

AW コントローラ

AW Controller

キーワード

産業用ロボット、オープン化、ロボットコントローラ、サーボ制御、PCI バス、VME バス、マルチウィンドウ

ロボット事業部ロボット開発部

桐井裕司

技術開発部電子技術部

寺島明

■ 摘要

近年、多品種少量生産への移行に伴いロボットへのニーズが変化しつつある。大量生産では作業品質と生産性の向上に寄与する高精度、高速性能、高信頼性がロボットを評価する上で最重要ポイントであったが、ライン変更を伴う多品種少量生産ではこれらに加え、システムの柔軟性と容易な操作性を提供できることが重要なポイントになってきた。システムの柔軟性には、ロボットと他の装置とを組み合わせた生産設備を容易に構築、変更できることと共に、統合された操作環境を提供できることがある。これにはロボットコントローラのオープン化が不可欠であり、また、カラー、3次元表示といったものが操作の容易化に有効な手段である。このように変化しつつあるユーザーニーズに対応するため、新型ロボットコントローラ AW はこれらに重点を置き開発したものである。

■ Abstract

The recent trend from mass production to alternating low scale mass production has changed the demand of industrial robots. In mass production systems high accuracy, high speed and high reliability were the most important factors required for robots. In alternating low scale mass production however, system flexibility and easier operation have also become major factors. System flexibility is the case in which the robot & peripheral equipment can be incorporated in to a manufacturing system. This makes the "Open robot controller" indispensable. Easy operation is enhanced through the use of color 3D graphic display. The new AW has being developed putting emphasis on the two new factor in demand.

1. はじめに

今回開発した AW コントローラはオープン化と簡単操作に重点を置いた。以下にその内容について述べる。

2. オープン化

2.1 ハードウェアの基本構成

図1に AW コントローラのハードウェアブロック図を示す。コントローラの小型化が求められているなか、カスタム LSI 化と部品の高密度実装により、従来と比較して面積を 30% 以上小型化している。また、基板故障時の復旧時間を短縮するため、ティーチペ

