

# e500H-GS スカイビング加工法による歯車加工機の開発

## e500H-GS: Gear Cutting Development by Skiving Method

大谷 尚 H. OHTANI

Gear cutting machines are special purpose machines that require costly equipment investment, and for which high volume production is expected. However, a new production formula is being sought in order to respond to the various changes in the surrounding environment.

To respond to these demands, the skiving method has been developed, along with a machining center capable of achieving this new method, the “e500H-GS Skiving Machine”, which contains every type of function for the rotating table, controls, and tools. This machine is introduced in the following paragraphs.

**Key Words:** gear, skiving, machining center, process integration

### 1. はじめに

歯車は重要な機械要素として、あらゆる分野で多くの製品に使用されている。歯車は専用加工機で製造されるが、多額の設備投資を必要とする大量生産を前提としている。しかし、さまざまな環境変化に対応し、グローバル化が求められており、このため市場変化にもフレキシブルに対応できる競争力のある新たな生産方式が求められている。

### 2. 歯車産業の現状

歯車は産業を支える重要な機械要素であり、設備の駆動装置や制御機構を構成する重要な機能部品としての役割を担っている。

また、歯車は古くから用いられているが、現在においても自動車や航空機などの輸送機械、風力発電などの産業機械、およびプリンタなどの電気機器など多くの製品に用いられている。

自動車産業を始めとした日本のモノづくりは、グローバル化の中でリーマンショック、タイの洪水災害、超円高などを経験してきた。従来の大規模生産方式から、海外への段階的投資が可能で、市場環境の変化に強い、コンパクトでフレキシブルな生産方式への変革が進んでおり、歯車産業においても同様である。

しかしながら、現状の歯車加工ラインはホブ盤、プロ一手盤など多くの専用機で構成され、大量生産を前提と

している。そのため、たとえば製品を1個製作する場合においても、必ず各種の専用機が必要となり、設備投資を必要とする。または、専用機であるために段取り替えに時間が掛かり、多品種生産への対応が困難となるなどの問題がある。

### 3. 歯車に求められる機能

歯車は、歯を順次かみあわせることによって運動を他に伝える、または運動を他から受け取るように設計された歯を設けた部品と定義されている。2軸が互いに平行な平歯車、はすば歯車、2軸が1点で交わるかさ歯車、2軸が食い違つて、平行でもなく、交わりもしないねじ歯車、ウォームギア、ハイポイドギアなどがある。このような歯車の役割は、回転角度や速度を高効率に変換したり、または回転軸の向きを変換することである。代表的な力学的特性としては、トルクと回転速度で表されるが、機械的損失を伴うため、いかに高効率化するかが重要である。

歯車は、たとえば自動車では、自動変速機やハイブリッド車のモータとエンジンの動力を分割する遊星歯車装置などに使われ、また航空機ではジェット機に搭載されるターボファンエンジンのタービンを変速するGTF (Geared Turbo Fun) 装置などにも使われている。

近年、このような自動車や航空機などの各種装置が高性能化、かつ省エネルギー化していく中で、要素部品である歯車も、より小型で高効率、静粛性が高く高精度、

かつ高強度であることが必要となり、より高付加価値が求められている。このような要求に対応するために、歯車の加工方法についても新たな技術開発が必要とされている。

#### 4. スカイピング加工法の紹介

歯車の加工法には、さまざまな方法があり、エンドミルなどで徐々に歯面を加工するミーリング工法や、工具歯形を工作物に転写する創成加工法などがある。

ミーリング工法は、小径工具を用いて、徐々に加工するため切削抵抗が小さく、高精度加工が可能であるが、加工時間が長く生産性は低い。それに対して、創成加工法は、工作物や工具の回転運動を利用して、工具歯形を工作物に転写させるため、加工負荷は比較的大きいが、加工能率が高い。創成加工法の代表的なものとしては、外歯を加工するホブ、内歯を加工するギアシェーパがある。これらの工法は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、比較的成熟した技術である。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、さまざまな課題がある。

