

川崎重工技報

ロボット特集号



TECHNICAL REVIEW



先進技術と充実のラインアップ
ベストソリューションを幅広く

Advanced Technology and Wealth of Lineup

Simple & friendly

Kawasaki Robot

【巻頭インタビュー】 ロボット事業の近況と今後の展開 1

【総括説明】 個性あるカワサキロボットの製品ラインアップ 2

 ロボット分野における当社の技術開発について 4

特集記事

技術解説

生産ラインを革新する新型スポット溶接ロボット「BXシリーズ」 6
 BX Series New Spot Welding Robots that Innovate Production Lines

高性能ピッキングロボット「picKstar」 10
 High Performance Picking Robot "picKstar"

コモンプラットフォーム型塗装ロボット「KJシリーズ」 14
 KJ Series Common Platform Type Painting Robot

高速動作と使いやすさを両立した先進半導体搬送用ロボット「NTシリーズ、NVシリーズ」 18
 NT & NV Series Advanced Semiconductor-Transferring Robot Balanced between High Speed and Ease of Use

進化するロボットコントローラ「Eシリーズ」 24
 E Series Evolutionary Robot Controller

複雑な動作環境へのロボット導入を容易とするロボットシミュレータ「K-ROSET」 28
 K-ROSET Robot Simulator for Facilitating Robot Introduction into Complex Work Environments

バラ積みワーク取り出しロボットシステム - 3次元ビジョンシステムの適用 - 32
 Bin-Picking Robot System - Application of 3D Vision System -

多品種ワーク配膳ハンドシステム 36
 Catering Hand System for a High Variety of Workpieces

機械部品組立ロボットシステム 40
 Machine Parts Assembly Robot System

精密加工ロボットシステム 44
 Precision-Machining Robot System

先進接合ロボットシステム 48
 Advanced Joining Robot System

特許・実用新案紹介

ロボット - 損傷・破損しない産業用ロボットを目指して - 52

ウエハ移載装置および基板移載装置 - 機敏で守備範囲の広い産業用ロボット - 52

【巻頭インタビュー】

— 精密機械カンパニー —

— プレジデントに聞く —

ロボット事業の近況と 今後の展開

◆ 精密機械カンパニーが発足して、1年半経ちましたが？

2010年10月に、当社の油圧機器部門とロボット部門を統合して、精密機械カンパニーになりました。発足後、次第に各部門間の交流も進み、シナジー効果が出てきています。生産部門では西神戸工場（油圧機器部門）に今まで以上のスピードでロボットを導入しており、自動化が着々と進展しています。これによって工場の生産効率が上がるとともに、ロボット部門にとっては実際の製造ラインで、新しい適用開発を進めていくことができ、ユーザーとメーカーが、同一カンパニー内にあるという効果が現れています。また、生産部門のみならず、調達部門、品証部門でも情報交換を密に行い、お互いに良いところを取り入れています。

さらに、今後は技術開発部門間の交流も積極的に進めていきたいと思っています。ロボットは油圧駆動から出発し、1980年代に電気駆動に移りましたが、油圧駆動にも優れた点が多くあります。例えば、建設機械は、ほとんど油圧で動いています。最近のハイブリッドの流れに従って、油圧と電動の融合が進み、油圧のパワーと電動の制御性を組み合わせた新しい発想の製品が生まれることを期待しています。

◆ 最近のロボットのトピックスを紹介してください

2011年11月に東京で国際ロボットショーが開催されました。2009年に比べると、出展社数、入場者数ともに増加し、盛況でした。出展の中で特に目を引いたのが、コンパクト化と高速化でした。従来に比べ、コンパクトでスリムなロボットを提供することにより、一つのステージに、より多くのロボットを配置することができ、スポット溶接ラインを短くすることを狙ったものです。また、高速化により、一台のロボットでの打点数を増やし、生産性を向上することができます。こうしたコンパクト化と高速化は、自動車製造ラインの設備費用削減に貢献しています。中でも当社の開発した「BXシリーズ」では、設置面積は従来機種の約半分に、一打点当たりの時間も大幅に短くなっており、他社と比べても最高水準のロボットであると自負しています。

次に目を引いたのは、パラレルリンク型ロボットです。当社では「picKstar」と呼んでいるロボットで、食品、医薬品、化粧品（三品）業界をターゲットに開発しました。自動車や電気業界は景気の変動が激しく、ロボットの販売台数も大きく左右されますが、三品業界は変動が緩やかなので、比較的安定した販売が見込まれます。

◆ 人とロボットとの協業が進んでいるようですか？

人とロボットの距離を縮める技術の開発を進めています。国際規格（ISO）が改訂され、ソフトウェアによるロ



精密機械カンパニー プレジデント

代表取締役常務 園田 誠

ボットの安全監視が認められるようになりました。これを受けて、当社は、ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」を開発しました。このCubic-Sを用いると、安全柵を、ロボットを実際に使う作業範囲に応じて設置すれば良くなるため、従来より狭くすることができます。また、ロボットの動作領域や動作速度を監視することにより、人がロボットに近づけるようになりました。これらの機能により、人とロボットの協同作業も、以前より容易になります。

◆ ロボット市場の近況は？

中国での自動車生産台数が2009年に世界一になり、そのすそ野の部品産業とともに、生産を伸ばしています。中国以外の新興国も同様の動きを見せています。これに伴い、ロボットの需要も大きく伸びており、ロボット市場としての新興国の重要性が高まっています。当社もこれに対応して、新興国における販売・サービス体制の強化に取り組んでいます。また、新興国の経済成長や、スマートフォンなどの新規市場が伸びていることにより、半導体向け市場も拡大しています。当社は、半導体の製造装置メーカーから提案力を高く評価されており、今後も、お客様の開発要請に積極的に対応することにより、さらにシェアを高めていきたいと考えています。さらに、半導体向けクリーンロボットで培った技術をベースに、他分野のクリーン環境への拡大も図っていきます。

◆ 最後に

ロボットは、自動車や電機、そして半導体といった業界のお客様を主体とした幅広い産業で定着しています。また、三品産業などロボットにとって比較的新しい適用先の需要も、最近著しく増加しつつあります。このような市場の動きに対応して、当社は、従来のお客様に加えて、新たな分野のお客様や適用分野の開拓も進めていきたいと思っています。そのためには、ビジョンシステムやセンサなど、従来にない技術の開発も加速させる必要があります。これらの開発を進め、お客様に喜んでいただけるロボット製品を、今後とも提供し続けたいと考えています。

個性あるカワサキロボットの製品ラインアップ

精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター長 理事 橋本 康彦



まえがき

当社は、自動車産業向けロボットから、一般産機向け、さらには、半導体用ロボットなど、さまざまな産業用のロボットを販売している。用途別では、スポット溶接用、塗装用、組立用、ハンドリング用、アーク溶接用、搬送用と、さまざまな用途に対応したロボットがある。また、ロボット本体のみならず、周辺機器を含めたシステム製品の販売も進めている。本稿では、当社の製品の最新ラインアップを紹介する。

1 自動車、一般産機向けロボット

2011年、自動車のスポット溶接用ロボットとして、BXシリーズを開発した(図1)。BXシリーズは、従来機種種のZXシリーズと比較して、スリムでコンパクトかつ高速という特長を持っている。さらに、上部アームと手首軸にケーブル類を内蔵することで、非常にすっきりしたロボットアームを実現した。また従来は専用機で行っていた部品(ワ

ーク)の位置決めを、NCロケータを用いることで、ロボット化した。BXシリーズとNCロケータを組み合わせたラインを構成することにより、非常に省スペースで柔軟な車体組み立てラインを顧客に提供することができるようになった。

一般産業機械用としては、RSシリーズをラインアップしている(図2)。RSシリーズは、従来機種種のFSシリーズと比較して、コンパクトで狭い空間での作業も自由自在な上、広動作範囲で高速である。3kg可搬の「RS03N」から、80kg可搬の「RS80N」までのラインアップがある。派生機種として、パレタイズ用の「RD80N」や、シーリング用の「RS15X」などの機種もある。ハンドリングから組立、搬送、シーリング適用など、幅広く適用できる。

2 ピッキング用ロボット

ピッキング専用ロボットとして、パラレルリンク機構の「picKstar」を開発した(図3)。このロボットは、食品、医薬品、化粧品などの小物のピッキング用として、整列、箱詰めなどに使用されている。当社のpicKstarは、高速で、動作範囲が広いという特長がある。

通常、picKstarを使用する場合、ビジョンシステムが必要になる。コンベア上の品物は、さまざまな向きでランダムに流れてくるため、これらを箱詰めする場合は、品物の位置と向きを把握し、その情報に基づいて、ロボットが正確にピッキングしている。当社では、2次元用のK-VFinderとLSC(レーザスリットスキャンカメラ)を用いた3次元用のビジョンシステムを開発しているが、ピッキング用ロボットでは、2次元用のK-VFinderを用いて、高速高精度のピッキングを実現している。



図1 BXシリーズ

リーチ(mm)					RS15X					
3,150								RS30N	RS50N	RS80N
2,100										
1,925				RS10L						
1,725							RS20N			
1,650				RS06L						
1,450				RS10N						
903				RS05L						
705				RS05N						
620				RS03N						
	3	5	6	10	15	20	30	50	80	

図2 RSシリーズ(代表例)



図3 picKstar

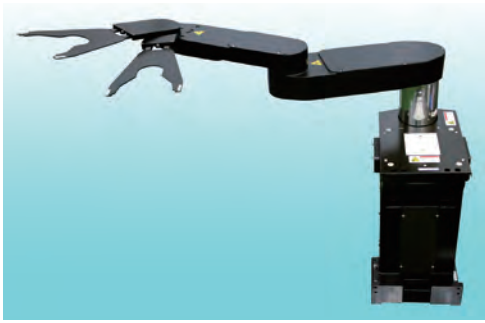


図4 NTシリーズ

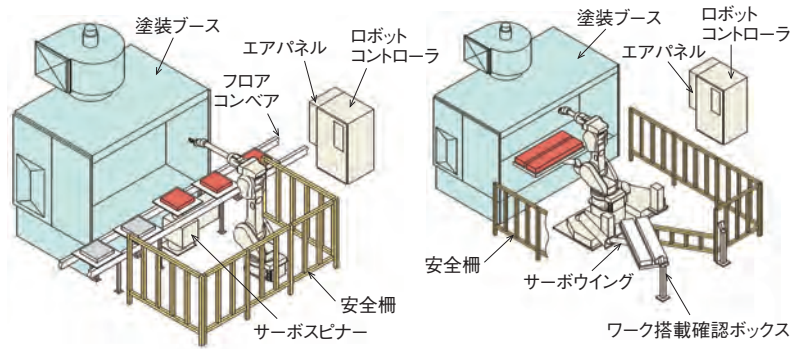


図5 塗装パッケージセルの例

3 半導体用ロボット

当社の主力ロボットである半導体用ウエハ搬送ロボットには、NSシリーズ、NXシリーズ、NTシリーズ（図4）がラインアップされている。最新のNTシリーズは、走行装置なしで、2FOUP*から4FOUPまで対応できる広い動作範囲を持ったロボットである。当社のウエハ搬送ロボットは、剛性の高い構造と高性能な制御システムにより、高速で、振動も少なく高精度で搬送できる特長がある。要求水準の高い顧客からの評判も良く、多くの半導体製造装置メーカーに納入している。最近では、新規格の450mmウエハ対応も進めている。

* FOUP：ウエハを密封して運ぶ容器

4 パッケージセル製品

幅広く顧客の要望に応えるため、当社は、ロボット単体のみならず、ロボットを含めたパッケージセル製品もラインアップしている。ここでは、代表的なセル製品を取り上げる。

(i) DANBOT

段ボール製品の製造会社向けに販売している「DANBOT」は、ロボット本体のみならず、ハンド、コンベア、段積み装置、合紙取り出し装置などをセットにした製品である。このDANBOTを適用することで、段ボール用紙をパレットの上に積み上げる製造ラインを簡単に立ち上げることができる。合紙もロボットハンドで挟んで確実に挿入するため、専用の合紙挿入装置は不要になり、狭いスペースで設置可能である。

(ii) 塗装パッケージセル製品

塗装する部品の大きさや部品の流し方に応じて選べる6種類の塗装パッケージセル製品を準備している（図5）。これらの製品はパッケージ化されているので、設置してから稼働開始までの時間が短く、早期のライン立ち上げに有効である。

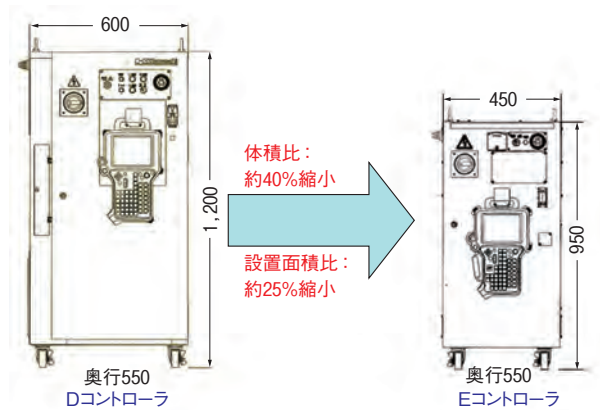


図6 大幅なコンパクト化を実現したEコントローラ

5 制御装置（コントローラ）

ロボットを安定して高速高精度に動作させるためには、制御装置が重要になる。最新コントローラはEシリーズコントローラで、BXシリーズ、RSシリーズ、picKstarなどに使われている。コントローラは、仕向け地別に、国内仕様、欧州仕様、北米仕様に分かれる。さらに、小型コントローラE73/E74がある。

国内仕様のEコントローラは、従来のDコントローラと比較し、体積で約40%、設置面積で約25%小さくなった（図6）。ティーチペンダントは、従来の操作方法を継承したが、より使いやすさを追求したGUIとなっている。また、今では標準になったUSBポートへの対応も行った。メインCPUの処理能力も大幅に向上し、従来ではできなかった高度な制御を行うことが可能になった。

あ と が き

当社は、ロボット本体製品、パッケージセル製品のみならず、ロボットを適用するために必要な周辺機器やサポートツール、ビジョンシステムやハンドの開発も行っている。さらにオフライン教示用ソフトとして、パソコンで簡単にシミュレーションができるK-ROSETの開発も進めている。今後もこれらの開発を推進し、顧客にとって使いやすく、生産効率が上がる製品を提供していきたい。

ロボット分野における当社の技術開発について

技術開発本部 副本部長（兼）システム技術開発センター長
執行役員 河野 行伸



まえがき

技術開発本部では、2010年に策定された「Kawasaki 事業ビジョン2020」の達成のため、事業部門と一体となって技術開発を進めている。特に産業用ロボット（以下、ロボット）は、機構設計・解析技術、電子・制御技術、多機能化技術などの最新の技術を駆使した製品であり、顧客に価値を提供し続けていくために継続的な技術開発が必要不可欠である。当社では、図1に示すように、精密機械カンパニー・ロボットビジネスセンターと技術開発本部が常に連携し、社内適用の成果をフィードバックしながらロボットの技術開発に取り組んでいる。本稿では当社のロボット分野における技術開発の概要について紹介する。

1 産業用ロボットに求められる技術

ロボットの動作速度や動作精度といった基本性能は、顧客にとってラインの生産性や製品品質に直結するため、ロボットメーカーが常に向上させていかなければならないものである。基本性能の向上は、現代制御理論を応用した防振制御技術の適用など、いわゆる制御技術を追求することで達成しており、当社の最新のロボットコントローラでは、4慣性モデルによる状態推定オブザーバといった制御方式を実装するなどして、業界トップレベルの動作速度と動作軌跡精度を達成している。

また、ロボットの利用形態はいわゆる教示／再生が基本で、ロボットに作業をさせる前に、その動きを細かく正確に教示する必要がある。そのため、ロボット導入時やワーク変更時のコストダウン要求として、教示作業の省力化が強く求められている。教示／再生を基本としたロボットの

使い方を一変させる技術として、当社では大きく二つの技術に取り組んでいる。一つは、3次元CAD図面上のワーク形状情報を基に、ロボットの動作プログラムを自動生成するオフラインプログラミング技術である。これにより、教示作業そのものが不要になる。もう一つは、位置決め精度低下の原因となるロボットアームの個体ごとの機差やたわみ量をリアルタイムで補正するソフトウェア技術である。これにより、故障などによるロボット交換時にも教示修正作業が不要になる。

そして近年では、人とロボットとを共存・協調させることで、より効率的な生産ラインを構築する動きが活発になっている。ロボットを運用する際には、安全柵や機械的安全装置などにより作業者の安全を確保する必要があるが、産業用ロボットの国際安全規格（ISO10218-1）が改定された結果、いわゆる機能安全技術を安全確保に適用できるようになった。すなわち、ロボットメーカーは領域監視や速度監視といった安全機能をロボットコントローラに組み込むことができる。それにより、顧客に対しては、安全性を損なうことなく、設備コストの低減や使いやすいロボットを提案できるようになった。当社では、機能安全規格の第三者認証を取得した動作監視安全ユニットを製品化しており、安全性と利便性を両立させ、生産ラインの柔軟性向上と低コスト化を顧客に提案している。

以上のような技術は、ロボットコントローラの改良とともに演算性能を従来比で4～5倍に向上させ（図2）、より複雑な制御や機能を実装することで達成している。この傾向は今後も続き、ロボットのさらなる高機能化が可能である。

2 社内適用を通じた技術開発

当社は、航空機、車両、船舶、油圧機器、モーターサイクルなどさまざまな製品を製造している。生産性と品質の向上を追求するこれらのものづくりの現場において、近年急速に増えているニーズとして、研磨・バリ取りなどの仕上げ作業や機械部品の組立・検査作業の自動化が挙げられる。これらの作業は、人間の器用さや作業者の経験に依存するところが多いという点で共通しており、自動化が進んでいない。技術開発本部では、ここにロボットの新たな適用領域があると考えている。そこでロボットの適用に必要なセンサ技術や周辺機器の制御技術の開発に取り組み、事業部門の自動化ニーズに応えている。

また、従来からロボット適用が進んでいる溶接・接合分野においても先進技術を常に開発し、ロボットに組み入れ

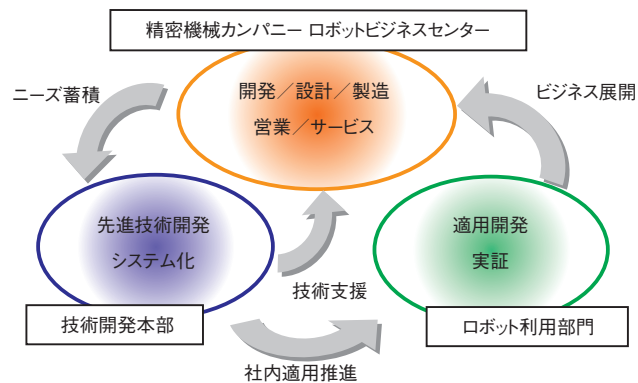







図1 当社の産業用ロボットの開発体制

年代	1980	1990	2000	2010	
	Aシリーズ	ADシリーズ	Cシリーズ	Dシリーズ	Eシリーズ
					
	デジタル制御 2 慣性オブザーバ		自動教示 フィードフォワード制御	絶対精度補正	機能安全技術 4 慣性オブザーバ
演算性能*	1	10	30	100	

*ADシリーズを基準とした比

図2 産業用ロボットコントローラの変遷と制御技術

て社内のもので、現場に適用している。具体的な例として、摩擦攪拌点接合 (FSJ) やシーム溶接などが挙げられる。特にFSJは、従来の抵抗スポット溶接やMIG溶接に代わる溶接方法として、優れた外観品質、低熱変形という特徴を持った画期的なもので、ロボットと組み合わせた社内生産設備は当社製品の差別化に貢献している。

このように、技術開発本部では社内適用を通じてロボットに求められる技術を取捨選択しながら、ノウハウを蓄積している。

3 多機能化技術

ロボットは、決められた作業を正確かつ高速に繰り返すことを求められてきた。その適用領域をさらに拡大するためには、例えばワークの位置や形状に誤差があっても、それを許容して確実につかみ運ぶ柔軟さや、作業の仕上がり具合を判定する能力が必要である。具体的には、人間の「目」と「手」に相当する視覚センサとハンド機構、およびそれらをロボットアームと連携させて、システムとして動作させる仕組みが必要である。

「目」に相当する視覚機能は、インテリジェントロボットを実現するために必要不可欠な機能であり、技術開発本部では、20年以上にわたり視覚センサの開発を継続している。最新の3次元視覚センサでは、従来の濃淡画像ではなく、距離画像を撮像/処理することで対象ワークの3次元情報が得られ、より確実に対象ワークを識別できる。「手」に相当するハンド機構には、多種多様なワークをつかむフレキシブル性が要求されるが、社内適用で蓄積したノウハウを活かして、器用さ・柔軟さ・正確さを備えた汎用ハンドを開発している。そして、このような「目」と「手」を組み合わせて複雑なハンドリング作業や機械組立作業を自動化し、システム化するためのキーハードとしてモジュールコントローラを開発している。これはロボットコントローラ本体とは独立した制御装置で、ロボットメーカーの持つ技術やノウハウをシステムインテグレーターが利用しやすい形態で提供できる。



(a) 臨床用自動培養システム



(b) 非臨床用自動培養システム

図3 新分野の開拓：細胞自動培養装置
(プラント・環境カンパニーで事業化)

4 将来に向けた取り組み

労働集約型生産ラインにも、自動化、ロボット化を進める手段として、近年、人とロボットとの共存・協調・協働技術が注目されている。当社では、人とロボットが共存することを前提に、人に従属しながらも積極的に人を補助するロボット技術の開発に取り組んでいる。これまで培ってきた制御技術や安全技術、システム化技術に、力の監視・制御技術を加えることで、人のスキルとロボットのパワーを連携させた次世代のロボットの利用形態を提案していく。

また、新たな分野へのロボットの適用として、細胞自動培養システム (図3) の開発を進めている。再生医療や創薬研究において、ヒト細胞をベースにした開発、発展が期待されているが、そこで必要となる細胞培養の作業を人手に頼っており、自動化、無菌性確保、作業の信頼性向上の面でロボット化が期待されている。当社では、蓄積してきたロボット技術、画像処理技術をここに用いることで、従来の細胞に加え、熟練者でなければ培養が難しいヒトiPS細胞の自動培養に世界で初めて成功している。

あ と が き

進歩が著しい先進技術を駆使するロボット事業では、顧客の要望に的確に答えていくために、継続的な技術開発が不可欠である。一方で当社は、総合重工メーカーとしてさまざまな製品を扱っており、ものづくりの現場ではロボットの活躍が期待されている。

今後も引き続き、ロボットメーカーでありロボットユーザーでもある当社の強みを活かして、顧客に価値を提供するとともに、ロボットの新たな分野を切り拓いていきたい。

生産ラインを革新する新型スポット溶接ロボット 「BXシリーズ」

BX Series New Spot Welding Robots that Innovate Production Lines



北村 伸二① Shinji Kitamura
伊地知 哲② Satoshi Ijichi
中岡 信彦③ Nobuhiko Nakaoka

スポット溶接ロボットは、自動車メーカーを中心に生産の自動化、製品の高品質化に力を発揮してきた。近年は、さらに、設備の効率化、低コスト化の要求が高まっている。本稿では、これらの要求に応える、「省スペース」「密集配置」「高速動作」が可能な新型スポット溶接ロボット「BXシリーズ」について紹介する。

Spot welding robots have shown their capabilities in automating production and in raising product quality in automobile manufacturer where the leading users are found. The needs for increased efficiency of facilities and reduced costs have been growing recently. This paper presents the BX series of new spot welding robots that will serve these needs by enabling “space-saving,” “concentrated layout,” and “increased speed.”

まえがき

自動車の生産設備において、トータル設備コスト低減が最重要課題である。ロボットに対しては、省スペースのためのスリム化やコンパクト化要求、生産性向上のための高速化要求が非常に高い。

当社では、スポット溶接用途に大型の汎用ロボットZシリーズを適用してきた。Zシリーズは広い動作範囲をもち、搭載物の増加に広く対応できる構造となっており、スポット溶接以外にも組立やハンドリング用途に適用できる機種となっている。しかし、スポット溶接用途に限れば、決められた機器を搭載して限定された範囲内で動作すればよく、短い距離の教示点間を加速・減速を繰り返しながら動作する 경우가大部分を占める。

そこで今回、ロボット動作や溶接動作を改良した新型スポット溶接ロボット「BXシリーズ」を開発し、省スペース、密集配置、高速動作を実現した。このBXシリーズには、100kg可搬機の「BX100N」と200kg可搬機の「BX200L」がある。

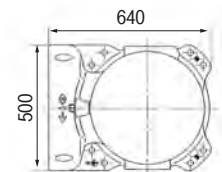
1 省スペース、密集配置の実現

自動車の生産設備コスト低減には、ライン長およびライン幅を短縮しコンパクトな設備にすることが有効である。そのため、ロボットの占有スペースを低減し、密集した配置が求められる。以下に省スペース、密集配置を実現するために備えた特徴を紹介する。



配線、配管は全て旋回部中心に配置

(a) BX100N



オプション配線、配管スペース

(b) 従来機 ZX165U

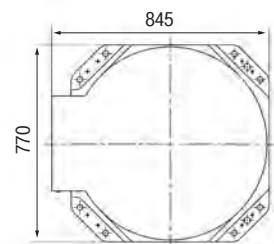


図1 「BX100N」, 「ZX165U」の外観と設置面

Fig. 1 External view and layout of BX100N and ZX165U

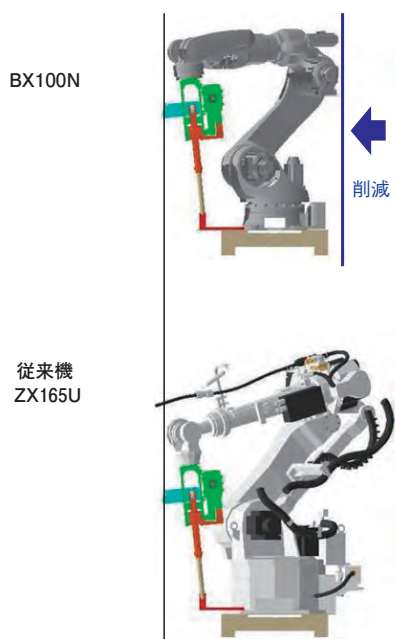
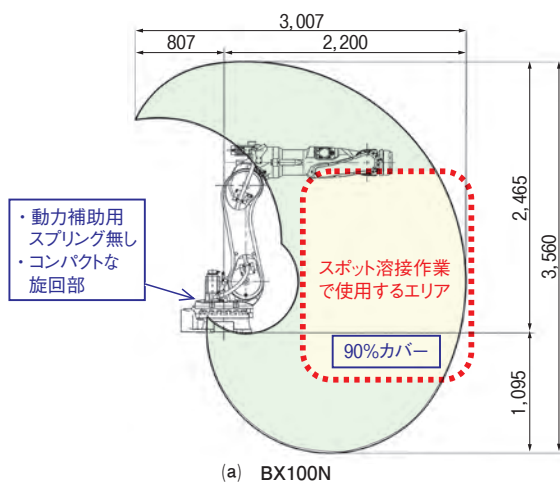
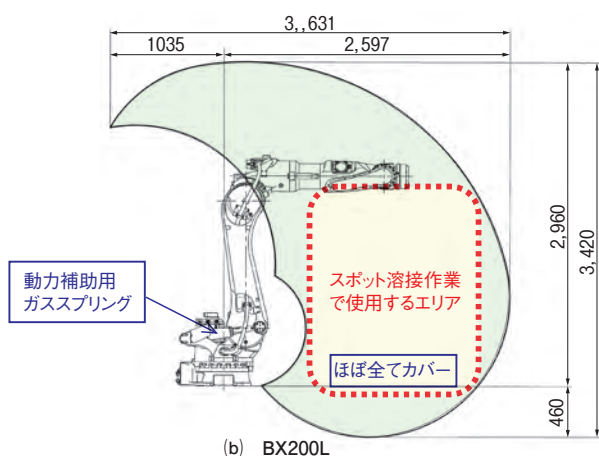


図2 干渉エリアの削減
Fig. 2 Reduction in interference area



(a) BX100N



(b) BX200L

(1) 省設置面積

従来機種Zシリーズは、さまざまな適用に対する拡張性を持たせるため、ロボットベース部にオプション用の配線・配管スペースを持つ。一方、BXシリーズではスポット溶接に必要な十分な配線数・配管数に限定して、その経路を全て旋回部中心に位置する中空管部とした。これにより、設置面積を約52%に縮小できた。「BX100N」と、同程度の能力を持つ従来機「ZX165U」の外観および、設置面を図1に示す。

