

精密転造加工の現状と課題

Status Quo and Theme of Precision Roll Forming

キーワード

精密転造盤, フォーミングラック, 塑性加工, 冷間転造, 創成法, 高精度, フレキシビリティ, 環境対応, 省エネ, 塩素フリー

機械工具事業部 工作機製造所技術部

山口 健市

永森 真一

長谷川司良

工具技術部

炭谷 優

技術開発部 機械・加工技術室

江藤 寿晃

■ 摘要

転造加工は切り屑を出さずに可能な限りあるべき姿まで成形を行う塑性加工である。フォーミングラックによる転造加工は創成法のため高精度に短い時間で加工が可能な冷間転造であり、最近の省エネ・省資源のトレンドに合致した工法である。

本稿ではフォーミングラックとフォーミングラック用精密転造盤のメーカーとしてこれまで培ってきた技術と市場動向に対する技術課題について紹介する。

■ Abstract

The roll forming is the plastic working which carries out the molding to ideal form in possible as long without emitting the chip.

Roll forming by the foaming rack is the cold gear rolling that it was high-precise for the generating method and enabled the short time processing, and in addition, it is the method which coincides with the trend of recent energy saving, resource conservation.

In this paper, the following are introduced as technology and technological theme for market trend foaming rack and precision roll forming machine cultivated until now as manufacturer.

1. はじめに

近年、地球温暖化防止のための CO₂ 規制や資源有効利用のための廃棄物リサイクルなど環境配慮の動きが活発になっている。また、ものづくりに関わる多くの企業が生き残りをかけ価格競争力を付けるためにコスト低減活動にしのぎを削っていることは

周知の事実である。

そのような背景の中で転造加工は切り屑を出さずに加工できるため材料の歩留まり向上、機械加工レスによるエネルギー節約および短時間で加工できることによるコスト低減などニーズに合った工法であり、今後さらに展開されていくものと思われる。

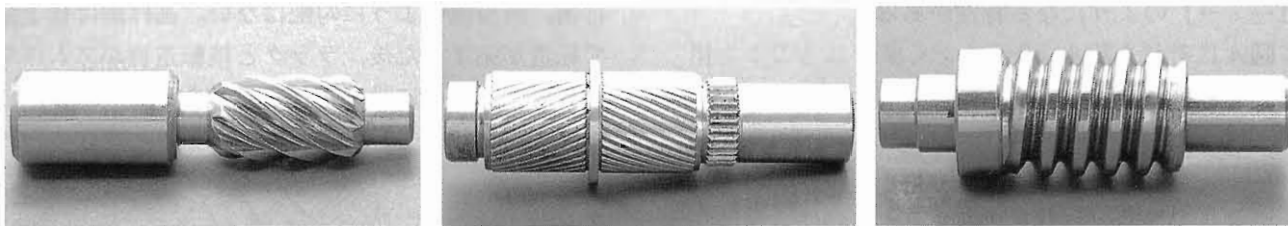
当社は転造工法の中でもフォーミングラックと呼



スプライン+ねじ

ウォームねじ

油溝 (ねじれ角 0°)



少歯数ねじ歯車

油溝 (ねじれ角 30°) + スプライン

ウォーム

図 1 転造加工例

ばれる冷間（常温）転造加工用平ダイスとそれを搭載して転造加工を行う精密転造盤の双方を生産している世界でも類のないメーカーであり、ご需要家にごこの種の加工に対して機械・工具を含めた最適加工システムの提案・提供が可能である。

図 1 にフォーミングラックにより転造された被転造物の一部を示す。

フォーミングラックによる冷間転造加工はアメリカのミシガンツール（Michigan Tool）社によって 1961 年「ロート・フロー」（ROTO-FLO）という名称で開発され、当社は 1963 年にミシガンツール社と技術提携を行い、今日に至っている。

本稿ではこれまで当社が培ってきたフォーミングラックと精密転造盤の技術とこれからの課題について述べる。

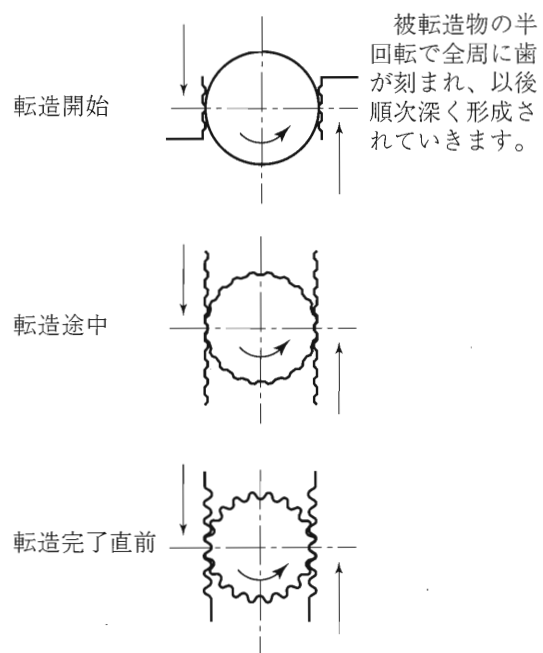


図 2 転造過程

2. 精密転造加工法の概要

2.1 加工原理

フォーミングラック（以下ラックという）による精密転造加工は素材に熱を加えないで常温状態で加工する冷間転造でありプランジ転造法に分類され、ラックの歯が被転造物に押し付けられてその表面に塑性変形を生じさせる加工方法である。

図 2 に転造されていく過程を示し図 3 にその詳細を示す。

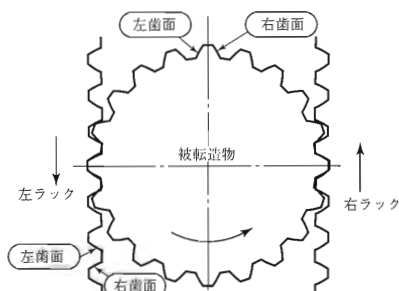


図 3 被転造物とラックの駆動歯面名称

図2で左方のラックは上から下へ移動し右方のラックは下から上へ移動するとして被転造物は左回転する。この場合、ラックと被転造物の左右歯面は図3のように呼ぶ。またラックの右歯面をドライブサイド、左歯面をコーストサイドと呼び、被転造物の右歯面はドリブンサイド、左歯面をフォロアサイドと呼ぶ。

