

TIG溶接モーションキャプチャーの製作

岐阜職業能力開発促進センター 鹿子 治廣

1. はじめに

「なぜ指導員のビートは美しいのか」、「溶接電流や溶接速度に変わりはないように思うのだから何が違うのか」、「上達するには繰り返し練習するしかないのか」という訓練生の素朴な疑問が本装置を製作するきっかけとなった。

T継ぎ手部の溶接においてトーチをローリングさせながら移動させていく必要がある。

このときの手首の動きは初心者にとっては習得に少々時間がかかる。動きをとらえる方法としてはビデオ撮影があるが細かい動きは捉えにくい。

ワンボードマイコンと姿勢制御に利用されているジャイロ+加速度センサーを使用することで比較的容易に手首の動きを数値化、これをグラフ化して手首の返し速度や角度を知ることが、上達の近道となると予測した。

センサーを溶接作業用の皮手袋に装着、ワンボードマイコンとフリーソフトを組み合わせたモーションキャプチャーを製作したので紹介する。

2. 概要

本稿で紹介する装置は、ジャイロ+加速度センサーを使用した角度センサーをトーチを握る手の甲に取り付け、握り角度をワンボードマイコンで演算し、結果をパーソナルコンピュータでグラフ化、波形を観察することによって溶接技能の習得を支援する装置である。

開発期間をできるだけ短くするため、本装置ではプロトタイピング用のマイコンモジュールとして人気の高いArduinoを選択した。

Arduinoとは、Atmel社がリリースしているマイクロコントローラと最小限の周辺回路を備えたワンボードマイコンである。特徴としてはオープンソースハードウェアであり、ハードウェアの設計情報から開発に使うソフトウェアも公開されている。Arduinoは様々なセンサーからの信号を受け取ることが可能であり、センサー情報を利用した製品が数多く開発されている⁽¹⁾。

評価試験ではArduinoの開発ツールに組み込まれているシリアルプロッターでグラフ化した。グラフ化するデータの出力プログラムの変更のみでプログラム作成やコンパイルエラーに悩まされることなく試験できた。さらに、3軸のデータを3D散布図で表現することによって、一目で手首の動きがイメージできることを確認した。

3. 装置の構成と特徴

3-1 構成

構成要素のブロック図を図1に示す。



図1 構成ブロック図

(1) 9軸ジャイロセンサー

KP9250 (MPU9250相当品) 共立プロダクト製を使用。

MPU-9250にはジャイロセンサーと加速度センサーの出力をデジタル化する為の16ビットアナログ-デジタルコンバータ (ADC), 磁力計をデジタル化する為の13ビットADCが内蔵されており, 各センサーの為のローパスフィルタを持っている。出力されたデータはDMP (Digital Motion Processor) を使用することで6軸分のセンサーデータから計算した姿勢出力や四元数を得ることが出来る。また, マイコンとデバイスの通信は400kHzのI²Cを使用している。本センサーはI²Cで通信を行い, 各センサーから加速度, 各速度, 地磁気の値をシリアル送信できる⁽²⁾。センサーの外観を写真1に示す。

