

高精度加工：熱変形・熱変位との闘い

A-MEC 株式会社代表 秋山 高広

技術士（経営工学/生産管理）・中小企業診断士（工業）



1. 問題提起

日本のものづくりにおける技術優位性でありお家芸といえるのは「高精度加工」である。私は独立前、直動ベアリングやボールねじの研削加工という $1\text{ }\mu\text{m}$ や $2\text{ }\mu\text{m}$ の精度を出さなければない工場に従事していた。そこでは、加工長さが $4\sim 6\text{m}$ の大型研削盤で μm 単位の精度を出すという離れ業を行っていた。したがって、常に熱変形との闘いがあった。例えば、冬の月曜日の朝、事前に研削盤の暖機運転をしても、空調の風の当たる方向と、その反対側では研削盤に百 μm 以上の反りが出る。これでは、とても μm 単位の精度など出るわけがないが、現場ではこれを自己管理してなんとか精度を出していた。加工経験に基づく、知恵と工夫のたまものである。最近では、こうした熱変形をセンサーで検知し、コンピューターを利用して加工条件に反映させる賢い（スマートな）加工法や機械も出てきている。

「高精度加工における熱変形・熱変位との闘い」このいわば百年テーマについて、基礎と最新動向を述べたい。

2. 熱変形とは

物体の長さは、温度上昇により元の長さに比例した量（長さ）で伸び縮みする。すなわち、

$$\Delta L(\text{伸び}) = \text{線膨張係数} \times L(\text{長さ}) \times \Delta T(\text{温度上昇})$$

この温度上昇に応じて長さが変化する割合を線膨張率（線膨張係数）と言う。ちなみに、身近な工業用材料の熱膨張係数（線膨張係数）は、以下のとおり様々である。

計算例： 1m の鉄は、10 度温度上昇すると $1000\text{mm} \times 10 \text{ 度} \times 12.0 \times 10^{-6} = 0.12\text{mm}$ 伸びる。

材料名	熱膨張係数 × 10 ⁻⁶ /K
アルミニウム	23.0～23.5
ステンレス SUS304	17.3
鉄	11.8～12.1
アルミナ	5.4
超硬合金	5.0～7.5
タンゲステン	4.5
CBN	0.2～2.9

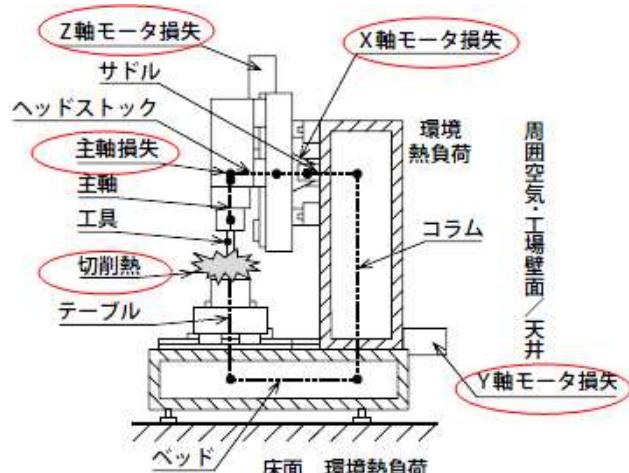
3. 工作機械における熱変形と制御

研削盤や切削加工機等の工作機械は次の部分で発熱し、これらが各部へ複雑に熱伝導する。

- 加工点の発熱 ← 切削抵抗、研削抵抗
- 主軸の回転機構部分 ← モーター発熱、軸受けの発熱、伝導機構部分の発熱
- スライド（滑動）部分 ← 滑動抵抗、駆動部発熱
本年 11 月、小職は 7 年ぶりに工作機械見本市（JIMTOF2016）東京ビックサイトへ行く機会があつた。以下、そこで収集できた最新技術動向である。

4. 熱変位対策の動向

下図は、代表的な工作機械である立型マシニングセンターの発熱部を示したものである。



これらの熱影響に対し、近年では主要部分に温度センサーまたは位置測定センサーをつけて、リアルタイムに加工制御へ反映する考え方となりつつある。この場合、加工 Z 軸（上記垂直軸）が第 1 に対策され、次に水平方向の XY 軸がこれに準じる。

ただし、熱変位は単純なものでないだけに、機械を極力対称形にする等、熱変位単純化設計も重要となる。工作機械メーカー 2 社は、この補正により $5\mu\text{m}$ 以内で切削制御が可能としている。いずれにせよ、スマートな工作機械が始めており今後が楽しみである。

<発表者プロフィール>

A-MEC 株式会社代表取締役、
秋山経営技術研究所 代表