被転造物のドリブンサイドは転がり円径を中心にして金属の流れが寄せられ『→・←』のようになりフォロアサイドでは逆に転がり円径を中心にして『←・→』のようになる特性がある。

図4にそれを示す。

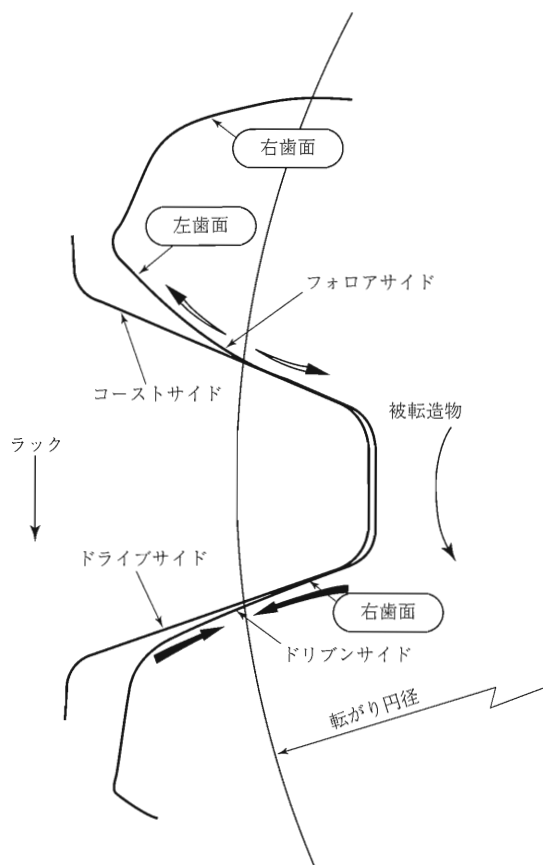


図4 被転造物とラックの拡大図

2.2 フォーミングラック

フォーミングラックの各部の名称を図5に立形精密転造盤用ラックの例で示す。通常、被転造物を中心に左方のラックが上から下へ右方のラックが下から上へ移動する。はじめに被転造物とかみあい始める歯を食付歯次いで調整歯、仕上歯、逃げ歯を経て転造を完了する。食付歯は被転造物と滑りなくかみあうよう表面をショットブラストにより凹凸を付けてある。調整歯は食付歯の延長であるが凹凸はない。仕上歯は被転造物の最終寸法を決める歯で食付歯、調整歯のように勾配はない。逃げ歯は仕上歯で転造が完了した後、ラックと被転造物がスムーズに分離するために設けられる歯である。

