

# ロボットコントローラ AR50 の新技術

New Technology of AR50 Controller for Industry Robot

## キーワード

ロボットコントローラ, 現代制御理論, オブザーバ, フィードフォワード, イーサネット, TCP/IP, サーボガン

ロボット事業部ロボット開発部

本堂 清

## ■ 摘要

高度化するロボットを支えるロボットコントローラの性能向上を

①コンパクト設計②現代制御理論応用による高速制御③イーサネットを中心とするネットワーク技術④容易な操作性⑤豊富な拡張機能を軸に行った。その新技術のポイントについて報告する。

制御装置を小型化するために、6軸一体型のサーボアンプを開発した。ソフトウェアにおいては、ロボットの

高速化のため現代制御理論を応用したオブザーバによる振動抑制制御を導入し、イーサネットなどのネットワーク機能の充実によりロボットの適用範囲を広げた。また、スポット溶接用のサーボガンなど豊富な拡張機能を備えた。

## ■ Abstract

In this paper, we discuss the high performance robot controllers applying the following new technologies:

- (1) Compact design of the robot controller
- (2) High-speed motion control applied to the state of art control theory
- (3) Network technique like the Ethernet
- (4) More comfortable operation
- (5) Various enhanced functions

The new servo amplifier unit, which controls all 6-axes of robot, makes the robot controllers more small. The high-speedy robot motion is given by the vibration absorption control utilizing the observer theory.

Moreover, we enhance various function, e.g. the networking technique utilizing the Ethernet and the servo-gun for the spot welding applications

## 1. はじめに

産業用ロボットが市場に普及するにつれ、ロボットコントローラに対する要求は、より高性能、より高機能、小型、低価格といった方向に拍車が掛かっている。

生産性の向上には動作速度の高速化が必須である。特に加減速性能の向上が求められる。このためにはロボットの姿勢に応じて最適な加減速制御をしなければならない。また高速化に伴って発生する振動を抑制しなければ真の高速化は実現できない。

また、製造現場においては制御装置の小型化と共に故障時の復旧時間を最短にするため、保守性の向

上が強く求められている。

これらの要求に対し、従来の AR11 制御装置をベースとして、ユニットの小型化、制御ソフトウェアの改良を軸に AR50 制御装置を開発した。

## 2. 開発のねらいと特長

### 2.1 コンパクト設計

小型化に際して制御装置の大きさは、ロボットの後方にロボットと一体化して設置可能なサイズを目標とした。そして、操作部は分離型とし安全柵の外に設置することが可能な形態とした。

## 2.2 保守性の向上

故障時の復旧時間を短縮するため、徹底的に部品のユニット化を図り、故障時には部品単位で交換するのではなく、ユニットで交換する方式を採用し、ユニットの交換時間の目標値を15分以内とした。

## 2.3 ネットワーク機能の拡充

FA分野で使われているネットワークにはさまざまな種類があるが、AR50制御装置では、比較的低コストで導入でき、ホストコンピュータやFAコンピュータなどとの相互接続が容易なイーサネットと、最も標準的な通信プロトコルであるTCP/IPプロトコルの組み合わせを採用した。

イーサネットは企業内ネットワークであるLANの規格のひとつで、伝送媒体として同軸ケーブルやツイストペアケーブルを使用し、伝送速度は10Mbpsが一般的である。TCP/IPはインターネットの標準プロトコルであり、また、LAN上のプロトコルとしてもよく使われる。このイーサネットとTCP/IPの組み合わせは、現在のコンピュータネットワークの標準といえる。

このネットワーク上でパソコンなどの上位ホストコンピュータとの間でファイル転送などを行う機能を開発した。これにより、ホストコンピュータの操作によりロボット制御装置の記憶装置へ自由にアクセスできるようになった。