ここで、歯車加工の最新技術として、スカイピング加工法を紹介する。加工法の原理は古くからあり、1960年代にヨーロッパで提案されていたが、当時は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。

スカイピング加工は、図1に示すように、工作物に対して工具を傾け、高速同期回転させながら工作物軸に沿って工具を移動させ、歯車を創成する工法である。ギアシェーパは工具を往復運動させて加工するのに対し、本工法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。その回転速度は、工具と工作物ともに、毎分数千回転の速さが必要となる。これは、一般的なホブ加工が毎分数百回転であるのと比べて10倍以上の速度である。

たとえば、鉄材を加工する場合、最適切削速度は150m/min前後であるが、これを確保するには、φ100mmの工作物では毎分1500回転の速度で工作物を回転させる必要がある。

送り量については、ホブ加工では工作物1回転当たり2mm程度であるのに対して、スカイピング加工は小さく0.2mm程度である。

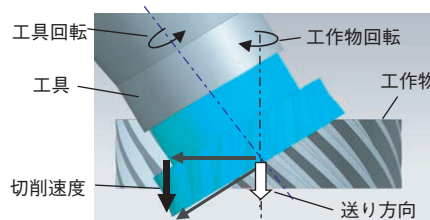


図1 スカイピング加工法  
Skiving method

この工法の利点は、図2、3に示すように、従来のギアシェーパのように往復運動が必要でないため、空切削が無くなり加工時間が大幅に短縮でき、かつ最適切削速度で加工できるために工具が長寿命となる点である。ホブに対しては接近性が良く、不完全歯形部を短くできるため、製品がコンパクトになる点である。また、内歯のクラウニングなどの歯面修正についても、工具の歯形や加工軌跡を制御することにより容易に調整が可能である。

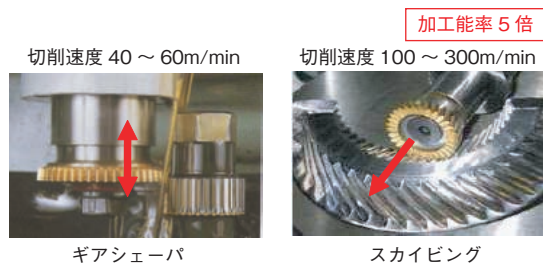


図2 ギアシェーパとスカイピング加工法との比較  
Comparison of gear shaper with skiving method

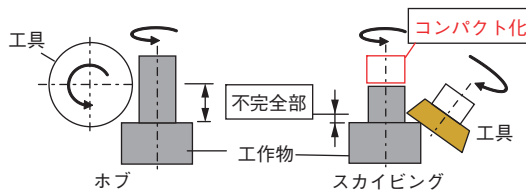


図3 ホブとスカイピング加工法との比較  
Comparison of hob with skiving

この工法は以上のような利点により、加工時間を短縮して生産性が高められるだけでなく、加工の自由度が増すために従来法ではできない形状が製作でき、付加価値の高い、新たな製品を生み出すことができる。

本工法を実現するために必要な技術としては、主に工具、制御、機械の3つに関する技術である。工具技術では、歯面形状を作るための創成理論に基づく歯形的设计と製作技術、制御技術では、毎分数千回転させる工具と工作物を1μm以内で同期回転させる高精度な同期制御

技術であり、機械技術では、高剛性で高速回転可能なテーブルと主軸が求められる。

## 5. スカイビング加工機「e500H-GS」

当社では、2013年11月に旋削から歯車加工、穴あけまでを1台の機械で加工できるスカイビング加工機 e500H-GS を開発した。本加工機は図4に示すように、母体としてマシニングセンタを用い、スカイビング加工法で必要となる3つの技術である、高速高精度同期制御、高速高剛性回転テーブル、スカイビング加工用工具の技術を備えている。

