

## B2 Machining

歯車加工の新しい選択肢

### 「長寿命化を実現するスカイビングカッタと加工技術」

"Skiving Cutter for Realizing a Longer Life and Skiving Technology"  
New Option for Machining of Gears

キーワード | 歯車・複合加工機・スカイビングカッタ・長寿命・高能率  
形状・材料・コーティング

工具事業部／工具技術部

笠井 康 Yasushi Kasai

## 要 旨

近年、歯車加工においては、生産ラインの小規模化や少量多種生産のニーズが高まっており、旋削や穴あけ加工ができる複合加工機を用いたスカイビング加工への注目が高まっている。

スカイビングカッタ(図1)を用いて、能率よく加工を行なうためには、加工の特性を、よく理解する必要がある。

本稿では、スカイビング加工の基本特性を解説し、次に、長寿命、高能率を実現するNACHIのスカイビングカッタの3つの基本要素、“形状”、“材料”、“コーティング”と“加工条件選定の考え方”について紹介し、最適な工具を提案する。



図1 スカイビングカッタ

## Abstract

Recently the needs for scaling down production lines and production of multiple models with smaller volumes have been increasing in the machining of gears. Skiving with use of equipment for multiple machining such as lathing and drilling has been increasingly drawing attention.

In order to machine efficiently with a skiving cutter (see Illustration 1), it is necessary to understand the characteristics of skiving.

In this article, the basic characteristics of skiving is explained. Then next introduced are three basic elements, form, material and coating on NACHI's skiving cutter that realizes a longer life and high efficiency. An approach to selection of the skiving conditions is discussed and followed by a proposal of optimum tools.

## 1. ギヤスカイビング加工とは？

スカイビング加工では、工作物に対して、スカイビングカッタを傾けて配置し、工作物と工具は、歯数比に対応した速度で同期回転する。その状態のまま工具を工作物軸方向に送りを与えることで、切削することができる(図2)。

工作物の回転方向と工具の回転方向が異なることから、工作物と工具の間にすべりが発生し、そのすべりを利用するのがスカイビング加工の原理である。

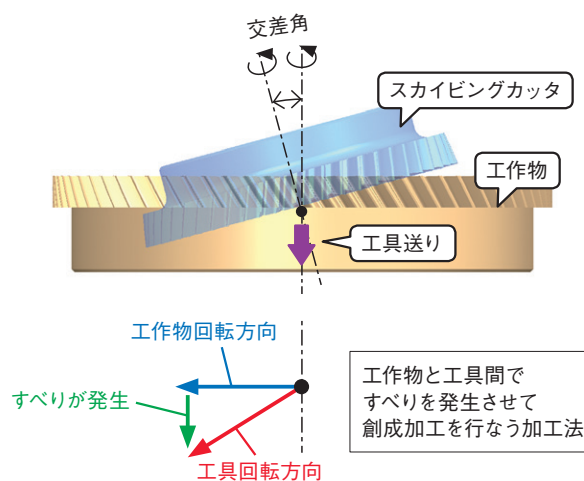


図2 スカイビング加工模式図

スカイビング適用事例は図3に示すように外歯車、内歯車、外スプライン、内スプラインである。複合加工機を使用することで、工作物をワンチャックで加工でき、シャフト部品への外歯車と外スプラインの連続加工、外歯車と内歯車のある部品を加工することが可能となる。また、2つの歯車の歯の位相あわせが可能になる。

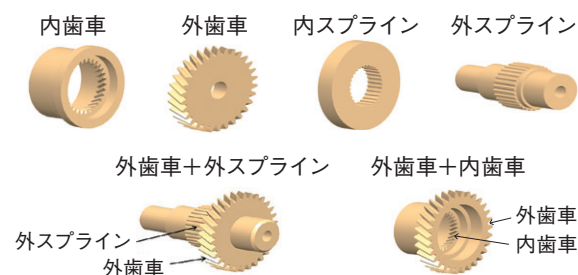


図3 スカイビング加工適用工作物

これらのことから近年、量産工程においてスカイビング加工を採用するユーザーが増加している。

## 2. スカイピング加工の特徴と課題

スカイピング加工は、切削始めから、切削終わりにかけて、切削方向が変化するという特徴がある(図4)。

切削始めでは、工具が工作物に対して、正(ポジ)のすくい角がある状態から始まり、切削中に有効すくい角は変化して負のすくい角(ネガ)になる。すくい角が大きい場合は、とても削りやすいが、切削終わりのような負のすくい角になると削りにくく、切削温度が上昇する(図5)。

