

溶接条件自動設定システム

Automatically Setting System of Weld Parameters for Arc Welding Robots

産業用ロボットの普及につれ、ロボットの高機能化および使い勝手の向上に対する要求が増大してきている。特に溶接ロボットに対しては、ティーチング作業の簡略化が強く求められている。

位置および条件のティーチングのうち、条件のティーチングでは、要求される溶接品質を満足するための溶接条件値の決定は熟練者のノウハウに大きく依存しており、ティーチング作業を難しいものになっている。そこで、条件のティーチングを簡略化するために、AI(Artificial Intelligence)技術を応用して熟練者が決定したものと同様な溶接条件値を自動的に決定し、ロボットコントローラへ自動設定する溶接条件自動設定システムを開発し、その有効性を確認した。

坂入 浩* *Hiroshi Sakairi*
杉山 謙吾** *Kengo Sugiyama*
宇田川次男*** *Tsugio Udagawa*
猿楽 信一**** *Shin'ichi Sarugaku*

1 緒 言

「ロボット元年」と言われた1980年以来、産業用ロボットの普及は急速に進んできた。その普及につれ、ユーザーからのロボットに対する要求も多種多様化してきている¹⁾。特にアーク溶接ロボットに対しては、センサを用いたアークのねらい位置補正やトーチ心出し機能、ウィービングパターンの複数化など、機能の拡大に関する要求と、ティーチング作業の簡略化や簡単な操作方法など、使い勝手の向上に関する要求が強い。これらの要求のうち、使い勝手の向上に関する要求にこたえるため、アーク溶接ロボットをだれにでも簡単に扱えるようにする一手段として、溶接条件値を自動的に決定し、それをロボットコントローラに自動的に設定する方法を検討してきた。

簡略化の要求の強いティーチング作業とは、ロボットコントローラ内にロボットの動作経路を記憶させる作業と、ロボットの動作条件を記憶させる作業のことで、前者を位置のティーチング、後者を条件のティーチングと呼ぶことにする。

溶接作業の場合、条件のティーチング時に、溶接電流、溶接電圧、溶接速度などの溶接条件の値も合わせて記憶させる。この条件のティーチング作業は、一般にティーチングボックス(T.BOX)上の多数の押しボタンを操作することで行うため、ティーチングに要する時間が、ティーチングポイントが多くなると膨大なものになる。また、これらの溶接条件の設定値は、ワークの形状や板厚などによってその最適値は微妙に異なり、溶接熟練者の判断に大きく依存している。一方、これらの溶接条件値を的確に決定できる溶接熟練者は年々減少の

傾向にあり、またロボット操作者が必ずしも溶接作業に携わっていない場合が増加してきており、ロボットによる溶接作業で、条件のティーチング作業の自動設定の必要性が増大してきている。

そこで、だれにでも簡単に品質の高い溶接をロボットに行わせることができるようにするために、AI(Artificial Intelligence:人工知能)技術を応用して溶接熟練者のノウハウを知識ベースとして構成することで、要求される溶接品質を満足する溶接条件値を自動決定し、その条件値をロボットコントローラに自動設定する溶接条件自動設定システムを開発した²⁾。

本稿では、この溶接条件自動設定システムの設計思想と構成について述べるとともに、本システムによる溶接条件決定例を紹介する。

2 溶接作業の分析

溶接条件自動設定システムを開発するに当たり、まず溶接作業の分析を行った。

アーク溶接作業をロボットを用いて行う際、溶接熟練者は、基本的には図1に示すようなフローに従って溶接条件を決定していると考えられる。すなわち、与えられた脚長、余盛、溶込みなどの要求品質を満足するために、まずワークの板厚、開先形状、加工精度などのワーク条件から、自分の持っている溶接理論、施工法などの溶接知識と過去の経験的知識によって、溶接線の溶接順序および各溶接線の溶接条件値を決定

