

はやく・やさしく・緻密な動作を実現する ロボット制御・把持技術

Robot Control Techniques Providing Quick, Careful, and Secure Object Gripping Capability

平栗 一磨 HIRAGURI Kazuma 河合 宏文 KAWAI Hirofumi 中本 秀一 NAKAMOTO Hideichi

産業用ロボットの適用範囲は、製造現場での単純な組立作業などから物流・サービス分野など、多種多様な対象物を含む非定型作業へと拡大しつつある。このため、ベンダーが異なるロボットを自由に組み合わせて、ユーザー要求に従って様々な動作を実現できる自動化システムが求められている。

東芝は、様々なロボットを共通の命令で動作させるため、ベンダーごとに異なるロボットの設定手順や命令システムを、一般化された通信インターフェース(IF)で統一的に扱うことができるソフトウェアを開発した。また、“ものをつかむ”という動作に対して、吸着と挟持の二つの持ち方ができる複合把持機構や、荷物の質量によって把持方法を切り替える機構なども開発した。これらにより、“はやく”(早くかつ速く)、“やさしく”(優しくかつ易しく)、緻密な動作を実現する。

The range of application of industrial robots has been expanding in recent years from simple tasks at assembly lines to non-routine tasks involving the handling of various objects in a diverse array of fields including the logistics and service areas. Moreover, automation systems that can perform various actions to meet user needs through a combination of robots produced by different companies as required are now attracting attention.

With these trends as a background, Toshiba Corporation has developed a controller interface (I/F) software technique that makes it possible for robots having different types of setup procedures and command systems to operate in a unified manner by means of a generalized communication I/F. We have also developed the following mechanisms: (1) compound mechanisms by which an object can be either attached to or gripped as required, and (2) a robotic hand incorporating mechanisms that allow it to either attach to a lightweight object or support a heavy object from below according to the weight, thereby achieving quick, careful, and secure gripping of various objects using a robotic arm.

1. まえがき

国内の労働力人口が減少する中、労働力を確保するため、多くの産業分野でロボットの活用が進められている。製造現場でも、ロボットを活用した自動化が進められているが、従来は、単純な組立作業や、塗装、溶接などのような定型作業への活用が中心であった。一方、近年では、物流・サービス業への適用分野の拡大など、多種多様な対象物を含む、非定型作業の自動化に対する要求が高まっている。このため、産業用ロボットを自由に選択し、あるいは組み合わせ、ユーザーの求める様々な動きを実現できる仕組みが求められている。

東芝は、ロボットをCPS(サイバーフィジカルシステム)のエッジコンピューティング端末と位置付け、各ロボットシステムに最適化したソフトウェアプラットフォーム(ソフトウェアPF)の構築に取り組んでいる(この特集のp.16-19参照)。プラットフォームに様々な産業用ロボットをシームレスに接続するには、共通ソフトウェアが必要になる⁽¹⁾。当社は、ロボットベンダーごとに異なるロボットの設定手順や命令システムを包括し、一般化された通信IFを用いることで、異なるロボット

を同じように動かせる共通ソフトウェアの開発に取り組んでいる。また、ロボットアームでもものをつかむ課題に対して、ものを低負荷で確実に把持する機構の研究開発も進めている。

ここでは、緻密な動作による高い性能と制御命令の共通化による自動化コスト低減の両立を目指した制御・把持技術の開発の取り組みについて述べる。

2. 様々なロボットを共通の命令で動かす制御技術

2.1 仮想ロボットコントローラーとしてのコントローラーIF

産業用ロボットを用いた自動化システムは、作業要素ごとに分割した項目のスケジュール管理と状態認識を担う上位計画・認識系システム、及び上位系の指令を実行する下位実行系システムから成る。

当社は、上位計画・認識系システムをソフトウェアPF、下位実行系システムをコントローラーIFと定義し、システム要素ごとに開発を進めている。図1に、ソフトウェアPFとコントローラーIFの位置付けを示す。この2章では、ロボットオペレーティングシステム(ROS)やROS-Industrial(ROS-i)⁽²⁾などのオープンソースソフトウェア(OSS)ライブラリーを活用したコントローラーIF開発について述べる。

