

機械学習を用いた加工面粗さ判別と適正加工条件の導出

横田 知宏（情報・生産技術部 加工評価グループ）

奥田 誠（情報・生産技術部 システム技術グループ）

1. はじめに

マシニングセンタなどの NC 工作機械を用いて切削加工を行う際、主軸回転速度、送り速度などの加工条件をあらかじめ決めてプログラムを作成し、加工を開始する。このとき、プログラムの指令値を変更しない限り、自動運転中に加工条件が変更されることはない。しかしながら、同一条件で加工していても何らかの要因で加工状態が変化し、加工面粗さが悪化することがある。このような場合、現状では作業者が経験を頼りに機械のオーバーライドを操作して加工条件を変更しているが、作業者が機械から離れられず作業効率が落ちることや、作業者にある程度の経験が必要なことなどの問題がある。そこで、工作機械が適正な加工条件を加工中に自動で調整できれば、生産性向上と高精度・高品位化を両立させることが可能となる。

加工中に加工条件を適正な値に調整するには、加工状態をモニタリングし、取得したデータから加工面粗さを判別する必要がある。加工面粗さが不良と判定された場合、適正な加工条件を導出し、機械にフィードバックする。このような自動化技術の実現に向けて、これまでにマシニングセンタによるエンドミル切削において、切削条件と主軸加速度のモニタリングデータを用いて加工面粗さを判別する機械学習モデルを作成したり。

本報では、機械学習モデルを基に適正加工条件を導出する手法を考案し、その妥当性を確認したので報告する。

2. 加工面粗さ判別の確信度表示システム

これまでに作成した加工中の加速度データを基に加工面粗さを判別する機械学習モデルを用いて、加工面粗さ判別の確信度をコンター図で表示するシステムを構築した。システムの表示例を図 1 に示す。表示システムは、上部のスライドバーで半径方向切込みと軸方向切込みを任意の値に設定でき、そのときの主軸回転速度と送り速度の組み合わせで加工面粗さ判別の確信度がいくつになるかをカラーマップで表示したものである。今回作成した機械学習モデルは、 $Ra < 1.6 \mu m$ かつ $Rz < 6.3 \mu m$ の場合をラベル 0、その他の場合をラベル 1 とし、0 か 1 に分類するモデルとなっている。表示システムの確信度は 1 に近いほど加工面粗さをラベル 1 に判別する確率が高く、0 に近いほど加工面粗さをラベル 0 に判別する確率が高いことを示している。すなわち、グラフの赤に近い色で塗りつぶされた領域の切削条件を選択すると加工面粗さが大きくなり、青に近い色で塗りつぶされた領域の切削条件を選択すると加工面粗さが小さくなる確率が高くなる。

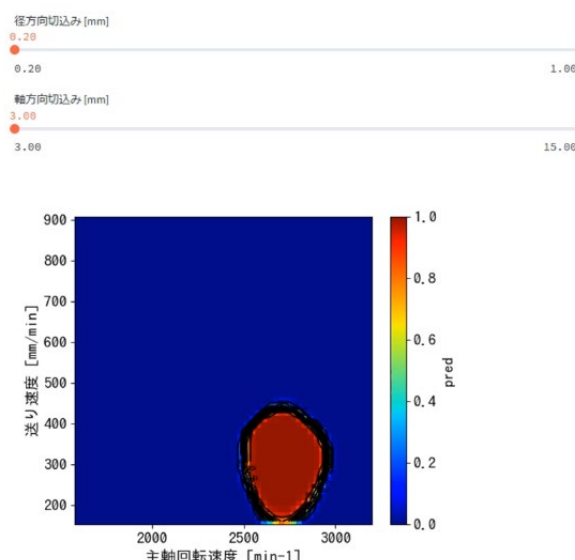


図 1 加工面粗さ判別確信度表示システム

この表示システムを活用した適正加工条件の導出方法について述べる。まず加工前に加工面粗さが良好となる主軸回転速度と送り速度の組合せを表示システムにより選定する。半径方向および軸方向切込み量を決めると、このシステムでカラーマップが作成される。ここから、濃い青で表示された領域の条件を選定すればよい。加工を開始すると工作機械から加速度のモニタリングデータを取得することができる。ここで、加速度データを説明変数に加えて別途構築した機械学習モデルを用いて、加工面粗さの判別を常時行う。その結果、加工面粗さが良好の判定であれば現状の加工条件を維持することになるが、不良と判定された場合は主軸回転速度と送り速度を変更する。条件変更する際には、図 1 に例示した表示システムを活用する。加工条件を変更する際に、主軸回転速度と送り速度を急激に大きく変更すると、加工面の悪化や最悪の場合工具折損、工作物の損傷などを招く恐れがある。そのため、コンター図の青の領域の中で、小さな変更を加えていくことになる。

