



# NC装置 Nucleus80



Computerized Numerical Controller  
Nucleus80 Series



キーワード

NC装置, Nucleus (ニュークレアス), 研削加工,  
ゲージマチック研削, 砥石寿命管理, トラバース制御,  
対話マクロ, AC (電力一定) 制御



電子技術部  
加藤賢一

電子技術部  
寺島 明

電子技術部  
朝野浩伸

工作機製造部技術部  
藤縄彰徳

## 1. はじめに

近年のNC工作機械の高性能・高機能化や低価格化に伴い制御の重要性が増しているが、大部分の機械メーカーは制御の心臓部であるNC装置を市販の汎用品に頼っている。このため、機械の特長や独自性を十分に発揮できない状況になっており、NC装置の内製化やオープン化が注目されるようになってきた。

当社は1986年からNC装置Nucleus (ニュークレアス) シリーズを開発・内製し、研削加工用、歯車加工用をはじめ各種機械に採用され、独自の制御技術を盛り込み、高い評価を得ている。

Nucleus80は当社の培ってきた制御技術・加工技術を集結しいろいろな機械特有の制御に対応できるよう開発された高性能・高機能NC装置である。以下に、その概要と、特に研削加工について、その特有の制御および実際の適用例について紹介する。

## 2. Nucleus80の概要

外観および主な仕様をそれぞれ図1、表1に示す。コントロールユニットはメイン制御部、PLC部、サーボ制御部で構成される。32ビットマルチCPUおよびDSPを搭載した高速処理とフルディジタルサーボにより高速・高精度加工

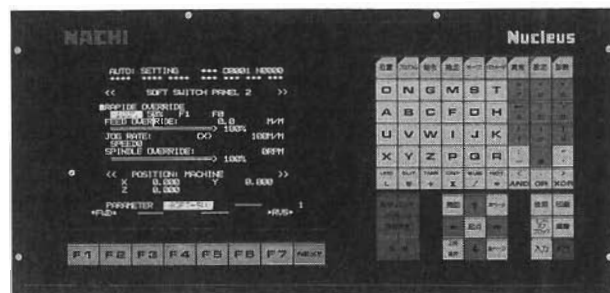
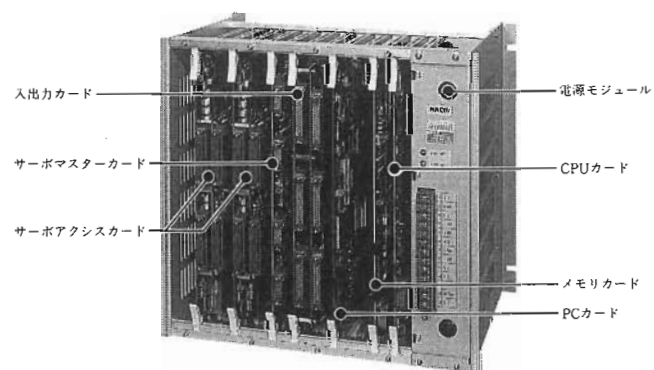


図1. Nucleus80

表1 Nucleus 80の主な仕様

名称	機能
制御軸数	最大 8 軸
設定単位	0.001 mm (1/1) 0.0001 mm (1/10) 0.00001 mm (1/100)
早送り	240 m/min 24 m/min 2.4 m/min
補間・同期機能	直線, 円弧, ヘリカル, スプライン, インポリユート, 3次元補間, 同期送り, ねじ切り, 同期タップ
自動加減速	早送り/ジョグ送り: 直線 切削送り : COS型
補助機能	M, S, T
工具補正	工具長補正, 工具位置オフセット, 工具径補正, 砥石/刃先R補正
機械補正	バックラッシュ, ピッチ誤差
測定機能	(多段)スキップ, 外部位置決め, 工具長測定, 同期測定
プログラム機能 ・その他	演算・対話マクロ機能, 割込プログラム, 固定サイクル, 回転軸制御, 独立軸制御, ドレッシング機能他
内部PC	基本命令12種, 応用命令55種, 記憶容量10Kステップ, ラダープログラム・モニタ, PCリンク, モジュール間通信機能
MID & ディスプレイ	9 インチ EL/10 インチカラー-TFT
結合可能位置 検出器・モータ	インクリメンタル/絶対値エンコーダ, 光学スケールレーザスケール・各社 ACサ ーボモータ

