

# 進化するロボットコントローラ「Eシリーズ」

## E Series Evolutionary Robot Controller



北辻	博明①	Hiroaki Kitatsuji
宗藤	康治②	Koji Muneto
山守	啓文③	Hirofumi Yamamori
田頭	毅④	Tsuyoshi Tagashira
田中	英紀⑤*	Hideki Tanaka
亀山	篤⑥	Atsushi Kameyama
高取	隆志⑦	Takashi Takatori
上野	高廣⑧	Takahiro Ueno

産業用ロボットに対して、さらなる生産性向上、各適用における品質向上、メンテナンス性の向上などが求められる中、最新の電子・情報技術を取り入れ、動作性能、操作性、安全性を向上させ、安全機能も拡充したEコントローラを開発した。本稿ではEコントローラの概要について述べる。

Recently, further productivity improvements, quality improvements in each specific application, and improved maintainability have been required of the industrial robots. Among such conditions, the E Controller was developed with the latest electronic and information technology so as to offer easier operation and maintenance, higher basic performance and enhanced safety features. This paper provides an overview of the E Controller.

### まえがき

1969年に当社が日本で初めて産業用のロボットの生産を開始してから今年で44年目となる。産業用ロボットは、従来の自動化機器にないフレキシビリティにより、スポット溶接、アーク溶接、塗装、ハンドリング、半導体・液晶基板搬送などの適用分野で威力を発揮し、国内外の製造現場における生産性の向上に貢献してきた。しかし、製造現場において産業用ロボットが果たす役割は、重要性を増し続けており、さらなる生産性向上、各適用における品質向上、メンテナンス性の向上などが求められている。

一方、電子・情報分野の技術進歩はめざましいものがあり、その進歩をすばやくロボット技術に取り入れることが、産業用ロボットの進化を決定づける。このような背景のもとでは、ロボットコントローラに最新のハードウェア、ソフトウェアを整備することにより、基本性能や機能を向上させ、多様なユーザーニーズに応えた付加価値をタイムリーに提供していくことが不可欠である。

以上のような要求を実現するために、当社は新しいロボットコントローラとしてEシリーズコントローラを開発した。動作性能だけでなく、操作性、安全性も向上させ、なおかつ安全機能の拡充も図ったものとした。

### 1 開発コンセプト

Eコントローラを開発するにあたり、既存コントローラに対するユーザーからの要望に基づき、特に以下の項目に重点を置いた。

#### (i) コンパクト化

設置面積を小さくして生産ラインのスリム化を図るためにコントローラをコンパクト化する。

#### (ii) 基本性能の向上

高速なCPUを採用することにより、より緻密な軌跡制御、より高速なプログラム実行、より快適なセーブ/ロードなどを実現する。

#### (iii) メンテナンス性の向上

稼働中のメンテナンス時間の短縮、稼働前のシステムセットアップ時間の短縮のために、定期交換部品の交換性の向上や各種モニタ機能を強化する。

#### (iv) 最先端の安全機能の装備

機能安全の技術を駆使して、ソフトウェアによりロボットの動作空間を制限するなどの最先端の安全機能を実現する。

## 2 仕様

Eコントローラの仕様を表1に示す。筐体（きょうたい）は新たに開発したE9X小型筐体（20kg可搬アームまで）を含めて、E2X標準仕様、E2X防爆仕様、E7X小型筐体（10kg可搬アームまで）の4種類あり、用途・アームサイズに応じて使い分けている。またUL認証/欧州規格対応品のラインアップも用意している。筐体の特長として、従来よりも設置面積を小さくし、各部品を機能ごとにユニット化することにより、メンテナンス性の向上と省配線を実現している。特に、E2X標準・防爆仕様筐体ではファンを含めてすべて前面から交換できるようにすることで背面および側面のメンテナンススペースを不要としている。また、

