

(技術資料)

オフライン教示システムK-OTSの自動教示技術

Automatic Teaching Technique for Off-line Teaching System K-OTS



泉 敏之*1
Toshiyuki IZUMI



金 玄昇*1
Hyunseung KIM



飛田正俊*2
Masatoshi HIDA



山崎雄幹*2
Takemasa YAMASAKI

The K-OTS (KOBELCO Off-line Teaching System), using a personal computer, is very practical, as it reduces the stoppage time in production when teaching a welding robot. It has two kinds of auto-teaching functions, which facilitates the programming that are equivalent to the one made by skilled programming operators. This reduces the time of manufacture for a great variety of items, especially in the case of small-volume production.

まえがき＝ティーチングプレイバック方式のロボットを動作させるには教示プログラムが必要であり、実機のロボットを使用した教示作業によって作成することが一般的である。しかし、実機を使用した教示作業は生産ラインを使用する必要があり、この間のライン停止による生産性の低下を招くため、実機を使用しない教示方法が望まれている。この解決手段として、コンピュータを使用したオフライン教示システムがよく使われている。

当社では溶接ロボット用のオフライン教示システムとしてK-OTS (KOBELCO Off-line Teaching System) を実用化しており、本誌既刊号¹⁾にてこの標準機能や教示の自動化について解説した。

その後、ロボットの機能はさらに向上しており、溶接の開先姿勢を常に下向に保ち高品質な溶接を可能にするポジション連動機能や高能率溶接を可能にするタンデム溶接機能、豊富なセンシング機能の組合せなどでさらに高度な溶接ソリューションを提供してきた。これに伴いロボットの教示作業はより複雑になり、教示作業には高いレベルの技量が要求されるようになった。

当社の溶接ロボット事業では、教示作業までを請負うロボットシステムの受注が多く、専任の熟練者がこの作業に従事している。しかし、ここ数年の海外事業展開の急拡大により教示作業を含む案件が増え、この作業を熟練者だけに頼ることが困難になってきた。

また、国内では急激な円高に多くの製造業が苦慮しており、とくに多品種少量生産分野では、製品の寸法や取付位置が頻りに変わり、そのたびに教示作業が必要となるため、ロボット導入によるコストダウン効果が十分に発揮できていない。

これらの問題の解決手段として、当社ではK-OTSをベースとした自動教示機能を提案している。前者の課題に対しては、熟練者と同レベルの教示プログラムを容易に

作成できるように、教示作業を対話式に支援する「パス生成機能」が効果的である。また、後者の課題に対しては、ロボット導入効果を最大限に発揮させるための教示時間短縮方法として、部品化した教示プログラムを製品形状に応じて再配置する「自動プログラミング機能」が効果的である。

本稿では、これら教示作業を効率化する二つの自動教示機能について紹介する。

1. 溶接ロボットのオフライン教示

1.1 オフライン教示作業の概要

当社のオフライン教示システムK-OTSは、教示作業の能率向上を意識した設計としており、視認性に優れた見やすい画面、および直感的な操作性を重視したところに特徴がある(図1)。

このK-OTSの自動教示機能である「パス生成機能」および「自動プログラミング機能」を利用したオフライン教示の作業手順を以下に説明する(図2)。

まず、教示作業の事前準備として、ワークのモデリングと、これを含んだロボットシステムのレイアウト²⁾を作成するとともに、溶接部位や脚長などの溶接作業情報を入手しておく必要がある。

オフライン教示作業では、1) 溶接作業情報にしたがって溶接線を入力し、2) 自動教示機能にて教示プログラムを自動生成し、3) 動作シミュレーションにて干渉や経路の確認を行い、4) 必要に応じてマニュアル操作による編集作業を行って、プログラムを完成させる。

