

# 数値制御ヘリカルブローチ盤

## Numerically Controlled Helical Broaching Machine

### キーワード

ブローチ盤、ヘリカルブローチ、ATミッション、内はすば歯車加工、ノーバックラッシ、リードバー

工作機製造所技術部

右近隆一

## ■ 摘要

乗用車の変速機（トランスミッション）として最近ではAT（オートマチックトランスミッション）が80%以上の搭載率を占めているがこの変速機構に広く用いられているプラネタリーリングギヤ（内はすば歯車）加工には、主にリードバー式ヘリカルブローチ盤が用いられている。

しかし、リードバー方式ではリード変更に対しては、チェンジギヤを組合せることにより限られたリード変更には対応が出来ても、任意のリードへ変更する場合はリードバーを交換せざるを得ず、1台の機械で多種のワークを生産するには多くの段取り替え時間を費やすため実際にはほとんどの機械は専用設備として使用している。

今回リード変更に対応出来る機械として開発した数値制御（NC）ヘリカルブローチ盤について紹介する。

## ■ Abstract

Recently, ATs (auto-transmissions) account for 80% or more of transmissions used in automobiles. Lead bar type helical broaching machines are used mainly for machining planetary ring gears used widely in the transmission mechanism. However, with lead bar type helical broaching machines, the lead bar must be replaced when changing to a desired lead even if limited lead changes can be accommodated by combining change gears for lead changes. This greatly increases changeover time and costs when manufacturing numerous types of workpieces on a single machine. For this reason, almost all broaching machines are used as special-purpose machines. This paper introduces a numerically-controlled (NC) helical broaching machine developed as a machine tool for flexibly accommodating lead changes.

## 1. はじめに

プラネタリーリングギヤ（内はすば歯車）（図1）加工用のヘリカルブローチ盤が日本国内で稼動を始めてから約20年にわたる間、生産量、コストに応じた数機種種のヘリカルブローチ盤が製造されてきたが、いずれもリードバー方式であった。今回紹介するリードバーレスのフレキシビリティの高いNCヘリカルブローチ盤は稼動してから3年以上の実績を持ち、御客様より高い評価を得ている（図2）。

本機の開発に当っては、下記を目標テーマとした。

- (1) 多種ワークに応じて、短時間で段取り替え作業が可能  
なこと
- (2) 加工精度向上

- (3) メンテナンスフリー化

## 2. フレキシビリティ化

ヘリカルブローチ加工は、ブローチの回転とブローチ（あるいはワーク）の移動を同期させながら切削する方式である。従来のブローチ盤はブローチ（ワーク）の移動にともないリードバーを介してブローチに同期回転を伝達する方式を採用しており、異なるリードのワークを加工する場合、チェンジギヤを組込むか、リードバー交換を行なわねばならなかった。

