

NACHI  
**TECHNICAL**  
**REPORT**  
Robots

Vol. **24**B3  
March/2012

ロボット事業

■ 新商品・適用事例紹介

世界と差をつけるスピード

「SRA166/210-FD11」

World class speed Robot

"SRA166/210-FD11"

〈キーワード〉 スポット溶接用ロボット・高速制御・高速性  
長寿命化・省スペース・省エネ・軽量化・高剛性

ロボット事業部／開発部

伊藤 輝樹 Teruki ITO

浜畑 光晴 Mitsuharu HAMAHATA

## 要 旨

超速スポット溶接用ロボット「SRA-FDシリーズ」は、約20%軽量化した高剛性なアームと高速制御でスポット溶接作業時間を従来機比最大30%短縮できるロボットである。また、ロボット本体をスリム化し、設置面積を最大25%削減し、軽量化と高速化で消費エネルギーは15%低減している(従来機比)。これらにより、自動車メーカーをはじめとしたカスタマーのスポット溶接工程において、加工サイクルタイムの飛躍的短縮、大幅な生産性の向上、コストダウンに貢献する。

## Abstract

SRA-FD Series Robot for ultra-high speed spot welding is approximately 20% lighter than the existing models, and with a highly rigid arm and high-speed control it is capable of shortening the spot welding time by 30% at the maximum from those of the existing models. In addition, the robot's main body is slimmed down; the floor space for installation is reduced by 25% at the maximum; and energy consumption is 15% lesser than those of the existing models because of lightweight and high-speed features.

These features contribute to significant reduction of the cycle time for spot welding, substantial improvement of productivity and cost reduction for auto makers as well as customers in other fields.

## 1. スポット溶接用ロボットへの要求

自動車1台の車体の組み立てには約4,000点のスポット溶接が必要であり、車体生産ラインではスポット溶接作業を数百台のロボットで行なっている。このため、自動車・自動車部品メーカーがスポット溶接用ロボットの主要カスタマーとなっている。

最近、自動車市場の中心が先進国から新興国へ変化した。このため、新興国で受け入れられる価格対応、新興国の自動車メーカーも交えたグローバル競争などで自動車分野はよりコスト競争力のある生産ラインの構築が必要になっている。そこで、品質を維持しながら生産コストを低減できる設備が求められ、単位時間・単位面積当たりの生産性の大幅な向上が課題となる。また、為替リスク低減のため、国内自動車メーカーが現地生産を進め、新興国の自動車メーカーも生産量の拡大と品質向上の観点からスポット溶接工程のロボット化をすすめており、新興国においても安心して使えることも求められている。

このようなニーズに応えるため、

- ・高速化
- ・コンパクト化
- ・高信頼性

をコンセプトに、軽量化・高剛性化・高速制御の3つを高い次元で進化させた超速スポット溶接用ロボット「SRA-FDシリーズ」を開発した。

ここでは、SRA-FD11の特長について述べ、さらに、自動車部品製造現場で従来機種からの置き換え事例の具体的な成果についても紹介する。



## 2. SRA-FD11の概要

### 1) 外観と仕様

ロボットの外観を図1に示す。バルンサー装置を露出しないスマートな外観となっている。これまで、旋回台に配置されていたバルンサー装置をアーム内に収納することですっきりとした腰まわりとした。166kg可搬と210kg可搬のそれぞれの仕様を表1に示す。



