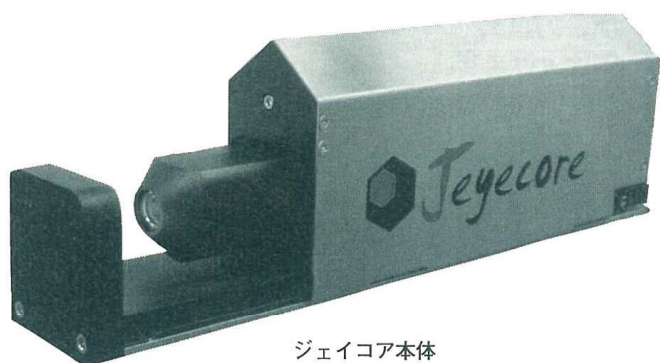


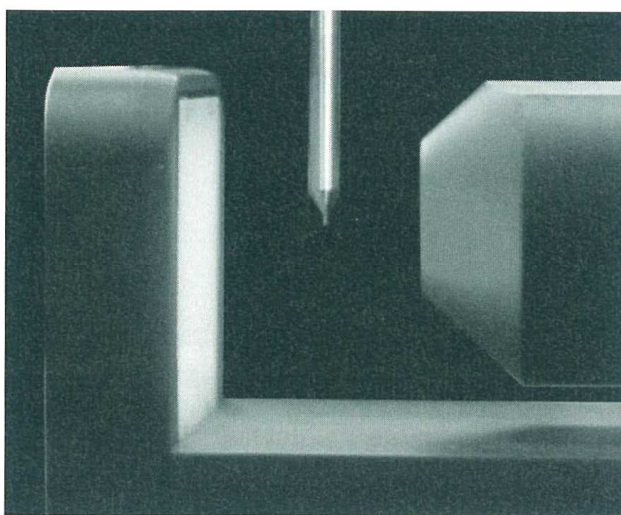
# 精密・微細加工でマシンの限界性能を引き出す 机上原点精密測定装置 『ジェイコア』の活用



ジェイコア本体

ジェイネット  
長谷川 浩幸

ジェイコア測定部



去る2005年5月25～28日までの4日間、大阪市で開催された『微細精密加工技術展』は、最終的に2万6000人以上の入場者を数え、盛況のうちに終了した。

入場者の数もさることながら、来場の方々の微細、精密加工に向ける意気込みや取組みが伺えた。それは微細精密加工に焦点を絞っている関係上、見学者と出展者における会話や説明、質問なども、具体的かつ、かなり高度で、これは今までのさまざまな展示会とは一線を画する部分であったと思われる。ある意味、単科的な展示会であったにも関わらず、遠くからの見学者が多かったのは、やはり国内における、モノづくりの付加価値を高める、あるいは生き残るための手段として有効だということを大多数の人が認識してきたものとも考えられよう。

## ●精密・微細加工の現状と問題点

さて、一方で精密加工に力を入れようとする動きが多いが、どれだけ精密加工についてのノウハウが掴まれているかという点、レベルはさまざま、よい機械、よい作業者が必要だという段階から、その上の機械と作業者は揃っているが、なかなか微細、

精密加工という領域の製品は加工が困難だということ、すでに検証済みの段階まで進んでいる企業もあって、対応も多様である。

現在、市場に出ている加工機械やツールは、それぞれが高回転、高精度を謳っている製品が多く、それ自体で精密加工が完成してしまうかのような錯覚さえ覚える。

実際に試された企業の方々も少なくないと思うが、結局は機械だけでなく、それに付随して職人も必要だという結果が多かったのではないだろうか。

なぜ、よい機械やよいツールを使うだけでは、精度の高い製品がつかれないのだろうか？ いろいろな要素はあると思うが、代表的なところから検証していきたいと思う。

## ●精密・高精度加工のために

### (1) 正確な原点と回転数ごとの変位量の把握

最初に挙げたいのは、主軸（Z）の伸びと、X、Y方向へのシフトである。主軸の伸びについては、割と知られているのだが、横方向へのシフトについては意外と知られていないという印象を先日の展示

会でも受けた。

そもそも加工機の主軸は、熱でも、スピンドルの回転エネルギーで発生する地球ゴマ現象でも変位する。

図1は主軸の変位を連続的に測定、伸びのサチュレートを確認した後、1100秒付近で停止、その後、伸びゼロに戻るまでを計測したものである。緩やかに上がっている曲線が伸び量（Z軸）、もう一方がY方向のシフト量で、伸びはグラフ左側の目盛り、シフトは右側の目盛りを参照する。