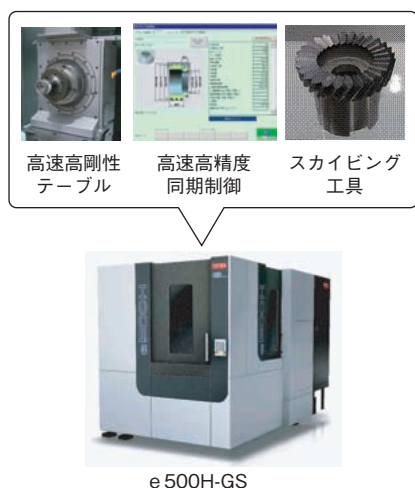


図4 スカイビング加工機を支える要素技術  
Elemental technologies to support skiving machine

母体となる機械（母機）は、パレットサイズ500mmの横型マシニングセンタで、「evolutional/革新的」・「efficient/ 能率の良い、効率の良い」・「easy / かんたん」の3つのeをコンセプトとして開発しており、従来なかったコンパクトな機械本体サイズ、高い生産性と信頼性を両立させた要素技術、顧客が使いやすく手間をかけずに、製品の操作やメンテナンスができる当社製 CNC 装置から構成され、汎用セルラインに最適なマシニングセンタである。

たとえば、機械本体の大きさについては、小型機器の採用と最適の機器配置により、設置面積をコンパクトにしながら、広い工作物領域を確保しており、セルラインで構成した従来ラインと比較した場合、設置面積は51%削減することでき、クラス最小スペースに設置可能である。

また、機械構成については、切屑排出性に優れたセン

タトラフ、高速性能と重切削性能を兼ね揃えた軽量で高剛性のFCD450コラム、剛性を保ちつつ、高速高加減速の移動に耐えられる高剛性円筒ころスライドを備えている。また制御については、当社製 CNC 装置を用いたことにより、初めて操作する人でも設備の稼動状況が瞬時に分かる見える化機能を備えている。この母機に、スカイビング加工法に必要な機能を搭載した。主な仕様を表1に示す。以下に、スカイビング加工法用として開発した3つの機能について説明する。

表1 機械仕様  
Machine specifications

項目			仕様
送り装置	移動量 (X, Y, Z)	mm	730, 630, 800
	早送り速度	m/min	60
主軸	主軸端形状	—	BT No. 40
	主軸回転速度	min <sup>-1</sup>	12 000
ATC	工具保有数	本	20 [40]
C 軸	回転速度	min <sup>-1</sup>	3 000
	最大工作物径	mm	φ220
制御	CNC	—	TOYOPUC-MC70
所要面積	幅×奥行き	mm	2 200 × 3 650

### 5.1 回転テーブル

回転テーブルについては、積載範囲はφ800mm以内となりコンパクトで、高剛性の構成であり、各種工作物の大きさやモジュールに対応できるように、3 000min<sup>-1</sup>まで高速回転が可能である。また、工作物の剛性を確保するために、取付け位置がテーブル上面より大きくオーバーハングしないよう、チャック用の油圧シリンダがテーブルに内蔵されている。これにより、ロボットによる自動脱着などの対応も容易となる。

### 5.2 歯切り制御

制御については、当社製 CNC 『TOYOPUC-MC70』を用いているため、スカイビング加工に適した高速で高精度な同期制御が可能で、平歯車、はすば歯車のどちらの形状にも対応できる。また初心者でも操作できるように、ギア諸元や工具データを入力するだけで歯切りプログラムが作成できる簡単プログラミング機能を有している。

### 5.3 歯切り工具

工具については、工具が工作物に対して傾きを持つため、ギアシェーパで使用されている通常のピニオンカッターの歯形とは異なる形状となる。そのため、創成理論を解析し、最適な設計手法を確立した。また、工具コストを考慮し、再研磨回数が多く、工具寿命の長い歯形的设计も可能である。工具材種については、高周速でも長寿命の高硬度母材に低摩擦コーティングを採用している。

## 6. 加工事例の紹介

本加工機の効果を検証するため図5に示すように、サイドギアの歯車部品をワンチャックで旋削から歯切り、穴あけまでを工程集約して加工を行い、ホブ盤やブローチ盤を含めた5台の専用機を用いた従来工程の加工と比較した。スカイビング加工法による、外歯車加工状況を図6に示す。

