

# FEMシミュレーションを用いた切削過程におけるAE発生メカニズムの究明

埼玉工業大学 ○岩淵将太, ◎長谷亜蘭

## 要 旨

近年、様々な製品の小型化、高精度化に伴い、加工精度もより高度なものが要求されている。また、摩擦係数を増大させると切削中に生じる弾性応力波（AE波）は増大するが、そのAE発生メカニズムについては明確にされていない。そこで本研究では、微細かつ精密な切削加工の過程において生じるAE波の発生について、有限要素法シミュレーションを用いて解析を行う。切削加工の過程において切削抵抗の上昇により発生する応力変化の解析結果から、AEの発生メカニズムについて考察した。

### 1. 緒 言

近年、様々な製品の小型化、高精度化に伴い加工精度もより高度なものが求められている。加工がより微細なものになると人間の感覚で加工を行うのは限界がある。

そこで本研究では、微細な切削加工の過程において生じる弾性応力波（AE波）についてシミュレーションソフトを用いて解析を行うことにより、微細な切削加工の過程において材料表面がどのように変化しており、どのような過程を経て弾性応力波が発生しているのかを得られたデータをもとに考察を行うものである。

本研究の成果を用いることで、将来的にAEセンシングによる切削加工の知能化などに活用でき、より適切な加工の確立と加工精度の向上が期待できる。

### 2. シミュレーション方法および条件

図1は、本研究で用いた有限要素法シミュレーションモデルである。今回、切り込み量と摩擦係数を変更したシミュレーション解析を実施したり。被削材は、外径6mm、長さ3mmのアルミニウム合金（A6061）を使用し、工具はダイヤモンド工具（Natural/Single Crystal）を使用した。また、工具形状はひし形、頂角80°、切れ刃先丸み半径0.04mmに設定した。また、刃先の逃げ角を5°、7°とした。

切削条件は、送り0.2mm/rev、回転角度180°とし、一定の回転速度としてシミュレーションを行った。切り込み量0.2mm、0.25mmとし、それぞれ摩擦係数を0.1、0.4、1.0とした条件でシミュレーションを行い、得られた結果から切削力変化（X方向）の周波数解析を行った。本研究では、弾性応力波の発生を切削力の高周波数変化と仮定し、その周波数解析結果から検討を行った。

### 3. シミュレーション結果および考察

図2、4、6、8のグラフの縦軸は振幅、横軸は周波数の周波数スペクトルのグラフであり、図3、5、7、9のコンター図は、切削シミュレーション終了時の塑性ひずみの状態（ひずみ速度）である。

弾性応力波に関する過去の研究結果より、摩擦係数が大きくな

ると高周波数帯に変化が現れることがわかっている<sup>2)</sup>。

今回、切込み量0.2mm、0.25mmのシミュレーションを行った際、摩擦係数を1.0とした時と摩擦係数が0.1の時を比較すると、周波数の高い領域に摩擦係数を1.0とした方に大きな周波数ピークが確認できた。また、摩擦係数を大きくした際に1.3MHz付近に周波数ピークが摩擦係数0.1の時と比較して大きくなることが確認された。

図2と図4を比較すると、摩擦係数を1.0とした際の図4の

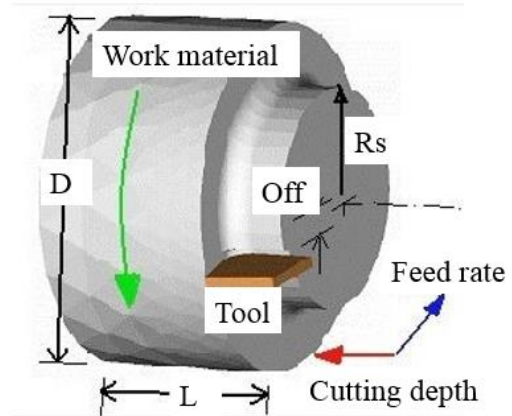


図1 有限要素法シミュレーションモデル

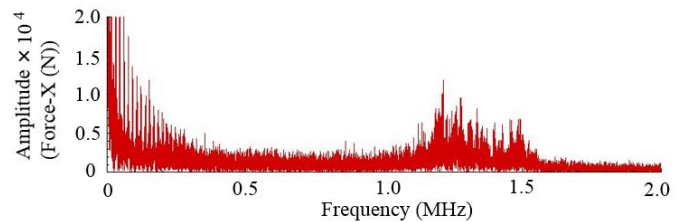


図2 周波数スペクトル  
(切込み量0.2mm, 摩擦係数0.1)