同様に、切削負荷については、切削始めに対し、切削終わりには、大きな値を示すことが分かる。

スカイピング加工は、切削終わりで、切削温度の上昇、切削負荷が大きくなるため、適正な使い方をしなければ短寿命になることが課題である(図6)。

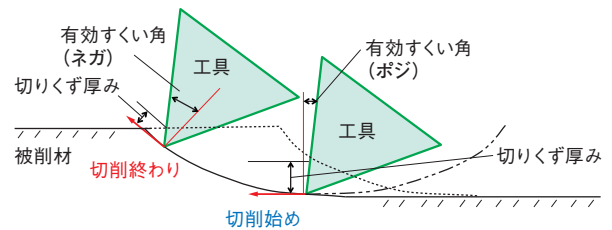


図4 スカイピング加工でのすくい角の変化

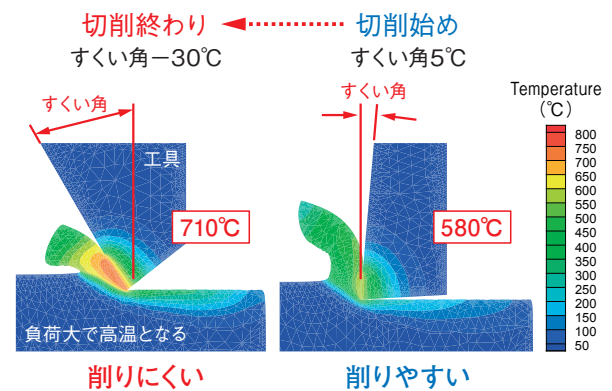


図5 切削始めと切削終わりの工具温度

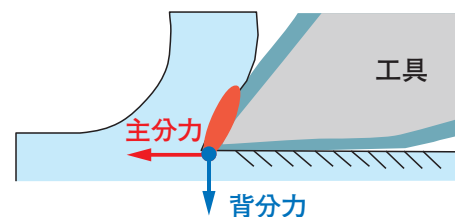
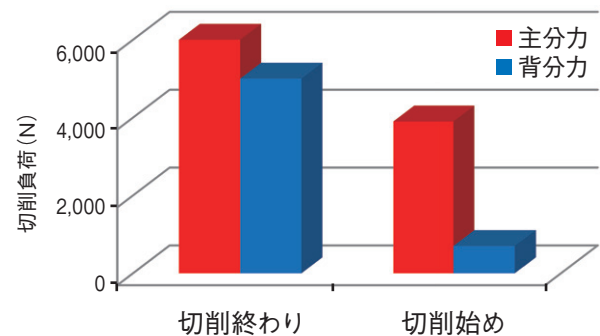


図6 切削始めと切削終わりの切削負荷

### 3. 工具の損傷を抑制するために

スカイビングカッタは、工具の外周面が一番仕事をするため、図7で示すように、切れ刃の先端(外周)が損傷する。この損傷を抑えることが非常に重要である。



図7 スカイビングカッタの損傷形態

この損傷に対する対策は、

- ①最適な工具形状、材料、コーティング
  - ②適正な加工条件
- の選定が重要であり、本稿ではこれについて解説する。

#### 1) 最適な切れ刃形状

スカイビング加工では、切れ刃に大きな負荷がかかるため刃先の強度を上げることが重要である。

一般的に、工具切れ刃に微小なホーニング処理を施すことにより、工具の損傷を抑制することが知られているが、スカイビングカッタにおいても、同様に有効である。図8に切削中の工具刃先にかかる応力分布シミュレーションの結果を示す。

