

油圧駆動双腕ロボット

Hydraulic Double-Arm Robot

高橋 宏昌

■ TAKAHASHI Hiromasa

風間 拓朗

■ KAZAMA Takuro

大賀 淳一郎

■ OGA Junichiro

近年、多品種少量生産のためセル生産方式が主流となり、この方式に対応したセル生産ロボットが注目されている。セル生産で求められる作業を代替するためには、人と同等サイズで、人に近い器用な動きができ、重量物が搬送できることが必要となる。

そこで東芝は、これらの要求に応えられる油圧駆動双腕ロボットを開発した。このロボットは、アーム部に油圧アクチュエータを使用しており、電動アクチュエータのアームと比べて、コンパクトで可搬重量が大きいという特長を持つ。また、ひじから手首にかけては、電動アクチュエータが使用された東芝機械(株)製の垂直多関節ロボット TV800 を搭載しており、視覚フィードバック制御やコンプライアンス制御によって人に近い器用な動きができる。

The cell production method, which facilitates high-product-mix and low-volume manufacturing, has been expanding into the mainstream, and demand has been growing for a robot similar in size to workers that can dexterously act as a multiskilled worker and handle heavy materials in a cell production line.

Toshiba has developed a hydraulic double-arm robot that is equipped with hydraulic actuators for the arms, allowing it to handle heavy materials, and the TV800 vertical articulated robot arm consisting of electric actuators produced by Toshiba Machine Co., Ltd. for the wrists, allowing it to also achieve dexterous handling operations through visual feedback and compliance control.

1 まえがき

単一製品を大量に製造するライン生産方式では、ベルトコンベアによって流れてくる製品に部品を取り付けていく。その作業は限定された単純な動作で成り立っていたため、それを正確にすばやく行うことができる産業用ロボットが、1980年代以降、自動車産業を中心に導入されてきた。一方、電気・電子産業では、多様化する消費者ニーズに対応するため多品種少量生産が求められ、ライン生産方式に代わってセル生産方式が主流となった。

セル生産方式は、作業者がひとりで製品の組立てを完成させるため、複数の複雑な作業を要求される。作業には高い習熟度が要求されるので、その訓練には時間を要し、また、作業自体も重労働であるため、人員の確保が難しくなると予想されている。そのため、ロボットによる作業への代替が求められていたが、産業用ロボットでは、現在のセル生産で行われているような高難度作業に対応することが難しかった。

近年、このセル生産方式に対応したロボットの開発が進み、注目され始めた。セル生産ロボットの多くは、アーム2本をボディに取り付けた双腕型ロボットであり、人に近い器用な動作が可能という特長を持つ。その一方で、生産現場からは、設備レイアウトを大幅に変更しないように人と同等サイズであり、3K(危険、汚い、きつい)作業の一つである重量物の搬送もできるセル生産ロボットが求められてきた。しかし、従来のセル

生産ロボットは、アーム部に電動アクチュエータが使用されているため、小型のものは出力が小さく、重量物を搬送することが難しい。また、パラレルリンク機構^(注1)を用いた場合、高出力が得られるものの、可動範囲がシリアルリンク機構^(注2)の双腕ロボットと比べて非常に小さい。

そこで東芝は、アーム部に油圧アクチュエータを用いたシリアルリンク機構を採用し、コンパクトで重量物を搬送できるセル生産ロボットを開発した。ここでは、その概要と特長について述べる。

