

アルミ部品の高精度加工（トランスミッションケース熱変位対策取組み）

High-Precision Machining of Aluminum Parts

(As Measure for Thermal Displacement of Aluminum Transmission Case Machining)

児玉文博 F. KODAMA

The thermal displacement of aluminum parts subjected to high-precision machining is a constant cause for concern. An effective method to repress thermal displacement needs to be found. Currently, high-precision machining is performed by keeping workpiece temperature constant, however this requires significant investment in coolant systems and increases production line initial outlay. The workpiece temperature compensation function we have developed is an effective solution to this problem. This function controls workpiece temperature using coolant with a temperature that follows room temperature and compensates workpiece machining coordinates on the machine side to suit changes in room temperature. As a result, coolant system investment can be reduced and a stable machining accuracy can be achieved throughout all four seasons.

Key Words: high-precision machining, thermal displacement, work temperature compensation, coolant temperature compensation

1. はじめに

当社は、インラインマシニングセンタのTOPセンタシリーズにおいて、仕上げ工程取込みのための高精度技術を開発し、市場に投入してきた。高剛性三点支持ベッドの採用により、事前に検証した精度を納入据付け時、一回で再現を可能とし、かつ長期的に安定した精度維持も可能にしている。また、次の熱変位対策を行い、高精度な位置決めを実現している。

- (1)移動物の軽量化による発熱の低減
- (2)構造物へのクーラント熱の遮断
- (3)移動物の運動に伴うボールねじの発熱による熱膨張の補正機能
- (4)室温変化による機械構造物の変位の補正機能

一方、対象工作物（以下、ワーク）に対しては、室温変化による熱膨張を抑えるクーラント温度の一定管理が主流となっており、ワーク自体の熱変位の補正は実施していない。このため、クーラント温度を一定に管理可能なクーラントシステムの構築費用がラインのイニシャルコストに大きく影響している。また、四季を通してクーラント温度の一定管理は難しく、特に夏季、冬季においては、加工座標の頻繁な修正が必要となるなどの課題がある。

そこで、今回クーラントの温度を室温に追従させ、クーラント温度変化に対してワークの熱膨張を推測し、加工位置を補正する新熱変位補正機能を開発し、加工精度の安定化を図った。

本報では、本技術の概要と加工事例について報告する。

2. 従来の熱変位補正技術

TOPセンタにおいて、熱変位に対する精度安定の考え方は「熱を抑える、遮断する、補正する」であり、この3つのアプローチで熱変位を低減している（図1）。ボールねじ熱変位補正機能（図2）は、移動物運動によるボールねじ伸び量をボールねじ先端に取り付けたギャップセンサで測定し、NCの位置決め指令にフィードバックしている。機械温度補正機能（図3）は、構造物の温度を測定し構造物の伸び量に換算し、NCの位置決め指令にフィードバックしている。この2つの機能により、設備の発熱の有無や室温変化に関係なく±10μmの位置決め（以下、ピッチ）精度を確保している（図4）。

また、クーラント温度調節で20℃と一定に管理することにより、ワークの熱膨張を抑えている。ただし、年間での工場の室温変化は10～32℃と温度差が大きい。この室温に対応する20℃一定管理のクーラントシステ

