

AX ロボット制御装置

AX Robot Controller

キーワード

ロボット制御装置, ANSI/RIA, パソコンベース, WindowsNT, ペンティアム, IEC1131-3, 二重化安全回路, サーボガン

ロボット事業部 ロボット製造所 開発部

桐井 裕司

丸山 章

浜田 博文

1. はじめに

企業の国際化が進む中、設備機械のグローバルスタンダード化が求められている。グローバルスタンダード化の一環として産業用制御機器にパソコンが組み込まれることが多くなっている。理由は市販のボードやソフトウェアの活用、周辺機器との接続性の容易化、グラフィカルなユーザインタフェースによる操作の容易化、CPU の高速化に伴うコントローラの高性能化、統一プラットフォームによる開発期間の短縮などが挙げられる。反面パソコンベースのコントローラを量産機に適用させるには信頼性とコストの壁があった。オープン化をうたったパソコンベースコントローラがもてはやされながらも普及が進まなかった原因がここにある。今回、株式会社ダイヘン殿と共同開発した AX 制御装置はパソコンベースのハードウェアに WindowsNT embedded (組み込み機器用の WindowsNT) を搭載し、高性能化、高機能化を図るとともに高い信頼性を実現している。本稿では AX 制御装置についての概要を紹介する。

高速プロセッサと WindowsNT に付加したリアルタイムエクステンションによりロボット制御、周辺機器制御、ヒューマンインタフェースのすべての処理をシングル CPU、シングル OS で実現している。

ストレージボード (メモリボード) にはハードディスクの代わりに大容量の半導体メモリ (コンパクトフラッシュカード) を搭載し、温度や振動などに対する信頼性を確保している。IDE バスと PCM/CIA バスにそれぞれコンパクトフラッシュカードが接続されているが PCM/CIA に接続されたものはデータのバックアップ用である。

2. 装置構成

AX 制御装置の構成を図 1、外観を図 2 に示す。

2.1 CPU ユニット

CPU ユニットはペンティアムプロセッサを搭載したパソコンボードをベースに構成し、OS は WindowsNT embedded にリアルタイムエクステンション (実時間処理機能) を付加した構成としている。

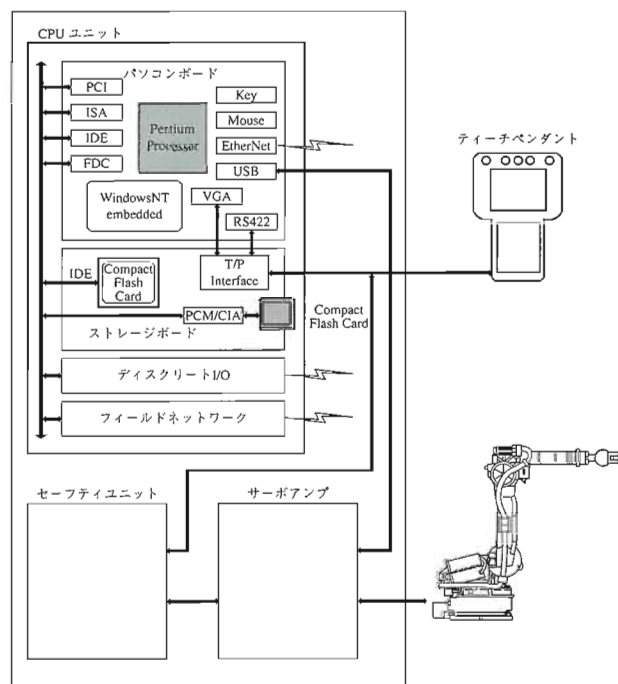


図 1 AX 制御装置ブロック図



図2 AX制御装置外観

フィールドネットワークは DeviceNet, Profibus-DP, Interbus-S 等を使用環境に合わせて選択することが可能である。

2.2 ティーチペンダント

AX 制御装置のティーチペンダントは、従来から好評を得ている AW 制御装置のティーチペンダントに対し更に操作性を向上させたものになっている。ハードウェア面では運転準備入り、起動、停止の各スイッチをティーチペンダント上に配置することによってティーチペンダントによる一元操作を可能にし、また、3 ポジションデッドマンスイッチを標準装備することにより安全性を向上させた。図 3 にティーチペンダントの外観、表 1 に従来品との仕様比較を示す。

2.3 サーボアンプ

サーボアンプは標準仕様 7 軸であるが、制御装置としては最大 54 軸 (9 軸×6 台) まで拡張制御できる構成になっている。制御軸数の増加は複数ロボットでの協調作業アプリケーションが増えてきたことを考慮したものである。制御軸数を増やすと共にマルチメカニズム、マルチユニットという概念を取り入れ、協調作業アプリケーションに容易に対応できるようにした。メカニズムとユニットについて簡単に説明する。メカニズムとは 1 軸以上を有する機械を意味し、マニピュレータ (6 軸)、サーボガン (1 軸)、走行装置 (1 軸)、ポジションナ (1,2 軸) などの最小の制御単位をいう。ユニットとは協調制御/同時制御する複数台のメカニズムの制御グループを意味し、仕事をする単位をいう。図 4 にメカニズム、ユニットの概念を示す。最初は 2 台のロボットが独立して溶接作業をし、作業完了後に 2 台協調し



図3 ティーチペンダント外観

表 1 ティーチペンダントの従来比較

項目	AW 制御装置 (従来機)	AX 制御装置
画面サイズ	6.5 インチ 640×480 画素	同左
表示色	16 色	256 色
操作スイッチ	再生/教示選択 非常停止	再生/教示選択 非常停止 運転準備入り 起動 停止
デッドマン スイッチ	2 ポジション (3 ポジションはオプション)	3 ポジション
タッチパネル (オプション)	アナログ式	デジタル式
キースイッチ	54 個	同左

