

# CNC 転造機 GALAXY の開発と 新しい転造加工製品の発掘

(株)ニッセ 新仏 利仲

## 1. はじめに

弊社は転造盤を製造し 40 年になる。国内ユーザーにも一巡し需要の低迷が見えてきた 1990 年代初頭、バブルがはじけ、一気に転造盤の需要に影が射してきた。また産業界では塑性加工による部品加工の流れが本格化し、転造盤への高度な転造要求が舞い込むようになってきた。

そこで、産業界のこのような期待に応じて、1994 年より NC 転造機の可能性を東京農工大学の桑原研究室と 4 年間にわたり共同研究し、NC 化によって従来の転造盤を機能的にかなりアップさせることができた。続けて、NC メーカーの相手として山洋電機株式会社と協同で制御を完成させ、1999 年春過ぎより販売を開始した。

本稿では開発された 7 軸 CNC 転造機 GALAXY を例にとり、その構造と新しい加工法による製品の紹介をする。

## 2. CNC 転造機 GALAXY の概要

### 2.1 機械構造の紹介

図 1 と図 2 は CNC 転造機 GALAXY の外観図と模式図を示す。ダイスの動きを正確に NC 制御するために本体を、4 本柱プレス構造体を横型にし、ラムの部分に 2 つのダイスの支持を取付けた。この構造体は転造機ベッド上を自由に横移動でき、2 つのダイスは、ラック&ピニオンを通してワークの両側から同時に寄せることができる。このため転造時には、ワークの外径の変動や左右のダイスに加わる荷重の変動を、左右主軸台がダイス芯間距離を変えずにベッド上を横方向に自由移動して吸収するため、高精度でワークに余分にとるひずみが少ない加工ができる。しかも製品の表面仕上がりが非常に良くなる。これに対し従来の転造盤は、ベッドを固定端とする片持ちばりにダイスが固定されているため、機械剛性が低く荷重の変動に対して切込み量が不安定であり、高い製品精度を達成できなかった。

### 2.2 機械的制御法の紹介

加工工具軸の制御軸数は、左右ダイス主軸回転 (2 軸)、主軸を含む鉛直面で加工点を中心として傾く主軸の傾斜 (2 軸)、左右主軸間距離 (1 軸)、及びワークの回転・搬送用 (2 軸) の 7 軸である (図 2)。これらの軸は、一つの時間軸上で独立して制御されるので、複雑なねじ形状ばかりでなくこれまでに無い形状に転造加工できる。可動部を指令値と直接検出した測定値でフィードバック制御するフルクローズドループ制御を、主軸台移動軸と主軸回転軸に採用している。その結果、高精度の位置決め制御が実現している。

(1)主軸台移動軸 左右の主軸台は、油圧サーボバルブで

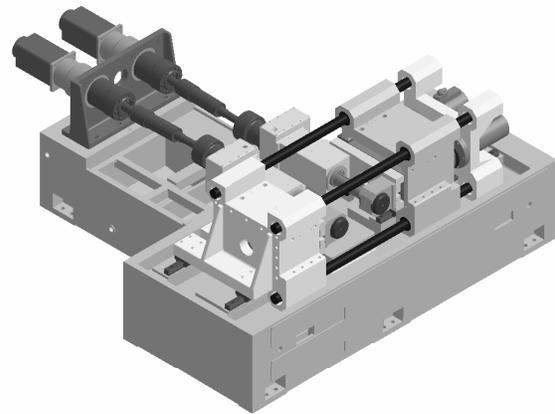


図 1 CNC 転造機 GALAXY 外観図

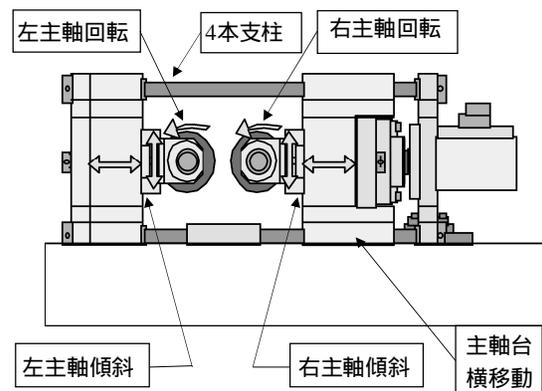


図 2 加工主要部の模式図と制御軸数

位置制御する油圧シリンダーによってダイス芯間距離を指令値に合わせるように移動する。主軸間距離は、左右主軸台間に取付けられた高分解能のリニアスケールで測定する。このようにして制御することにより、左右主軸台間の位置決め精度は無負荷時で  $1\mu\text{m}$  の精度を実現している。また、転造時の荷重変動にも敏速に対応でき、転造負荷が  $160\text{kN}$  時でも主軸移動台の距離変動が  $3\sim 5\mu\text{m}$  の制御が可能となっている。

