

プロジェクト研究課題：RU-22

暖機運転時間を「零」とする熱変形低減設計 - 本体構成材料及び構造形態面から

1 研究の背景と目的：

工作機械の設計・製造技術、並びに利用技術の両面で古くて新しい課題は、論を待たず、「熱変形」と「びびり振動」である。これらのうち熱変形は、時定数が長いと云う取扱いが難渋する問題を内包していて、一般的に「稼働開始後に機械が熱的に安定状態」になる迄に、少なくとも2時間を要するとされている。要するに、稼働開始後に機械が熱的に安定となる迄に長時間の「空運転」を必要とし、この「熱的に過渡状態」を経て、機械が熱的に安定な状態とならなければ、所要の加工精度は得られないとする考えが常識となっている。又、一つの加工作業を終わって、次の加工を始める前に「段取り作業」で機械を停止すると、機械は冷却するので、運転を再開した際に多少なりとも過渡状態になり、加工精度が低下することもある。

しかし、機械に仕事をさせないで無駄に長い2時間も「空運転」することは、もちろん、さすがにあり得ない話であり、このよう無駄時間を削減しつつ所要の加工精度を確保するために、色々な「熱変形抑制策」がこれ迄にも議論されてきている。しかし、現時点で知られている「熱変形抑制策」では、20分～120分位の「空運転」、いわゆる「暖機運転 (Warm-up Running)」、あるいは「ならし運転」が必要である。ちなみに、「暖機運転」を加速する特許も存在している (工作機械の暖機運転時間短縮方法；安田工業、特開平7-80745)。

それでは、最高主軸回転数が20,000 rev/minにも及ぶ2020年代の現今でも暖機運転を容認すべきなのであろうか。確かに、半世紀以上に亘って鋭意努力してきても暖機運転時間を零として、仕上げ加工のできる構造設計技術、いわゆる「Cold-Starting」対応構造設計技術は未だに構築されていないことから判るように、挑戦すべきは非常に難問である。

ところが、最近ドイツでは、Cold-Starting 対応の機械が次のように市販されるようになってきている。

- (1) 表1には、情報としての確度が高い Index 社の設計担当者の話と日本に於けるユーザの感想を参考迄にまとめてある。

Index 社の設計指針	Cold-starting を常態とした設計 - 熱膨張係数の非常に小さな材料を用いた構造設計を採用 段取り替えやシフト交代時の暖機運転プログラムを NC に組み込み (運転時間：20分、あるいは1.5時間) 特に、高精度加工 (2 μm より高い加工精度) を行なう場合には、暖機運転の実施を推奨
日本のユーザによる経験	熱変形は、0.01 mm 以下であるので Cold-starting は可能 熱変形最小化を図った本体構造内にチラーを設け、温度管理とフィードバック機能付き

表1 Cold-Starting 対応構造設計の概要 - Index 社の例

- (2) Hüller Hille 社製 MC の場合には、加工精度が μm オーダであれば、暖機運転を推奨するが、それ以外では暖機運転プログラムを使用するか否かはユーザ任せである。その一方、構造構成材料に特段と留意した構造設計を行なっている。
 - (3) Schütte 社では、加工精度が $2\ \mu\text{m}$ より高い場合には、約 30 分の暖機運転を必須としている。又、興味深いのは、構造構成材料をレジン・コンクリートからねずみ鋳鉄へ戻したことであり、同時に多量の冷却剤（400リットル）を使用するようにしていることである。なお、このねずみ鋳鉄には「新たな何らかの工夫」が施されているようで、連続 20 時間の運転の下での変形は、 $3\ \mu\text{m}$ 以下と主張している。
- もちろん、関連する情報は「社外秘」扱いであり、その量は非常に僅かであるものの、構造設計技術の王道を行っていることは確かである。

そこで、数多くの越え難い障壁が存在するものの、ドイツでの関連する情報収集も含めて、若手による本プロジェクト研究の立ち上げを財団では大いに期待している。

2. 研究組織：

(1) 自身を研究リーダーとして研究チームを組織しての応募を望みますが、個別課題としての応募も歓迎します。後者の場合には、採択された複数の研究課題の中から、研究リーダーを当財団が選任させていただき、プロジェクト研究の態様にします。

(2) 個別研究課題を集成してプロジェクト研究とする場合には、研究リーダーは、他の採択課題を勘案し、全体を 1 つの研究ユニットとして研究組織を構成します。

(3) 爾後のプロジェクト研究は、プロジェクトリーダーの下で遂行していただきます。

3. 研究対象者：大学、高専、公的研究機関および企業の研究者など

4. 研究期間：最長 3 年

5. 助成件数および金額：

300～600万円／件を目安とし、数件をまとめたプロジェクトを構成した上で助成対象とします。（研究ユニットに対する助成額は 2 千万円～3 千万円となります）

6. 募集方法：一般公募による

7. 募集期間：随時

8. 申請書類：所定の申請書用紙（ホームページからダウンロード）を使用のこと

- ・申請書類等は選考及び関連する業務以外には使用いたしません
- ・申請書類等は返却いたしません

9. 助成の決定：当財団の審査委員会で助成候補を選定し、理事会で決定します

10. 助成金の交付：所定の手続きが完了次第、研究計画に沿って交付します

1 1. 報告書の提出：研究期間終了後3ヶ月以内に提出のこと

提出された報告書は、広く関係者に利用して頂くために、財団のHPに「e-Report」として公表する他に、特に優れた業績が認められる場合には、関係機関と共同で「技術懇談会」という意見交換の場を設けるなど普及啓発を行ないます。