* 日立製作所機械研究所 ** 日立製作所習志野工場 *** 日立建機株式会社土浦工場 **** 日立京葉エンジニアリング株式会社

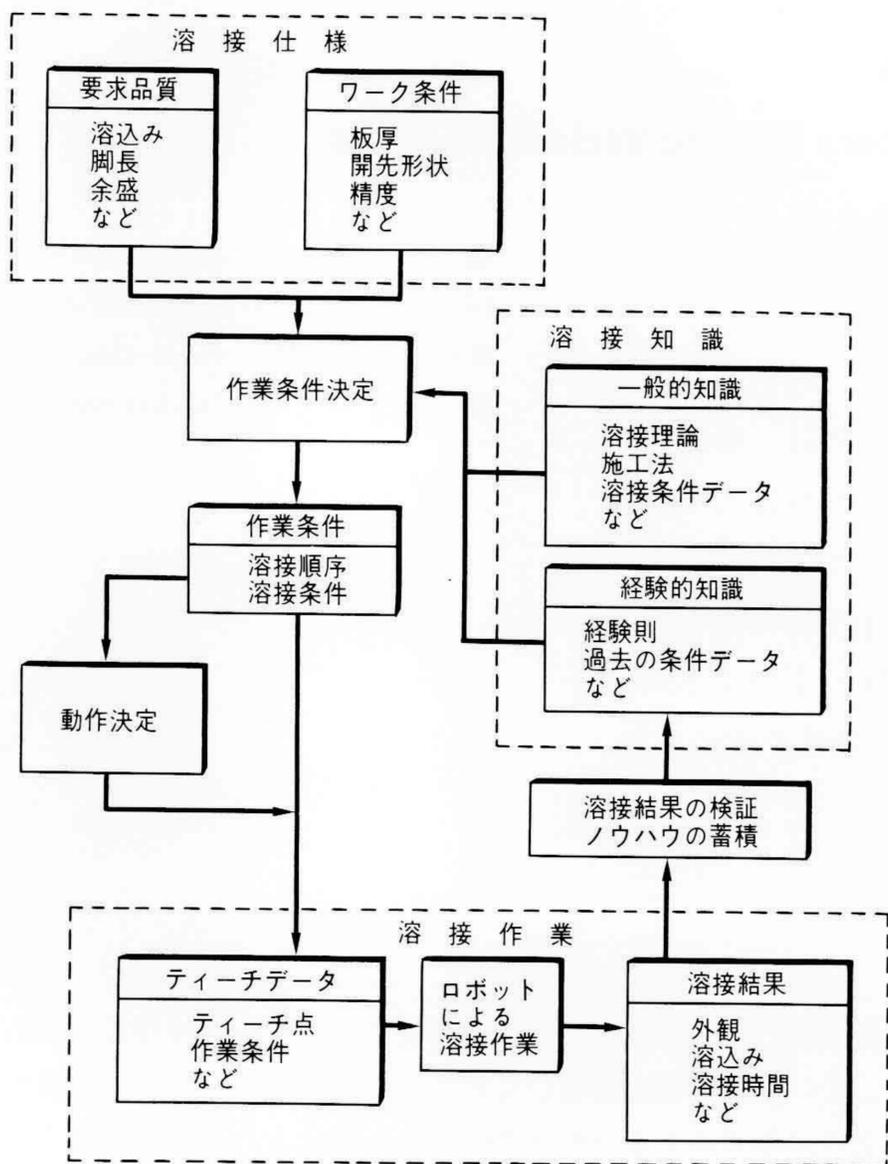


図1 溶接作業のフロー 溶接熟練者は、溶接知識から溶接仕様を満たす溶接条件を決定し、溶接作業を行う。

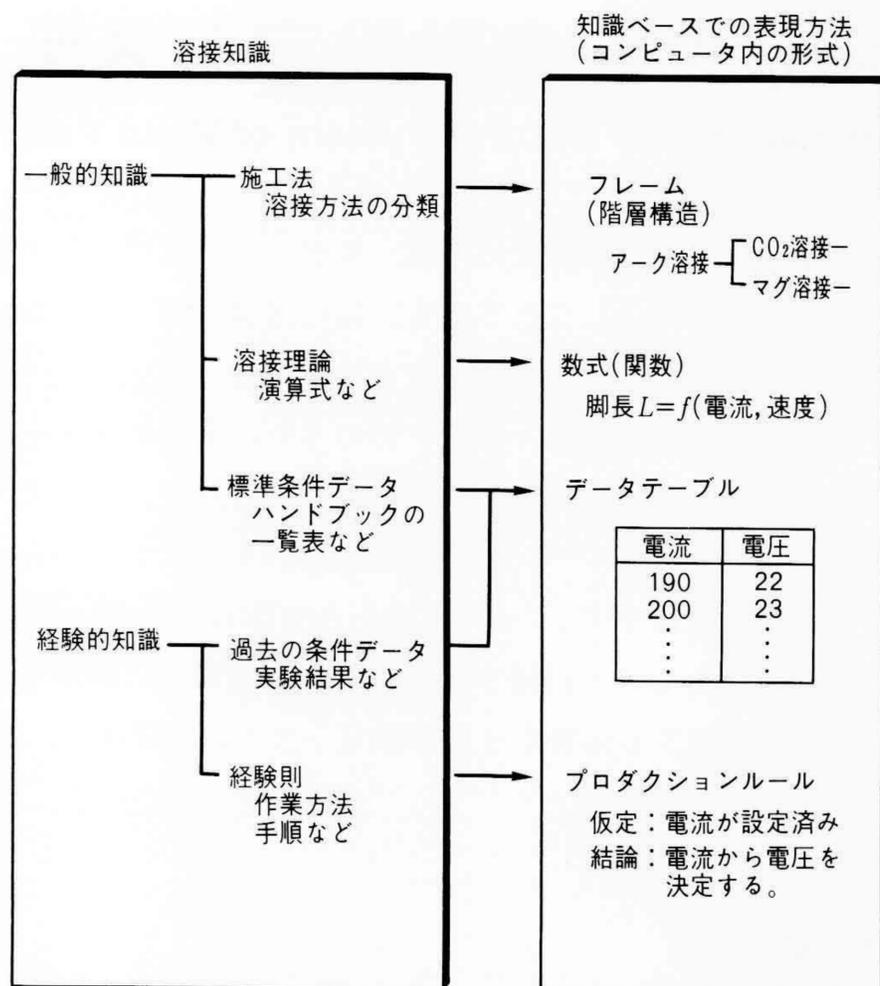


図2 溶接知識の表現方法 溶接知識を、フレーム、数式、テーブルおよびルールの各形式で表現している。

3 溶接知識の表現方法

溶接知識のなかには、溶接ハンドブックに記載されているデータなどのように数値化が可能な知識と、施工法などのように数値化できない知識がある。溶接条件自動設定システムを構築するに際し、これらの知識をどのように計算機内で表現するかが問題となる。従来方法としては、数値化できる知識はデータとして表現し、数値化できない知識はプログラムとして表現していた。しかしこの方法では、プログラムとして表現された知識に変更、追加が生じるごとに、プログラムのコンパイル、リンクなどを行う手間がかかり、ユーザーがこの作業を行うことは不可能であった。

