

ロボット用アーク溶接センサ

Arc Current Controlled Sensors for Robots

従来、溶接用ロボットに使用されてきた接触式、非接触式センサは、いずれも溶接アークの発生する熱、光あるいはスパッタなどの影響を受けやすく、溶接アークの近傍で長時間使用することは困難なため、センサをアークから離して配置する必要がある。このため、ならい精度に限界を生じ、またワークとの干渉やコスト高など、実用上の問題があった。こうしたことから、溶接アーク自身をセンサとして用いる溶接線ならい法に注目し、このたびロボットの全姿勢溶接に使用できるアーク溶接センサを開発した。このセンサは、溶接電流100Aから450Aまでの広い範囲で使用でき、対象ワークも板厚2.3mm以上のCO₂溶接、MAG溶接、MIG溶接に適用できる。

辻 征郎* Masao Tsuji
 荒谷 雄** Takeshi Araya
 猿楽信一*** Shin'ichi Sarugaku

1 緒 言

ロボット普及元年といわれた1980年以来、産業用ロボットは悪環境下での作業からの人間の解放、自動化による生産ラインの効率向上、品質の均一化による信頼性向上などを意図した生産自動化機器の旗手として急激に普及している。特に、アーク溶接作業でロボットは精度の良いワークを正しくセッティングできる場合には生産性と品質の向上を実現し、悪環境作業からの人間の解放に貢献している。

本来ロボットの動作原理は、ティーチングした軌跡を繰り返すことを基本動作としているため、ワーク及びセッティングの精度が良いということがロボットによる作業の前提条件である。ところが、一般に溶接ロボットの対象ワークは多品種少量生産品が多くワークの精度があまり良くない。また溶接による入り熱で、ワークが変形し溶接線が変化する。このため溶接線に沿って正しく溶接を行なうためには、あらかじめティーチングされている溶接線を検出し、ロボットの軌跡を修正する機能が必要となる。このニーズに対応するものとして、磁気センサを使用してワークとの距離を検出する方法が利用されているが、この方法は耐熱性に限界があり、またトーチ先端部の小形化に支障がある。一方、光学式視覚センサの実用化も進められているが、アーク光やスパッタなどの影響により十分ニーズに対応した技術までには至っていない。こうしたことから、アーク現象を利用した溶接線ならい法に注目しACC(Arc Current Controlled)センサを開発した。この方法はアーク現象そのものをセンサとして利用するので検出器が不要であり、また熱、スパッタ、アーク光などの影響を受けないという特長をもつ。

2 ACCセンサの原理

溶接アーク現象はシールドガスの種類、ワイヤの材質、溶接機特性、溶接条件により様々な様相を呈する。ところで図1に示すように、CO₂溶接、MAG溶接、MIG溶接などの消耗電極式ガスシールドアーク溶接法では電極チップとワークの距離、すなわちトーチ高さが変化すると溶接電流がその変化量に応じて変わる。この溶接アーク現象を利用するため、ウィービングと称するトーチ先端の揺動を行なって、それと同期して溶接電流を検出し、溶接電流の変動に応じて溶接線

を判断する方法がACCセンサである。図2(a)の左に示すようなV開先形状のワークに対し、トーチをC点を中心にウィービングさせて溶接するとそのときの溶接電流は、同図の右図のようになる。この場合、基準トーチ高さでの基準電流値I₀を算出しておけば左右端での検出電流値I_a、I_bと基準電流値は等しくなる。トーチのウィービング中心位置が右側にずれた場合は、同図(b)のように左端の検出電流値は基準電流値よりも小さくなり、右端の検出電流値は基準電流値よりも大きくなる。一方、トーチが上方にずれた場合は、左右端の検出電流値は基準電流値よりも小さくなる。以上述べたように、ウィービングの左右端での検出電流値と基準電流値との比較結果からトーチ位置の変化が検出でき、溶接線をならうことができる。

