

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Machining

Vol. **31** B1  
October/2016

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

工程集約型歯車スカイビング加工機  
「スカイビング ギヤシェープセンタ  
GMS450」

Skiving machining center for Gears  
"GMS450"

〈キーワード〉 ギヤスカイビング・複合加工機  
ワンチャック加工・省スペース・ハード加工  
同期精度・位相合わせ・IoT

工作機製造所／技術部 開発  
古田 知康 Tomoyasu Furuta

工作機製造所／技術部 開発  
廣瀬 智博 Tomohiro Hirose

## 要 旨

近年、歯車の製造工程においてシェーパ加工よりも効率的に歯切りを実現するギヤスカイビング加工が注目されている。NACHIでは、ブローチ加工では実現が難しい大径の工作物の高能率な歯切りを実現する複合加工機を開発した。この複合加工機では、ギヤスカイビング加工による歯切りのほか、旋削、穴あけおよびタップ加工など歯車の製造工程を1台の機械に集約することができる。

この複合加工機を用いた工作物の歯車精度はJIS5級(JIS B1702 1998)を実現し、さらに工作物の焼入れ後の仕上げ加工も可能である。本稿では、開発した「スカイビング ギヤシェーブセンタ GMS450」の特長と加工性能について紹介する。

## Abstract

Recently in the gear manufacturing, Gear Skiving has been drawing attention since it cuts gears more efficiently than gear shaping. NACHI has developed a multi-functional machine tool that realizes high-efficient cutting of gears with large diameters, which is difficult to achieve with broaching. In addition to gear skiving, the processes such as turning, drilling, and tapping required for gear manufacturing are integrated in this multi-functional machine tool.

The precision of a gear processed with this multi-functional machine tool achieves JIS Class 5 (B1702 1998) and the machine tool is capable of finishing after a gear is hardened. In this article, the features and performance of NACHI's Skiving machining center for gears GMS450 are introduced.

## 1. 工程集約型歯車スカイビング加工機の誕生

建設機械向けの油圧走行モーターや各種減速機に組み込まれる内歯車部品の歯切りには、シェーパ加工やブローチ加工が用いられる。シェーパ加工は、工作機械に工具の回転と上下運動の同期を実現するための複雑な機構を要求する上、加工効率も良好であるとはいえない。ブローチ加工は高能率での歯切りが可能であるが、工具や工作機械が大型であることに加え、大径の工作物では実現性が低い。

また、多品種少量生産の製造現場において、段取り替え時間がたびたび問題になる。さらにシェーパ加工では専門的な知識を要する加工条件の設定が必要であり、作業の煩雑さや加工ミスを生じさせやすい。

NACHIでは、 $\phi 450$ までの産業機械向けの歯車部品製作をターゲットに複合加工機を開発した。図1に外観を示すスカイビング ギヤシェーブセンタでは、歯切り工程をギヤスカイビング加工とし高能率な歯車部品製作を提供する。



図1 「スカイビング ギヤシェーブセンタ GMS450」



## 2. ギヤスカイビング加工の原理

ギヤスカイビング加工の原理を図2に示す。ギヤスカイビング加工では、対向する工具と工作物が同期した回転を行なう。工作物に対して一定の角度を与えられた工具の回転は、工作物の軸方向に速度が生じる。この速度を切削速度として用い、歯車の形をしたスカイビングカッタが工作物との干渉部分をそぎ落とすことで歯切りを実現している。

シェーパ加工は、工具の往復運動であるのに対し、ギヤスカイビング加工では回転工具による

切削加工であることから加工効率を高めることができる。また、この加工法では内歯車だけでなく外歯車の歯切りが可能であり、歯すじにクラウニングを付加することもできる。

これら歯車加工を行なう工作機械には、高剛性と高減衰性の確保が求められる。さらにギヤスカイビング加工では、工具主軸と工作物主軸の回転誤差が歯車精度に影響することから高い同期精度が求められる。

