ウェアラブルな触覚フィードバックデバイスを用いた溶接作業の作業支援手法の基礎的検討

近井　学[*1]　大山　潤爾[*1]　高松　誠一[*2]　井野　秀一[*1]

A pilot study on the welder training using a new wearable tactile feedback device

Manabu Chikai[*1], Junji Ohyama[*1], Seiichi Takamatsu[*2] and Shuichi Ino[*1]

Abstract - The aim of this study was to develop a new wearable tactile feedback device for a welder training. This study was conducted to develop the wearable tactile feedback device by using reel-to-reel microchip mounting system for fabrication. The device consisted of a vibration motor with a flexible circuit. Its effect on the welding work of trainees was evaluated. The device provided two types of vibration stimuli to the user's forearm, based on supervised data on the welding work of an expert's hand motion. In the experiment, we designed the welding work training trial to determine the effects of the tactile feedback device. An experiment was conducted to evaluate the effect of the tactile feedback device on welding speed performance. A beginner evaluated the welding speed generated by the tactile feedback device. The participant was required to provide perceived subjective data (easy to motion) while the welder worked with the tactile feedback device. The results indicated that the tactile feedback device enabled easy understanding of the welding velocity. In conclusion, the tactile feedback device influenced learning by using general information from manuals in welder working.

Keywords: Tactile feedback device, Reel-to-reel microchip mounting system for fabrication, Training system, Welder training, Motion assist.

1.　はじめに

日本は超高齢社会を迎え，専門的・技術的職業従事者は減少の一途を辿っている．その中でも，溶接作業従事者の作業人口は年々減少しており，平成 27 年の総務省の国勢調査によると 18 万人程度まで減少していることが示されている[1]．溶接作業は，作業の熟練度が完成度の一つの重要な指標になることから，作業人口の減少を解決することが金属溶接作業や組み立て工程において喫緊の課題となっている．

溶接作業は，作業時に高温の金属の溶融を行うことから，作業者の安全を確保するためにも，事前の作業訓練が必要となる．溶接法には複数の種類があるが，特にアーク溶接が広く利用されており，その中の半自動アーク溶接が初心者の練習に用いられている．半自動アーク溶接では，溶接を行う際の溶剤の使用量が予め設定する溶融電圧と溶融電流に依存し，この使用量は溶接作業時に操作するトーチの移動速度やトーチと溶接対象物との角度・距離・位置に依存して決まるため，溶接作業時の完成度に重要な指標となっている[2]．この作業訓練を支援するための一つの方法として，初心者に対して安全でわかりやすい溶接作業のためのバーチャルリアリティ（以下，VR と記す）空間内における訓練システムの開発が進められている．このシステムでは，溶接作業中に操作するトーチの移動速度や溶接対象物との角度をすべて視覚情報にて提示していることから，作業訓練中において視覚的な情報が過多になることが推測される．

以上より，溶接作業中の動作支援法の一つの手法として，前腕部の動きにより変化するトーチの移動速度に着目し，この情報を効果的に教示する手法について検討を行った．対象とする溶接作業中には，肩関節の内旋・外旋動作と，肘関節の内旋・外旋動作の 3 次元的な動きが組み合わされている．これらの関節の動きを組み合わせて作業を行うが，前述の通り，溶接作業中にトーチの移動速度を自身で把握し，制御することは難しい．そこで，トーチの最適な移動速度の情報を得るために，前腕部への触覚刺激を呈示することで，訓練者へ最適な移動速度をフィードバックする手法を検討した．前腕部への振動刺激によるヒトへの効果については，これまでに多くの研究[3][4]がなされている．これらの先行研究と刺激の生成の容易さなどから，振動刺激を用いたフィードバック手法に着目した．

本研究では，溶接作業の初心者が練習に用いる半自動アーク溶接作業の訓練を補助するため，VR 空間で溶接作業訓練時にトーチ先端の速度を効果的にフィードバックする一つの手法としての触覚フィードバックデバイスの開発を行い，作業支援手法の基礎的検討を行った．

2.　システム概要

溶接作業訓練システムは，ヘッドマウントディスプレ

*1: 産業技術総合研究所　人間情報研究部門
*2: 東京大学　大学院新領域創成科学研究科
*1: Human Informatics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
*2: Graduate school of frontier sciences, The University of Tokyo

イとコントローラ（いずれも HTC 社製，VIVE），アナログ信号出力デバイス（National Instruments 社製，NI cDAQ-9178，NI9264），ワンボードマイコン（Arduino 社製, Arduino UNO），動作計測用デバイス（Microsoft 社製，Kinect），自作の触覚フィードバックデバイスにより構成されている．溶接作業中のトーチの移動速度は，ヘッドマウントディスプレイのコントローラに取り付けた加速度センサで得た移動量をサンプリング周波数 2 Hz で計測した．