2 油圧駆動双腕ロボットの概要

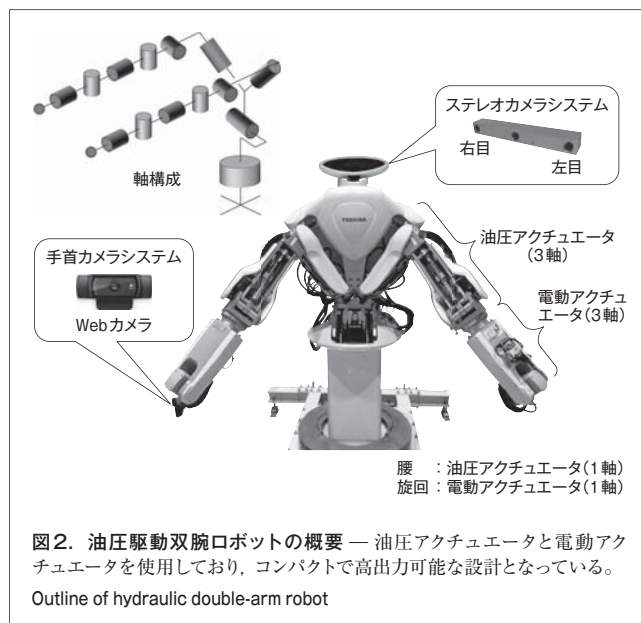
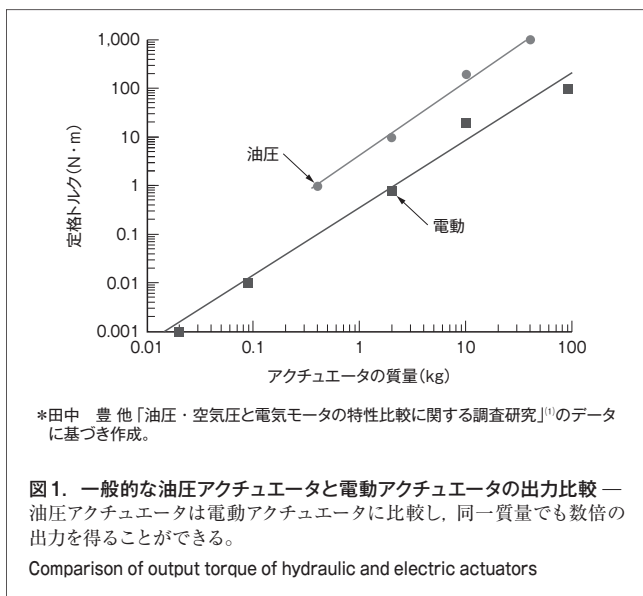
2.1 目的

前述のような要求に応えるため、次のコンセプトに基づき開発を行った。

- (1) 高可搬性 人が取り扱うことができる30 kg以上の重量物を搬送できるよう、アクチュエータの出力を高める。
- (2) 作業の柔軟性 人に近い器用な動作ができるよう双腕型とし、カメラ画像による環境認識能力と、手先の力を制御できる柔軟性を高める。

(注1) ベースとメカニカルインタフェースの間の機械構造に複数の動力伝達経路を持つ機構。

(注2) 関節とリンクが直列(シリアル)に結合した機構で、一般の産業用ロボットはこの機構を採用。



(3) コンパクト性 生産現場に適用しやすいよう、人と同等サイズである肩幅700 mm程度とする。

2.2 高可搬性

電動アクチュエータの出力トルクは、電機子の電流と磁束に比例する。高出力を得るためには、コイルや磁石などの構成部品を大きくしたり、ギヤを追加するなど部品点数を増やす必要があり、アクチュエータが大型化してしまう。

一方、油圧アクチュエータの出力トルクは、圧力と流量に比例する。パスカルの原理を応用しているため、圧力を上げるか、ピストンの面積比を高めることで高出力が得られる。そのため、油圧アクチュエータは電動アクチュエータに比べて、同一質量でも5～10倍程度の出力を得ることができる(図1)。

そこで、今回は油圧アクチュエータを用いたシリアルリンク機構のアームを開発した。また、人と同程度の可動域を目指し、油圧アクチュエータはシリンダタイプを採用した。その結果、片方の腕での可搬重量は50 kgが可能になった。

2.3 作業の柔軟性

油圧アクチュエータは小型で高出力といった長所がある一方で、電動アクチュエータと比べて位置決め精度や応答性が劣る。そのため、油圧流量を制御する弁には流量比例弁を採用し、流量フィードバック制御を行うことで、制御性能を高めた。流量フィードバック制御では、エンコーダの信号から計算した速度を流量の近似値として使用している。更に、ロボットのひじから手首にかけては、電動アクチュエータが使用された東芝機械(株)製TV800(注3)を搭載した。TV800は、手先部の交換が可能な機構となっており、セル生産で必要とされるねじ締め、塗布、検査などの複数の作業に対応可能(注2)である(図2)。

(注3) 東芝機械(株)が開発したセル生産用6軸垂直多関節ロボット。

また、この手首部には位置補正用に2次元カメラを搭載しており、視覚フィードバック制御と電動アクチュエータによって、正確な位置決め制御が可能になった。現在、ロボットの手先のコンプライアンス制御(注4)の開発も進めており、それが完成すると、生産現場で必要とされるピン挿入作業もできるようになる。更に、ヘッド部には環境を認識するためにステレオカメラを搭載しており、ワーク周辺の3次元(3D)情報を検出することが可能である(表1)。