(2)主軸回転軸 主軸回転は左右それぞれ独立した軸として制御することができる。主軸回転数の測定は、主軸上の後部に設けた回転高分解能第 2 エンコーダーにより測定している。左右主軸の回転同期ずれを最小にするようにリアルタイムで左右主軸の回転を制御する。

(3)主軸傾斜軸 主軸を傾斜させると、転造時にねじダイス

のリード角を変える効果がある。すなわちリードのないねじ溝を与えたダイスを主軸に装着して転造すると、ワークにはその傾斜角をリード角とするねじ溝が創製される。そこで本転造機には、主軸傾斜軸を左右それぞれ独立した軸として制御できるようにした。この主軸傾斜軸の制御はこの分野で世界初のことである。傾斜角度はACサーボモーターにより 0.001° 単位で指令値を出力でき、主軸傾斜角度の調整は、HMI からの数値入力で行うことができるので、調整が短時間ででき、また再現性もある。主軸傾斜は後述する通し転造に使用される。

### 2.3 制御部の構成

制御は SERCOS 規格の光通信手段を採用することで、各軸のアンプ間を通信速度 2ms 毎による光通信で接続している。一方、駆動する AC サーボモーターとアンプの間はアナログ通信で接続し、この間は 250μs 毎の通信速度で制御している。また多軸同期制御をするために、プロトコル設定が容易な特殊制御ソフトを採用している、そのため、通常使われているモーションコントロールボードの制約に煩わされることなく、多軸同期制御を実現している。

コンピュータ(PC)は、機械使用者が操作するための入力が容易な HMI パネル PC と、そこで作ったデータを機械言語に変換するターゲット PC の 2 段構成である。

### 3. CNC 転造機で実現した加工精度

開発された CNC 転造機 GALAXY を使用してボールねじを転造した場合を例にとり、機械と製品の精度について紹介する。

#### 3.1 加工方法の紹介

ボールねじを転造する際は、一般的に通し転造で加工する。主軸の傾きによりワークが加工中に軸方向に移動する現象を「歩み」というが、通し転造とはこの歩みを利用した加工方法である。長物のねじやウォームに適している。基本的に歩みを生じさせるには、主軸を傾斜させる。加工は図 3 のように、主軸傾斜角度を互いに反対方向に一定に傾けて固定し、転造する。

#### 3.2 通し転造の精度向上方法

(1)左右主軸角度同期ずれ ボールねじの転造では、主軸に取付けた一方のダイスがワーク上の加工する筋目に、相対するダイスが正確にその筋目を辿るように 2 つのダイスを同期させて回転することが必要である。図 4 は転造時の左右主軸の同期ずれ角度を示している。転造条件は、外径 26mm のボールねじを転造しているときの測定値で、70kN の負荷、400N・m の回転トルクが付与されている。図のように同期ずれ角度は 0.01° 以内であり、左右主軸は非常に良く同期している。

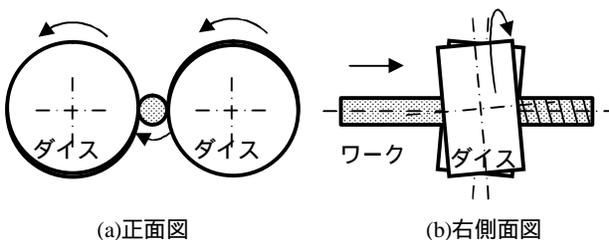


図 3 通し転造図

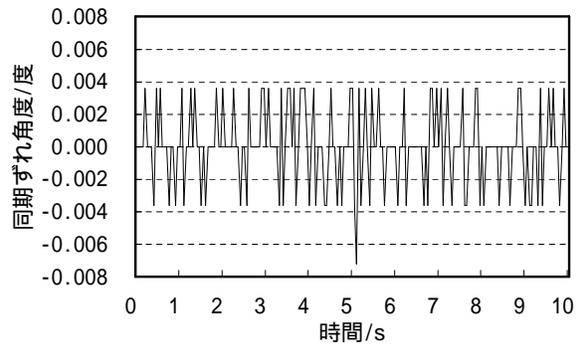


図 4 70 k N 負荷時の左右主軸の回転同期ずれ

(2)主軸傾斜角度の変動 主軸傾斜角度の設定はボールねじのリードの精度に大きく影響する。転造中の主軸傾斜角度の変動は、約 100kN の加工負荷において 0.002° 程度の振れで安定しており、加工精度に全く影響を与えないと言ってよい。

