

# NACHI-BUSINESS

Machining news

Vol. 9A1  
November/2005

マシニング事業

■ 寄稿・論文・報文・解説

近未来技術展望

## 「ブローチ加工の特長と未来」

Perspectives on Near-future Technologies  
"The Great Advantages and Prospects  
of Broaching Technology"

〈キーワード〉 ブローチ加工・ブローチ盤・切りくず制御・  
工具機上再成技術・切りくず切断・マルチプラットフォーム

東京大学 生産技術研究所 機械・生体系

助手 柳原 聖 By Mr.Kiyoshi Yanagihara

教授 谷 泰弘 By Prof.Yasuhiro Tani

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

# 要 旨

※1  
ブローチ加工は、高能率で、作業が簡易、加工精度のばらつきが少ないなどの利点を有しており、大量生産に欠くことのできない加工法である。

その大きな特長は、一つの切削工具に粗、中仕上げ、仕上げという複数の工程要素を組み込んだブローチという工具を使うことにある。しかし、ブローチ加工の実際に触れることは工場でも特定の現場に限られており、その特長については意外に知られていない。

本稿では、ブローチ加工の基礎を解説し、将来の展望を述べる。

## Abstract

Broaching is essential technology for mass production since it is simple, efficient, skill-free, stable, and accurate. One of the most significant respects is to employ the special tool: "Broach". Broach is very unique tool because only one broach can cover three cutting processes; rough, medium, finish.

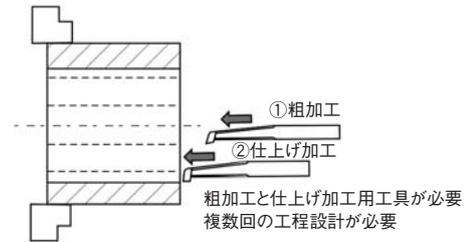
Therefore the advantages and prospects of Broaching technology are explained in this paper.

# 1. はじめに

あなたがTV番組制作者で、街頭インタビューに出かけたとする。そこで街ゆく人々に「ブローチ加工をご存じですか?」とたずねても、多くの人はことばの響きから首飾りの製作を連想してしまうかもしれない。工学部機械系で加工を学んだ者でさえ、教科書の数ページの解説でせいぜい目にする程度であろう。ところが、現実にはブローチ加工が大量生産において果たす役割は大きく、工具設計に深く依存した加工の特長を理解しておくことは、ものづくりに携わる者にとっても大きなメリットがある。

本文では、最初にブローチ加工の概要を述べる。次に、その将来展望を述べる。

### ●中ぐり加工(旋盤)による丸穴加工の場合



### ●ブローチ加工による丸穴加工の場合

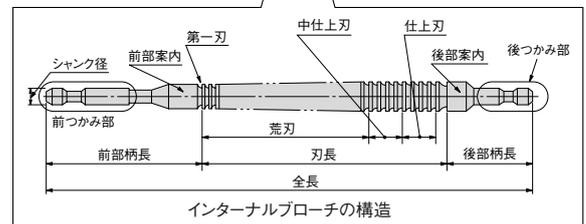
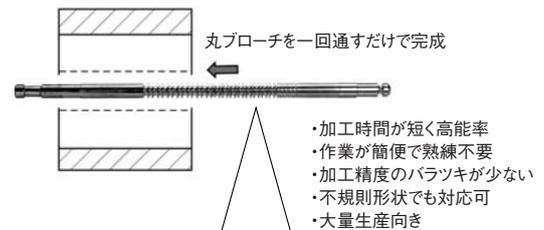


図1 ブローチ加工の概要<sup>1)</sup>



## 2. ブローチ加工の概要

たとえば図1のように円筒の素材(ブランク)をNC旋盤で内径精密加工をするとしよう。通常は、粗加工用と仕上げ加工用の中ぐりバイトが用意されて、粗加工用バイトを用いた粗加工、仕上げ加工用バイトを用いた中仕上げ加工、そして仕上げ加工の3つの異なる切削条件下での工程が必要になる。

ところがブローチ加工では、ブローチと呼ばれる特殊工具を用い、ブローチ盤で工具を引き抜くだけで一気に粗加工から仕上げ加工までが完了する。ブローチには多数の切れ刃が取り付けられており、最初の喰いつき刃から仕上げ刃まで、しだいに切り込みが漸増するように設計されている。