図6にフォーミングラックの片面と被転造物の

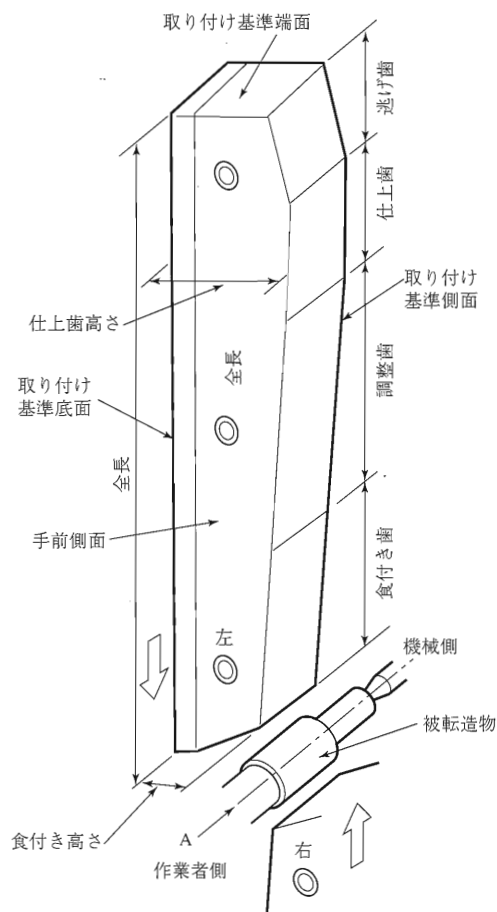


図5 フォーミングラック各部の名称

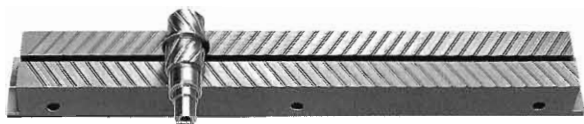


図6 被転造物とラックの外観

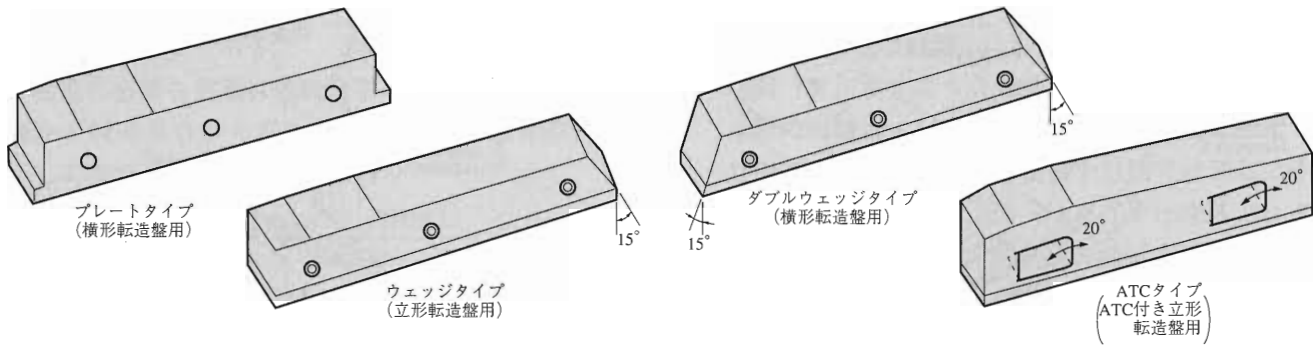


図7 フォーミングラックの種類

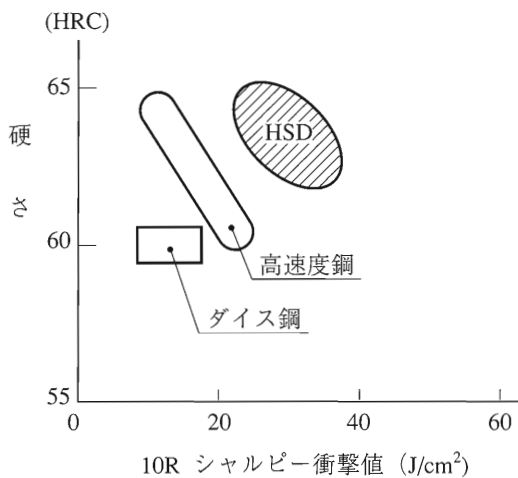


図8 フォーミングラック材の特性

表1 フォーミングラック材の比較

鋼種	標準使用硬さ	靱性	耐摩耗性	耐圧強度
HSD	62~65HRC	A	A	A
高速度鋼	60~64HRC	B	A	B
ダイス鋼	57~62HRC	C	B	C

特性比較 (Aが優れる)

外観を示す。

ラック形状は取り付けられる転造盤により代表的なものとして4種類あり図7にその概略を示す。

- ① プレートタイプは主に横形転造盤に使用する
- ② ウェッジタイプは立形転造盤に使用しラック交換時間の短縮化のためワンタッチクランプ方式である。
- ③ ダブルウェッジタイプは横形転造盤に使用しワンタッチクランプ方式である。
- ④ ATCタイプはラック自動交換装置付き転造盤に使用する。

ラックは従来、高速度鋼またはダイス鋼の塑性加工工具用材料を使用していたが、当社が開発した靱性、耐摩耗性、耐圧強度に優れた新鋼種 HSD を使

用することによりラック寿命は 1.5~3 倍と大幅な向上が図れた。図8と表1にその特性を示す。

2.3 精密転造盤

精密転造盤はラックの取り付け方向により横形と立形に大別される。図9に横形と立形の機構を示す。

横、立いづれも基本構成は被転造物を支えるヘッドストックとテールストックがあり、ラックを取りつける摺動台と呼ばれる一対のスライドが被転造物を挟んで反対側に動くようになっている。

摺動台を駆動させる手段としてモーターや油圧シリンダーがある。

横形、立形精密転造盤の外観を図10、図11に示す。

横形、立形の特徴について述べる。

横形は図10のように機械間口が大きくなる欠点があるが、転造位置が低いためラックの交換および段取り替えが床面よりできるメリットがある。長ラック(48インチ以上)の場合、立形にすると機械高さが高くなることとラックが重くラック交換がやりにくくなるため横形で使われることが多い。

これに対して立形は図11のように機械間口が小さくなるためライン長さを短くできるメリットがある。

また、転造中心に対して機械を左右対称にでき熱対称設計が可能のため熱変位の影響は最小化が図れることと転造負荷バランスを均一にできるため加工精度維持に有効である。

当社は横、立形のいずれも標準シリーズとして具備しており、対象加工物、要求加工精度、サイクルタイム、要求自動化レベル、機械設置の制約などご需要家の要求と前項のラックの技術を併せ最適なものの提案が可能である。

