

# ロボット技術に関する研究 ～画像認識及び多関節型ロボットアームを用いた作業自動化検証～

プロジェクト推進室 田中 弥  
情報システム室 城之内 一茂, 名和 礼成  
ものづくり開発室 新保 栄一  
千葉大学大学院工学研究科 野波 健蔵

## Study on Robotarm Control

～ Verification of Automatizing Work Using Image Recognition and Multiple Joint Robot Arm ～

Wataru TANAKA, Kazushige JOUNOUCHI, Yukinari NAWA  
Eiichi SHINBO and Kenzo NONAMI<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Chiba University Graduate School Department of Mechanical Engineering

双腕ロボットによる微細作業の検証として、ボルトとナットの把持・締結作業の自動化を実施している。今年度は、ロボットハンド、指先形状及びビジョンシステムの改良により、M10 ナットの把持及びボルトへの締結の自律動作が達成された。また、力制御手法としてインピーダンス制御の導入を図った結果、呼び径 3mm のナットを安定把持することができた。

### 1. はじめに

ロボット産業は、平成 16 年 5 月に経済産業省が策定した「新産業創造戦略」において、今後成長が見込める分野として期待されている。また、千葉県は、ロボット関連技術や各種要素技術を持った企業や理工系大学が集積していることなどの条件に恵まれている。

このような周辺環境のもと、県内ロボット関連産業の活性化のため、共同研究体の構築支援、技術支援に必要と考えられる基礎技術の習得、応用技術の研究開発及び成果の移転を目的とした事業を実施している。

平成 17 年度には、産学官の情報交流の場として「ロボット・知能機械実用化研究会」を立ち上げ、企業ニーズの把握等を行った。平成 18 年度は、千葉大学との共同研究により、双腕ロボットを試作開発した。平成 19 年度以降は、この双腕ロボットをプラットフォームとし、企業ニーズに応じた個別動作の検証を実施している。現在の研究目標は、工場ラインでの組み立て作業を想定した「M2 のボルト・ナットの自律把持・締結」である。平成 19 年度の取組と成果は、表 1 のとおりである。詳細は、前報<sup>1)</sup>を参照のこと。

平成 20 年度は、把持精度を向上させることを念頭に研究を実施した。まず、微細なナットの自律把持を行うため、指先形状に検討を加え、3指ハンド 2号機を試作した。さらに、外力を緩和する力制御の手法として新たにインピーダンス制御について検討した。

表 1 平成 19 年度の取組みと成果

取組み	成果
・微小対象物を安定把持するために、3指ハンド（1号機）を試作	・力制御により、ナットの把持動作ができることを確認
・ハンドの単眼カメラ像と頭部のステレオカメラ像による協調制御	・作業台に置いた M10 のナットを画像解析により認識

### 2. 方法

#### 2.1 把持精度の向上

双腕ロボットは、左手がナットを持つ3指ハンド、右手がボルトを持つためのエアチャック式グリッパとなっている。

まず、左手について、ナットの自律把持を実現するため、3指ハンド 2号機を試作した。主な仕

様を表2に、外観を写真1に示す。2号機は、より小さな対象物を把持するため、ハンド台（手のひらの部分）を3指ハンド1号機より小型化した。また、第1指は固定されているが、第2指、第3指の位置を付け替えることで、数パターンの指の配置方法を選択できる。基本的には、線対称の物体の把持に特化した仕様である。各指には、ハンド1号機同様6軸の力覚センサを搭載している。

表2 3指ハンド2号機の主な仕様

寸法(L×W×H)	0.11m×0.10m×0.21m
質量	1.2kg
自由度	2自由度×3指
アクチュエータ	ACサーボモータ
関節角度センサ	インクリメンタルエンコーダ
最大把持力	13.83N

