

# 外乱による誤検出を回避できるアークセンサの開発

久貝 克弥\* 萩野 仙太郎\*\*

## Development of an arc sensor that can avoid false detection due to disturbance

Katsuya KUGAI\* Sentarou HAGINO\*\*

An arc sensor is a function that uses the arc phenomenon itself to detect misalignment and compensate for movement in automated welding by robots and other equipment. Arc sensors do not need to take interference with the workpiece into consideration, and have the advantage of being maintenance-free and inexpensive. On the other hand, the problem is that it detects misalignment only by the waveform shape of the current and voltage, so if there is a disturbance that disturbs the arc, it will be detected incorrectly. Therefore, we aim to develop an arc sensor that does not cause false detection by quantitatively investigating the effects of various possible disturbances and constructing an algorithm based on the effects of such disturbances.

*Keyword* Arc sensor, Robotic welding, Short circuit transfer

### 1. 緒言

アークセンサは、ロボットなどの自動溶接においてアーク現象自体を利用して狙いずれを検出し、動作を補正する機能である。アークセンサではワークとの干渉を考慮する必要がなく、メンテナンスが不要かつ安価で実現できるという優れた特徴があるため、有効な手段だと考えられるが普及率は低い。その理由は、電流および電圧の波形形状のみで狙いズレを検出しており、アークを乱すような外乱があった場合に誤検出するためである。そこで、考え得る各種外乱の影響を定量的に調査し、その影響を踏まえたアルゴリズムを構築することにより、誤検出が生じないアークセンサの開発を目指す。

### 2. 方針

これまでの研究で、CO<sub>2</sub> 溶接時の電流、電圧を短絡時とアーク時に分解し、チップ摩耗、ワイヤ送給不安定、開先内油付着、ワークに錆、シールド不良、磁気吹き、の6つの要因から受ける影響を定量的に把握してきた<sup>2)3)</sup>。

\*近畿大学工業高等専門学校

総合システム工学科 機械システムコース

\*\*近畿大学工業高等専門学校

専攻科 生産システム工学専攻 機械系

一例として開先内油付着の影響を Table 1 に示す<sup>3)</sup>。開先内をウィーピングすることにより生じるチップ母材間距離 $l$ の変動及びその変動速度  $d\ell/dt$  に対する相関を見ると、短絡時電圧およびアーク時電圧が $l$ に対して相関があり、かつ外乱がない場合と油付着の場合で相関係数に大きな違いが見られないことが分かる。つまり、これら2種類のデータを用いてアークセンサを構成すれば、油付着があっても誤検出を回避できるといえる。

本報告ではこのような知見をもとにアークセンサのアルゴリズムを考案し、それを実装した結果を示す。

Table 1 Voltage and Current correlation with  $d\ell/dt$  and  $l$

inclination		Correlation with $d\ell/dt$		Correlation with $l$	
		No disturbance	Oil adhesion	No disturbance	Oil adhesion
Short Circuit	Voltage	No Correlation	No Correlation	0.086	0.080
	Current	No Correlation	0.490356	-0.96	-2.08
Arc	Voltage	-0.054	-0.026	No Correlation	No Correlation
	Current	-0.88	-0.56	-1.04	-1.23
Short Circuit Ratio		-0.25	-0.17	No Correlation	-0.14