図1 SRAの外観

表1 SRAシリーズの基本仕様

項目		仕様	
ロボット型式		SRA166-01	SRA210-01
自由度		6	
最大動作範囲	第1軸	±3.14rad(±180°)	
	第2軸	-1.40~+1.05rad(-80~+60°)	
	第3軸	-2.56~+2.62rad(-146.5~+150°)	
	第4軸	±6.28rad(±360°)	
	第5軸	±2.36rad(±135°)	±2.27rad(±130°)
	第6軸	±6.28rad(±360°)	
最大速度	第1軸	2.18rad/s(125°/s)	2.01rad/s(115°/s)
	第2軸	2.01rad/s(115°/s)	1.83rad/s(105°/s)
	第3軸	2.11rad/s(121°/s)	1.97rad/s(113°/s)
	第4軸	3.14rad/s(180°/s)	2.44rad/s(140°/s)
	第5軸	3.02rad/s(173°/s)	2.32rad/s(133°/s)
	第6軸	4.54rad/s(260°/s)	3.49rad/s(200°/s)
可搬質量	手首部	166kg	210kg
	第7-11軸 <sup>※1</sup>	45kg(最大90kg)	
手首許容静負荷トルク	第4軸	951N・m	1,337N・m
	第5軸	951N・m	1,337N・m
	第6軸	490N・m	720N・m
手首許容最大慣性モーメント <sup>※2</sup>	第4軸	88.9kg・m <sup>2</sup>	141.1kg・m <sup>2</sup>
	第5軸	88.9kg・m <sup>2</sup>	141.1kg・m <sup>2</sup>
	第6軸	45kg・m <sup>2</sup>	79kg・m <sup>2</sup>
位置繰り返し精度 <sup>※3</sup>		±0.1mm	±0.15mm
設置方法		床置	
本体質量		960kg	990kg

1 [rad] = 180/π [°], 1 [N・m] = 1/9.8 [kgf・m]

※1 第1アーム(第3軸のアーム)の上に搭載できる負荷の質量は、取り付け場所、手首負荷質量により変化します。

※2 手首許容慣性モーメントは、手首負荷条件により異なりますので、ご注意ください。

※3 「JIS B 8432」に準拠しています。

## 2) 従来機STからの性能向上

SRA-FD11の性能向上を従来機ST-AXと比較して説明する。最初にロボット本体、次に制御装置について述べる。

まず、ロボット全6軸の最高速度を向上させた(図2)。SRA166では最大28%(J2軸従来機比)アップさせ、各軸の最高速度は世界トップとした。SRA210も最大19%(J3軸従来機比)の向上で、各軸の最高速度は世界トップクラスとなっている。(2012年2月現在)

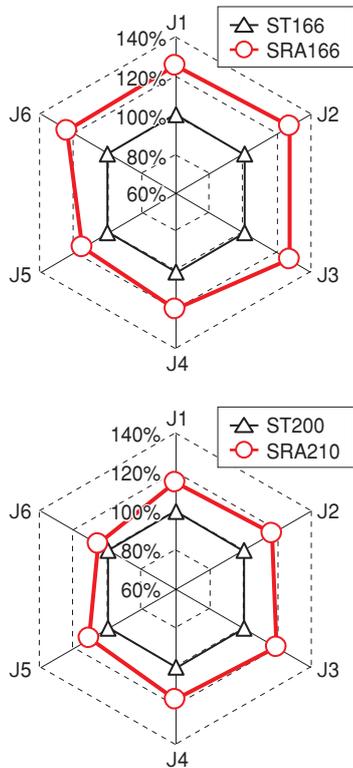


図2 速度比較図

次に、動作範囲について述べる。図3に示すように前後ストローク長を従来機比7%増の2,225mmまで延長した。これにより、ワークへの接近性の向上やエアークット用の動作エリアの確保が容易になる。また、図4に示す従来機の最後端位置と比較するとアーム後退干渉半径は22%減の218mmも小さくなっている。さらに、スポット溶接用ケーブルや冷却水用ホースなどの機器を艀装した状態でのフレーム干渉半径はR610からR521と約15%短くした(図5)。これらによりワークや治具などの周辺機器やロボットをより高密度に設置でき、省スペース性を向上させている。

また、位置繰り返し精度を±0.3mmからSRA166は±0.1mmに、SRA210は±0.15mmとそれぞれ3倍、2倍へ精度を向上させている。これは、アームの高剛性化と関節部の高減速比による分解能アップで実現した。

