

# 力制御技術によって、 熟練技能者の技を再現する

## 精密仕上げロボットシステム

ものづくりにおいて、作業の自動化は生産性向上や品質の安定化の実現など、多大なメリットがある。しかし、精密仕上げと呼ばれる工程は、熟練技能者の長年にわたる経験から得られた繊細な力の感覚と勘を頼りに作業をせざるを得ない領域であり、自動化は難しいと思われてきた。IHI は、これまでに培ってきたロボット制御技術とシステム化技術を組み合わせることにより、精密仕上げ作業を自動で行えるロボットシステムを完成させた。

株式会社 IHI  
技術開発本部 総合開発センター  
プロジェクト部

江口 武芳



精密仕上げロボットシステム

### 後継者不足と増産への対応が急務

仕上げ工程とは、工作物を超硬カッターや砥石などで削ったあとに形状や表面の粗さを整える作業のこ

とをいい、鋭利な端部（エッジ）を斜めに削り取る「面取り」、エッジを丸く加工する「R 付け」、表面を滑らかにする「磨き」などがある。そのなかでも、ジェットエンジンに使われる精密ギヤや部品をプレス

成型するための金型といった精密部品に対して行われる仕上げ工程は、工作技術やロボット技術が進歩した現在でもなお、熟練技能者の長年にわたる経験から得られた繊細な力の感覚を頼りに作業を行っている。こうした工程は精密仕上げ工程と呼ばれており、図面上の加工指示に「滑らかにつなぐ」など数値で表せない表現があるため、見た感じや触った感じといった感覚による卓越した技能の習得が求められ、またそれを苦労しながら新人技能者に伝承してきた。

IHI はこれまで、生産性の向上、品質の安定化などを目的として、生産工程の自動化への取り組みを行ってきた。今まで自動化が難しかった精密仕上げ工程においても、熟練技能者の減少や、精密部品需要の増加などに対応するために、早急な自動化対応が必要になってきた。

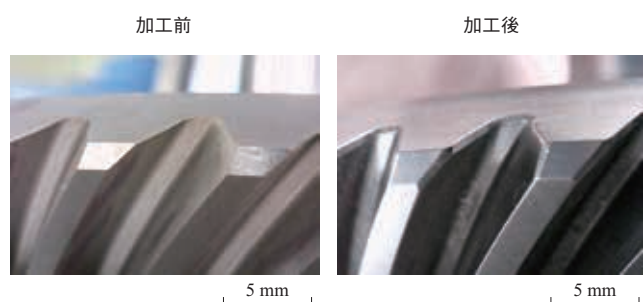
### 熟練技能者の手を再現するハイブリッド制御

従来のロボットや自動工作機（マシニングセンター）では、あらかじめ決められた経路のとおり工具を動かすようになっており、熟練作業者が行う仕上げ作業のように力を加減することはない。これを位置制御と呼んでいる。

IHI では、従来の位置制御に加えて、力を加減する制御（力制御）を組み合わせた「ハイブリッド制御」を応用し、熟練技能者の作業を再現することに挑戦した。

ハイブリッド制御を使った加工のイメージは次のとおりである。

(1) 工具を工作物に近づけていき、力を計測するセンサー（力覚センサー）で工作物からの反力を感知し、工具と工作物との接触を判断する。



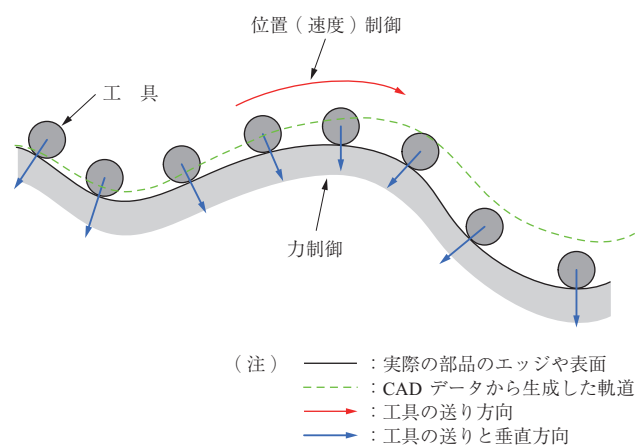
ギヤ歯のエッジ面取り

(2) 工具が触れた場所において、工具を工作物に向かって一定の力で押し付けるとともに、加工経路に沿いながら一定の速度で加工する。その際、工具の進む方向（接線方向）は位置制御、工具を押し付ける方向（法線方向）は力制御という異なる制御を同時に行う（下右図）。工具を動かす経路は3次元CADデータから生成することができる。

(3) 経路の終点で、押付方向と逆の方向に工具を動かし、加工を終了する。

IHI のシステムには、さらに二つの制御技術が採用されている。一つは、タッチセンシングを使った工作物と工具との相対位置の調整である。手順としては、まず計測用ピンを工作物に近づけていき、力覚センサーを使って工作物に触れたと判断した位置を記録する。これを工作物の形状を代表する数か所の場所に対して行い、工作物がどのように設置されているかを把握する。そしてその値が当初計画した値とどのくらい違うか比較・調整する。このようにして工作物の設置位置を補正することができ、ずれた位置に置かれた工作物に対しても、位置決めされた工作物同様、高精度な加工が可能である。

