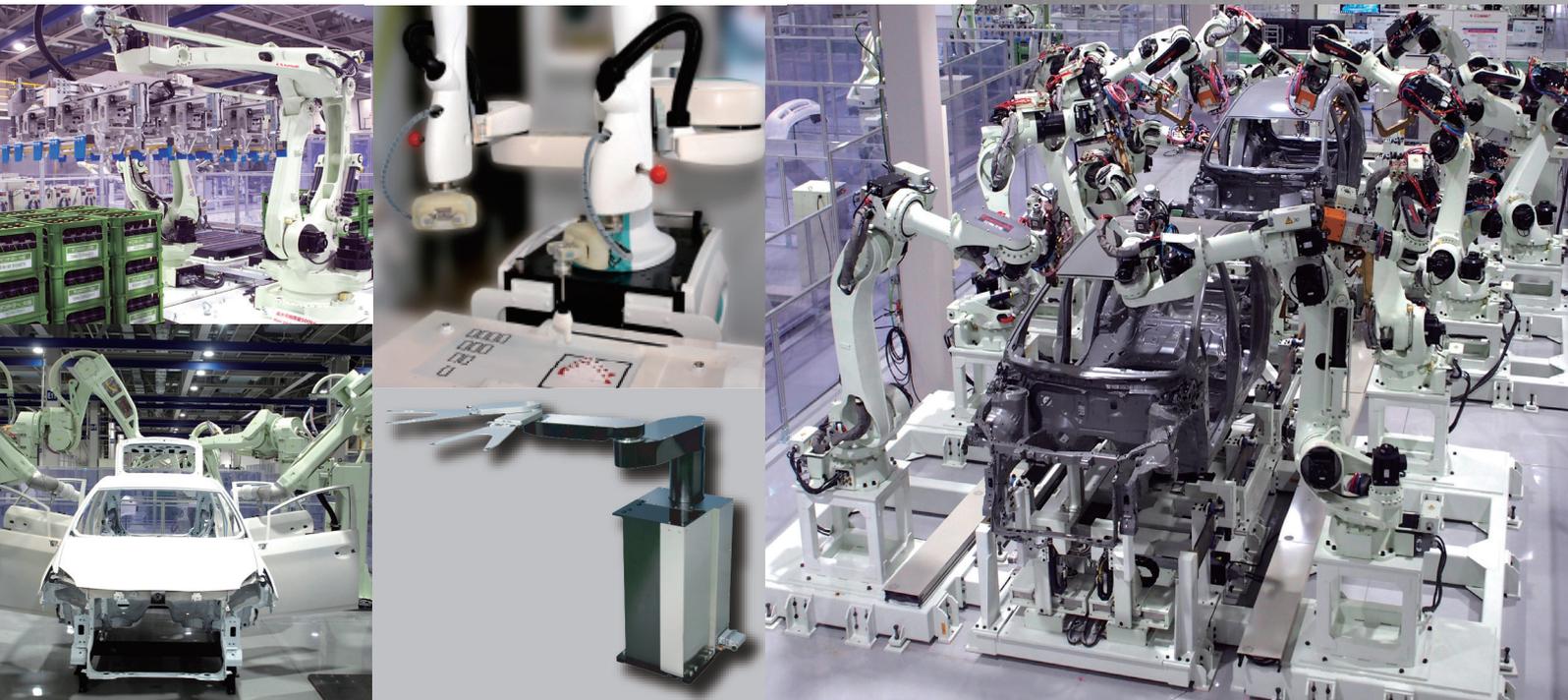


ISSN 0387-7906

川崎重工技報

ロボットシステム特集号

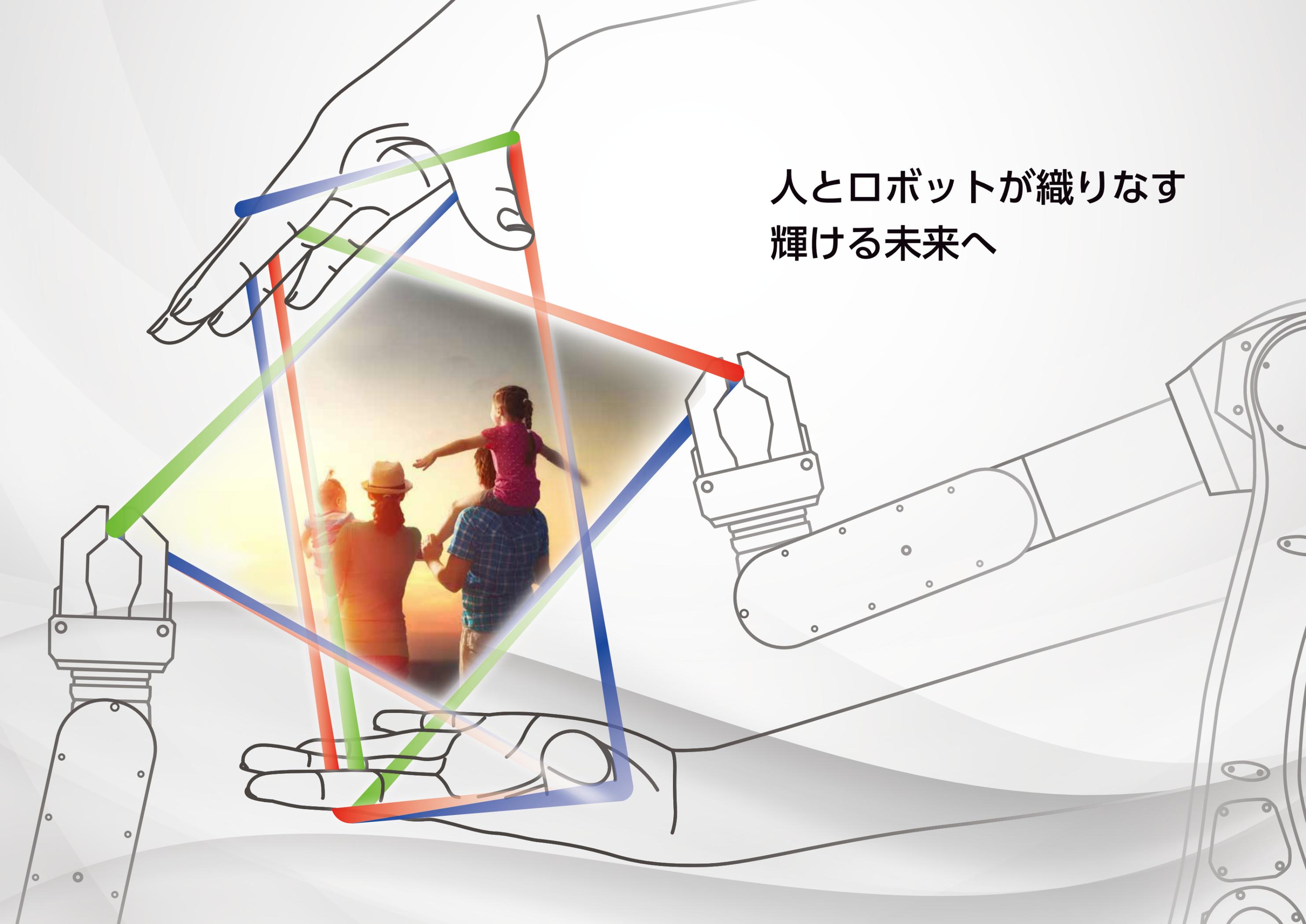


TECHNICAL REVIEW

No.178

August 2017

人とロボットが織りなす
輝ける未来へ



■ 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	ロボットの市場環境とロボットビジネスセンターにおける取り組み	2

技術解説

■ 人共存型双腕スカラロボット「duAro」による人とロボットが共存する生産システム	—開発コンセプトと適用事例—	6
A Collaborative Dual-arm SCARA Robot, duAro, Provides a Production System That Allows Human Beings and Robots to Work Together: Development Concept and Applications		
■ 高張力鋼への革新的なスポット接合技術の適用	—鋼FSJロボットシステム—	10
Application of Friction Spot Joining Technology to High Strength Steel: FSJ Robot System for Steel		
■ 超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」とそれを用いた航空機部品の生産		14
Ultra-high Payload, High Rigidity Robot MG10HL and Its Use in Production of Airplane Parts		
■ ロボットによるロボット生産工場		18
Robot Production Factory with Robots		
■ 先進的メンテナンスサービス「K-COMMIT」		22
An Innovative Maintenance Service, K-COMMIT		
■ 医療用ロボットシステムの開発		26
Development of Medical Robot Systems		
■ ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」による人に安全な生産システムの実現		30
A Robot Operation Safety Monitoring Unit, Cubic-S, Realizes Production Systems That Are Safe for Human Beings		
■ 適用拡大に向けた教示作業自動化への取り組み	—3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアの高度化—	34
Efforts for Automated Teaching in Order to Expand Applications: Increasing the Sophistication of Offline Teaching Software Utilizing 3-dimensional CAD		
■ 走行装置レス・コンパクトアーム「NTS/TTSシリーズ」	—標準化による半導体製造装置への簡単導入—	38
The Traverse Unit-less Compact Arm, NTS/TTS Series: Simple Installation in Semiconductor Manufacturing Equipment through Standardization		

新製品紹介

■ 業界最小・最軽量を実現した小型ロボット用新コントローラ「F60」		42
A New Controller for Compact Robots, F60, the Smallest and Lightest in the Industry		
■ 体験型ロボットショールーム「Kawasaki Robostage」		44
An Experience-based Robot Showroom, Kawasaki Robostage		

特許・実用新案紹介

■ スポット接合方法およびスポット接合装置		46
—低コストな接合を実現する革新的接合方法—		
■ エッジグリップ装置、及びそれを備えるロボット		46
—極限の基板搬送スピードを目指して—		

【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

ロボット市場の近況はいかがでしょう？

世界経済は不透明さを増していますが、ロボット市場は確実に成長しています。特に中国は、労働力不足や人件費高騰を背景に市場が拡大しており、国別の設置台数では日本を抜いて世界一となるまで成長しました。

このようなロボットの量的拡大を今まで支えてきたのは自動車産業向けですが、最近では他の産業にも広がっています。労働力不足解消、コスト削減など、お客様ごとに動機は異なりますが、自動化ニーズはかつてないほど広がりを見せており、ロボットが活躍するフィールドは拡大しています。

それから新しい潮流もあります。ロボットの安全に関する国際規格が改正され、それに適合したロボットが「人との共存・協調ロボット」として提案され始めました。当社は「duAro」という製品を開発し、お客様の要求に応じています。このような新しい要求や期待にタイムリーに応え、さらにはソリューションを提案していくことが何より重要になってきています。

今後の事業展開についてお聞かせください

今後の事業展開として3つの取り組みを挙げたいと思います。

まず第1は、産業用ロボットにおける新たな市場創造です。産業用ロボットには溶接や塗装などの定着した用途があり、これらが当社ロボットビジネスのコアとなっています。まずはこれを強化しながら、さらに用途を拡大し、産業用ロボットの裾野を広げていきます。ものづくりの現場には、自動化されていない所がまだ多く存在しますが、人との共存・協調はその解決策の一つと言えます。これについては、「duAro」を核として市場開拓を進めていきます。

第2は、新分野への挑戦です。当社は新分野の一つを医療ロボットと決めました。2013年に医療ロボット事業を目的とした株式会社メディカロイドを、シスメックス株式会社と合弁で設立しています。2016年度に既存のロボット技術をベースにした製品の販売を開始しており、2019年度には手術支援ロボットを製品化して販売する予定です。

第3は、カワサキロボットブランドの強化です。高い品質だけではなく、IoTを利用した新しいサービスを通じて、カワサキロボットへの安心感を醸成していきます。



肥田 一雄 常務取締役
精密機械カンパニー プレジデント

また、2016年8月にはブランド強化を目的に、東京お台場にショールーム「カワサキロボステージ」を開設しました。これは人とロボットの新しい関係を提案する施設です。お客様にはデモを通じてカワサキロボットを知っていただき、運営側である私たちはこれから当社が目指すべき方向をお客様から学んでいきます。

当社の技術開発について一言お願いします

当社は総合重工メーカーとして幅広い最先端技術を保有しています。また、さまざまなものづくりを行っており、ロボットによる自動化対象を多く持っています。これらの対象への適用を通じて検証した技術を、ソリューションとしてお客様に提供できることが当社の強みです。

船舶や車両の溶接や油圧機器製造ラインにおけるハンドリングなど、すでに社内の多くの現場でロボットが使われています。基盤技術から適用技術まで、幅広い分野でカンパニーや本社技術開発本部が一体となって取り組んでいます。技術開発をさらに進め、航空機製造ラインにもロボットを投入していき、これらの成果を広くお客様のソリューションへつなげていきたいと考えています。

最後に

精密機械カンパニーは「油圧機器とロボットを中核としてトータルソリューションを創造・提供する世界トップブランドのモーションコントロールメーカー」を目指しています。2010年に油圧部門とロボット部門を統合して精密機械カンパニーが発足しましたが、シナジー効果を発揮してこの目標を達成し、社会の期待に応え続けていきたいと考えています。

ロボットの市場環境と ロボットビジネスセンターにおける取り組み

橋本 康彦

常務執行役員 精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター長



まえがき

当社は、1968年6月に産業用ロボット事業を開始して以来、およそ50年にわたってロボットとシステムソリューションの提供を通じて工業化社会の発展に貢献してきた。

ロボットに対する社会の期待は時代と共に変化している。当初は悪環境や重労働からの解放と省人化が使命であったが、今では品質確保の重要なツールにもなっており、より高度な作業の実現が期待されるようになってきた。

当社は、技術・製品開発の継続を通してこの期待に応えている。以下では、ロボット市場を展望し、当社のコアビジネスにおける技術・製品展開と将来の事業拡大に向けた取り組みについて述べる。

1 ロボットの市場環境

(1) 産業用ロボット市場

産業用ロボットの年間販売台数の実績と予想を図1に示す。産業用ロボット市場はここ数年高成長を続けており、2015年の販売台数は25万台を記録した。現在、世界経済は依然不透明な中にあるが、さらに成長は続き、2019年には41万台まで販売台数を伸ばすと予想されている。

地域別にみると、どの地域も堅調に販売台数を伸ばしているが、中国市場の成長が著しい。中国市場における販売台数の伸び率は他地域の2倍以上であり、ロボット市場の牽引役となっている。

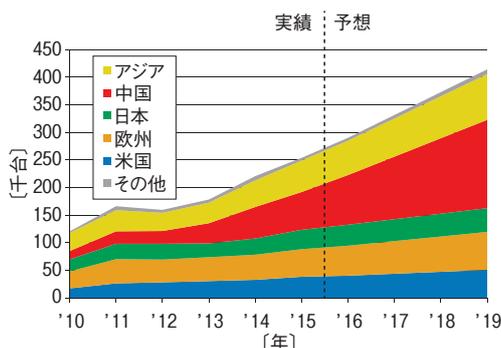


図1 産業用ロボット全世界市場実績と予想
出典：IFR World Robotics 2016

この成長要因はひとえに自動化意欲の高まりである。少子高齢化による労働力不足や人件費高騰などが動機となっている。また、中国における「中国製造2025」や日本における「ロボット新戦略」に見られるように、製造業の国際競争力を強化する各国の政策もこれを後押ししている。

(2) 市場の広がり

このように成長著しいロボット市場であるが、これはロボットが適用分野を広げてきた結果でもある。

従来、ロボットは自動車産業を中心に発展してきたが、近年は他の産業でも需要が増加している。電気・電子産業は自動車産業に次ぐ需要先となっており、金属や機械、生活用品、さらには食品にまで広がりを見せている。さまざまな業界の要求に応え、新しい技術で適用分野を拡大してきたことが、現在のロボット市場の広がりにつながっている。

言い換えれば、ロボットの適用分野の拡大は、市場の成長のためにはなくてはならない重要な課題とも言える。世の中にはロボットによる自動化が進んでいない分野がまだ多く残っている。それぞれの産業が期待する自動化ソリューションを提供し続けることがロボット市場の裾野を広げることとなり、また社会貢献にもつながっていく。

2 当社の技術・製品展開

当社は、産業用ロボットメーカーとしてさまざまな製品を販売している。可搬質量3kgから1,500kgまでの垂直多関節ロボットと多種にわたるクリーンロボットをラインアップ化しており、高性能コントローラと合わせて、幅広い自動化ニーズに対応している。

前章で適用分野の拡大は市場拡大のための重要課題であると述べたが、現在のコアビジネスにおいても適用分野拡大につながるさまざまな取り組みを行っている。次に当社の技術・製品展開における最近の取り組みを紹介する。

(1) 自動車車体組立分野

スポット溶接は、ロボットのボリュームゾーンと言える適用であり、大量のロボットが使われている。ロボットメーカーにとっては売上に占める割合が大きいことから、競

争も激しい。

この分野では、当社は高密度設置によるスポット溶接ラインの合理化と新世代車体構造に対応する接合方法を提案している。以下、それぞれの取り組みについて述べる。

① 高密度設置

自動車車体のスポット溶接工程において、工程あたりのロボット台数を増やすと、工程あたりの溶接点数を増やすことができる。これは工程数の削減とライン長の短縮につながり、設備投資抑制とライン運用費削減に貢献することから、顧客にとってのメリットは大きい。

これを訴求する当社のロボットが「BXシリーズ」である。溶接ガンに必要なケーブルやホース類を完全内蔵したことでスリム化を追求して設置スペースの縮小を進めたことを特長とする。ケーブルなどの内蔵は上部アーム周りの干渉エリアを削減し、スリムな腰回りはロボット設置間隔を小さくする。顧客は「BXシリーズ」の豊富なラインアップから適用にあったアームを選択することで、図2のような密集配置の高効率スポット溶接システムを構築できる。

また、当社は高密度設置を進めるための支援ツールの開発にも取り組んでいる。1つの工程に多くのロボットを設置すると、ロボットの位置関係や溶接点配分などの検討が複雑になる。この複雑化した検討課題に対して、質の高い適用案を提供することを目的に密集配置シミュレータの開発を進めている。

② FSJ (フリクションスポット接合)

FSJとは、Friction Spot Joiningの略で、これまでの抵抗溶接に代わり摩擦熱を利用して金属をスポット接合する当社独自の技術である。すでにアルミニウム合金の接合において実用化されており、自動車車体の組立工程などにロボットシステムが導入されている。

現在、当社はこの技術を超高張力鋼や異種材料の接合に導入すべく開発を進めている。自動車業界は環境

問題を契機とした車体軽量化に取り組んでおり、超高張力鋼の利用拡大やマルチマテリアル化が検討されている。超高張力鋼や異種材料の接合は難易度が高く、必要な強度と生産性を確保する接合方法が求められている。

当社はこれに「FSJロボットシステム」(図3)を提案しており、各材料に応じた接合プロセスの開発を進めている。

(2) 塗装分野

塗装作業は3K(きつい、汚い、危険)作業であり、ロボット化が強く望まれる。当社は、豊富な経験に基づくシステムエンジニアリングを強みにしており、さまざまなワークに対応する塗装システムを提供している。

特に最近、訴求しているのが塗装ブースの小型化である。塗装工程で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るため、顧客にとってエネルギーコストの低減が大きなメリットとなる。自動車塗装向けのロボット「KJ264」は、この訴求を推し進める。軽量化やスリム化そしてメンテナンス性を追求しており、壁掛けまたは棚置きで設置すると、ロボットのライン方向配置間隔やブース壁まわりの干渉エリアを縮小できる。自動車外板塗装の場合、当社従来機比でブース面積が約35%まで縮小可能となる(図4)。

(3) 半導体分野

クリーンロボットは半導体製造装置に組み込まれ、装置内のウエハ搬送に使用される。当社は、1997年にこの分野へ本格参入して以来、多くの装置に適合するクリーンロボットを開発し、トップシェアを取るまで成長してきた。

図5は当社クリーンロボットのラインアップで核となる水平多関節ロボット「NTシリーズ」である。走行軸なしで2FOUP*から4FOUP*までのEFEM**に対応できることを最大の特長としており、コモンプラットフォームと位置づ

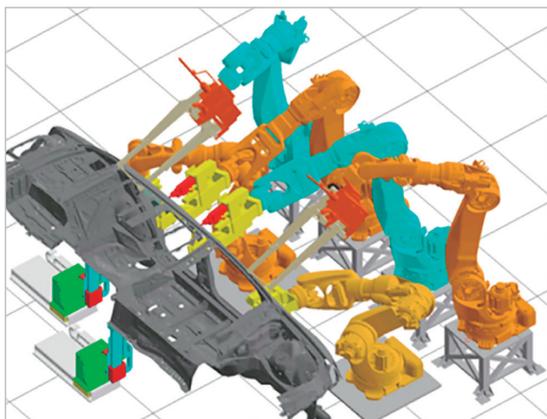


図2 密集配置の例(「BXシリーズ」を片側6台配置した例)



図3 「FSJロボットシステム」

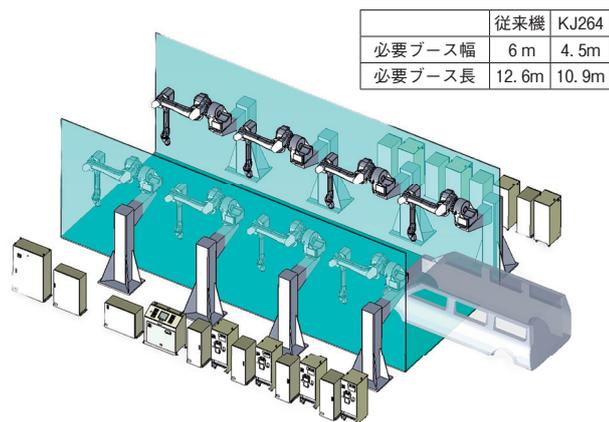


図4 「KJ264」による外板塗装密集配置レイアウト



図5 「NTシリーズ」

けている。これに顧客の多様な搬送ニーズに合わせたハンドやセンサを用意し、パッケージ化して個別のニーズに対応している。

このロボットの設計思想は、他の機種にも生かされている。コンパクトな外形と広い動作範囲の両立、高速・高精度搬送を実現するアーム、そして自動教示・自己診断・衝突検知などの高付加価値を「NTシリーズ」以降の製品にも引き継いでおり、顧客から高い評価をいただいている。

* FOUP：ウエハの搬送容器

** EFEM：半導体製造装置内の各工程間で受け渡しを行うモジュール

(4) ロボットコントローラ

ロボットの適用分野拡大のための取り組みにおいてコントローラの占める役割は大きい。ロボットは、コントローラに実装されたソフトウェアによる指令に基づいて、周辺機器との通信、操作者とのコミュニケーション、そして必要な作業動作を行う。顧客の適用ニーズに対応する機能を機器インターフェースとソフトウェアという形でコントローラに実装し続けることが、適用分野の拡大につながる。

当社のコントローラは、最新のハードウェア技術でこれに込めている。多機能化や高性能化のために複雑化したソ



図6 新型コントローラ（国内仕様）

フトウェアの高速処理を最新の高速CPUが可能にしている。また、フィールドバスや高速イーサネットそしてBluetoothなどへの対応は、顧客のニーズに合ったシステム構築やタブレットを利用した操作系のような新しいヒューマンマシンインターフェースの実現に寄与している。

図6は2016年から2017年にかけて製品化した最新のコントローラで、前述の特長をクラス最小の筐体にパッケージングしており、顧客より高い評価をいただいている。

3 将来に向けた取り組み

ロボット市場の広がり、期待される分野に新技術の投入があつて初めて成し遂げられる。市場では、IoT技術の活用と改正された安全規格に対応した人共存・協調ロボットが最近クローズアップされており、さまざまな試みが活発に行われている。

当社においても、これらは将来に向けた分野と位置づけており、さまざまな取り組みを展開している。次にIoT技術を活用したサービス、人共存型双腕スカラロボット「duAro」、そして産業用を超えたまったく新しい分野となる医療用ロボットへの取り組みについて述べる。