これが旋盤加工であれば工具に切り込みを与え、そして工具を送るという工程を複数回繰り返して工作物を仕上げる。そう考えると、ブローチ加工は、これらの各工程の切り込み条件を一つの工具に集約し、一回の工具送りだけで工作物を仕上げようとする加工法と考えれば理解し易いかもしれない。旋盤加工のような汎用工作機械による作業とは違って、各工程ごとに工具切れ刃の位置決め等の加工条件の設定を行う必要は全くないが、一方で工具は製品ごとに専用設計のものを用意しなければならない。

工具には主として内径加工を行うためのインターナルブローチと、外形加工を行うためのサーフェスブローチがある。ブローチ加工で実際に作られている製品例を図2に示すが、これらの製品例を見ても実に多くの製品がブローチで加工されていることが理解できよう。

このように工具に粗加工から仕上げ加工までの工程条件が一つに集約されているため、ブローチ盤の構造は極めて簡素にできる。軸は基本的に直線軸あるいは回転軸の一軸で構成され、工具経路のプログラミングの必要はない。したがって、切れ刃の運動制御を行うNC制御装置等は必要としない。

ただ、複数の切れ刃が同時に工作物に喰い込んで切削加工が行われるために、数トンから数十トン単位の極めて大きな切削抵抗が断続的に生じる。このため汎用工作機械以上に十分な動力を工具に伝える機構と、大きくかつ断続的な切削抵抗を確実に受け止める機械構造が求められる。また、工具自身が800mmから2,400mmと長尺であり、少なくともこの工具長以上の長いストロークで、円滑に工具を送れる構造でなければならない。



インターナルブローチによる製品例



サーフェスブローチによる製品例

図2 ブローチ加工の製品例<sup>1)</sup>

# 3. 特長と高精度加工のポイント

## 1) 加工の良否を左右する切削抵抗の絶妙なバランス

形状を作り上げていくための粗、中仕上げ、仕上げ工程の全ての工程要素が一つの工具に盛り込まれていることから、製品の良否は工具に大きく依存する。まず、ブローチ加工の基本であるインターナルブローチを例に考えてみる。

加工中の工具の切り込みは、図3のように各切れ刃で生じる切削抵抗の絶妙なバランスにより適切に保たれることになる。仮に、たった一つの切れ刃でも切りくずを噛み込むなどして早期に摩耗すると、切れ刃どうしの切削抵抗のバランスが偏ることになり、一部の切れ刃で過剰な切り込みが生じてしまう。工具の振動やそれに伴う早期の工具摩耗によって製品の品質を著しく損なうことになってしまうだろう。

## 2) ブローチ設計の勘所

基本的にはブローチ加工は閉じた空間を「掘りすすむ」作業にほかならない。したがってブローチの設計において重要なポイントは、切り込みが大きくできるように、それぞれの切れ刃の剛性を高くしつつ、切りくずを工作物と切れ刃の間に噛み込ませないように切りくずポケットをできるだけ大きくすることである。

設計の指標としては主として次の3つが用いられる。

- ①  $P=1.2\sim 2\sqrt{L}$  P:切れ刃ピッチ L:工具長
- ② 切りくずポケット(図4)が切りくずで詰まらないように、切りくず容積の6倍以上にする。
- ③ 同時切削刃数nを2以上にする。  $n=L/P$

一つの切れ刃で生み出される切りくずは図5(a)のような状態で、切れ刃が工作物から離脱するまで

切りくずポケットに収納されるのが良い。①と②はこの切りくず収納のための指標である。切りくずポケットの容積が不足していたり、適切な加工条件になっていない場合には(b)のようになってしまい、圧縮された切りくずが詰まって、工作物や工具を傷つけ、過剰な抵抗の増加や工具の摩耗を引き起こす原因となる。

③の同時切削刃数とは、工程中に工作物に切り込んで同時に切削を行っている切れ刃の数である。一般に、ブローチ加工では特別な治具は用いずに、ブローチが生み出す切削抵抗で工作物を固定する。したがって、必ず1つ以上の切れ刃が工作物に喰い込んで工作物を固定する状態にしておかねばならない。

