

セル生産に適したロボットと制御技術

Robot and Control Technology for Cell Production

加藤 健二

西原 泰宣

大賀 淳一郎

大明 準治

■ KATO Kenji

■ NISHIHARA Yasunori

■ OGA Jun'ichiro

■ OAKI Junji

製品のニーズが多様化し、多品種少量生産に対応するために生産方式のセル化が進行しており、1人で多役をこなす多能工の必要性が高まっている。しかし、少子高齢化のため、重労働のセル生産用の人員確保が難しく、作業の自動化が求められている。

東芝機械(株)は、このような要望に応えるため、セル生産に適した垂直多関節ロボットTV800とそのコントローラTS3100を開発した。セル生産支援ソフトウェアEZCell™を使用すれば、ロボットプログラムを覚えなくても、プログラムを作成できる。

Users' requirements for products have become diversified in recent years due to economic maturation, and the cell production method, which facilitates high-product-mix and low-volume manufacturing, has been spreading. The cell production process requires multiskilled workers possessing a wide variety of skills that enable them to participate in various work processes. However, the lack of such multiskilled workers is leading to increasing demand for automation. The development of technologies to realize intelligent robots is therefore essential in order for robots to act as multiskilled workers in a cell production line. In addition, the support responsibilities of robot manufacturers have become increasingly important.

With this as a background, Toshiba Machine Co., Ltd. has developed a robot and control technology for cell production.

1 まえがき

ブザーが鳴り響き、作業員が忙しく動き回っている。作業員たちは無言で、セル生産ユニットの中で全力を出して連続した作業を繰り返し実行している。作業員の必死の努力にもかかわらず、生産量は目標数に届かず目標数値の電光掲示はマイナスを示している。これは、セル生産を行っている工場の日常的な姿である。

経済の成熟化とともにニーズが多様化するなか、製造現場では多品種少量生産に対応するため“セル生産方式”の導入が進行している。しかし、今後わが国の人口構成は少子高齢化が進むと見込まれており、重労働であるセル生産作業に従事する人員の確保が困難になると予想される。これを克服するため、製造現場から“セル生産工程の自動化”が求められている。

東芝機械(株)は、このような市場ニーズに応えるため、セル生産に適したロボットと知能化制御技術を開発した。ここではその概要と特長について述べる。

2 ロボット化のコンセプト

セル生産ロボットののための技術開発は、以下のコンセプトで行われた。

- (1) 段取りの容易化と作業のパッケージ化を進め、低コストと軽量化で新ロボットの市場への浸透性を高める。
- (2) 製造セル工程の自動・無人化を進め、ロボット化によ

る24時間セル生産を実現させ、経費を節減し、生産性を向上させる。

- (3) 3K(きつい、汚い、危険)作業やクリーンルーム作業の自動化で、少子高齢化による作業員不足に対応し、労働衛生環境を改善する。

ラインでの生産工程を考えてみた場合、一部が故障したとき、全体の生産が止まってしまう。生産工程をセル化することにより、一部が故障しても生産が止まらないので故障に強く、セルの数を調整することによって、安定した生産量が確保できる生産システムを構築できる。

この場合、解決すべき課題として、各種工程への対応や段取り時間の短縮を可能とする簡便性、顧客の投資効果に見合う価格の実現、クリーンルーム内での用途拡大、及びアームの自由度が必要な作業への対応がある。

また、セル生産では様々なコンポーネントが使用される。当社が提供できる主なコンポーネントにはスカラロボット^(注1)、直交ロボット^(注2)、及びサーボ^(注3)がある。更に今回、セル生産向けにアーム長800mm、可搬質量5kgの6軸垂直多関節ロボットTV800を開発した(図1)。

これら豊富なコンポーネントから選択し、最適なシステムを提案していく。また、セル生産システムの構築が容易になるように、セル作業をパッケージ化したアプリケーションの提供も

(注1) 産業用ロボットの一つで、水平多関節ロボット。

(注2) 2軸若しくは3軸の直交するスライド軸で構成される産業用ロボット。

(注3) 物体の位置、方位、姿勢などを制御量として、目標値に追従するように作動する自動制御装置。



図1. 垂直多関節ロボットTV800 — セル生産に適した6軸垂直多関節ロボットで、アームの長さが800 mm、可搬質量は5 kgである。

TV800 articulated robot



図2. セル生産支援ソフトウェアEZCell™ — はんだ付けパッケージの例で、ロボットプログラムを覚えなくてもプログラムを作成できる。

EZCell™ support software for cell production

行い、トータルソリューションを提案する。

セル生産支援ソフトウェアであるEZCell™のはんだ付けパッケージ例を図2に示す。このソフトウェアを使用することで、ロボットプログラムを覚えなくてもプログラムを作成できる。EZCell™はCADデータや基板作成データ（ガーバーデータ）からも教示点の作成が可能となる。アプリケーションパッケージは今後、更に充実させていく予定である。

