

回転状態で連続測定、測定誤差 $0.1 \mu\text{m}$ の位置検出装置「ジェイコア」

(株)ジェイネット 長谷川 浩幸*

最近の精密加工現場における加工技術の動向は、刃物の微小化（1mm未満径）、高速化への動きが目覚ましい。これらをもたらすメリットは、本誌の4月号で理化学研究所の安齋正博先生が書いていらっしゃるように、表面粗さの向上、形状精度の向上、切削抵抗の減少、加工時間短縮、高硬度材加工・難作材加工、難形状加工、クリーンな環境など、特に加工製造の付加価値を高めるためには、まさに必要不可欠な要素技術となっている。

また、これらの動きにあわせるように機械メー

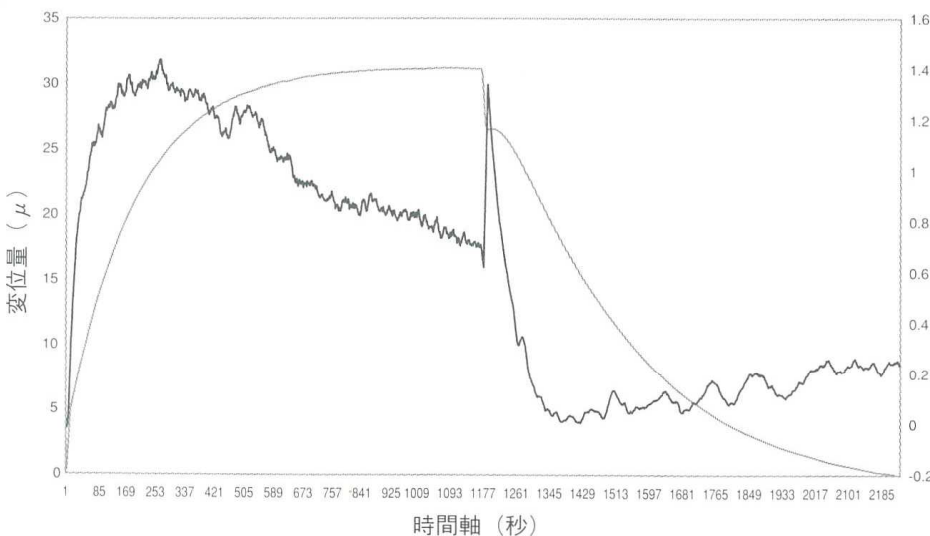
カーも、微細な位置決め、繰り返し精度、主軸の高回転化を追求し、工具メーカーでも高回転域での使用にあわせたスペックをコンセプトにしている製品を数多く見かけるようになった。

これらの製品を使用して、ものづくりを行うことは近年の日本の製造業の空洞化や価格競争に歯止めをかけられる有効な方策になると考えられる。しかし、これらの製品を使うことで誰でも簡単に高付加価値な、超精密な加工が可能になるかと言うと疑問が残るし、実際に実験しても期待された加工精度が出なかったという経験をお持ちの方も少なくは無いのではないかと思います。

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

* (Hiroyuki Hasegawa) : 代表取締役
〒343-0002 埼玉県越谷市平方 2083-1
TEL 048-973-1030

P.スピンドル



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、1,100秒付近で停止、その後、伸びがゼロに戻るまでを計測。
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
伸びはグラフ左側の目盛りで参照、シフトは右側の目盛りで参照。

図1
スピンドルの伸びとシフト

する(図1)。したがって、正確な原点を把握しないと公差が小さい精密加工を行うことは不可能である。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のようなだろうか？

昔ながらの職人と呼ばれていた先人はこれらの動的な精度(変位)を体験的に把握し、例えば、Aの機械なら30分、Bの機械なら45分というように加工前に暖機運転を行い、その変位を最小に押さえ込めるパラメータを、そのつど付与していた。

しかし、これらの変位は環境温度によっても、機械の経時的な変質によっても変化する。それらを全て把握しながら機械を操作するのは不可能では無いとしても、至難の技であることには相違ないし、一人で複数の機械を扱うとなれば難易度は極めて高い作業になることも間違いない。