を可能にしている。MDI&Dispユニット（操作・モニタ部）は奥行50mmの薄型でコンパクト設計に対応している。本装置は汎用的なフライス加工用、旋削加工用に加えてこれから紹介する研削加工用特有の制御機能も組み込まれている。

### 3. 研削加工に要求される制御

旋削やフライス加工の分野の高いNC普及率に対して、研削加工、特に内面研削分野でのそれは遅れていた。これは研削加工が一般の切削に比べて要求される加工精度が高いうえに、工具である砥石が摩耗や弾性変形しながら加工するために研削特有の制御・加工方法があり、汎用のNC装置では制御が困難であったことによるところが大きい。ここでは研削加工に要求される制御とそれに対応してNucleus80に組み込まれた制御機能について主なものを紹介する。

#### 3.1 安定した加工精度とサイクルタイムの短縮

特に内面研削では、加工タイムが数秒～数十秒と短く、しかも連続加工の場合が多い。その加工方法には、研削中にワーク寸法を測定しながら設定寸法に応じたゲージ信号

で切り込み速度を変えていくゲージマチックサイクルとプログラムデータ通りにワークを仕上げるサイズマチックサイクルがある。

一般にNCのメモリ運転はあらかじめ登録されたパートプログラムを先読みしながら実行される。このことによってブロック間の位置指令の途切れをなくしスムーズな送りを実現している。したがって、指令位置が確定しているサイズマチックサイクルでは実用上それほど問題にならない。

ゲージサイクルの場合は一般にスキップ送りが使用される。つまり、ゲージ信号が入った直後にただちに送りを停止し、次ブロックの送りを実行する。次ブロックの目標指令位置は、現在位置を基準に算出される。

この場合、信号入力位置をあらかじめ予測できないためプログラムの先読みができず、ゲージ信号が入ってから次の位置指令の算出の間だけ送りが停止する。この送りむら（数百ミリ秒）が加工サイクルタイムを引き延ばす原因になる。（図2）

一般的なスキップ機能（G31）でゲージマチックの送りを行っても問題は解消しない。そこでNucleusではスキップ機能に独自の先読み機能（特許出願中）を付加することにより、送り停止時間を従来の100msecから10msec以下に抑えることが可能となっている。

#### 3.2 独自のG機能とサーボ機能

研削加工に要求される機能は独特である。それは加工工具が砥石であり、常にその摩耗を考慮しなければならないことにある。このため砥石成形、寸法補正といった機能が必要となる。

汎用NCではこれらに対する配慮が十分でないために機械メーカー側でマクロプログラムを駆使してこれらの機能を

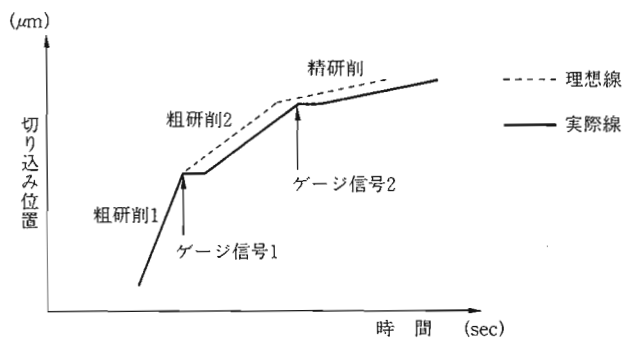


図2. ゲージサイクルの切り込み

作り込まなければならない。仮にマクロプログラミングにより一応の機能を満たしても、次のような理由で必ずしも使いやすいものとはなっていない。

- ・マクロプログラムが複雑になり、実行時間がかかりすぎる。
- ・複雑なマクロプログラムを保守するために工数を要する

Nucleusでは、以下に代表される固有機能でこれらの問題を解消した。

(1) 砥石寸法補正, 加工寸法修正機能

Nucleusでは、砥石位置オフセット (G43, G44) によって、現在の砥石寸法によらないプログラミングを可能にした。

これは、一般の工具位置オフセットに準じる機能であるが、あらかじめメモリに記憶された砥石摩耗量を内部的に考慮して位置決めを行ったり、本モード中のドレス位置割り出し (G25, G26) においてもやはり砥石寸法を考慮して砥石とドレスサが干渉しないよう配慮がなされている (図3)。

