

NACHI-BUSINESS

Machining news

Vol. **7** B2
May/2005

マシニング事業

マシナリー

■ 新商品・適用事例紹介

次世代DVD用非球面加工機

「ナノアスファ ASP-E」

Next-generation Aspheric Generator for DVD
"NANO ASPHER ASP-E"

〈キーワード〉 次世代DVD・カメラ付き携帯電話・ピックアップレンズ
金型・非球面・機上計測・研削加工

機械工具事業部／プレジジョン製造所／技術開発部

越後 敬介

Keisuke Echigo

“ナノアスファ”とは、
「ナノメートル単位(1 μ mの1/1000)」
「アスファは、Aspheric(非球面)」
ナノメートル精度で非球面形状を加工する機械という意味合いを込めた。

要 旨

デジタル放送が開始され、ハイビジョンなどの高画質な映像を長時間録画するために次世代DVDが求められるようになってきている。^{※1}

次世代DVD用のピックアップレンズには、記録密度を高めるため、従来に比べて小径で深い形状、高い形状精度が求められている。

高い品質のレンズを安定して供給できるよう、NACHIは、これまでデジタル家電市場で培ってきたナノレベルの超精密加工技術、機上計測技術、機械要素・制御技術をさらに高め、今後市場の拡大が期待される次世代DVD市場に対して、超精密、特殊形状のレンズ金型を高能率で加工できる非球面加工機「ナノアスファ」を開発し、市場投入した。

Abstract

The next-generation DVD has been sought for the long-hour recording of high-resolution pictures like high vision since digital broadcasting started.

Smaller diameter and deeper shape with higher precision in shape are required in the pick-up lenses for the next-generation DVD for higher recording density.

Nachi further improved the ultra-precision machining technology of Nanometer level, in-line gauging technology and machine component/control technology that have been developed for the digital home appliance market in order to supply the high-quality lenses consistently. Furthermore, Nachi has developed and marketed the aspheric surface processing machine "Nano Aspher ASP-E" that machines ultra-precision, special-shape lens mold with high efficiency as the market for the next-generation DVD is expected to grow in the future.

1. 微細化・高精度化がすすむDVD市場

NACHIは、油静圧スライド、静圧ねじ、空気静圧スピンドルなどの静圧技術を開発し、デジタルカメラ、カメラ付携帯電話、DVDピックアップレンズなどの精密レンズ金型加工用非球面加工機やレーザービームプリンター^{※2}のF θ レンズ金型加工用自由曲面加工機^{※3}などの超精密加工機を開発・販売し、好評を得ている。

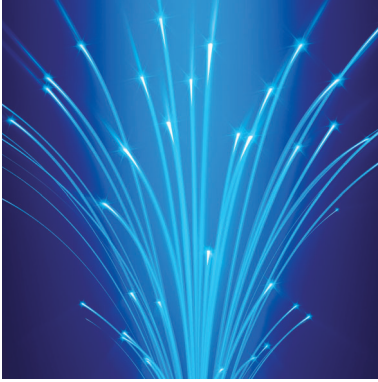
高画質のデジタル放送の開始を背景に、従来のDVDの記憶容量を約5倍に増大した次世代DVDの需要拡大が見込まれている。

次世代DVD用の記録、再生用のピックアップレンズは、記録密度を高めるため、従来のDVD用と比較して小径で深い凹形状と、波長の短い青色の使用により数十nmオーダの高い形状精度が必要となる。そして、次世代DVDの量産を実現するには、より高精度なピックアップレンズ用金型を、今まで以上の高い生産性で加工することが求められている。

NACHIは、次世代DVDのピックアップレンズ金型を超精密・高能率で加工できる「ナノアスファ」を世界で初めて量産機として開発、市場投入した。(図1)



図1. ナノアスファ ASP-E



2. 次世代DVDに求められる加工・計測精度

DVD(デジタル多用途ディスク)は、ピックアップレンズで集光した光スポットを用いてデータの記録、再生を行なう。CDの約7倍の記憶容量をもち、データや音楽だけでなく、映像やテレビ番組も記録、再生できることから、これまで世界的に普及してきた。

一方、2003年末から、地上波デジタル放送がスタートし、当初の計画を上回るペースで世界各地に普及する見通しである。音声や画像がデジタル信号として配信され、高画質放送、双方向データ通信などが可能となることから、各家電メーカーでは、より記憶容量の大きい次世代DVDシステムの開発をすすめている。