また、現在の加工機械は概ねツールチェンジを行う機構が付帯されているが、ツールチェンジを行う際、主軸が停止している時間内に、どれだけの変位が起こるのかも計測しなければ実際には把握できない。またツールチェンジ後などの原点位置出し(工具長測定)についてはどうだろうか？

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

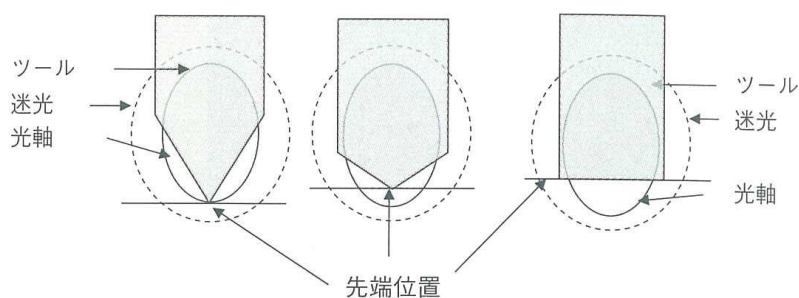


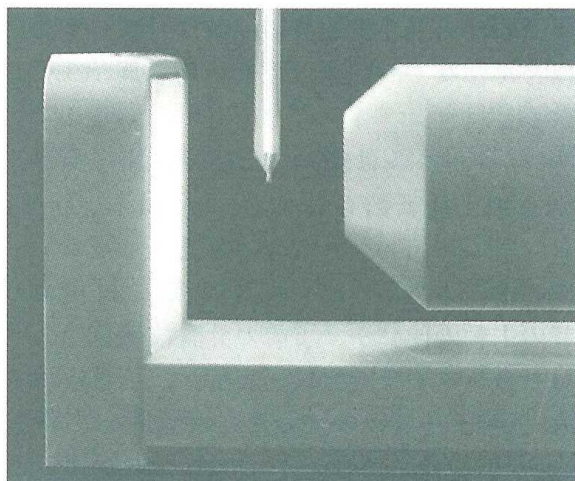
図2 遮光の形状による先端位置測定誤差のイメージ図

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、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。後者は動的な精度が繰り返し精度で保障されるが反面、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)。

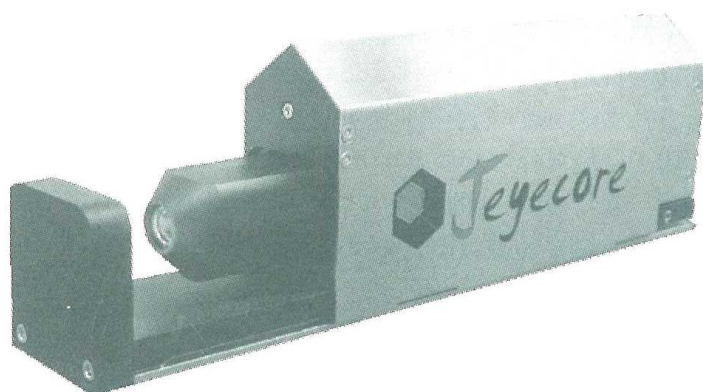
ジェイコアの開発

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、ジェイコア開発の第一歩であった。併せてツールの振れや、磨耗状況まで測定できれば、無人での24時間運転も可能かもしれない。そんな思いが、この測定器の開発コンセプトである。