(2) スポット溶接用途に適したアーム長

「BX100N」は2,200mmリーチ(ロボット旋回部中心から手首部中心までの最大到達距離)、「BX200L」は2,597mmのリーチを持つ。

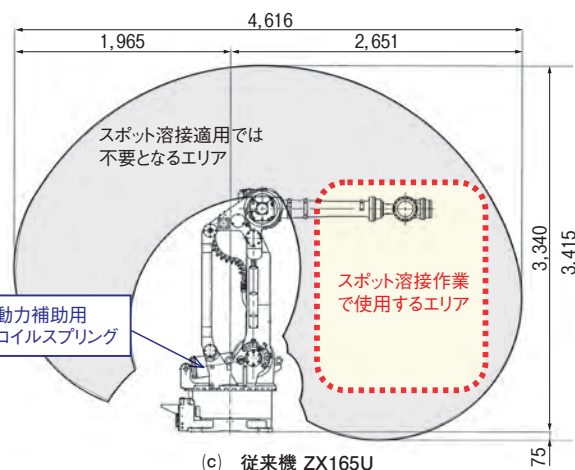
ロボットのアーム長は、長くすると広い動作範囲を確保できる反面、アームを折り畳んだときに後方への張り出し量が増え、干渉エリアが大きくなり、ロボットの密集配置には不利になる。そこで、これまでのスポット溶接作業の教示点を分析して適切なアーム長を決定した。

「BX100N」はこれまでに蓄積したプログラムの教示点の90%以上をカバーしており、本機種で大部分のスポット溶接作業に対応できると同時に、アーム長の短縮や前後軸の動力補助用スプリングの廃止で、干渉エリアを削減している(図2)。

一方、「BX200L」は、従来機種Zシリーズと同等のリーチを持ち、ほぼ全ての教示点をカバーすることで従来機の置き換えを可能にしていると同時に、従来、大型のコイルスプリングであった前後軸の動力補助にガススプリングを使用することで、アーム旋回部の干渉エリアを削減している。動作範囲の比較図を図3に示す。

(3) スポット溶接用ケーブル／ホースの内蔵

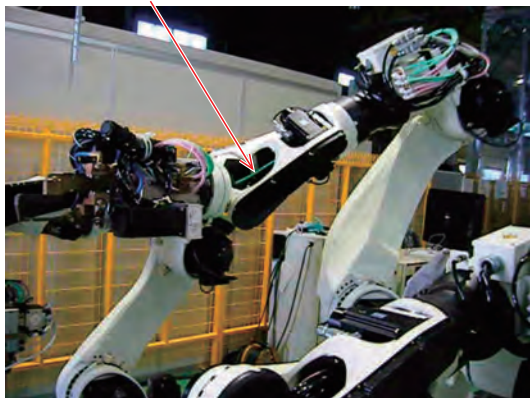
スポット溶接では、各種ケーブルやホースを、ロボットベース部から手首先端に搭載する溶接ガンまで、布線する



(c) 従来機 ZX165U

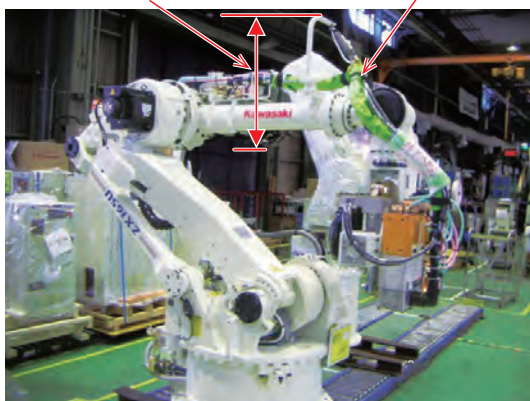
図3 動作範囲の比較図
Fig. 3 Comparison of operating ranges

アーム内部に配置。
ケーブルがアーム外に出ない。



(a) BXシリーズ

ポールにケーブルを吊り下げている。
動作に伴いケーブルが揺れる。
干渉エリア



(b) 従来機

図4 ケーブル/ホース処理
Fig. 4 Cable and hose processing

必要がある。従来は、アーム上に立てたポールにフックをつけて、これらのケーブル類を吊り下げる処理や、アームに這わす処理をしていた（図4(b)）。しかし、これらの方法の場合、アームとケーブルとの干渉を避けるため、アームとケーブル間に一定の距離を確保する必要があり、ケーブル類を含めた干渉エリアが広がっていた。また、ロボットの動作に伴ってケーブル類が揺れるため、特にオフラインの教示ではケーブルの挙動の予測が難しく、さらに広く干渉エリアを想定しておく必要があった。

BXシリーズでは、ケーブル類をアームに内蔵して、干渉エリアを縮小し、ケーブルの挙動を考慮しなくてよい構造とした（図4(a)）。これにより、ロボットとワークや他のロボットとの距離を短縮できた。また、オフライン教示での修正作業が減少し、ライン構築や変更に必要な時間の削減も可能となった。

(4) 小型軽量アーム

BXシリーズでは部品点数の削減、強度解析を用いて部品サイズを必要十分なレベルまでサイズダウンすることにより、「BX100N」で従来機の45%以上、「BX200L」で30%以上の軽量化を達成した。

2 高速化の実現

ロボットを高速動作させることでロボットの作業量が増えるため、導入台数が削減でき、ライン長を短縮できる。以下に高速動作の実現方法について紹介する。

(1) ロボット動作の高速化

BXシリーズは、次に示す「可変加減速機能」「可変最高速機能」により、ロボット本体の動作を高速化している。

(i) 可変加減速機能

ロボットのアームには、重力、慣性力、遠心力/コリオリ力、摩擦力などが作用し、アームの姿勢や速度、加速度によって変化する。ロボット動作時に、これらを計算し、モータの動力を最大限に使用できる加減速度を算出している。本機能は従来から使用されてきたが、コントローラの演算速度の向上により、BXシリーズでは、より無駄なく使用できるようになった。

(ii) 可変最高速機能

サーボモータは内部で発生する逆起電力の影響により、高回転域では出力が低下する特徴をもつ。また、各軸の減速機構においては回転数とともに抵抗トルクが増加する。このため、モータに最大の電力を供給しても、ロボットが使用できるトルクは高回転域ほど小さくなるため、ロボットの加減速度も小さくなる。ある距離を動作する場合、高い回転数まで到達する方が良いか、低い回転数にして加減速度を上げる方が良いかは、動作する距離によって変わるため、動作時間を最短にできる速度と加速度の最適な組み合わせを、回転数とロボットの出力トルクとの関係のみで算出している。

(2) スポット溶接作業動作での高速化

スポット溶接作業に至るロボット動作は、「連続溶接点間の移動動作」「溶接点への加圧動作」に分けることができる。BXシリーズの新スポット溶接制御では、これらの動作に対し高速化を実現している。

(i) 連続溶接点間の移動動作

従来の連続溶接点間の移動動作では、溶接完了後にガン軸がクリアランス位置まで動作した後、次打点に向かってロボット動作を行う、いわゆる「くさび形」の軌跡を描く動作となっていた。これは、エアガン動作軌跡に近くガンの動きが把握しやすい動作ではあるが、無駄な移動経路がありサイクルタイム(所望の動作をさせるのに要する時間)

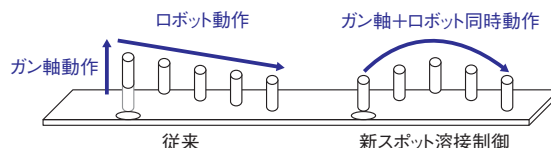


図5 従来制御と新スポット溶接制御での動作軌跡
Fig. 5 Operational locus in conventional and new spot welding control methods

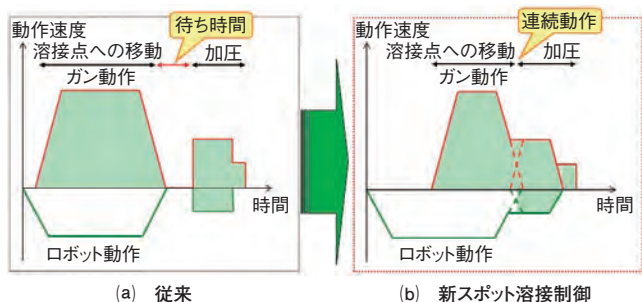


図6 従来制御と新スポット溶接制御での動作軌跡の比較
 Fig. 6 Comparison of operation between conventional and new spot welding control methods

を短縮する上で不利である。そこでBXシリーズでは、連続溶接点間の移動動作において、溶接完了後、次打点への移動を行うロボット動作と溶接点への加圧を行うガン軸動作を同時に行い「半円弧型」の軌跡を描く動作にした。「半円弧型」の軌跡を描くことにより連続溶接点間の移動経路を短縮することができ、大幅なサイクルタイム短縮を実現している。

連続溶接点間における、従来制御と新スポット溶接制御での動作軌跡の比較を図5に示す。

(ii) 溶接点への加圧動作

従来の加圧動作では、安定した加圧力を得るためにワーク接触位置で一時停止し、その後加圧する制御を行っていた。この方法では、安定した加圧力は得られるが、ワーク接触位置で若干の待ち時間が発生する。

そこで、BXシリーズで用いられている新スポット溶接制御では、ワークに対し接触位置での停止をなくし、一定の速度で加圧動作を行うことで、連続でスムーズな加圧動作を行い、かつ安定した加圧力を得ながらサイクルタイム短縮を実現している。

従来の加圧動作と、新スポット溶接制御での加圧動作時のガン軸およびロボットの動作速度変化を図6に示す。

(3) ガン軸加減速度最適化による高速化

従来のガン軸加減速度では、ガンメーカーから提示された最大加速時間を固定パラメータとして使用していたが、この最大加速時間は余裕を見込んだ値であり、ガン軸を最大加速時間で動作させた場合でも、モータトルク上では余裕があることがわかっている。そこでBXシリーズでは、ガン軸モータの許容トルクまで使用した最適なガン軸の加減速度を決定することで、加圧動作時でのさらなるサイクルタイム短縮を実現している。

表1 BXシリーズにおけるサイクルタイム短縮率
 Table 1 Reduction rate of the cycle time in the BX series

	BX100N	BX200L
最大負荷	24%短縮	20%短縮
100 kg負荷	23%短縮	21%短縮

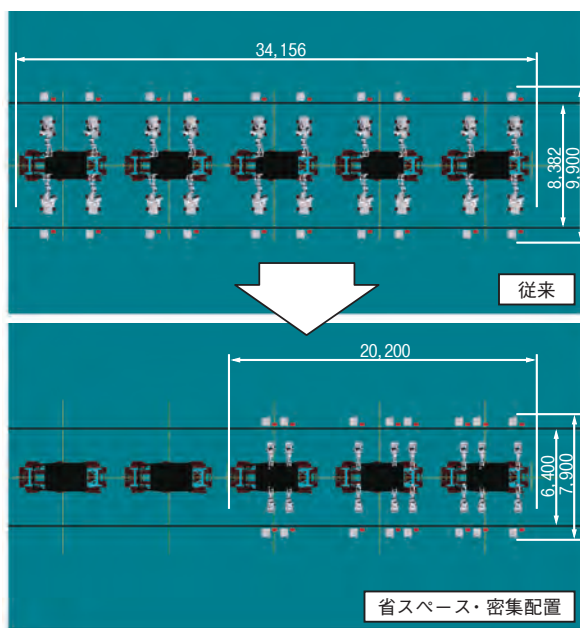


図7 省スペース、密集配置、高速化の効果
 Fig. 7 Effect of space-saving, concentrated layout and increased speed

項目	従来	適用後
ロボット台数	20 100%	16 80%
ステーション数	5 100%	3 60%
面積 (m ²)	286 100%	129 45%

(4) 高速化の効果

50mmピッチ、10連続打点動作における、BXシリーズの、本機能を備えていない従来機「ZX165U」に対するサイクルタイム短縮率を表1に示す。

3 省スペース、密集配置、高速化の効果

これまでに述べた省スペース、密集配置および高速化の効果の例を図7に示す。従来に比べ、高速化によりロボット台数を、省スペースと密集配置により設置スペースを大幅に削減している。

あ と が き

今後も当社は、これまで培ってきた技術と経験をもとに、新しい技術を加え、省力化、製品の高品質化、生産設備の効率化を追求し、新しい製品を生み出していきたい。



北村 伸二



伊地知 哲



中岡 信彦

高性能ピッキングロボット「picKstar」

High Performance Picking Robot “picKstar”



中西 徹弥① Tetsuya Nakanishi
 今井陽二郎② Youjirou Imai
 森山 尚③ Hisashi Moriyama
 南 一弘④ Kazuhiro Minami
 宮崎 利彦⑤ Toshihiko Miyazaki
 竹林 潤⑥ Jun Takebayashi
 大野 誠太⑦ Seita Ohno

食品・医薬品・化粧品などの3品業界と呼ばれる市場をターゲットとしたデルタ型パラレルリンクロボットは、ここ数年で次々とリリースされており競争が激化している。本稿では、独自の高速性能、高剛性などの他社に比べて優れた性能を持ったピッキングロボット「picKstar」を紹介する。

Delta-type parallel link robots aiming for the food, medicine, and cosmetics industries, have recently been released one after another, intensifying the competition among robot manufacturers. This paper presents Kawasaki's “picKstar” picking robot, which offers high speed performance and high rigidity that differentiate it from competitor products and highly competitive.

まえがき

2008年の世界的な景気後退により産業界の設備投資が抑制され、自動車・半導体関連企業を主取引先とする産業用ロボットの導入台数も大幅に低迷した。2009年以降、徐々に市場は回復してきたが、景気変動に左右されずに安定した利益を生むためには、自動車・半導体に次ぐ新たな業界を開拓する必要があった。

そこで、再生可能エネルギーとして注目されている太陽電池関連や、景気変動に左右されにくく堅調な需要が見られる食品・医薬品・化粧品業界で、最も自動化が求められるピッキング作業に着目し、業界トップの高速性能、高信頼性を実現した当社独自のデルタ型パラレルリンクロボット「picKstar」(図1)を開発した。

1 特徴

食品・医薬品・化粧品の自動化設備の中で代表的な工程としては、搬送対象物の流れ方向からピッキング作業、パッキング作業、パレタイジング作業の3つがある(図2)。「picKstar」はこの中の最上流工程であるピッキング用として開発され、以下の4つの特徴を持つ。

(1) 高速性能

デルタ型パラレルリンクロボットの大きな特徴の一つは、モータ、減速機、金属フレームなどをベース部に配置し、可動部には軽量の樹脂アームを用いることにより高速動作を実現していることである。しかし、動作範囲外縁付近でのロボットの各機械要素に加わる力が、動作範囲中央

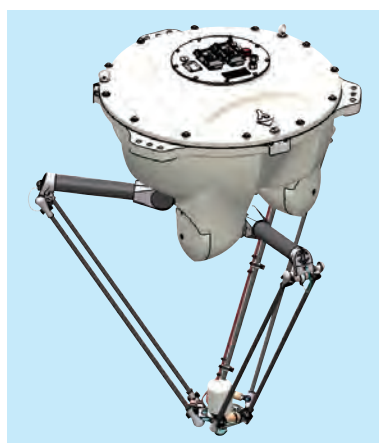


図1 「picKstar」
Fig. 1 picKstar

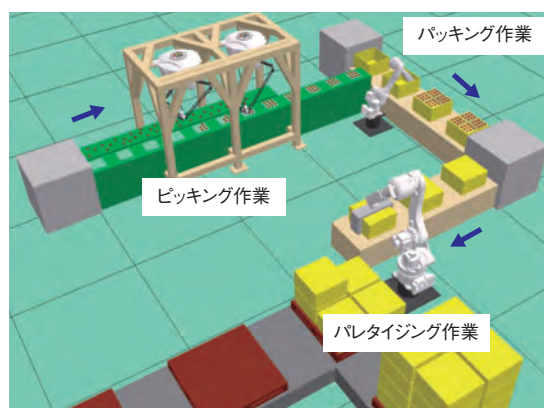


図2 ピッキング、パッキング、パレタイジング
Fig. 2 Picking, packing and palletizing

より大きく増加するため、広範囲で高速動作を実現するには、可動部の構造部材を軽量化するとともに、外縁部での荷重に耐え得る強度を確保する必要がある。そこで、モータ動力、駆動系構造および強度、ロボットアームの剛性、スプリングユニットの弾性力、高加減速で移動する先端部の機械部品の強度などを、さまざまな組み合わせで最適化することで、広範囲での高速動作を実現した。

(2) 高剛性

二つ目の特徴は、高速動作である。一般に、高速動作をさせながら、一方で制振性を維持するためには高剛性が求められる。そこで、ロボットアーム(図3)に用いるCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の繊維の種類や方向、積層構造を詳細に検討するとともに、ロボットアーム以外の可動部の構造部材についても十分な剛性を確保することで、同タイプのロボットでは類を見ない停止性能、制振性を実現した。これにより、オーバーシュートや振動が少なくなり、信頼性の高いピッキングが可能となった。この結果、非常に高い位置精度および低振動性が求められる太陽電池関連のウエハピッキング適用について、顧客より高評価を得ている。

(3) 潤滑油の漏れに対する信頼性

「picKstar」が適用される業界は、太陽電池・食品・医薬品・化粧品など、潤滑油の漏れが許されない市場である。そのため、「picKstar」のギアボックスには主として2つ

の対策を施しており、潤滑油の漏れに対して高い信頼性を実現している(図4)。

(i) 内圧緩和機構

ロボットが連続動作するとギアボックス内圧が上昇し、部品の接合面および回転摺動部などから潤滑油が漏れるなどのリスクが高くなる。このため、「picKstar」では内圧の上昇を緩和する機構を取り入れることにより、潤滑油の漏れのリスクを低減している。

(ii) ダブルシール構造

ロボットから潤滑油が漏れる最も頻度が高い箇所は回転摺動部である。この回転摺動部に対して、オイルシールを2重にすることで漏れに対するリスクを低減している。

(4) 薬品洗浄に対する耐性

食品・医薬品・化粧品のピッキング用として使用されているため、衛生上の必要から丸洗い洗浄・薬品洗浄を行うことが想定される。そのためには、高密封性および外部に露出する部品の耐薬品性が必要となる。密封性については、ロボット機内・機外との境界部のシール構造により防水・防塵の保護等級IP67を実現するとともに、ロボットの外装形状について、洗浄時にゴミが残らない凹凸の少ない曲線形状のフレーム構成とするなどの工夫を施している。また、耐薬品性については、ロボット本体ベース部の塗装や可動部の表面処理において、同業界で洗浄時に一般的に用いられる水酸化ナトリウム系の強アルカリ洗浄液に対する耐性に加え、一部の弱酸性洗浄液にも耐え得る仕様になっている。



(a) アーム上部



(b) アーム下部

図3 CFRP フレーム
Fig.3 CFRP frame

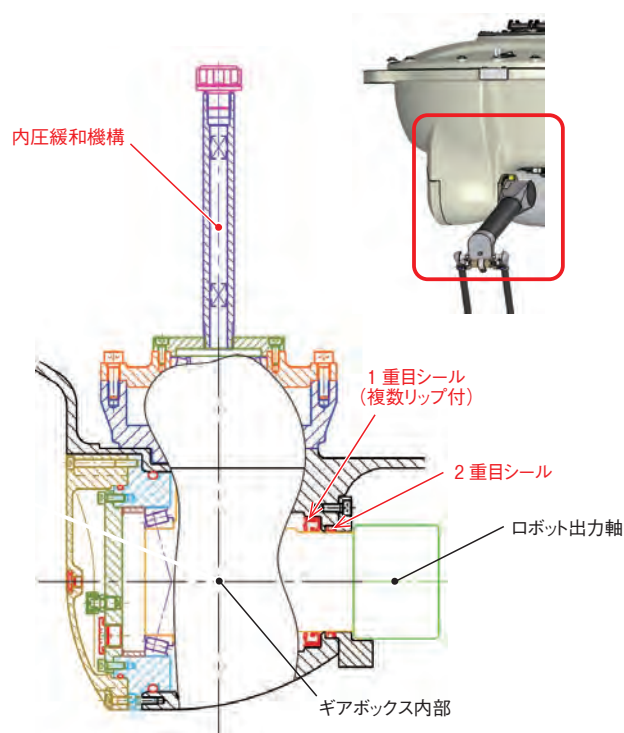


図4 潤滑油漏れに対する対策(ギアボックス構造図)
Fig.4 Measures against oil leak

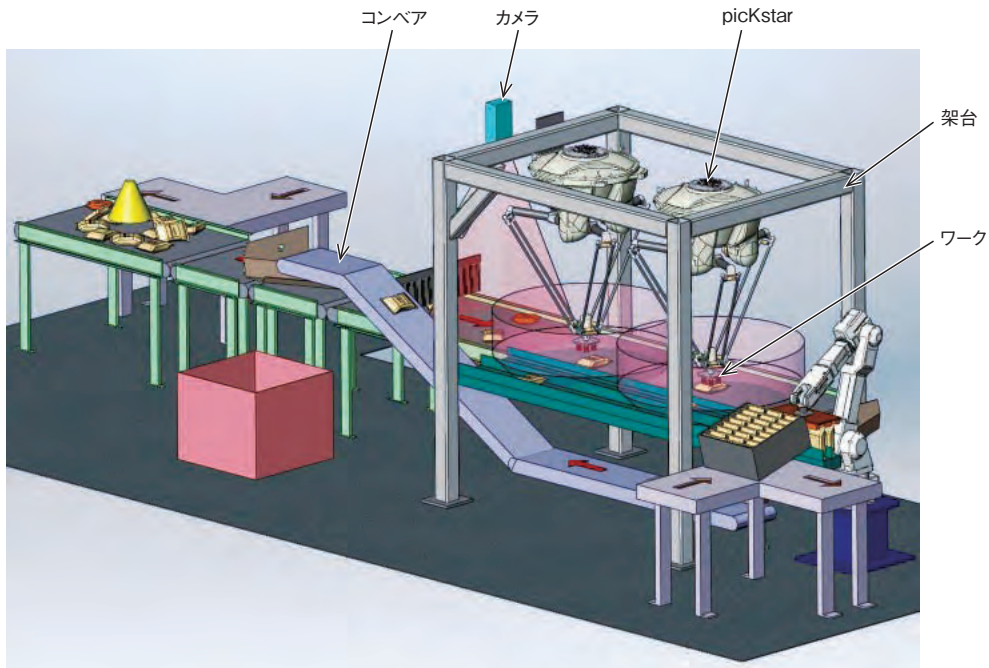


図5 「picKstar」システムレイアウト例
Fig. 5 System layout example of picKstar

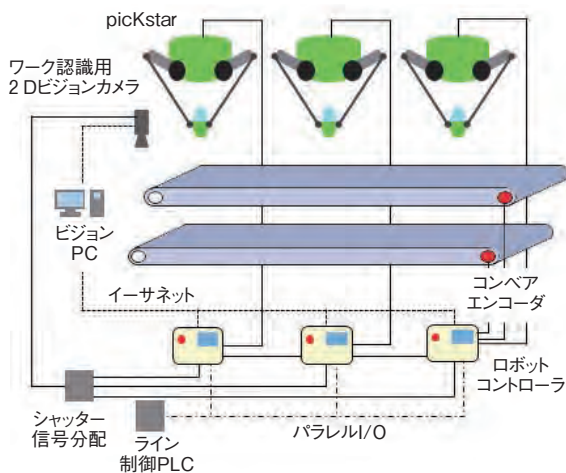


図6 画像処理装置を用いたシステム構成例
Fig. 6 System configuration example for image processing apparatus

2 システム構成

本項では、画像処理装置を用いた複数台ロボット・複数コンベアでの事例を紹介する。「picKstar」を用いたシステムのレイアウト例を図5に、システム構成例を図6に示す。以下に「picKstar」のシステム構成における画像処理システムおよびデータ管理について述べる。

(1) 画像処理システム

画像処理システムは、次のようにして動作する。

- ① ロボットへ処理する対象物（ワーク）を供給する。
- ② ワークの位置・形状を上流側にあるカメラが認識し、ロボットへ情報を伝達する。

③ ロボットは、ワークが到着すると吸着して搬送側のコンベア上へ決められた配列に置いて搬出する。

④ ロボットへ供給されてくるワークを画像認識用のカメラで撮影して、位置・形状を認識する。

この時、取り込んだ画像に対し、レンズの歪み補正が必要であれば歪み補正を行い検出処理を行う。検出処理には、次の二つの方式がある。

- ① エッジ情報を基にモデル登録したワークを認識するパターンマッチング方式（図7）。
- ② 2値化画像にて、面積・周囲長などの特徴量を比較検出する方式（図8）。

場合によっては、これらの処理を併用して運用することも可能である。また、新たな検出方式を追加することもできる。検出されたワークをはさみ込み方式で取り出す際に周囲に障害物があるかをチェックする干渉チェック機能や、カラー判別、局所形状検出などの機能も備えている。これらの機能で検出されたワークの情報をロボットの実座標系へ変換する処理を行い、計測結果としてロボットへ送信する。計測結果は指定された分配の設定に従い、複数ロボットへ同時に送信して運用することができる。

(2) ロボット間でのデータ管理

ワークを搬出側に置く場合の置きパターンや、置き個数などの情報を外部インターフェース機器を介して、各ロボット間でやり取りをすることが可能である。もし、なんらかの原因で、あるロボットが停止した場合でも、停止したロボットの作業を他のロボットによりバックアップすることが可能であり、予期せぬ状況にも柔軟に対応できる。

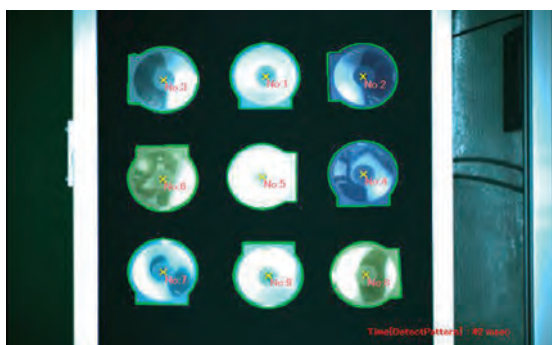


図7 パターンマッチング画面例
Fig.7 Example of pattern matching screen

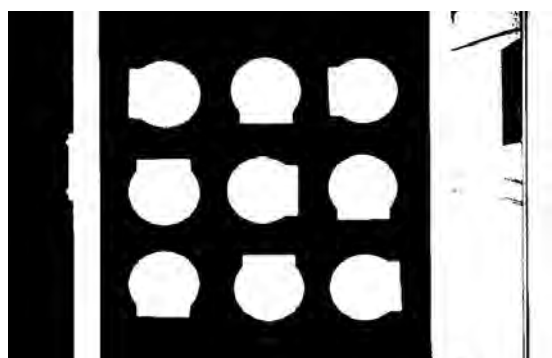
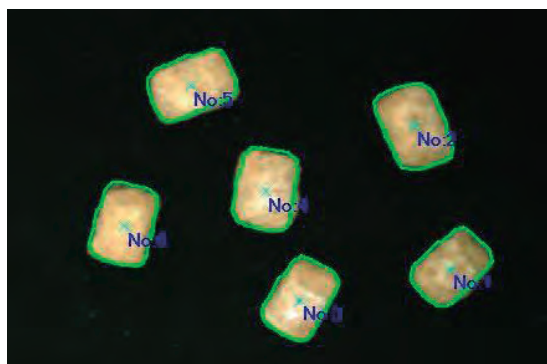
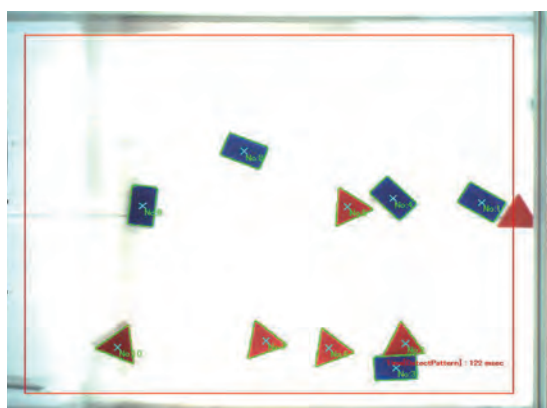


図8 2値化処理画面例
Fig.8 Example of image binarization screen



(a) 冷凍揚げ物 (2値化処理)



(b) プラスチック・ワーク (パターンマッチング)

図9 ワークの画像認識例
Fig.9 Example of work image detection



図10 ハンドの事例
Fig.10 Example of gripper

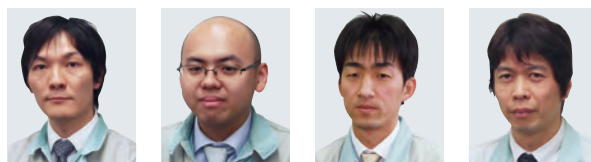
(3) 実適用での画像認識事例

実際の適用で取り扱ったワークの画像認識事例として、冷凍揚げ物、形状および色の異なるプラスチック・ワークの認識処理画像を図9に示す。ワークの画像を取り込み、ワークの形状を認識し、そこから重心点および向きを検出している。大きさによるサイズ判別も可能で、供給されたワークの大きさにより、サイズごとの仕分けなどの作業も行うことができる。

また、さまざまなワークに適用させたハンド（グリッパ）を開発しており（図10）、これらの性能についても顧客から高評価を得ている。

あとがき

本ロボットおよび周辺システムの開発に着手して以降、我々は実際の顧客案件も含むさまざまな適用評価を通じて、多くの技術的知見を得ることができた。今後も顧客の潜在的ニーズを満たすべく、さらなる性能向上を図り、開発を進めていく。



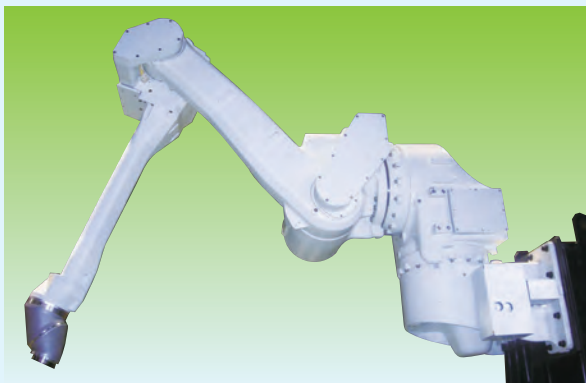
中西 徹弥 今井陽二郎 森山 尚 南 一弘



宮崎 利彦 竹林 潤 大野 誠太

コモンプラットフォーム型塗装ロボット「KJシリーズ」

KJ Series Common Platform Type Painting Robot



谷内 亮① Ryo Taniuchi
 村田 剛彦② Takehiko Murata
 後藤 勝彦③ Katsuhiko Goto

塗装ロボットは、自動車メーカーをはじめとする幅広い業界で導入されている。本稿では、あらゆる塗装アプリケーションに対応可能な塗装ロボット「KJシリーズ」、および、塗装ロボットシステムサプライヤーとして提供している塗装システムソリューションについて紹介する。

Painting robots are used in a wide variety of industries including by automobile manufacturers. This paper presents the KJ series painting robots, capable of being used in all types of painting applications, as well as painting system solutions we provide as a painting robot supplier.