AWコントローラ

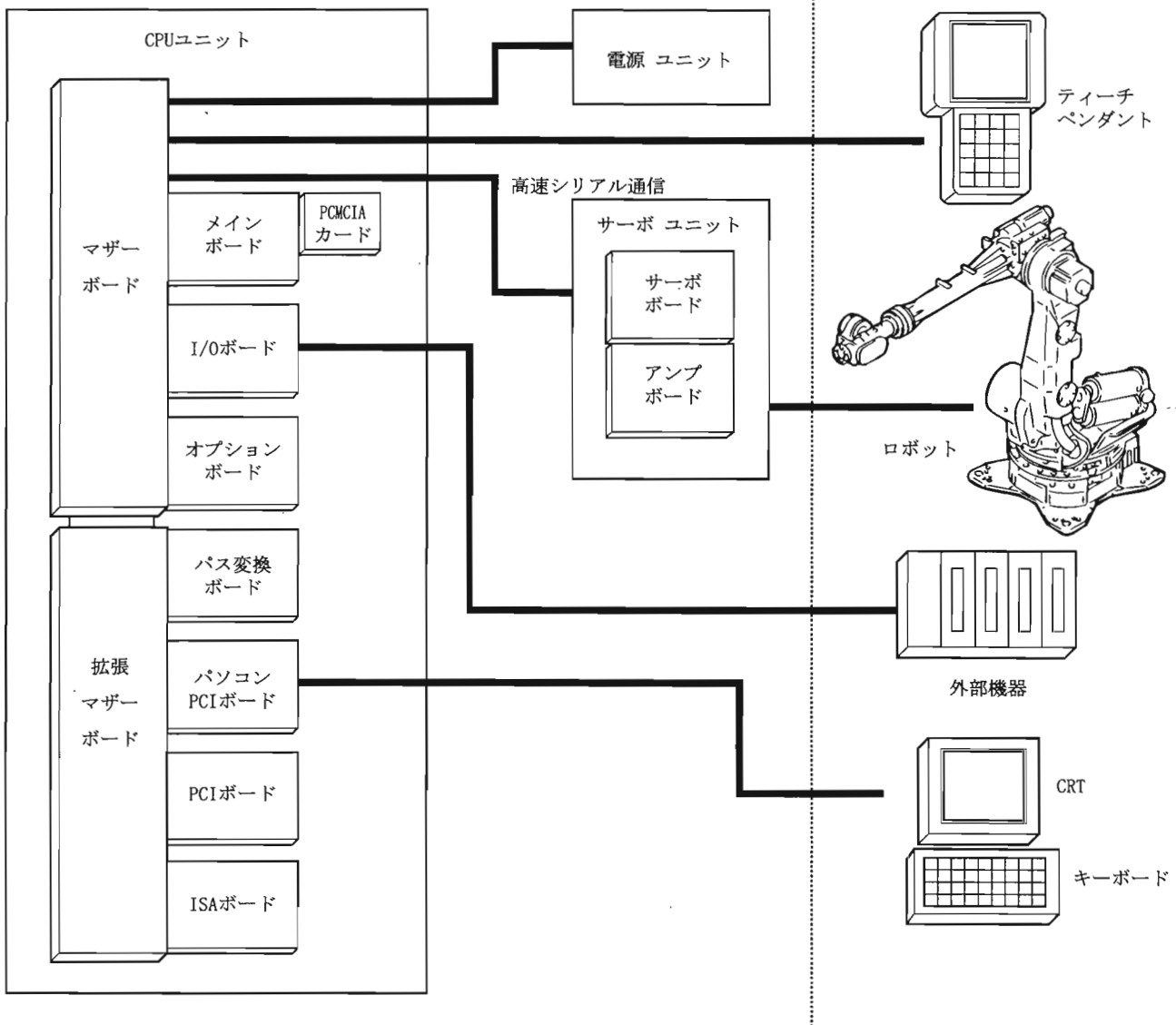


図1 ハードウェアブロック図

ンダント，サーボユニット，電源ユニットとの接続用コネクタをマザーボード上の1個所に配置し，基板単体の交換作業時のコネクタ脱着作業をなくすことにより交換に要する時間を大幅に短縮した。CPUユニットの標準構成としては，メインボードとI/Oボードの2枚で構成される。メインボードは，32bitCPUとモーションコントロール専用DSPとで構成される。その周辺部品は3個のカスタムLSIに集約することで，小型化と部品点数の削減による信頼性の向上を図った。また，CPUの処理能力も従来比4倍となり，一層滑らかな制御を実現した。図2に従来のARコントローラとAWコントローラのメインボードの比較を示す。I/Oボードも32bitCPUで構成され，高機能なPLC

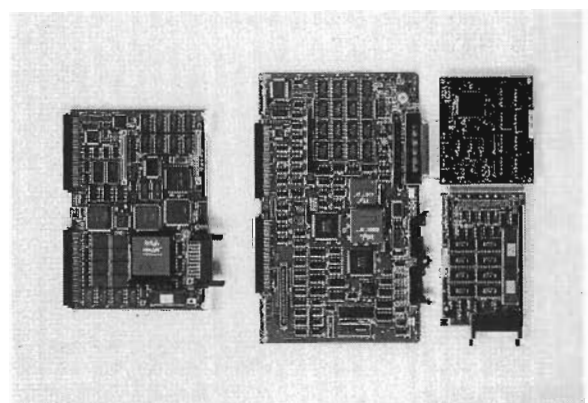


図2 メイン基板サイズの比較

機能と外部機器との通信機能を内蔵する。ロボットの制御とI/Oの制御を個々のCPUで処理することにより、滑らかなロボット制御と高速なI/O処理を同時に実現している。さらに、マザーボードにはI/O専用バスが設けてあり、容易にI/O点数を拡張できる他、I/Oボード間の高速データ通信が可能とした。以上のように標準はメインボードとI/Oボードの2枚で構成されるが、センサーボード、ネットワークボード等のオプションボードが3枚挿入可能となっており、拡張性には十分な余裕がある。

2.2 パソコンバスへの拡張

近年のパソコンの普及は著しく、特に Windows (米国 Microsoft Corporation) 環境でのハードウェア/ソフトウェアの豊富な機能をロボット制御などに利用することが強く求められている。これらの要求に対して、AW コントローラではオプション機能としてパソコン接続のための拡張バスを準備している。拡張バスとは、バス変換ボードを用いてパソコンボード、パソコン標準の PCI ボード、ISA ボード等を使用可能にするものである。このバス変換ボードは、2個のカスタム LSI を使用し、compactPCI、PCI、ISA、VME の相互バス変換を行うことができる。これによって、パソコンの機能や資源を簡単に安価に利用できるよになっている。図3に示すように従来はパソコンとシリアル通信によりデータ転送を行っていたが、AW コントローラでは、直接パソコンとバス結合することで高速なデータ処理が可能となっている。高速データ転送によりパソコン内のデータをリアルタイムでロボット制御に利用することができ、パソコンの利用範囲を大幅に拡張した。例えば、パソコンの環境下でオフラインティーチング/シミュ