したがって、正確な原点や回転数ごとの変位量を把握しないと公差が小さい精密加工を行なうことは、もともと不可能である。

加工機の静的な精度、あるいは、ツールの静的な精度については、ある程度把握することが可能であるが、これらの動的な精度はどうなのだろうか？

### (2) 工具長測定方式の長短

一般的に市場に出回っている工具長測定用の機器は大きく分けて静止時に測定する接触式とレーザなどの光を用いて動的な精度も測定可能とされているレーザ方式の2つになると思う。

前者は安価で精度も高いために、高い普及率で使用されているが、反面、動的な測定ができないためにスピンドルの熱変位量（Z方向）やシフト量（X/Y方向）は測定できない。

後者は（当社でも使用しているのだが）動的な精度が繰り返し精度で保障される反面、ツールの先端形状や、ましてツールの種類などが変わると本当の意味での原点は取りづらくなる。

さらに小径のツールにおいてはその誤差は大きくなりやすい（図2）。

### (3) ジェイコア開発のコンセプト

これらの問題を解決し、機械の動的な精度を測定し、ツールの種類が変わっても先端の位置が把握できるものが欲しいというのが、機上原点精密測定装置「ジェイコア」<sup>1)</sup>（カット写真）開発の第一歩であった。

合わせてツールの振れや、摩耗状況まで測定できれば、無人での24時

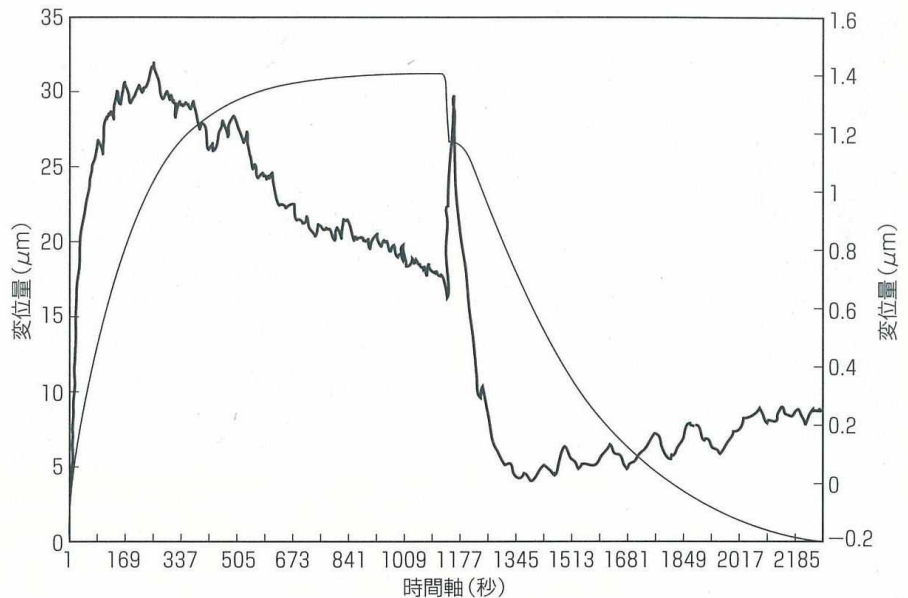


図1 スピンドルの伸びとシフト

間運転も可能かもしれない。そんな思いが、この測定装置の開発コンセプトである。

### (4) ジェイコアの主な仕様

#### ①測定項目

ツール径、先端位置、振れ量、軸傾き、ツール摩擦測定、欠損測定

#### ②測定方法

光学式（非接触撮像方式）

#### ③測定範囲

10～400 μm（～φ10mmオプション）