(1) IoT技術を活用したサービス

産業界では、生産性向上と競争力強化を目的として、IoT技術を活用したさまざまな取り組みが行われている。ものがインターネットにつながるにより、ものづくりと情報分析の融合が進むことから、ものづくりに大きな変革をもたらすものとして期待されている。

当社は、このIoT技術をロボットのメンテナンスサービスに活用している。ロボット設備のダウンタイムゼロとライフサイクルコスト低減は顧客にとって大きな関心事である。これに対応するため、当社の販売する先進的メンテナンスサービス「K-COMMIT」の機能として、稼働中のロボットの遠隔監視と故障予知をインターネットを介して行う「TREND Manager」を提供している。

「TREND Manager」は稼働時のロボットの状態をリアルタイムで監視し、故障予知を行う。ロボットの状態を定

量化して管理し、他の点検結果と合わせて、最適なメンテナンス周期および内容を判断する情報を提供する。

(2) 人共存型双腕スカラロボット「duAro」

ロボットの安全性を定めたISO規格が制定・改正されたことに伴い、市場では人共存・協調ロボットとしてさまざまな提案がなされている。ロボットによる完全自動化を必須の要件とせず、人が得意なところは人、ロボットが得意なところはロボットがそれぞれ担当し、作業空間と作業を共有しながら生産性を高めていく試みが始まっている。

当社はこの試みの一つとして、人共存型双腕スカラロボット「duAro」を開発し、さまざまな提案を行っている(図7)。「duAro」は「easy to use」,「人とロボットの共存と協調」をコンセプトとした人サイズの双腕ロボットであり、人の作業を簡単に置き換えることができる。

「duAro」のアームはコントローラ内蔵の台車に取り付けられており、既設ラインを変更することなく人の働いていた場所に導入できる。また、ダイレクトティーチ機能とタブレットによる簡単な操作により設置から稼働までの準備期間を最小限にし、ロボットと人が共存するラインを短時間で構築できる。

「duAro」はこのように設置や稼働までの教示・調整が簡単にできることから、顧客のロボット導入に対するハードルを押し下げる。製品のライフサイクルが短い製品や季節商品のように繁閑差が大きい製品など、従来はロボット化に躊躇していた用途にも効果が期待できる。

当社は、人とロボットの共存・協調を社会の要求に応える重要な技術ととらえ、さらに発展させるべく研究を重ねている。「duAro」を突破口にして、この共存・協調技術を高め、ロボットの裾野を広げていきたいと考えている。



図7 人共存型双腕スカラロボット「duAro」



図8 ロボット手術台「Vercia SOT-100」(メディカロイド社)

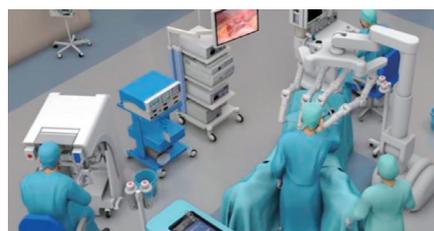


図9 手術支援ロボットのイメージ

(3) 医療用ロボットへの挑戦

当社は新しい時代に向け、医療用ロボットにも取り組んでいる。来たる高齢化社会を支える事業と位置づけ、2013年にシスメックス株式会社様と合弁で医療用ロボット事業会社となる株式会社メディカロイドを設立した。

事業化ターゲットは大きく分けて2つある。

一つは、アプライドロボットと呼ぶ産業用ロボットの技術を応用した製品である。医療に転用できるロボット技術は多く、技術とニーズが合致すれば医療の進歩に大きく貢献する。2016年度に製品化したハイブリッド手術室用ロボット手術台はその一例である(図8)。駆動部の機構やその動作制御にロボットの技術が使われており、患者の位置や姿勢を自由に設定できる。

もう一つは、手術支援ロボットである(図9)。手術時の鉗子や内視鏡などの器具操作にかかる医師の負担を軽減するとともに、手術時間の短縮を図ることで患者の負担を軽減する。高い安全性と医師の感覚を精密に再現する機構と制御そして操作系が求められ、2019年の製品化に向けて開発を進めている。

あ と が き

これまでのロボット市場は、人の代わりとなる産業用ロボットをベースに発展してきた。そして今、人とロボットの共存・協調に代表される新技術の実用化により、さらなる発展が期待されている。今後もこれらの開発を着実に進めることで、顧客や社会のニーズに応え続けていく。

人共存型双腕スカラロボット「duAro」による 人とロボットが共存する生産システム –開発コンセプトと適用事例–

A Collaborative Dual-arm SCARA Robot, duAro, Provides a Production System That Allows Human Beings and Robots to Work Together: Development Concept and Applications



平田 和 範① Kazunori Hirata
鈴木 敏 幸② Toshiyuki Suzuki
村上 潤 一③ Junichi Murakami
日比野 聡④ Satoru Hibino
竹林 潤⑤ Jun Takebayashi
神原 正義⑥ Masayoshi Kanbara

人共存型双腕スカラロボット「duAro」は、「easy to use」, 「人とロボットの共存と協調」などのキーワードを開発コンセプトに、使いやすさを徹底的に追求した製品である。これにより、ロボット導入の準備期間や設置スペースおよび費用対効果の面で、自動化が困難と考えられてきた業界や分野への適用が進み、労働力減少や高齢化に対する有効な生産システムとなる。

The collaborative SCARA robot, duAro, is a product created as part of our committed pursuit of ease of use. Its development concept is based on two key terms: “easy to use” and “human and robot collaboration and cooperation.” This allows robots to be installed in industries and fields that were considered to be difficult to automate due to limited preparation period and installation space, as well as cost effectiveness issues. This is a production system that effectively addresses the issues of reduced workforce and aging of population.

まえがき

日本では少子高齢化や生産年齢人口の減少が進展する中、ロボット技術は、製造業の生産現場、医療・介護現場、農業・建設・インフラの作業現場などの幅広い分野で、人手不足の解消、過重な労働からの解放、生産性の向上などの社会課題を解決する可能性を有している。

1 背景

これまでの産業用ロボットは、自動車業界などの製品のライフサイクルが長い量産分野を中心に導入が進み発展してきた。一方で、電気・電子業界などの製品のようにライフサイクルが短く数ヶ月単位でモデルチェンジを繰り返す分野では、ロボット導入への期待があったものの準備期間や費用対効果の面で自動化が困難と考えられてきた。

また、40年以上におよぶ日本の産業用ロボットの歴史で、日本国内に導入されたロボットの台数は30万台と言われていたが、ほとんど大手企業のみで採用されてきたのが実状である。

全国的な労働力不足を解決するためには全体の99.7%を占める中小企業への導入が不可欠だが、従来のように安全柵を必要とし、また取扱いに専門的な知識の習得が必要となるロボットの普及は困難となっていた。

2 人共存型双腕スカラロボット「duAro」の開発コンセプト

人共存型双腕スカラロボット「duAro」は、開発コンセプトとして、「easy to use」, 「人とロボットの共存と協調」などをキーワードにして開発したロボットである。

今までロボット導入の準備期間や設置スペース、費用対効果の面で自動化が困難と考えられてきた業界や分野への導入障壁を下げるため、生産ラインの作業者をそのままロボットに置き換えられるようにしている。人と共存できるようにすることで、従来の産業用ロボットのように接触事故防止のため設置が義務付けられていた安全柵を不要とした。

(1) 人との共存

人とロボットの共存を可能とするため、リスクアセスメントを実施した上で、80W以下の低出力モータの採用やエリア監視による速度低減機能などで十分に安全を確保した。

エリア監視による速度低減機能では、図1に示すようにロボットの動作域を低速動作域と高速動作域に設定できるようにしており、人が作業を行っている近くでは低速でロボットを動かし、人から離れた場所では高速でロボットを動かすことで、効率的に動作させることが可能である。

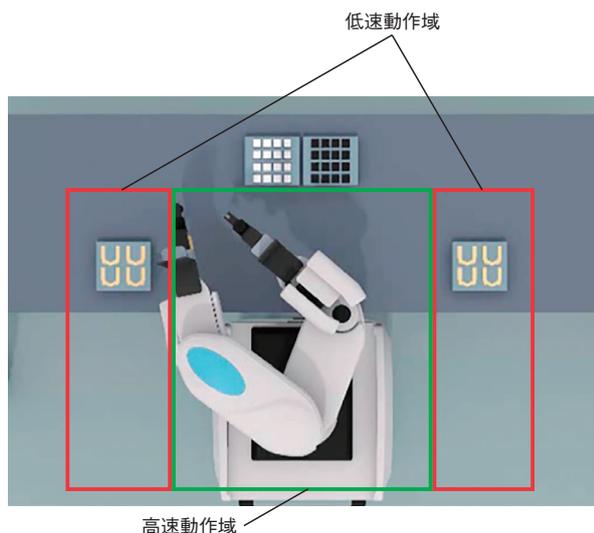


図1 エリア監視による速度低減機能
Fig. 1 Speed reduction feature using area monitoring

仮に人とロボットが作業中に接触あるいは衝突しても、衝突検知機能によりロボットを停止させることができる。

また、丸みを帯びたデザインを採用するとともに従来のロボットにはないアームカバーを装備している。アームカバーに発泡ウレタンを使用してクッション性のある柔らかさを持たせており、人は安心感を持って共存作業を行うことができる。

(2) 省スペース

人ひとり分のスペースに設置できるよう、「duAro」の片腕は人の作業範囲とほぼ同じ長さである76cmで設計しており、人が両腕で行っている作業を人ひとり分のスペースで行えるようにした。図2に示すように同軸上に配置した2アームを1台のコントローラで制御し、人ひとり分のスペースに設置することが可能となっている。このように同軸双腕構造としたことで、従来のスカラロボット2台では実現できない2本の腕を使った協調動作も可能とした。

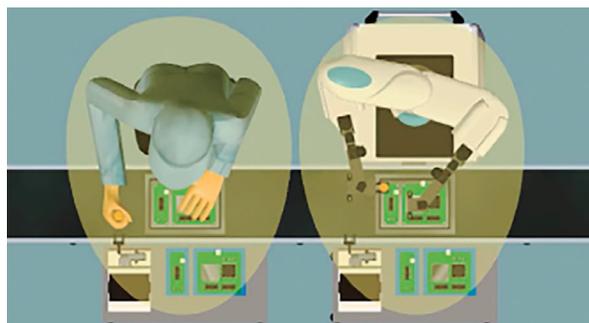


図2 人と「duAro」の共存作業
Fig. 2 Co-operation between people and duAro

(3) 簡単設置

従来の生産ラインを変更することなく導入できるようにするため、アームを取り付けている台車の中にコントローラを収納できるようにしており、台車ごと移動させることで、使用する場所に簡単に設置可能としている。これにより、図3に示すように生産ライン内の任意の位置の作業者と置き換えることができる。

(4) 簡単教示

従来のロボット導入では作業の手順をプログラムで厳密に定義して教示する必要があったが、「duAro」ではダイレクトティーチ機能とタブレット端末を活用することで教示の簡便化を図った。

ダイレクトティーチ機能は、図4に示すように実際の動作を倣いながらロボットアームを動かして、ロボットに作業を教示するものである。ダイレクトティーチ機能においては、水平方向だけでなく高さ方向についてもアームをスムーズに動かして教示できるように、重力補償設定を行う。この重力補償設定では、アームの先端に取り付けられたエンドエフェクタの重量を加味して重力補償値を計測することで、エンドエフェクタの重量に応じてZ軸をスムーズに動かせるようにしている。

また、従来の産業用ロボットのようにティーチペンダントを使用することなく、専用Androidタブレットにティー



図3 生産ラインへの柔軟なロボット導入
Fig. 3 Install robots without production line modification



図4 ダイレクトティーチ機能
Fig. 4 Direct teaching function

チペンダントの機能を移植することで、ユーザビリティを高めている。

(5) 簡単・安価導入

自動化を行いたい顧客の多くは、作業者の作業環境をそのままロボットに置き換えたいという要望を持っている。このため、「duAro」にどのような作業をさせるかを検討するにあたり、作業者がどのように作業を行っているだけでなく、どのような工具をどのように使用しているかを把握しておく必要がある。

それに加えて、導入コストを抑えるために、作業者が現在使用している工具や治具をそのまま使いたいと考えている顧客もいる。「duAro」は、図5に示す標準取り合い部品であるベースチャックを両腕に装備して、作業者が使用している工具や治具を使用することができる。ベースチャックは、各工具や治具それぞれに変換アダプタと呼ばれる部品を取付けることで、それらを効率的に持ち替えながら作業できるようにするものである。

また、一般的な単腕構成のロボットでは、組み付けや搬送などの作業を行う際、部品が定まった位置にないとうまくロボットに作業させることができない。そのため、別機構で部品の位置決めを行ったり、専用の治具を用いて部品を定まった位置に供給する必要があった。しかし、「duAro」は両腕を使って部品の位置決めを行うことや、一方の腕で補助しながら他方の腕で作業させることができる。

たとえば、図6に示すパソコンへのプリント基板のねじ締めを、「duAro」で行う場合、人が作業するのと同様に片腕で基板を押えながらねじ締めを行うことができるため、これまで必要となっていた基板を押えるためのユニットなどが不要となる。

さらに、サイズ違いのワークを搬送する場合、従来はワークの大きさに合わせて専用のハンドを設計して製作する必要があった。しかし、「duAro」は両腕構成であるため、ワークの大きさに関わらず「すくう」や「吸着する」などの動作を行うことができるので、汎用のハンドだけで大きいワークやサイズ違いのワークを搬送することができる。

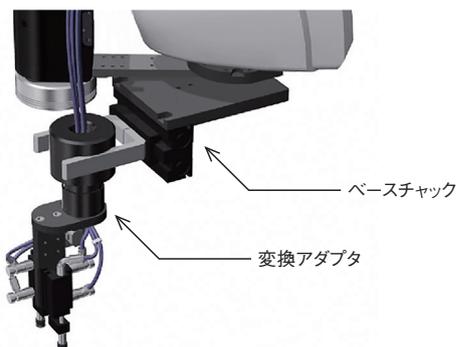


図5 ベースチャックと変換アダプタ
Fig. 5 Base-chuck and conversion adaptor

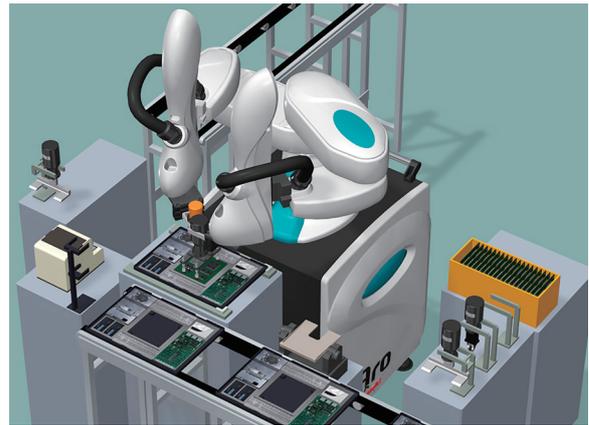


図6 パソコンへのプリント基板のねじ締め
Fig. 6 Tighten the screws of printed circuit board to PC

3 「duAro」の生産システムへの適用事例

「duAro」を活用した生産システムとして、実際の現場に導入された事例を紹介する。

(1) ねじ締め工程（人との共存）

ねじ締め工程への適用では、「人とロボットの共存」が実現しており、「duAro」と作業者が作業を分担している。ここでは元々その場にいた作業者に代って「duAro」が導入されており、これまで作業者が使用していた電動ドライバーを「duAro」に持たせて、人と同様に片腕でワークを押えながらねじ締めを行わせている。

「duAro」導入によりさまざまな効果が得られた。たとえば、サイクルタイムについては、作業者が14秒かかっていた作業を9秒に短縮できている。

(2) ローディング／アンローディング（簡単設置）

図7に示すプレス機へのローディング／アンローディングの適用では、「簡単設置」が実現されている。



図7 プレス機へのローディング／アンローディングの適用
Fig. 7 Application of loading/unloading for pressing machine



図8 おにぎりの番重詰めへの適用
Fig.8 Application to rice ball packaging

ここでは、スリーブヨークと呼ばれる自動車部品をプレス機へローディング／アンローディングしている。プレス機は部品品種により金型を交換する必要があるため、自動化するためにローディング／アンローディング機構を設置すると、金型の交換作業が困難になるといった問題があった。しかし、「duAro」は、台車ごと簡単に移動させることができるため、金型交換時には容易に「duAro」をプレス機より引き出して金型を交換できるようになっている。

(3) おにぎりの番重詰め（省スペース）

食品業界では、労働人口の減少や高齢化が問題となっており、自動化が急務となっている。しかし、食品工場は、限られたスペースに多くの作業者と設備が並んでおり、機械を導入できるだけのスペースがないことが多い。これに対して、「duAro」の「省スペース」が注目を集めており多くの引合いがある。

図8に示すおにぎりの番重詰めへの適用では、上流より

搬送されてきた手巻きの三角形おにぎりを番重に並べながら詰めていく作業を、「省スペース」を実現しながら自動化している。

また、衛生面を担保するために食品向けグリスを使用している。さらに、ロボット用のクリーン服を着せることが可能である。

あ と が き

共存・協調ロボットの普及は加速しており、「duAro」による人とロボットが共存する生産システムは、今後の労働力減少や高齢化に対する有効な対策となると考えている。要望の多い適用事例については、パッケージ化セルとして提供していくことで、導入までの準備期間をさらに短くしていく。今後も、人とロボットが共存する生産システムがより多く実現するよう取り組んでいく。



平田 和 範



鈴木 敏 幸



村上 潤 一



日比野 聡



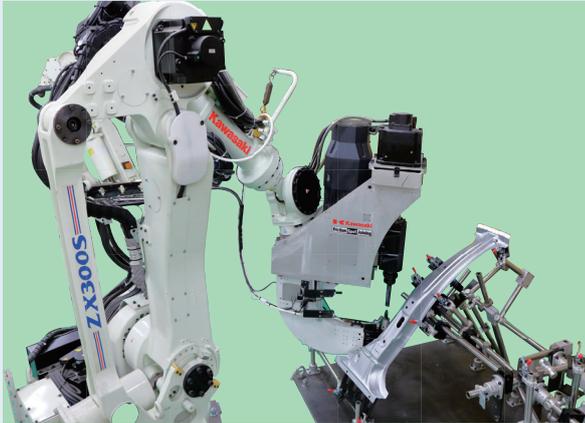
竹 林 潤



神原 正 義

高張力鋼への革新的なスポット接合技術の適用 —鋼FSJロボットシステム—

Application of Friction Spot Joining Technology to High Strength Steel: FSJ Robot System for Steel



福田 拓也①	Takuya Fukuda
福原 一美②	Kazumi Fukuhara
大橋 良司③※	Ryoji Ohashi
小林 良崇④	Yoshitaka Kobayashi
三宅 将弘⑤※	Masahiro Miyake

産業用ロボットの主な適用分野の一つに、自動車ボディの組立工程におけるスポット接合がある。当社では抵抗スポット溶接ロボットに加え、当社独自のフリクションスポット接合法を用いた「FSJロボットシステム」を販売しており、既にアルミニウム材料の接合に用いられている。

現在、自動車ボディ材料として使用量が増加している超高張力鋼板へのFSJの適用を目指し、「鋼FSJシステム」を開発している。

One of the main application areas of industrial robots is spot joining in the assembly process for car bodies. We are selling resistance spot welding robots. In addition, friction spot joining (FSJ) robots that include our unique technology are already being offered on the market. The FSJ is used for joining of aluminum alloys in the field of manufacturing.

We are currently developing a “FSJ system for steel,” with the aim of applying it to ultra-high-strength steel, whose utilization in car bodies has been increasing.

まえがき

地球温暖化が社会問題としてクローズアップされるようになって久しい。先進国において既に数多く利用され、また発展途上国において年々増加している自動車においては、地球規模でCO₂などの温室効果ガスの規制がますます厳しくなっている。

1 背景

近年の自動車の厳しいCO₂排出規制を満たすためには自動車の走行燃費を改善する必要があり、自動車メーカーは駆動効率の改善や空気抵抗の軽減に加え、ボディの軽量化に注力している。欧米の高級車などではアルミニウム材料やCFRP（炭素繊維強化プラスチック）といった軽量材料への置換が進められているが、一方で、コスト面で有利な鉄鋼材料の徹底した使い切りも、国内メーカーを含めて進められている。鋼材はその強度範囲が広く、外板に使われる引張強度が270MPa程度の軟質なものから、ピラーなどの骨格部材に用いられる1,500MPa級まで多種多様な鋼板が使用されている。特に、780MPaを超えるような超高張力鋼板の適用が急激に増加している（図1）。

しかしながら、これらの高強度な超高張力鋼板は溶接が

難しく、現在の自動車ボディ溶接で主流の抵抗スポット溶接法のみで対応することが困難な状況となっている。この原因は、超高張力鋼板には焼入れ性を向上させ引張強度を高める元素が多く添加されているため、溶接における溶融と急冷で溶接部が著しく硬くなるからである。そのため、継手強度、特に剥離強度にバラツキが生じやすく、また、強度自体の確保も困難となっており、鉄鋼材料の使い切りにおける重要課題となっている。

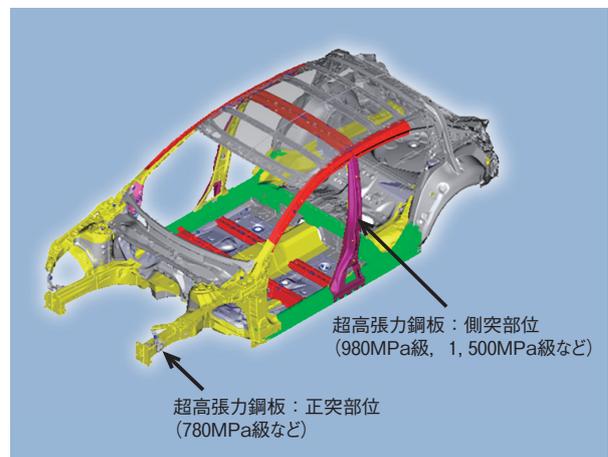


図1 車体軽量化を目指した自動車ボディの構成例：文献1)を一部改変
Fig. 1 High-strength steel applied to car bodies

このような中、当社では摩擦発熱と材料の塑性流動により接合する摩擦攪拌接合を点接合に応用したフリクションスポット接合 (FSJ : Friction Spot Joining) と「FSJロボットシステム」を開発しており、アルミニウム合金製の自動車部品を中心に適用が進んでいる²⁾。

2 「FSJロボットシステム」について

FSJの基本原理の模式図を図2に示す。接合ツールを回転させながらワークに押付けることで摩擦熱を発生させてワークを軟化させ、先端にあるピンをワーク中に没入して、その周辺に塑性流動を生じさせ一体化するという接合法である。

「FSJロボットシステム」は、自動車のアルミニウム合金製のボンネットやドアなどの生産に用いられており、既に300台以上のシステムが自動車メーカーの生産ラインに導入されている。

現在、超高張力鋼板へ適用すべく「鋼FSJロボットシステム」を開発している。

3 超高張力鋼板への適用

超高張力鋼板は、アルミニウム合金と比べて材料が硬く、軟化温度も高いためFSJを適用することは困難であると考えられてきた。特に、抵抗スポット溶接と比べて電極に該当する接合ツールの寿命や継手強度の確保という点でハードルが高かった。そのため、「実用的な高耐久接合ツール」と「超高張力鋼に適したFSJの接合プロセス」を主テーマとして開発に取り組んだ (図3)。