実機ロボットシステムとの差異がなければ、オフライン教示で作成されたプログラムはそのまま利用できる

脚注) パソコンの仮想空間上に構築されたロボットシステムでオフライン教示システムに利用される装置やワークなどの配置情報

*1 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部 *2 技術開発本部 生産システム研究所

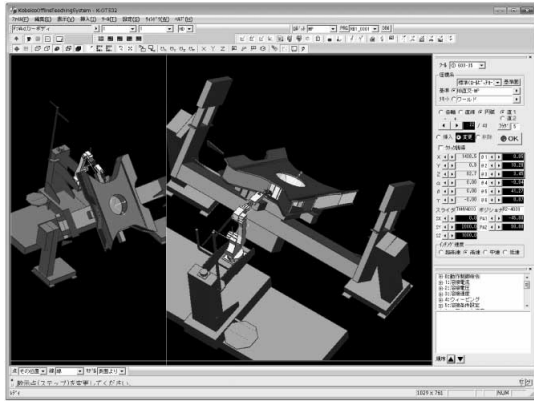


図1 K-OTSの操作画面
Fig. 1 Operation screen of K-OTS

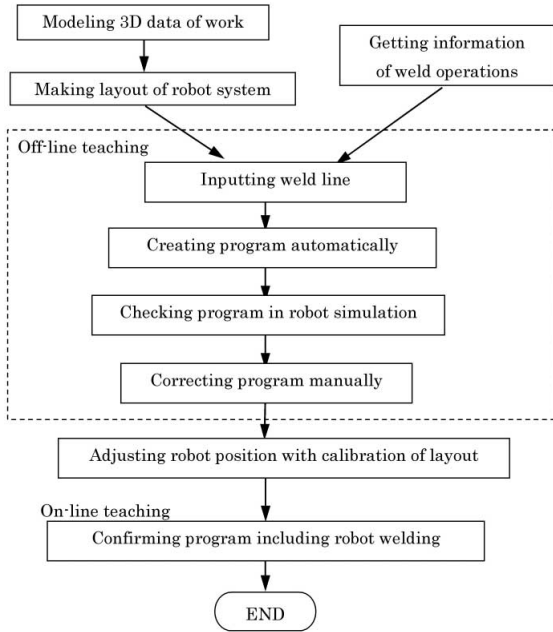


図2 オフライン教示の作業手順
Fig. 2 Operation procedure of off-line teaching

が、生産設備導入時は実機ロボットシステムの据付情報がレイアウトに反映されていないことが多く、プログラムを実システムに一致させる調整作業が必要となる。

実機ロボットのプログラム確認作業では、生産設備導入時のシステム動作確認も兼ねて溶接作業まで確認することが多い。

1.2 3次元CADのワーク形状データ利用

K-OTSの自動教示機能によってワーク位置決め、さらに溶接姿勢の決定や干渉チェックを自動的にを行うには、ソリッドモデルのワーク形状データが必要である。

一方、最近の製造業では製品設計用に3次元CADの導入が進んでいる。そして、ロボットシステムの引合い検討時からワーク形状データを客先CADから支給されるケースも多くなり、オフライン教示でこれを利用しやすくなってきた。

また、3次元CADが利用できない場合においても、K-OTSのCAD機能を用いれば、ワークのモデリング作成を容易に行える。

1.3 溶接線の入力

K-OTSでの自動教示には溶接線の入力が必要である。

K-OTSでは、溶接線を特定するワーク部材の2面を指定することによって溶接線を自動抽出する。また、ポジションナ連動機能を用いた複数部材の連続溶接ができるように、複数部材間にまたがる溶接線の抽出や、曲げ板の曲面や円弧の認識も行う(図3)。

曲げ板を多用しているワークでは、CADデータにおいて開先内にギャップが生じる場合がある。K-OTSは、開先部においても高品質な溶接となるように開先面の認識を適切に行い、溶接線の位置を抽出する(図4)。

