

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Machining

Vol. **31** A1  
October/2016

マシニング事業

■ 論文・解説

「ギヤスカイビング加工の特徴」

Introduction of Gear Skiving

〈キーワード〉 スカイビング加工・有効すくい角  
オフセット角・切りくず厚み・交差角  
歯形修正

精密工具製造所／技術部

津野 正行 Masayuki Tsuno

## 要 旨

遊星歯車装置を構成する主要要素である内歯車の加工は、ブローチ盤やギヤシェーパーなどの専用機で行なわれているが、近年、旋盤や穴明けも行なう複合加工機で加工可能なスカイビング加工が注目されている。

NACHIは、これまで培ってきた工具の設計技術や歯車製造技術、表面処理技術を活かし、スカイビングカッタを商品化している。

今回、内歯車だけでなく外歯車の加工も含め、スカイビング加工の他の加工法に対するメリット・デメリットについて述べる。合わせて、外歯のスカイビング加工が内歯の加工に比べ著しく工具摩耗が進行する理由や、スカイビング加工の大きなメリットの一つである工作物の歯形修正方法について解説する。

## Abstract

Exclusive machines such as a broaching machine and a gear shaver have been used for the machining of internal gears which are the main components of a planetary gear drive. However, recently use of the skiving in a multi-functional machine that contains lathing and drilling processes has been drawing attention.

NACHI has manufactured and introduced Skiving Cutter into the market by utilizing the developed technologies in cutting tool designing, gear manufacturing and surface treatment.

In this article, comparisons in the internal gear as well as external gear processing among skiving and other machining methods are shown and the advantages and disadvantages of skiving are explained.

## 1. スカイビング加工方法の説明

図1で、工作物軸と工具軸が交差するようにセットし軸交差角を持たせる。赤の矢印は工具が回転することによる工具切刃の移動方向を表わす。青の矢印は工作物が回転することによる工作物の移動方向を表わす。軸交差角を持たせることにより、工具切刃の移動方向と工作物の移動方向に差異が生じ緑の矢印のようなすべり(相対速度)が生じる。このすべり(相対速度)によって歯溝が削られる。工作物の回転に応じて工具を工作物の歯幅方向に送る(紫の矢印)ことにより工作物が歯切りされる。

スカイビング加工は100年以上前にドイツで考え出された加工法で、'70年代前半に日本でもトライされたが、加工機の剛性や工具寿命の問題で実用に至らなかった。近年、下記の技術的な進歩・向上によって、スカイビング加工が再評価されている。

- ・ 材料、コーティング技術の進歩
- ・ 工具製造技術の進歩
- ・ 高出力ダイレクトドライブモーターによる工作機械剛性向上
- ・ NC技術の進歩(高精度な同期が可能)
- ・ シミュレーション活用による解析技術の向上

### スカイビングカッタ



#### 〈特長〉

- 加工能率はピニオンカッタの2倍以上
- 今まで培ってきた歯車加工技術、工具設計技術を活用し切削メカニズムの解析を実施、加工工作物の高精度化や工具の長寿命化を実現
- 膜の成分設計と成膜プロセスの最適化に表面改質をプラス、スカイビング加工に必要な表面処理技術を確立

