

特集論文

自動車用ミッションギヤの生産を支える歯車加工機と精密切削工具

Gear Cutting and Grinding Machines and Precision Cutting Tools Developed for Gear Manufacturing for Automobile Transmissions



鍋倉 正和*¹
Masakazu Nabekura

橋谷 道明*²
Michiaki Hashitani

西村 幸久*³
Yukihisa Nishimura

藤田 昌克*⁴
Masakatsu Fujita

柳瀬 吉言*⁵
Yoshikoto Yanase

三崎 雅信*⁶
Masanobu Misaki

工作機械事業部で製造・販売している歯車加工機械や精密切削工具の主要顧客である二輪・乗用車メーカーにとってミッションギヤの高精度・低コスト化というニーズは永遠のテーマと言える。最近の自動車業界の動向を紹介し、歯車機械・工具の総合メーカーとしてそのニーズにどのように対応しているかについて述べる。

1. 歯車加工工程

図1に乗用車用トランスミッションの例を示す。ミッションに組み込まれているギヤの従来からの一般的な加工工程を図2に示す。歯車加工機に直接関係のないキー溝加工、油穴加工、ブッシュの圧入工程等は省いている。熱処理前の歯車加工機として通常はホブ盤を使用する。段付きギヤや内歯歯車のようにホブ盤で加工できないワークはギヤシェーパーを用いて加工する。これらの加工は有限な切刃数の創成加工であり、歯面には数十ミクロンの理論粗さが残り、振動・騒音発生要因となる。この対策として、シェーピング加工

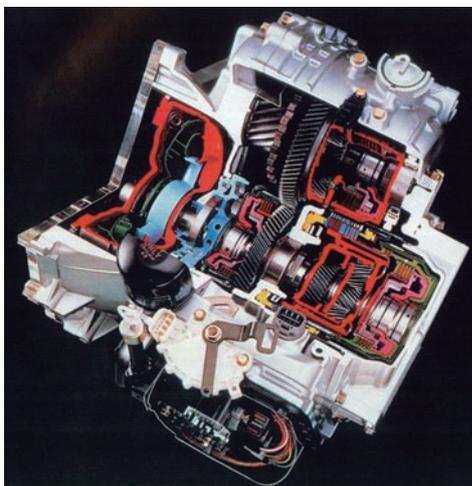


図1 乗用車用トランスミッションの例

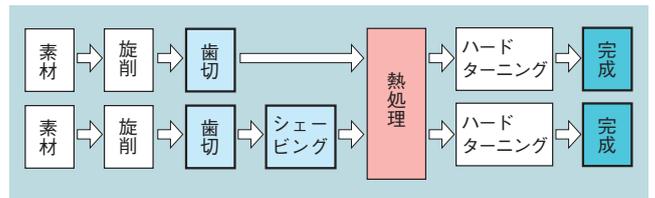


図2 従来のトランスミッションギヤの加工工程
通常はホブ切りまで、要求精度の高い歯車はシェーピング工程を採用。

工で歯面粗さの向上と熱処理歪による歯形・歯すじの変化を想定したミクロン単位の歯面形状の仕上げ加工を行う。熱処理後は軸受け部の仕上げ工程のみを行うことが一般的であった。

2. 歯車加工の最近の傾向⁽¹⁾

前述のように熱処理歪を考慮した歯面仕上げ加工を熱処理前に実施していたが、最近の厳しい高精度化の要求を満足するために、熱処理後の歯車研削（以下歯研）やホーニングなどの仕上げ加工の採用が増えている。また、海外では、シェーピングのような高度な加工技術の定着化が難しく歯研が採用されることが多い。

最近の歯車の加工工程を図3に示す。歯研した歯面の面粗さの向上や、三次元的な歯面の実現のためホーニングも採用されている。熱処理後の仕上げ加工を採用すると製造コストを押し上げることになるので、