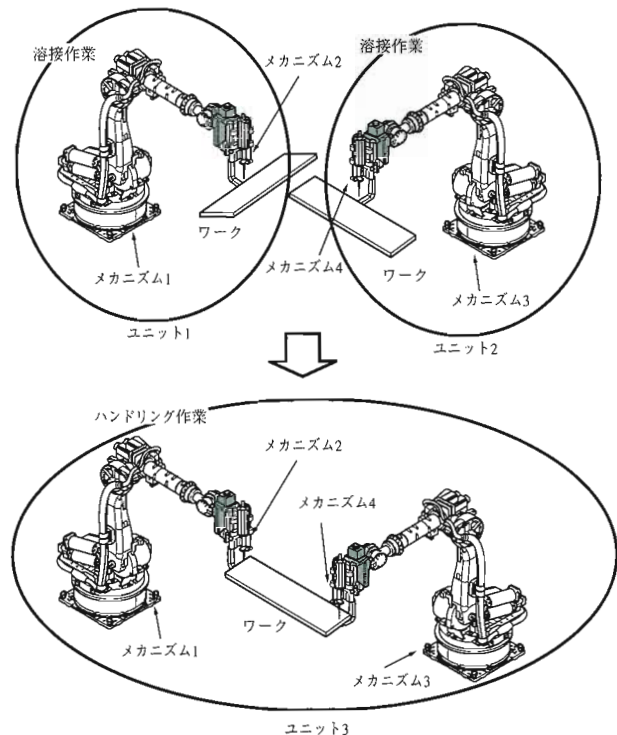


図4 メカニズムとユニット

てワークを搬送する例である。2 台のロボットが独立して作業するときにはユニットが 2 つになり、それぞれのロボットで教示/再生することができる。また、

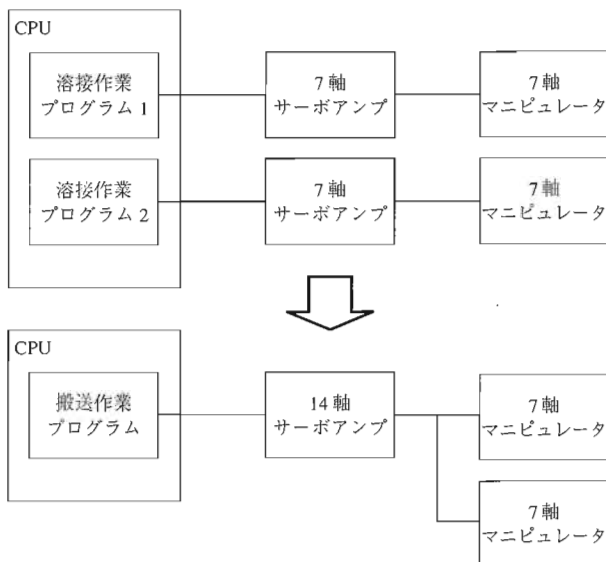


図5 サーボアンプの制御単位

2台で協調するときはユニットが1つになり、2台同時に教示/再生することができる。このユニット構成はダイナミックに切換えることが可能であり、協調アプリケーションへの対応を容易にしている。サーボアンプもメカニズム、ユニットに対応するため、図5に示すように制御単位を変更できるようになっている。

2.4 セーフティユニット

セーフティユニットは非常停止回路を2重化し安全性を向上させている。従来、安全カテゴリ4の回路はオプション扱いで主に米国、欧州仕様に適用していたが、AX制御装置では3ポジションデッドマンスイッチを標準仕様とすると共に非常停止回路の2重化も標準装備とし、欧州ENや米国ANSI/RIAの国際安全規格に準拠したフェイルセーフな安全回路を搭載している。表2に日本と欧米の安全に関する考え方の相違を示す。リスク管理の観点から言えば両方の考えを持ってはじめて安全を確保できる

表2 安全に対する考え方

	日本	欧米
災害の要因	人の問題	技術の問題
安全の確保	安全教育	安全技術の向上
安全技術	危険検出型技術	安全確認型技術
安全にかかるコスト	最低限のコスト	安全にコストをかける

ものである。

3. AX 制御装置の機能

3.1 ソフトウェア PLC

PLC (Programmable Logic Control) 機能は従来よりソフトウェアで実現していたが、AX制御装置ではパソコンコントローラの利点を最大限に生かし、市場で広く受け入れられている市販 PLC エンジン ISaGRAF を搭載した。編集可能プログラムサイズ、内部 I/O とともに従来比約 4 倍に増量するとともに、ワークベンチ (プログラムの作成やデバッグするためのツール) を使用することによって国際標準言語 IEC1131-3 の 5 言語 (SFC, FBD, LD, ST, IL) をフルサポートした本格的 PLC とした。IEC1131-3 は欧米市場でソフトウェア PLC の標準言語として定着しつつある。以下に IEC1131-3 特長を記す。

- PLC 機種に依存しないプログラミング言語である。
- 構造化により誰でもわかりやすい表記である。
- 再利用によりプログラミング効率を向上する。
- 制御内容に適したプログラミング言語を自由に選択できる。
- IL+FBD, SFC+LD など混在記述が可能である。
- ワークベンチを使えば実機なしでプログラムデバッグができる。
- メモリアドレスを気にせず I/O 名称でプログラミングできる。

