

## 効率的なロボット開発を実現する ソフトウェアプラットフォーム

Software Platforms Supporting Efficient Development of Various Types of Robot Systems

平山 紀之 HIRAYAMA Noriyuki 澤 和秀 SAWA Kazuhide 野口 恵古 NOGUCHI Keiko

自動化や省人化を目的として様々な分野でロボットの導入が進み、ニーズの多様化に対応して多種多様なロボットシステムを、短期間に低コストで開発することが求められている。効率的なシステム開発には、ソフトウェアプラットフォームの構築が不可欠である。

東芝グループは、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、ロボット共通のリファレンスアーキテクチャーを定義した。OSS（オープンソースソフトウェア）のROS（Robot Operating System）を最大限に活用しながら独自に開発した機能を加えることで、ピッキングロボット及び自律型移動ロボットのシステムを最適化する、それぞれのソフトウェアプラットフォームを構築した。

The introduction of robots in various fields for automation and labor saving continues to progress, making it necessary to supply various types of robot systems to individual customers swiftly and at lower cost in order to meet their diversifying requirements. There is consequently an increasing need for the construction of software platforms to support the efficient development of software for robot systems.

As part of its efforts in the development of robots positioned as key edge computing devices in cyber-physical systems (CPS), the Toshiba Group has defined a reference architecture common to robot systems. By not only making best use of the Robot Operating System (ROS) as an open-source software framework but also effectively utilizing our proprietary functions for robot applications, we have developed optimal software platforms for picking robots and autonomous mobile robots, respectively.

### 1. まえがき

製造現場では、以前から産業用ロボットを用いた定型業務の自動化が行われていた。これに対し、物流・流通分野では、多種多様な商品を扱う必要があり、ロボットが非定型業務を行うことは難しいため、余り自動化が進んでいなかった。

自動化システムを構成するロボットには、物流分野では、ピッキングロボットや、荷積み・荷降ろしロボット、台車搬送ロボットなどがあり（図1）、流通分野では、店舗内の棚監視ロボットや品出しロボットなどのように、ニーズが多岐にわたる。したがって、これらのロボットを個別に一から開発していると、開発コストが増大し、ロボットの積極的な活用が進まないことが懸念される。

そこで、近年ロボットの研究開発分野では、OSSであるROSが登場し、研究成果を検証するためのプラットフォームとして積極的に活用されている。生活支援ロボットなどの非産業分野では、ROSが搭載された製品が市場に展開されつつあり、RIC（ROS-Industrial Consortium）<sup>(1)</sup>により産業用ロボットへの適用に向けた取り組みが行われている。

東芝グループは、国立研究開発法人 新エネルギー・産

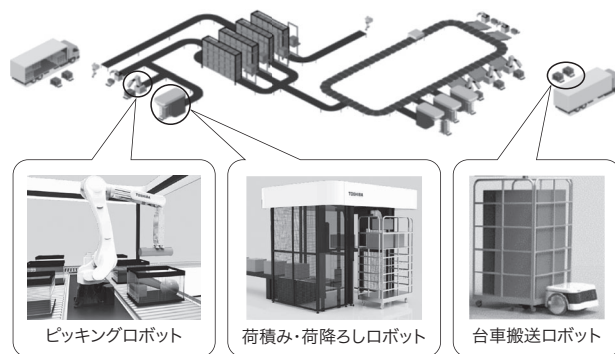


図1. 物流自動化システムを構成するロボット

多様な顧客ニーズに応えるため、ピッキングロボットや、荷積み・荷降ろしロボット、台車搬送ロボットなど、複数種類のロボットから構成される。

Multiple types of robots for logistics automation system

業技術総合開発機構（NEDO）が推進している「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」などへの参画を通して、物流・流通・製造分野向けロボットシステムのプラットフォーム化を推進してきた。ロボットをCPSのエッジコンピューティング端末と位置付け、図2のような東芝ロボットリファレンスアーキテクチャーを定義した。そして、ROSを十

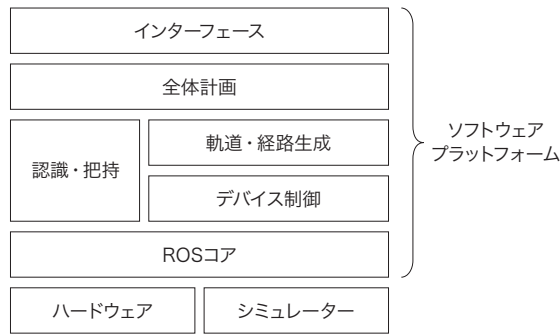


図2. 東芝ロボットリファレンスアーキテクチャー

ロボット共通のリファレンスアーキテクチャーを定義した。ROSを最大限に活用し、個々のロボットへの要求に合わせてシステムを最適化することで、短時間で効率良く開発できる。