しかし、チェンジギヤ方式ではリード変更に制限があり、リードバー方式ではリードバーが長尺・重量物であるため交換は容易な作業とはいえ、設備はほぼ専用化して使用

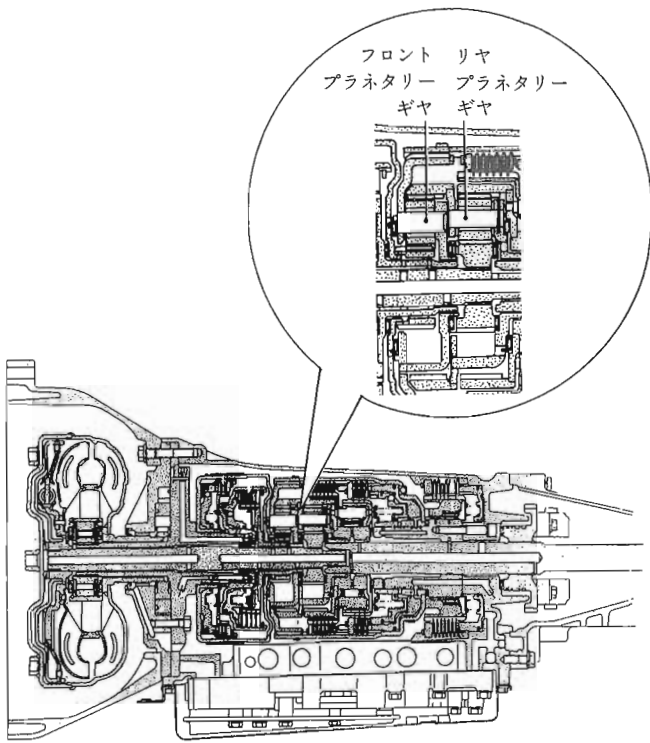


図1 AT断面図

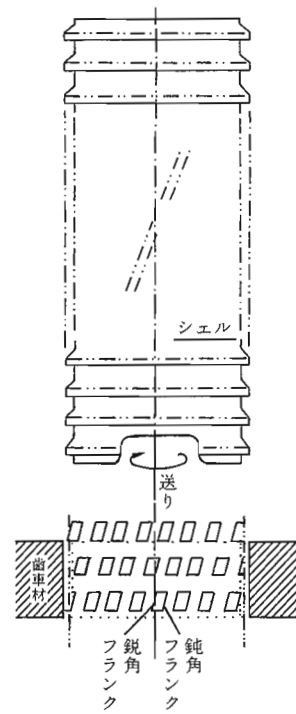


図3 ワークとブローチ切刃の関係

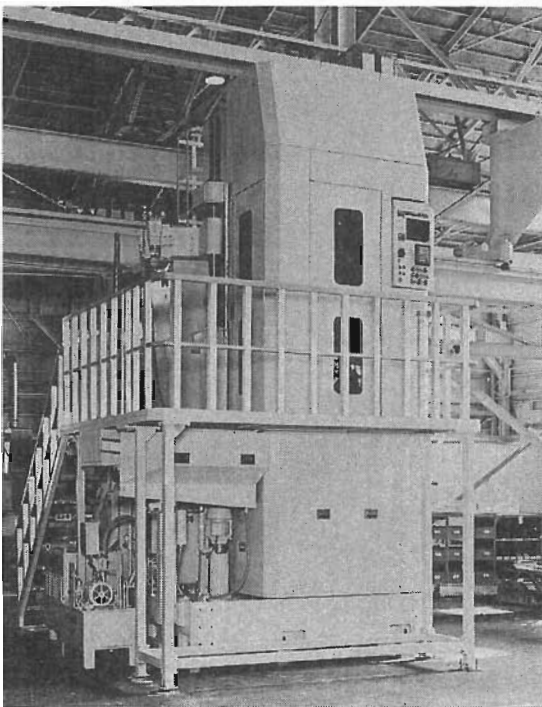


図2 NCヘリカルブローチ盤

せざるを得ないのが現状であった。

本機は、ラム（ワーク）上下送りとブローチ回転用の駆動におのおのACサーボモータを採用し、2軸同期制御方式とした。この結果リード変更はNCプログラムの選択のみとなり、飛躍的に時間短縮を実現することが出来た。

ここで紹介する機械は、ブローチは手動で交換するタイプであるが、ATC（自動工具交換装置）を組合せたよりフレキシビリティの高い、NCヘリカルブローチ盤の実績もある。

### 3. 同期剛性向上

ブローチ加工は他の切削方法にくらべ、切削時の負荷変動が激しい。

図3はブローチの切刃が2枚掛っている瞬間であり、少し送り込むと3枚掛る。つまりこの状態の場合2枚と3枚の切刃が交互に掛ることになる。ブローチ刃1枚で3トンの切削負荷とすれば2刃で6トン3刃で9トンの負荷がモーター側に交互に加わっている。これをコンピューターシミュレーションによりモータの送りむらを解析すると図4-1となる。

負荷が3刃になった瞬間モータの位置ずれが遅れ側に増大し、次の段階では指令値に近づけようと制御するため進み側に加速する。この状態は負荷増大の場合ばかりでなく減少した場合も発生する。ラム駆動、プルヘッド駆動のモータそれぞれが同じ挙動を繰返すため合成された送りがうねりカーブをえがきながら進むことになる。これが歯すじ誤差となって加工精度を低下させる（図4-2）。但し実際のブローチは、負荷を小さくした仕上げ刃を最終部に持つため、加工精度にそのまま転写することは少ないが