#### 3.3 加工精度

ボールねじのナットの軸方向移動量曲線の最大幅を「変動」というが、その変動量について、転造加工したボールねじの測定結果を図 5 に示す。図 5 では、1500mm 有効ねじの間の変動  $V_u$  は 8μm 以内である。これは C3 級の許容値  $V_u = 18μm$  を満たす。

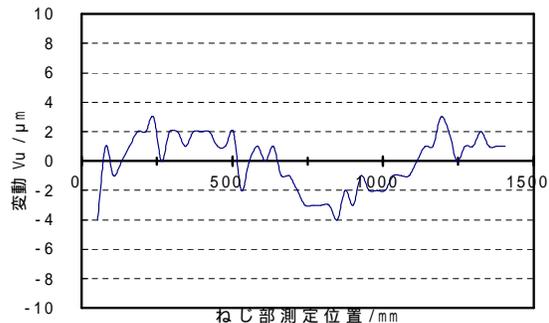


図 5 1500mm 有効ねじの間の変動  $V_u$

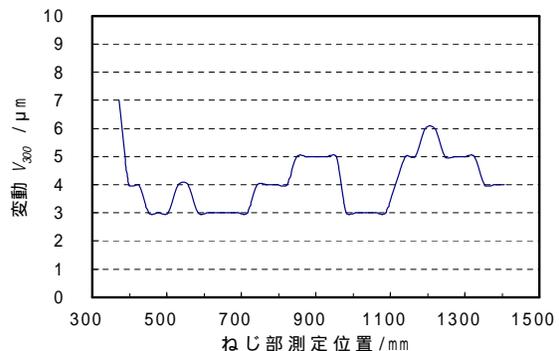


図 6 300mm 刻みの変動  $V_{300}$

図 6 は、図 5 の 1500mm 有効ねじの間に任意に取った 300mm の間の変動  $V_{300}$  を示す。図 6 では、変動  $V_{300}$  は 7μm 以下で、これは 8μm 以内という C3 級ねじの許容値に収まっている。

表1 CNC 転造機で転造した転造ボールねじの熱処理前後のBCD (長さ 982mm, 外径 16.0mm, 材質 SUJ2)

ワーク No	転造前曲り /mm	転造後曲り /mm	焼入れ後曲り /mm
1	0.05	0.08	0.08
2	0.04	0.05	0.06
3	0.05	0.13	0.03
4	0.03	0.19	0.11
5	0.02	0.12	0.07
6	0.03	0.03	0.07
7	0.06	0.09	0.03
8	0.02	0.12	0.11
9	0.03	0.15	0.03
10	0.04	0.17	0.12

表2 CNC 転造機で転造した転造ボールねじの熱処理前後のBCD (長さ 982mm, 外径 16.0mm, 材質 SUJ2)

測定点	熱処理前 BCD/mm	熱処理後 BCD/mm	直径差/mm
1	16.504	16.501	-0.003
2	16.504	16.505	0.001
3	16.504	16.497	-0.007
4	16.501	16.500	-0.001
5	16.504	16.501	-0.003
6	16.502	16.502	0.000
7	16.504	16.497	-0.007
8	16.502	16.502	0.000
9	16.502	16.498	-0.004
10	16.502	16.500	-0.002
11	16.502	16.498	-0.004
12	16.501	16.498	-0.003
13	16.507	16.498	-0.009
14	16.504	16.494	-0.010
15	16.503	16.497	-0.006
16	16.501	16.499	-0.002
17	16.502	16.500	-0.002
18	16.500	16.497	-0.003

以上の値は、開発された CNC 転造機 GALAXY で転造加工した直後の値であり、熱処理及びその後の加工をしていない。

### 3.4 熱処理による影響

実際にボールねじを転造する場合、従来の転造盤では熱処理後どのように変形するかも使用上の大きな関心事である。以下に CNC 転造機 GALAXY での測定結果とを示す。

(1)曲がり 長さ 1200mm の素材の両端より 50mm の位置を支持して中心の振れを 10 本について測定した (表 1)。これは、焼入れ後でも曲がり変わらずに改善しているだけなので、転造加工中による残留応力が少ないことを示す。

