

(技術資料)

溶接ロボットへのレーザーセンサの応用

Application of Laser Sensors to Welding Robots



重吉正之*
Masayuki Shigeyoshi



飛田正俊**
Masatoshi Hida



岡本 陽**
Akira Okamoto

Laser gap sensing system sets up welding conditions automatically according to the gap width of the welding line was developed. A laser displacement sensor in the robot processes displacement data to determine the welding line gap width. The detection error limit for a single bevel groove was set to less than 0.5mm. Practical results matched very closely with theoretical predictions.

まえがき = 溶接ロボットへのレーザーセンサの応用として、レーザー変位計を用いて溶接線のギャップ幅を計測して、溶接条件を自動的に設定するシステム（以下、レーザーギャップセンシングシステム）を開発し実用化した。

本稿では、このレーザーギャップセンシングシステムの諸性能について紹介する。

1. レーザギャップセンシングシステムの用途

アーク溶接では、2つの部品を接合するために、2つの部品が交わる部位（以下、溶接線）を溶接する（図1）。

建設機械などの溶接構造物は、多数の大型部品（板材）の組合わせで形成されているため、仮組み時に個々の部品を精度よく位置決めするのは事実上不可能である。そのため、溶接線には隙間（以下、ギャップ）が生じる。

一方、ギャップを有する溶接線を良好に溶接するためには、ギャップ幅に応じて溶接条件を変更する必要がある。一般的な方法は、まずギャップを埋めるためだけの溶接（以下、ギャップ埋め溶接）を行い、その後、所望の脚長を得るための本溶接を行う。また、ギャップ埋め溶接は、抜落ちを防止するために、ギャップ幅が広がるほど溶接電流を下げて、溶接速度を速くする必要がある（図2）。

従来のロボットでは、ギャップ幅に応じて溶接条件を自動的に変更することが不可能であったため、ギャップ埋め溶接は、作業者が事前に行う必要があった。この問題を解決するために、溶接線のギャップ幅を計測し、計測したギャップ幅に応じて溶接条件を切替えるシステムを開発した。

2. レーザセンシングシステムの構成

2.1 センサの選定

溶接ロボットの代表的なセンサとしては、ワイヤタッ

チセンサがある。ワイヤタッチセンサとは、溶接ワイヤと被溶接物（以下、ワーク）間にセンシング用の電圧を印加し、溶接ワイヤがワークに接触したときに、センシング電圧が変化する現象を応用する。センシング電圧を印加した状態で溶接トーチをワーク方向へ移動し、センシング電圧が変化したときの溶接トーチの位置をワークの位置と認識してギャップ幅を計測する（図3）。