また、加工寸法修正機能として独特の考え方を導入している。ドレスが頻繁に行われるゲージマチックサイクルで砥石の大きさ、切れ味、ドレスサの摩耗などによって仕上げ位置が変化する場合、自動ドレス補正がはたらき、サイクルの仕上げ位置が当初設定された位置に近づくように設計されている。自動ドレス補正はNCがゲージの仕上げ位置を自動的に判断し、仕上げ寸法を安定に保つためにメモリ内のドレス位置や砥石寸法を自動的に修正するものである。また、サイズマチックサイクルにおいても外部

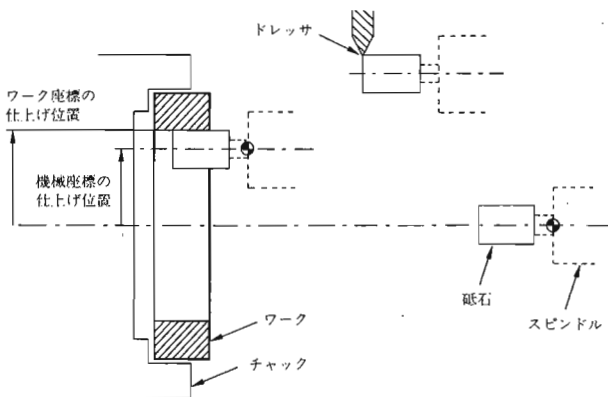


図3. 機械構成概略

操作で人為的に同様の修正をかけることも可能である。

(2) ドレッシングと砥石寿命管理

内面研削の場合のドレッシングは加工などによる砥石の摩耗や表面のだれをとるために砥石をダイヤモンドドレスサで一定量だけ削り取る目立て用ドレスが一般的である。したがって、以降の研削加工ではこの砥石寸法変化分が考慮されなければならない。Nucleusでは、従来マクロプログラムで数行にわたって構成されていたドレスプログラムを固定サイクル化してプログラミングの平易化を図った (図4)。

ドレス工程によって変化する砥石寸法はNCのメモリで管理されている。NCは、そのデータを常時監視しているため以下に示すように砥石の実寸法をもとにしたスムーズな砥石交換を実現している。つまり、研削加工のツール管理はサイクル回数や時間に関係なく、常に砥石が使用限度寸法 (砥石小) に達したか否かをNCが内部的に判断し、砥石小を検出すれば、作業者に砥石交換を促す。砥石交換後には、新規砥石の成形 (ふれとり) から連続加工までスムーズに工程が進むよう設計されている。

(3) トラバース (オシレーション) 機能

特に内面研削盤などでは、切り込み軸 (X軸) 以外にそれに直交するテーブル軸 (Z軸) も制御する2軸仕様がある。切り込み軸が内面を直接研削するのに対

$$\left\{ \begin{array}{l} G77 \\ G79 \end{array} \right\} X(U) \_Z(W) \_L \_I \_K \_P \_R \_F \_ :$$

で指令します。

- ここでG77: 通常毎回ドレスサイクル
- G79: ニューホイル、ドレスサイクル
- X(U)、Z(W): トラバースの終点座標 (または送り量)
- L: トラバース繰り返し回数 (0~9999)
- I: 補正量のX成分 (省略すると補正メモリの)
- K: 補正量のY成分 (内容量により補正します。)
- P: 補正パターン (1: 両端 2: 片端 3: プランジ)
- R: 砥石補正メモリ番号
- F: トラバース速度 (プランジの時は切込み速度となる)

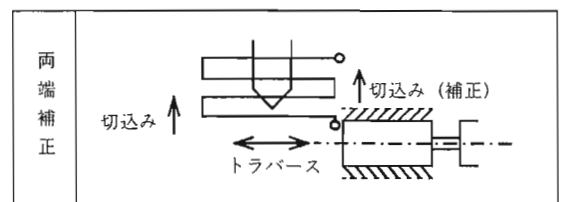


図4. ドレスサイクル

してテーブル軸は前進端、後退端あるいはドレス位置の割り出しが主な動きとなる。そのほか、テーブル軸はワークの面粗さ（仕上げ面粗さ）を向上させるために、切り込みながらオシレーションを行う場合がある。オシレーションはテーブル軸が、高速で往復するものである(図5)。従来より、テーブルは油圧バルブ制御であったため、オシレーションはカムで行われていた。この油圧テーブルカム方式は実際の加工では機能的に十分ではあったが、速度変更や位置合わせといった段取り工程には難があった。そこで、NCでオシレーションを実現しようとすればマクロプログラムで事実上の往復運動は実現できるものの、往復端での動作の緩慢さがネックとなっていた。また、そもそもオシレーション軸には切り込み軸とは独立した制御が要求される。つまり、オシレーションは切り込みと非同期でおかつ切り込み速度の十数倍の速度が要求されるため、従来はテーブル軸専用のNCが必要であった。