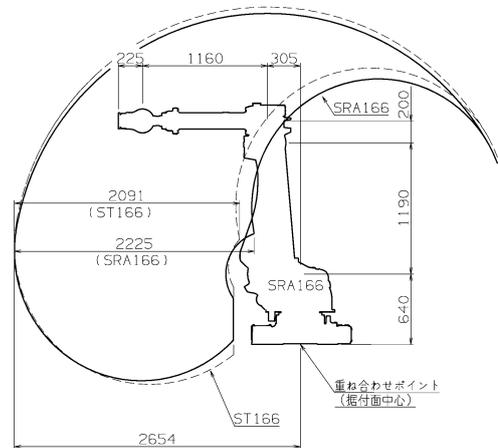


図3 動作範囲の比較図

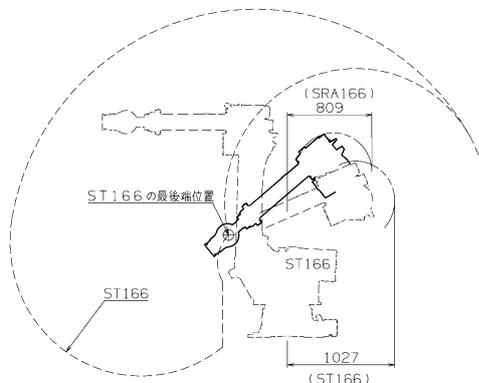


図4 アーム後退干渉半径の比較

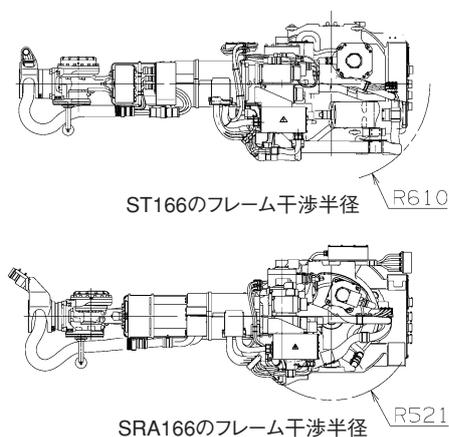


図5 フレーム干渉半径の比較

次に、制御装置FD11について述べる。FD11コントローラの基本仕様を表2に示す。小型8軸サーボアンプ、小型ティーチペンダント、コントローラ内の配線削減などにより、従来体積比20%減の小型化を実現した。また、従来のAXコントローラの機能も継承し、高速化、軌跡精度向上とともに、高機能化を実現した。

これらの性能向上で得られたSRA-FD11の特長を次章で詳述する。



図6 FD11制御装置の外観

表2 基本仕様

項目	仕様
制御軸数	標準6軸(オプションで最大8軸まで対応)
サーボモーター	ACサーボモーター
位置検出器	アブソリュートエンコーダ
教示方式	ティーチングプレイバック
プログラム選択数	9,999種
メモリー容量	25MB(2,560,000ステップ相当)
ティーチペンダント	5.7"カラーLCD付(640×480、バックライト付き、65536色表示) 標準ケーブル長：8m 3ポジションイネーブルスイッチ、 タッチパネル仕様、IP65相当
操作パネル	モード切替えスイッチ(教示/再生)、非常停止ボタン 運転準備入りボタン、起動ボタン、停止ボタン
安全機能	PLd(カテゴリ3対応)
ロボット制御装置間ケーブル	標準ケーブル長：5m
記憶方式	フラッシュメモリ

# 3. SRA-FD11の特長

## 1) ロボット本体SRAの特長

### (1) 高速性の実現

大幅な高速化は単位時間当たりの生産性向上だけでなく、設備費の低減を可能にする。ロボット台数を削減すると、ロボットに加えてスポット用溶接ガン、溶接タイマー、配管などの溶接機器や架台も削減でき、大幅な設備費用の低減を実現できる。そこで、高速化の目標値を以下のように設定した。自動車の車体本体のスポット溶接工程は、図7に示すように片側に4台ずつロボットを配置して構成される。ロボットを片側3台に削減するには、1台当たり33%生産性を上げなくてはならない。これをサイクルタイム短縮に換算すると従来機比25%になり、これを目標値とした。