まえがき

塗装ロボットは、自動車産業をはじめとした幅広い分野に導入されている。導入目的は、省人化による製造コストの削減に加え、3K（きつい、汚い、危険）作業からの作業者の解放、ロボット塗装による塗料使用量の削減による製造コストの低減、塗装品質の安定化などが挙げられる。また、塗装ロボットは、単体で使用されるケースはまれで、塗装ブースや塗装機器などさまざまな装置を組み合わせたシステムとして使用される。

当社では、エンドユーザーや塗装関連メーカーの取り組みやニーズに応えるために、ロボット単体やシステムの開発を行うとともに、ロボットメーカー独自の視点からも開発、改良を行っている。

1 新塗装ロボット「KJシリーズ」

当社では、塗料の溶剤を含む可燃性ガスの中で使用できる防爆仕様塗装ロボットとして、Kシリーズをラインアッ

プしている。今回、機能改良と機種統合を目的としてコモンプラットフォーム型塗装ロボットKJシリーズを開発し、「KJ264」と「KJ314」の製品化を進めている。

コモンプラットフォーム型とは、ロボットのあらゆる適用条件に対応可能であることを意味し、従来、適用条件によっては必要であった機種選定を不要にすることを目的とするものである。また、「KJ264」は従来と同様に軸数は6軸のみであるが、より適用範囲を広げるためにベース部にさらに1軸を追加した7軸の機体を「KJ314」として追加した。「KJ264」と「KJ314」の外観を図1に示す。

(1) 多様な設置条件への対応

塗装ロボットは可燃性ガスの中で使用されることから、専用のブース内で使用されることが多い。そして、ロボットの動作範囲を有効に使用することと、塗料の吹き返りによる汚れを避けるために、ブースの壁面やブース内に設けた棚の上に設置されることが近年増えている。従来のロボットは床に設置（床置き）することを主として設計されており、塗装ブースの壁に設置（壁掛け）する場合などは、

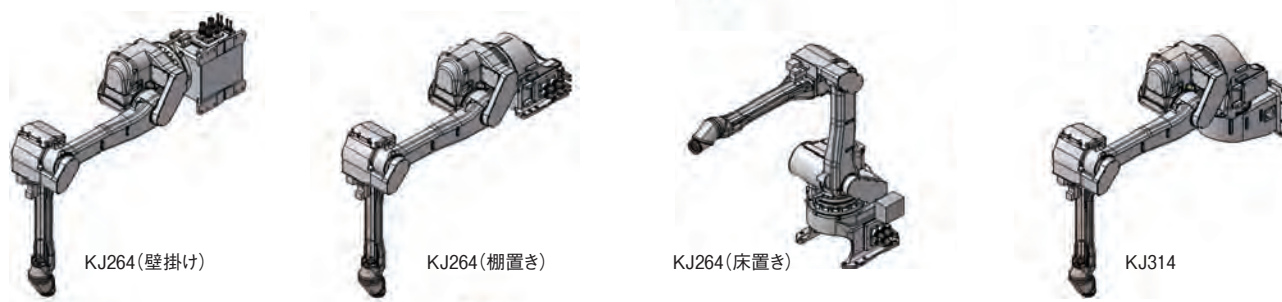


図1 「KJ264」, 「KJ314」
 Fig.1 KJ264 and KJ314

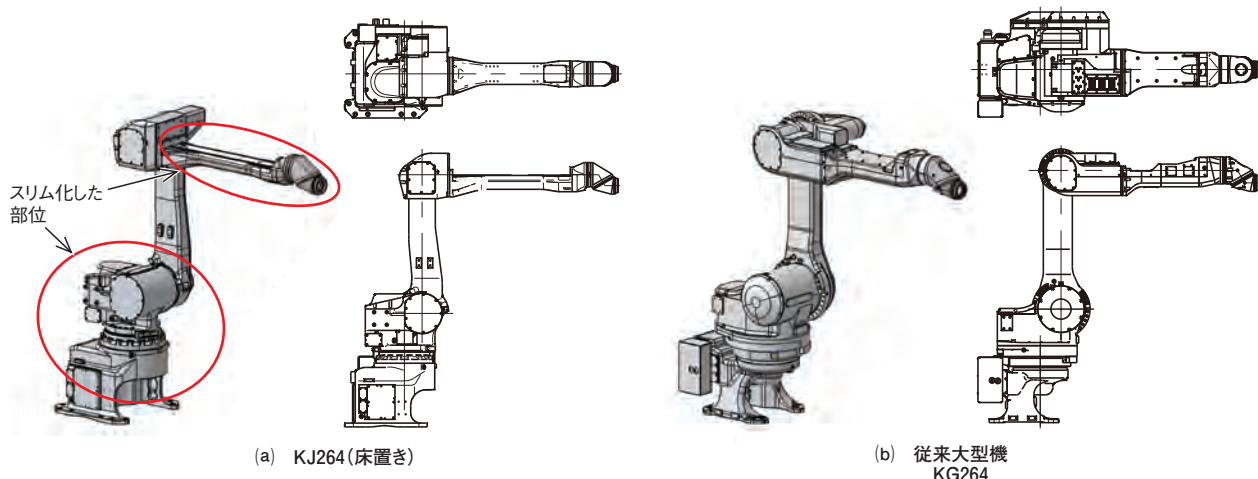


図2 従来機種との比較
Fig.2 Comparison of new robot with existing robots

ブースに架台を追加することで対応してきた。また、棚状の架台に設置（棚置き）する要求もあり、専用の機体を作成して対応してきた。それに対して「KJ264」では、図1に示すように、ベース部を変更することで全ての設置条件に対応できるようにしている。

(2) ロボット本体のスリム化・軽量化

塗装ブースの縮小により維持費用をコストダウンできるため、その要求は非常に高い。その際、問題となるのがロボットの干渉であるが、ロボット本体のスリム化が干渉回避の手段の一つとなる。また、自動車ボディの塗装のうち、開いたドアの内側を塗装する「内板塗装」においては、ロボット手首部と上腕部を開いたドアの内側に挿入するため、スリムであることが必須となる。

そこで、新塗装ロボットKJシリーズでは構造を細部まで見直し、従来機に比べて一回り以上スリムな外観とした（図2）。従来の自動車塗装向けのロボット「KG264」は大型であったため内板塗装に適していなかったが、今回、スリム化を図ったことにより、KJシリーズは自動車塗装向けの大型ロボットでありながら内板塗装が可能となった。また、従来の一般産業向けの中型機「KF264」と同等のスリムさとなったため、一般産業向けの機体としても使用できるようになった。

また、スリム化に加えて構造材の材質を鉄からアルミニウムに変更したことなどにより、従来の800kg以上から550kgに大幅な重量低減を達成した。これは、塗装ブース上方に設置されるような場合、ロボットの据え付け作業が楽になる、ロボットを支えるブース壁の強度を下げるができるため構造材の節約になる、などのメリットも生み出すことになる。

(3) 塗料ホース処理一体構造によるスリム化

塗装ロボットは、手首の先端にスプレーなどの塗装機を持たせて使用するが、その塗装機に塗料やシンナーなどを

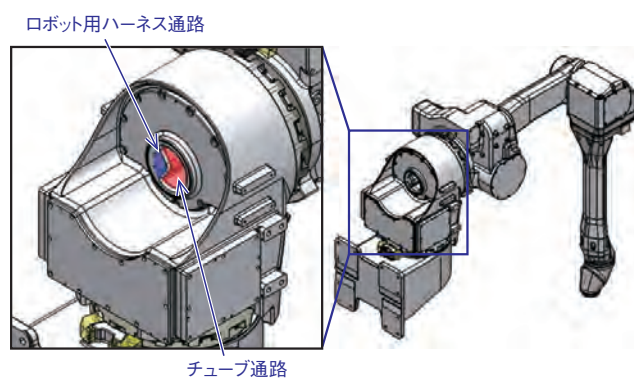


図3 ベース部のハーネスとチューブ通路
Fig.3 Route of harness and tube in base part

供給するチューブをロボット本体に沿わせて配置する必要がある。このチューブも干渉の問題を起こすので、いかにロボットに沿わせるかが問題となる。そこで、ベース部回転軸に中空構造を持つ減速機を使用し、その中空部にチューブに加え電源供給や通信を行うハーネスを通す構造を採用した（図3）。従来機でも中空構造を採用したことはあるが、ハーネスかチューブの片方しか通せなかったため、スリム化の妨げとなっていた。

ハーネスやチューブを回転軸中心に通すと、ロボットの動作によりねじられるので、単位長さ当たりが受けるねじれの量を減らし損傷を防ぐ必要がある。中空部外の部分で、ハーネスのねじれを吸収する構造にし、必要な吸収量を確保することでハーネスとチューブの共存を可能にした。

(4) 7軸仕様による省スペース化「KJ314」

ロボットの可動範囲を確保しつつ省スペース化するためには、ロボット同士の干渉、ロボットと塗装対象物の干渉、ロボットと塗装ブース壁との干渉を防ぐ必要がある。また、6軸のロボットでは、ロボット手先の位置と姿勢を6つの自由度で指定すると、ロボットの姿勢は一つに限定されるため、干渉回避のためにロボットの姿勢を変更することができなかった。従来は、これらの問題により省スペース化

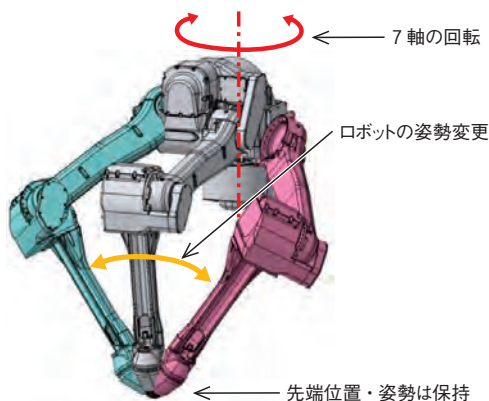


図4 7軸によるロボットの姿勢変更
Fig. 4 Posture changes by 7th axis



図6 教示ペンダント (防爆仕様)
Fig. 6 Explosion-proof type teaching pendant

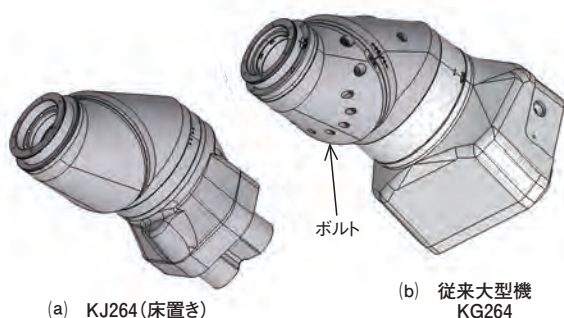


図5 従来機との手首比較
Fig. 5 Comparison of wrists

が制限されていたが、冗長軸となる7軸目(スイング軸)を追加することでロボットの姿勢変更自由度を持たせることができ、干渉を回避できるようにした(図4)。冗長軸を持たせることはコストアップになるが、7軸目は姿勢変更時のみ駆動する、という条件を付けることで機能を制限し、コストアップを最小限に抑えている。

(5) 手首フラット化による清掃性の向上

手首部分は塗装機に最も近い箇所であり、塗料の吹き返しにより汚れやすい。付着した塗料が剥がれ落ちて塗装対象物に付着すると不良品となってしまふ。そのため、手首は汚れにくく清掃しやすい必要がある。従来の手首では、ボルト類が手首表面にあり、塗料の汚れが溜まりやすく清掃しにくい箇所となっていた。KJシリーズでは組み立て手順とボルトの配置を工夫することにより、手首表面にボルトが出ない構造とした(図5)。

2 ロボットコントローラ

KJシリーズの制御に用いるロボットコントローラ「E25」の特徴と、KJシリーズ用に新たに追加した機能を紹介する。

(1) 防爆Eコントローラ

新塗装ロボットKJシリーズでは、ロボットコントローラに、最新の防爆Eコントローラ「E25」を用いている。

「E25」は、カラー液晶パネル付きの教示ペンダントを備えており(図6)、液晶パネルを用いて、ロボットの各種設定や状態モニタが行える他、塗装機器に関する設定値もグラフ表示を使って調整できる。また、プログラム命令や教示操作手順は、旧型の防爆Cコントローラと互換性があり、旧型コントローラからの置き換えを容易にしている。

(2) スイング軸制御 —ワールド座標系の使用—

通常、ロボットの直交方向の誘導操作は、ロボットベース部を基準とした座標系(ベース座標系)に沿って行すが、スイング軸付きシステムではスイング軸の角度によって座標軸方向が変化する。そこで、ベース座標系に代わり、スイング軸の旋回中心とした固定の座標系(ワールド座標系)で直交方向の誘導操作を行えるようにした(図7)。

教示データ中の座標値や、コンペアへの追従動作方向についても、ワールド座標系で行うようにし、スイング軸の有無による操作性の差異を解消している。

(3) 可変加減速制御 —姿勢変更の迅速化—

塗装ロボットでは、塗料の吐出方向を切り替える際に、ツール先端位置をほとんど動かさずに姿勢を大きく変える動作を行う。このような動作では、各軸モータトルクの許

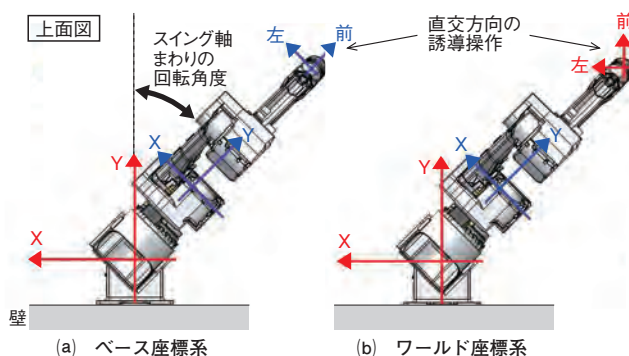


図7 「KJ314」での座標系
Fig. 7 Coordinate system of KJ314

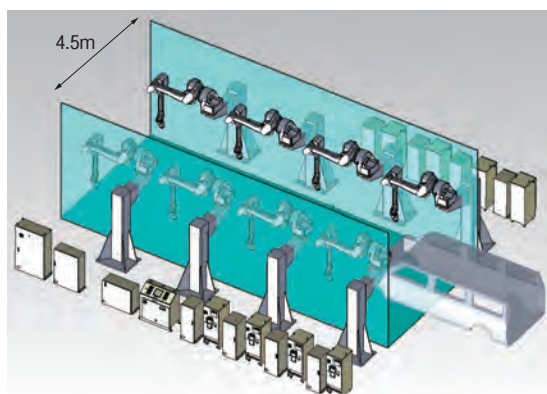


図8 自動車外板塗装システム
Fig. 8 Painting system for outer body of automobile

容範囲内で、できるだけ迅速に姿勢変更を行う必要がある。KJシリーズでは、動作開始点および終了点の姿勢を考慮して、改良した可変加減速式を用いることで、姿勢変更時の最適な加減速度を決定している。

3 塗装システムソリューション

(1) 自動車外板塗装システム

KJシリーズの最も多い適用事例である自動車の外板塗装では、塗料使用料の低減や品質向上などのために現在ではロボットの採用が一般的となっている。ロボットが採用されはじめた頃は、自動車ボディのトップ面の塗装には床置きタイプのロボットを採用していたため、6mのブース幅が必要であったが、現在では、壁掛けや棚置きタイプのロボットを自動車ボディよりも上側に配置することにより、ブース幅を4.5mまで縮小可能とした(図8)。

塗装工程において、最もエネルギーを必要とするのは塗装ブースの吸排気であり、ブース幅の縮小とブース長の短縮はエネルギーコストを削減し、CO₂の削減にも貢献している。

(2) 自動車内板塗装システム

自動車のエンジンルーム、トランクルーム、ドアの内側を塗装する内板塗装では、自動車ボディの狭い開口部やロボット同士の干渉を回避しながら、ロボット配置の密集度を高めることによりブース長を短縮することが求められる。このため外板塗装に比べてロボット化が遅れている。「KJ264」はスリムなアームと大きな中空手首を持ち、オフラインプログラミングのシミュレーション機能を利用した干渉チェックや予知機能を活用することにより、内板塗装に最適な塗装ロボットシステムを構築できるようにした(図9)。

(3) 自動車バンパー塗装システム

従来、自動車バンパー塗装に床置きタイプの塗装ロボットが採用されており、5mのブース幅が必要であったが、

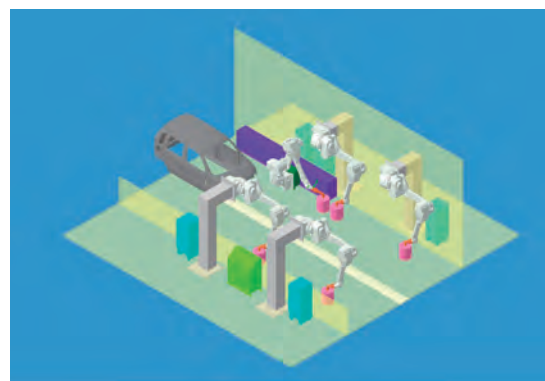


図9 自動車内板塗装システム
Fig. 9 Painting system for inner body of automobile

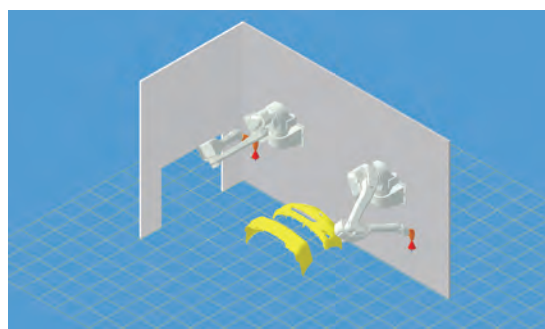


図10 自動車バンパー塗装レイアウト
Fig.10 Painting system for automobile bumpers

「KJ314」をバンパーの上側に配置し、スイング軸を活用することにより3mまでブース幅を縮小することが可能とした(図10)。

あとがき

一人でも多くの作業者を塗装作業から解放するとともに、コスト低減や高品質塗装を提供することが、ロボットおよびロボットシステムサプライヤーにとって重要な使命と考えている。また、VOC(揮発性有機化合物)やCO₂などの環境負荷低減は、地球環境にとって継続的に取り組むべき課題であり、今後も塗料、塗装機器、塗装設備メーカー各社と密接に連携しながら遂行していく必要がある。ロボット単体では環境負荷低減に寄与する効果は小さいものの、システムソリューションとして設備への波及効果まで考慮に入れると、その影響は大きい。

今後も、常により良い製品やシステムを提供し続けることにより、社会貢献をしていきたい。



谷内 亮



村田 剛彦



後藤 勝彦

高速動作と使いやすさを両立した先進半導体搬送用ロボット「NTシリーズ, NVシリーズ」

NT & NV Series Advanced Semiconductor-Transferring Robot Balanced between High Speed and Ease of Use



後藤 博彦① Hirohiko Goto
 吉田 雅也② Masaya Yoshida
 井上 政吉③ Masayoshi Inoue
 在田 智一④ Tomokazu Arita
 芝田 武士⑤ Takeshi Shibata

1995年に開発を始めた半導体搬送用ロボットは、その後、高速搬送や高位置決め精度、教示の自動化など、多くの顧客の要望を実現し、現在、業界シェアトップを獲得している。さらに、ロボット単体のみならず、それらをハイレベルで集約したソリューションの提供を行うに至っており、今後さらに事業の拡大が期待される。本稿ではNTシリーズ、NVシリーズを中心に、周辺機能を含めたカワサキクリーンロボットのシステムモデルを紹介する。

The semiconductor-transferring robots for which our development activity was started in 1995 have since served a number of customer needs such as high-speed transfer, high positioning accuracy and automated learning functions, thus, acquiring the top share in the industry at present. Moreover our efforts in the robot field have come to offer not only standalone robots as products but also solutions that integrate our findings from such efforts at a higher level, promising further expansion of our robot business. This paper introduces system models of Kawasaki's clean robots and peripheral features, with a special focus on the NT and NV Series.

まえがき

近年、半導体製造装置のさらなる処理能力向上が求められており、単位時間当たりの搬送枚数の増加が必須となってきた。これに並行して、

- ① ロボットの位置教示の自動化によるメンテナンス向上
- ② 実機の運転前に行う動作シミュレーションの簡便化
- ③ メンテナンスなどによって発生するダウンタイム（ロボットの停止時間）の短縮

などが、求められている。

当社は、1995年に半導体製造装置用ロボットを開発して以来、顧客の半導体製造装置に対し最適化したクリーンロボットソリューションを提供してきた。現在、これらの集大成として、NTシリーズを開発、市場に投入し好評を得ている。このNTシリーズは、高速高精度と使いやすさの両立を実現、また真空用ロボットNVシリーズと組み合わせることで、大気から真空までの搬送をトータルに行うことができる。

1 NTシリーズ

(1) 広い動作範囲とコンパクトな設計

NTシリーズは、半導体の基板となるシリコンウエハを密封して運ぶ容器FOUP (Front Opening Unified Pod) と、

各半導体製造装置工程間での受け渡しを行うEFEM (Equipment Front End Module) と呼ばれるシリコンウエハ出し入れ機構で使用されるロボットで、クリーン度は国際標準化機構 (ISO) の定めた清浄度クラス1を実現している。さらに、従来ではFOUPを4個並べたシステムであれば走行装置が必要とされていたが、アーム旋回中心をEFEM内でオフセットさせた位置にすることで、アームを長くすることが可能となり、上リンクと下リンクの2本のアームで広い動作範囲を実現した (表1)。これにより、従来、走行装置のために必要であった空間を、コントローラ設置などに使用することで、装置空間を有効利用できる (図1)。

また、アームを畳んだ状態での大きさを抑えることで、万一のトラブルによる交換を装置の正面からでも可能とし

表1 NTシリーズ標準仕様
 Table 1 NT series standard specifications

型 式		NT420	NT520	NT620
基本構造		水平多関節型		
動作範囲	θ1軸 (回転) (°)	340	340	340
	Z軸 (上下) (mm)	400	470	600
	θ2軸 (回転) (°)	340	340	340
	H1軸 (回転) (°)	340	380	380
	H2軸 (回転) (°)	340	380	380
位置繰返し精度 (mm)		±0.1	±0.1	±0.1
最大リーチ (mm)		1,280	1,280	1,250.7

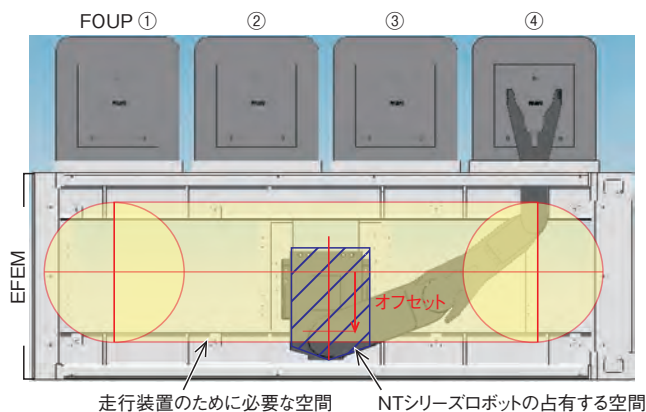


図1 走行装置付きロボットの占有域との比較
Fig. 1 Comparison with robot footprint with traveling device

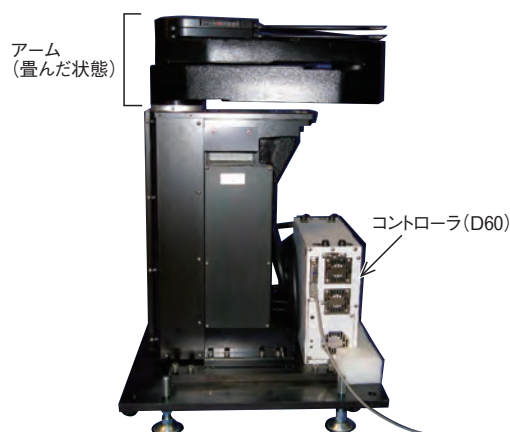


図2 アームを畳んだ状態とコントローラの設置状況
Fig. 2 Robot with arm folded and controller

ている。さらに、コントローラも小型化したので、走行装置に必要であった空間に容易に置くことができる(図2)。

(2) 高速・高精度動作

NTシリーズは、一本当たりのアームの長さを延長することでアーム間の相対角速度を上げることなくウエハ搬送速度を向上させている。これにより、見た目には緩やかで安定した動作であるが、実際には高速ウエハ搬送が可能である。例えば走行装置付きのロボットで、FOUP①からFOUP④まで(1,515mm)移動した際の動作時間が1.2秒だったものが、NTシリーズでは0.9秒へ短縮されている。この高速動作を可能としているのは、当社独自のギアトレイン(ギア列構造)によるアーム駆動である。これまで、NSシリーズやNXシリーズにおいて、ACサーボモータからアームまでギアによる伝達を行ってきた。

NTシリーズでは、各関節部分にギアボックスを配置することでACサーボモータとギアのみ構成としている。これにより、さらに剛性を高めるとともに、伝達機構がシンプルな構成となったことから、伝達によって発生する誤差が低減された。このことは位置決め精度の向上にも寄与し、精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以下を実現した。

また、NTシリーズでは新規設計のギアボックスを採用

している。ギアボックスは、バックラッシレスであることに加えて長寿命と高剛性も要求される。当社のこれまでの経験に基づいた最新要素技術による耐摩耗設計およびギアの高精度化により、減速比を維持しつつ小型化とギアの段数低減を両立させた。このギアボックスは、バックラッシレスでありながら非常に滑らかで機械的損失が少なく、ダイレクトドライブに近い特性を持つ。しかし、ダイレクトドライブでは必要な高性能位置検出器や大電流のアンプが不要となるため、レイアウトに関する自由度があり小型化を可能としている。また、このことは自動教示機能の精度向上にも寄与している。