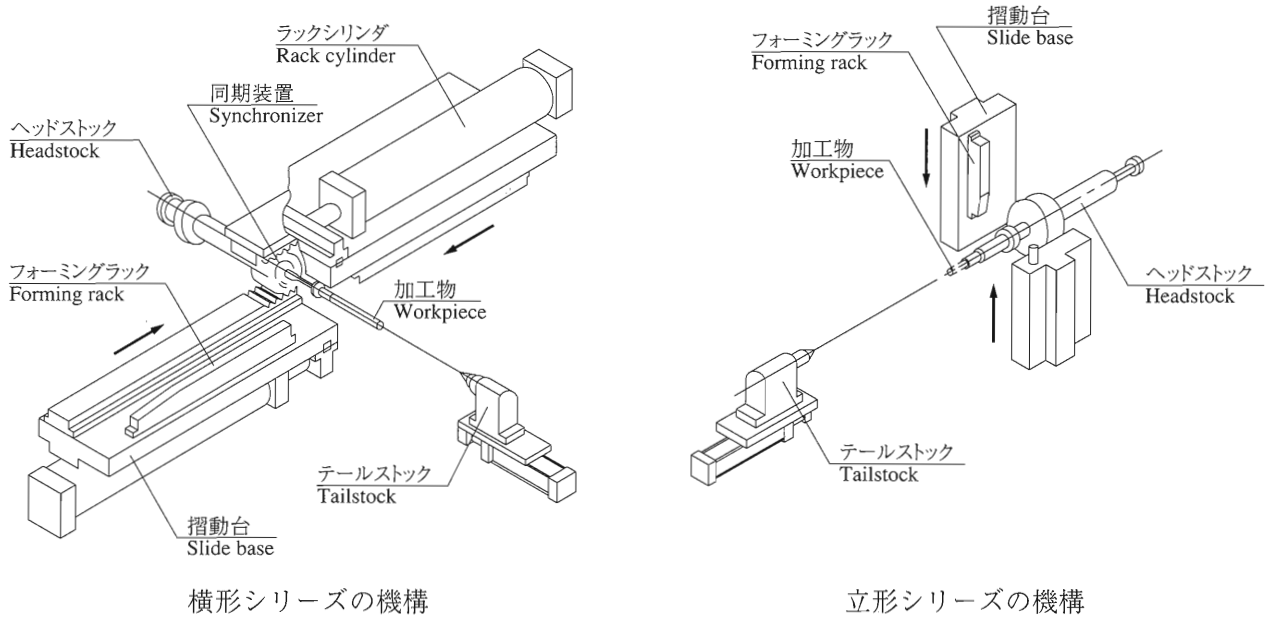


図9 精密転造盤の機構

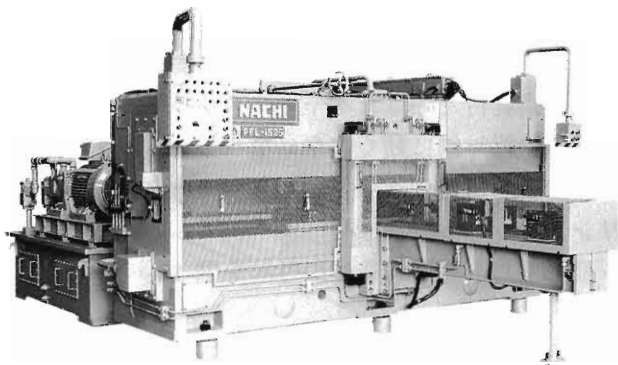


図10 横形精密転造盤の外観

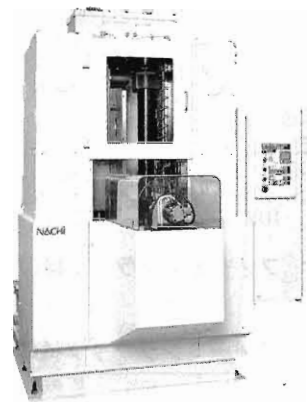


図11 立形精密転造盤の外観

2.4 転造加工の特徴

フォーミングラックによる転造加工は創成転造法であり、かみあい率（接触率）が大きく転造中の被転造物の安定が良いため加工精度・面粗さは極めて良好である。また、転造された部分は歯面に沿った組織になっているため、切削された同形状のものより高い歯強度が得られる。

環境配慮の面ではラックの往復で加工完了するため加工時間はわずか数秒であり、他の加工法に比べはるかに高能率であり省エネにつながっている。また、塑性加工であるため切り屑が出ない利点があり省資源、産業廃棄物の縮減にも寄与している工法である。

2.5 転造諸元

転造加工の限界値は被転造物の諸元、要求加工精度、生産量、転造盤の種類などの諸条件により決まってくるが、塑性加工の特性、イニシャルおよびランニングコストの経済性からみた一般的目安を表2に示す。

被転造物の歯数が小さい場合、ラックとのかみあい率が小さく転造初期のかみあいがスムーズにいかないため強制的にかみあいさせる回転補助機能を付加することがある。被転造物の硬さが高い場合、ラックの寿命低下が想定されるため、耐摩耗性、耐圧

表2 転造諸元の目安

諸元項目	目安値
歯の大きさ	m0.2を越え m1.75以下 (DP 128/256~DP 16/32)
圧力角	PA25°以上
歯数	15枚以上
硬さ	150HB~230HB

強度に優れたラック材を使用しラックの寿命維持を図る検討も必要である。

転造に必要な荷重は被転造物の歯の大きさ、歯数、硬さ、転造長さから最大予想転造荷重(背分力)W₁として次の式から求められる。

$$W_1 = 0.35 \frac{m^2 \times NT \times HB \times L}{8200}$$

- ここで、m : モジュール
- NT : 被転造物の歯数
- HB : ブリネル硬さ
- L : 転造長さ

この式は、当社が長年にわたって蓄積してきたデータから導き出した実験式である。

3. 加工例

3.1 代表例

フォーミングラックにより加工される代表的な例として自動車部品があり、図 12 に被転造物の一般的名称と部品外観および概略部位を示す。

転造される形状は具体的にはインボリュートスプラインおよびインボリュートセレーションが多い。

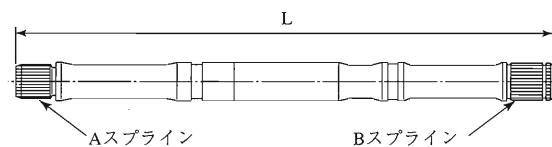
3.2 応用例

以下に転造加工の応用例を示す。

3.2.1 複合転造

① 2箇所への往復転造

図 13 に示すような全長が異なる多種類の被転造物の両端にインボリュートスプラインを転造した例について紹介する。全長を自動で計測し、そのデータによりヘッドストック、テールストックの位置を変え行きは左端、戻り時は右端と1サイクル中の往復動作で転造加工を行うシステムである。図 14 に機構の概略を示す。



被転造物全長 L : 8種類
(L : 350mm~480mm)