*¹ 工作機械事業部技術部主幹

*² 工作機械事業部技術部次長

*³ 工作機械事業部技術部歯車機械設計課長

*⁴ 工作機械事業部技術部精密工具設計課長

*⁵ 工作機械事業部技術部歯車機械設計課

*⁶ 工作機械事業部技術部精密工具設計課

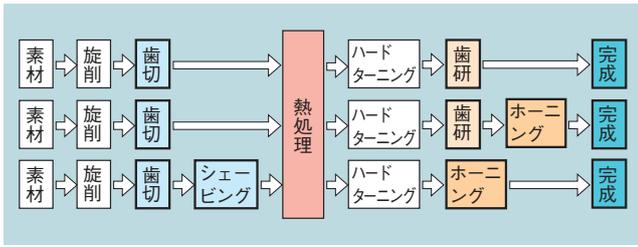


図3 最近のトランスミッションギヤの加工工程
最終要求精度の高い歯車は熱処理後に仕上げ工程採用。従来並みの精度であれば、シェーピング工程まで。

トータルコスト低減への取組が進められている。ミッションに組み込まれるギヤはそれぞれ振動・騒音への影響度が異なるので、精度、コストの面からギヤごとに最適な仕上げ方法を採用している。例えば歯研する場合は、ホブ切り精度を改善しシェーピングを廃止する。ホーニングする場合は、工具費低減のため熱処理前にシェーピング加工を行い、加工前精度の安定と取代の低減を図っている。最近では、型鍛造などの塑性加工法も採用されており、クラッチ歯などは一体成形で作られることが増えている。ミッションギヤ加工の動向を以下にまとめる。

(1) ドライカットの採用

- 高速化による歯切り工程の生産性向上
- 工具寿命延長による工具費の低減
- ドライ化による切削油剤費の低減

(2) シェーピング工程の省略

- 熱処理後に歯研する場合はシェーピングを省く

(3) クラッチ歯の鍛造一体化

- 塑性加工化（切削工程削除）
- 歯車のコンパクト化

(4) 歯車生産の海外展開及び作業者の非熟練工化

- 操作性・メンテナンス性の良い機械を要求
- 作業支援ソフト、プリサービスの充実

(5) 対象ワークに最適な加工工程の採用

- それぞれの加工法を満足する種々の加工機の提供

3. 精密切削工具

(1) ドライカット用コーティング

作業現場から切削油を追放することは、地球環境に優しいばかりでなく、切削油剤費削減によるコストダウンが期待できる。そこで当社は世界に先駆けて歯切りのドライカットシステムを開発した⁽²⁾。スーパードライコーティングを施したカッタとドライカットに適したホブ盤の開発により、ホブ切のドライカットを実現した。さらに、ギヤシェーパーにもドライカットを展開した。

ホブカッタは歯切り時に刃先が高温になり摩擦が

進行するので、スーパードライコーティングを施すことにより、耐熱強度の向上を図った。これにより、従来 $100 \sim 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ であった切削速度の $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ への高速化を可能とし、同時に摩擦を抑え、工具寿命を2倍とし、生産性の大幅な向上を実現した。スーパードライコーティングと従来のTiNコーティングのコーティング膜組成の変化を図4に示す。高温にさらされるとTiNコーティングではTiが酸化し脆い組織に変化している。これに対し、スーパードライコーティングでは表層部ではAlが選択的に酸化され強固な膜となっていると考えられる。

現在はさらに高温酸化特性を高めたスーパードライIIコーティングを開発し切削速度 $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ への高速化対応を実現している。スーパードライIIコーティングは 1200°C の高温でも高い耐酸化性を実現している。

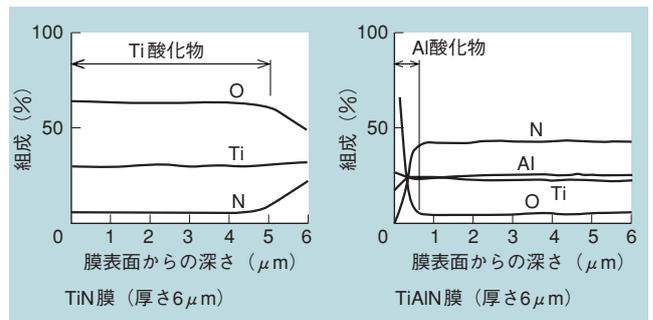


図4 コーティング膜の組成比較
800℃、大気中、5時間保持。

(2) 熱処理後の仕上げ加工用超硬ホブ

砥石の干渉等で熱処理後の歯研が難しいステアリングピニオン等の小径ギヤでは、熱処理後に超硬ホブによる仕上げ加工が採用されつつある。当社では超微粒超硬合金とコーティングの組み合わせによる仕上げ加工用超硬ホブを提供している。

(3) 表面処理シェーピングカッタ

歯車の仕上げ加工の大半を占めているシェーピング加工では、工具費低減のため、カッタの表面処理によって表面硬度を上げ工具寿命の延長を図っている。歯の弾性変形量も考慮した高剛性設計と合わせて工具寿命の1.2～2倍延長を実現している(図5)。