(2)BCD (Ball Center Diameter) BCD は、ボールねじの溝に同一直径のボールを軸に対称に 3 つ入れ、そのボールの中心間距離を測定し、ボールねじの寸法精度を見る方法である。表 2 はボールねじの転造後熱処理にバフ研磨したと

きの BCD の変化である。従来の転造盤では 20~30 μm 大きくなるが、CNC 転造機 GALAXY で加工した製品では数 μm 細くなっておりバフ研磨の影響のようである。

### 3.5 転造加工中の変形とその原因

加工されたボールねじは従来の転造では手で持てないほど熱の発生が大きいのにに対し、開発された CNC 転造機 GALAXY では、手で楽に持てる程度の昇熱(15~20 程度の上昇)に抑えられる。

この原因は次のように考えられる。左右主軸の回転同期が合わない場合、工具に刻まれているスパイラル状の山が回転しているワークの互いにずれた場所に溝形状を何度も成形し、大きな発熱を生じさせる一因となり、ワークの表面を粗し、成形形状の品質を落とす。しかし、CNC 転造機 GALAXY で加工した場合は、図 4 のように高い精度の回転同期で加工できるため、熱の発生が抑えられ、高い加工精度が得られる。したがって、加工後の素材に残る残留応力も大幅に少なく、表 1 と表 2 の良好な結果が得られると推定される。

### 4. CNC 転造機 GALAXY による新しい転造加工法

転造機の多軸制御により、工具のワークに対する寄せばかりでなく、工具の角度、ダイス回転方向を任意に制御できるので、以下のようなさまざまな加工法が可能になった。加工製品と合せて紹介する。

#### 4.1 シャトル転造

シャトル転造とは、図 7 のように左右主軸回転の同期を保ちつつ、正転・逆転を繰り返して転造を行う加工方法である。その特徴を以下に示す。

(1) 山が高いワークでは、ダイスをワークに押込む過程におけるワークのリード角の変化により、大きな歩みが発生する。そのため、図 8 のワーク両端のフランジのように、加工部よりも径が大きい部分がある場合、その部分が歩みによってダイスと衝突する。しかし、シャトル転造は正転・逆転を繰り返すことで歩み量を一定の範囲に抑え、ダイスとワークの衝突を避けることができる。

(2) ワークの山幅が薄い場合、転造加工すると左右の山の角度が不均一になりやすい。しかし、シャトル転造は正転・逆転を繰り返すことで、左右の山の角度を均一化する効果があり、面粗度も向上する。