図 13 往復転造の被転造物概略

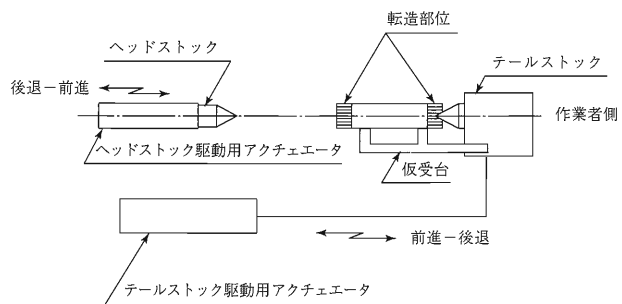


図 14 往復転造の機構

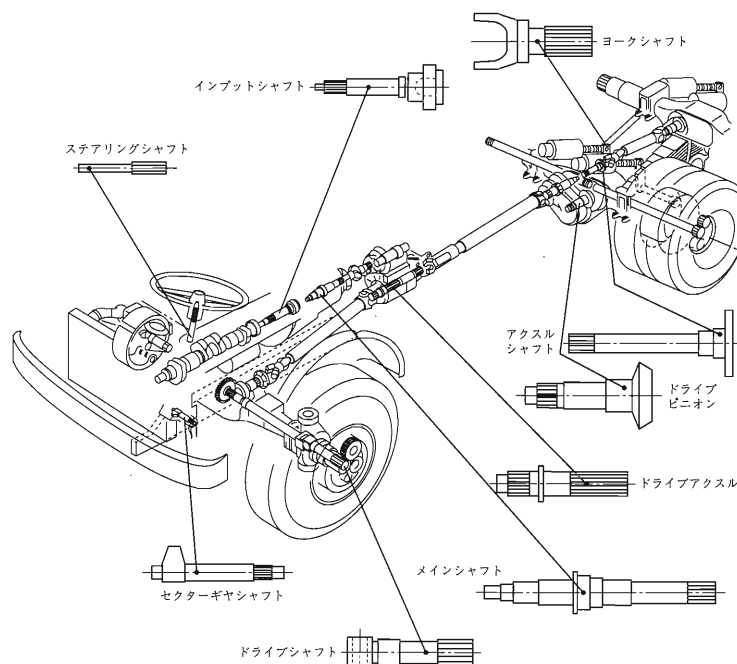


図 12 自動車部品の転造加工例

② 転造諸元の異なる被転造物のランダム加工

図 15 に示すような転造箇所がねじ部とスプライン部の 2 箇所あり、ねじ部の諸元は同一でスプライン諸元が異なる A, B の被転造物をランダム加工した事例について紹介する。被転造物を自動で判別し A の場合はスプラインとねじを 1 パスで転造し、B の場合ねじ部のみ先に転造し被転造物をシフトさせた後、B 専用のスプライン用ラックでスプライン転造を行うシステムである。図 16 に被転造物とそれぞれのラックの位置関係を示す。

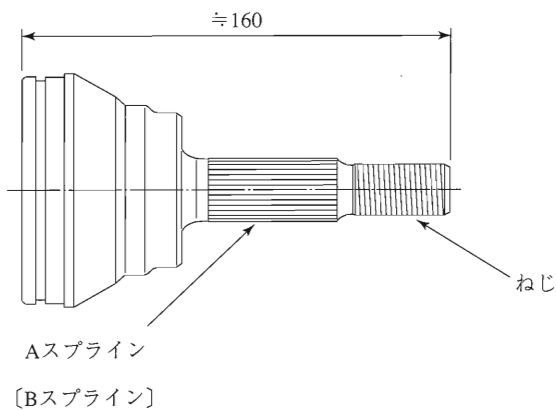


図 15 2 箇所転造の被転造物概略

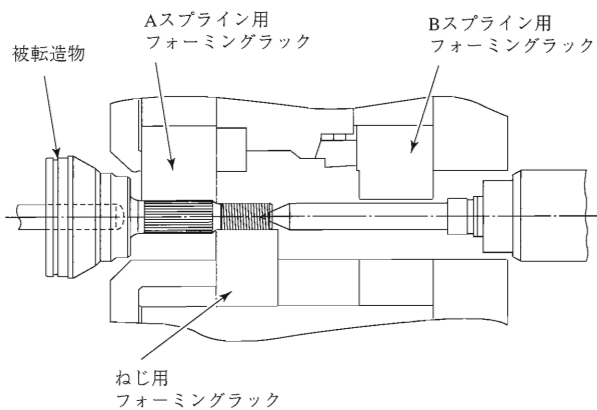
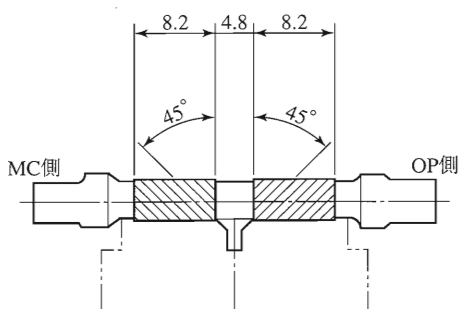


図 16 2 箇所転造のラックレイアウト



歯直角歯形寸法

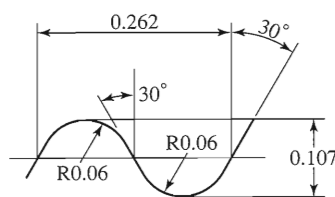


図 18 極小ピッチ被転造物概略

表 3 極小ピッチ諸元

歯の大きさ	$m_n 0.0834$
圧力角	$PA_n 30^\circ$
歯数	39
ねじれ角	45° (左, 右)
ピッチ円直径	4.6
大径	(4.7)
小径	(4.5)

③ インボリュートセレーションとサークリップ溝成形の同時転造

サークリップ溝のあるインボリュートセレーションについての事例について紹介する。転造素材に予め所定の溝を加工しておき、この溝に図 17 に示すような溝板を挿入、溝の成形を行うと同時にインボリュートセレーションを転造する。溝板の目的はセレーション転造時に溝内への金属流れ込み防止であり、この工法により溝部のバリ取り作業が不要となる。