## 2.4 容易な操作

操作性については、ほとんどの操作がティーチペンダントから可能なことを目標にした。

ロボットのティーチングを行う場合、ティーチペンダントを持ってロボットの近くで操作を行うことが大半である。従ってティーチングを行うために操作盤のボタンを頻繁に押すようでは操作性が著しく悪くなる。

またワンタッチで操作出来ることを考慮した。具体的には、モード選択やプログラム選択及びその他各種の機能をティーチペンダントのPFキーやfキーに割り当てティーチペンダントから簡単に操作出来るようにした。

# 3. 小型化、保守性向上

## 3.1 外観

AR50制御装置は制御盤本体、分離操作盤、ティーチペンダントより構成される。図1にその外観を示す。制御盤本体サイズはW590×H490×D480mmと非常に小型化された。小型化する際に問題となる点は、表面積が小さくなることによる放熱能力の低下である。その対策として、サーボアンプのスイッチ



図1 制御装置外観図

ング周波数を下げることによって発熱量を低減し、放熱用のファンの容量をアップするとともに、吐き出しと吸い込みの各々のファンの配置を最適化することによって冷却効率を最大限に引き上げた。

また、密閉部においては、熱対流効率を高める部品配置とし、熱交換器も小型で効率の良いものを採用した。

このような対策を行うことによって、AR50制御装置は、AR11に比較して据付面積で25%減、体積で60%減と大幅に小型化されたにもかかわらず、動作保証温度0~45℃と従来と同等の性能を得ることが出来た。

## 3.2 ハードウェアブロック図

図2に制御盤のハードウェアブロック図を示す。CPUユニットはCPU・メモリ基板、モーション基板、I/O基板を基本とし、その他、イーサネット、視覚センサ等のオプション基板が実装可能となっている。CPU・メモリ基板及びモーション基板には合計8個のカスタムLSIを使用し、基板の集約による小型化と部品点数削減による信頼性の向上を図った。CPUは制御装置全体を制御する32bitCPUと加減速を制御するDSPと各軸サーボには最新のRISC型CPUを採用した。各役割に応じたCPUを配置することにより処理速度を向上させるとともに、異常検知を多重化し安全性を高めている。

サーボアンプは1ユニットで6軸を実現した。サーボアンプの6軸化に当たってはパワーデバイスであるIGBT間の配線をプリント基板化し、電源回路の共有による小型化、及び、部品点数削減と省配線化による信頼性の向上をはかった。

強電回路もユニット化するとともに、電源のトランスを廃止した。1次電源ラインには、ノイズ防止や絶縁の目的でトランスが実装されているが、これ

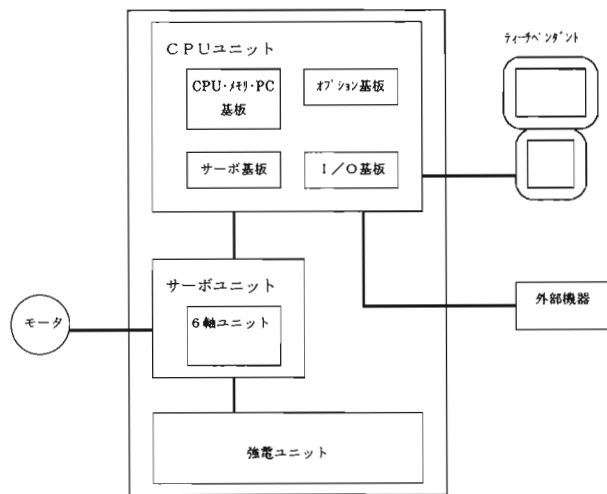


図2 ハードウェアブロック図

は外形も大きく小型化のネックとなっていた。

AR50 制御装置では電源ラインのフィルターによってノイズ対策を行って、トランスを廃止し、制御装置の小型化に大きく貢献した。

## 4. ロボットの高速制御

### 4.1 最適な加減速制御

ロボットの姿勢による慣性モーメントの変化を計算し、それによりロボットの加速度を変更する。すなわちモータの出力トルク  $T_M$  を一定にし、ロボットの慣性モーメント  $J_R$  に応じ、ロボットの加速度  $\alpha$  を  $T_M/J_R$  となるように制御する。慣性モーメントの変化の幅は、動作範囲の中心での値に対し、最悪姿勢ではその3倍に達するため、ロボットの高速化にとって、この方法は極めて有効である。