表3および図6に5言語の特徴とプログラミングイメージを示す。

表3 IEC1131-5の5言語の特徴

名称	特徴
SFC シーケンシャル・ファンクション・チャート	構造化プログラミングの新しい手法。フローチャートのように上から下へ視覚的に流れを書く。
LD ラダー・ダイアグラム	ラダー図でプログラムを記述する。PLCシーケンスプログラムの表記に最適。
FBD ファンクション・ブロック・ダイアグラム	ブロック図でプログラムを記述する。ユーザーは自分のファンクションブロックを自由に記述でき、それを何回も再利用することができる。
ST ストラクチャード・テキスト	PASCAL言語に似た記述方式である。数値アルゴリズムのプログラミングに最適。
IL インストラクション・リスト	LD・AND・OR・STなどニーモニックで記述する。

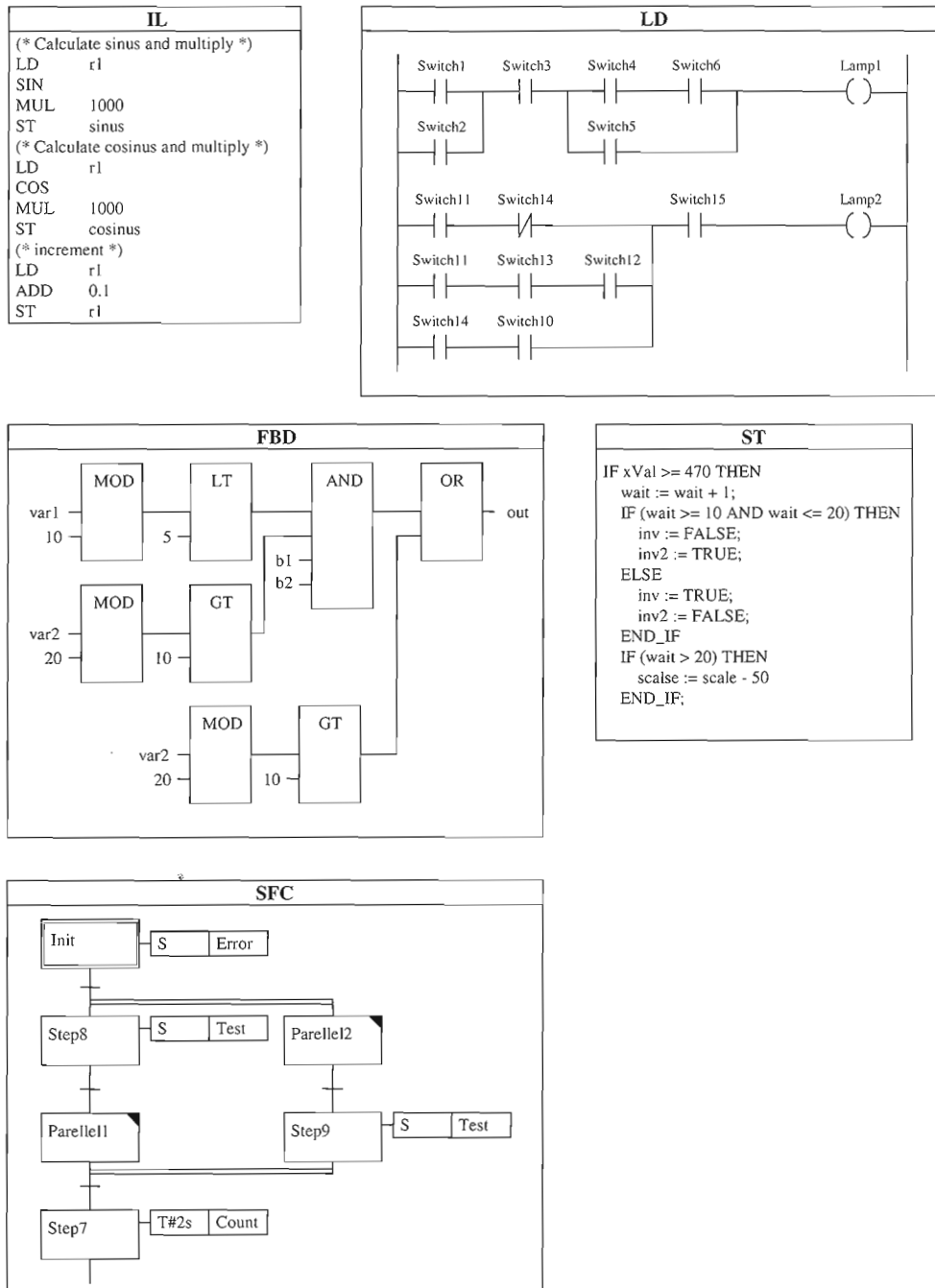


図6 IEC1131-3の5言語の表記

シーモニックとラダーは従来からよく使用されていたが、プログラムの視認性の悪さ、煩雑さから保守性に難点があった。IEC1131-3のSFCやFBDがこれらを解消する手助けとなる。SFCのプログラミングイメージを図7に示す。各ステップはラダー図で記述し、複数のラダー図をSFCで結合したものである。数百ステップのラダーを1画面で表示し、現在どのステップを実行しているかもワークベンチで確認することができる。