本触覚デバイスは，計測したトーチの移動速度が事前に計測した教師データに比べて速い／遅い場合に前腕部に強弱 2 パターンの振動刺激を呈示することにより，訓練者の前腕部に対してトーチの動き（速度）を伝えることができる．本触覚デバイスでは，前腕部へ振動刺激を呈示するための直流偏心モータ（Precision microdrives 社製，Type 310-113）を用いた．このとき，腕に巻き付けることが可能で柔らかいことを目指し，布の上に配線を形成した. 配線は, 電子テキスタイル製造技術[5]を活用し，スクリーン印刷装置で銀ペーストをポリウレタンフィルムと布を接着したシート上に回路を印刷した．

3. 動作検証

3.1 方法

実験協力者は，本システムを利用して溶接作業訓練を 5 回実施した．本実験では，訓練回数を重ねるごとに設定した教師データと実験協力者のトーチ操作速度がどのように変化するかを比較するため，溶接熟練者のトーチ操作速度である 24 cm/min. を基準としたうえで計測時の速度波形を整流化し，基準値との差分で示される面積を積分した．この値は，縦軸の速度と横軸の時間の積により算出されるため，この値は教師データを基準とした場合から外れた距離と表すことができる．そのため，訓練回数を重ねるごとのこの距離を比較した．

3.2 実験協力者

本研究では，触覚フィードバックが溶接作業訓練に対して効果があるかを検証するため，溶接作業を行ったことのない男性の実験協力者 1 名を対象とした．トーチ操作は右腕で行った．計測開始前に，溶接作業に関しての注意事項などの説明を口頭で行い，事前に同意を得た．

4. 結果と考察

結果の一例として，図 1 に本システムによる溶接作業訓練中のトーチの移動速度のローデータを示す．この結果から，トーチの移動速度は溶接作業の経過に伴い変化をしていることがわかる．この全訓練回数でのトーチ操作速度の平均値は，24.8 cm/min. と算出された．また，作業訓練後の主観評価によると，「触覚フィードバックを用いることで，トーチの移動速度操作を把握することができ，操作に慣れやすい」という回答が得られた．

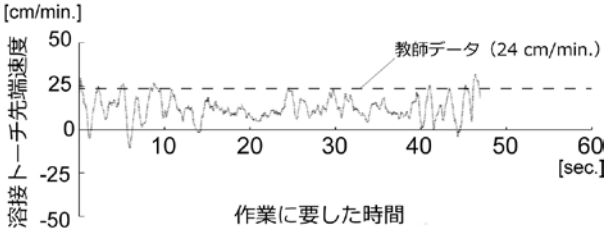

図 1 溶接作業訓練システム利用時の溶接作業中のトーチ先端速度の算出結果の一例

Fig. 1 Example of the experimental results of the velocity of the torch operation in the VR welder training system.

5. おわりに

本研究では，従来の情報支援における視聴覚呈示に新しい触覚フィードバックによる支援を加えた多感覚多次元情報を統合的に利用できる支援システムを開発するための，触覚呈示システムを開発することを目指して研究を行った．実験結果から，触覚フィードバックデバイスを搭載した溶接作業訓練システムを利用した場合，溶接作業時のトーチ操作速度を適切にフィードバックできていることがわかった．

謝辞

この成果の一部は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務である「エネルギー・環境新技術先導プログラム／生産性と省エネ化を向上させる認知行動支援 VR/AR 技術開発」の結果得られたものである．本研究を遂行するにあたり，プロジェクトメンバーの皆様に記して感謝する．

参考文献

[1] 総務省統計局: 平成 27 年国勢調査, (2015).

[2] 寺田昌之: III 半自動アーク溶接. 溶接作業 ここまでわかれば「一人前」, 寺田昌之編集: 日刊工業新聞社. pp.86-104 (2015).

[3] Alles, D.S.: Information Transmission by Phantom Sensations; IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol.11, No.1, pp. 85-91 (1970).

[4] Geldard, F.A. and Sherrick, C.E., The Cutaneous "Rabbit": A Perceptual Illusion; Science, Vol.178, No.4057, pp. 178 (1972).

[5] Takamatsu, S., et al.: Development of reel-to-reel microchip mounting system for fabrication of meter-long LED lighting tapes; Microsystem Technologies, Vol.20, No.12, pp. 2247-2253 (2014).