加えて、一つの軸が動作する際に、他の軸に作用する軸間の干渉力や、負荷が旋回動作する際のコリオリ力も運動方程式に取り込み、実ロボットと制御モデルとの差がより少なくなるようにした。

### 4.2 振動抑制制御

ロボットの高速化のため、先のトルク考慮加減速制御方式に加えデジタルサーボ側では、ロボットの追従遅れを少なくするため、前もって指令速度に補償量を加算する「フィードフォワード制御」を実施している。

これらの高速化制御を行うと、ロボットの減速機やアームのねじれから、アーム先端の振動が大きくなっていく。そこで、状態推定オブザーバを用いた振動抑制制御を導入し、振動を抑えながら高速化を実現した。

ロボットのモータと負荷の間には回転減速機があ

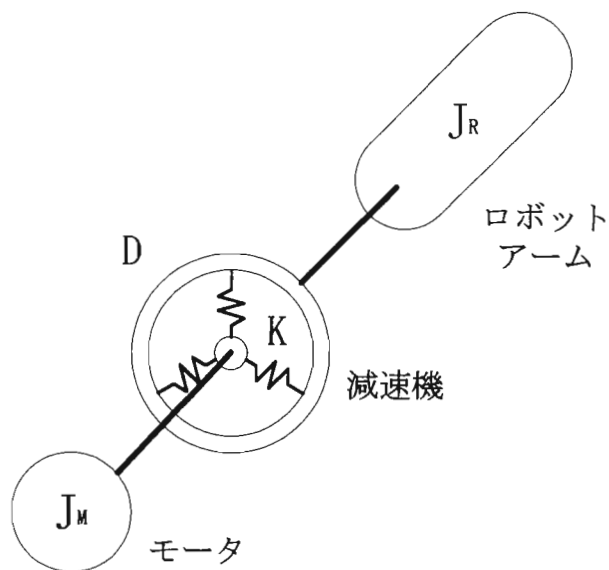


図3 ロボットのばね-質量系

り、そのばね定数の影響で、ロボットのモデルは、図3に示すようにばね-質量系となる。モータ軸の慣性モーメント  $J_M$ 、位置  $\theta_M$ 、ロボットの慣性モーメント  $J_R$ 、位置  $\theta_R$ 、とすると回転減速機のねじれ量は  $\theta_s$

$$\theta_s = \theta_M - \theta_R$$

となり、回転減速機のばね定数  $K$  及び粘性抵抗  $D$ 、モータトルク  $\tau$  で表した2質点モデルの運動モデルの方程式は、下記となる。

$$\begin{aligned} J_M \ddot{\theta}_M + D\dot{\theta}_s + K\theta_s &= \tau \\ J_R \ddot{\theta}_R + D\dot{\theta}_s + K\theta_s &= 0 \end{aligned}$$

ロボットモデルは

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B\tau \\ y &= Cx \end{aligned}$$

ここで

$$x = \begin{bmatrix} \theta_M \\ \dot{\theta}_M \\ \theta_s \\ \dot{\theta}_s \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} \theta_M \\ \dot{\theta}_M \end{bmatrix}$$

