

ギヤスカイビングセンタを用いた複合加工技術の開発 —シンクロスリーブ工程集約への取り組み—

Development of Process Integration Using a Gear Skiving Center —A Case Study Focusing on the Development of a Synchro-sleeve Gear—

張 琳 L. ZHANG 夏田一樹 K. NATSUDA

Due to the pursuit of automobiles that generate less noise and are more fuel efficient, there has been an increasing demand for the gears used in automotive transmissions to have higher accuracy, higher efficiency, and be manufactured through integrated processing. The gear production lines currently operating in the automobile industry are comprised of many specialized machines (hobbing machines, broaching machines, etc.) which require a high investment cost. The workpieces produced need to be transferred between different specialized machines and even between different processes which could lead to positioning and assembly errors. This paper introduces the Gear Skiving Center, as well as a case study of integrated processing of the synchro-sleeve gear using the Gear Skiving Center.

In the past, the processing of synchro-sleeve gears required multiple machines such as a lathe machine and hobbing machine, however now, the Gear Skiving Center is the sole piece of equipment required to complete all the necessary manufacturing processes, not to mention offers the added benefits of 1.5 times machining accuracy, 0.5 times processing time, and 0.25 times the number of necessary machines.

Key Words: gear skiving, high accuracy, process integration

1. はじめに

現在、歯車の加工法には、ギヤシェーパ加工、ブローチ加工、ホブ加工が用いられている。ギヤシェーパ加工は歯車の創成加工法の代表的なものとして、自動車部品などの量産ラインでは一般的で、広く普及しており、比較的成熟した工法である。ブローチ加工は、高能率で、作業が簡易、加工精度のばらつきが少ないなどの利点を有しており、大量生産に欠くことのできない工法である。ホブ加工は生産性が高く、精度も優れており、外歯車の

加工において、最も広く用いられる工法である。しかし、これらの工法も決して万能ではなく、実際の製造現場では、生産性、生産コストなどにおいてさまざまな課題がある¹⁾(表1)。これに対して、スカイビング加工法は外歯車、内歯車両方加工できるメリットがあり新工法として注目されている。この工法の詳細を以下に述べる。

表1 各加工法の特徴
Characteristics of gear machining methods

| 加工法 | シェーパ加工 | ブローチ加工 | ホブ加工 | スカイビング加工 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 精度 (新 JIS) | N7 ~ N12 等級 | N7 ~ N12 等級 | N6 ~ N12 等級 | N6 ~ N12 等級 |
| 工具コスト | 安価 | 高価 | 安価 | 安価 |
| サイクルタイム | 長い | 短い | 短い | 短い |
| 対応ワーク | 外歯車, 内歯車 | 内歯車 | 外歯車 | 外歯車, 内歯車 |

2. スカイピング加工法

スカイピング加工は、ギヤシェーパ用工具のような、歯車形状工具を用いて行う創成歯切り法の一つである。原理は、**図1**に示すように、工具と工作物を相対的に傾け、同期回転させることにより発生する相対速度を用いて歯車加工を行う工法である。

この工法の原理は、1960年代にヨーロッパで提案されていたが、当時は加工機の剛性や制御の問題で実用化には至らなかった。近年の工具、制御、機械などの分野での技術進化により実用化が可能となり、新工法として注目されている。

ギヤシェーパは工具を軸方向に往復運動させて加工するのに対して、スカイピングは傾いた工具と工作物が回転運動することにより切削力が発生し、加工することができる。往復運動ではないため、空切削がなくなり加工時間が大幅に短縮できる。