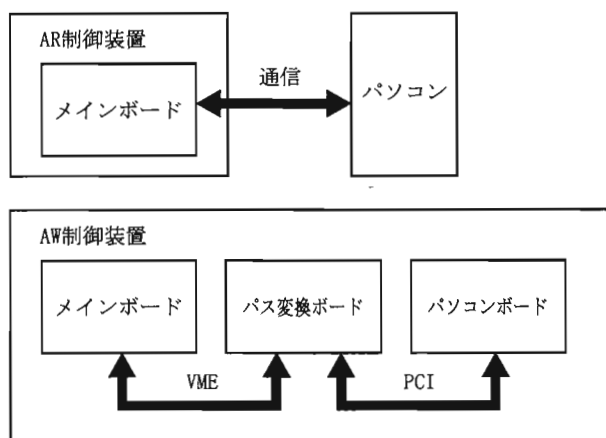


図3 パソコンとのインターフェース

レーションなどを行いロボットを操作することもできる。compactPCI、PCI バスを利用した例として、図4のようにパソコンボードとビジョンセンサーボードを利用したものやパソコンを使用しないで市販の PLC を接続したものがある。ここで compactPCI について簡単に述べる。現在パソコン用バスとして PCI バスが普及しているが、コネクタ、基板の固定方法等で産業用に不向きな点があり FA 機器に搭載するにはその点に十分留意しなければならない。そこで登場したのが compactPCI である。電気的特性は PCI と同一とした上で信頼性を向上させたものが compactPCI といってよい。以下に compactPCI の特徴を示す。

- (1) 従来の標準 PCI とは電気的仕様及びソフトウェアとしての互換性が保たれている。
- (2) 国際標準の高密度ピン/ソケットタイプのコネクタを使用することにより耐振動、耐衝撃性を高めている。
- (3) EMI 対策がコネクタに施されている。

このように compactPCI ボードを使用することによって、パソコンの使用をオフィス環境から産業用分野にまで広めることができるものであり、産業用としてこれからの普及が予想される。

2.3 PCMCIA カード

パソコンの周辺記憶装置として、広く普及しているメモリカード、I/O カード等の国際規格である PCMCIA に準拠したインタフェースを2チャンネル設けた。これにより、下記のカードが同時に使用可能となる。