#### ④測定分解能

±0.1 μm（表示の分解能）

#### ⑤測定内部演算

2nm（ソフトが計算する上での最小単位で精度ではない）

#### ⑥測定回転数

0～150000min<sup>-1</sup>

#### ⑦外形寸法

本体 W50×D326×H95mm

### (5) ジェイコアのシステム

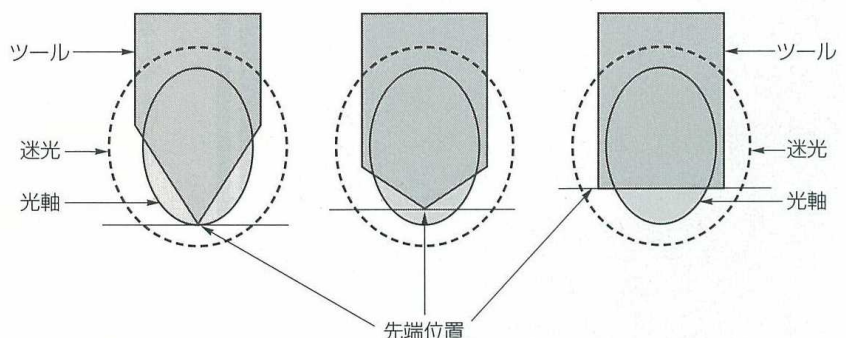


図2 遮光の形状による先端位置測定誤差のイメージ図

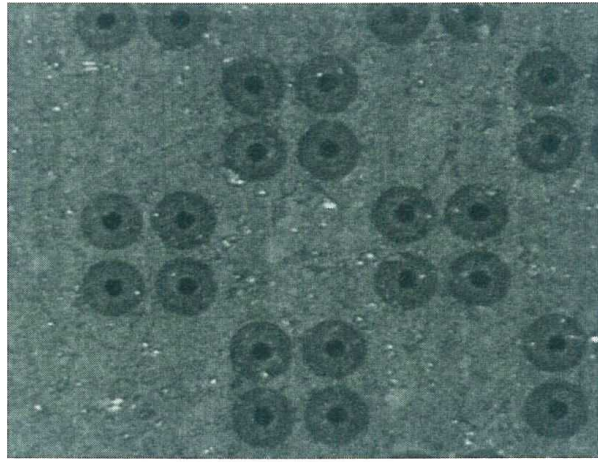
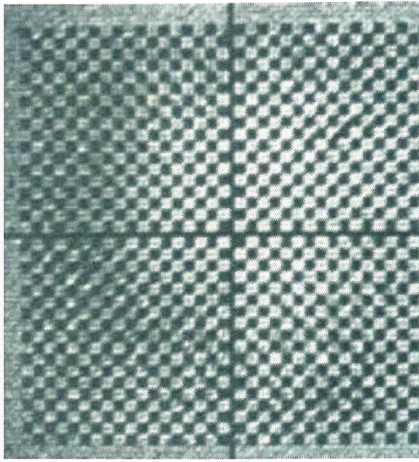


写真1 20mm角に $\phi 50\mu\text{m}$ の穴を5000個加工したもの（透過照明で撮影）と一部の拡大図（右）

し、例えば、Aの機械なら30分、Bの機械なら45分と、加工前に暖機運転を行ない、また、変位量そのものを経験的に把握することで、その変位を最小に抑え込めるパラメータをそのつど付与していた。

例えば、ドリル

加工などを行なう場合、ポイントドリルと本ドリル加工を行なう際に、シフトが起これば、ドリルはワークに対して斜めに進入し、折損してしまう。

写真1は、 $\phi 50\mu\text{m}$ 、深さ1mmの穴をカーボン入りの樹脂に5000穴あけた例で、1本のドリルで完成させている。

さらに、その穴位置精度はレンジで $5\mu\text{m}$ 以内に入っている。穴の周りに120度の面取り加工も行なっているが、これらの同心度も同じように $5\mu\text{m}$ 未満、また面取りの径公差も $5\mu\text{m}$ である。

それぞれのツールは径が異なっており、加工回転数も異なるので、伸びや、横方向へのシフト変位量も異なる。しかし、あらかじめ、これらの値が掴めていれば、このような加工も容易に可能になるのである。

