

4-5

溶接・接合施工システム(自動機とロボット)*

鴨 和彦**



Welding and Joining System (Automation and Robot)*

by KAMO Kazuhiko**

キーワード

機械化溶接, 自動溶接, 溶接ロボット, タッチセンサ, アークセンサ, 光センサ, インプロセス制御

1. 概要

生産現場の生産性を上げて製品のコスト競争力を強化すること, 管理項目が多種に及ぶ溶接作業の品質を均一化すること, および熟練溶接士が高齢化しつつ不足する中で溶接作業の生産性を確保するためには, 自動化・ロボット溶接は不可欠な技術となっている。

従って, 溶接作業の自動化・ロボット化は, 製造業が国際競争に打ち勝って生き残って行くには不可欠な技術となっている。

自動溶接という用語の定義として JISZ3001 に「操作者が常時操作しなくても連続的に溶接が進行する装置を用いて行う溶接の総称」と記載されている。また, 類似な言葉としての機械化溶接は「部品供給, ワイヤ供給, クランプ, 送り, 回転, 反転, 排出などの操作を機械化, 動力化した溶接」と定義している。溶接施工法での取り扱いとして ASME 規格 Boiler & Pressure Vessel Code Sec. IX では, Automatic, Machine, Semi-Auto, Manual との区分を溶接施工法に記載するように規定されている。一方, JISZ3001 でのロボット溶接の定義は「産業用ロボットを用いて行う自動溶接の一種。ロボットアーク溶接, ロボットスポット溶接などがある」と定義されている。更に JISB0134 では, 産業用ロボットとは「自動制御によるマニピュレーション機能又は移動機能を持ち, 各種の作業をプログラムによって実行でき, 産業に使用される機械」と定義されている。

このことから, 溶接士の動きを機械に置き換えたのが機械化溶接, それに溶接のプロセスを連続的に継続させるための制御機能を付加した物が自動溶接であると言える。また, ロボット溶接は, 自動溶接を発展させたものであり, 「3軸以上の動作自由度を有し, その動作と溶接条件に関する教示(ティーチングまたはプログラミング), 記憶, 再生(プレイバック)の機能を有する自動溶接装置」とするのが一般的である。

そこで, 本講座では, 自動溶接・溶接ロボットの基本的な構成と最近の動向と適用事例について取りまとめた。

2. 自動溶接・ロボット溶接の流れ

表1にわが国における溶接自動化技術の変遷を示す。1960年代のサブマージアーク溶接やエレクトロスラグ溶接のような高能率な溶接法の導入に始まり, より自動化に適した MIG/MAG 溶接や狭開先の適用への転換と言う溶接プロセスへの移行があった。少し遅れて, 自動化のためのセンサとロボットの採用があり, 現在では複数のロボットや専用機を生産ラインの中に組み込んだシステム溶接まで発展している。

わが国の最新の溶接材料の使用状況を調査した結果から推定した MAG/MIG 溶接における自動化率・ロボット化率の状況を図1に示す²⁾。形状がほぼ特定できるパイプラインや鉄鋼では専用機による自動化が100%に近いが, 形状が多種に及ぶ機械では自動化率が約20%と低い。また, 大量生産形態を取っている輸送機では自動化率とロボット化率がほぼイコールとなっているが, 少量受注品かつ製品が大型となる化学機械ではロボット適用が進んでいない。製品の生産形態や品種の数によって, 自動化率とロボット化率に差が見られる。