これらにより、ばら積みの対象物などもハンドリングが可能で、状況が変わりやすい生産現場でも対応できる。

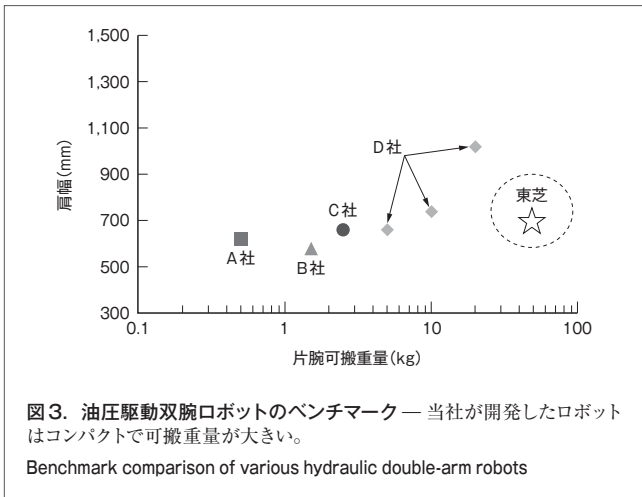
2.4 コンパクト性

これまで述べたように、油圧アクチュエータのシリアルリンク機構と電動モータの構成により、人と同等サイズの肩幅700 mmで、片方の腕での可搬重量は50 kgを実現した。こ

表1. 油圧駆動双腕ロボットの仕様
Specifications of hydraulic double-arm robot

項目	仕様
サイズ	肩幅 : 700 mm アーム長上腕 : 460 mm アーム長前腕 : 580 mm アーム長昇降 : 300 mm
可搬重量	最大50 kg
自由度	14軸
駆動源	7軸 : 油圧, 7軸 : 電動
制御機能	コンプライアンス制御 視覚フィードバック制御 流量比例弁による流量フィードバック制御
視覚センサ	ヘッド部 : ステレオカメラ(ワーク検出用) 手首部 : 2次元カメラ(位置補正用)

(注4) 手先に作用する外力を検知し、手先のインピーダンスが望ましい状態になるように各関節のアクチュエータを柔軟に制御する機能。



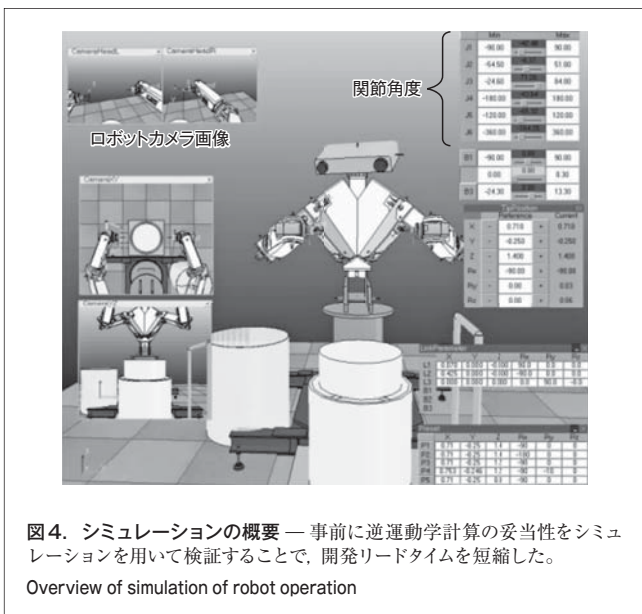
これは一般的な双腕ロボットと比べて、コンパクトで可搬重量が大きいことから、現在のセル生産に対応しやすい(図3)。

3 技術課題への取組み

3.1 ロボット動作シミュレータ

ロボットを制御するためには、手先の位置や姿勢から各関節角度を求める逆運動学を解く必要がある。一般に、自由度が増すと逆運動学が複雑化するため、実機でのデバッグ時間が長期間になる。今回、セル生産ロボットの動作計画を検討するため、動作シミュレータを構築した(図4)。

このシミュレータは、3D CADで作成したロボット及び作業環境のモデルを取り込み、ロボットアームの動作領域や作業性の確認を行うことができる。また、単腕、双腕、腰、及び双腕協調などの運動学計算を適宜切り替えることができ、各関節