表1 コントローラの仕様  
Table 1 Specifications of controller

項目	仕様
筐体構造	E2X標準・防爆仕様, E7X: 密閉構造 E9X: 開放構造
サイズ	E2X標準仕様 W450×D550×H950 E2X防爆仕様 W500×D550×H1400 E7X W500×D420×H259 E9X W500×D580×H270
制御軸数	標準 6軸
	筐体内増設 E2X標準仕様, E7X: (2軸追加) E2X防爆仕様: (3軸追加)
駆動方式	フルデジタルサーボ
動作方式	手動動作モード: 各軸, ベース, ツール 再現動作モード: 各軸補間, 直線補間, 円弧補間
教示方式	ティーチング方式またはプログラミング方式
記憶容量	8 MB/80,000ステップ相当
入出力信号	外部操作信号 非常停止, 外部ホールド信号など
	汎用入出力 E2X標準・防爆仕様 32, (64, 96, 128)点 E7X, E9X 32, (64, 96)点
補助記憶装置	(USBメモリ)
通信機能	PC, ネットワーク通信 イーサネット 100BASE-TX, RS-232C
	フィールドバス (CC-Link, DeviceNet, PROFIBUS, Ethernet/IP, CANopen など)
ケーブル長	ティーチペンダント 5m, (10m, 15m)
	ロボット～コントローラ間 5m, (10m, 15m)
電源仕様	E2X標準・防爆仕様 AC200-220V 3φ, 50/60Hz E7X AC200-240V 1φ, 50/60Hz E9X AC200-230V 1φ, 50/60Hz (海外3相電源対応 AC440-480V 3φ, 50/60Hz AC380-415V 3φ, 50/60Hz)
設置環境	周囲温度: 0-45℃, E7X縦置きの場合のみ0-40℃ 相対湿度: 35-85%, 結露なきこと

( )内はオプションであることを示す。

E7X, E9Xはコンパクトな筐体サイズと単相200V電源での動作により設置環境を選ばないコントローラとなっている。

コントローラ内部は大きく分けて、カードラックユニット、サーボアンプユニット、MCユニットで構成されている(図1)。以下に各ユニットの特長を述べる。

### (1) カードラックユニット

カードラックユニットは、①制御電源を供給するためのDC電源、②操作系およびユーザプログラムの実行管理、位置指令を生成するメインCPUボード、③安全回路の状態を把握して制御を行うパワーシーケンスボード、④外部機器と信号の受け渡しを行うI/O・フィールドバスボードから構成されている。また、PCベースのアーキテクチャを採用することにより、柔軟な機能拡張ができる構成としている。

### (2) サーボアンプユニット

サーボアンプユニットは、①ロボットを動作させるモータの電流を制御するアンプ部と②メインCPUボードから送信される位置指令にエンコーダ値を追従させるサーボ制御を行うサーボCPUボードで構成されている。また、ア

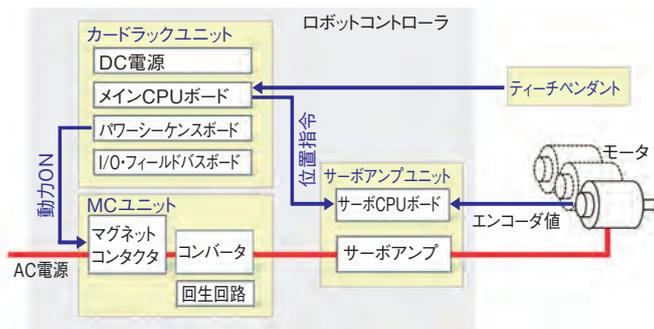


図1 コントローラの構成図  
Fig. 1 Configuration diagram of controller

ンプ部には最新のパワーデバイス(電力変換素子)とモータ電流を検出するための電流センサを採用して、小型化と信頼性の向上を実現している。

### (3) マグネットコンタクタ(MC)ユニット

MCユニットは、①非常停止時などにロボットへ供給する動力を遮断するためのマグネットコンタクタ、②AC電圧をDC電圧に変換するためのコンバータ、③電力回生時に電圧の上昇を制限するための回生回路で構成されている。コンバータと回生回路は小型化、省配線のために基板化している。

## 3 性能向上

### (1) ロボット動作の高速化…防振性能の向上

Eコントローラでは、ソフトウェア内部で演算している防振制御のためのロボットモデルを高次化し、より実機の動作状態に近づけることにより、防振性能を高めた。これによりロボット動作の遅れを最小限に制御できるようになり、高速化を実現している。その結果、代表的な動作の平均でサイクルタイムを従来比10%短縮した。

### (2) チェック/リピート軌跡誤差の低減

従来ではチェック操作時とリピート動作時の軌跡誤差が大きく、リピート動作で軌跡を確認しながら、教示修正を行う場合もあった。Eコントローラではこの軌跡誤差を指令値、遅れ要素、ダイナミクスに分けて改良した。その結果、代表的な動作の平均で、軌跡誤差を従来比約1/7に低減した。スポット適用ではロボットと治具の干渉を、シーリング適用ではシーリング位置を、チェック操作のみで確認できるため、教示時間を大幅に短縮できる。改良前後のロボット軌跡例を図2に示す。

