

ロボットハンド・マニピュレーター用 小型高トルクモーター

山口 仁志 清野 寿基 松本 厚志
湯田 俊一 石川 敏之

近年、スマートファクトリー化への意識の高まりとともに、工場への産業ロボットの導入が拡大している。産業ロボットの導入は、先行する自動車産業や電子産業にとどまらず、食品産業や物流、サービス業などにも拡大しつつある。この流れの中で注目されるのが、安全柵なしで人間と隣り合ったスペースで活用できるロボット、いわゆる協働ロボット(図1)である。

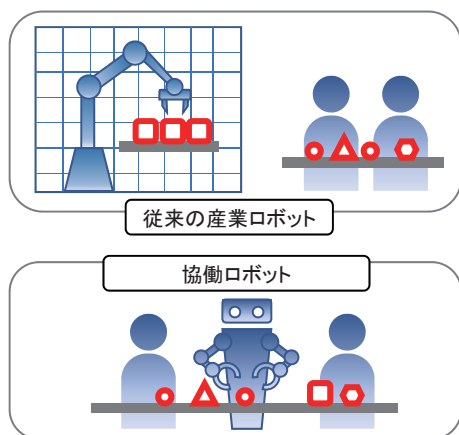


図1 協働ロボット

これまで、人と産業用ロボットの間には安全柵が必要であったが、2013年の法改正により、条件を満たせば安全柵なしでも使用できるようになった。協働ロボットはこれに適合するもので、人と並んで作業ができるので、従来人手に頼っていた食品、化粧品、医療、物流分野での採用も散見されるようになってきた。

協働ロボットは少量多品種生産の部品組立や、不定形の商品を扱う食品工場でも機能するよう、多様な動きに対応する必要がある。特に製品をつかむ動作を行うロボットハンドに対しては、アタッチメントの交換をしなくともさまざまな工程に対応できるよう、高性能化への要求が高まっている。

協働ロボット用ハンドとモーター

従来の産業用ロボットハンドのつかむ対象物は、サイズ、

表面状態、配置(向き)などが一定であり、ハンド部の機能は、対象に応じた一定のパワーかつ一定のストロークの開閉動作である。ハンドを使用するほかにもエア吸引による吸着や、電磁石による吸着などの方法もある。工程の変更があった場合などは、対象物にあわせてこれらを付け替えて対応することになる。

一方、協働ロボットのハンド部では、さまざまな作業に対応するため、柔軟性、器用さ、繊細さを持ち、アタッチメントの変更なしに多品種に対応できる汎用性を備えることが重要であると考え(図2)。

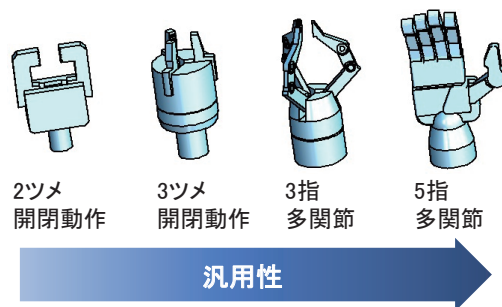


図2 ロボットハンド

次に、ロボットハンドの動力源であるが、電動式、エア圧式、油圧式などさまざまなものがある。当社が長年培ってきたモーター技術を活かせば、よりロボットハンドに適したモーターが実現できると考え、研究開発を行った。

協働ロボットでは形状や重さが異なるものを同じハンドでつかむ用途もあるので、汎用性を追求するとハンドの形状は人の手のように多指多関節になり、機構は複雑化する。そのため、動力源としてはより高トルクなモーターが必要になるが、大型のモーターを使用すると、トルク(物体を回転させるために必要な力)は確保できるものの、ハンド自体の大型化と重量増加を招き、繊細な作業への適正が失われてしまう。したがって、小型で高トルクなモーターが必要となる。また、ロボットハンドが対象を掴んだ時、強く握りすぎでは対象を破損させてしまうので、「動作を止める」という信号を受けた際に、瞬時に応答できるブレーキ特性が非常に重要となる。