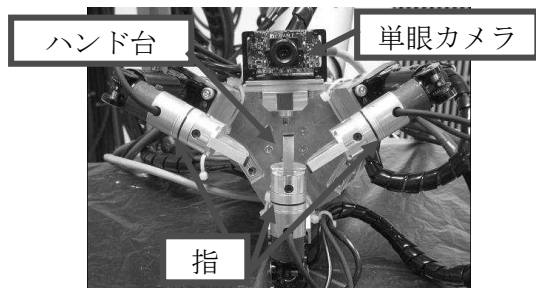


写真1 3指ハンド2号機（左手）

また、微小対象物の把持を行うには、指先形状の検討も重要である。3指ハンド1号機の指先は、図1のとおり半径9mmの半球状であった。この寸法・形状は、M10のナットの把持においては問題なかったが、最終目標であるM2のナットの把持については、物理的に把持不可能である。そこで、2号機の指先には、微小対象物の把持及び付随する作業が可能な形状を検討した。その結果、図2のような爪状（四分円）の指先を3種類設計・試作し、ハンドに取り付けた。試作した指先の外観を写真2に示す。

次に右手のエアチャック式グリッパについては、現段階ではボルトの自律把持は検討していない。左手同様に単眼カメラを搭載しており、左右の単眼カメラ像を締結時の位置制御に使用する。右手の外観を写真3に示す。3爪各1自由度で、質量0.2kg、把持力42Nである。爪は2種類取り付け可能でM2からM14のボルトの把持に対応させた。

以上のとおり新たに試作した3指ハンド2号機

と指先及び両手に搭載した単眼カメラ像を用いて、ビジョンシステムと双腕の協調制御による「ナットの自律把持」と「右手に持たせたボルトとの締結」について動作検証を試みた。

M2のナット（最大幅4mm程度）

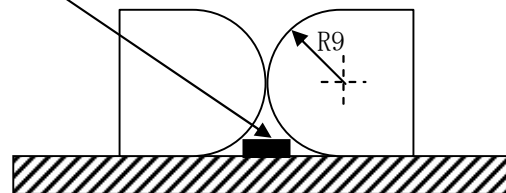


図1 半径9mm（半球状）の指先とM2ナット

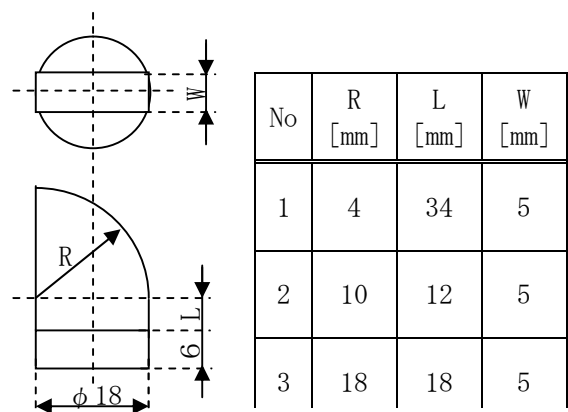


図2 爪状（四分円）の指先の形状と寸法



写真2 爪状（四分円）の指先

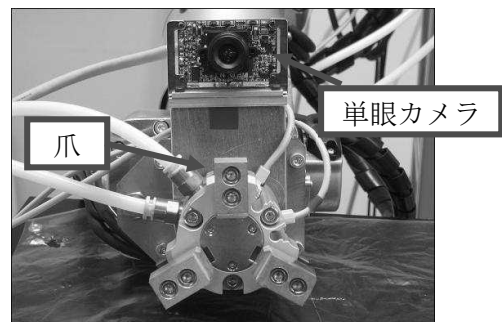


写真3 エアチャック式グリッパ（右手）

## 2.2 インピーダンス制御

インピーダンス制御は、ロボットが環境に対して柔軟な接触作業を行うための力制御法のひとつである。ロボットの手先に外力を加えた際に生じる機械的なインピーダンス（慣性、減衰係数、剛性）を、作業目的にあった値に調整することで外力を緩和する。これにより「柔らかい把持」の実装を図る。