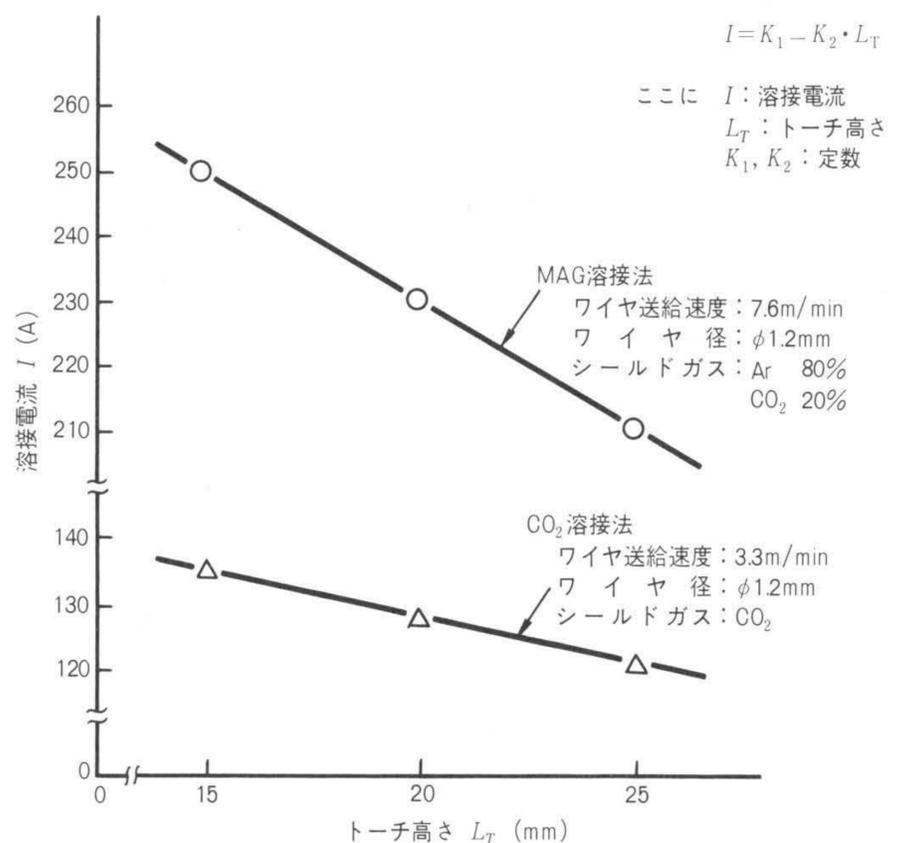


図1 トーチ高さと溶接電流の関係 トーチ高さが高くなると、ワイヤを流れる溶接電流は小さくなる。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所機械研究所 工学博士 *** 日立京葉エンジニアリング株式会社