*原稿受付 平成21年7月28日

**正 員 三菱重工業(株) 高砂研究所 Member, Mitsubishi Heavy Industries, LTD, Takasago R&D Center

表1 わが国における溶接自動化技術の変遷

年	1960	1970	1980	1990	2000	2009
被覆アーク溶接法	● 電圧グラビティ溶接普及		● オイルショック			
高能率溶接法	● ES溶接・EG溶接・ノーガスアーク ● タンデム片面SAW・番伏電極巻曲 ● カットワイヤ・巻線		● 高速回転アーク	● TIMEプロセス ● マルチコアードワイヤ	● 大入勢SAW・SESNET	● タンデムワイヤMAG
ガスシールドアーク溶接法	● 炭酸ガスアーク溶接・マグ溶接 ● 省力化自動溶接・ウィーピング	● フラックス入りワイヤ ● 新黒自動機	● ACミグ ● 2ワイヤミグ	● レーザハイブリッド ● CMTプロセス	● デジタルインバータ	
狭開先溶接法	● バッセル	● 鉄骨構造物各種NCW確立			● 超狭開先GTA	
溶接用センサ	● アークセンサ発明(本アコ) ● ロープセンサ ● 光センサ研究	● ワイヤタッチセンサ ● 磁気センサ・アークセンサ ● ITV光切断	● PSDレーザ ● CCD視覚	● レーザスリット光センサ ● 物相差・ステレオCCD ● ファジィ/ニューラルネットワーク制御		
ロボット化	● スポット溶接ロボット(アメリカ) ● Unimateロボ輸入	● ミスタロアス・井目ロボ ● 多関節GAMロボ	● 薄身自動機 ● 可搬式多層ロボ	● ボータブル多関節ロボ ● 7軸多関節ロボ		
システム化	● 溶接法研究委員会発足		● NC多関節ロボ ● オフライン ● ティーチング ● 2トーチロボ ● 仕ロボシステム	● マルチロボシステム ● CAD/CAM ● MIG溶接シミュレーション ● TIGアークシミュレーション	● ビート形状シミュレーション	● 生産管理

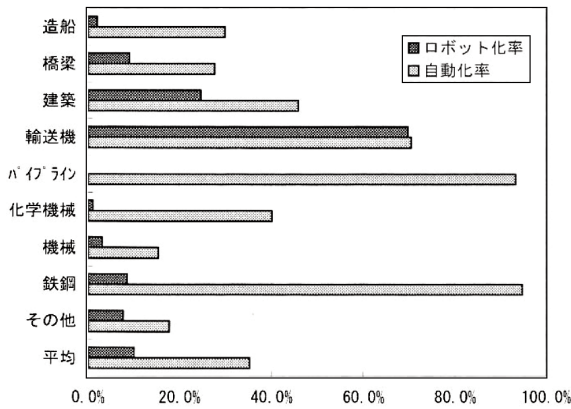
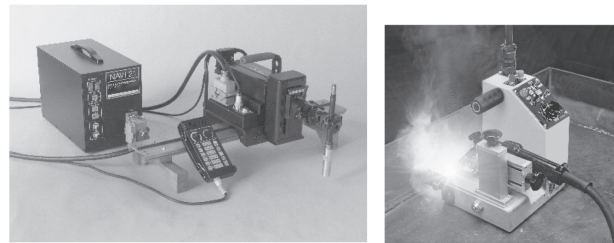
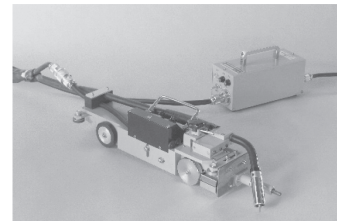


図1 MAG・MIG 溶接における自動化率, ロボット化率

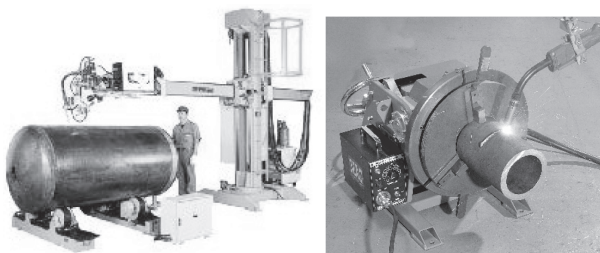


(a)レール走行方式 (b)無軌道走行方式



(c)狭隘スペース対応装置

図3 可搬式自動溶接装置



(a)ターニングローラとの組合せ (b)ポジショナーとの組合せ

図2 マニプレータ式自動溶接装置

3. 自動溶接装置の種類と概要

自動溶接装置および溶接ロボットをハード的な構成から大きく3つの範疇に区分して概要を紹介する。

(1) 汎用自動溶接装置

図2に代表的な汎用自動溶接装置をマニプレータで構成した例を示す³⁾。2軸可動なマニプレータの先端に、溶接士による狙い位置の微調整を可能にするための上下・左右可動軸やウィーピング装置を介してサブマージアーク