Reference architecture common to robot systems developed by Toshiba

分に生かし、各ロボットシステムに合わせてプラットフォームを最適化した。

ここでは、ピッキングロボット及び自律型移動ロボット<sup>(注1)</sup>について、ソフトウェアプラットフォーム開発の概要を述べる。

## 2. ピッキングロボット向けプラットフォーム

自動倉庫と連携し、産業用の6軸ロボットアームを用いて商品をピックアップする作業を自動で行うピッキングロボットをターゲットとして、プラットフォームを開発した。

製造現場などの定型業務を自動化する場合は、事前にティーチングと呼ばれる操作によって決められた作業を覚えさせてそれを繰り返す、ティーチングプレイバック方式を用いることができる。しかし、多種多様な商品を扱う非定型業務の場合は、商品の種類とその扱い方の組み合わせが多いため、全てについてティーチング操作で覚えさせることは膨大なコストと手間が掛かり、現実的ではない。そのため、高度な認識技術と軌道生成・制御技術を組み合わせることで、事前のティーチング操作なしで非定型業務のピッキング作業を自動化するシステムを構築する必要がある。

ROSには、ピッキングロボットシステムのベースとなる動作計画や、データ視覚化のための有用なアプリケーションパッケージが多数ある。そこで、これらを最大限に活用しながら、不足機能や差異化機能を追加して、ソフトウェアプラットフォームを構築した。

### 2.1 ピッキング作業の流れ

ピッキングロボットシステムは、オーダー情報（自動倉庫の払い出しコンテナからピックアップする商品と数量を指定

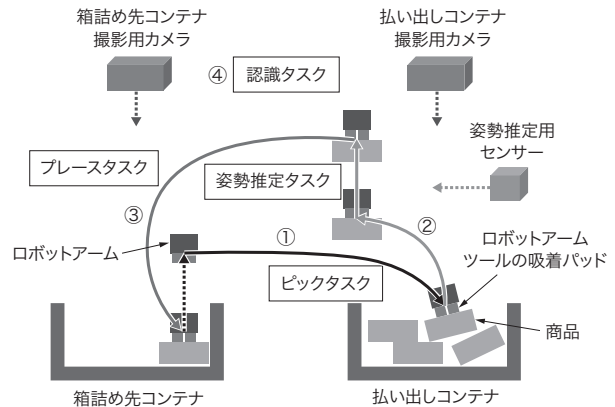


図3. ピッキング作業の流れ

自動倉庫からの払い出しコンテナの中を認識し、オーダー情報に従って商品をピックアップし、箱詰め先コンテナに隙間なく整然と詰めていく。これらの一連の作業を構成する動作ごとに、タスクを定義した。

Flow of picking tasks based on order information

する情報)を受け取り、ピッキング作業を開始する。ピッキング作業の流れを図3に示す。コンテナ内は、仕切りがあったり、商品がばら積み状態で置かれていたりするが、撮影用カメラの映像で状態を認識することで、吸着把持しやすい平面又は曲面を探して最適なツールと吸着パッドを選択し、商品を取り出す。取り出した商品の把持姿勢を推定することで、箱詰め先のコンテナの充填(じゅうてん)率が高くなる最適な箱詰めを計画し、力覚制御により隙間なく整然と詰める。これらの作業をオーダー情報によって指定された回数だけ繰り返す。

### 2.2 プラットフォームの構築

ピッキングロボットのレイアウトやハードウェア構成は、設置場所や、扱う商品、連携させる機器などに合わせてカスタマイズが必要になる。ソフトウェア構成は、開発効率の向上の観点から少ない工数でカスタマイズできるように、ROSのアプリケーションパッケージやノードの単位でモジュール化し、独立性及び交換可能性を高める方針で設計を進めた。

図3に示すピッキング作業の流れに注目し、四つのタスクに分類した。①ピッキングタスクは、把持軌道を計画して把持するまでの動作である。②姿勢推定タスクは、把持した状態の商品の姿勢を、姿勢推定センサーの前を通過させながら推定する動作である。③プレースタスクは、姿勢推定結果を用いて箱詰めする位置や、姿勢、軌道を計画し、箱詰めするまでの動作である。④認識タスクは、ロボットアームの動作と並行して自律的に把持対象物や箱詰めする箱の状態を、撮影画像を基に認識する。