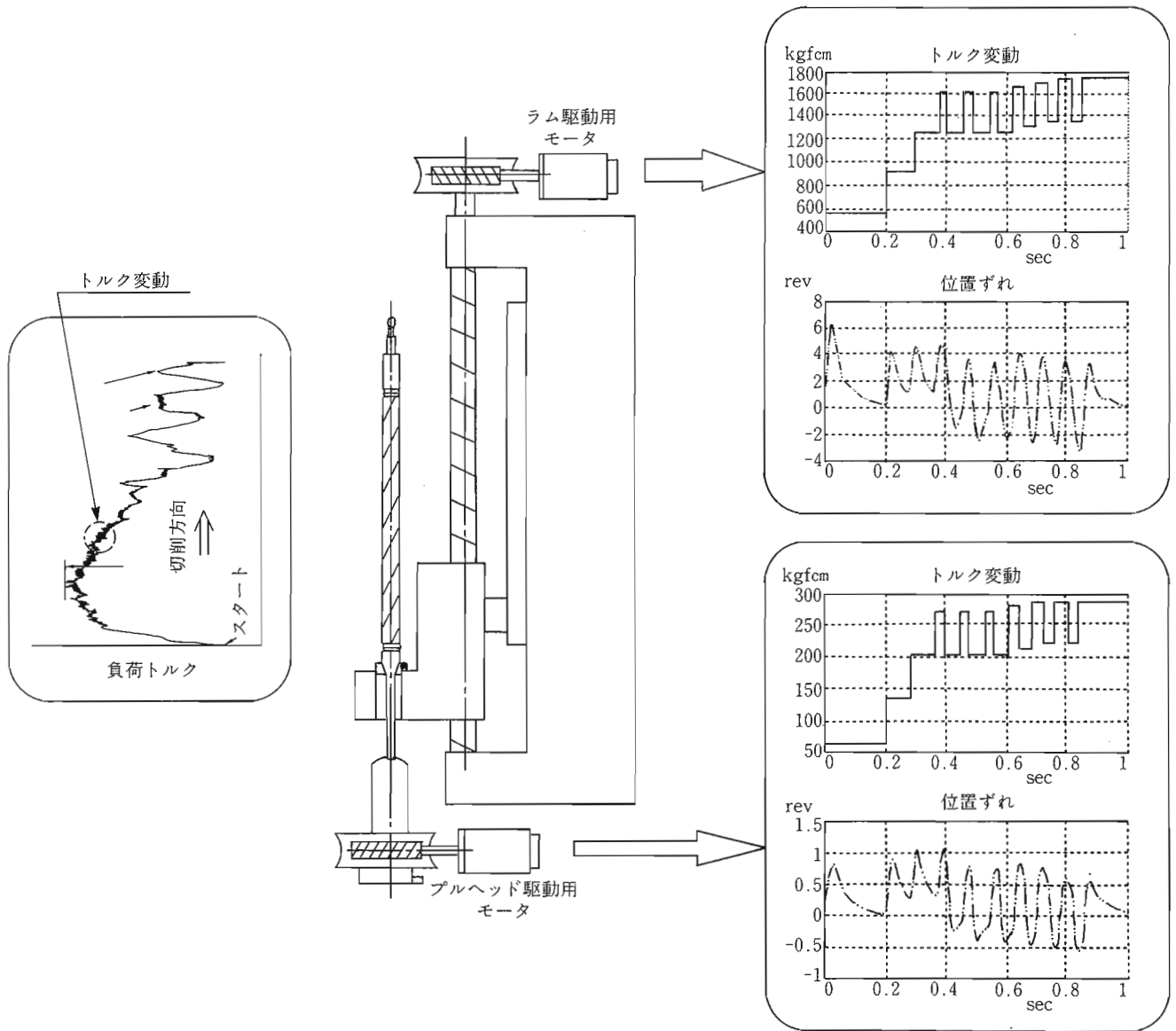


図4-1 モータの送りむら解析

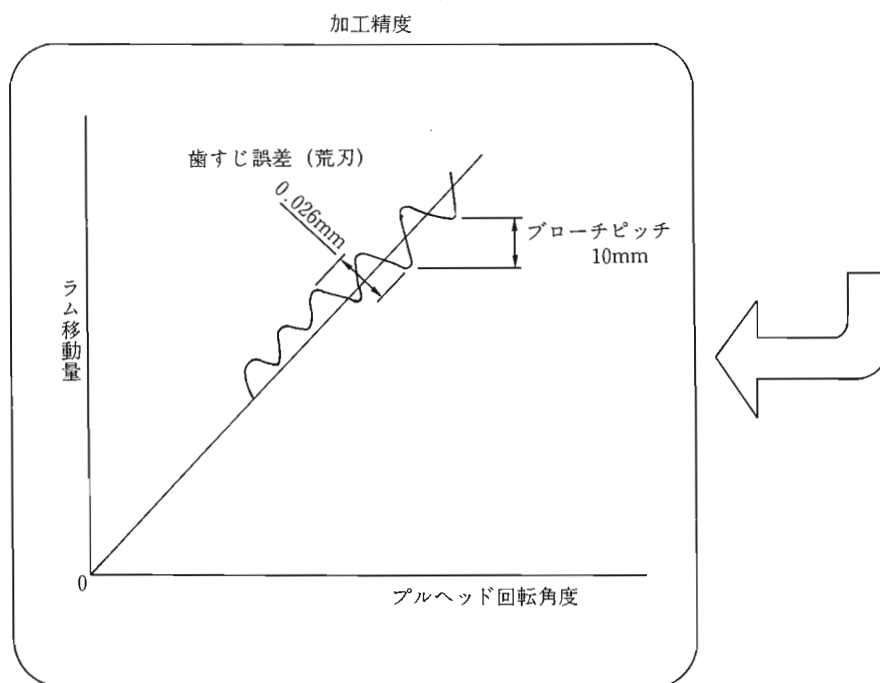


図4-2 歯すじ誤差

うねりにより切刃側面でこすりや切屑発生となるため加工精度不良やブローチ寿命低下になる。

この対策には負荷変動を少なくすることが重要である。

まずブローチでは、切刃面をリング状（軸直角）からねじれ角を持ったフルノルマル（歯直角）やオフノルマル（非歯直角）に変更し切削時の負荷変動を低減する方法がある。

また機械では同期剛性を向上させる方法として、特殊な大出力モータを選定するのではなく、市販モータを2台使用しトルクを均等に分配し、制御する方式を採用して高出力化を計り同期剛性（負荷変更に対する同期精度）を向上させた。

#### 4. ノーバックラッシュ化

図5は従来のリードバー式ヘリカルブローチ盤の駆動系を示す。

ブローチ回転方向のガタは、ナット、キー、ギヤトレインなどのバックラッシュの累積により無視できない量になる。常に負荷が掛っている場合は、一方に寄せられているためこのバックラッシュ量は問題にならないが、ヘリカルブローチ加工は刃構成上の都合により途中で大きく荷重変動する部分が、通常数箇所出来る。

この切刃の抜けぎわあるいは入りぎわでブローチにバックラッシュ相当分の位相ズレが発生し、切刃の異常喰い付きをおこすことがある。これもブローチの異常摩耗や破損を発生させる原因となる。