やマグ用の溶接トーチを搭載している。容器の長手溶接の場合はマニプレータのブームが移動することで、周溶接の場合はターニングローラで容器を回転させながら、施工裕度が高い下向き姿勢での施工となる。また、より複雑なワークを回転速度の精度を確保しつつ下向き姿勢で施工するために、ポジショナーを用いる場合も多い。

また、溶接ワークが大きく自動溶接装置周辺に移動できない場合には、可動式溶接装置を溶接線近傍に設置して施工する場合がある。溶接方法(MIG, サブマージアーク溶接), 継手形状(突合せ溶接, すみ肉溶接)や積層数(単層, 多層), 溶接姿勢, 製品形状によってさまざまな装置が市販されている。図3に可動式自動溶接装置の例を示す。軌道上を走行し, かつ多層盛り対応のため走行・上下・左右(ウィーピング兼用)の3軸がNC+プログラム制御できるもの⁴⁾, 箱型内部のすみ肉溶接に特化したマグネット車輪で床面と壁面に貼り付いて軌道無しで走行するもの³⁾, 溶接士が寄り付きできない狭隘場所にアクセス可能なコンパ

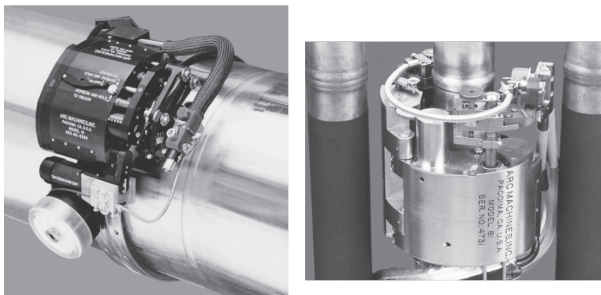


図4 配管用全姿勢自動溶接装置

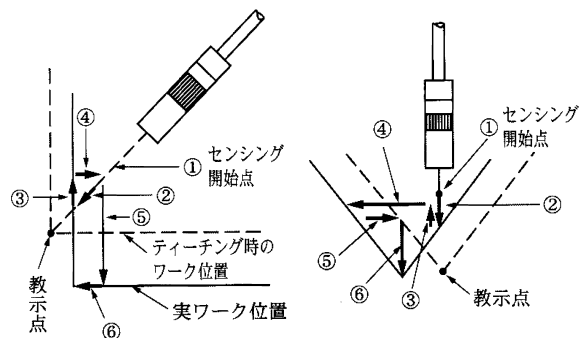


図6 タッチセンシング手順の例

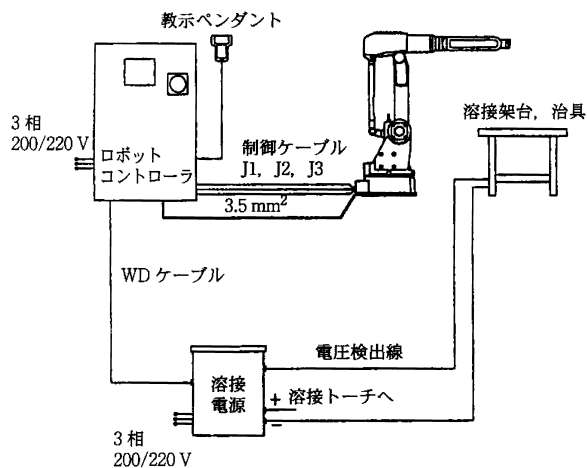


図5 溶接ロボットの構成例

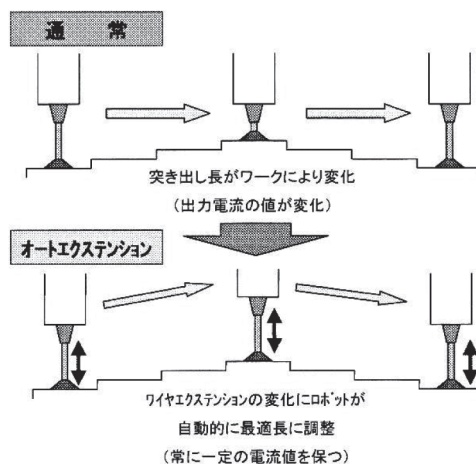


図7 突き出し長さの制御

クトなものがある。

図4に配管に特化した汎用自動溶接装置を示す⁶⁾。配管に抱かせたガイドレール上を溶接ヘッドが走行して、あるいは馬蹄形ギアの回転により溶接ヘッドが走行して、周溶接の施工を実施する。初層の裏波溶接からの施工となるためTIG溶接が主体であり、全姿勢における姿勢の変化に伴って溶接条件をプログラム制御する溶接条件制御機能を有する物が多い。

(2) 溶接ロボット

溶接ロボットはティーチングプレイバック+多関節型をとる場合が多い。空間位置と方向の6つの自由度を確保するために、6軸の多関節で構成されることが普通である。

