

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **19**B2
Sep/2009

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

超精密5軸加工機

「ナノアスファASP01UPX」

Ultra Precision 5-Axis High-Speed machine
"NANO ASPHER ASP01UPX"

〈キーワード〉 高速高精度位置決め・多軸同時制御・
超精密加工・非球面・自由曲面加工・
円弧シェーパー加工

開発本部／加工開発部／研削室

廣瀬 智博

Tomohiro HIROSE

要 旨

微細化・複雑化がすすむ超精密加工のニーズに応えるべく、超精密5軸加工機「ナノアスファASP01UPX」を開発、市場投入した。

ASP01UPXは、NACHIのこれまでの技術シーズをフルに活かした超精密加工機である。ナノグルーバで培ったリニアモーター駆動技術と制振技術、ナノアスファで培った超精密位置決め技術、多軸同期制御技術などを融合進化させることによって誕生した。

これにより、ASP01UPXは高速・高精度位置決めを実現した。これまでは、溝加工はナノグルーバ、非球面・自由曲面加工はナノアスファで行なっていたが、ASP01UPXの誕生により1台の機械で多種多様な加工が可能になった。

Abstract

We have developed and released an ultra-precision 5-axis machining machine, Nano Aspher ASP01UPX, responding to the needs of ultra-precise machining for which development of microscopic, complex technology has been progressing,

ASP01UPX is an ultra-precision machining machine in which NACHI's technical seeds budged and were fully utilized. The machine is the product of combination and further development of the technologies of linear motor drive and vibration control developed for Nano Groover and ultra-precise positioning and multiple-axis, synchronized control for Nano Aspher.

In ASP01UPX, the high-speed, high-precision positioning is achieved using above technologies. Up until now, groove machining has been performed by Nano Groover and non-axisymmetric/aspheric surface machining has been performed by Nano Aspher. A newly released, ASP01UPX is capable of various types of machining.

1.ASP01UPXの開発背景

これまでの超精密加工ニーズは、ピックアップレンズ、カメラレンズ、コンタクトレンズなどの $\phi 100$ 以下の軸対称非球面形状の金型加工が中心であった。NACHIでは、ASP01A¹⁾、ASP005Pでこれらのニーズに対応してきた。次に、レーザービームプリンタなどに使われる $f \cdot \theta$ レンズなど軸対称形状ではない自由曲面形状の金型加工のニーズには、ASP01Xをフライカットによる加工機として提供してきた。

現在の超精密加工は、省エネルギー化の促進や使用する光線の短波長化によってこれまで以上の形状精度、面粗さが要求されている。例として、ハイビジョンの映像を高密度で記録するBlu-Rayのピックアップレンズ金型は、形状精度 $0.1 \mu\text{m}$ 以下、仕上面粗さRa数nm程度の仕上げが要求されている。

また、従来の用途に加えて、HUD(ヘッドアップディスプレイ)を代表とする車載用光学ユニットや、医療機器・バイオ機器といった分野で新しい超精密加工ニーズが創出されつつある。さらに、必要とされる光学形状も用途によって多様化している。例として、非球面・自由曲面形状に溝加工を加えた微細光学素子金型、超精密平面に球面・非球面形状のレンズ型を数百個レベルで並べたレンズアレイ金型などが挙げられる。近年、加工の微細化・複雑化がさらにすすんできており、これらの加工ニーズに対応できる機種の開発が必要になってきた。

一方、NACHIでは、液晶導光板金型用プリズム溝加工機ナノグルーバ²⁾を提供してきた。V溝などのプレーナー加工を通してリニアモーター駆動による高速送りのノウハウを得てきた。

今回、これまでナノアスファ・ナノグルーバで培った超精密加工の技術シーズを進化・融合させ、これらの加工用途に対応できる「ナノアスファASP01UPX」を開発・市場投入した(図1)。