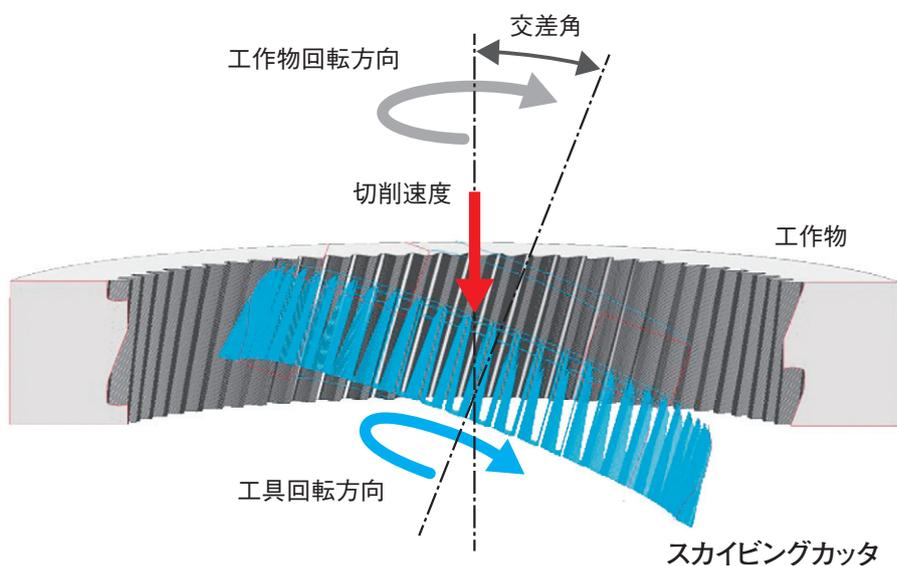


図2 ギヤスカイビング加工の原理

### 3. スカイビング ギヤシェーブセンタの特長

スカイビング ギヤシェーブセンタの構造を図3に示し、諸元を表1に示す。この複合加工機は直交3軸の門型の機械構造を採用し、対向して設置された工具主軸と工作物主軸の2つの主軸を持つ。ギヤスカイビング加工では、工具を工作物に対して角度を与える必要があることから、工具主軸は旋回軸上に設置している。

この複合加工機は高能率高精度なギヤスカイビング加工を主眼に機械構造を決定しており、汎用マシニングセンタ型のギヤスカイビング加工機と比較して圧倒的な剛性の高さを有している。複合加工機の直動軸にはすべりと転がりの複合案内を用い、高剛性と高減衰性を確保している。工具主軸および工作物主軸は、同期精度を確保するために高出力のダイレクトドライブモーターと高分解能のエンコーダーを採用し、ギヤスカイビング加工における加工負荷変動の影響を極小化する制御を用いることで、工具主軸-工作物主軸間の同期誤差を抑えている。

この複合加工機は、施削、穴あけ、タップなど歯車製作の工程集約を実現するためにATCを用いた工具交換が可能である。マガジンは標準で6本としているが、さらなる工具交換の要求に対し変更可能な配置にしている。工具ホルダは、剛性を確保するために2面拘束のBBT50を採用している。