また、ティーチペンダントでもラダー図の表示編集が可能であり、ロボットのティーチング修正と同

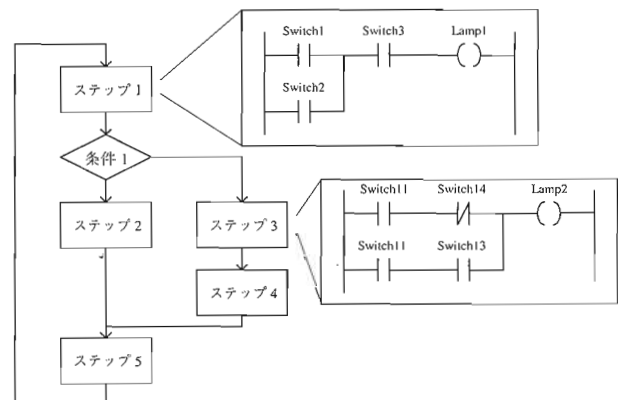


図7 SFCのプログラミングイメージ

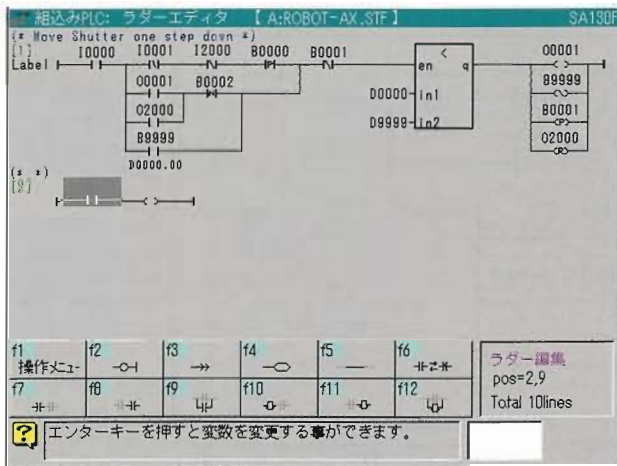


図 8 T/P 上のラダー編集画面



図 10 トラブルシューティング画面 1

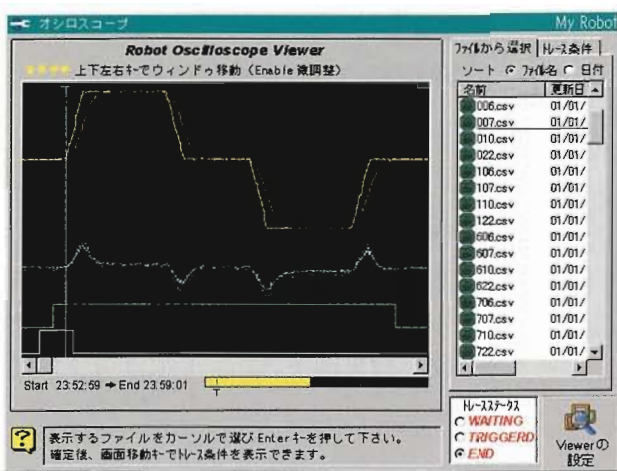


図 9 ロボット診断画面



図 11 トラブルシューティング画面 2

じ感覚でラダーを編集することができる。図 8 にティーチペンダント上の編集画面を示す。

3.2 ロボット診断ツール

ロボットの予防保全活動のひとつとして、決められた動作パターンの各軸速度や実電流を定期的に計測しその推移を観察することがある。これには、通常、デジタルオシロスコープ等の計測器を用意し、サーボアンプ等から出力されるアナログ電圧を観測する。AX 制御装置ではこれをソフトウェアで実現することによって計測器を不要としたばかりでなく、これまで出来なかったモーション制御データや I/O データの同時計測、またエラー発生を計測開始トリガと出来るなど、多彩なデータ計測を可能とすることで高度なロボット診断が可能である。図 9 は起動信号、ロボット移動速度、モータ電流を表示した例を示す。

3.3 保全支援ツール

通常、トラブルシューティングや部品交換手順は、純理的に構成されたフローチャート形式で記述される場合が多い。しかしこれだけの情報では、長年の経験を積んだオペレータと未経験者とはどうしても作業時間に差が生じる。そこで AX 制御装置では、使用工具から実際に交換手順までの作業を詳しくビジュアルで紹介する機能を搭載することによって、初めてのオペレータでも熟練者と同じ作業がいち早く習得できるように配慮した。図 10, 11 のような画面をティーチペンダントで直接閲覧することが出来る。

3.4 電子マニュアル

表示されているメニューが何かわからない、専門用語がわからない、といった場合に参照する参考文献説明書を AX 制御装置のティーチペンダントで直接表示できる「電子マニュアル機能」を開発した。いちいちマニュアルをひらく手間がはぶけるば



図 12 電子マニュアル例 1

かりでなく、HTML ブラウザを利用した強力な閲覧・検索ツールは飛躍的な操作性向上を実現した。

4. ロボット制御性能

4.1 スポット溶接の高速化

自動車ボディの溶接などに使用されるスポット溶接は、自動化が容易であるため産業用ロボットの創世紀から適用されたアプリケーションであり、現在でも産業用ロボットシステムの重要な位置を占めるものである。最近、スポット溶接アプリケーションの中でも、ガンをサーボ制御したサーボガンによる

スポット溶接が主流になっている。AX 制御装置では、そのサーボガンによるスポット溶接作業時間に注目し、作業時間を 1.23 秒/1 打点 (AW 制御装置) を 0.79 秒/1 打点 (AX 制御装置) へと約 35% 短縮した (図 13 参照)。このような大幅な作業時間短縮が行えた背景には以下のような新規開発技術がある。

- ・加圧電流制御技術
- ・ハードウェアの最適化による I/O 通信時間の短縮

4.2 ロボット動作時間短縮

4.1 節で述べたサーボガンの動作時間短縮とともに、ロボットの基本性能であるサイクルタイムの短縮も実現している。これはロボットの動作軌道計画部のアルゴリズムを改良することと 10 倍近い性能を持つ CPU により実現できた。実際のアプリケーションを想定して作成された評価用プログラムでは表 4 に見られるように全てのケースにおいてサイクルタイムの短縮を達成している。