## 3) ブランクに求められる直角度

高い精度でブローチ加工を実現するためには、ブランク加工の段階から、ブローチ加工の特性を理解した下準備が求められる。とくにインターナルブローチ加工では、ブランクは通常、機械に置かれてブローチが挿入され、そのブローチが生み出すトノオダの加工抵抗により簡単な治具に固定されるだけである。したがって、工作物と治具との接触面を平坦に、かつ、清浄に維持し続けることが求められる。また、ブローチは基本的に下穴を基準軌道として送られる構造のため、ブランク加工においては、工作物座面とブローチを通す軸穴部との直角度を、いかに良好に加工しておくかが重要になる。

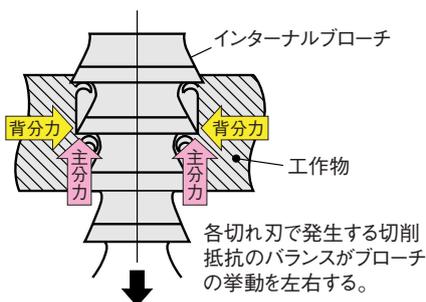


図3 インターナルブローチと切削抵抗<sup>1)</sup>

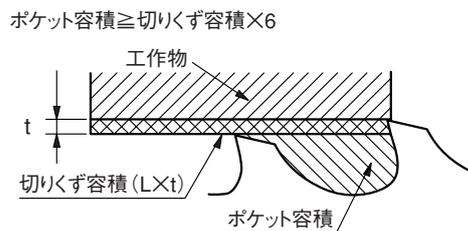


図4 切りくずポケット設計<sup>1)</sup>

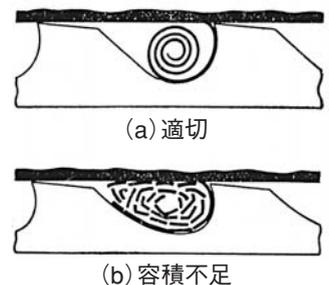


図5 切りくずの収納の良否<sup>2)</sup>

## 4.ブローチ加工技術展望 未来への期待

いま、ブローチ加工技術に新たな技術展開への期待が高まっている。その源泉は、自動車用ヘリカルギヤの高精度加工への旺盛な需要である。消費者が、より静かな車内環境や、滑らかな変速技術を望むのに従い、静かで円滑な動力伝達を行うためには、より精度の高い歯車同士の噛み合いや、軸と穴のはめ合いが求められる。もちろん、工程に手間暇(すなわちコスト)をかければ精度の高い物を作ることにはできる。コストをいかに低減しながら、より良い製品を提供できるかに、新たな技術の果たす役割がある。本章では、未来のブローチ加工技術への期待として「切りくずの制御」「ブローチ盤の高度化」「マルチプラットフォーム化」の3つをキーワードに、その展望を述べたい。

### 1)切りくずの制御

ブローチ加工は、切りくずとの闘いと言っても過言ではない。前頁「ブローチ設計の勘所」で設計において重要な3項目を述べたが、そのうち2項目が切りくずの処理に関わる項目であった。このことから考えても、切りくずその制御の重要性が理解できよう。切りくずの生成過程には、すくい角、逃げ角といった工具切れ刃の幾何と、切削速度、切り込み、といった切削条件と工作物の材質が深く関わっている。ブローチ加工においては、工具切り込みや切削幅、そして工作物の材質については工具設計の段階ですでに拘束されるため、工具の幾何と切削速度が、切りくずの制御要素となる。

#### (切りくず生成の制御方法)

まず、切りくずの厚さは、工具すくい角や切削速度を変化させると制御できる。通常のブローチ加工において、一つの切れ刃と工作物、そして、生成される切りくずの関係を示すと図6の左図の状態になる。図から、すくい角は刃の鋭さを示す角度であると理解できる。軟鋼切削時における、すくい角が剪断角におよぼす影響を図7に、切削速度が切削厚さにおよぼす影響を図8に示す。これらの図から、すくい角を大きく、切削速度を速くすれば、せん断変形の少ない、すなわ