図1 ナノアスファASP01UPX

2.超精密5軸加工機ASP01UPXの特長

まず、今回開発・市場投入した超精密5軸加工機ナノアスファASP01UPXの主な仕様を紹介する(表1)。

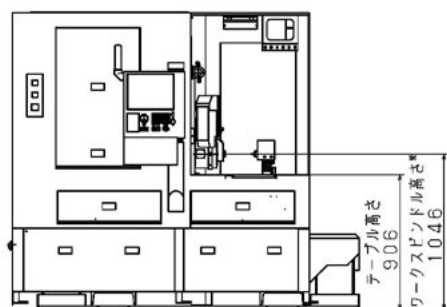
表1 ナノアスファASP01UPXの主な仕様

項目	仕様
加工ーク	サイズ 切削加工:最大φ100 研削加工砥石軸垂直:最大φ30 研削加工砥石軸水平:最大φ20
X軸テーブル	駆動系 油静圧スライド、リニアモーター
	ストローク 350 [mm]
	移動速度 ~2,000 [mm/min]
	スケール分解能 0.034 [nm]
Z軸テーブル	駆動系 油静圧スライド、リニアモーター
	ストローク 300 [mm]
	移動速度 ~2,000 [mm/min]
	スケール分解能 0.034 [nm]
Y軸テーブル	駆動系 油静圧スライド、リニアモーター
	ストローク 170 [mm]
	移動速度 ~2,000 [mm/min]
	スケール分解能 0.034 [nm]
機上計測装置	カウンタウェイト 非接触型空気圧シリンダ
	軸受方式 油静圧軸受
B軸テーブル	回転数 30 [rpm]
	スケール分解能 0.000018 [deg]
	軸受方式 空気静圧軸受
C軸テーブル (ワークスピンドル)	回転数 10~1,500 [rpm]
	スケール分解能 0.000018 [deg]
	計測方式 倣い方式
機械本体	計測範囲 ±75 [deg]
	本体寸法 (W×D×H)※ 2,335×1,830×2,000 [mm]
除振装置	本体重量 約6,000 [kg]
	構造 懸垂型構造

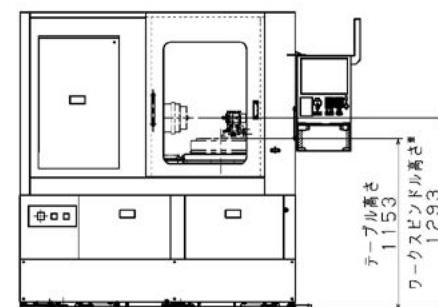
※突起物を除く

1) 従来比6倍の2,000mm/min送り

NACHIが得意とする油静圧軸受技術と、ナノグルーバで培ったリニアモーター駆動を組み合わせ、従来比約6倍の各軸2,000mm/minの高速送りを実現し、加工サイクルタイムを短縮、高速送り加工や多軸同期制御加工に対応する。



a) ASP01UPX



b) ASP01X(従来機)

図2 従来機との作業高さの比較

NACHIでは、これまでF5~10mm/minといった低速加工速度を重視し、油静圧ねじによる駆動方式を採用してきたが、今回の開発ターゲットからリニアモーターによる駆動方式を採用した。また、高速処理・高分解能対応の「数値制御装置 NACHI Nucleus PNC-XP」を搭載することにより、停止時および低速送り時の位置決め偏差のみならず高速送り時の輪郭精度を確保している。

2) 懸垂型除振構造の採用

超精密加工における外乱には、振動・熱膨張・電気ノイズが挙げられる。とくに、振動は主軸スピンドル・工具刃先を通して加工面に模様として転写されてしまうため、ワーク金型の品質や最終製品の品質に繋がる。また振動は、トラックや鉄道車両の通過を発生源とする床振動と、工作機械自身が発生する振動に分けることができる。

光学金型向けの加工機械に限らず、超精密位置決めを要する装置には一般的に除振装置を備えており、床から伝わる振動を減衰・除去している。

今回、直動軸の高速化を図るにあたり、機械自身が発生する振動の抑制が課題となった。従来構造の除振装置では振動を抑制することができず、高速高精度位置決めおよび超精密加工を実現することが困難であることが分かった。

NACHIでは除振装置の構造を見直し、懸垂型構造を採用することにした。これにより、機械重心高さで機械を支持できるようになり、送りテーブルの加減速時の揺れに対して強い構造とすることができた。また、テーブル高さを従来機よりも低く抑えることができ、作業性も確保できた(図2)。