表 4 ロボット動作時間比較

評価パターン	AW 制御装置 (従来機)	AX 制御装置	短縮率
スポット溶接	26.06 秒	21.86 秒	16%
ハンドリング	11.12 秒	10.75 秒	3%
耐久指定動作	8.92 秒	7.28 秒	19%

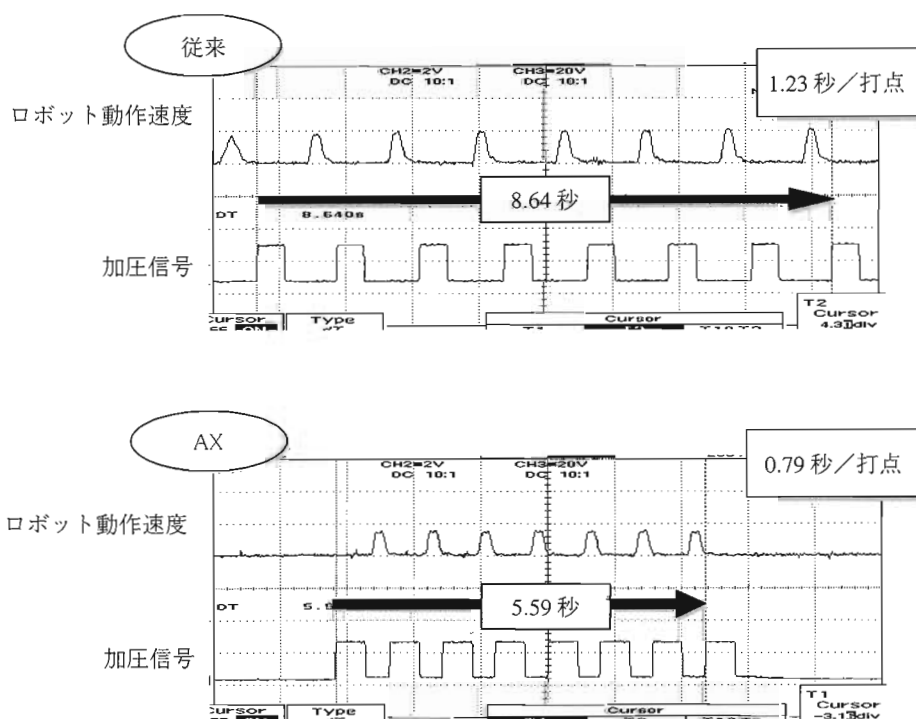


図 13 サーボガンサイクルタイム比較

5. オープン化

5.1 オープン化の目的

オープン化の効用については言い尽くされているが、不二越のロボットが制御装置のオープン化を推進するにあたり、再度述べさせて頂く。

まず、オープン化とはロボット制御装置に対するさまざまな要求に応えられるようにすることを目的としたものである。例えば、ロボットの主要顧客である自動車メーカーは新たに製造ラインを構築する場合、最先端技術を導入した独自の設備を作る。そこに投入されるロボット制御装置には新しいインタフェース、新しいソフトウェア機能等が数多く要求される。ここでは新規開発項目を如何に少なくできるか、また、ユーザとメーカー以外のサードパーティにソフトウェア等の製作を委託できるかが重要な課題となる。その解決策の最有力候補が制御装置のオープン化である。AX 制御装置での具体例を交えてパソコンベースコントローラのメリットを述べる。

5.2 市販のボードと市販ドライバソフトウェアの活用

例えば、フィールドネットワークには DeviceNet, Profibus-DP, Interbus-S 等の国際標準規格が数多く存在する。ロボット制御装置はこれらの標準的なフィールドネットワーク全てに対応できなければならないが、全てをカバーするには相応の開発期間を要する。当然、市場シェアの小さいものは後回しになり、一部の顧客の要望には応じることができないことになる。その点、市販の PCI バス用ボードと付属のドライバソフトウェアを利用すればフィールドネットワーク機能を容易に使用することができる。ここで不二越の従来制御装置が採用していた VME バスとの相違をみてみる。VME バスもオープンバスであり、市販のフィールドネットワークのボードを電氣的、物理的に接続することはできる。しかし、それを動作させるにはソフトウェアを新たに作成しなければならない。ここが大きな違いである。パソコンベースのオープン化は単に物理的な接続ができるだけでなく、機能としての拡張が容易であることが大きなメリットである。

5.3 グラフィカルなユーザインタフェース

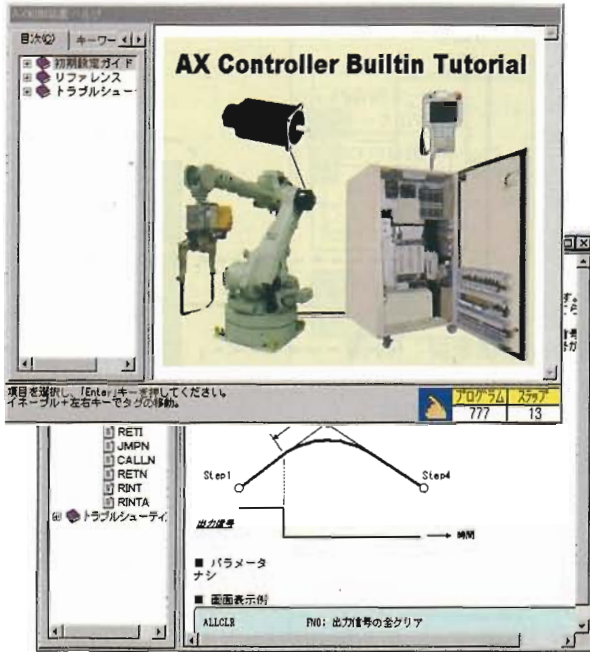
従来から不二越のロボット制御装置はカラーの GUI(グラフィカルユーザインタフェース)を搭載し