インピーダンス制御は、受動インピーダンス制御と、能動インピーダンス制御とに分けられるが、本研究では、能動インピーダンス制御を採用した。

能動インピーダンス制御は、エンドエフェクタの位置や速度、外力を測定し、フィードバック制御をすることで見かけ上の機械インピーダンスを調整することができる。そのため、汎用性が高く、制御側の変更のみで様々な作業に対応可能である。

ここで、インピーダンス制御を実装するのにあたり、外力の推定が重要となる。主に用いられるセンサは、力覚センサであり、本研究でも指先に6軸の力覚センサを搭載している。しかし、力覚センサは、高価であるため企業への技術移転を検討する際に障害となりうる。そこで、比較的安価な電流センサによって外力を推定することを試みた。そして、この電流センサを用いた「力覚センサレスインピーダンス制御」によるナットの把持について検証した。

電流センサの外観を写真4、仕様を表3に示す。

## 3. 結果

### 3.1 ナットの自律把持及びボルトへの締結

写真5は、3指ハンド2号機に、爪状の指先No.3を取り付けて実験を行ったものである。

昨年度の成果は、M10のナットをビジョンシステムで認識するまでであったが、今年度は、位置を認識したM10ナットを3指ハンドで自律把持することに成功した。また、締結位置で左右の単眼カメラ像を画像処理し、腕の位置を調整することで、右手に持たせておいたボルトにナットを締結させることに成功した。

### 3.2 力覚センサレスインピーダンス制御

電流センサにより推定した外力の有効性を確認するために力覚センサとの比較を行った結果を図3に示す。制御対象は3指ハンドである。

力覚センサと電流センサの外力推定結果は、比較的近い値を示していることがわかった。



写真4 電流センサ

表3 電流センサ仕様

メーカー・型式	LEM社・LTS6-NP
測定方式	ホール効果電流変換
一次側定格 [A]	2, 3, 6 (切替)
測定範囲 [A]	19.2
二次側信号 [mV]	625
供給電圧 [V]	5, -5 Uni
精度 [%]	0.7
寸法 [mm]	H24×W22×L10
質量 [g]	10

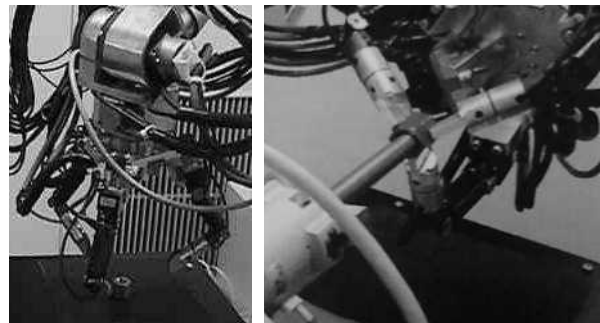


写真5 M10ナットの自律把持及び締結

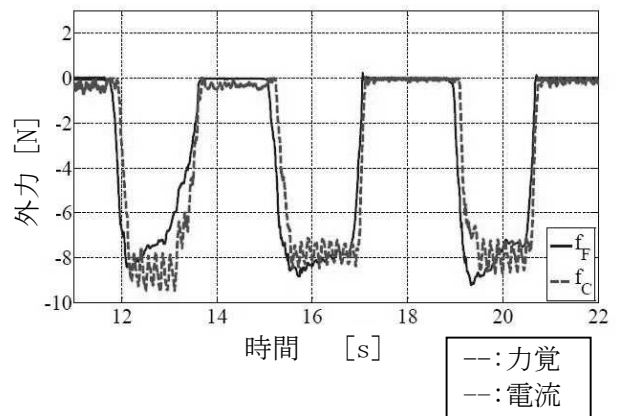
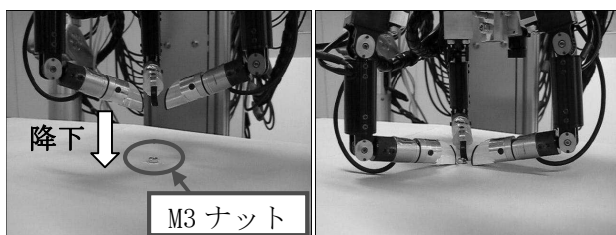