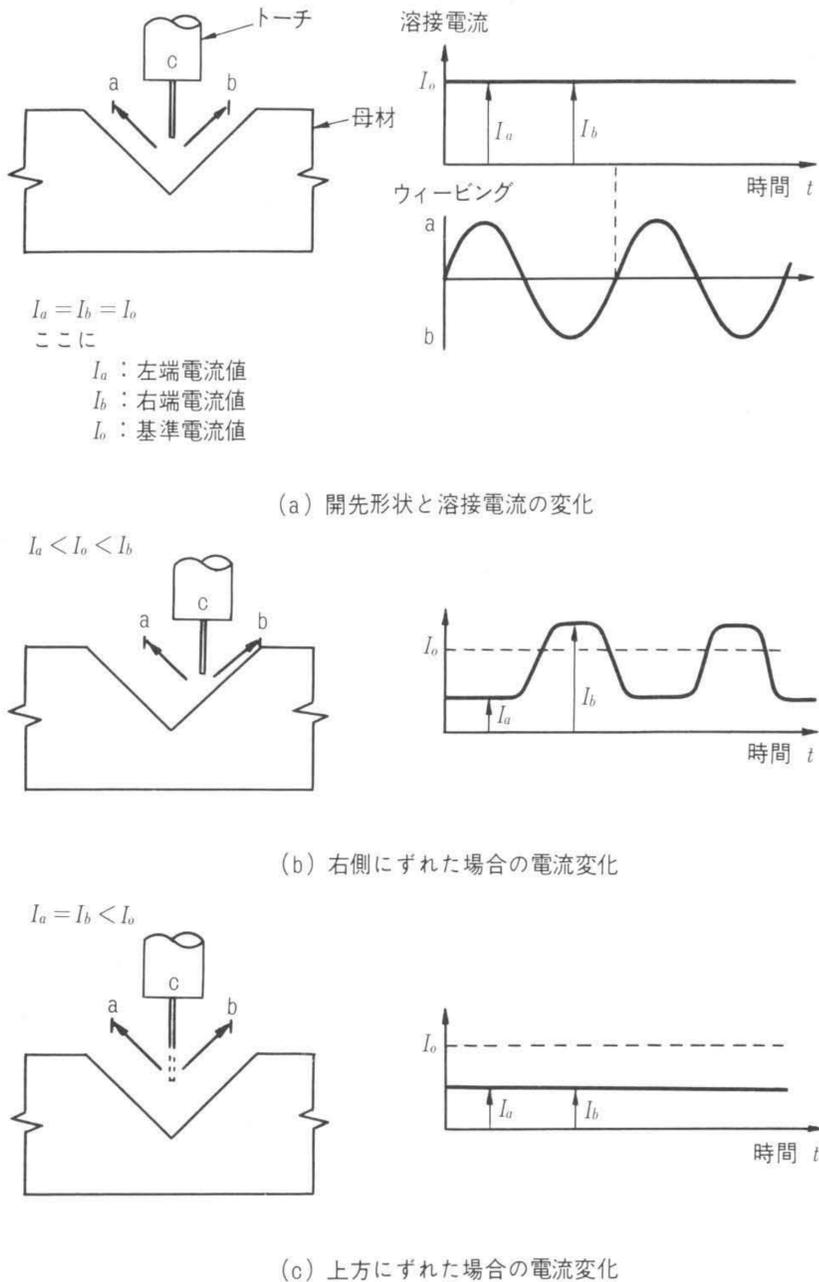


図2 ACC (Arc Current Controlled) センサの原理 トーチの中心が開先の中心よりずれると、ウィービングの左端、右端で流れる電流値は基準電流値よりもずれる。

3 制御アルゴリズム

溶接中のトーチの姿勢は時々刻々変化しており、それに伴いウィービングの方向も変わる。ACCセンサは修正方向と修正量をリアルタイムで算出する必要がある。図3に示すようにウィービングを行なっている際には、ロボット内部にウィービング発生用の2本のベクトルが計算され準備されている。この2本のウィービングベクトルは溶接経路に従って補間されてゆく。このウィービングベクトルに直交する単位ベクトル e_1, e_2 を求め、この単位ベクトルを修正方向ベクトルとして3次元の修正方向 ΔD を演算する。修正方向ベクトルを求める演算は、ウィービング周期ごとに行なうためトーチ姿勢の変化に対応できる。一方、ACCセンサは修正量を求めるため、制御回路に溶接機の実験データ及び溶接条件を記憶した溶接シミュレータをもっており、ティーチングされた溶接条件から基準電流値を算出する。ウィービングの左右端での検出電流値と基準電流値の比較により修正量を求める。図4に示すように、ウィービングによりトーチ先端がウィービング方向 W_1 の左端に達すると電流値が検出され、その検出電流値 I_L は基準電流値 I_0 と比較され、電流偏差量が算出される。この電流偏差量は、ゲイン G によって基本修正量 ΔL に変換される。 ΔL は W_1 と直交する単位修正方向ベクトル e_1 によってベクトル化され基本修正方向ベクトル ΔL が計算される。次に、トーチ先端がウィービングパターンに従って W_2 方向に移動

