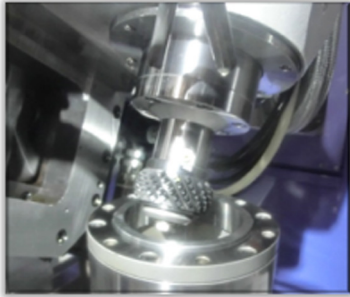


内歯車加工の工具長寿命化・高能率化の実現 “三菱重工スーパースカイビングシステム”

Longer Tool Life and High Performance Cutting for Internal Gear Processing
“MHI Super-Skiving System”



門田 哲次*¹
Tetsuji Monden

菊池 寿真*¹
Toshimasa Kikuchi

千原 悠*¹
Yu Chihara

中村 容造*²
Yozo Nakamura

近年、自動車産業において低燃費化・低騒音化の観点から、遊星歯車装置に使用されている内歯車(リングギヤ)の高精度加工及び高能率加工が要求されている。その解決策として高精度・高能率が期待できるスカイビング加工の開発が各メーカーで行われている。しかし、従来のピニオン型カッタを用いたスカイビング加工(以下 ピニオンスカイビング加工)では加工の原理上、切削中の負荷が高く工具が短寿命で生産コストを悪化させ実用化に至っていない。そこで当社は、ピニオンスカイビング加工と同等の精度にて、加工能率・工具寿命を上回る加工技術を確立したので報告する。

1. はじめに

内歯車は自動車用オートマチックトランスミッション(以下 AT)や建設機械用減速機等の遊星歯車装置に主に使用されている。国内自動車産業のAT生産台数の種類別増減予測を図1に示す。低燃費化に向けてのATの多段化(遊星歯車装置の増加)やCVT・ハイブリッド車の増加に伴う内歯車の生産量増加が予想される。

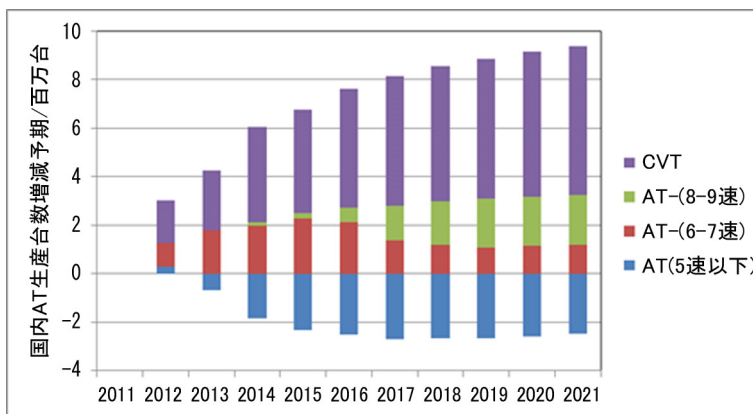


図1 国内AT生産台数の増減予測 (2011年を基準に生産台数の増減を示す)

©LMC Automotive Ltd, 2014. All rights reserved in all countries より引用

また、一般的な内歯車の製造工程を図2に示す。内歯車の製造では熱処理後に歯車の仕上げ研削工程を行わない場合が多く、熱処理ひずみの影響を前工程で極力少なくする必要がある。そのため、熱処理前の歯切り加工では高精度が必要とされている。これらの要求から内歯車加工には高能率かつ高精度な加工技術が必要とされている。

しかし、現状の内歯車の歯切り加工は主にギヤシェーパー加工及びブローチ加工に限られて

*1 機設ドメイン工作機械事業部 技術部

*2 機設ドメイン工作機械事業部 技術部 主席技師

いる。これらの加工方法には生産性・加工精度・生産コスト等において長所・短所が存在しており、高能率・高精度かつ低コストのすべてを満足させる加工方法が課題となっていた。過去から研究されてきたピニオンスカイピング加工は高能率かつ高精度ではあるが、工具の寿命が短く量産加工には向いていなかった。近年、機械の性能向上、工具材質・コーティング技術の進歩から各メーカーによってピニオンスカイピング加工の開発が進められているが大幅な工具の長寿命化は実現できておらず実用化には至っていない。

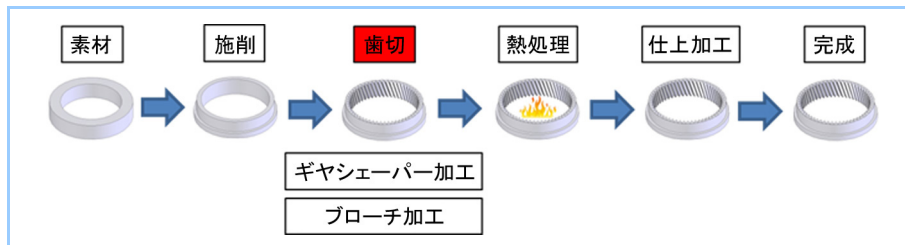


図2 内歯車の製造工程

2. 内歯車加工の工具長寿命化と高能率化

2.1 内歯車加工の現状と課題

内歯車の歯切り加工方法を図3に示す。加工方法はピニオンカッタを用いたギヤシェーパー加工やヘリカルブローチを用いたブローチ加工が主流であり、近年はピニオン型カッタを用いたピニオンスカイピング加工も注目されている。







