

見えないものを見る化する工具刃先温度のバーチャルセンサー — デジタルツインの応用事例 —

機械金属部 ○高野昌宏 新谷正義 宮川広康, 吉田勇太, 廣崎憲一

1. 目的

IoTの進化・普及に伴い、機械システムには様々なセンサが実装され、そこからの情報を基に機械システムの状態を把握する取り組みが行われている。こうしたなかで、現実の機械システムの動作をサイバー空間で再現するデジタルツインと呼ばれる技術が注目されている。デジタルツインでは現実の機械システムから得られたセンサ情報をもとに仮想空間内でシミュレーションが行われる。このシミュレーションを活用すれば、センサを設置できない任意の位置の物理量を推定することが可能であり、バーチャルセンサーと呼ばれている。本研究では、センサの設置が難しい工具刃先温度をリアルタイムに推定することを目的に、高速計算が可能なシミュレーションモデルを用いた工具刃先温度のバーチャルセンサーを開発した。

2. 内容

2.1 バーチャルセンサー

本研究のバーチャルセンサーの概要を図1に示す。工作機械内に取り付けた放射温度計から得られるエンドミルシャンク部の温度データをサイバー空間内に作成したデジタルツインモデル（シミュレーションモデル）に入力することで、リアルタイムに工具刃先温度を推定するシステムである。サイバー空間内で実行する工具刃先温度のシミュレーションは非定常伝熱解析であり、リアルタイム推定を可能にするため、シミュレーションモデルとして有限要素モデルを低次元化することで得られる状態空間モデルを採用した。図2に有限要素モデルを示す。工作機械本体に関しては工具刃先への影響が少ないことから全体のモデル化を行わず、同図に示すモータ部と接続部の簡易的なモデルで表現した。同モデルの入力条件としては、切削加工時における刃先およびモータからの入熱を定義した。また、工具部およびホルダ部の外表面には周囲空気との熱伝達境界を定義した。なお、熱伝達係数やモータ発熱などの解析に必要な各パラメータは事前の実験結果より同定した。この有限要素モデルをクリロフ部分空間法により、状態空間モデルに低次元化した。低次元化した状態空間モデルは、精度をほぼ維持しながら、解析時間を約100万分の1に短縮できることを確認した。また、入力条件である刃先への入熱量が未知であるため、本研究では、図1に示すように入熱量推定のためのフィードバック制御系を構築し、センサ温度の推定値が実測値に一致するように入熱量を求めた。