(3) レイアウトの自由度

NTシリーズは、EFEM内での使用を目的に設計されている。EFEMには、FOUP設置数が2個から4個の場合があり、それぞれに対して共通のプログラムが使用できる。

図3で示すように、FOUPの数が異なる場合でも、ロボットの設置場所を4FOUPを基準にすることにより、各FOUPへのアクセスに対して、同一の動作プログラムを使用して、FOUP番号を指定するだけで対応できる。例えば3FOUP装置であればFOUP①、②、③、また2FOUP装置であればFOUP②、③とすることで対応できる。

(4) シンプルな構成と容易なメンテナンス

2本のアームのうち、下部のアーム部にアーム駆動用のギア減速機構およびモータ2軸分を内蔵している。また上部アーム部には最大2軸までの手首駆動用のギア減速機構およびモータを内蔵している。このように各関節部に駆動系を配置したシンプルな構成となっている(図4)。

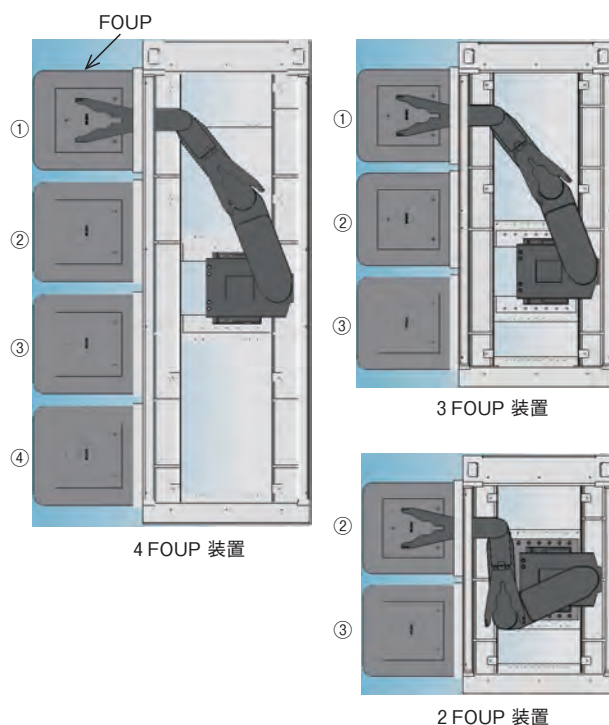


図3 FOUP数2-3-4によるレイアウト
Fig. 3 Layouts of 2/3/4-FOUP devices

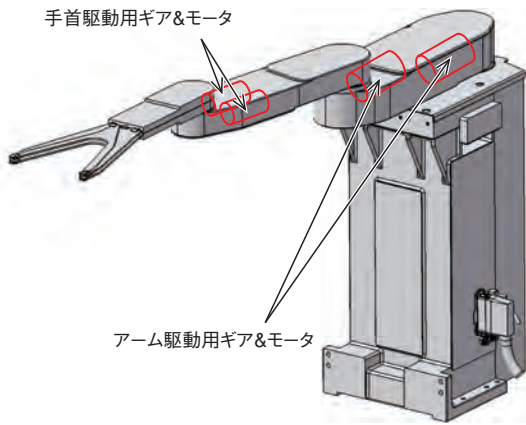


図4 ギアとモータの配置
Fig. 4 Location of gears and motors

表2 コントローラ仕様
Table 2 Controller specifications

制御型式	D60コントローラ	D61コントローラ
寸法 (mm)	W320×H300×D130	W445×H429×D130
質量 (kg)	12.5	18.5
制御軸数	最大7軸 (ロボット2台計6軸, アライナ1軸)	最大12軸 (ロボット2台計11軸, アライナ1軸)
駆動方式	フルデジタルサーボ	
教示方式	AS言語プログラム	
冷却方式	外気導入・強制空冷	
外部専用信号	外部非常停止, 外部停止, Safty fence	外部非常停止, 外部停止, Safty fence 各2系統
通信I/F	RS-232C×1 イーサネット×1	RS-232C×2 イーサネット×1
汎用入出力信号	最大入力信号16, 出力信号8	最大入力信号32, 出力信号16
所要電源	仕様: AC208V±10%, 50/60Hz, 単相 電圧降下: SEMI-F47準拠 接地: D種接地 (専用接地, 100Ω以下)	
外装	SUS304	

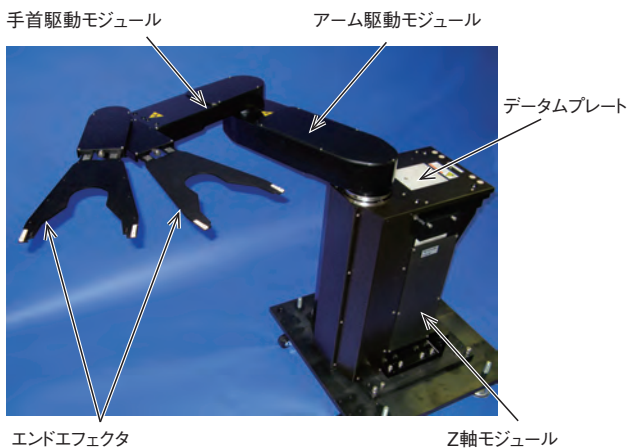


図5 モジュール構造とした駆動系
Fig. 5 Drive system of modular configuration

アーム内ギアへの給脂はアーム関節部のカバーを外すことで容易にアクセス可能であり、定期メンテナンス時のダウンタイムの短縮化が図れる。また、アーム駆動部や手首駆動部をモジュール化しており(図5)メンテナンス箇所を分かりやすくしている。

(5) 高剛性ボディ

モジュール構造とした駆動系を図5に示す。アームおよびZ軸モジュールは高い剛性を持つ構造で、アームの動作中の沈み込みとハンドの上下ハンド位置調整誤差を含めたアクセスポートでの移動中(1~4個のFOUPに対するウエハ取り置きの前方向250mm動作)に、Z方向(高さ方向)のエラーが基準値以内に収まるように出荷管理を行っている。

また、ロボットを設置する際に、デアタムプレート上(図5)で水平度を出すことで、各アクセスポート位置に配置したエンドエフェクタ上で水平度が再現できるように出荷管理を行っている。これにより、従来アクセスポートでのレベル調整にとられていた時間を大幅に削減し、ロボットインストール作業の時間を短縮した。

(6) コントローラ

ロボットを駆動するコントローラとして「D60コントローラ」と「D61コントローラ」がある。D60コントローラはコンパクトな設計となっており、D61コントローラは制御軸数を増やすことで軸数の多いロボットを2台駆動することができる。コントローラの仕様を表2に示す。

2 NVシリーズ

(1) コンパクトなボディと安定した動作

半導体製造のための真空用ロボットとして開発されたNVシリーズは、当社NSシリーズをベースとした駆動ユニットを持ち、胴体径を抑えるとともに胴体長を短くしたコンパクトな設計になっている(図6, 表3)。

大気側には、アルミ鋳造部品を使用し、剛性を確保しつつ小型軽量化を行っている。各構成部品も、従来から使用してきた駆動系であることから、信頼性も高く、長期にわたり安定した動作が維持できる。

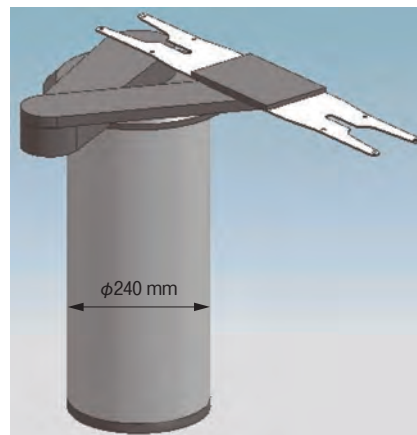


図6 [NV111] 外形
Fig. 6 External view of NV111

表3 「NV111」標準仕様
Table 3 NV111 specifications

型 式		NV111
動作自由度		3
基本構造		水平多関節型
動作範囲	θ軸 (回転: JT 2) (°)	-180~+180
	Z軸 (上下: JT 3) (mm)	0~+30
	X軸 (前後: JT 4) (mm)	-686~+686
位置繰返し精度 (mm)		±0.1
真 空 度 (Pa)		1.33×10^{-4}

(2) 「NS410」と共通のACサーボモータとギアを採用

駆動機構は、大気用ロボット「NS410」で実績のあるACサーボモータとギアを採用し、信頼性のある駆動機構とした。これにより万一の故障に対して準備する部品を共通化できた。さらに大気用ロボットと共通の駆動系であることから、D61コントローラを使用することで、NTシリーズとNVシリーズ、およびプリアライナの合計3台を1台のコントローラで駆動することができ、さらに省スペースと空間の有効利用を可能とした。

ACサーボモータとギアが共通であることから、これまで大気用ロボットで開発してきた、さまざまなソフトウェアや衝突検知などをはじめとした機能の多くが、汎用的に使用できる。D61コントローラを使用した例を図7に示す。

(3) 真空シールと真空内駆動伝達機構

大気用ロボットと共通の駆動系を採用していることから、大気側から真空側への駆動伝達が必要となる。NVシリーズでは回転駆動力の真空側への伝達部分に磁性流体シールを、上下のZ軸にはベローズを採用している。これらにより安定したシールを維持し、使用可能真空環境として真空度 1.33×10^{-4} Paを可能にしている。

アームをはじめとした真空内で使用する部品は材料をアルミニウムもしくはステンレス鋼を主体として構成し、部品表面からの放出ガスの低減を図っている。アーム内駆動はタイミングベルトあるいはステンレス鋼ベルトを採用している。ベルトの材質は半導体製造装置のプロセスによって異なり、搬送系に求められる放出ガス性能によって選定している。

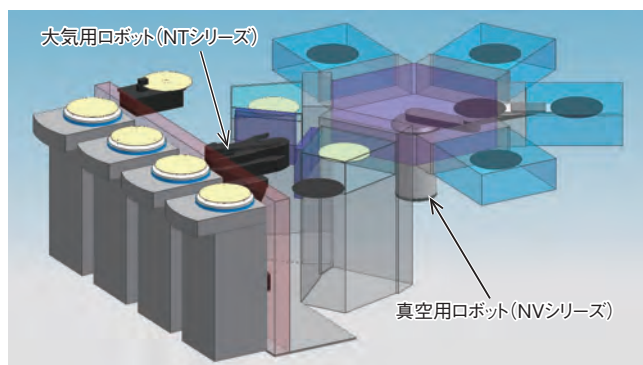


図7 大気用ロボットと真空用ロボットの組み合わせ
Fig.7 Combination of atmospheric robot and vacuum robot

(4) ウエハ有無検知

「NV111」はハンド先端にウエハ検知用ファイバーセンサを取り付けることが可能であり、センサアンプは大気ロボットと共通のものを使用している。ファイバーセンサの被覆をテフロン系の材料とすることなどで放出ガスの低減を図っている。大気用ロボットとACサーボモータやセンサアンプを共通にすることで、大気用ロボットと同様にウエハのスニッピング（各ステージでのウエハ有無検知）が、可能になった。今後、このセンサを利用した自動教示についても検討を進めていく。

3 接触式（タッチセンシング式）自動教示機能

(1) 概 要

ますます複雑化する半導体製造装置内の限られたスペースの中で、短時間に精度良くロボットの位置教示を行うには作業者の高度なスキルが要求される。これに対し、当社は作業者のスキルに依存せず容易に教示を行える接触式自動教示機能を開発した。

接触式自動教示機能には次のような特長があり、顧客からも注目されている。

- ① 狭いスペースでも短時間で教示が可能。
- ② 作業者のスキルに依存しないため教示精度のばらつきが小さい。
- ③ 高価なセンサや専用センサ治具が不要。
- ④ 環境（水滴、腐食性ガス、高温など）に依存しないでセンシング可能。

(2) 位置検出方法

教示作業では、ウエハの取り／置き動作を行う位置のX、Y、Z座標を登録する必要がある。タッチセンシングを用いた基本的な位置検出動作を図8に示す。タッチセンシングでは、ロボットが通常動作する時に必要な位置検出器（エンコーダ）を接触位置判定に使用しているため、新たに外部センサを追加する必要がない。当社独自の高剛性ギアトレイン構造を採用しているNTロボットは、負荷側から駆動しても、モータ／エンコーダ側でのヒステリシス、パツ

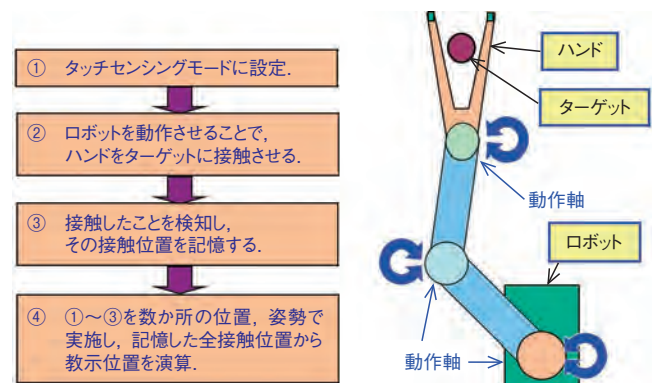
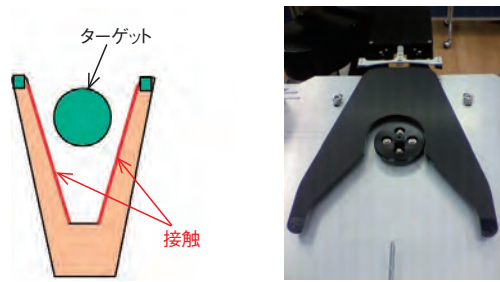
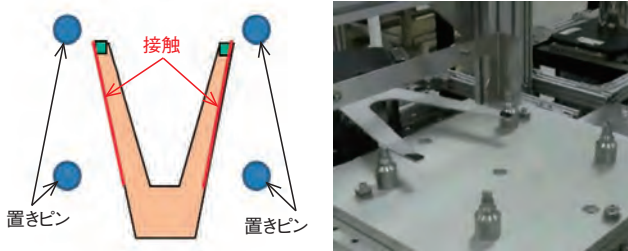


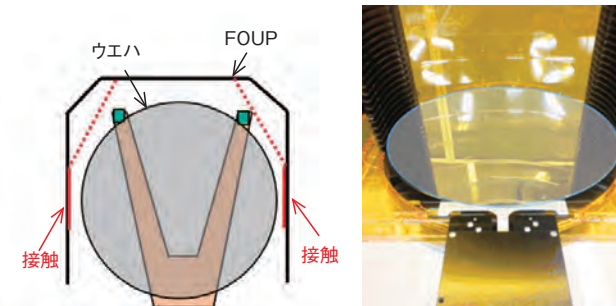
図8 タッチセンシングの基本動作
Fig.8 Motion of touch sensing



(a) ターゲットを用いた例



(b) 置きピンの例



(c) ウエハを用いた例

図9 位置検出方法例
Fig.9 Example of position detection

クラッシュがほとんど無く動作させることができる。そのため、ベルト駆動や差動減速機駆動とは異なり、負荷側からのタッチによる微小のズレでもモータ軸での検知が可能で、さらに、最大力が1~2Nという微小力でタッチするため、ターゲットにダメージを与えることがない。

(3) 位置検出方法例

ターゲット（教示用としてウエハの代わりに設置する治具）を用いた場合の例を図9(a)に示す。教示位置は、センシングにより検出した複数位置、ターゲットの寸法と取り付け位置、ハンド寸法から演算により求める。ターゲットは装置側にあらかじめ据え付けておくか、教示作業を行う時に取り付けることにより運用することも可能である。

図9(a)ではハンドの内側とターゲットを接触させて位置検出を行うが、接触させる“箇所”や“もの”があらかじめ決まっているわけではない。図9(b)は、ハンドの外側と、ウエハを置くための置きピンを接触させて位置検出を行う場合の例である。また、図9(c)はFOUFの例で、ハンド上に把持したウエハを側壁に接触させて位置検出を行っている。

半導体搬送用ロボットは、顧客や装置によってハンドの形状やウエハ把持方法（エッジグリップ、吸着など）が異なり、さらに、ウエハを取り／置きするポジションの構造も異なる。接触式自動教示機能を用いれば、教示ポジション近くで、位置、形状、寸法などのあらかじめ定まったポイントがあれば、それを利用して教示を行うことが可能となる。接触させる箇所（場所、個数）や方向に違いはあるが、ソフトウェアの変更のみでほとんど対応できるため、既存の装置に対して追加機能として対応する場合でも導入が容易となる。

(4) 応用技術

NTシリーズは、動作伝達系の剛性が高く、タッチセンシング時には、検出軸の位置変化をモータやエンコーダに最少のロスで伝達できるため、高精度なセンシングを行うことが可能である。また、このタッチセンシング技術を利用すれば、次のようにロボットの自己診断機能として応用することも可能である。装置内の特定のポイントを定期的にセンシングして位置を確認することで、その結果からロボット状態の変化を経時的に監視し、閾値を超えると装置側にワーニングとして知らせることで、その後に起こり得るトラブルを未然に防ぐことができる。

4 半導体搬送用ロボット専用シミュレータ

(1) 概要

受注活動からロボット納入時、装置稼働後まで幅広く活用できる半導体搬送用ロボットに特化した専用シミュレータの開発にも積極的に取り組んでいる。パソコン上で動作するシミュレータで、表4のような機能がある。シミュレータは、I/O画面やティーチペンダント画面、AS言語（ロボット言語）の入力を行う操作画面と、速度、位置などの波形表示を行うグラフ表示画面やロボットの3次元描画画面から構成される。画面構成を図10に示す。

(2) 容易なロボット適用検討

専用ツールを使用することで、装置レイアウトの図面からロボットの動作可能範囲設定、アクセスする位置での対象パーツの描画などを容易に行える。また、動作パラメータ（ロボット姿勢、動作用各種オフセット値）や動作順序を設定することで、標準動作ソフトで読み込むデータを自動で生成し、干渉確認、動作軌跡の検討、動作シーケンスの確認やサイクルタイム計測などもできる（図11）。これ

表4 シミュレータの主な機能
Table 4 Main functions of simulator

・干渉チェック	・動作軌跡表示
・サイクルタイム検証	・TPシミュレーション
・I/Oシミュレーション	・外部通信接続
・動作波形表示	

TP : Teach Pendant

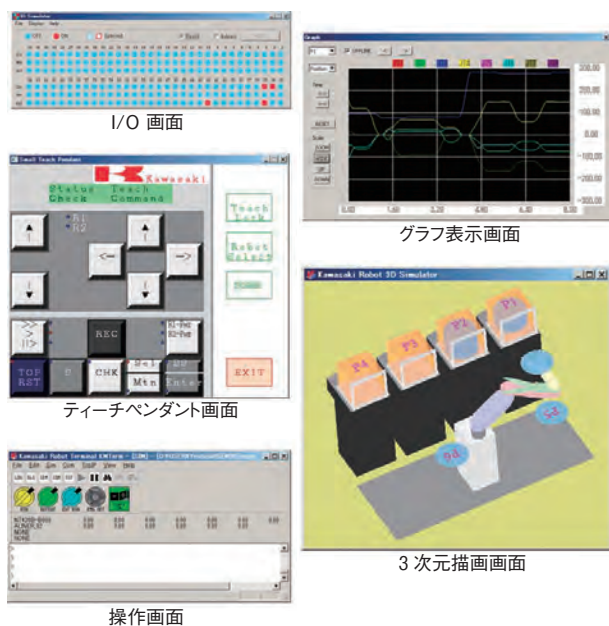


図10 シミュレータの画面構成
Fig.10 Screen of simulator

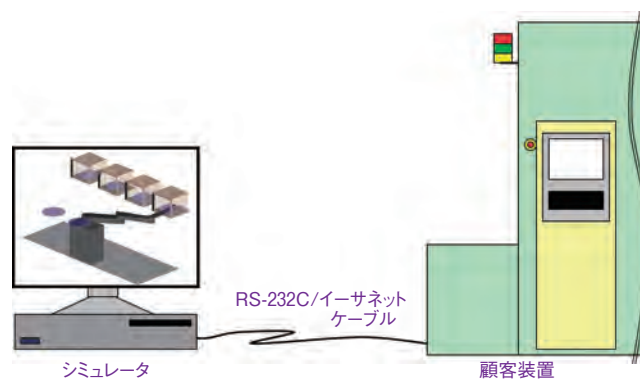


図12 装置との接続
Fig.12 Connection with equipment

らの作業は、ソフトウェアの専門的な技術を必要とせず、短時間に対応できるため、新規顧客に対して、装置導入イメージをわかりやすく伝えるツールとしても幅広く活用することが可能である。

(3) 外部通信接続

パソコンのイーサネットポートやRS232Cポートを使用して外部装置と接続できる。そのため、顧客にロボットを納入する前の段階でも、装置と接続（図12）して通信

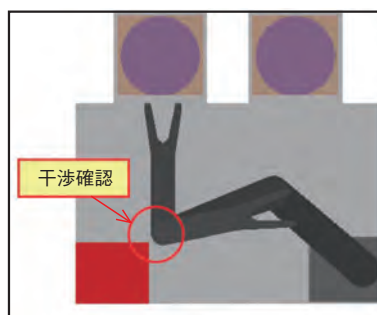
インターフェースの確認やロボット動作の確認を行うことが可能となる。従来は、ロボットを納入後、装置に組み付け、電気やエアの配線・配管を行うなどロボットが動作できる状態にするという段取りを経て、初めて装置側ソフトウェアとの連動確認を行っていた。これに対して、シミュレーションで使用するロボットソフトウェアは、そのままロボットコントローラにインストールして使用できるため、オフラインで連動確認することで、実機での評価期間が短縮できる。さらに、十分にデバッグを行った完成度の高いソフトウェアを使用することで、実機評価時における干渉事故などの発生リスクも低減できる。

(4) トラブル時の対応

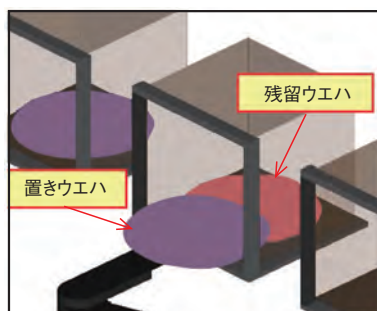
納入先でのトラブル発生時には、その時のセーブデータをシミュレータに読み込ませることにより、トラブルの再現確認を行えるため、迅速な原因究明、トラブル解決に役立つことができる。

あとがき

半導体搬送用ロボットは、今後も高速化が進み、さらにはシリコンウエハの大径化も進んでいく。現在の状況に甘んじることなく技術を磨き、今後も顧客の満足を得続けることができるよう努力していく所存である。



(a) 干渉確認



(b) 動作シーケンス確認

図11 シミュレータの機能
Fig.11 Simulator functions



後藤 博彦



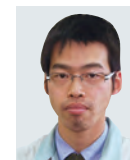
吉田 雅也



井上 政吉



在田 智一



芝田 武士

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

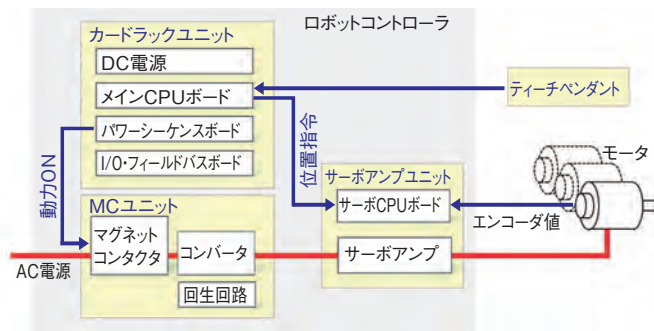


図1 コントローラの構成図
Fig.1 Configuration diagram of controller

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

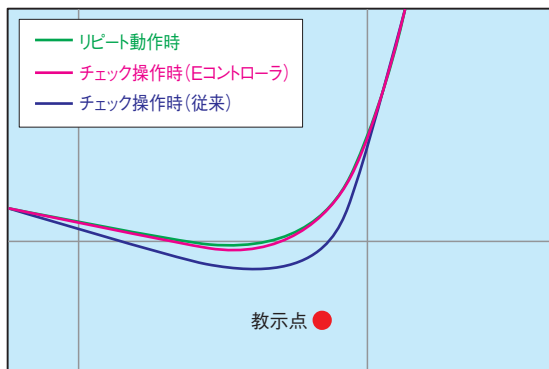


図2 軌跡誤差低減の例
Fig. 2 Examples of trajectory error reduction

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、

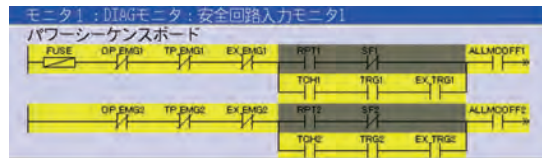


図3 安全回路モニタ例
Fig. 3 Examples of safety circuit monitor

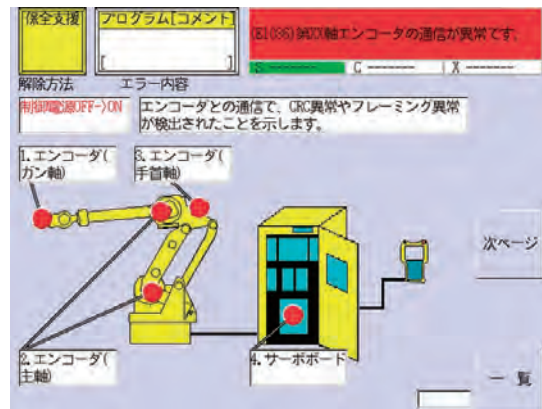


図4 保全支援機能の表示例
Fig. 4 Display example of maintenance support function

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つ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

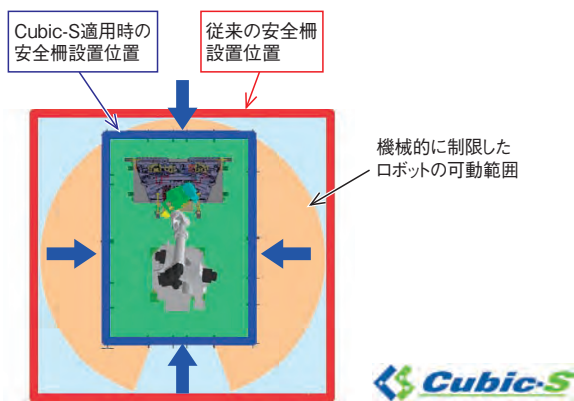


図5 「Cubic-S」による動作範囲制限
Fig. 5 Operating range limited by Cubic-S

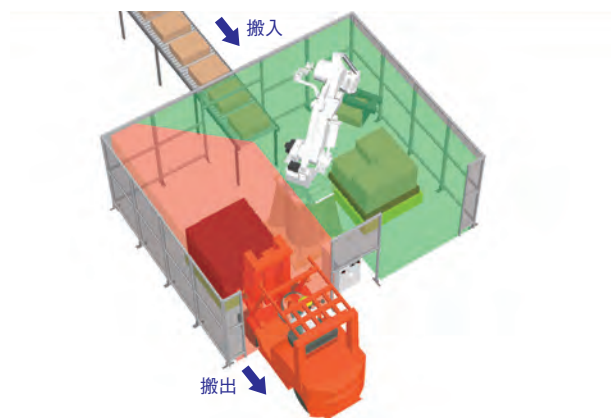


図6 動作範囲制限の選択
Fig. 6 Selectable limitation on operating range

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)



複雑な動作環境へのロボット導入を容易とする ロボットシミュレータ「K-ROSET」

K-ROSET Robot Simulator for Facilitating Robot Introduction into Complex Work Environments

長谷川省吾① Shogo Hasegawa
 渡邊 雅之② Masayuki Watanabe
 吉村 高行③ Takayuki Yoshimura
 木下 博貴④ Hiroki Kinoshita
 本多 文博⑤* Fumihiro Honda
 占部 博信⑥ Hironobu Urabe

ロボットシステムの競争力を向上させ、他社と差別化を図っていくために、ロボットシミュレータをベースとした、各種アプリケーションの開発を進めている。本稿では新しいロボットシミュレータ「K-ROSET」を紹介するとともに、そのシステム上に拡張されたアプリケーションについて述べる。

With the aims of improving the competitiveness of our robot systems and differentiating our robot products from those of our competitors, we are developing various applications based on robot simulators. This paper presents the new robot simulator K-ROSET and describes applications expanded on its system.