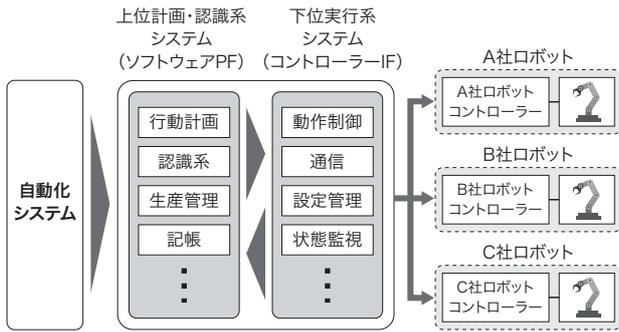


図1. ソフトウェアPFとコントローラーIFの位置付け

東芝が考える産業用ロボットを活用した自動化システムは、行動計画や認識系から構成されるソフトウェアPFと、実動作を制御するコントローラーIFで構成される。

Newly developed software consisting of software platform and controller I/F for automatic control of robots

2.2 コントローラーIFの開発

ROSで開発された軌跡制御技術や認識技術を産業用ロボットで活用するため、ROS-iコンソーシアムが主導して、産業用ロボットを対象としたOSSライブラリーの開発が行われている。このOSSライブラリーを用いることで、様々な産業用ロボットの制御が共通の通信IFで可能となる。しかし、このOSSライブラリーは、動作条件に対応できない産業用ロボットに適用できないことや、自動化システムに必要な機能が実装されていないことなど、使用には課題も多い。当社は、これらの課題を解決するため、汎用的な通信IFとして活用できる、産業用ロボット向けのコントローラーIFを開発した。

2.3 コントローラーIFの全体構成

コントローラーIFは、システム制御部と、移動制御部、状態配信制御部、通信制御部の四つの制御部から構成される(図2)。これら四つの制御部間の通信IFは、当社独自の共通IF仕様とした。

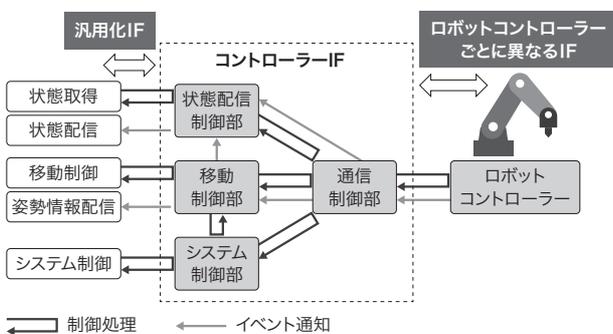


図2. コントローラーIFの制御ブロック図

四つの制御部から構成され、各制御部間の通信IFは、独自の共通IFとした。

Block diagram of controller I/F

システム制御部は、実際にロボットアームを動かすロボットコントローラー(実機コントローラー)の起動や、停止、終了などのシステム制御処理を行う。移動制御部は、ロボットアームの移動制御処理を行う。移動制御のIFは、ROS-iの仕様であるtrajectory_msgs::JointTrajectoryをベースに、力覚制御などのROS-iで規格化されていない機能を追加した。また、上位計画・認識系システムへのロボットアーム関節角情報の配信も、ROSの仕様であるsensor_msgs::JointStateを用いて移動制御部が行う。状態配信制御部は、ロボットアームの状態取得と上位計画・認識システムへの状態配信を行う。ロボットアームの状態配信では、ROS-iのindustrial_msgs::RobotStatus仕様に準拠するとともに、そのほかの詳細情報を付与した当社独自の仕様で配信・取得処理を行う。これらは、上位計画・認識システムから見て、システム制御部や、移動制御部、状態配信制御部が仮想的なロボットコントローラーとして機能し、各ロボットベンダーの制御コマンド仕様に依存しない、一般化された動作命令や制御命令(共通IFコマンド)を通信制御部とやり取りする仕組みを持つ。通信制御部は、実機コントローラーとの通信制御を行い、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)準拠のソケット通信機能を実装しており、各制御部から発行された共通IFコマンドを、実機コントローラーが解釈できる命令フォーマット(リクエストコマンド)に変換する。ここで、共通IFコマンドを変換することで、上位の3つの制御部からは、同じ命令で異なるロボットコントローラーを制御することが可能となる。ただし、共通IFコマンドに付与されたデータだけでは、ロボットベンダーが策定した動作命令を作成できない場合もある。その場合は、通信制御部が、付加情報を追加してリクエストコマンドに変換し、ソケット通信を介して実機コントローラーに送信する役割を担う。