- (1) SRAM カード
- (2) フラッシュメモリカード
- (3) I/O カード

従来はメモリカードのみの対応であったが、AW コントローラでは I/O カードが利用できるようになっている。現状では市販のイーサネットカードを用い

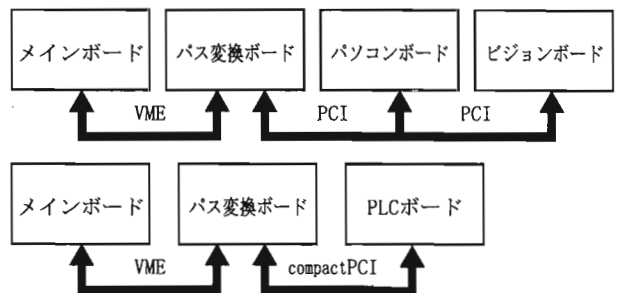


図4 市販ボードの接続例

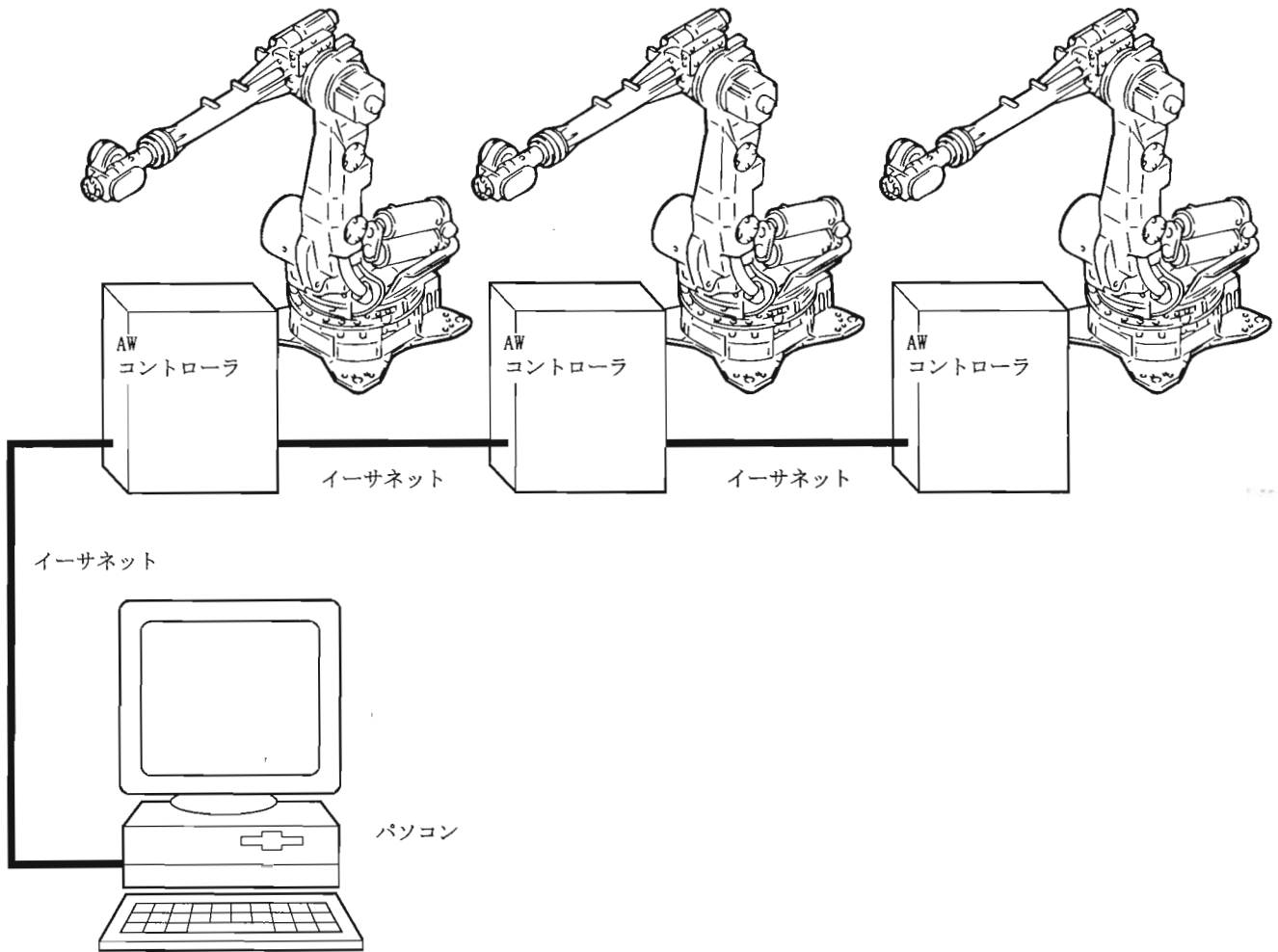


図5 イーサネットで接続したロボット同期制御

て TCP/IP プロトコルのデータ送受信が可能になっている。従来、メーカーが指定する数十万円もするボードを使用していたものをユーザが市販のパソコン用カードを2~3万円で購入し、機能を実現することも可能である。イーサネットを利用したアプリケーションの例として図5に示すように複数のロボットコントローラとパソコンをイーサネットで接続した同期制御がある。プロトコルにはインターネットでも使用されているFTP(ファイル・トランスファー・プロトコル)を用いて、プログラムやコントローラ内の制御データを通信している。

2.4 ネットワーク

パソコンバスへの拡張に加え、オープン化のもう一つの柱としてネットワーク機能がある。従来のARコントローラでもM-NET, ME-NET, リモートI/O, イーサネット(TCP/IP)等各種のネットワークに対応していたが, AW コントローラでは新たに, コントロールネット, デバイスネットに対応する。コン