まえがき

ロボットシステムは、適用拡大にあわせて、ロボットと周辺機器の連携や、同一ライン内の適用混在ロボット配置など、複雑化してきている。また、高度なロボット動作プログラムを簡単に作成したいという要求もある。この課題を解決するために、ロボットメーカー各社はそれぞれ自社用の適用検討・シミュレータの改良、機能追加に注力している。

当社は2011年に新たなロボット適用検討・シミュレータ「K-ROSET」を開発した。この「K-ROSET」はロボット適用検討・シミュレータに要求される基本機能に加えて、ロボット動作プログラムの開発、検証環境をパソコン上に提供するものである。さらに、「K-ROSET」は、必要なアプリケーションを追加して機能を拡張することが可能である。本稿では「K-ROSET」の概要およびその機能拡張の例を紹介する。

1 「K-ROSET」の概要

教示作業の効率化には、ロボットシミュレータに代表されるオフラインツールの活用が必須である。当社では、ロボット導入簡易化のためのオフラインツールとして、ロボットシミュレータ「K-ROSET」および自動教示データ生成ソフトウェア「KCONG」を開発し、目的と用途に応じて、これらを使い分けた最適な構成のロボットシステムをユーザーに提供している。

「K-ROSET」は実際のロボットと同じ動きをパソコン上でシミュレーションするツールである。「K-ROSET」では、実機と同じ方法でロボットを操作でき、また、実機と同じロジックで動作計画を実行できる。さらには必要なアプリケーションを追加することで、教示作業そのものを自動化

表1 「K-ROSET」の主な機能
Table 1 Main functions of K-ROSET

・干渉チェック	・軌跡線表示
・設置位置解析	・距離計測
・サイクルタイム検証	・タイムライン検証
・I/Oシミュレーション	・簡易モデリング
・外部軸対応	・仮想TP
・各種ツールモデリング	・動画作成
・複数ロボット同時検証	・CADデータインポート

TP:Teach Pendant

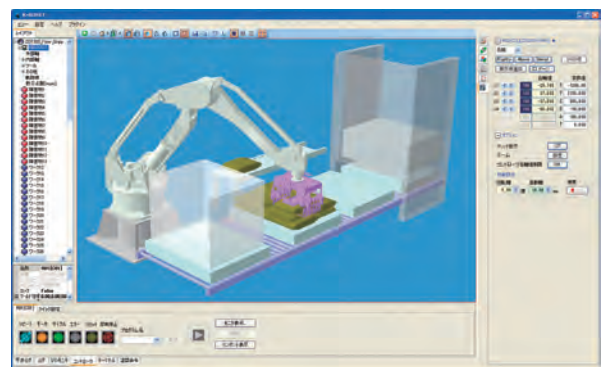


図1 「K-ROSET」操作画面
Fig. 1 Operation screen of K-ROSET

して、人が行っていた経験に基づく教示作業や試行錯誤的な教示作業をなくすことも可能である。

「K-ROSET」の主な機能を表1に、操作画面を図1に示す。

(1) 構成

「K-ROSET」は、必要メモリが少なく、処理速度が速い3D描画ソフトを組み込み、その周りに操作インターフェースを配置したソフトウェア構造にすることで操作性の向上を図っている。操作者は、ロボット、ワーク、教示点などを画面に配置していくことで、直感的にロボットの動作プログラムを生成し、実際のシステムをパソコン上でシミュレーションすることが可能である。

(2) 適用対象

実際のロボットシステムでは、ハンドリング、アーク溶接、塗装など、さまざまな適用作業があるが、「K-ROSET」上でも適用対象ごとに、それぞれのシミュレーションが可能である(図2)。また、アーク溶接とハンドリング、ハンドリングとシーリングなど異なる適用のロボットを同時に配置したロボットシステムの検討も可能である(図3)。

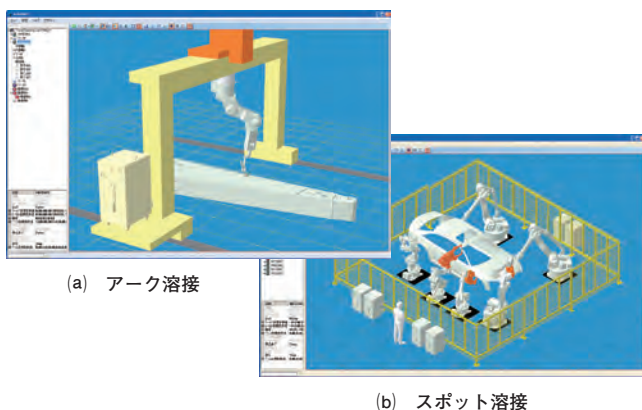


図2 適用対象ごとの検討例
Fig.2 Simulation examples of applicable targets

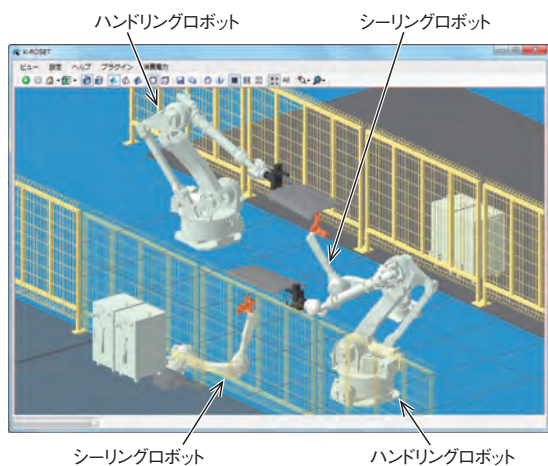


図3 適用混在の検討例
Fig.3 Simulation example of multiple applications

2 「K-ROSET」の特徴

複数台ロボット、あるいは外部軸、コンベア、周辺機器などを含んだ複雑なロボットシステムについては、実機を用意せずに作業を検討することが不可欠である。このような場合に、ロボットシミュレータの以下の機能を活用すれば、生産設備導入の各過程において、表2に示すような効果が期待できる。

- ① レイアウト検討
- ② ロボット動作プログラムの作成、検証
- ③ サイクルタイム検証

「K-ROSET」は、ロボット動作を計算する部分にロボットコントローラと同じ動作ソフトを利用している。さらに、実際のロボットで動作させるよりも数倍の速度でシミュレーションすることで、高精度かつ高速にサイクルタイム算出が可能となっている。

「K-ROSET」の機能を活用すれば、ロボットを手動操作で適切な姿勢に誘導する手間を省いて、教示時間を短縮で

表2 ロボットシミュレータ適用のメリット
Table 2 Merits of robot simulators

導入前	導入時	導入後
システム提案 レイアウト検討	適用検討 動作検証	自動教示 動作改良検証

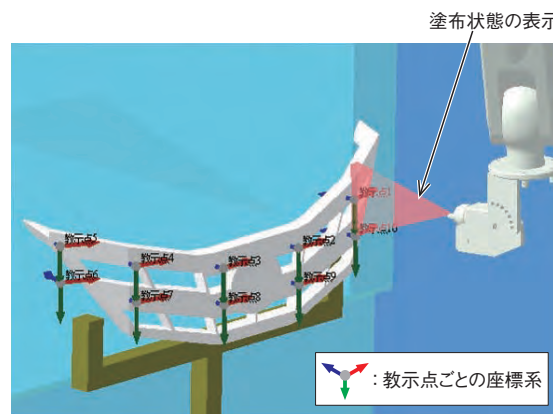


図4 教示点生成例
Fig.4 Example of teaching points creation

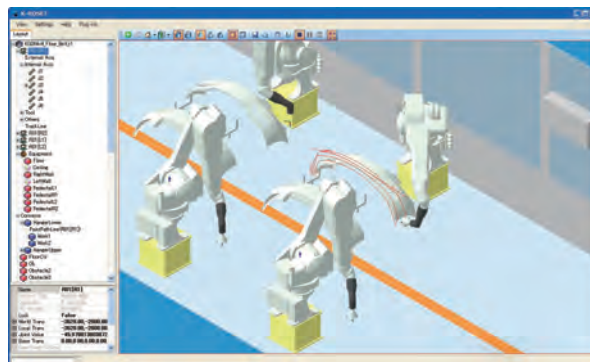


図5 実システムの適用例
Fig.5 Simulation example of real application

きる。例えば、画面上でワークをクリックするとその位置に教示点を作成でき、その教示点をプログラムエリア（編集画面領域）にドラッグ&ドロップすると動作命令を作成できる。ワーク上に教示点を生成させた例を図4に、生成した教示点を元に動作させている例を図5に示す。図5ではロボットの先端位置の動作軌跡を表示している。

3 カスタマイズ事例

「K-ROSET」では、ユーザーが独自の操作インターフェースを作成したり、機能を拡張したりするなどのカスタマイズ(プラグイン)ができるようになっている。「K-ROSET」本体のシミュレーション機能はそのまま利用した上で、新しい機能や独自に必要な機能を「K-ROSET」と合わせて利用することもできる。

実際にカスタマイズ機能を利用して開発した追加アプリケーション例を以下に示す。

(i) 「CS-Configurator」(図6)

ロボットの安全監視ユニットで各種のパラメータを設定する。例えば監視空間を設定する際に、三次元空間を表示

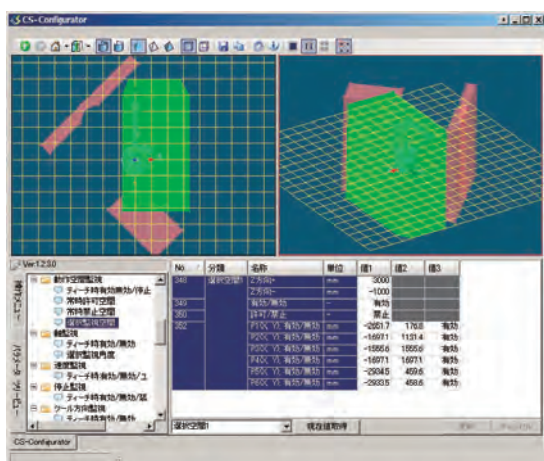


図6 「CS-Configurator」設定画面例
Fig.6 Example of CS-Configurator setting screen

することで直感的な設定を可能としている。

(ii) 「K-SPARC」(図7)

「K-SPARC」でパレタイズパターンを自動生成して、「K-ROSET」によりロボットや機器を配置する。また動作プログラムを実行することで積み付け動作を確認できる。

(iii) 干渉予知機能(図8)

ロボット設置後にプログラムを変更した際に、オンラインで本機能を接続しておくと、動作中にロボットとワークや周辺装置との間の干渉を予測し、三次元表示により干渉予測箇所を容易に確認でき、干渉発生する前に停止させることができる。

(iv) 消費電力シミュレーション機能(図9)

「K-ROSET」上でロボット動作プログラムを実行し、その動作時の電流や電力を推定計算し、その結果を表形式で表示させる。

(v) ピッキングロボットシミュレーション「K-PET」

近年、食品、医薬品、化粧品などのいわゆる三品業界で、ロボット利用が急速に拡大しており、特に、ビジョンシステムと組み合わせ、小物ワークを高速に移載する適用が多い。これらの市場に展開する際には、ロボットの移載能力の検証を素早く実施することが、一つのキーとなっている。そのため、これらの適用に特化して、より簡単に設定やシミュレーションを実施できるシステムの開発も進めている。当社の高速ピッキングロボット「picKstar」をパソコン上でシミュレーションするための専用ツール「K-PET」

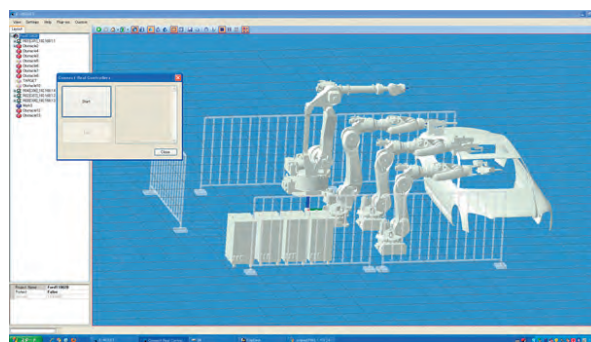


図8 干渉予知機能画面例
Fig.8 Example of interference check function

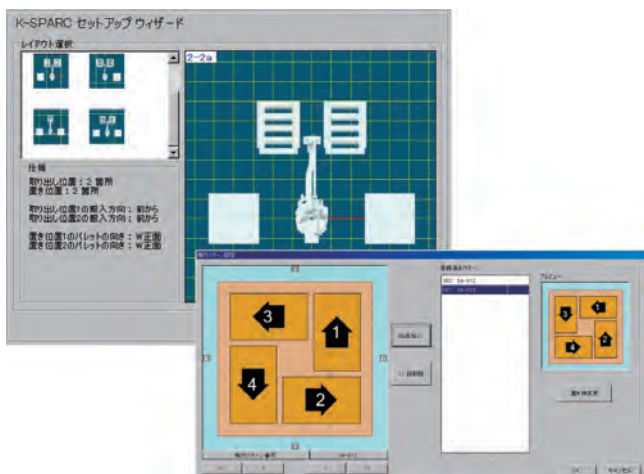


図7 「K-SPARC」設定画面例
Fig.7 Example of K-SPARC setting screen



図9 消費電力シミュレーション機能画面例
Fig.9 Example of power consumption simulation

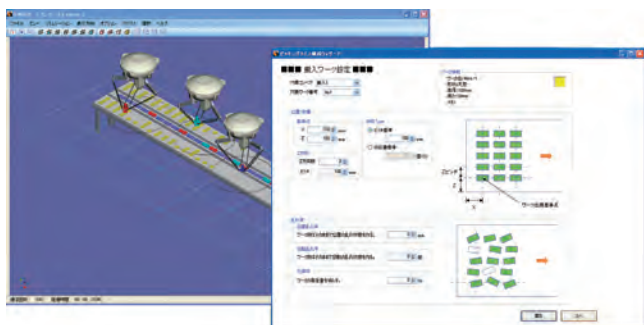


図10 「K-PET」設定画面例
Fig.10 Example of K-PET setting screen

を図10に示す。「K-PET」では、搬入・搬出のコンベアの設定、対象のワークの搬入・搬出の仕方などを簡単に設定できるメニューを用意している。また、複数の「picKstar」にどのように分配させるかの設定も容易にできる。

4 他アプリケーションとの連携

(1) ビジョンシステムとの連携

「K-ROSET」を他のアプリケーションと連携させることで、より高度な適用検証をすることができる。「picKstar」などで使われる2次元ビジョン認識システム「K-VFinder」と「K-ROSET」を組み合わせ、シミュレーションする機能の開発を進めている。これにより、ビジョンシステムのパソコン上での設置検討とビジョンシステムと組み合わせたロボットの動作検証が同時に実施できる。

ビジョンシステムとの組み合わせ例を図11に示す。画面左側の「K-ROSET」で生成されたワークの情報が入った「K-VFinder」に送られ、あたかも実際にカメラで認識したかのようにシミュレーションを行っている。

(2) 自動教示システムとの連携

自動教示データ生成ソフトウェア「KCONG」は、3次元CADを内部に組み込んでおり、「KCONG」と連携するために、「K-ROSET」も同じ3次元CADを採用している。それにより、両システム間でのデータ連携を実現し、「K-ROSET」が得意とする周辺機器を含む適用検討の機能

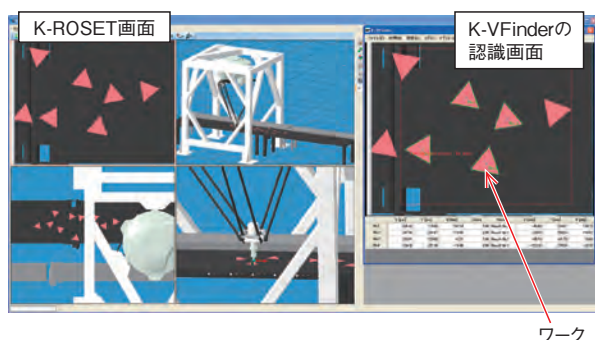


図11 「K-ROSET」と「K-VFinder」の組み合わせ例
Fig.11 Example of K-ROSET and K-VFinder

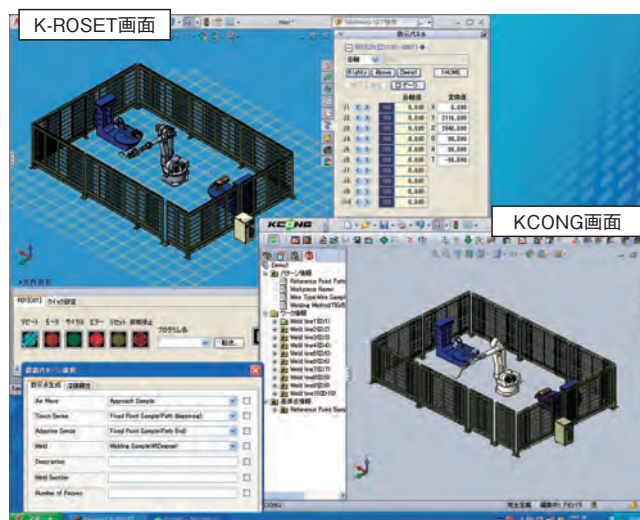


図12 「K-ROSET」と「KCONG」の連携
Fig.12 Example of K-ROSET and KCONG

と、「KCONG」が得意とする、ワークの3次元データから教示データを自動生成する機能の融合を図った。

図12に連携している様子を示す。「K-ROSET」で作成したシステムレイアウトのデータを基に、「KCONG」で教示点を自動生成させる。さらにその作成したデータを、「K-ROSET」に渡して動作検証を行っている。

あとがき

当社ではロボット適用検討・シミュレータツールを開発するだけでなく、ロボットシステムを差別化するツールとしてもロボットシミュレータ技術を利用していくことを進めている。

今後も、他社との差別化を図り、より魅力的で効果的なロボットシステムとして顧客に提案していくために、オフライン検討システムを核として、さまざまなアプリケーションの開発を進めていく所存である。



長谷川省吾



渡邊 雅之



吉村 高行



木下 博貴



本多 文博



占部 博信

バラ積みワーク取り出しロボットシステム － 3次元ビジョンシステムの適用－

Bin-Picking Robot System – Application of 3D Vision System –



赤松 政彦①*	Masahiko Akamatsu
山本 武司②	Takeshi Yamamoto
横尾 篤志③	Atsushi Yokoo
布目 徹④	Toru Nunome
河上 大祐⑤	Daisuke Kawakami
榎本 雅幸⑥**	Masayuki Enomoto
長谷川省吾⑦	Shogo Hasegawa
三浦 克也⑧	Katsuya Miura
竹本 豊⑨	Yutaka Takemoto

工作機械への部品（ワーク）のローディングや工程間のハンドリング作業は、製造ライン構築に重要な作業工程であり、特にバラ積みワークの取り出し作業の自動化が求められている。本稿では、当社が開発した3次元ビジョンシステムの適用事例として、バラ積みワーク取り出しロボットシステムについて述べる。

Operations for loading workpieces onto machine tools and handling workpieces between processes are important towards building a manufacturing line. In particular, the operations for picking workpieces in bulk need to be automated. This paper describes a bin-picking robot system as a case of application of a 3D vision sensor developed by us.

まえがき

現在、機械部品の加工工程において、工作機械へのワークのローディングや工程間の移載など、加工プロセス間におけるワーク搬送作業は、人手に依存している場合が多い。このような加工プロセス間にある機械部品のピッキングや搬送などを、ロボットシステムにより自動化すれば、加工工程のレイアウトやフローが柔軟になり、ライン全体の自動化率の向上が図れる。

素材加工の生産現場において、コンテナ箱などの大型部品箱にランダムに入れられた状態のバラ積みワークの取り出し作業（ビンピッキング）は、自動化が進んでいない工程である。特に、鍛造素材や機械部品などの重量物ワークの取り出しは、単調な繰り返し作業、不快な作業環境など、いわゆる3K職場であり、自動化の要求度が高く、ロボットシステムの導入が期待されている。また、部品を整列させる専用機を用いた場合は、多品種に対応できないなどの問題があるため、汎用性の高い産業用ロボットによる実用化が必要となっている。さらに、ロボットシステムの導入のためには、複雑なバラ積みワークを認識するためのビジョン技術の開発が必須である。

当社では、これまでにロボット向けビジョンとして、ステレオセンサ、3Dレーザセンサなどを用いた各種ビジョンシステムを製品化し、溶接、組立、検査、搬送など、さまざまなロボットアプリケーションを提供している^{1) 2)}。

今回、鍛造素材を対象としたバラ積みワークの取り出し

を自動化するため、当社ビジョン技術をベースに、3次元ビジョンセンサ、バラ積みワーク認識手法、オンライン干渉シミュレータ、および各機能を統合制御するモジュールコントローラを開発し、バラ積みワークを安定して取り出せるロボットシステムを上市した（図1）。

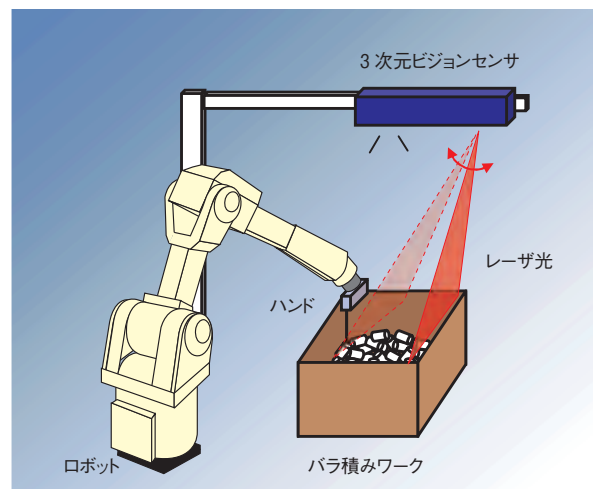


図1 バラ積みワーク取り出しロボットシステム
Fig.1 Bin-picking robot system



図2 機器構成図
Fig. 2 System configuration of bin-picking system



図3 レーザスリットスキャンカメラ (LSC)
Fig. 3 Laser slit scanning camera

表1 LSCの仕様
Table 1 Specifications of LSC

項目	仕様
撮像距離 (mm)	1,400~2,000
計測範囲 (mm)	800(W)×800(D)×600(H)
レーザクラス	クラス3 R
外形寸法 (mm)	610(W)×125(D)×125(H)
重量 (kg)	約4.8

1 開発課題と解決策

(1) 開発の課題

一般的なピッキング作業では、コンベアなどの平面上に置かれたワークに対して、カメラで撮像した濃淡画像を2次元処理することで、ワークの位置・姿勢を認識する手法が用いられていた。しかし、この手法では、ワークが決まった平面上に置かれた場合や、整列配置された場合など、取り出し自動化の適用範囲が限定される。一方、コンテナ箱内などにランダムにバラ積みされた場合は、それぞれのワークの3次元位置・姿勢を認識し、取り出し対象ワークを決定して、ロボットで取り出す必要がある。ビンピッキング作業の自動化のための主な課題は、以下のとおりである。

- ① バラ積みワークの3次元位置・姿勢が多様である上、ワークが積み重なり背景から認識しづらいため、個々のワーク認識が困難である。
- ② ワークの取り出し動作中に、ロボットやハンドが、周辺のワークやコンテナ箱と衝突する。
- ③ ワークの位置や姿勢によっては、コンテナ箱内にワークの取り残しが発生する。

(2) 解決策

課題に対する解決策として、以下の項目の開発に取り組んだ。

- ① 周囲照度環境やワーク表面状態の変動に強いビジョンシステムと安定したバラ積みワーク認識手法。
- ② 周辺ワークとの衝突を事前に判断し、回避する機能。
- ③ ワークの取り残しを最小限にする多様な把持形態を有するハンド機構。

2 バラ積みワーク取り出しロボットシステムの開発

(1) 機器構成

バラ積みワーク取り出しロボットシステムは、バラ積みワークを認識する3次元ビジョンセンサ、取り出し動作を行う多関節ロボット、つかむ動作を行う電磁石ハンド、および各機器や動作シーケンスなどの統合制御を行うモジュールコントローラから構成されている。機器構成を図2に示す。

(2) 3次元ビジョンシステム

(i) レーザスリットスキャンカメラ (LSC)

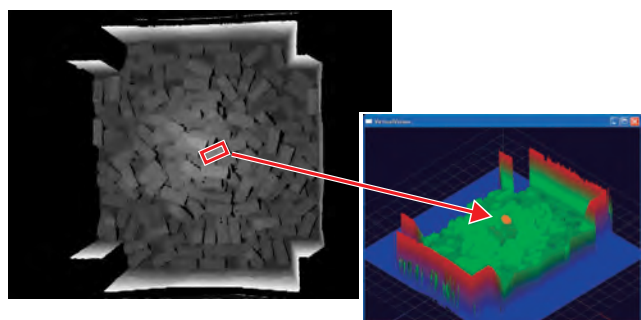
バラ積みワーク取り出しを自動化するための3次元センシング機能として、高さ情報を濃淡値で表した距離画像を処理する方式を採用した。本システムでは、半導体レーザのスリット光を投影するアクティブ方式により、距離画像を取得しており、ステレオカメラなどのパッシブ方式と異なり、輪郭や模様のない平面や曲面上の対象について高さ情報を得ることが可能である。また、外乱光やワーク表面の反射率の変化に対しても、安定した撮像が可能である。今回、モータによりミラーを駆動させレーザスリット光を走査して、距離画像を取得する3次元ビジョンセンサ「レーザスリットスキャンカメラ」(LSC)を開発した。LSCは、大型コンテナ箱 (W800×D800×H600mm) の広い範囲を1度のスキャンで計測できる。LSCの外観を図3に、仕様を表1に示す。

(ii) バラ積みワーク認識手法

円柱形状の鍛造素材を対象として、バラ積みワークの認識手法を開発した。本認識手法では、3次元ビジョンセンサで撮像した距離画像から、把持対象ワークを抽出して、3次元位置・姿勢の算出ができる。また、通常の画像認識処理で用いられるようなモデルとなるテンプレート画像が不要であり、多様なワーク姿勢に対して認識が可能である。



(a) 鍛造素材ワーク (b) 領域分割処理画像



(c) 距離画像と把持対象ワーク検出結果

図4 バラ積みワークの処理画像
Fig.4 Processing image of random parts

バラ積みワークの認識処理手順を以下に示す。

① エッジ検出・分割処理

距離画像から各ワークのエッジを検出し、領域分割処理を行う。鍛造素材ワークの外観を図4(a)に、領域分割処理後の画像を図4(b)に示す。

② 特徴量算出

領域分割処理後、各小領域のラベリングを行い、抽出した各小領域の高さ、面積中心、表面曲率、面積などの特徴量を算出する。

③ 把持対象ワークの検出

領域分割処理で抽出した小領域から、把持対象のワークを決定し、把持位置の3次元座標、およびワーク傾き・回転角度を算出する。距離画像および把持対象ワークの検出結果を図4(c)に示す。

(3) オンライン干渉シミュレータ

従来のバラ積みワーク取り出しロボットシステムでは、ロボットが把持対象ワークにアプローチ動作した際に、動作目標の周辺ワークやコンテナ箱と衝突し、システムが停止する問題があった。この問題を解決し、安定して取り出し動作を行うため、当社製ロボットシミュレータの干渉チェック機能を適用して、オンライン干渉シミュレータを開発した。オンライン干渉シミュレータの特徴は、以下のとおりである。

- ① LSCで取得した3次元計測データを用いて、アプローチ動作前に、ロボットの衝突を検知できる。
- ② 把持対象ワークについて、ワークの3次元位置・姿勢、ロボット姿勢を評価して、効率の良い優先順位を決定できる。

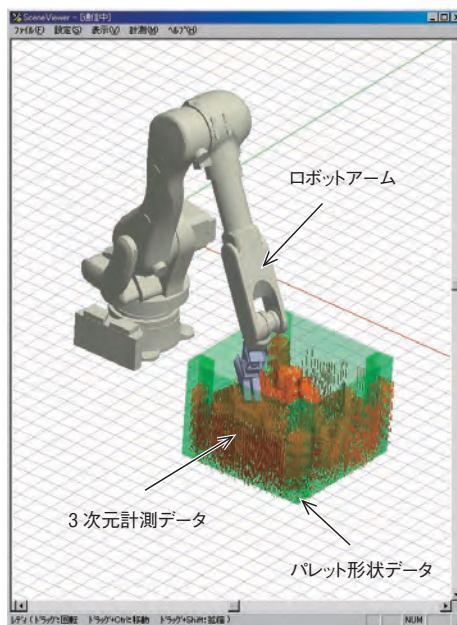


図5 オンライン干渉シミュレータ画面
Fig.5 Online robot simulator for collision check

- ③ ロボット動作時間が最短となるロボット姿勢を決定できる。

オンライン干渉シミュレータの動作画面を図5に示す。

(4) モジュールコントローラ

バラ積みワーク取り出しロボットシステムの各機能を統合的に制御するモジュールコントローラを開発した。モジュールコントローラは、ロボットシステムの中核となり、3次元ビジョンシステム、オンライン干渉シミュレータ、動作シーケンスハンド機構、各種センサなどを統合制御する量産型ロボットシステム構築向けに標準化したシステムである。また、汎用言語(C#言語)によるライブラリを提供し、顧客ごとに容易にカスタマイズが可能のため、ロボットシステムの開発期間を短縮できる。モジュールコントローラのシステム構成を図6に示す。