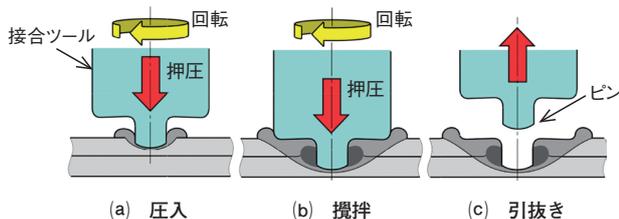


図2 FSJの基本原理
Fig.2 Fundamental process of FSJ

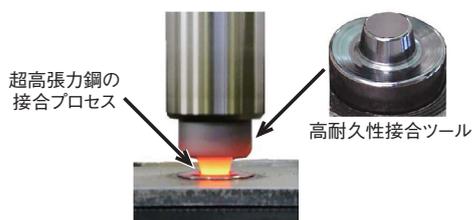


図3 開発テーマ
Fig.3 Development theme

(1) 実用的な高耐久接合ツールの開発

(i) 接合ツールの素材

寿命が長く安価なツールの開発にあたり、特に自動車分野で現在用いられている抵抗スポット溶接と同等のタクトタイムを満たしながら、同等の打点コストであることが基本的な要求条件となる。

接合ツールに求められる素材の主な特性を以下に示す。

- ① 数秒で室温から1,000℃以上まで達する急峻な熱サイクルに耐えられること
- ② 接合対象の材料と反応性が低いこと
- ③ 耐酸化性に優れること
- ④ 高温でも組織が安定しており、十分な強度と硬度および靱性を有していること

超高張力鋼板の接合においては、20kN以上の大きな加圧力がツールに加わることがある。そのため室温から高温までの温度域において、高い軸力に加えてねじり応力に耐える必要がある。また、接合対象の材料である超高張力鋼がアルミニウム合金と比べて高温でも硬いためツールは摩耗しやすく、耐摩耗性の確保も重要である。

ツール素材の候補としては、タングステンカーバイド (WC) を主成分とした超硬合金や窒化珪素 (Si_3N_4) などのセラミック、立方晶窒化ホウ素粒子を焼結したPCBN (Poly-crystalline Cubic Boron Nitride) などがある。開発にあたっては工業的に受け入れられるツールとして、超高張力鋼接合における寿命が概ね5千点以上、1打点あたりのコストが1円以下となることを第一目標とした。また、ロボットによる接合では、可搬重量や動作スピードなどの制約から、可能な限り小型で軽量の接合ガンが望まれる。そのため、小さな加圧力でも十分な摩擦熱を発生させられるよう、摩擦係数や熱伝導特性の選択もツール素材選定における重要なポイントとした。

(ii) ツール耐久性評価システム

ツールの開発においては、ツールの耐久性を評価する必要がある。ツールの耐久性評価試験では、連続打点試験はもちろん、試験中に変化するツール寸法やプロファイル、さらには外観を詳細に観察して記録する必要がある。また、ツールの寸法変化に伴う継手強度の変遷も定期的を取得する必要がある。これらの評価作業を人が行う場合、1日にせいぜい1,500打点程度が限界であった。そこで、ツールの評価およびその開発を効率的に推進すべく、図4に示すような3台のロボットを用いたツール耐久性評価システムを構築した。これまで、このシステムは接合治具への各種試験片の自動供給と接合後の取り出しのほか、接合状況のモニタリング、ツールと試験片の寸法計測と写真撮影、引張試験まで一連の作業とデータ採りを自動で行うものである。これにより、最大で1日に1万点の連続打点試験が可能となり、加速的なツール開発が可能となった。

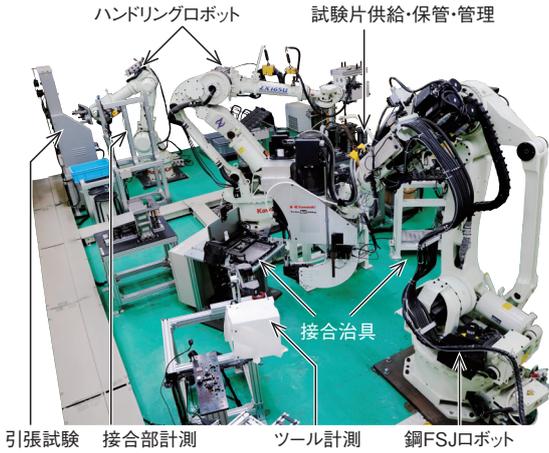


図4 ツール耐久性評価システム
Fig. 4 Evaluation system for tool durability

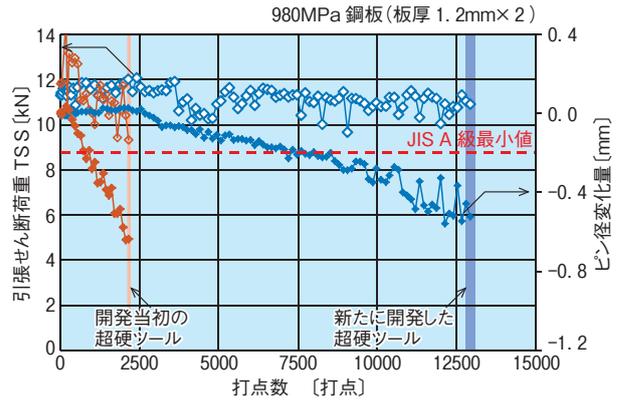


図5 連続打点試験結果
Fig. 5 Test results of continuous joining

(iii) 高耐久接合ツール

ツール耐久性評価システムを用い、膨大な試作ツールについての性能評価を行った。ツール素材には、表1に示すPCBN、セラミック、コーティングを施した超硬合金を用いた。PCBNは非常に硬く、耐摩耗性にも優れており、試験の結果、引張強度980MPa級の超高張力鋼板でも7,000打点という比較的長寿命が得られているが、非常に高コストな材料である。セラミックは低コストでの量産が可能となるが、低靱性による欠損対策などが課題となる。超硬合金は素材とコーティングの改良による寿命改善が必要であるが、耐久性とコストのバランスに優れる。

当社はこの超硬合金に着目し、住友電気工業株式会社と超硬合金製ツールの共同開発を進めた³⁾。この開発において、ツールの耐塑性変形、耐欠損性、耐摩耗性などの改善を目指して、素材とコーティングの改良さらには接合プロセスの最適化を行った。

連続打点試験における本ツールのピン径と引張せん断荷重の変化を図5に示す。打点数が増加するにつれて、ピン先端の角部が磨滅してピン径が減少した。これに伴って引張せん断荷重は徐々に低下するが、判定基準としたスポッ

ト溶接のJIS規格 (Z3140) におけるA級最小値をクリアしており、13,000打点以上の耐久性が確認された。

開発当初は、わずか2,000打点でツールのピンが摩耗して継手強度が低下し、ツールは寿命と判断された。しかし、素材改良したツールと、ツールへの負荷を軽減する接合プロセスを開発することで摩耗が少なくなり、13,000打点経過後もJISで規定された継手強度を満たし、寿命を当初の6倍以上に改善できた。抵抗スポット溶接の電極は約1万打点で交換されるとも言われていることから抵抗スポット溶接の電極に匹敵する寿命が得られており、着実に実用化に向けて近づいたといえる。

今後はさらに高強度な鋼板を用いた耐久性評価を進めるとともに、ツール品質の安定性や低コスト化についても検討を進める予定である。

(2) 超高張力鋼に適した接合プロセスの開発

鉄鋼材料ではその強度を高めるために炭素が用いられるが、特に超高張力鋼では炭素の含有量が高くなる。また焼入れ性を高めるため、マンガンなどの元素がいくらか添加されている。含有量は溶接性も考慮して設定されているものの、実際には溶接強度にバラツキが生じたり、継手強度自体を確保することが困難となっている。これらは超高張力鋼特有の溶接課題となっており、鉄鋼材料を徹底的に使い切るにはその解決が重要な鍵となる。

抵抗スポット溶接など、いわゆる溶融溶接法では鉄鋼材料を融点以上に加熱するため、冷却時に溶接部に焼きが入って脆化してしまう。そのため、焼入れされた溶接部を同一または別のプロセスにより再加熱することで、焼戻して靱性を回復させる方法がある。しかしながら、溶接後の焼入れ状態や加熱方法、加熱温度や時間によって特性が変化するため、慎重な入熱管理が必要となる。

一方、FSJは鉄鋼材料を溶かさず、固体状態のまま塑性流動によって接合する。そのため、接合中の最高温度を焼入れ温度よりも低く抑えることができ、そもそも継手を硬

表1 試作した接合ツールの例
Table 1 Example of prototype tool

	PCBN	セラミック	超硬合金
外観			
耐久性	○	△	○
製造コスト	×	○	○
打点コスト	×	○	○
総合	△	○	◎

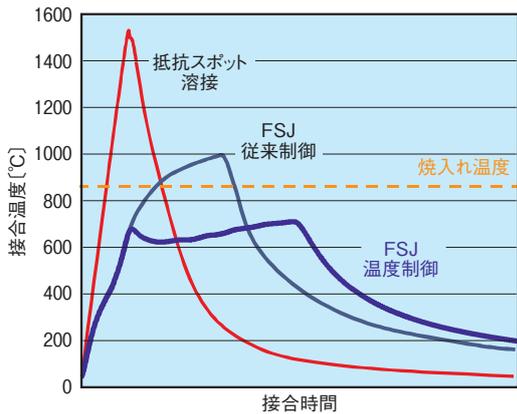


図6 接合温度履歴
Fig. 6 Thermal history of joint during FSJ

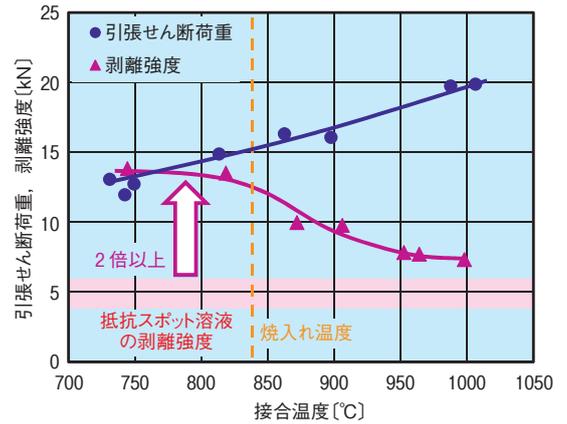


図7 1.5GPa級超高張力鋼板(板厚1.8mm)の接合温度と接合強度
Fig. 7 Joining temperature and joint strength

化させない接合ができる可能性がある。これは固相接合であるFSJの特徴的な利点であり、従来の溶接法と一線を画す革新的な工法と言える。

当社ではこのFSJの革新性に注目するとともに、接合中の温度をモニタリングしながら温度が一定となるよう接合条件を変化させる、独自の接合温度制御プロセスを開発した。

接合温度の履歴を図6に示す。比較として抵抗スポット溶接と従来制御のFSJの温度履歴を模式的に示す。抵抗スポット溶接では焼入れ温度を大きく超えており、冷却時に焼きが入るために脆化する。また、FSJでも従来制御では、焼入れ温度以上の高温に達する。これに対して、接合温度制御を用いたFSJでは、焼入れ温度を超えることなく接合することが可能である。

次に、引張強度が1,500MPa級の超高張力鋼板(板厚1.8mm)に対して、接合温度制御により接合温度を変化させた場合の継手の引張せん断荷重と剥離強度を図7に示す。接合温度の違いにより両者は特徴的な変化を示しており、高い接合温度では剥離強度は低いものの、高い引張せん断荷重が得られる。一方、概ね焼入れ温度を境界にして、それより低い接合温度では引張せん断荷重は低下するものの、剥離強度が大幅に増加している。このときの剥離強度は抵抗スポット溶接の2倍以上であることを確認している。

引張せん断荷重と剥離強度とは、トレードオフの関係にある。これを利用して、せん断強度が必要な部位は高温で接合し、剥離強度が重視される部位では低温で接合するように温度制御することで、部位ごとの所望の特性を得ることができる。

また、この接合温度制御を用いると、著しい脆化のため溶接が困難とされる高炭素鋼の接合が可能となることや、異種材料の接合で接合界面における金属間化合物の厚さを制御することも可能になると考えられる。このように接合温度制御を用いたFSJは全く新しい第2世代のFSJであり、

従来の溶接法よりも接合材料の対象範囲が格段に広がる、革新的な接合方法と言える。

あとがき

鉄鋼材料へのFSJ適用において最大の課題であったツール寿命に実用化の兆しが見え始めた。また、超高張力鋼の接合に適した独自の接合温度制御プロセスの開発に成功した。今後は、「鋼FSJロボットシステム」を自動車ボディの生産に適用すべく、実用化に向けて開発を加速させる。

本開発の一部は、新構造材料技術研究組合(ISMA: Innovative Structural Material Association)の援助の下で実施したものである。

参考文献

- 1) 新構造材料技術研究組合: ISMA REPORT, No.1 (2015)
- 2) 福原, 藤本, 黒川, 平塚: “先進接合ロボットシステム”, 川崎重工技報, No.172, pp.48-51 (2012)
- 3) 宮崎, 内海, 津田: “980MPa級鋼板用摩擦攪拌接合ツール” SEIテクニカルレビュー, No.81, pp.70-74 (2015)



福田 拓也



福原 一美



大橋 良司



小林 良崇



三宅 将弘

超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」と それを用いた航空機部品の生産

Ultra-high Payload, High Rigidity Robot MG10HL and Its Use in Production of Airplane Parts



北村 伸 二① Shinji Kitamura
 小山 雅 隆② Masataka Koyama
 堀内 悠 平③ Yuhei Horiuchi
 入江 響④ Kyou Irie
 木下 智 裕⑤ Tomohiro Kinoshita

世界人口の増加や新興国経済の発展に伴って航空機の需要増が見込まれているが、その生産においては人手による作業が多く、生産能力の増強のため、自動化の推進が求められている。そこで、ロボットによって自動化することで生産効率を上げて、需要増加に対応するとともに生産コストの削減を図るため、「MG10HL」を航空機の大型パネル生産に適用するべく取り組んでいる。

As the global population increases and developing economies expand, the demand for airplanes are expected to increase. However, the majority of their production is still carried out manually and thus, it is required to promote automatization in order to strengthen productivity. In these circumstances, we are working on introducing MG10HL in the production of large airplane panels in order to increase production efficiency to meet the increasing demand and reduce production costs by using automated robots.

まえがき

世界人口の増加やアジア、南米、アフリカなどの新興国の経済発展に伴い、今後20年間で40,000機近い新造航空機の需要があると予測されている。一方で航空機生産の現場では、未だ人手による作業が多く、今後の需要増加に対応できる生産能力を確保できていない。

1 背景

航空機の需要増加に対応する手段として、ロボットによる生産の自動化が期待されている。ロボット化することで、生産効率の向上、生産コストの削減、品質の安定化、生産スペース削減など、さまざまなメリットが得られる。

2 ロボットによる航空機部品生産の課題

航空機の部品には小さなものから大きなものまでさまざまなサイズの部品があるが、特に大きな部品においては部分的に大型の専用機が適用されているだけで自動化は限定的である。ロボットによって自動化していくためには、ロボットが、大きな動作範囲を持つこと、作業用ツールの重量と発生する力に耐えられる可搬能力を持つことが必要となる。

一方、大型のロボットは動作範囲が広い反面、リンク機構の組み合わせで構成されていることから、空間位置に対する絶対的な位置精度が上がりやすく、可動部のたわみも大きい。また、絶対的な精度を上げるためには、搬送装置などのロボット以外の設備や部品のセッティング精度も上げる必要があり、ロボットシステムの選択の範囲が狭くなってしまふ。

これらの課題に対応するためには、ロボットアームの剛性をハードウェア的に向上させるとともに、部品のもつ誤差や可動部のたわみをソフトウェアで補正して空間に対する精度を向上させ、さらにワークとの相対位置関係を補正する仕組みをもつことが合理的である。

3 超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」 による航空機部品生産

航空機の大型胴体パネル生産においては、高さが約3mのパネル全体にアクセスできる広い動作範囲、決められた加工箇所へ正確に移動する高い位置決め精度、加工反力が作用したときにも位置を維持する高い剛性、さらに作用する加工反力に耐えられる耐荷重能力がロボットに対して求められる。新しいパネル接合方法として当社が提案している対向式FSJ（Friction Spot Joining：摩擦攪拌点接合）では、10kNを超える大きな加工反力が発生する。当社の

超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」は、これにも対応できるものとなっている。

(1) ハードウェアの高剛性化

「MG10HL」の構造と動作領域を図1と図2にそれぞれ示す。「MG10HL」は、1,000kgの可搬能力、15kNの耐反力、および反力作用時のたわみを極力抑える剛性を持つ必要がある。このため、たわみへの影響の大きい第2軸と第3軸に剛性の高いボールネジを当社独自の固定平行リンク構造と組み合わせて用いることで、大型パネルに対応する動作範囲と剛性の確保を実現している。大型サイズのロボットに通常使用されている差動式減速機に比べて直動機構のボールネジは第2軸と第3軸の関節剛性が約2倍となると同時に、カウンターウェイトを用いないことでクラス最小のサイズと本体質量を実現した。

さらに第1、2、3軸は、当社ロボットにおいて標準的に使用されているモータを2個ずつ使用したデュアル制御

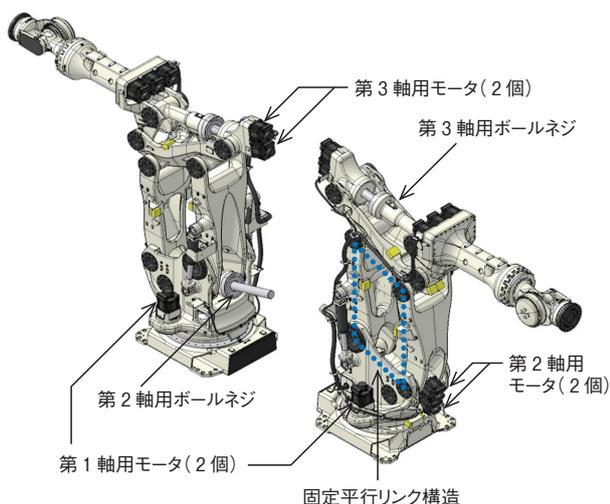


図1 「MG10HL」の構造
Fig. 1 Structure of MG10HL

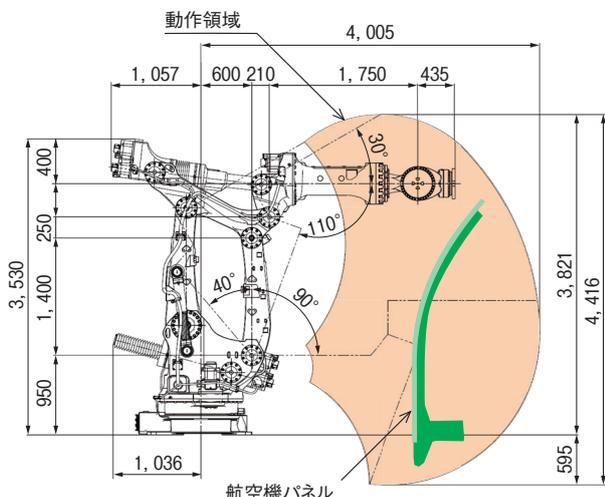


図2 「MG10HL」の動作領域
Fig. 2 Operating range of MG10HL

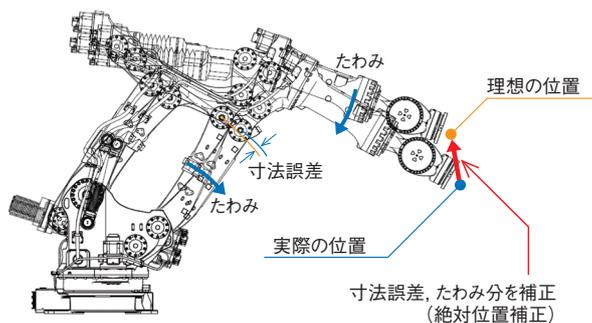


図3 位置・たわみ補正
Fig. 3 Compensating for location and deflection

を行うことで、高い可搬能力を実現しつつコストを低減し、さらに従来通りのメンテナンス性も確保している。

(2) ソフトウェアによる絶対位置精度の向上

「MG10HL」は高剛性なアーム構造としているが、実際にはツールや自重によるたわみが生じる。これに加えて、部品の寸法誤差や組立誤差が存在するため、理想位置からズレが生じる。理想位置とは、オフライン教示などで指定される空間上の座標値であり、これに対する精度はいわゆる絶対位置精度と呼ばれる。絶対位置精度を向上させるためにソフトウェアによる位置・たわみ補正機能を用意している。個々のロボットに対して、いくつかの姿勢でロボット手首先端の位置を計測して理想位置との差を算出することで、部品寸法と関節およびアームのバネ定数を同定している。そして、同定された値を用いて図3に示すように位置補正を行う。この絶対位置補正機能により、通常使用される動作範囲では、理想位置に対して $\pm 0.7\text{mm}$ という高い位置精度を実現している。

4 航空機部品生産への適用事例

(1) 航空機パネルの穴あけ

航空機パネルの構成部品は、リベットなどで結合されており、主翼の固定部は大径の締結部品で結合する。主翼付け根などの剛性が必要な部分では、約75mmと板厚が大きいパネルに対して直径約20mmの大径穴をあけることもある。これらの大径穴の加工時は、ドリルを持つ作業者に大きな加工反力が発生するため自動化が求められている。

航空機パネルに、部品を組み付けるための大径穴あけ加工を行うロボットを図4に示す。本適用では高い位置精度が要求されるが、これはロボット自身の位置精度に加えて、ワークの加工精度、およびロボットとワークの相対位置関係に影響される。このため、前述の絶対位置補正機能に加えて、次に示す2種類のセンサによる位置補正技術を用いてワークに対する相対位置精度を確保している。

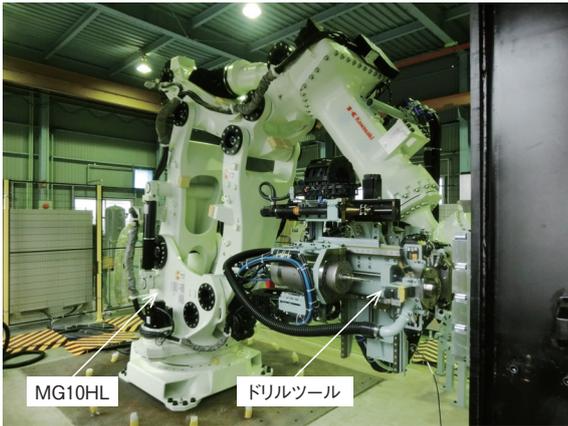


図4 大径穴あけロボットシステム (試験機)
Fig. 4 Drilling robot

① 2次元センサによる穴位置補正

まず、図5に示すように、穴位置付近にあらかじめ設けた基準穴の位置を、ドリルツールに取り付けた2次元センサで検出する。そして、検出した基準穴の位置を基に加工する穴位置を算出し、ワークに対する穴あけ位置の精度を確保している。

② 力センサによる滑り補正

加工の際、ドリルツールを航空機パネルに押し付けた時に生じる、ドリルツールの滑りを補正するものである。図6に示すようにドリルツールとロボットの間力センサを取り付けて、押付反力でドリルツールが

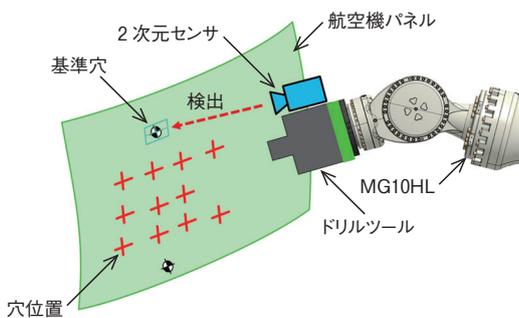


図5 センサによる穴位置検出
Fig. 5 Sensing base hole positions

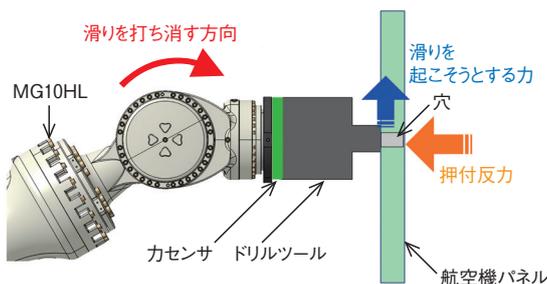


図6 滑り補正の仕組み
Fig. 6 Mechanism of slip compensation

滑りを起こそうとする力を検出する。そして、力センサの値を基に、滑りを打ち消す方向にロボットを動作させることで位置ズレを防いでいる。

上記①②の補正により、ロボットのドリルによる加工穴の位置精度は図7に示すように要求精度を達成している。

(2) 航空機パネルの対向式FSJ接合

前述のように、航空機パネルの構成部品は現在リベットで結合されているが、将来的にはこのようなりベット結合を当社が開発したFSJに置き換えることで、機体のコストダウンが大いに期待できる。