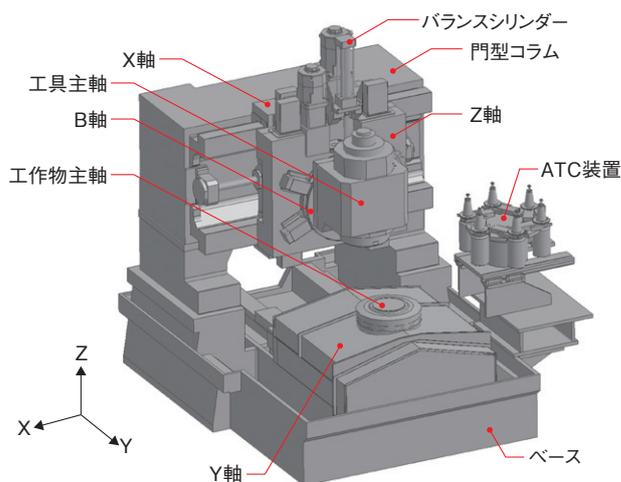


図3 スカイビング ギヤシェーブセンタの構造

表1 スカイビング ギヤシェーブセンタの主要諸元

加工能力	工作物最大径	mm	φ450
	加工モジュール	—	m4.5
	最大加工歯幅	mm	120
	工作物最大高さ	mm	250
	歯切り工具	—	スカイビングカッタ
工具主軸	主軸テーパ穴 (ツールシャンク型式)	—	7/24テーパNo.50 (BBT50)
	主軸最高回転速度	min <sup>-1</sup>	3,000
	電動機 (30分/連続)	kW	26/22
工作物主軸	主軸最高回転速度	min <sup>-1</sup>	1,400
	電動機 (30分/連続)	kW	26/22
各軸移動量	左右移動量 (X軸)	mm	700
	前後移動量 (Y軸)	mm	350
	上下移動量 (Z軸)	mm	300
	工具旋回角 (B軸)	degree	±25
A.T.C. (標準)	工具収納本数	本	6
	工具最大径	mm	φ150
	工具最大長さ	mm	250
	工具選択方式	—	番地固定ランダム
NC装置	型式	—	FANUC 31i-B
	表示器	—	FANUC PANEL i
ユーティリティ	総使用電力	kVA	88
機械の大きさ	機械の高さ	mm	2,700
	所要床面積 (幅×奥行き)	mm	2,500×3,860
	正味機械質量 (本体)	kg	22,000

オプション: 工作物チャック、外部スケール 他

# 4. 良好な作業性

複合加工機の最大の特長は、複数の工程を1台の工作機械に集約できることである。さらに、この複合加工機では機械構造をコンパクトに収めることで図4に示すように寄付き性を確保し、カバーはクレーン作業を考慮した形状にすることで多品種少量生産時に必要な段取り替えなどの作業性を良好にしている。

この複合加工機の操作盤には、工作物、工具などの諸元を入力するだけでギヤスカイビング加工プログラムを作成できるソフトウェアを搭載している。図5の対話画面では、外歯および内歯の平歯、はすば歯車に限らず、多段歯車、クラウニングなど多彩な歯切りプログラムが簡単に作成できる。また、ねじれ

方向などの誤入力を検知するヒューマンエラー防止機能や初品加工時の追込み量の修正を容易にした初品モード機能を搭載し、NCプログラム作成から量産までの時間を大幅に短縮できる。



図4 良好な寄付き性と作業性

The screenshot shows the 'ギヤ諸元入力画面' (Gear Parameter Input Screen) with the following data:

項目	値	項目	値
歯数54	54	工具番号56	56
外歯/内歯-1:内歯	1:内歯	工具歯先円径φ7.558	7.558
1:外歯	1:外歯	工具ねじれ角5.000	5.000
歯先円径120.000	120.000	工具ねじれ方向1:右ねじれ	右ねじれ
工具番号1	1	1回目切込量3.130	3.130
工具モジュール1.500	1.500	すべり速度103.178	103.178
工具ねじれ方向1:右ねじれ	右ねじれ	送り速度0.850	0.850
工具モジュール5.000	5.000	工具回転速度1100.000	1100.000
工具歯数80	80	工具ねじれ角1:左ねじれ	左ねじれ
工具ねじれ角1:左ねじれ	左ねじれ	工具ねじれ方向1:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向1:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール1.500	1.500
工具ねじれ角2:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向2:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向2:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール5.000	5.000
工具ねじれ角3:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向3:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向3:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール1.500	1.500
工具ねじれ角4:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向4:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向4:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール5.000	5.000
工具ねじれ角5:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向5:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向5:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール1.500	1.500
工具ねじれ角6:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向6:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向6:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール5.000	5.000
工具ねじれ角7:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向7:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向7:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール1.500	1.500
工具ねじれ角8:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向8:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向8:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール5.000	5.000
工具ねじれ角9:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向9:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向9:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール1.500	1.500
工具ねじれ角10:右ねじれ	右ねじれ	工具ねじれ方向10:右ねじれ	右ねじれ
工具ねじれ方向10:右ねじれ	右ねじれ	工具モジュール5.000	5.000

The 'クラウニング形状設定' (Crowning Shape Setting) dialog box shows:

- X=クラウニング量[mm]: 6.789
- Y=クラウニング中央値[mm]: 8.999

図5 対話画面

## 5. 高能率高精度加工事例

この複合加工機を用いて、 $\phi 450$ の工作物に m3.5 歯数110 歯幅55mmの内歯車部品の歯切りを行なった。表2に加工条件を示す。この歯切りには、NACHI製のスカイピングカッタを使用している。