次世代DVDは、ハイビジョン放送の長時間録画に必要な記憶容量を確保するため、ディスクの記憶密度を高めるとともに、半径2mm以下の微小な非球面形状で、外周部の傾斜角70°程度の極端な凸状レンズを採用し、光スポット(読み取り)面積を従来の1/5以下にする必要がある。(図2)

そして、微小なピックアップレンズの複雑形状を加工するため、これまでの金型加工機にはない超精密加工技術、計測技術が必要不可欠となる。

項目		DVD	次世代DVD	次世代DVDの特徴
性能比較	記録容量	4.7GB	27GB以上	次世代DVDは、DVDの5倍以上
	ハイビジョン録画時間	18分	120分以上	従来のDVDでは、ハイビジョン番組を録画できない。
ピックアップレンズの仕様比較	光スポットの面積比	100%	18%	記録容量を大きくするためには光スポットを小さくすることが必要。 光スポットの直径は、 $2NA/\lambda$ に比例 光スポットを小さくするため、 ・波長の短い光を使用 ・NAの大きい深い形状のレンズが用いられている。
	レンズの開口数(NA)	0.60	0.85	
	形状	浅い形状	深い形状	
	光の波長(λ)	650nm 赤色	405nm 青色	
レンズ金型の要求精度比較	形状精度	100nm以下	40nm以下	次世代DVDの金型の形状精度は、従来の40%以下の高い形状精度が必要。 レンズ形状の計測器は、60°の範囲までしか計測できない。 次世代DVD用金型の形状を75°まで計測できる計測器を開発した。
	外周部角度	60°程度	70°程度	

図2. DVDと次世代DVDの比較

X・Z軸テーブルに完全非接触で摩擦、摩耗のない静圧スライド、静圧ねじを、また、工具旋回軸(B軸)には、油静圧軸受を採用し、超精密で円滑な軌跡

精度、回転精度を実現した。これにより、傾斜角70°の深い凹形状のレンズ金型を、40nm以下の形状精度で研削仕上げ加工することを可能にした。

3. 「ナノアスファ ASP-E」の特長

1) 超精密加工を実現する機械要素技術

静圧スライドは、テーブルと案内面の間に高圧の油を外部から送り込み、テーブルと案内面の隙間に高圧の潤滑膜を生じさせテーブルを支える機構である。軸受面全体を高圧の潤滑油膜で支える効果により、摩擦が極めて低く、バックラッシュなどのガタがない、案内面の形状精度以上の高い真直度を実現した。摩擦による摩耗の影響が全くないため、高い精度を長期間維持できる。

(1) 油静圧スライド・静圧ねじ

超精密非球面加工機のスライドの構造を、図3に示す。スライドを油静圧で浮上させているだけでなく、送り用ねじ、ねじを支持する軸受も全て油静圧で浮上させており、完全非接触のスライド機構を実現している。

油静圧ねじは、油静圧軸受の技術をねじに応用したものであり、非接触、低摩擦、高精度、バックラッシュレスの特長がある。静圧ねじは、油静圧で浮上するため摩擦による外乱がなく、モーターの回転運動を直線運動に1/10~1/20の縮小率で変換する効果により、モーター単体の性能以上に高い位置決め分解能を実現し、加工中の外乱に対して高い制御安定性を可能にしている。ASP-Eでは、機械を小型コンパクトにし、精度を出しやすく、つくりこみを行ないやすい構造とし、加工点の位置を低く抑える設計により、従来の静圧スライドの軌跡性能をさらに高めている。