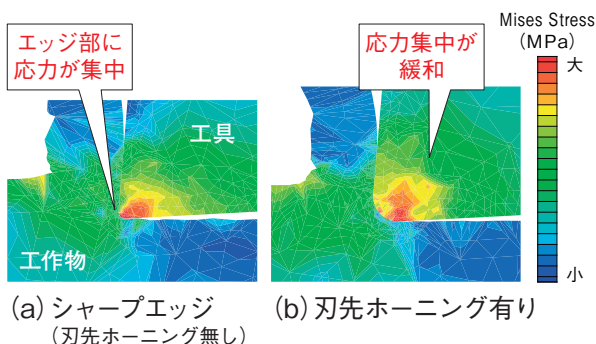


図8 工具刃先の応力分布比較

ホーニングを付けることにより、刃先エッジ部の1点へ応力が集中することを抑制することができる。

次に刃先ホーニング量を変えた場合の切削負荷のシミュレーション結果を示す(図9)。

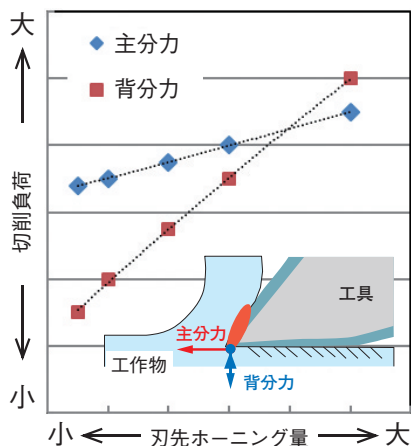


図9 ホーニング量と切削負荷

刃先ホーニングを大きくしていくと主分力よりも背分力が大きくなり工作物を削る力よりも押し出す力が強くなるため、適正なホーニング量を施すことが重要である。

図10、図11は、内歯車のスカイビング加工事例である。従来品の工具切れ刃エッジ形状に対し、ホーニング処理を施すことで、工具寿命が2倍に向上し、また、工具寿命も安定する。

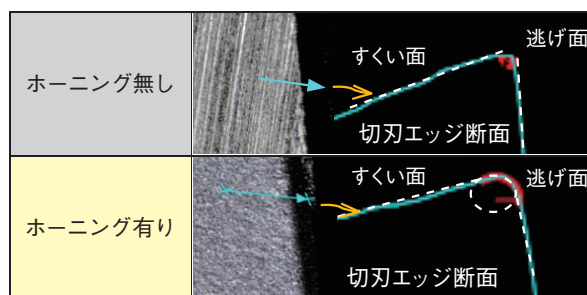


図10 ホーニング処理有無違い工具拡大写真

工作物諸元(内歯車)	: m1.4×PA20°×HA23°×NT70
被削材	: SCM420H (HB180 ~ 200)
工具材料	: FAXG1
コーティング	: Hyper DuAl GP
切削速度	: 150m/min
送り	: 0.4/0.1mm/rev (2パス)

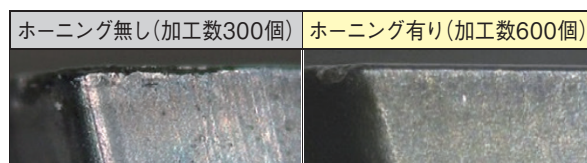


図11 ホーニング処理有無の工具摩耗

## 2) 用途に応じた工具材料の選定

表1は、NACHIのスカイビングカッタの工具材料のラインナップとその特性の表である。スカイビング加工は、耐摩耗性の高い粉末ハイスが適しており、とくに次世代ハイスであるFAXG1という材料が耐摩耗性に優れる。

表1 スカイビング加工に最適な材料

工具材料	耐摩耗性	耐熱性	靱性	コスト	
FAP	△	△	◎	○	安価
FAP2	○	○	◎	△	難削材向き
FAXG1	◎	◎	△	△	一般材向き

◎:優れる ○:ふつう △:劣る

被削材や機械仕様によって摩耗形態が異なるため、その摩耗形態に応じて、工具材料を選定する必要がある。

NACHIは耐摩耗性を重視する際はFAXG1、耐チップング性を重視する際はFAP2を推奨している。

次に工具材料を最適化した事例を紹介する。

### (1) 耐摩耗性重視材料 FAXG1

図12にSCM420H (HB180 ~ 200) でのスカイビング加工事例を示す。工具材料をFAPから、FAXG1に変更することで、耐摩耗性が向上し、工具寿命を2.5倍にすることができる。

### (2) 耐チップング性重視材料 FAP2

図13にSCM440 (HB250 ~ 300) でのスカイビング加工事例を示す。被削材が比較的に高硬度の場合や剛性の無い機械での加工においては、振動が発生しやすく工具の切れ刃に欠けが発生しやすい状態になる。このような場合には、工具材料を耐チップング性の高いFAP2に変えることで、損傷がチップング形態から摩耗形態に変化し、工具寿命を2倍にすることができる。

工作物諸元(内歯車): m1.5×PA20°×HA20°(RH)×NT49  
 被削材: SCM420H(HB180 ~ 200)  
 工具材料: 下図  
 コーティング: Hyper DuAl GP  
 切削速度: 100m/min  
 送り: 0.3/0.1mm/rev (2パス)

