

# 精密加工ロボットシステム Precision-Machining Robot System



藤森 潤①	Jun Fujimori
家中 良太②	Ryota Ienaka
堀内 悠平③	Yuhei Horiuchi
久保田哲也④※	Tetsuya Kubota
高木 登⑤	Noboru Takagi
山 和之⑥	Kazuyuki Yama
脇坂 明文⑦	Akihumi Wakisaka
川端 純一⑧	Junichi Kawabata

産業用ロボットの高精度化および周辺技術の進歩により、切削加工にロボットが適用され始めている。動作範囲の広さおよび価格の手頃さにより、試作模型の切削などでNC工作機械の代替が期待できる。本稿では精密な切削加工を実現する「MILLINGロボットシステム」を解説し、ロボットの精密加工への適用例を紹介する。

The enhanced precision of industrial robots and progress in their peripheral technologies have allowed robots to enter the field of machining. The wide operating range and affordability of the system offer the prospect of replacing NC machine tools in the prototype modeling field. This paper provides a commentary on milling robot systems for precision machining and presents examples of precision processing with robots.

## まえがき

産業用ロボットは、その汎用的な構成、価格の手頃さ、および教示した動作を忠実に繰り返す能力の高さにより、自動車産業を中心に、溶接、塗装などの自動化に適用され発展してきた。さらに、近年は生産計画立案やライン立上げに要する時間を短縮するため、コンピュータを使用したオフライン教示を利用するユーザーが増加している。そのニーズに応えるため産業用ロボットでは、教示した動作を忠実に繰り返す「繰り返し精度」だけでなく、指定した空間位置に精度よく位置決めする「絶対精度」が向上している。

このように、技術の進歩によりロボットが高精度化するにつれ、NC工作機械をロボットで代替したいという要望が増えている。ところがロボットは一般に片持ちばり構造なため剛性が低いので、ミクロンオーダーの超精密加工には向かない。しかし、動作範囲の広さおよび価格の手頃さにより、ミクロンオーダーの精度は要求されず高価な大型工作機械ではオーバースペックとなるような場合の適用が期待できる。さらに、従来は精度不足でロボットの適用が困難だったレーザー加工など、サブミリメートルの精度が要求されるさまざまな加工においても、今後は安価な産業用ロボットが適用できる可能性が高まっている。

## 1 ロボットの切削加工への適用

自動車の新車種を開発する過程では、最終デザイン完成までに、ウレタンや発泡スチロールなどを削り出したシート模型を1車種あたり、40~80回試作している。従来、こ

のような試作加工には、NC工作機械が使用されてきたが、高価なNC工作機械は精度の点でオーバースペックである。また、その他に、産業機械の試作金型の消失模型、カメラやプリンタ模型、あるいは木材の加工などが、シート模型と同等かそれ以下の要求精度となっている。

このような分野に産業用ロボットを使用すれば、次のような効果が期待できる。

- ① 安価なロボットの使用によるコスト低減。
- ② まわりこみ動作を含む広範囲の5軸加工の実現。
- ③ 走行装置とターンテーブルの併用による、ワークサイズに応じた柔軟なシステム構成の選択。

ただし、NC工作機械の代替を実現するには、産業用ロボットが必要な精度を有した上で、3次元CAD/CAMデータを用いての加工を、ロボットの干渉などをシミュレー

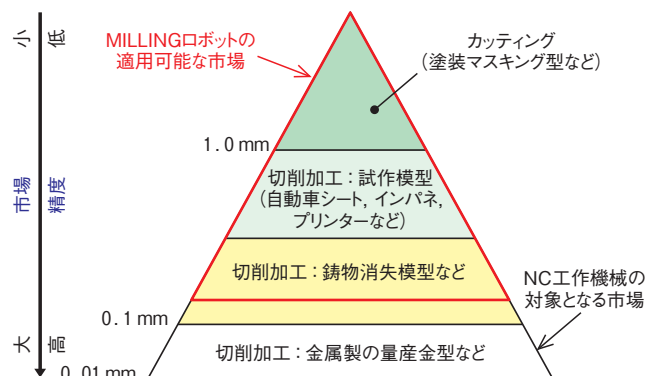


図1 加工精度と市場規模  
Fig. 1 Machining accuracy and market size

ションで確認しながら実施できることが必須となる。

実際にはロボットでの代替が可能な領域とNC工作機械しか対応できない領域がある。その領域を、加工精度と市場規模の関係とともに図1に示す<sup>1)</sup>。必要な加工精度は対象ワークに依存する。そこでロボットを高精度化し、市場が求めるシステムを実現することにより、MILLINGロボットを実用化した。

