

2023 年度年次報告書

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来

2022 年度採択研究代表者

田中 峻

東京大学 大学院工学系研究科

大学院生

あらゆる加工機に精緻な感覚を持たせる大規模センサアレイの開発

研究成果の概要

切削負荷の大きい機械加工では、発熱・振動の影響により数 10～数 100 μm の誤差が生じる。再加工や段取り替え、メンテナンスのためのダウンタイムによる人的・機械的なコスト増加と生産効率の低下を防ぐため、製造現場における工作機械の高精度化が求められている。加工誤差の7割を占めると言われる工作機械の熱変位は、発熱、熱伝導・熱伝達、温度勾配の発生、熱膨張による構造的変形、工具－被加工物間の相対変位という流れで生じている。部品精度に寄与する相対変位は加工中に直接計測することが困難なため、手前の現象で取得可能な物理量（ひずみ、温度、熱流束、モータ電流など）をもとに熱変位を推定する必要がある。計測とモデル化の難易度はトレードオフの関係にあり、そのバランスが良い温度を入力、変位を出力として熱変位を推定することが一般的である。

本研究では 3 軸横型マシニングセンタを対象とし、300 点を超える大規模温度センサを用いた多点温度入力による熱変位推定モデルを構築している。有限要素モデル上にマッピングした多点温度を補間し、詳細な温度分布を直接得ることで高精度な熱変位推定を可能としたが、補正アプリケーションに向けては計算速度に課題があった。そこで今年度は、クリロフ部分空間法によるモデル低次元化により、推定精度を損なうことなく計算速度を高速化した。また、状態空間マトリクスを用いて各温度点の影響度 ($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$) を算出することで、必要十分なセンサの数や配置を議論することが可能となった。加えてハードウェア面では、ネオジム磁石とエポキシポッティングによる大規模温度センサの防水・防塵化と取付け性向上により、セットアップの大幅短縮化に成功した。本システムを用いて、実際の工場にある CNC 複合旋盤を対象に、加工誤差の補正ロジック構築に向けた温度 106 点と振動 4 点の大規模机上計測を半日のセットアップで実施し、稼働熱による主軸定常振動の振幅増大傾向を確認した。