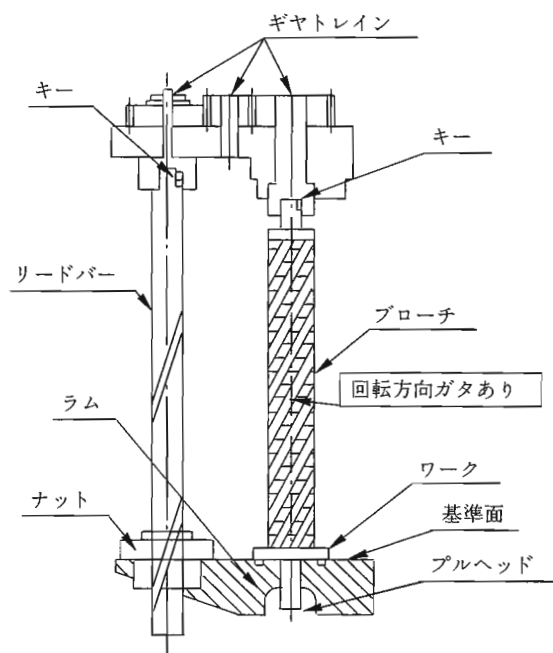


図5 リードバー式ヘリカルブローチ盤の駆動系

従来機ではこのバックラッシュの管理を定期的実施することになっているがそれでもノーバックラッシュ化は困難であった。

本機では、ノーバックラッシュ化の方策として次の構造とした。（特許申請中）

- (1) ラム軸は上方ワーク送り切削方式を採用し、ウォーム減速機とボールネジのバックラッシュがラム重量により常に下方に寄せられる構造とした（図6）。
- (2) ブローチ回転部には、正副2個のウォームを配置し正ウォームは複リードで最小スキマのバックラッシュ調整を行ないまた、切削中は油圧シリンダにより副ウォームでプリロードを与える機構とし、ノーバックラッシュを達成した。

尚、逆ねじれワークの場合では、プリロード方向を切換出来る方式とした。

- (3) プルヘッドにおいては、ブローチ押し上げシリンダー及びクサビ式ブローチロックピンを内蔵させ、上下、回転方向のクリアランスを完全に除去する方式を考案した（図7）。

#### 5. 従来機との比較

表1にNCヘリカルブローチ盤とリードバー式ヘリカルブローチ盤の諸元比較を示す。

図8にその姿図を示す。図9に加工精度の比較を示す。

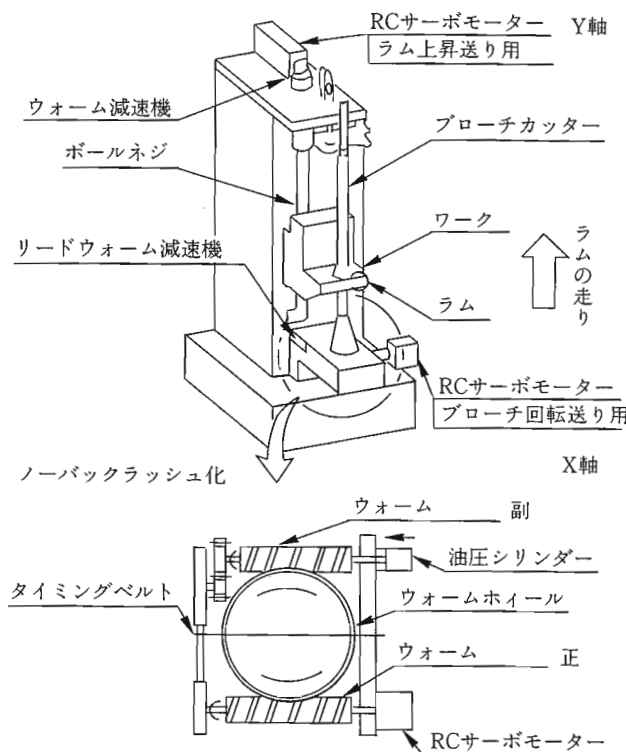


図6 NCヘリカルブローチ盤駆動系

## 6. 熱変位対策

ブローチ加工は長時間無人運転されるので、熱変位による加工精度の低下を防ぐことが重要である。

本機の開発コンセプトとして

- (1) 特別な環境の設置場所を必要とせず、一般の製造ライン内設置が可能なこと。
- (2) 制御は使い易さとコストに配慮し、セミクローズドループ方式を採用する。

上記条件では、一般的に機械本体・ブローチの熱変位の影響により加工精度（特に歯すじ誤差）が悪化するが、本機では、ラム駆動ボールネジの温度は室温+5℃以内であり又、ブローチは、室温追従式の切削油冷却装置を設ける事により、温度変化を少なくして加工精度の安定化を図っている。

表2に加工精度（歯すじ）の変化量を示す。

表2 歯すじ誤差の変化

単位  $\mu\text{m}$

	開始直後	1時間後	2時間後	4時間後	6時間後	8時間後	10時間後
右歯面 (鈍角側)	+4	+5	+7	+4	+5	+7	+5
左歯面 (鋭角側)	-2	0	0	-1	-3	-1	-4