### ①ジェイコアの本体

カメラ：高解像度カメラシステム

レンズ：特殊開発精密測定用レンズ

LED光源：専用開発LED（光量調整可）

シャッター：開閉機能（エアタイプ）

### ②演算用PC

デスクトップタイプパソコンまたはPCIボード供給OS:Windows-XP エクセル（リアルタイムでグラフ表示が可能）

### ③コントロールBOX

LEDドライバ、シャッターコントロール

### ④入出力信号

RS232Cシリアルポート、LAN100BASE、BCDデジタルポート（加工機本体の仕様によりオプション設定）

## ●職人的な工具先端の動的変位を把握

昔ながらの職人と呼ばれていた先人は機械、あるいは工具先端の動的な精度（変位）を体験的に把握

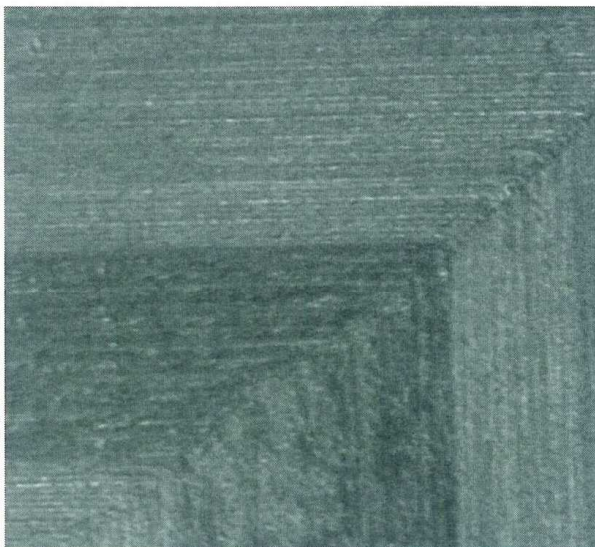


写真2 ツール変更加工における底面段差

## ●主軸回転時の動的変位、共振点を把握

顧客が当社の工場を見学して、『こんな加工機械でつくっているのか』と驚くことが多い。もちろん、微細加工の専用機はあるが、ジェイコアを活用して大抵の精密加工は旧式のマシニングセンタで仕上げてしまう。

機械にはそれぞれ特性がある。加工機械の摺動部分や回転部分のクリアランスをゼロにすることは不可能だし、熱膨張も同じようにゼロではない。常に同じ挙動が発生し、その現象に再現性があれば、これを機械の精度がわるいというのは少々酷であろう。

また、ツールや刃物の精度を疑うのも少々、優先順位が違うのではないと思われる。必要なのは、主軸を回転させたときの動的な変位（X/Y/Z）や振れに再現性があること、また、機械の共振点などのパラメータを把握することであり、これらのデー

タがあらかじめわかっているならば、プログラムで修正も可能になるし、共振点を把握していれば、その回転数域を避けた加工も可能である。

### ●ここまでできる！ 平面仕上げの実際

写真2は、 $\phi 3\text{mm}$ ボールエンドミルと $\phi 0.3\text{mm}$ ボールエンドミルにて加工を行なった平面の仕上げ面である。

両方の加工面の段差は $1\mu\text{m}$ 未満で、綺麗に仕上がっているのが確認できると思う。2つのエンドミルは径、および周速も異なることから加工回転数も異なる。

$\phi 3\text{mm}$ は $10000\text{min}^{-1}$ 、 $\phi 0.3\text{mm}$ は $38000\text{min}^{-1}$ にて加工を行なっている。今回のテスト加工を行なったNCマシンは $10000\text{min}^{-1}$ 時の主軸の伸びが、事前の計測結果から、ベアリングのオフセット $2.5\mu\text{m}$ を含めて、10分間で $8\mu\text{m}$ 伸び、サチュレートすることがわかっている（実質的な伸びはベアリングオフセットを除いた $5.5\mu\text{m}$ と考えたほうがわかりやすいかもしれない）。

一方、 $38000\text{min}^{-1}$ 時には $17\mu\text{m}$ の伸び、およびサチュレートまでは18分かかると計測されている。ツールチェンジにかかる時間は主軸の停止時間で約30秒であるから、 $8\mu\text{m}$ の伸びが収縮する量は、ベアリングのオフセットを含めないで計算すると $0.5\mu\text{m}$ である。

一方、 $7.5\mu\text{m}$ から $38000\text{min}^{-1}$ サチュレート時の $17\mu\text{m}$ までの所要時間は12分間であることが事前のテスト結果からわかっているため、ツールチェンジ後、 $38000\text{min}^{-1}$ で12分間暖機運転を行なえば、写真2のような加工が完成することになる。