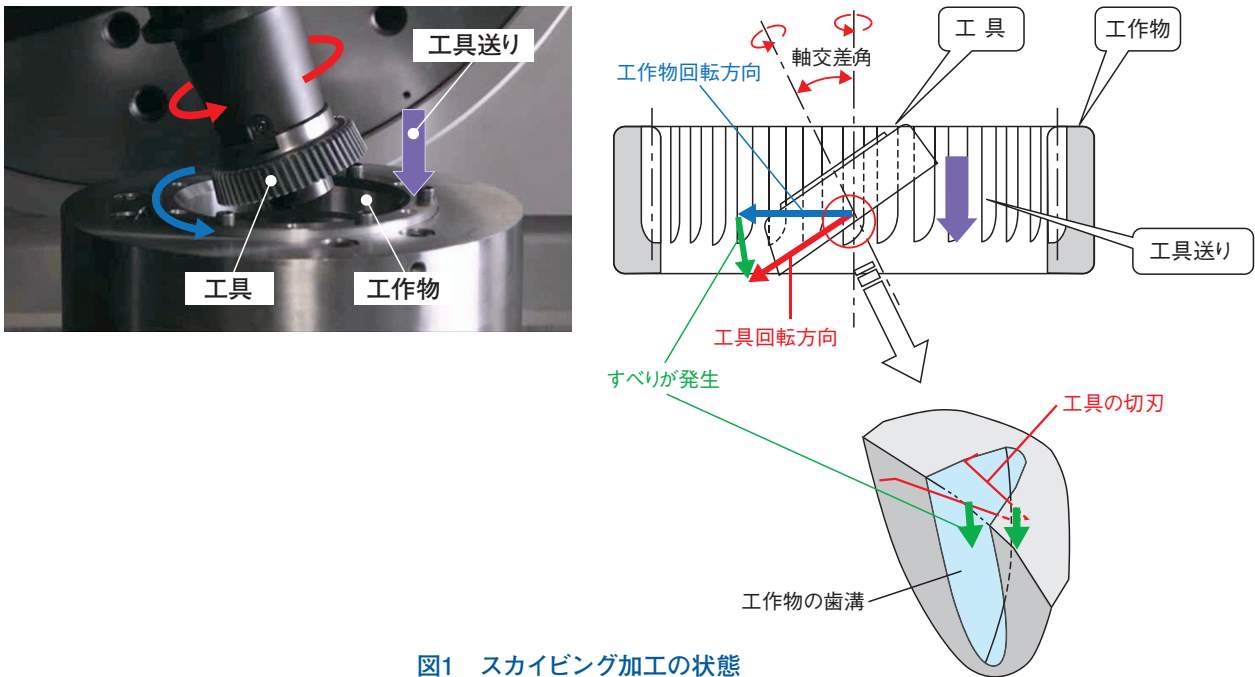
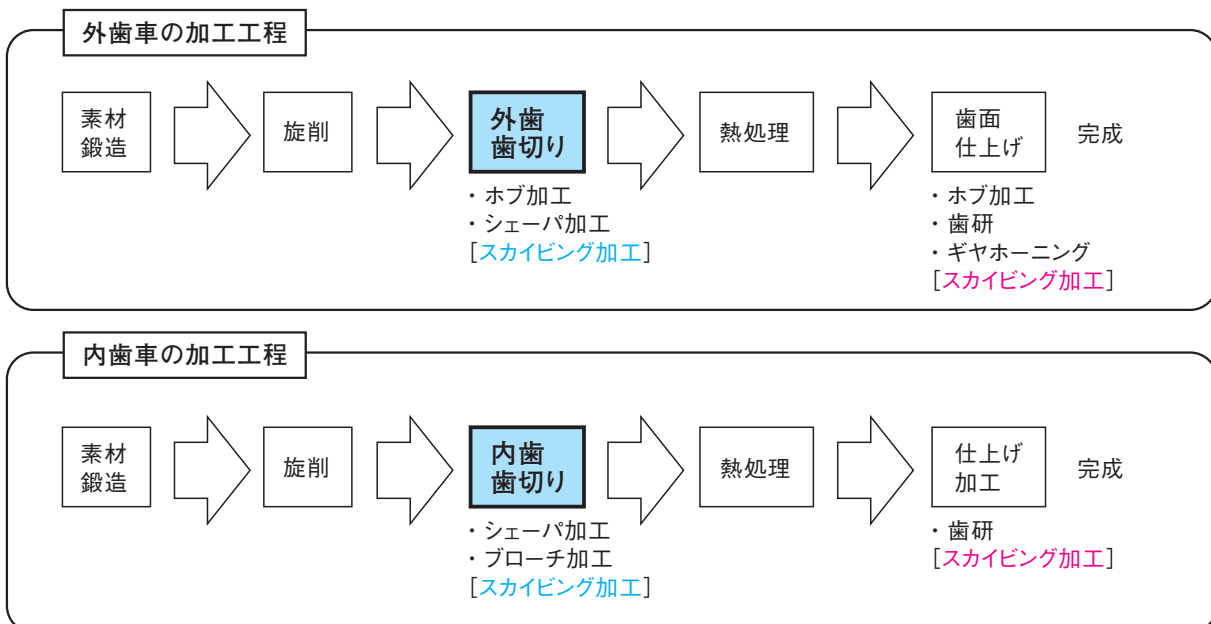


図1 スカイピング加工の状態

## 2. スカイピング加工の適用工程

スカイピング加工の適用工程は、歯車の生の歯切り工程と熱処理後の歯面仕上げ工程である。



### 3. スカイピング加工のメリット・デメリット

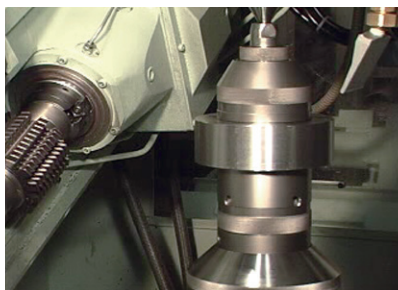
他の歯車加工法との比較表を表1に示す。

#### <スカイピング加工のメリット>

- ・イニシャル工具費がブローチに比べ安い
- ・止まり形状の加工可能
- ・内歯はギヤシェーパーに比べ2倍以上の高効率で加工可能
- ・歯形歯すじ修正が可能
- ・内歯も外歯も加工可能
- ・複合加工機でも加工可能
- ・熱処理後の加工が可能(工作物歯面にホブ切りのようなウロコ目が出ない)

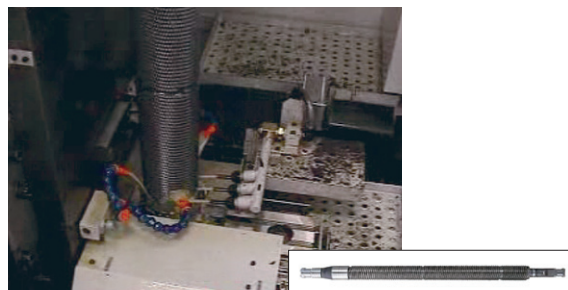
#### <スカイピング加工のデメリット>

- ・ブローチに比べランニング工具費が高い
- ・外歯の場合、ホブ、ギヤシェーパーに比べ工具寿命が短い(後で理由を説明する)