図5に溶接ロボットの構成例を示す⁷⁾。溶接トーチを搭載した本体、ワイヤ供給系を含む溶接電源、ペンダントを含む制御装置が主な構成部品であるが、無人連続運転を前提にしているため、トーチクリーナーやトーチチェンジャーなどの付属装置を配置する場合が多い。また、施工裕度が広く溶接ビード形状が良好な下向き姿勢を優先して選択するために、ポジショナーを外部軸として用いる場合も多い。多関節ロボットの稼働範囲は有限のため、多関節ロボットを別な移動軸に搭載して大型構造物への適用を図っている。

ティーチングプレイバックデータでロボット溶接する際、溶接ワークの設置誤差や組み立て誤差をキャンセルする手法として、図6に示すような溶接ワイヤを用いたタッ

チセンシングを用いる⁸⁾。これは溶接ワイヤと溶接ワーク間に高電圧を印加し、ティーチングデータに従い溶接ワイヤを溶接ワーク表面にゆっくり近づけて行き、両者間の電圧が一定値以下になった点を溶接ワーク表面位置とし、複数のセンシング検出点から溶接開始点や終了点、開先中央、開先ルート幅を割り出す方法である。この場合、ワイヤがセンサとなるため、突き出し長さや曲がりには留意する必要があり、ワイヤカットにより突き出し長さを揃えることもある。また、溶接ワイヤではなく剛性と精度を有する触針を用いることもある。

タッチセンシングでは溶接線の代表点は検知できるが、溶接線全点を検知するには時間がかかりすぎることから、長い溶接線の位置ずれに関しては、次項で述べるアークセンサを用いて開先左右位置の倣いを行うことが多い。また、開先線の位置ずれは左右方向だけでなく溶接トーチの上下方向にも生じるため、あるいは熱ひずみによる溶接ワークの溶接中に変形に対応するため、図7に示すようなワイヤ突き出し長さの一定化の制御にも実用化されつつある⁹⁾。

溶接ロボットには連続稼働が求められるが、アークスタートの失敗によるチョコ停の発生が連続稼働の阻害となる。そこで、アークスタートミスの防止のため、図8に示すようなリフトアップによるアークスタート方式が採用され始めている⁹⁾。これは、ワイヤが溶接ワークに接触したことを検知し、溶接ロボットが溶接トーチをワイヤ送給より早く引き上げることでワイヤと溶接ワーク間に空隙を