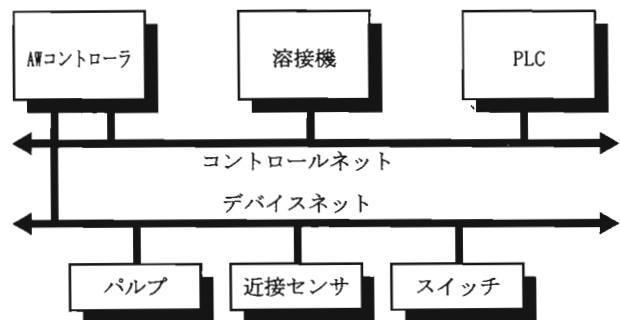


図6 コントロールネット, デバイスネットの接続例

トロールネットはPLC, リモート機器, コンピュータ間でリアルタイムにデータ転送ができる高速ネットワークである。デバイスネットはコントローラとI/O機器を1対1で結線されていたものをシリアル通信で接続し, 省配線とインテリジェント化による保守性の向上をねらったものである。コントロールネット, デバイスネットともに世界的に共通な接続方式のオープンネットワークであり, 今後の普及が予想される。図6にコントロールネット, デバイス



図7 ティーチペンダント

ネットの接続例を示す。

3. 操作性

3.1 ティーチペンダント

図7にティーチペンダントの外観を示す。ティーチペンダントはビデオカメラなどと同様にその重さや大きさは使い勝手に大きく影響する。AWのティーチペンダントは体積で従来比約75%となっている。ティーチペンダントのサイズはディスプレイ、キーを小さくし、キーの数を少なくすれば小さくなるが、逆に操作性が悪くなってしまふ。そこでAWコントローラでは、ファンクションキーとアイコン（機能をイメージした絵）を組み合わせる手法を用いた。ファンクションキーは操作画面毎に別の意味合いに使用されるキーである。従来はファンクションキーの意味合いが文字で示されるだけであったため、ファンクションキーを使用する操作は、目的のキーを探し、選択するという操作が必要であり、操作性を悪くしていた。そこでファンクションキーの操作を少なくするため、多くを専用キーに割り当てるようにしてきた経緯がある。しかし、AWコントローラではキーの数を少なくするため、専用キーを減らしファンクションキーを使用する方式を採用した。単に専用キーを減らただけでは前述のように操作性が悪くなるので、ファンクションキーの横にそれぞれの機能をイメージするアイコンを表示するようにした。これにより、ファンクションキーと実際の機能の対応が直感的に分かり、キーの数を減ら

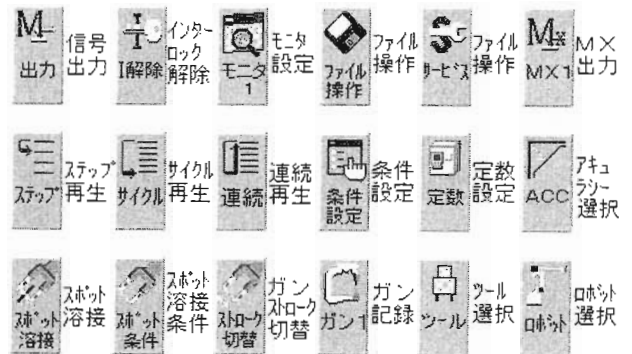


図8 アイコンの例

し、かつ、操作性を向上させることに成功した。

3.2 アイコン表示

ティーチペンダントの表示は640×480画素のカラーグラフィックである。前項でも述べたように大半の操作はアイコンが横に表示されたファンクションキーを用いて行うことができる。アイコンはパソコンのディスプレイでプログラムを絵でイメージしているようにAWコントローラでは機能を絵で表している。従来、キーを押す回数を操作性の指標としていたが、その中には“キーを探す”という項目があった。この点、AWコントローラではアイコンを表示することによって“キーを探す”という操作がほとんど皆無になっている。また、スポット溶接やアーク溶接といったアプリケーション毎にアイコンが準備され、汎用ロボット用コントローラでありながら、専用機のような操作性を提供することができる。図8はアイコンの一例である。

3.3 マルチウィンドウ表示

マルチウィンドウとは、1つの画面に複数の操作画面を表示する機能である。従来も2つの画面を表示できたが、AWコントローラでは、実行プログラムのステップ、制御装置の状態、I/Oポートの状態、ツール位置の座標など、最大4種類のモニタが同時に表示できる。例えば、プログラムをティーチング中にロボットの座標を確認し、手でハンドを開閉するといったような操作が設定画面を開かなくても同一画面上で可能となる。図9は教示画面に座標モニタ、出力信号モニタを同時に表示している例である。出力信号モニタ上へカーソルを移動して選択した信号をON/OFFすることもできる。