ム構築には、通常使用している室温追従のクーラントタンクシステムに比べ、約2倍のコストアップとなる。また、温度調節能力によっては、特に夏季、冬季におい

て、20℃一定管理ができない。その場合は、加工座標の修正でピッチ精度を確保している。

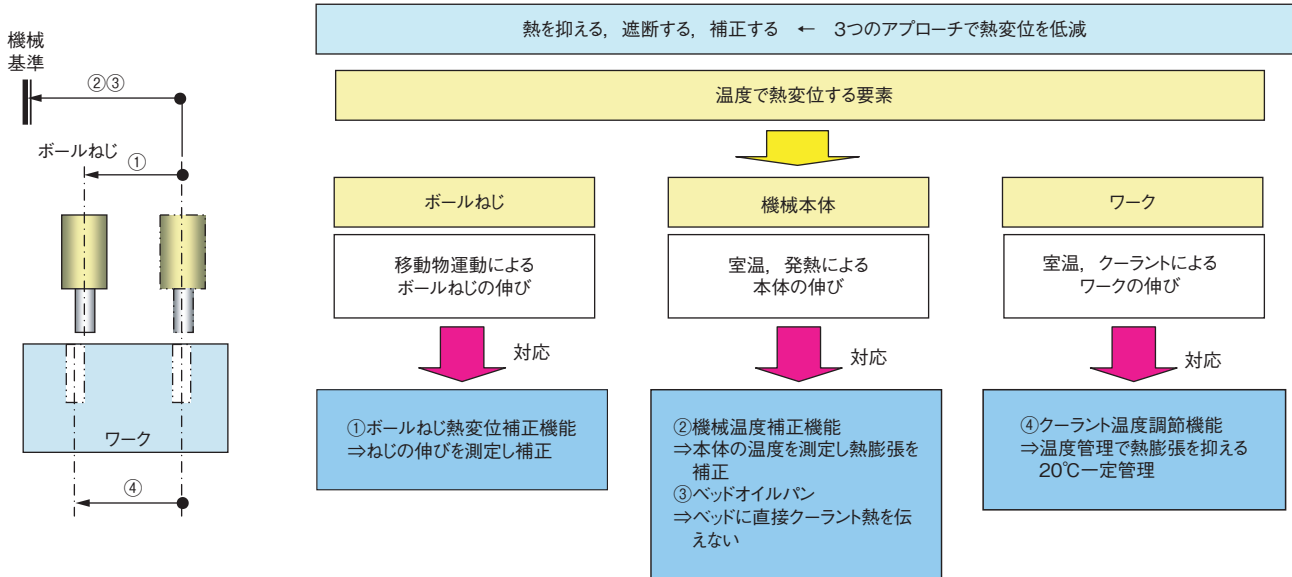
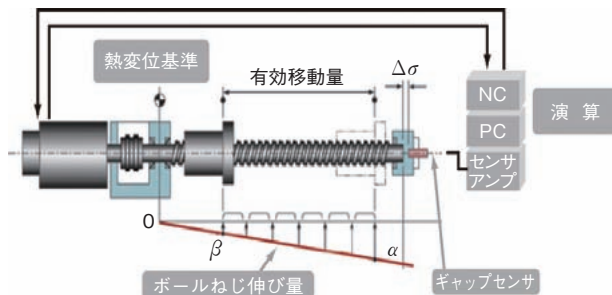


図1 TOP センタの熱変位補正の考え方

Concept of thermal displacement compensation for TOP centers



当社独自のボールねじ熱変位補正機能により、コールドスタートから安定した位置精度を維持

図2 ボールねじ熱変位補正機能

Thermal displacement compensation function of a ball screw

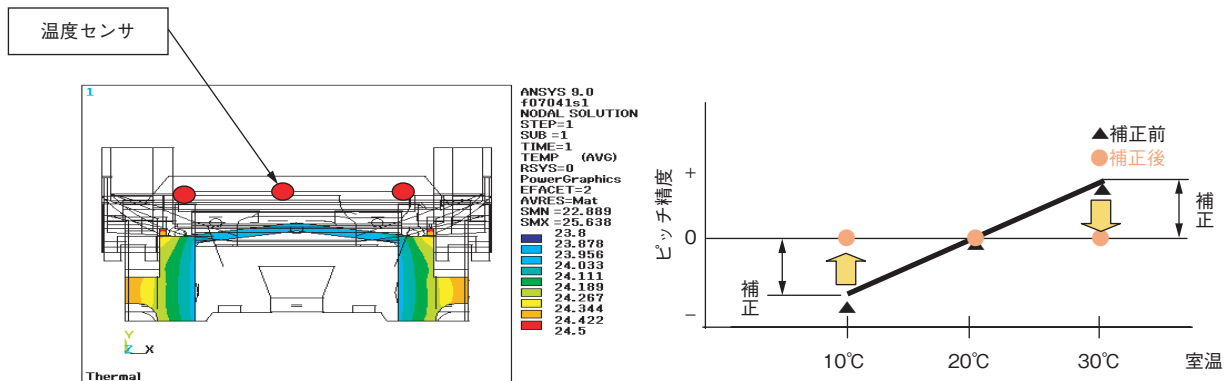


図3 機械温度補正機能

Thermal compensation function of a machine

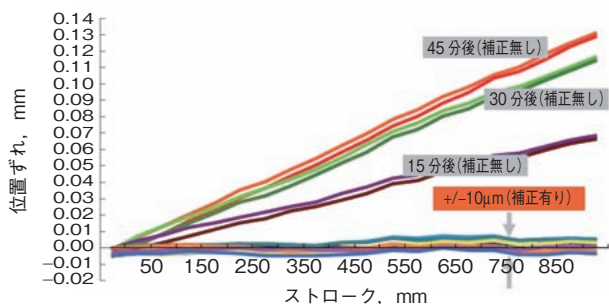


図4 連続位置決めによる精度結果
Repeated positioning accuracy results

3. 新熱変位補正技術

この課題を克服するために考案したのが、図5に示す新熱変位補正機能である。本方式は室温追従させたクーラント温度を測定し、そのクーラント温度になじんだワークの熱膨張に合わせて加工位置を補正している。そのためには、温度を変化させたときの実ワークの各加工穴の位置変化量を測定し、線膨張係数を算出する必要がある。求めた線膨張係数とクーラント温度からワークの各加工位置を補正する。