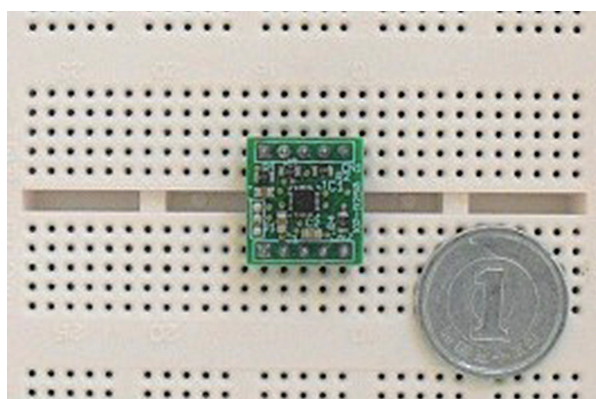


写真1 センサー外観

原理

ジャイロセンサー+加速度センサーによる, x, y, z 軸の加速度検出方向を直線矢印で, ジャイロ検出の回転方向をカーブ矢印で示す。

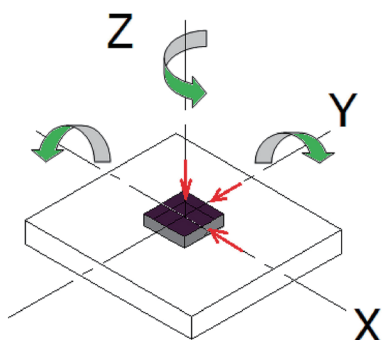


図2 各値の検出

加速度センサーによる角度の計算式

$$\rho = \arctan\left(\frac{Ax}{\sqrt{Ax^2 - Az^2}}\right)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{Ay}{\sqrt{Ax^2 - Az^2}}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{Ay^2 - Az^2}}{Az}\right)$$

ρ : 水平線基準でのx軸との角度

ϕ : 水平線基準でのy軸との角度

θ : 重力ベクトルとz軸との角度

Ax : x軸の加速度センサー出力

Ay : y軸の加速度センサー出力

Az : z軸の加速度センサー出力

実際にはジャイロ角と加速度による角に係数を掛けて求めている。

ジャイロ+加速度センサーを使用して, 測定物の姿勢制御ピッチ前後縦方向の揺れ, ロール測定物左右, の上下の揺れ, 重心を中心に回転するヨーの3つの姿勢を検出して記録できる。

具体的に手指を伸ばした形で

- 指先を上げ下げするときの角度をピッチ角
- 手の甲を中指中心にねじる角をロール角
- 手の甲の中心を軸に回転する角をヨー角として観測を試みた。

将来的に移動軌跡の記録までを考えて方位センサーも備えた9軸測定センサーMPU9250を採用した。

(2) ワンボードマイコン

Arduino-Leonardo

Arduinoの開発ツール (IDE) バージョン1.6.1を使用。

グラフ化はIDE付属のシリアルプロッターを使用。1画面500プロット, 時間はソフトで設定できる。角度取得ソフトはオープンソースとして公開されて

いる下記のプログラムを使用した⁽³⁾。

```
// MPU-6050 Accelerometer + Gyro// //
```

```
// By arduino.cc user "Krodal".
```

```
// June 2012
```

```
// Open Source /
```

(3) ノートパソコン

コンピュータにはワンボードマイコン用の開発ツールをインストール，OSはWindows 7，ハードは実習場で簡単に持ち歩ける，ラップトップノートパソコンを使用した。