ていたが、更に強力な GUI を提供する。従来はアイコンが主体であったが、図 14 に画面例を示すように Windows のヘルプ機能を利用した電子マニュアル、ツール設定画面にあるような設定に関する図解、一層リアルになったインタフェースパネルなど使い勝手が飛躍的に向上している。ここでインタフェースパネルについて簡単に説明する。インタフェースパネル(オプション)とはユーザがティーチペンダント上に操作スイッチやランプを並べ、独自の操作画面を構築する機能である。操作にはタッチパネルを用い、手で触れることで画面上の押しボタンスイッチやセレクトスイッチを操作することができる。8 画面まで登録できるので、予めアプリケーション毎に操作画面を作っておき、アプリケーションが変わったときはワンタッチで操作パネルを変更することも可能である。

5.4 CPU の高速化に伴うコントローラの高性能化

パソコンボードを利用することによりパソコン分野で開発された技術をそのまま転用することができる。例えば、パソコンに搭載される CPU の性能はムーアの法則 (Intel のゴードン・ムーア名誉会長が唱える法則で、半導体の集積度は 18 カ月で 2 倍になる) にほぼ従って毎年高性能化している。AX 制御装置には従来比約 10 倍近い性能を持つ CPU を採用し、ロボットの基本性能であるサイクルタイムの短縮や軌跡精度の向上を実現している。図 15, 図 16 に CPU 構成の比較を示す。

従来は 1 つの CPU で全ての制御を賄えないため、3 つの CPU で処理を分散して実行していた。1 つ 1 つの CPU の負荷は軽くなるが CPU 間通信のオーバーヘッドがロボットの制御に影響を及ぼすという問題があった。実際にロボットが作業を行う場合、溶接機などと同期を取る必要がある。仮に同期を取るときに 10 ミリ秒のデッドタイムがあるとすると、100 箇所の溶接作業でタクトが 1 秒延びることになる。AX ではこのデッドタイムを 0 としている。また、高速 CPU の採用で 3 つの CPU を 1 つにして CPU 間通信のオーバーヘッドをなくし、かつ、軌跡の演算周期を 1/4 としている。図 17 に従来機とのサーボガンサイクルタイムの比較を示す。従来機のサーボガンサイクルタイムを 1 としたときの AX 制御装置のサイクルタイム (1 打点の溶接に必要な処理の時間比率) を表示している。I/O 処理時間短縮の部分