### 3. アークセンサのハードウェア

アークセンサを実現するためには、溶接電流値、アーク電圧値、ウィーピング位置を取得する必要があり、Fig.1 に示すようなハードウェア構成によって実現する。

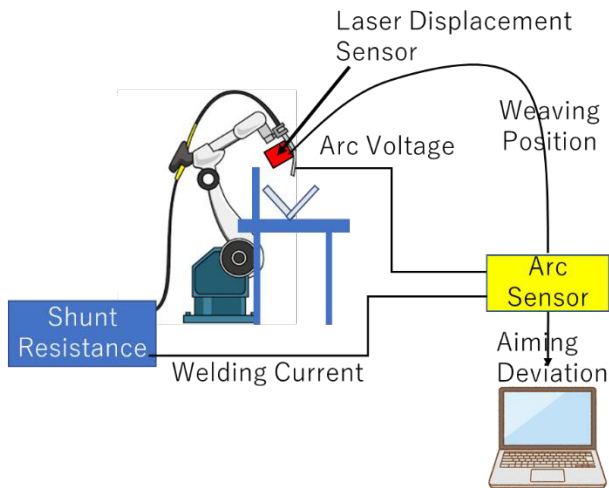


Fig.1 Configuration of arc sensor

ウィービング位置はロボットコントローラから通信によって取得するのが一般的であるが、通信プロトコルがオープンになっていないため、代替方法としてレーザ変位計によりトーチとワーク台の距離を検出する。溶接電流値は溶接ケーブルにシャント抵抗および絶縁アンプを取り付けて取得し、アーク電圧値はトーチと溶接台の間に絶縁アンプを取り付けて取得する方法を採用した。これらのデータをマイコンボードによってウィービング位置やウィービング方向に対する溶接電流値およびアーク電圧値に分別し、後述するように、アークセンサの演算に必要な基礎的な物理量を求めた。具体的には、短絡移行時の波形を取得するために最低限必要なサンプリング周期として  $200\mu s$  を採用した。各サンプリング周期において取得できる波形の違いを Fig.2 に示す。

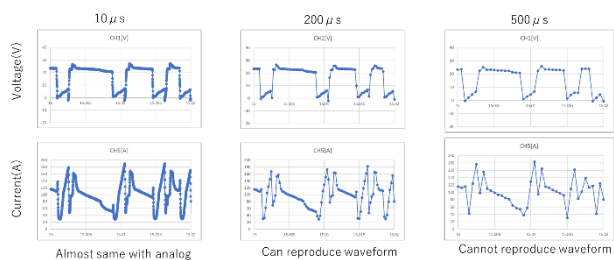


Fig.2 Reproduced waveforms with several sampling time

アークセンサに用いたハードウェアを Fig.3 に示す。CPU には DSP が搭載されており、高速な信号処理に適した Arduino DUE を採用した。電圧検出用の絶縁アンプにはヤマキ電気製 CSV-1111EA を、電流検出用の絶縁アンプにはヤマキ電気製 CSV-0411EA を採用し、絶縁アンプの出力が Arduino DUE の A/D 入力仕様である  $0\sim 3.3V$  の範囲に収まるようにゲインを合わせた。また、これらの絶縁アンプ

は高速な応答が可能となっており、 $200\mu s$  の変動を伝達できる仕様となっている。電流測定用はシャント抵抗を用いることで高速かつ精度の高い応答を確保する。これにはヤマキ電気製 YS-3 を用いた。

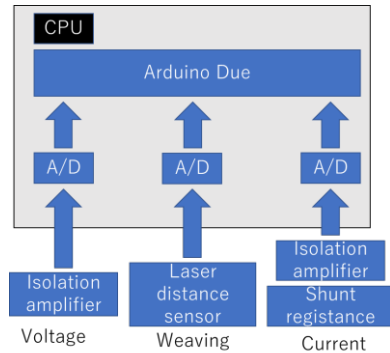


Fig.3 Hardware of arc sensor

このようにして得られた電圧、電流値を用いて、短絡時電圧値、短絡時電流値、アーク時電圧値、アーク時電流値、短絡時間割合の各物理量を求め、それらをウィービング位置およびウィービング方向に分別する演算を行った。この演算はウィービング 1 周期分のデータが取得されるたびに開始する。また、演算中もサンプリングが途切れないようなプログラム構造にした。Fig.4 短絡とアークの分離方法を、Fig.5 に模式的に表したプログラム構造を示す。