### (3) ソフトウェア処理速度の高速化

最新の高性能CPUを採用して、さらにソフトウェア処理を見直すことにより、「KLogic」(ソフトウェアだけで構成されるPLC: Programmable Logic Controller), PCプロ

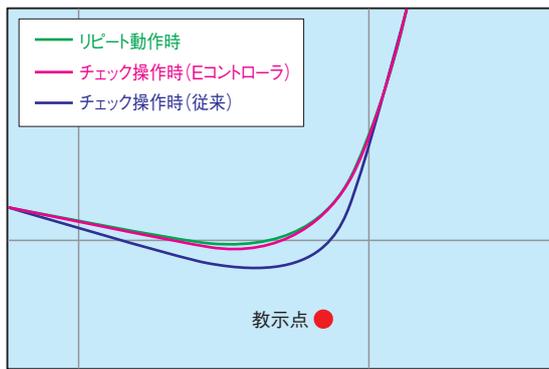


図2 軌跡誤差低減の例  
Fig. 2 Examples of trajectory error reduction

グラム（ロボット動作とは別に実行する数値演算プログラム）の処理速度を従来比で2倍に、信号入出力の応答速度を従来比で4倍に高速化した。

#### 4 特長

##### (1) より使いやすく —ユーザI/F・操作性—

Eコントローラはユーザー用にUSBインターフェースを2つ搭載している。教示したプログラムや、各種設定パラメータをUSBメモリに高速で短時間にセーブ/ロードすることができる。また、ティーチペンダントの各画面を簡単な操作でUSBメモリに保存（キャプチャ）することができるため、設定値の確認や、現場での操作要領書の作成などに非常に役立つ。USBキーボードを接続すれば、キーボードを通じての文字入力が可能となるため、現場でのプログラム変更などが容易になる。

ティーチペンダントの操作性に関しても改良を行った。従来コントローラの前面に配置していたスイッチ、ランプ（モータ電源投入スイッチ、エラーランプなど）をティーチペンダント上に配置し、教示作業途中にモータ電源投入のためなどにコントローラへ戻らなければならなかった煩わしさを軽減した。また画面表示では、ステータス表示などよく使うモニタ表示を大きく見やすくしたり、例えば位置情報と信号情報など2つの情報を同時に確認するための改良なども行い、操作性を向上させている。

##### (2) 保守しやすく —メンテナンス性—

システムアップ中や日頃のメンテナンスに役立つ自己診断機能を装備した。安全回路の状態、ファンの回転数、CPU温度の表示など、故障箇所の特定に役立つことができる。安全回路のモニタ例を図3に示す。モータ電源が投入できなくなった場合、どの箇所に問題があるのか確認しやすくなった。

また、エラーが発生した場合にトラブル解決に役立つ情報をティーチペンダントに表示する保全支援機能を装備した。保全支援機能の表示例を図4に示す。エラー発生時に考えられる原因を挙げ、それぞれの発生確率、調査方法、



図3 安全回路モニタ例  
Fig. 3 Examples of safety circuit monitor

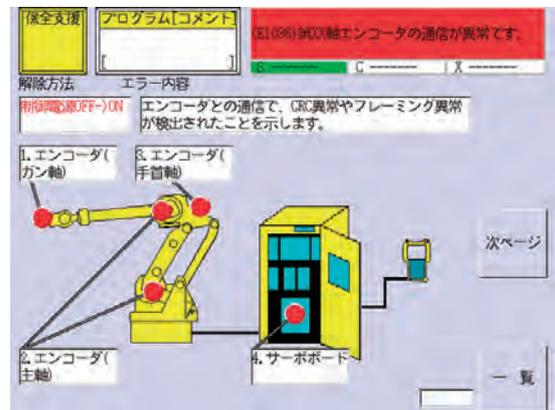


図4 保全支援機能の表示例  
Fig. 4 Display example of maintenance support function

手順、時間、必要な工具などを表示することでシステム復旧の時間短縮が可能となる。

##### (3) 情報のやりとりを簡単に —ネットワーク機能—

Eコントローラでは、イーサネット用コネクタを2つ装備している。コントローラ内にある製品のトレーサビリティに役立つデータや、保守計画に役立つロボットのエラー情報などを、ネットワークを通じて取り出すことができる。その方法としては、パソコン側からコントローラへアクセスし情報を取り出す関数をまとめたライブラリ機能や、コントローラ内部の情報を遠隔のパソコンのブラウザソフトで表示するウェブサーバー機能などがある。