ロボット適用においては、図8に示すように、航空機パネルの機内側に接合ガンを持ったロボットを配置し、機外側に裏当てガンを持ったロボットを配置する。これら2台の対向したロボットを協調動作させ、航空機パネルの内外面から接合ガンと裏当てガンでスキン材とフレーム材を挟んでFSJを行う。接合ガンと裏当てガンは10kNを超える加圧力で押し付けあうが、同時にフレーム材に対して高い面

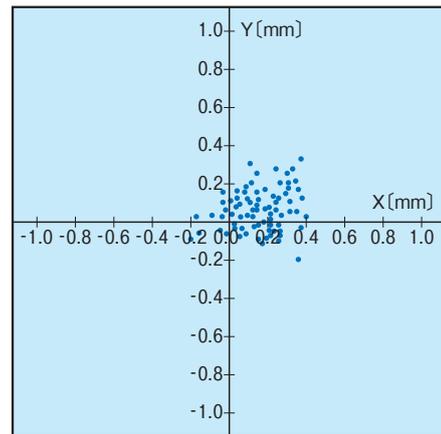


図7 加工穴の位置精度
Fig. 7 Repeatability accuracy of positioning

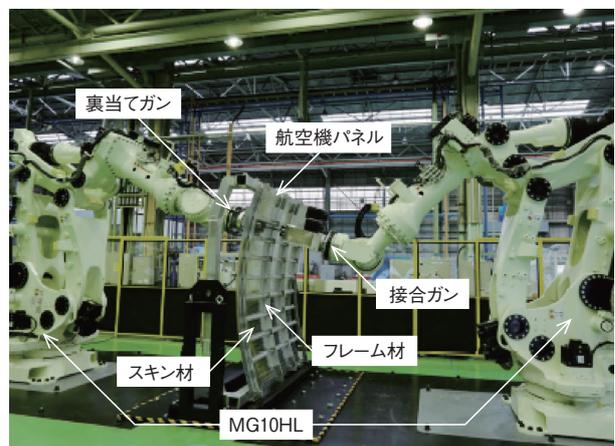


図8 対向式FSJロボットシステム
Fig. 8 FSJ System using opposed robots

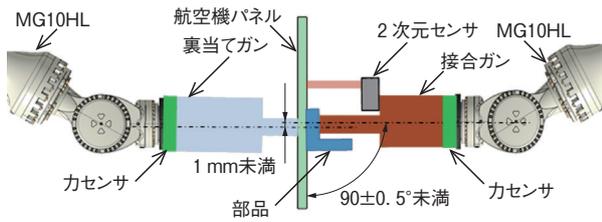


図9 対向式ロボットの面直補正
Fig.9 Compensating for gradient of opposed robots

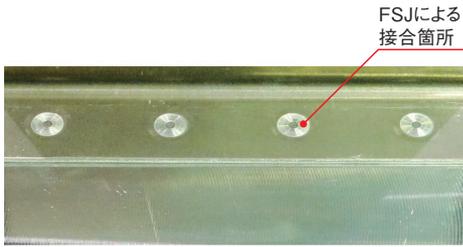


図10 FSJによる接合サンプル（航空機パネル内面）
Fig.10 Work sample of FSJ

直度が要求される。また、ガン同士の軸芯の位置精度を1mm未満にすることも要求される。

この実現のため、ドリル穴あけと同様に、次に述べる2種類のセンサにより位置補正している。

① 2次元センサによる位置補正

図9に示すように、フレーム材の部品の接合面を2次元センサで検出し、接合ガンが所定の面直度±0.5°未満になるように面直補正を行っている

② カセンサによる滑り補正

接合時にガンを航空機パネルに押し付けた時に発生するガンの滑りを補正している

航空機パネル内面のFSJによる接合箇所を図10に示す。パネル外面についても実用に際して十分に平滑な外面が得られており、航空機の空力性能の向上に寄与するものとなっている。

あ と が き

これまでロボット化が進んでいなかった航空機生産分野においてもロボット化の取り組みが始まっている。当社は航空機事業とロボット事業を共にもつメーカーであり、互いの分野で培ってきた技術を融合させることで、航空機生産の自動化を推進するとともに、それにより生み出された技術を自動車分野など他の分野にも応用していく。



北村 伸二



小山 雅隆



堀内 悠平



入江 響



木下 智裕

ロボットによるロボット生産工場

Robot Production Factory with Robots



藤澤 眞 一① Shinichi Fujisawa
 高見 敦② Atsushi Takami
 高山 裕規③ Yuuki Takayama
 倉岡 修平④ Shuhei Kuraoka
 的場 怜⑤ Ryo Matoba
 山口 亮⑥ Ryo Yamaguchi

2015年6月、中国蘇州市にロボットの生産工場を立ち上げた。この工場は「ロボットでロボットを作る」をコンセプトとして、ロボットを最大限に活用した工場である。

品質に関わる工程や人が苦手とする重量物の組付けをロボットが担当し、人は簡単な部品準備や配膳作業などを担当することで、高い品質と高い生産性の両立を実現している。

In June 2015, we started operating a robot production factory in Suzhou, China. This factory is intended to leverage the power of robotics based on the concept of "Producing robots using robots."

The robots are involved with processes that require high quality and heavy-duty assembly that human beings are not good at, while people are involved with simple work such as preparation and allocation of parts. This realizes high levels of both quality and productivity.

まえがき

昨今の中国では急速な経済発展に伴い、ものづくりを担う製造業において労働力不足などいくつかの重大な課題が浮上している。

中国における製造業の課題の一つとして、高品質な労働力の確保が難しくなっていることが挙げられる。中国では労働者の離職率が高く、長い期間をかけて教育しても自社に定着しないことが多いため品質の高い労働力の確保に管理者は常に悩まされている。

また、人件費の抑制も重大な課題である。これまでは人件費の優位性をベースに生産量を伸ばしてきたが、その高騰により圧迫される利益をどう改善するかが鍵となっている。

1 背景

これらの課題を解決するための最も有効な手段がロボットの導入である。これにより、人のスキルや経験に頼らず品質を安定化させることができ、人件費の変動に左右されることも無くなる。

ロボットの優位性をより多くの顧客に知ってもらうため、2015年6月に「ロボットでロボットを作る」をコンセプトとした生産工場を中国蘇州市に建設した。ロボットによる最先端の高度自動化工場を実現することにより、ロボット導入を検討する「顧客」に向けたショールームとしての役割を持たせることを目指した。

2 工場のコンセプト

ロボットによるロボット生産工場（以下、本工場）は、部品のピッキングから組立・塗装・検査に至るまで、これまでは人の手に頼っていた工程を高度に自動化させることで、高い品質と生産性を両立させることとした。さらにロボットを使う上で最も重要となる安全性を確保し、来場者に見て頂けるショールーム工場とした。

① 品質の安定化

たとえば、減速機へのギア挿入など作業者の技量や経験が品質に影響する作業を、常に正確に動作するロボットが行うことで、安定した品質を確保する。

② 生産の効率化

人がボルトを挿し込んでロボットがトルク管理して本締めをするフォーメーションなど、人とロボットの得意不得意を見極めて工程を分担することで、100%自動化するよりも高い生産性を実現する。

③ 安全性の確保

当社独自の安全システムを採用することで、ひとつのエリアに動作中のロボットと作業者とが共存することを可能とする。

④ ショールーム化

自動化する際、通常は生産ラインの両サイドから製品にアクセスする構造とするが、製品を回転させる仕組みを導入して片側にのみロボットを配置することで、来場者から見やすいショールームラインを実現する。

3 ロボット生産工場の各種設備

ロボット生産工場の各種設備は、前章の①～④を実現するため、ロボットメーカーとしての利点を最大限に発揮して、既存の技術と最先端の技術を織り交ぜた構成とした。

ロボット生産工場は図1に示すように、サブ組立セル、メイン組立ライン、塗装ライン、ハーネス組付ラインそして運転検査ラインからなっている。

(1) 品質の安定化

本工場で生産されるロボットは、ロボット組立や丸塗の塗装を考慮して新規開発された図2に示す3機種（高速パレタイズロボット「CP」、小型アーク溶接ロボット「BA」、大型汎用ロボット「CX」）であり、これらすべての機種を同一の設備を用いて生産を行っている。

組立作業においては作業者の技量や経験が品質に影響する可能性があるが、人の代わりにロボットにより組立作業を

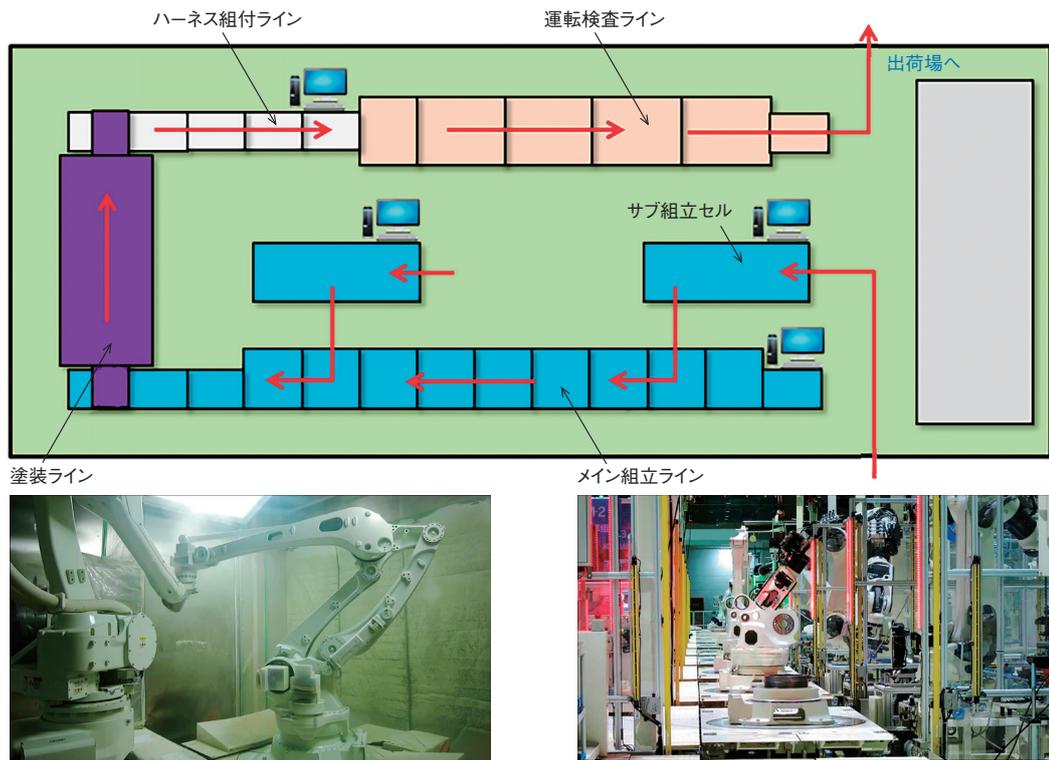


図1 ロボット生産工場
Fig.1 Robot production factory



図2 中国生産機種
Fig.2 China production model

行うことで、常に正確な動作と管理が行えるようになり、品質の安定化を実現した。

当設備では、ボルト締め作業をロボットで行っており、ボルト締め機本体にロボットの制御軸を組込んだ機器を開発して導入したことで、締付トルクの管理もロボットにて行えるようにした(図3)。

また、サーボモータの組み付けなどで、減速機の歯面を傷付けることなく挿入するため、2次元カメラを用いて、減速機内部の歯面を計測している(図4)。同様にモータ

側のインプットシャフトの歯面位相も計測している(図5)。双方の歯面位相を認識して挿入時の位相を補正することで、組み付け時の衝撃や傷などを軽減して組み付けることができるようになった。

さらに、ロボットで行った作業については、作業履歴、シール材塗布時の画像データ(図6)、ボルト締付時の締付トルクデータなど、各種作業データを保存しており、過去の作業状態を後で追跡できるようにしている。

(2) 生産の効率化

ボルトの仮締め作業など人が得意とする作業と、精度良く搬送して組み付けを行う作業などロボットが得意とする作業とを分担している。そして、人が作業を行いながら、同じエリアにおいてロボットも次の作業準備の動作を行えるよう、作業者との共存を可能にして生産効率を高めている。

また、従来、ロボットにより搬送できる最大の部品質量は、使用するロボットの可搬質量により決まり、搬送質量が大きければ大型のロボットになるという課題があった。これを解決するために、ロボット制御軸をクレーン駆動部に組み込み、クレーンにより搬送質量をアシストすることで、部品質量以下の可搬質量のロボットでも搬送を可能とした。

さらに、ロボット制御軸を組み込むとともに、クレーンをロボットアームと協調して動作させることで、精度良く搬送を行うことを可能としている。これについては、重量物を精度良く搬送する必要がある減速機の組み付けなどの作業を行う工程に導入した。図7に重量物の搬送の様子を示す。

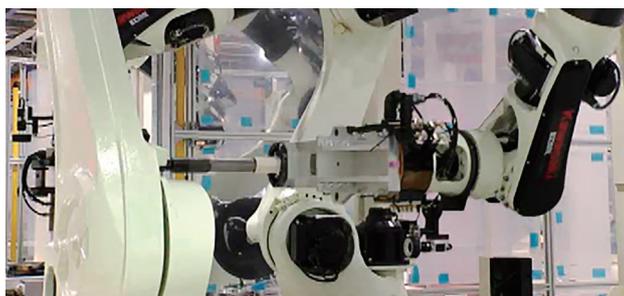


図3 ナットランナー (ボルト締め機)
Fig.3 Nutrunner

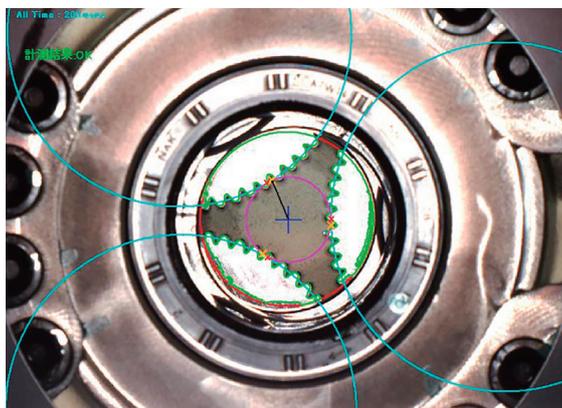


図4 減速機歯面計測
Fig.4 Reduction gear measurement



図5 インプットシャフト歯面計測
Fig.5 Input gear measurement

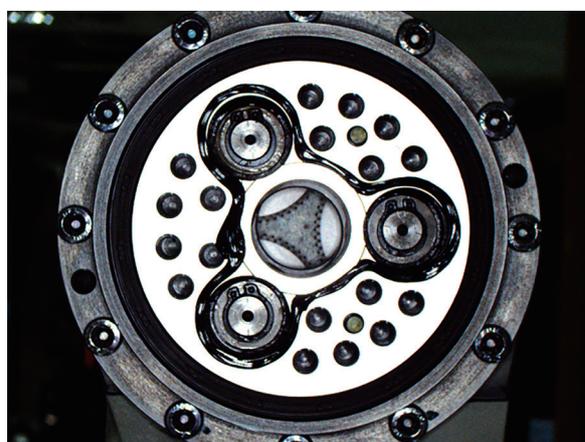


図6 減速機シール材塗布画像
Fig.6 Reduction gear sealant coating

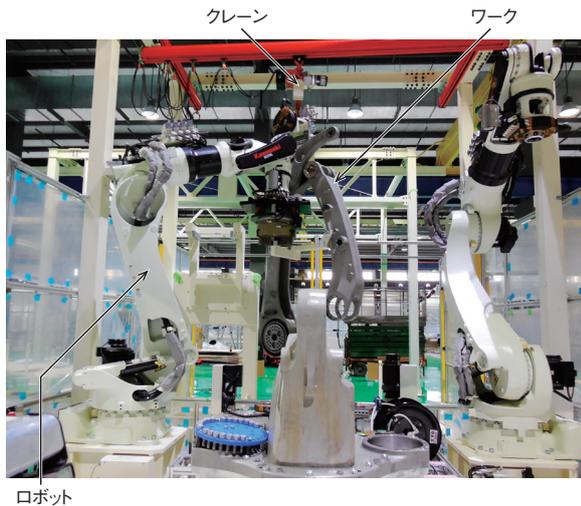


図7 重量物搬送
Fig.7 Transport of heavy works



図9 メイン組立ライン
Fig.9 Main assembly line



図8 サブ組立セル
Fig.8 Sub-assembly Cell

あ と が き

中国でのロボットニーズの拡大に合わせ、カワサキブランドの確立を目的として蘇州市にロボット工場を立ち上げた。また、その工場に自社のロボットを多数導入し、高度な自動化を実現したことで、ロボットを使って生産するショールームとすることにも成功した。

ロボットの適用事例を紹介するショールームとなった本工場は、稼働開始から毎日のように来場者があり、高い評価を得ている。

今後は、中国生産で獲得したロボット自動化技術のノウハウを活用し、事業拡大へつなげていく。

(3) 安全性の確保

人が同時に同じエリアにおいて作業を行いながら、ロボットも次の作業準備の動作を行うような共存作業を可能とするためには、作業者の安全を確保することが必須である。そのために、従来の安全柵に代えて、エリアセンサを用いるとともに、ロボット制御を安全二重化回路として空間監視を実施することで、作業者の安全性を確保した。

(4) ショールーム化

本工場の来場者にロボットによるロボットの組立作業を見て頂けるよう、透明のパネルやエリアセンサを用いることで、重圧感を軽減して見学しやすい設備とした。図8にサブ組立セル、図9にメイン組立ラインについて、それぞれ来場者からの概観を示す。



藤澤 眞一



高見 敦



高山 裕規



倉岡 修平



的場 怜



山口 亮

先進的メンテナンスサービス「K-COMMIT」

An Innovative Maintenance Service, K-COMMIT



中村 正和^① Masakazu Nakamura
 川井 淳^② Makoto Kawai
 田口 哲也^③ Tetsuya Taguchi
 吉田 絵梨子^④ Eriko Yoshida

ユーザーのロボット設備のダウンタイムゼロやライフサイクルコスト低減などを達成するための先進的メンテナンスサービス「K-COMMIT」を開発し、販売を開始した。本サービスによりロボット設備の常時監視と遠隔監視が可能となり、ユーザーへの迅速なサポートが可能となった。この画期的なサービスは、既に多くのカワサキロボットユーザーに導入され、大きな成果をあげている。

We have developed and launched an innovative maintenance service, K-COMMIT, to eliminate downtime for users' robotic equipment and their peripheral equipment, as well as reducing lifecycle costs. This service can provide users with timely support via constant remote monitoring. This innovative service has been already introduced at many Kawasaki robot users and has achieved an excellent track record.

まえがき

昨今、世界的に産業用ロボットの需要が高まり、出荷台数が飛躍的に増加している。これに伴いロボット管理台数も増加している。このような中、従来のような点検・修理・整備を中心とするサービス展開だけでは、十分な顧客満足度を得られなくなってきている。

1 背景

従来のサービスから脱却して顧客満足度をより高めるために、さらに一歩進んだ新しい提案型サービスと、それをサポートするツールや、システムの構築と実用化が求められている。

2 先進的メンテナンスサービス「K-COMMIT」のコンセプト

「K-COMMIT」(Kawasaki COmmunication Maintenance Management Inspection Total)は、ユーザーの「ダウンタイムゼロ」,「ライフサイクルコスト低減」およびユーザーとの「情報共有化」をコンセプトとしている。

(1) ダウンタイムゼロ

工場設備には、点検や保守に伴う部品交換の時間が必要である。しかし、突発的な故障は工場稼働率の低下という

大きな損失を伴う。故障時期を予知することにより突発故障を回避し、ロボット設備の“ダウンタイムゼロ”を目指す。

(2) ライフサイクルコスト低減

従来は予防保全の観点から、ユーザーに年次の点検を推奨してきた。しかし、生産現場では、ロボット動作速度、稼働時間、気温、周囲環境によるロボット負荷が、ユーザーごとに多種多様である。そこで、ユーザーごとの最適なメンテナンス周期を提案することにより、ライフサイクルコストを低減する。

(3) ユーザーとの情報共有化

現在、ユーザーからの連絡ベースのサービスから、ユーザーへの提案型サービスを展開している。提案型サービスを実践するためにはユーザーと密接に情報共有し、ユーザーが直面している課題やニーズをタイミングよく察知することが必須である。そこで、従来の電話やメールによるコミュニケーションに替わる新しい情報共有を実現する。

3 「K-COMMIT」の概要

「K-COMMIT」は、常時監視と遠隔監視により故障予知を行う「TREND Manager」、正確な設備診断を行う「傾向管理定量点検」、ユーザーとのコミュニケーションツール「K-CONNECT」の3本の柱から成り立つ先進的メンテナンスサービスである。開発にあたっては、M2M

(Machine-to-Machine) やIoT技術を活用し、生産現場で稼働するロボットとサービスセンターとをリモート接続して、常時監視と遠隔監視によるメンテナンスを可能にしている。

(1) 「TREND Manager」

ロボット設備の常時監視と遠隔監視を行うことで、設備状態の把握と稼働データの取得および分析により故障を予測するソフトウェアである。メール自動送信機能を有しており、常時監視による故障予知結果を自動的に配信することが可能になっている。

(2) 「傾向管理定量点検」

点検結果を数値化してデータベースへ格納し、定量的に設備状態を管理する点検方法である。従来から実施している減速機ロストモーション計測や鉄粉濃度計測など約9種類の診断に加え、新しい診断方法として「定量フェログラフィ分析」を導入した。

(3) 「K-CONNECT」

従来は、保全のためにユーザー側の担当者と当社サービス員が個対個のコミュニケーションを行っていた。これに対しコミュニケーションツール「K-CONNECT」により、ユーザーとサービスセンターとが情報共有を行って組織的にコミュニケーションできるようになるとともに、ロボット設備保全履歴情報やメンテナンス提案などを「K-CONNECT」のwebブラウザ上で管理できるようにした。さらにマニュアルや技術資料などもwebブラウザ上で閲覧可能にした。

次章以降で、「TREND Manager」と「傾向管理定量点検」について説明する。

4 「TREND Manager」の機能詳細

「TREND Manager」は、川崎重工グループのアフターサービス支援情報基盤 (K-Cube) による、高セキュリティなネットワーク環境を活用している。

(1) ロボット設備の常時監視機能

図1に示すように、ユーザーの工場稼働するロボット複数台を常時監視することができる。また、動作や負荷状態を推測するためのデータを取得して、データベース化する。そして取得したデータを分析して故障予知を行うことで、正確・最適な予防保全を可能にしている。

(i) 故障予知の例 (電流値分析)