1.4 溶接ロボットのプログラム基本構成

自動教示機能を利用した教示作業では、実機ティーチング作業と同様に、溶接線単位でプログラムを作成する。

溶接線単位での溶接ロボットのプログラム基本構成は、溶接位置へ移動する①進入動作、溶接前に溶接位置を検出する②センシング動作、溶接開始から溶接終了までの③溶接作業動作、および溶接終了後に溶接位置から離れる④退避動作からなる(図5)。

1.5 プログラムチェックと修正作業

作成されたプログラムは、コンピュータ内で実機ロボットと同じ制御ロジックで動作するシミュレーション機能を用いて干渉や経路のチェックを行う。

ここでワークとの干渉などの問題が見つければ、マニュアル操作でプログラムを修正する。また、自動教示機能で設定されないような特殊な命令などを設定する必要がある場合は、同様にマニュアル操作で追加設定してプログラムを完成させる。

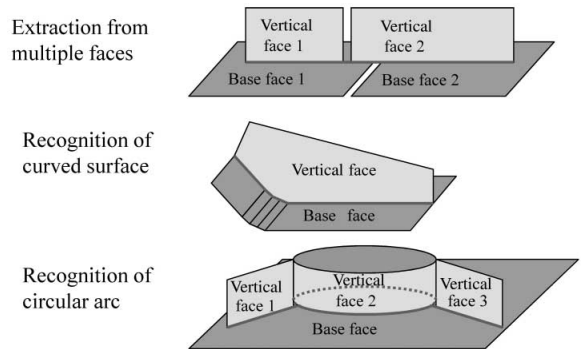


図3 溶接線抽出機能

Fig. 3 Function of extracting weld line

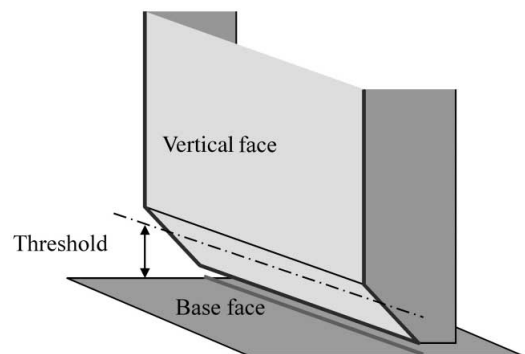


図4 開先内の溶接線抽出

Fig. 4 Extraction of weld line in groove

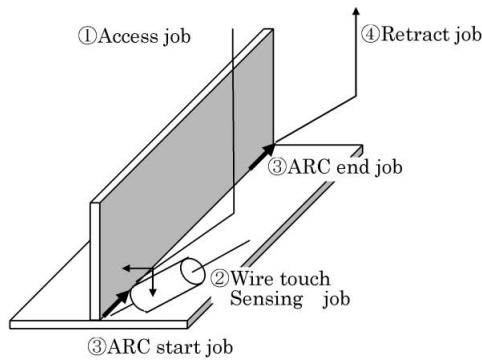


図5 溶接ロボットのプログラム基本構造
Fig. 5 Basic structure of welding robot program

2. パス生成機能

生産設備導入後すぐに生産開始するような垂直立上げにオフライン教示を利用する場合には、参考にできる実績のあるプログラムがないため、対話式のパス生成機能を利用した教示プログラムの新規作成が効率的である。

このパス生成機能では、従来機能を一新し、溶接部位の溶接姿勢を基準とする熟練者の思考パターンに沿った操作手順に従うとともに、彼らの高度な技能を実現するための新機能を追加している(図6)。ここでは、いくつかの新機能について紹介する。

2.1 溶接姿勢設定

パス生成機能の溶接姿勢の設定を以下の手順で行う。

最初に、下向きや水平すみ肉などの継手の溶接姿勢を設定すると、溶接線近傍の母材(基準面)および立板(壁)を認識し自動計算でポジション姿勢を決定する。ポジション姿勢が複数解存在する場合は、アルゴリズムが決定した最適姿勢を第一候補としてグラフィック画面に表示するが、別解ボタンを押せば別姿勢も選択できる。