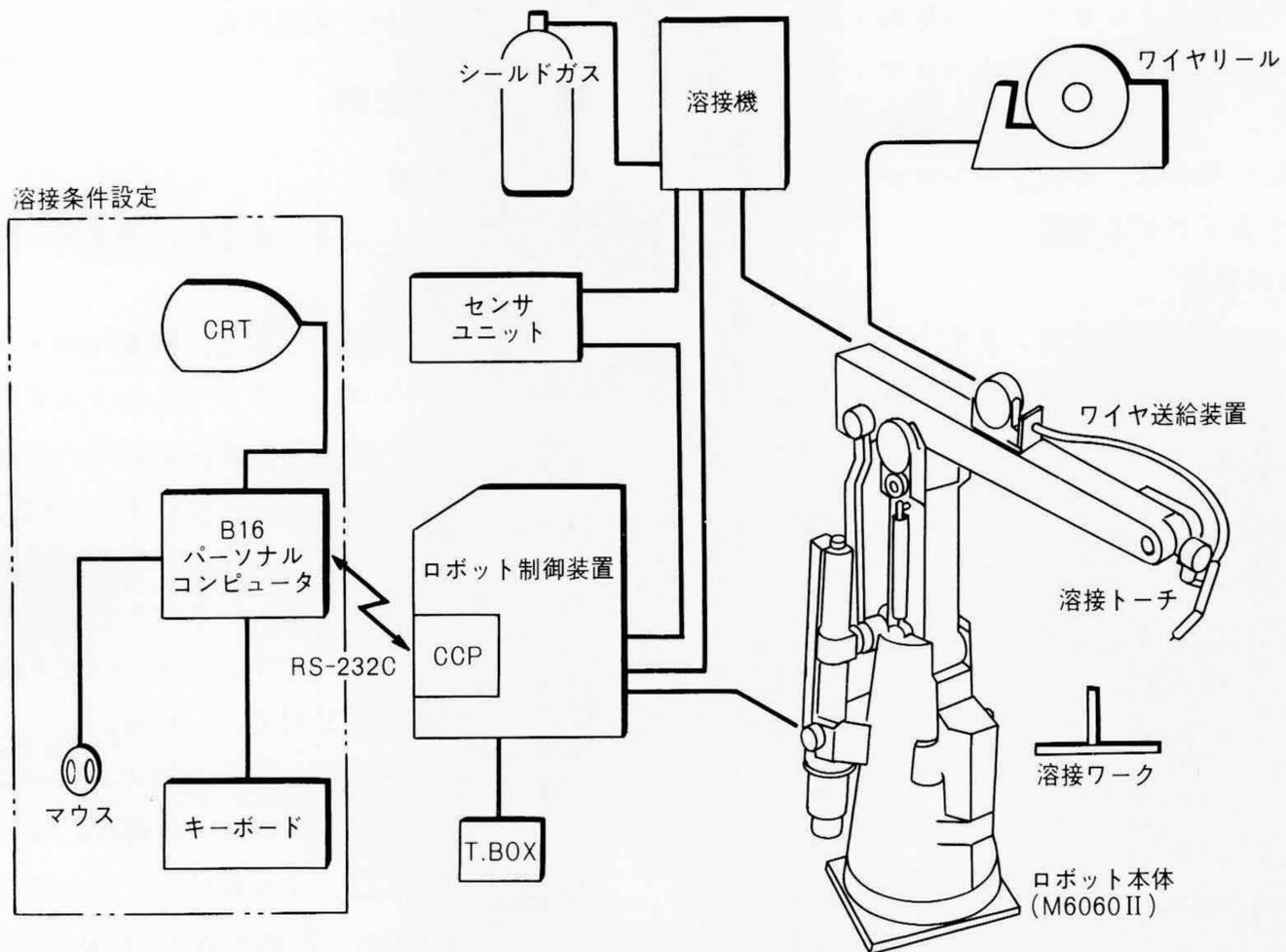
そこで本システムでは、AI技術を応用して、溶接知識を図2に示すようにすべてデータとして表現することにした。すなわち、施工法などの分類に関する知識はフレーム形のデータとして表現し、溶接理論などの演算式はそのまま関数形のデータとして表現する。溶接ハンドブックなどに記載されているデータおよび過去の溶接での条件データなどは、テーブル形式のデータとして表現し、経験的な作業方法や作業手順などに関する知識は、プロダクションルールとして表現している。

これにより、これらのどの知識が変更、追加になったとしても、ユーザーが容易に知識の変更、追加を行うことができ、かつきめ細かい溶接条件値を決定できるシステムとすることが可能となる。

する。次いで、タクトタイムを短縮でき、かつロボットと周辺機器が干渉しないように各溶接線間の動作を考えて全体の動作を決定する。そして、これらの溶接位置および条件をロボットにティーチングし、溶接を実行した後、その溶接結果の外観、溶込みなどを確認して溶接条件値をチェックする。溶接結果が要求品質を満足していない場合は、各溶接条件の値を調整して満足できる溶接結果が得られるまで、溶接の実行を繰り返し行う。この調整によって得られた溶接条件値は、新たな経験則として溶接熟練者のノウハウに加えられ、次の溶接作業の作業条件の決定に反映される。

ここでティーチング作業は、ロボット導入によって新たに増えた作業であり、ユーザーから見れば不要としたい作業である。また、溶接条件の値を決定する作業は、熟練者の熟練度に依存しており、熟練度が高いほど調整作業の回数は少ない。これもユーザーにとっては、一度の決定で十分な溶接品質の溶接ができることが望ましい。