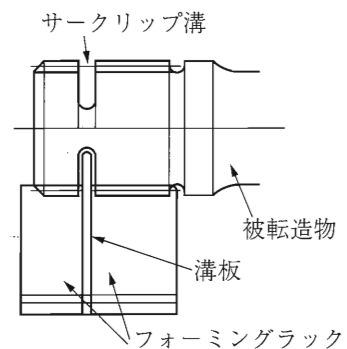
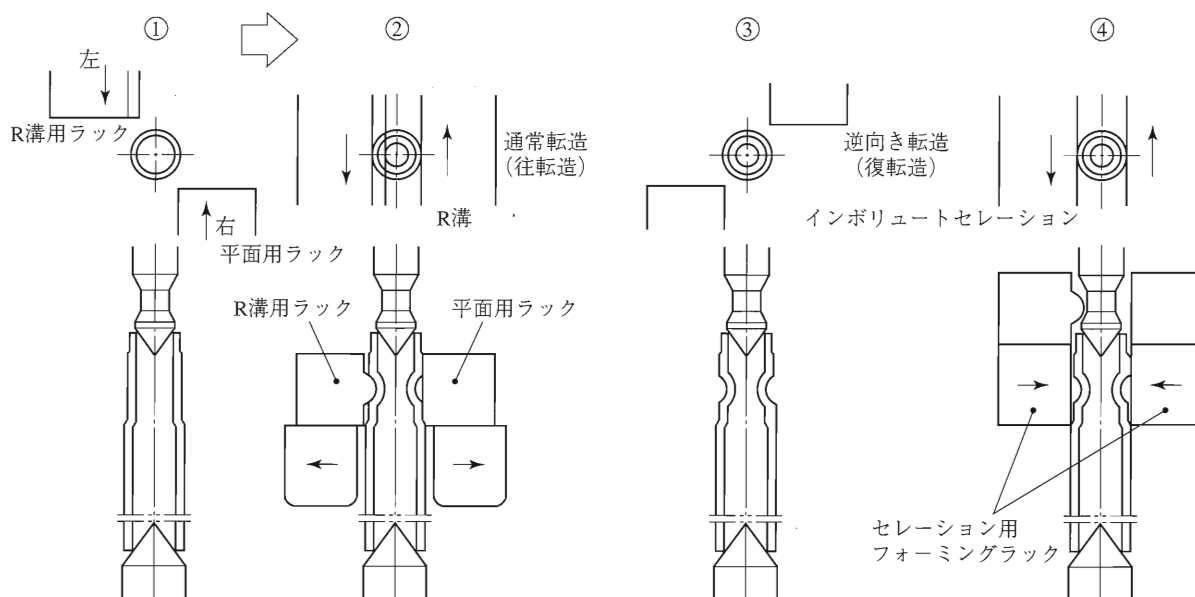


図 17 サークリップ溝とセレーションの同時転造例

3.2.2 極小ピッチ転造

転造の最小目安モジュールは 0.2 であるが、モータ用センサ軸にモジュール 0.0834 の極小ピッチ転造を行った例を紹介する。図 18 に被転造物概略を表 3 にその諸元を示す。

本例のような極小ピッチ転造は被転造物の転造前加工径の精度管理とラックのピッチ精度を高精度に仕上げる必要がある。



中空パイプ材の転造

図 19 中空パイプ材の転造

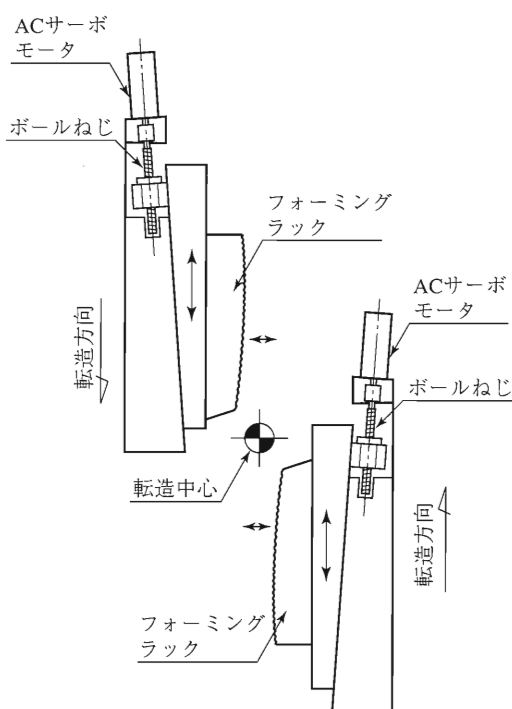


図 20 ラック自動退避機構

3.3 中空転造

中空パイプに R 溝とインボリュートセレーションを転造した例を紹介する。

ラックは左右対称の形状ではなく左側は R 溝形状を成形するため凸 R 形状とし右側はインボリュートセレーション転造前の素材を所定の寸法に整えるため平面形状とした。

R 溝および平面の成形を往工程で行い、次に被転

造物を軸方向に移動させ復工程でインボリュートセレーションを転造する。R 溝と平面を成形する際、インボリュートセレーション用ラックが転造筒所以外のところとの干渉を避けるためラック自動退避装置を付属している。図 19 に転造工程、図 20 にはラック自動退避装置の機構を示す。

4. 転造における課題と取り組み

4.1 市場動向

転造盤は切り屑を出さないため工作機械というより鍛圧機械に近いものであるが、金属工作機械、ものづくりのための機械という観点からみるとコンセプトは同じである。一般に工作機械に求められている課題は①高精度 ②高能率 ③柔軟性（フレキシビリティ）であるが最近、加えて環境対応が求められており、転造盤にも該当する。

以下に各課題に当社が対応した技術の概要について述べる。

4.2 各課題への取り組み

4.2.1 高精度への取り組み

転造加工において転造盤の剛性は加工精度とラック寿命に大きく影響をおよぼすため、CAE を基本設計仕様で満足されているかの検証と改善・改良の手段として活用した。図 21 は立形転造盤の転造時のひずみを表したシミュレーションであり、実機の

ひずみを測定した結果とほぼ合致している。さらなる高剛性化を図る目的でフレームのリップ配置、肉厚などの解析を行い、ひずみの一部分への集中を系全体に分散させた結果、ひずみのレベルが従来に比べ約25%小さくなり最適な構造を実現した。

転造に要求される加工精度のうちピッチ精度、歯溝の振れは特に重要なため、転造開始時に転造速度

を落としラックと被転造物の食い付きを確実にし被転造物の揺動とラックのすべりを防ぐ目的で転造中に転造速度を切り替える転造速度段階制御を採用した。これによりサイクルタイムを変えないでピッチ精度、歯溝の振れ精度の向上が図れた。図22に転造速度一定時と段階制御を採用した場合の累積ピッチ誤差、歯溝の振れの比較を示す。