そこで、Nucleusでは汎用NCにみられない独立軸制御を開発した。これは、オシレーション開始Gコード(G68)により、指令されたストロークと速度で往復運動を繰り返すものである。従来のように、往路、復路を都度プログラム指令する必要がないため両端での動きの緩慢さは解消される。オシレーション軸は停止Gコード(G69)が発せられるまで独立軸として動き、他の軸の指令や動きにいっさい影響されない。

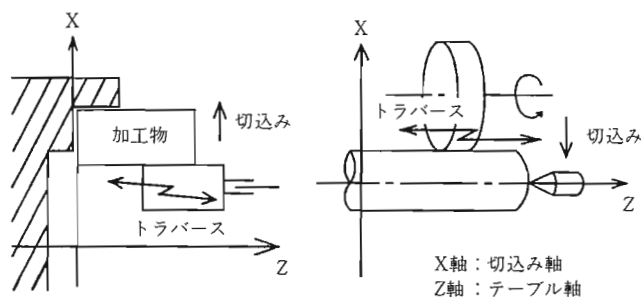


図5. オシレーション機能

これによって、オシレーション速度やストロークの変更もNCデータの変更で実現できるようになった。

(4) 対話式メニュー機能

最後にNucleusの特長として、研削仕様に密着したマンマシン機能があげられる。

研削盤には固有の複雑な段取りや調整がある。ドレス交換や途中砥石交換には機械固有の操作が常についてまわる。

Nucleusでは、段取りにまつわる操作をすべてNCの操作ガイドメニューに従って行うことができるので、従来の煩雑さは解消される。

ガイドメニュー画面は、機械メーカーによってモディファイされた対話マクロプログラミングによるため、研削条件入力から切り込み線図のグラフィック表示といったさまざまなマンマシン支援機能が実現できる。

## 4. 研削加工への適用例

### 4.1 内面研削盤

当社のさまざまな内面研削盤にNucleusが採用され、研削加工のための数値制御技術が生かされている。その一例として高精度内面研削盤IG-10A-11について紹介する。

①グラフィック対話機能による操作性の向上

研削条件設定画面(図6)は、サイクル線図のガイドに従ってデータ入力できるので入力ミスが少なくなる。

加工サイクルモニタ画面(図7)は1サイクルの切り込み位置データを高速トレースしてグラフ表示するものである。切り込み状態、電力(砥石スピンドルの負荷トルク)カーブやサイクルタイムを都度モニタできるのでサ

