

GS200H5 ギヤスカイビングセンタの開発

Development of the GS200H5 Gear Skiving Center

大塚義夫 Y. OOTSUKA

Production sites for the manufacture of small gear parts require processing machines with high productivity that are flexible to various kinds of production. To meet these requirements, we have developed the Gear Skiving Center GS200H5. The features of this developed machine include a compact machine size suitable for small-size gear production lines, the achievement of high accuracy and high productivity through a design with high rigidity and low thermal displacement, and the ability to conduct machining such as turning and cutting on a gear cutting machine. The details of these features are described in this paper.

Key Words: gear, skiving, gear skiving center, compact machine size, high rigidity, process integration

1. はじめに

我々が環境負荷を低減しつつ持続的に発展する上で、温室効果ガスの削減は重要なテーマの一つであり、各産業界ではさまざまな取り組みがなされている。特に、このテーマに深くかかわりを持つ自動車業界では、EV/HV や PHV をはじめ、省エネルギーにつながる自動車の開発・販売が推進されている。これらの自動車は走行時に高い水準の静粛性や安定性が求められ、自動車に搭載される遊星歯車減速機を構成する小型歯車部品は、駆動時の騒音・振動を抑制するために高い強度・製品精度が要求される。また、その一体化や複合化により装置の小型化や軽量化など、エネルギー効率向上の取り組みがなされている。

2. スカイビング加工法とメリット

現在、製造現場における歯車の加工は、外歯であればホブ盤やギヤシェーパ、内歯であればギヤシェーパやブローチ盤などの専用設備を用いての加工が一般的である。しかし近年では旋削・穴あけを行う複合加工機で、内歯・外歯の両方の歯切り加工を可能にするスカイビング加工法（以下、本工法）が注目されている。本工法の原理は1912年にドイツで提案され、1970年代には日本でも技術的な検討が行われたが、当時は実用化に至らなかった。しかし近年の工具・制御・加工機の分野におけ

る技術進化により、本工法を実現する上での種々の課題が解決され、実用化に至った。本工法は図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て歯車を創成する加工法である。このため、図2のように現在のホブ盤による歯切り加工よりも工作物への工具の接近性が良く、製品の不完全歯形部を短く設計できる。また図3のように工具を往復運動させて加工するギヤシェーパでは、製品自体に工具逃がしの形状を作らなければならないが、本工法においてはそれが不要であり、製品寸法の短縮と製品強度の向上を図ることができる。以上により、本工法による加工を前提として製品設計を行うことで、従来よりも部品を軽量かつコンパクトに構成することが可能となる。

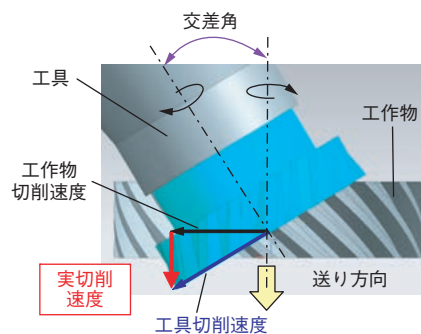


図1 スカイビング加工法
Skiving method

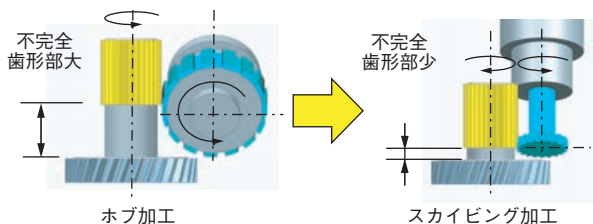


図2 ホブとスカイビング加工法の比較
Comparison of hobbing with skiving

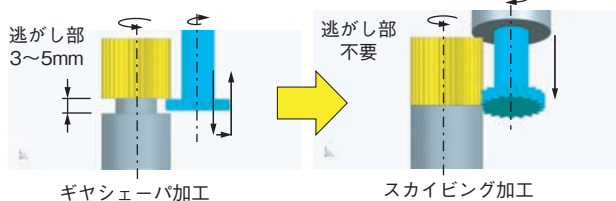


図3 ギヤシェーパーとスカイビング加工法の比較
Comparison of gear shaper with skiving

3. 開発の狙い

当社は 2014 年に中小型歯車部品の生産市場向けにギヤスカイビングセンタ GS300H を発売、その後 2016 年に大型歯車部品の加工に最適な GS700H をシリーズ化し販売した。これらの製品は、歯切り加工だけでなく旋削・切削・穴あけなどの加工にも対応できるギヤ加工機として、工程集約による生産性の向上や歯車製品の軽量化を可能にした。

