

# 3D歯車創成加工技術と 高精度スカイピング加工機の開発

株式会社 ジェイテクト

取締役社長 佐藤 和弘

(株)ジェイテクト	加工システム技術部	大谷 尚
(株)ジェイテクト	先行開発部	荒井 義博
(株)ジェイテクト	加工システム技術部	外山 弘治
(株)ジェイテクト	マシン制御技術部	大崎 嘉太郎
(株)ジェイテクト	研究開発本部 研究開発領域	
	データアナリティクス研究部	吉永 克仁

## はじめに

近年、カーボンニュートラル、SDGsの実現に向け、自動車部品を中心に電動化が急速に加速している。図1に示すように電動車は、モータ、インバータ、減速機から構成されているE-Axleという機電一体型の減速機が多く用いられており、その減速機の必要性能としては、小型軽量で静か、高効率であることが要求されている。

この減速機に内蔵される歯車は、コンパクト、かつ高精度、スムーズにかみ合う最適形状であることが必要とされる。これらに対応するため、スカイピング加工法を用いて3D歯車を創成する加工技術と加工機を開発した。

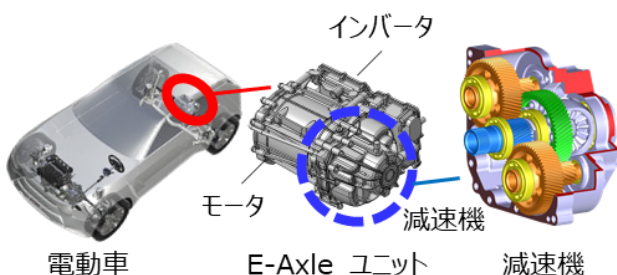


図1 電動車、E-Axleおよび減速機

## 開発のねらい

設計者は高性能な減速機を開発するために、理想となる歯車を思い描くが、現状は製品製作時の加工法に制約が多く、自由な設計ができない困りごとがある。現状の歯車製作における課題点を下記に示す。

### ① コンパクト化が困難

E-Axleの減速機は、図2に示すように、インプットギヤ、中間ギヤ、ファイナルギヤなど数種類の歯車が用いられ、歯車の大きさがユニットサイズに直結する。

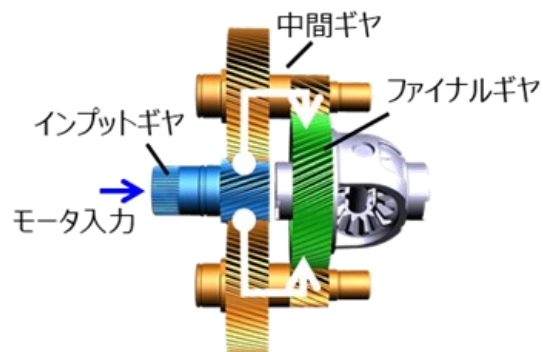


図2 減速機の構造

中間ギヤについては、インプットギヤからファイナルギヤに動力を伝達する必要があるため、2段のギヤとなる。

この2段ギヤの小歯車部を加工する場合、焼き後の仕上げでは、高精度加工ができる歯車研削を行うが、**図3**に示すように、大径のねじ状砥石を用いるために、干渉が発生しないように歯車の間隔を広くする必要があるので、製品が長くなり、コンパクトに製作することが困難である。

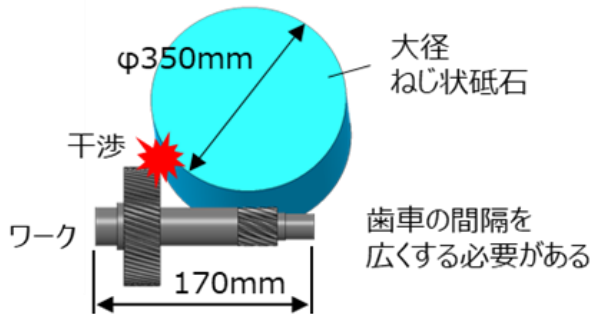


図3 歯車研削盤による加工

## ② 3D 歯面形状を加工できる加工法がない

通常、歯車はインボリュート形状の歯形を用いるが、歯車や歯車軸の変形によって生じるかみ合いの悪化を改善するために、クラウニング等の歯形修正を行う。しかし、この修正は歯面を均一に大きく修整するため、かみ合い範囲が小さくなり、振動発生や、効率悪化等の問題がある（**図4**）。