新開発小型高トルクモーター

高トルク特性と、起動と停止を繰り返す断続運転の両立を重視し、基本構成は通電方式を3相式とした4極6スロットのコアード構造のブラシレスDCモーターとし、回転制御用の回転位置センサーには、ホールセンサーを採用した。

サイズは、直径φ10mm長さ30.3mmと非常に小型に仕上がっている。図3上段に写真と寸法図を示す。

また、バリエーションとして直径φ12mm長さ27.3mmのサイズも開発した。図3下段に写真と寸法図を示す。前述のφ10モーターに対して低速回転でのトルクを重視した仕様になっている。図4にφ12モーターの特性グラフ(イメージ)を示す。

これらのモーターは既存のモーターに対し大幅に小型化され、モーターの体積当たりのトルクに換算すると、従来比2.3倍に相当する小型高トルクを実現している。これにより、後述のロボットハンド試作機のトルク、サイズの要件を満足することができた。

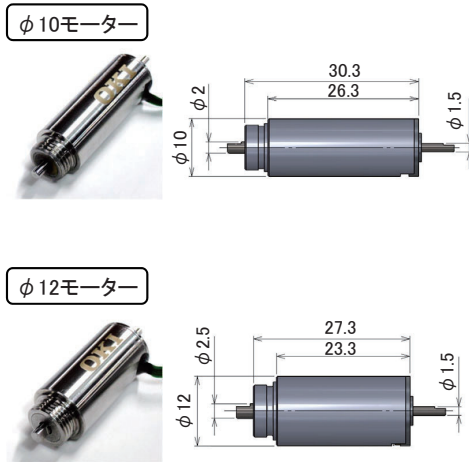


図3 開発したモーター

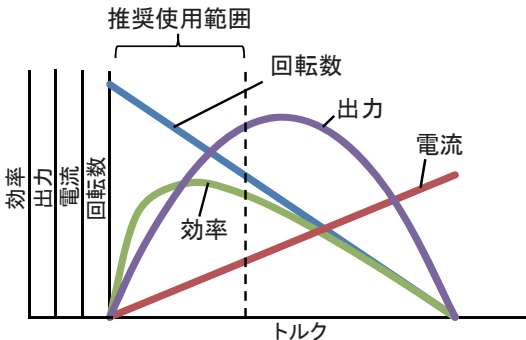


図4 φ12モーター特性グラフ(イメージ)

開発上の工夫として、高トルク特性が期待できるコアード構造を採用したことが挙げられる。コアード構造とは、図5に示すように、ステーターに磁束の通り道になるコア(鉄心)を配置し、このコアにコイルを巻き付けた構造を指す。このサイズのモーターでコアード構造にすると巻線が難しくなるが、コアがあるため、特に低速域で磁力を効率的に使用でき、トルクが高くなるというメリットがある。

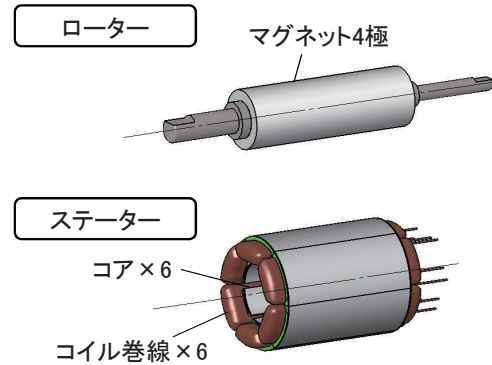


図5 モーターの構造(主要部品)

小型モーターをコアード構造にした場合、隣り合うコア同士の距離が近く、巻線スペースが狭くなるため巻線作業が非常に難しいものとなるが、今回、専用の巻線機を新たに開発し、巻線の問題をクリアしている。以下に述べるように、コアード構造はロボットハンド用モーターに適した特徴を持っている。