図2に示すように、ギヤシェーパ加工と比較すると、スカイピング加工は逃がし部が不要となり、製品がコンパクトで、強度が向上できるというメリットもある¹⁾。

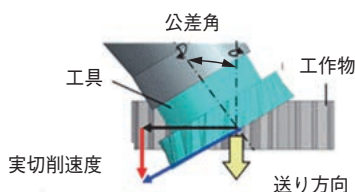


図1 スカイピング加工法
Skiving method

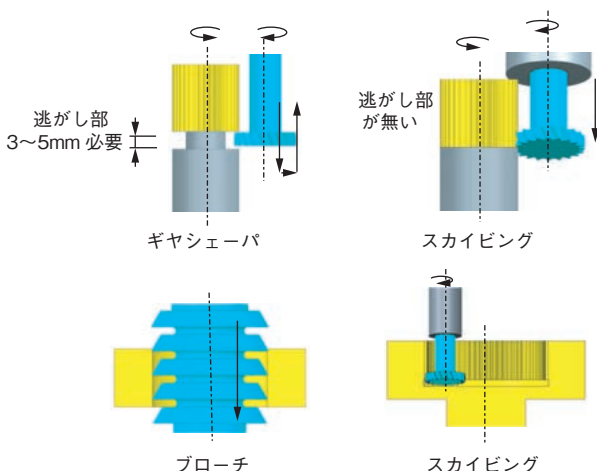


図2 スカイピングのメリット
Skiving method merits

また、ブローチ加工と比較すると、工具費用や設備費用が安く、内歯車の一体化加工が可能という利点もある。さらに、工具の歯形や加工軌跡を制御することにより、クラウニングなどの歯形修正についても、容易に調整できる¹⁾。

ホブ加工と比較すると、外歯車、内歯車両方加工できるメリットがあり、複合ギヤのワンチャック加工により工作物の取付け誤差、位置決め誤差が低減する。

3. ギヤスカイピングセンタ [GS200H GS300H GS700H]

当社では、2013年11月に高精度同期制御、高速高精度回転テーブル、スカイピング加工用工具の技術をマシンニングセンタに搭載し、旋削から歯車加工、穴あけまでを1台の機械で加工できるギヤスカイピングセンタGS300Hを開発した。これにより工作物サイズφ300mm以内の歯車部品の加工が可能となる。主に自動車部品用の設備として開発された。

また、建機、農機などさまざまなお客様の製品やニーズに対応するため、2015年にギヤスカイピングセンタGS700Hを新たに開発した。これによりモジュール6、工作物サイズφ700mm以内の大型歯車部品の加工が可能となる(**図3**)。

さらに2016年には自動車部品の量産ラインに適したマシンサイズで高い生産性と安定した精度を実現したギヤスカイピングセンタGS200Hを開発した。高能率なギヤスカイピング加工に必要な高負荷に耐えうる機械構成と装置を採用し、加工装置・各軸の剛性アップにより高い生産性を実現した(**図4**)。主な仕様を**表2**に示す。