(3) 複数回に渡って切込みを行うため、小さい荷重及びトルクで転造が可能である。そのため変形しやすい中空のワークを転造するのに適している。

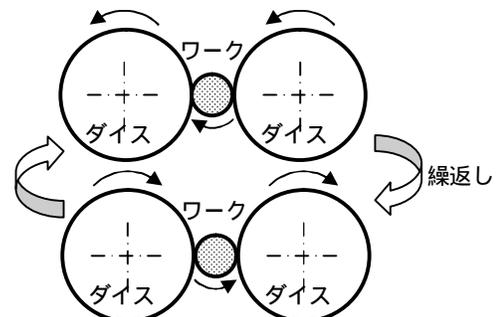


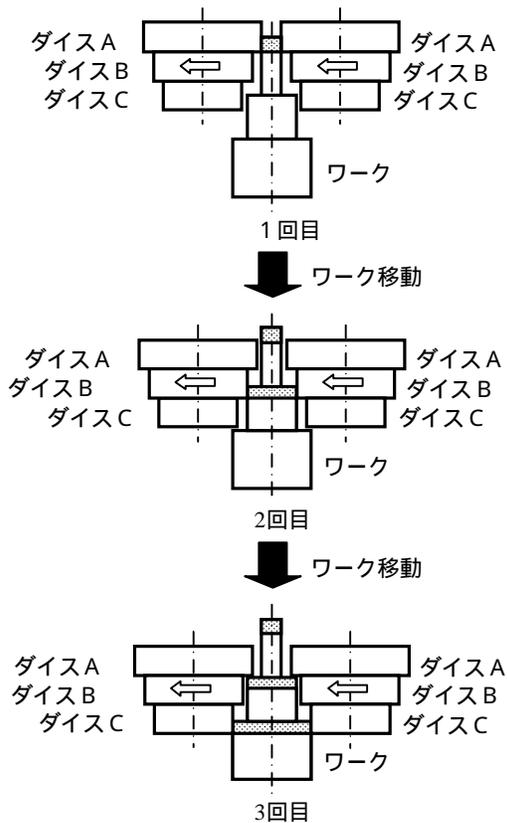
図7 シャトル転造概念図



(材質 S45C, 外径 18.0)  
**図 8** ウォーム転造例

#### 4.2 複数転造

複数転造とは、ワークの複数箇所に転造する加工方法である。図9のようにサーボライドセンター台でワークを軸方向の任意の位置に搬送し、例えば3組の異なるダイスを取付けることで3種類の表面形状を1つのワークに転造加工することができる(図10)。その特徴を以下に示す。



**図 9** 複数転造図

材質 : S45C  
 ねじ M16×P1.5  
 セレーション  
 26.85 : Z35 : M0.7575



**図 10** 複数転造の例

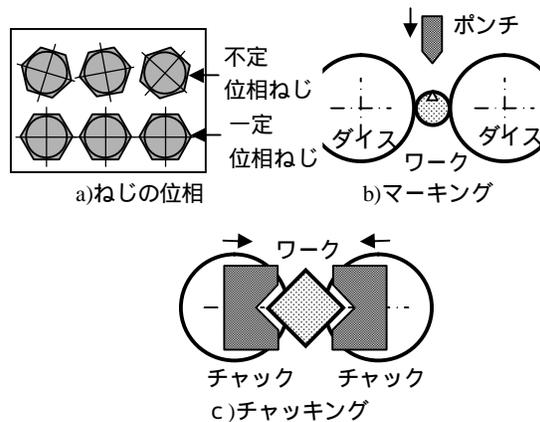
スプライン  
 34.8 : Z34 : M1.0

- (1) 従来はひとつのワークに複数箇所の転造をする場合は、複数台の転造盤と自動供給機で転造していた。しかし、複数転造では、1台で転造することができる。
- (2) 主軸傾斜角制御により、転造するワークのピッチが同じであれば、一組のダイスだけで異なる外径の複数箇所の転造が可能である。

#### 4.3 ポジショニング転造

ポジショニング転造とは、ワークの転造開始角度及び終了角度を指定する加工方法で、ねじ溝の開始ないし終了位置を指定できる。加工法は、主軸を回転させずに指定した回転角度でワークに寄せ、ダイスがワークに接触してから主軸を回転させる。又は転造終了後、ワークを保持した状態から指定した回転角度まで主軸を回転させ、ワークの向きを任意の方向に位置決めする。その特徴を以下に示す。

- (1) 従来の転造盤では不可能だったワークの転造開始位置決めができるため、任意の位相を持つねじ部品の転造ができる。それにより一定位相のねじが加工でき、めねじの位相が決めてあれば、図11(a)のようにねじを締めた時、ねじ部品を一定の方向にそろえることができる。
- (2) 転造終了後にワークを軽く保持した状態で、ワークの回転角度位置決めができるので、ワークの任意の回転角度にポンチでマーキングする工程(図11(b))、ワークのねじ加工部以外の部位をチャックする工程(図11(c))などの様々な転造加工後の後処理工程に対応できる。



**図 11** ポジショニング転造の例

#### 4.4 ワークとダイスの同期回転による押込み転造

押込み転造とは丸ダイスの基本的な転造方法のひとつで、回転するダイス芯間距離を一定に保ち、手前側からワークを軸方向へ押込みながら加工する転造方法である(図12)。回転するダイスをワークに寄せる転造法では、ワークとダイスの間の距離が狭まるにしたがって、ワークに対するダイスのピッチ円が変化する。このためモジュールが大きくなるにしたがってピッチずれが生じ、加工の難易度が増していく。押込み転造ではそれが無いため、モジュールの大きいスプライン、セレーションの加工に適している。従来機の押込み転造では、加工中のワークは左右ダイスの同期性の低さとワークとダイスの間のバックラッシュにより、常に一方への回転ではなく、正逆回転を繰り返す