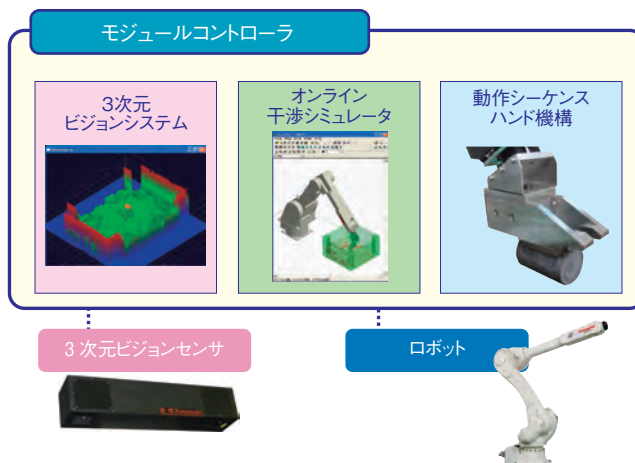
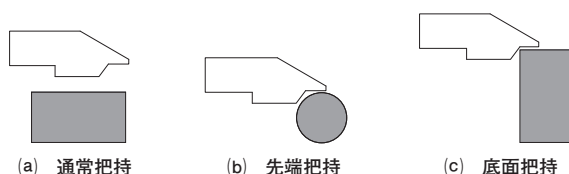


図6 モジュールコントローラのシステム構成
Fig.6 System configuration of module-controller

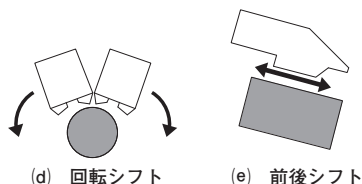


(a) 通常把持 (b) 先端把持 (c) 底面把持

図7 電磁石ハンドの概要
Fig.7 Views of electromagnet hand



(a) 通常把持 (b) 先端把持 (c) 底面把持



(d) 回転シフト (e) 前後シフト

図8 電磁石ハンドのアプローチ動作例
Fig.8 Approach operation of electromagnet hand

(5) 電磁石ハンド

通常、円柱形状のワークがコンテナ箱内にバラ積み状態で積載された場合、コンテナ箱の壁近傍のワークについては、最後までワークを取り出せずに、取り残しとなる場合がある。この問題を解決して、取り残しを最小限とするため、把持対象の同一ワークに対して複数の把持形態を有する電磁石ハンドを開発した。また、オンライン干渉シミュレータにより、複数の把持形態をシミュレーションした上、ハンドが衝突しないアプローチ動作を自動的に算出して、バラ積みワークを取り出すことを可能とした。開発した電磁石ハンドの概要と把持形態を図7に、アプローチ動作例を図8に示す。

3 適用事例

鍛造製品の製造ラインに、バラ積みワーク取り出しロボットシステムを導入した。本システムでは、鍛造素材ワーク表面の酸化スケールや錆状態がある場合でも安定してワークを認識できる。また、ロボットは、周辺ワークやコンテナ箱と衝突することなく、連続してワークを取り出すことが可能となった。鍛造素材向けロボットシステムを図9に示す。

あとがき

当社が有するビジョン技術をベースに3次元ビジョンセンサ、バラ積みワーク認識手法、オンライン干渉シミュレ



図9 鍛造素材向けロボットシステム
Fig.9 Bin-picking system for forged parts

ータを開発し、バラ積みワーク取り出しロボットシステムを実用化し、上市した。今後は、3次元ビジョンセンサを活用したロボットアプリケーションとして、ハンドリング分野だけではなく、自動化が困難で人手に頼っている精密機械部品や電機部品の組立、検査工程などのロボットシステムの開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 久保, 中村, 榎本, 北嶋: “産業用ロボットなどのビジョンセンサ・画像処理技術”, 川崎重工技報, No.159, pp.40-41 (2005)
- 2) 中村, 三浦, 狩谷, 上原: “ロボットシステムのための画像計測”, 川崎重工技報, No.163, pp.26-27 (2007)



赤松 政彦



山本 武司



横尾 篤志



布目 徹



河上 大祐



榎本 雅幸



長谷川省吾



三浦 克也



竹本 豊

多品種ワーク配膳ハンドシステム

Catering Hand System for a High Variety of Workpieces



掃部 雅幸①※* Masayuki Kamon
 高山 裕規② Yuuki Takayama
 久保田 哲也③※ Tetsuya Kubota
 瀬田 良孝④ Yoshitaka Seta

ロボット適用拡大のためのコア技術として、当社は、多種類の部品（ワーク）をハンドリングできる汎用ハンドシステムの研究開発を進めている。特に、これまで困難とされてきた、組立・機装工程での配膳作業のロボット化を、汎用ハンド技術とそのシステム化技術により実現している。2012年度には、社内の生産工場へ導入する予定である。

We are doing research and development on universal hand systems capable of handling a variety of workpieces as a core technology for expanding the scope of application of robots. In particular, we aim to realize robot-based automation of catering operations in assembly and outfitting processes that have been considered difficult, through the use of general-purpose hand technology and system technology. This catering system is scheduled to be introduced and commissioned in our plants in FY2012.

まえがき

自動車などの輸送機械やそれに搭載される機械装置の組立工場において、ロボット適用が遅れている工程に配膳がある。配膳とは、多品種混合組立ラインにおいて、1台の装置を組み立てるのに必要な部品群を、必要数取り集め、トレイに整理して、組立作業者に供給する作業である。その様子を図1に示す。

手感や目視など人間の高度な知能を必要とする組立作業に比べ、多くの場合、配膳は熟練を必要としない。そのため、以前からロボット化の要望は高かった。また、製造業の多品種混合生産方式が主流となった近年では、人のケアレスミスによる誤配膳を防止するため、ロボット化への要望は一層高まっている。人間の熟練を必要としないにもか

かわらず、ロボット化が困難であった要因の一つが、配膳に適したハンドシステムが実現されずにいたことである。

産業用ロボットに搭載されてきたこれまでのハンドは、エア把持式、エア吸着式、電磁吸着式などが主であった。これらは部品1品種ごとに、個別の爪形状とエア圧の調整が必要となり、多種類の部品のハンドリングを求められる配膳には不向きである。

多種類の部品をハンドリングするための解決策として、以下が挙げられる。

- ① ハンドを交換できるようにする。
- ② 複数個のハンドを装着する。
- ③ ハンドに汎用化機能を設ける。

①の方法は、部品種類が数点に限られる場合には有効であるが、それ以上になると、システムのコストアップやサイクルタイムの遅れが無視できなくなる。②の方法では、狭隘な環境に収納された部品を取り出す際に、別のハンドが周囲と干渉する問題が発生する。③の方法は、以前から、学术界、産業界の両方で精力的な研究開発が進められているが、コストや信頼性の問題、教示の困難さなどから、大きな普及には至っていない。しかし、近年になって、徐々にではあるが、実用事例が増えつつある。

当社も、2000年代前半より本格的に産業用汎用ハンドの研究開発を開始し、2007年の国際ロボット展において、その試作機を社外初公開している。当時は、人間の手の構造と機能を模倣し、ハンドに汎用性を持たせていた。その一部を図2に示す。その後、適用先を配膳用途に限定して、機能分析を行い、配膳特化型の汎用ハンドシステムを開発した。



図1 配膳作業の様子

Fig.1 How catering operations are carried out

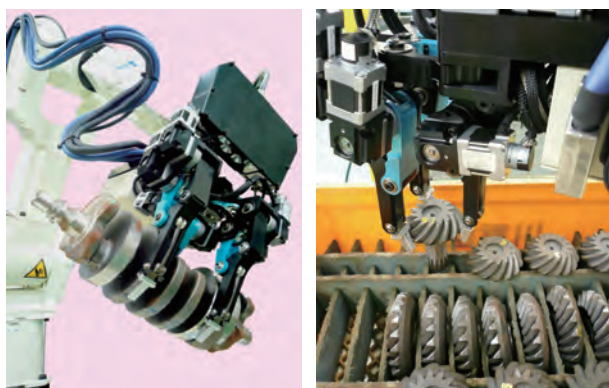


図2 人型汎用ハンド (2007年当時)
Fig.2 Humanoid hand (2007)

1 配膳ハンド実現への課題

オートバイの生産ラインを例として、配膳される部品とその収納環境を図3に示す。

その特徴は、以下に示す通りである。

- ① 部品の種類 (大きさ, 形状, 材質) はさまざまである。
- ② 部品は収納箱に集約して詰められ, 板などで仕切られている。
- ③ 仕切られた空間内で, 部品の位置や姿勢にばらつきがある。

従来の人型汎用ハンドにおいては, ①への対応は得意だが, ②の対応が困難であった。指先に屈曲自由度を有する人型汎用ハンドの場合, 指の節が太くなり, 仕切り板とワークの狭い隙間へ爪を挿入できない。また, ③への対応として, ビジョンセンサによって部品の位置と姿勢のばらつきを計測し, 爪を挿入する位置を補正する方法がある。この場合, 部品の収納箱ごとにカメラを設置するか, ハンドにカメラを搭載する必要がある。前者では, 多くのカメラが必要で, カメラの視野確保のため収納箱の設置環境が大型化してしまう。一方, 後者では, ロボット動作に, ばらつき量を計測するための時間待ちが生じてしまう。

2 4爪型配膳ハンドの開発

(1) 課題解決の方針検討

配膳される部品の種類とその収納環境はさまざまだが, 以下の二つの共通点が見出せる。

- ① 板で仕切られた空間は四角い。
- ② 部品の角部には面取りが施されている。

すなわち, どのような形状の部品が, どのように置かれても, 仕切り空間の四隅には, 必ずデッドスペースが存在している (図4)。

そこで, このデッドスペースのそれぞれに爪を挿入し, それらを中央に向かい水平移動すれば, 部品は中央に寄せられ, 最後には固定される。すなわち, 部品の形状や位置のばらつきによらず, 単純な同じ動作手順で把握が完了す



図3 オートバイ工場で配膳される部品例
Fig.3 Example of workpieces being catered in a motorcycle

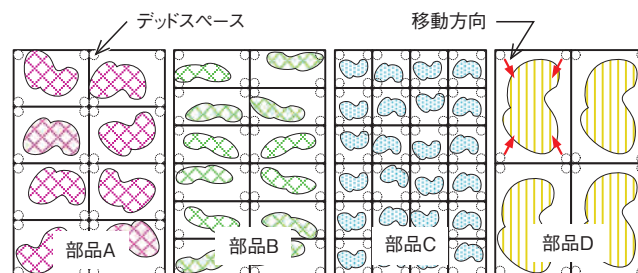


図4 部品の収納環境の分析
Fig.4 Analysis of workpiece storage situation

ることになる。また, 4本爪による把握であるため, 水平面内ではフォームクロージャ (物体が周囲と摩擦力ゼロの点接触状態で固定された状態) が形成されやすく, 細い爪, 弱い握力でも, 部品を安定して固定できる。

以上の分析から, 配膳ハンドの基本形態は4爪を有する構造が適している。そして, 4本の爪の縦ピッチ, 横ピッチを調整するための2自由度が必要である。また, 複雑形状の部品に対しても, 4本の爪のすべてを接触させるには, ハンドに4以上の自由度を有していることが望ましい。

(2) ハンドの特徴

(i) 主機能と諸元

方針をもとに, 開発したハンドの主要諸元を表1に, 構成図を図5に示す。

ハンドは, 4つのサーボモータを搭載する4自由度機構であり, 図の矢印で示された動作が独立に制御可能である。従って, 四角い仕切り空間のサイズに合わせて, 爪の縦ピッチ, 横ピッチを調整できる。また, 爪の縦ピッチを閉じ切れば, 3爪ハンド, 2爪ハンドへと変化する。サーボモータのトルク制御機能により, 把持力は自在に調整でき,

表1 主要諸元
Table 1 Main specifications

横ストローク (mm)	160
縦ストローク (mm)	60
指先力 (N)	100以上
開閉時間 (s)	0.3
外形寸法 (mm)	W:160×D:190×H:115
重量 (kg)	3.5

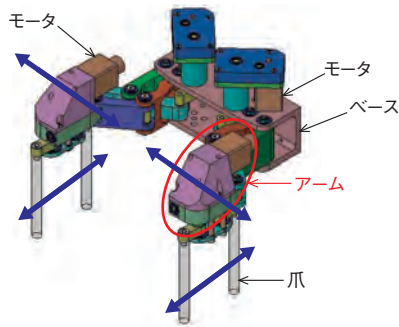


図5 開発したハンド
Fig.5 Hand

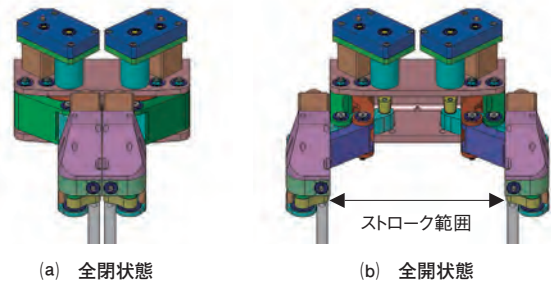


図7 アームのストローク
Fig.7 Arm stroke

内把持, 外把持とも可能である. そのため, さまざまな形状・硬さの部品を, 狭い仕切り空間から容易に取り出すことができる (図6).

(ii) 構造について

ハンドは, ベース, 2本のアーム, 4本の爪, 4台のモータで構成される. ベースから2本のアームが取り付けられ, モータはアームを水平方向に駆動する. また, アームにはモータと2つの爪が搭載されている. このモータは爪を円弧状に連動駆動する.

2本のアームには, 当社独自のチェビシエフリンクフィンガ機構¹⁾を採用している. そのため, コンパクトなベースサイズで大きな把持ストロークを確保でき, 狭隘な環境でもさまざまな大きさの部品を把持できる. 通常, ボールネジなどでハンドを設計した場合, ストロークはベースサイズの半分以下となるが, 本ハンドはベースサイズと同程度のストロークを有している (図7).

また, 高さを低く抑えた構造であり, 部品の収納箱が置かれた棚への侵入が可能である (図8).

* チェビシエフリンク機構: 回転運動から, 擬似的な直線運動が得られるリンク機構.



図8 棚への侵入
Fig.8 Entry into space between shelves

(iii) 鉛直方向の安定化

4本の爪の囲い込みにより, ワークは水平面で安定に把持されるが, 鉛直方向には爪との摩擦で保持されるのみである.

そこで, ワークを鉛直方向にも摩擦なしで安定状態にするため, 巻きバネの内側にくびれのあるシャフトを通して構成した, 多点接触爪を開発した. この爪は, ワークに接触し, さらに力を加えられると, 巻きバネがワークを避けるよう上下に変形し, 接触点を増やす. すなわち, 爪の水平移動だけで, 3次元的なフォームクロージャが形成され, 安定状態となる (図9).

多点接触爪は, 巻きバネという汎用品により, シンプルな構造で構成できるため, 爪の大径化を抑え, 細い隙間への侵入が可能である.



図6 さまざまな形状の部品の取り出し
Fig.6 Picking parts of different shapes

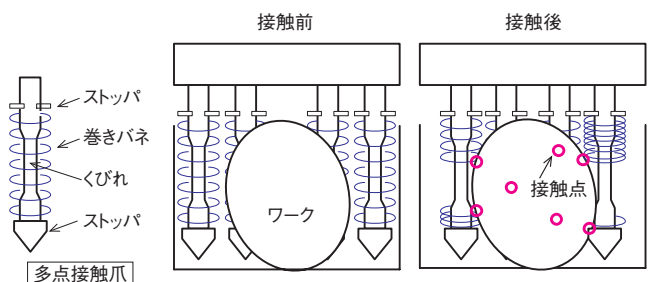


図9 多点接触爪の構成と接触
Fig.9 Actions of multiple-contact hooks



図10 吸着把持
Fig.10 Holding by suction

(iv) 吸着機能

プラスチック材など、把握では表面に傷がつく部品への対応として、把握把持だけでなくエア吸着把持を可能にした。すなわち、爪を中空構造とし、その先端にエア吸着パッドを取り付けた。また、アームや爪が動いても、エア配管に緩み、絡みが出ないように、アーム内部に案内穴を設け、コンパクトな配管を可能にしている。

軽量部品であれば、複数個を同時に取り出すことが可能で、配膳作業のサイクルタイムを短縮できる（図10）。

(3) システム構成

ハンドの動きを制御するコントローラは、ロボットコントローラとは別筐体に収納されており、両者はRS232Cケーブルを介して直接に通信を行う。

ロボットコントローラはハンドコントローラに対して、定められた周期ごとに、モータの位置・トルク、その他の状態（異常／正常、サーボオン／オフなど）を問い合わせ、ハンドコントローラはそれに応答する。ロボットコントローラは、それらの情報からハンドを常に監視しており、ロボット動作プログラムの記述に従い、ハンドに各種動作指令を送る。動作指令には、現在位置からのジョグ送り動作、教示位置への一気動作、設定力に基づく把持動作、原点設定などが含まれる。

また、教示作業時の効率化ツールとして、ロボットのタッチペンダントの画面でハンドの各種操作、状態監視を行うことを可能にした。さらに、実際の部品や収納箱に対して、人の手により爪間のピッチや押し付け力を直接調整できる、ダイレクト教示機能を有している。

このように、開発したハンドシステムは多軸なシステムではあるものの、ユーザーに特別な訓練を要せず、直感的で快適な操作を可能にしている。

3 適用検討例

当社オートバイ工場に配膳される機械部品7種に対し、実際の収納箱を使い、適用検討を行った。爪形状を交換することなく、すべての部品に対して、配膳作業が可能であった²⁾（図11）。



図11 実験の様子
Fig.11 How catering experiments are carried out

あとがき

近年のロボット関連機器の技術進展に伴い、ロボットが人間に代わって担える作業は着実に増えている。しかし、配膳のように、一見すると、単純で技能不要な軽作業でさえも、人間による作業をそのままロボット化しようとする、高度なセンサシステムや大規模な周辺機器を必要とし、費用対効果を損なってしまう例は多い。

こうした問題に対して、当社では、人間による作業を、一旦ロボットによる作業の視点に翻訳するアプローチを採用した。すなわち、配膳を例にとると、「配膳とは四角い仕切りに入った不定種物を取り出す作業」として、ロボットによる作業が容易になる形式に翻訳し、それを満足する、シンプルかつ汎用的な装置を追求していった。

人間の手の器用さや五感による環境認識機能が必要とされる作業の、ロボット化への要求は多くある。今後も、我々は、ロボットに要求される作業の本質を見極めた上で最良の解決策を提案していきたい。

参考文献

- 1) 蓮沼, 掃部, 高山: “川崎重工の産業用汎用ハンド～その2～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.422 (2011)
- 2) 高山, 掃部: “川崎重工の産業用汎用ハンド～その1～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.422 (2011)



掃部 雅幸



高山 裕規



久保田 哲也



瀬田 良孝

機械部品組立ロボットシステム

Machine Parts Assembly Robot System



高山 裕規①	Yuuki Takayama
掃部 雅幸②**	Masayuki Kamon
赤松 政彦③*	Masahiko Akamatsu
榎本 雅幸④**	Masayuki Enomoto
三浦 克也⑤	Katsuya Miura
山根 秀士⑥	Hideshi Yamane

生産現場の省力化、製品の品質維持のため、これまで困難とされてきた組立作業の自動化が求められている。本稿では、組立ロボットシステムの実用化に向けた要素技術開発について、当社の取り組みを述べる。また、それらの技術を適用した社内適用事例を紹介する。

To reduce labor and maintain product quality, assembly operations need to be automated. This paper describes our approaches to the development of elemental technologies destined for the commercialization of assembly robot systems. The paper further presents examples of in-house applications using such technologies.

まえがき

これまで産業界では、生産性向上のため生産現場へのロボットの導入が進められてきた。特に、ロボットによる自動化が盛んに行われてきた溶接や塗装の現場では、非常に多くのロボットが稼働しているが、近年では、自動化が遅れていた新領域へロボットを導入していく取り組みが始まっている。組立作業の自動化は、こうした新領域の一つである。

組立作業の自動化が求められる背景として、多品種変量生産への対応がある。先進国の製造業では、顧客の幅広いニーズに応えるため、標準製品のカスタマイズも含め多種多様な製品を生産している。こうしたことから、組立作業に要求される技能・知識は高まり、作業員への負荷が大きくなっている。加えて、特に国内においては、少子高齢化による労働人口減少により、安定した作業員の確保、後進への技能伝承も難しくなる傾向にある。ロボットによる組立作業の自動化は、これらの課題を解決し得るものとして期待されている。

一方、BRICsに代表される新興国では、比較的安価な労働力を背景に、大量生産中心の製造を行っている。しかし、将来的には、現地の経済発展に伴い、製品の多様化は避けられない。その際には、製品ごとの作業マニュアル化や品質維持に大きなコストを要求されることが必至である。これに対して、組立工程を自動化すれば、段取り換えや品質維持を容易にすることができるため、導入効果は高い。

以上のような理由から、ロボットによる組立作業の自動化の市場拡大が期待されている。しかし、組立は多様な作

業の組み合わせで成り立っているため、ロボット化には多くの困難がある。そのため、各ロボットメーカーとも、実用化に向けた研究開発に取り組んでいる。

当社でも、多様な作業を可能とする組立用ハンド技術を中心に、組立ロボットシステムを実用化するための要素技術開発を続けている。また、このような取り組みの成果として、社内工場での組立作業の自動化を実現している。本稿では、当社の組立ロボットシステムに関する要素技術と、社内生産ラインへの適用事例を紹介する。

1 ロボットによる組立自動化の課題

溶接や塗装など、基本的な作業内容が単一であれば、ロボットの能力が人間を凌駕することも多い。しかし、多くの場合、組立は複数の作業の組み合わせで成り立っている。このような場合、人間ならば容易にこなせることでも、ロボットにとっては困難であったり、実現のために過剰なコストがかかったりすることが多い。

ロボットによる組立自動化の課題をまとめると、大きく分けて、以下の3点に集約される。

- ① 器用さの獲得
- ② 柔軟さの獲得
- ③ 正確さの獲得

組立ロボットシステムの実用化に向け、これらの課題に対し、当社が開発してきた要素技術を紹介する。



図1 チェビシェフリンクハンド
Fig. 1 Chebyshev linkage hand

2 組立ロボットシステムの要素技術

(1) 器用さの獲得 —組立用ハンド技術—

従来、ロボットが複数の部品をハンドリングしたり、複数の作業を行ったりする場合、その都度、それぞれに適合したハンド（グリッパ）に交換する必要があった。この場合、対象とする作業数が増えるほどにハンドが増加し、コスト、配置スペース、タクトタイムに悪影響を及ぼすことになる。

この問題を解決するため、当社では、複数の部品・作業に対応し、汎用的に使用可能なサーボハンドの開発を行ってきた。ここでは、その一部を紹介する。

(i) チェビシェフリンクハンド

ハンドの器用さを評価する指標として、ストロークの大きさが挙げられる。当社では、広いストロークが特長の「チェビシェフリンクハンド」¹⁾を開発した（図1）。

ハンド機構にチェビシェフリンク*を採用することで、コンパクトなハンド本体に比して、広いストロークを実現している。これにより、多様なサイズの部品をハンドリングすることができる。さらに、リンクの結合部は全て回転関節で構成されるため、シールが容易であり、クリーン対応も可能である。また、サーボハンドの一般的な特長である、把持力の強弱調整やハンド開幅の測定といった機能も搭載している。

* チェビシェフリンク機構：回転運動から、擬似的な直線運動が得られるリンク機構。

(ii) ネイルアタッチメント

高機能なサーボハンドであっても、ハンド単体では、多様な部品をカバーしきれない場合も多い。そこで当社では、ハンドに装着し、その対象部品の種類を拡張する「ネイルアタッチメント」を開発した（図2）。

ネイルアタッチメントは、ハンドに既設のフィンガ部に、ロボットが自動着脱して使用する。対象部品の大きさや形状に応じて、異なる爪形状のアタッチメントを装着するこ

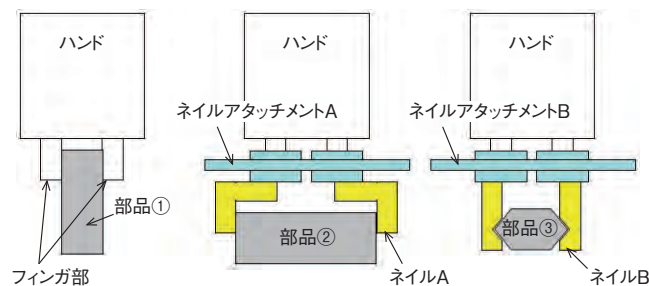


図2 ネイルアタッチメント
Fig. 2 Nail attachment

とで、多様な部品のハンドリングが可能となる。

なお、アタッチメント装着時の固定は独自のバネ機構、駆動は既設ハンドの動作によって行う。そのため、エアなどの追加駆動源は不要であり、従来のツールチェンジャと比べ低コスト・高速である。

(2) 柔軟さの獲得 —誤差吸収機構—

組立作業においては、ロボットが製品に触れたり、ハンドが把持した部品を押し付けたりすることが多い。この際、わずかな組付位置誤差によっても、ロボットに大きな負荷がかかる可能性がある。そのため、ロボットを組立作業に適用する場合には、押付力を制御するために力覚センサを利用したり、手先に柔軟性を与えるコンプライアンス装置を利用したりする手段が採られてきた。

しかし、力覚センサは高コストであるとともに、組立作業の衝撃で故障する危険性がある。また、コンプライアンス装置は、誤差を許容するためのフローティング機能により、位置決め精度が低下する欠点がある。

これらの課題に対し、当社では、独自のコンプライアンス装置「誤差吸収機構」を開発した。

(i) 誤差吸収機構

誤差吸収機構は、図3のように、ロボットのフランジ面とハンドの間に装着し、使用する。誤差吸収機構が押し付けられたとき、ハンド側にフロート効果がはたらき、誤差に依う機能が発揮される。さらに、内蔵されたバネの付勢力により、ハンドが把持した部品を押し付ける作業が可能である。これは、ネジ締めなどの、適切な押付力で部品同士を当接させる必要がある作業において有効である。

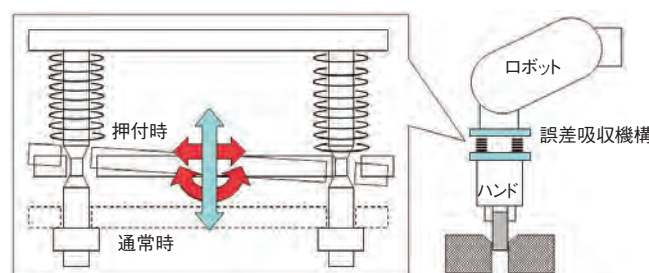


図3 誤差吸収機構
Fig. 3 Error absorption mechanism

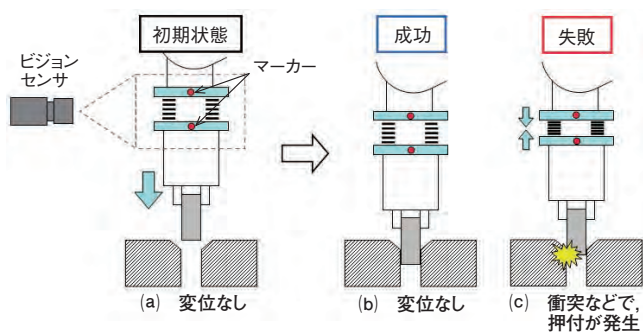


図4 誤差吸収機構による組付成否判定
Fig. 4 Determination of success or failure

また、通常時（押付解放時）には、フロート効果は封じられ、ハンド側はセンターに位置決めされる。これにより、部品をピックアップする際には、高精度な作業が可能である。

(ii) 押付状態検出技術

誤差吸収機構を使用して組立を行う際、その変位量を測定することで、押付の発生を検出することができる。これを実現する構成を2例挙げる。

① マーカー撮影方式

図4(a)のように、誤差吸収機構の上下にマーカーを配し、これをビジョンセンサで撮影する。押付前後の2つのマーカー間距離を比較し、変位を測定する。

② タッチ（距離）センサ方式

誤差吸収機構にタッチセンサを内蔵し、押付により任意の変位量が発生したことを検出する。

マーカー撮影方式は、ロボット側にセンサが不要になるため、より信頼性の高いシステムを構築可能である。タッチセンサ方式では、センサを複数配置することで、傾きを推定することができる。