電子マニュアル



ツール設定画面



インターフェースパネル

図 14 表示画面例

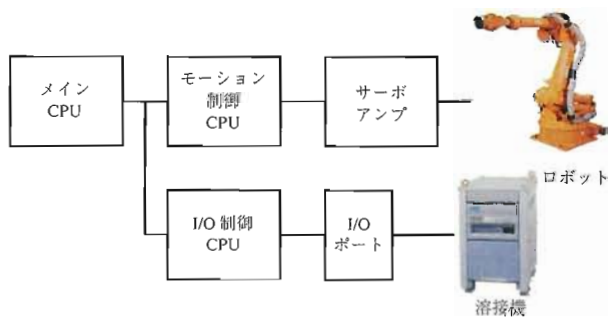


図 15 従来機の CPU 構成

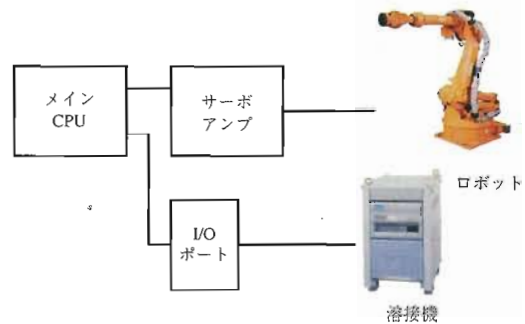


図 16 AX 制御装置の CPU 構成

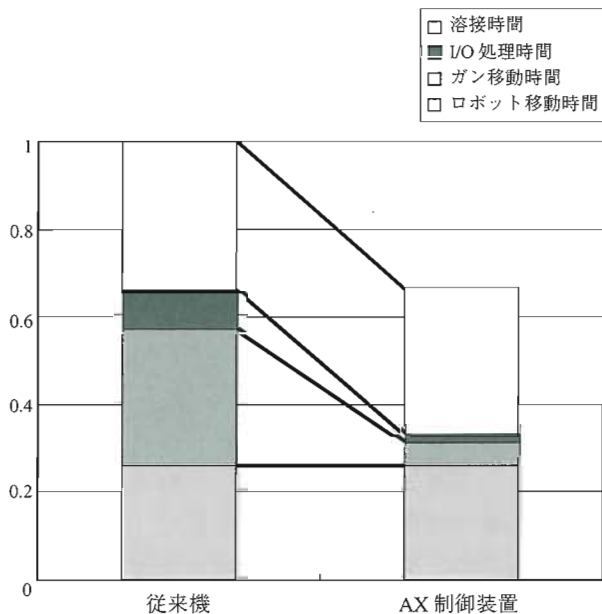


図 17 サーボガンサイクルタイム比較

が CPU の高速化と CPU 間通信のオーバーヘッド削減の効果である。

5.5 グローバルスタンダードな開発環境

ユーザのシステムに適合させるための機能追加はしばしば行われるが、ロボット制御装置に含まれるソフトウェア、ハードウェアの開発は全てロボットメーカーが行わなければなかった。ロボットメーカーが対応できない理由は独自の開発環境や制御装置内部の専門知識が必要であったからである。しかし、ロボットメーカーが実施するよりもユーザのシステムにより詳しいエンジニアや機器メーカーが実施した方が性能、コスト、納期の各面でメリットがある。パソコンベースとしたことでソフトウェア、ハードウェアの開発環境がメーカー固有のものでなくなり、必要とされる専門知識も大半は既に共有されているものになる。図 18 に従来の溶接機インターフェースの例を示す。溶接機との通信仕様が溶接機メーカー独自のものであり、溶接機メーカーがロボットメーカーのハードウェア仕様に合わせてインターフェースカードを設計する。溶接機制御用ソフトウェアはロボットメーカーの設計となる。本来、ロボット制御装置、溶接機それぞれがモジュール化され、ロボットメーカー、溶接機メーカー関係なく接続できた方がよい。ユーザがロボットメーカー、溶接機メーカー関係なく選択できるようにするには、図 19 にあるような切り分けがよい。これがパソコンベースのコントローラであれば容易に実現できる。

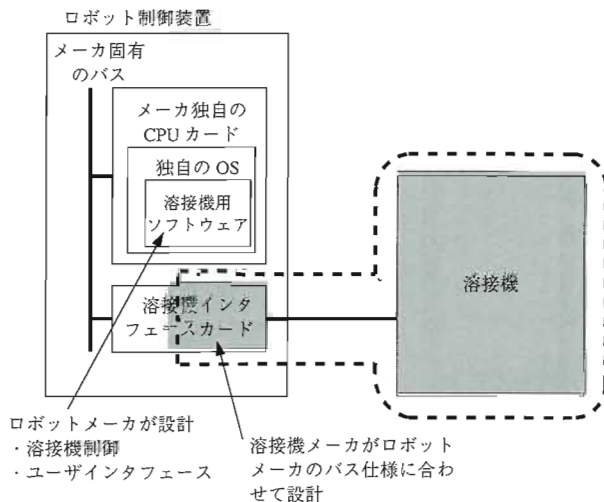


図 18 従来の溶接機インターフェース例

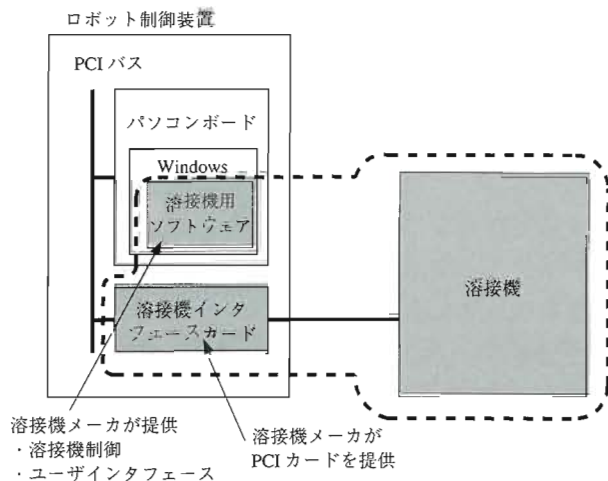


図 19 AX の溶接機インターフェース例

6. パソコンベースの信頼性

6.1 リアルタイム性

リアルタイム性とは 1 つの処理を定められた時間内に確実に処理すること、ある事象が発生してから処理を実行開始するまでの時間が如何に短いである。例えば、ロボットが 5msec 周期で目標位置を計算して直線補間で動作する場合、確実に 5msec 周期で計算しなければならない。時間内に計算できない、または処理を開始するまでの時間が長いと、演算時間にばらつきが発生して速度むらや振動といった現象となって現れる。WindowsNT では 10msec 程度の精度しか期待することができず、目標性能を達成することができない。これは Windows の性能が悪いからという理由ではなく、元々のパソコンの利用目的からきた仕様によるものである。これを解決するために従来はユーザインターフェース

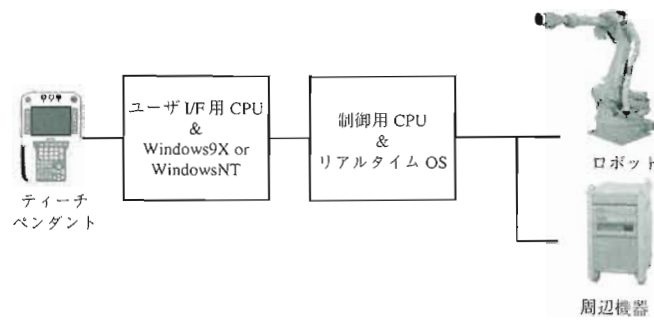


図 20 従来型の Windows を用いたシステム構成

(Windows) 用 CPU と制御用 CPU のマルチ CPU, マルチ OS で構成する手法がとられることが多かった。図 20 にその構成を示す。この方式のデメリットはオープン化される部分が限定されることである。システムの構成にもよるがユーザインタフェース機能しかオープン化されない可能性もある。AX 制御装置では図 21 に示すように高速な CPU と WindowsNT にリアルタイムエクステンションを追加することによってシングル CPU, シングル OS を実現している。リアルタイムエクステンションとは WindowsNT にリアルタイム性を付加するための機能であり、実体は WindowsNT の核の部分に追加するソフトウェアである。またリアルタイムエクステンションは WindowsNT がハングアップ（一般にブルー・スクリーンと呼ばれる画面になる）しても動作し続け、サーボ電源の遮断等の処理を行っている。図 22 にロボットの補間演算の一部を WindowsNT 単体で実行したときとリアルタイムエクステンションを追加したときの演算実行時間のばらつきを示す。WindowsNT 単体の場合は演算時間に 15~120 μ 秒のばらつきが発生するのに対して、リアルタイムエクステンションを付加することにより 8~14 μ 秒のばらつきで演算できることを示している。