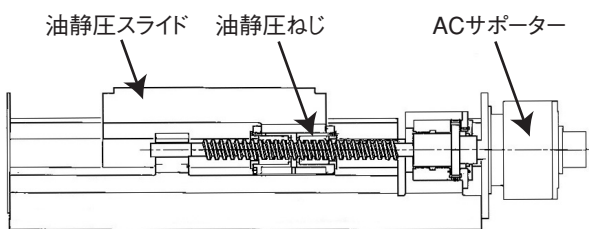
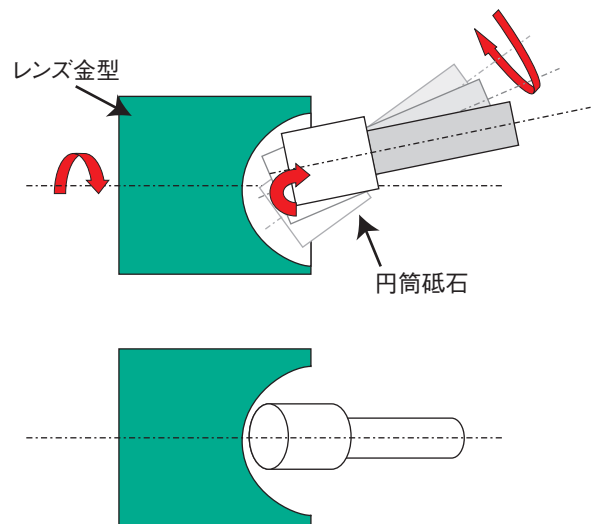


図3. 静圧スライド構造図

(2) 空気静圧スピンドル

NACHIは、超精密非球面加工機のワークスピンドル、工具スピンドルとして、空気静圧スピンドルを採用している。空気静圧スピンドルは、空気静圧軸受の技術をスピンドルに適用したものであり、平均化効果による高い回転精度と低摩擦、低発熱の特長がある。nmオーダの高精度と回転中の熱変形を低く抑え、加工ワークの高い形状精度と安定した加工精度の実現を可能にしている。

ASP-Eでは、スピンドルハウジング、軸の全てに低熱膨張材料を使用し、スピンドルの伸びをさらに低く抑え、また、静圧用空気の供給部に温度コントロールするユニットを標準で装備することにより温度変化量と、加工中の熱変位による加工位置ずれを低く抑えることができ、高い加工安定性を実現している。



- 砥石の軸径を大きくでき、軸の剛性を高くできる。
- 常に1点で加工するため、砥石の形状誤差の影響を受けにくい。

図4. パラレル研削の特長

2) 機上計測で高い生産性

ピックアップレンズ金型の超精密加工において、加工中の形状計測、補正加工が不可欠で重要な工程である。次世代DVD用レンズの特殊形状に対応するため、これまでの計測範囲 $\pm 60^\circ$ から $\pm 75^\circ$ へ拡大。また、計測再現精度を、50nm以下から20nm以下へ大幅に高めた。

(1) 機上計測装置による生産性の向上

機上計測装置により、ワークの形状を機上で計測できる。そして、ワークの着脱作業を省き、とり付け誤差分の加工時間もなくして、生産性を高めた。ASP-Eの機上計測装置を、図5に示す。
機上計測装置のプローブとして、空気静圧スライドに光学式スケールを搭載した構造を採用した。これにより、バックラッシュレス、プローブの滑らかな動きと高い分解能を可能にしている。測定には、プローブの変位が一定になるよう、Z軸を自動的に追従制御する方式を採用。それによって、プローブのストローク以上の広い測定レンジと、機上計測装置のセットアップ誤差が計測精度に与える影響を低減することを可能にしている。

ASP-Eでは、機上計測装置の応答性、追従制御精度、スケール精度、X・Z軸スライドの制御性能を高めて、ワークの計測範囲の角度 $\pm 75^\circ$ を実現。次世代DVD用金型の機上計測を可能にしている。また、計測の信頼性を高めるため、機上計測装置をY軸テーブル上に搭載した。ワーク中心ラインの正確なトレースを可能にし、計測の信頼性を高めた。

(2) ソフトウェアによる生産性の向上

非球面形状解析用ソフトには、加工ワークの形状誤差の解析や、加工ワークの形状誤差から工具のX軸方向の加工原点ずれ量、工具径の測定誤差量、砥石の摩耗量の解析を行なう機能とワークの形状誤差を補正したNCプログラムを作成する機能があり、作業者の技能に依存しない安定した生産性を可能にしている。

小径ワークの研削加工では、加工ワークの曲率が小さく深い形状が多く、工具とワークの干渉が生じ易い。NACHIでは、工具干渉チェック用のソフトウェアをオプションに準備した。立体的な工具がワーク表面をXZB軸軌跡で移動した時の干渉発生の有無、工具とワークの間隔量の確認を加工前に確認している。

(3) 1台の機械で多種類のワーク対応

ASP-Eは、研削加工による次世代DVD用ピックアップレンズの超硬、SiC材の金型加工をターゲットとしている。研削・切削仕様では、無電解Niメッキ材を用いたプラスチックレンズ金型の加工にも対応できる。