この技術により、部品組付成否の判定が可能である。例えば、図4(c)のように、部品挿入作業の途中で大きな変位が測定された場合、部品同士が干渉し失敗していると判定する。この検出結果を利用し、組み付けのリトライを行うなどの対応も可能である。

また、歯車などの噛み合わせ組み付けにおいて、部品を押し付けた状態で噛み合う位相を探る動作を行い、誤差吸収機構の押付が解放されたことで成功と判定するような、高度な作業も可能である。

(3) 正確さの獲得 —ビジョンセンサ技術—

組立作業の自動化に期待されている効果として、人間では困難な、一定かつ正確な作業によりケアレスミス無くし、製品の品質を維持するというものがある。しかし、これはロボットの導入のみで解決可能な課題ではなく、センサとの協調が不可欠である。

当社では、以前からロボット用ビジョンセンサの開発に継続して取り組んでおり、多くの生産現場に適用されている²⁾。ここでは、ビジョンセンサ技術を組立ロボットシステムに適用した例を紹介する。

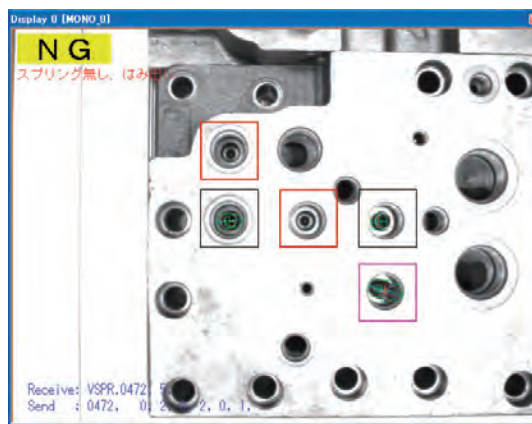


図5 スプリング挿入状態検査
Fig. 5 Check of spring installation condition

(i) 位置認識技術

ロボットに正確な組立作業を行わせるためには、組立対象部品が高精度に位置決めされていることが重要である。部品の大きさや形状が一定であれば、機械的な位置決めが可能な治具を導入することが、最もシンプルである。しかし、顧客のニーズ多様化に伴い、生産現場では、多様な製品を生産する必要に迫られている。このような場合、それぞれの部品に対し専用治具を用意することは、膨大なコスト増につながる。

このような課題に対し、当社では、組立ロボットシステムに部品の位置認識を行うビジョンシステムを適用した。汎用パレットに設置され、供給された部品の特徴をビジョン認識し、その位置を測定する。測定された位置情報に基づいて、ロボットは、部品組付位置を補正することが可能である。

これにより、製品の機種ごとに専用治具を用意することなく、正確な組立作業を実現し、設備の低コスト化に貢献した。

(ii) 組立ミス検出技術

組立作業において、万が一、部品未挿入などのミスを見逃した場合、製品に欠陥が出てしまい大きな損失につながる可能性がある。この点から、組立作業の自動化において、ミス検出技術は欠かせないものとなっている。

組立の信頼性向上のため、ビジョン認識により部品の組付状態を検出するシステムを開発した。図5は、製品にスプリングをセットした状態を検査している様子である。

スプリングが未挿入となっている位置を、図中赤枠で示している。このようなミスが検出された場合、組み付けのリトライや、作業者に修正を要求するなどの対応が可能である。

また、サーボハンド側にも、ハンドリングしている部品の落下検知機能を搭載可能であり、ビジョン認識と合わせて一層の信頼性向上を図っている。

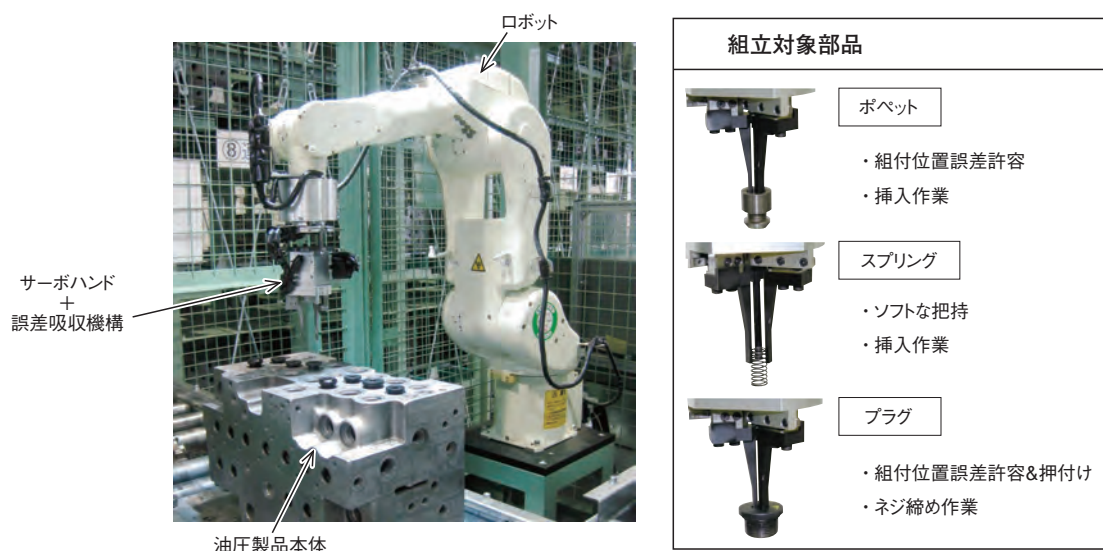


図6 油圧製品組立ロボットシステム
Fig. 6 Robotic assembly system for hydraulic product

3 社内適用事例 —油圧製品組立—

以上に紹介したような組立ロボットシステムの要素技術を活用し、社内外のさまざまな組立作業へのロボットの導入を進めている。ここでは、当社の油圧製品生産ラインに導入した、組立ロボットシステムを紹介する。

システムの概要を図6に示す。本システムでは、機種によってバリエーションがある3部品、ボベット（弁）、スプリング、プラグ（ネジ付き）を組立対象としている。ボベットに対しては組付位置誤差を許容した挿入作業、スプリングはワークを変形させないソフトな把持、プラグは誤差を許容しつつネジ部に当接させ、ネジ締め作業を行っている。従来であれば、それぞれに対して別のツールが必要になる作業を、サーボハンド、および誤差吸収機構の採用によって、単一ツールで実現した。

また、供給される製品本体の上にビジョンセンサを設置し、製品機種の照合や、位置ずれの認識を行っている。なお、プラグは、次工程の専用ネジ締め機でのネジ噛み込みを防止するため、一定量の仮締めが必要である。そのため、のネジ締め付量は、誤差吸収機構の変位量測定をビジョンシステムによって行うことで、管理されている。

あとがき

近年の社会情勢の変化に伴い、ロボットの適用範囲は、従来の比較的単純な作業だけでなく、これまで自動化が困難とされてきた複雑な作業にも広がりつつある。本稿では、組立ロボットシステムをテーマにその要素技術開発、社内適用事例を紹介した。

今後も、一層本格化するであろう組立作業自動化への要求に応えるため、組立ロボットシステムの技術開発に継続して取り組む所存である。

参考文献

- 1) 蓮沼, 掃部, 高山: “川崎重工の産業用汎用ハンド～その2～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.422 (2011)
- 2) 中村, 三浦, 狩谷, 上原: “ロボットシステムのための画像計測 -ビジョンセンサの適用-”, 川崎重工技報, No.163, pp.26-27 (2007)



高山 裕規



掃部 雅幸



赤松 政彦



榎本 雅幸



三浦 克也



山根 秀士

精密加工ロボットシステム

Precision-Machining Robot System



藤森 潤①	Jun Fujimori
家中 良太②	Ryota Ienaka
堀内 悠平③	Yuhei Horiuchi
久保田哲也④※	Tetsuya Kubota
高木 登⑤	Noboru Takagi
山 和之⑥	Kazuyuki Yama
脇坂 明文⑦	Akihumi Wakisaka
川端 純一⑧	Junichi Kawabata

産業用ロボットの高精度化および周辺技術の進歩により、切削加工にロボットが適用され始めている。動作範囲の広さおよび価格の手頃さにより、試作模型の切削などでNC工作機械の代替が期待できる。本稿では精密な切削加工を実現する「MILLINGロボットシステム」を解説し、ロボットの精密加工への適用例を紹介する。

The enhanced precision of industrial robots and progress in their peripheral technologies have allowed robots to enter the field of machining. The wide operating range and affordability of the system offer the prospect of replacing NC machine tools in the prototype modeling field. This paper provides a commentary on milling robot systems for precision machining and presents examples of precision processing with robots.

まえがき

産業用ロボットは、その汎用的な構成、価格の手頃さ、および教示した動作を忠実に繰り返す能力の高さにより、自動車産業を中心に、溶接、塗装などの自動化に適用され発展してきた。さらに、近年は生産計画立案やライン立上げに要する時間を短縮するため、コンピュータを使用したオフライン教示を利用するユーザーが増加している。そのニーズに応えるため産業用ロボットでは、教示した動作を忠実に繰り返す「繰り返し精度」だけでなく、指定した空間位置に精度よく位置決めする「絶対精度」が向上している。

このように、技術の進歩によりロボットが高精度化するにつれ、NC工作機械をロボットで代替したいという要望が増えている。ところがロボットは一般に片持ちばり構造なため剛性が低いため、ミクロンオーダーの超精密加工には向かない。しかし、動作範囲の広さおよび価格の手頃さにより、ミクロンオーダーの精度は要求されず高価な大型工作機械ではオーバースペックとなるような場合の適用が期待できる。さらに、従来は精度不足でロボットの適用が困難だったレーザー加工など、サブミリメートルの精度が要求されるさまざまな加工においても、今後は安価な産業用ロボットが適用できる可能性が高まっている。

1 ロボットの切削加工への適用

自動車の新車種を開発する過程では、最終デザイン完成までに、ウレタンや発泡スチロールなどを削り出したシート模型を1車種あたり、40~80回試作している。従来、こ

のような試作加工には、NC工作機械が使用されてきたが、高価なNC工作機械は精度の点でオーバースペックである。また、その他に、産業機械の試作金型の消失模型、カメラやプリンタ模型、あるいは木材の加工などが、シート模型と同等かそれ以下の要求精度となっている。

このような分野に産業用ロボットを使用すれば、次のような効果が期待できる。

- ① 安価なロボットの使用によるコスト低減。
- ② まわりこみ動作を含む広範囲の5軸加工の実現。
- ③ 走行装置とターンテーブルの併用による、ワークサイズに応じた柔軟なシステム構成の選択。

ただし、NC工作機械の代替を実現するには、産業用ロボットが必要な精度を有した上で、3次元CAD/CAMデータを用いての加工を、ロボットの干渉などをシミュレー

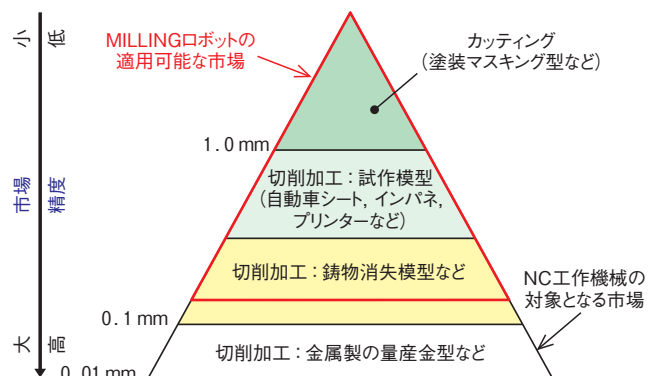


図1 加工精度と市場規模
Fig. 1 Machining accuracy and market size

ションで確認しながら実施できることが必須となる。

実際にはロボットでの代替が可能な領域とNC工作機械しか対応できない領域がある。その領域を、加工精度と市場規模の関係とともに図1に示す¹⁾。必要な加工精度は対象ワークに依存する。そこでロボットを高精度化し、市場が求めるシステムを実現することにより、MILLINGロボットを実用化した。

2 精密な切削加工を実現する技術

繰り返し動作のため、ティーチングプレイバック機能を中心に発展してきた産業用ロボットを、NC工作機械の代替として使用するためには以下の課題が存在する。

- ① 機差やたわみの補正による絶対精度の向上。
- ② 多数点(数十万点)の加工データをロボットプログラムに変換するソフトウェア。
- ③ 減速機で発生する周期的な変動(リップル)とロボットの共振で発生する微小振動の抑制。
- ④ エンドミルの姿勢変化で加工位置がオフセットしない高精度ツール計測。

(1) 絶対精度の向上

産業用ロボットは、繰り返し精度(教示位置の再生精度)は0.1mm前後と高精度であるが、絶対精度(座標値で指定された位置への移動精度)はそれほど高くない。これはロボットの加工・組立誤差、関節角度センサのゼロ点誤差、あるいはアームのたわみがあるためである。正確な位置決めを可能にするため、それらの誤差要因を考慮して指令位

置を補正し、ロボットの平均絶対精度を0.5mm以下にする技術を開発した²⁾。ロボットの各部寸法、関節角度センサのゼロ点、および各部剛性を同定するための計測を出荷前に実施し、これらのデータをロボットコントローラに入力することで、高精度な位置補正が実現できるようになった。

(2) Gコードからロボットプログラムへの変換

一般にCAD/CAMからNC工作機械への出力は、Gコードと呼ばれる業界標準フォーマットで行われている。このGコードの加工データからロボットプログラムを自動生成するソフトウェアを開発した。ユーザーは、従来から使用しているNC工作機械に対して作成したGコード加工データをそのまま使用できるため、特別な作業を行うことなくMILLINGロボットを使用することができる。さらに、ロボットプログラムを自動生成するソフトウェア「KCONG for MILLING」のシミュレーション機能により、動作範囲が不足しないか、あるいは干渉が発生しないかを事前に確認できる。そのロボットプログラムはDNC(Direct Numerical Control)サーバを通してロボットへ送信される。MILLINGロボットにおける加工データの流れを図2に示す。

(3) 微小振動の抑制

産業用ロボットは、位置決め精度を高めるため、バックラッシュの小さい減速機を使用している。これらの減速機では、低バックラッシュに加えて小型高負荷を実現するため、構造上周期的なトルク変動や角度伝達誤差を発生しやすい

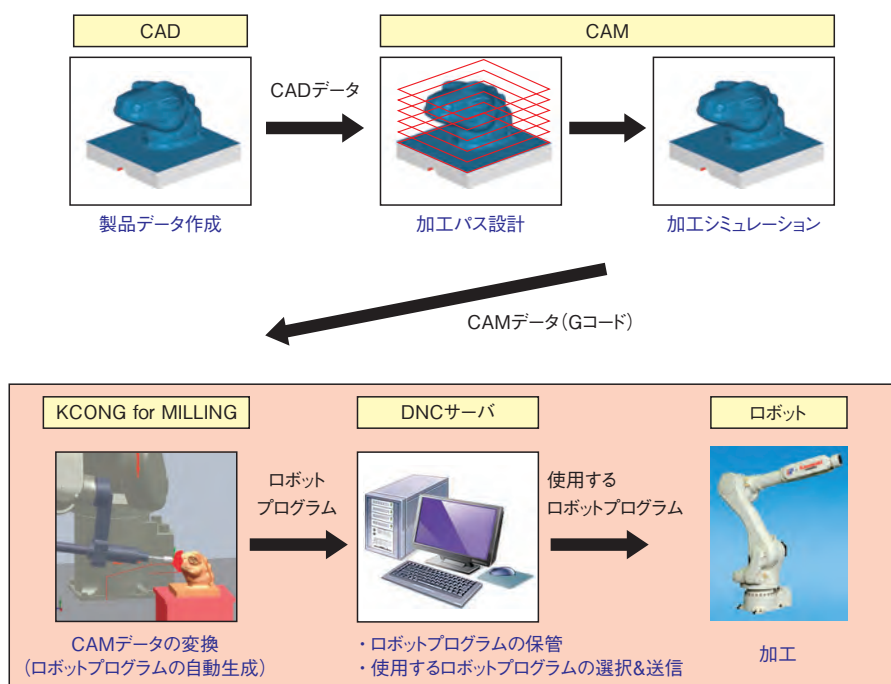


図2 加工データの流れ
Fig.2 Flow of machining data

欠点がある。このような減速機のリップルは、それ自身は小さいため、通常は問題にならないが、ロボットの固有振動数とその変動の振動数が一致した場合に、振幅が0.2mm程度の微小振動となり、加工に影響を与える。切削加工中にこの微小振動が発生すると、加工したワークに波紋状の微小な凹凸が発生する。

産業用ロボットは姿勢により慣性に変化して固有振動数が変化する。また、ツールを一定速度で動作する場合においても、各関節の回転速度は変動するため、減速機のリップルに起因する振動に対し、加工速度や固有振動数を操作して回避することが難しい。

そのため、モータへのトルク指令にリップルを打ち消す信号を加えることにより、この微小振動を大幅に低減する手法を採用している。これにより、ワーク加工中の振動によって発生する傷を目立たないレベルまで低減することができた。

(4) 高精度ツール計測

5軸加工においては、エンドミルがワークにアクセスする方向が変化する。そのため、ロボットのツール登録が正確に実施されないと、エンドミルの姿勢変化で加工点がオフセットして加工後のワークに段差が生じる。産業用ロボットでは、標準的なツール計測の手法が準備されているが、5軸精密加工を実施する上では十分でない。

そのため、真円球を先端に取り付けた基準ツールと投影型位置センサによるツール計測法を開発した。ツール計測状況を図3に示す。センサ情報を使用して真円球の中心位置を変化ないようにロボットを動作させ、その時のロボット関節角を読み取ることでツール位置を計測する。次に長さの異なる基準ツールに交換して同じことを行うことにより、ツール回転軸を計測する。

このツール計測法とロボットの高精度な位置補正技術を組み合わせることで、段差の発生しない5軸加工を実現できるようになった。

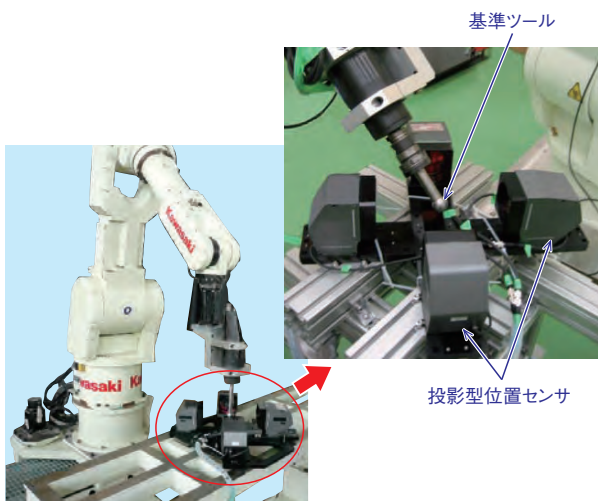


図3 高精度ツール計測
Fig. 3 Precision tool measurement

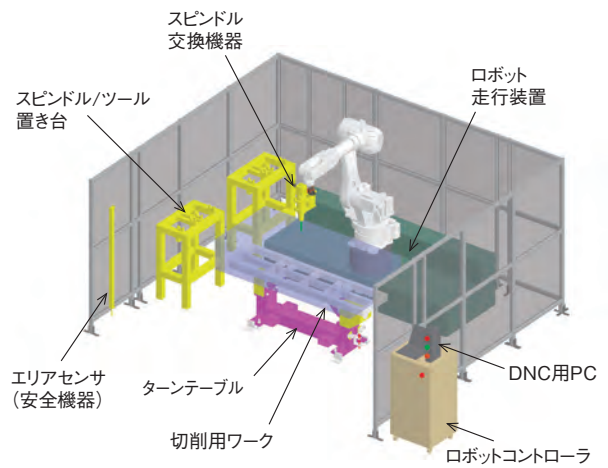


図4 MILLINGロボットシステム構成例
Fig. 4 Example of milling robot system

3 システム構成例

MILLINGロボットのシステム構成例を図4に示す。一般のNC工作機械に比べて設置スペースが小さく、レイアウトの変更が容易である。さらに、切削加工時にはスピンドル(切削用主軸)を使用するが、スピンドル交換機器で、スピンドルをロボットハンドなどの他のツールへ交換すれば、切削ワークのロード/アンロード、あるいは切削前後の計測などが可能になる。

4 実適用例

自動車試作シートの模型の切削状況を図5に示す。ロボット1台で一人用シートサイズのワークが切削可能である。

また、その他の切削加工のサンプルを図6に示す。これらのサンプル品は、従来はNC工作機械を使用しなければ切削できなかったが、MILLINGロボットによる加工で、省スペース化やコストダウンが実現できた。

また、本システムは「2010 FIFA ワールドカップ」での選手の活躍を願って行われたナイキジャパン社のキャン

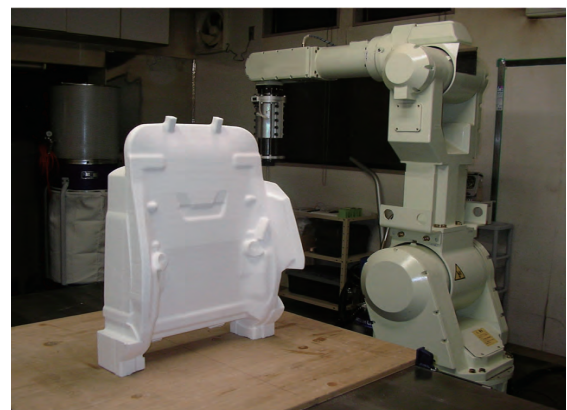
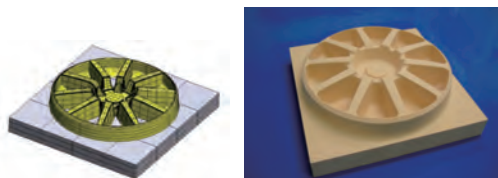


図5 自動車試作シートの加工
Fig. 5 Automobile seat prototyping



(a) 自動車模型 (発泡スチロール)



(b) ホイール (ケミカルウッド)

図6 サンプルワーク
Fig. 6 Sample works



図8 レーザ溶接への適用
Fig. 8 Application for laser welding



図7 ナイキジャパン「2010 FIFA ワールドカップ」キャンペーン
Fig. 7 Nike Japan "2010 FIFA World Cup" campaign

ペーンに採用された。図7に示すように、サポーターから集められたメッセージを等身大の代表選手の像にロボットが刻むことにより、ワールドカップを盛り上げることに貢献した。

5 他の加工への展開

産業用ロボットにより高精度な加工が可能になったことで、さまざまな用途への展開が期待される。図8は、インペラのレーザ溶接の例である³⁾。また、Gコードによる自由曲面の加工が可能であるため、曲面の仕上げ加工などへの適用が期待できる。

あとがき

従来、産業用ロボットが用いられなかった切削用途に、高精度化およびGコードによる加工の実現でロボットの適

用が可能になった。溶接や塗装で自動車産業に広くロボットが普及したように、試作模型の加工などの分野で、安価で汎用性の高い産業用ロボットが普及していくことが今後期待できる。

参考文献

- 1) 長谷川：“産業用ロボットの適用例と必要な要素技術”，日本ロボット学会誌，Vol.27，No.3，pp.268-271（2009）
- 2) 久保田，佐々木，梶原，前原：“生産性向上に向け進化するロボットーより速く，より正確にー”，川崎重工技報，No.163，pp.32-35（2007）
- 3) Maeda, Kobayashi, Kuwano, Tsukamoto, Iwasa：“6.5kW High Power Direct Diode Laser Applications in Heavy Industries”，ICALEO2008 Congress Proceedings（2008）

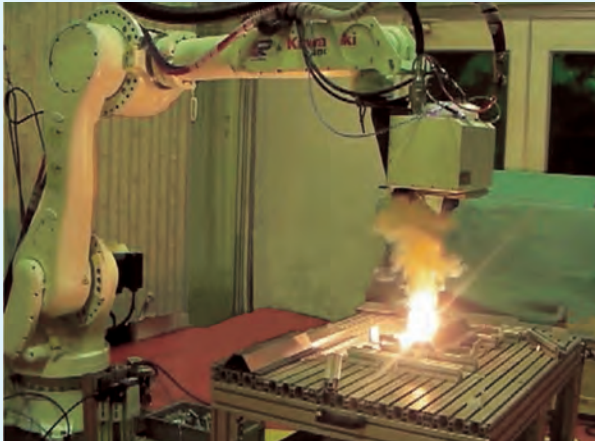


藤森 潤 家中 良太 堀内 悠平 久保田哲也

高木 登 山 和之 脇坂 明文 川端 純一

先進接合ロボットシステム

Advanced Joining Robot System



福原 一美① Kazumi Fukuhara
 藤本 光生②※ Mitsuo Fujimoto
 黒川 英朗③ Hideaki Kurokawa
 平塚 充一④* Mitsuichi Hiratsuka

製造業を取り巻く環境は急激に変化しており、省エネルギーや地球温暖化排出ガスの低減が求められている。それは、製品だけでなく、製造工程においても要求されており、接合品質と高い次元で両立することが必要となっている。本稿では、最新の接合技術として摩擦攪拌点接合とアーク・レーザ溶接の動向ならびに適用状況について述べる。

The environment surrounding the manufacturing industry is rapidly changing, and a reduction in energy consumption and a decrease in global warming gas emissions are being demanded of the industry. The demand goes beyond products to impact production processes, and a compatibility of a higher order between this demand and the quality of joints is needed. This paper describes the latest trends in Friction Spot Joining and Hybrid Laser-arc welding technology and how these technologies are applied.