3.4 ユーザマクロ

ユーザマクロとはユーザが作成したプログラムで操作画面を制御する機能である。AW コントローラのユーザマクロの特長は SLIM 言語に画面制御関数、キー入力関数を追加した仕様となっていることである。SLIM 言語は'92年に JIS に制定されたロボット言語であり、不二越のロボットコントローラは制定当初から採用しているものである。従って、ロボットの動作プログラムを作成するのと同様の方法でプログラムを作ることができ、従来からのロボット言語を使用してユーザは簡単に独自の操作画面を作ることができる。図 10 にパレタイズをイメージしたユーザマクロの画面とプログラムリストの一部を示す。このように簡単なプログラムでユーザ独自の画面が作れる。

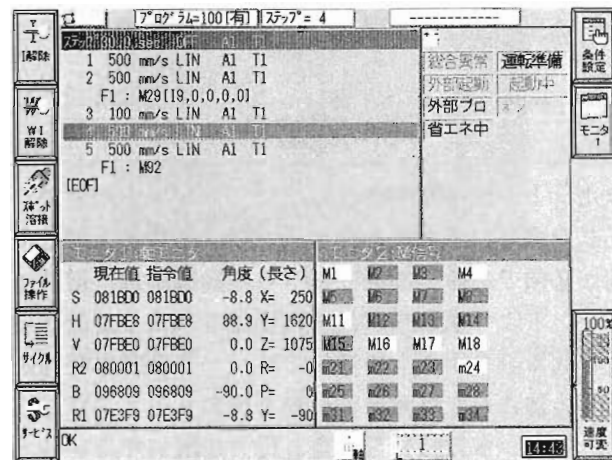


図 9 マルチウィンドウ表示

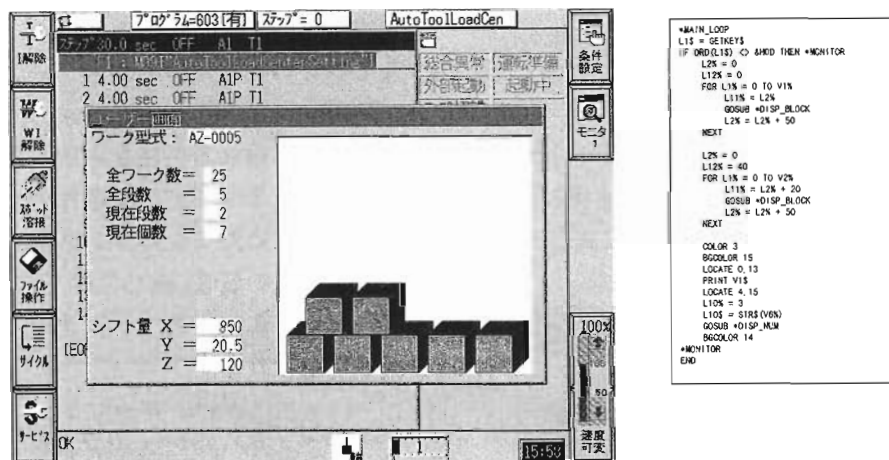


図 10 ユーザマクロ画面とプログラムリストの一部

4. 信頼性

4.1 パワーデバイスの損失低減

パワーデバイスには大きな電流が流れ、デバイス内部での電力損失による発熱はデバイス破壊につながるため損失の低減は重要課題である。IGBT は PWM 制御で使用しており、電力損失として定常損失とスイッチング損失が発生する。定常損失は IGBT が飽和領域で動作している時の電力損失で IGBT のコレクターエミッタ間飽和電圧とコレクタ電流で決定されるため低飽和電圧の IGBT を使用している。スイッチング損失は IGBT の ON および OFF 時の過渡的な領域における電力損失であり、スイッチング条件に大きく左右される。AW 制御装置ではスイッチング周波数を下げることにより約 30% の損失を低減している。また、損失により発生した熱を放出するためのヒートシンクへの IGBT 取付位置は熱分布を考慮した配置とするとともにヒートシンクの形状の変更も行った。パワーデバイスの損失の低減と放熱効率の改善によりパワーデバイスの信頼性の向上を実現している。