[ホブ加工] 大量生産向き

- 加工時間が短い
- ランニング工具費が安い
- イニシャル工具費が安い
- 複合加工機でも加工可能
- 外歯のみ加工可能



[ブローチ加工] 大量生産向き

- 加工時間が短い
- ランニング工具費が安い
- イニシャル工具費が高い
- 内歯のみ加工可能



[シェーパー加工] 少量多種生産向き

- イニシャル工具費が安い
- 止まり形状の加工可能
- 内歯も外歯も加工可能
- 加工時間が長い



[スカイピング加工] 少量多種生産に適する

- イニシャル工具費が安い
- 止まり形状の加工可能
- 歯形歯すじ修正が可能
- 内歯も外歯も加工可能
- 複合加工機でも加工可能
- ランニング工具費が高い

表1 歯車加工法の特徴比較

	項目	ホブ加工	ブローチ加工	シェーパー加工	スカイピング加工
加工性	生産性	◎	◎	△	○
	加工精度	○	◎	○	○
	段取り性	○	△	○	○
	熱処理後加工	△	×	×	○
設備	初期投資	○	△	○	○
	工具費	○	×	○	○
工作物	ランニング	○	○	△	△
	止まり形状	×	×	◎	△
	歯形歯すじ修正	△	×	×	○
	内歯	×	◎	◎	◎
	外歯	◎	×	◎	△

# 4. スカイビング加工の加工事例

## 1) 内歯用スカイビングカッタの加工精度①

図2にスカイビング加工された内歯の歯形歯すじ測定結果の事例を示す。新JIS 6級を満足している。

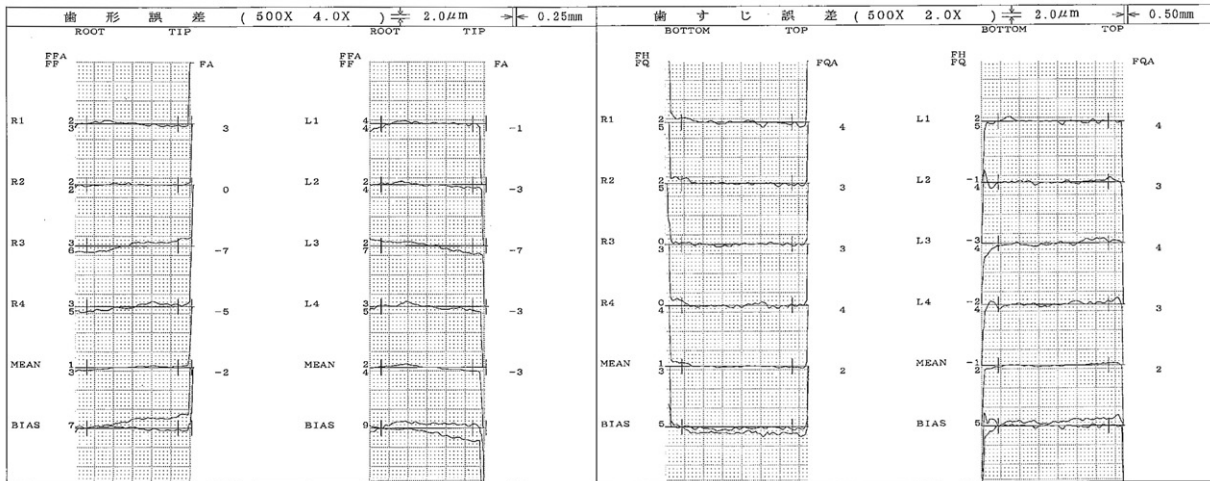


図2 スカイビング加工された内歯の歯形歯すじ事例

工作物諸元：内歯 m1.5xPA20°xHA20° RHx70T 歯幅25 小径φ110 歯丈3.375 材質SCM420  
 工具諸元：m1.5xPA20°xSPURx30T 刃幅12 外径48.35 材質FAX55+Hyper DuAI GP(すくい面コーティング有り)  
 加工条件：2回切り ウェット加工 加工数200個  
 粗：工具回転数1,600rpm(148m/min)、送り0.05mm/rev、切込量3.075  
 仕上：工具回転数1,600rpm(148m/min)、送り0.10mm/rev、切込量0.3