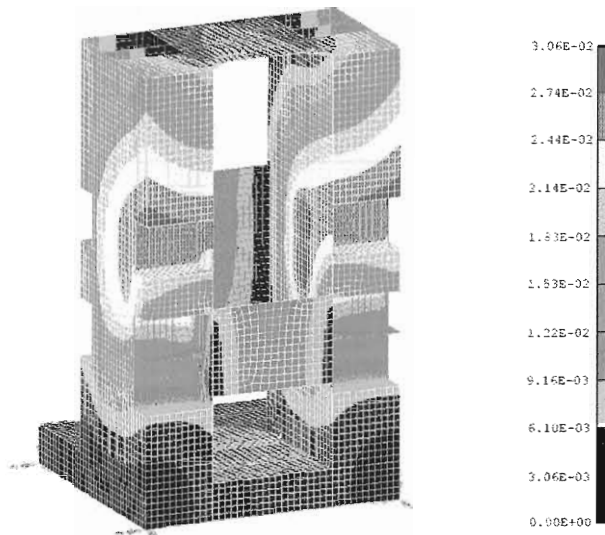


図21 転造時におけるフレームひずみのシミュレーション

4.2.2 高能率・柔軟性への取り組み

ラックによる転造加工は他の加工法に比べ加工時間は非常に短いため、加工以外のアイテムの高能率化を図る必要がある。通常、試転造後の調整、ラックの交換に費やす時間の割合が多く、これらの時間短縮とオペレータへの負担軽減に併せ柔軟性（フレキシビリティ）付加に取り組んだ事例について述べる。

試転造後の調整や予め左右ラックの取付け寸法がわかっている場合には自動開口幅調整装置を付属することができる。図23にその概要を示す。従来の転造パターンでは干渉が発生して加工ができなかったものをラック取り付け開口幅を自動調整することにより可能にした。またこれにより図24に示すように被転造物のモジュール、圧力角が同じで歯数の

	転造速度一定方式	転造速度段階制御方式
転造速度パターン		
累積ピッチ誤差(左) (μm)		
累積ピッチ誤差(右) (μm)		
歯溝の振れ (μm)		

図22 転造速度方式による加工精度比較

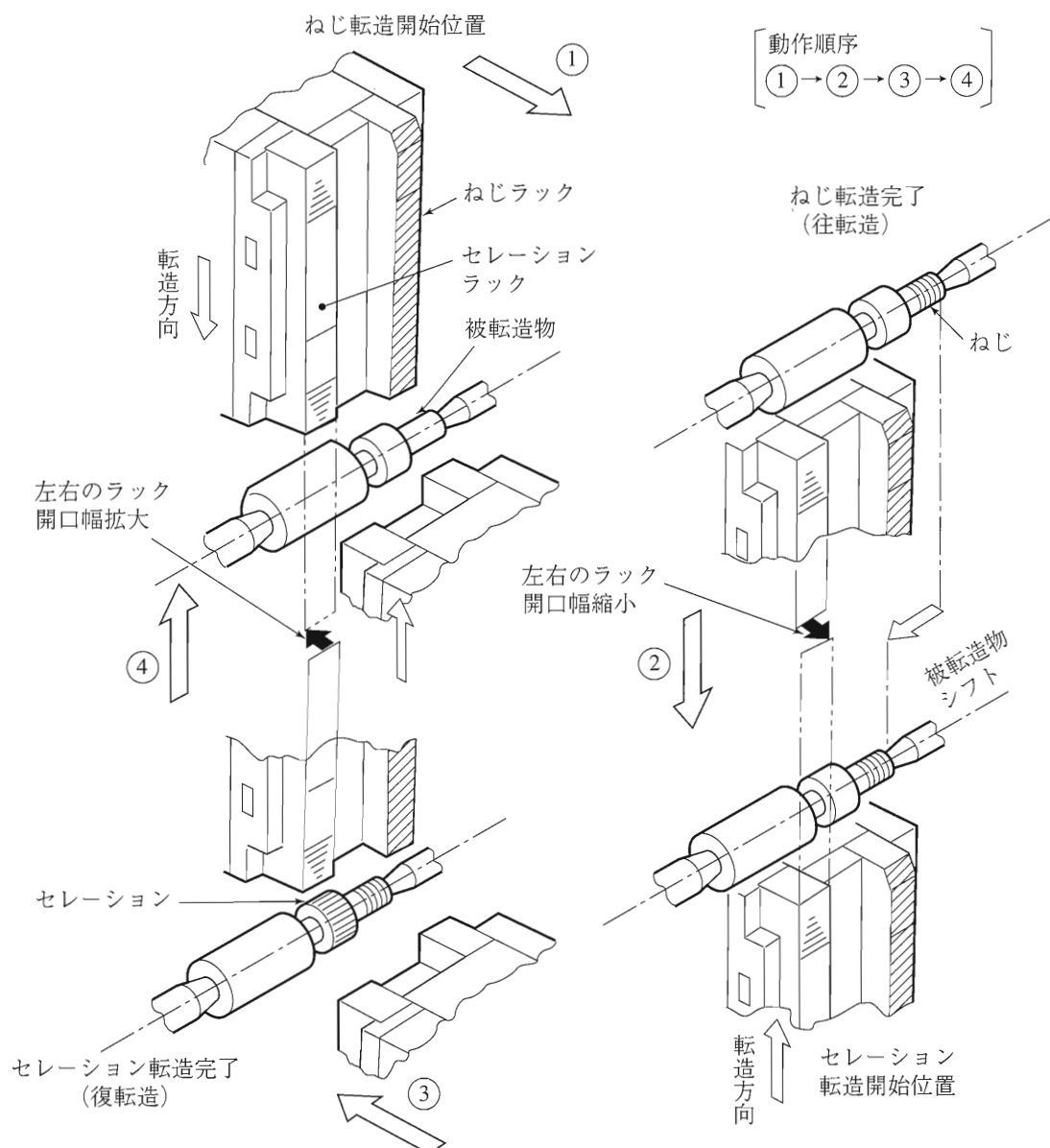


図 23 開口部自動調整装置付き転造盤による転造例

異なる場合、同一のラックを使用し開口幅を被転造物に対応した寸法に調整し転造ができる。

4.2.3 環境対応の取り組み

工作機械が直面する環境問題には①エネルギー消費の縮減、②クーラント使用後の廃棄・処理、③熱の放出、騒音・振動の発生などの問題があり、それらを解決するには経済性・効率性と環境配慮の両面を満足する必要がある。この課題を精密転造盤に対応した事例について述べる。