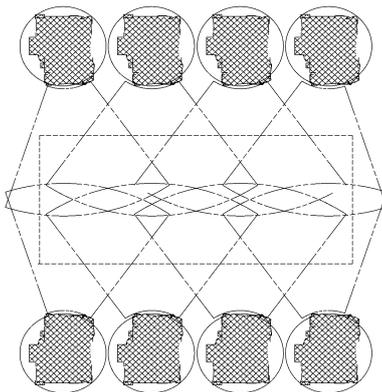


図7 車体本体工程でのロボットの配置

サイクルタイムの短縮には加速度の向上が重要な要素である。この工程でのスポット溶接作業は30~200mmといった短距離の移動が多いためである。

加速特性をよくするには、以下の方策が考えられる。

- ・ モーターのトルクアップ
- ・ 軽量化

前者の方策ではモーター質量の増加をはじめトルクアップに応じた重厚なアームとなり、トルクアップ分が相殺される可能性が高い。そこで、軽量化によるとり組みを行なった。軽量化では剛性について考慮する必要がある。これは、低剛性なアームでは振動が発生し、高速動作ができなくなるためである。このような高速化のとり組みのイメージを図8に示す。高速制御は、次節の制御装置で説明する。

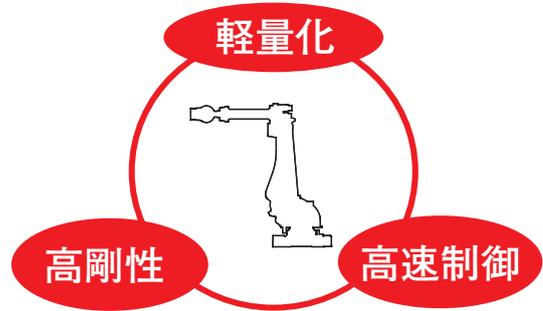


図8 高速化のとり組み

まず、軽量化を述べる。回転運動系では、動的な慣性モーメントと静的な負荷トルクを軽減しなくてはならない。慣性モーメントは関節部の減速比を高くすることで、負荷トルクは、アーム部材の軽量化、アーム長の見直し、バランス装置の出力トルクアップにより低減させた。これについては後述する。

次に、剛性向上のとり組みを説明する。軽量化と高剛性を両立させる最適設計をCAEの活用にて実施した。その一例を図9に示す。これらの図は床面と接する構造部品であるベースの例で、Z軸まわりに同じモーメントを与えたときのねじれ量の解析結果である。図中の値は、従来機のベースのねじれ量を1としたときの比率である。解析上、SRAのベース部品のねじれ量は従来機比で約半減しており、剛性は2倍になっている。全てのアーム構造部材に、このような解析を全方向(X、Y、Z軸)で実施した。そして、従来機の部材よりも軽量で強度と剛性が向上した部材になったことを確認している。こうした部材設計による振動抑制の効果を図10に示す。この結果、赤線のSRAの振動静定は黒線の従来機より約15%も短くなっている。

また、バランス装置の出力トルクアップは、従来の機械バネでは装置の大型化と質量が増加するといった問題が予見され、これでは軽量化・コンパクト化の開発コンセプトと矛盾し、高速化へも影響を与える恐れがあった。そこで、小型・軽量のバランス装置を新たに開発し、アーム内に収納することで解決した。

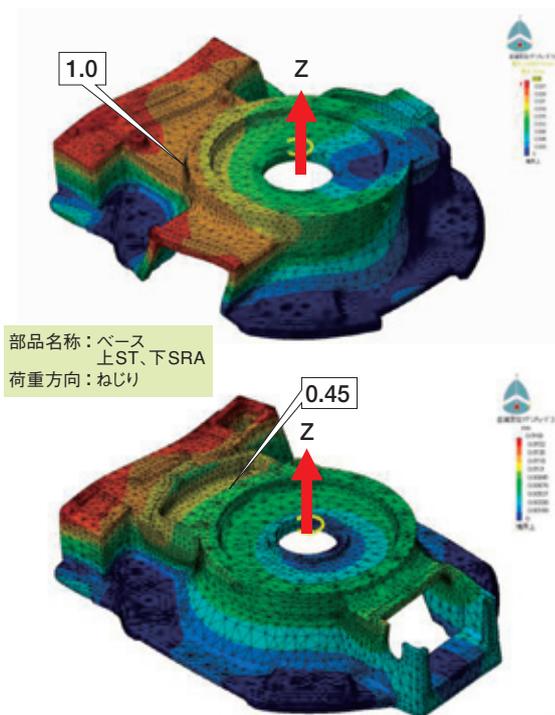


図9 CAEの活用事例

こうした高速化の取り組みの結果、スポット溶接作業時間を最大30%短縮した(図11)。この検証に用いたロボット作業プログラムは車体本体の工程を意識したもので、14打点のロボット作業プログラムはカスタマーが生産に使用しているもの、平面動作27打点のプログラムは短ピッチの移動性能を評価するものである。