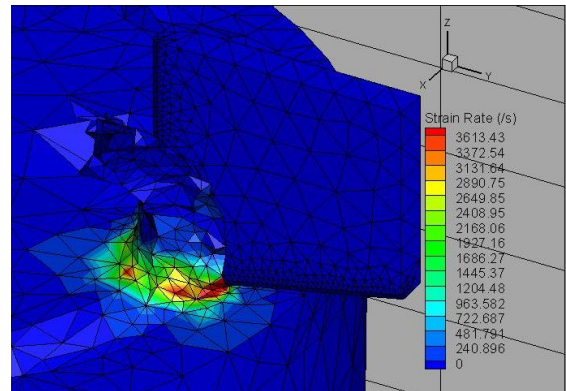


図3 ひずみ速度コンター図  
(切込み量0.2mm, 摩擦係数0.1)

表1 シミュレーション条件

Material	Aluminum alloy (A6061)
Tool	Diamond tools (Natural/Single Crystal) Apex angle 80° Cutting edge radius 0.04 mm
Feed rate (mm/rev)	0.2
Cutting depth (mm)	0.2, 0.25
Rotation angle (deg)	180
Rotation speed (rpm)	3000 (Cutting speed 0.94 m/s)

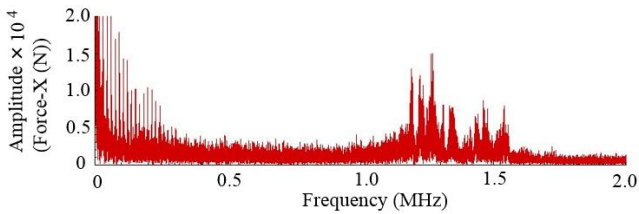


図4 周波数スペクトル  
(切込み量 0.2 mm, 摩擦係数 1.0)

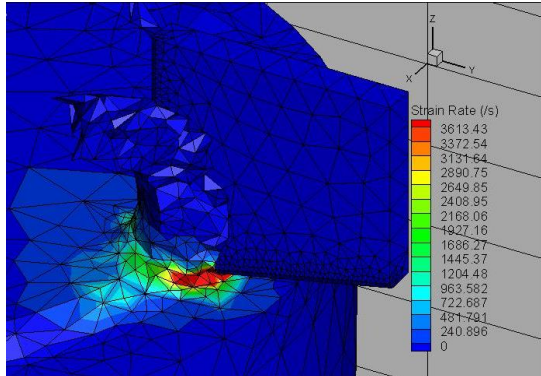


図5 ひずみ速度コンター図  
(切込み量 0.2 mm, 摩擦係数 1.0)

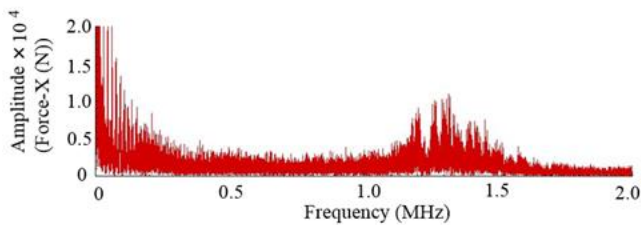


図6 周波数スペクトル  
(切込み量 0.25 mm, 摩擦係数 0.1)

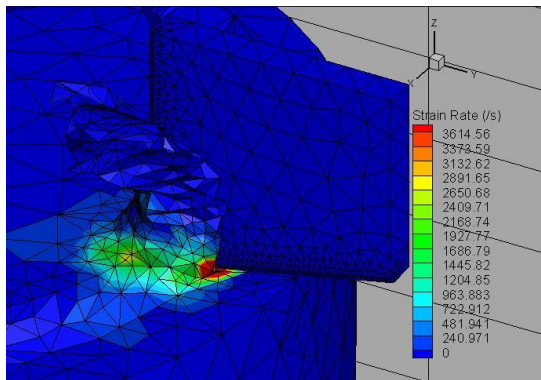


図7 ひずみ速度コンター図  
(切込み量 0.25 mm, 摩擦係数 0.1)