3-2 精度の確認

角度定規を当ててピッチ角並びにロール角が正確に測定できていることを確認した。

センサーをブレッドボードに取り付けて，出力をプロットさせている様子を写真2に示す。

3-3 評価方法と評価尺度

実際に溶接アークを飛ばさず，トーチを動かす模擬操作してもらい，作業者による違いが検出できるか検討してみる。

ウィービング溶接，ローリング走法による溶接で

の技量の最終的な評価尺度としては

- 溶接 仕上がり状況写真
 - 角度測定 ドリフト
 - 最大手振れの幅とその変化
- などが挙げられる。

3-4 製作で苦労した点

(1) センサーの取付け

センサー自体は1円硬貨よりも小さくスペース的には手の甲に取り付けられる大きさであるが，溶接時にはめる皮手袋にセンサーを取り付ける方法に苦労した。

手の甲の中央辺りにブレッドボードに取り付けた状態で固定手首にバンド止めする。親指に指輪のよ

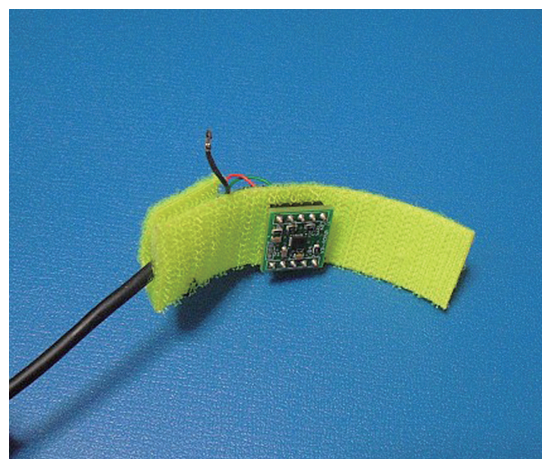


写真3 センサー部

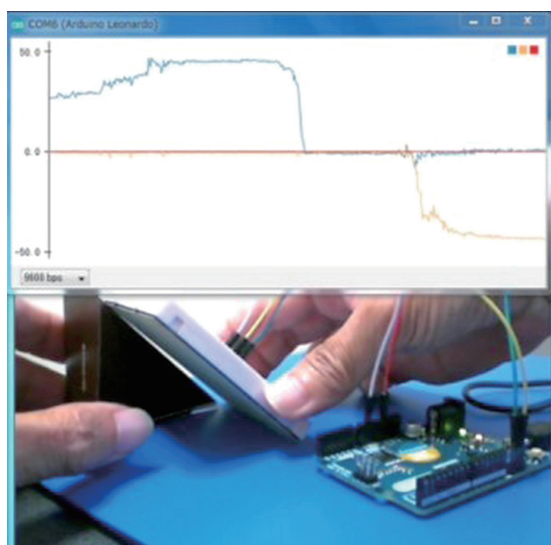


写真2 出力のプロット



写真4 装着サポータ

うに差す方法などが考えられた。

最終的には、取付位置の調整幅が大きくとれる、マジックテープで張り付ける方法にした。手の甲側のマジックテープは皮手袋の上からはめられるサポータにセンサーを取り付ける方式とした。写真3にセンサー部、写真4に装着サポータを示す。

サポータは左右兼用できるので、溶接棒を使い両手を使用して作業するとき、左手の動きを観測したいときも簡単に付け替えが可能である。

(2) ノイズ対策

溶接時のノイズ対策として、次のことに配慮した。

①伝導性ノイズ

パソコンの電源は商用電源から分離、バッテリー駆動にする。

②電磁誘導ノイズ

ジャイロセンサーとマイコンボード間の配線ジャンプワイヤはバラの線ではなくケーブルを使用し、さらにケーブルにはフェライトビーズを入れた。

以上のノイズ対策を実施したが、TIG溶接におけるスタート時にパソコン自体が影響を受けてプログラムが停止した。

アークが安定した状態では観測可能であることから、TIG溶接のアーク発生させるための高周波放電開始時のサージ電圧が原因していると推測される。

評価実験のファーストステップとしては、実際にアークを飛ばさずに模擬してトーチを動かしたときの手の動きを調べることにした。

4. 溶接作業と評価試験

4-1 TIG 溶接の特徴

TIG溶接はタングステンを電極に使用して、溶接する母材との間にアーク発生させアルゴンガスなどの不活性ガスで保護しながら溶接する。このため安定したアークがえられ、溶接棒とアーク熱源による母材の溶融と溶接棒の溶融が切り離されて行われるため薄板から厚板まで、必要な溶け込みを確実に得ることができる。

さらに、不活性ガスでシールしながら溶接するの

で溶融金属の成分変化が少ない高品質の溶接が得やすいことから材料としては炭素鋼からステンレスなどの合金からアルミやマグネシウムなど航空宇宙関連機器など最先端技術に使用されている材料の溶接に適する。

4-2 溶接作業者の技量

溶接棒を使用する場合、溶接池を作り必要な大きにした後、溶接棒を溶接池で溶かす。

これを繰り返しながら溶接を進めていく。

トーチの傾きと電極と母材の距離を一定に保ち、溶接棒を差していく両手での作業では、技量の差が溶接の仕上がりに影響する。

また、T継ぎ手の溶接は8の字を描くようにトーチをローリングしつつ前進させて、母材を均等に溶融させながら溶接する必要がある、手首を滑らかに円運動させるには熟練が必要である。