図3 各センサの外力推定値

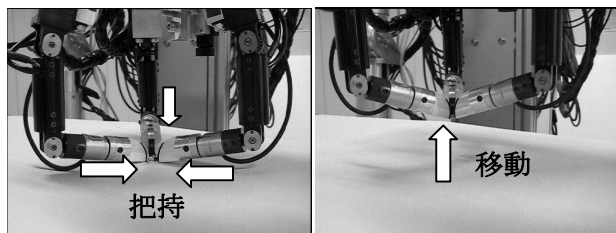
この電流センサを力覚センサの代わりに指に取り付けて、力覚センサレスインピーダンス制御によるナットの把持実験を行った。インピーダンス制御による柔軟な接触作業を活用し、把持に至る動作として、「ならい動作」を実装した。

ならい動作とは、外部環境との接触状態を維持しながら行う動作である。今回のナットの把持であれば、テーブルに置かれたナットに対し、指先をテーブルに接触させながらアプローチして把持するということになる。

写真6はM3のナットの把持実験の様子である。指先には、No.3を使っている。



a) ハンドを把持位置に移動→作業台まで降下



b) ならい動作により把持→締結位置へ移動  
写真6 M3 ナットの把持

M3のナットについて、10回実験を行い、9回成功した。ボルトとの締結にあたって重要となる把持後のナットの姿勢も良好であった。これは、インピーダンス制御によって、把持力が調整されることにより、安定した把持ができたことや、ならい動作によって、確実にナットの下端を把持できたことなどによるものと考えられる。

これにより、力覚センサレスインピーダンス制御による、ナット把持の有効性が示された。

なお、M2のナットの把持についても同様に実験したところ、4回中3回把持することはできたが、ナットの把持姿勢が悪く、ボルトとの締結をするためには、検討を要する結果になった。

#### 4. まとめ

ビジョンシステムで認識したM10ナットの自律把持及びボルトとの締結に成功した。また、ビジョンシステムとは非連動だが、制御系を改良することでM3ナットの安定把持について成功した。

今後は、企業ニーズであるM2ナットの自律把持及びボルトとの締結に向けて継続して研究を行う。対象物のサイズが小さくなると、より繊細な制御が求められる。位置制御については、ビジョンシステムの改良、力制御については、インピーダンス制御の改良によって課題解決にあたりたい。また、今回は使用しなかったNo.1, No.2の指先についても有効性を確認する。

ロボット事業の今後の展望としては、本研究で培った技術を活かして企業支援業務を実施するとともに、大学等の技術シーズとのマッチングをすることで、産学連携による課題解決に寄与したい。

また、冒頭で述べたとおり、千葉県では「ロボット・知能機械実用化研究会」を開催しているので、関連技術を扱う企業やこの分野への事業展開を検討されている方々には是非ご参加いただき、技術的課題の解決のためのパートナー探しや情報収集等に活かしていただければ幸いである。

最後に、この研究にあたりお世話になった千葉大学 野波研究室 天野氏、孟氏、中川氏、齋木氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石井源一 他：ロボット技術に関する研究，千葉県産業支援技術研究所研究報告，No. 6, 3, 2008
- 2) 天野新吾：MBDを用いた双腕ロボットのモデリングと制御に関する研究，千葉大学大学院自然科学研究科人工システム科学専攻電子機械システム講座博士論文，2009
- 3) 孟祥瓊：超小型単眼カメラを用いた双腕ロボット・ハンドの自律制御，千葉大学大学院工学研究科博士前期課程人工システム科学専攻機械系コースシステム・制御・生体工学教育研究領域修士論文，2009
- 4) 齋木広太郎：力覚センサレスインピーダンス制御による柔らかい把持の実現，千葉大学工学部電子機械工学科ロボット工学教育研究分野卒業論文，2009