4. Eシリーズ歯車機械

2章に示した自動車業界のニーズに対応するため、工具の開発と合わせてホブ盤、ギヤシェーパー、シェーピング盤の歯車加工機械のEシリーズ化を行った。さらに創成式歯車研削盤ZEシリーズを開発した。E

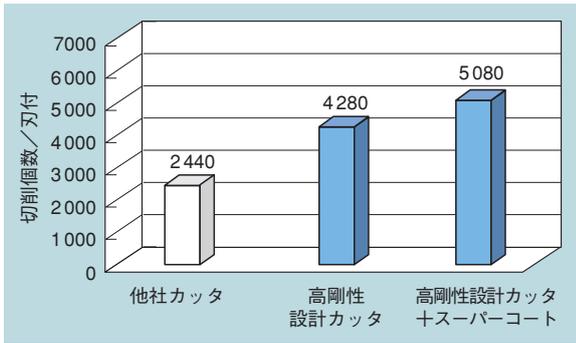


図5 シェービングカッタの寿命改善

シリーズのEはエコロジカル，エコノミー，エクセレントのEである。下記のコンセプトに基づき開発を行った。

- (1) グローバルスタンダード
海外への生産展開に対応可能な標準仕様の明確化
- (2) 徹底した省エネ・環境対策
省エネ回路の標準化，騒音対策
- (3) 操作性・メンテナンス性の向上
作業者の支援システムの向上，非熟練工対策
- (4) ラインコンセプトの統一
ホブ盤，ギヤシェーパ，シェービング盤，歯研盤から円筒研削盤までトータルなコンセプトの統一
- (5) フレキシブルな生産対応
主なユニットをパッケージ化し，ライン構成，再編の容易化
開発に際しては，顧客満足（CS）を徹底的に追求し，営業，設計，組立，サービスからなるCFT活動を展開した。これまでのクレームや客先要望事項，客先仕

様を整理し，標準仕様に反映した。

また，開発設計は3D-CADを駆使し，FEM解析だけでなく，操作性・作業性のデザインレビューを十分実施した。当社では，サーボ技術の開発にも注力しており，NCガイドギヤシェーパSTシリーズや同期シェービング盤，同期ホーニング盤などを開発している。当社の歯車加工機のラインアップを図6に示す。当社は，ホブ盤，ギヤシェーパ，シェービング盤，各種歯研盤，円筒研削盤等の歯車機械から工具まで製造・販売し，実際に歯車の量産も行っている世界に類を見ない歯車加工システム総合メーカーである。

4.1 ドライカット対応GEシリーズホブ盤

Eシリーズホブ盤の開発に際してはドライカット対応として

- ① 切粉対策：加工スペースを機内カバーで密閉し切粉の飛散を防止，ステンレスの急傾斜カバーで機外へのスムーズな排出を図った。
- ② 高速対応：切削速度 $250\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 対応の主軸・テーブル軸構造の採用。
- ③ 重切削対応：機械剛性の向上，大容量の主軸モータの採用などを実施した。

GE15Aには従来通りのレイアウトである標準タイプと，狭間口でモジュラー化したガントリーローダが後付け可能な図7に示すライン対応タイプがある。

本機は図8に示すワークを切削速度 $250\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ，サイクルタイム14.3秒で加工可能である。本機の導入による効果を図9に示す。およそ45%のコスト低減を実現している。なお，切削油装置を追加することで従来のウエットカットにも対応可能である。