作り、大粒のスパッタを発生させることなく確実なアークスタートを実現する方法である。

溶接トーチにワイヤ、電力、シールドガスを供給するケーブル・ホース類は、従来はロボット本体の外側に別経路で這わせられていた。このため、ロボットの手首軸を大きくひねるとケーブル・ホース類が損傷したり、溶接ワイヤに曲がり癖が発生して溶接の安定性を損なうなどの問題があった。そこで、図9に示すようなケーブル・ホース類をロボットの内部に配置し、物理的な制約を回避する溶接ロボットが普及しつつある⁹⁾。

多関節形溶接ロボットには稼動範囲に制限があり、6つの自由度を確保できる範囲はそう広くなく、溶接ロボットに対して溶接ワークをどの位置に配置するかが苦慮するポイントとなる。それを解消するため、自由度を1つ上げた7軸溶接ロボットが実用化されている。これにより、溶接ロボットの足元に溶接ワークを配置できることになり、設置スペースの削減とマルチロボット対応が容易にできるメリットがある。

また、溶接ロボットはMAG・CO₂溶接の適用が多く、TIG溶接の適用は限定されていた。これは、タングステン電極とは別に溶接ワイヤの送給が必要であり、溶接施工性と溶接ワークとの干渉回避から溶接進行に対して前方から送給するのが望ましく、MAG・CO₂溶接に比べてロボットの自由度が劣ることが大きな阻害原因となっていた。そこで、図10に示すようなワイヤ挿入位置を手首軸の中軸に配置したコンパクトなTIG溶接トーチを搭載した溶接ロボットが実用化されている¹⁰⁾。

また、最新のデジタル制御技術の向上に伴い、溶接ロボットの制御も大きく進歩している。図11に最新のロボット制御のハードウェア構成を示す⁹⁾。ロボット制御内のCPUを搭載した溶接制御カードが、ロボット軸制御、ワイヤ供給制御、溶接電源制御を一括で統括管理しており、フルデジタル溶接電源とのデータ転送速度も従来に比べて250倍に高速化されている。この高速なデータのやり取りを活用し、低スパッタ溶接や前述のリストアップアークスタート方法を実現している。また、従来のマルチ溶接ロボットシステムでは、数台の溶接ロボットの上位に別途制御装置が必要であった。しかし、溶接ロボットの制御能力の向上に伴い、上位の制御装置を必要とせず、任意の溶接ロボットをマスター指定することで他の複数台の溶接ロボットが制御可能となっている。