3. 多軸同期制御加工法の実現

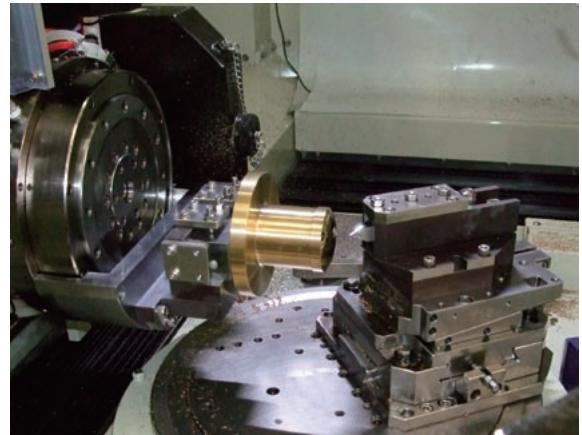
ASP01UPXは、先述のとおりナノアスファだけではなく、ナノグルーバの特長も継承しており、ナノグルーバシリーズのプレーナー加工およびV溝加工、ナノアスファシリーズの非球面・自由曲面加工に対応できる。また、高速高精度位置決めの実現や多軸同期制御技術の向上により、実現可能になった加工法をここで紹介する。

1) プレーナー加工・シェーパー加工

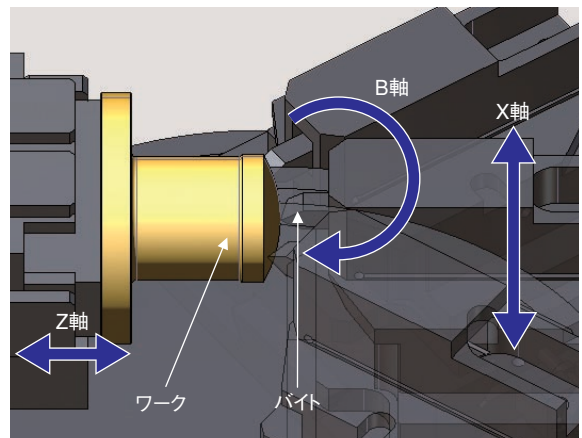
プレーナー加工は、ナノグルーバAMGシリーズにおいて液晶導光板のV溝の加工や直線回折格子の加工に提供してきた。ASP01UPXにおいても、リニアモーター駆動の採用による高速送りの実現で加工が可能になった。ASP01UPXでは、V溝加工だけでなく自由曲面形状の切削方法の一つとして提供する(図3)。

従来機における自由曲面形状の加工法は、フライカット方式が主流であった。従来機との加工法の比較を表2に示す。フライカット方式では、加工に長時間を要するため、加工室・環境の温度変化の影響を受けやすい問題があった。ASP01UPXは、シェーパー加工を採用し、加工時間を従来の10分の1に短縮して温度変化の影響を小さくした。

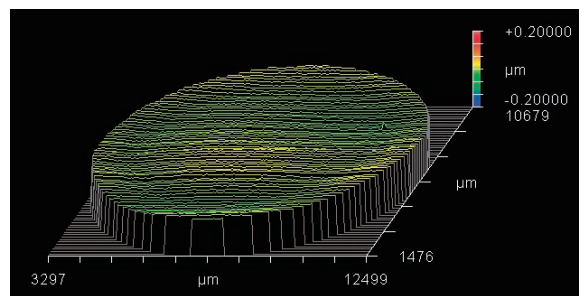
図3では、球面金型の加工に際して、X-Z-B軸の同期を実施している。加工は、送り軸X軸に同期して切込軸のZ軸および工具回転軸のB軸が動作する。同期制御により工具すくい面をワークに対して垂直に保つことができ、工具逃げ角の干渉を配慮することなく安定した高精度加工ができる。自由曲面形状のプレーナー加工を実施できる点がナノグルーバと異なっている。図3(c)は、R50球面の形状測定の結果である。形状精度を表すPV値は、 $0.080\mu\text{m}$ と非常によい結果を得られた。



a) 加工中の写真



b) 加工概略図



c) 加工結果例(凸R50球面中央付近)

図3 シェーパー加工例(球面加工)

表2 自由曲面加工例(φ50 R50凸面)

	ASP01X(従来機)	ASP01UPX
加工法	フライカット	シェーパー加工
加工速度	50mm/min	2,000mm/min
送り速度	300mm/min	2,000mm/min
加工時間	50H	5H
温度影響	大	小

2) 円弧シェーパー加工 (特許申請中)

本加工法は、高速高精度位置決め、多軸同期制御、制振技術の向上により実現可能となった加工法である。本加工法は非球面形状のレンズアレイを高精度に加工することを目的としている。加工原理を以下に示す。