の現在角度とロボットカメラ画像のリアルタイム表示や、特異姿勢の判定機能などにより、ロボット動作計画の事前検討に有効活用することができる。

3.2 油圧流量制御

油圧アクチュエータの位置制御を改善するにあたって、二つの方式を検討した。

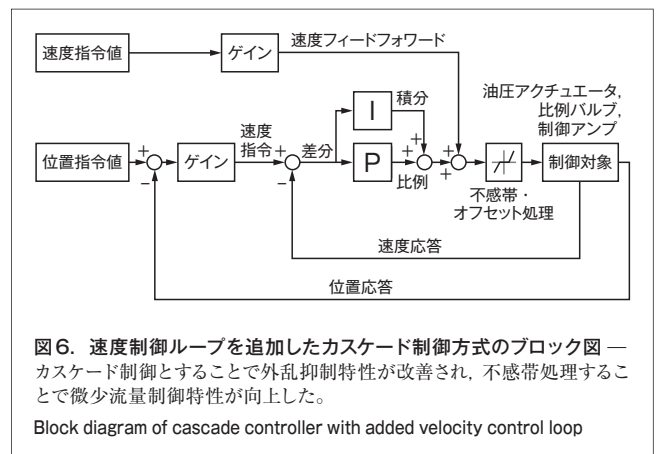
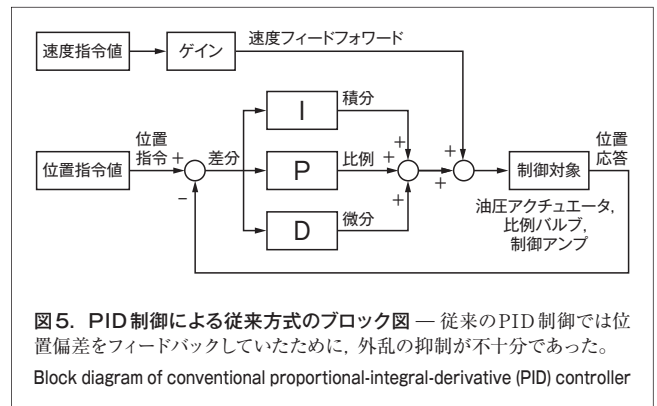
PID(比例、積分、微分)制御による従来の方式を図5に示す。この方式では、流量比例弁の応答性や微小流量時の不感帯の影響、及び比例弁のヒステリシス特性などの要因で、十分な制御特性が得られなかった。

そこで、速度制御ループをマイナーループに追加したカスケード制御³⁾とすることで、制御性能を改善した。また、流量比例弁への入力前に不感帯やヒステリシス特性に対応するためのオフセットを設けることで、微小流量の制御についても、追従性を高めることができた(図6)。

このような制御方式を開発することで、従来方式で発生していた振動と応答遅れは図7のように改善された。

3.3 揺動モータの開発

今回開発したロボットではアーム部に油圧シリンダを用いたが、回転モータを用いることで更なるコンパクト化が期待できる。そこで、その実現を目指し、油圧の回転モータである揺動モータを開発した(図8)。