## 2) 内歯用スカイビングカッタの加工精度②

図3にスカイビング加工によって内歯の歯すじにクラウニングを付けた事例を示す。ギヤシェーパ加工やブローチ加工では、内歯の歯すじにクラウ

ニングを付けることはできない。歯すじにクラウニングを付けることで歯当たりを修正することが可能となる。

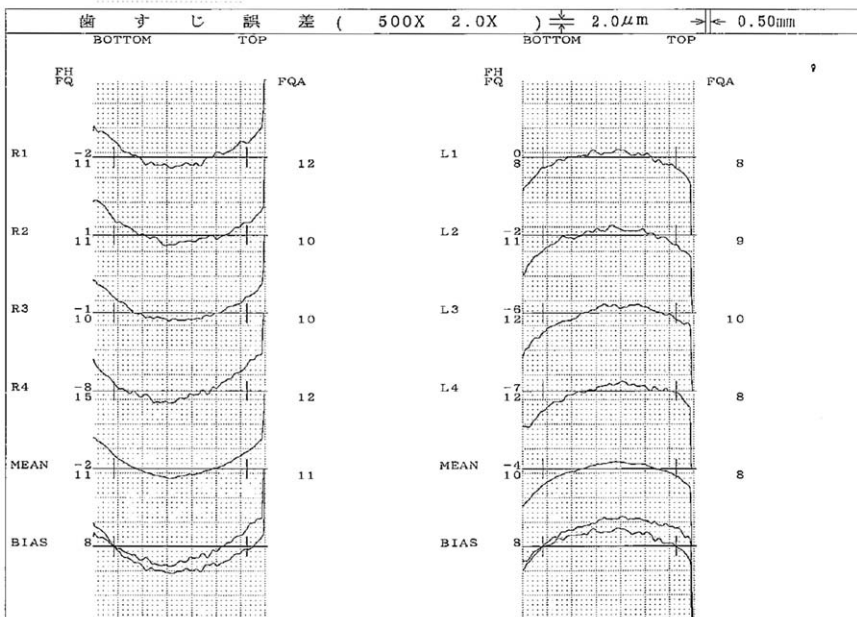


図3 m1.5 工作物歯すじ クラウニング加工

### 3) 内歯用スカイビング工具の摩耗事例

図4に内歯用スカイビングカッタの摩耗事例を示す。スカイビングカッタの摩耗は主に外周刃先エッジが後退する摩耗形態である。仕事量の少ないフランク部の摩耗は小さい。

図5に内歯用スカイビングカッタのすくい面コーティング有り無しで摩耗比較を行なった結果を

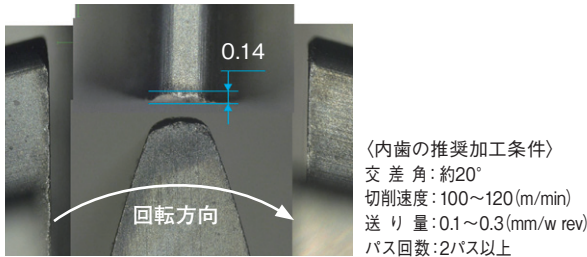


図4 スカイビングカッタ摩耗写真

工作物諸元: 内歯 m1.2xPA18°xHA17° RHx78T 歯幅30  
 小径φ95.5 歯丈2.8 材質SCM415  
 工具諸元: m1.2xPA18°xHA 5° LHx50T 刃幅12 外径63.45  
 材質FAX55+Hyper DuAl GP (すくい面コーティング有り)  
 加工条件: 2回切り ウェット加工 加工数200個  
 粗 : 工具回転数1,410rpm (100m/min)、送り0.10mm/rev、切込量2.5  
 仕上 : 工具回転数1,410rpm (100m/min)、送り0.10mm/rev、切込量0.3

示す。すくい面コーティング無しでは加工数20個で外周刃先エッジの後退量が約0.5mmと大きくなっているが、すくい面コーティング有りではほとんど摩耗が進行していない。スカイビング加工は工具すくい面コーティング有りが前提の加工法といえる。

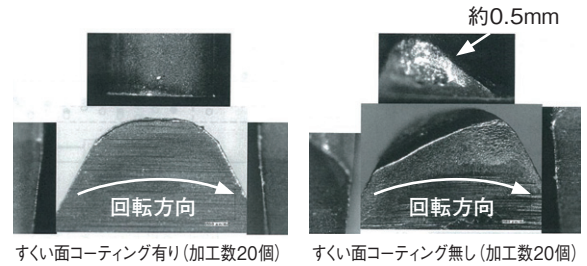


図5 すくい面コーティング有り無しでの摩耗比較

工作物諸元: 内歯m1.5xPA20°xHA25° LHx68T 歯幅25  
 小径φ110 歯丈3.5 材質SCM420  
 工具諸元: m1.5xPA20°xHA 0°x30T 刃幅12 外径48.35  
 材質FAX38+Hyper DuAl GP (すくい面コーティング有り)  
 材質FAX38+DuAl EX (すくい面コーティング無し)  
 加工条件: 2回切り ウェット加工  
 粗 : 工具回転数1,450rpm (89m/min)、送り0.08mm/rev、切込量3.0  
 仕上 : 工具回転数1,450rpm (89m/min)、送り0.10mm/rev、切込量0.5

### 4) 外歯用スカイビングカッタの摩耗事例

図6に外歯用スカイビングカッタの摩耗事例を示す。外歯の加工条件を内歯と同程度の数値で設定すると、加工数わずか3個で異常摩耗してしまった。短寿命の原因として、工具の有効すくい角(図7)と切りくず厚みの違いが考えられる。

外歯と内歯の工具の有効すくい角と切りくず厚みを表2～表5、図8に示す。外歯の加工では、有効すくい角のネガ角度の絶対値が大きくなっている。また、外歯加工の方が工具の作用刃数が少なくなる

ため切りくず厚みも内歯の2倍程度になっている。外歯加工の方が切刃の負担が著しく大きいといえる。外歯を加工する場合は、交差角を大きくしたり、パス回数を増やすことによって、有効すくい角のネガ角度の絶対値を小さくし切りくず厚みを小さくする必要がある。交差角を大きくすると相対速度が大きくなる。パス回数を増やすと切刃の接触回数が増える。いずれにしても外歯の加工では、工具寿命の低下や加工時間が長くなることは避けられない。

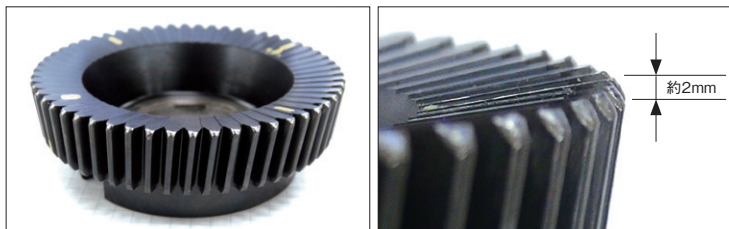


図6 外歯用スカイビングカッタの摩耗状態

工作物諸元: 内歯 m1.5xPA20°xHA15° RHx90T 歯幅25  
 外径φ142.76 歯丈3.375 材質SCM420  
 工具諸元: m1.5xPA20°xHA 5° RHx56T 刃幅18 外径87.56  
 材質FAX55+Hyper DuAl GP (すくい面コーティング有り)  
 加工条件: 2回切り ウェット(水溶性)加工 加工数3個  
 粗 : 工具回転数1,100rpm (103m/min)、送り0.20mm/rev、切込量3.075  
 仕上 : 工具回転数1,100rpm (103m/min)、送り0.10mm/rev、切込量0.3