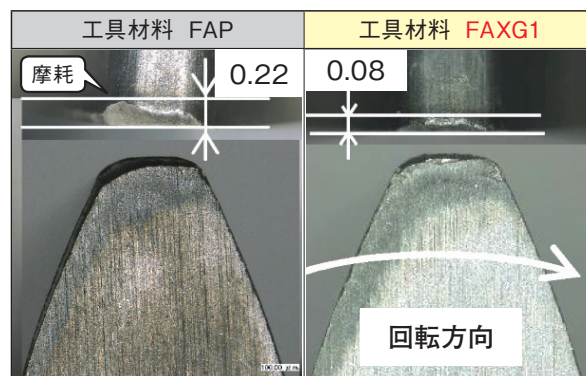


図12 工具材料違いの摩耗比較(耐摩耗性)

工作物諸元(内歯車): m2.5×PA20°×NT75 スパー  
 被削材: SCM440(HB250 ~ 300)  
 工具材料: 下図  
 コーティング: Hyper DuAl GP  
 切削速度: 80m/min  
 送り: 0.5×4/0.1mm/rev (5パス)

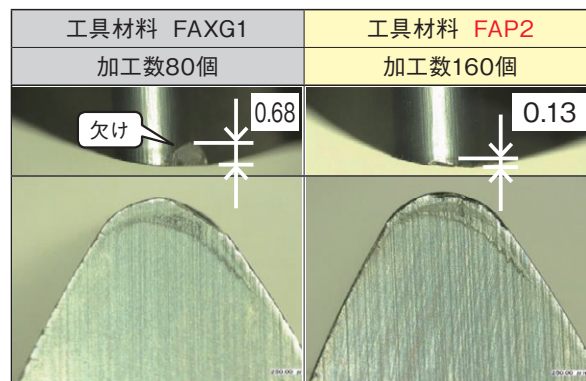


図13 工具材料違いの摩耗比較(耐チップング性)

### 3) スカイビングカッタ用コーティング

NACHIは、スカイビング加工の切削メカニズムの解析と摩耗進行プロセスの解明により独自のコーティングを採用しており、耐熱性、耐摩耗性、耐凝着性に優れたコーティングとなっている。

NACHIでは、2種類のコーティングをラインナップしており、汎用的なコーティングであるHyper DuAl GPコーティング、高速・高硬度材向けにHyper DuAl SPコーティングの2種類があり、用途に応じて使い分けることが可能である(表2)。

表2 コーティングラインナップ

コーティング	目的
Hyper DuAl GP	汎用的
Hyper DuAl SP	高速・高硬度材向け

切削温度が非常に高い環境となる、高速200m/minでのスカイビング加工において、NACHI Hyper DuAl SPコーティングと他社コーティングA、他社コーティングBを比較した事例を紹介する。

図14は加工数300個での摩耗比較であり、NACHIのHyper DuAl SPコーティングは耐熱、耐摩耗性に大変優れていることが分かる。

工作物諸元(内歯車) : m2.4×PA20°×HA32°(RH)×NT59  
 被削材 : SCM420H(HB180～200)  
 工具材料 : FAXG1  
 コーティング : 下図  
 切削速度 : 200m/min  
 送り : 0.5×9/0.1mm/rev(10パス)

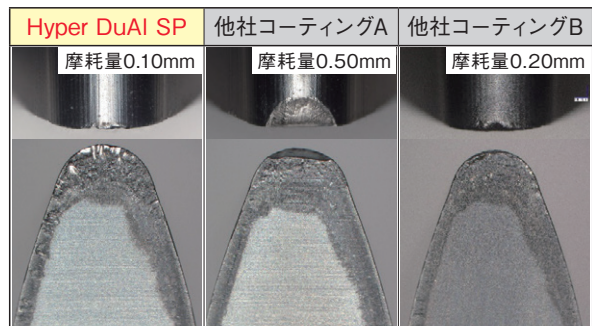


図14 コーティング違い工具摩耗形態(加工数300個)

工具寿命は他社コーティングの2倍を達成した(図15)。

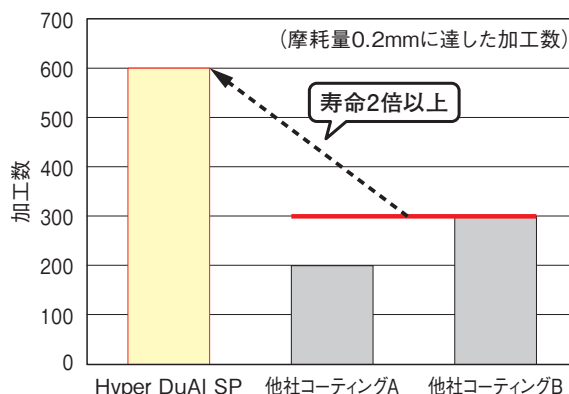


図15 工具寿命比較(コーティング違い)