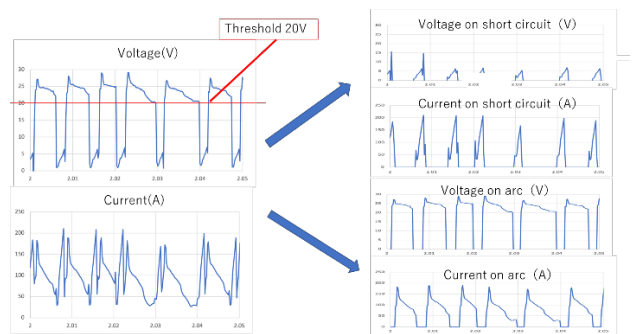


Fig.4 Data separation method to short circuit and arc

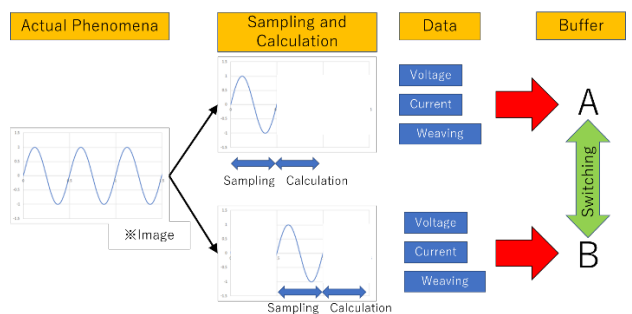


Fig.5 Construction of Software

#### 4. 基礎的な物理量の算出

開先内をウィービングした場合、チップ母材間距離 $l$ およびその変動  $d\theta/dt$  に応じて溶接の電圧や電流が変動する。もちろんアーク溶接自体がアーク周辺で起こる熱対流、電磁場などの影響により予測できない変動を起こすため、電圧や電流も不規則に見える変動をもともと含んでいる。その中から、ウィービングに応じた変動成分を抽出するために、Fig.6 に示す演算を行い、アークセンサに必要な基礎的な物理量を以下の式で求める。

$$\text{左右電流差}=(A+B)-(C+D) \quad (1)$$

$$\text{往復電流差}=(A+C)-(B+D) \quad (2)$$

$$\text{左右電圧差}=(E+F)-(G+H) \quad (3)$$

$$\text{往復電圧差}=(E+G)-(F+H) \quad (4)$$

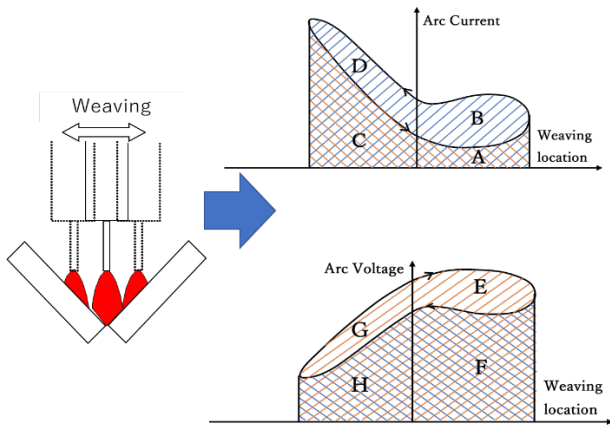


Fig.6 Calculation of essential physical data for arc sensor

実際には(1)から(4)の演算は、アーク時と短絡時とに分けて行うため、合計 8 つの物理量が求められる。それに加えて、同様な方法で短絡時間割合左右差と短絡時間割合往復差を求める。ここで短絡時間割合とは、ウィービング 1 周期における以下の(5)式の値である。

$$\text{短絡時間割合}=\text{短絡時間}/(\text{アーク時間}+\text{短絡時間}) \quad (5)$$

#### 5. 実験方法

上述の合計 10 種類の物理量が溶接の狙いずれとどのように相関を持つか、また各種外乱によってどのように変動してしまうのかを確認するための実験を行った。Fig.7 に示すように、開先内を±ずれから±ずれまで斜めに溶接を行い、その際にアークセンサのハードウェア&ソフトウェアで演算される 10 種類の物理量の値がどのように変化するかを調べた。