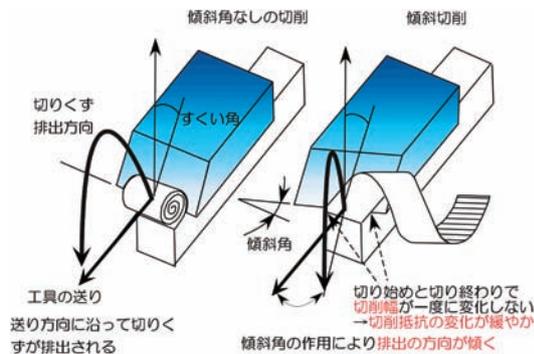


図6 工具傾斜角と切りくずの生成

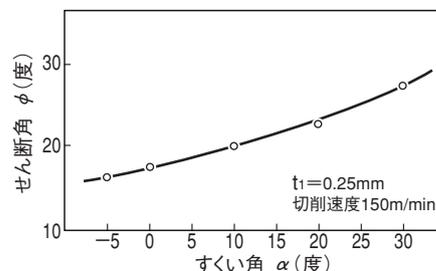


図7 軟鋼切削時におけるすくい角がせん断角におよぼす影響<sup>3)</sup>

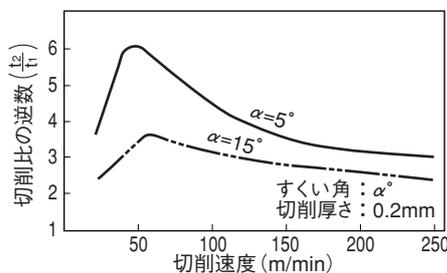


図8 切削速度が切削厚さにおよぼす影響<sup>3)</sup>

ちカールの少ない薄い切りくずが生成できることが理解できる。製品への残留応力を極力減らしたいときにはこのような加工が有効である。ところが、切れ刃の強度を考慮すると、すくい角を大きくすることは、刃先の肉厚を薄くしてしまうことになるため、切れ刃を早期に摩耗させてしまう。また、ブローチでは、切りくずを加工が終了するまでポケットに収納する必要がある。したがって、長くてカールの少ない切りくずを許容するには限界がある。そこで注目されるのが、工具切れ刃を切削方向から傾斜させて、切りくずの流出方向を制御する手法である。

#### (傾斜切削の適用)

同じく図6で説明すると、工具の進行方向に対して直角に切れ刃を設置した工具を用いると、切りくずは同左図のようにゼンマイ状に生成される。一般的なブローチを用いた加工では、ほぼこのような形態で切りくずが生成される。このゼンマイ状に生成された切りくずが上手くポケットに収まり、切れ刃が工作物から離脱した後に切りくずポケット内の切りくずが自然に排出されると都合が良い。ところが、場合によっては切りくずがゼンマイ状であるために、切りくず自身がバネのような作用を生じさせてしまい、ポケットに強固に収まったままになることがある。

そこで、送り方向に対して切れ刃を少し傾斜させると状況は一変し、切りくずは、図6右図のように螺旋状に生成される。この螺旋状の切りくずは、すくい面からの抵抗と切りくず自身の弾性、そして生成時に生じた回転モーメントの相乗効果で、工具離脱時に工具送り方向より傾いた角度で排出される。さらに、傾斜角によって切れ刃の進入、および離脱時に切れ刃が工作物に1度に切り込まなくなる。このため、傾斜角がないときには、急峻で断続的であった切削抵抗の変化が比較的緩慢なものとなり、加工中の振動も減る。ただ、傾斜角を設けることは両刃の剣のような面もある。それは傾斜角が工具送り方向に対して直角の切削抵抗分力を生じさせてしまうからである。インターナルブローチであれば、工作物が回転し、加工精度が悪くなるだろう。しかし、この切削抵抗による回転分力を治具等で受け止めることが可能であれば、傾斜角の有効利用は切りくずとの闘いを有利に展開する一手段となる。

### (切りくずを分断できる切れ刃のデザイン)

次に期待できるのは、切れ刃のすくい面や切りくずポケットに、切りくず分断を目的としたチップブレイカやニック<sup>※2</sup>を設けることであろう。ブローチ加工は製品ごとに用意された専用工具を用いる加工である。通常は何度も工具を再研削して再利用する。この