たとえば、サーボモータの電流値の変化とその傾向を統計分析することで故障発生日を予測してワーニングを発信

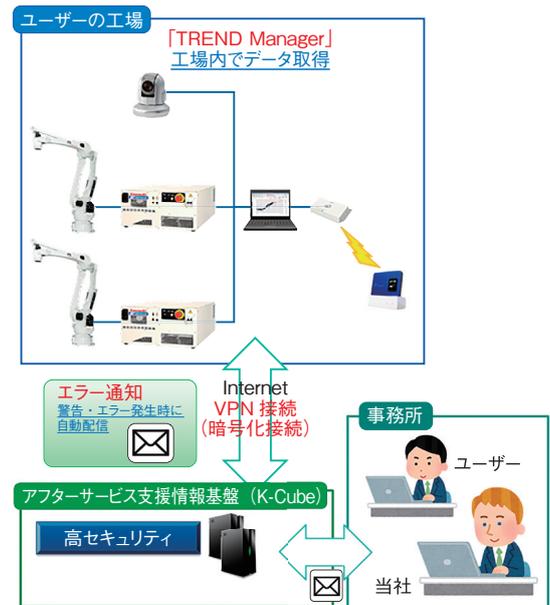


図1 「TREND Manager」のシステム構成
Fig.1 TREND Manager system diagram

することができる。ユーザーは故障発生予測日までにメンテナンスを計画することで予防保全できるようになるため、突発故障の回避が可能となる。図2に示す「TREND Manager」のトレンドグラフから、日数の経過に伴う電流値の変化とその傾向を把握できる。

(ii) 故障診断機能の高度化

ユーザーからのさらなる要望に応えるために、「TREND Manager」の機能高度化を進めている。モータ電流の変化を周波数分析 (FFT) することで、ダウンタイムに大きく影響する減速機の故障部位を特定するとともに、ユーザーのメンテナンス計画に合う早期診断に活用するため、予測精度の向上に取り組んでいる。今後、機械学習やAIなどの技術を取り入れてさらなる機能向上を図る。



図2 「TREND Manager」のトレンドグラフ画面
Fig.2 Trend Graph of TREND Manager

(2) システムへの拡張性

ロボット周辺装置を制御するPLC (Programmable Logic Controller) から塗装機器や空圧機器などのデータを取得して傾向管理を行うことが可能である。

(3) メール通知機能

異常時には「TREND Manager」からワーニングやアラームがあらかじめ設定されたメールアカウントに通知され、さらに軸ごとのモーター電流など解析に使用する詳細なデータが配信される。

(4) トレーサビリティ機能

ロボットごとの現在と過去のデータ比較機能に加え、各軸稼働量・動作時間・アラーム出現回数を可視化でき、それらから過去のロボット状態を追跡することができる。

(5) リモート監視・メンテナンス機能

前述したすべての機能を、ネットワーク経由でサービスセンターからの遠隔操作により使用することもできる。また、ネットワークカメラの設置によりユーザーの生産工場稼働しているロボット設備の状況を可視化でき、ロボット設備が停止した場合、部品交換を必要としないトラブルであれば遠隔操作でネットワークカメラ画像を確認し、トラブルシューティングすることができる。これにより、ユーザーを訪問せずともロボット復旧が可能となり、復旧スピードとコストに大きなメリットがある。

5 「傾向管理定量点検」

既存の「傾向管理定量点検」に新しい診断手法として定量フェログラフィー分析を取り入れた。

(1) 定量フェログラフィー分析

定量フェログラフィー分析は、潤滑油や作動油中の摩耗粒子の大小別の量的変化を図3の分析装置を用いて把握する分析法である。この手法を応用し、減速機内グリスを当社独自の方法で希釈して分析することで、グリス内の大粒子と小粒子の比率を把握し、減速機の故障傾向を従来の鉄粉濃度測定よりも正確に診断することに成功している。これまでの蓄積データから閾値を求め、大粒子と小粒子の比率から算出した数値が閾値を超えた場合に故障と判断する。

(2) 鉄粉濃度測定における課題

従来は、減速機の摩耗状態を、グリス内鉄粉濃度を計測することで、「正常値」「注意値」「異常値」と判定していた。減速機グリスの鉄粉濃度は減速機異常摩耗の発生により急激に上昇するが、鉄粉濃度測定はグリス内鉄粉の総量を計



図3 定量フェログラフィー分析装置
Fig.3 Direct-reading ferrography analyzer

測する方法であるので、正常摩耗状態でも鉄粉濃度にある程度の上昇が見られた。また、異常摩耗状態の減速機であっても、一度でもグリス交換が行われると一時的に鉄粉濃度値が下がってしまい、異常として判定できないことが課題となっていた。

(3) 定量フェログラフィー分析による課題解決

上述の課題を解決するために、定量フェログラフィー分析手法を応用した。ロボットを使い始めてしばらくは、減速機グリス内には径が5 μmより小さい粒子（小粒子）が多い状態が続く。しかし減速機に異常が現れて異常摩耗が始まると、5 μm以上の粒子（大粒子）が増加する。この現象に基づき、定量フェログラフィー分析装置で大粒子量と小粒子量を把握することでIS値（危険摩耗指数）、LWPC（大摩耗粒子量）を算出し、これを減速機の摩耗診断指標として採用した。このように定量フェログラフィー分析を用いて、グリス内摩耗粒子径を評価することで、減速機の摩耗状態を以前より正確に診断できるようになった。採取したグリスサンプルの鉄粉濃度とIS値の分布を図4に示す。赤い点が実際の減速機の異常摩耗が認められたサ

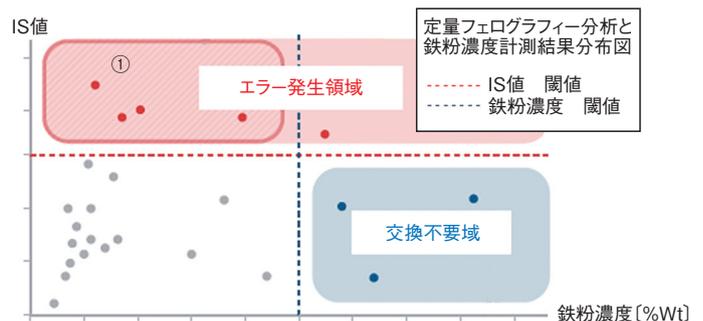


図4 定量フェログラフィー分析で検知できる領域
Fig.4 Regions detectable for ferrography analysis

ンプルで、鉄粉濃度測定では見逃されていた領域①が定量フェログラフィー分析では異常として捉えられるようになった。

6 「K-COMMIT」の適用事例

(1) カワサキワールド

カワサキワールドは、当社グループの代表的な製品を「見て」「触れて」楽しく学んで頂くことができる企業ミュージアムである。ロボットブースには各種ロボットを設置し、さまざまなデモンストレーションを行っている。この中のロボットについて「K-COMMIT」を適用している。

これまでは、ロボットが停止した場合に以下のような問題があった。

- ① 当社サービス員に連絡が入ると、サービスセンターから1時間以上かけてサービス員が現地に赴き、停止の原因究明と復旧作業を行っていた
- ② 原因究明で部品の故障だと判明した場合は、交換部品を持ってくるために一度サービスセンターに戻る必要があった

上記①②により、復旧までにかなりの時間を要することがあった。

(2) 「K-COMMIT」導入による問題解決

「K-COMMIT」導入により、ネットワークカメラとリモート接続による遠隔操作での原因究明が可能となった。導入以前は復旧に1時間以上かかっていたが、導入後は軽微

なエラーであれば現地に赴く必要がなくなったため、30分以内で復旧できるようになった。

また、サービスセンターに必要な交換部品の情報がメールで届くため、迅速な対応ができるようになった。

あ と が き

「K-COMMIT」の開発により、これまで生産工場設備管理者の課題であったダウンタイムゼロ化やライフサイクルコスト低減が実現可能になった。今後もより多くのユーザーに使用していただくとともに、ユーザーごとのロボット設備にあわせて最適にカスタマイズした「K-COMMIT」カワサキロボット安心ライフサイクルサポートを提供していく。



中村 正和



川井 淳



田口 哲也



吉田 絵梨子

医療用ロボットシステムの開発

Development of Medical Robot Systems



平塚 充 一① Mitsuchi Hiratsuka
 中西 徹 弥② Tetsuya Nakanishi
 伊藤 哲 嗣③ Tetsushi Ito
 須賀 和 則④ Kazunori Suga
 石原 一 樹⑤ Kazuki Ishihara
 北野 真 也⑥ Shinya Kitano
 東 條 剛 史⑦ Tsuyoshi Tojo
 土 井 航⑧ Wataru Doi
 保 田 達 郎⑨ Tatsuro Yasuda

“医療用ロボットを通して「みんな」が安心して暮らせる高齢化社会をサポートする”を企業ミッションとして株式会社メディカロイドが設立された。

ロボット技術で培ってきた機構、制御技術を活用して、血管内治療と外科的手術を同時に行うことができるハイブリッド手術室用のロボット手術台を開発した。また、腹腔鏡手術を支援するロボットの製品化を進めている。

Medicaroid Corporation was founded with the corporate vision of "By creating our medical robots, we support an aging society in which everyone can live in peace."

Making use of the machine control technologies that have been built up in the field of robotics, Medicaroid Corporation has developed a robotic operating table for hybrid operation rooms, which enables the simultaneous provision of endovascular treatment and surgery. It is also working for commercialization of robots that assist laparoscopic surgery.

まえがき

近年、高齢化社会の進展に伴って、医療現場のニーズがより高度化・多様化する中、ロボット技術の活用への期待が大きく膨らんでいる。

1 背景

2013年、株式会社メディカロイドは、産業用ロボットのリーディングカンパニーである川崎重工業株式会社と、検査・診断の技術を保有し医療分野に幅広いネットワークを持つシスメックス株式会社との共同出資により設立された。

2 メディカロイドの活動

設立以降、検査・診断・治療の領域において、医療従事者の方々から具体的な要望をくみ取ることに注力してマーケティング活動を展開してきた。2015年度以降は、それらの領域においてくみ取った要望を基に、新たなロボットシステムを具現化する製品開発を進めている。

メディカロイドが目指すロボットは、図1に示すように“人の代わりとなる”のではなく、“人に仕え、人を支える”ロボットである。ロボットを通して、患者や医療従事者そして家族の方々の「みんな」が安心して暮らせる、豊かな

高齢化社会のサポートを目指しており、これを企業理念に掲げている。

事業化を進めるにあたり、オープンプラットフォーム体制を敷いている。また、2016年から米国シリコンバレーに現地法人Medicaroid, Inc.を設立して日米で連携しながら、行政・アカデミア・医療機関・民間企業などとの協力のもと、最新の研究成果やさまざまな技術を活用してスピーディーな製品展開を目指している。

メディカロイドが取り組んでいる事業化ターゲットは大きく2つあり、そのタイムラインを図2に示す。1つは、産業用ロボットをベースに医療・医薬への応用を目指すアプライドロボット事業であり、ロボット技術を応用して



図1 メディカロイド企業理念
 Fig.1 Corporate mission of Medicaroid

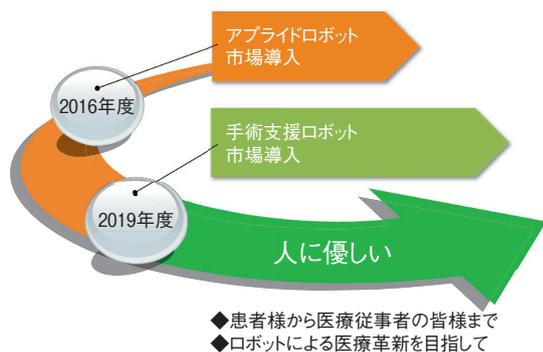


図2 製品化タイムライン
Fig.2 Product timeline

2016年度に製品化した手術台がこれに当たる。もう1つは、ロボットが医師をサポートする手術支援ロボット事業であり、2019年度に最初の上市を目指している。

3 アプライドロボット

アプライドロボットとして、ハイブリッド手術室向けのロボット手術台の開発に取り組んだ。

ハイブリッド手術室には、図3に示すように血管造影ができるX線透視撮影装置と特殊な手術用ベッドが設置されている。これにより、これまで血管造影室で行っていた血管内治療と手術室で行っていた外科的手術とを同時に行うことができる。

X線透視画像情報を活用することで、飛躍的に高度で精密な手術が可能となる。また、手術時間の短縮や出血量の減少さらには入院期間の短縮など、患者の身体への負担が少ない治療が行える。また、血管内治療だけで対応困難な場合にはそのまま外科的処置を追加施行することで、より安全かつ確実な治療を行うことが可能となる。

ハイブリッド手術室は、心臓血管外科や循環器内科、脊椎外科、脳神経外科、整形外科、呼吸器外科などの多領域での活用が期待されており、従来の治療体制に比べてより



図3 ハイブリッド手術室のイメージ
Fig.3 Image of hybrid operating room

効率が良い、安全な高度医療を提供することができる。実際にハイブリッド手術室においては、手術成績の向上が認められている。

このようなハイブリッド手術室のメリットを生かすために、ロボット技術で培った機構・制御技術を活用したロボット手術台を検討した。

外科領域において製品開発を行うことは当社にとって初めての試みであり、具体的なユーザーズを正確にくみ上げ、そのニーズに的確に応える製品開発を行う必要があった。そこで、「人間中心設計」の手法を用いてユーザーズの仮説化を行った上で、そこから構想された製品の実物大のモックアップを製作した。そのモックアップを用いて、実際の操作者である看護師や麻酔科医そして脳神経外科医の方々の前で、普段手術で行っている想定動作を行い、製品のコンセプトや想定される課題および解決策についてヒアリングを行った。そして、そこから生まれるさらなるニーズを次の一連の評価作業に反映させることを複数回繰り返してブラッシュアップを図った。

以上の取り組みから得られた具体的なユーザーズを設計のインプットとして、図4に示すロボット手術台「Vercia SOT-100」を開発した。また、コントローラーについても、ユーザの声に耳を傾けて、その操作方法にもこだわり、図5に示す2種類の専用製品を開発した。

このようにして開発したロボット手術台は、脳神経外科で使用される汎用の診療・処置台に対してロボット技術を適用することで、患者および医療従事者に負担をかけずに、



図4 ロボット手術台「Vercia SOT-100」
Fig.4 Robotic operating table



図5 コントローラー
Fig.5 Controllers

患者を自由に移動させることを可能にするとともに、手術室内の省スペース化を実現している。また、X線透視撮影装置などの大型装置を移動させるのではなく、手術台を移動させることで、設備導入コストを低減することもできる。さらにネットワーク経由による遠隔地からのメンテナンスなども考慮しており、迅速なサポートが可能である。

開発した手術台は2017年3月に薬事申請を完了している。ロボット手術台の開発により、ハイブリッド手術室の普及もさらに進み、より多くの患者に対して低侵襲治療を実現して、QOL (Quality of Life) の向上が加速すると考えている。

4 手術支援ロボット

1990年代に米国で開発されたロボット支援による手術は、さまざまな臨床研究や試験で安全性および有効性が実証され、急速に適用範囲を広げている。グローバルの手術支援ロボット市場は、図6に示すように年平均成長率は30%で拡大すると予想され、2019年には20 Billionドルに到達すると予想されている。

(1) 腹腔鏡手術支援ロボットシステム

腹腔鏡手術は、患者への負担が少ない低侵襲な手術法であり、その手術創が従来の開腹・開胸手術に比べて小さく、術後の入院期間を短縮することができるとして、広く普及している。しかし、開腹手術と異なり患者の身体にあけた小さな穴にカメラや術具を通して手術を行うため、視野が狭い上に直感的でないため術具の操作が難しく、技術の習得に時間がかかるという欠点がある。

このような中で、米国においては、2,500台程度の腹腔鏡手術支援ロボットシステムが稼働している。日本においても、2009年に医療機器としての認可を受けて前立腺がんをはじめとした疾患の手術治療への適用が始まっており、今後も適用症例の拡大などさらなる普及が期待できる。

メディカロイドが開発している腹腔鏡手術支援ロボットシステムのイメージを図7に示す。鉗子の操作は人の手では難しかったが、ロボットを通じて行うことで、簡単に操作できるようになる。手術支援ロボットはもともと成長が期待されており、図8に示す設計コンセプトの下、新たな付加価値を有する医療ロボットを開発して主力製品として発展させる予定である。既存の腹腔鏡手術支援ロボットシステムに対して、設備コストやランニングコストなどの経済性を改善するとともに、セットアップ時間の短縮およびコンパクト化を目指す。また、これまでに培ったロボット技術をベースに、高い安全性と信頼性を実現して医療リスクの低減を図ることで、ロボットを活用した医療革新を目指す。

このシステムの開発においても「人間中心設計」の手法を用いて、多自由度の鉗子を含む手術ロボットや操作コンソールなどの機能試作を複数回実施した上で、国内外の医師に評価いただき、そのフィードバックを基にさらなるブラッシュアップを図って製品化を進めている。

(2) 軟性内視鏡手術支援ロボットシステム

より先を見越した難易度の高いシステムとして、軟性内視鏡手術支援ロボットシステムの開発を進めている。

高い安全性とさらなる低侵襲化および高難度治療の実現



図7 腹腔鏡手術支援ロボットシステムのイメージ
Fig. 7 Image of robotic assisted laparoscopic surgical system



図6 手術支援ロボット市場予測
Fig. 6 Market forecast for robotic assisted surgery

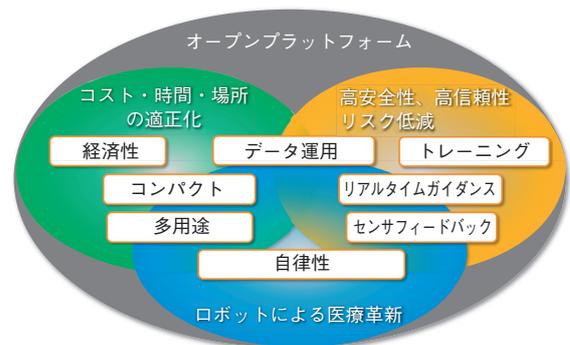


図8 腹腔鏡手術支援ロボットシステムの設計コンセプト
Fig. 8 Design concept

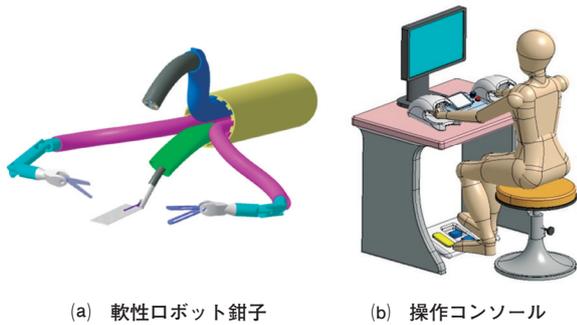


図9 軟性内視鏡手術支援ロボットシステムのイメージ
Fig.9 Image of robotic assisted flexible endoscopic surgical system

を目指して、国立研究開発法人日本医療研究開発機構から研究委託を受けている「未来医療を実現する先端医療機器・システムの研究開発」事業に、川崎重工株式会社と共に参画している。

腹腔鏡手術支援ロボットシステムの登場により手術の低侵襲化・高精度化が進んだが、膵臓がんなどでは腹腔鏡内視鏡での手術が難しい部分が多く、依然として開腹手術が主流である。また、これまで消化器内視鏡の延長線上で開発された軟性内視鏡手術支援システムは、鉗子の操作に極めて高度な技量を要するため普及していない。

そこで、日本が得意とする軟性内視鏡とロボティクスを融合することで、医師が手術野を俯瞰しながら直観的に操作可能な新しい軟性内視鏡手術支援システムを開発している。軟性内視鏡手術支援ロボットシステムのイメージを図9に示す。軟性ロボット鉗子は広い動作範囲と高い把持力で多様な手術方法に対応でき、操作コンソールは軟性ロボッ

ト鉗子の直観的な操作を可能とするものであり、現在これらの開発を進めている。

あ と が き

株式会社メディカロイドでは、医療・医薬用ロボットシステムの開発に取り組んでいる。今後も、綿密なマーケティング活動の成果を基に、開発、製造、販売へと展開していく、そして世界の医療・医薬産業の発展に貢献できるロボットシステムを製品化するとともに、それらの製品を通して「みんな」が安心して暮せる高齢化社会をサポートしていく。



平塚 充一



中西 徹弥



伊藤 哲嗣



須賀 和則



石原 一樹



北野 真也



東條 剛史



玉井 航



保田 達郎

ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」による 人に安全な生産システムの実現

A Robot Operation Safety Monitoring Unit, Cubic-S, Realizes Production Systems That Are Safe for Human Beings



亀山 篤①	Atsushi Kameyama
田頭 毅②	Tsuyoshi Tagashira
中田 武志③	Takeshi Nakada
高見 宏規④	Hiroki Takami
山守 啓文⑤	Hirofumi Yamamori
間瀬 祥平⑥	Shohei Mase
橋本 誠志⑦	Satoshi Hashimoto
上野 高廣⑧	Takahiro Ueno

ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」を開発した。これによりソフトウェアを使用した安全機能の利用が可能になり、従来の産業用ロボットでは実現できなかった人との協調運転をはじめ、より効率的で安全な生産システムを構築することが可能になった。

We have developed a robot operation safety monitoring unit, Cubic-S. This enables us to use safety functions using software, perform collaborative operations that were not realized by conventional industrial robots, and build more efficient and safer production systems.