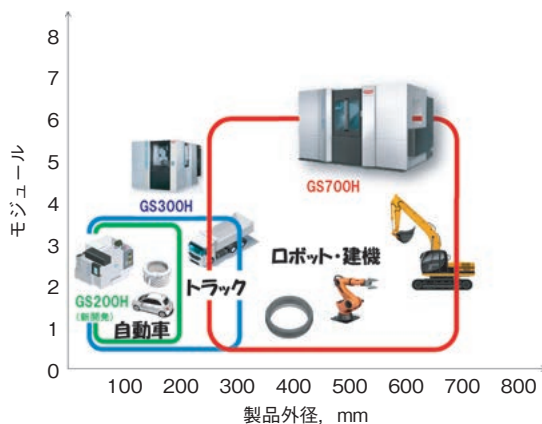


図3 ギヤスカイピングセンタの対応範囲
Scope of gear skiving center



図4 ギヤスカイビングセンタ GS200H
Gear skiving center-GS200H

表2 GS200H の機械仕様
GS200H specifications

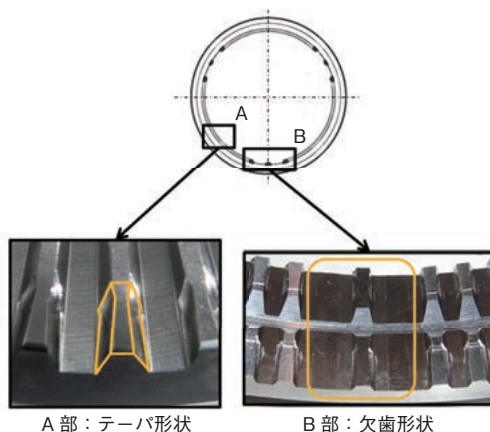
| 項目 | | | 仕様 |
|------|--------------|-------------------|---------------|
| 送り装置 | 移動量(X, Y, Z) | mm | 470, 360, 620 |
| | 早送り速度 | m/min | 48 |
| 主軸 | 主軸端形状 | — | BT No. 50 |
| | 主軸回転速度 | min ⁻¹ | 12 000 |
| ATC | 工具保有数 | 本 | 8 [OP : 20] |
| C 軸 | 回転速度 | min ⁻¹ | 3 000 |
| | 最大工作物径 | mm | φ220 |
| 制御 | CNC | — | TOYOPUC-GC70 |
| 所要面積 | 幅×奥行 | mm | 2 400 × 3 000 |

歯車が互いに回転した状態で変速を円滑に行うために、シンクロスリーブ歯車は、テーパや欠歯といった特殊歯形形状を有している(図6)。

特殊歯形形状は、シフトチェンジ不良やギヤ抜けの原因につながるため、高精度な加工が要求される。

現在、シンクロスリーブのテーパ形状は転造加工、欠歯はブローチ加工である(図7)。この工程・工法では加工精度不良、工作物取付け誤差による位置不良が生じ、不良率が高いといった課題がある。

そこで今回、転造・ブローチ工程をスカイビング工法に置き換え、さらに、内径の旋削加工や歯切り加工も含めて、ギヤスカイビングセンタ1台による工程集約と高精度加工の取り組んだ事例を紹介する。



A部：テーパ形状 B部：欠歯形状

図6 特殊歯形形状
Special gear profile

4. シンクロスリーブの工程集約の取り組み

シンクロスリーブ部品は、マニュアルトランスミッションに使用される部品で、シフトレバーと連動して減速比切り替えの役割を担う(図5)。

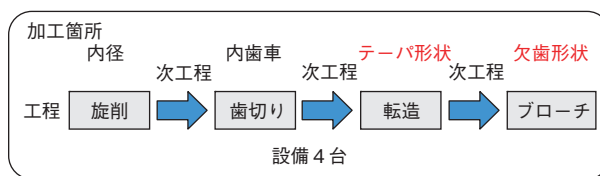


図7 従来の加工工程
Conventional machining process

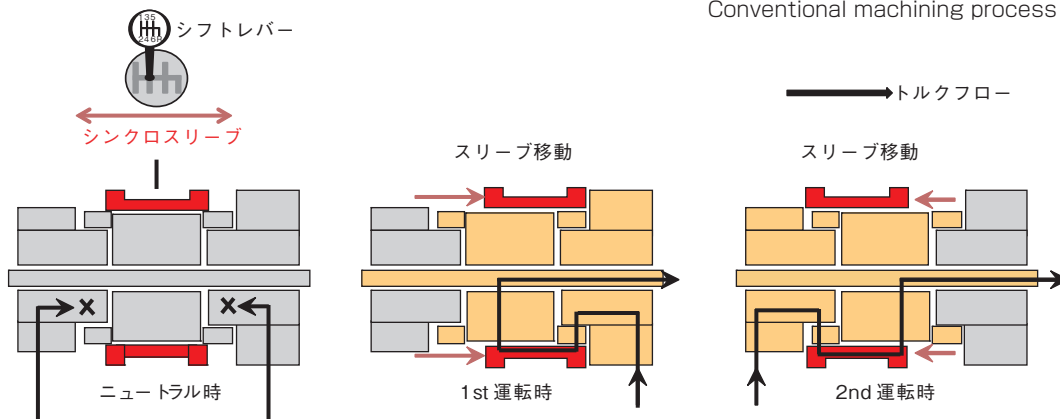


図5 シンクロスリーブ歯車
Synchro sleeve

4.1 工作物の諸元

工作物の大きさは $\phi 115 \times 25\text{mm}$ 、材質はクロム鋼鋼材 SCR420H、歯車諸元は下記表3に示す。

表3 歯車諸元
Gear specifications

| | |
|---------|------------|
| 外径, mm | $\phi 115$ |
| 内径, mm | $\phi 93$ |
| モジュール | m1.86 |
| 歯数, 枚 | 51 |
| ねじれ角, ° | 30 (RH) |
| 歯幅, mm | 25 |
| 歯丈, mm | 2 |