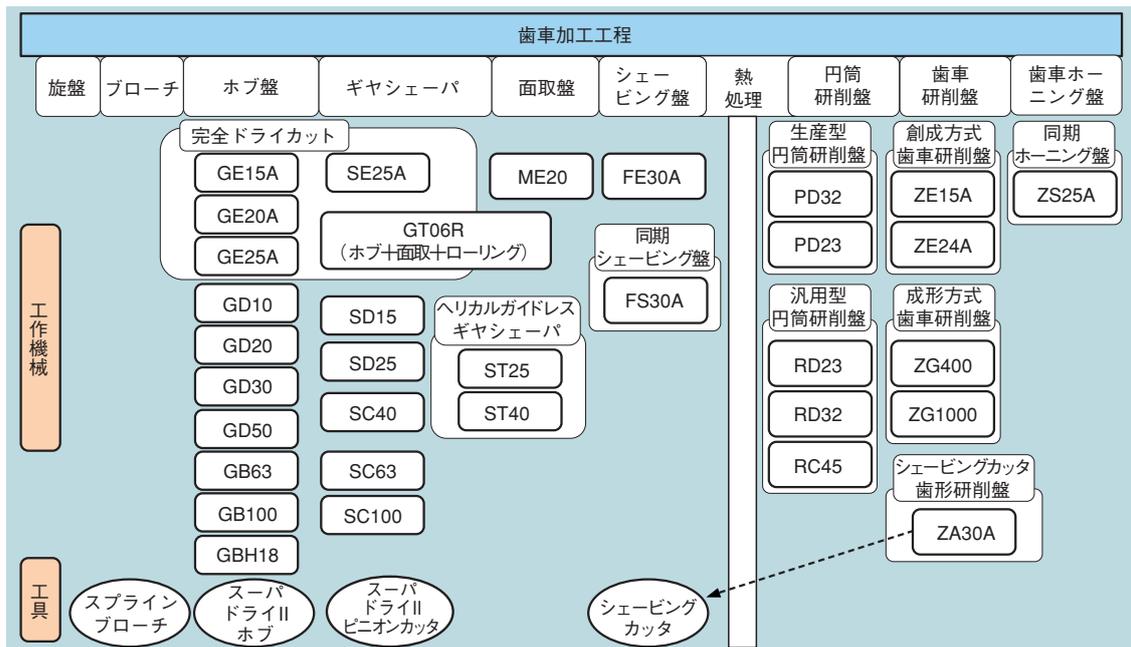


図6 三菱の歯車加工機械および歯切り工具のラインアップ



図7 GE15Aの外観図(ライン化対応機)

ワーク緒元	
モジュール	1.4
歯数	34
歯幅	25mm
圧力角	17.5°
ねじれ角	22.5° RH
工具緒元	
形式	ソリッドホブ
外径	φ58mm
口数	4
刃数	16
コーティング	スーパードライII
切削条件	
加工方法	クライムカット
ホブ回転数	1370min ⁻¹
切削速度	250m/min
送り	2.0mm/rev
サイクルタイム	14.3s