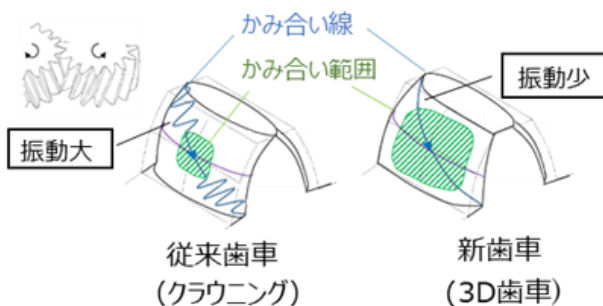


図4 従来歯車と3D歯車

これを解決するには、最近では、かみ合い範囲を増やし、低振動で、かつ効率を損なわないような、新たな自由曲面を有した3D歯車が提案されている。

この歯面形状は、ユニット構造や相手歯車とのかみ合い状態により最適形状が異なるため、歯車製作時には、自由度の高い加工が必要とされるが、それを対応した加工法がない。

これらの課題を解決するために、小型で高精度、かつ、高い自由度を持ち自由自在に3D歯面形状を加工できる加工技術、および加工機を開発した。

## 装置の概要

開発した高精度スカイビング加工機 GS200H を**図5**に示す。本機械は、スカイビング加工法により高精度に3D歯面形状を加工する機能、および工具を搭載している。



図5 スカイビング加工機 GS200H

## スカイビング加工方法

スカイビング加工は、歯車形状の工具を用いて加工する創成歯切り法の一つである。原理は、**図6**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歯車加工を行う工法である。

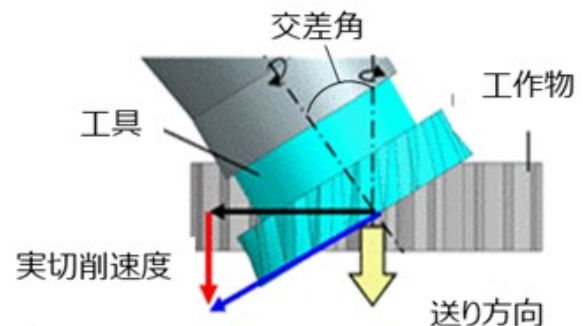


図6 スカイビング加工方法

この工法の特徴は、工具が小径であり接近性が良いため（**図7**）、コンパクトな歯車部品を製作できることである。

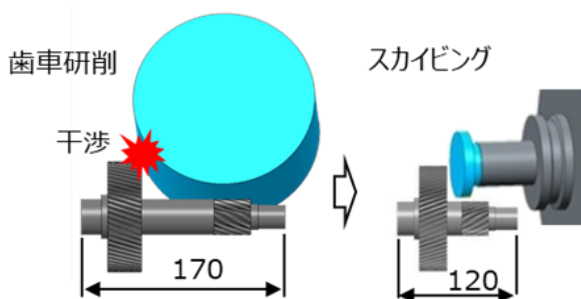


図7 スカイピング加工方法の特徴

## 技術上の特徴

### 3D 歯面創成加工方法

3D 歯面創成加工技術は、様々な自由曲面を創成する技術である。

図8に示すように、圧力角、歯形丸みといった歯形形状は工具で創成し、歯すじ傾斜やクラウニング、バイアス等の歯すじ形状は機械運動で創成する。そして、工具と機械運動を複合して組み合わせることにより、3D 歯面形状を実現する。

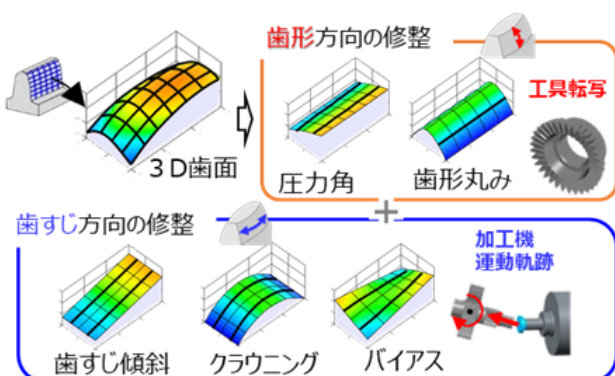


図8 3D歯面を構成する5つの要素

### 機械要素技術

機械の制御については、自由曲面である歯形に沿って工具をなめらかに動かす必要があるために、工具回転軸とワーク回転軸のみならず、位置決めとしての直線軸、割出し軸を含め、6軸すべてを高精度に同期制御する必要がある。

そこで、機械構成は、直線軸はフルクローズド制御、回転軸はすべてダイレクトドライブモータ方式とした。

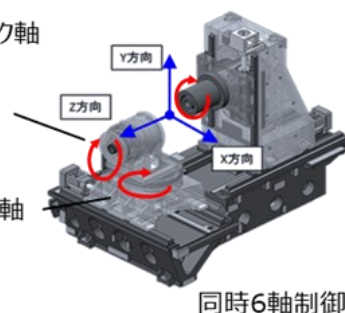
また、加工時の機械振動を低減するために、内製による高剛性で高精度な軸受けを採用し、さら