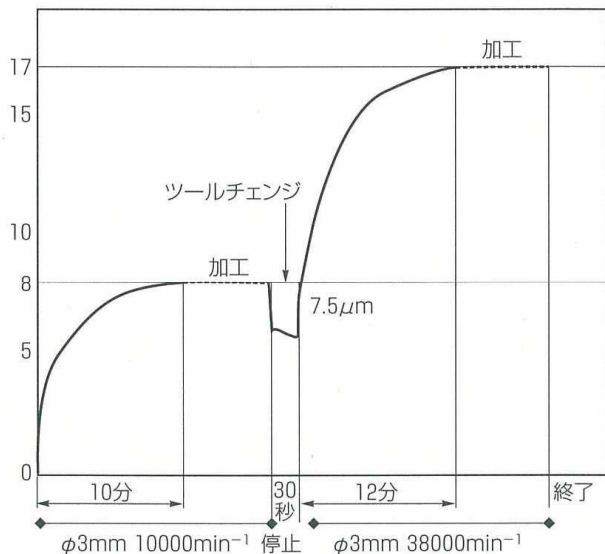


図3 ツール先端相対位置 ( $\mu\text{m}$ )

## 円筒研削加工・精密機械部品の専門メーカー

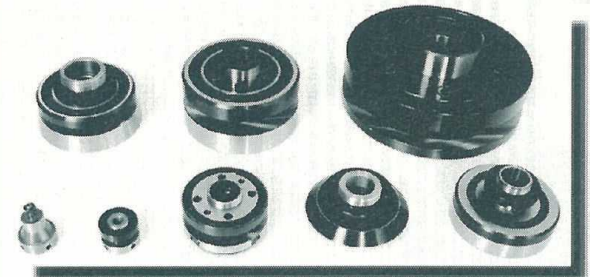
### 各種研削盤用

## 砥石フランジ

各メーカー  
対応・オー  
ダー製作可

ダイヤモンド・CBN砥石を使用した高精度研削加工用

■内面テーパ部スキ防止と耐摩耗のため熱処理をしております。油焼入れ、浸炭焼入れ、窒化処理等用途別に施してあります。



## 内径リングゲージ

■サブゼロ処理・ラップ仕上げ・正確な実測値の印字など、高精度である。

■ $\phi 6\sim\phi 60$ まで1mmとび、即納体制です。



## 外径マスター

■硬質クロームメッキ・サブゼロ処理により、錆・経年変化も少なく、耐久性に優れています。



**株式会社 稲見精密**

〒308-0001 茨城県筑西市樋口774-3

TEL.0296-25-0892

FAX.0296-25-0827

<http://www.inamism.co.jp>

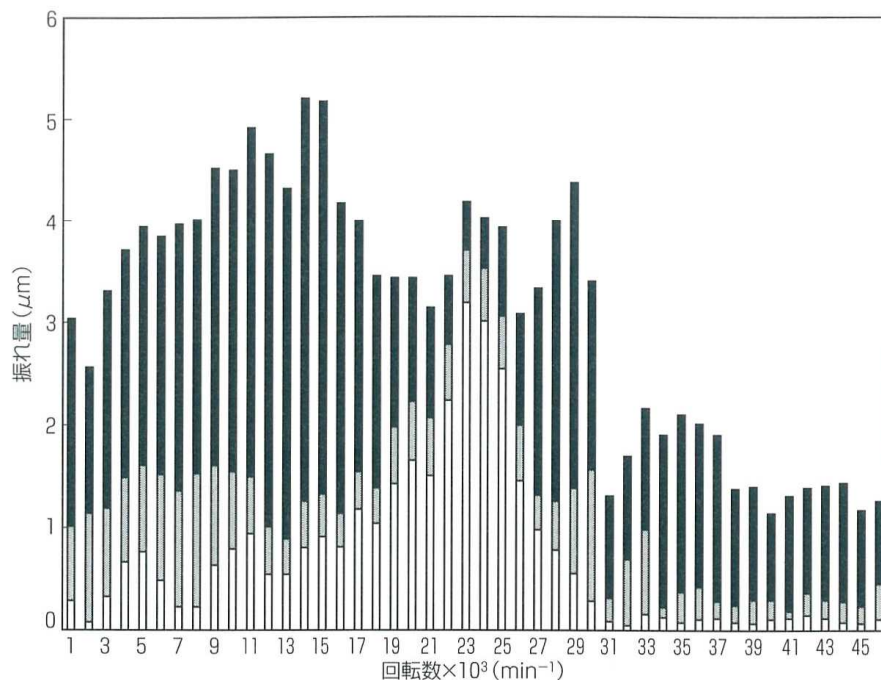


図4 回転数別主軸総合振れ量

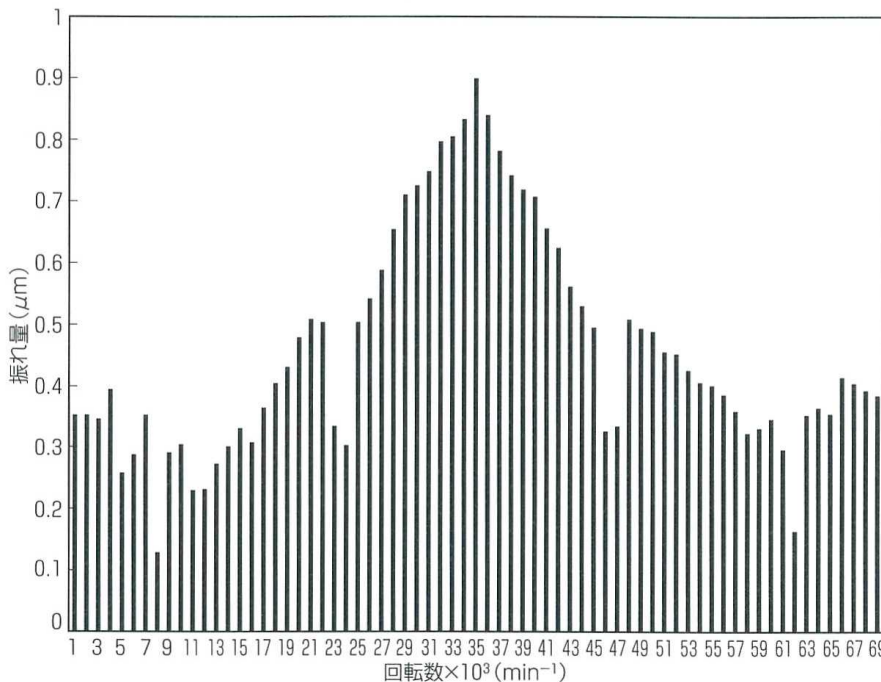


図5 スピンドル回転数別振れ量

図3は、回転開始時、停止時に起こる急激なベアリングのオフセットで、回転数に関わらず常に同じだけ変位するのが一般的である。