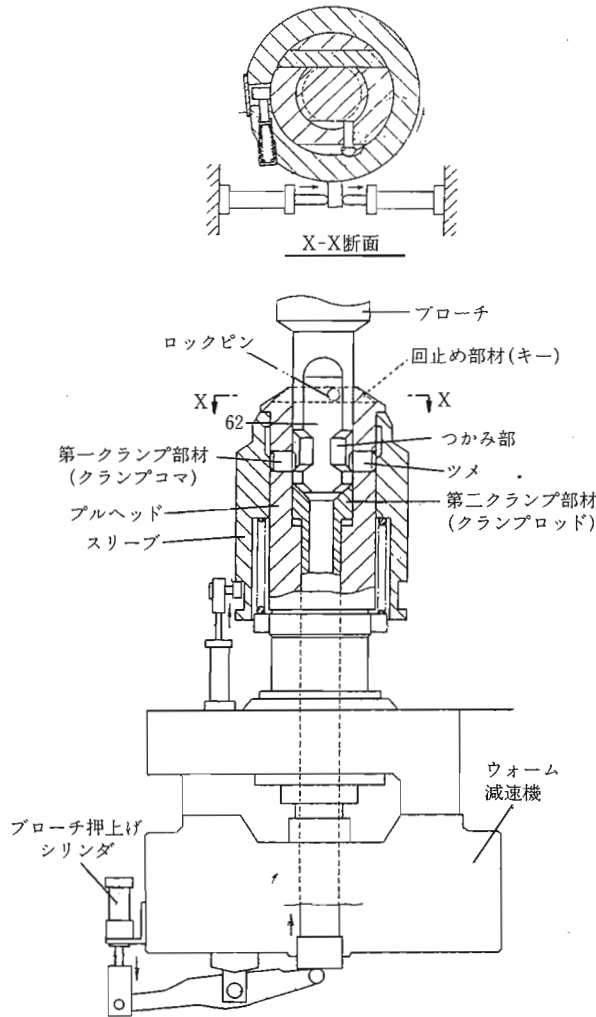


図7 プルヘッド機構部

表1 諸元比較

	NC ヘリカルブローチ盤	メカニカル式 リードバー式 ヘリカルブローチ盤	効果
引抜き力	25 TON	25 TON	同じ
切削速度	7 m/min	7 m/min	同じ
サイクルタイム	0.6分/1個	0.6分/1個	同じ
総電力	53 kw/h	68 kw/h	22%減
据付面積	3.1×5.15=16 m <sup>2</sup>	6.21×5=31 m <sup>2</sup>	48%減
機械総高さ	5.5 m	5.78 m	5%減
機械重量	19トン	26トン	27%減
段替時間	1分	30分	97%減
リードバーの有無	無	有	