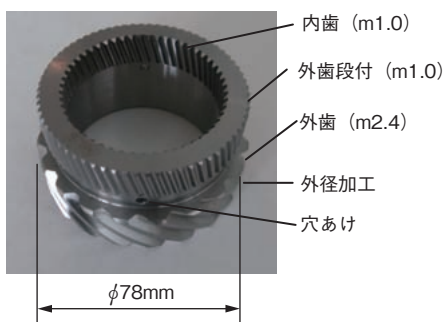


図5 サイドギア  
Side gear

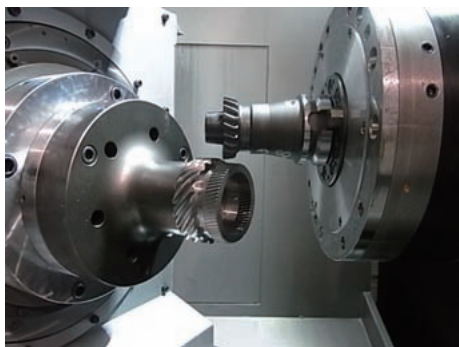


図6 スカイビング加工  
Skiving

加工精度については、ワンチャックで加工することにより、歯車間の同軸度が向上し、従来比1/3の10μm以下を達成した。外歯モジュール2.4部の加工精度を図7に示す。

また、ギアの加工時間については、外歯ではホブと同等、外歯段付き部では従来のギアシェーパに対して1/5に短縮することができた。この結果に対して、設備コスト、および製品1個を加工するのに必要となる加工コストを比較すると、社内の従来ラインの例では、60%低減することができた(図8)。

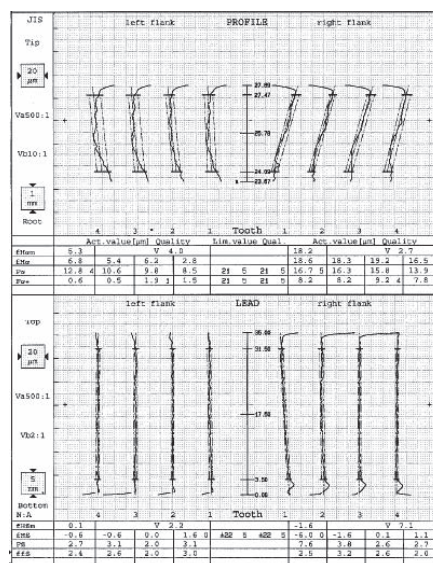


図7 モジュール2.4 歯車精度  
Gear accuracy module 2.4

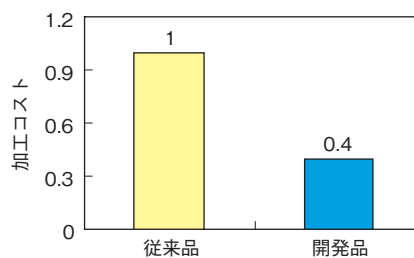


図8 加工コスト比較  
Processing cost comparison

このような大きな効果が得られたのには、単に設備の台数が減り投資コストが抑えられたことだけではなく、各工程の待機時間が減り、切りくずを発生させている時間の割合が大きくなり、正味率が向上したため、ワンチャック加工による効果が大きいことが理由として挙げられる。

また、本加工機の効果は、製品加工コストの低減のみではなく、他にもさまざまなメリットが考えられる。たとえば、設計変更などにより段取り替えが生じた場合に、従来の専用機によるラインでは、大幅な改造が必要となるが、本加工機は工具交換機能を持つ汎用のマシニングセンタであるためフレキシブル性に富み、段取り替えが容易となるため、少ない費用や工数で対応することが可能となる。

新規の製品を開発する場合においても、立ち上げ期間が短くなり、より効率的な開発が可能となるなどの利点もある。

## 7. おわりに

これからも顧客にとって魅力ある商品を提供できるよう、さまざまなニーズに対応した技術開発の推進に努める。

## 筆 者



大谷 尚\*  
H. OHTANI

\* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械技術部