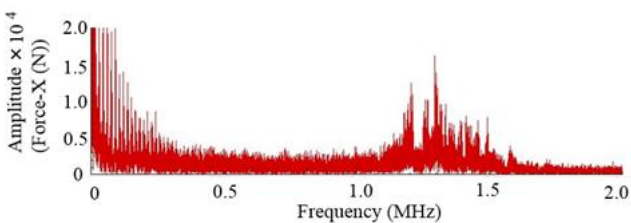


図8 周波数スペクトル  
(切込み量 0.25 mm, 摩擦係数 1.0)

1.2 MHz 付近において差異が見て取れた, これは摩擦係数の増加による弾性変形量の差によるものと考察する。

図6と図8を比較すると, 摩擦係数を1.0とした図8の1.3 MHz

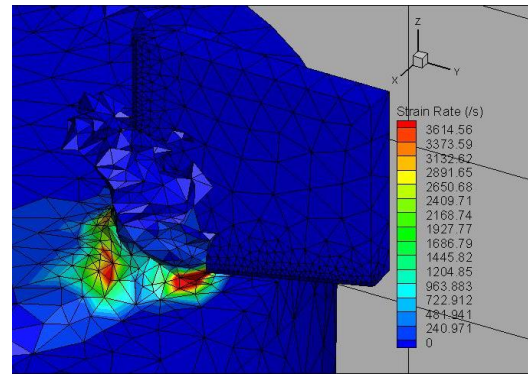


図9 ひずみ速度コンター図  
(切込み量 0.25 mm, 摩擦係数 1.0)

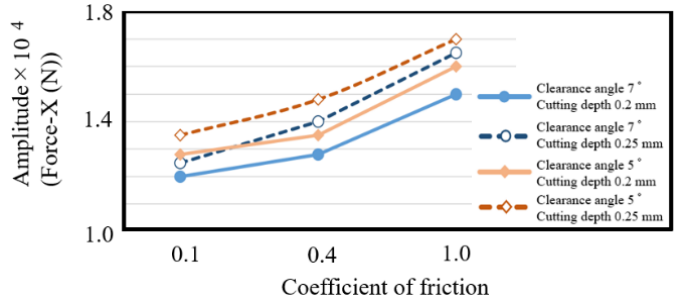


図10 摩擦係数と逃げ角による周波数ピークの推移

付近において差異がみてとれた。また, 切込み量が 0.25 mm のときに周波数の高い領域にて差異が表れた要因として, 切込み量を大きくしたため, 摩擦係数の変化による弾性変形の量が多くなり, その結果として差が生じたものと考察する。

それぞれのコンター図を比較すると, 摩擦係数を高い値にして行ったシミュレーションの方が, 切削終了時における塑性ひずみの大きい範囲が広いことがわかった。これより, 切削時に発生する塑性ひずみと弾性応力波には一定の関係があると考察する。

図10をみると逃げ角を5°, 摩擦係数1.0とした際の周波数の振幅の最大値は逃げ角を7°としたものより大きな反応が出ていることがわかった。これは, 切削中に逃げ面と仕上げ面の摩擦により発生した切削抵抗が減少したため周波数の振幅が減少したと考えられる。

以上のことから, 摩擦係数や切込み量, 刃先の逃げ角などの要因により切削抵抗が上昇し, 塑性ひずみの量が増大することで, 弾性応力波の高周波数帯において変化が現れると考察する。

#### 4. 結言

本研究では, FEMシミュレーションによって, 切削過程におけるAEの発生メカニズムの解明を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 摩擦係数を増加させると, 1.3 MHz付近において周波数ピークを確認することができた。
- (2) 切削時に発生する弾性応力波は, 切込み量の増加によって不安定になることがわかった。
- (3) 切込み量や摩擦係数の増減の他に, 刃先の逃げ角によって切削時に発生する弾性応力波は増減することがわかった。

#### 参考文献

- (1) 長谷, 岩淵: 有限要素法シミュレーションを用いた切削現象で生じる弾性応力波の解析, 日本機械学会関東支部・精密工学会山梨講演会講演論文集, No.190-3, pp.69-70 (2019)
- (2) 長谷: シミュレーション解析を用いた切削加工時に生じる弾性応力波に関する研究, 日本機械学会関東支部・精密工学会山梨講演会講演論文集, No.180-3, pp.121-122 (2018)