3 セル生産へのロボット適用

セル生産へのロボット適用イメージを図3に示す。従来の生産セルでは、作業1～5を2人で対応している（図3(a)）。比較的容易な作業2～4をロボットで対応し、この生産セルの作業は1人で実施できる（図3(b)）。将来の生産セルでは、作業1～5をすべて完全ロボット化することを目標としている。ここまで自動化するためには周辺機器の整備が必要であり、生産する製品自体にロボットが扱いやすい工夫をする必要が

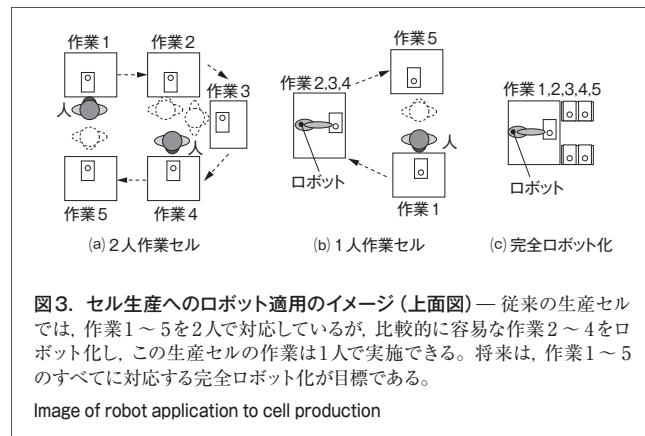


図3. セル生産へのロボット適用のイメージ（上面図）— 従来の生産セルでは、作業1～5を2人で対応しているが、比較的容易な作業2～4をロボット化し、この生産セルの作業は1人で実施できる。将来は、作業1～5のすべてに対応する完全ロボット化が目標である。

Image of robot application to cell production

生じるケースが多い。費用対効果や初期投資を考慮してロボット化を進める必要がある。

セル生産にロボットを適用するケースはねじ締め、塗布、はんだ付け、検査などの作業が挙げられる。ロボットはプログラムで動きが変えられるので、ハンド交換や動きの工夫により、複数の作業を1台のロボットで行うことが可能である。4章からはセル生産ロボットのために開発した制御技術について述べる。

4 ロボットコントローラTS3100の知能化制御技術

当社は、セル生産現場において、広い適用範囲と高い生産性を発揮することを目的に、ロボットコントローラTS3100を開発した（図4）。このコントローラはEthernet、USB（Universal Serial Bus）メモリインターフェース、及びコンベアトラッキングインターフェースなどの各種外部インターフェースを標準搭載している。

また、このコントローラは、ロボットアームに及ぼす様々な物理現象をリアルタイムにシミュレーションし、これらの結果を用いてロボットアームを最適に制御できる。更に、以下に述べる“ロボットの知能化制御技術”の演算処理を、独自のアルゴリズムを採用することにより低負荷で実現した。

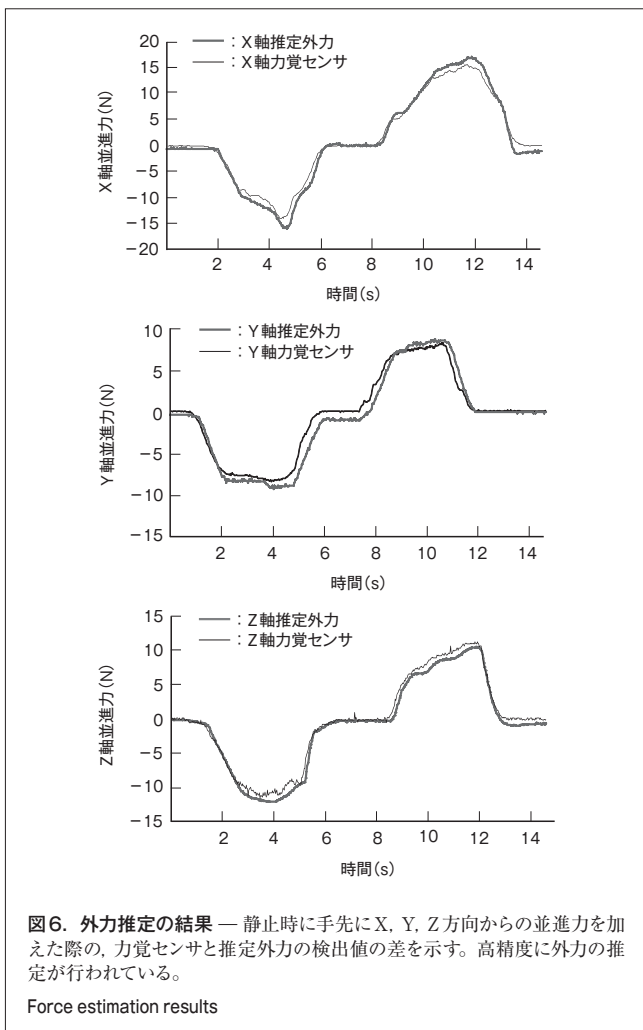
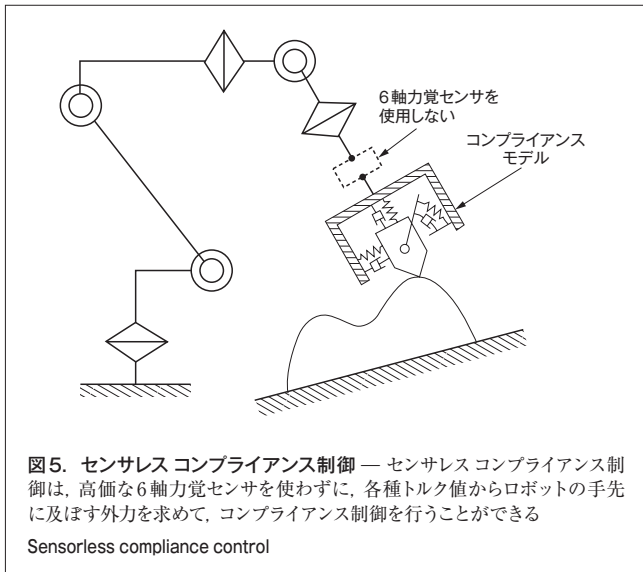