例えば金型などを製作する場合、掘り込みの平



参考写真 ジェイコア測定部



参考写真 ジェイコア本体

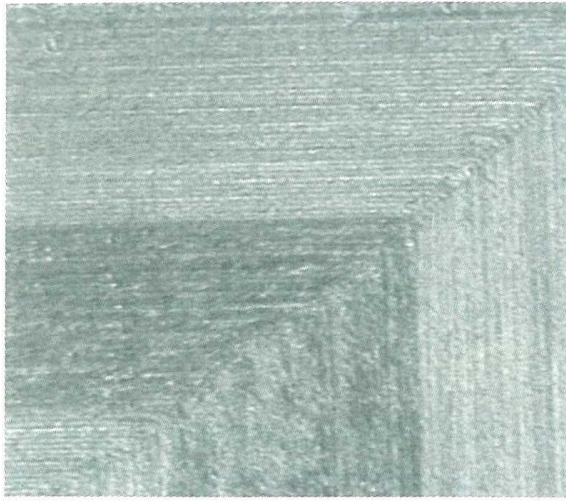


図3 ツール変更加工における底面段差

面部分は、フラットエンドミルで、壁面およびテーパ形状部はボールエンドミルで加工を行うなど、ツールを変えながらの加工は非常に頻度が高いと思われる。

こういった際に底面や壁面に段差が発生するなどの現象が現れることが多く、これを避けるために、一工程多く段取りを行い、結果的に加工時間が長くなる傾向や精度が出せない。

また、ドリル加工において特に深穴加工を行う際に最初にポイントドリルを使用して次に本ドリル加工を行う際、ポイントドリルを使用した時と、本ドリルの加工時に主軸のシフト（X/Y方向）が起こることによってドリルが斜めに進入し折損してしまうような現象など、これらは前もって機械の特性を理解していれば防ぐことができる場合が大多数で、あるが、ほとんどの加工現場で諦められていたり、あるいは、それらの現象を機械や個人の限界だと認識されていらっしゃる方が多数だと思われる。

当社の顧客が当社の工場を見学されて、『こんな加工機械で作っているのか』と驚かれることが多い。もちろん、微細加工の専用機はあるが、たいてい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