4.2 目標値

テーパ角度、位相誤差については、高精度化を図るため、従来結果の半分以下の精度を目標値とした。

〈精度の目標値〉

テーパ (角度誤差) : 0.5° 以下

位相誤差 : 0.01° 以下

歯車精度 : JIS N7 級

4.3 開発内容

特殊歯形形状をスカイビング工法で加工するために、各工程を分割して必要となる開発要件を抽出した。テーパや欠歯形状を加工するための工具と加工法について紹介する。

1) テーパ形状加工

テーパ部はテーパ形状、左右対称の逃がし部形状と両端形状の三つがあり、これを満足するために開発した加工法を図8に示す。

テーパ角度はテーパ角度をはずば歯車のねじれ角に置き換え、工具と工作物を同期回転させて、任意のテーパ角度を加工する工法とした。

左右両対称形状は、左右の歯面をそれぞれで加工する方法を考案した。スカイビング工法は、加工時の回転方向や工具ねじれの影響で工具軌跡が異なり、切削領域が変化するため左右歯面の歯当りに差が生じ、逃がし部で非対称形状となる。そこで、特殊工具を設計し、回転方向を制御する工法を開発した。

テーパ形状は、工作物の両端に設けられているため、1チャックでの加工ができるようにツーリング設計を行

った。工具すくい面を反対に取り付け、従来とは逆方向に送る加工法を考案した。

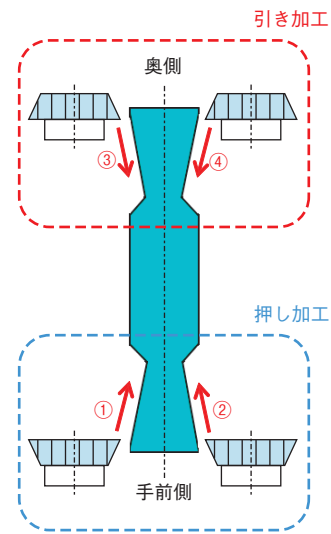


図8 テーパ形状の加工工程
Taper machining process

2) 欠歯形状加工

欠歯形状は、工作物の円周上に3箇所ある。そこで図9に示すように工具を1刃にし、同期比を1:3として加工することとした。工具は除去する領域を一つの形状と見立て、その形状に合わせた工具刃形設計とした。

同期比を変更した工法では、工具と工作物のかみ合い状態が不均一で負荷変動が大きくなり、チップングが想定される。そこで、FEM解析・動剛性解析を行い、加工時の負荷で工具ができるかぎり変位しないような高剛性形状とした。

工具刃形設計のために、任意歯形形状の設計シミュレーションソフトを開発した。一般的な歯車の歯形形状は、インボリュート創成理論に基づいて設計される。そのため、従来の工具開発では、工具刃形形状を創成運動させて工作物歯形を算出し、最適化を実施していた。しかし、今回の欠歯形状に適用できる欠歯創成理論がないため刃形形状が確定できなかった。

そこで、新たに工作物欠歯形状から工具形状を逆演算するシミュレーションソフトを開発した。工作物の欠歯形状と工具諸元を入力し演算することで最適な工具刃形形状が出力され、減速ギヤやプーリといったあらゆる非インボリュート形状の工具設計も可能となった(図10)。