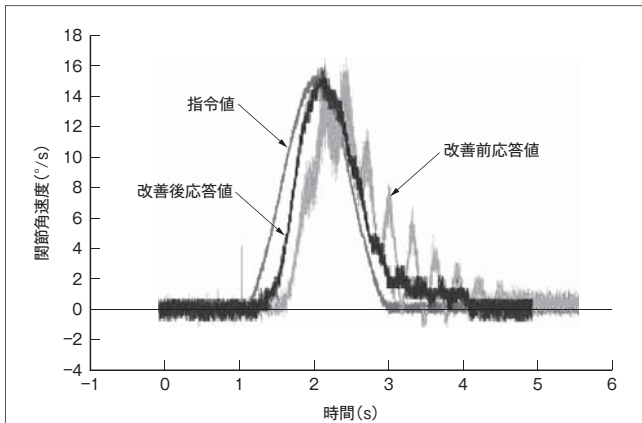


図7. 制御方式の改善による腰部の振動と応答性の改善 — 制御方式を改善することで外乱抑制や応答性が改善された。

Improvement of vibration and response in lumbar section with improved controller

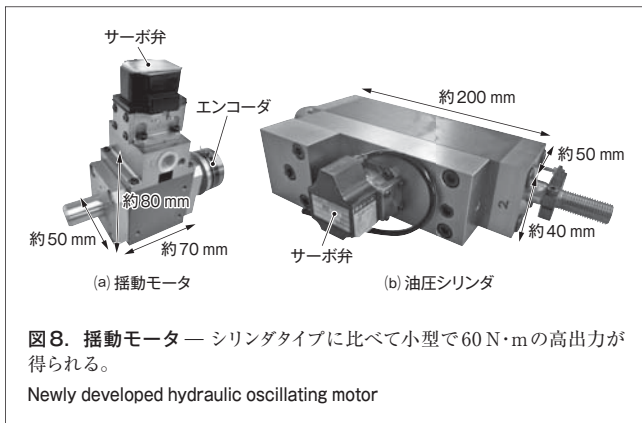
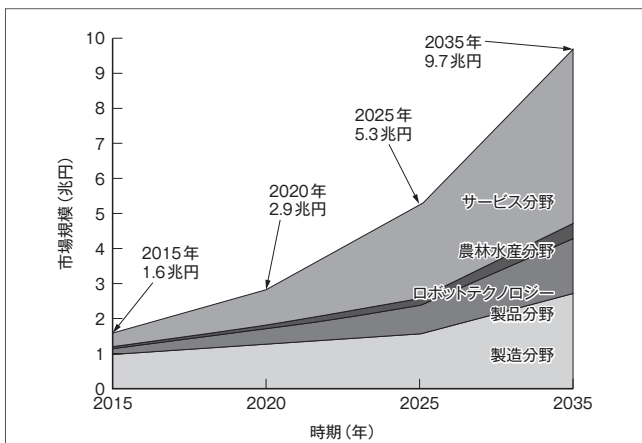


図8. 揺動モータ — シリンダタイプに比べて小型で60 N・mの高出力が得られる。

Newly developed hydraulic oscillating motor



*経済産業省「ロボットの将来市場予測を公表」⁽⁴⁾のデータに基づき作成。

図9. ロボットの市場規模予測 — 2035年までに9.7兆円市場になると予測されており、中でもサービス分野が急拡大すると見込まれている。

Forecast of robot market

この揺動モータはダブルベーン方式を採用しており、可動角度は90°であるものの、60 N・mの出力トルクを発揮し、質量も1 kgとシリンダタイプに比べて小型である。今後は、このモータをロボットの関節の一部に採用し、更なるコンパクト化を図っていく。

4 あとがき

今後、ロボット産業の市場規模は、2015年の1.6兆円から2035年の9.7兆円に拡大すると予測されており⁽⁴⁾、サービス分野の中でも高出力が要求されるロボットについては、4,500億円(2035年)の市場に急成長すると見込まれている(図9)。

今回は油圧と電動のアクチュエータを組み合わせ、コンパクトで高出力のロボットを開発した。今後は更なる高出力化と軽量化を図り、生産現場だけでなく、急成長するサービス分野への参入を目指して取り組んでいく。

文献

- (1) 田中 豊 他. “油圧・空気圧と電気モータの特性比較に関する調査研究”. 平成25年春季フルードパワーシステム講演会論文集. 東京, 2013-05, 日本フルードパワーシステム学会. p.25 - 27.
- (2) 加藤健二 他. セル生産に適したロボットと制御技術. 東芝レビュー. 64, 1, 2009, p.52 - 55.
- (3) 松日楽信人 他. ロボットシステム入門. 改訂2版, オーム社, 1999, 169p.
- (4) 経済産業省. “ロボットの将来市場予測を公表”. 経済産業省ニュースリリース <<http://www.meti.go.jp/press/20100423003/20100423003-1.pdf>>. (参照 2014-04-18).



高橋 宏昌 TAKAHASHI Hiromasa

生産技術センター メカトロニクス開発センター研究主務。
メカトロ要素技術及び製造設備の開発に従事。
Mechatronics Development Center



風間 拓朗 KAZAMA Takuro

東芝機械(株) 制御システム事業部 制御システム技術部主任。
ロボットコントローラの開発に従事。
Toshiba Machine Co., Ltd.



大賀 淳一郎 OGA Junichiro

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主務。
マニピュレータ制御, ロボットのソフトウェアシステムに関する研究・開発に従事。日本ロボット学会会員。
Mechanical Systems Lab.