まず、コアード構造の本モーターは、低速域で大きなトルクを発生するため、減速機を小型化できるというメリットがある。

また、コアード構造のモーターはコギングトルクが大きいという特徴がある。コギングトルクとは、通電していない時に、ローターのマグネットとステーターコア間の吸引力により発生するトルクであるが、消費電力を抑えつつその位置を保持するための力としても利用でき、この力が大きいということは、起動と停止を繰り返すロボットハンドには適した特性となり、減速、停止のブレーキ動作を機敏に行うことができる。逆にコギングトルクが大きいことで起動性は低下するが、起動時の通電時間を長めに取ることで対応できる。これによる遅延は制御時間全体から見るとわずかで影響度は低いと判断した。

以上の本モーターの特徴とロボットハンドへの適性を表1にまとめる。

表1 開発したモーターの特徴

モーターの特徴	ロボットハンドとしての利点
小型	ハンドの小型化が可能
低速域でトルクが高い	減速機の小型化が可能 → ハンドの小型化
コギングトルクが大きく ブレーキ特性が良い	無通電時の高保持力化 減速・停止動作応答性の良化

ロボットハンドへの実装

φ10、φ12、2種類のモーターを、減速機やロボットハンドを手掛ける株式会社ミューラボ*1)のロボットハンド試作機に実装して動作を確認した。

このロボットハンドはミューラボ製の立体カム機構やクラウン減速機(図6)を搭載している。

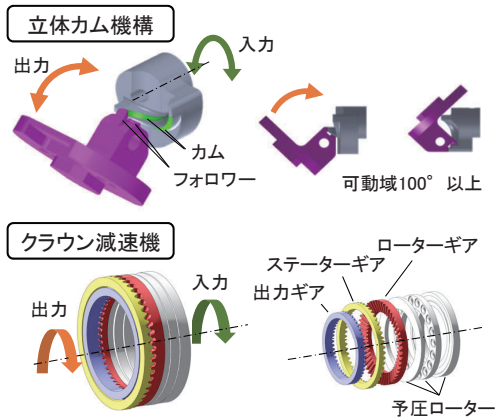


図6 ミューラボの立体カム(上)とクラウン減速機(下)
(画像提供: 株式会社ミューラボ)

立体カムは、2組の三次元的なカム面とフォロワーからなり、非並行軸間で動力を伝達できる機構である。クラウン減速機は、各ギアを同一軸上に配置した構造で、バックラッシュ(ギア同士の隙間)がなく、高強度で大きな減速比をコンパクトに得られる。いずれも小型で精密に動力を伝達できる機構である。モーターの駆動回路と制御は当社が担当し、モーターに最適な通電パターンを設定した。

φ12モーターを搭載した実機を写真1に示す。これは写真2に示すような多指多関節ロボットハンドの指部1関節を部分モデル化したものである。写真1上段左側の白い樹脂部分が指先を模したもので、直結した立体カムがクラウン減速機からの回転運動を、指を曲げる動作に変換している。立体カムに続けて動作範囲を制御するための光学センサー(この部分は用途や制御に応じて省略することも可能)を

はさみ、クラウン減速機、右端がモーターである。写真では手前にモーター単品が置かれている。指関節部で100mN・m オーバーの高トルクを発生し、小型高トルクモーターの有用性が確認できた。

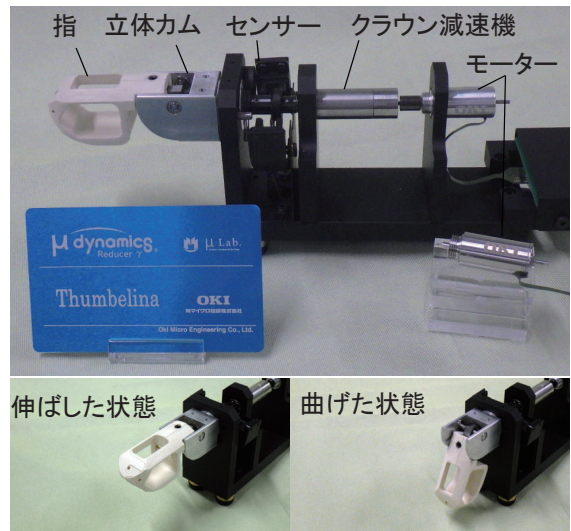


写真1 φ12モーター搭載ロボットハンド(指部) *1)、*2)