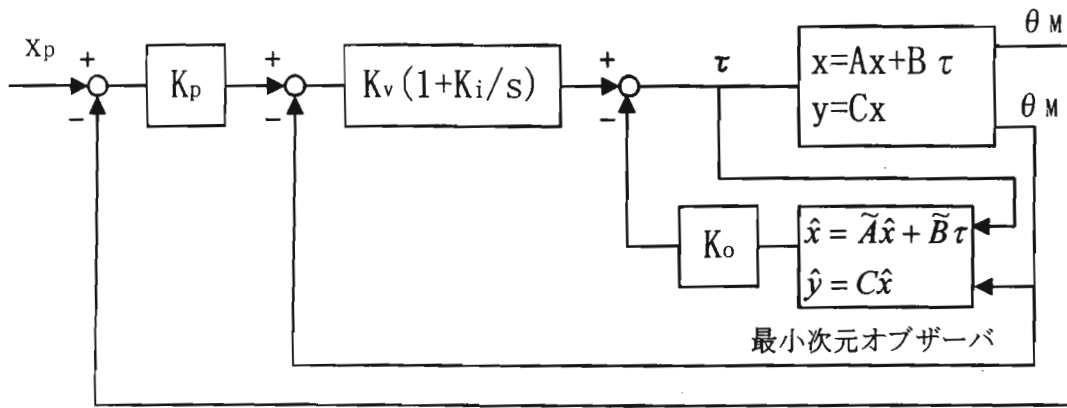


図4 オブザーバを用いた制御方式のブロック図

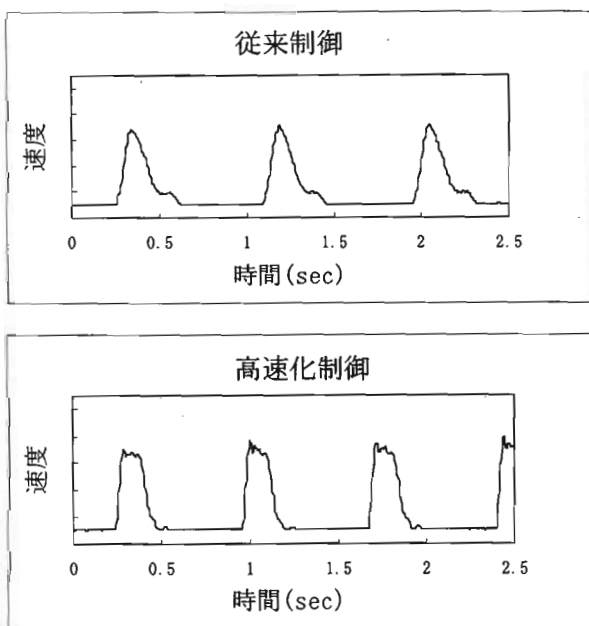


図5 SC35の速度波形

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -K/J_M & -D/J_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -K/J_M - K/J_R & -D/J_M - D/J_R \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J_M \\ 0 \\ 1/J_M \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

に最小次元オブザーバを適用し、

$$\tau = -K_1 \dot{\theta}_s - K_2 \theta_s + u$$

となるように適切に  $K_1, K_2$  を選ぶと、

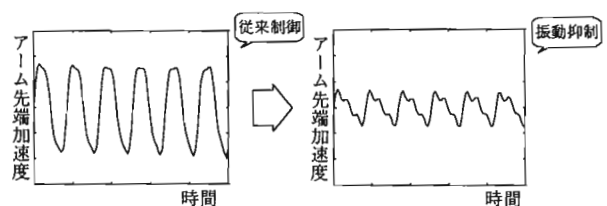


図6 SC15での振動抑制効果

$$J_M \ddot{\theta}_M + (D + K_1) \dot{\theta}_s + (K + K_2) \theta_s = \tau$$

となり、等価的にばね定数及び粘性抵抗を大きくすることができる。これは、ロボットの動作として見ると、振動の無い、かつ剛性の高い動作を実現できることを意味する。

この制御をロボット SC35 に適用したときの速度波形を図5に示す。停止時に大きな改善があることが分かる。50mm ピッチ送りでその違いをみると、従来の制御では0.36秒/50mmであったものが、0.25秒/50mmに高速化している。