これらのタスクを、用途に応じて交換可能となるように、ROSのアプリケーションパッケージを活用して、独立させて

(注1) 台車搬送ロボットや棚監視ロボットなど、路面上を自在に移動できるロボットの総称。

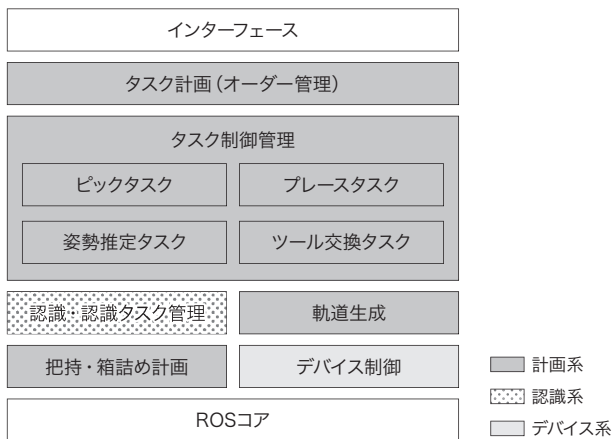


図4. ピッキングロボット向けソフトウェアプラットフォーム

ソフトウェアプラットフォームの構成要素は、計画系（タスク計画、タスク制御管理、軌道生成、把持・箱詰め計画）、認識系（認識・認識タスク管理）、デバイス系（デバイス制御）に大別される。

Software platform for picking robots

定義した。そのほかに、タスクを実行するために必要なアプリケーションパッケージを独自開発し、ソフトウェアプラットフォームとして構成したものを図4に示す。

大きく分けて、計画系、認識系、及びデバイス系の三つのアプリケーションパッケージから構成される。計画系は、オーダー情報に基づいてピッキング作業を行うための作業手順やロボットの動作を決定し、デバイス系に指示を出す役割を持つ。認識系は、コンテナや商品の認識や、把持姿勢の推定などを行う役割を持つ。デバイス系は、ロボットアームや周辺装置などのハードウェアを制御する役割を持つ。デバイスの一つであるロボットアーム制御に関しては、汎用的な通信インターフェースとしてコントローラーインターフェースが定義されている（この特集のp.12-15参照）。

ROSのアプリケーションパッケージとの組み合わせを考慮して、独自開発のアプリケーションパッケージを構成したことで、ROSのアプリケーションパッケージを最大限に活用し、短時間で非定型業務のピッキング作業を自動化するシステムを構築することができた。また、ピッキング作業の流れに注目してタスクを分類し、分類ごとにアプリケーションパッケージを設定する構成にしたことで、作業の追加や削除といった流れのカスタマイズが容易にできるようになった。

### 3. 自律型移動ロボット向けプラットフォーム

東芝グループは、これまで、製造現場へAGV（無人搬送車）を導入してきた。AGVは、床に付けたマーキングを認識し、あらかじめ決められた経路を走行することが特徴であり、その経路上で台車などを移動させる。しかし、レイア

ウト変更が頻繁に必要な環境や、経路上に障害物が置かれた環境では、経路や走行制御を柔軟に変更することができないため、不向きであった。

このような用途では、周囲の状況を認識して経路を生成し、障害物を避けながら目的地まで移動する自律型移動ロボットが必要となる。例えば、物流分野や製造分野では、かご台車を搬送する台車搬送ロボットとして、流通分野では、店舗内の棚監視を行う棚監視ロボットとして活用できる。そこで、様々な自律型移動ロボットの実用化に向けたソフトウェアプラットフォームを構築した。

#### 3.1. 台車搬送ロボットの動作

自律型移動ロボットの基本機能は、あらかじめ記憶している地図情報を基に、地図上の目的地までの経路を生成し、障害物を避けながら速度を制御し、目的地まで移動を行うことである。この機能を、大局的自律移動と呼ぶ。

自律型移動ロボットの一つである台車搬送ロボットは、かご台車を搬送するタスクを実現するため、かご台車へ自律的にドッキングする機能が必要である。しかし、大局的自律移動では、かご台車自体も障害物とみなすため、近づくことができない。そこで、かご台車の位置を正確に把握し、かご台車の下に潜り込んでかご台車を持ち上げる機能が必要となる。このように特定の対象物に近づく機能を、局所的自律移動と呼ぶ。

図5に示すように、かご台車ピックアップエリアにあるかご台車を、ドロップオフエリアまで搬送するタスクを実現する場合を考える。台車搬送ロボットは、まず、大局的自律移動によりかご台車ピックアップエリアのかご台車付近まで移