もう一つの制御技術は重力補償である。精密仕上げを行う加工面がうねっていると、工具は向きを変えながら加工を行うことになる。加工面への押付力は工具や電動スピンドルモーターなどに掛かる重力の影響を受け、ロボットが持つ工具の向きが変わると狙った押付方向や力で加工することができない。そこでこの重力の影響を補償する（打ち消す）制御を行うことで、うねりのある複雑な形状に対しても、一定の押付方向と力で加工ができる。



ハイブリッド制御の原理

## 生産の現場で活躍する 精密仕上げロボットシステム

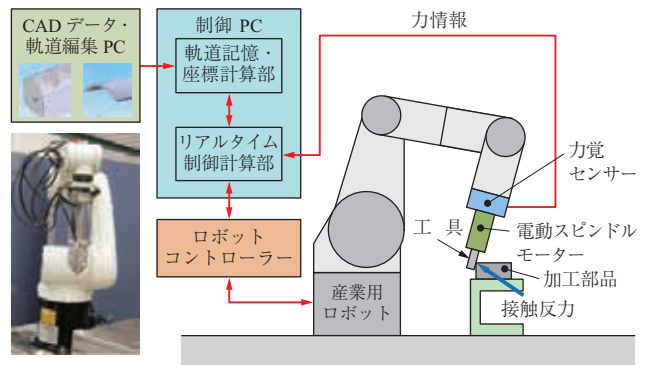
このシステムは、IHI 相馬第二工場でジェットエンジン向け精密ギヤの製造工程のなかで、下図の最終仕上げにあたる工程に採用され、歯研（歯車の研削）後の面取りやブラシがけを自動で行っており、期待どおりに活躍している。

ここで採用されているシステムの構成を右上図に、アーム部分の各部の名称を右中図に示す。これらのうち、計測用ピン、工具、電動スピンドルモーターは自動で交換することができる。このため、操作タッチパネルで加工メニューを選択しスタートボタンを押すだけで、工具やスピンドルを持ち替えながら自動で加工を行い、選択した加工すべてが終了するまで作業者の手を煩わせることはない。また、工具として、超硬カッターのほか、研磨ブラシやゴム製の研磨具など、使用するに従って形状が変化する工具（摩耗工具）も装備している。摩耗工具は、使用しているうちに大きさが徐々に変わっていくため、従来のロボットや自動工作機で使われている位置制御で加工を行うと狙いどおりの仕上げができない。一定の押付力で加工するハイブリッド制御が可能な IHI のシステムでなければ自動化できない工程である。

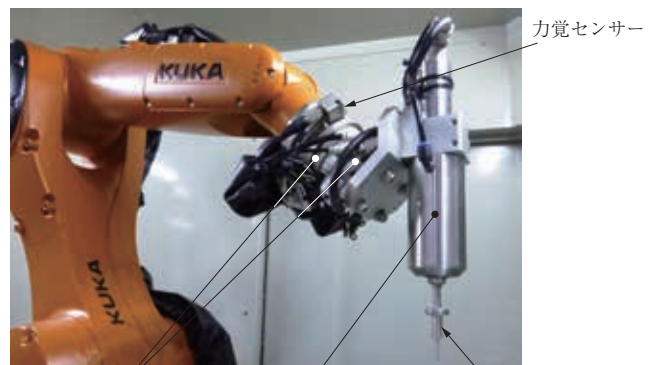
相馬第二工場のシステムは、実際の生産現場で使えるように魂を吹き込まれた熟練技能の後継者といっても過言ではないだろう。

## 磨き工程での採用を目指す

複雑な形状の粗い面を滑らかにする工程は、仕上げ対象がエッジのような「線」から「面」になる分、

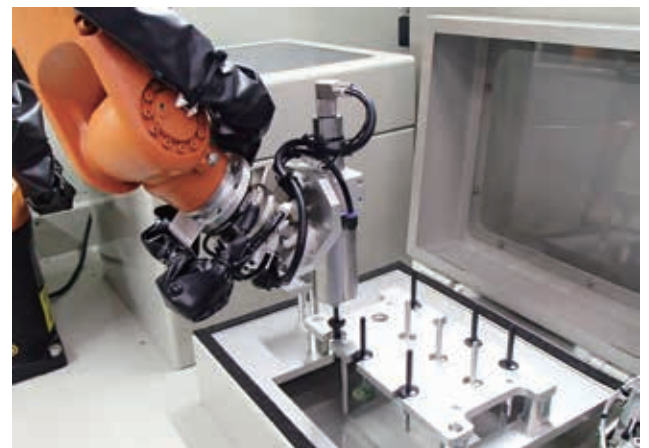


システム構成



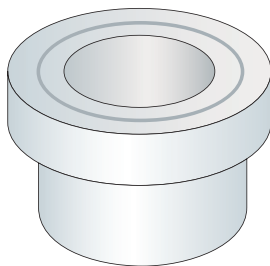
ハンドチェンジャー (ATC)      電動スピンドルモーター (ATC 付き)      計測用ピンまたは工具