また、ロボット先端での共振による振動も、図6に示すように、ロボット SC15 での適用例では  $1/2 \sim 1/3$  に減少させることが出来た。

## 5. 機能

### 5.1 情報通信ネットワーク機能の特徴

#### 5.1.1 オープンシステム

イーサネットと TCP/IP の組み合わせによるオープンシステムの採用で、異機種間相互接続が容易である。たとえば、ユーザはパソコンにイーサネットカードを取り付け、TCP/IP 対応のアプリケーションソフトウェアをインストールするだけで、ロボット

制御装置と情報の送受信を行うことができる。

従来の、RS232C などのシリアル転送を使った通信では、ロボットメーカー各社が独自のプロトコルを採用していたために、ホストコンピュータ側のファイル転送ソフトウェアを別途開発する必要があったが、デファクトスタンダードである TCP/IP を採用したことによって、市販のインターネット用ファイル転送ソフトウェアをそのまま利用することができるようになった。

### 5.1.2 ファイルの送受信

TCP/IP のアプリケーションプロトコルのうちファイル転送用でもっとも一般的な FTP および TFTP に対応しており、ホストコンピュータからの操作で、各種ファイルの送信・受信・削除・一覧表示が可能である。

FTP は異なる OS を使用するコンピュータ間でファイル転送を行うことが出来るプロトコルである。TFTP は、FTP の機能のほとんどを省略し、ファイルのリードとライトに機能を絞り込んだものである。

### 5.1.3 高速ファイル転送

10Mbps の転送速度を持つイーサネットの採用により、従来の RS232C や RS422 などのシリアル通信にくらべて高速なファイル転送が可能である。

### 5.1.4 リアルタイム OS

ロボット制御装置は自社開発のリアルタイム・マルチタスクオペレーティングシステムにより制御されており、ロボットがワークに対して作業中であってもファイル転送を可能としている。

### 5.1.5 仕様

イーサネット物理仕様	10Base2 または 10BaseT
転送速度	10Mbps
通信プロトコル	TCP/IP
対応プロトコル一覧	
ARP	アドレスリゾリューションプロトコル
IP	インターネットプロトコル
ICMP	インターネットコントロールメッセージプロトコル
TCP	トランスミッションコントロールプロトコル
UDP	ユーザデータグラムプロトコル
FTP	ファイル転送プロトコル
TFTP	簡易ファイル転送プロトコル

## 5.2 サーボガン®

スポット溶接は、従来エア駆動の溶接ガンを使用してきた、しかしながらエア駆動のスポットガンで

は以下の問題点を抱えていた。

- 1) ロボットと同期した加圧動作がやりにくい。
- 2) きめ細かい加圧力コントロールが出来ない。
- 3) 溶接品質の向上が難しい
- 4) 騒音が大きい

サーボガンは、エア駆動を使用せず、サーボモータ駆動により、加圧動作を行うスポット溶接ガンである。

サーボモータによる加圧制御により、前記の問題点を解決するとともに、次のような特長を備える。  
(注「サーボガン」は不二越の登録商標である。)

### 5.2.1 無段階ストローク制御

従来、一定であったガンのストロークを任意に設定でき、また、サーボコントロール部をロボットの制御下におくことにより、図8の①~⑤のようにロボットが移動しながら電極を開閉させることが出来

