

AE法を用いた工作機械のインテリジェント化に関する基礎研究

埼玉工業大学 ○武田菜柚, ◎長谷亜蘭

要 旨

近年、工作機械のインテリジェント化のために、AIやIoTを活用して、省エネルギー、省資源を目指した加工の実用化が求められている。しかし、作動中に異常が発生した際の各種問題に対する検出精度の向上が課題となっている。そこで、高精度に工作機械の状態監視ができるインテリジェント化を目指し、AE法を用いた工作機械の状態監視に関する研究を進めている。本研究では、その基礎研究の一つとして、マイクロ切削時のAE信号波形を計測・分析し、工作機械を最適制御するための信号の特徴抽出を目的としている。

1. 緒 言

工作機械におけるインテリジェント化は、近年のITの進歩によって、AIやIoTでのモニタリング手法が可能になりつつある。しかし、稼働中に異常時の損傷が大きい点、導入コストが高い点や、資源のムダを出さないための最適制御法が課題点となっている。そこで本研究では、超小型CNC旋盤にAE法を適用し、インテリジェント化に関する考察を行う。マイクロ切削時のAE信号波形をインプロセス計測・分析し、工具刃先の摩耗状態や被削材の表面状態、切りくずなどを観察した。これらとの相関を検討し、工作機械を最適制御するためのAE信号の特徴抽出を目的とする。

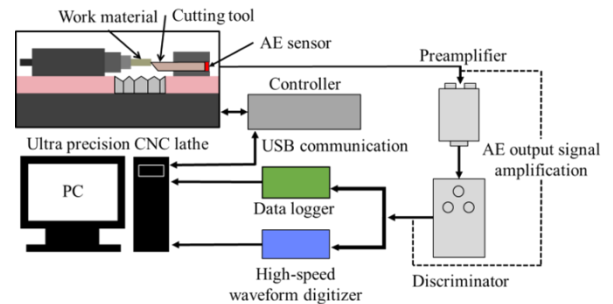


図1 実験装置の構成図

2. 実験装置および実験方法

AEとは、材料が変形あるいは亀裂が発生する際に、材料に蓄えられていたひずみエネルギーを弾性波(AE波)として放出される現象である。この現象を、AE法を用いてこのAE波を検出し、応用することにより加工状態を把握することが可能である。

図1は、本研究で使用した実験装置の構成図である。図2のように、切削工具のシャンク後方部に治具を用いてAEセンサを取付けた。プリアンプとディスクリミネータで60dB増幅し、実験に関係のないノイズ信号を除去するため、ディスクリミネータで50kHzのハイパスフィルタ処理を行った。さらにこのAE信号をPCに取り込み、AE信号波形の振幅変化とその周波数を可視化することで、切削状態や切削工具の交換時期などを評価することができる。

表1は、本研究の実験条件である。被削材は直径5mmのアルミニウム合金を使用し、切削工具に立方晶窒化ホウ素を使用した。実験で使用した加工プログラムの内容として、主軸回転数を3000rpm、送り速度を60mm/min、切込み量を0.1μmとし、1回のプログラムで30回の切削ができるように設定した。AE信号と加工現象の相関を検討するため、データロガーで加工実験中のAE信号の振幅変化を計測した。同時に、高速波形デジタイザで瞬間のAE信号原波形を計測して、周波数解析を実施した。得られた結果から数値化してグラフ化して検討を行った。また、10回ごとの切りくずの状態と実験後の工具刃先の状態を光学顕微鏡により観察した。さらに、実験前後の被削材の表面粗さも計測して比較を行った。

3. 実験結果および考察

図3および図4ともに、本実験でインプロセス計測された高速波形デジタイザによるAE信号原波形と周波数解析結果である。図3は異常なしの時、図4は異常が検出された時の代表的な波形を示している。図3では、AE信号の振幅値は-1~1Vと緩やかな波形になっている。周波数解析では、0.5MHz以下の周波数ピークが確認できる。図4では、AE信号の振幅値は-1.5~1.5Vであり、密な波形であることが確認できる。周波数解析では、1.5MHz付近で0.24V、2.0MHz付近で0.16Vの

