工作機械とロボットを完全融合した ロボット内蔵工作機械の開発*

Development of a Fully Integrated Machine Tool with Built-In Robot

森村章一**

杉浦弘幸**

井口憲二**

吉村辰浩**

柴田知宏**

Shoichi MORIMURA, Hiroyuki SUGIURA, Kenji IGUCHI, Tatsuhiro YOSHIMURA and Tomohiro SHIBATA

Key words

machine tool, built-in robot, in-process support, easy operation, variety variable production, compact space

1. はじめに

先進国においては、本格的な人口減少社会に突入している。日本では、団塊の世代が 70 歳以上に達し、さらに少子化も加わり、労働人口の急速な減少が予想されている。製造現場も例外ではなく、人材確保が大きな課題となっており、特に中小企業の労働力不足が深刻である。

そのような背景から、中小企業においても、ロボットなどを用いた自動化技術が重要となってきたが、ロボットの導入実績は非常に少ない。このことについての特に大きな課題として、下記のようなものが挙げられる。

- ・ロボットを扱う専門の知識や技術が必要であり、製造現場の作業員（工作機械のオペレータ）が扱うには、ロボット操作が難し過ぎること

- ・ロボットと作業員との親和性が低く生産の柔軟性が低下し、変種変量生産に向かないこと（ロボットを設置すると、ロボットがじゃままで作業員が作業できないこと）
- ・ロボットを覆う安全柵が必要となり、自動化専用の広いスペースが必要であること
- ・ロボットをワーク搬送にしか用いないとすると、費用対効果が高くないこと

これらの課題は、工作機械の思想とロボットの思想が必ずしも合っておらず、両者にずれが生じたためと考えられる。これらの課題を解決すべく、本開発ではコンパクトな CNC 旋盤とロボットを完全融合したロボット内蔵工作機械を開発した（図 1）¹⁾²⁾。ロボットを内蔵した効果を十分に発揮するために、工作機械への融合を前提とした専用ロボットを開発し、制御系・操作系についても工作機械と一体となったものを開発した。これらの融合開発については、第 2 章で説明する。また、開発した工作機械では、従来のワーク搬送だけの使い方³⁾にとどまらず、加工のサポートをすることも可能とした。これらの使用事例について、第 3 章で説明する。

2. 工作機械とロボットの融合開発

本開発では、コンパクトな横形の CNC 旋盤を対象とし、ロボットとの融合開発を行った。この理由としては、

- ・中小企業を含め、数多くの製造現場で利用されるスタンダードなタイプの工作機械であること
 - ・それにもかかわらず、旋削加工時の切粉が絡まったり堆積したりするなど自動化の阻害要因が多いこと
- などが挙げられ、これらを解決したときの波及効果が非常に大きいと考えられたためである。

ロボットを CNC 旋盤の限られた機内空間に配置する際、加工サポートをするなどロボットの導入効果を高めるためには、以下が必須であると考えられる。

- ・加工中も含め、ロボットが機内を自由に動けること
- ・ロボットが旋盤本来の機能を阻害せず共存できること
- ・ワークを扱えるだけの可搬重量を有すること

図 1 開発したロボット内蔵工作機械の外観

*原稿受付 令和元年 11 月 8 日

**オークマ(株) (愛知県丹羽郡大口町下小口 5-25-1)

図2 開発したロボットの構造 (※ J_n = 第 n 関節)

- ・切粉や切削水などの悪環境にも耐えられること
- ・(コンパクトな) CNC 旋盤に釣り合う安価なロボットであること

しかしながら、汎用的な産業用ロボットでは、これらを同時に満たすことができない。一方で、工作機械の機内という決まった空間であり、必ずしも汎用的な産業用ロボットのようななどのような動きも行えるといったことも必要なく、機内で必要な動作のみ行えればよい。このことから、CNC 旋盤に内蔵することを前提としたロボット構造を考案し開発した (図2)。