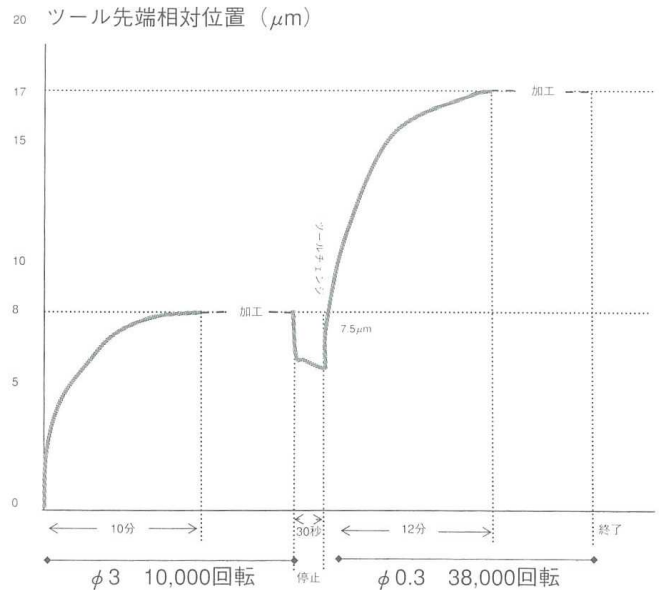


図4 回転開始時、停止時に起こる急激な変位はベアリングのオフセットで、回転数に関わらず常に同じだけ変位するのが一般的である。

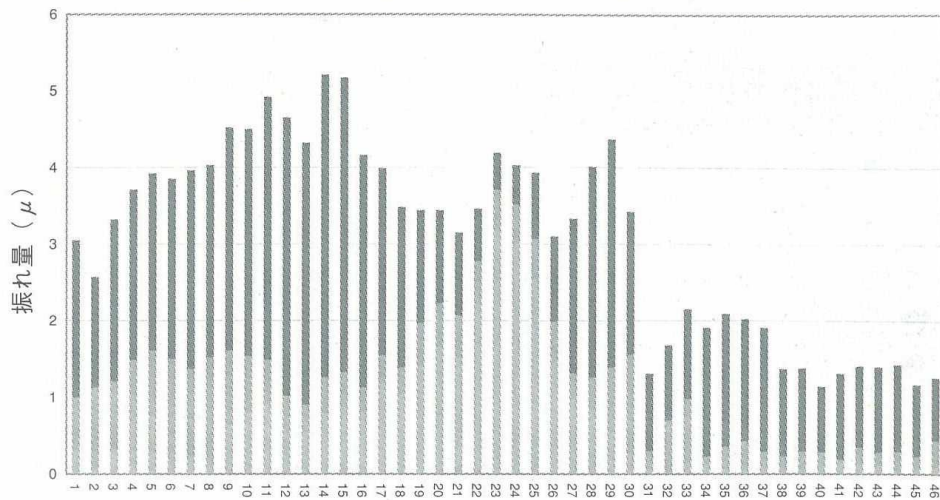
図4

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悪いと言うのは少々酷であろう。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、これらのデータがあらかじめ分かっていたら、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。

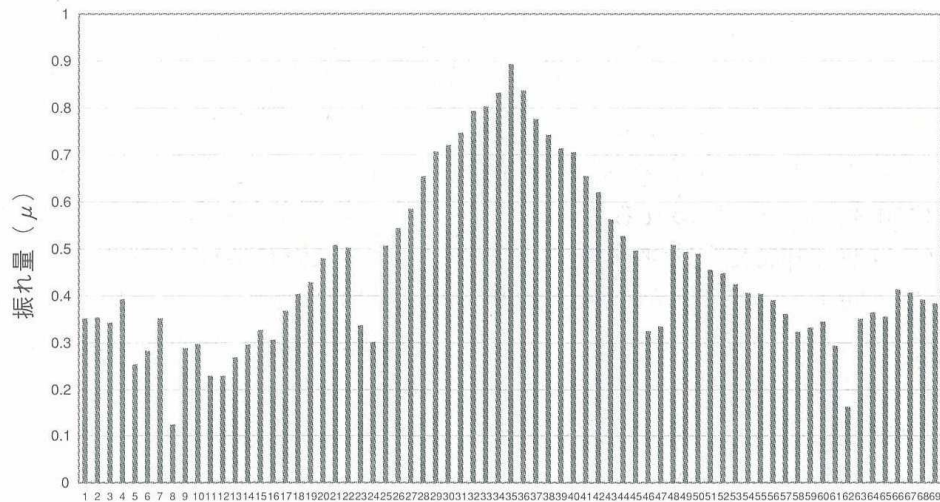
図3をご覧いただきたい、これはφ3 ボールエンドミルとφ0.3 ボールエンドミルにて加工を行った平面の仕上がり面である。両方の加工面に段差はほとんどなく、綺麗に仕上がっているのが確認できると思う。

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。φ3は10,000回転、φ0.3は38,000回転にて加工を行っている。

今回のテスト加工を行ったNCマシンは10,000回転時の主軸の伸びが、事前の計測結果から、ベアリングのオフセット2.5μを含めて、10分間で8μ伸び、サチュレートすることが分かっている（実質的な伸びはベアリングオフセットを除いた5.5μと考えた方がわかりやすいかもしれない）。