### ●メンテナンス目安も測定可能

以上は1例でZ方向の考慮のみに過ぎないが、実際はX/Y方向へのシフトも同様に測定することで壁面加工へも応用することが安易に実現できる。

また、機械には必ず定期的なメンテナンスも必要だが、これらのパラメータを記録しておくことで

時期を掴むことも容易になる。図4はメンテ時期が過ぎたエアスピンドルにおける回転数、要因別振れ量で、5000から50000  $\text{min}^{-1}$ までの要因別の振れ量を測定している。

また、図5は新しいスピンドルを搭載した加工機械の回転数別の総合振れ量で、6000から40000  $\text{min}^{-1}$ まで1000  $\text{min}^{-1}$ ずつ段階的に上昇させ、また逆に1000  $\text{min}^{-1}$ ずつ下降させて測定を行なったものである。

これらのデータを定期的に測定することで、ベストだと思われる状態と現在とを比較してメンテナンスや修理を行なう際の目安にするとともに、同じようにメンテナンスおよび、修理後の確認にも使用することができる。

これらのデータは絶えず変化し続けるので、少なくとも3か月に1回ぐらいの測定が必要だと思われる。

### ●精密加工は工具先端が決め手

余談ではあるが、変化の度合いはメーカーや機械によっても違うので、逆に精度のよい機械とはこれらの経時的な変化が少ない機械であると定義することもできるかと思う。

現在の加工機械の多くは、熱変位補正システムや、主軸端を新品時データのサチュレートポイントまで回転させて伸ばし、それをレーザ式の工具長測定器などで確認させて加工を行なうなどの方法が組み入れられているが、X/Y方向への変位は考慮されておらず、かつ、Z方向の変位量も経時的な変動があるので、目安程度にしか成り得ない。