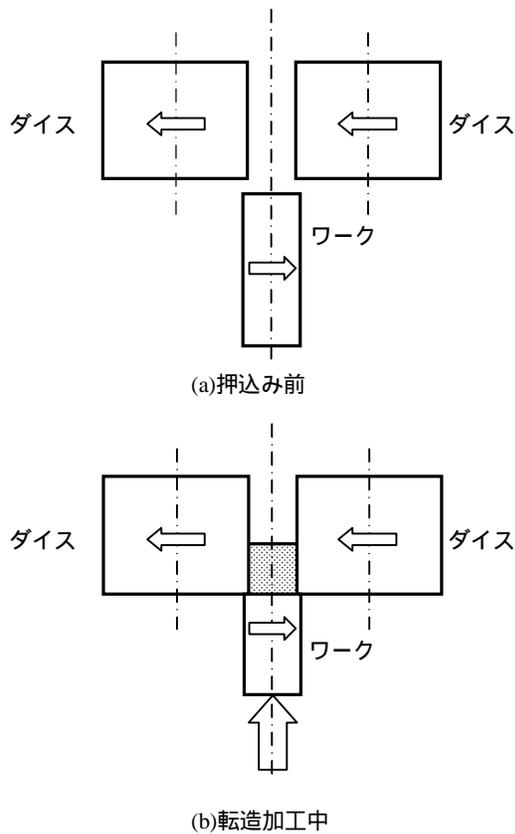


図 12 ワークとダイスの同期回転による押し込み転造図

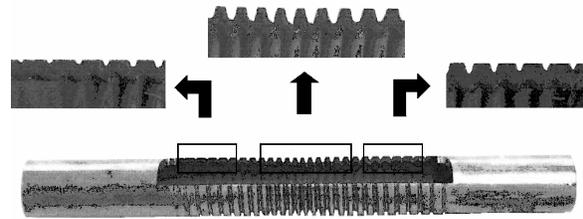
から転造される．そのため加工中のワークとダイスの衝突による騒音は大きい．しかし，ワークとダイスの同期回転による転造では，バックラッシュによる逆回転が抑えられ，騒音は低減する．その特徴を以下に示す．

- (1) 回転が安定するため，ワークに加わる負荷変動が低減し，変形しやすい中空材のスプライン，セレーション加工が精度よくできる．
- (2) 主軸トルクが低減するため，ダイスにかかる負荷が小さくなり，工具寿命が従来に比べ伸びる．
- (3) 多軸制御により，ワークの押し込み速度など各軸を自由に設定できるため，最適な加工条件を作成して加工することができる．

#### 4.5 可変ピッチ・可変切込み転造

可変ピッチ・可変切込み転造とは，各制御軸を一つの時間軸上で独立に制御し，複雑な形状を転造する加工法である．その一例として図 13 に示すように，転造加工中にピッチと切込み量を変化させて加工を行うことができる．

加工中にピッチを変化させるのは，CNC プログラムにより転造加工中に主軸傾斜角を変化させることで行い，切込み量を変化させるのは主軸台の移動（切込み量）を変化させることで行う．



材質STKM11，外径16mm，片肉厚2.0mm  
ピッチ 5mm～3mm，切込み深さ 2mm～0.25mm

図 13 可変ピッチ・可変切込み転造の例

図 13 は肉厚 2.0mm，外径 16mm のパイプに可変ピッチ，可変切込みの溝を加工した例である．この時の転造方法は，左主軸に角度  $60^\circ$  の三角山一つのダイスをセットし，また右主軸には凹凸の無いプレーンダイスをセットして通し転造とシャトル転造によって可変ピッチ・可変切込み転造を実現した．塑性加工のため，パイプの肉厚は減肉されることなく溝が加工されており，切削加工で同様な加工を行う場合には，加工後の肉厚を確保するためにワークの外径を太いものにしなければならない．

#### 5. おわりに

従来の転造盤を一新する CNC 転造機 GALAXY では，従来の転造加工では得られなかった精度で，しかも複雑な形状の転造製品が加工できる．例えばボールねじの加工では，開発された CNC 転造機 GALAXY を用いれば C3 級以上のボールねじが加工でき，生産性（コスト，生産量）は数倍～数十倍上げることができる．しかも，転造品の発熱が少なく，熱処理後の変形も小さい．その他，従来では転造加工できなかった薄肉のウォームギア，可変ピッチ，可変切込みねじを加工することができ，また 1 回の段取りでスプライン，セレーション，ねじの 3 箇所を加工することができる．

また，各軸を CNC 化することにより，従来では段取りに数時間かかってしまったのに対し，数値を打ち込むだけで良く，段取り時間の短縮につながり，生産性を向上できる．

このように，7 軸 CNC 転造機 GALAXY を開発したことで，高精度で安定性のある製品を加工することができ，また新しい加工法により新しい形状の製品を得ることができ，従来の転造の概念を新たにした．本稿が読者の何らかの指針になれば幸いである．