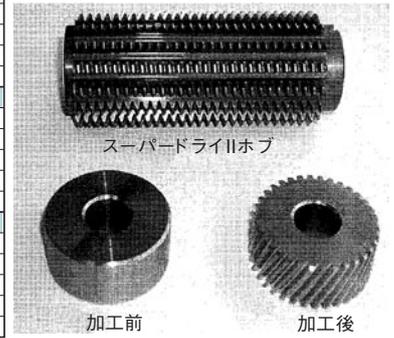


図8 加工事例

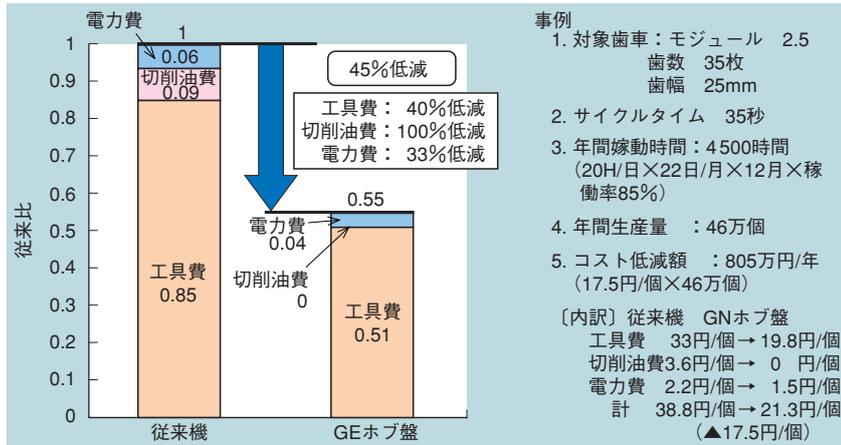


図9 ドライカットの導入効果事例



図10 SE25A ギヤシェーパの外観図

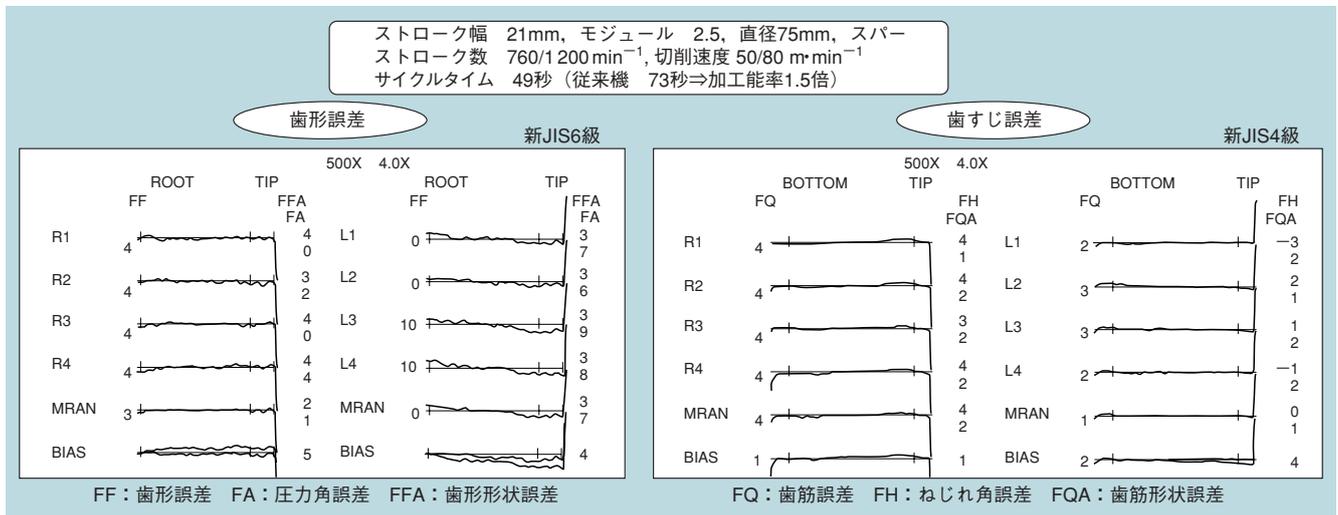


図11 SE25Aによる加工事例

4.2 ドライカット対応ギヤシェーパSE25A

新たに開発したEシリーズのギヤシェーパSE25Aを図10に示す。本機は、ドライカットによる高速加工を実現するため主軸周りの構造を見直し、最高ストローク数を1500min⁻¹から1800min⁻¹へ、切削速度では90m·min⁻¹を130m·min⁻¹へと高速化を図っている。また、カッタが往復運動するので振動しやすい

いギヤシェーパの課題である高速加工時の振動を抑えるため、新型の balanサーシャフトを装着している。これにより、高速時の振動を従来機の1/6以下に抑えることに成功している。

本機による加工例を図11、図12に示す。振動を抑えたことによって、安定して良好な加工精度を得ている。またドライカット時に問題となる熱変形も低く

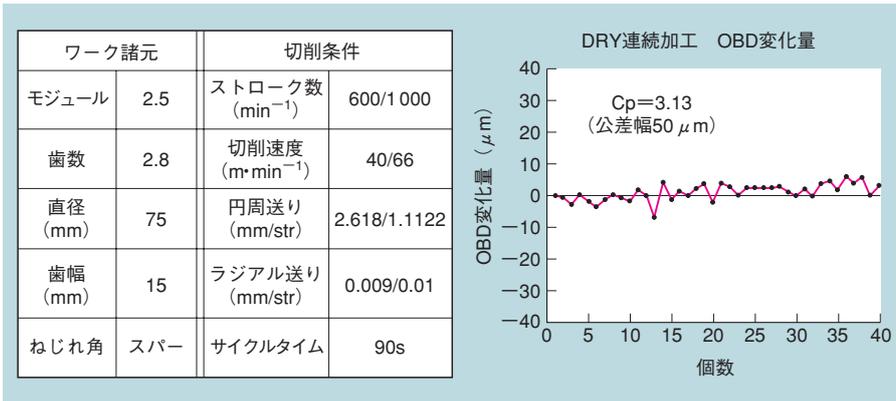


図 12 連続加工時の OBD の変化



図 13 FE30A 外観図

抑えられ、連続加工時のオーバール径も安定した結果が得られている。また、本機も GE15A 同様、ドライカットにも従来のウェットカットにも対応できる構造とした。

4.3 シェービング盤 FE30A

新たに開発した FE30A を図 13 に示す。FEM 解析を用いてコラムやサドルの構造を見直し剛性の向上を図った。また操作盤には大型のカラーグラフィック画面を採用し操作性・メンテナンス性の向上を図っている。

主軸の負荷電流のモニタリングが可能で加工条件の設定に役立てることができる。さらに NC 画面からのデータ入力のみで、テーパやクラウニング量の補正が可能である。原理を図 14 に補正の実例を図 15 に示す。