つぎに、トーチ角度を溶接線基準の傾斜角度 α 、前進後退角度 β 、およびツール先端まわり角度 γ を設定する(図7)。この γ 値は自由度のある軸で、トーチケーブルの取回しを考慮しながら設定するが、タンデム溶接の場合は $\pm 90^\circ$ の固定値となる。

そして、ロボット移動装置がある場合は、この移動装置の位置の設定が必要である。この位置の設定が容易であればマニュアル操作で設定するが、そうでなければロボットアームとワークとの干渉を回避するアルゴリズムにより位置の設定を自動的に行うこともできる。

これらの設定作業を最初に溶接開始点で行えば、操作画面にある共通ボタンや前回値参照の自動設定機能により、溶接線を構成する他点の設定を効率よく行うことができる。

2.2 ワイヤタッチセンシング動作の設定

溶接姿勢の設定後は、ワークの特性に応じたワイヤタッチセンシング動作を設定する。この設定では、溶接姿勢やワイヤ腹当て姿勢などのセンシング姿勢を選択し、センシング面を指定すれば正確なセンシング動作が自動的に作成される(図8)。なお、タンデムトーチでも先行極や後行極のトーチを任意に切替えたセンシングが可能である。

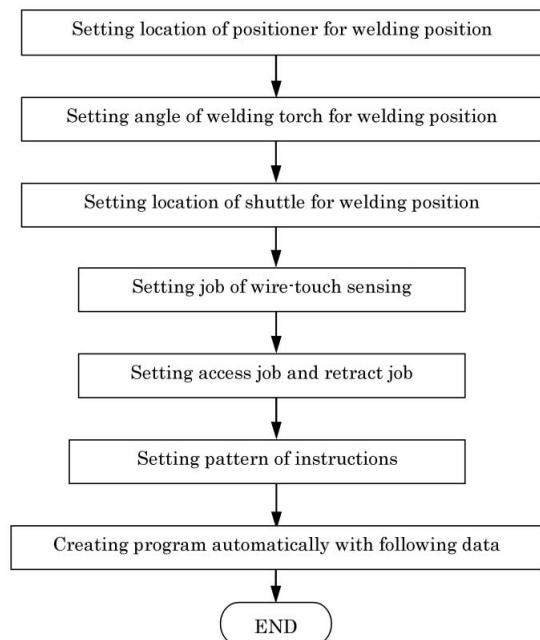


図6 パス生成機能の操作手順
Fig. 6 Operation procedure of path-creation function

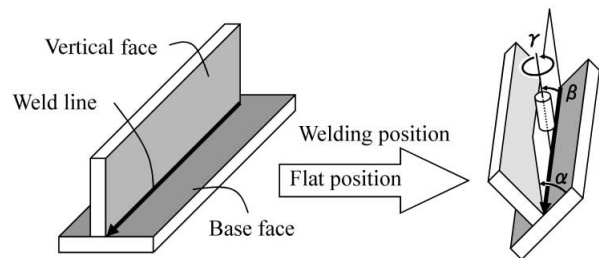


図7 溶接姿勢とトーチ角度
Fig. 7 Welding position and torch angle

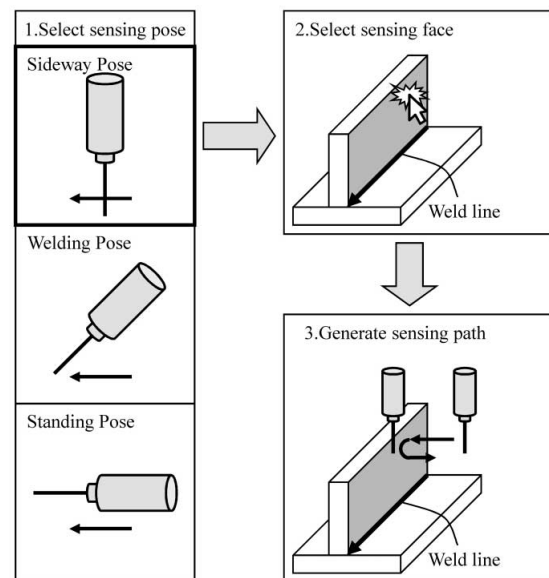


図8 センシング動作の設定
Fig. 8 Setting of sensing motion

また、センシング点での補正量取得命令の設定と関連する溶接点への補正量反映命令の設定が自動的に行えるため、多数のセンシング動作をまとめて連続に行うセンシングでも補正量命令を適切に設定できる。