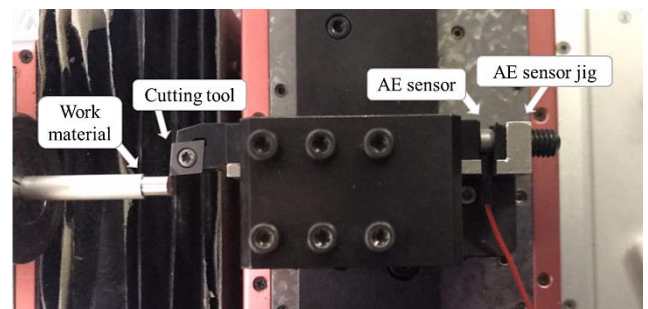


図2 AEセンサ取付け位置

表1 切削条件およびAE計測条件

AE sensor	Broadband-type (AE-900M-WB)
Frequency characteristic (MHz)	0.5~4
AE amplification factor (dB)	60
High-pass filter (kHz)	50
Work material	Aluminum alloy (A6063)
Cutting tool	Cubic boron nitride
Feed speed (rpm)	3000
Main shaft rotation speed (mm/min)	60
Cutting depth (μm)	0.1

高い周波数ピークが確認された。図5は、データロガーによるAE信号波形であり、上図が通常時、下図が異常時の変化である。上図は120sあたりから信号が徐々に大きくなり、最大で約1.5Vになっていることがわかる。同じ実験を繰り返したが、通常時はいずれも上図のような波形となった。下図は、上図に比べて信号があまり変化がないようにみられる。周波数が高くなったのは175s付近であったが、特に大きな変化はみられな

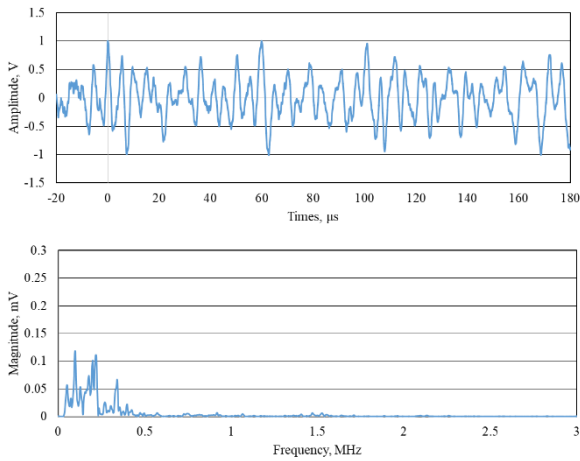


図3 高速波形デジタイザによる微小切削通常時のAE信号波形(上)と周波数解析結果(下)

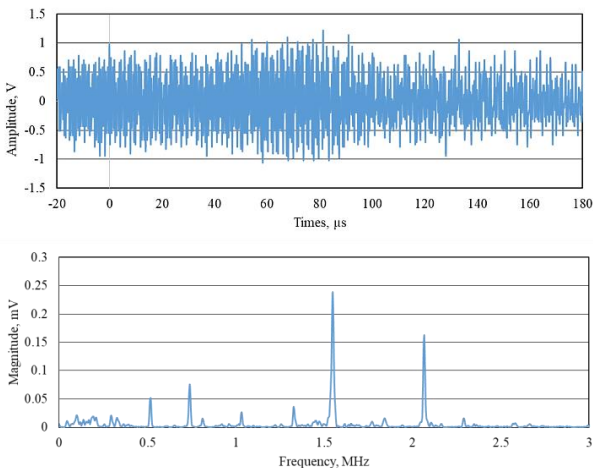


図4 高速波形デジタイザによる微小切削異常時のAE信号波形(上)と周波数解析結果(下)

かった。これらの結果から、異常時はAE信号波形の1s間の振幅の間隔は狭くなるが、振幅値に大きな変化は起こらないことがわかった。図6は、180回切削時(左)と210回切削時(右)のすくい面と逃げ面の状態を光学顕微鏡で撮影した写真である。180回切削時のすくい面からは、工具刃先に摩耗と凝着が無数にみられ、逃げ面からは刃先の両側に凝着していることがわかる。異常信号がみられた210回切削時のすくい面では、刃先を覆うように0.2mmほど被削材の凝着がみられ、逃げ面からは工具刃先の上端全域に凝着していることがわかる。図7は、AE平均値と被削材の表面粗さの変化と工具刃先の摩耗状態の変化である。上図では、AE平均値が大きくなると表面粗さも大きくなることわかる。下図を見てみると、30回目と比べ150回目の摩耗幅が大きくなっており、上図と見比べるとAE信号も大きくなっていくことがわかる。同様に、240回目と330回目も摩耗幅が大きくなること確認できる。図8は、10回ごとに切りくずを光学顕微鏡で撮影したものである。1回の実験の後半にAE信号が大きくなること確認できたため、切削中の切りくずを10回ごとに採取して観察したところ、前半部分は微細なものが多く、後半は螺旋状に繋がっているものや、前半に比べて大きなものが多くみられた。