工作物の外観を図6に、歯車精度を図7に示す。歯車精度は JIS5級 (JIS B1702 1998) が得られた。歯切りに要する時間はシェーパ加工に対し

1/4 (7.6分) であったが、工作物の諸元によっては加工時間を1/5以下に短縮できる。この結果は、この複合加工機は大径かつ大モジュールに対しても高精度かつ高能率加工ができることを示しており、NACHIが培ってきた歯車加工技術および工作機械設計技術を融合することで高能率高精度な歯車部品加工を実現した。

表2 加工条件

工作物諸元	外径	mm	$\phi 450$
	材質	—	SCM420
	モジュール	—	m3.5
	圧力角	degree	20
	歯数	—	110
	ねじれ角	degree	0(平歯車)
	ピッチ円直径	mm	$\phi 385$
	歯幅	mm	55
工具諸元	歯数	—	35
	ねじれ角	degree	20
	ねじれ方向	—	RH
	材質	—	FAX55
	コーティング	—	Hyper DuAl GP
加工条件 (粗/仕上げ)	工具軸回転数	$\text{min}^{-1}$	860 / 860
	切削速度	m/min	120 / 120
	送り量	mm/rev	0.4 / 0.1
	切削液	—	水溶性 20倍希釈
	軸交差角	degree	20

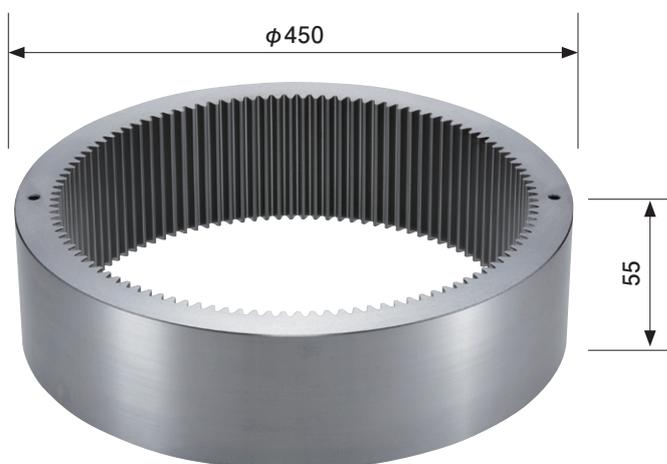
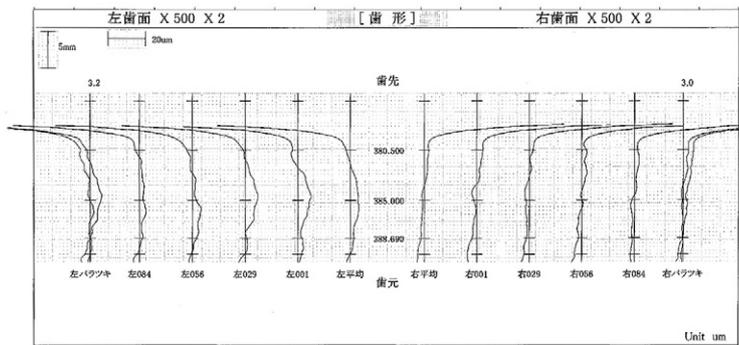
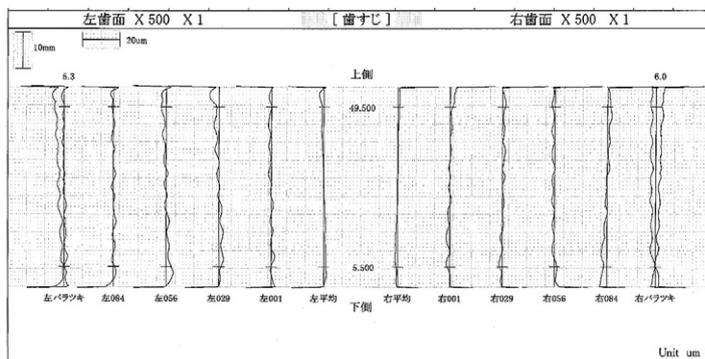