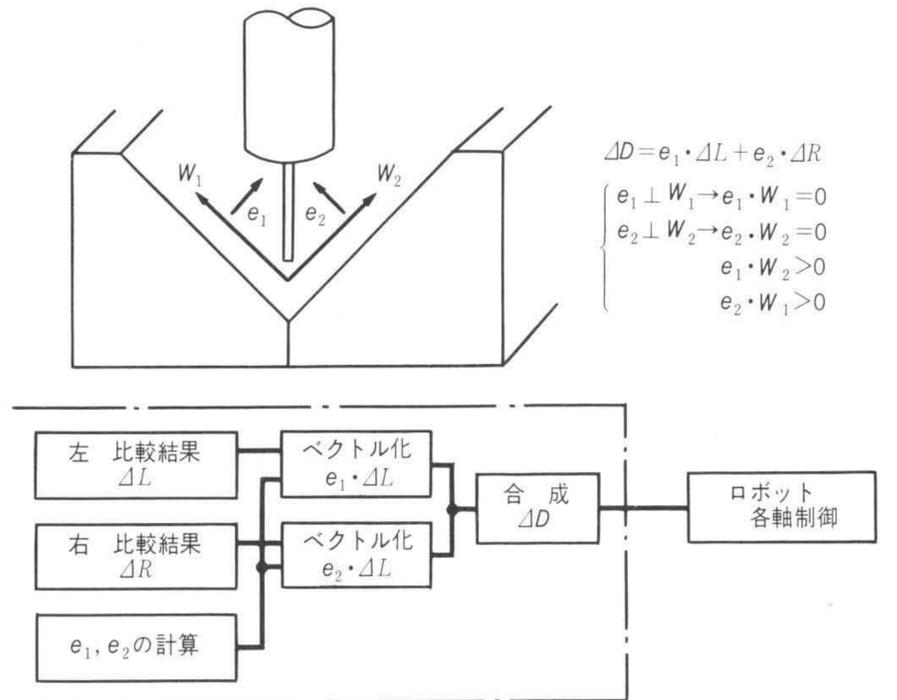
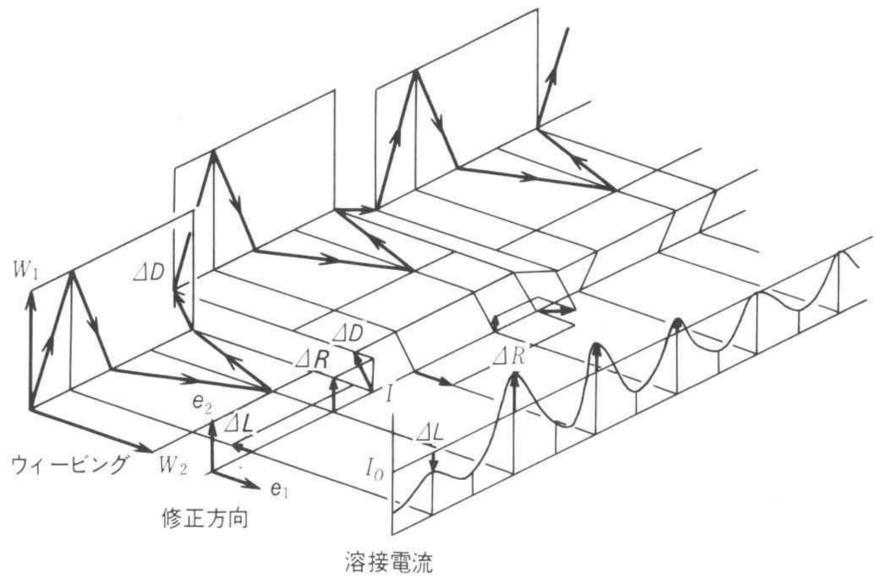


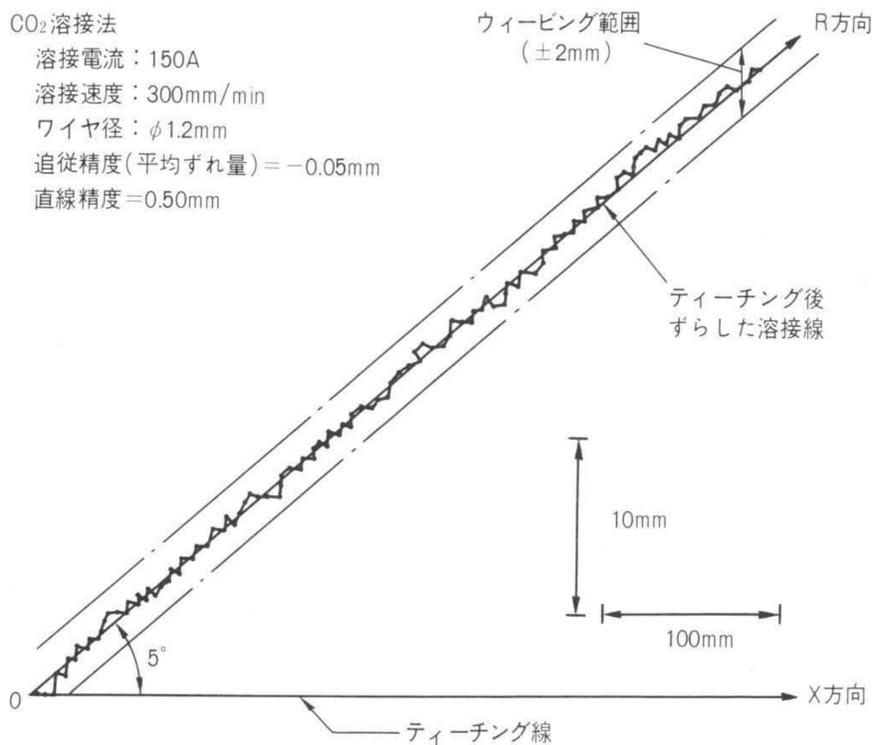
図3 ACCセンサのアルゴリズム ウィービングの左端、右端での電流値の比較結果、修正方向と修正量を算出する。