2.4 コントローラーIFのパッケージ構成

コントローラーIFは、制御部ごとにROSのソフトウェア構成単位であるパッケージで構成されており、7個のパッケージから成る(図3)。システム制御部と、移動制御部、状態配信制御部には基本パッケージを用意し、ロボットコントローラーごとに追加・修正が必要となる機能や設定については、拡張パッケージで開発ができる構成とした。一方、通信制御部は、ロボットコントローラーごとに異なる制御コマンド仕様の変換処理を行うため、ロボットコントローラーごとに異なるパッケージとした。

2.5 滑らかな動作や力覚制御などの動作を実現するロボットコントローラー側の内製プログラム

コントローラーIFから発行されたリクエストコマンドは、実

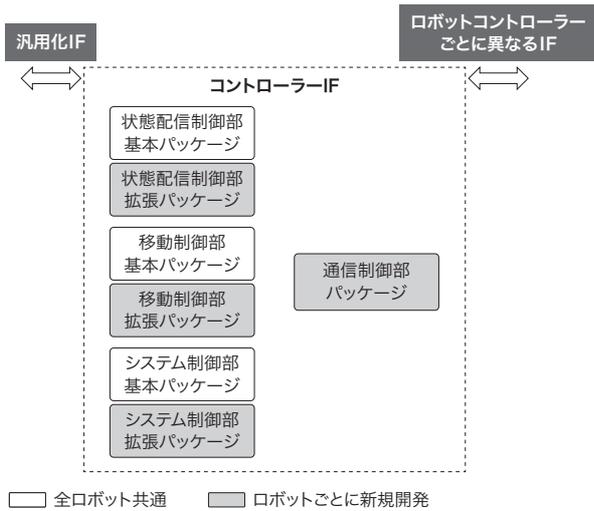


図3. コントローラー IFのパッケージ構成

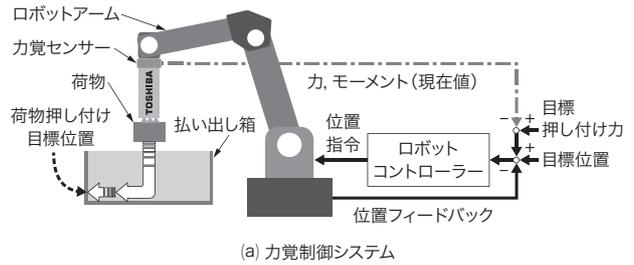
制御部ごとに、ROSのソフトウェア構成単位であるパッケージで構成され、追加・修正が必要となる機能や設定は、拡張パッケージで開発できる。

Configuration of controller I/F packages

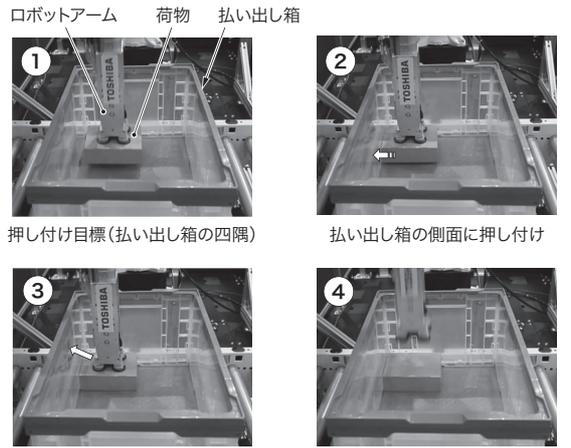
機コントローラーに送信され、リクエストコマンドを解釈する内製プログラムを介して動作に反映される。そこで、コントローラーIFから発行されたリクエストコマンドへの動作応答が、異なるロボットアームであっても同じ動きや制御内容になるように制御仕様を策定し、その制御仕様に沿って、ロボットメーカー各社の実機コントローラー向けに、当社独自の内製プログラムを作成した。この内製プログラムは、ロボットメーカーが用意した動作命令や演算命令などの制御コマンドを活用しつつ、独自の制御則⁽³⁾を実装することで、優しく動かす力覚制御のほかに、速く滑らかな動作などの特徴的な動作命令にも対応できる(図4)。例えば、荷詰め・荷出し作業では、そのときの状況によって変わる設置目標位置に素早く荷物を運び、高い充填率で詰めることが求められる。当社は、独自の制御則を実装した内製プログラムを開発し、これらの要求を解決している。

