



技術情報

多品種少量生産における高精度加工の実現

工作機械の精度を決めるひとつの要素として、動作条件の急速な変化に対応できるかが重要な項目として挙げられます。なぜなら粗加工から仕上げ加工へ移行する際、工作機械への機械的・熱的な負荷が精度に大きな影響を与えるからです。同様の負荷変動は少量生産時においても生じます。セットアップ工程から加工仕様までが絶えず変動すると精度にさまざまな熱偏差をもたらします。

しかしながら、とりわけ少量生産においては、利益を求めつつ厳しい加工公差を要求される生産が行えるかどうかは、その機械精度によるところが大きくなります。したがって、そのような状況では、工作機械の熱に対する精度が重要な役割を果たします。

このような背景から、送り駆動が非常に重要となってきています。高速送りと高加速度は送り駆動に大きな負荷を与え、発熱を起こします。リニアエンコーダなどで位置測定を行わない場合、温度上昇により予期せぬ規模の位置偏差が発生します。例えば1mのスチール製ボールねじの温度が20°Cから45°Cに加熱されると、熱膨張は250µmに至ります。(スチールの熱膨張係数:1°Cの温度変化で10µm/m)

工作機械の熱安定性

工作機械業界では、ワークに熱による寸法偏差が発生することを防ぐ方法が、より重要になってきています。アクティブ冷却、熱対称構造および温度測定などの熱対策は、既に一般的になっています。

温度ドリフトは主に送り軸のボールねじが原因で起こります。ボールねじに沿った温度の分布は、送り速度と駆動力により敏感に変化します。リニアエンコーダを使用しない工作機械では、長さの変動が起こったことにより、ワークに重大な欠陥が発生します。

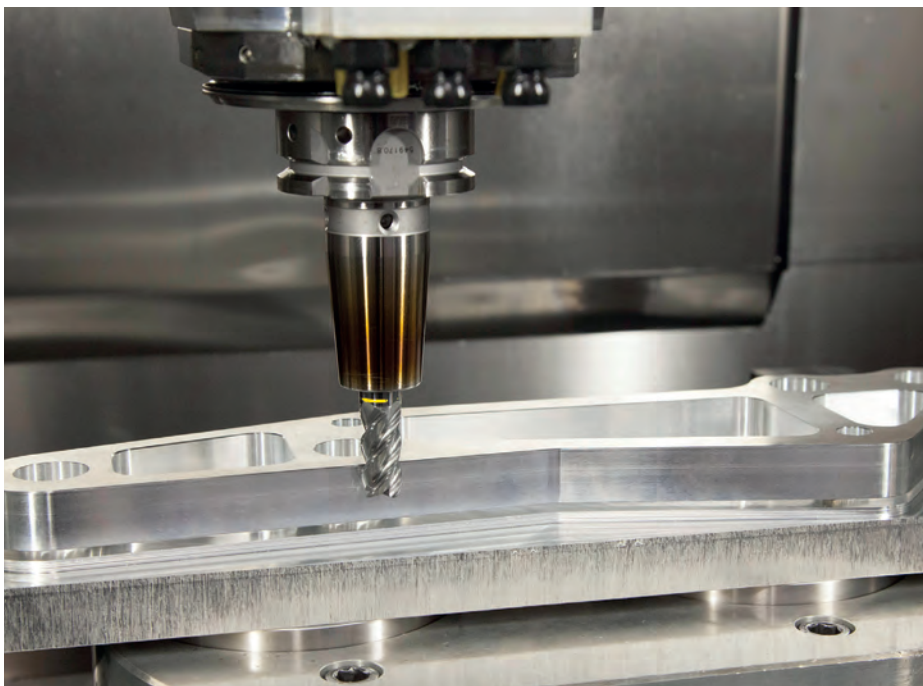


図1 代表的な加工状況

送り駆動における位置測定

NC 送り軸の位置は、概ねボールねじとロータリエンコーダの組合せ、あるいはリニアエンコーダにより測定されます。

もし、スライド位置が送りのボールねじのリードとロータリエンコーダで決定される場合（図 2）、ボールねじは 2 つの役割を果たさなければなりません。すなわち駆動システムとして、大きな力を伝達しなければならない一方、測定装置として高精度な位置値とリードの再現性を要求されます。しかし、位置制御ループはロータリエンコーダのみしか含んでいない（すなわち、ボールねじから先の機械系を含んでいない）ため、摩耗や温度による駆動機構の変化を補正することができません。これは Semi-Closed Loop 動作と呼ばれています。この駆動の位置誤差は避けがたく、加工部品の品質に少なからぬ影響を及ぼします。

もし、スライド位置の測定にリニアエンコーダが使用される場合（図 3）、位置制御ループは送り機構全体を含みます。それゆえ、これは Closed Loop 動作と呼ばれており、機械の伝達要素の遊びや不正確さは位置測定の精度に影響を及ぼしません。測定精度は、ほぼリニアエンコーダの精度と取付け位置のみに左右されます。