まえがき

昨今、先進国を中心とする少子高齢化などの要因による労働力低下、また新興国の人的コストの増加などの要因で、ロボットによる自動化が積極的に進められてきている。

1 背景

既に自動化されている生産システムについてはさらなる効率化のために、新しい適用分野についてはその実現のために、従来よりも柔軟にシステムに対応できる安全装置が求められている。

ロボットについての安全規則を定めたISO10218-1：2006において以下のような変更があった。

- ① ソフトウェアによる安全監視
従来は機械あるいは電気ハードウェアによる安全監視しか認められていなかったが、ソフトウェアによる安全監視も可能になった。
- ② 動作制限方法の緩和
従来は機械あるいは電気ハードウェアによる軸制限のみであったが、ソフトウェアによる軸制限や空間制限も可能になった。
- ③ 人間との接近距離の緩和
従来は自動運転中にはロボットの動作範囲内に人間が入ることはできなかったが、動作速度が低速(250mm/s

以下)の場合は動作範囲内への侵入が可能になった。

改訂後には、空間による制限機能(空間監視)を備えていることを納入条件にする顧客も出てきた。改訂後の規格に適合するためには、安全に関する重要部分が信頼できて、かつ十分な評価試験が実施され、さらに第三者機関もしくは機器製造者自身により認証された機器(ソフトウェア含む)が必要となる。これらの要求に対応するために、ロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」を開発した。

2011年の「Cubic-S」の最初のリリース後も、機能安全規格IEC61508に基づいた安全通信機能(ネットワーク安全入出力機能)や、当社の人共存型双腕スカルロボット「duAro」のためにロボットの外力を監視する力監視機能などの安全機能をさらに追加している。

2 「Cubic-S」

「Cubic-S」はSupervise, Safety, Smartの3つの意味から名付けており、ソフトウェアを使用して従来では実現することができなかった高度な安全機能を提供することで、生産ラインを低コストで柔軟に構築することを可能にしている。

「Cubic-S」は空間監視、ネットワーク安全入出力、力監視、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10個の安全機能を有している。

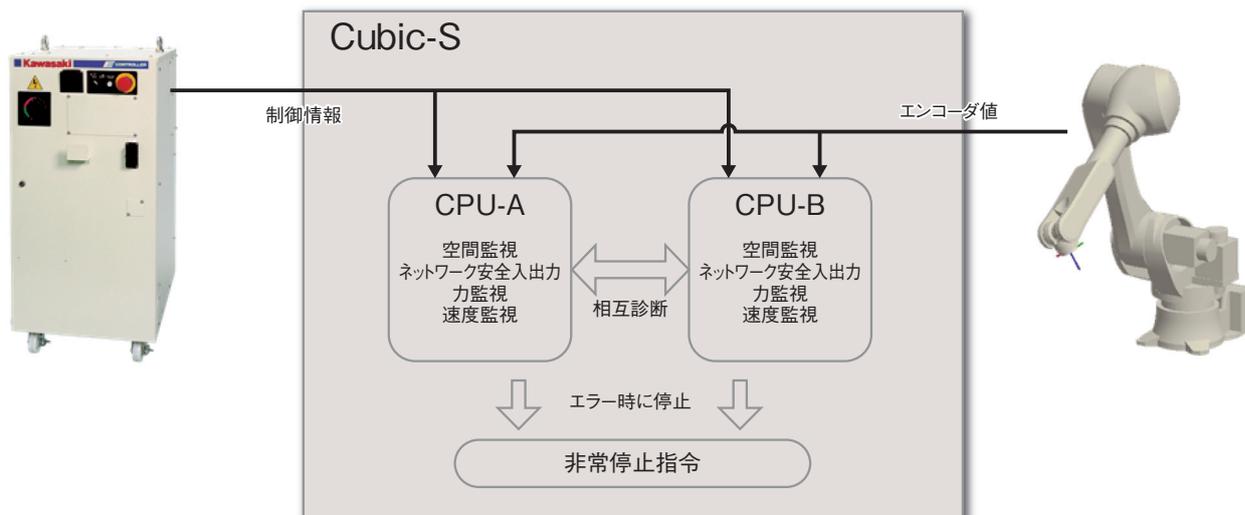


図1 「Cubic-S」の基本構成図
Fig. 1 Basic configuration of Cubic-S

これらの安全機能は、図1に示すように2つのCPUを使用して冗長性を持たせることで、機能安全規格IEC61508のSIL 2および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によって規格適合の認証を取得している。

(1) 空間監視機能

ロボットの動作範囲を指定した空間に制限する機能である。ロボットアームの種類ごとに定められた監視点が、指定した空間の中にあるかどうかを監視する。

これによりロボットの動作範囲を必要最小限に制限できるため、安全柵の設置スペースを小さくすることができる。

図2に示すように、従来の安全柵はロボットの可動範囲である赤色のエリアすべてを含めるように設置する必要があった。しかし、「Cubic-S」の適用によりロボットの動作

範囲自体を緑色のエリアに限定することができるため、黄色線に示すように安全柵を設置すればよくなり、従来に比べて安全柵の設置スペースを大幅に削減することができる。

(2) ネットワーク安全入出力機能

業界団体ODVAにて管理されているフィールドネットワーク通信規格「EtherNet/IPのSafety拡張(CIP Safety)」に基づいて、安全信号の授受を安全PLCと行うことができる。この規格に対応することで「Cubic-S」が直接安全信号のやり取りを行うことができるため、安全リレーなどの部品を削減できるようになる。

CIP Safetyでは冗長化された通信パケットを冗長性のあるシステムで解析する必要があるため、そのために「Cubic-S」では2つのCPUを使用している。

(3) 力監視機能

当社が販売している「duAro」のために開発した機能であり、ロボットが発生させる外力を監視し、指定した力以上の外力が発生した場合にロボットを安全に停止させるものである。

図3に力監視機能の処理の流れを示す。「Cubic-S」は、ロボットコントローラにて計算したロボットの動作から推定されるモータ推定トルク値と、ロボットからはモータ実トルク値とを、それぞれ受け取る。これらの差から、ロボットにより発生している外力を計算する。その外力を監視し、人とロボットとの接触を判定した時には、ロボットを速やかに停止させることができる。

この機能については、人協働ロボットについての技術仕様ISO/TS15066に基づいて開発および評価しており、第三者認証機関のTÜV SÜDによって認証を受けている。

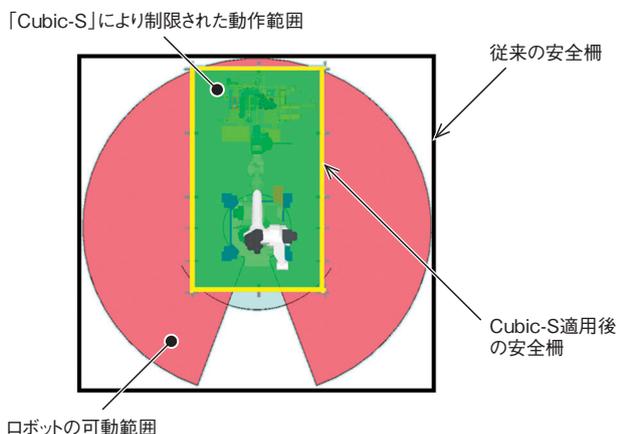


図2 「Cubic-S」による安全柵設置スペースの削減
Fig. 2 Reduction of safety fence installation area by Cubic-S

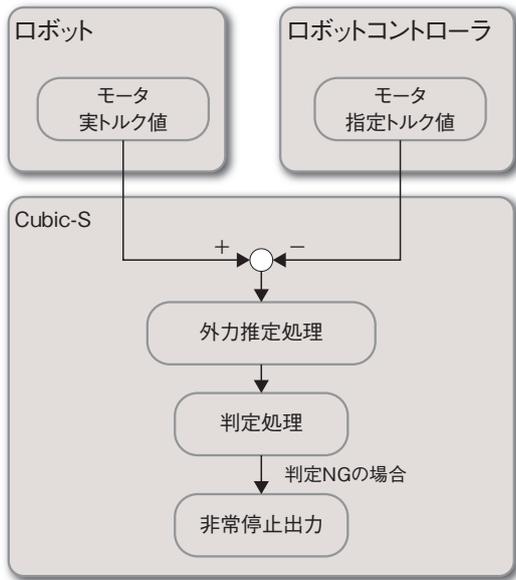


図3 力監視機能の処理の流れ
Fig. 3 Process flow of force monitoring function

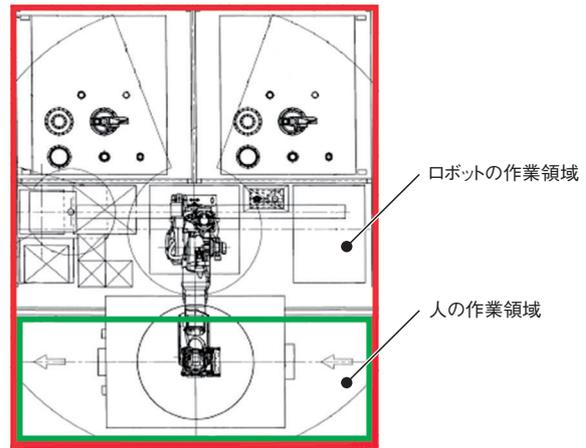


図4 組立工程のレイアウト
Fig. 4 Layout for assembly process

3 人に安全な生産システム事例

(1) ロボット生産ライン

2016年度から、中国蘇州市にてロボットの生産を開始している（本号、PP.10～13参照）。この工場では、ロボットによる自動化を積極的に進めているが、組立工程の一部にロボットと人が共存しながらそれぞれ作業するエリアがある。

このような工程では、従来は人が工程内にいる場合にはロボットを停止させる必要があり、人とロボットが同時に作業することができなかった。しかし「Cubic-S」を使用することで、ロボットの自動運転を維持しつつ人の安全を確保できるようになった。

図4に組立工程のレイアウトを示す。この工程では同図に示すようにロボットの作業領域（同図の赤枠内）の中に人が作業する領域（同図の緑枠内）が存在している。同図の緑枠内に人がいない場合は通常の自動運転を行い、緑枠内で人が作業をしているときには「Cubic-S」の空間監視機能を有効にすることで人の作業領域へのロボットの侵入を禁止している。これに加えて、速度監視機能を有効にすることでさらなる安全性を確保している。

(2) 複動式フリクションスポット接合（FSJ）

FSJ（Friction Spot Joining）は、アルミ合金など軽合金の重ね継手に使われている当社独自の接合技術である。この技術の適用例として、主に「ロボットシステム」と「定置式システム」の2種類のシステムがある。図5に示すように、「ロボットシステム」はガンをロボットの先端に取り付けてロボットにて接合するシステムで、「定置式シス



図5 FSJシステム
Fig. 5 FSJ System

テム」は接合ツール（ガン）を固定して人がワークを把持して接合するシステムである。

「ロボットシステム」として運用する場合は、図6のように通常のロボット動作を行う。一方、「定置式システム」として運用する場合は、ロボットがFSJの溶接ガンを固定台に置いた上で、「Cubic-S」の空間監視機能と停止監視機能を使用してロボットを以下の図7の姿勢で停止させ、使用者の安全を確保している。

通常これらは別のシステムとなるが、「Cubic-S」を使用することで、一つのシステムの中で「ロボットシステム」と「定置式システム」を切り替えながら運用することができるようになる。

(3) 人共存型双腕スカラロボット「duAro」

「duAro」は、図8に示すように組立作業などを人と共存して行うことができるロボットである。

人との共存作業を実現する場合、ISO10218-1にも人とロボットが共存作業を行う場合の規定があるように、ロボッ

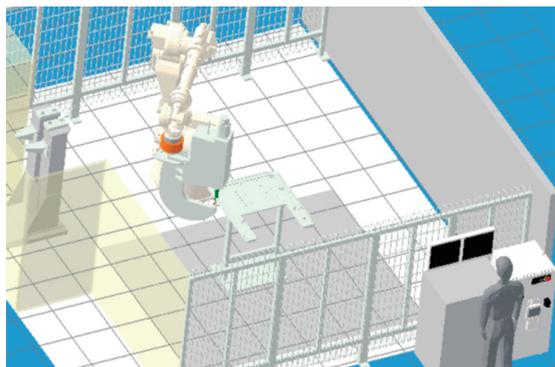


図6 「ロボットシステム」としての運用
Fig. 6 Operation as robot system

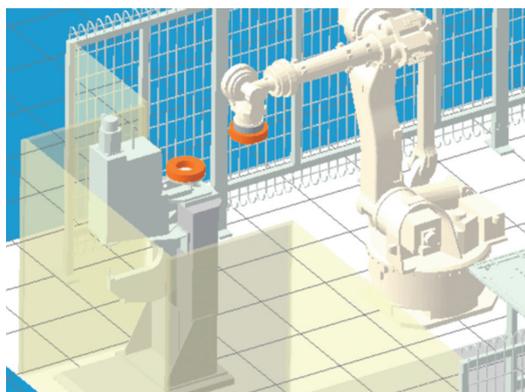


図7 「定置式システム」としての運用
Fig. 7 Operation as stationary system



図8 人との共存作業イメージ
Fig. 8 Image of collaborative work

トと人が接触した場合でも人に危害が及ばないように対策を行う必要がある。

このため、まず、人との接触の状態を、図9に示すように接触時に人体が移動することができる状態である「衝突」と人体が移動することができない状態である「挟まれ」の2つに定義した。その上で、「衝突」の危険は速度監視機能で、「挟まれ」の危険は力監視機能と速度監視機能の組み合わせて回避するようにしている。具体的には、挟まれる可能性がある領域を「duAro」の操作タブレットで定義し、

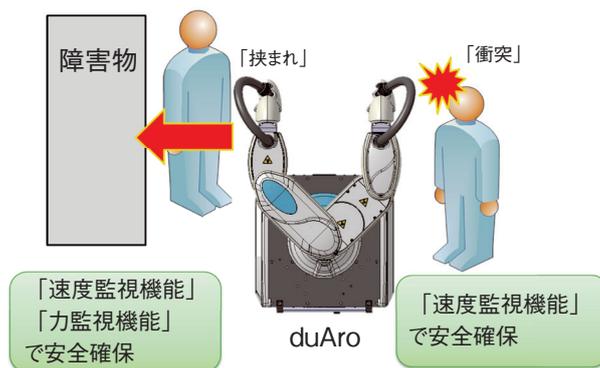


図9 人共存型双腕スカラロボット「duAro」と人の接触
Fig. 9 Integrates with a collaborative dual-arm SCARA robot duAro

その領域については力監視機能と速度監視機能が、それ以外の領域については速度監視機能が有効になるようにしている。

あ と が き

「Cubic-S」の開発により、従来よりも高度な安全機能を利用できるようになり、より効率的で省スペースなロボットシステムの構築が可能になった。

今後もロボットが適用される分野はますます拡大し、人との共存作業も増えていくと予想される。それに伴い機能安全が要求される状況も増えていくが、引き続き世の中のニーズに応え、当社ロボットの安全性の向上を図っていく。



亀山 篤



田頭 毅



中田 武志



高見 宏規



山守 啓文



間瀬 祥平



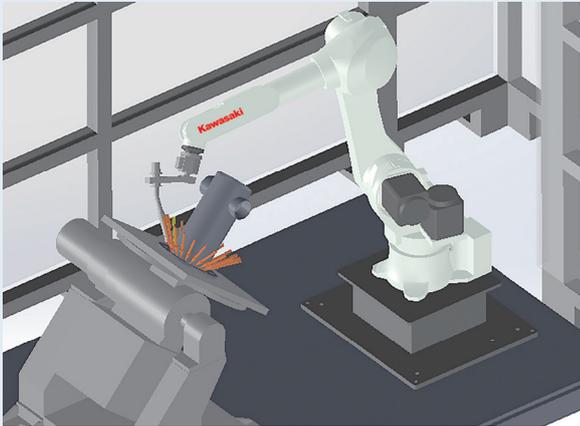
橋本 誠志



上野 高廣

適用拡大に向けた教示作業自動化への取り組み － 3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアの高度化－

Efforts for Automated Teaching in Order to Expand Applications: Increasing the Sophistication of Offline Teaching Software Utilizing 3-dimensional CAD



吉村 高行① Takayuki Yoshimura
 渡邊 雅之② Masayuki Watanabe
 北嵐 勝志③ Katsushi Kitaarashi
 川端 純一④ Junichi Kawabata
 藤森 潤⑤ Jun Fujimori
 二之湯 秀幸⑥ Hideyuki Ninoyu

これまでロボット化できなかった適用分野への対応が求められる一方で、生産する製品はますます複雑化・多様化している。そのような中、簡単な操作でロボットへの動作の教示作業ができるオフライン教示の要望が高まっている。

適用拡大に向けて、3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアの高度化に取り組んだ。

While more support for fields of application where robots could not be used previously is being demanded, products to be produced are also becoming more complicated and diversified. In these circumstances, demands for offline teaching where robots are taught using simple operations are increasing.

To expand the applications, we have worked on increasing the sophistication of offline teaching software utilizing 3-dimensional CAD.

まえがき

少子高齢化による作業者の不足や、人手による生産の品質のバラツキを改善するために、産業用ロボットを導入する企業が増えている。ロボット周辺の技術革新も伴ない、これまではロボット化できなかった分野への適用拡大も期待されている。

1 背景

製造業の現状を見ると、製品の形状は複雑かつ多品種、生産量は変量といった顧客個々の要求に対応するマス・カスタマイゼーションへの動きがある。そこで、複雑化・多様化する製品を生産する上で、いかに簡単な操作でロボットを動かすことができるかがロボット適用拡大への課題の一つとなっている。

このようなロボットの操作性の課題に対して、3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアを利用する顧客が増えている。オフライン教示ソフトウェアは、パソコン上で3次元CADデータを基にロボットや周辺機器の配置検討やロボット動作プログラムを生成することができるものである。複雑な形状でもロボット動作プログラムを自動的に作成することができ、作業による品質と作業時間のバラツキも少なくなる。

2 オフライン教示システムによる教示の簡易化

当社では、ロボット導入を支援するためのオフライン教示ソフトウェアとして、ロボット動作プログラム自動生成ソフトウェア「KCONG」およびロボット配置検討シミュレータ「K-ROSET」を開発し、これらを使い分けて最適な構成のロボットシステムを顧客に提供している。

ここでは「KCONG」について説明する。

3 ロボット動作プログラム自動生成ソフトウェア「KCONG」

(1) コンセプト

「KCONG」は、製品の3次元CADデータ上で、作業箇所を選択して作業条件を指示するという直観的な操作で、自動的にロボット動作プログラムを作成することができるオフライン教示ソフトウェアである。

(2) 概要

「KCONG」は、3次元CADを搭載しているオフライン教示ソフトウェアである。そのため、製品の設計段階から利用することができる。すなわち、図1に示すように、製品の形状設計とロボットによる加工のための製品の作業教示とをシームレスに実施することができる。

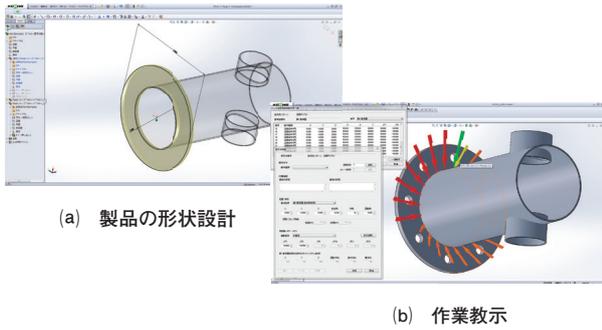


図1 シームレスな設計と作業指示
Fig.1 Seamless design and teaching

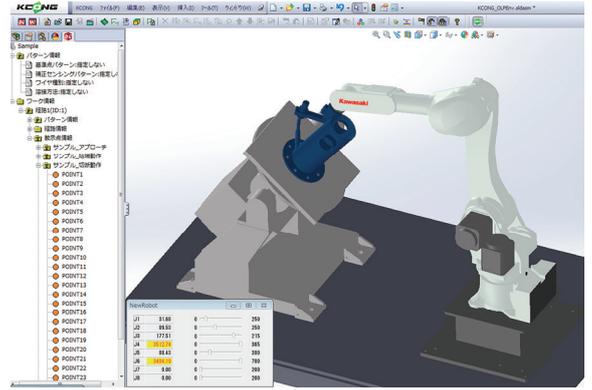


図3 干渉チェックを備えたロボットシミュレーション機能
Fig.3 Robot simulation function with interference check

ユーザーは製品に作業を施すとき、最良な品質となる作業方法を模索する。その際「KCONG」では、教示位置の作成方法および作業条件を施工ルールとしてデータベースに保存して活用できるため試行錯誤によって得られたデータをノウハウとして蓄積できる。さらに、使用頻度が高くなるごとに、より最適な加工方法へ進化させることができる。「KCONG」を使用する際の手順を図2に示す。

また、図3に示すように、干渉チェックを備えたロボットシミュレーション機能を有しており、設備導入前に検討や動作確認を実施できるため、現場適用時の垂直立ち上げにも貢献する。

(3) 特長的な機能

(i) 外部軸を含めた自動姿勢決定機能

「KCONG」は開発当初から、アーク溶接／切断／面取り作業などにおいて機能を発展させることで、ユーザーニーズに対応してきた。複雑な形状の製品の場合は、ロボッ

ト単体の動作範囲だけではカバーすることが難しくなるので、ロボットを移動させたり製品を回転させたりする外部軸を伴うシステムが必須になる。「KCONG」は、ロボットの基軸以外の外部軸の動作制御も自動で決定する機能を有しているため、図4に示すような複雑な形状の部品の溶接の作業教示も容易に実施できる。

(ii) Gコード変換機能

「KCONG」は、NC工作機で使用するCAMソフトウェアが出力するGコードと呼ばれる業界標準フォーマットを、当社ロボットの動作プログラムに変換する機能を搭載している。これにより、NC工作機と同様の作業をロボットで実施できる。ロボットはNC工作機ほどの剛性がないため同等の精度を得ることはできないが、加工対象が大きくなるにつれて高額になるNC工作機に比べると安価で購入できる。さらに、システムの変更に柔軟に対応できる利点もある。これらの長所は、近年発展している3次元プリンタと比較しても、十分な差別化ができています。この長所により、図5に示すような大型の造形物を人手で製作している企業に導入できている¹⁾。

他にも、産業機械の試作金型の消失模型、カメラやプリンタ模型、さらには木材の加工などにおいても活用されている。

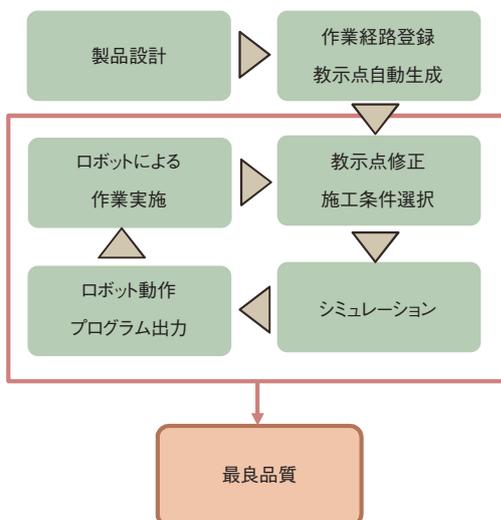


図2 「KCONG」を使用する際の手順
Fig.2 Procedures for KCONG is used

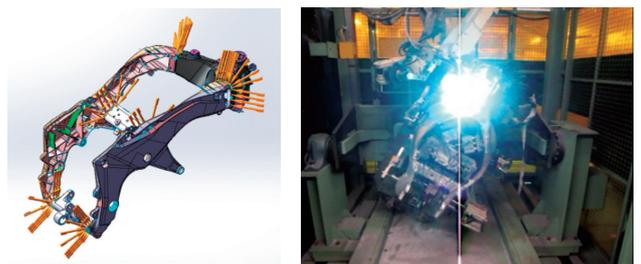


図4 オートバイのフレーム溶接
Fig.4 Motorbike frame joining



図5 テーマパーク用の立体造形切削
Fig. 5 Tridimensional formative cutting for theme park

4 新たな適用拡大に向けた取り組み

従来、ロボット導入の際には、作業の精度が問題となることや面に対する作業の教示に手間がかかるという課題があった。また、顧客によっては、ロボット導入に際してすでに利用しているDMU（Digital Mock-UP）ツールを活用したいというニーズが高まっている。

(1) 速度低減機能（精度対策）

Gコードを利用できるようになったことで、加工メーカーからのロボット化の要求が増えているが、精度が課題となることがある。この解決にはロボットの剛性だけでなく動作特性の改善も有効である。たとえば、作業の折り返しや、加工曲面の角度が大きく変わるような場合に、動作特性が原因となり精度が低下しやすい。特に、一定の速度でこのような動作をさせると精度が下がってしまう。そこで、速度を自動的に減速する機能を加えることにより改善した²⁾。

(i) 特長

速度を低減する範囲を設定することができる。品質に影響するような姿勢に変化する場合に、速度を落とす指令を自動的にロボットの動作プログラムに記述することで、動作速度を変更する。

(ii) 効果

CAMから出力したGコードに速度低減機能を適用した結果を図6にカラーマップで示すが、直線部分とコーナー部分で速度が変化していることがわかる。この機能によっ

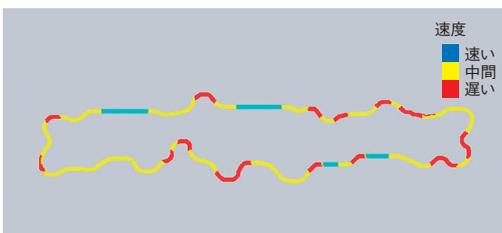


図6 速度低減機能の適用結果
Fig. 6 Result of application of speed reduction function

て、NC工作機用に出力されているCAMデータであるGコードを、必要な精度を保ったままロボットに転用することが可能となった。

(2) 表面加工機能

近年、力覚センサを低価格で入手できるようになったことで、位置制御だけでは困難だったロボットによる研磨などの表面加工が現実的なものになってきた。従来は、研磨のように面を対象にした作業に対しては、高度なCAD操作を駆使することで対応してきたが、その操作を簡易化する機能を新たに開発した。

(i) 特長

ユーザーは3次元CAD上で作業する範囲を選択する。そして、作業条件として作業経路上の教示点間の距離などを入力することで、ロボット動作プログラムを作る。加えて、作業速度や押し当て量のような表面加工作業の調整に必要なパラメータを設定する。なお、教示点間の姿勢変化が大きくなるようにスムーズに調整することができる。また、製品面からのオフセット距離を設定することができるため、研磨だけでなく塗装などの用途にも応用できる。

この機能は、汎用的なSTL（Standard Triangulated Language）フォーマットの形状データにも対応しているため、3次元CADで設計していない製品に関しても、3次元スキャナでデータを取り込むことで利用することができる。

(ii) 効果

適切な押し当て量にはワーク自体の個体差の影響があるが、ロボット先端に力センサを取り付けて計測した力をフィードバックしながら、本機能により加工速度や押し当て量を調整することで、図7のように所望の研磨が行われる。

(3) 組立手順指定機能

家電メーカーの製品は比較的ライフサイクルが短い。そのため、ロボットで生産を行うより人手作業の方が応用が利き効率が良いという理由から、自動化に至っていないことが多い。