4.2 省配線

図 1 に示すように CPU ユニットとサーボユニットを高速シリアル通信で接続することにより、配線数を大幅に少なくしている。この個所のみでいえば、従来 100 本あったケーブルが 2 対のツイストペアケーブルとなり、96 本のケーブルを廃した。また、全体でも約 70% の配線数に減らした。大幅な省配線は信頼性の向上、MTBF の改善に大きく貢献している。

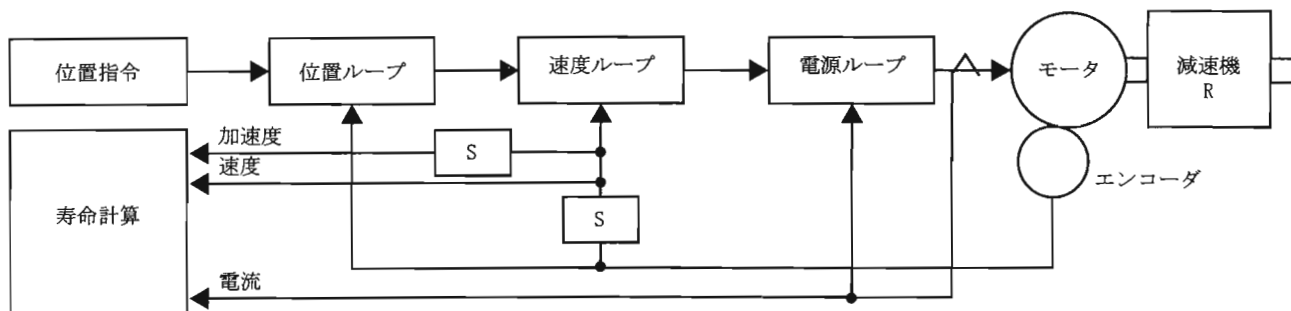


図 11 寿命計算のブロック図

4.3 寿命予測, 余命予測

従来より減速機を保護する等の目的でアンバランストルクとイナーシャを考慮した加減速制御方式を採用しており、MTBF40000 時間という長寿命を想定した減速機許容トルクで制御されている。しかしながら、予め登録されている機械スペックから加減速度を決定するだけであるから例えばグリス硬化等の経年変化によるトルクの増大があったとしても、それによる寿命の低下が制御内容に反映されるわけではない。そこで、各軸の速度、加速度、電流を常時監視することによって減速機の寿命や平均トルクを算出する“寿命予測機能”を搭載した。また、これをリアルタイムに行うことでオペレータに無理なティーチングであることを指摘したり、グリス硬化等によるトルクの増大を通知したりして故障予知の役割を果たす機能と寿命データを長期にわたってロギングすることによって、オーバーホール時期を特定する機能を持ちあわせた“余命予測機能”も搭載している。以下に寿命計算を行うためのブロック図(図 11)、および、計算式を示す。

まず、トルク定数 K_t [kgfm/Arms]であるモータに電流 I_n [Arms]を流せば発生するトルクは $K_t \cdot I_n$ [kgfm]であるから、得られるモータ入力軸加速度 $\omega \cdot i$ [rad/s²]及び出力換算トルクは式 1 で与えられる。

$$K_t \cdot I_n = J_i \cdot \omega_i + T_n / R \quad (1)$$

ここで J_i はモータ入力軸イナーシャ R は減速機の減速比である。よって出力軸換算トルク T_n は式 2 のように算出できる。

$$T_n = (K_t \cdot I_n - J_i \cdot \omega_i) \cdot R \quad (2)$$

サンプリング周期 t_n で検出されるトルクを T_n [kgfm]、速度を N_n [rpm]とすれば、平均速度 N_m 、平均トルク T_m は

$$N_m = \sum (t_n \cdot N_n) / \sum (t_n) \quad (3)$$

$$T_m = \left(\sum (t_n \cdot N_n \cdot T_n^{10/3}) / \sum (t_n \cdot N_n) \right)^{3/10} \quad (4)$$