ため、バイト用のスローアウェイチップのように複雑なブレイカ形状が設けられることはない。しかし、今後は従来以上に高硬度材料や非鉄系金属の加工、あるいは複合材料加工の需要が増加する可能性もある。切りくずとの闘いを征するための一つの手だてとして記憶に留めておきたい。

### (CAEシミュレーションのさらなる適用)

さて、切りくずとの闘いを征するために何を制御すれば良いのかが明確になったところで、次に期待したいのはCAE技術を駆使したシミュレーション技術の発展である。NACHIにおいてもその適用がすでに図られてはいるが、ブローチの値段は1本あたり数十万円から数百万円と非常に高価である。したがって、設計した工具を使用した場合にどのような切りくずが生成されるのか、あるいはその流出状況はどのように予測されるのか、さらに、ブローチが生む強大な切削抵抗は機械や工具をどのように変形・移動させるのかを、設計段階で正確に把握できると良い。今後は従来以上に、高硬度材料や非鉄系金属の加工、あるいは、複合材料加工の需要が増加する可能性があり、それらの高付加価値製品のブローチ加工において、合理的に工程設計を行う術を確立していくことが重要と考えられる。

### (工具製造技術の向上)

最後に、切れ刃の様々なデザインを忠実に具現化するためにも、工具製造技術の向上は欠かせない。新品工具の製造手法としてはもちろん、摩耗した工具の再生を視野に入れた工具研削技術や工具コーティング技術においては、より迅速に、精度良く各切れ刃の細部まで加工できる技術が必要とされる。いささか我田引水をお許しいただくとすれば、我々は工具機上再生技術の構築にとり組んでいる<sup>4)</sup>。たとえば図9

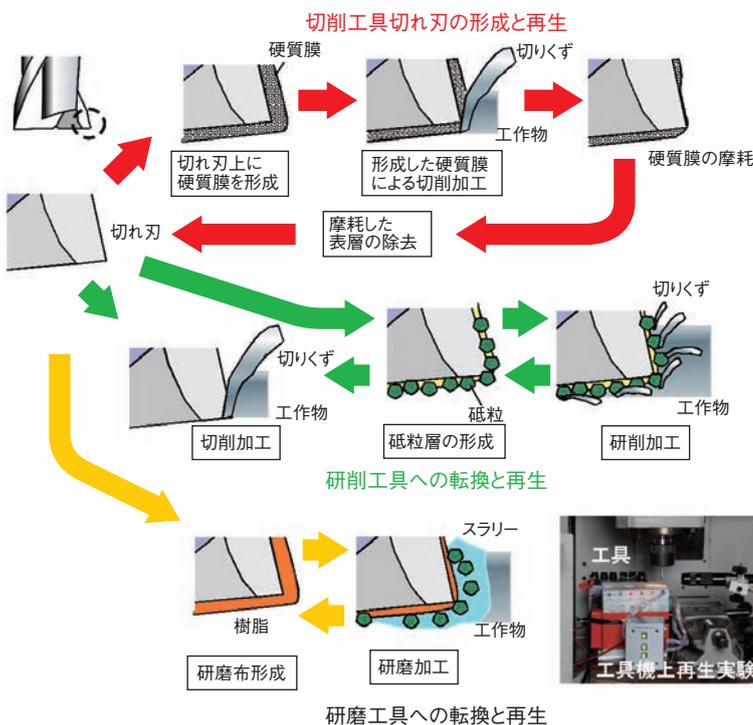


図9 工具機上再生技術の概要<sup>4)</sup>

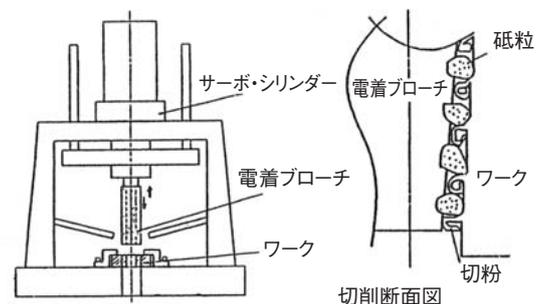


図10 超砥粒電着ブローチ加工<sup>5)</sup>

のように、工作機械にとり付けたエンドミルの表層部に電着や樹脂、あるいはプラズマ技術などを利用して硬質膜や砥粒層を一時的に形成する。それらの層を利用して加工を行い、硬質層や砥粒層が摩耗する前に、工程に応じて表層部のみを、工具を工作機械から取り外すことなく再生させるという構想を抱いている。現在は、電着工具の機上再生技術について、ようやく企業との協同研究も試みられる段階にまで到達した。NACHIでは、図10のバイブロ（振動）技術を利用した超砥粒電着ブローチ加工を実用化している。この電着工具に対して機上再生技術を適用し、摩耗したブローチ工具の機上再生をご検討いただくというのは、いかがだろうか（笑）。