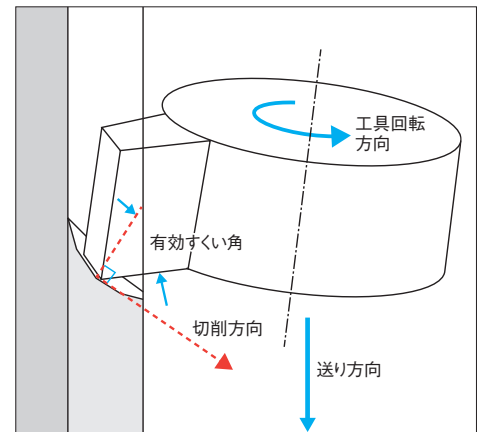


図7 スカイビングカッタの有効すくい角

表2 外歯用工具の切りくず厚み

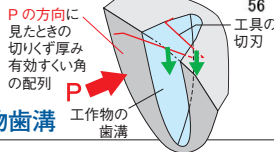
切りくず形状 工具回転角	工作物歯底																															MAX
	L-FLANK								L-R			TOP			R-R			R-FLANK														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0.0																																
17.5																																
12.5																																
7.5																																
2.5																																
-2.5																																
-7.5																																
-12.5																																
-17.5																																

外歯工作物の場合の  
切りくず厚みMAX 0.281mm

総切込量3.075(切込量3.075)  
送り0.200mm/rev 90T m1.500  
工具歯数56T 交差角20° すくい角10°

表3 内歯用工具の切りくず厚み

切りくず形状 工具回転角	工作物歯底																															MAX
	L-FLANK								L-R			TOP			R-R			R-FLANK														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
-25.0																																
-20.0																																
-15.0																																
-10.0																																
-5.0																																
0.0																																
5.0																																
10.0																																
15.0																																
20.0																																
25.0																																
30.0																																



内歯工作物の場合の  
切りくず厚みMAX 0.137mm

総切込量3.075(切込量3.075)  
送り0.200mm/rev 80T m1.500  
工具歯数56T 交差角20° すくい角10°

図8 工作物歯溝

表4 外歯用工具の有効すくい角

有効すくい角 工具回転角	工作物歯底																															
	L-FLANK								L-R			TOP			R-R			R-FLANK														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2.5																																
-2.5																																
-7.5																																
-12.5																																
-17.5																																

外歯工作物の場合の  
有効すくい角MIN -36.8°

総切込量3.075(切込量3.075)  
送り0.200mm/rev 90T m1.500  
工具歯数56T 交差角20° すくい角10°

表5 内歯用工具の有効すくい角

有効すくい角 工具回転角	工作物歯底																															
	L-FLANK								L-R			TOP			R-R			R-FLANK														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
-5.0																																
0.0																																
5.0																																
10.0																																
15.0																																
20.0																																
25.0																																
30.0																																

内歯工作物の場合の  
有効すくい角MIN -17.0°

総切込量3.075(切込量3.075)  
送り0.200mm/rev 80T m1.500  
工具歯数56T 交差角20° すくい角10°

## 5) ハード加工用スカイピングカッタの加工事例

図9、図10で超硬スカイピングカッタによる熱処理後の内歯の歯形歯すじと工具の摩耗写真の事例を示す。

工作物歯形・歯すじ精度は、新JIS 5級以上を確保できている。

### ハード加工用 スカイピングカッタ



#### 〈特長〉

- 今まで培ってきた歯車加工技術、工具設計技術を活用し切削メカニズムの解析を行ない、焼き後工作物の高精度化を実現
- 歯車歯形精度向上による減速機の低騒音対策
- NACHIが独自に開発した多元素配合のハード加工用DuAl Hardコーティングを採用
- 超硬材の最適選定により、すくい面コーティング無しでも安定した加工を実現

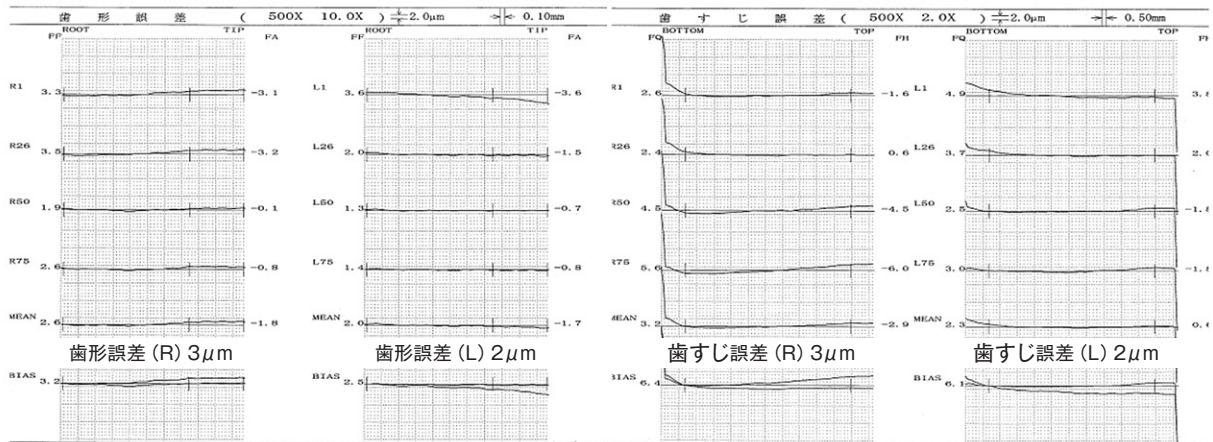


図9 超硬スカイピングカッタの焼き後内歯の歯形歯すじ(すくい面コーティング無し)