となり、これから寿命 L_h は式 5 のように求められる。

$$L_h = K_h \cdot (N_0 / N_m) \cdot (T_0 / T_m)^{10/3} \quad (5)$$

ここで K_h [Hr]は定格寿命、 T_0 [kgfm]は定格トルク、 N_0 [rpm]は定格速度である。

5. 高速化

ロボットを高速化するためには、ロボットの姿勢に応じた最適な加速度指令とオブザーバによる振動抑制が必須である。加速度指令と振動抑制は、慣性モーメントより求められ、その正確さにより性能が左右される。ロボットの慣性モーメントは動作範囲中心での値に対して最悪姿勢で 3 倍にも達する。しかし、ロボットには質量、重心位置が既知でない様々なエンドエフェクタが取り付けられるため、正確な慣性モーメントを求めることが困難である。その結果、実ライン上でロボットの持つ本来の性能を発揮できていないことが多くある。そこで自動的にエンドエフェクタの質量、重心を求め、ロボットの性能を十分に引き出せる方法を考案した。この手法はロボットを低速かつ一定速で動作させた場合のモータ電流値から求めたアンバランストルクを用いてエンドエフェクタの質量、重心位置を求めるものである。モータ電流とエンドエフェクタの重量、重心の関係は式 6 で表される。

$$R \cdot K_t \cdot I = J(\theta, r, m) \ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}, r, m) + D \dot{\theta} P(\theta, r, m) \quad (6)$$

R は減速比、 K_t はトルク定数、 I はモータ電流、 m はエンドエフェクタの質量、 r は重心位置を表す。

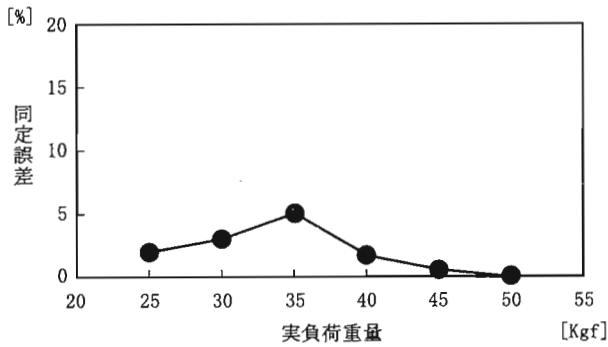


図12 慣性モーメントの同定結果

式2を姿勢，軸数を増やすことで4元以上の連立方程式を得てエンドエフェクタの質量，重心を求めることができる。図12にエンドエフェクタの重量を変化させた場合の慣性モーメント同定誤差を示す。5%以内の精度で同定されている。このようにエンドエフェクタの正確な質量，重心を自動的に求めることが可能になり、ロボットを高速に動作させることが可能となった。

6. おわりに

AW コントローラの開発において，従来では付加機能的なものであったオープン化対応，操作性能向上といったものに重点を置いた。これはユーザーニーズが変化し始めたことによるが，今後は更に加速すると予想される。大量生産の時代に発達したロボット技術であり，多品種少量生産に適応していくにはまだまだ多くの課題が残っている。従来は大量生産するために高価なジグを用いることもあったが，今後はそれらをロボットが行わなければならない。そこには高度な組立作業なども含まれ，現状の技術では適応できないものが多い。一つ一つの課題を着実にこなし，ロボット技術を発展させていきたい。

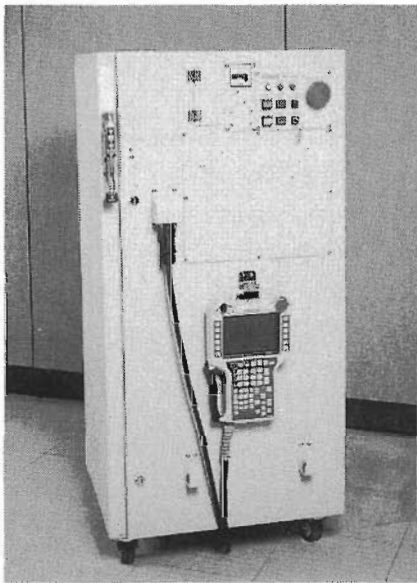


図13 AW 制御装置の外観

極めて低速かつ一定速で動作させることにより慣性，粘性摩擦，コリオリ，遠心力が無視できるほど小さくなり式6は式7に書き直すことができる。

$$R \cdot Kt \cdot I = P(\theta, r, m) \quad (7)$$



桐井 裕司

1981年 入社，本社技術部にてビジョンセンサ開発。
 1992年 技術本部，ロボット開発部にてロボットコントローラ開発。
 1997年 ロボット事業部，ロボット開発部にてロボットコントローラ開発。



寺島 明

1981年入社。
 技術開発部電子技術部にて，NCコントローラ/ロボットコントローラの開発に従事。
 現在に至る。