SRAを用いることで、ロボット台数の削減による設備費の低減、生産性の向上に大きく貢献できることを示している。

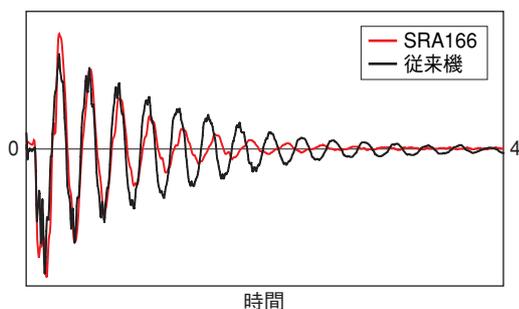


図10 振動の静定結果

## (2) 省スペース性

次に単位面積当たりの生産性向上となる省スペース性について説明する。2章で述べたロボットのコンパクト化に関するフレーム干渉半径とアーム後退干渉半径を用いて、4台設置時の理論上の最小面積を比較した。その結果を図12に示す。従来機の設置面積に対してSRAでは約25%の削減ができた。さらに、30%の高速化の効果も考えると、

$$1 \div 0.75 \div 0.7 = 1.9$$

となり、単位面積当たり90%の生産性向上となる。

次に、ライン長の短縮について述べる。4台設置での比較では図12に示すように約17%の短縮、同じ生産能力比較では、前述したようにSRAは3台で対応できるため、単純に設置幅を求めると1,080mmを引いて3,240mmとなり、さらに約37%の短縮ができる。

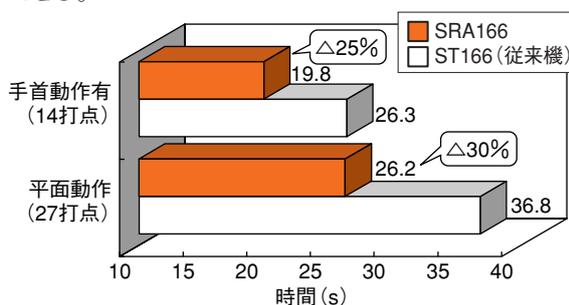


図11 サイクルタイム短縮の検証結果

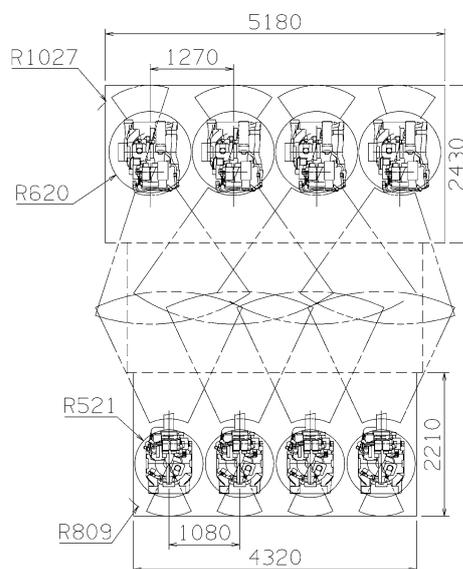


図12 設置面積の比較

### (3) 高信頼性

高速性を十分に発揮させるには、それに対応した信頼性が必要となる。高速化でロボット寿命が短くなつては問題である。そこで、ロボット寿命を決定する減速機について長寿命化をはかった。その内容は減速機の強化と軽量化による負荷の軽減である。これらの効果を図13に示す。ここで示したJ2,3軸は他の軸よりも大きな負荷が加わる軸で、その計算寿命は、30%の高速化稼働でも従来機比1.5倍以上の長寿命となっている。