3. フレキシブルな把持技術

ロボットを製造業や物流業で活用する際には、ロボットアームをはやく、やさしく動かす制御のほかに、ものを適切につかむことも重要である。従来の自動化方法では、対象荷物ごとに最適な把持機構を設計していた。これは、ロボットアームに搬送させる荷物のサイズや、質量、形状などが既知である、少品種・大量生産型の自動化ラインで多く用いられた自動化手法の一つであった。これに対し、昨今では、少量・多品種対応によるセル生産化や、物流業での様々な荷物の人手運搬などへ、ロボットが対応することが求



(a) 力覚制御システム



(b) 箱詰め作業への応用

図4. 力覚制御による荷物の詰め込み制御

払い出し箱に隙間なく荷物を詰め込むため、独自の制御則による位置制御と力覚制御のフィードバック制御プログラムを実装している。

Control of container packing process using haptic control

められており、大小様々な荷物を適切に把持することが、ロボット活用での課題であった。当社は、ロボットアーム活用の一つである、ものを適切につかむ課題に対して、対象物を低負荷かつ確実に把持する機構を研究してきた。以下に、この詳細を述べる。

3.1 複合把持機構

図5に、様々な物体や商品を把持するために開発した複合把持機構を示す。これは、吸着と挟持の二つの持ち方ができ、吸着機構には首振り機構を設けてあり、様々な角度から物体を吸着できる。

また、細い棒状の物体や透気性のある物体など、吸着できないものを挟持用ハンドで挟んでつかむ、挟持機構も備えている。更に、把持の確実な検知や、物体を壊さない丁寧な把持を行うための接触検知機構も備えている。接触検知機構は、吸着時にパッドの変形を検知するセンサーと、挟持用ハンドにクッション性を持たせた伸縮機構、その伸縮量を検知するセンサーから成る。これにより、画像認識の誤差があっても、接触検知機構で物体位置を把握し、確実に把持できる。

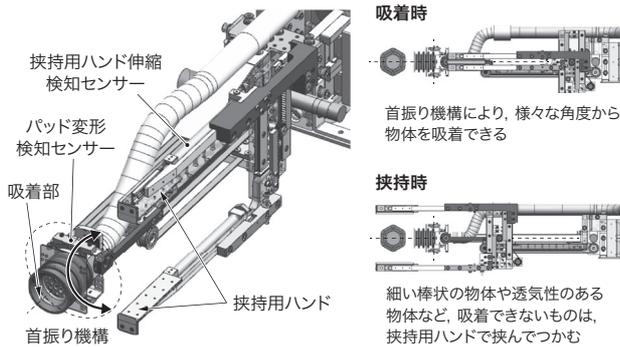


図5. 様々な物体を把持する複合把持機構

吸着と挟持の把持方法の一つにまとめた複合把持機構である。吸着で把持する吸着機構のほか、細い棒状の物体や透気性のある物体など、吸着できないものを挟持用ハンドで挟んでつかむ挟持機構も備えている。