アーム部分の各部の名称

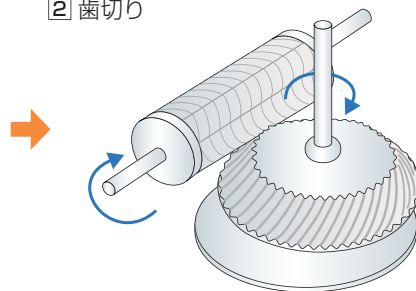


工具交換

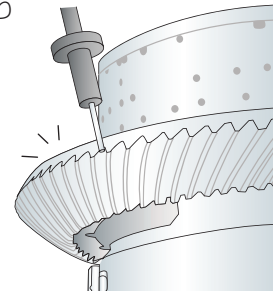
① 仕上旋削



② 歯切り



③ バリ取り



エッジ仕上げよりも時間が掛かり、また表面粗さなどの品質がばらつきやすいため、自動化のニーズが高い。

特に金型の場合は、粗い面を鏡面にする必要があるというだけでなく、形状の寸法に対しても高い精度が求められ、品質を維持することが非常に困難である。このため、今のところ磨き作業はより一層熟練技能者に頼らざるを得ない。まさに精密仕上げロボットシステムの導入、活躍が期待できる分野である。IHI では金型磨きの自動化にも取り組んでおり、試験開発レベルでは一定の成果を得ている。さらに熟練技能者のレベルに達するべく、鍛錬を積んでいるところである。

### だれでも使える、優しい装置に

精密仕上げロボットシステムは、今後 IHI グループ内の他工場でも活用することが期待されている。さらに、社外への販売も視野に入れ、普及を促進するための開発を行っている。

その最も大きな課題は、新しい品種の追加登録を簡単にできるようにすることである。特に仕上げ工程が必要な部品は少量多品種が多いため、頻繁に品種を追加したいという要望は非常に多い。しかし、従来の位置制御のみの装置と比較すると、精密仕上げロボットシステムの設定項目は多岐にわたり、複雑である。これはロボットを使っているために動作範囲が広く、工作物へのアプローチ姿勢もさまざまに取ることができ、また使用可能な工具が多く、力を制御する項目もあるためである。したがって現状では、品種の追加登録は専門の技術者がやらざるを得ない。そこで、ユーザー自身が品種の追加登録を簡単にできる操作インターフェースの開発も進めている。

精密仕上げ工程の自動化は、品質の安定化に加え、作業者に対する負荷低減というメリットもある。例として、集中を要する作業の削減や粉塵作業からの解放などが挙げられる。

さらに、IHI 精密仕上げロボットシステムは装置の外見にもこだわり、安全で美しい生産現場をイメージしたデザインを採用した。今後も課題を解決しながら、積極的に社内外への普及を図っていく。

なお本システムの技術的な内容については、「ロボットアームによる精密仕上げ自動化技術の開発」IHI 技報 Vol. 52 No. 2 (2012) 58 ~ 65 ページをご覧ください。

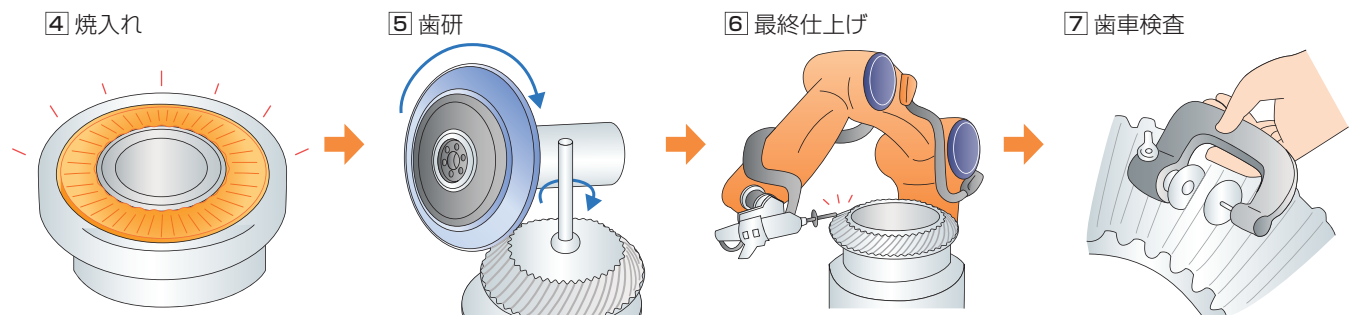
問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 管理部

電話 (045) 759-2213

URL : [www.ihico.jp/](http://www.ihico.jp/)



一般的なギヤの製造工程