図6 加工事例( $\phi 450$  m3.5)



a) JIS5級の歯形精度



b) JIS1級の歯すじ精度

図7 歯車精度(B1702 1998)

## 6. トータルソリューションの提案

NACHIでは、ロボットを核にした総合機械メーカーとして工具、工作機械およびロボットのトータルソリューションを提案している。例えば、図8に示す垂直多間接ロボット「MC70」を活用した工作物の自動搬入出や軽量コンパクトロボット「MZ07」によるバリ取りで工程集約だけでなく無人化工場を実現できる。

さらに、歯車部品加工に必要なギヤスカイピングカッター、タップやドリルの提供だけでなく、これら工具と複合加工機的能力を最大限に活かす加工条件を提案できる。

## 7. 今後の展開

歯車のさらなる高精度化の要求に対応するため、研削が困難な焼入れ後の内歯車へのハードギヤスカイピング加工や、これを実現するために必要な位相合わせ機能を追加し、より高付加価値な複合加工機に進化させていく。また、設備診断機能など生産性向上に寄与するIoT時代に対応した複合加工機を提供していく。

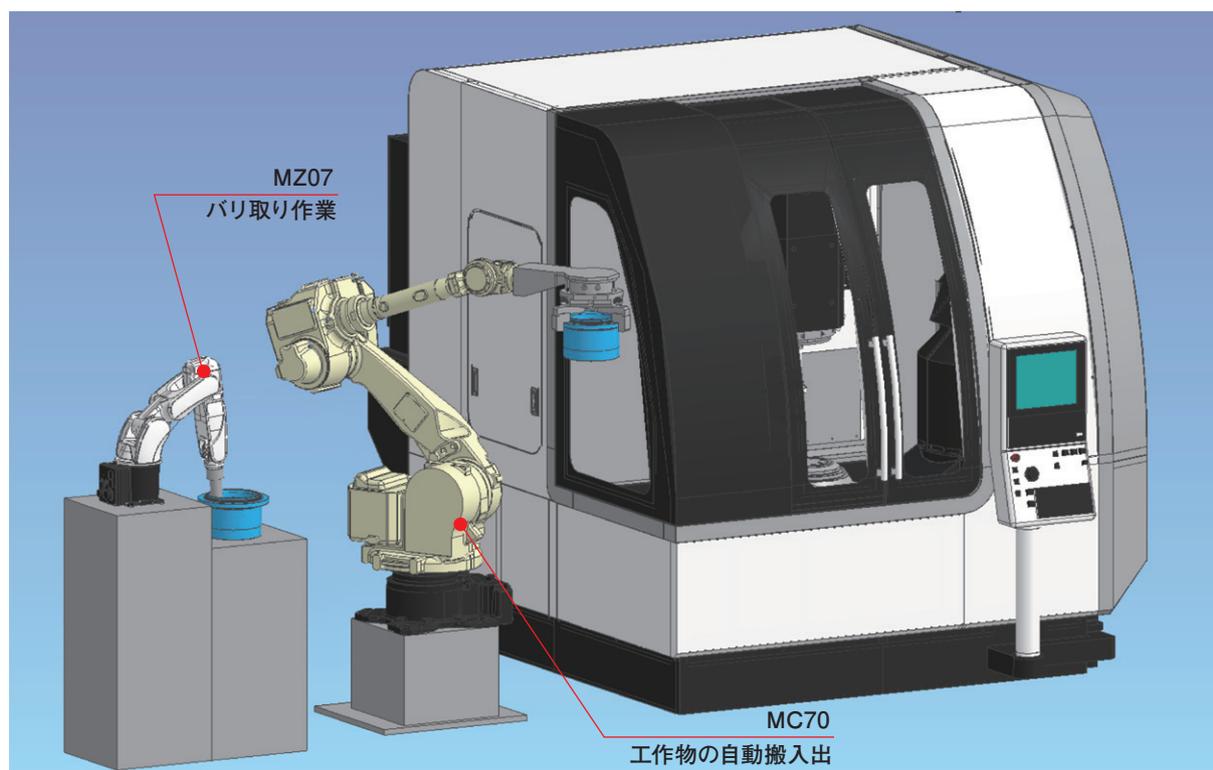


図8 ロボットを用いた自動搬入出とバリ取り作業