## 4) 適正な加工条件とは？

スカイピング加工の主な加工条件には、すべり速度、切り込み量、送り量の3つがあり、工具寿命とサイクルタイムに密接に関係している(表3)。

表3 スカイピング加工の主な加工条件

加工条件				切削に影響する要素
①	すべり速度	m/min	工作物/工具のピッチ円上でのすべり速度	切削温度
②	送り量	mm/rev	工作物1回転あたりの送り量	切りくず厚み
③	切り込み量	mm/半径	歯丈方向の切り込み量	有効すくい角 切りくず厚み

スカイピング加工では、まず目標とする工具寿命とサイクルタイムを決め、何を優先するかをよく検討し、加工条件を選定することが重要となる。

それぞれの加工条件について、解説する。

### (1) すべり速度

すべり速度が低すぎる場合は切削抵抗が大きくなり、すべり速度が高すぎる場合は切削温度が上昇して、工具寿命が短くなる(図16)。適切なすべり速度は被削材によって異なる。

スカイピングカッタ すべり速度、切削負荷と工具寿命の関係

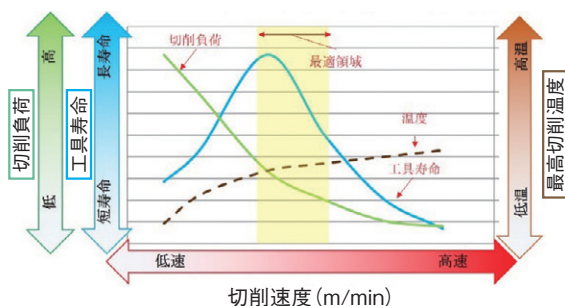


図16 切削速度と工具寿命

### (2) 送り量

図17に、送り量違いによる工具損傷の比較を示す。

工作物諸元(外歯車): m2.0×PA17.5°×NT75 スーパー  
被削材 : SCM420H (HB180 ~ 200)  
工具材料 : FAXG1  
コーティング : Hyper DuAl GP  
切削速度 : 150m/min  
送り : 下図

	送り量		
	0.3mm/rev	0.7mm/rev	1.5mm/rev
摩耗形態			
切りくず形態			
有効すくい角	-26	-26°	-26°
切りくず厚み	0.22mm	0.44mm	0.80mm
CT	56s	33s	23s

図17 送り量違いによる損傷形態(切り込み量0.6mm)

送り量を大きくすることで切削負荷、切削温度が上がり工具寿命が短くなる。とくに送りを大きくしすぎると切りくずが厚くなり、工具の左右歯面から生成された切りくずが干渉をひきおこすため、注意をする必要がある。

## 4. まとめ

### (3) 切り込み量

図18に、切り込み量違いによる工具損傷の比較を示す。

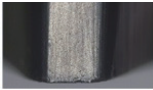
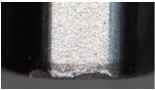
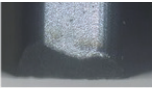



	切り込み量		
	0.6mm/パス	0.9mm/パス	1.2mm/パス
摩耗形態			
			
有効すくい角	-26°	-30°	-36°
切りくず厚み	0.22mm	0.30mm	0.50mm
CT	56s	43s	36s

図18 切り込み量違いによる損傷形態(送り量0.3mm/rev)

切り込み量を大きくすると、切りくずが厚くなるだけでなく、切削終わりの有効すくい角が大きくマイナスとなるため、切削負荷が大きくなり、刃先の摩耗が大きくなる。

これらのように、切り込み、送りのいずれも、小さくすることで工具寿命の改善を図ることができるが、サイクルタイムが大幅に増加することが分かる。

上記のことから、生産量から目標とするサイクルタイム、工具寿命を決め、加工条件を選定することが重要である。

本稿では、近年注目をあびているスカイビング加工について、長寿命化を実現するための工具とその加工技術を解説した。

スカイビング加工では、工具の摩耗形態を十分に把握し適正な工具形状、材料、コーティングを選定していくこと、目標となるサイクルタイムを鑑みて加工条件を設定することが重要となる。

NACHIは、これまで培ってきた、歯車の切削加工技術、設計技術、製造技術、表面処理、材料技術を集結し、ものづくりを革新する工具の提案を行なっていく。