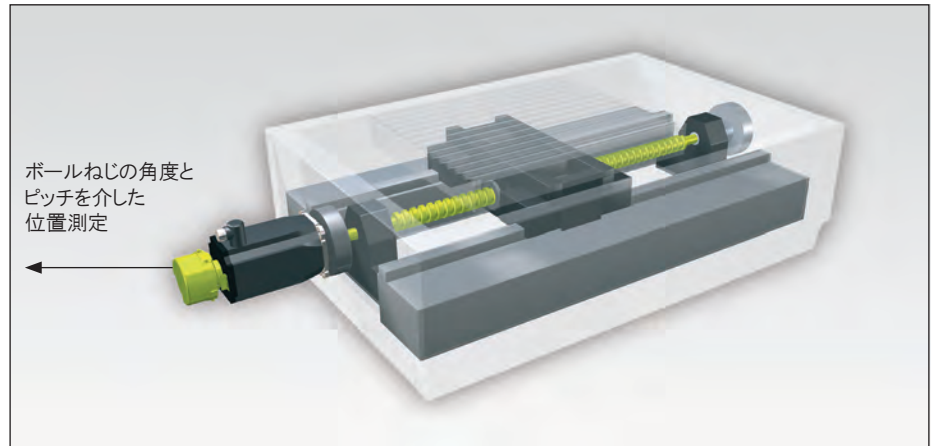


図 2 ボールねじとロータリエンコーダのみでのSemi-Closed Loopモードによる位置フィードバック制御

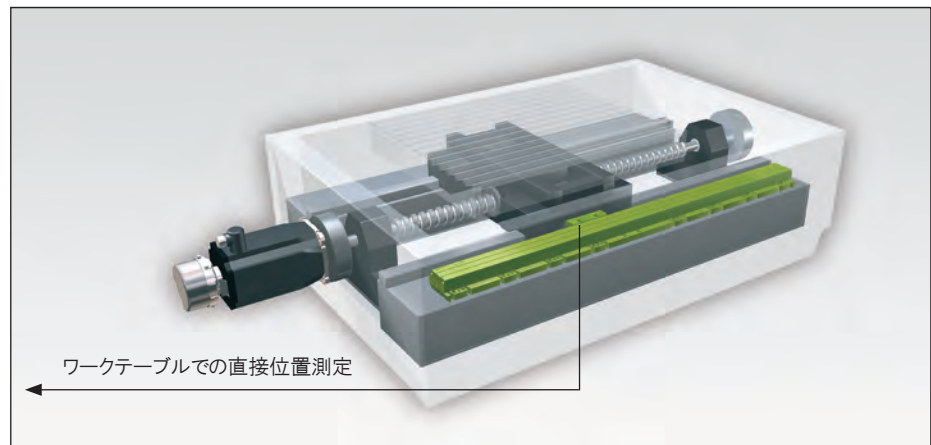


図 3 リニアエンコーダを用いたClosed Loopモードによる位置フィードバック制御

駆動精度の証明

例：輪郭のミーリングおよびドリル加工

この例では Closed Loop モードと Semi-Closed Loop モードでの駆動精度の違いを説明しています。輪郭加工はワークテーブルでの高速送りがないため、比較的難しい動作です。加工の送り速度は最高 3.5 m/min です。350 mm の距離にある両端の 2 つの穴を 40 回ドリル加工し、輪郭がミーリングされます。加工時間は 5 分 30 秒で 2 つの穴の公差は ± 0.02 mm です。

加工作業中、ボールねじ駆動の温度は断続的に上昇します。Semi-Closed Loop での位置測定を行った結果、40 回行った加工のうち、指定された公差を満たすことができたのは最初の 25 回だけでした。25 回目以降の加工では熱上昇が臨界点に達し、ボールねじ駆動の熱膨張が公差 ± 0.02 mm を超えてしまいます。最後の加工での偏差はちょうど 70 μ m でした。