また、高速化による発熱の影響についても考慮し、高温特性の良いグリースの採用と放熱性の良いモーター配置を行なっている。

これらにより、安心して高速性能を発揮させることができる。

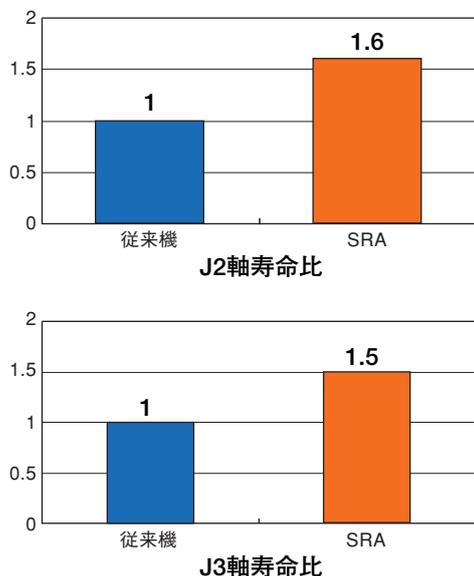


図13 減速機の計算寿命の比較

### (4) 環境への配慮

人類の持続した発展のため、環境負荷の低減にとり組むこともものづくりの責務である。SRAの開発で取り組んだ省エネルギー化と省資源化を図14、15に示す。

省エネルギーでは従来機比15%以上低減している。これは、高速化を軽量化により実現したためである。まず、負荷の軽量化によりモーターの駆動電流を増やすことなく、加速性能を向上させた。そして、加速性能の向上による高速化で電流の通電時間は短くなるので入力エネルギーは小さくなり、省エネルギーとなる。

そして、省資源では、本体質量を従来機比で20%低減している。SRA166で約200kg、SRA210で約230kgを軽量化した(図15)。また、定期交換が必要な減速機のグリース量も約10%削減している。

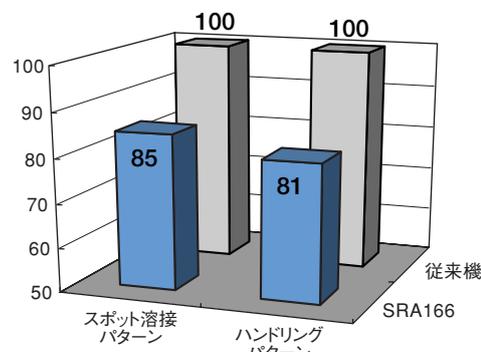


図14 省エネルギー結果

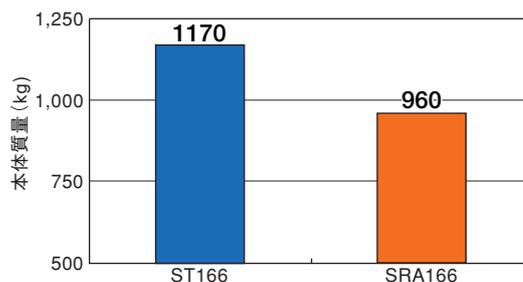


図15 本体質量の軽量化

## 2) 制御装置FD11の特長

### (1) 小型ティーチペンダント

新型ティーチペンダントは、高速CPUの採用など内部部品の見直しにより、W170×H300mmの小型サイズ、防塵防滴性能IP65、960gの軽量化を実現した。外部メモリとしてUSBメモリ採用し、USBメモリをティーチペンダントに接続可能とし、ロボットプログラムのバックアップは作業者の手元で操作が可能とした。これにより、従来はコントローラの扉を開けて行っていたバックアップ作業が、扉を開けずにでき教示時間を短縮できる。

### (2) 小型8軸サーボアンプ

小型8軸サーボアンプにより、1つのコントローラ筐体でロボット本体6軸に加え、追加2軸の制御が可能となった。

従来コントローラでは、ロボットに使用するモーターの大きさによりサーボアンプを選定するため、多くの種類のサーボアンプが必要だったが、FD11コントローラでは、電流検出回路の見直しによりサーボアンプの種類を減らした。これにより、カスタマーの保守部品を削減できる。

ロボットが作業停止した場合の省エネ機能も搭載しており、サーボ電源OFF、冷却ファンの停止、新ブレーキ電源により、従来の1/3以下の消費電力を実現し、環境に配慮した製品となっている。