I_0 : 基準電流値
 I_L, I_R : 左右電流値
 G : ゲイン
 $\Delta L, \Delta R$: 左右基本修正量
 ΔD : 合成修正量
 $\Delta L = G \cdot (I_L - I_0)$
 $\Delta R = G \cdot (I_R - I_0)$
 $\Delta D = \Delta L \cdot e_1 + \Delta R \cdot e_2$

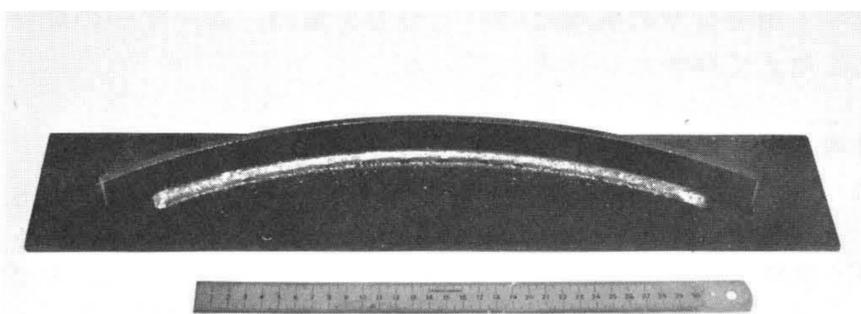
図4 修正量演算方式 ウィービングの周期ごとに修正量が求められ、溶接線追従のための経路補正が行なわれる。

し右端に達すると、左端と同様にして電流偏差量が算出され、ゲイン G によって基本修正量 ΔR に変換され、更に単位修正方向ベクトル e_2 によって基本修正方向ベクトル ΔR が計算される。トーチ先端がウィービング周期の終了点に達すると、基本修正方向ベクトル ΔL と ΔR によって合成された修正方向ベクトル ΔD が算出される。 ΔD のスカラ成分 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ によりウィービングパターンが修正される。以上の修正動作をウィービングごとに繰り返して溶接線経路の修正を行なう。ウィービングは溶接線の始点とウィービング条件を付加した2個の補助点をティーチすることにより設定され、始点がウィービング開始点となり2個の補助点により三角形のパターンが自動的に決定される。この三角形の形状は任意で、任意方向にティーチできるため、全姿勢でACC溶接を行なうことができるほか、非対称ウィービングや両端停止のウィービングによるACCが可能で、ワーク精度や開先形状に対し広い適応性をもつ。



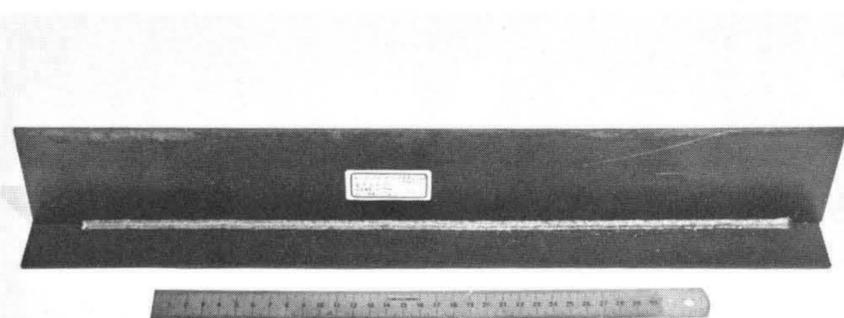
CO₂溶接法
 溶接電流：150A
 溶接速度：300mm/min
 ワイヤ径：φ1.2mm
 追従精度(平均ずれ量)=-0.05mm
 直線精度=0.50mm