しかしながら、ワイヤタッチセンサではワイヤ径以下のギャップ計測は不可能なため、ワイヤ径以下のギャップ計測分解能が要求される場合には、適用不可能である。

その問題を解決するためには、小さなギャップでも精度良く検出できるレーザーセンサなどの非接触センサの利用が必要になる。

当社レーザーギャップセンシングシステムでは、レーザー

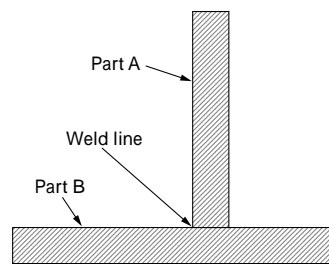


図1 アーク溶接の溶接線
Fig. 1 Weld line of arc welding

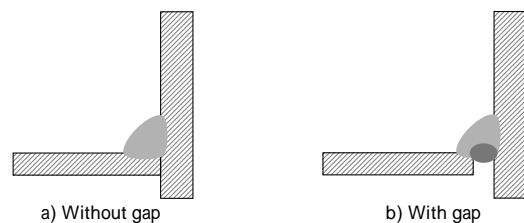


図2 ギャップに応じた溶接条件の設定
Fig. 2 Welding conditions according to the gap

*溶接カンパニー 技術開発部 **技術開発本部 生産システム研究所

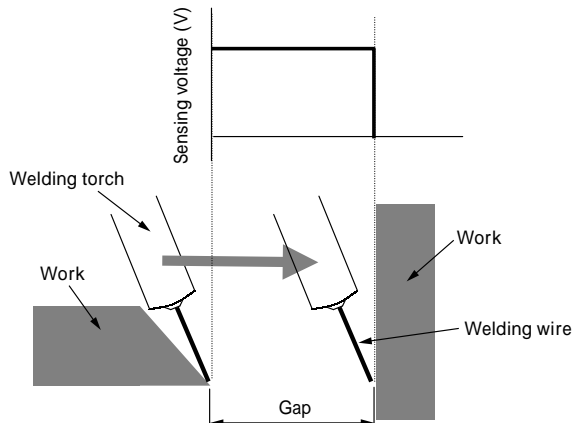


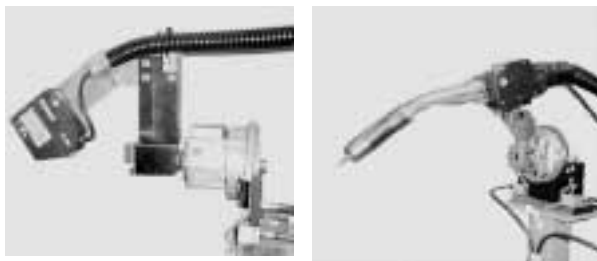
図3 ワイヤタッチセンサ
Fig. 3 Wire touch sensing

変位計をロボットに取付け、ロボットの移動により溶接線の断面形状を取得し、ギャップ幅を求める。

レーザセンサはツールチェンジャを用いた持替え方式とし、ギャップ計測時には溶接トーチからレーザセンサに持替え、溶接作業時には、レーザセンサから溶接トーチに持替える。これにより、溶接時に発生するアーク光、ヒューム、スパッタなどの影響を受けないでギャップ計測を行うことができる(写真1)。

2.2 レーザ変位計センサの距離測定原理

レーザ変位計の距離測定の原理を図4を用いて説明する。レーザ変位計内部のレーザ投光部(Laser diode)から照射されたレーザスポット光は、ワーク表面に照射され、その反射光が受光レンズを通し CCD に撮像される。レーザ変位計のアンプユニットで、この CCD 波形のピーク位置を算出し、焦点距離 f 、レンズ中心からレーザ投



a) Laser sensor b) Welding torch

写真1 レーザセンサと溶接トーチ
Photo 1 Laser sensor and welding torch

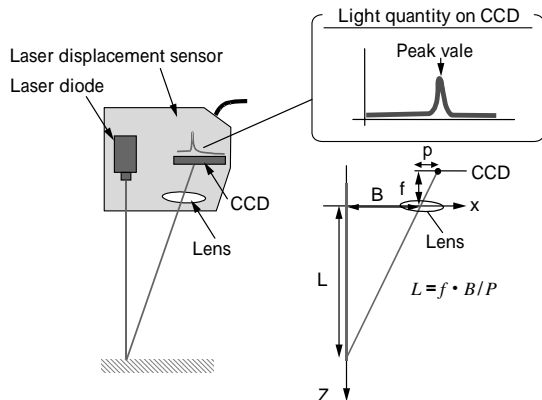


図4 レーザ変位計の距離測定原理
Fig. 4 Measurement principle for laser displacement sensor

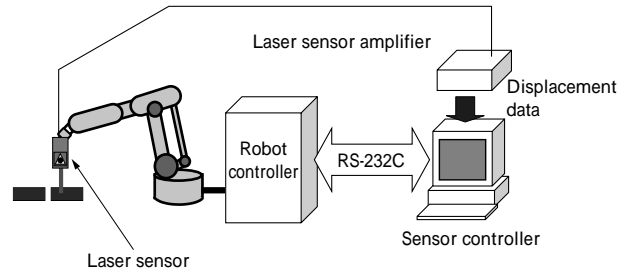


図5 レーザギャップセンシングシステム
Fig. 5 Laser gap sensing system

光部までの距離 B を用いて、対象物までの距離 L を算出する。

2.3 その他ハード構成

図5にシステム全体の構成図を示す。レーザセンサで計測された時系列変位データは、アンプユニットを介してセンサコントローラに送られる。ロボットコントローラとセンサコントローラは、RS-232Cでデータの受渡しを行う。ロボットコントローラからは、計測開始/終了の指令と溶接継手種別コードをセンサコントローラへ出力する。センサコントローラでは、時系列変位データと溶接継手種別コードを用いて溶接線のギャップ幅を算出し、ギャップ幅に応じた溶接条件をロボットに出力する。