に内部構造を見直すことによって、なめらかな追従性と、従来に対して非常に高い剛性を実現した(図9)。

- 高速高剛性・ワーク軸



- 高追従性テーブル軸



同時6軸制御

図9 高精度仕様加工機

### 3D 歯面加工用工具

通常のインボリュート歯車を加工する場合は、工具の歯形形状は、ワークとの創成運動から決定される。

それに対し、3D 歯面を加工する場合は、図10に示すように、さらに機械の運動を加えて、工具の歯形形状を算出する必要がある。

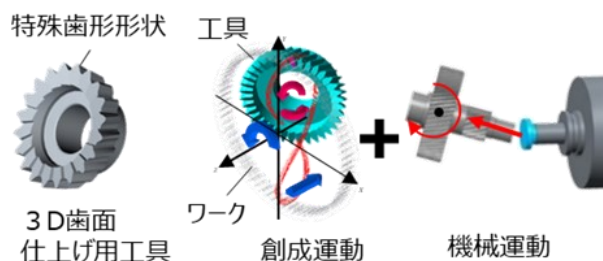


図10 3D歯面創成加工用工具

そこで、独自シミュレーションを開発して工具を設計、それに合わせて製作することで、3D 歯面創成用工具を開発した。

今回は高精度な加工を実現するために、焼入れ前に荒加工、焼入れ後に仕上げ加工を行った。

工具材質については、ワークの硬度を考慮し、荒加工ではハイス材、仕上げ加工では超硬材を用いて工具を製作している。

## 実用上の効果

### 加工事例

図11は開発した技術を用いて製作した2段

ピニオンギヤである。2 段の歯車間距離は短く 10mm を実現した。そのため全長も短くなり 120mm となり、従来の歯車研削で製作できる長さ 170mm に対して、30%コンパクトである。

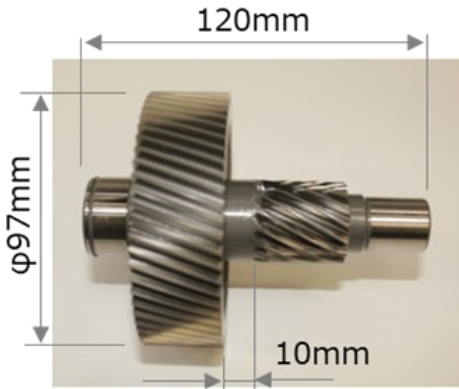


図11 2段ピニオンギヤ

加工については、超硬材のスカイピング工具を用いて、熱処理後の仕上げを実施した。

加工精度については、歯車精度は JIS5 級相当で、3D 歯面形状の歯形修整量は図 1 2 に示すように、狙い値 ± 1.0μm 以内で加工することができた。

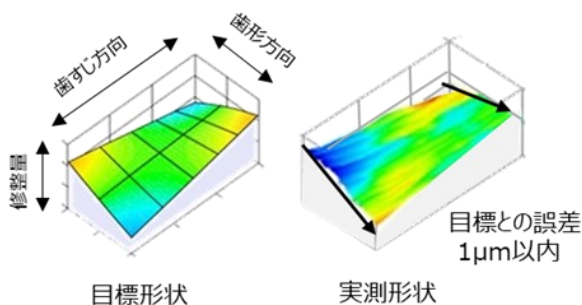


図12 3D歯面精度

このワークを内蔵した減速機ユニットの振動を評価した結果、3D 歯面を有しない従来歯形に対して 25%の振動低減効果が得られた(図 1 3)。

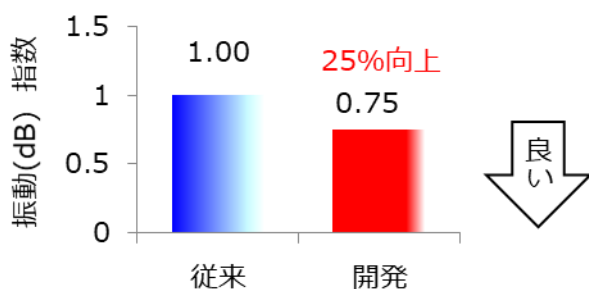


図13 3D歯面の振動低減効果

### E-Axleユニット事例

図 1 4 は製作した 2 段ピニオンギヤを搭載した 4 輪駆動用の E-Axle の減速機である。

この減速機は、従来に対して非常に小型であり、体積は 30%、重量は 10%低減しており、効率は 0.3%向上、96.8%を達成した。



図14 減速機ユニット

### 知的財産権の状況

本開発品に関する特許登録は 19 件あり、主要特許は下記のとおりである。

- ① 日本国特許第 6606967 号  
名称: 歯車加工装置及び歯車加工方法
- ② 日本国特許第 6871675 号  
名称: 歯車加工装置及び歯車加工方法

### むすび

新開発した 3D 歯面創成加工技術と高精度スカイピング加工機を用いることで、3D 歯面形状の歯車をコンパクト、かつ高精度で加工することができ、それにより、小型で静かな減速機を実現することができた。

この技術は、電動化が進む自動車をはじめ、減速機を搭載する、あらゆる製品の燃費や性能の向上が期待でき、CO<sub>2</sub>の削減に貢献することができる。

今後も、さらなる技術開発を進めて、歯車の技術革新に貢献していく。