測定結果を図6で説明する。実際のワークには、治具との位置決めのために基準となるノック穴 K1 がある。設備はこの K1 を基準とし、各加工穴 (H1, H2, O1, O2...) 位置をクーラント温度に合わせて補正する必要

があるため、K1 基準から各加工穴位置の温度による変化量を測定している。H1 穴で説明すると、測定で得られる線膨張係数と線膨張係数が向かう実測角度を線膨張係数補正式 (図7) に代入し、各加工穴位置の X, Y 方向の線膨張係数が得られる。

次に、新熱変位補正機能の補正ロジックを図8に示す。新しい熱変位補正式は、従来技術の機械温度補正とボールねじ熱変位補正にワーク温度補正を追加した構成となっている。特長は、ワークの線膨張係数と線膨張係数が向かう実測角度だけを実ワークで測定すれば、各加工穴位置補正量が導けるようになっている。機械側の補正(機械温度補正, ボールねじ熱変位補正)とワーク温度補正を分けることで、他機種への補正式の展開を容易にしている。

4. 加工事例

年間を通して加工精度を維持できるか確認するため、設備を環境変化室に設置し評価した。評価は、四季を考慮し、冬想定で 10 ~ 17℃, 春・秋想定で 20 ~ 25℃, 夏想定で 25 ~ 32℃ の 3 水準に分類し、それぞれ 8 時間かけて室温を上昇させた。

ここで、年間を通して最も期間が長い、春・秋想定 (20 ~ 25℃) の工程能力 Cm (8σ), および冬想定, 夏想定を踏まえた年間を通した場合 (10 ~ 32℃) の工程能力

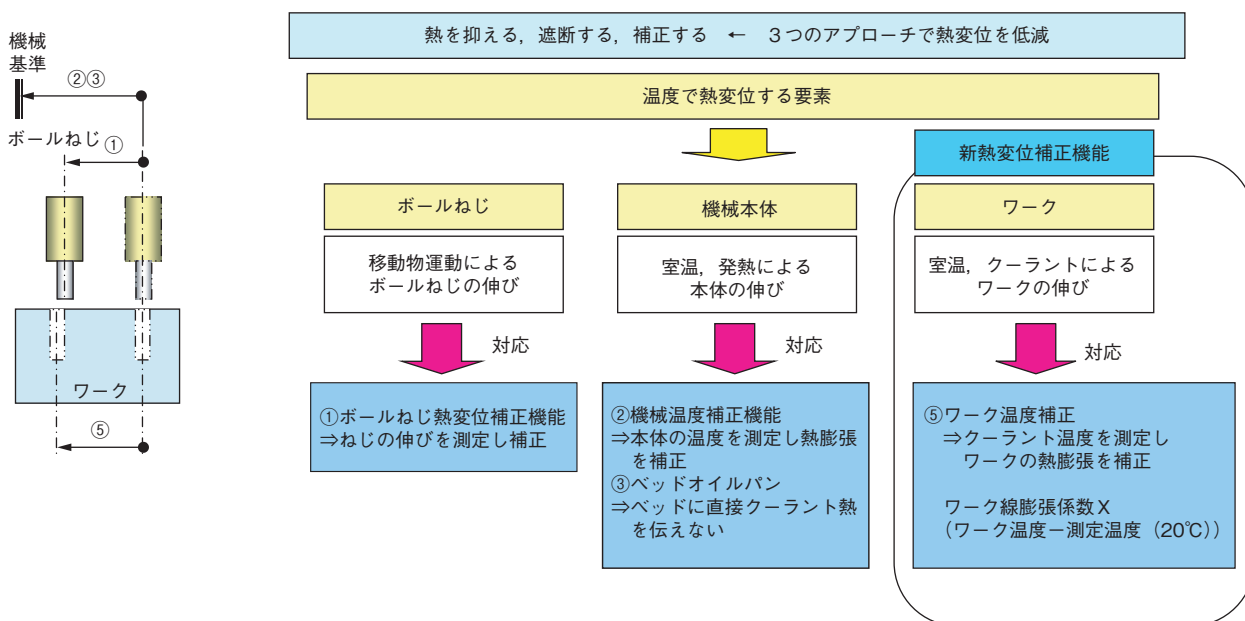


図5 TOP センタのワーク温度補正を踏まえた熱変位補正の考え方

Concept of thermal displacement compensation based on workpiece temperature compensation on TOP centers