4.4 歯車研削盤

ミッションギヤの振動・騒音の低減を目的とし、最終精度を向上するため、熱処理後の歯車研削加工が注目されている。このニーズに対応し、E シリーズの歯車研削盤として ZE15A/24A を開発した³⁾。本機の特長は

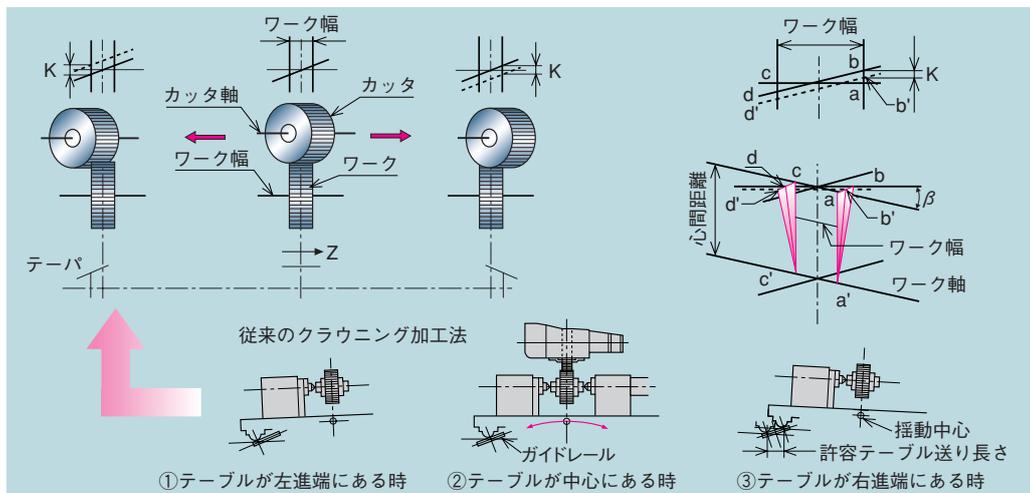


図 14 テーパ・クラウニング原理

加工事例 操作画面上でデータをインプットするだけでクラウニング加工、テーパ&クラウニング加工などの補正が簡単に行えます

		ゼロ設定	歯すじ補正	クラウニング加工	テーパ&クラウニング加工
デ入力 タカ (mm)	クラウニング量	0.0	0.0	0.03	0.03
	A 軸 補 正	0.0	0.02	0.0	0.0
	テ ー パ 量	0.0	0.0	0.0	0.02
歯すじ精度					
ワークmn	3				
φ	144				
β	0				
z	30				
カッタ φ	220.3				
β	12RH				
ダイアゴナル加工					
			19μm 20μm	30μm 28μm	29μm 19μm 30μm

図 15 テーパ・クラウニング補正

- (1) ねじ状の一般砥石を使用し、シフト研削法の採用と併せ、安定した高精度加工と工具費の低減を実現した。
- (2) 砥石軸、テーブル軸はビルトインモータを採用し、高速・高精度加工を実現した。
- (3) リングローダ上にドレッサを搭載し、ハースカカップリングでクランプした状態でドレスすることにより、機上ドレスの高精度化を実現した。
- (4) 標準8軸NCを採用し、種々の加工支援ソフトを準備し良好な操作性・メンテナンス性を実現した。従来は歯形の圧力角を補正する場合は作業者がドレッサを微調整していたが、本機では図18に示すようにNC画面からデータの入力のみで、容易に歯形の圧力角の補正を可能とし作業性の大幅な向上と品質の安定化を実現している。図16に機械の全景を、図17に加工事例を示す。

4. 5 高速・高精度同期

当社では高速・高精度同期システムの開発に注力し、

世界に先駆けてNCガイドギヤシェーパや同期シェービング盤を開発してきた。

(1) NCガイドギヤシェーパ

ギヤシェーパを用いて、はすば歯車を加工する場合はカッタに歯すじ線に沿った旋運動をさせるためにガイドと呼ばれる案内を使用する。カッタのリードに合わせて専用のガイドを準備する必要があり、リードの異なるカッタを使用する場合は、熟練工によるガイド交換作業が必要であった。STシリーズのギヤシェーパでは、このら旋運動をNC制御で実現した。ガイド部の構造を図19に示す。本機を使用すれば図20に示すようなねじれ角の異なる2段ギヤのワンチャック加工が可能である。