2.3 進入・退避動作設定

タッチセンシング動作の設定後は、進入・退避動作を設定する。ロボットとワークが干渉しない待機姿勢を設

定すると、この姿勢と溶接位置との区間を補間するように進入動作と退避動作が自動的に作成される。

また、溶接姿勢は問題なくても、溶接箇所が狭隘（きょうあい）部において進入や退避動作でロボットとワークとの干渉発生が予測される場合、周囲環境との距離に基づいて回避の方向・姿勢を探索する干渉回避機能を利用する。これにより、干渉のない動作を自動作成することもできる（図9）。

2.4 命令パターンの自動設定

熟練者の作成するプログラムには、プログラム最初の教示点、最後の教示点、センシング点、溶接開始点、溶接終了点などの特定の教示点で、溶接命令やセンシング命令以外の規則的に設定される命令パターンがある。

パス生成機能では、これらの命令パターンを登録すれば、動作の自動作成時にこれらを所定の教示点に自動設定することができる。

2.5 パス生成機能の効果

ある受注案件を対象にパス生成機能を試用したときの教示作業時間と実機ティーチングでの教示作業時間との比較例を図10に示す。これには事前準備の時間を含めていないが、実機のものと比較して作業全体で約25%短縮でき、ラインの停止時間を約70%短縮できた。

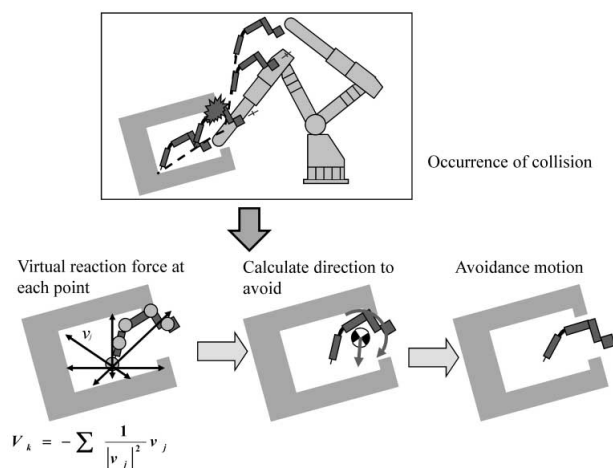


図9 狭隘部での干渉回避軌跡の作成

Fig. 9 Creation of collision avoidance motion in narrow space

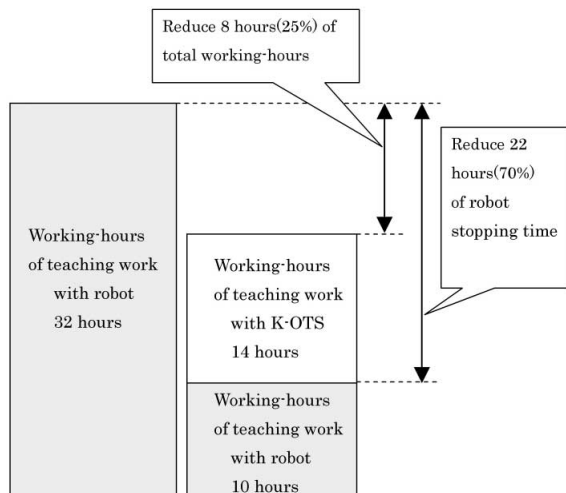


図10 作業時間の比較

Fig.10 Comparison of teaching time

また、熟練者のプログラムと同様のものが得られたことから、パス生成機能を利用することで、熟練者不足の解消とともにプログラム品質安定の効果も得られる。

3. 自動プログラミング機能

多品種少量生産分野へのロボット導入には、生産ライン稼働後に頻繁に発生する対象ワーク変更に伴う教示作業時間の短縮が必須である。先に紹介した対話式のパス生成機能では、実機ティーチングより教示作業時間を短縮できるが、対話操作を多く伴うため短縮効果が十分とはいえず、多品種少量生産で導入効果を出すのは難しい。