4-3 評価試験と結果

TIG溶接のトーチと握りを写真5に示す。

予備調査の結果、水平下向き溶接では手の甲のx、y軸角度のぶれはきわめて小さいことが分かった。

さらに、T継ぎ手の場合はピッチ角とローリング角だけではうまく差異が観測できなかった。

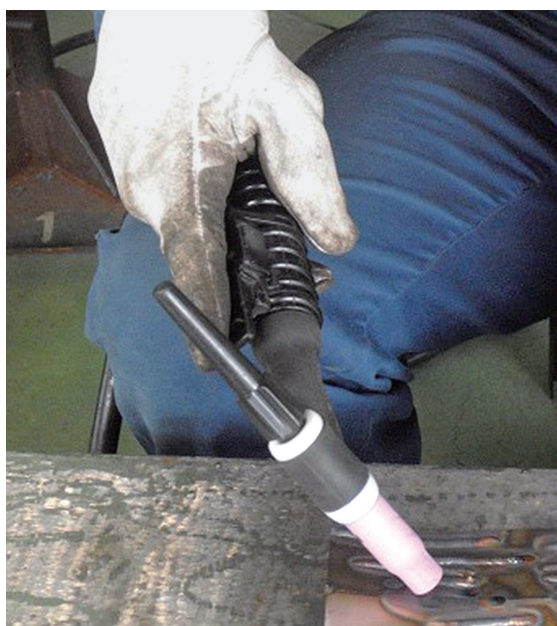


写真5 トーチと握り

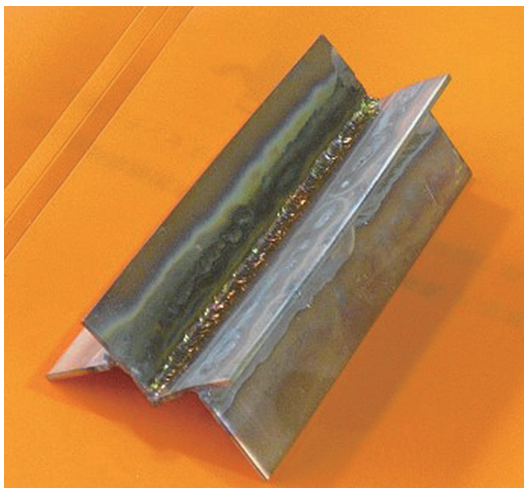


写真6 T継ぎ手サンプル

手の甲を旋回させるヨー角を観測することで作業者の手の動きを比較できることを予測して、Z軸旋回を測定するため、ジャイロ出力を追加した。

T継ぎ手の溶接作業、(入り角の溶接の場合にトーチをローリング、8の字を描くようにトーチを前進させる作業)を製作した装置で評価できるか試みた。

(1) 溶接実習サンプル

SUS304 CP 3.0 mm

実習用サンプルを写真6に示す。

(2) 結果

溶接担当指導員A、担当外の指導員Bの2人の溶接作業の手の動きを観察した。プロッター出力を図3、図4に示す。

- 青 x 軸まわり ピッチ角
- 橙 y 軸まわり ローリング角
- 赤 z 軸のジャイロの出力でヨー（センサーの中心まわり軸回転）

(3) 結果考察

①繰返し周期（A 約1.4秒、B 約1.1秒）と差があるが一定の周期で往復運動はできている。

②Bさんの場合は滑らかな旋回運動ができていない個所があることが分かる。

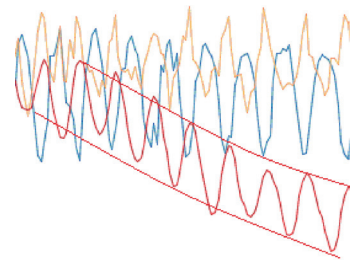
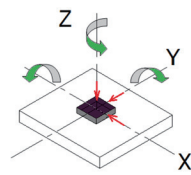