(3) 専用自動溶接装置

専用自動溶接装置の厳密な定義は無いが、溶接ワークの



図9 ケーブルの埋め込み化

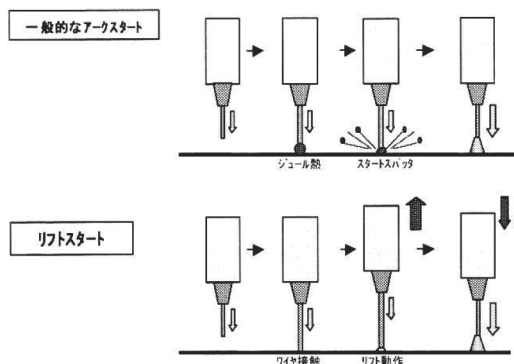


図8 アークスタート方式の改善

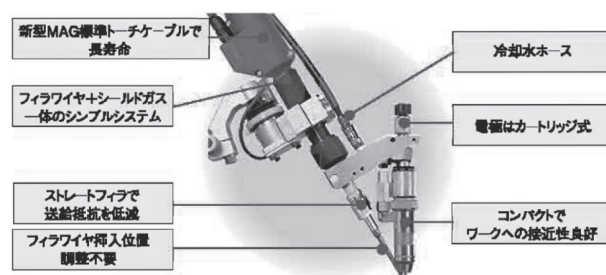


図10 TIG溶接への適用性向上

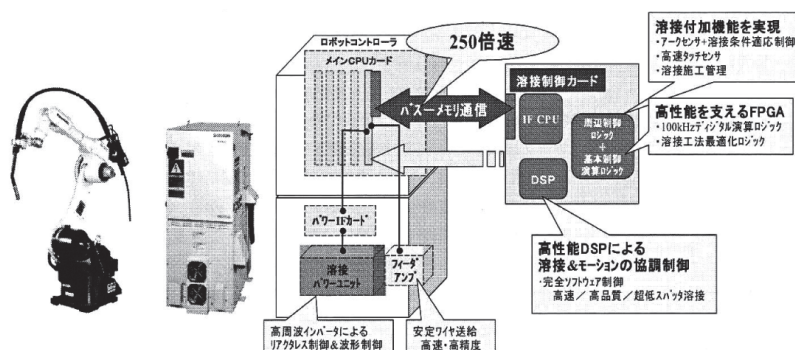


図11 溶接ロボットハードウェア構成

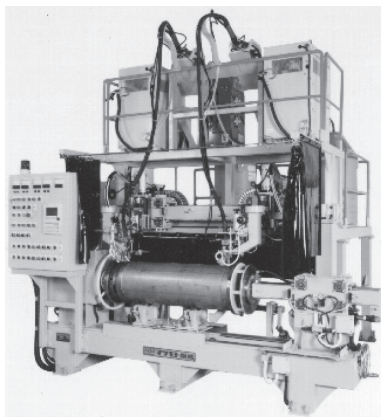


図 12 LNG ボンベ円周自動溶接装置

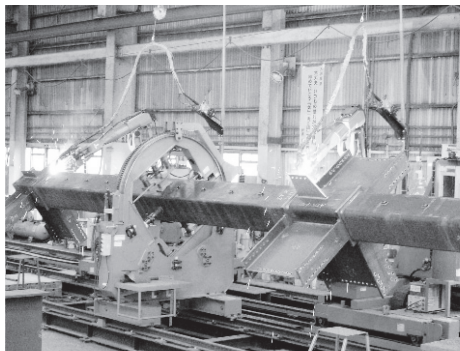


図 13 鉄骨柱大組立2アーク溶接ロボット

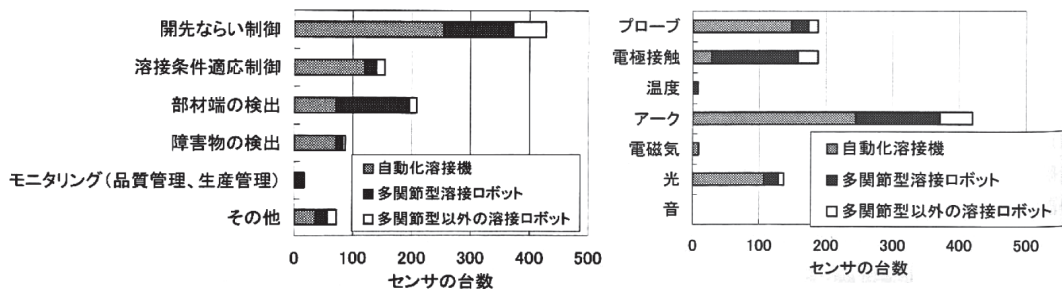


図 14 センサ使用の目的と種類

形状や生産ラインへ組み込んだ時のタクトタイムを最適化した、溶接ワークの搬入・搬出機構と、必要に応じた複数台数の自動溶接装置もしくは溶接ロボットを組み合わせた溶接装置と定義できる。種類は千差万別であるが、数例をここでは紹介する。

図 12 に LPG ボンベ製作向けの専用自動溶接装置を示す。この装置では、ボンベの構成部品である胴と上下鏡の供給・合わせ・溶接（2 溶接トーチ同時施工）・搬出の全ての作業が自動的に施工される³⁾。