3. 適用溶接継手形状

図6に、当社レーザセンシングシステムで適用可能な主な継手を示す。レ型開先、水平隅肉、フレア継手、I型開先など、各種の継手形状に適用可能である。以下の章では、レ型開先でのギャップ計測処理について説明する。

4. レ型開先のギャップ計測処理

図7にレ型開先での計測動作、図8にギャップ幅を0

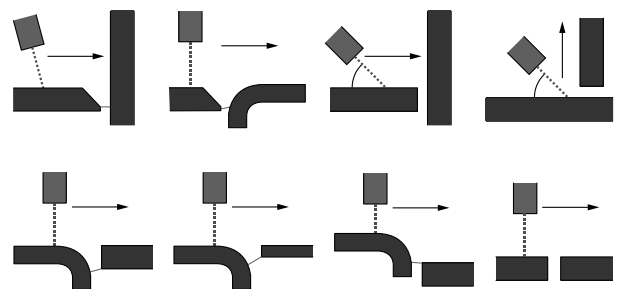


図6 適用継手一覧
Fig. 6 Weld joint list

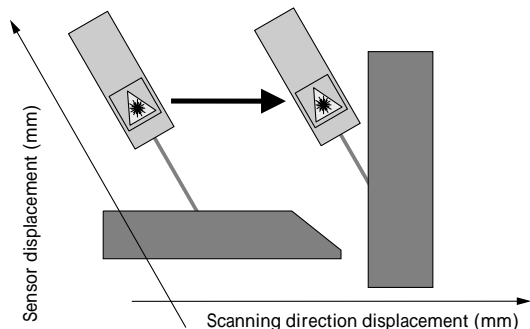


図7 レ型開先の計測動作
Fig. 7 Scanning motion of single bevel groove

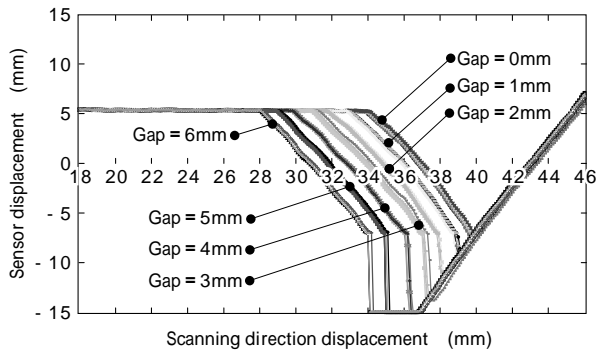


図8 レ型開先の計測距離データ
Fig. 8 Measured data of single bevel groove

~ 6mm まで変化させた時の時系列変位データを示す。同一ギャップ幅に対して5回計測した。図8の横軸はセンサの走査方向の距離を表し、縦軸はセンサが出力した変位データを表す。変位データで左端の水平な部分はレ型開先の下板部のデータ、斜めに下がっている部分は開先部のデータ、斜めに上がっている部分は立板部のデータになる。開先部のデータと立板部のデータの間にある急激に変位データが小さくなっている部分が、ギャップ部のデータになる。ギャップ幅に応じて、ギャップ部のデータが大きくなっている。この特徴を用いて、以下のフローでギャップ幅を算出する。

1) 屈曲特徴点の抽出

変位データの点列から、屈曲特徴点を抽出する(図9)。以下にその概略を示す¹⁾。

時系列変位データの端点を Edge_1, Edge_2 とする。

Edge_1 ($k = 1$) と, Edge_2 ($k = n$) の両端を結び、直線の方程式を算出する。

各点 ($k = 1 \sim n$) から、で算出された直線までの距離 $D(k)$ を算出する。

最大 $D(k)$ を有する k を探索し、そのときの k の値を k_{max} 、距離を $D(k_{max})$ とする。

$D(k_{max}) > L_{thre}$ のとき、この k_{max} を屈曲点として登録する (L_{thre} : あらかじめ設定した定数で、対象ワークの特徴形状が分割できる適切な値に設定する)。