そこで本溶接条件自動設定システムは、上記作業のうち、熟練度の高い熟練者と同様に溶接条件の値を決定する作業の自動化と、この決定された条件のティーチング作業を自動化するためのシステムとして位置づけ、開発を行った。



注：略語説明 CCP (コンピュータリンク機能), T.BOX (ティーチングボックス)

図3 溶接条件自動設定システムの機器構成 本システムは、日立産業用ロボットM6060 IIと、日立精工株式会社のインバータ溶接機350CX IIおよびパーソナルコンピュータB16によって構成している。

4 システムの概要

4.1 機器構成

今回開発した溶接条件自動設定システムが対象にしているロボットシステムは、図3に示すように、日立産業用ロボットM6060 IIと日立精工株式会社の溶接機350CX IIとを組み合わせたアーク溶接ロボットシステムである。このロボットシステムに、本溶接条件自動設定システムを載せたパーソナルコンピュータB16を、ロボットコントローラのCCP(コンピュータリンク機能)を介してRS-232C回線で接続した構成となっている。

4.2 ソフトウェア構成

本溶接条件自動設定システムのソフトウェア構成は、図4に示すように一般的なエキスパートシステムとして構成されており、知識ベースには、溶接知識がテーブル、フレーム、ルールの各形式で記憶されている。処理スピードおよびメモリ容量の制限から、推論エンジン部は前向き推論だけをサポートしてコンパクトなものとした。マンマシンインタフェース処理部は、ユーザーとの接点であるため操作性の向上を十分考慮して数値入力以外の入力操作は、グラフィック表示されたメニューをマウスにより選択することで行えるようにしている。また通信処理部は、ロボットコントローラのCCP機能を介して、ロボットのサーボON/OFF、推論により決定さ