図5 ACCセンサによる追従性能 追従精度(平均ずれ量)-0.05mm, 直線精度0.50mmが得られている。



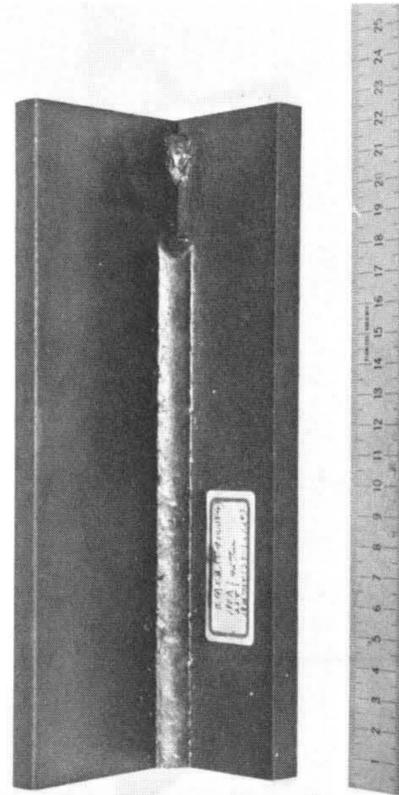
注：板厚(6.0mm)
 継手形状[水平すみ肉, 円弧(半径300mm, 円弧補間使用)]
 シールドガス[MAG(Ar+20%CO₂)]
 ワイヤ径(φ1.2mm)
 溶接電流, 電圧(240A, 24.5V)
 溶接速度(360mm/min)
 ウィービング速度(30mm/s)

図6 モデルワーク溶接例 日立プロセスロボットを使用し, トーチがワークから遠ざかる方向に2°ずらして溶接を行なったものを示す。溶接終了時点で15mm程度ティーチ点からずれている。



注：板厚(2.3mm)
 継手形状(水平すみ肉)
 シールドガス[MAG(Ar+20%CO₂)]
 ワイヤ径(φ1.2mm)
 溶接電流, 電圧(120A, 14.0V)
 溶接速度(400mm/min)
 ウィービング速度(150mm/s)

図7 モデルワーク溶接例 日立プロセスロボットを使用し, トーチがワークに近づく方向に1°ずらして溶接を行なったものである。



注：板厚(12.0mm)
 継手形状(縦向き上進, すみ肉)
 シールドガス(CO₂)
 ワイヤ径[φ1.2mm (コアードワイヤ)]
 溶接電流, 電圧(190A, 23.0V)
 溶接速度(420mm/min)
 ウィービング速度(70mm/s)
 両端停止タイム(0.3s)

図8 モデルワーク溶接例 日立ポータブルロボットを使用し, 縦向き上進の溶接姿勢でトーチがワークから遠ざかる方向に3°ずらして溶接を行なったものである。

4 モデルワークによる実証結果及び検討

図5にCO₂溶接法でのACCセンサによる追従性能の一例を示す。ならい溶接の結果, 追従精度(平均ずれ量), 直線精度とも±0.5mm以内の精度が得られている。図6~8にACCセンサを用いたモデルワークの溶接例を示す。いずれも良好な仕上がりとなっている。

5 ACCセンサの適用範囲

ACCセンサは突合せ継手以外のほとんどのアーク溶接に適用可能であるが, 溶接部の突出し部が短いと溶接時の入り熱により突出し部に溶け込みが発生する可能性がある。また, ワークの板厚が薄い場合には過大なアーク熱により溶け落ちる可能性がある。この溶け落ちビードが発生すると溶け込み方向のアーク長が長くなるため, トーチがワークに接近するように制御が働く。薄板の場合には, アークが突き抜けることもあるのでワークの板厚や継手形状に合致した適正な溶接条件の設定が肝要である。

モデルワークによる検証結果, 板厚2.3mm以上のワークに対し, 溶接電流100Aから450Aまでの広い範囲で適用が可能である。図9にACCセンサの適用対象範囲を示す。

6 ACCセンサが影響を受ける要因

従来のセンサの場合, 作業と検出との独立性の強いものが多く, センサ単独の性能が評価の対象となっていた。しかし, ACCセンサの場合には検出量そのものが溶接電流という作業目的の重要な要因であるため, ACCを用いた溶接をシステムとしてとらえ, アーク溶接現象を最適化するように各種溶接条件を設定しなければならない。ACCセンサはセンサ制御回路に内蔵した溶接シミュレータによって算出される基準電流値とウィービング両端での検出電流値から修正量を求めるものであるから, 基準電流及び検出電流を決定する要因に影響を受ける。ACCセンサによって制御される溶接システムの