まえがき

各メーカーから上市されているロボットは、動作速度や位置決め精度など、ロボット単体の性能が目覚ましく向上している。しかし、その性能は互角であり、各メーカーには、ロボット単体でのコスト競争力、もしくは、付随する機能および付加機能を含めたシステムとしての提案力が要求されている。付随する機能には、ハンドリング、切断、加工、接合および研磨・研削などの種々の生産工程がある。

その中でも接合技術の動向に関しては、1990年頃に英国 TWI (The Welding Institute) が開発した摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) が、アルミニウム合金製の鉄道車両を中心に適用されており、当社がFSWを応用し開発した摩擦攪拌点接合 (FSJ: Friction Spot Joining)¹⁾ が、自動車メーカーの生産ラインに導入され、適用車種ならびに台数を着実に増やしている。また、ここ数年、電子デバイスの急速な進歩により、従来のアーク溶接、抵抗スポット溶接における制御ならびに監視機能が向上している。さらに、適用拡大がめざましいレーザ発振器についてもファイバーレーザを中心に大出力化が図られている。

1 摩擦攪拌点接合 (FSJ)

(1) FSJの概要

FSJは、図1に示す接合ツールと呼ばれる先端にネジ加工された突起(プローブ)を有する工具を用いて行われる。そのため、接合部にはプローブの圧入痕が凹みとなって残る。接合プロセスは図2に示す3段階で行われる。すなわ

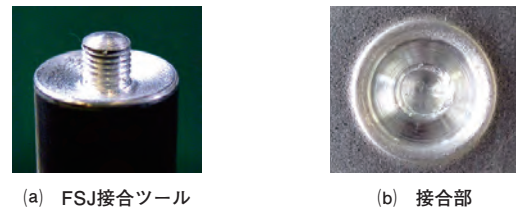


図1 FSJ接合ツールと接合部
 Fig. 1 FSJ joining tool and joint

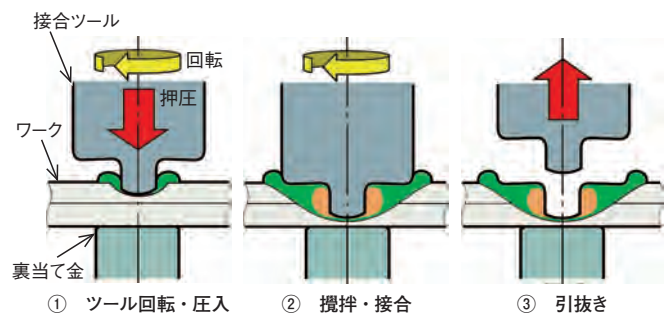


図2 FSJ接合プロセス模式図
 Fig. 2 Schematic diagram of FSJ joining process

ち、上下2枚に重ねられたワークは、回転しながら圧入するツールとワークの間で生じる摩擦熱により軟化され、突起のネジにより上下の材料が攪拌されることで一体化される。その後、接合ツールをワーク表面方向に移動させることなく引き抜くことで接合過程が終了する。

(2) FSJを取り巻く周辺状況

自動車産業を中心とする輸送機器部門では、省エネルギーおよび温室効果ガス排出量削減の要求が高まっている。

また、そのニーズは自動車、航空機、鉄道車両および船舶などの製品だけでなく製造過程においても要求され始めている。その結果、車体の軽量化だけでなく、製造過程における省エネルギーが緊急の課題となっている。

(3) 自動車産業における適用

自動車産業においては、軽量化を達成するため、車体外板を中心に高張力鋼やアルミニウム合金などの軽合金、また、樹脂材料の適用が進められている。従来の鋼と異なる材料の適用により、切断や接合工程についても新たなプロセスの導入が求められており、接合工程の中でも、外板の接合に多用される点接合については、FSJの適用が拡大しつつある。自動車生産ラインは、多種多様なワークが流れ



図3 FSJロボット
Fig. 3 FSJ robot

る混流生産ラインであるため、ワークによって異なる打点に対応できるように産業用多関節ロボットが導入されている。このロボットは、動作位置だけでなくツールの押圧力や回転速度などの接合を教示することで、精度よく繰り返し接合が行える。FSJロボットは、図3に示す可搬重量が165kgfないしは200kgfの中型ロボットにFSJガンを搭載することで構成される。国内の自動車メーカーでは、図4に示す蓋物と称されるフロントフードやバックドアにアルミニウム合金が多く適用されており、その接合法としてFSJが用いられている³⁾。FSJロボットはすでに200台以上が市場に導入され、100万台以上の車に適用されている。

(4) 航空機産業における適用

航空機の機体接合は、自動車外板と同様、重ね継手の点接合が多く用いられている。しかし機体に適用する場合、プローブの圧入痕や余盛といった凹凸は厳しく制限されるため、従来の穴有りFSJではなく、穴無しFSJの開発が求められている。穴無しFSJの航空機機体への適用については、当社だけでなく海外においても、ボーイングやエアバスが研究機関と連携して研究を進めており、今後、研究が加速することが予想される。

穴無しFSJ接合ツールの先端部と接合部の外観を図5に示す。接合ツールは同心円状にプローブとショルダに分割でき、ツール外周を覆うクランプと併せて用いることで接合後の外観を平滑とする接合法を開発している。開発した接合法のプロセスは図6に示すように複雑であるが、接合メカニズムはこれまでのFSJと同様、摩擦による軟化と攪

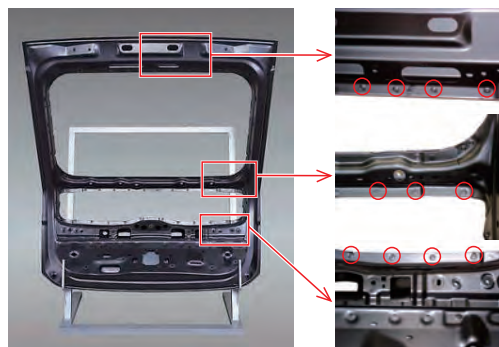
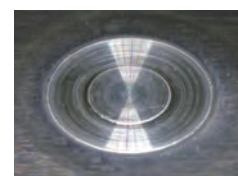


図4 FSJの適用例
Fig. 4 Example of application of FSJ



(a) 先端部



(b) 接合部

図5 穴無しFSJ接合ツール先端部と接合部
Fig. 5 Appearance of hole-free FSJ joining tool and joint

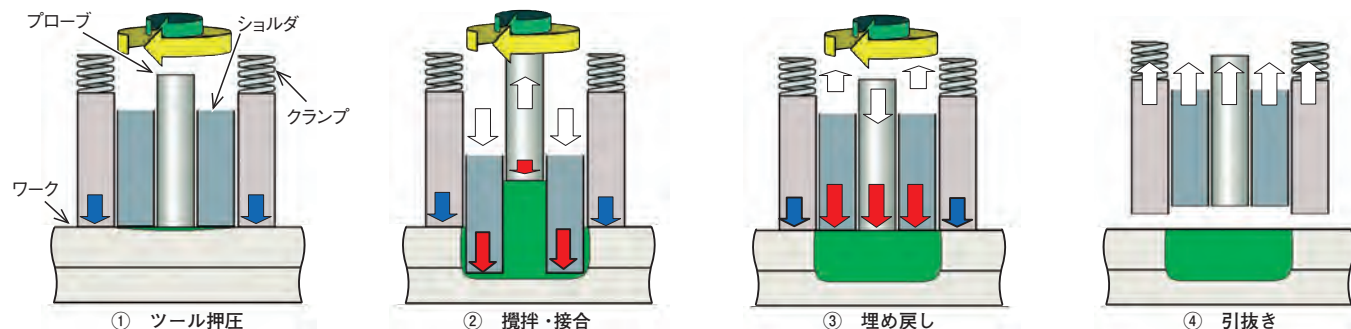
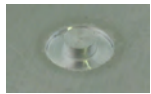


図6 穴無しFSJ接合プロセス
Fig. 6 Hole-free FSJ joint process

攪拌・接合



埋め戻し



引抜き

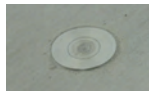


図7 穴無しFSJ接合中の材料移動状況

Fig. 7 Plastic flow materials in double-acting hole-free FSJ joint

拌による材料の一体化である。ワークの材料はツールの圧入、引抜きに応じて移動している。穴無しFSJ接合中の材料の移動状況を図7に示す。

(5) 規格化に関する動向

FSJの基礎となる接合法であるFSWは、2004年から国際的な規格化の活動が行われて、2011年度に国際標準化機構(ISO)で規格化された。今後、ISOを参考にJIS化されることから、国内においてもFSWの適用が急激に拡大するものと期待される。

一方、FSJについても、2006年からISOでの規格化の活動が行われており、2009年から我が国も軽金属溶接協会を中心に国内の装置メーカー、ユーザーおよび中立機関で委員会を設立して国際会議に参加し、規格化に取り組んでいる。世界的に見ても、FSJを実用化しているのは我が国だけであり、設計するための方針や評価方法について主導的な役割を担っている。当社も、装置メーカーであることから、代表幹事として国内外の委員会に出席している。

2 アーク・レーザ溶接

アーク溶接やレーザ溶接など、溶融溶接を採用している企業においても、生産性の向上や品質の向上による製品競争力の強化が要求されている。これら溶融溶接における課題は、溶接で生じる歪の低減および材料品質の低下の抑制である。

(1) 大電流MAG (Metal Active Gas welding) 溶接

厚板を対象とするアーク溶接では、溶接金属を充填する開先を小さくするとともに、1回の溶接で充填できる溶接金属を多くすることで生産性の向上を実現している。しかし、開先を小さくした場合、開先の底部にアークが届かず融合不良等の欠陥が発生し易くなる。また、溶接電流を大きくした場合、ある程度以上の大電流となると、「溶接電流」

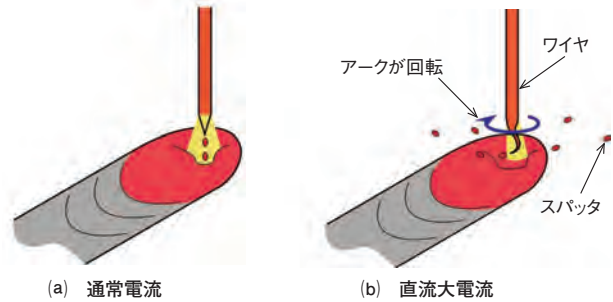


図8 大電流溶接におけるローテーティングアーク
Fig. 8 Rotating arc in high-current welding

と、溶接電流で生じる「磁界」との相互作用により液滴が回転するローテーティングアークが発生し、スパッタの多い外観となる(図8)。そこで、アークを集中させることにより狭い開先の底部も十分に溶融させ、大電流でも平滑な外観が得られる大電流MAG溶接法を開発している。当社においても、本溶接法の特徴を十分把握し、ロボットに搭載することで厚板溶接の高能率化を図っている。

(i) 大電流MAG溶接の原理

大電流MAG溶接は、図9に示すように二つの溶接電源を用い、大きな溶接電流にも耐え得る溶接トーチと組み合わせて用いられる。大電流を流すために単純に溶接電源を2台接続した場合、ローテーティングアークとなり溶接品質が低下するため、溶接電源が電流を精緻に制御することで、大電流を流しながら適正な溶滴移行を実現している。

(ii) 大電流MAG溶接導入のメリット

従来の電流域で施工した継手に比べて、本溶接法では施工パス数が少なくなっているだけでなく、開先を小さくすることで、施工時間および歪が低減される。例えば、図10左に示すようにルートギャップをほぼ0mmとすることで充填すべき溶接金属が約半分になる。図10右に従来の溶接電流域で施工した継手の断面マクロ写真と大電流MAG溶接で施工したものを示す。大電流MAG溶接では狭い開先の底部も十分に溶融しており、欠陥の無い良好な継手が得られていることが分かる。

また、図10のような継手形状の場合、溶接金属が収縮す

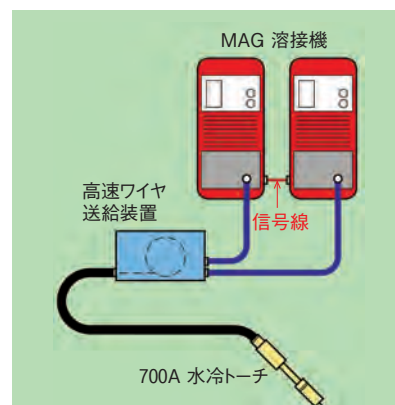
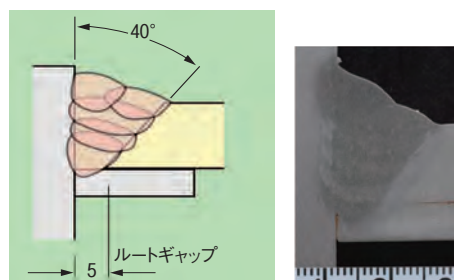
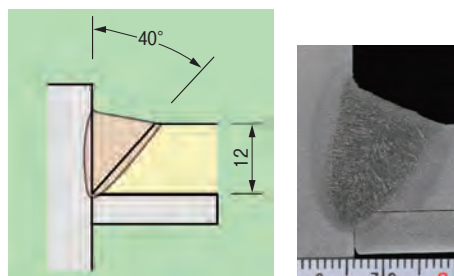


図9 大電流MAG溶接の装置構成

Fig. 9 Device configuration in high-current MAG welding



(a) 従来の溶接法



(b) 大電流MAG溶接法

図10 従来の溶接法と大電流MAG溶接法の開先形状と断面マクロ写真
Fig.10 Joint geometry and cross-sectional photo in high-current MAG welding process and conventional welding process

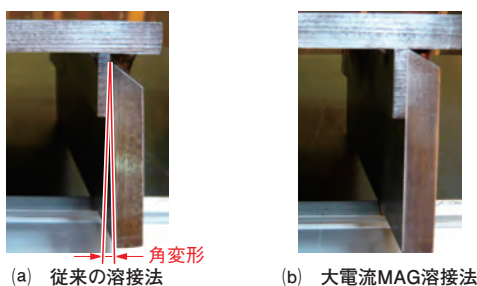


図11 従来の溶接法と大電流MAG溶接法による変形量の比較
Fig.11 Comparison of deformation between high-current MAG process and conventional welding process

ることにより、溶接後に開先が小さくなる方向に変形すること（角変形）が知られている。両施工法による模擬試験体の外観を図11に示す。従来の溶接法では約5度の角変形が生じているが、大電流MAG溶接法では約1度に軽減されていることが分かる。

(2) レーザ溶接

重工業におけるレーザ溶接については、レーザ共振媒体に光ファイバーを用いたファイバーレーザや、同じく媒体にディスクを用いたディスクレーザなど、より高品質なレーザが主流となっており、当社においても車両の側構体へ適用し^{5) 6)}、従来の抵抗スポット溶接に比べて外観品質の向上に貢献している。適用車種、適用台数とも着実に増加しており、今後も拡大が期待される。また、アーク溶接と併用するレーザ・アークハイブリッドに関する研究を進めている。レーザ・アークハイブリッドは、レーザ溶接とアーク溶接の両者のメリットを活かす溶接法である（図12）。他にも、ワークから離れた位置にある光学ミラーを高速で

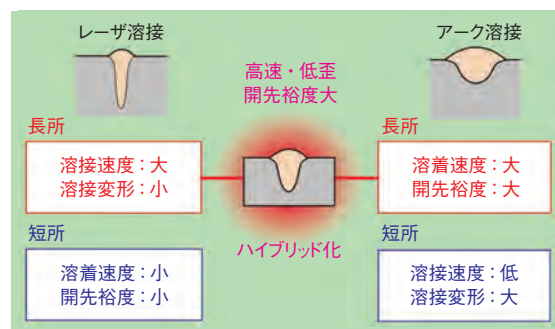


図12 レーザ・アークハイブリッドのメリット
Fig.12 Advantages of Hybrid Laser-arc welding process

動作させて溶接するリモートレーザのような新しい接合法についても研究開発が進んでいる。

あとがき

接合技術は成熟した分野であると言われることが多いが、FSJのような全く新しい接合法や、レーザ発振器の大出力化に伴い、生産現場における接合工程は変革の時期を迎えていると言っても過言ではない。今後、これらの新たな接合法を積極的に導入し、社内外の製品の品質ならびに生産性の向上に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 長谷川, 古賀, 武市, 八木, 小池, 荒砂: “最新接合技術を適用したロボット溶接システム”, 川崎重工技報, No.152, pp.22-27 (2003)
- 2) 瀬田, 榎木, 竹内, 福原, 藤本: “新接合システム - フリクションスポット接合 (FSJ) ロボット -”, 川崎重工技報, No.163, pp.14-17 (2007)
- 3) M.Fujimoto, Y.Tsukeshiba, K.Nomura: “Friction Stir Spot Welding Application on Hybrid Car”, 溶接学会誌, pp.227-230 (2011)
- 4) 岡田, 上向, 藤本: “フリクションスポット接合について, 第47回飛行機シンポジウム” (2009)
- 5) 平嶋, 梅林, 田口, 下山, 神岡, 丸谷, 村田, 平松: “美しい車体を作る - レーザ溶接ステンレス構体, FSJ ハモニカアルミ構体 -”, 川崎重工技報, No.160, pp.50-53 (2006)
- 6) 古賀, 瀬渡, 藤本, 大久保, 犬塚: “新溶接・接合技術の適用”, 川崎重工技報, No.164, pp.22-25 (2007)



特許 第4520268号

発明の名称：ロボット

発明者：稲田 隆浩, 辻森 俊行, 北村 伸二, 谷内 亮

— 損傷・破損しない産業用ロボットを目指して —

産業用ロボットは、人間の代わりに溶接や塗装などの作業を昼夜を問わず行い続ける。ロボットのアームには、人間の腕や脚と同様に関節があり、アーム先端には手首や手に当たるツールが取り付けられる。さらに、血管のように、ツールにつながるハーネスやチューブなどがアームに沿って配置されている。人間の腕や脚の関節はうまくできているため滑らかに動くが、ロボットの場合はさまざまな工夫をしなければ関節は滑らかに動かず、ハーネスやチューブ同士が干渉しあったり、設置台に接触したりして、アームやハーネスなどの損傷・破損の原因になる。

本技術は、ロボットベース軸に中空構造（中空管）を持つ減速機を使用することで、この問題を解決するものである。図1に示すように、基台に中空管を設け、ハーネスなどを無理に曲げることなく設置する。さらに、ロボット設置面が中空管の出口をふさがないようにすることで、ハーネスなどと設置台が接触することを防止できる。

本特許の出願当時は、中空管に通していたのは、ハーネスまたはチューブのいずれかであったが、現在は、ハーネスとチュ

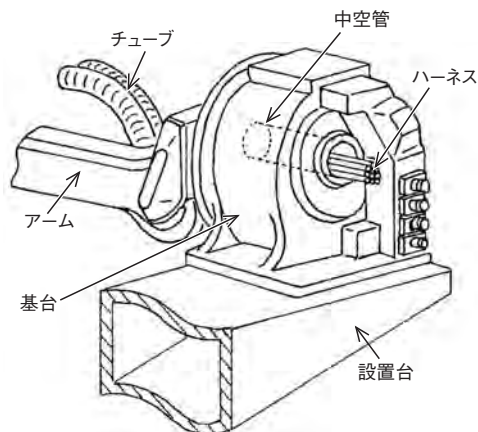


図1 本発明を適用した産業用ロボットのベース部

ーブの両方を中空管内に収納できるよう、中空管の構造の改良を試みており、滑らかさを確保しつつ、基台部のコンパクト化を目指している。

(本誌pp.14-17参照)

特許 第4098338号

発明の名称：ウエハ移載装置および基板移載装置

発明者：橋本 康彦

— 機敏で守備範囲の広い産業用ロボット —

半導体製造には、非常にクリーンな環境での高速搬送が求められる。当社で提供している半導体処理設備に用いられるウエハ搬送装置も、そのような要求に応えるように他社に先駆けてさまざまな工夫がなされている。

図1はウエハ出し入れ機構の一例であるが、基台と、ロボットアームを構成する第1リンク体、第2リンク体、第3リンク体と、半導体ウエハを把持するロボットハンドなどから構成されている水平多関節ロボットを用い、ウエハを密閉して運ぶ容器（FOUP：Front Opening Unified Pod）やウエハ処理装置との搬出入を行う。

本技術は、第1リンク距離を、前後方向寸法の半分より大きく、侵入禁止領域から反対側の壁までの距離以下に設定することで、ロボットアームと前後壁の干渉を防止しつつロボットアームの動作範囲、特に左右方向のロボットアームの動作範囲を大きくすることができる。

本技術をEFEM（Equipment Front End Module）に適用することでロボットアームの守備範囲が広まり、従来必要であったFOUPの並列方向にロボット本体を移動させる走行装置が不要になった。これにより、走行装置の駆動による塵埃の発生が無くなり、よりクリーンな環境でのウエハ高速搬送を実現できた。

(本誌pp.18-23参照)

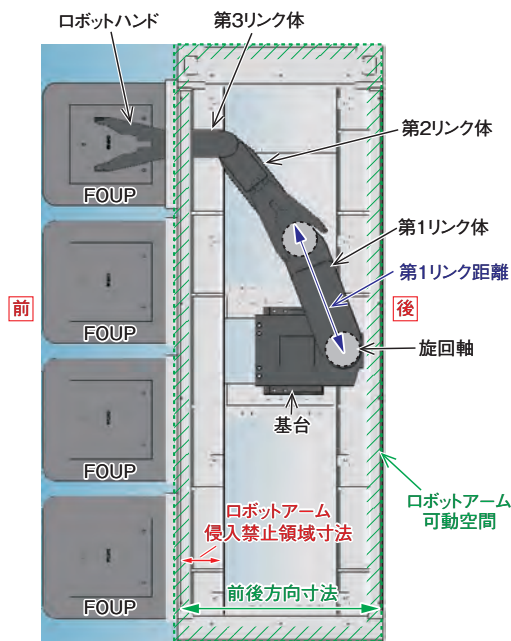


図1 本技術を適用したウエハ出し入れ機構（EFEM）の一例

事業セグメント別主要製品／生産拠点

事業セグメント	主 要 製 品	主要生産拠点
船 舶 海 洋	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG運搬船, LPG運搬船, 油槽船, ばら積み船, コンテナ船, 自動車運搬船, 超高速船, 艦艇, 官公庁船, 海洋構造物 	神戸工場 坂出工場 南通中遠川崎船舶工程有限公司 大連中遠川崎船舶工程有限公司
車 両	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道車両, 新交通システム, モノレール, プラットホームドア ・ニッケル水素電池「ギガセル」 	兵庫工場 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. Kawasaki Rail Car, Inc. (米国)
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (固定翼機/ヘリコプター), 飛翔体誘導機器, 宇宙関連製品, 電子機器, シミュレータ ・航空機 (部分品等), ロケット部分品, 宇宙機器, 標的システム ・航空機整備・改造 	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場 日本飛行機(株)・横浜工場 日本飛行機(株)・厚木工場
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機用ジェットエンジン, 航空機用・船用ガスタービンエンジン, 航空機用トランスミッション, エンジン周辺機器 ・ガスタービン発電設備, 熱電供給システム(コージェネレーションシステム), 機械駆動用ガスタービン, ガスタービン移動発電機車 ・陸・船用蒸気タービン, ディーゼル機関, ガスエンジン, 大型減速装置 ・船用推進装置 (可変ピッチプロペラ/サイドスラスト/旋回式スラストなど) ・各種空力機械 (送風機/圧縮機/天然ガス圧送設備/風洞装置/トンネル換気装置/電気集塵機など) ・空調機器, 汎用ボイラ 	明石工場 西神工場 神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司 川重冷熱工業(株)・滋賀工場
プ ラ ン ト ・ 環 境	<ul style="list-style-type: none"> ・各種産業用プラント (セメントプラント/化学プラント/繊維プラント/荷役搬送設備/物流システム/FAシステムなど) ・排煙脱硝設備 ・各種産業機械 (鋼材自動加工機械/振動機械など) ・蒸気タービン/ガスタービンによる各種産業機械 ・各種陸船用ボイラ, 灰処理設備 (事業用発電ボイラ/産業用ボイラなど) ・原子力設備 ・空冷熱交換機 ・都市ごみ焼却設備, 水処理設備 ・粗大ごみ破碎・リサイクル設備, 産業廃棄物処理設備 ・各種貯蔵設備 (LNGタンク/LPGタンクなど), 高圧ガス容器, 水圧鉄管, 空港施設 ・ロケット射点設備, 港湾荷役施設, 消防訓練施設, 可動建築物 ・鋼管構造など各種構造物 ・シールド掘進機, トンネル掘削機 ・破碎機, リサイクル用機器, 粉碎機, 鋳鋼製品 	播磨工場 上海中遠川崎重工鋼結構有限公司 安徽海螺川崎裝備製造有限公司 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司 (株)アーステクニカ・八千代工場
モ ー タ ー サ イ ク ル & エ ン ジ ン	<ul style="list-style-type: none"> ・二輪車, ATV (四輪バギー), 多用途四輪車, パーソナルウォータークラフト「ジェットスキー」 ・汎用ガソリンエンジン 	明石工場 加古川工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. Kawasaki Motores do Brasil Ltda. Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd. P.T. Kawasaki Motor Indonesia Kawasaki Motors (Phils.) Corporation 常州川崎光陽發動機有限公司
精 密 機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・建設機械用油圧機器, 産業機械用油圧機器・装置 ・船用舵取機, 船用各種甲板機械 ・産業用ロボット 	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery (U.K.) Ltd. 川崎精密機械 (蘇州) 有限公司 川崎春暉精密機械 (浙江) 有限公司 Flutek, Ltd. (韓国) Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Ltd. (インド)
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ・各種土木建設機械 (ホイールローダ/除雪ドーザ/ロードホウルダンプ/コンクリート舗装機械など) 	(株)KCM本社工場 KCMA Corporation (米国)

事 業 所 所 在 地

東京本社 (〒105-6116)	東京都港区浜松町2丁目4番1号 (世界貿易センタービル)	☎(03)3435-2111	Fax. (03)3436-3037
神戸本社 (〒650-8680)	兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号 (神戸クリスタルタワー)	☎(078)371-9530	Fax. (078)371-9568
技術開発本部 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号 (明石工場内)	☎(078)921-1611	Fax. (078)921-1867
東京事務所 (〒126-8588)	東京都江東区南砂2丁目11番1号	☎(03)3615-5111	Fax. (03)5690-3159
北海道支社 (〒060-0808)	北海道札幌市北区北8条西3丁目32番 (8・3スクエア北ビル5階)	☎(011)727-3131	Fax. (011)727-3132
中部支社 (〒450-6041)	愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号 (JRセントラルタワーズ)	☎(052)388-2211	Fax. (052)388-2210
関西支社 (〒530-0004)	大阪府大阪市北区堂島浜2丁目1番29号 (古河大阪ビル)	☎(06)6344-1271	Fax. (06)6348-8289
九州支社 (〒812-0011)	福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目4番1号 (博多駅前第一生命ビル)	☎(092)432-9550	Fax. (092)432-9566
東北支社 (〒980-0021)	宮城県仙台市青葉区中央1丁目6番35号 (東京建物仙台ビル16階)	☎(022)261-3611	Fax. (022)265-2736
中国支社 (〒730-0013)	広島県広島市中区八丁堀3番33号 (広島ビジネスタワービル12階)	☎(082)222-3668	Fax. (082)222-2229
沖縄支社 (〒900-0015)	沖縄県那覇市久茂地3丁目21番1号 (國場ビル11階)	☎(098)867-0252	Fax. (098)864-2606
岐阜工場 (〒504-8710)	岐阜県各務原市川崎町1番地	☎(058)382-5712	Fax. (058)382-2981
名古屋第一工場 (〒498-0066)	愛知県弥富市楠3丁目11番地	☎(0567)68-5117	Fax. (0567)68-5090
名古屋第二工場 (〒490-1445)	愛知県海部郡飛島村金岡7番地4	☎(0567)55-0800	Fax. (0567)55-0803
神戸工場 (〒650-8670)	兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号	☎(078)682-5001	Fax. (078)682-5503
兵庫工場 (〒652-0884)	兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号	☎(078)682-3111	Fax. (078)671-5784
西神工場 (〒651-2271)	兵庫県神戸市西区高塚台2丁目8番1号	☎(078)992-1911	Fax. (078)992-1910
西神戸工場 (〒651-2239)	兵庫県神戸市西区榎谷町松本234番地	☎(078)991-1133	Fax. (078)991-3186
明石工場 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号	☎(078)921-1301	Fax. (078)924-8654
加古川工場 (〒675-0112)	兵庫県加古川市平岡町山之上向原170番地	☎(079)427-0292	Fax. (079)427-0556
播磨工場 (〒675-0155)	兵庫県加古郡播磨町新島8番地	☎(079)435-2131	Fax. (079)435-2132
坂出工場 (〒762-8507)	香川県坂出市川崎町1番地	☎(0877)46-1111	Fax. (0877)46-7006

海 外 事 務 所

北京事務所	中華人民共和国 北京市建国門外大街1号 国貿写字楼1座2602室	☎ 86-10-6505-1350	Fax. 86-10-6505-1351
台北事務所	台湾 台北市仁愛路二段99号 福記大樓15樓	☎ 886-2-2322-1752	Fax. 886-2-2322-5009
デリー事務所	5th Floor, Meridien Commercial Tower, 8 Windsor Place, Janpath, New Delhi 100 001, India	☎ 91-11-4358-3531	Fax. 91-11-4358-3532
モスクワ事務所	Office 432 (4th floor) , Entrance 6, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610, Moscow, Russian Federation	☎ 7-495-258-2115	Fax. 7-495-258-2116

現 地 法 人 事 務 所

Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc.	60 East 42nd Street, Suite 2501, New York, NY 10165, U.S.A.	☎ 1-212-759-4950	Fax. 1-212-759-6421
Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc. Houston Branch	333 Clay Street, Suite 4310, Houston, TX 77002-4109, U.S.A.	☎ 1-713-654-8981	Fax. 1-713-654-8187
Kawasaki do Brasil Indústria e Comércio Ltda.	Avenida Paulista, 542-6 Andar, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil	☎ 55-11-3289-2388	Fax. 55-11-3289-2788
Kawasaki Heavy Industries (U.K.) Ltd.	4th Floor, 3 St. Helen's Place, London EC3A 6AB, U.K.	☎ 44-20-7588-5222	Fax. 44-20-7588-5333
川崎重工諮詢 (上海) 有限公司	中華人民共和国 上海市黄浦区南京西路288号 創興金融中心10樓	☎ 86-21-3366-3100	Fax. 86-21-3366-3108
Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.	6 Battery Road, #23-01, Singapore 049909	☎ 65-62255133	Fax. 65-62249029
Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE	Dubai Airport Free Zone, Bldg. 6W, Block-A, Office No. 709, P.O. Box54878, Dubai, U.A.E.	☎ 971-4-214-6730	Fax. 971-4-214-6729

本誌掲載記事の抄録文は
当社のインターネットホームページにも掲載しています。
URL : <http://www.khi.co.jp>

川崎重工技報 第172号

2012年5月1日

編集・発行 兵庫県明石市川崎町1番1号
川崎重工業株式会社 技術開発本部

発行責任者 技術開発本部長 牧村 実

発行人 技術開発本部 技術企画推進センター長
崎山 雅行

印刷 大阪府大阪市北区天満三丁目4番12号
株式会社 正巧堂

禁無断転載

川崎重工業株式会社

TECHNICAL REVIEW