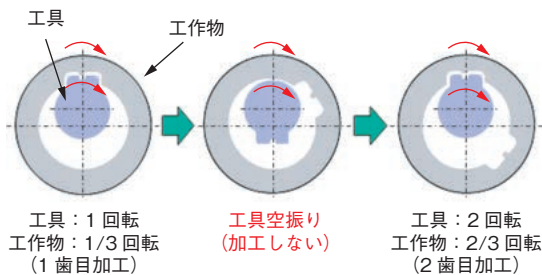


図9 欠歯加工イメージ
Image of missing teeth machining process

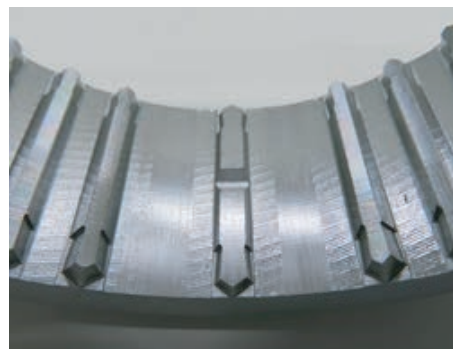


図12 加工後工作物
Post-processing workpiece

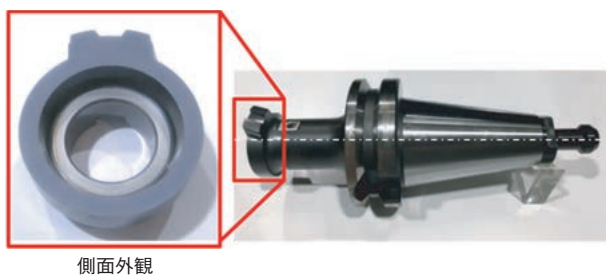


図10 欠歯工具
Tool for missing teeth

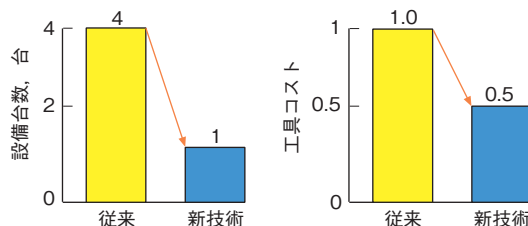


図13 効果
Effects

4.4 加工結果

テーパ部は29刃のスカイビング工具、欠歯部は2刃ねじれ20°のスカイビング工具を用いて、加工評価を行った。

加工評価した結果、テーパ角度誤差0.3°、欠歯（形状誤差）角度は0.05mm、位相誤差は0.01°以下となり、歯車精度はJIS N7級の目標値を達成した（図11）。加工後の写真を図12に示す。

その結果スカイビング工法を採用した設備としての効果は、図13に示すように、工程集約することで設備台数が4台から1台に削減でき、工具コストも1/2に低減することができた。

5. おわりに

マニュアルトランスミッションのシンクロスリーブの加工において、GS200Hを用いてスカイビング工法を採用することで、高精度化・高能率化・複合加工を実現することができた。これにより、設備台数を少なくでき、省スペースでかつ製造工程や生産量の変化に迅速に対応できるフレキシブルな加工ラインを低コストで構築可能となった。

さらに、今回開発した技術とスカイビングセンタを用いることによって、歯車以外の非インポリュート形状であるプーリやテーパ、チャンファなど幅広い形状にも対応可能となった。今後も歯車の加工技術の開発に取り組み、歯車製作の技術革新に貢献していく。

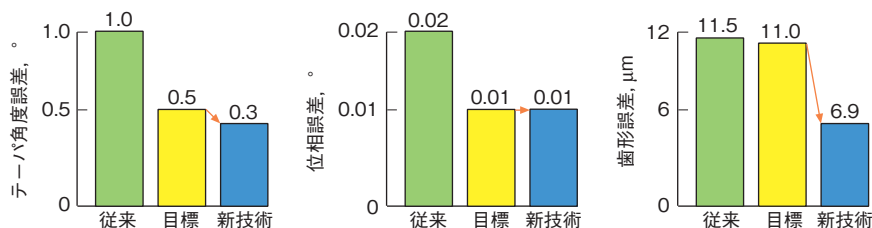


図11 加工結果
Processing results

* 1 TOYOPUC-GC70 は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

1) 張 琳, 大谷 尚, 中野浩之:自動車技術会中部支部
2016 年度研究発表会前刷集(in Japanese).

筆 者



張 琳*
L. ZHANG



夏田一樹*
K. NATSUDA

* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械技術部