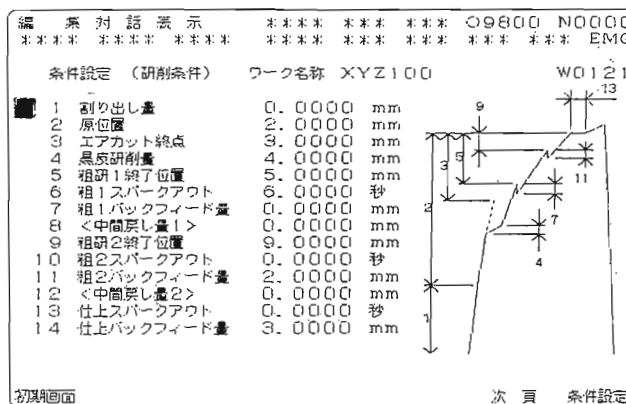


図6. 研削条件設定画面

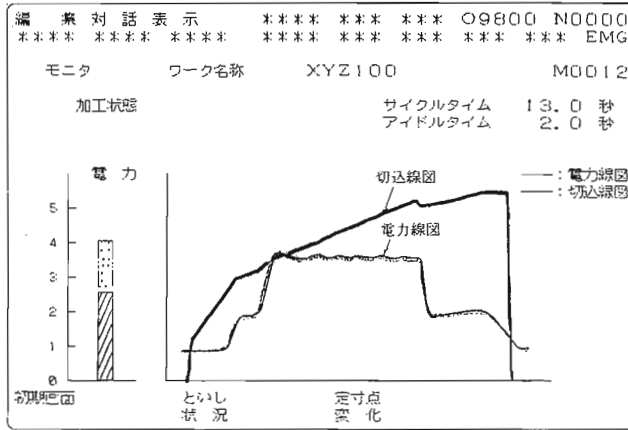


図7. 加工サイクルモニタ画面

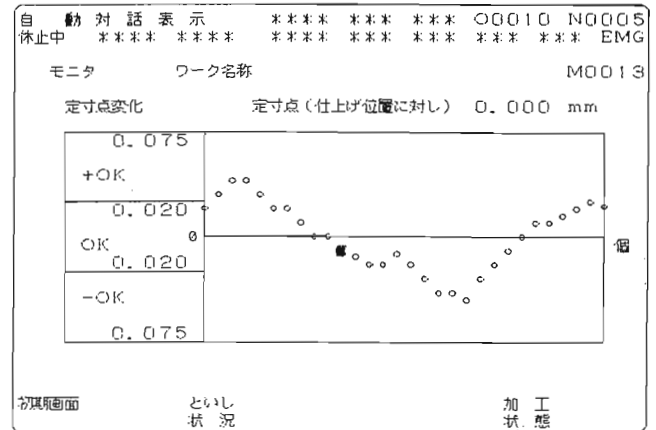


図8. 定寸点監視画面

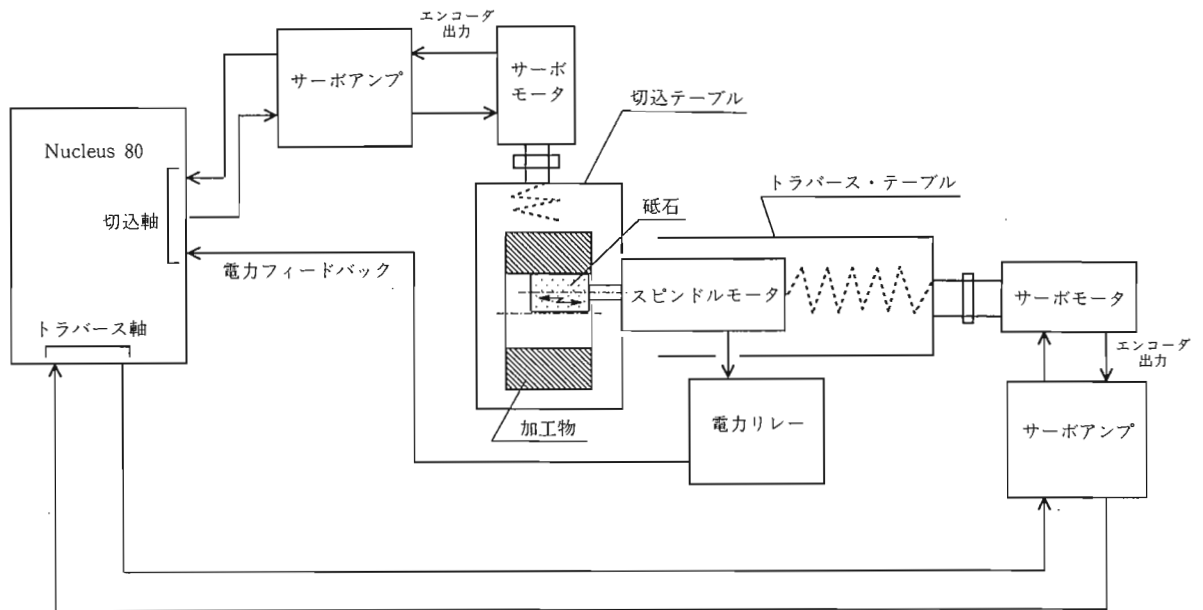


図9. 電力一定制御構成図

イクル監視, ひいては研削条件の設定にも役立つ。  
定寸点監視画面(図8)では, ゲージサイクルの仕上げ  
点データを記憶し表示することができる。  
各点はプロットで表示され仕上げ位置の遷移が確認で  
き, 時系列的な工程管理に役立つ。