(2) 同期シェービング盤

通常、シェービング加工はカッタを駆動しワークは連れ回りで加工する。ワークが回転方向に制御されていないため、従来のシェービング盤では、ピッチ精度を改善することができない。そこで同期



図16 ZE15A 歯車研削盤

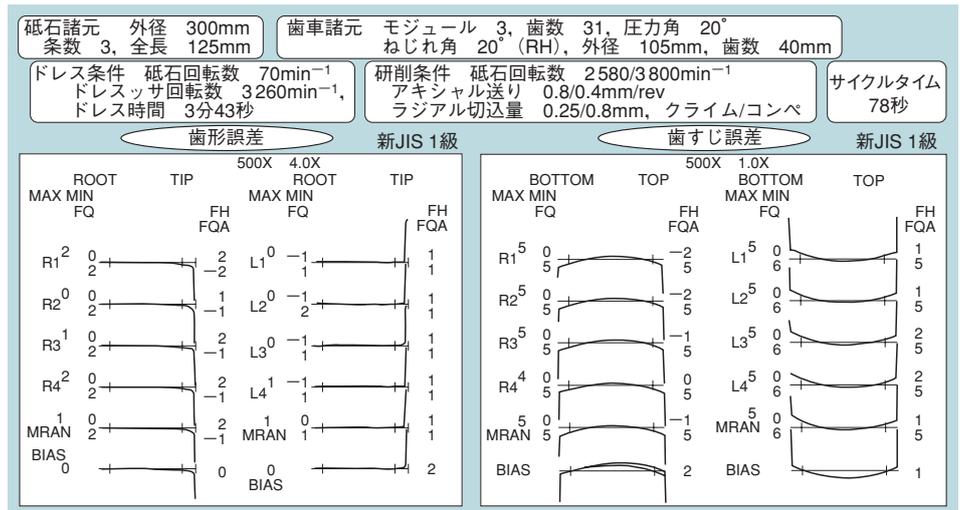


図17 圧力角補正

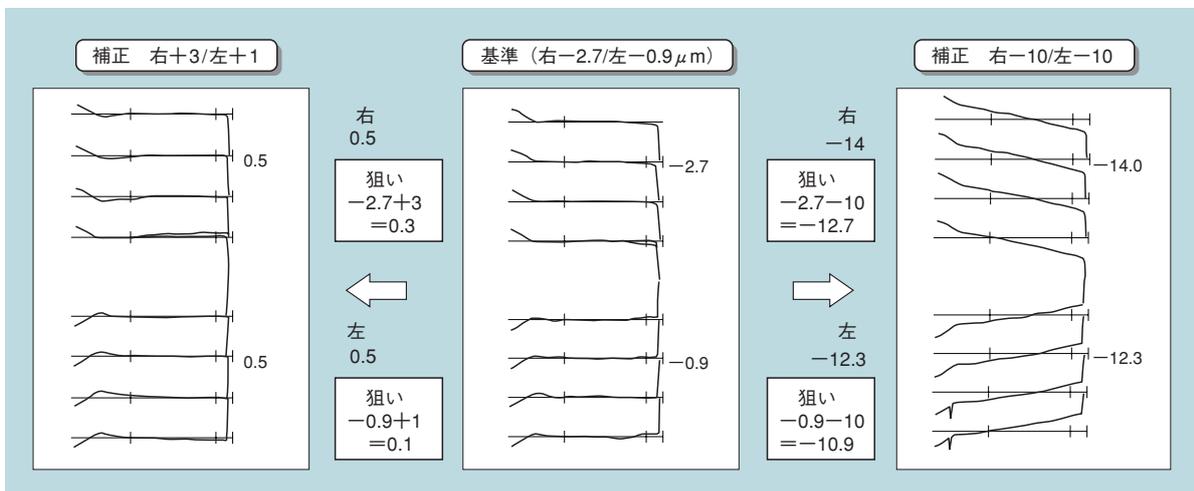


図18 圧力角補正

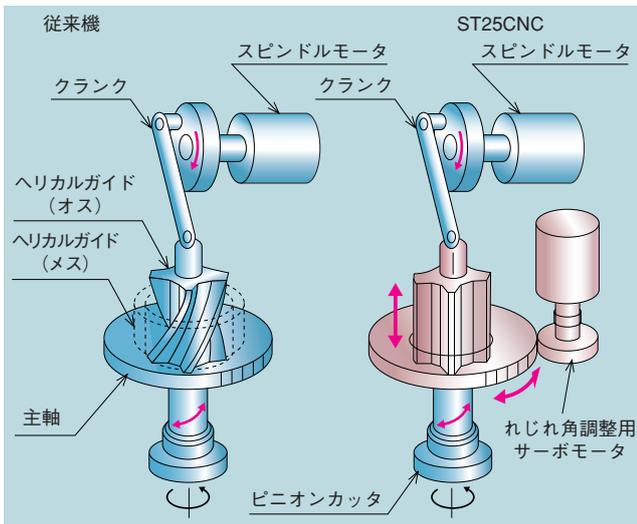


図 19 ガイドの構造説明



図 20 2段ギヤ加工

シェービング盤 FS30A を開発した⁽⁴⁾。本機で加工した場合のピッチ精度の改善状況を図 21 に示す。また従来の加工ではカッタを正転・逆転加工するが、同期シェービング加工では一方向加工で仕上げることができ、正・逆転が不要でサイクルタイムの短縮を図ることができる。さらに、同期制御によりカッタとワークの位置関係が正しく保持され、カッタの歯形がワークに正しく転写されるので、工具寿命の管理が容易で、工具寿命の延長に効果のあることが

参考文献

- (1) 橋谷道明, ドライカットシステムおよび歯車仕上げ加工について, 砥粒加工学会 関西支部 特別講演 2004.1.19