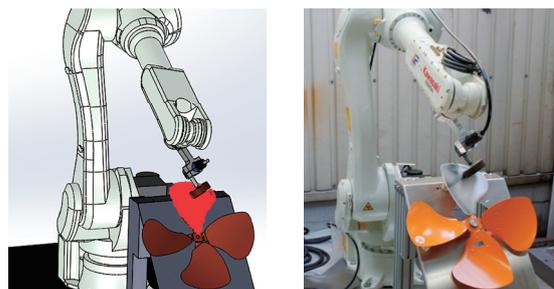


図7 研磨動作
Fig. 7 Polishing operation



図8 「duAro」での組立動作
Fig. 8 Assembly using duAro

最近、複数の部品を組み立てる際の品質問題を設計の上流工程で解決することを目的として、DMUツールを利用するユーザーが増えてきている。DMUツールは、部品の配置や組立順序および使用する工具を設定することで、3次元CADを使用したアニメーションで組立手順の確認を行うことができる³⁾。このDMUツールで設定した組立情報をロボット動作プログラムの作成に活用することで、ロボットによるシステム立ち上げ時間を低減することができる。

(i) 特長

DMUツールは人の作業の効率化を主な目的として考えられているため、ロボットによる自動化で必要となる工具情報や製品の組立位置を指定する機能を開発した。

作業の流れを次に示す。

- ① 製品の3次元CADデータを準備する
- ② DMUツールにCADデータを読み込んで、組立手順を設定する
- ③ 組立手順をシミュレーションで確認する
- ④ 工具情報と製品の組立位置を指定する
- ⑤ 組立手順を出力する
- ⑥ 組立手順を基に、干渉を含めたロボット動作のシミュレーションを実施する
- ⑦ 検証したロボット動作プログラムを実機へ転送する

(ii) 組立動作の確認

組立作業は、製品を固定しながら部品を組み立てる工程

に分解して考える。DMUツールから出力したロボット動作プログラムを、ロボット2台を使用したシステムで運用する場合、人共存型双腕スカラロボット「duAro」は2台のアームを備えており、互いの動作に協調させて動かすことができるため、組立作業のような加工に向いている。「duAro」を使った動作確認結果を図8に示す。

あ と が き

近年はタブレットなどパソコンに代わる新たな入力媒体が普及して活用されている。さらに、このような技術を取り入れながら、オフライン教示技術が発展していき、新たにロボットが使われる分野が広がっていくと考えられる。当社は、オフライン教示ソフトウェアを他社のロボットメーカーとの差別化要素として、今後も市場のニーズに応えながら教示の自動化を高度化していく。そして、ユーザーがロボットを意識せずに使用することができる教示作業の自動化を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 藤森, 家中, 堀内, 久保田, 高木, 山, 脇坂, 川端:“精密加工ロボットシステム”, 川崎重工技報, No.172, pp.44-47 (2012)
- 2) 特開2015-123517, “動作プログラム作成方法およびロボットの制御方法”
- 3) 特開2016-31724, “ロボット制御プログラム生成方法および装置”



吉村 高行



渡邊 雅之



北嵐 勝志



川端 純一



藤森 潤



二之湯 秀幸

走行装置レス・コンパクトアーム「NTS/TTSシリーズ」 ー標準化による半導体製造装置への簡単導入ー

The Traverse Unit-less Compact Arm, NTS/TTS Series: Simple Installation in Semiconductor Manufacturing Equipment through Standardization



中 矢 敦 史^① Atsushi Nakaya
芝 田 武 士^② Takeshi Shibata

当社は半導体製造装置内でウエハを搬送するための半導体搬送用ロボットの開発を行ってきた。近年は「コモンプラットフォーム」をコンセプトとして、顧客のさまざまな要求にハンドを交換するだけで対応できる汎用性の高い製品の開発を進めている。

今回、搬送容器の設置数の少ないコンパクト装置向けにハードウェアだけでなくソフトウェア面も標準化を実現した「NTSおよびTTSシリーズ」を開発した。

We have developed a semiconductor transportation robot used to transport wafers in semiconductor manufacturing equipment. In recent years, we have been developing versatile products that can accommodate various customer requests simply by changing the hand, with the "Common Platform" concept.

This time, we developed the NTS and TTS series, which realizes the standardization of not only hardware but also software for compact units that require fewer wafer pods.

まえがき

半導体は、以前は計算機のメモリなどの需要が主となっていたが、現在では携帯電話など数多くの製品に利用されている。2017年においては、データセンターや自動車、通信などで需要増加が見込まれている。

1 背景

半導体搬送用ロボットは、半導体製造装置内でシリコンウエハを密封して運ぶ容器であるFOUP (Front Opening Unified Pod) とプロセス処理間の受け渡しを行うEFEM (Equipment Front End Module) と呼ばれるモジュールにおいて使用される。現在、FOUPの数が2個の2W、3個の3Wが主流となっているが、これは装置の処理速度と設置面積を最適化した結果である。このように半導体製造装置には、処理能力の向上とコンパクト設計の両立が求められる。

顧客のさまざまな要求にハンドを交換するだけで対応を可能とする「コモンプラットフォーム」をコンセプトとして開発が完了している「NTおよびTTシリーズ¹⁾」は、4Wまで対応可能であるが、その分アームが長くなっている。このため、よりコンパクトな半導体製造装置の設計に

対応できる2Wおよび3Wに特化した、アームのより短いコンパクトなロボットが要求されていた。

2 製品の概要

図1(a)に示す2Wレイアウトや図1(b)に示す3Wレイアウトに対応できるように、新たに「NTSおよびTTSシリーズ」を開発した。

先行開発機種である「NTおよびTTシリーズ」と同様、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。また、走行装置を不要とし、ロボットの設置面積を最小化して装置空間を有効利用できるといった「NTおよびTTシリーズ」の特長を踏襲している。

2Wおよび3Wレイアウトに特化させることで従来製品よりもアームを短くしており、よりコンパクトな装置設計が可能となっている。図2に示すように、「NTSおよびTTSシリーズ」は、「NTおよびTTシリーズ」と比較して動作範囲を維持しつつアームを短くしている。

3 ハードウェア

(1) コンパクト設計

「NTSおよびTTSシリーズ」は、2本のアームのうちロ

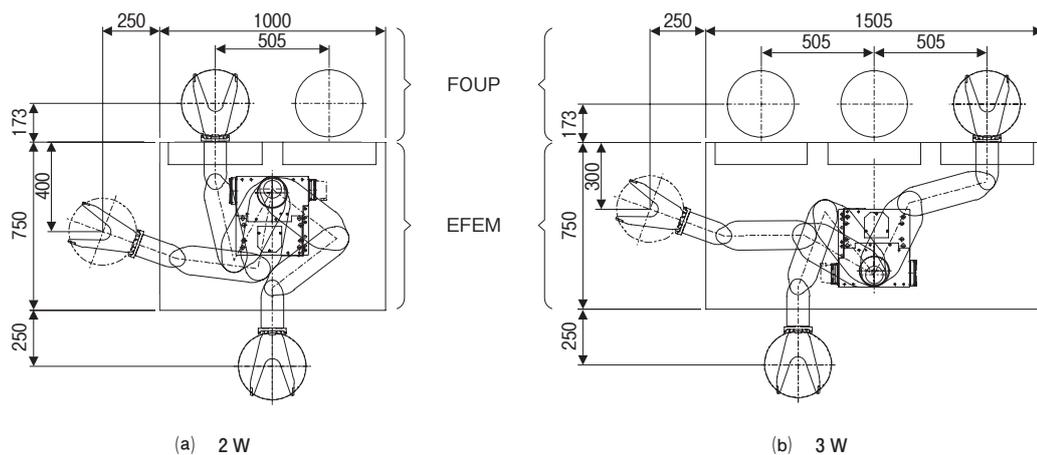
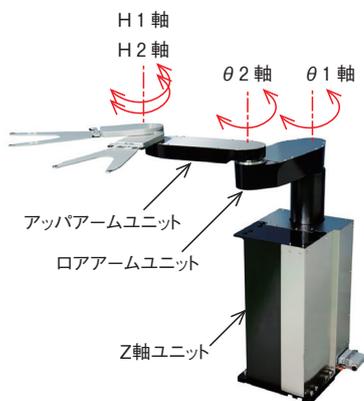


図1 半導体製造装置内レイアウト
Fig. 1 Layout in semiconductor manufacturing equipment



型式		NT520	NTS20	TT220	TTS20
動作範囲	Z軸(昇降) [mm]	470	470	740	740
	$\theta 1$ 軸(回転) [°]	340	340	340	340
	$\theta 2$ 軸(回転) [°]	340	340	340	340
	H1 軸(回転) [°]	380	380	380	380
	H2 軸(回転) [°]	380	380	380	380
アーム長	ロアアーム [mm]	440	360	440	360
	アッパアーム [mm]	440	360	440	360
	ハンド [mm]	350	350	350	350

図2 「NTおよびTTシリーズ」と「NTSおよびTTSシリーズ」の比較
Fig. 2 NT, TT Series & NTS, TTS Series spec comparison

アームユニットに、アーム駆動用ギヤの減速に使われるギヤボックスと2軸分のモータを内蔵している。また、アッパアームユニットには、最大2軸までのハンド駆動用ギヤの減速に使われるギヤボックスとモータを内蔵している。つまり、各軸部にそれぞれの駆動系をユニットとして

配置することで非常にシンプルな構造としており、「NTおよびTTシリーズ」の設計思想を踏襲している。また、アームを短くしていることから駆動系の負荷が小さくなるため、減速比を落してギヤボックスもコンパクトに設計できるようになり、その結果、アームのさらなる短縮化を実現している。

(2) 高いレイアウト自由度

アーム軸とハンド軸はそれぞれ独立に制御することが可能であり、各アクセスポジションへの進入角度を任意に設定することができる。また、装置内の干渉物の位置によって、ロボットの設置位置もフレキシブルに変更できる。

(3) 低コスト化

NTSおよびTTSシリーズでは徹底的なコストダウンを実施した。基板の電装部品や駆動系などのドライブユニットのレイアウトを最適化することやロボットの筐体の加工工程数を減らすことで、部品原価の低減を図っている。また、減速比を最適化することで、ドライブユニットの共通化を実施している。これらの取り組みによって、従来機種「NTおよびTTシリーズ」と部品点数を比較すると、Z軸ユニットとロアアームユニットでそれぞれ30%ずつ削減している。また、減速器ユニットを内製化することでコスト低減を図っている。

(4) リードタイムの短縮

コモンプラットフォームのコンセプトを踏襲しており、2Wおよび3Wのレイアウトに幅広く対応することが可能である。具体的には、装置とのインタフェース部分であるハンド以外を標準化している。また、長納期品をすべて標準化することでリードタイムの短縮を実現している。

4 標準アプリケーションソフトウェア

半導体製造装置へロボットを導入するにあたっては、装置からの指令に応じてロボットを制御するためのアプリケーションソフトウェアを実装している。従来は、装置レイアウトや導入するロボットの種類に応じて、制御パラメータの調整を行っていた。そのため、装置稼動までに多くの時間と専門的な知識が必要であった。

そこで、これらの調整項目を不要とした標準アプリケーションソフトウェアを開発し、導入の容易性向上とリードタイムの削減を実現した。

(1) 装置レイアウトに応じた動作パスの検討および設計

当社が提供する半導体搬送ロボットでは、あらかじめ顧客装置のレイアウトに応じた教示位置の登録と動作パスの検討を実施し、それをアプリケーションソフトウェアに事前に組み込んだ状態で提供している。装置レイアウトに依存した項目をアプリケーションソフトウェアから独立させ、さらに容易に検討できるようにするためのツールとして「KRET (Kawasaki Robot Easy Teaching)」を開発した。

ロボット制御ソフトウェアに実装されているロボットのデータや、姿勢計算に必要な座標変換のロジックをKRETに実装することで、以下を実現している。

- ・レイアウト情報（教示位置、ロボット動作領域など）を簡単に登録可能
- ・搬送動作で使用するロボットの姿勢を、ハンド角度などパラメータを入力するだけで簡単に作成可能
- ・入力した情報は図3に示すような平面図として表示され、アニメーション機能で視覚的な動作確認が可能

「KRET」に登録した内容は、ロボットコントローラが読み込めるファイル形式で出力できるため、アプリケーションソフトウェアに組み込むための知識が不要である。このように、ロボット動作に必要なデータ作成の容易化および自動化を実現している。

(2) 直線動作区間の横ブレ自動補正

ロボットハンドを直線軌跡で動作させる場合、複数の軸を同時に制御するため、ハンドに横ブレが発生する。装置内でロボットが動作できる空間は非常に狭いため、干渉しないように横ブレを補正する必要がある。従来は、実際にロボットを動作させて横ブレを計測して、補正するためのパラメータを調整していた。これにはロボットおよび計測機器の設置、計測、調整に多くの時間が必要であった。また、横ブレはロボットの姿勢に依存するため、レイアウト変更などによって動作経路が変更される場合、パラメータを調整し直す必要があった。

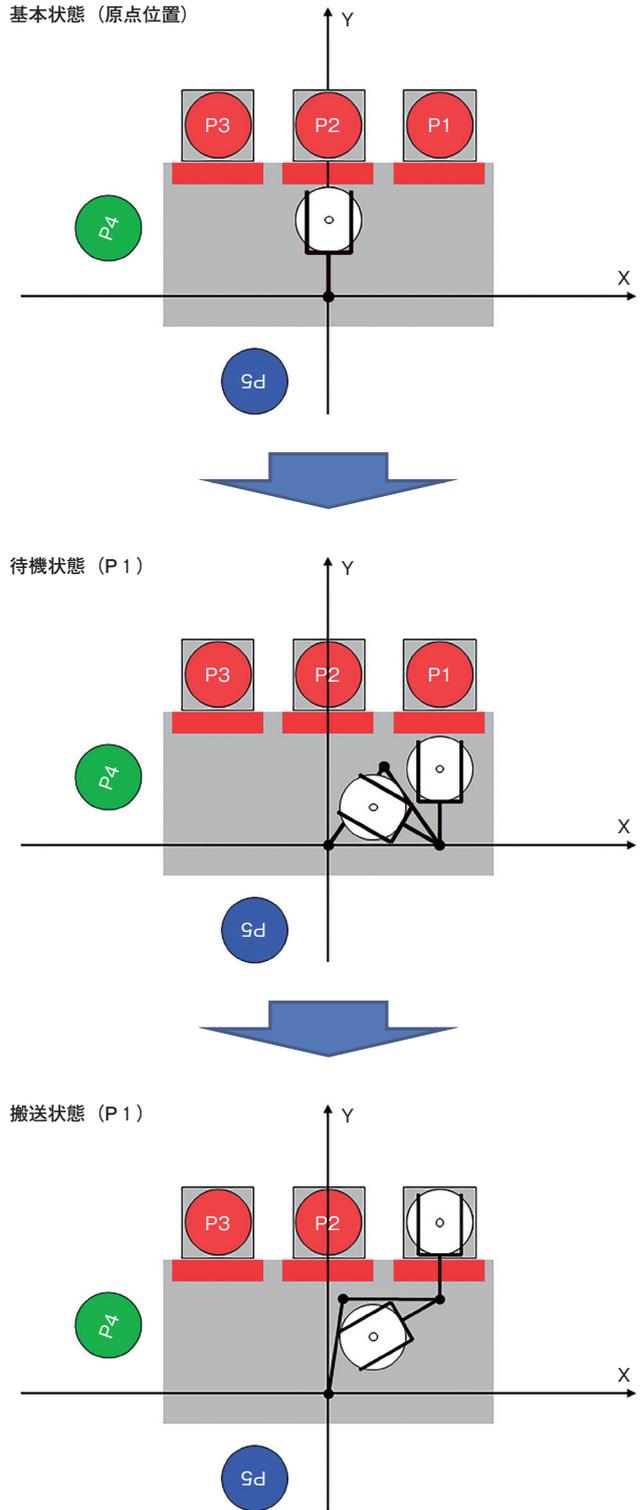


図3 「KRET」による動作確認のイメージ
Fig.3 KRET Operation check image

このため、この横ブレの補正を自動で行う仕組みを開発した。図4に示すように、動作中の姿勢、速度、加速度から導き出される慣性力、遠心力、コリオリ力を基に、動作に必要なトルクを動的に算出して個々のモータに与えることで横ブレを抑制している。

以上の自動化によって、作業者の熟練度によるばらつき

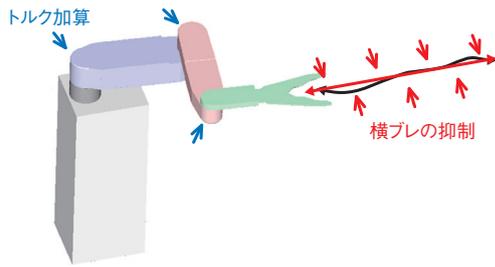


図4 横ブレ抑制イメージ
Fig. 4 Side motion correction image

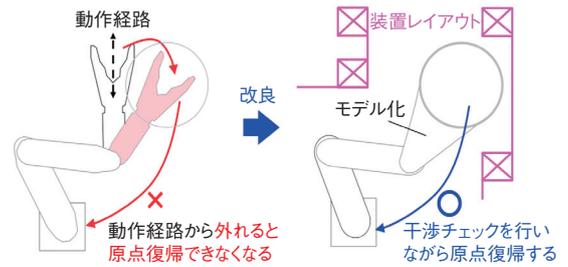


図5 原点復帰イメージ
Fig. 5 Conceptual image of homing

もなくなり、安定した品質の搬送機能を短時間で提供できるようになった。

(3) 原点復帰に関する調整項目の自動化

半導体製造装置はパーティクルの侵入を防ぐため、生産を開始した装置内には容易に人が立ち入れない。そのため、ロボットがなんらかの原因で停止した場合、装置からの指令に応じて、定められた原点位置に復帰動作を行えなければならない。これまでの当社の半導体搬送ロボットでは、復帰動作時に装置と干渉しないように、現在位置が搬送経路上であると判断できた場合に限り復帰動作を可能としていた。そのため、現在位置が搬送経路上であるかどうかを判断する基準の調整と確認が、案件ごとに必要であった。

そこで、ロボットおよび装置レイアウトをモデル化し、干渉を確認しながら自動で原点位置に復帰動作を行える機能を開発した。ロボットの外形モデルはあらかじめアプリケーションソフトウェアに実装し、装置レイアウトのモデルはKRETで登録したロボット動作領域の情報を使用している。図5に示すように、モデル化したロボットと装置レイアウトが干渉しないことを確認しながら、以下のように原点位置に向かって復帰動作が可能となった。

- ① 搬送時に経由するさまざまな姿勢の中から最寄りの姿勢を選択する。
- ② 最寄りの姿勢に直接動作してもモデル同士が干渉しない場合は、最寄りの姿勢に動作後、搬送経路に沿って原点位置に移動する。
- ③ 最寄りの姿勢へ直接動作すると干渉する場合は、干渉物の手前まで移動後、干渉物を避けながら最寄りの姿勢に向かう位置へ移動する。干渉物を避けて最寄りの姿勢に動作した後は、②と同様に搬送経路に沿って原点位置に移動する。

原点復帰を自動化することにより、現在位置が経路上であるかどうかを判断する基準の調整を不要とし、調整に伴う確認作業も不要とした。また、エリア判定であるため経路に依存せず、経路外の位置からであっても原点復帰動作が可能となった。

5 パッケージソフトウェア

先に紹介した「KRET」と標準化したアプリケーションソフトウェアを組み合わせたパッケージソフトウェアを開発した。同梱するターミナルソフトウェアを用いて、容易にアプリケーションソフトウェアや「KRET」での検討結果を、実際のロボットに適用できる。

このパッケージソフトウェアを顧客に提供することで、導入の容易性向上とリードタイムを短縮した。

また、ソフトウェアの専門的な技術が必要としないため新規顧客でも導入しやすく、装置ごとの調整が不要であるため短時間での提供が可能である。このようにKRETを使用することで、顧客自身でレイアウト検討することが可能となる。

あとがき

コモンプラットフォームに即したロボットのラインナップ拡充と標準アプリケーションソフトウェアによる簡易導入により、半導体装置に依存せず短時間でロボットシステムのセットアップが可能となった。今後も顧客のさまざまなニーズに沿った製品を短時間で提供できるよう、改良し続けていく。

参考文献

- 1) 後藤, 吉田, 井上, 在田, 芝田: “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」”, 川崎重工技報, No172, pp.18-23 (2012)



中矢 敦史



芝田 武士

業界最小・最軽量を実現した小型ロボット用新コントローラ「F60」

A New Controller for Compact Robots, F60, the Smallest and Lightest in the Industry



カワサキのロボットコントローラが新世代に突入する。当社は、小型ロボット用コントローラとして「F60」を開発した。本製品は、従来の「E7xシリーズ」に対して体積約77%減、質量約72%減を実現することで、業界において世界最小サイズ、最軽量を達成した。さらに最新のエレクトロニクス技術を活用することで、機能・性能面も大幅に向上させ、省エネ効果も高めた製品である。

まえがき

少子高齢化に伴う労働人口減少とともに特に昨今の小型ロボットは新分野への適用が増え、その役割は日々加速している。より人に近い存在・労働力として、今後さらなる高度な作業への適用や人との協働作業といった活躍の場が増えていくことが期待されている。

1 背景

当社の小型ロボットコントローラは、これまで汎用ロボット用の「E7xシリーズ」とクリーンロボット用の「D6xシリーズ」のまったく異なるプラットフォームの2機種がそれぞれの分野にて活躍してきた。しかしながら、これらのコントローラは市場投入後7年以上経過しており、サイズ面や機能・性能面において、さらなる向上が望まれている。今後小型ロボット市場で、新機能や新しいロボットの開発を加速化させるためにも、次世代の標準プラットフォームとして共通化することで開発のスピードアップを図りつつ、より魅力ある新製品を市場に投入していくことが必要である。

2 仕様

次世代の統一小型コントローラ「F60」の仕様を表1に示す。10kg可搬ロボットまでをカバーしており、今後クリーンロボットをはじめとして医療・医薬向けロボットなどへの幅広い用途も考慮している。さらに短納期での提供を実現するために世界共通としたユニバーサル仕様としている。

3 特長

(1) 業界最小・最軽量

従来のコントローラ設計の常識にとらわれず、機能見直しなどにより基板枚数を限界まで削減するとともに、筐体構造をアルミダイキャストと樹脂で構成して部品配置を最適化するなど、高い拡張性を保ちつつ小型化を追求した。その結果、従来の「E7xシリーズ」に対して体積約77%減（W300×D320×H130mm）、質量約72%減（8.3kg）を実現し、業界において最小サイズ・最軽量を達成した（図1）。これにより設置スペースも大幅に縮小可能で、一人でも楽に運搬でき、また多段積みすることもできる。

表1 「F60」の仕様
Table 1 Specification for F60

構造	標準：開放構造（部品追加にて密閉構造可能）	
サイズ（mm）	W300×D320×H130	
質量（kg）	標準：8.3（最大17）	
制御軸数	標準	6軸
	筐体内増設	（2軸）
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	標準：16点 （筐体内：+64点 [最大80点] リモートI/O含む追加可能数：+128点 [最大144点]）
通信機能	PC，ネットワーク通信	LAN：1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T×2ポート RS-232C×2ポート，USB2.0×3ポート
	フィールドバス	（CC-Link，DeviceNet，PROFIBUS，EtherCAT，EtherNet/IP，PROFINET等）
記憶容量	16MB	
補助記憶装置	（USBメモリ）	
電源仕様	AC200-230V ± 10%，1φ，50/60Hz	
設置環境	周囲温度：0-45℃ 相対湿度：35-85% 結露なきこと	