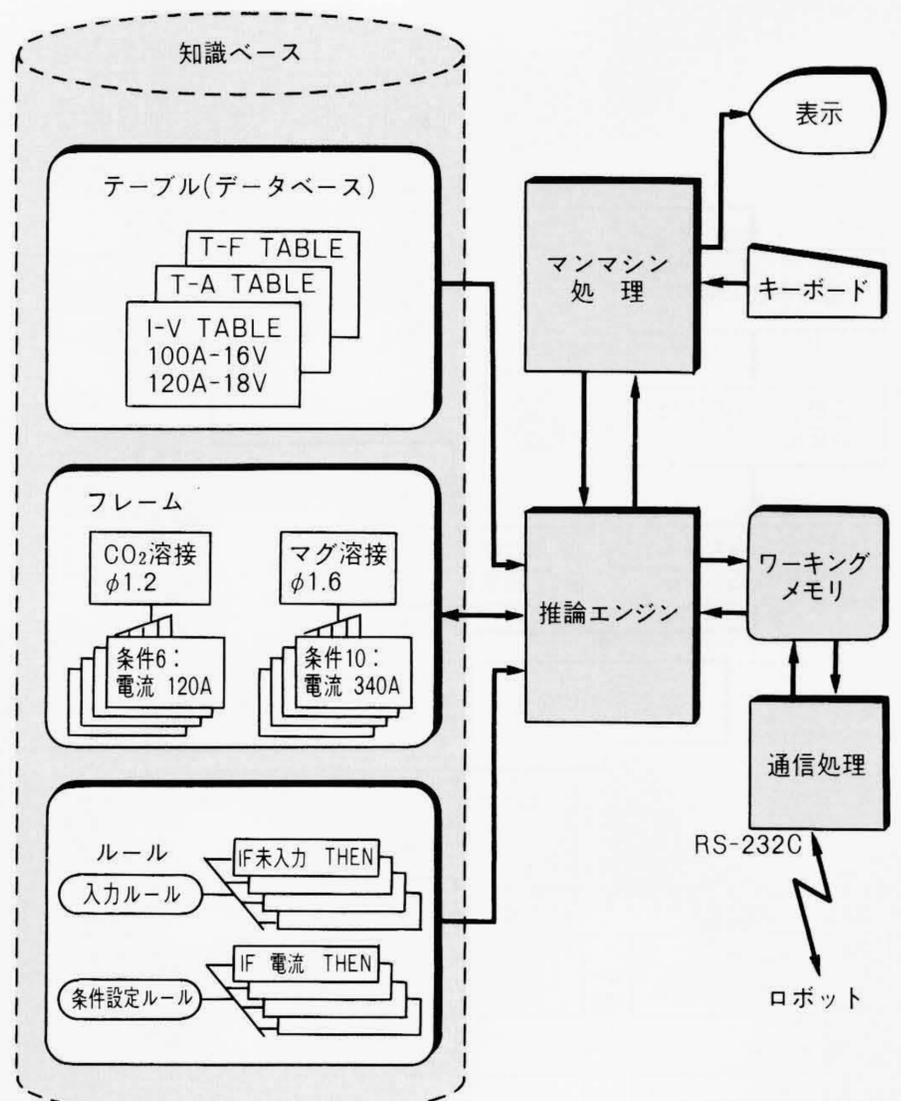


図4 溶接条件自動設定システムのソフトウェア構成 本システムは、溶接条件を決定するための知識ベースを持つエキスパートシステムとして構成している。

れた条件データの転送およびロボットの起動・停止を自動的に
 に行う機能を持つ。また、溶接実行中はロボット側の動作ス
 テータスを監視し、アーク切れ、トーチ接触などのエラー
 ステータスを検出した場合は、それをマンマシン処理部へ通知
 してエラー内容を表示させる機能を持つ。

4.3 知識ベースの構成

今回開発した溶接条件自動設定システムの知識ベースは、
 板厚1.6~6.0 mmのすみ肉継手、重ね継手および突き合わせ
 継手の軟鋼ワークを対象に構築した。また、シールドガスに
 は100%CO₂を使用し、ワイヤにはφ1.2ソリッドワイヤを用い
 ることを前提としている。

テーブル形の知識としては板厚に対する標準溶接電流の関
 係や、使用溶接電流に対する安定なアークを発生できる電圧
 の標準値などを各継手形状ごとに定義している。

フレーム形の知識には、使用するシールドガスやワイヤ径
 ごとに各継手形状が関連づけられ、またその各継手形状ご
 とに、どのテーブル形の知識を用いるかを定義している。また、
 各継手形状ごとに、安定なアークを発生できる各条件の最大
 値および最小値を定義している。

ルール形の知識には、主に溶接熟練者の条件値を決定する
 際の決定手順に関する知識をIF-THEN形式の表現で定義し
 ており、そのルールに基づき、例えば図5に示す手順のよう