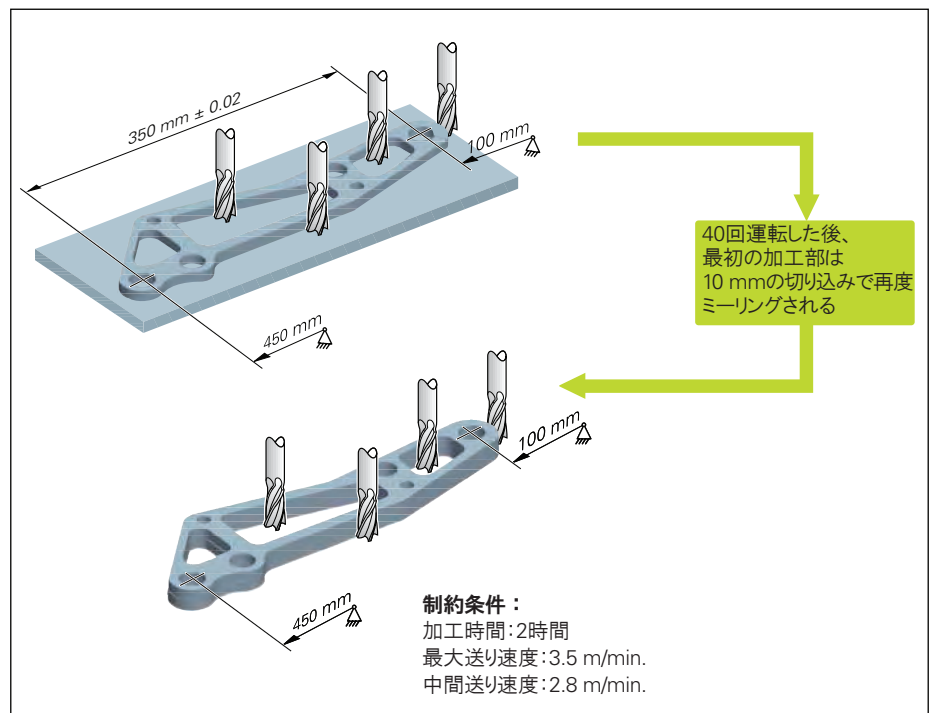


図 4 結合レバーの製作
▲= ボールねじ軸受け固定点

40回の加工の後、Z軸方向への送り半減する2度目の最初の加工では、この偏差が明らかになります。この方法で加工された2つ目の穴は、2度目の輪郭ミーリング加工と同様に、既存の穴のへりの部分に明らかな偏差が生じます。これはボールねじ駆動の熱膨張に起因し、70 μmの偏差をもたらします。

一方で、リニアエンコーダを用いたClosed Loopでの位置測定は、ボールねじ駆動の熱膨張やその他いかなる影響も受けません。比較として上述の加工例を行いました。Closed Loop制御ではスクラップが生じず、部品はすべて指定された公差内で加工されました。40回の加工の後、Z軸方向への送り半減する2度目の最初の加工では、へりの部分に明らかな偏差は発生しません。



図5 結合レバー：同じ形状を2度加工した例

まとめ

製造要求を十分に満たすには工作機械に高い温度安定性が求められ、機械精度は大きく変わる負荷条件でも維持されなければなりません。すなわち、送り軸は大きく変化する送り速度や切削力においても全移動範囲にわたり、要求精度を満たさねばならないのです。直動軸のボールねじの熱膨張は送り速度と負荷に依存し、精度に悪い影響を与えます。ロータリエンコーダとボールねじのリードによってスライド位置が決定される場合、200 μmあるいはそれ以上の位置誤差が発生します。この制御では、主要な駆動誤差は補正することができません。この制御は送り駆動のSemi-Closed Loop運転と呼ばれます。上記の誤差はリニアエンコーダを使用することにより、完全に取り除くことができます。リニアエンコーダを用いた送り装置はClosed Loopで運転されるので、ボールねじに

発生する位置誤差は位置制御ループにより補正されます。回転軸も熱膨張の影響を受けるため、角度エンコーダも同様の利点を提供することができます。以上のように、リニアおよび角度エンコーダは、工作機械が大きく変化する運転条件においても加工部品精度を保証することができます。

工作機械用リニアエンコーダ

位置フィードバック用リニアエンコーダは工作機械の高精度位置決めにとって欠くことができません。これらのエンコーダは送り軸の実際の位置を検出しますので、機械の伝達要素は位置検出に影響を及ぼしません。ここでは、運動誤差および熱の影響あるいは他の力による偏差はリニアエンコーダにより検出され、位置制御ループにより考慮・補正されます。したがって、下記の種々の誤差を除去することができます。

- ボールねじの温度特性による位置決め誤差
- 方向反転誤差
- 加工反力に基づく駆動機構の変形による誤差
- ボールねじのリード誤差による運動誤差

以上のように、リニアエンコーダは**高精度位置決め**と**高速加工**を必要とする工作機械にとって不可欠です。

NC 工作機械用のハイデンハインリニアエンコーダは多くの場所で使用されています。これらのエンコーダは送り軸がサーボループ構成である機械や装置、例えばミーリング加工機、マシニングセンタ、中ぐり盤、旋盤およびグラインディングセンタなどにとって理想的です。

これらのリニアエンコーダの優れたダイナミック特性 – 高速送りと高加速度性能 – はリニアモータと同様に高応答の従来型送り機構への使用においても重要な役割を果たします。



LC 485 測定長2040 mmまで



LC 185 測定長4240 mmまで



LC 211 測定長28 040 mmまで

参考情報

- カタログ: [NC工作機械向けリニアエンコーダ](#)
- 技術情報: [送り軸の精度](#)
- カタログ: [工作機械精度評価用計測装置](#)

ハイデンハイン株式会社

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

本社

〒102-0083
東京都千代田区麹町3-2
ヒューリック麹町ビル9F
☎ (03) 3234-7781
FAX (03) 3262-2539

名古屋営業所

〒460-0002
名古屋市中区丸の内3-23-20
HF桜通ビルディング10F
☎ (052) 959-4677
FAX (052) 962-1381

大阪営業所

〒532-0011
大阪市淀川区西中島6-1-1
新大阪プライムタワー16F
☎ (06) 6885-3501
FAX (06) 6885-3502

九州営業所

〒802-0005
北九州市小倉北区堺町1-2-16
十八銀行第一生命共同ビルディング6F
☎ (093) 511-6696
FAX (093) 551-1617