## 2 精密な切削加工を実現する技術

繰り返し動作のため、ティーチングプレイバック機能を中心に発展してきた産業用ロボットを、NC工作機械の代替として使用するためには以下の課題が存在する。

- ① 機差やたわみの補正による絶対精度の向上。
- ② 多数点(数十万点)の加工データをロボットプログラムに変換するソフトウェア。
- ③ 減速機で発生する周期的な変動(リップル)とロボットの共振で発生する微小振動の抑制。
- ④ エンドミルの姿勢変化で加工位置がオフセットしない高精度ツール計測。

### (1) 絶対精度の向上

産業用ロボットは、繰り返し精度(教示位置の再生精度)は0.1mm前後と高精度であるが、絶対精度(座標値で指定された位置への移動精度)はそれほど高くない。これはロボットの加工・組立誤差、関節角度センサのゼロ点誤差、あるいはアームのたわみがあるためである。正確な位置決めを可能にするため、それらの誤差要因を考慮して指令位

置を補正し、ロボットの平均絶対精度を0.5mm以下にする技術を開発した<sup>2)</sup>。ロボットの各部寸法、関節角度センサのゼロ点、および各部剛性を同定するための計測を出荷前に実施し、これらのデータをロボットコントローラに入力することで、高精度な位置補正が実現できるようになった。

### (2) Gコードからロボットプログラムへの変換

一般にCAD/CAMからNC工作機械への出力は、Gコードと呼ばれる業界標準フォーマットで行われている。このGコードの加工データからロボットプログラムを自動生成するソフトウェアを開発した。ユーザーは、従来から使用しているNC工作機械に対して作成したGコード加工データをそのまま使用できるため、特別な作業を行うことなくMILLINGロボットを使用することができる。さらに、ロボットプログラムを自動生成するソフトウェア「KCONG for MILLING」のシミュレーション機能により、動作範囲が不足しないか、あるいは干渉が発生しないかを事前に確認できる。そのロボットプログラムはDNC(Direct Numerical Control)サーバを通してロボットへ送信される。MILLINGロボットにおける加工データの流れを図2に示す。

### (3) 微小振動の抑制

産業用ロボットは、位置決め精度を高めるため、バックラッシの小さい減速機を使用している。これらの減速機では、低バックラッシに加えて小型高負荷を実現するため、構造上周期的なトルク変動や角度伝達誤差を発生しやすい