### (3) 高速化

サーボモーターのトルク制御方法を改良し、モーター回転数の低速域から、高速域まですべての帯域において発生トルクを向上させ、ロボット本体の高速化をはかることができた。また、サーボガン制御のムダ時間を削除することにより溶接速度向上を実現している。



図16 小型ティーチペンダント



図17 小型8軸サーボアンプ

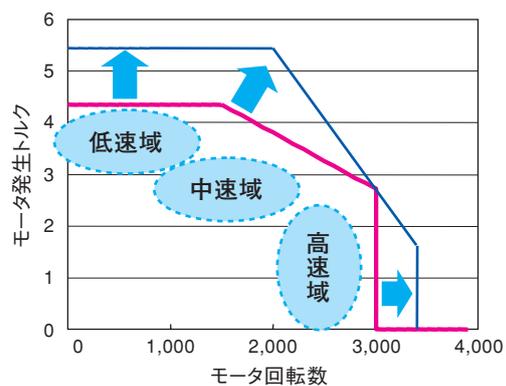


図18 モーターのトルク制御の改良

(4) 操作性向上

ロボットの操作に必要なティーチペンダントには、タッチパネルを標準採用することで操作性の向上をはかった。「ソフトウェアキーボード」の文字選択や、「ソフトウェアPLC」のラダー選択、修正にもタッチパネルを直接触るだけで操作が可能となり、従来のティーチペンダント上のキーボードを操作する煩雑さも解消され、オペレータの直感的な操作が可能となった。

(5) 軌跡精度向上

従来比2倍の高速CPUを採用することで、ロボットの動作をリアルタイムでシミュレーションして軌跡のずれを予測し、補正動作させることで軌跡精度を向上させた。とくに、シール剤を塗布するシーリング作業では、軌跡精度が要求されており、FD11コントローラでは、従来比50%アップの軌跡精度を実現することができた。

また、再生時と、教示時ではロボットの軌跡に差異が生じる。このため、教示で問題がないことを確認しても、再生時にワークやジグなどに干渉する問題が発生することがある。この原因は、再生時と教示時でロボットの動作速度が異なるためである。それで、前述の補正動作により、再生時の軌跡を教示時に実現させることで、これらの軌跡差をなくした。これにより、教示時にワークとの干渉をチェック可能となり、ティーチング作業を容易にした。

(6) ロボット言語高機能化

ロボット言語のライブラリを強化することで、操作画面のカスタマイズ化が可能となり、パレタイズ、シーム溶接、ハンドリングなどの多くのアプリケーションに応じてモニタの作成が可能となった。画面作成を補助する機能として、雛形のロボット言語プログラムを準備しており、ユーザーで必要に応じて修正することで、さらにプログラム作成工数の削減をはかることができるようになる。