Compound mechanisms for attaching to or gripping various objects

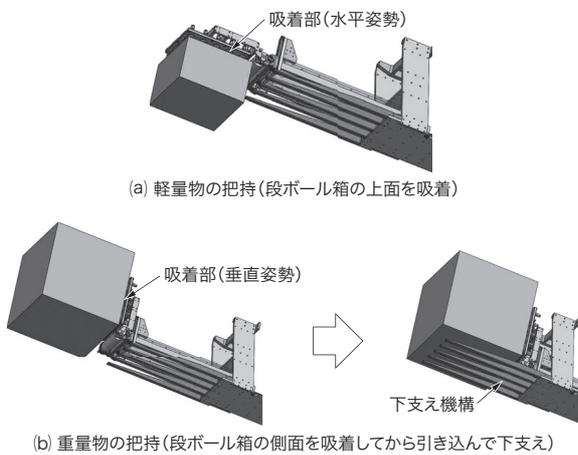


図6. 段ボール箱荷降ろし用吸着及び下支え把持機構搭載ハンド

軽量物の場合は、段ボール箱の上面を吸着して高速に処理し、重量物の場合は、段ボール箱の側面を吸着して引き込みながら、下支え機構に載せて安定に把持する。

Robotic hand incorporating mechanisms for unloading both lightweight and heavy cardboard boxes

3.2 段ボール箱の把持機構

図6に段ボール箱を荷降ろしするロボットのために開発した、吸着及び下支え把持機構搭載ハンドを示す。段ボール箱の荷降ろしでは、大小様々なサイズや質量のものを高速かつ確実に把持しなければならない。そこで、軽量物の場合は、段ボール箱の上面を吸着する機構で高速に処理し、重量物の場合は、段ボール箱の側面を吸着して、下支えする把持機構を考案した。この動作を実現するために、吸着部は、能動的に回転、並進させて二つの把持モードを切り替えられる機構になっている。製造業や物流業で産業用ロボットを活用するには、様々な物体に対し、はやく、やさしく、確実に把持できるロボットハンドが求められている。エン

ドユーザーからは、作業レベル、あるいはそれ以上の搬送処理スペックが要求されており、この技術開発では、搬送処理能力の更なる性能向上が見込まれる。しかし、その一方で、エンドユーザーが求める要求仕様も多様化していく傾向にあり、多くの技術的課題を克服しなければならない。これらのハードルは、機構・センシング・制御技術を融合した研究領域であり、更なる技術開発を進めていく。

4. あとがき

計画・認識・軌道生成などを担う上位のソフトウェアPFに異なる産業用ロボットを接続できる、汎用的なコントローラIFを開発した。これをCPSで構成された自動化システムに活用することによって、様々なベンダーのロボットで、共通の制御コマンドによる同じ動きを実現した。また、優しく動かす力覚制御や速く滑らかな動作など、特徴的な動作を実現する制御則をロボットコントローラ側の内製プログラムに実装し、共通の制御コマンドにひも付けることで、当社独自のロボット制御を可能にした。更に、ロボットを製造業や物流業で活用するために研究中の把持機構についても述べた。これらの技術と、当社のロボットソフトウェアPFで、はやく、やさしく、緻密な動きを実現できる。

今後は、更なる性能向上を目指し、製品開発を加速することで、製造業や物流業の自動化に貢献していく。

文献

- (1) 江原浩二, ほか. 物流向けロボットプラットフォームのオープンソースを活用した短期開発. 東芝レビュー. 2018, 73, 1, p.67-71. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2018/01/73_01pdf/f08.pdf>, (参照 2019-03-22).
- (2) ROS-Industrial. "ROS Industrial consortium". ROS-Industrial. <<https://rosindustrial.org/ric>>, (accessed 2019-03-25).
- (3) 大賀淳一郎, ほか. 産業用ロボットアームの動力学モデルに基づいたセンサレス力制御. 東芝レビュー. 2011, 66, 5, p.38-41.



平栗 一磨 HIRAGURI Kazuma
研究開発本部 生産技術センター
メカトロソリューション推進部
応用物理学会会員
Mechatronics Engineering Solution Div.



河合 宏文 KAWAI Hirofumi
研究開発本部 研究開発センター
メディア AI ラボラトリー
Media AI Lab.



中本 秀一 NAKAMOTO Hideichi, Ph.D.
研究開発本部 研究開発センター
機械システムラボラトリー 博士(工学)
日本機械学会・日本ロボット学会・日本設計工学会会員
Mechanical Systems Lab.