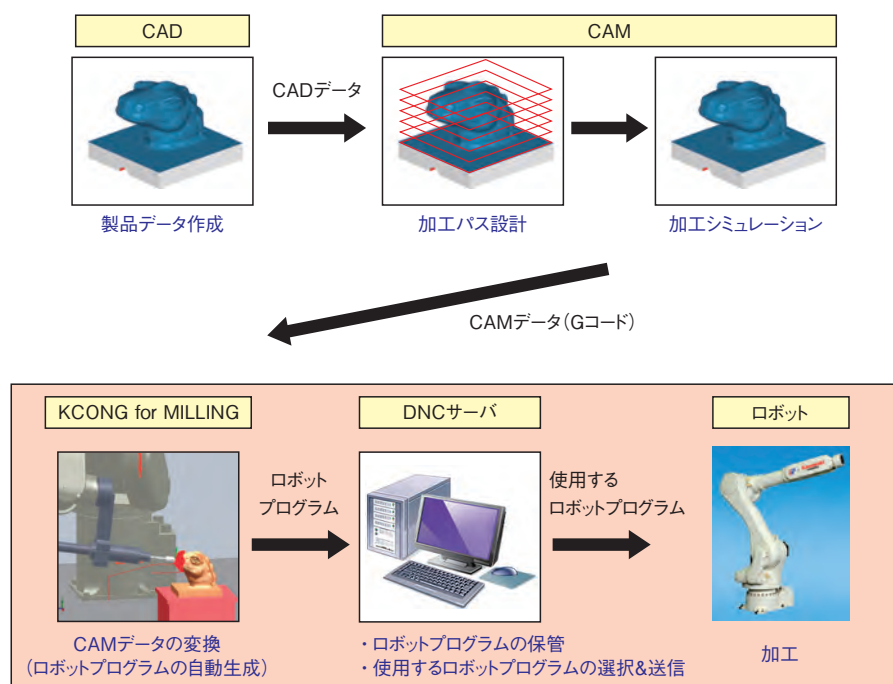


図2 加工データの流れ  
Fig.2 Flow of machining data

欠点がある。このような減速機のリップルは、それ自身は小さいため、通常は問題にならないが、ロボットの固有振動数とその変動の振動数が一致した場合に、振幅が0.2mm程度の微小振動となり、加工に影響を与える。切削加工中にこの微小振動が発生すると、加工したワークに波紋状の微小な凹凸が発生する。

産業用ロボットは姿勢により慣性に変化して固有振動数が変化する。また、ツールを一定速度で動作する場合においても、各関節の回転速度は変動するため、減速機のリップルに起因する振動に対し、加工速度や固有振動数を操作して回避することが難しい。

そのため、モータへのトルク指令にリップルを打ち消す信号を加えることにより、この微小振動を大幅に低減する手法を採用している。これにより、ワーク加工中の振動によって発生する傷を目立たないレベルまで低減することができた。

#### (4) 高精度ツール計測

5軸加工においては、エンドミルがワークにアクセスする方向が変化する。そのため、ロボットのツール登録が正確に実施されないと、エンドミルの姿勢変化で加工点がオフセットして加工後のワークに段差が生じる。産業用ロボットでは、標準的なツール計測の手法が準備されているが、5軸精密加工を実施する上では十分でない。

そのため、真円球を先端に取り付けた基準ツールと投影型位置センサによるツール計測法を開発した。ツール計測状況を図3に示す。センサ情報を使用して真円球の中心位置を変化ないようにロボットを動作させ、その時のロボット関節角を読み取ることでツール位置を計測する。次に長さの異なる基準ツールに交換して同じことを行うことにより、ツール回転軸を計測する。

このツール計測法とロボットの高精度な位置補正技術を組み合わせることで、段差の発生しない5軸加工を実現できるようになった。

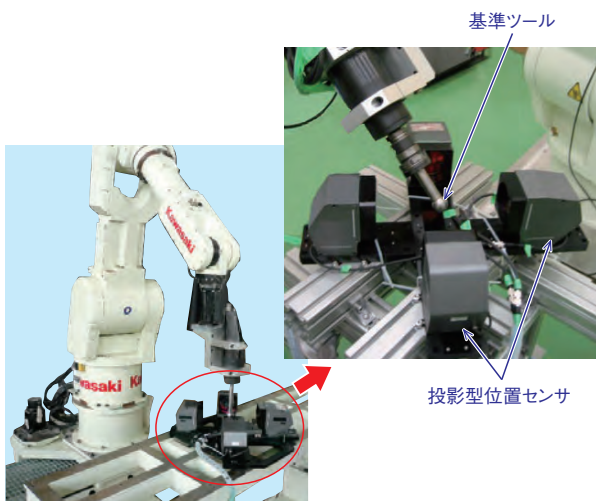


図3 高精度ツール計測  
Fig. 3 Precision tool measurement

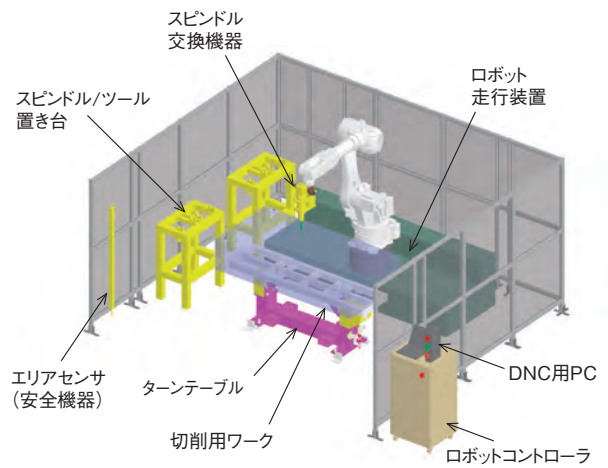


図4 MILLINGロボットシステム構成例  
Fig. 4 Example of milling robot system

### 3 システム構成例

MILLINGロボットのシステム構成例を図4に示す。一般のNC工作機械に比べて設置スペースが小さく、レイアウトの変更が容易である。さらに、切削加工時にはスピンドル(切削用主軸)を使用するが、スピンドル交換機器で、スピンドルをロボットハンドなどの他のツールへ交換すれば、切削ワークのロード/アンロード、あるいは切削前後の計測などが可能になる。