工作物諸元：内歯 m1.05xPA20°xHA17° RHx96T 歯幅30  
 外径φ103.3 歯丈2.47 材質SCM420H  
 工具諸元：m1.05xPA20°xSPURx71T 刃幅12 外径77.2  
 材質NF20S+DuAl Hard (すくい面コーティング無し)  
 加工条件：1回切り ウェット加工 加工数100個  
 仕上：工具回転数1,589rpm (110m/min)、  
 送り0.10mm/rev、取代 En 0.12mm

図10 超硬スカイピングカッタの摩耗写真



# 5. 交差角やオフセット角の補正による 工作物歯形修正

図11にスカイビングカッタと工作物の位置関係を示す。  
交差角を変えたり、オフセット角を与えることにより、工作物の歯形修正が可能となる。

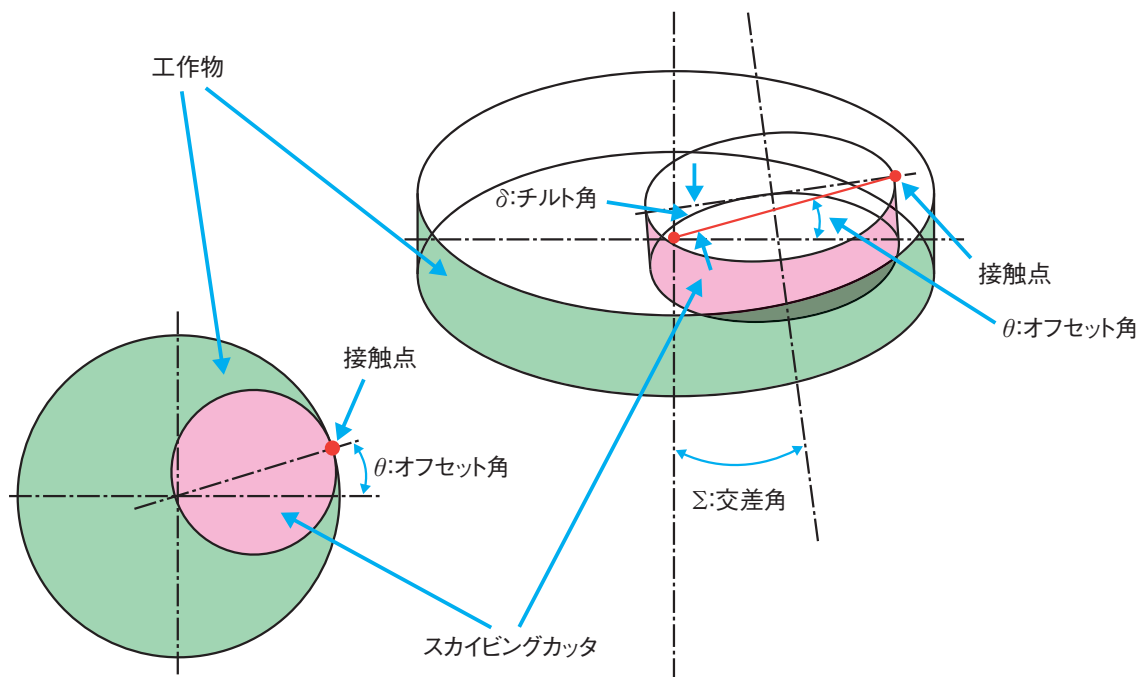


図11 工作物とスカイビングカッタの位置関係 (内歯工作物の場合)

## 1) 交差角の変更による内歯工作物歯形の変化 (切削シミュレーション)

図12～図14に意識的に交差角を変えた場合の  
工作物歯形 (シミュレーションによる計算値) を示す。

交差角を変えることで左右の工作物歯形が変化  
する。内歯m1.3xPA20°x75TxHA20° LH 工具 58T 交差角20°

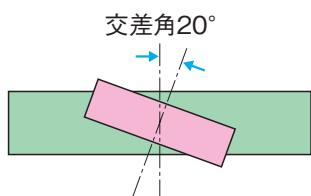
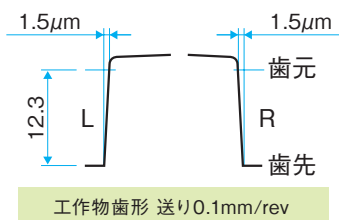


図12 シミュレーション歯形

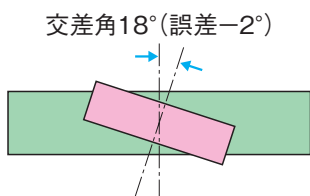
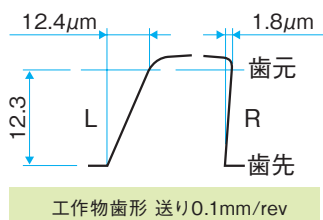