図 13 に建築鉄骨向けの溶接ロボット装置を示す¹⁾。阪神大震災のビル損傷の対策として溶接入熱とパス間温度の管理が求められており、両者の管理が容易な溶接ロボット装置の導入が活発に実施されている。この例では、角柱のルーとギャップやコーナー半径のばらつきを溶接条件で調整しつつ多層盛り溶接を 2 台の溶接ロボットで同時施工する装置である。

4. 自動化・ロボット化のための要素技術

自動化・ロボット化を進めて行くためにはハード的なアプローチだけでは限界があり、非溶接対象物に対する溶接トーチ位置の制御や、溶接条件の制御を含めたソフト的な技術も不可欠である。

そこで、溶接状況の情報を得るセンサと、採取した情報を制御に用いる制御方法について述べる。

(1) センサ

図 14 にセンサの使用目的のアンケート調査を示す²⁾。開先做い、部材の検出と障害物の検出と形状や位置の検知が大部分を占め、一部に溶接条件の制御と溶接条件のモニタ

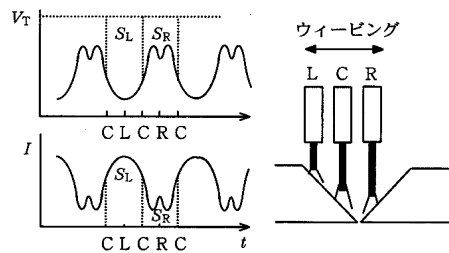


図 15 アークセンサの原理

リングが含まれている。また合わせてセンサの種類アンケート結果を示す。プローブや電極接触によるタッチセンサがもっとも多く、次にアークセンサ、光センサが続いている。

タッチセンシングについてはすでに述べたので、アークセンサの原理を図 15 に示す¹²⁾。ウィーピングに伴う溶接ワイヤの突き出し長に相関する溶接電流の変化から開先中心を検出する方法である。ウィーピングの位置信号と溶接電流値を読み取るだけで新たなセンサを必要としない簡便な方法のため、ウィーピングにより突き出し長が大きく変化するすみ肉 1 パス溶接時に多く用いられている。

一方、より多くの情報を得る方法としては、図 16 に示す光センサがある¹²⁾。スポット光源の輝度や距離を認識する点の検知から、レーザスリットの形状を認識するエリアセンサや溶接周辺の画像をそのまま取り扱うエリアセンサまで幅広い種類がある。

図 17 にレーザラインを用いた開先位置と形状のセンシングシステムの例を示す¹³⁾。溶接前の開先形状の判定、溶接中にリアルタイムで開先の形状と位置を認識して、溶接