## 2) ブローチ盤の高度化

環境問題や高速化を背景にして、変化の少ないように思えたブローチ盤の構成にも、少しずつ変化の兆しが見えはじめています。注目は動力系の脱油圧化と、それにとまなう電動化であろう。実際の開発事例を参照すると、NACHIのハードブローチ盤HW-5008（図11）による高速化への先駆的取り組みが記憶に新しい。

同機の開発陣によると、通常生産ラインにおけるタクトタイムはおおむね60sであり、このタクトタイム以内でブローチ加工は完了すれば良いため、従来は高速化について積極的な取り組みがなされていなかったとのことである。同機ではサーボモーターによるボールねじ駆動を採用し、従来機で5m/min～15m/min程度であった切削速度を、60m/minまでに高速化した。同機は、あくまでも焼入れ後の工作物の仕上げ加工を目的とする特殊なブローチ盤ではあるが、電動化によるブローチ盤の可能性を我々に与えてくれる商品である。



図11 ハードブローチ盤 HW-5008<sup>1)</sup>

## （電動化による高い制御性の獲得）

その可能性とはサーボモーター等によるフィードバック制御を利用したきめ細やかな動作や、プロセスの監視である。具体的には、工具速度を変化させて、剪断角を良好に保ちながら、バリを少なくした工作物の変形を少なくするような制御が期待できる。さらに、AE等の各種センサ情報を利用し、サーボのフィードバックループを活用できれば、工程中に工具の不具合を予見したりすることも不可能ではないだろう。

実際に加工ラインでは、よく次のような問題が生じるといいます。工具の切れ刃は、工具逃げ面の摩耗幅で管理される。定性的には図12のように摩耗が変遷する。精度の管理は定常摩耗から急激摩耗の領域に入ると極めて困難になるので、急激摩耗に入るまでを一般には工具の寿命としている。

## （工具摩耗の監視）

ブローチの場合は、おおむね図13に示すように、逃げ面摩耗幅が0.1mmで寿命と判断され、再研削される。旋盤加工やフライス盤加工であれば、この程度の切れ刃の摩耗では切削抵抗の増加はわずかであり、せいぜい仕上げ面の粗さが問題になる程度であろう。ところが、ブローチ加工では、複数の切れ刃が常に工作物に接しており、しかもそれぞれの切れ刃が大きな切削面積で加工している。したがって、それぞれの切れ刃がわずか0.1mm程度摩耗しただけでも、数トンもの切削抵抗の増加が生じてしまう。すると、最初は加工ができていたにもかかわらず、切れ刃の摩耗のために切削抵抗がみるみる増加して、機械の許容荷重を超えてしまう。結果として、工作物からブローチを引き抜くことができなくなるという事故が生じてしまうのである。このようなトラブルを未然に防ぐためにも、工具設計時の入念なシミュレーションはもちろんであるが、切削抵抗値の増加や、工具の破損をインプロセスで監視できる機能が期待されるのである。