本開発においては、小型の歯車部品を製造する量産市場に注目し、その製造ラインへの組み込みに適したマシンサイズと、高い生産能力を持つ加工機の開発を目的とした。これを受けて、現在のギヤスカイビングセンタシリーズの特長である工程集約能力を継承しつつ、マシンサイズが小型であり、高い生産性・安定した精度を確保できるギヤスカイビングセンタ GS200H5 を開発した。

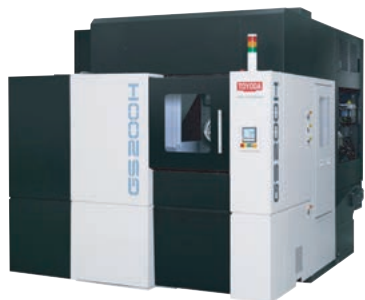


図4 GS200H5 ギヤスカイビングセンタ
GS200H5 Gear Skiving Center

4. GS200H5 の仕様

GS200H5 (以下、本開発機) の仕様を表 1 に示す。また機械の全体構成を図 5 に示す。

表 1 主な仕様
Main specifications

			GS200H
移動量	X 軸	mm	470
	Y 軸	mm	360
	Z 軸	mm	520
	B 軸	°	- 220.0 ~ 0.0
	主軸中心と工作物軸中心の距離	mm	- 120 ~ 240
	主軸端面と工作物軸端面の距離	mm	185 ~ 805
	床面から工作物軸中心の高さ	mm	1 350
送り速度	早送り速度	X, Y, Z 軸	m/min 48
		B 軸	°/min 11 520
	切削送り速度	X, Y, Z 軸	m/min 30
	早送り加速度	X, Y, Z 軸	m/s ² (G) 6.86 (0.7)
工具主軸	回転速度	min ⁻¹	6 000
	出力 (15 分/連続)	kW	30/25
工作物軸	回転速度	min ⁻¹	3 000
	出力 (15 分/連続)	kW	32/19.5 (OP : 33.5/28.3)
	最大工作物径	mm	φ220
	最大工作物幅	mm	150
	A 軸端面最大モーメント	N・m	82.2
工具	工具保有数	本	8 (OP : 20)
	最大長さ	mm	300
	最大径	mm	160
	最大質量	kg	27
	工具交換時間	tool to tool (~7kg)	sec

5. 工作物の大きさに適したマシンサイズ

昨今では、生産ラインを敷設している敷地面積あたりの生産効率を上げるために、工作物の大きさに見合った小さい設備が求められている。これを受けて本開発機は、マシンサイズをコンパクトにするために、工作物軸に設置される最大治具工作物 (径 φ220mm × 高さ 240mm) を旋回テーブルの回転中心に近づけることで工作物の振り範囲を最小化 (図 6) し、それに対応する各駆動軸 (XYZ 軸) の行程を最小限に抑えた。これにより本開発機のマシンサイズは幅 2 400mm × 奥行き 3 000mm × 高さ 3 100mm となり、同サイズの工作物を扱う従来のギヤシェーパー加工機やブローチ盤などの歯切り専用機に対して、フロアスペースが縮小できた (図 7)。