図3 溶接担当指導員A

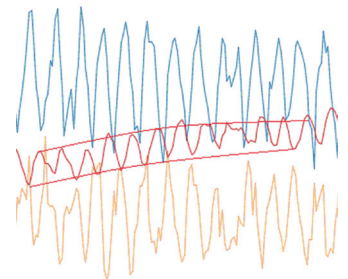


図4 担当外の指導員B

(4) 3D散布図によるデータ表現

ローリング動作させたときの手の甲の動きをイメージしやすい表現の一つとして、3軸角度を3D散布図で表してみた。

結果を図5に示す。汎用統計ソフトSTATISTICAの3D散布図を使用した。

なお、ヨー旋回はz軸ジャイロ出力を使用、データは0.2秒毎のサンプリングとした。

(5) 定量的なハンドリング評価による効果

- ①可視化により、手首を動かす周期や幅が明確になる。
- ②見えなかった自分の癖に気付くことができる。
- ③訓練生の理想的な溶接スキルへの関心が高まる。

データ取扱上の注意！

あくまでも手の動きは参考であり、高品質な溶接を行う作業のポイントは溶融池の大きさ・溶け込み等々にあることを忘れてはいけない。

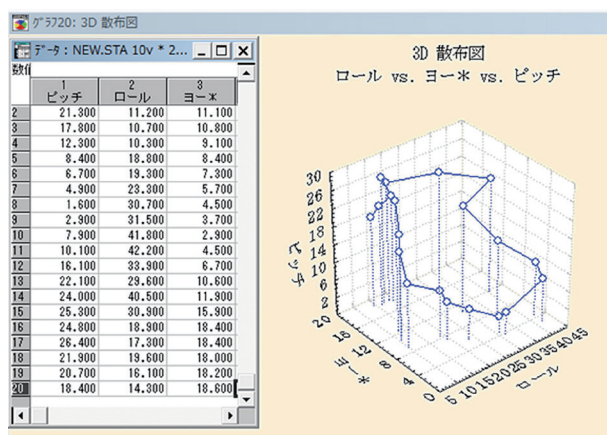


図5 3軸角度の3D散布図

(6) 今後の課題

手の動きと溶接条件と仕上がり，溶接品質との関係を解析して最適値を求める。

データの収集，保存や評価が一目で分かるようなグラフ様式の作成データを取り扱いやすくする。

5. 結び

最初に述べたように「なぜ指導員のビートは美しいのか」という訓練生の素朴な疑問から本装置の製作はスタートした。

ピッチ角とローリング角だけではうまく観測できなかったが，ヨー角を観測することで作業者の手の動きを比較できることが分かった。

溶接トーチではなく，作業者がはめる手袋にセンサーを付ける事による心理的な効果もあるようで訓練生の関心は高い。

時代はIoT (Internet of Thing)，すべてのものが情報を発信し，ネットで結ばれる時代である。

今回製作したモーションキャプチャーが溶接作業だけでなく，手作業の技能伝承のツールのプロトタイプとなり広く応用してもらえれば幸いである。

6. 謝辞

金属加工科の指導員の皆さんの協力，助言に感謝します。お陰で，溶接作業の手の動きを観測してみようというアイデアを一か月足らずの短期間で具現

化できました。

今後も自由にアイデアや意見が出し合える職場の雰囲気を大切に，指導方法の改善活動を続けたいと考えます。

<参考文献>

- (1) 「Arduinoをはじめよう」第3版 Massimo Banzi, Michael Silah 著 オライリー・ジャパン
- (2) Gyroscopes and Accelerometers on a Chip 2013 Debra <http://www.greekmomprojects.com>
- (3) Tutorial-Multiple Values in Arduino IDE Serial Plotter 2016 Mads Aasvik <http://www.norwegiancreations.com>