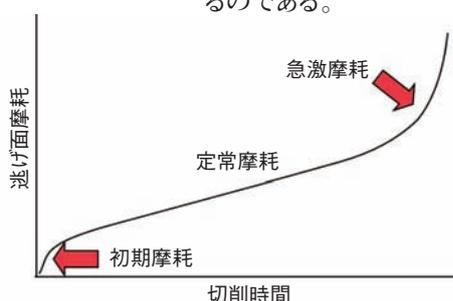


図12 工具摩耗の進行

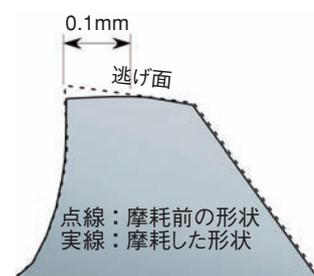


図13 ブローチの寿命

### ※5 3) マルチプラットフォーム化

最後に、ブローチ工具のマルチプラットフォーム化に注目したい。全般的に工業製品の小型化に対するニーズはこれからも変わらずに続くと思われる。そうすると、ブローチ加工は大量生産に非常に有利な加工であるために、小物あるいは微細加工への対応にも期待が膨らむ。手に取れる小さな部品の加工であれば、ブローチも手のひらのサイズですむかもしれない。そのような小さな工具であれば、切削抵抗も一般の工作機械でも許容できる範囲になるだろう。すると、何もブローチ盤のような専用機械を用いる必要はなく、通常のNC工作機械やロボットなどを利用した多彩なブローチ加工が実現できる。

HORN USA社では図14のようなCNC用の小型ブローチをラインナップし、2003年から販売している。汎用工作機械の自由度が向上し、複合化が進む現在、小物加工・微細加工への要求とともに専用工作機械以外でもブローチ加工を利用する傾向は、今後ますます増加するだろう。

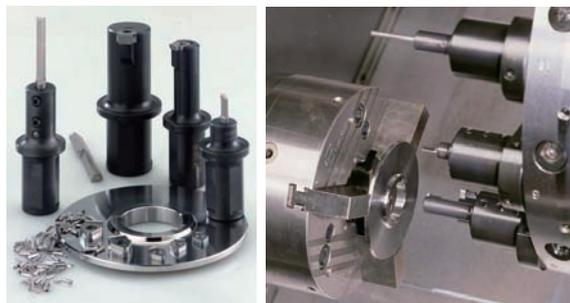


図14. HORN USA社のCNC旋盤用ブローチ<sup>6)</sup>

## 5. 円滑で静粛な高効率の動力伝達の実現に向かって

円滑で静粛な効率の良い動力の伝達は、歯車と軸の両者の良好な関係によって生まれる。穴の精度向上の鍵はブローチ加工が、軸は転造加工がその鍵を握っている。本稿においては、主にブローチ加工に関する解説を行ったが、我々技術者は、転造加工等の軸加工の技術についても同時に理解を深めておくことが大切であろう。

現在NACHIは、ブローチ工具、ならびに、ブローチ盤の世界シェアNo.1という不動の地位を築いて

いる。これは同社がブローチ加工技術だけでなく、歯切り加工技術を含めて工具材料の製造から工具の熱処理やコーティングまで幅広く手がけながら、工具を企画製造できる技術力を身につけ、様々な工作機械を内製し工具を評価できる一貫体制を地道に整備してきた成果にほかならない。リーディングカンパニーとしての同社の今後の展開に大いに注目したい。

#### 用語解説

##### ※1 ブローチ

ブローチ(BROACH)の語源は、俗ラテン語のbroccaが語源。原義は「とがったもの、大くぎ」。次に、それが酒樽などに穴をあけるのに使われたため、その道具の名前となった。

装身具のブローチ(BROOCH)も、同じ語源。

##### ※2 ニック

長い切りくずを細く分断するための刃先の切り欠けのこと。

##### ※3 工具機上再生技術

工作機械上で工具を脱着することなく、工具の形状を形成したり、摩耗した工具形状を再生したりする技術。

##### ※4 超砥粒電着ブローチ

ダイヤモンド砥粒やcBN砥粒を電気メッキにより軸に固定させたブローチ。

##### ※5 マルチプラットフォーム

IT用語で、OSやソフトウェアが、複数のハードウェア上で動作できることを意味する。本文においては、ブローチ盤でしか今まで利用できなかったブローチが、様々な工作機械上で利用できることを意図している。

#### 参考文献

- 1) NACHI精密工具カタログ、No.2301-2.
- 2) TOOL ENGINEERS HANDBOOK (2nd Edit.), ASTME, p.34-6, (1959)
- 3) 広田平一ほか：旋削工具のすべて 大河出版.
- 4) 谷 泰弘：機械技術, 51, (9), p.97.
- 5) 五十嵐秀雄・角谷宗一：焼入れ部品の電着ブローチ加工, 機械技術 39, (4), p.47-53 (1991).
- 6) <http://hornusa.com/eng/about/Press/Broaching.pdf>
- 7) 精密工作便覧, 精密工学会, p.172-176.