そこで、寸法が異なるが類似形状が多く同じような部品が異なる位置にあるようなワークの場合には、K-OTSの自動プログラミング機能が教示作業時間の短縮に効果を発揮する。

この機能は、工作機械や特殊車両などの業種に導入された溶接ロボットで利用されている。

3.1 マスタプログラム方式の自動プログラミング

K-OTSの自動プログラミング機能は、部品ごとに実績のあるプログラムを基本構成単位で分割して登録し、これらを伸縮・移動・回転・結合して、ワークの形状に合うよう再配置して新たなプログラムを自動作成する。

この実績のあるプログラムをマスタプログラムと呼び、これらを元に作成したプログラムは既にも実績のあるものとして、実機ロボットでの確認作業を省ける利点がある。

3.2 溶接ウィザード機能

自動プログラミング機能では、対象ワークの全溶接線を一括して管理および編集操作のできる溶接ウィザード機能を用いる（図11）。

この機能では、溶接線単位でマスタプログラムのパターン指定やプログラム番号設定を行う。さらに、ワーク全体を統括する親プログラムと溶接線単位の子プログラムの階層関係の設定、およびワイヤカッターやノズル清掃などの周辺機器作業の設定を行い、対象ワークの全プログラムを一気に作成する。

作成後は、この画面から動作シミュレーションでのチェック作業をシームレスに行うことができ、ワーク全体のプログラム完成までの作業をスムーズに行える。

3.3 タック溶接パターン

自動プログラミング機能では、主力の厚板溶接だけで

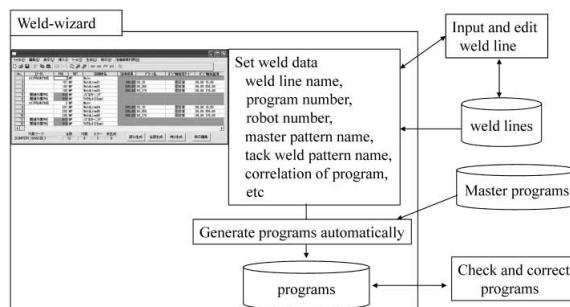


図11 溶接ウィザード機能での自動プログラミング

Fig.11 Automatic programming by Weld-wizard function

なく中薄板溶接への適用も考慮してタック溶接（断続溶接）の標準パターンを3種類用意している（図12）。これらのパターンは一般的に使用されるタック溶接をほとんど網羅している。

3.4 溶接データの再利用

ワークに多数の溶接線がある場合は、1溶接線あたりの設定作業時間が短くてもワーク全体ではかなりの時間を要してしまう。そこで、一度設定した溶接データを再利用して作業時間を短縮できる機能も用意した（図13）。

準備作業としてまず、類似形状ワークの代表となる基本ワークを選び、溶接ウィザード機能でプログラム作成まで完了させておく。

そして、新たな類似形状ワークのプログラム作成時には、CADからのワーク形状データに加えて、溶接線の位置および基本ワーク中の参照溶接データを選定することにより、溶接ウィザード機能で溶接線の溶接データを自動的に作成する。

この後、類似形状ワークに追加された溶接線や変更となる設定のみを溶接ウィザード機能で追加・変更することにより、新たな類似形状ワークのプログラム作成を短時間でできる。