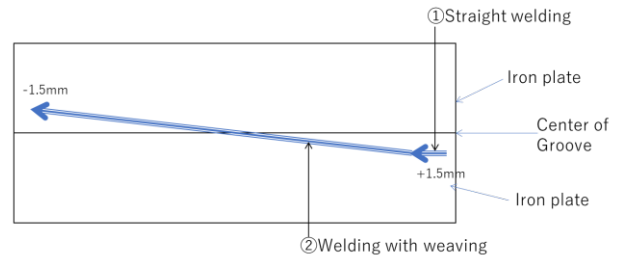


Fig.7 Welding way

この時の溶接条件を以下に示す。日本国内で最もポピュラーに用いられている CO<sub>2</sub> ガスを採用し、アーク溶接が短絡移行状態になるようにした。

- ・母材：軟鋼
- ・板厚：3.2mm
- ・ガス：CO<sub>2</sub>ガス
- ・ワイヤ：神戸製鋼 SE-50T φ0.9
- ・電流：100A
- ・電圧：18.0V
- ・溶接速度：30cm/min
- ・ウィービング周波数：3Hz
- ・ウィービング片振幅：1.5mm

この実験を外乱がない場合、磁石を用いて磁気吹きを故意に発生させた場合、ワークに油を付着させた場合、チップにワイヤの削りカスが溜まって送給が不安定になった場合、チップが摩耗して電力が安定供給できなかった場合、ノズルがスパッタ付着で詰まってシールドガス供給が乱れた場合、ワークが錆びていた場合、の 7 つのケースについて行った。その時に得られた 10 種類の基礎的な物理量の波形を Fig.8 に示す。これを俯瞰すると、アーク時左右電流差と短絡時間割合左右差の 2 つの物理量が右下がりの波形となっており、溶接時のずれ量と強い相関があることが分かる。

#### 6. アークセンサのアルゴリズム

そこで、アーク時左右電流差と短絡時間割合左右差をずれ量推定の基礎データとし、各種外乱要因によるずれ量に依存しない変動分を除去するために、Table 1 で一例を示したこれまでの研究成果を鑑みて、アーク時左右電圧差とアーク時往復電流差で補正を行うことにした。具体的には、

$$\begin{aligned} \text{ずれ量} &= \text{係数} \times (\text{アーク時左右電流差} \\ &\quad + \text{短絡時間割合左右差} + \text{アーク時左右電圧差} \\ &\quad + \text{アーク時往復電流差}) \end{aligned} \quad (6)$$

