熟練技能者の動作から単位空間を作成することで、熟練技能者の判断に近い判定を行うことが可能となる。今後、データの蓄積を行い、精度確認実験を実施する。

参考文献

- [経済産業省 2009] 経済産業省: 2009 年版製造基盤白書, 2009.
- [田口 2002] 田口玄一: 品質工学応用講座: MT システムにおける技術開発, 日本規格協会, 2002.