3. 実験及び結果

切削実験により加工面粗さ判別確信度表示システムの有効性を検証した。実験環境を図 2 に示す。使用した工作機械は立形マシニングセンタ V33 (牧野フライス製作所製) である。加工中の加速度を測定するために、主軸に加速度

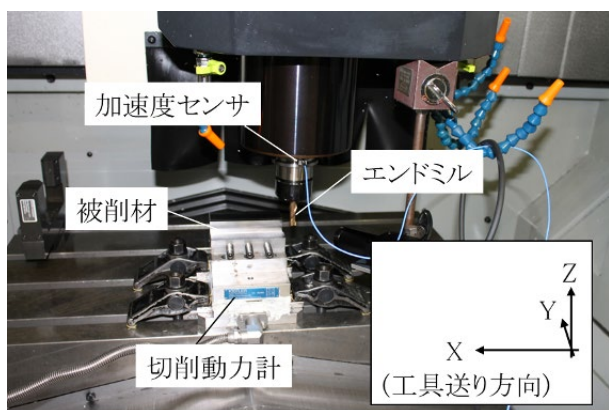


図2 エンドミル切削実験の実験環境

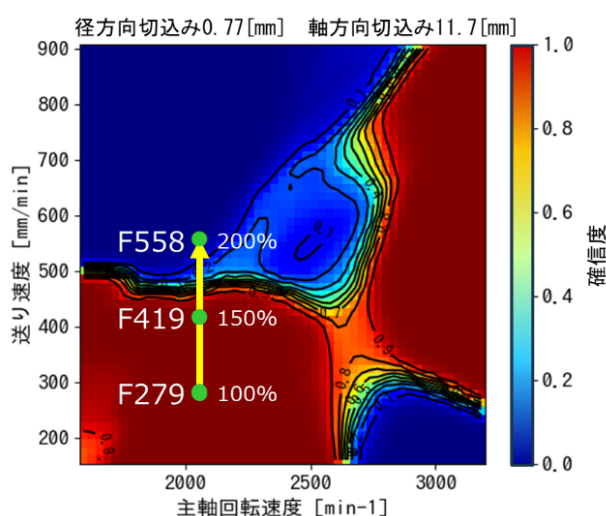


図3 半径方向切込み 0.77mm, 軸方向切込み 11.7mm の場合の加工面粗さ判別確信度表示

センサを設置した。また治具を介して被削材を切削動力計に固定したが、本実験では切削抵抗のデータは使用していない。直径 10 mm, 刃数 2 枚のスクエアエンドミルを用いて、ドライで長さ 100 mm の板材（材質 S50C, 硬さ 195 HBW）の側面切削を行った。

半径方向切込み 0.77 mm, 軸方向切込み 11.7 mm とした場合、加工面粗さ判別確信度表示は図 3 に示すとおりとなった。ここで、図の主軸回転速度 2053 min^{-1} , 送り速度 279 mm/min の条件から切削実験の加工を開始し、加工中に送り速度を 419 mm/min , 558 mm/min と 2 段階で変更した。今回はマシニングセンタのオーバーライドを手動で変えて送り速度を変更した。この送り速度の変更は、図 3 中の黄色い矢印に相当する。

図 4 に、加工後の被削材の加工面プロファイルを示す。送り速度の一段階目 (279 mm/min) および二段階目 (419 mm/min) では加工面粗さが比較的大きくなったのに対し、三段階目 (558 mm/min) では加工面粗さが小さくなっていることがわかる。したがって、加工面粗さ判別確信度表示

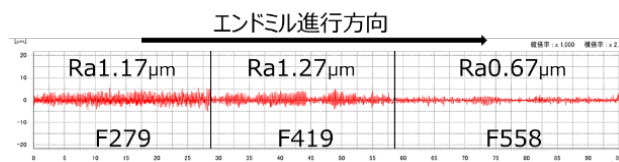


図4 加工面プロファイル

システムの赤から青の領域に変化したことと一致した。今回は 1 条件のみの検証結果であるため今後さらに検証を進める必要があるが、加工面粗さ判別確信度表示システムにしたがって加工条件設定および条件変更を行うことで、良好な加工面を得られることが示唆された。

4. おわりに

機械学習による加工面粗さ判別の確信度をコンター図で表示するシステムを構築し、切削実験によりその有効性を確認した。

今後は、考案した適正加工条件の導出手法の妥当性を検証し、モニタリングデータを基に工作機械が自律的に加工条件を変更するフィードバック制御手法を開発する。

謝辞

本研究は公益財団法人大澤科学技術振興財団の研究助成金を受けて実施しました。ここに感謝申し上げます。

【参考文献】

- 横田知宏, 奥田誠, 機械学習を用いた切削加工面粗さの判別, *KISTEC 研究報告* 2023, 26-27(2023)

【外部発表】口頭発表 1 件