このロボットの制御軸数 (自由度, 関節数) は4とあえて少ないものとしている (図2 (a))。制御軸数を必要最小限とすることで、狭い機内にロボットを収めつつ、モータや減速機を可能な限り大きくして、可搬重量や剛性を確保するのが狙いである。また、制御軸数が少なくなること、減速機、モータ、アンプなどの必要数が減るため安価になる。CNC 旋盤では、ワークを回転させた状態で、刃物台や工具をワークの長手方向と径方向の2方向にのみ移動させ加工を行う。このような加工の最中に加工サポートを行うことを考えると、加工点に追従させ切削水をかけるにしても、ワークのびびりを抑えるためにワークを支えるにしても、工具の移動平面内で2方向の並進移動と1方向の回転移動 (姿勢変更) ができれば、多くの作業が行える (図2 (b))。3軸スカラロボットが水平面で動作するのと同様に、このロボットは工具の移動する傾斜面内 (もしくはその面に平行な傾斜面内) で移動し加工サポートを行うことができる。このロボットは、ワークを搬送する際に機外にロボットの手先が届くように、ロボットの根本の位置をドア寄りにしている。そのため、加工中のドアが閉まった状態では、機内側にアームを折りたたんで使用する。この際、刃物台はロボットに接近してくるため、ロボットと刃物台の干渉を考慮する必要がある。そこで、刃物台および工具が到達する範囲を考慮し、アームが工具到達範囲より斜め上方にくるように設置し、アームと刃物台や工具が干渉しないものとした (図2 (c))。なお、この箇所は、刃物台が斜めに移動する CNC 旋盤においてデッドスペース

図3 機械加工中以外のロボット動作

スになりやすい箇所であり、そこを有効に利用している。これにより、工作機械がもつ刃物台の移動ストロークを制限することなく、干渉しないようにロボットが動作可能である。

加工中の加工サポート以外の作業、例えば機外とのワークの受け渡しや機内の切粉清掃等では、根本の回転軸を用いることで、水平方向に機外へのワークの受け渡し、鉛直方向の機内清掃なども行えるようになっている (図3)。

ほかにも、ロボットの動作が工作機械の加工に影響を与えないように振動絶縁をする、ロボットが切粉や切削水に耐えられる構造とするなど必要な項目は多くあるが、それらの説明はここでは割愛する。

本開発においては、工作機械とロボットは電氣的にも融合を図っている。その目的としては、以下が挙げられる。

- ・工作機械の動作 (刃物台の送り動作など) とロボットの動作の同時動作により、加工中のロボットによる加工サポートを可能とするため
- ・工作機械の作業者が、ロボットを簡単に扱えるようにするため

図4は、操作画面の一例であり、対話画面により簡単なパラメータのみ入力することで、ロボットが動作を自動で決定するとともに、刃物台などの動作に合わせて同時動作することも可能となっている。刃物台などとロボットが統合されたシミュレーションにより、動作も確認できるも

図4 ロボット操作画面

図5 ワーク反転

のとした。これによって、次章に示すような加工サポートも可能となった。

3. 実験と使用事例

開発したロボット内蔵工作機械による作業内容としてはさまざまなものが考えられるが、一部の使用事例と実験結果を以下に述べる。

一般的な工作機械の機外に設置されたロボットシステムにおいて、最も重要な作業はワークの交換作業である。本開発の最も大きな特徴は機内で加工サポートができることであるが、一般的なロボットと同様にワークの交換作業や反転作業なども可能である(図5)。また、機外に設置されたワークストックへのアクセスも十分に可能である。

また、機内(ドアの内側)にロボットがあるため、切削水やエアなどの流体を任意の箇所に任意の方向から自在に噴射することができる(図6)。これにより、

- ・チャック、工具、ワークなどに付着した切粉を清掃し加工の品質を安定させること
- ・エアを用いて付着した切削水を吹き飛ばしてから、ワークを払い出すこと
- ・可動部などに切粉が挟まることを防止し、故障やチョコ停などのトラブルを未然に防ぐこと
- ・ワークの材質が変更されるときに、機内の切粉を完全に取り去ってから次の加工に進むこと(※材質の異なる切粉が混ざると、リサイクルの観点から問題)