以上のことから、刃先に凝着がみられるとAE信号が大きくなり、高い周波数で振幅が大きくなることわかった。これらは、切りくずの形状とAEの異常信号や振幅の増減に相関があると考えられる。また、初期の切りくずの形状に関して、1μm以下の切削であることから、脆性材料の延性モードでの切削時に起こる臨界切り厚さと似た現象が起きたと考えられる。

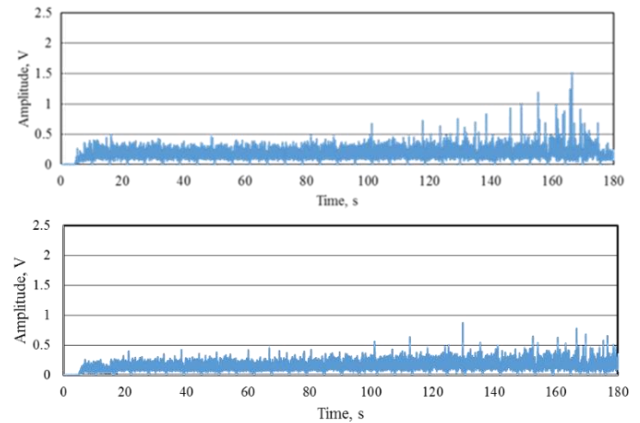


図5 データロガーによる微小切削時のAE信号波形通常時(上)、異常時(下)

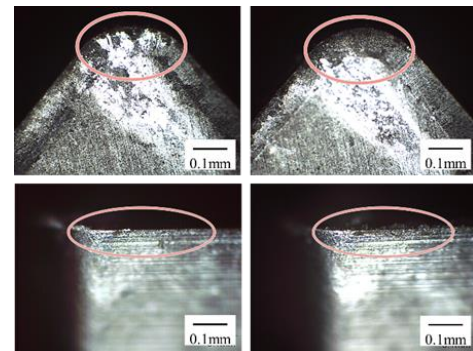


図6 切削後の刃先のすくい面(上)と逃げ面(下)の状態

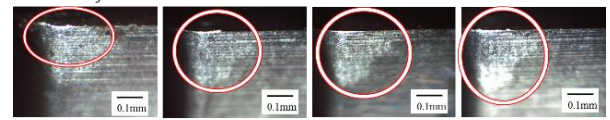
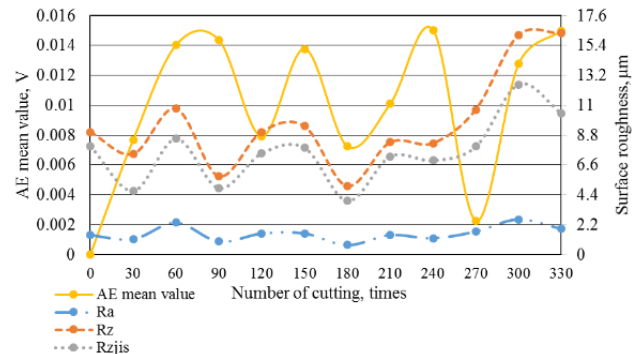


図7 AE平均値と被削材の表面粗さの変化(上)と工具刃先の摩耗状態の変化(下)

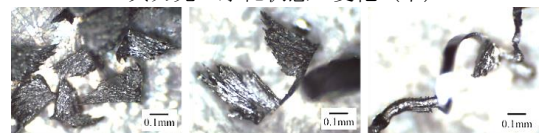


図8 10回ごとに撮影した切りくずの顕微鏡写真

4. 結言

本研究の目的であるAE法を用いた工作機械のインテリジェント化に向けた基礎研究から得られた結果を以下にまとめた。

- (1) 工具刃先に凝着や摩耗が生じるとAE信号は大きくなり、高い周波数が計測されることが確認できた。
- (2) AE信号が大きくなると被削材表面の粗さは大きくなる傾向にあることがわかった。
- (3) AE信号の値と切りくずの状態が相関しているため、削材と切削工具の状態を把握できることが確認できた。