Edge_1 と k_{max} を両端として、からの処理を繰返

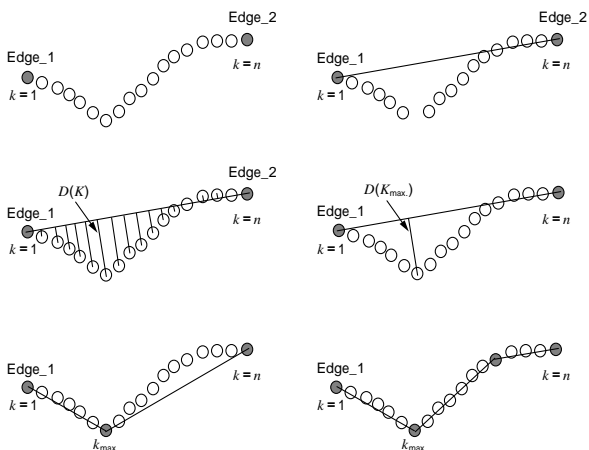


図9 屈曲特徴点の抽出
Fig. 9 Search of feature point

す。さらに、 k_{max} と Edge_2 を両端として、からの処理を繰返し、各区間における最大距離 $D(k_{max})$ が L_{thre} を超えなくなった場合、その区間での特徴点抽出を終了する。

2) 下板、立板、開先セグメントの抽出

抽出した屈曲特徴点を用いて、時系列変位データをグループ化する(図10)。以下にその概略を示す。

抽出した屈曲特徴点(図10の印)を両端に持つ点列を、セグメントとしてグループ化する。

各セグメントの長さや傾きを計算する。

最も左側のセグメントから右側に向かって探索し、セグメントの長さ $HORIZ_LEN$ 以上でかつ、傾き $\pm HORIZ_ANG$ 以下に該当する最初のセグメントを下板セグメントとする(図10 Segment-A)。

さらに右側に探索し、セグメントの長さ REF_LEN 以上でかつ、 REF_ANG 以上のセグメントを立板セグメントと認識する(図10 Segment-C)。

最後に、下板セグメントと立板セグメント間のセグメントを左側から右側に探索し、長さ $GROOVE_LEN$ 以上でかつ、 $GROOVE_ANG$ 以上 (REF_ANG 以下) のセグメントを開先セグメントとする(図10 Segment-B)。

3) 開先エッジ点の抽出

開先セグメント(図10, 図11 Segment-B)を左端から右端に向かって探索し、開先セグメントの直線までの距離が、 $EDGE_DIST$ 以上の点を探検し、その1個手前の点を開先エッジ点とする。(図11の印)

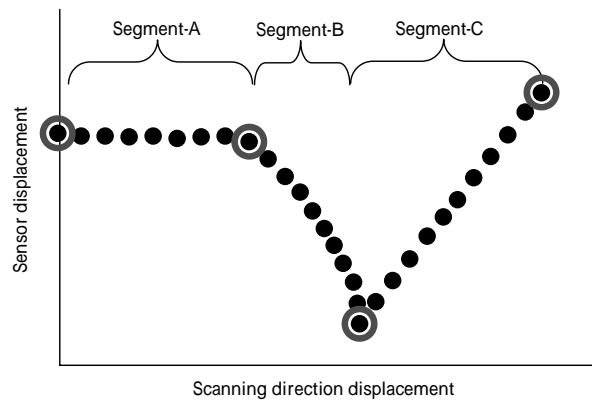


図10 レ型開先の計測距離データ
Fig.10 Measured data of single bevel groove

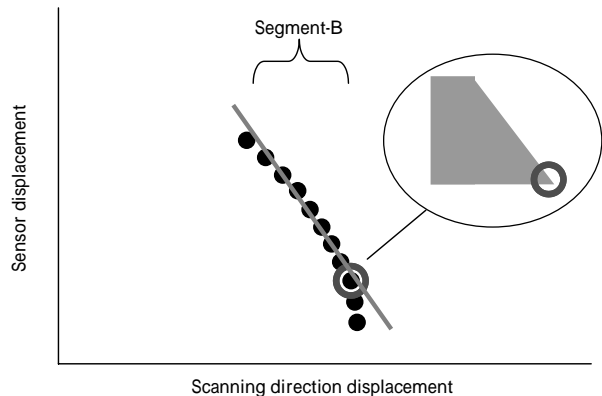


図11 開先エッジの探索
Fig.11 Search for a groove edge

4) ギャップ幅の計算

開先エッジ点から立板セグメントまでの距離を計算し、最小距離をギャップ幅とする。

5. 計測精度

図12はレ型45度開先のギャップ計測結果である。横軸に実際のギャップ幅、縦軸に計測したギャップ幅を示している。センサ高さ(L)とセンサ走査角度()を図12で示す範囲で変更し、それぞれ5回ずつ計測した。