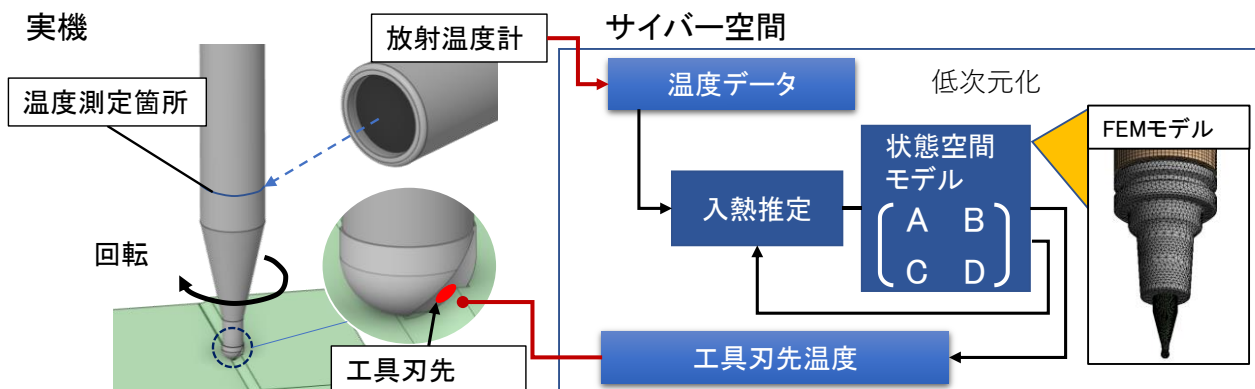


図1 バーチャルセンサーの概要

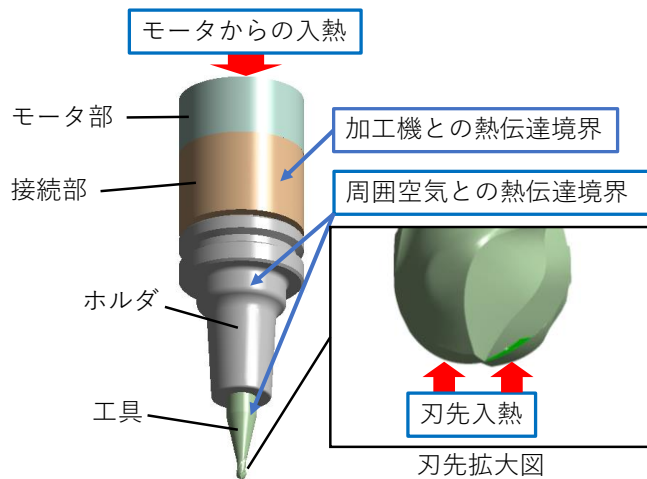


図2 有限要素モデル

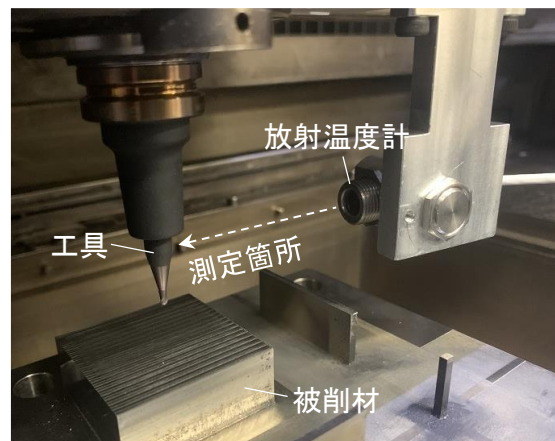


図3 実験装置の外観写真

2.2 工具刃先温度の推定

工具刃先温度の推定実験に用いた装置の外観を図3に示す。工作機械はミーリング機能を搭載した金属積層造形機（㈱ソディック製OPM250L）を用いた。切削工具は直径2 mmの2枚刃超硬ボールエンドミルを用いており、図3に示す工具シャンク部の温度を放射温度計により測定した。所定の加工中に測定されたシャンク部温度を図4に、バーチャルセンサによって推定した工具刃先温度を図5に示す。推定した工具刃先温度は加工条件によって変化し、主軸回転が速いほど高温になっていることがわかる。また、バーチャルセンサの妥当性を検証するため、工具－工作物熱電対法による実測値と比較した結果、両者は概ね一致する傾向を示した。以上のことから、本研究で作成した工具刃先温度のバーチャルセンサは、切削加工の状態を見える化する手段として有効であることが示された。

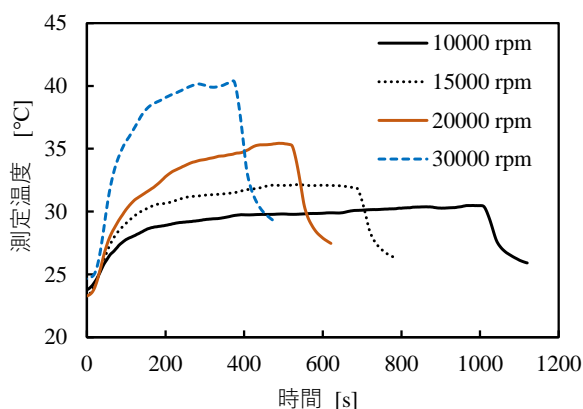


図4 シャンク部の測定温度

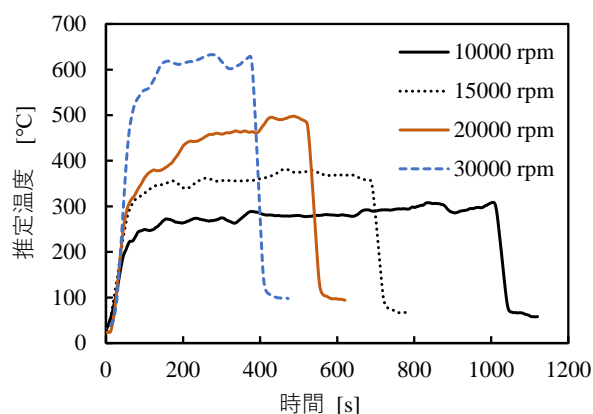


図5 推定した刃先温度

3. 結果

リアルタイムでの工具刃先温度の推定を目的としたバーチャルセンサを開発し、以下の知見が得られた。

- ・有限要素モデルを状態空間モデルに低次元化することによって計算時間はおよそ100万分の1まで短縮された。また、その際の計算精度の低下はほとんど認められなかった。
- ・開発したデジタルツインモデルで推定した工具刃先温度と工具－工作物熱電対法によって実測した工具刃先温度は概ね一致し、開発したデジタルツインモデルの妥当性が示された。