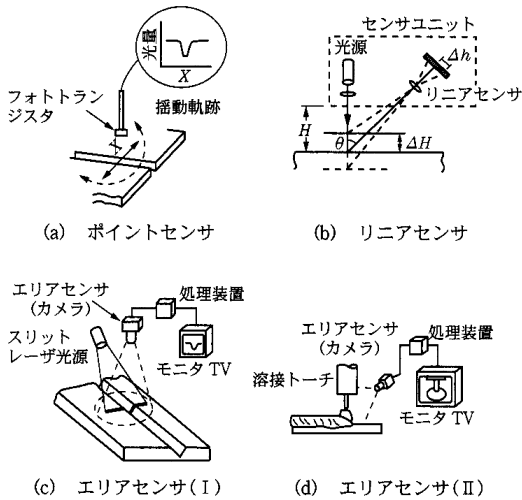


図 16 光センサの原理

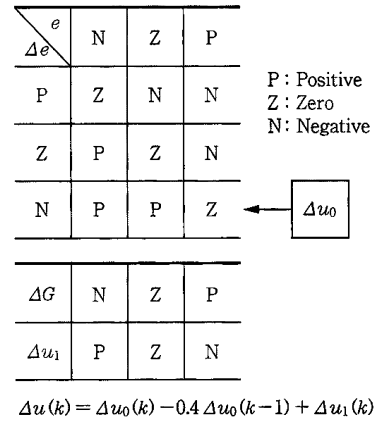


図 18 ファジィ制御の原理

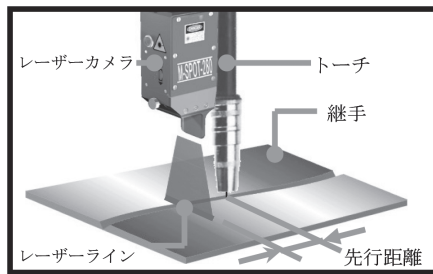


図 17 開先検出センサの例

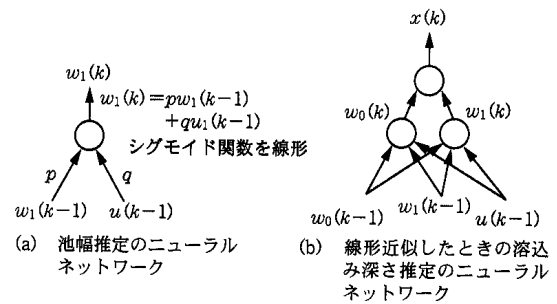


図 19 ニューラルネットワーク制御の原理

条件制御や開先微制御に用いられている。

また、レーザーラインを用いずにカメラで取り込んだ画像を処理することで、開先形状や位置の自動認識エリアセンサも汎用センサとして市販されている。

(2) 制御

センサで検知した情報を元に溶接条件制御を実施することになる。制御方式には検出した外乱を元に制御量を調整するフィードフォワード系と、制御量を検出して目標値になるように制御量を調整するフィードバック制御系がある。インプロセスで適用制御するためには、後者が必要となる。

単純な溶接線の微制御であれば、制御理論に基づいてフィードバック制御が可能であるが、溶け込み深さや溶融池幅を制御しようとした場合、溶接電流、溶接速度、溶接電圧等操作対象が多数表われ、定量的なロジックを作成するのが困難である。それを解決するため、図 18 に示すようなファジィ理論や図 19 に示すようなニューラルネットワークモデルを用いる^{14, 15)}。

(3) コンピュータシミュレーション

溶接ロボットを多品種小ロット生産に適用する場合には、小品種量産品へ適用する際には大きく問題とならなかったティーチング作業時間が阻害要因となってくる。その打ち手として、オフラインティーチングシステムが有効となってくる。パソコン能力の向上に伴い、3D-CAD データもパソコンで取り扱いが可能となっており、パソコン上で溶接ロボットへの教示データを作成することができる。現在、設計が 2D-CAD から 3D-CAD へ移行しつつあり、ま

すますオフラインティーチングを有効活用する環境が整えられつつある。溶接ワークが複雑な形状の場合、実際のティーチング作業では溶接ワークと溶接ロボットの干渉をいかに回避しつつ、最適な溶接トーチ角度を確保するかが苦心するところである。このセンスを必要とする作業も、オフラインティーチングシステム中に干渉回避プログラムを組み込むことで、自動的に干渉を回避した教示できつつある。

参考文献

- 1) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1115.
- 2) 溶接学会溶接研究委員会編: 溶接法ガイドブック 6, I-91-I-107.
- 3) マツモト機械 HP.
- 4) 中村ら: 溶接学会溶接研究委員会編: 溶接法ガイドブック 6, II-30-II-33.
- 5) 日鐵住金溶接工業株式会社 HP.
- 6) Arc Machines, Inc. HP.
- 7) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1111.
- 8) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1112.
- 9) 廣田: 溶接学会溶接研究委員会編: 溶接法ガイドブック 6, I-11-I-18.
- 10) パナソニック溶接システム HP.
- 11) 松村: 溶接学会溶接研究委員会編: 溶接法ガイドブック 6, II-16-II-20.
- 12) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1120.
- 13) 鳥井ら: 溶接学会溶接研究委員会編: 溶接法ガイドブック 6, II-283-II-287.
- 14) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1125.
- 15) 溶接・接合便覧第 2 版, 丸善, 1124.