非球面金型の切削用NCプログラム作成ソフトのオプションにより、1台の機械で多種類の光学部品の加工が可能であり、光学部品の種類の変化に対してフレキシブルに加工対応することができる。

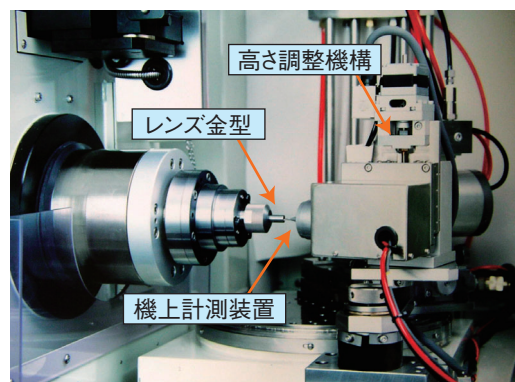


図5. 機上計測装置

3) 独自の加工技術

微小径で極端な凸状のレンズを成型するため、金型を超精密に深彫りする必要がある。これまでの算盤型の砥石形状を円筒型に改善して深彫りを可能にすると同時に、X・Z・B軸の3軸同時制御で加工を行なう新しい加工方法、^{※8}平行B研削法を採用した。

平行B研削は、従来の成型された砥石の形状精度を転写する方法と違い、常に円筒型の砥石のエッジ部で加工し、回転、位置決め精度によって超精密を実現する方法で、砥石のツーリング時の形状誤差によるトラブルを回避することが可能となる。

(1) 平行B研削

^{※9}B軸テーブルは、テーブル上に刃物台や砥石軸スピンドルを搭載し、ワークの傾きに合わせて工具を旋回させ、常に同じ点で加工するよう工具の向きを移動させる軸である。B軸を用いた平行研削の特長を、図4に示す。工具が常に同じ点で加工するため、加工精度は工具の形状誤差の影響を受けない。また、小径の金型を加工した際に、工具とワークが干渉しにくいという特長がある。ASP-Eの平行研削のセットアップを、図6に示す。

NACHIは、B軸テーブルとして油静圧軸受を採用し、モーターで直接駆動する方式による完全非接触の駆動機構の採用により、高い回転精度と加工中の外乱に対する高い安定性を実現している。

ASP-Eでは、軸の回転誤差の微小うねり成分をさらに低く抑えるため、回転軸の形状精度を高めることが可能な構造を採用。軸と加工点の距離を低く抑えることで、加工点での回転精度を高めた。

4) 操作性の向上と省スペース化

(1) PNCによる操作性の向上

^{※10}NACHIの超精密非球面加工機のNCとして、NACHIが独自に開発したPNCを採用している。多数の点列で構成された非球面NCプログラムに対応した高速プログラム処理機能や高い制御性能を実現している。

PNCを用いることで、タッチパネルを採用した分かり易い操作性、LAN接続によるNCプログラム作成・形状解析用外部パソコンとの容易な通信作業を実現している。

(2) 省スペース化、作業性を向上したカバー構造

ASP-Eでは、静圧ユニット、ベースの熱解析、振動解析などCAE解析を駆使。ユニットは機械下部に組み込み、小型化を図ったASP-01に対して、さらに省スペースを図り、設置面積60%に低減した。ASP-01とASP-Eのレイアウトを、図7に示す。機械の小型化と作業エリアの全面をフルオープンできるカバーを採用し、作業性の向上を実現している。