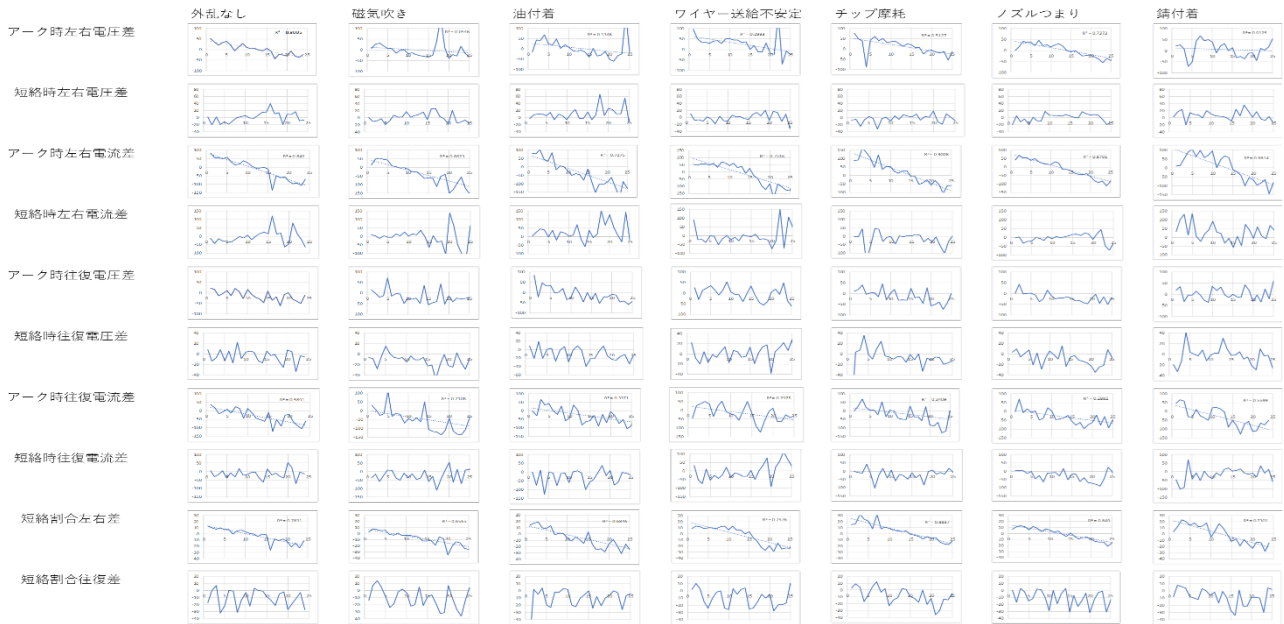


Fig.8 Experimental result

の演算を行い、ずれ量との相関を調べた。その結果を Fig.9 に示す。この図から分かるように、上述の演算により各種外乱があった場合でも、ずれ量演算結果は実際のずれ量と高い相関が保たれており、係数もほぼ同一であることが確認できた。

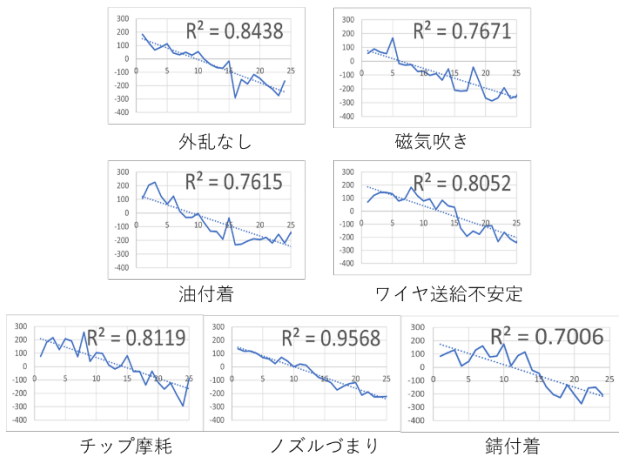


Fig.9 Misalignment calculation result

## 7. 結言

短絡移行溶接において短絡とアークを個別にデータ処理できるアークセンサのハードウェアを構築した。また各種外乱のある状況で誤検出を回避できるアークセンサのアルゴリズムが提案できた。

本報告で示した(6)式によるずれ量演算のほかにも、実際のずれ量との相関が高く、外乱があっても変動しない演算方法があるかも知れない。また、(6)式における各物理量の寄与割合を変えることでさらに信頼性が高いずれ量算出

式ができるかもしれない。今後はそれらについて検討を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 児玉ほか：短絡アーク溶接プロセスのモデリングとアークセンサ制御技術への応用, 新日鉄技報第 385 号, 2006 年
- 2) 久貝, 中村：アークセンサの信頼性に関する再考-アークおよび溶融池の影響について-, 溶接学会論文集第 33 巻第 4 号, P309~316, 2015 年
- 3) 山本ほか：短絡移行におけるアークセンサの誤検出回避方法-不安定要素の影響解析-, 2022 年度溶接学会秋季全国大会講演概要, 2022 年