1 2. その他：採択されたものの、プロジェクト研究の体制を整備できなかった場合、あるいはプロジェクト研究に組み込まれなかった課題は別途個別に助成を行います。

補遺

このような根幹に関わる研究に若手の方々が取り組む契機として、一つの考えをここに紹介しておきます。それは、図1に示すように、加工空間全体を熱的に安定な空間とすることを大前提条件として、次の2点に配慮した構造設計の妥当性を吟味することです。

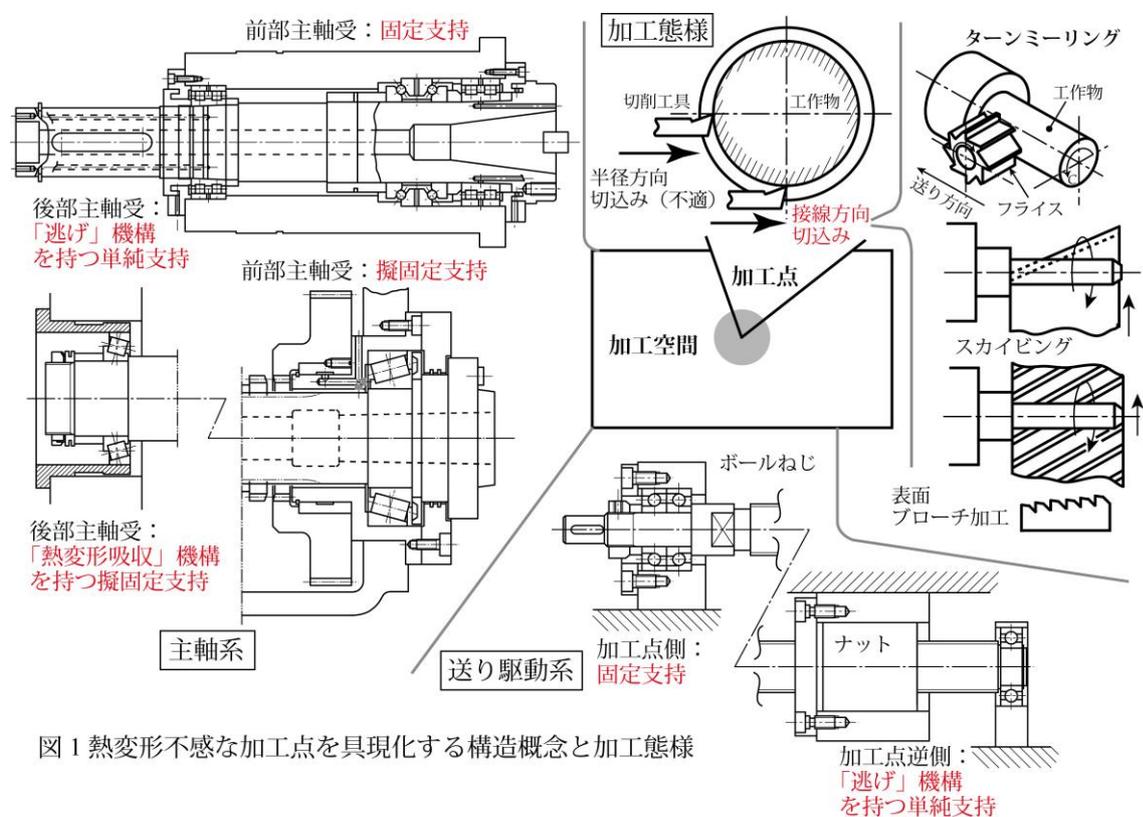


図1 熱変形不感加工点を具現化する構造概念と加工態様

- (1) 形状創成運動に関わる運動軸：加工点に近い方を固定端、あるいは擬固定端とする支持方法として、熱変形に関わる「代表長さ」を短くすると同時に、逆端側で熱変形を逃がすこと。
- (2) 切込み方向：加工精度に熱変形が大きく影響する工作物の半径方向ではなく、接線方向で切込み深さを規定する加工様式、例えば旋削における「スカイピング加工」を採用すること。

参考文献

伊東 誼 (2022). “ II 部その5 新たな革新的展開を求められている熱変形の低減対策 ”
In: 工作機械技術の本質を知る物語.
工作機械技術振興財団 (発売元 スマッシュ). p. 128-144.

以上