- (2) 鹿毛博文ほか, 歯車のドライホブ切り 日本機械学会 2003 年度年次大会 講演資料集Ⅷ p.177
- (3) 橋谷道明ほか, 静粛・コンパクト・低コスト歯車を実現する ZE15A 三菱重工技報 Vol.42 No.2 (2005) p.56
- (4) 鍋倉正和ほか, 低騒音歯車加工を目指した同期シェービング盤 三菱重工技報 Vol.39 No.4 (2002) p.212

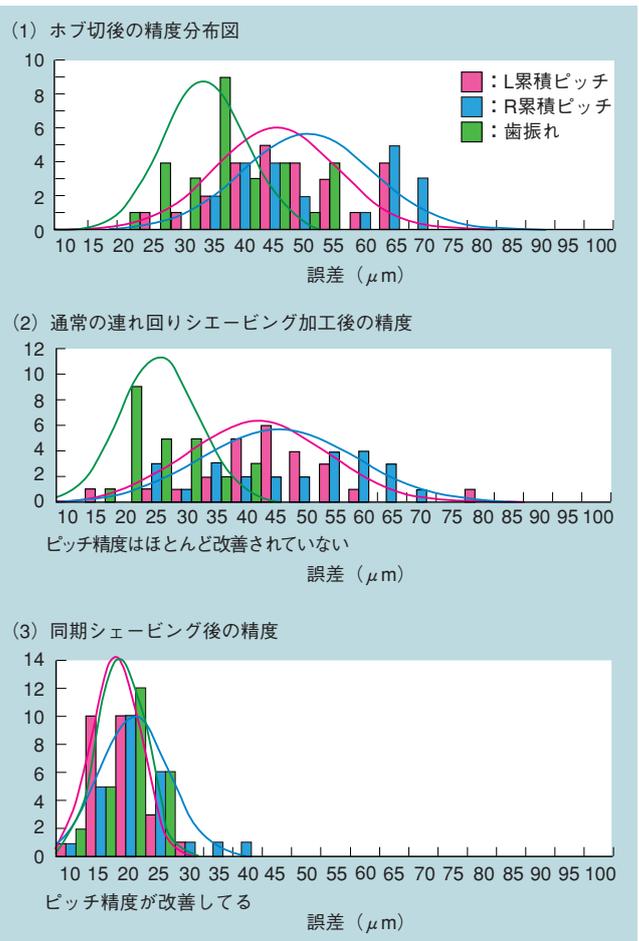
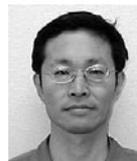


図 21 同期シェービング盤によるピッチ精度の改善

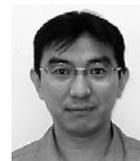
報告されている。

5. ま と め

当社では、機械・工具の両方を製作する歯車加工システムの総合メーカーとして、自動車業界の動向を先取りするようにドライカットシステムの開発やEシリーズ展開、歯車研削盤の開発等を行ってきた。今後も客先ニーズを先取りした製品システムの開発を継続していくとともに生産ラインの遠隔監視、プリサービスの実施、生産支援システムの充実などトータルなサービスの提供を実施していく。



鍋倉正和



橋谷道明



西村幸久



藤田昌克



柳瀬吉言



三崎雅信