C軸の位相にあわせてX軸とY軸を高速でオシレーションさせ軌跡で円弧を描く。この軌跡の接線方向にバイトすくい面を常に直角に向ける同期制御により、非球面加工が可能になる(図4)。これにより、図5のようにφ100程度の平面ワーク上にφ数mm程度の非球面形状を多数持つレンズアレイに対しても本加工法で対応できるようになり、ワーク形状に応じた加工法の選択の幅を広げることができる。

加工結果を図6に示す。形状精度を示すP-V値も0.07μm以下と非常に良好な加工精度を得ることができ、光学金型として使用できるレベルの加工面を得ることができた。

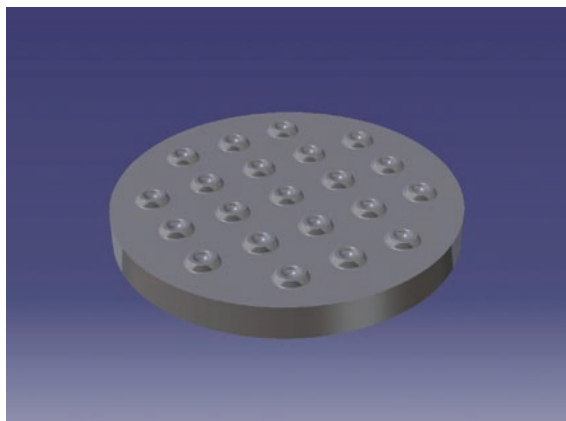
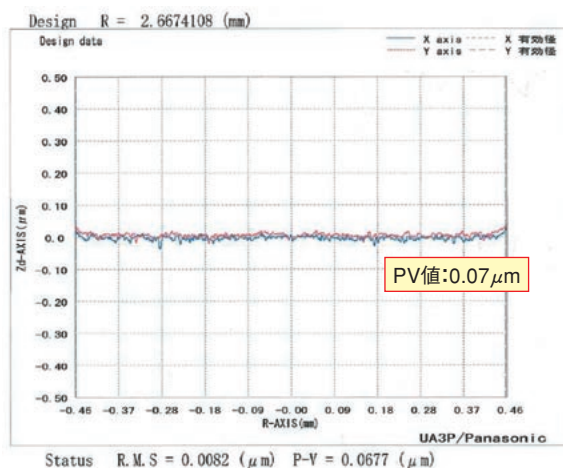
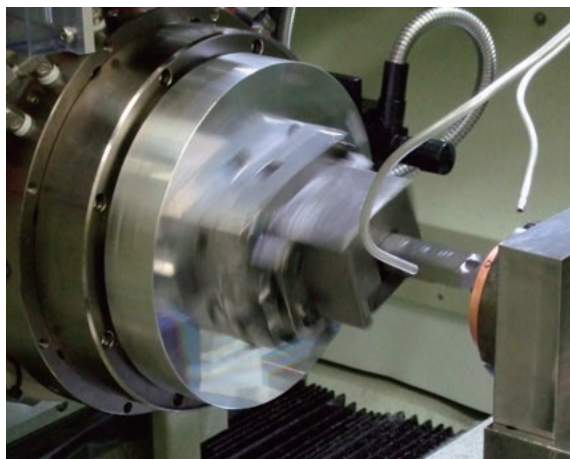


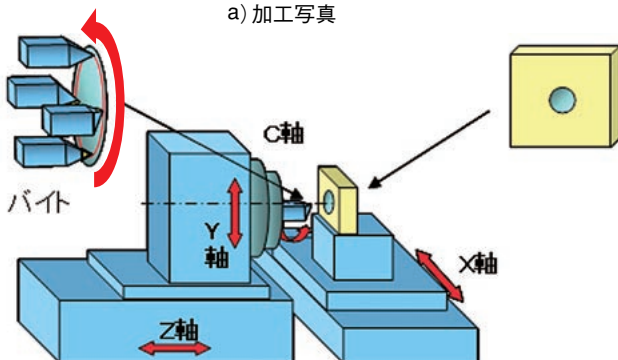
図5 レンズアレイワーク (イメージ)