さらに、イーサネットでコントローラ間を接続することにより、当社製ビジョン装置「K-HIPE-R-PC」との接続や、1台のロボットではハンドリングできなかった重量物を複数のロボットでハンドリングする協調作業など、高機能なシステムを実現できるようになった。

配線コストの削減や、システムの拡張性に役立つフィールドバスにも数多く対応している（表1）。

#### 5 安全機能拡充

##### (1) 高度な安全機能

Eコントローラは安全機能を拡充するためのオプションとして、ロボット動作監視安全機能「Cubic-S」を搭載することができる。「Cubic-S」は「Supervise/Safety/Smart」の3つのSという意味から名付けられ、ソフトウェアを使用して、従来は実現できなかった高度な安全機能を提供することで、生産ラインを柔軟かつ低コストに構築すること

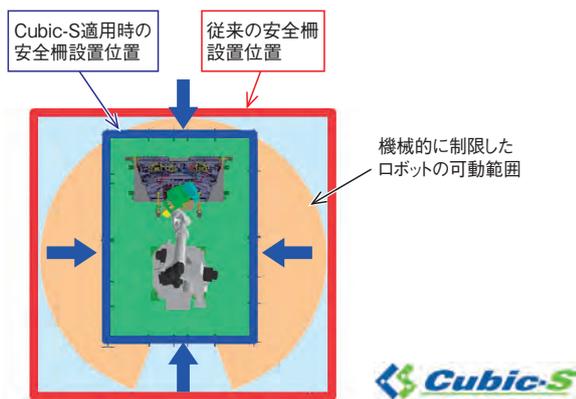


図5 「Cubic-S」による動作範囲制限  
Fig. 5 Operating range limited by Cubic-S

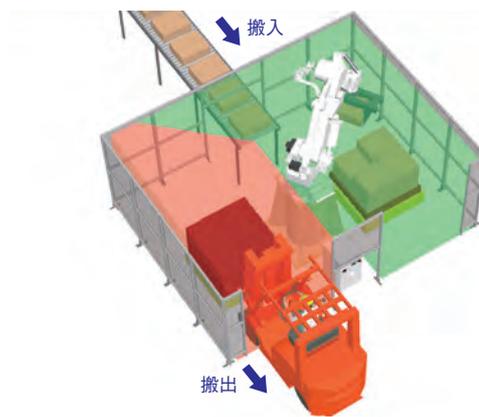


図6 動作範囲制限の選択  
Fig. 6 Selectable limitation on operating range

が可能となる。「Cubic-S」は、動作空間監視、軸監視、速度監視、停止監視、ツール方向監視、保護停止、非常停止、安全状態出力の8個の安全機能を有している。

これらの安全機能は、2つのCPUで、冗長性を持たせることにより、機能安全規格IEC61508の「SIL2」、ISO13849-1の「PLd/カテゴリ3」の安全性能を実現し、第三者認証機関のTÜV SÜDから規格適合の認証を取得している。

(2) 適用事例

(i) 動作空間監視機能

従来は、機械的に制限したロボットの可動範囲の外側に、安全柵を設置する必要があった。「Cubic-S」を適用すると、図5に示すようにより小さな領域に安全柵を設置することができ、ロボットの設置スペースを削減できる。

(ii) 可動領域を選択して空間制限する機能

図6に動作範囲制限の選択例を示す。この例ではロボットの作業領域が2つ存在し、コンベアで搬送されてきたワークを片側の作業領域でロボットが積み上げていき、もう一方の作業領域では積み上げが完了したものをフォークリフトで搬出する作業を行っている。この場合、フォークリフトで搬出作業をしている時にフォークリフトの領域にロボットが入らないようにロボットの可動範囲を制限する必要があり、従来は、フォークリフトおよびロボットの進入を検知するための複数のライトカーテンとその制御を行う安全PLCを必要としていた。しかし、「Cubic-S」の適用によって、フォークリフトの進入検知により、ロボット側の可動範囲制限が可能となるため、ロボット側の可動範囲制限用のライトカーテンや安全PLCが不要となる。

あとがき

Eコントローラは、すでに多くのユーザーに採用され、日々の生産に寄与している。今後はユーザーニーズによりきめ細く応えるため、また、さらなるロボット適用範囲の拡大を図るため、機能の拡充、性能の向上を目指していく所存である。

参考文献

1) 前原, 神足, 長谷川, 北辻, 梶原, 才木, 上野, 杉正: “高性能ロボットコントローラ Dシリーズの開発”, 川崎重工技報, No.152, pp.6-9 (2003)