ここで、センサ高さ(L)は、レーザ投光面からレ型開先下板表面までの距離(mm)、センサ走査角度()は、垂直からの傾斜角度(度)をあらわす。

全ての条件において、計測ギャップ幅と実際のギャップ幅との差が、0.5mm未満の精度が確保されており、実用上十分満足できる結果である。

6. ギャップ幅に応じた溶接の実行

ギャップ幅に応じた溶接を実行するために、当社溶接ロボットの機能である「データバンク機能」を応用する。

6.1 データバンク機能

データバンク機能とは、溶接電流・溶接電圧・溶接速度・ウィーピング条件などの溶接に関する全ての条件をロボットコントローラに記憶・実行できる機能である。

また、多層盛溶接を行う場合には、データバンクに必要なパス分だけの溶接条件を記憶するだけで、2パス目以降の軌跡を自動生成できる機能である(図13, 図14)。実行するデータバンクをセンサ・コントローラからの指令にしたがって選択することで、ギャップ幅に応じた溶接を実行できる(図15)。

ギャップ幅とデータバンク番号の関係は、事前にセンサコントローラに登録しておく。図15の例では、ギャップ幅が0.5mm未満の場合は、データバンク No.100(1パス溶接)、ギャップ幅が0.5 ~ 1.5mmの場合はデータバン

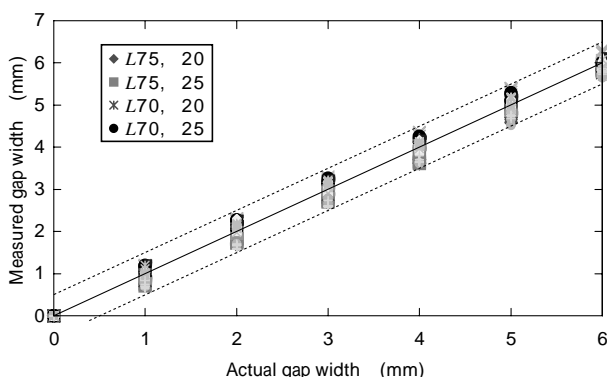


図12 レ型開先の計測結果
Fig.12 Measured gap of single bevel groove

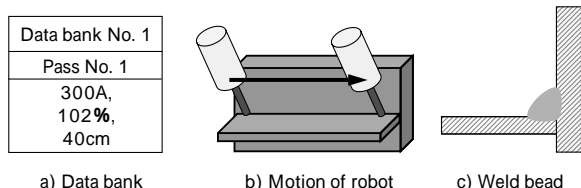


図13 1パスのデータバンク動作
Fig.13 Motion of 1-pass data bank

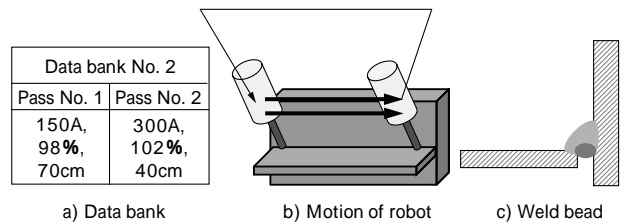


図14 2パスのデータバンク動作
Fig.14 Motion of 2-pass data bank

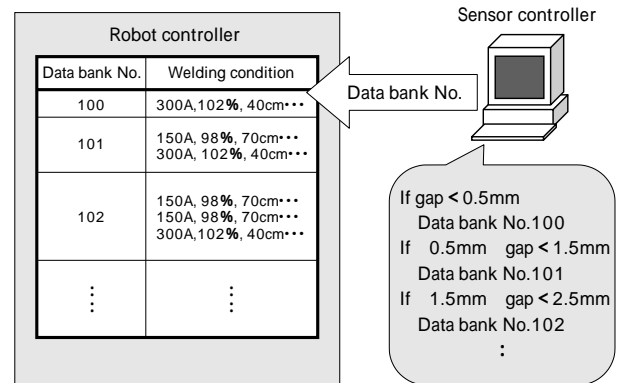


図15 溶接条件の選択
Fig.15 Selection of welding conditions

ク No.101 (2パス溶接)、ギャップ幅が1.5 ~ 2.5mmの場合はデータバンク No.102 (3パス溶接)を行うことができる(注:各データバンクの溶接条件は、機能説明するためのものであり、実際に溶接施工で用いた条件ではない)。