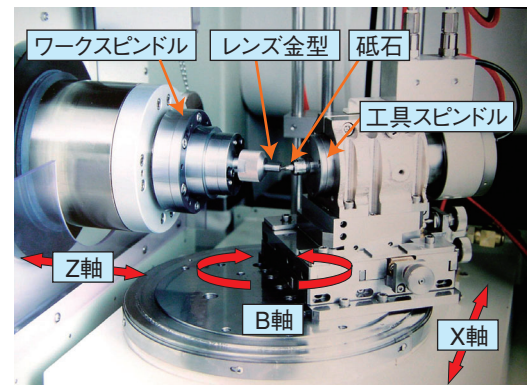


図6. 平行研削

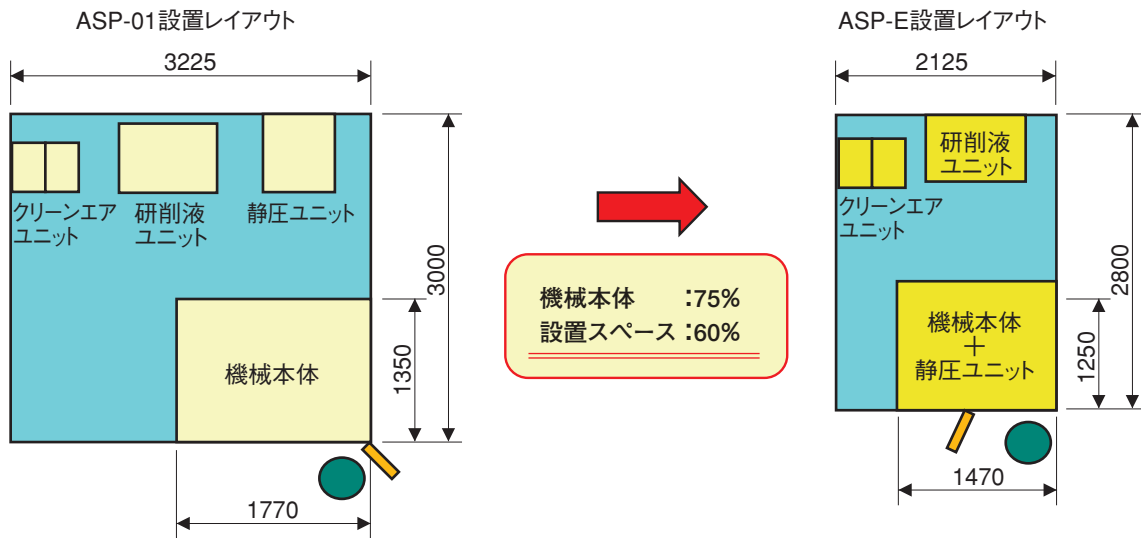


図7. ASP-01とASP-Eのレイアウト比較

4. ASP-Eの加工実例

(1) 機上計測の実例

ASP-Eのマスター球で計測したデータを、図8に示す。±70°の計測範囲にわたって、計測再現性11nmを実現している。

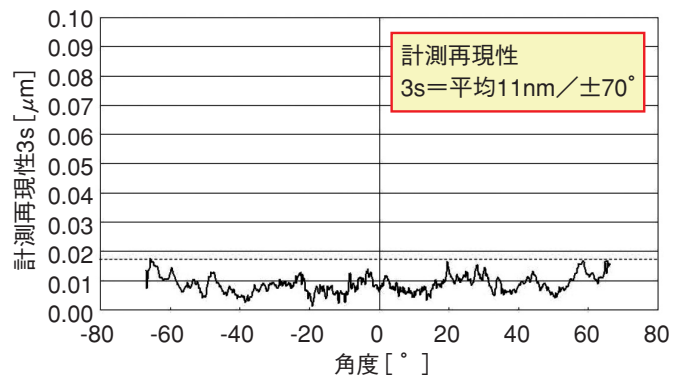


図8. 機上計測装置 計測再現性評価

(2) 次世代DVD用ピックアップレンズ用金型の加工実例

次世代DVD用レンズ金型の加工実例を、図9に示す。

- ・加工方法: パラレル研削法
 - ・砥石 : レジンボンド砥石
 - ・ワーク : 超硬
- φ4mm、R2.2mm凹非球面



図9. 加工実例

形状計測は、±70°まで行ない、その結果を図10に示す。

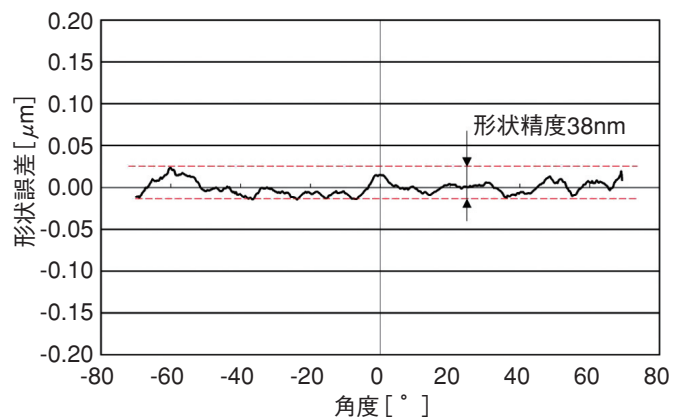


図10. 次世代DVD金型 加工精度

5. 次世代金型加工の柱へ

今回紹介した「ナノアスファ ASP-E」は、これまでの超精密機械要素技術と加工技術をベースに、加工・計測技術をさらに発展させた高機能で高精度な非球面加工機であり、次世代DVD、次世代携帯電話等の次世代金型加工を通じて光学業界の発展に貢献する。