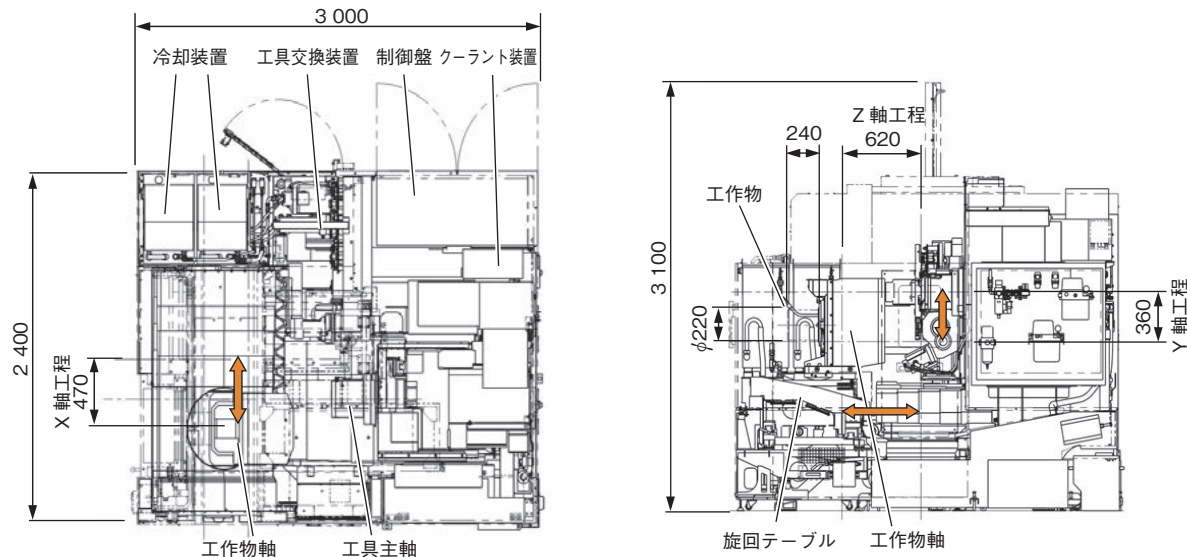


図5 機械の構成
Machine layout

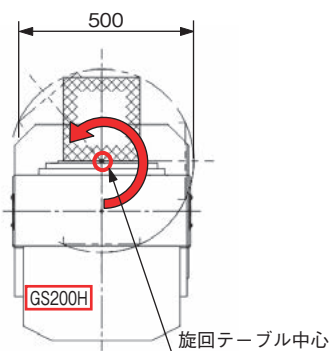


図6 工作物振りの最小化
Minimizes work-swing

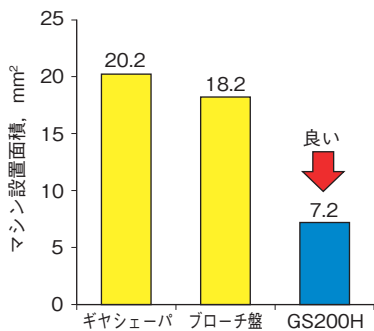


図7 フロアスペース比較
Comparison of floor space

6. 高い生産性・安定した精度

本開発機は高い生産性を実現するために、高能率のギヤスカイビング加工を実現できる装置構成とした。以下に、その特長を述べる。

6.1 高剛性工具主軸ユニットと高剛性工作物軸ユニット

加工性能を確保する上で重要な装置である工具主軸は、断続切削となる本工法に必要とされる高い減衰性と高剛性を両立できる内製複列円筒ころ軸受を採用し、加工性能の向上を図った。また工作物軸には、ギヤスカイビング加工に必要とされる $3\,000\text{min}^{-1}$ の高速回転性能と、断続切削に耐える高い剛性を持つ、内製アンギュラ玉軸受を採用した。

6.2 高性能送り装置

送り装置は、高剛性・減衰性および高速駆動を実現するために円筒ころスライドを採用した。円筒ころスライドは荷重に対する弾性変形量と、繰り返し変動荷重による変位値が小さいことが特長で、振動減衰性においても優れた特性を持っている。これにより急加速・急停止時の姿勢変化が小さく、素早く位置決めすることが可能となる。

6.3 高剛性・低熱変形プラットフォーム

工作機械の移動体を支えるベッド・コラムは、設計段階から FEM 解析技術を活用して力の伝わり方のシミュレーションを行い、加工負荷による部品の変形を最小にする構造を追求した。またマシンの設置環境における室温の変化に対しても安定した加工精度が得られるよう、非定常熱解析を繰り返し、形状やリブ配置を最適化し適切な熱容量の確保と放熱バランスを実現するように設計した。この結果、温度変化により発生する部材の曲がりや反りが低減でき、加工精度の低下が抑制できる。これらの取り組みに加えて、ベッド・コラムを当社の高い鋳造技術で製造することによって、高剛性で吸振性が高い低熱変位プラットフォームを実現した。

6.4 スカイビング加工を支える制御技術

スカイビング加工を実現するには、加工時の工具主軸と工作物軸の回転を、高速かつ高精度に同期制御する必要がある。そのため本開発機においては、工具主軸および工作物軸に高精度・高分解能エンコーダを搭載、さらに制御装置はギヤスカイビング加工制御に実績のある内製 CNC 装置 TOYOPUC-GC70 を採用し、加工に必要な機能を付加することで、本工法に適した高速高精度同期制御を実現した。またスカイビング加工の NC プログラムは、3 軸以上の同時制御により構成されるため作成が非常に困難である。よって本 CNC 装置は、歯車諸元・工具諸元・切削条件などのデータを入力するだけで、ギ