この機能により、教示済みワークが増えれば増えるほど教示作業にかかる時間を減少させることができる。

3.5 自動プログラミング機能の効果

自動プログラミング機能は、実績のある教示プログラムを部品化したマスタプログラム方式であるため、実機での確認作業が不要となり、教示時間の短縮を可能にした。その結果、教示作業に関わる時間やコストを低減し、類似形状ワークを対象とした多品種少量生産分野への溶接ロボット導入を促進することが可能と考える。

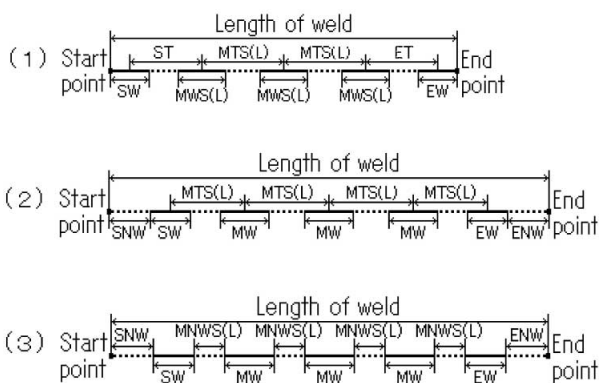


図12 タック溶接パターン例
Fig.12 Example of tack welding pattern

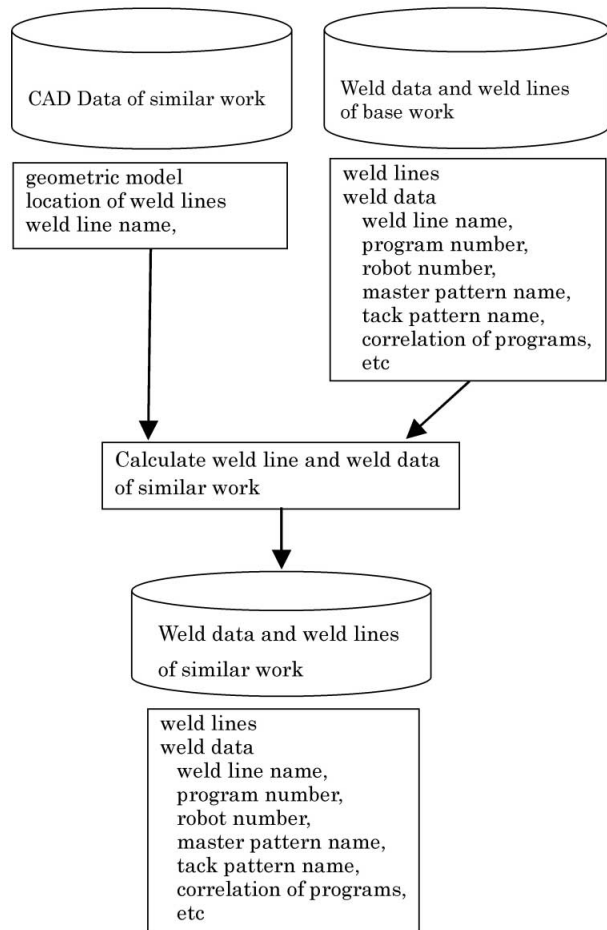


図13 溶接データの再利用
Fig.13 Reuse of weld data set in Weld-wizard

むすび＝オフライン教示システムは生産ライン停止時間低減の効果が認知されたことから、今では多数導入されている。その一方で、ロボットの溶接機能の高度化に伴って教示作業が複雑となり、教示作業の効率化が従前のオフライン教示システムでは不十分な面もあった。

しかしながら近年、製品設計用に3次元CADが普及するようになり、K-OTSの自動教示技術も向上してきたため、教示作業の効率化にさらなる効果が発揮できるようになってきた。

また、K-OTSはプログラム品質安定の効果も得られるとともに、実機ロボットを使用した高所での教示作業の回避などの安全面でも評価されている。

今後ますますオフライン教示システムが利用されていくものと期待しており、将来の製造業発展の一翼を担うべくユーザーの要望に応じていく。

参考文献

1) 原 督ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.2, p.96.