②AC研削によるサイクルタイムの短縮

AC(電力一定)研削は, 砥石スピンドルの研削負荷を電  
力リレーでNCにフィードバックし, 切り込みテーブル  
の送り速度を加減するものである(図9)。  
これにより, 研削抵抗を一定に保つことができ, 加工サ  
イクルタイムが短縮される(図10)。

指令は, 独自のプログラミングにより, 最適な電力設定  
値, ゲインが設定できるようになっている。

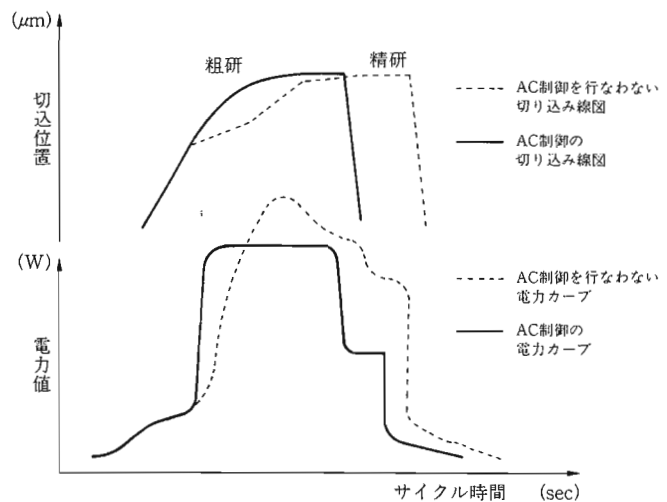
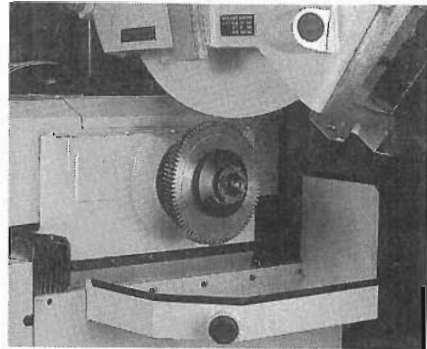


図10. AC制御による加工サイクルタイムの短縮

G31.n X\_ I\_ Q\_ R\_ T\_ ;  
 G31.n : ゲージスキップ (AC) 用Gコード  
 (n=1,2,3 or 4)  
 X\_ : 切り込み目標位置  
 I\_ : リトラクト (逃げ) 量  
 Q\_ : 砥石径補償の指定  
 R\_ : 電力一定制御のゲイン  
 T\_ : 設定電力



ワークヘッド

4.2 その他の応用例

(1) 歯形研削盤

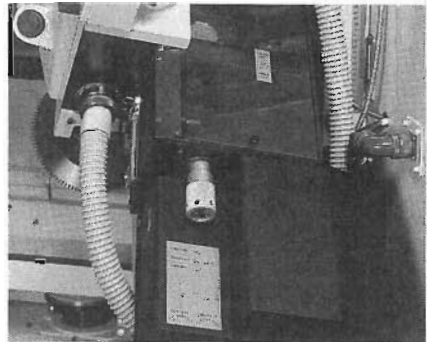
ツルーイング装置で歯形形状に成形された砥石により被加工ワークである歯車を研削するものである。ワークの1歯ごとの割出しとその歯面の研削を繰り返して全歯を研削する (図11)。

歯形研削盤ではワーク分割と切込み送りを同一軸で行っている。機械の構成, 砥石とワークの歯あわせ時に自動運転をかけながら手動操作で送りを行う必要がある。ここにはNCの自動手動同時操作機能を使うことにより, A軸の分割タイミングの間隙をぬって手動によるA軸の切込みができるようになってくる。この機械にはツルーイングでの高い形状精度や, 研削加工時の分割軸の高速・高精度割出しが要求され, Nucleus独自のサーボ制御技術が生かされている。

(2) ハードギヤホーニング盤

被加工ワークである歯車を駆動軸である内歯車式砥石軸とかみ合わせて共回りさせることにより歯車の表面を仕上げるもので, 歯車の低騒音化・高効率化に適した機械である。制御軸 (5軸) はすべてNCで制御されている (図12)。

特に砥石駆動軸 (Y軸) には主軸のような回転軸速度制御と歯車と砥石の歯合せ時の高速・高精度位置決め制御が必要である。この制御にはNucleus独自のエンドレス回転制御機能が活用されている。この機能はサーボ軸として制御されている軸をエンドレス指令 (Gコード) で主軸指令のように速度制御するものである。また, 歯車側もサーボ制御することにより, 砥石駆動軸との同期送りや歯車と砥石のかみあわせの正確な位置決めを自動で行う同期測定機能な