（ ）内はオプション

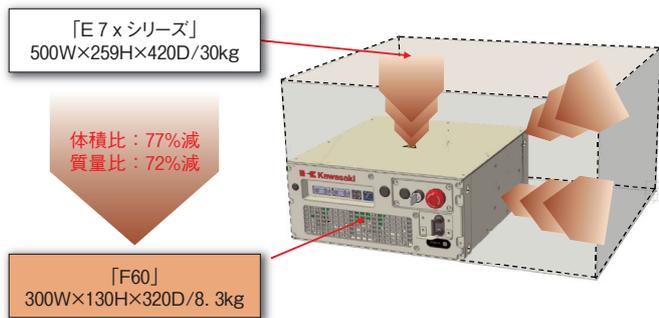


図1 従来コントローラとのサイズ比較
Fig. 1 Size comparison with conventional controller

(2) 省エネルギー

省電力の電子部品を採用することで制御回路の電力低減を図るとともに、ロボットから発生する回生エネルギーを吸収するためのコンデンサの容量を大きくすることで、従来比10%以上の電力低減を達成している*。

*「E7xコントローラ」+「RS010N」パレタイズ動作で比較

(3) 世界共通化・安全性能向上

従来の「E7xシリーズ」では、アジア向・欧州向・米国向といった地域ごとの安全規格にそれぞれ対応するために、コントローラの種類を分ける必要があった。「F60」では「機能安全技術」を用いた電子回路を駆使して安全回路を統一化することで、世界共通仕様を実現している。なお、「F60」の安全回路は機能安全規格IEC61508の「SIL 3」、ISO13849-1の「PL e/カテゴリ4」の安全認証を取得しており、従来シリーズよりも高い安全性能を誇る。さらにロボット動作監視安全ユニット「Cubic-S」（本号178号、PP.10-14参照）にも対応しており、小型ロボットをより安全・安心に使用できる。

(4) 拡張性・新機能

世界最小の小型化を実現しつつ、高い拡張性や新機能の充実化も配慮している。

(i) ネットワーク機能の強化

CPU能力を向上させ、インターフェースを強化したことで、より多くのネットワークや機器などへの接続容易化を図っている。従来からのフィールドバスはもちろんのこと、高速Ethernetへの対応やオプションでBluetoothインターフェースを搭載可能としたことで、GigEに対応したビジョンカメラやタブレットと簡単に接続できる。

(ii) 外部軸サーボアンプを2軸まで収納可能

筐体をアルミダイキャストとして筐体全体の放熱性をあげることで、最小限の大きさで2軸サーボアンプを内蔵できる。

(iii) リモートI/O機能の実装

従来、当社供給の汎用I/Oボードはコントローラ内部に搭載しており、多くの配線を外部に引き出して使用する必

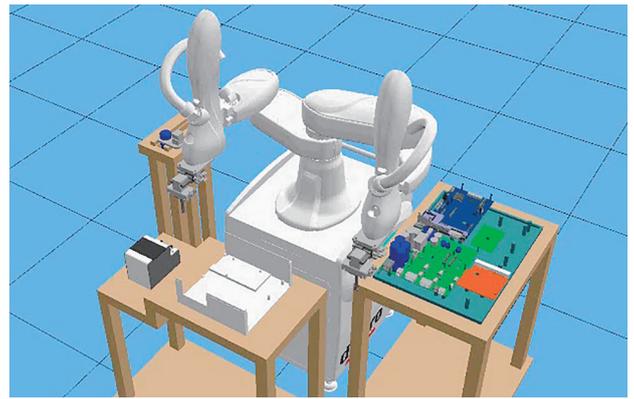


図2 人共存型双腕スカラロボット「duAro」による「F60」の組立イメージ
Fig. 2 Image of "F60" Assembly Using dual-arm SCARA cooperative robot "duAro"

要があった。「F60」では、ボードとのインターフェースをシリアル化することで、同じI/Oボードやアナログ出力ボードもコントローラ外部の離れた場所に省配線で容易に設置ができる。

4 ロボットにより組み立てるコントローラ

「F60」は、業界では初となる「ロボットで組立可能なロボットコントローラ」を目指し、組立やメンテナンスが容易な構造を開発コンセプトとしている。

(i) 当社製小型ロボットを用いて組立できるように、基板は下から積層していく構造としている（図2）。

(ii) ロボットで組立が困難な電機部品・ハーネス本数を極限まで削減している（従来の「E7xシリーズ」の約40本に対して4本）。

上記(i)(ii)を実現したことで、基板や電機部品・ハーネスといった部品点数を大幅に削減するとともに信頼性も向上させた。また、組立が容易化されることで、日本だけでなく海外での生産にも今後展開していく。

あとがき

今回開発した「F60」は2016年12月に販売開始し、カワサキの多くの小型ロボットと共に活躍している。今後は、本開発にて新たに蓄積・導入した技術を、小型機種だけでなくすべてのカワサキコントローラへと展開していく。

〔文責 精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター
技術総括部 開発部 田頭 毅〕

【問い合わせ先】

精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター
技術総括部 開発部
Tel. (078) 921-2029, Fax. (078) 924-3201

体験型ロボットショールーム「Kawasaki Robostage」

An Experience-based Robot Showroom, Kawasaki Robostage



東京・臨海副都心エリアのお台場に体験型ロボットショールーム「Kawasaki Robostage（カワサキロボステージ）」を2016年8月6日にオープンした。人共存型双腕スカラロボット「duAro」をはじめ、川崎重工のロボット製品を間近に見ることができる空間として、顧客だけでなく一般にも公開することで、当社ロボットの可能性を訴求している。

まえがき

当社はこれまで、国内外の営業・サービス拠点におけるデモ設備や、2014年10月に西神戸工場内に開設した国内最大規模のショールームを通じて、ロボットの導入を具体的に検討している顧客に提案してきた。

1 設立の背景

政府が「日本再興戦略」改訂2014において定めたロボット新戦略により、今後ロボットの活用と普及がさまざまな分野に広がりを見せていくと見込まれている。また、東京・お台場を日本の先進技術を世界に発信するためのショーケース化する構想があり、すでにトヨタ自動車やパナソニックが同エリアに一般向け施設を展開している。そこでは、自動運転車両走行や多言語翻訳ロボットをはじめとするロボット実証実験に向けた整備も政府主導で進んでいる。

こうした背景に加え、2020年東京オリンピック・パラリンピックやロボット国際競技大会（World Robot Summit）の開催も予定されている。このように世界中から注目が集まる東京・臨海副都心エリアにいち早く拠点を設けることで、当社のブランド価値向上を図ることとした。

2 コンセプト

「Kawasaki Robostage（カワサキロボステージ）」は、そのメインコンセプトとして「人とロボットの共存・協調の実現」を掲げている。来るロボット社会へ向けた人とロボットの新しい関係を予感させる場所として、展示を通じて当社のロボットの可能性を訴求するショールームとする。

3 「Kawasaki Robostage」の概要

「Kawasaki Robostage」はFCGビル（フジテレビ本社ビル）横に位置する高層ビル「トレードピアお台場」1階に位置している。グリーンを基調とした約132㎡のフロアの各壁面にスクリーンを配置しており、当社を紹介する映像などを映している。

館内では、人共存型双腕スカラロボット「duAro」や、溶接用ロボット「BX165N」、医療・医薬分野向けロボット「MS005N」および「MC004N」を展示している。これらロボットによるデモンストレーションやプログラム体験を通じて来館者に当社の産業用ロボットを知っていただくとともに、これから到来するロボット社会へ向けた知識を深めていただけるようにしている（図1）。

このように「Kawasaki Robostage」は、B to Bだけでなく広く一般の方々にもロボットへの理解を深めていただく空間を提供している。



図1 「Kawasaki Robostage」内観
Fig. 1 Inside view of the facility

4 展示内容

(1) 人共存型双腕スカラロボット「duAro」

「人と共存して作業するロボット」のコンセプトを持つ「duAro」を複数台展示しており、デモンストレーションやプログラミング体験などを提供している。

(i) デモンストレーション

基盤の組み立てや、ビジョンセンサと吸着ハンドを用いて寿司を握るなど、「duAro」の幅広い適用可能性をデモンストレーションしている。

(ii) プログラミング体験

タブレット端末を用いたダイレクトティーチング（人の手で直接ロボットのハンドを動かして行うロボット動作指示方法）を通じて、「duAro」が簡単に操作できることを体験できるようにしている。

(iii) 似顔絵コーナー

撮影した顔写真から輪郭線を抽出して似顔絵を描画する（図2）。完成した似顔絵はその場で来館者に手渡している。

(2) 溶接用ロボット「BX165N」

自動車ボディなどの溶接工程において高いシェアを誇る大型汎用ロボット「Bシリーズ」を展示している。車体溶接ラインの映像を映した大型モニターの両サイドに配置された2台の「BX165N」が、映像に合わせて自動車ボディ溶接のデモンストレーションを行っている。

(3) 医療・医薬分野向けロボット「MS005N」/「MC004N」

世界中で需要拡大が見込まれ注目を集める医療・医薬分野向けロボットとして、「MS005N」と「MC004N」を展示している。合計3台のロボットが協調しながら、ピーカーから試験管への分注作業のデモンストレーションを行っている（図3）。

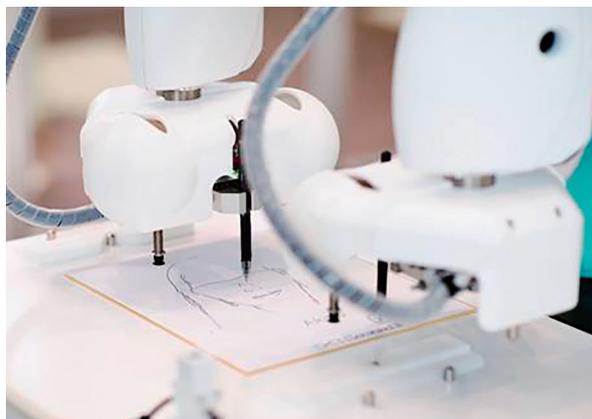


図2 似顔絵の描写の様子
Fig.2 Portrait drawing by duAro

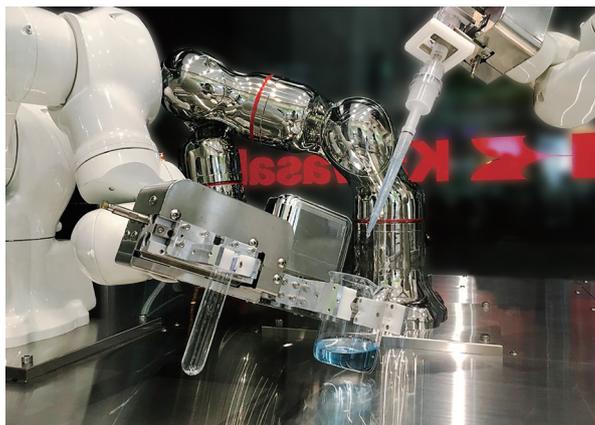


図3 分注作業デモンストレーション
Fig.3 Demonstration of drug dispensing

あ と が き

開館後、顧客だけでなく学生、官公庁、そして一般層に対してロボット技術の紹介やロボット製品以外のプレス発表など、当社のブランド訴求に貢献している。さらに本格化するロボット社会へ向けた情報発信基地として、より魅力的なショールームにしていく。

また、世界の工場とつながることでIoT（Internet of Things）の研究および実証ができる場所となることを目指して展示活動を行っていく。

〔文責 精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター
営業企画部 真田 知典〕

〔問い合わせ先〕

精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター
営業総括部 営業企画部
Tel. (03) 3435-2501, Fax. (03) 3437-9880

〔Kawasaki Robostage 営業情報〕

東京都港区台場 2-3-1 トレードピアお台場 1 階
営業時間
火・水・金：13:00～18:00
土・日・祝：10:00～18:00
休館日：月・木（祝日の場合は営業）
Tel. (03) 6457-2800
入場料：無料 ※展示内容は随時更新予定

特許 第3429475号

発明の名称：スポット接合方法およびスポット接合装置

発明者：加納 雄三，犬塚 雅之，中島 康雅，山下 政一郎，長尾 保栄

—低コストな接合を実現する革新的接合方法—

自動車や鉄道車両の車体は、省エネのため軽量化する必要があり、アルミニウム合金化が進んでいる。アルミニウム合金などの接手法として、従来から抵抗スポット溶接などが用いられているが、溶接電極の消耗やユーティリティ（水やエア）の追加などがあり、ランニングコストや品質管理に課題があった。また、抵抗スポット溶接は接合部に圧痕が残るため、車体外板への適用には品質面で課題があった。

本発明は図1に示すように、接合ツールを回転させながら移動させ、重ねたワークの所定の接合点にピンを押しつけて、摩擦熱でピン周囲のワークを加熱して軟化させてピンを挿入し、回転するピンで接合点付近のワークを攪拌して塑性流動域を形成し、ワークを接合点で一体化させた後でピンを引き抜くスポット接合方法および装置である。

アルミニウム合金に限らず、ステンレス鋼板、異種材料同士、および同種・異種を含めた3枚以上を重ね合わせたワーク、さらには3次元形状に成形された複数の材料を重ね合わせた面も接合することができる。また、抵抗スポット溶接法のように電流を流す必要がないので、合成樹脂を含んだワークの接合も可能である。

本発明により自動車や鉄道車両の車体に高い付加価値を与えることが可能となり、マツダ株式会社の自動車や鉄道車両の車体製造に適用されて我々の生活に浸透している。

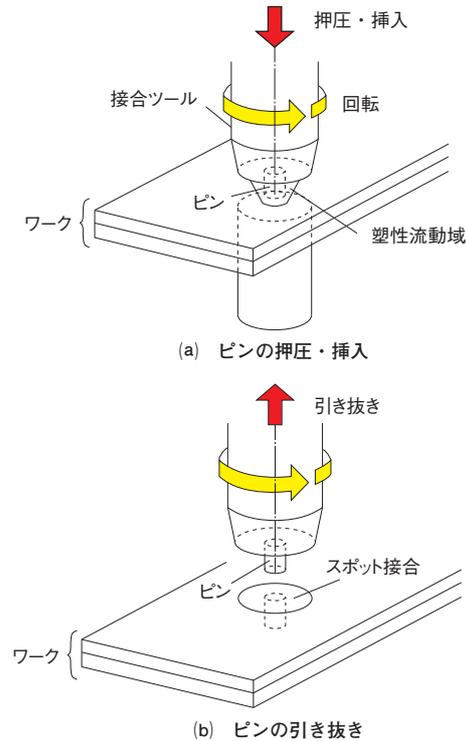


図1 ピンの回転による摩擦熱を利用するスポット接合方法

特許 第5491834号

発明の名称：エッジグリップ装置、及びそれを備えるロボット

発明者：橋本 康彦，吉田 俊明

—極限の基板搬送スピードを目指して—

技術の陳腐化が非常に早い半導体業界では、投資を早く回収するために生産速度が重視され、そこで使用されるクリーンロボットには、埃を出さないクリーンさとともに、搬送対象物である基板の搬送スピードが求められる。

基板を速く搬送するためには基板を落とさないようにしっかりと保持する必要があるが、強く保持しすぎて基板を損傷させてはいけない。そのため、図1に示すようにプッシャーで基板を把持して保持する場合、把持時の衝撃緩和のためにプッシャーにバネを内蔵することがあった。しかしバネを用いると振動が収まるまで次の動作に移ることができないため、基板搬送スピードが遅くなることが課題であった。

本発明では、低反発材など、振動が起りにくい緩衝材をバネの代わりにプッシャーに内蔵することで、基板の損傷を避けつつ高いプッシャーの押し力で基板を確実に保持し、しかもダンピング静定の待ち時間を削減することに成功した。さらに、プッシャーの押し力を高くすることでプッシャーの動作速度も向上した。また、緩衝材をガイド溝に閉じ込めることで埃の発生も抑えている。

本発明によるサイクルタイムの低減は、1回の基板保持動作あたりコマ数秒というオーダーであるが、短いサイクルタイムで大量生産しており、顧客にとっての価値は計り知れない。このように、顧客にとっての価値を見極めた上での提案力が当

社の持ち味であり、クリーンロボットのシェア50%獲得の原動力となっている。

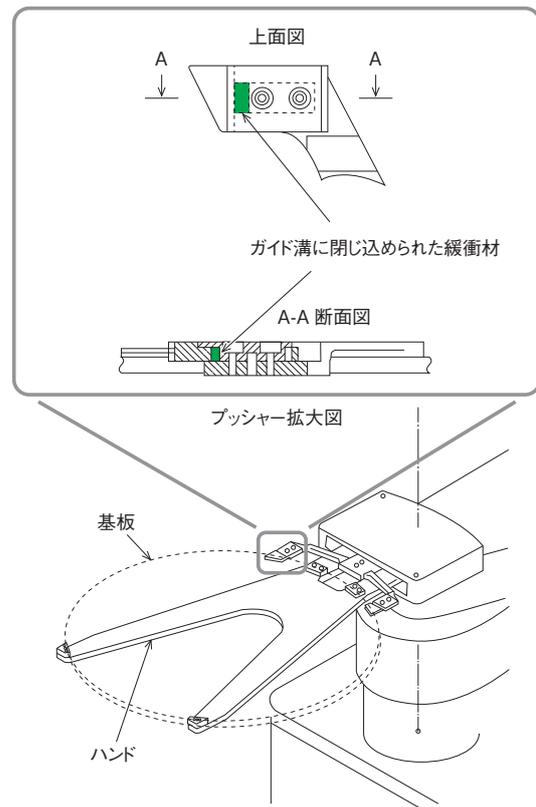


図1 振動が起りにくい緩衝材を内蔵したエッジグリップ装置

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 	神戸工場 坂出工場 南通中遠川崎船舶工程有限公司 (中国) 大連中遠川崎船舶工程有限公司 (中国)
車 両	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道車両, 新交通システム, 貨車 ・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. (アメリカ) Kawasaki Rail Car, Inc. (アメリカ)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ロータリー除雪車, 凍結防止剤散布車 ・軌道モーターカー, 重量物運搬車 	(株)日本除雪機製作所・本社工場 (株)日本除雪機製作所・曙工場
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (固定翼機/ヘリコプター), 誘導機器, 電子機器, 宇宙関連機器, シミュレータ 	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp, U.S.A. (アメリカ)
	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (部分品など), ロケット部分品, 宇宙機器, 標的システム, 海洋機器の製造 ・航空機整備・改造 	日本飛行機(株)・航空宇宙機器事業部 日本飛行機(株)・航空機整備事業部
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機用エンジン, 船用ガスタービンエンジン ・ガスタービン発電設備, コージェネレーションシステム, 他 	明石工場 西神工場
	<ul style="list-style-type: none"> ・陸用蒸気タービン, 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 (サイドスラスト, 旋回式スラストなど) ・各種空力機械 (天然ガス圧送設備, 送風機など) 	神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司 (中国)
	<ul style="list-style-type: none"> ・空調機器, 汎用ボイラ 	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, 化学, 搬送プラント) ・各種陸船用ボイラ (発電事業用ボイラ, 産業用ボイラなど) ・ごみ処理設備 ・各種低温貯蔵設備 (LNGタンク) ・シールド掘進機, トンネル掘削機 	播磨工場 上海中遠川崎重工鋼結構有限公司 (中国) 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司 (中国) 安徽海螺川崎裝備製造有限公司 (中国) 上海海螺川崎節能環保工程有限公司 (中国)
	<ul style="list-style-type: none"> ・破砕機, リサイクル用機器, 他 	(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"> ・モーターサイクル, ATV (四輪バギー車), レクリエーショナルユーティリティビークル, 多用途四輪車, パーソナルウォーターcraft「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. (アメリカ) Kawasaki Motores do Brasil Ltda. (ブラジル) India Kawasaki Motors Pvt. Ltd. (インド) Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd. (タイ) P.T. Kawasaki Motor Indonesia (インドネシア) Kawasaki Motors (Phils.) Corporation (フィリピン) 常州川崎光陽発動機有限公司 (中国)
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 ・医薬・医療ロボット 	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery (U.K.) Ltd. (イギリス) Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Limited (インド) 川崎精密機械 (蘇州) 有限公司 (中国) 川崎春暉精密機械 (浙江) 有限公司 (中国) 川崎 (重慶) 機器工程有限公司 (中国) Flutek, Ltd. (韓国)
	<ul style="list-style-type: none"> ・油圧プレス 	川崎油工 (株)

- 「duAro」, 「duAro」 ロゴ, 「K-CONNECT」, 「K-COMMIT」, 「Trend Manager」, 「KCONG」 ロゴ, 「ROSET」 は, 川崎重工業株式会社の登録商標です。
「Robostage」 は, 商標登録出願中です。

duAro Keong

- 「Medicaroid」 ロゴは, 株式会社メディカロイドの登録商標です。



- 本誌に記載されている社名, 商品名, サービス名などは, それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

-  **Kawasaki Green Product Promotion Activity**

Kawasakiグリーン製品は, 当社のグループミッション「世界の人々の豊かな生活と, 地球環境の未来に貢献する “Global Kawasaki”」の達成に向け, 製品の環境性能と生産過程での環境管理活動において当社が独自に定めた基準を満足する製品を, 「Kawasakiグリーン製品」, 「Kawasakiスーパーグリーン製品」として適合性評価を行い, 社内外に推進しているものです。

川崎重工技報 第178号

2017年8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 門田 浩次
発行人	技術開発本部 技術企画推進センター長 久保 貞夫
印刷	広島県広島市中区中島町9番6号 株式会社 秀巧堂クリエイト

禁無断転載

事業所・生産拠点・研究開発拠点

東京本社 (〒105-8315)	東京都港区海岸1丁目14番5号	☎(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
北海道支社 (〒060-0005)	北海道札幌市中央区北5条西2丁目5番 (JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)	☎(011)281-3500 Fax. (011)281-3507
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
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
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
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)	☎(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20番地3	☎(0567)68-5117 Fax. (0567)68-5161
名古屋第二工場 (〒490-1445)	愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4	☎(0567)68-5117 Fax. (0567)68-5161
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 (〒675-0180)	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

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
バンコク事務所	28th FL, Sathorn Square Office Tower, 98 North Sathorn Road Silom, Bangrak, Bangkok 10500	☎ 66-2-163-2839 Fax. 66-2-163-2841

現地法人事務所

Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.	6 Battery Road, #23-01, Singapore 049909	☎ 65-6225-5133 Fax. 65-6224-9029
Kawasaki Heavy Industries Management (Shanghai), Ltd.	10th Floor, Chong Hing Finance Center, 288 Nanjing Road West, Huangpu District, Shanghai 200003, People's Republic of China	☎ 86-21-3366-3100 Fax. 86-21-3366-3108
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.S.A.), Inc.	60 East 42nd Street, Suite 2501 New York, NY 10165, U.S.A.	☎ 1-917-475-1195 Fax. 1-917-475-1392
Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE	Dubai Airport Free Zone, Bldg. 6W, Block-A, Office No. 709, P.O. Box 54878, Dubai, U.A.E.	☎ 971-4-214-6730 Fax. 971-4-214-6729
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
Kawasaki Heavy Industries (India) Private Limited	5th Floor, Meridien Commercial Tower, Windsor Place, New Delhi 110001, India	☎ 91-11-4358-3531 Fax. 91-11-4358-3532
Kawasaki Heavy Industries Russia LLC	Office 1803 (18th floor), Entrance 3, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610, Moscow, Russian Federation	☎ 7-495-258-2115 Fax. 7-495-258-2116
Kawasaki Trading do Brasil Ltda.	Avenida Paulista, 542-6 Andar, Cj. 61D, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil	☎ 55-11-3266-2790 Fax. 5-11-3266-2853
Kawasaki Trading (Shanghai) Co., Ltd.	10th Floor, Chong Hing Finance Center 288 Nanjing Road West, Huangpu District, Shanghai 200003 People's Republic of China	☎ 86-21-3366-3700 Fax. 86-21-3366-3701
KHI (Dalian) Computer Technology Co., Ltd.	Room 205, International Software Service Center, Dalian Software Park, 18 Software Park Road, Dalian, People's Republic of China	☎ 86-411-84748270 Fax. 86-411-84748275