図13 シミュレーション歯形

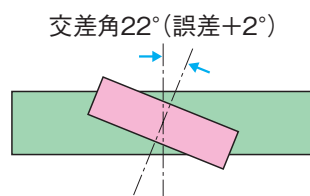
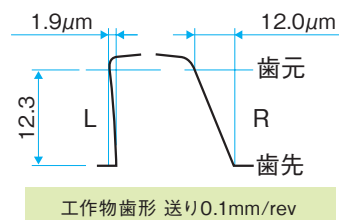
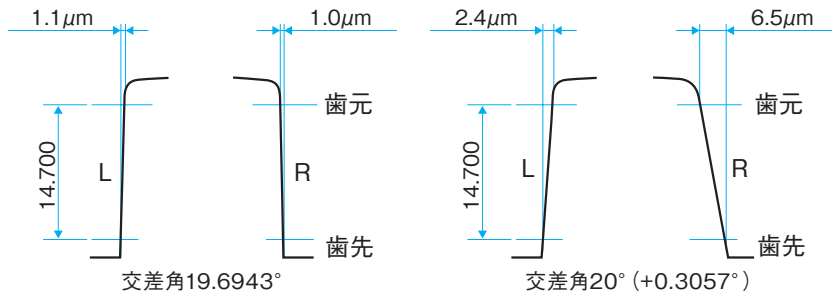


図14 シミュレーション歯形

## 2) 交差角の変更による内歯工作物歯形の変化 (実加工による検証)

図15～図18に意識的に交差角を変えた場合のシミュレーション工作物歯形と実際に加工した

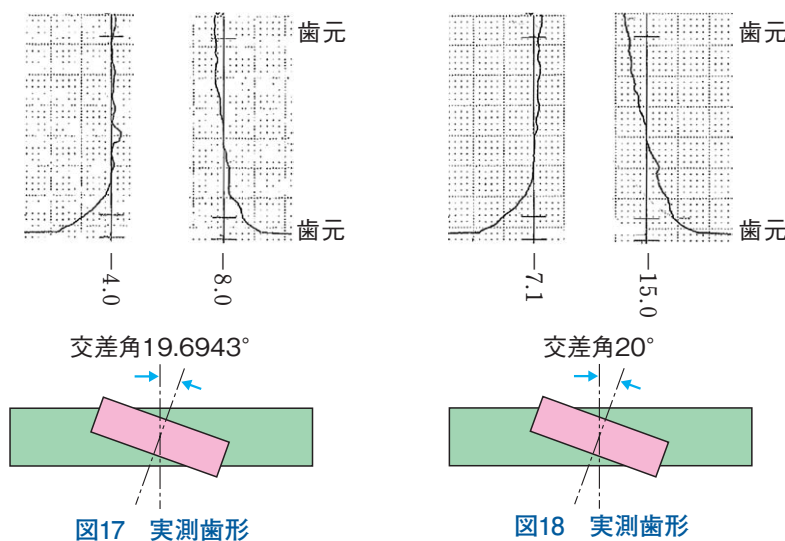
工作物の歯形を示す。シミュレーション工作物歯形と実加工工作物歯形の倒れの傾向は合っている。



内歯m1.5xPA20°xHA15° LHx80T  
工具56T  
送り0.1mm/rev

図15 シミュレーション 工作物歯形

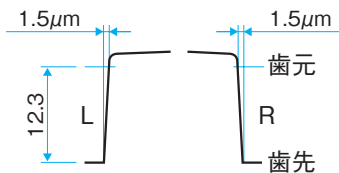
図16 シミュレーション 工作物歯形



## 3) オフセット角の設定による内歯工作物歯形の変化 (切削シミュレーション)

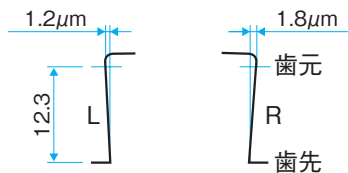
図19～図24でオフセット角を与えたときの工作物の歯形を示す。オフセット角を与えることによっても工作物の歯形が変化する。

内歯m1.3xPA20°x75TxHA20° LH 工具 58T 交差角20°



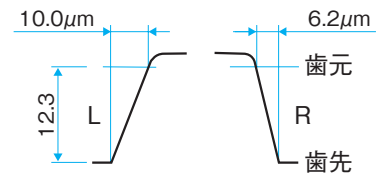
内歯工作物歯形 送り0.1mm/rev  
オフセット角0°

図19 シミュレーション歯形



内歯工作物歯形 送り0.1mm/rev  
オフセット角(誤差)10°

図20 シミュレーション歯形



内歯工作物歯形 送り0.1mm/rev  
オフセット角(誤差)-10°

図21 シミュレーション歯形

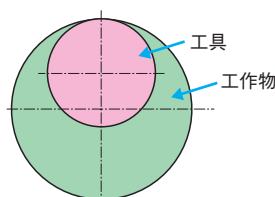


図22 工具と工作物の位置関係

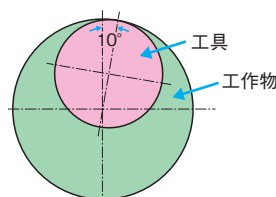


図23 工具と工作物の位置関係

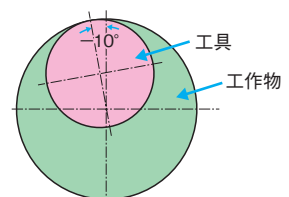
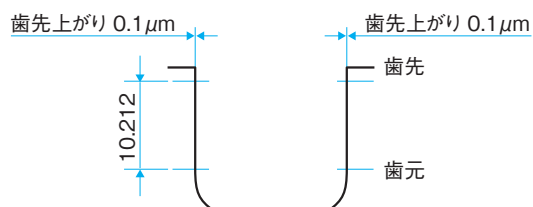


