

## 実用技術紹介

### 全軸にトルクセンサを備えたロボットアーム

坂本 義弘\* 松尾 雄希\* 高木 崇光\* 岡 弘之\*  
小口 陽平\*

(\*東京ロボティクス株式会社)

#### 1. はじめに

近年、人の近くで安全にタスクをこなせる協働ロボットが注目されている。リスクアセスメントによって安全柵を不要にすることで、工場設備の簡易化や段取り替えの容易化、中小規模の狭い工場での運用などが大きなメリットとなっている。また、飲食店のフロントにて直接サービスを提供するような試みも始まっている [1] [2]。こうした流れにおいて次に取り組むべき課題として、ロボットを自立的に移動させ、より幅広いタスクを実現するモバイルマニピュレータが位置付けられている。安全柵が不要なら、ロボット自体を動かしてしまおうという発想である。このことは、自己位置推定やパスプランニング、物体認識などの知的な機能も必要になることを意味し、深層学習から始まる AI ブームの後押しもあり、ロボットの知能化は学术界を超えたホットトピックとなっている。経済産業省が主催するワールドロボットサミットにおけるフューチャーコンビニエンスストアチャレンジ [3] などは、このような動勢を象徴するものと言える。

一方で、ロボットに力制御（インピーダンス制御やアドミッタンス制御、做い動作を含む広義の力制御）を実装し、工場等の生産ラインにおいて位置制御ベースのロボットでこれまで難しかった作業（はめ込みや研磨等）を実現しようという動きは古くからあり、一部製品化もされている。しかし、ロボットの関節トルクセンサと関節トルク制御を活用した力制御の例は少なく、何がどこまでできるのか明確になっていない。さらに機能安全への応用や機械学習との連携まで含めると、研究の裾野が大きく広がると考えられる。

本稿で紹介する全軸にトルクセンサを備えたロボットアーム「Torobo Arm」は、上述した研究課題に取り組む研究者のニーズを満たすために弊社が製造・販売しているものである。

#### 2. Torobo Arm

##### 2.1 概要

Torobo Arm の本体とコントローラの外観をそれぞれ図 1、図 2 に示す。本ロボットは 7 軸の垂直多関節アームであり、一般的な産業用アームと同等の基本性能（剛性・繰り返し位置精度・サイズ対可搬重量）を持ちながら、産業用アームにはない以下の特徴を有することで、ロボット研究を強力にサポートすることができる。



図 1 Torobo Arm の外観



図 2 ロボットコントローラ

- ① 全関節トルクセンサ装備
- ② 制御ソースコード（サーボ・UI）の提供
- ③ 小型・軽量のサーボコントローラ
- ④ 直流 24 [V] 駆動
- ⑤ 外部システムとの連携

まず①の特徴により、関節単位のトルク検知とトルクフィードバック制御が可能になり、先に述べたような力制御の産業応用や機能安全の研究、機械学習との連携だけでなく、人間・ロボットインタラクションやバイラテラル制御、電流ベース外乱オブザーバの設計などにも活用できる。②の特徴に関しては、一般的な産業用ロボットアームではブラックボックスとなっている部分であるが、本ロボットでは、低レベルのサーボコントローラから高レベルなユーザインタフェース (UI) までソースコードを提供することで、研究者が自由に動作を作り込めるようになっている。③および④の特徴に関しては、200 [V] 電源の敷設や設置場所の確保が不要で、研究室内で使いやすいものとなっている。また、バッテリー駆動の移動ロボットに組み込むことも容易であるため、モバイルマニピュレータの研究開発にも利用することができる。⑤に関しては、本アームの PC 制御ソフトウェアは標準的なロボット用ミドルウェアである ROS に準拠しているため、その他のロボットシステムと容易に連携が可能となっている。

##### 2.2 技術のポイント

申請技術であるロボットアームは、構造部材の機械加工と一部の要素部品の調達を除き、基本的に自社内で機械系

から電気系、ソフトウェアの開発を統合的に行っている。このような統合設計によって、アーム関節内への機械系部品とセンサ・制御系部品の高密度な実装を可能にしている。

まず、モータとして、コイルと磁性体が分離しているインナーロータ型フレームレスモータを使用している。コイルを筐体に密着させることで熱を筐体に逃がすことができ、大電流を流せるため、サイズに対し高出力を実現することができる。これにより、世の中の同等サイズの高品質アームと同レベルの可搬重量 (6 [kg]) を実現している。