CNCツルーイング装置

図11. シェーピングカッタ歯形研削盤

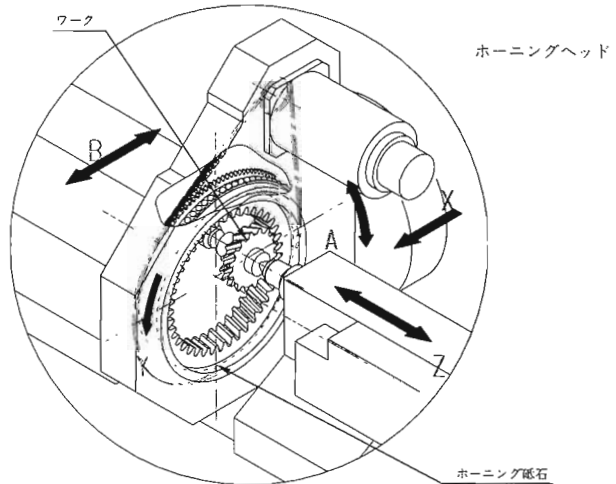
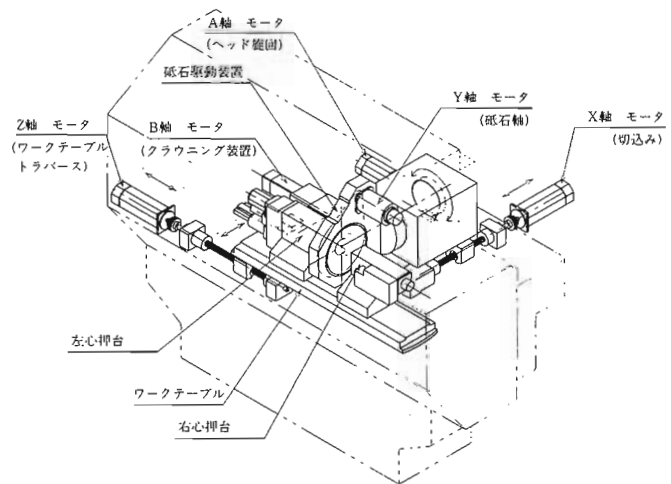


図12. ハードギヤホーニング盤

などを準備し、歯車の同期加工にも対応している。

(3) 超精密研削盤

金属材料のほかセラミックス、フェライトなどの硬脆材料のみぞ入れ・切断加工をする機械で、 $0.1\mu\text{m}$ オーダの高精度加工ができる(図13)。

この機械では精度・操作性をよくするため、機上で画像処理装置を利用して被加工物の取付誤差を補正したり、加工ワークを測定して加工条件にフィードバックしている。ここではNucleusと当社の画像処理装置ナチビジョンとの統合システムを使用しており、両装置間的高速処理により機械の稼働効率向上にも寄与している。

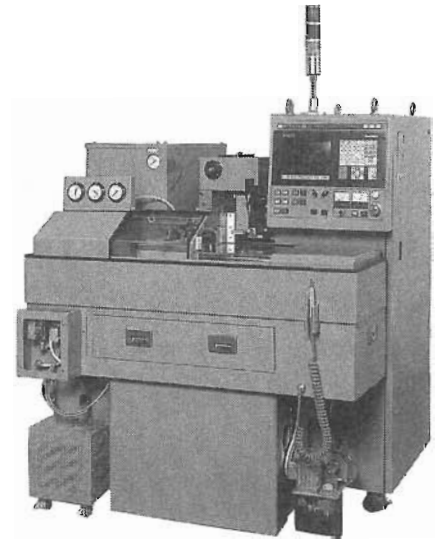


図13. マイクログラインダ

## 5. おわりに

これまで既存の研削加工機械に数値制御技術を取り入れることにより高速・高精度・高能率加工や操作性の向上を図ってきた。NC化を推進するためには既存の研削加工の概念に適応する必要があり、このためにNC装置の機能・操作面での改良がなされてきた。数値制御による研削加工が一般化した今、機械や数値制御・サーボ制御技術一体となって有効な理論・技術を取り入れ新しい加工の概念の構築に寄与したいと考える。