図24 工具と工作物の位置関係

#### 4) 交差角変更、オフセット角設定による外歯工作物歯形の変化 (切削シミュレーション)

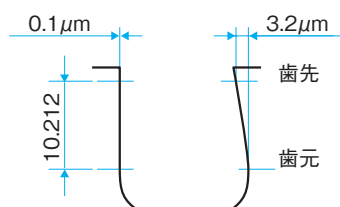
外歯も、内歯と同様に交差角変更とオフセット角設定によって工作物歯形を補正することができる。  
図25、図27の設定値で設計したスカイビングカッタ

を用い、図28の設定値で加工すると、図26に示す通り片フランクの歯形のみを補正できる。



外歯m1.5xPA20°xHA15° RHx90T  
工具56T 交差角19.9553°  
送り0.1mm/rev

図25 シミュレーション歯形



外歯m1.5xPA20°xHA15° RHx90T  
工具56T 交差角19.0553° (-0.9°)  
送り0.1mm/rev

図26 シミュレーション歯形

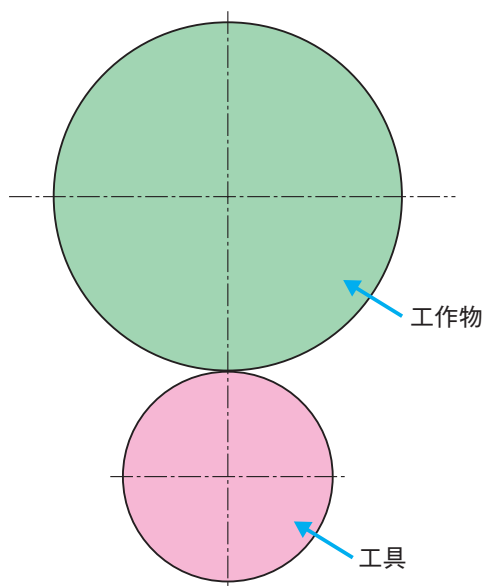


図27 工具と工作物の位置関係

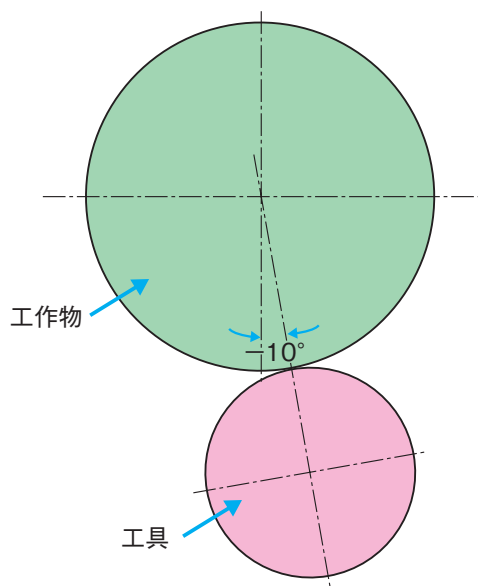
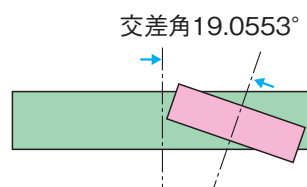
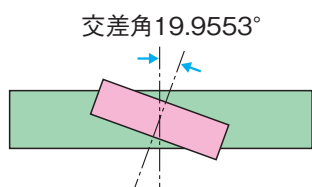


図28 工具と工作物の位置関係



## 6. スカイビング加工のまとめと課題

再度、スカイビング加工のメリットとデメリットをまとめると以下の通りである。

### 【メリット】

- ・加工能率はシェーパ加工の2倍以上
- ・イニシャル工具費がブローチ加工に比べ安い
- ・交差角、オフセット角を変更し、工作物の歯形歯すじ修正が可能
- ・熱処理後の仕上げ加工が可能
- ・複合加工機でも加工可能

### 【デメリット】

- ・ブローチ加工に比べ、加工能率、加工精度、ランニング工具費が劣る
- ・外歯を生加工する場合に工具寿命が短くなる  
(内歯はシェーパ加工と工具寿命同等)

複合加工機によるスカイビング加工では、工具摩耗の進行が早い外歯を加工したいとの要望も多い。外歯加工での工具短寿命の推定理由は先に述べた通りである。NACHIが長年培ってきた歯車加工解析技術を活かし、工具仕様(交差角、すくい角、逃げ角、オフセット角など)を設定し、内歯加工、外歯加工それぞれに最適な加工条件を提案していきたいと考えている。

### 参考文献

Ichiro Moriwaki, Morimasa Nakamura, Tomohiro Hasegawa, Masami Funamoto, Kouichiro Uriu, Takanori Murakami, Tomokazu Tachikawa, Eiri Nagata, Nobuaki Kurita, Yoshinori Kobayashi  
"Tooth Geometry Design of Cylindrical Skiving Cutter for Internal Gears"  
,VDI-Berichte 2199.1,pp329-340