本当の意味での工具の先端を取らなければ、精密加工はむずかしいといえる。

以上が、機械の動的な変位に関する検証だが、次

にツールの摩耗（偏摩耗を含む）に対する対策を検討したい。

## ●ツールの偏摩耗も測定可能

ドリル加工で、なおかつ、通り穴のような場合、工具の摩耗については折損などがない限り、ある程度容認できる範囲になると思う。

しかし、フラットエンドミルやボールエンドミル、あるいは砥石については、その加工の特性上、ワークを切削、研削する部分が必ずしも全体ではなく、場合によっては一部分しか使用されないこともある。

このような場合、刃物は部分的に摩耗が発生し、これらの摩耗量は即、製品の精度に影響する。単一的に同じ箇所を計測する今までの単純な径補正だけでは対応がむずかしくなっている。

これらの必要な部分を抽出し、確認ができれば、具体的な補正も可能になり、プログラムでの対応や、交換の時期なども数値的に捉えられる。また、単純な工具の取り付けミスや異径混入、あるいは工具自体の入荷検査にも使用が可能である。

\* \* \*

以上、さまざまなデータを示したが、私達がジェイコアを開発した背景には上記のような問題を解決して、職人がいなくても、さらにはオペレータがいなくても精密な加工が行なえるようにしたいという目的があった。

ブロードバンドが普及し、世界調達という言葉を目にする機会が多くなる中、日本の製造業における最大のウィークポイントは人件費で、逆にいえば、この部分さえ克服できれば、もともと高い技術力を持つ国であるので、市場競争力は非常に高いと考えている。

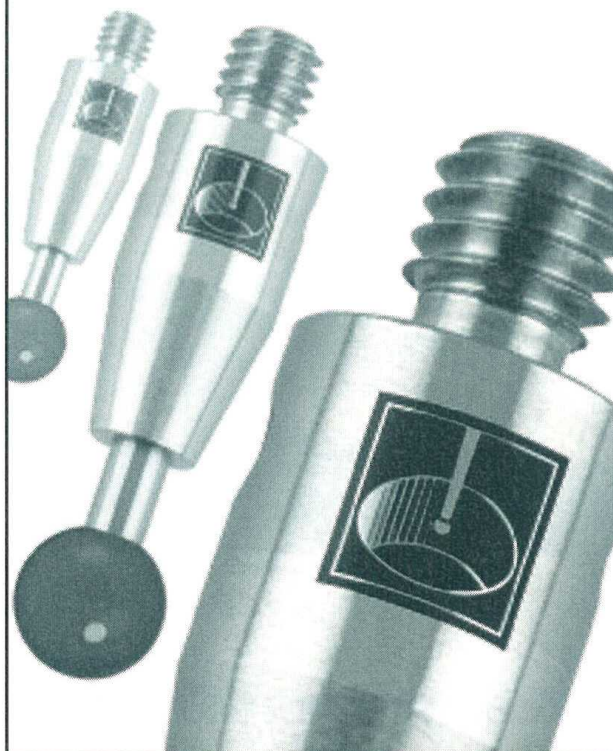
少ない仕事量を価格競争などで取り合うより、まず全体的な仕事量を増やして付加価値の部分で切磋琢磨するのが、今後の日本の製造業のあるべき姿だと信じている。

### [参考注釈]

1) 「ジェイコア」は第17回中小企業優秀新技術・新製品賞（日本工業新聞社）を受賞する

RENISHAW   
apply innovation

## 高品質の証



### 違いは品質に現れます！

なぜ？ それは、標準スタイラスで0.00013  $\mu$ m以下の真球度を保証する唯一のメーカーであり、さらに、さまざまな軸材質を用意しているからです。球材質としても標準のルビーからチッカ珪素、ジルコニアまで豊富な選択肢があり、御社のアプリケーションに最適な最高品質のスタイラスを提供いたします。

どのように最高品質と知ることができるのでしょうか？  
レニショーではブランドロゴを刻印することにしました。  
このレニショーロゴが最高品質の証です。  
(2005年8月以降、順次、刻印していきます)

2000種類以上の標準/特殊品の中から、最適なスタイラスを選択してください。

レニショースタイラスへのこだわり



レニショー株式会社

www.renishaw.com

本社  
〒160-0004 東京都新宿区四谷4-29-8  
TEL (03) 5366-5315 (代) FAX (03) 5366-5320

名古屋営業所  
〒461-0005 名古屋市東区東桜1-4-3 大信ビル2F  
TEL (052) 961-9511 (代) FAX (052) 961-9514