などができる。なお、これらのことは、従来は基本的に人手により行っており、無人運転の妨げとなっていた。さらには、加工サポートにも用いることができる。刃物台との

図6 機内清掃

(a) 切粉誘導なし

(b) 切粉誘導あり

図7 切粉誘導の効果

干渉を避けながら、加工点で発生する切粉にピンポイントで切削水を噴射することで、連続型の切粉の流れる方向を制御し、ワークや工具への絡まりを防止することが可能となる。図7はその実験の様子であり、同一条件の旋削加工においてロボットによる切粉誘導の有無で比較をしたものであるが、切粉誘導によって切粉の絡まりが抑制されていることが分かる。固定ノズルでは不可能であった加工中の噴射方向変更も容易であり、ワークの形状に合わせて噴射位置を変更できる。なお、この実験においては、流体の力をより強力にするため、切削水とエアを混合したミキシングブローを使用している。

また、ワークのびびり抑制に用いることも可能である。ワークのびびりを抑えるためには、加工条件で対応することも多いが、それは常に可能なわけではない。そのような場合には、一般的には振れ止め装置を用いるが、必要がないときにはじゃまであり変種変量生産には適さない。能動の振れ止め機構⁴⁾も提案されており、このようなことをロボットで行えれば、ワークのびびりを防止でき、必要ないときには邪魔にならないものとなる。図8は、ロボットの先端にローラを取り付けワークを支えるワークサポートの効果を確認したものである。この図より、ワークサポートによって、ワーク表面の縞目がなくなり、びびりが抑制されていることが確認できる。なお、ローラにはばねが仕込まれており、押し付け量を調整して支持力をコントロ

(a) ワークサポートなし

(b) ワークサポートあり

図8 ワークサポートの効果

図9 運用の切り替えの一例

ールできるものとして実験している。この方法は、ロボットで行うため、ワークの段差・ワークの交換・加工の進行に対応して支持部の直径を変更すること、ワークの形状によって支える方向（ラジアル方向だけでなく、アキシャル方向や傾斜した方向）を切り替えること、これらを即座に行うことができる。

工作機械の使い方として、必ずしも常に完全自動化が求められているとは限らず、作業者が手扱いで加工を行いたい場合もある。特に、小ロット部品では、自動運転のプログラムを作成するよりも、作業者が手扱いで加工の方が早い場合も多くある。このような使い方と、ロボットを利用する使い方を簡単に切り替えできないと、変種変量生産に対応できない。開発したロボット内蔵工作機械では、ロボットを使わないときには機内にコンパクトに収納するとともに、ワークストックをスライド移動することで、人がドアの前に立てる状態に容易に切り替えることができる（図9）。なお、ワークストックは安全柵と一体化しているため、ワークストックをドア前にスライド移動させるだけで、安全柵の設置も完了したことになる。これらは、ロボットが機外でなく機内にあるために実現できる。

4. お わ り に

本開発では、ロボットシステムを中小企業などの製造現場に導入する際の課題を解決するため、CNC旋盤とロボットの融合開発を行い、有用性を確認した上で実用化を行った。今後の課題としては、自動化レベルをさらに引き上げるため、機内ロボットとしての高性能化・多機能化、ほかの構造の工作機械とロボットの融合開発、融合レベルのさらなる向上などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 森村章一：自動化システムの導入容易化を可能にする次世代ロボットシステム，機械技術，**67**, 2 (2019) 11-13.
- 2) 井口憲二：工作機械とロボットが完全融合した次世代ロボットシステム「ARMROID」，機械設計，**69**, 5 (2019) 89-92.
- 3) 佐藤新治郎：NC ロボット，機械と工具 別冊 産業用ロボットガイドブック，(1981) 91-96.
- 4) 辺見信彦，村田良司，各務孝：旋削加工用2自由度型能動振れ止め機構の研究，精密工学会誌，**64**, 10 (1998) 1477-1481.

森村章一

2007年東北大学大学院情報科学研究科応用情報科学専攻博士前期課程修了。現在、オークマ(株)第二商品開発部 ROID プロジェクト所属

杉浦弘幸

2015年豊橋技術科学大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。現在、オークマ(株)第二商品開発部 ROID プロジェクト所属

井口憲二

2010年名古屋工業大学大学院工学研究科機能工学専攻博士前期課程修了。現在、オークマ(株)第二商品開発部 ROID プロジェクト所属

吉村辰浩

1987年福井大学工学部産業機械工学科卒業。現在、オークマ(株)第一商品開発部 デザインアーキテクチャ開発課 主管技師

柴田知宏

1999年名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士前期課程修了。現在、オークマ(株)FA開発部 次長