転造時に必要な転造荷重はトン単位であり転造速度は 10m/min 程度のため油圧を駆動源とする方式がシンプルかつ低価格であったが、近年のエレクトロニクスの進歩によりサーボモータ駆動方式は油圧

式と同等のコストで高機能を持たせることが可能になった。サーボモータ駆動方式機は当社製油圧式同形機との比較では 1 サイクル当りの消費電力は約 1/3 となり、同時に熱ロスが改善され特に問題になる熱発生はない。また騒音は油圧式との比較では 10% 減の結果が得られた。

インポリュートスプライン・セレーションの転造は創成法でありラックと被転造物の間ではころがり接触とすべり接触が発生するため潤滑剤として油性クーラントを使用している。クーラントには塩素、硫黄などの化合物からなる極圧添加剤が加えられていて、クーラントの廃棄処理時にダイオキシンの発生が考えられるため、最近では特に塩素フリークーラントを使用する傾向にある。また、油性クーラン

トを使用した場合は後工程での洗浄が必要であり、油性から水溶性クーラントに変え洗浄装置を廃止することによるエネルギー削減も二次の効果がある。

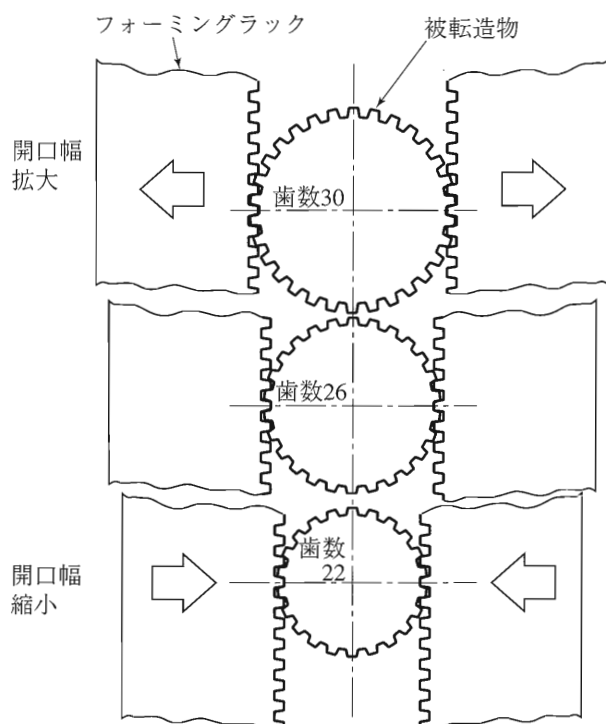


図24 歯数違いの被転造物の転造例

当社はこの動向に対して塩素フリーの水溶性クーラントを使用した転造加工を試みた。転造条件は油性クーラント時と同じとしてラック材質と形状を変え試験転造した結果、21,000個転造後の油性と水溶性の比較ではほぼ同等の結果が得られた。

図25に油性および塩素フリー水溶性クーラントを使用した転造加工初期と21,000個加工後のラックの状態を示す。実用化に向け更なる研究開発を行っていく所存である。

5. おわりに

以上、フォーミングラックによる精密転造加工の現状と市場動向に対する技術課題および対応について紹介した。

ものづくりにおいて高精度、高能率および低価格への要求は限りなく続くであろうし、地球および人にやさしい設備の要望も同様であると考えます。ここで紹介した技術をベースにしてそれらのニーズに応えるべくこれからも研究開発していく所存であり、本稿がご需要家の参考になれば幸いです。

表4に当社の精密転造盤標準シリーズの一覧表を示す。

	ラック初期状態	21,000ヶ加工後	コメント
油性 クーラント			チッピング歯数20
水溶性 クーラント (塩素 フリー)			チッピング歯数14

図25 転造加工前と加工後のラック状態

表 4 不二越標準精密転造盤シリーズ

形式	立形	NC式	PFM-250FS	PFM-400FS	PFM-610FS	PFM915FS	PFM-1120FS	PFM-1220FS	—
	横形	油圧式	—	—	—	PFL-915	—	PFL-1220	PFL-1525
主要仕様	取付ラックサイズ (インチ)		10	16	24	36	44	48	60
	転造できる最大加工径 (mm)		12	20	40	40	50	50	50
	転造できる最大モジュール		0.6	1.0	1.3	1.3	1.5	1.75	1.75

参考文献

- (1) コロナ社:精密工作便覧, P1144~1148
- (2) 田野崎康夫:ロートフローラック工具とその加工法, 不二越技報 Vol. 19 No4 P9~12
- (3) 炭谷 優:フォーミングラックと精密転造盤, ツールエンジニア 1994年2月号 P130~133
- (4) 永森真一, 北村義宏:NC 精密転造盤, 不二越技報 Vol. 55 No1 P38~42



山口 健市

1985年 入社
 工作機部門の技術部にて標準工作機械の開発・設計に従事, 現在に至る。



永森 真一

1970年 入社
 工作機部門の技術部にて標準工作機械の開発・設計に従事。
 2000年より工作機 M&E チーム, 現在に至る。



炭谷 優

1962年 入社
 工具部門の技術部にて歯切工具, 転造工具の開発・設計に従事, 現在に至る。



長谷川 司良

1986年 入社
 工作機部門の技術部にて専用工作機械の開発・設計に従事。
 1999年より標準工作機械の開発・設計に従事, 現在に至る。



江藤 寿晃

1981年 入社
 工具生産技術にて CAD/CAM 開発に従事。
 1986年 技術開発部にて加工技術, 生産技術開発に従事。
 2000年より工具生産技術にて工法開発に従事, 現在に至る。