図4. 新型ロボットコントローラTS3100 — このコントローラは、各種外部インターフェースを標準搭載しており、セル生産現場において、広い適用範囲と高い生産性を発揮する。

TS3100 robot controller

4.1 センサレスコンプライアンス制御

“コンプライアンス制御”とは、ロボットの手先に作用する力とモーメントを検出し、手先のインピーダンスが望ましい状態に



なるように各関節アクチュエータを柔軟に制御することである。

通常手先に作用する力とモーメントは6軸力覚センサを用いて検出するが、一般にこのセンサは高価であり、また衝撃にも弱いので、現場では実用化に踏み切れない現実がある。

当社は、東芝の研究開発センターの技術協力のもと、6軸力覚センサを使わず、各軸トルク値からロボットの手先に及ぼす外力を求めて、コンプライアンス制御を行う技術を開発中である。この機能が実用化されれば、高価な力覚センサを用いなくともコンプライアンス制御を行うことができる(図5)。

静止時に手先にX, Y, Z方向からの並進力を加えた際の、力覚センサと推定外力の検出値の差を図6に示す。高精度に外力の推定が行われていることがわかる。

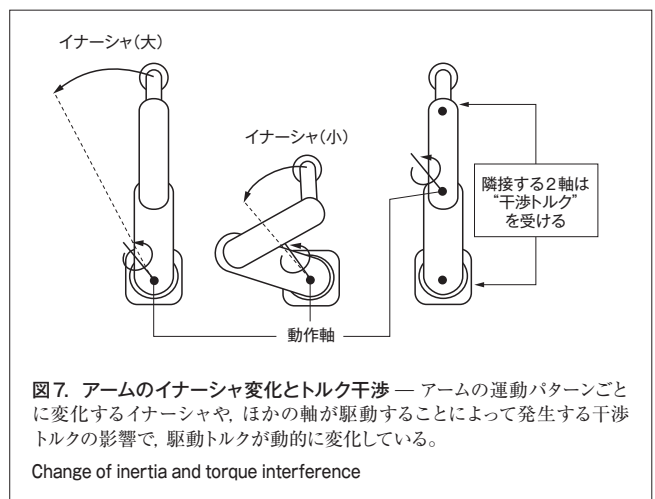
この機能により、はめ合いや突き当て作業などのように接触を伴う作業、また、エンドエフェクタを直接把持しながら目標作業位置を教示するダイレクトティーチングなどの作業が可能となる。

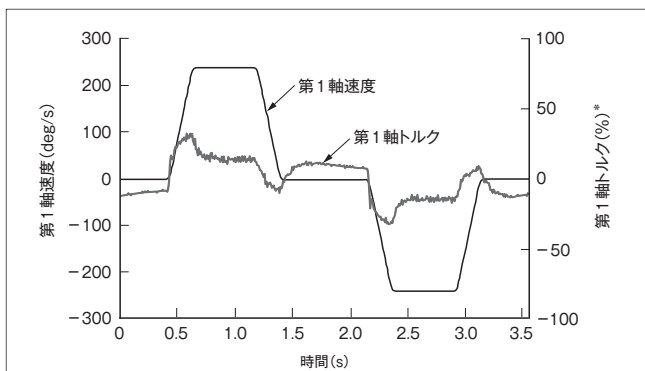
4.2 加速度最適化制御

ロボットの加速度は、ロボットの動作サイクルタイムを短縮させるための重要な要素である。本来ならば、加速度はできるだけ大きくしてすばやくロボットを動作させたいところであるが、むやみに加速度を上げると各関節で過大な駆動トルクが発生し、モータや減速機に過大な負荷を与え、寿命や位置精度を低下させてしまう。また、加速度を下げすぎても、ロボット本来の動作性能を発揮することができない。