	ギヤシェーパー加工	ブローチ加工	ピニオンスカイピング加工
加工			
工具	ピニオンカッタ 	ヘリカルブローチ 	ピニオンカッタ 

図3 内歯車の歯切り加工方法

これらの加工方法の長所・短所の特徴を表1に示す。ギヤシェーパー加工はワーク形状による制約はうけにくいものの工具の往復運動で加工を行うために加工時間が長く生産性が低い。ブローチ加工では生産性に優れるものの設備等の初期費用が高く加工精度の調整が難しい、また、段付内歯車や建設機械等に使用される大型の内歯車は加工ができないなどの問題がある。これらの問題を解決するために高能率・高精度な加工であるピニオンスカイピング加工の実用化が進められている。

ピニオンスカイピング加工の加工原理を図4に示す。図4の通り、工具回転軸と被切削物(内歯車)回転軸とを軸交差角を設けて取り付け、同期回転させることにより生じる接触点でのすべりによって切削が行われる。ギヤシェーパー加工が往復運動による加工に対して、ピニオンスカイピング加工は回転運動による加工であり高能率に行うことができる。また、被切削物とかみ合いながらの連続加工により工具歯形が被切削物歯形に転写されるため加工精度ISO4~5級と高精度であり、クラウニング・テーパ加工といった歯筋の精度調整も可能な加工方法である。しかし図4に示す通り、加工中の工具のすくい面と被切削物の加工面がなす角度 θ が大きな負になるため、切削抵抗が大きくなり工具寿命が短くなるという問題が存在する。

表1 内歯車加工方法の特徴

		ギヤシェーパー加工	ブローチ加工	ピニオンスカイビング加工
加工時間		×	◎	○
加工精度		△	△	◎
工具費		△	○	×
設備費用		○	×	△
加工制約		◎	×	○
特徴	長所	<ul style="list-style-type: none"> 加工の制約がなく、すべての被切削物形状で加工可能 	<ul style="list-style-type: none"> 被切削物を上下に移動するだけなので生産性が良い 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性・加工精度が良い
	短所	<ul style="list-style-type: none"> 加工時間が長く生産性が悪い 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費用が非常に高価 加工精度の調整が困難 大型の内歯車、段付きの内歯車は加工不可 	<ul style="list-style-type: none"> 工具寿命が短い

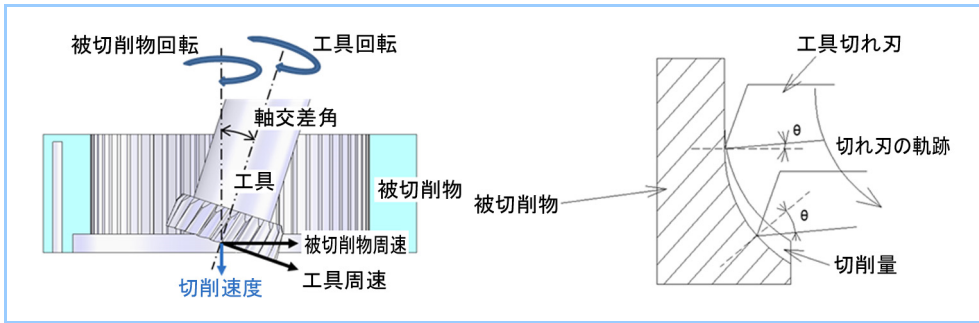


図4 ピニオンスカイビング加工の加工原理

2.2 三菱重工スーパースカイビングシステム

2.2.1 スーパースカイビングカッタ

ピニオンスカイビング加工の工具の低寿命問題を解決するために、内歯車研削盤 ZI20A で開発した技術に着目した。図5に示すように、ZI20A はすべりによる切削速度を上げ高能率に加工を行うために軸交差角を最大限に取っている。使用しているねじ状砥石は、その際に生じる内歯車との干渉を避けるために樽形となっている。この砥石形状を応用してスーパースカイビングカッタを開発した(図6)。