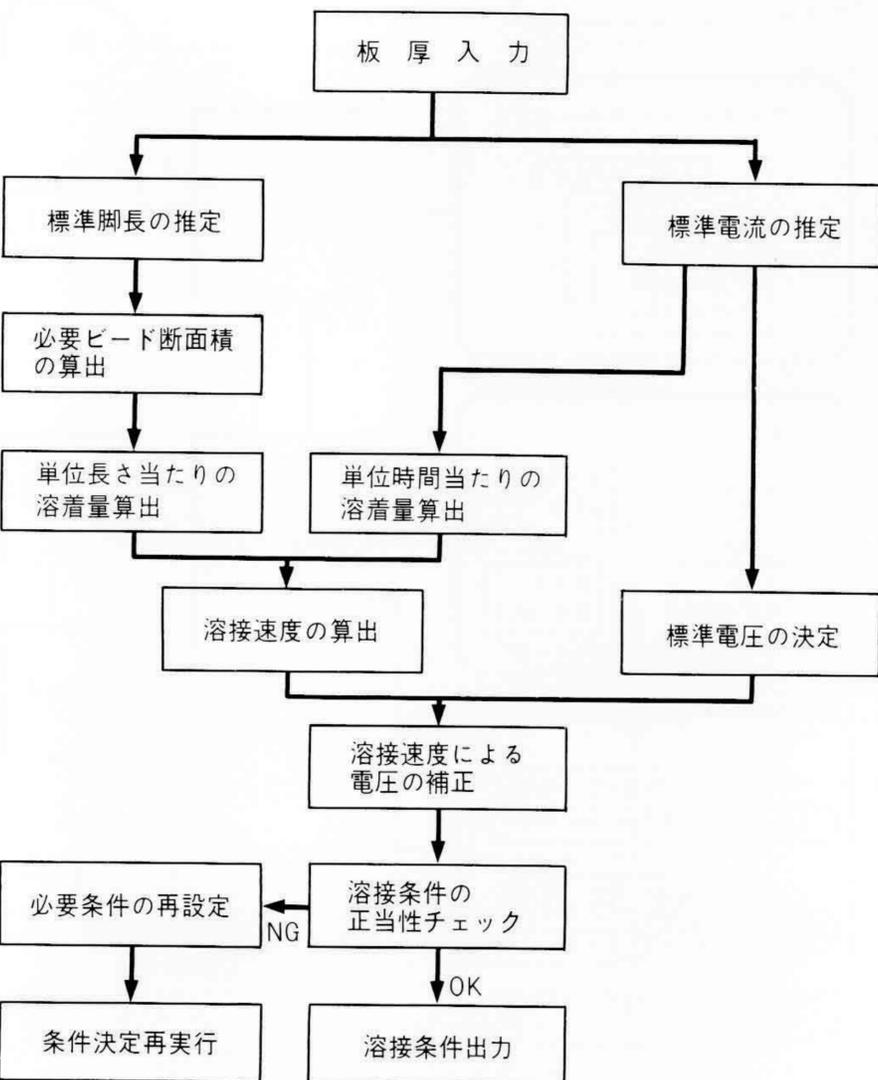


図5 溶接条件決定の流れ(例) ルールに基づき、例えば、このよ
 うなフローで各条件値が決定される。

に溶接条件値が決定される。

5 条件決定例

5.1 動作例

本システムによる溶接条件の決定例を図6によって説明す
 る。

本システムを起動すると、図6(a)のメニューが現れる。ま
 ず、知識ベースロードをマウスによって選択すると同図(b)の
 メニューになって、条件値決定のための知識ベースをロード
 する。現在、知識ベースとしては、100%CO₂シールドガスお
 よびφ1.2ソリッドワイヤを用いて軟鋼を溶接する場合の知識
 を用意しているが、シールドガスをAr混合ガスを用いるなど
 の場合は、それに対応する知識ベースを用意してロードする
 ことによって容易に対応がとれる。

次に終了を選択し、図6(a)のメニューに戻り、推論実行を
 選択すると同図(c)のメニューが現れ、ワークの継手形状の入
 力を促す。例えば、すみ肉テストピースを選択すると同図(d)
 のワーク条件の入力画面が表示される。ここで板厚を入力し、
 設定終了を選択すると、入力された板厚に対して最適な溶接
 電流、溶接電圧および溶接速度が自動的に決定され、同図(e)
 のように表示される。ユーザーのつごうで、決定された条件値
 を変更したい場合、例えば、タクトタイムなどの制限から溶
 接速度をもっと上げたい場合は、同図(d)の入力画面で、板厚
 と溶接速度を合わせて設定しておけば、その入力速度で安定
 なアークを発生し、必要な溶着量を満足するための溶接電流、
 溶接電圧を決定することができる。同図(f)に、板厚と合わ
 せて溶接速度を100 cm/minと入力した場合の推論結果を示す。

このように、板厚以外のユーザー入力があった場合は、ユ
 ーザーの入力を最優先して残りの条件を決定する。もし、ユ
 ーザーの誤入力などにより残りの条件値が溶接品質を満足で
 きない値となった場合は、画面に警告メッセージを表示し、
 ユーザーに対して再入力を促す。これらの機能は、プロダク
 ションルールとして記述しているのでユーザーの使いやす
 いようにカスタマイズすることが可能である。

決定された条件値でよい場合は、ロボット起動を選択する
 と、この決定された条件値がロボットコントローラに転送さ
 れ、あらかじめティーチングされている位置情報と組み合わ
 されて溶接が実行される。このとき、図6(g)に示すように、
 現在溶接が実行されているワークの継手形状およびその溶接
 条件値をグラフィック表示して、ユーザーの確認を容易にし
 ている。

5.2 溶接結果

本システムにより決定された条件値で溶接を行った結果を
 図7に示す。同図の上側は板厚だけを入力して決定された条
 件値で行った溶接結果を、下側は板厚と速度を入力して決定
 された条件値で行った溶接結果を示すものである。この結果