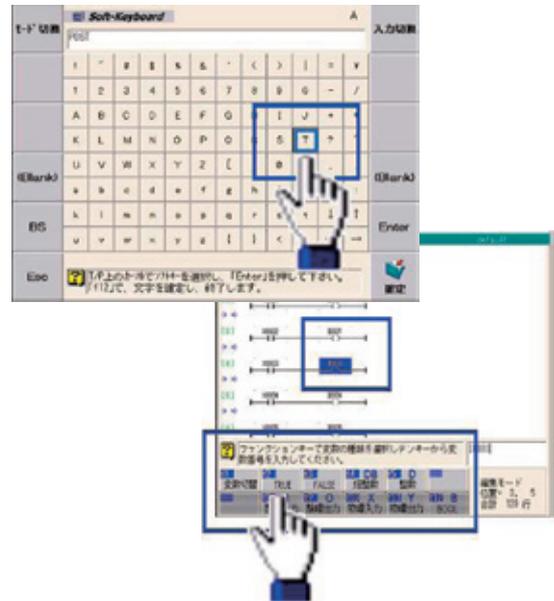


図19 タッチパネルによる操作性向上

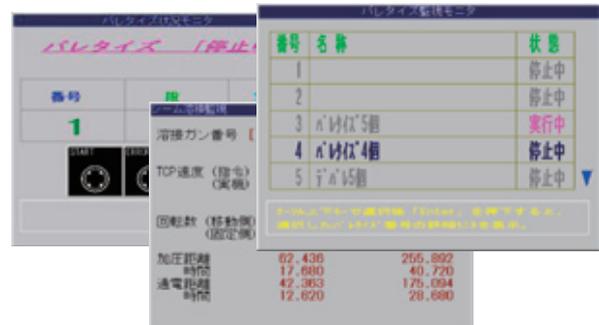


図20 カスタマイズされた画面の一例

### (7) FD on Deskや周辺装置との連携

シミュレーションソフト“FD on Desk”により、パソコン上でプログラム作成やハンド装置の干渉チェックが可能である。また、FD11コントローラと同一のモーションエンジンを使用しているため、高精度のタクト検証もできる。他にもPLCプログラムの編集、インタフェースパネルデザイン、各種パラメータの設定など、すべての設定が“FD on Desk”で可能であり、事前のシステム検討が容易に行なえる。

FD11コントローラはソフトウェアPLC(国際標準規格IEC1131に対応)を内蔵しており、周辺装置の制御も可能である。周辺装置のプログラミングもFD11コントローラのティーチペンダントで行なうことができるので、外部にPLC設備を設ける必要が無く、コストパフォーマンスの優れたシステム構成が実現できる。

### (8) 電子マニュアルによる簡単保守

コントローラ内の電子マニュアルにより、紙媒体によるマニュアルと同等のリファレンスマニュアルを「HELP」キーの操作だけで閲覧することができる。また、コントローラの異常発生時には、異常コードと関連したトラブルシューティング画面を表示してわかり易く支援する機能も実現している。

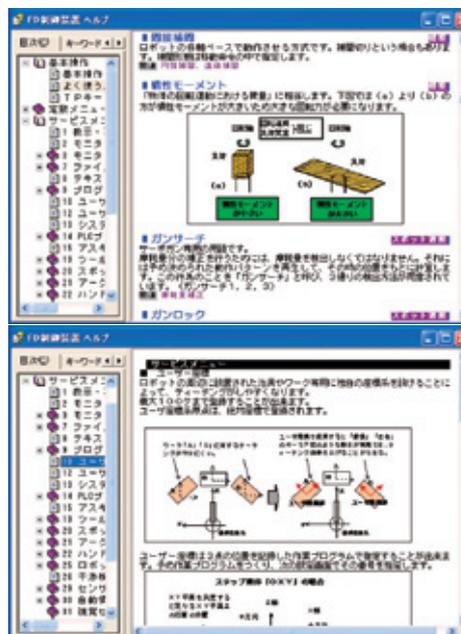


図21 リファレンスマニュアル

### 3) 適用事例

自動車部品製造のスポット溶接生産セルのロボットをSRA-FD11に更新し、大幅な生産性の向上を実現した事例を表3に示す。

ここでは、エア駆動式のスポット用溶接ガンを付加した旧型機SA160-ARからサーボモーター駆動式のスポット用溶接ガンを付加したSRA166-FD11に入れ替えたものである。表3に旧型機との加工サイクルタイムの比較を示す。最大47%の短縮となっている。約2倍の高速化で、これまでの2直稼働での生産量をほぼ1直でこなすことできる。単純であるが、設備のランニングコストを半減することが可能で、収益性の高い生産設備へ更新できた。

表3 SRA-FD11の適用事例の結果

車種	打点数	サイクルタイム	
		SA160-AR	SRA166-FD11
A	10打点	29.7秒	15.63秒 (△47%)
B	17打点	58.6秒	33.94秒 (△42%)
C	15打点	54.7秒	34.06秒 (△38%)



図22 トラブルシュート画面

## 4. さらなるニーズへの対応

今回、開発した超速スポット溶接用ロボット「SRA-FDシリーズ」について、従来機との比較を中心にその特長と効果を紹介した。自動車車体の生産ラインを構築するには、今回紹介した床置タイプのほか、ワーク上方から接近するための棚置タイプやアーム

長を延長したロングアームタイプなどのロボットも必要になる。これらに対応するシリーズ機も用意している。さらに、カスタマーが理想とする生産ラインの実現に貢献するため、シリーズ機を拡充していく。