a) 形状測定

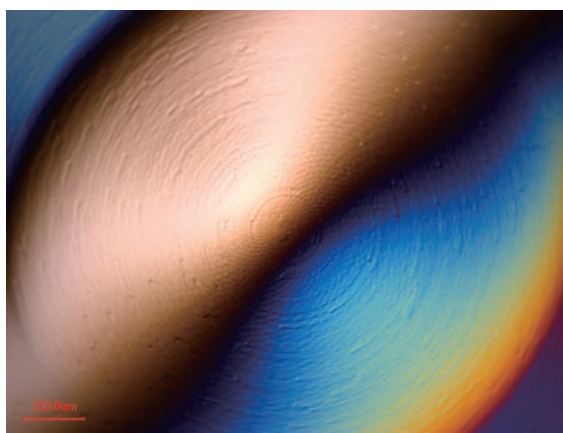


a) 加工写真



b) 加工概略図

図4 円弧シェーパー加工



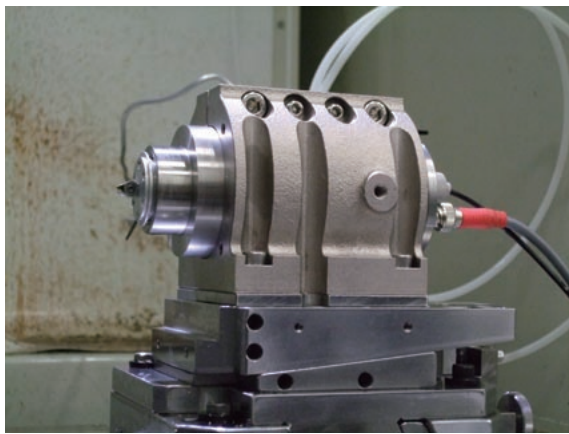
b) 実体顕微鏡写真

図6 レンズアレイ加工例 (材質:無電解ニッケルメッキ)

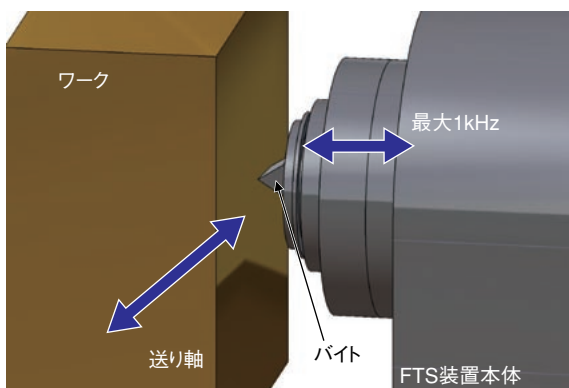
3) Fast Tool Servoによる微細形状の加工

※4
 FTS装置 (Fast Tool Servo:超精密加工用高速工具サーボ装置) は、独立行政法人産業技術総合研究所 岡崎祐一工学博士の研究グループと共同開発にとり組み、NACHIにて商品化した装置である(図7)。FTS装置は、工具近傍の軽量な部分のみを圧電素子で駆動させており、高速応答性に優れている。圧電素子は、ヒステリシス効果を持っているため位置決め精度に問題があるが、本装置ではフルクロズドループを採用し、高い位置決め精度を実現している。

本装置は、ナノグルーバ向けオプションとして開発したが、ASP01UPXにおいても微細形状の連続加工を可能にするオプションとして提供する。NACHIの強みとして、送り軸に同期した微細加工を実施できるため、正確な位置決めを必要とする加工も可能であり、数 μm 程度の微細で多種多様な形状の加工が可能になった。図7の装置を用いて加工を実施したワーク写真と、加工形状の一例を図8に示す。



a) FTS装置



b) 加工概略図

図7 超精密加工用高速工具サーボ装置 (FTS)