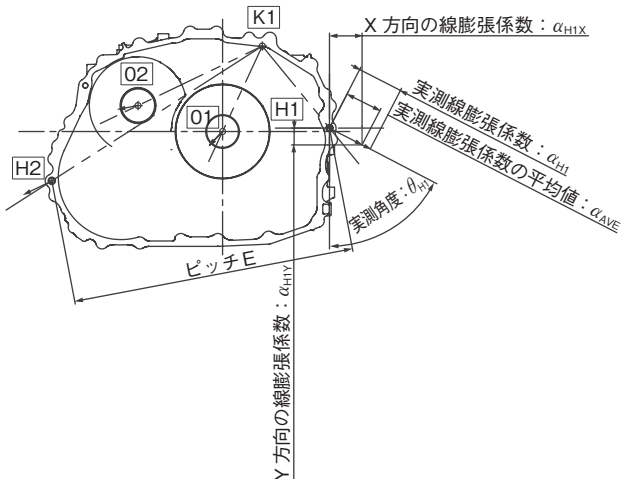


図6 実ワークの線膨張係数と実測角度

Linear expansion coefficient and measured angle of actual workpiece

X方向 $\alpha_{AX} = \alpha_{ave} \sin \theta_A$
 Y方向 $\alpha_{AY} = \alpha_{ave} \cos \theta_A$

A : 各加工位置 (H1, H2, O1, O2, O3, O4, O5, O6)
 α_A : 各加工位置の実測の線膨張係数
 α_{ave} : 各加工位置の実測の線膨張係数の平均値
 θ_A : 各加工位置の実測の線膨張係数が向かう角度
 α_{AX} : 各加工位置のX方向の線膨張係数
 α_{AY} : 各加工位置のY方向の線膨張係数

図7 各加工位置のX, Y方向の線膨張係数補正式

Compensation equations for linear expansion coefficients in X and Y directions at each machining position

ワーク座標基準	新技術	機械原点基準	従来技術	
X方向 = $\frac{\alpha_{AX} \times (\text{クーラント温度}^* - \text{測定室温度}) \times P_A}{\div \text{ワーク温度}} \times 1000$	+	機械温度補正 $(\text{鉄の線膨張係数} \times (\text{ベッド基準温度} - \text{ベッド温度}) \times \text{取付け長さ} / 1000)$	+	ボールねじ熱変位補正 $(\Delta \delta)$
Y方向 = $\frac{\alpha_{AY} \times (\text{クーラント温度}^* - \text{測定室温度}) \times P_A}{\div \text{ワーク温度}} \times 1000$	+	鉄の線膨張係数 $\times (\text{コラム基準温度} - \text{コラム温度}) \times \text{取付け長さ} / 1000$	+	$(\Delta \delta)$

※ワークにクーラントを3分間かけることにより、クーラント温度と同じになることを確認済

α_{AX} : 各加工位置のX方向の線膨張係数
 α_{AY} : 各加工位置のY方向の線膨張係数
 P_A : 各加工位置のワーク座標からの距離

図8 新熱変位補正式

New compensation equations for thermal displacement

Cm(8σ)で評価した。加工対象ワークはアルミ製トランスミッションケース(図9)である。目標加工精度は、相対位置度(H1 - O1, H1 - O2) φ0.05mmでCm ≥ 1 (8σ), および加工穴間ピッチ(H1 - H2) ± 0.05mmでCm ≥ 1 (8σ)とした。

相対位置度(H1 - O1)は、春・秋想定(図10)の工程能力Cm = 1.615であり、冬想定, 夏想定を踏まえた年間を通した場合(図11)でCm = 1.264であった。

次に、相対位置度(H1 - O2)は、春・秋想定(図12)の工程能力Cm = 2.230であり、冬想定, 夏想定を踏まえた年間を通した場合(図13)でCm = 1.431であった。