シリアルリンク構造を持つ垂直多関節ロボットでは、図7に示すように、アームの運動パターンごとに変化するイナーシャ(慣性)や、ほかの軸が駆動することによって発生する干渉トルクの影響で、駆動トルクが動的に変化する。

“加速度最適化制御”とは、このようにあらゆる動作パターンや負荷条件によって変化する駆動トルクを事前に推定し、実際に動作する際に発生する駆動トルクが目標トルクとなるよう、加減速度を事前に変更する機能である。





*: 最大トルク(N・m)を100%とした場合の割合

図8. 第1軸速度-トルク波形(加速度最適化OFF) — TV800の第1, 第2アームを折り畳んだ状態で, 第1軸旋回動作を行った際の第1軸速度-トルク波形を示す。通常よりアームのイナーシャが小さい状態での動作のため, 駆動トルクには余裕がある。

Waveforms of velocity and torque of first axis (optimal acceleration off)

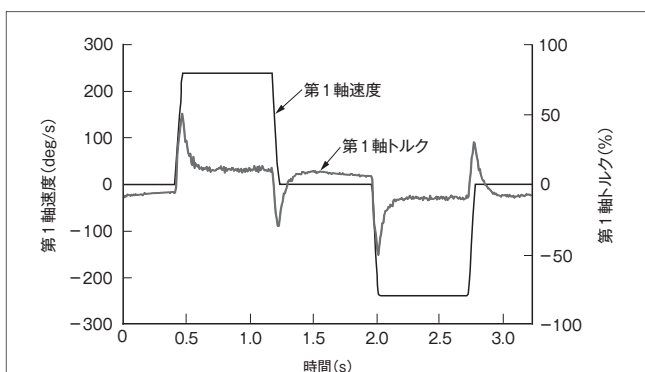


図9. 第1軸速度-トルク波形(加速度最適化ON) — 最大トルク(N・m)を100%とした場合, 目標トルクを50%として加速度の最適化を適用している。“駆動トルク<目標トルク”となる範囲で加速度が最適化されている。

Waveforms of velocity and torque of first axis (optimal acceleration on)



図10. 特異点通過 — 特異点処理機能により, 特異点を通したり, 特異点近傍で安定かつ滑らかに動作することができる。

Passing through singular point of robot arm

TV800の第1と第2アームを折り畳んだ状態で第1軸旋回動作を行った際の, 第1軸速度-トルク波形を図8に示す。通常よりアームのイナーシャが小さい状態での動作のため駆動トルクには余裕があるが, 図9では目標トルクを最大トルクの50%として加速度を最適化している。“駆動トルク<目標トルク”となる範囲で加速度が最適化されていることがわかる。

4.3 特異点処理機能

今回, 併行して開発した“速度ベース運動分解”を用いて関節角の目標位置を算出処理することで, 特異点を通したり, 特異点近傍において安定かつ滑らかに動作することが可能となった。ロボットが特異点を通るようすを図10に示す。

5 あとがき

これまで述べた機能を現場に適用するためには, 作業ごとにパラメータ調整やプログラミングが必要となる。今後, ユーザーに知能化制御技術をフル活用してもらうためには, ソフトウェアに追加される拡張機能の新しいアドインをEZCell™に追加し, ユーザーが付加価値の高いアプリケーションをすぐに構築できる環境を整えていく必要があると考える。

また今後も, 必要な知能化制御技術の開発を増やし, セル生産現場に最適なロボット開発を進めていく。

文献

- (1) Paul, R.P. (訳) 吉川恒夫, ロボット・マニピュレータ〜数学的基礎, プログラミングおよび制御〜, コロナ社, 1984, 277p.
- (2) 吉川恒夫, ロボット制御基礎論, コロナ社, 1988, 260p.



加藤 健二 KATO Kenji

東芝機械(株) 制御システム事業部 制御システム営業部グループ長。ロボット営業技術に従事。
Toshiba Machine Co., Ltd.



西原 泰宣 NISHIHARA Yasunori

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。ロボットの要素開発に従事。
Toshiba Machine Co., Ltd.



大賀 淳一郎 OGA Jun'ichiro

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。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.



大明 準治 OAKI Junji

研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員。システム同定理論の応用に関する研究・開発に従事。計測自動制御学会, 電気学会, 日本機械学会, IEEE会員。
Mechanical Systems Lab.