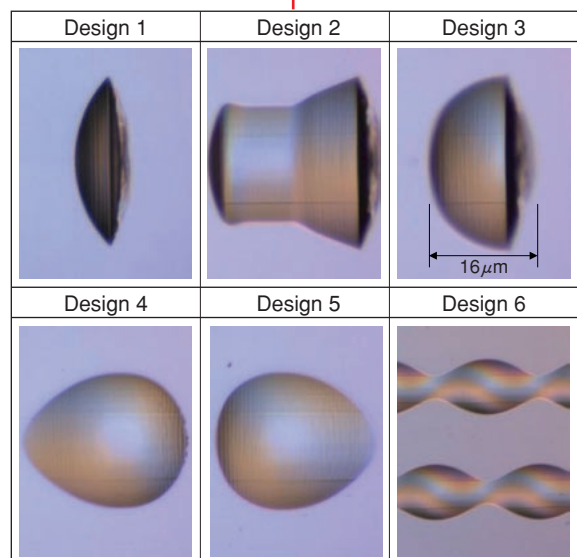
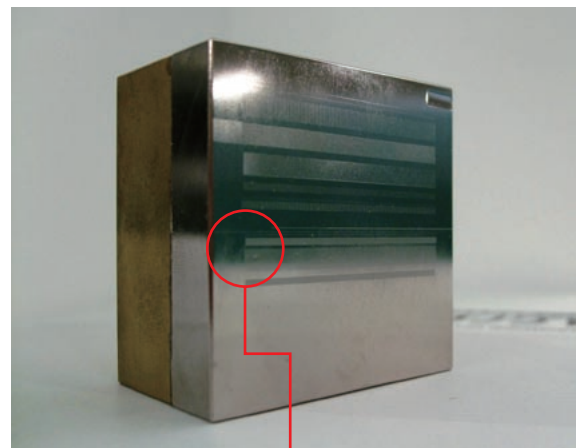


図8 FTS装置による加工例(□50ニッケルメッキ面)

4. ナノアスファシリーズについて

NACHIでは、ASP01UPXの他にもターゲットとするワーク形状、サイズ・要求精度に応じた「ナノアスファASPシリーズ」をラインナップしているので紹介する。

1) 量産型非球面加工機

ナノアスファASP005P

ワークサイズがφ50までの非球面金型を量産加工するのに適している。段取り用のY軸と工具観察用の顕微鏡を搭載し、工具類の芯高さあわせ作業や刃先をB軸回転中心にあわせ込むといった段取り作業に要する時間の短縮を図っている(図9)。



図9 量産型非球面加工機 ナノアスファASP005P

2) 超精密非球面金型加工機

ナノアスファASP01A

送り軸には、NACHI独自の油静圧ねじを採用し、静圧ねじ送りでは世界初となる1,200mm/minの高速送りを実現している。高精度の機上計測装置を搭載し、次世代DVDなどのピックアップ用金型加工機に適している(図10)。また、静圧ねじによる駆動方式は、研削加工に使用するF5~10mm/minといった低速領域ではリニア駆動よりも優れると考えられ、性能を十分に引き出すための研究も引き続き取り組んでいる。



図10 超精密非球面金型加工機 ナノアスファASP01A

5. 医療・バイオ・環境へ

今回紹介した超精密5軸加工機「ナノアスファ ASP01UPX」は、NACHIが持つ技術シーズをベースとし、多様化する加工ニーズに対応する高速・高精度な非球面・自由曲面加工機である。

NACHIの超精密加工機は、これまでに光学市場やデジタル家電市場で培ってきた超精密加工技術・機械要素を活かし、確実なものづくりで従来市場の枠を超えた、医療・バイオ・環境分野の超精密加工のニーズにおいて、安心と信頼のブランドを確立していく。

用語解説

※1 f・ θ レンズ

歪曲特性(f・ θ 特性)を持ったレンズで、像の大きさが入射角に比例する。通常のレンズは、像の高さが $y=f \cdot \tan\theta$ で表現されるが、f・ θ レンズは $y=f \cdot \theta$ で表現される。

レーザープリンタのレーザーはポリゴンミラーで反射し、f・ θ レンズを通過して感光ドラムに照射される。このときf・ θ レンズを通過することによりスポットの走査速度が一定になり、各画素を等しい間隔で描画できるようになる。

※2 HUD (ヘッドアップディスプレイ)

ユーザーが必要な情報を透明なディスプレイに映し出す装置。映し出される情報は、無限遠の点に結像されるため、利用者が視点を切り替える必要が無い。

※3 プレーナー加工

ワークを取付けたテーブルに往復運動を与え、刃物をこれと直角な方向に送って切削をおこなう加工法。一方、ワークを固定し工具を送る加工法をシェーバー加工という。

※4 FTS

FTSはNACHIの日本国内における登録商標です。

関連記事

1) 森 健治:超精密高速送り非球面金型加工機「ナノアスファ ASP01A」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.12 B3、February (2007)

2) 阿閉 克彦:液晶導光板金型用プリズム溝加工機「ナノグルーバ AMG62P」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.13 B3、June (2007)