6.2 教示プログラムの作成

図16にギャップ計測用のロボット教示プログラム例、図17に溶接を実行するための教示プログラム例を示す。

ギャップ計測用の教示プログラムは、計測開始位置と計測終了位置への移動命令(LMOVE)、ギャップ計測を行うための計測開始命令(Start_SENS)で構成される。この教示プログラムを実行すると、計測開始命令の引数に設定した変数V001に、レーザセンサコントローラから受信したデータバンク番号が格納される。

溶接実行用の教示プログラムは、溶接開始点と溶接終了点への移動命令(LMOVE)、溶接開始/終了を行うためのアーク命令(ARC)、溶接条件設定用のデータバンク命令(DATABANK)で構成される。データバンク命令

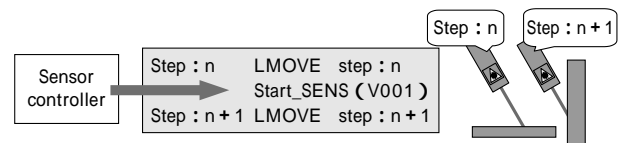


図16 ギャップ計測用の教示プログラム例
Fig.16 Teaching program for gap measurement

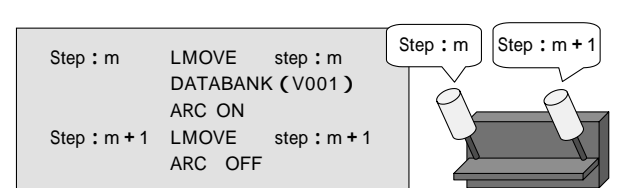


図17 溶接実行用の教示プログラム例
Fig.17 Teaching program for welding execution

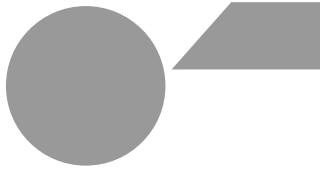


図18 本システムの例
Fig.18 Example of this system

の引数に設定された変数 V001 には，レーザセンサコントローラから受信したデータバンク番号が格納されているため，この教示プログラムを実行することで，ギャップ幅に応じた溶接を行うことができる。

このように，データバンク機能とレーザセンサ機能を組合わせたことで，ギャップに応じた溶接条件の変更が，単に溶接電流・電圧などの条件変更だけでなく，多層盛りの実行パスも変更できるようになる。

6.3 ギャップ埋め溶接への適用例

図18 に示すワークに対して，本システムを適用した。ワークは，円形の部品と開先加工された直線部品の組合わせで形成されており，個々の部品の僅かな位置決め誤差により溶接線にギャップが生じる。従来，このようなワークに対しては，人手によってギャップ埋め溶接を行う必要があった。

本システムを適用し，ギャップ幅を計測して，0 ~ 4mm までのギャップ幅に対しては，1mm ピッチごとに溶接条件を切替えて溶接を行い，ギャップ幅が4mm を超える場合にはエラーとした。

その結果，0 ~ 4mm までのギャップ幅に対しては，良好な溶接を行うことができた。また，過度に広いギャップ幅に対しては，エラー出力することができた。

むすび= 溶接線のギャップ幅に応じた溶接条件を自動的に設定するために，レーザギャップセンシングシステムを開発し実用化した。本システムを用いることで，従来人手で行ってきたギャップ埋め溶接を自動化することが可能になった。

今後は，ギャップ計測の可能な継手を更に拡張し，レーザセンサの適用範囲を拡大していく。

参 考 文 献

- 1) T. Pavlidis et al. : Segmentation of PlanesCurves, IEEETrans. Comput., Vol.c-23 (1974) p.86 .