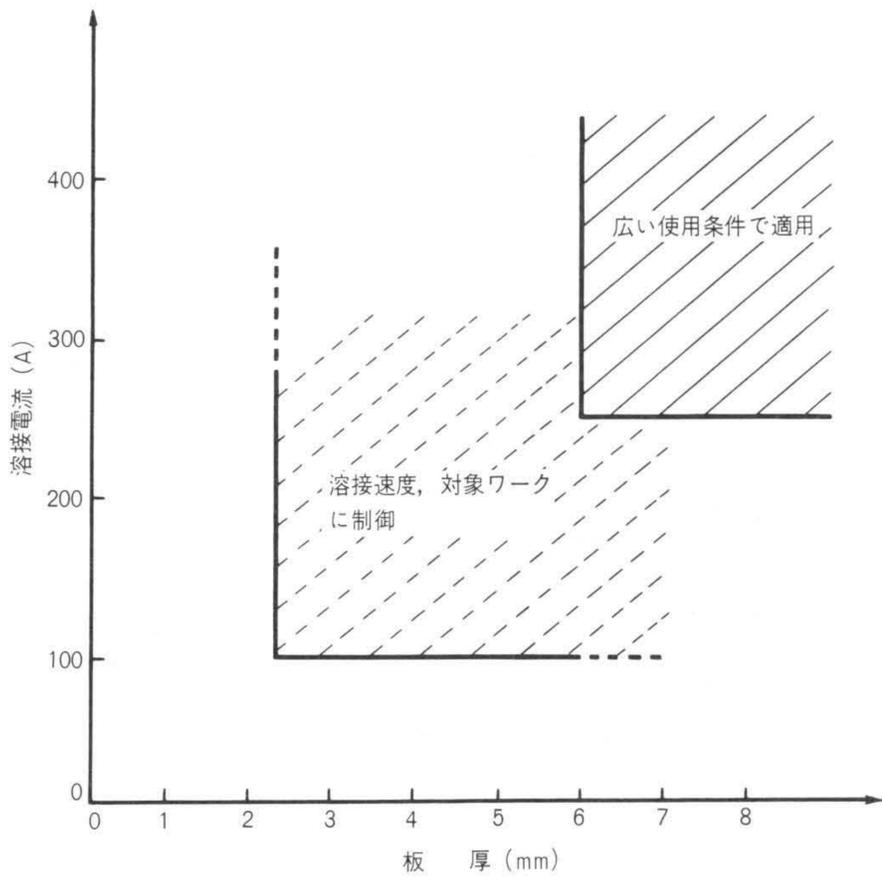


図9 ACCの適用対象 ワークの板厚が薄くなると、溶接条件出しに注意を要する。

基本構造を図10に示す。ロボット制御盤から溶接機に対して、ティーチングボックスを介して設定された溶接電流値とアーク電圧値が出力される。溶接機インタフェースではこの設定電流値 I_R と設定電圧値 E_R を変換し、ワイヤ送給装置に対する指令値 I_I と溶接電源に対する指令値 E_I を出力する。ワイヤ送給装置では I_I に対応したトルクでワイヤ送給電動機を駆動しワイヤを送り出す。一方、溶接電源では E_I に対応した溶接電圧を出力する。ワイヤ送給量と溶接電圧のほか、エクステン

ション L 、ワイヤ径 ϕ 、ワイヤ種類 K 、シールドガス g によりアークの状態が決まり実電流が流れる。モデル溶接シミュレータはエクステンション、ワイヤ径、ワイヤ種類、シールドガスが決定された条件下で設定溶接電流値 I_R と設定溶接電圧値 E_R から基準電流値 I_0 を算出するものでインタフェース特性 F_I 、 F_E ワイヤ送給装置特性 G_V 及び溶接機特性 G_E が教示されておかなければならない。したがって、ACCセンサは使用する溶接機、ワイヤ送給装置及び溶接機インタフェース特性はあらかじめ分かっている必要があり、その特性のばらつきや経時変化はACCセンサの性能に影響を及ぼす。

7 結 言

アーク溶接用ロボットに求められる機能はロボット自身が感覚機能を持ち、ばらつきのあるワークや熱ひずみの発生するワークに対応できることである。このニーズにこたえるものとしてACCセンサを開発し、日立プロセスロボット、日立ポータブルロボット、日立大形溶接ロボット「ミスターアロス」に搭載して実用に供し、大きな効果を挙げている。しかし、ACCセンサはセンシングにウィービング動作を必要とするため、対象ワーク形状に制限がある。知能ロボットを実現するためには、センサ技術の充実が必要である。更に高度なロボット用センサの実現に向けて努力を重ね、ユーザーの期待にこたえてゆきたいと考えている。