減速機としては、静音とノンバックラッシュを目的にハーモニックドライブギアを用いている。産業用ロボットの品質指標の一つである繰り返し位置精度は、一般的に 0.02~0.1 [mm] であり、本ロボットの場合 0.05 [mm] であることから十分な性能を達成している。

センサに関しては、制御性能と研究における利便性の向上のため、他社製品と比較し充実を図っている。まず、エンコーダ (角度センサ) はモータに取り付けたものと出力軸に取り付けたものの2種類を使用し、前者はモータのコイルに電流を流す際のタイミング制御とリンクの速度制御に、後者はリンクの位置制御に用いている。出力側エンコーダによって絶対姿勢が取得できるため、ロボットの起動時に初期化の必要がなく、また、自重等でたわんだ後の姿勢が取得できることから、利便性と位置精度が向上している。さらに本ロボットの大きな特徴であるトルクセンサも実装し、これらセンサの値をすべて制御用 PC から取得できるようになっている。これら三つのセンサ値を PC から取得できる高品質なロボットは世の中にほとんどなく、本ロボットは外乱オブザーバの設計や各種補償器の研究に力を発揮する。

### 2.3 販売実績と顧客ニーズ

これまで 20 機関に 25 本以上のアームを販売してきた。用途として、割合の大きなものから、モバイルマニピュレータの研究と機械学習との連携研究がそれぞれ 1/4、残り 1/2 は様々な研究という統計が得られた。このことは、ロボットアームの最先端の応用先として、モバイルマニピュレータと機械学習連携が注目されていることを意味しており、次世代の産業用ロボットの形を暗に示すものと言える。

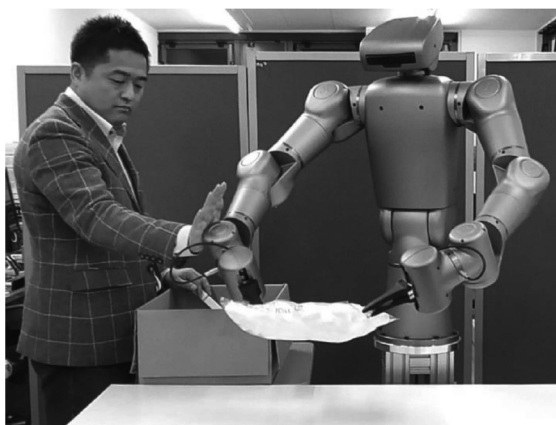


図3 人型ロボット「Torobo」

### 2.4 人型ロボットへの拡張

上で紹介した Torobo Arm の技術や考え方をベースに、図3に示すような人型ロボット「Torobo」を開発し、製造・販売している。片腕6軸のアームが2本、2軸の頭部、および2軸の腰部を有しており、全軸トルクセンサ付、関節トルク制御が可能なロボットである。外界との柔らかい接触が可能であるため、これまで自動化が難しかった不定形・柔軟物 (例えば衣類や食品) のハンドリングに応用できると考えている。

## 3. おわりに

本稿では当社で開発した Torobo Arm について紹介した。本アームは研究プラットフォームであるが、将来的な産業応用も検討している。現在、デンマークの Universal Robots 社が、日本を含め世界の協働ロボット市場を席巻しているが、当社としては Torobo Arm によってロボット大國日本の牙城を守ることに一役買えればと思っている。

### 参考文献

- [1] 変なカフェ Web サイト, <https://www.hennnacafe.com/> (最終閲覧日: 2018 年 8 月 31 日)
- [2] コネクテッドロボティクス Web サイト, <https://connected-robotics.com/> (最終閲覧日: 2018 年 8 月 31 日)
- [3] World Robot Summit Web サイト, <http://worldrobotsummit.org/> (最終閲覧日: 2018 年 8 月 31 日)