ヤスカイビング加工のプログラムが作成できる簡単プログラミング機能を付加した。

7. ギヤスカイビングセンタによる工程集約

一般的に、ブローチ盤やホブ盤などの歯切り加工機にはマガジンや工具交換装置がない。対して本開発機はマシニングセンタの装置構成をベースに、工具交換機能と歯車加工機能を併せ持つ複合加工機として開発しており、歯車加工以外の加工工程にも対応できる。図8に示す工作物および工程を例に挙げ説明する。従来、この部品の加工工程は①旋削②ホブ加工③ギヤシェーパ④面取り加工⑤穴あけの5工程から構成される。そしてこれらの加工を実現するためには、それぞれの加工工程に対応する設備、あるいは専用機が必要であった。しかし本開発機では、①～⑤の加工工程すべてを一台で対応できる。これにより、工作物に対し複数の加工工程がワンチャックで対応可能となり、工程間の工作物着脱や姿勢変化による加工誤差を排除し、安定した加工精度の確保が可能となる。また工程が集約されると、各加工工程間の待機時間がなくなるため、製品の製造サイクルにおける加工正味率が向上する。歯切り工程では、②ホブ加工および③ギヤシェーパをスカイビング加工法に置き換えるため、加工時間も短縮できる。この他にもマシン設置スペースの縮小、設備台数削減による投資上のイニシャルコスト低減がメリットとして挙げられる。このように工程集約の推進は、生産ライン自体の規模の縮小あるいはフレキシブルな生産設備への変革を可能とする。

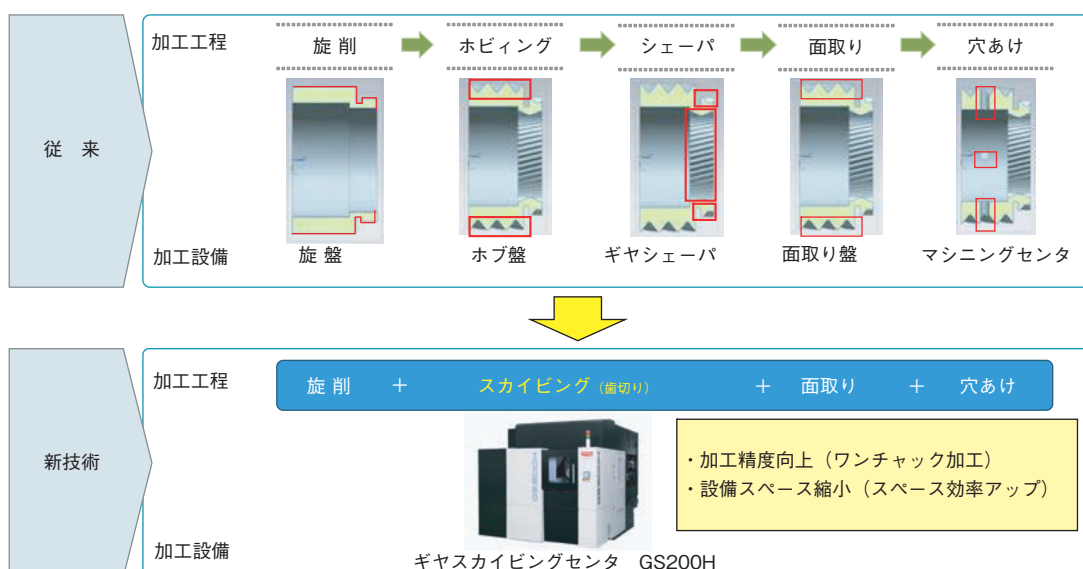


図8 工程集約の例

Example of process integration

加工条件
Processing conditions

工作物 (リングギヤ)	大きさ	mm	φ149 × 24
	材質	—	SCM415
モジュール	—		1.5
交差角	°		20
主軸回転速度		min ⁻¹	2 159
工作物軸回転速度		min ⁻¹	1 666
送り速度	荒加工	mm/min	416
	仕上げ加工	mm/min	283



加工結果
Result

加工時間	sec	19
歯形精度	μm	5.5
歯すじ精度	μm	6

図9 リングギヤ加工事例
Example of machining ring gear

8. 加工事例の紹介

本開発機の加工事例として、モジュール 1.5 のリングギヤの加工結果を図9に示す。この加工結果は、一般的な量産歯切り荒工程で必要とされる JIS B 1702 : 1998 で定義された 0 (精度高い) ~ 12 (精度低い) 等級において 7 級以下の精度である。

9. おわりに

今回開発した GS200H5 はギヤスカイビングセンタの特長である工程集約能力を維持し、高精度・高生産性と省スペース化を実現し、さまざまなお客様のニーズにこたえることができた。今後も市場動向を見極め、お客様にとって魅力ある商品を提供し続けられるよう努めていきたい。

参考文献

- 1) 大谷 尚 : JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1012(2014)85.
- 2) H. Ohtani : Development of Energy-Saving Machine Tool, Int. J. of Automation Technology, Vol. 11, No. 4(2017)608.

筆者



大塚義夫*
Y. OOTSUKA

* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械開発部