## 7. おわりに

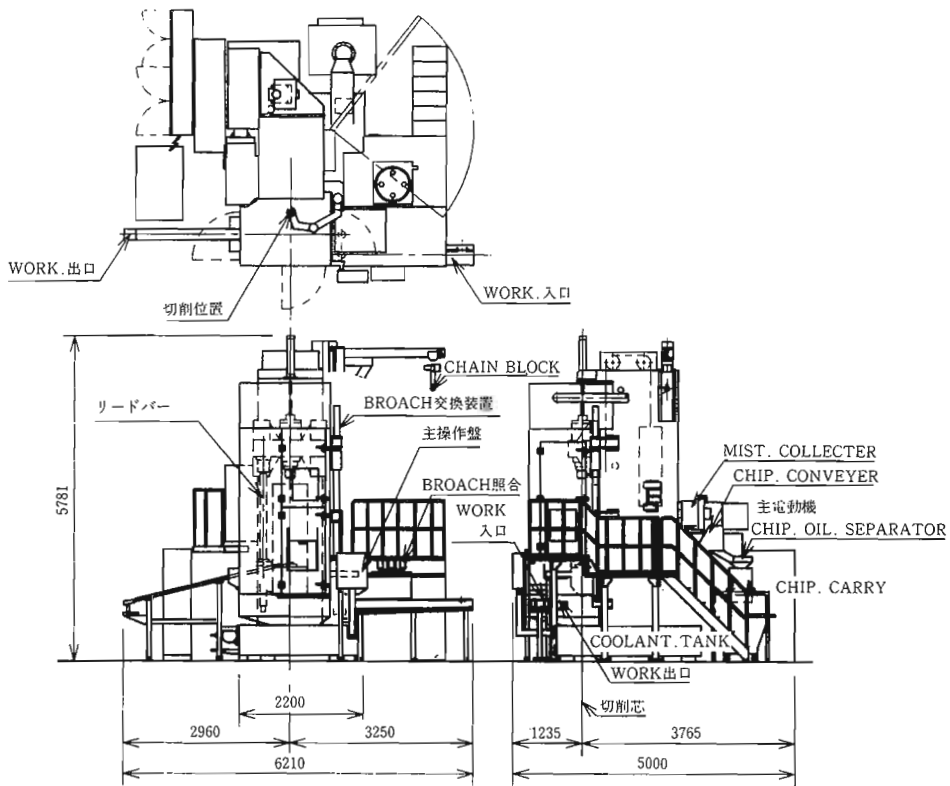
### (1) 低コスト化

本機は、大形のNCヘリカルブローチ盤としては、世界でも初めての機械であり、社内外に注目を浴びている。今後は、より普及させて頂くためにも、機械・ブローチの両面から低コスト化を図って行きたい。

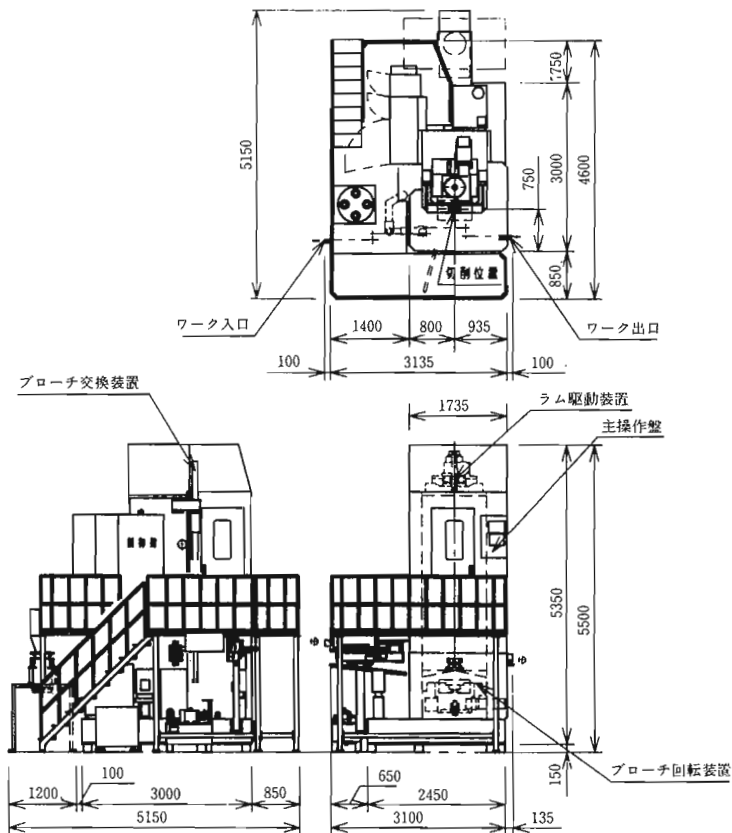
### (2) 多機能化

ATC機能を持たせることにより左右ねじれのヘリカルギヤからスパークヤまでフレキシブルに生産可能になった。今後は治具の自動段取替え機能や、IDチップを埋め込んだブローチによる工具管理システム機能等を持った機械へと進歩を目指したい。