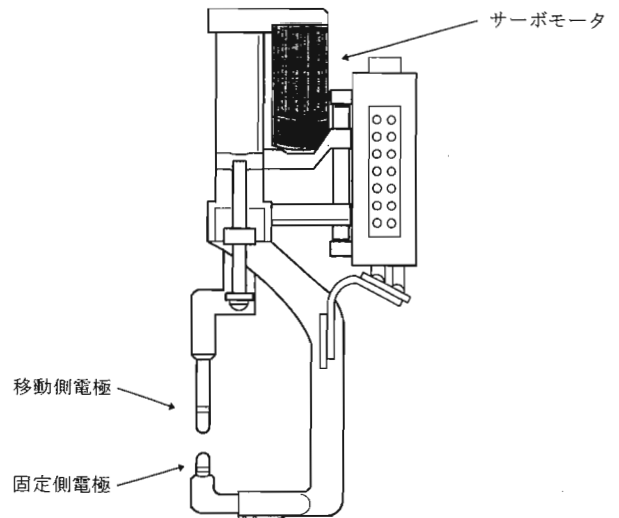
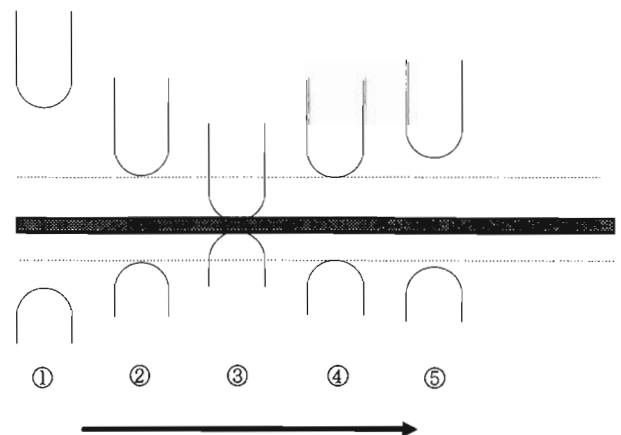


図7 サーボガン外観図



ロボットが移動しながら加圧動作を行う

図8 サーボガン同期制御

るので、打点当たりの加圧時間を最短にすることができ、サイクルタイムの短縮が可能となった。ここでいう加圧時間とは、ガン開放状態から、ガンを閉じて加圧し、通電し、開放し終わるまでの時間である。

### 5.2.2 加圧力制御

加圧力をサーボコントロールすることで、安定した加圧状態を保つことができる。これにより、チリ、スパッタが少なくなり、かつ、溶接後の打痕がきれいになり、溶接品質が向上する。

### 5.2.3 チップ摩耗量補正

加圧動作を行いながら、チップの摩耗量を自動的に計測し、摩耗量に合わせてロボット位置をシフトするので、ワークの変形を最小にすることができる。

### 5.2.4 ソフトタッチ制御

電極の到達位置、移動速度を最適にコントロールすることにより、加圧時の騒音がなくなった。

ロボットの動作で固定側電極をワークに接触させるロボットイコライズ機能により、固定側電極の接触と可動側電極の接触タイミングを最適に制御することで、ワークをソフトに加圧する。加圧時のワー

クの跳りが大幅に軽減されるので、治具ポスト数を減らすことができ、治具コストを低減できる。

## 6. おわりに

以上、AR50 制御装置の新技术について述べた。現代制御理論の応用により、高速化といった基本性能を飛躍的に向上させることができた。この基本性能はロボットの価値であり、継続的に向上させることが重要である。特に近年 CPU の性能向上は目をみはるものがあり、今後の CPU の性能向上によっては、さらに高度な制御が適用可能である。

産業用ロボットは、スポット溶接やアーク溶接及び単純な組立作業には普及が進んだが、複雑な組立作業は技術的に難しく、まだまだ普及していない。さらにロボットの活躍の場を増やすため、今後技術的に一段飛び越えた機能の開発を行うよう取り組んでいきたい。

## 文 献

- (1) 蟹谷清；「高速ハンドリングロボット SC シリーズとその応用」 精密工学会 生産自動化専門委員会 研究例会講演前刷集，96-7，p.1-6(1996)



本堂 清

1982年入社、ロボット部にてロボットコントローラの開発に従事。  
1993年技術開発部ロボット開発部に移籍  
1997年ロボット事業部ロボット開発部に移籍、現在に至る。