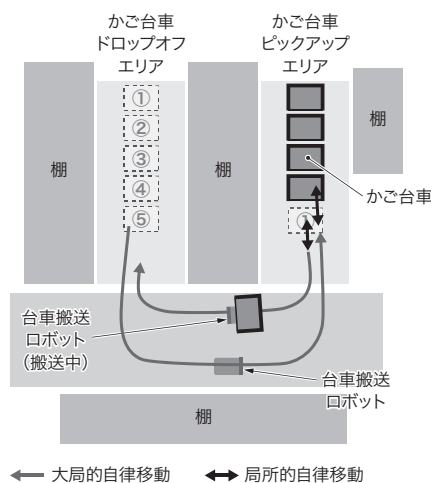


図5. 台車搬送ロボットの動作イメージ

大局的自律移動と局所的自律移動を組み合わせることで、かご台車の搬送を実現する。

Movements of autonomous mobile robots to transport roll box pallets

動する。次に、局所的自律移動によりかご台車の下に潜り込んでかご台車を持ち上げ、大局的自律移動によりかご台車ドロップオフエリアまで移動する。最後に、局所的自律移動によりかご台車を下ろし、離れる。このような一連の動作により、かご台車の搬送を実現できる。

### 3.2. プラットフォームの構築

自律型移動ロボットの機能は、図6に示すように、大局的自律移動機能と局所的自律移動機能から構成される。

大局的自律移動機能は、事前に走行環境の地図を生成するための地図生成機能、自律移動時に、2次元距離センサーで環境を認識して地図上の自己位置を推定する自己位置推定機能、地図上の目的地までの経路を生成する経路生成機能、及び速度制限や加速度制限を守りながら障害物の回避を考慮した速度指示を行う速度制御機能から構成される。これらの機能は全て、OSSであるROSのアプリケーションパッケージを活用して実現した。数多くあるアプリケーションパッケージの中から、システムで使用する各種ハードウェアやユーザーニーズに適したものを選定し、チューニングが必要なパラメーターを明確にした上で最適化した。

また、局所的自律移動機能は、対象物を認識する対象物認識機能、対象物に近づく経路生成機能、及び速度制御機能から構成される。局所的自律移動の対象物には、例えば充電ステーションがあり、充電ステーションへ接近して自動的に充電を開始することも可能になる。このように、様々な装置に接近できるようになる局所的自律移動機能は、独自開発のアプリケーションパッケージで構成した。

このように、ROSのOSSを最大限に活用した上で、独自開発の機能を加え、様々なハードウェアやユーザーニーズに対応できる自律型移動ロボット用ソフトウェアプラットフォームを構築した。

このソフトウェアプラットフォームを利用して、棚監視ロボットを開発した。このロボットは、自律型移動ロボットの上に、棚の状態を撮影するカメラを搭載した構成である。ソフトウェアプラットフォームを活用することで、棚の状態を撮影する追加機能に注力し、短期間に効率良く開発できた。また、これを通して、ソフトウェアプラットフォームの活用効果が確認できた。

### 4. あとがき

ROSを最大限に活用することで、各種ロボット製品に適したソフトウェアプラットフォームを構築した。

ロボットは、CPSのエッジコンピューティング端末と位置付けられており、ロボット同士を連携させることで、ロボット単体では実現できなかった新たな価値を創出することが期待される。今後は、フィジカル空間で強みを発揮するとともに、多種多様なロボット同士がサイバー空間を介して連携できるソフトウェアプラットフォームを開発していく。

この研究の成果の一部は、NEDOの委託事業「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」で得られたものである。

### 文献

- (1) ROS-Industrial. "ROS Industrial consortium". ROS-Industrial. <<https://rosindustrial.org/ric>>, (accessed 2019-03-25).

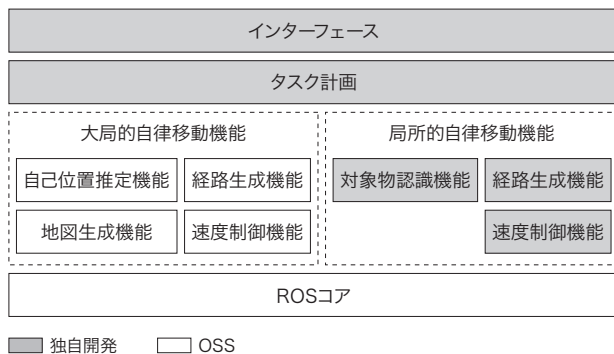


図6. 自律型移動ロボットのソフトウェアプラットフォーム

自律型移動ロボットの機能は、大局的自律移動と局所的自律移動から構成される。

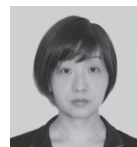
Software platform for autonomous mobile robots



平山 紀之 HIRAYAMA Noriyuki  
 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.



澤 和秀 SAWA Kazuhide  
 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  
 映像情報メディア学会・日本ロボット学会会員  
 Media AI Lab.



野口 恵古 NOGUCHI Keiko  
 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.