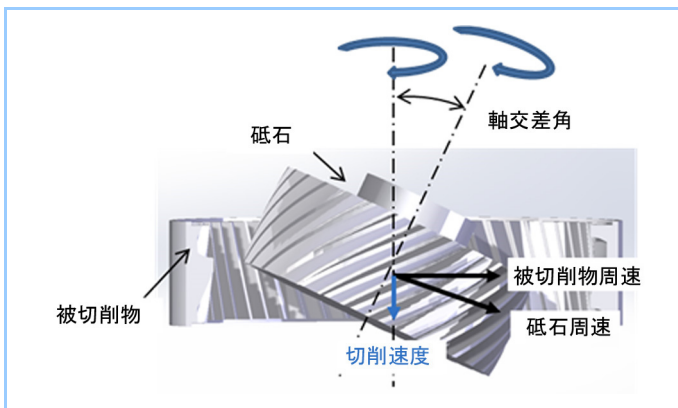


図5 内歯車研削盤 ZI20A の加工方法

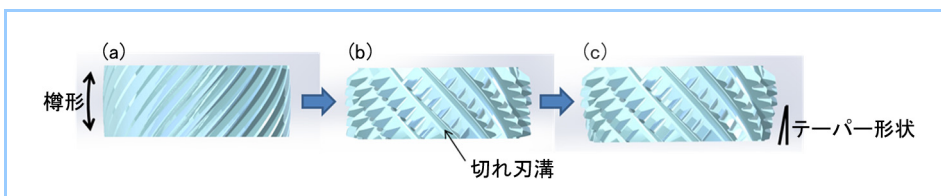


図6 樽形砥石とスーパースカイビングカッタ形状

- (a) 内歯車研削盤 ZI20A 使用の樽形砥石, (b) 切削工具として切れ刃溝と逃げ角を追加
 (c) すべての刃が切削に関与するように荒加工領域の外周部にテーパを追加

加工原理はピニオンスカイビング加工と同様である。しかし、工具を多刃状にしたことによりピニオン型カッタでは1刃で内歯車の歯溝を加工していたものをスーパースカイビングカッタでは複数刃で加工を行う。これは、工具の荒加工領域をテーパ形状にしたことにより、多刃状のすべての刃が切削に関与しているからである。

図7に示す通り、仮にピニオンスカイビング加工では3パスで歯溝を加工していた場合に対して、スーパースカイビングでは1パスで異なる3刃が切削に関与して加工を行い、1刃が切削に関与する回数はピニオン型カッタの1/3となる。また、加工パス数削減によりサイクルタイムも短縮できる。このように多刃状及びテーパ形状を追加したスーパースカイビングカッタではピニオンスカイビング加工に比べ同等の加工精度にて長寿命・高能率化が期待できる。各加工方法の加工精度・加工時間の比較を図8に示す。

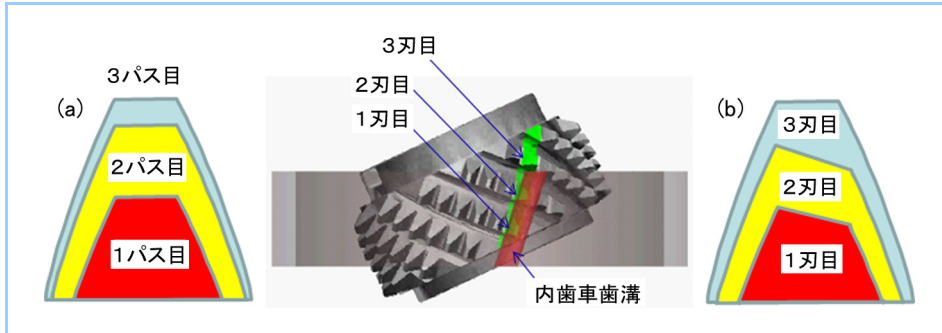


図7 スーパースカイビングカッタの加工方法

- (a) ピニオンスカイビング加工の場合、切込みを変えて3パスにて加工
- (b) スーパースカイビングカッタの場合、1パスで3刃が切削に関与

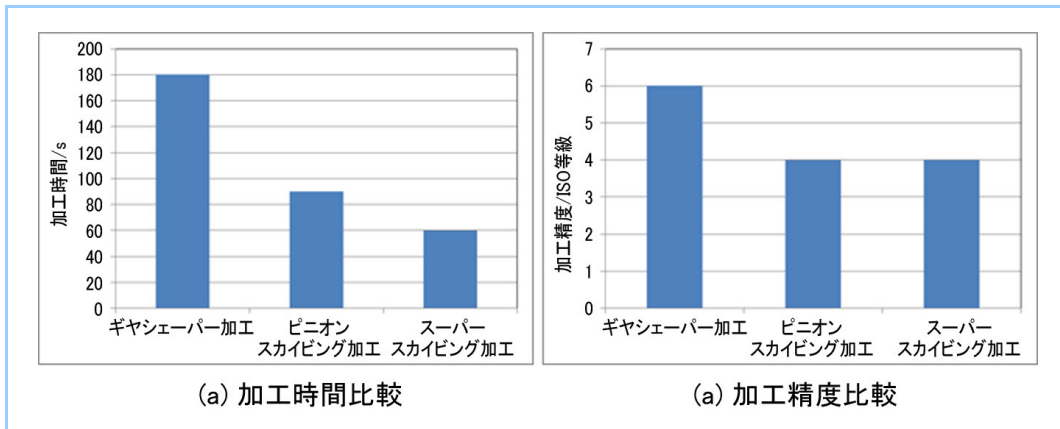


図8 加工性能比較

2.2.2 切削シミュレーション

スーパースカイビングカッタの開発と同時に、切削シミュレーションの開発も行った。被切削物諸元・工具諸元・加工条件を基にシミュレーションによって切削反力推定・工具寿命予測を行い、最適な工具仕様及び加工条件を導き出す。