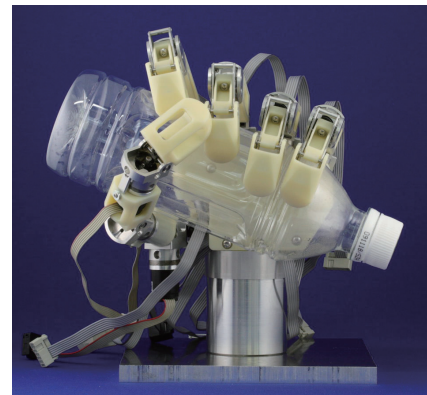


写真2 ロボットハンド全体像(モックアップ)
(写真提供: 株式会社ミューラボ)

φ10モーターは3本ツメのチャックと呼ばれるタイプのロボットハンドに実装した。写真3に実機を示す。サインペンと同程度のサイズであり、小型高出力と立体カムによる精密な動作が特徴となっている。写真上段左側がチャックで、回転運動をツメの開閉動作に変換する立体カムを内蔵している。このチャック部分に動作範囲を制御するための光学センサー、次いで減速機が接続され、右端がφ10モーターである。

*1) ミューラボ及びμ dynamics® は株式会社ミューラボの登録商標です。 *2) Thumbelina™は沖マイクロ技研株式会社の商標です。



写真3 φ10 モーター搭載チャック

これらのロボットハンド試作機は、「第5回 ロボデックス-ロボット開発・活用展-」のミュラボのブースで一般公開された(写真4)。



写真4 ロボデックス展

おわりに

今回の開発で、小型高トルクモーターを実現し、当社の持つモーター技術と、ロボットハンド駆動の相性の良さが確認できた。モーター自体も、小型で高トルクに加え、高ブレーキ力、高保持力と優れた特性を持ち、ロボットハンドに適するのはもちろんであるが、これに限らず、ロボットの各関節、遠隔用マニピュレーター(写真5)など、幅広い用途での利用が期待できるものとなった。

IoT技術、AI技術との連携により、ロボットの分野は急成長している。将来的には工場だけでなくサービス業や医療介護、家庭への普及など期待が高まる市場であり、当社の技術を生かした小型高トルクモーターがこれに貢献できれば幸いである。◆◆

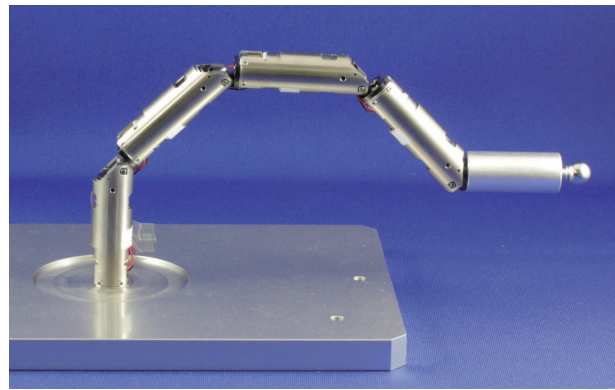


写真5 小型多自由度マニピュレーター
写真提供：株式会社ミュラボ

● 筆者紹介

山口仁志:Hitoshi Yamaguchi. OKIマイクロ技研株式会社 開発部

清野寿基:Hisaki Seino. OKIマイクロ技研株式会社 生産技術部

松本厚志:Atsushi Matsumoto. OKIマイクロ技研株式会社 開発部

湯田俊一:Syunichi Yuda. OKIマイクロ技研株式会社 開発部

石川敏之:Toshiyuki Ishikawa. OKIマイクロ技研株式会社 開発部