6.2 電源遮断時の処理

WindowsNT を搭載したパソコンは電源を OFF するときには次回の起動に備えて OS の内部データを保存する処理が必要である。工場では停電もあり、電源を遮断するときは一連の手順が必要な機械は使用物にならない。また、電源が再投入されたときに再生されるプログラム番号や出力信号を元の状態に復帰できなければならない。これを解決するための一般的な手法がある。WindowsNT embedded と RAS 機能の追加である。WindowsNT embedded とは WindowsNT を組み込み機器用に最適化したもので

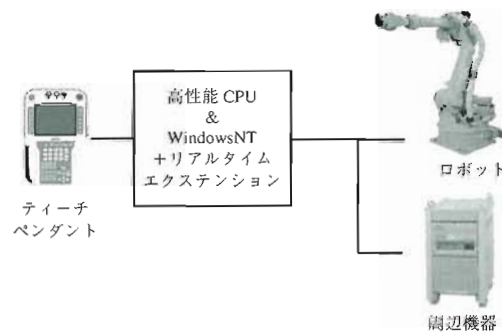
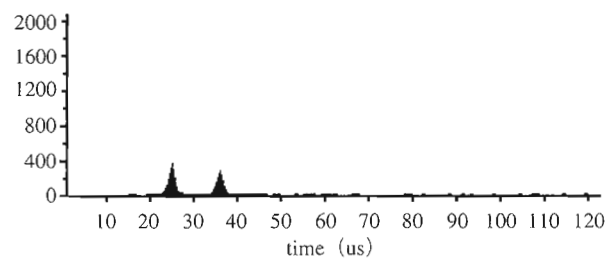


図 21 AX 制御装置のシステム構成

WindowsNT での処理



リアルタイムエクステンションを付加しての処理

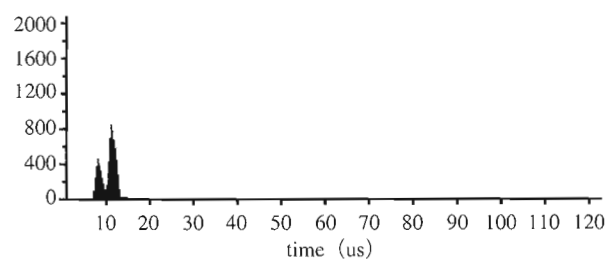


図 22 演算実行時間のばらつき比較

WindowsNT の必要な機能だけを抽出してカスタマイズすることができる。RAS とは Reliability, Availability, Serviceability の略であり、一般的に電源監視, CPU 動作監視, 温度監視などをいう。

AX 制御装置のパソコンと一般的な OA パソコンとの相違を図 23 に示す。

6.3 ハードディスクの信頼性

ハードディスクは高速で安価なデバイスでパソコンに使用されているが、振動や発熱に対して弱く産業用機器に組み込むと装置全体の信頼性を著しく低下させる。AX 制御装置では信頼性確保のためハードディスクの代わりにシリコンディスク（コンパクトフラッシュカード）を採用している。ここには WindowsNT の基本部、ロボット制御アプリケーション、作業プログラムを格納している。コンパクトフラッシュカードの採用により堅牢化すると共に作業プログラムの保存にバッテリーが不要になりデータの安全性も向上させた。図 24 は OA パソコン、従来の制御装置、AX 制御装置のデータ保存形式の比較を示す。

接続性等を向上させるとともに、パソコンの採用、欧米安全規格への適合、IEC1131 ソフトウェア PLC の採用等、グローバルスタンダードな制御装置を目指した。日本企業の海外工場設立が増加する中、グローバルスタンダードな制御装置は顧客に大きなメリットをもたらすものと考えられる。

また、AX コントローラは株式会社ダイヘン殿と共同で開発を行った。ダイヘン殿の優れた技術が AX 制御装置の品質向上に大きく貢献したのは言うまでもないが、良い刺激を受けそれが AX 制御装置の完成度を一層高めたといつてよい。

(注)

- Windows, WindowsNT, WindowsNT embedded は米国マイクロソフト社の登録商標です。
- Pentium は米国インテル社の登録商標です。
- ISaGRAF は ALTERSYS 社の登録商標です。

7. おわりに

産業用ロボット制御装置 AX の概要と機能、性能について述べた。制御性能、操作性、周辺機器との

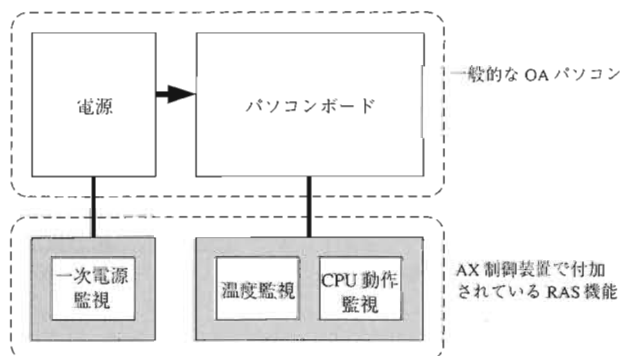


図 23 RAS 機能

	従来機	OA パソコン	AX 制御装置
構成	CPU フラッシュROM ・ OS ・ ロボット制御ソフト C-MOS RAM ・ 作業プログラム ・ パラメータ バッテリー	CPU ハードディスク ・ OS (Windows) ・ ロボット制御ソフト ・ 作業プログラム ・ パラメータ	CPU CFカード ・ OS (Windows) ・ ロボット制御ソフト ・ 作業プログラム ・ パラメータ
信頼性	○	×	○
保守性	△	○	○
容量	×	○	△

図 24 データ保存形式