(a) 回転数別主軸総合振れ量 回転数 5,000~50,000



(b) スピンドル回転数別振れ量 回転数 6,000~40,000

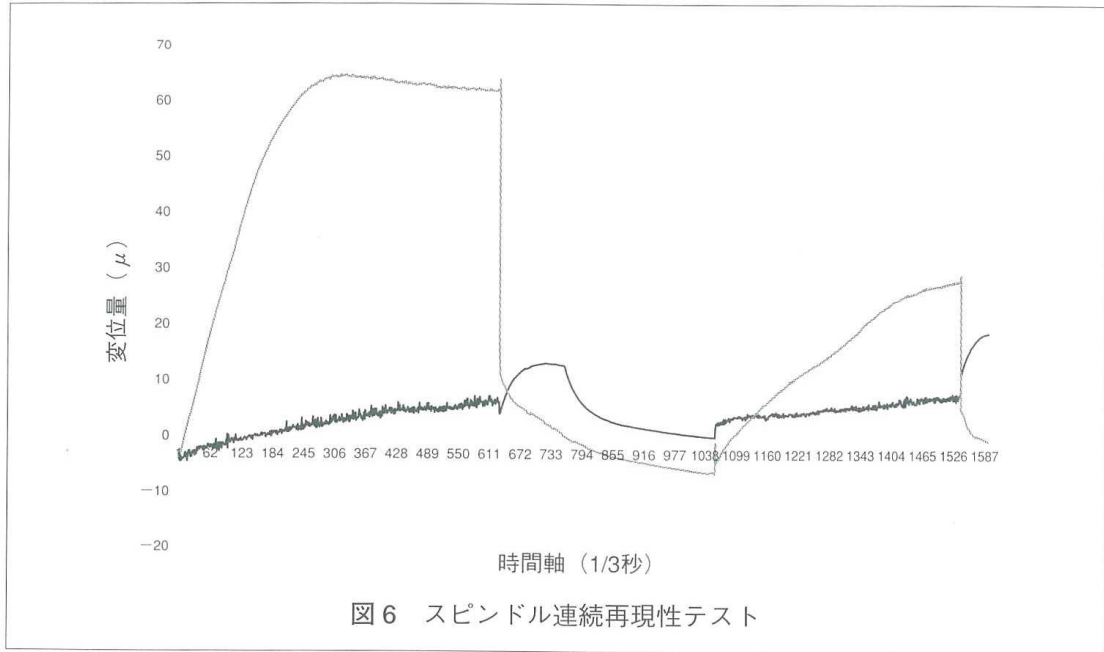
図 5

一方、38,000回転時には 17μ の伸び、およびサチュレートまでは18分間かかることが計測されている。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、 8μ 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 0.5μ 。一方、 7.5μ から38,000回転サチュレート時の 17μ までの所要時間は12分間であることから、ツールチェンジ後、38,000回転で12分間暖機運転を行えば、ご覧のような加工が完成することになる(図4)。

これは一例で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5-a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、5,000回転から50,000回転までの要因別の振れ量を測定している、また、図5-b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、6,000回転から40,000回転まで1,000回転ずつ段階的に上昇させ、また逆に1,000回転ずつ下降させて測定を行ったものである。

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カ月に1回ぐらいの測定が必要だと思われる。

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、逆に精度の良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。

逆に図6をご覧ください。これは、納入後、半年たたないマシニングを20,000回転で連続回転させた時のスピンドルの変位を連続で測定したもので、65 μ 程度まで上昇しているものが『伸び』、もう一方が『シフト』(横方向へのズレ)である。

時間軸は1目盛りが3秒となっている。まず、一回目に900秒付近で65 μ 付近まで伸び、その後2~3 μ 戻る傾向がある。シフトはサチュレートせずに7.5 μ 程度まで変位し、さらに動き続けている。

30分で一度停止させ主軸伸びがゼロに戻るまでの時間を計測したのだが、マイナス方向まで変位し続けた。そこで再現性を確認するために、再度24分間20,000回転で稼働させたが、一向に前回と同じ挙動を見せることなく、またサチュレートも起こさなかった。

これらの一連の動きはたぶん、熱変位補正のソフトの影響だと思われるが、逆に使いづらいプログラムになっていると判断される。

一般的に考えて、こういった挙動を示す機械で少なくとも公差が50 μ 未満の加工を行うのは至難の技だと思われる。またサチュレートを起こすまでの時間はイコール加工が行えるまでのアイドルリング時間になることから少なくとも24分間回しても伸びが止まる傾向を見せない機械は加工時間の増加も懸念しなければならないだろう。

熱変位のプログラム自体は書き換えが可能なものもあるので、こういったデータの場合はメーカーへの報告と対策を相談すべきである(図1の機械における再現性は0.2 μ 未満であった)。

☆ ☆

以上、さまざまなデータを示したが、本来はこういったデータが簡単に取得できれば、超精密加工への足がかりになるし、無人での全自動運転へのステップにもなると考える。

また、これらのデータ取りが一般的になり、国内のものづくりが一段階上昇し、国際調達が標準化される中で日本の付加価値が上がり、もって製造業界が盛んになることを願ってやまない。