最後に本機開発に当り御客様、部品メーカーの関係者のご支援に深く感謝の意を表します。



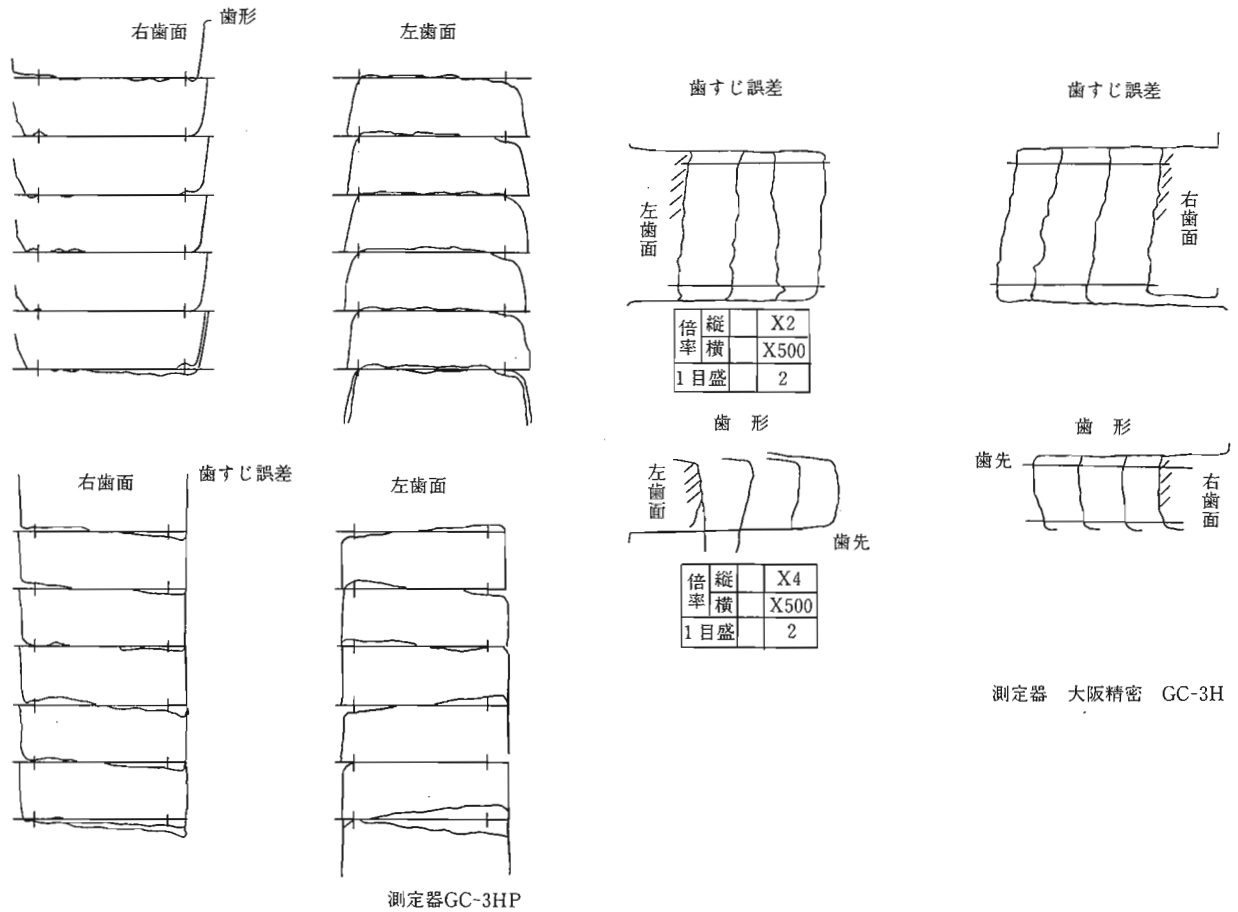
リードバー式ヘリカルブローチ盤



NCヘリカルブローチ盤

図 8 姿図

測定項目		単位	規格値	許容差	NCヘリカル加工ワーク	リードバー方式加工ワーク
歯形誤差	右歯面	$\mu m$	—	最大13	$2 \sim 4 \bar{X}_2$	$2 \sim 6 \bar{X}_3$
	左歯面	$\mu m$	—	最大13	$3 \sim 7 \bar{X}_5$	$1 \sim 4 \bar{X}_2$
歯すじ誤差	右歯面	$\mu m$	—	最大17	$5 \sim 8 \bar{X}_5$	$-6 \sim -13 \bar{X}_{10}$
	左歯面	$\mu m$	—	最大17	$-9 \sim -8 \bar{X}_1$	$-2 \sim -6 \bar{X}_3$



測定器 大阪精密 GC-3H

NCヘリカル方式

リードバー方式

図9 加工精度の比較



右近隆一

1970年 不二越入社  
1970年からブローチ盤の設計を担当現在に至る。