ピッチAは、春・秋想定(図14)の工程能力Cm = 3.222であり、冬想定, 夏想定を踏まえた年間を通した場合(図14)でCm = 2.593であった。

上記結果は目標を十分に満足しており、ワークの熱変位を考慮して加工することが可能となった。

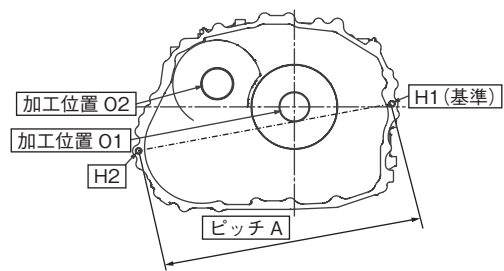


図9 加工ワーク
Machined workpiece

工作機械・メカトロニクス他

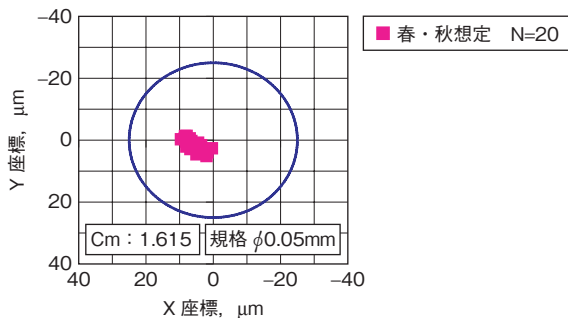


図10 相対位置 O1 春・秋想定 (20 ~ 25°C)
Relative position O1
Spring/Autumn assumptions (20 ~ 25°C)

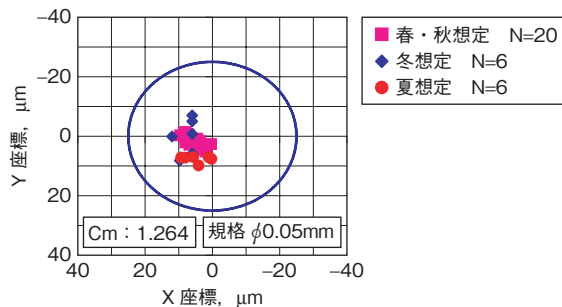


図11 相対位置 O1 年間を通した場合 (10 ~ 32°C)
Relative position O1 Year-long (10 ~ 32°C)

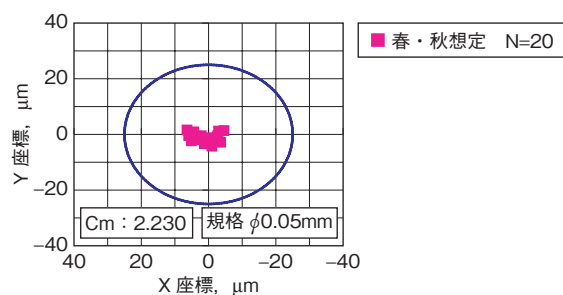


図12 相対位置 O2 春・秋想定 (20 ~ 25°C)
Relative position O2
Spring/Autumn assumptions (20 ~ 25°C)

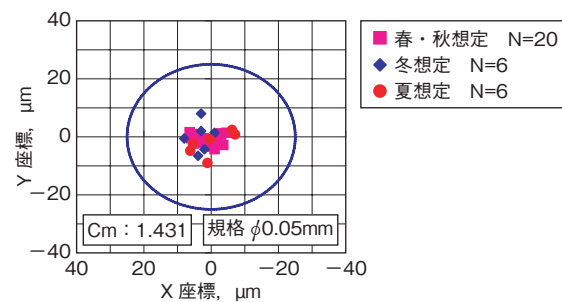


図13 相対位置 O2 年間を通した場合 (10 ~ 32°C)
Relative position O2 Year-long (10 ~ 32°C)

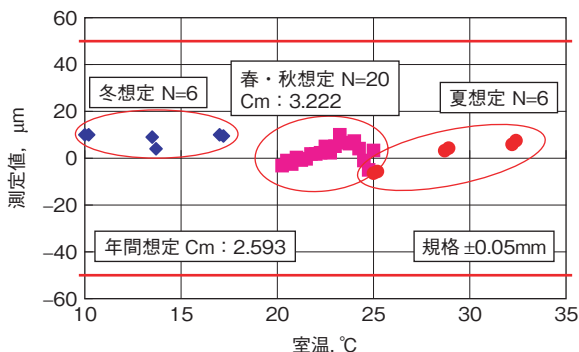


図14 ピッチ A 年間想定
Pitch A Year-long assumption

5. おわりに

今回報告したワーク温度補正機能は、アルミダイキャスト製トランスミッションケースの高精度加工をターゲットに開発したものである。その取組みの中で、加工プログラム上のマクロプログラムを標準化し、他機種、他ワークへの取込みを容易にしている。次のステップとして、他機種、エンジン関係部品、および他の高精度加工ワークへの搭載を進めていく。

今後も、市場ニーズを先取りし、お客様に満足してご使用いただける設備の開発・提案に努力していきたい。

* 1 TOP センタは株式会社ジェイテクトの登録商標です。

筆者



児玉文博*
F. KODAMA

* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械技術部