参考文献

- 1) W. F. Iceland : Seam Follower with Arc Scanning U. S. Patent No. 3264081 Aug. 31, 1965
- 2) 横島：アーク溶接ロボットのセンシング，自動化技術，Vol. 14, No. 16(昭57-6)
- 3) 野村 外：アークをセンサとした自動ならい方法，第62回溶接アーク物理委員会資料(昭56-2)
- 4) 益本 外：我が国におけるアーク溶接センサおよびセンサシステムの現状，溶接学会誌，Vol. 52, No.4(昭58-4)

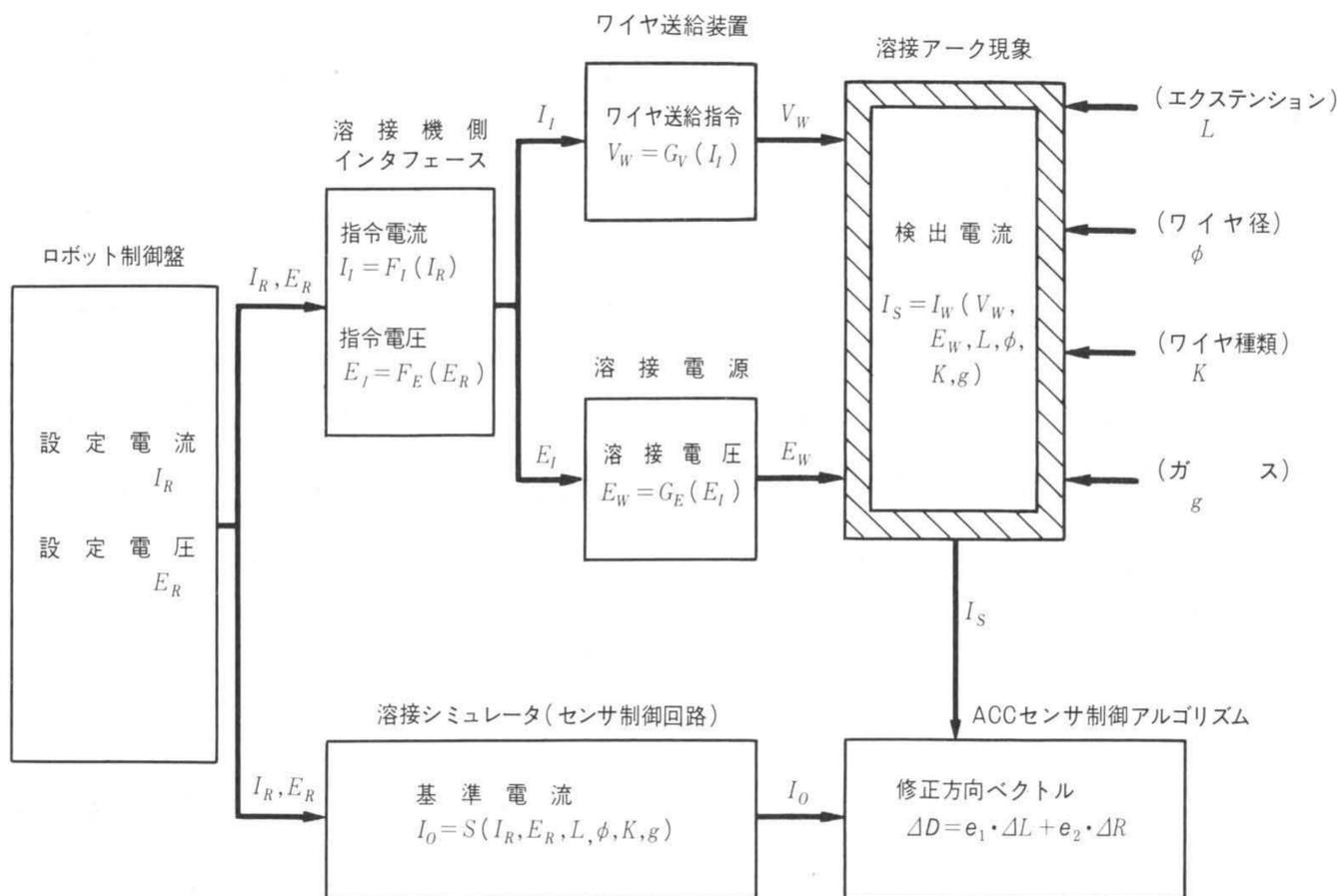


図10 ACCセンサシステムの基本構造 ACCセンサは溶接機インタフェース、溶接機及びワイヤ送給装置の特性があらかじめ把握されていなければならない。