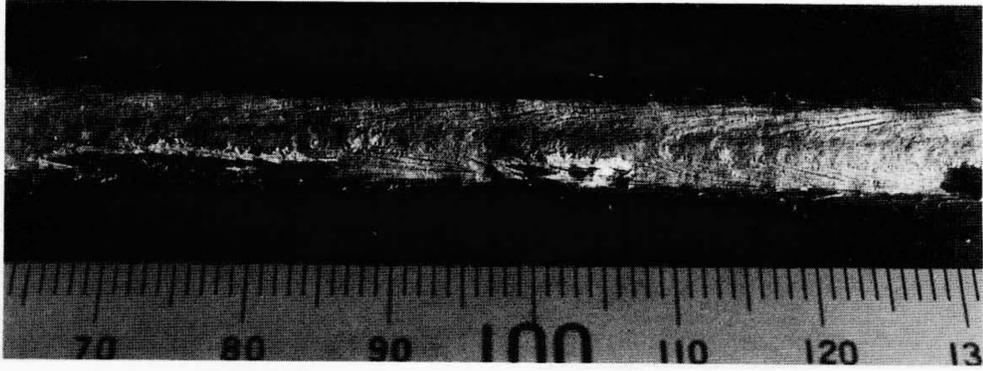
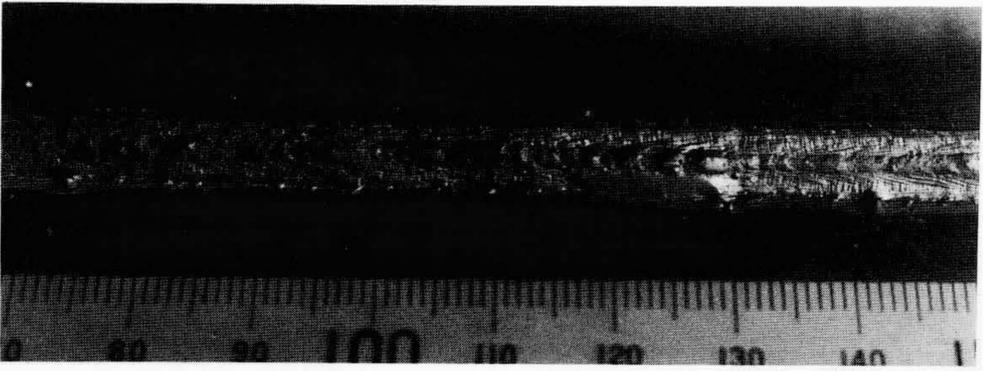
入 力	ビ ー ド 外 観
板 厚 (3.2 mm)	
板 厚 (3.2 mm) 溶接速度 (100 cm/min)	

図7 本システムによる溶接結果 異なる条件値でも、同様な品質の高い溶接を実現している。

から、ユーザーの設定値に基づき本システムによって決定された異なる二つの条件値は、両方とも十分満足のゆく溶接品質が得られる条件値であることが確認できた。

また本システムは、ワーク精度に起因する継手部のギャップを考慮して条件値を決定する知識を持っている。この知識によって、ギャップが生じていることによる必要溶着量の増加分を補正して、その溶着量を満たす溶接電流、電圧および速度を決定することができる。板厚3.2 mmの場合1.0 mm程度のギャップがあっても、品質の高い溶接を行える溶接条件値の決定が可能であることを確認している。

6 結 言

アーク溶接ロボットの適用拡大のため、ユーザーが容易にロボットを操作することができる機能のひとつとして、溶接

条件自動設定システムを開発した。本システムによって、簡単な操作で品質の高い溶接が実現できる。本システムの今後の課題は、多種ワーク条件への適用を図るための知識ベースの拡充と、オフラインプログラミングシステムとの組み合わせによる完全ティーチングレス化などが挙げられる。また、センサとの組み合わせによるリアルタイム条件決定などの検討を行い、さらにユーザーフレンドリーなロボットシステムの実現を図っていきたいと考える。

参考文献

- 1) 「アーク溶接ロボットの使用実態を再点検する」, 溶接技術, Vol.35, 12月号, 76~82(1987)
- 2) 宇田川, 外: 溶接条件自動設定システム(1), システムの基礎検討, 溶接学会全国大会講演概要, 第42集, 15~18(昭63-4)