2.3 加工試験

加工試験は表2の通り、ギヤシェーパー加工のサイクルタイムの約 1/2 の条件にて実施した。図9の工具の摩耗観察結果の推移から摩耗限界量の 0.3mm では約 250 個加工できる。図10は被切削物諸元より算出した各加工方法の加工個数であり、スーパースカイビングカッタではピニオンスカイビング加工の約2倍の寿命が期待できる。また、加工後の工具摩耗状態は図11の切削シミュレーション結果を比較しても、結果は良く一致しており切削シミュレーションの妥当性も確認できた。なお、今回の寿命評価はテーパなしのカッタで行っている。

表2 被切削物諸元及び加工条件

被切削物諸元				
モジュール	歯数	圧力角	ネジレ角	材質
2	57	20°	18° RH	SCM415

加工条件		
	切削速度	サイクルタイム
スーパースカイビング加工	130m/min	90s
ギヤシェーパー加工	50~90m/min	180s

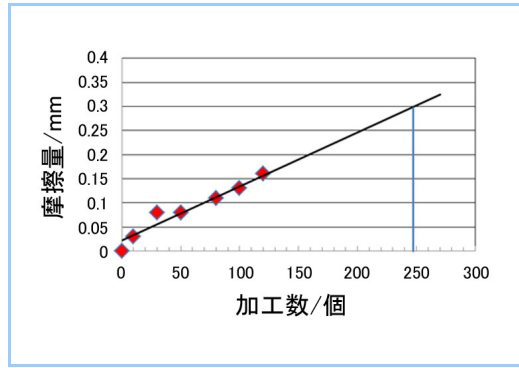


図9 工具摩耗量推移

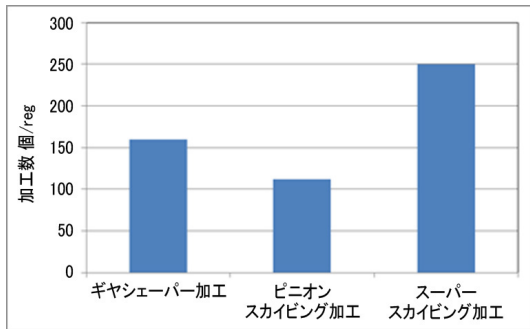


図10 加工数比較

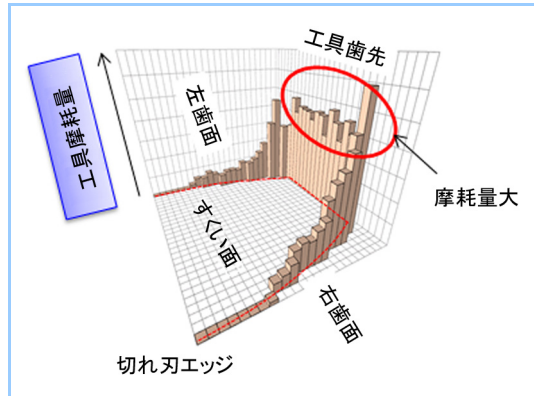


図11 切削シミュレーション結果

3. 今後の課題

(1) スーパースカイビングカッタの課題

スーパースカイビングカッタは加工実績をカッタ設計にフィードバックし、工具仕様の更なる最適化を図る。

(2) スカイビング盤の開発

スーパースカイビングカッタの性能を最大限に生かして、高能率に内歯車の量産加工を実現させるためにスカイビング盤の開発を行っていく。

4. まとめ

内歯車加工の高能率化・長寿命化を目的に工具の開発を行ってきた。今回は工具寿命・切削シミュレーションの評価を行い、切削シミュレーションの妥当性とピニオンスカイビング加工に比べての工具の長寿命化の確認ができた。今後は、テーパ形状の追加や工具設計の最適化を行い更なる工具の長寿命化・高能率化を目指して開発を行っていく。これらの開発した工具・シミュレーション・機械が一体となりお客様に最適な内歯車加工を提案していきたい。

参考文献

- (1) 柳瀬吉言ほか, 世界初量産用内歯車研削盤 ZI20A の開発, 三菱重工技報 Vol.46 No.3 (2009)