現在、すでに大手電機メーカーをはじめ数社から引合や試削りテストの依頼を受けており、2005年度には、NACHIの超精密加工機械事業の1本の柱に成長すると見込んでいる。

これにより、ナノシリーズは次の3シリーズとなった。

●ナノアスファ (ASP-E、ASP-01、ASP-01Xなど)

加工内容：非球面光学部品用の金型を切削、研削加工。

対象ワーク：軸対象非球面レンズ用金型。

●ナノグルーバ (AMG62P、AMG42Pなど)

加工内容：ダイヤモンドバイトによるプレーナ加工で溝加工。

対象ワーク：導光板のバックライト、フロントライト用のプリズム溝金型。

●ナノフェーサ (NNF100P)

加工内容：平面研削＋フィルムラップを1チャックで行ない、加工面の面粗さをナノレベルに仕上げる。

対象ワーク：光通信コネクタの接続面。

用語解説

※1 次世代DVD

次世代DVDは、デジタル放送の高画質の映像や音声を長時間録画できる新しい規格の大記録容量DVD。

次世代DVDは、波長の短い青色レーザー光や開口数の大きい深い形状レンズを採用し、記録・再生用のスポット光を従来DVDの1/5のサイズにすることで、大記録容量を実現している。

※2 Fθレンズ

レーザービームプリンターやコピー機で用いられる自由曲面形状のレンズ。高い印字品質を実現するため高い形状精度が要求される。

※3 自由曲面加工機

レーザービームプリンターのFθレンズ用の金型など、非軸対称の自由曲面形状の光学部品用の金型を加工する超精密加工機。

※4 平均化効果

静圧軸受は、軸受隙間のエア、油の圧力を介して浮上する機構であり、軸受面全体で支持されている効果により、案内面の誤差の軸受面全体で平均した分しか影響を受けず、高い回転精度、真直度が得られる。この効果を平均化効果と呼んでいる。

※5 プロープ

ワークの形状を計測するためのセンサー。

※6 XZB軸軌跡

パラレル研削などワークの傾きに応じてXZB軸同時制御で工具を旋回しながら移動して得られる軌跡。

※7 算盤型

曲率の大きい非球面金型は、垂直に設置した砥石軸スピンドルに取り付けた算盤型砥石の外周を用いて加工することができる。曲率の小さい金型の場合は、算盤型砥石では干渉が発生するため、パラレルB研削加工などB軸に搭載した円筒砥石のエッジを用いて加工が行なわれる。

※8 パラレルB研削

B軸に搭載された円筒砥石のエッジをワークの傾きに応じてB軸を旋回させることで、砥石の常に同じ点で加工する方法。小径ワークの加工においても干渉が生じにくく、面粗さの良い加工面が得られる特徴がある。

※9 B軸テーブル

工具を旋回させるテーブル。B軸テーブルに搭載した工具をワークの傾きに応じて旋回し、常に工具の同じ点で加工する加工方法を可能とし、工具の形状誤差の影響のない高い加工精度を実現できる。

※10 PNC

NACHI製のパソコンNC。タッチパネルによる容易な操作性と高速処理を実現している。

関連記事

1) 藪谷 誠：超精密非球面加工機用機上計測システム
不二越技報Vol.54 No.1通巻116号 p.91-95

2) 水本 洋：近未来技術展望
「超精密工作機械の位置決め技術について」
NACHI-BUSINESS news Vol.4 A1、August/2004

3) 牧野哲也：液晶ディスプレイ光学素子金型加工機
「ナノグルーバ AMG92P」
NACHI-BUSINESS news Vol.2 B2、February/2004

4) 永井久司：超精密表面仕上げ加工機「ナノフェーサ NNF100P」
NACHI-BUSINESS news Vol.4 B2、August/2004