### 4 実適用例

自動車試作シートの模型の切削状況を図5に示す。ロボット1台で一人用シートサイズのワークが切削可能である。

また、その他の切削加工のサンプルを図6に示す。これらのサンプル品は、従来はNC工作機械を使用しなければ切削できなかったが、MILLINGロボットによる加工で、省スペース化やコストダウンが実現できた。

また、本システムは「2010 FIFA ワールドカップ」での選手の活躍を願って行われたナイキジャパン社のキャン

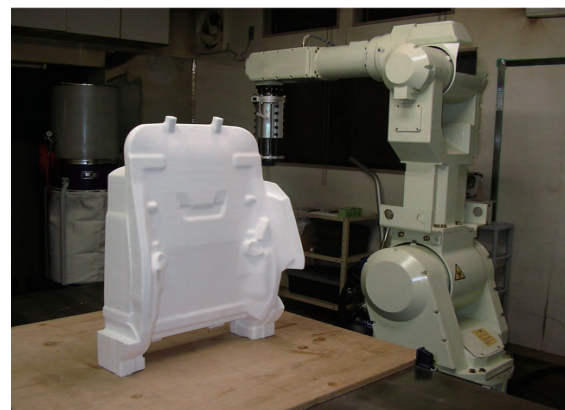
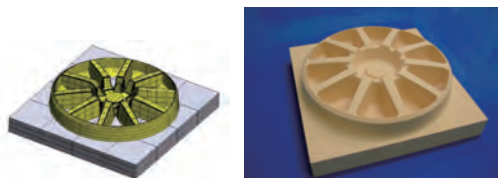


図5 自動車試作シートの加工  
Fig. 5 Automobile seat prototyping





(a) 自動車模型 (発泡スチロール)



(b) ホイール (ケミカルウッド)

図6 サンプルワーク  
Fig. 6 Sample works



図8 レーザ溶接への適用  
Fig. 8 Application for laser welding



図7 ナイキジャパン「2010 FIFA ワールドカップ」キャンペーン  
Fig. 7 Nike Japan "2010 FIFA World Cup" campaign

ペーンに採用された。図7に示すように、サポーターから集められたメッセージを等身大の代表選手の像にロボットが刻むことにより、ワールドカップを盛り上げることに貢献した。

### 5 他の加工への展開

産業用ロボットにより高精度な加工が可能になったことで、さまざまな用途への展開が期待される。図8は、インペラのレーザ溶接の例である<sup>3)</sup>。また、Gコードによる自由曲面の加工が可能であるため、曲面の仕上げ加工などへの適用が期待できる。

### あとがき

従来、産業用ロボットが用いられなかった切削用途に、高精度化およびGコードによる加工の実現でロボットの適

用が可能になった。溶接や塗装で自動車産業に広くロボットが普及したように、試作模型の加工などの分野で、安価で汎用性の高い産業用ロボットが普及していくことが今後期待できる。

### 参考文献

- 1) 長谷川：“産業用ロボットの適用例と必要な要素技術”，日本ロボット学会誌，Vol.27，No.3，pp.268-271（2009）
- 2) 久保田，佐々木，梶原，前原：“生産性向上に向け進化するロボットーより速く，より正確にー”，川崎重工技報，No.163，pp.32-35（2007）
- 3) Maeda, Kobayashi, Kuwano, Tsukamoto, Iwasa：“6.5kW High Power Direct Diode Laser Applications in Heavy Industries”，ICALEO2008 Congress Proceedings（2008）



藤森 潤 家中 良太 堀内 悠平 久保田哲也

高木 登 山 和之 脇坂 明文 川端 純一