

## 無線式 AE センシング技術によるタップ加工のモニタリングに関する研究

### Study on Monitoring of Tapping by Wireless AE Sensing Technology

湘南工大・工（学）\*林野蓮太（正）加藤和弥（学）植松瑞貴（非）渡邊康太（正）村木正芳  
ENEOS（非）眞名井康

Renta Hayashino\*, Kazuya Kato\*, Mizuki Uematsu\*, Kouta Watanabe\*, Masayoshi Muraki\*, Yasushi Manai\*\*  
\*Shonan Institute of Technology, \*\*ENEOS

#### 1. はじめに

AI を用いて切削工具の状態をリアルタイムにモニタリングする技術の研究が進められている<sup>1)</sup>。このモニタリング技術の進化には、工具のセンシングが重要である。切削加工の分野においてタップ加工は手軽なねじ加工法である。しかし、タップが加工中に折損すると被削材からタップを取り出すことが困難なため、リアルタイムモニタリングが必要な加工法と言える。これまでのタップ加工のモニタリングはトルク計測が一般的である。しかし、被削材に動力計を取り付けてトルクを計測する場合、被削材の大きさに制限があること、一方、工具側でトルクを計測する場合は計測装置が高価であること、などから量産ラインで手軽にトルクを用いてタップ加工をモニタリングすることは難しい。そこで、本研究ではアコースティックエミッション(AE)センサを用いてタップ加工をモニタリングすることを目標に研究を進めていく。本報告では、AE センサを用いてタップを伝達する AE 波を計測する装置を試作し、切削継続に伴なう AE 波の変化を複数の切削油を用いて検討した。

#### 2. 実験装置、実験方法、実験条件

タップ加工などの回転工具の AE 波計測では、被削材に AE センサを取り付ける方法がこれまで多く実施してきた。しかし、この方法では 1 つの被削材で複数のねじ穴を加工する場合、加工点と AE センサの距離が変化するため、AE 波の距離減衰<sup>2)</sup>の影響を受け安定した計測ができない。また、量産ラインでの使用を考えた場合、AE センサを被削材の切削点近傍に取付けることは難しい。そこで、工具に伝わる AE 波を計測し、無線にてデータを送信する無線式 AE 波計測装置を試作し実験を行った。Figure 1 に実験装置を示す。試作した装置は市販の工具ホルダを改造して使用した。タップの回転を防止するアジャストスクリューに自作のウェーブガイドを固定し、AE センサ( $\phi 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ , 富士セラミックス M31)をこのウェーブガイドの端面に接着剤にて貼付けた。AE センサの信号線は工具ホルダに細溝を追加工し、ここから工具ホルダ側面に引き出した。AE センサで計測した信号は自作した包絡線検波回路付センサアンプ(25dB)で増幅し、小型マイコンに入力し、Wi-Fi によりデータ収集用 PC に送信した。アンプ、マイコン、リチウムイオンポリマー電池はプラスチックケースに収め、工具ホルダに固定した。AE 波計測のサンプリング周波数は 48 kHz(0.02 ms)とした。AE 波は評価パラメータの一つであるイベント数を計測することを目的としたため、アンプにて包絡線検波を行った<sup>3)</sup>。

Figure 2 にシャープペンシル芯圧折法(Hsu-Nielsen Source)により発生させた AE 波を汎用の AE アンプ(Preamplifier 0/2/4, Physical Acoustics)により増幅した波形と、開発したアンプによる包絡線検波後の波形を示す。信号の強度の違いはアンプの倍率が異なるためである。図から開発したアンプにより包絡線処理を実施できていることが分かる。実験は $\phi 6.8 \text{ mm}$  の

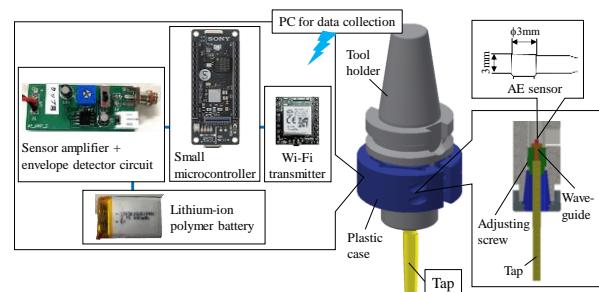


Fig. 1 Overview of the developed device

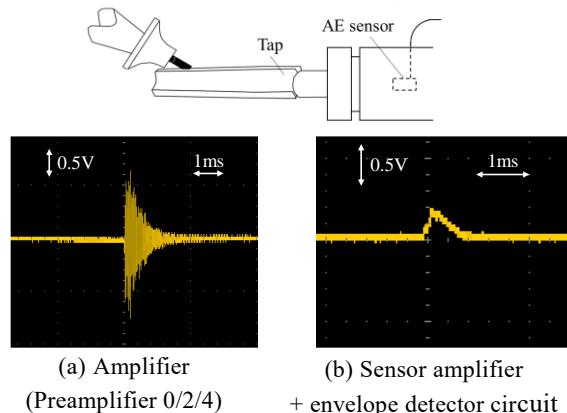


Fig. 2 Measurement results of AE Waves

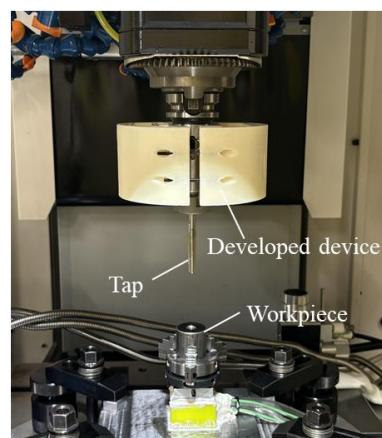


Fig. 3 Equipment for experiments

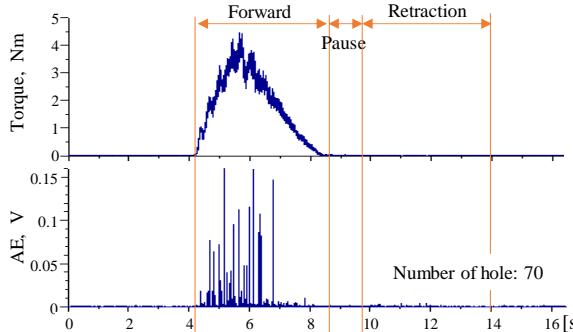


Fig. 4 Measurement of tapping torque and AE

超硬ドリルにより下穴加工した後, NT タップ(M8×1.25, OSG)にて主軸回転数 360min<sup>-1</sup>, 工具送り速度 450mm/min にて加工をおこなった. 被削材は板厚 10mm の S25C とした. 実験装置の外観を Fig. 3 に示す.

実験には無添加鉱油 P15 と P32, および P15 に硫黄系極圧添加剤(P15+S)を加えた 3 種類の試料油を使用した. 油は 10 ml/hole を注射器にて注油した. トルク及び AE 波の計測はおよそ 10 穴おきに実施し, 加工穴数 100 穴を目標に実験した.

### 3. 実験結果

Figure 4 に P15 を用いて行った加工穴数 70 穴のタップトルクと AE 波の計測結果を示す. トルクの上昇に伴い AE 波の信号強度が大きくなる傾向が見られる. Figure 5 には加工穴数とタップトルク最大値との関係を示す. 鉱油 P15 では 74 穴加工中の工具後退時にタップが折損したため実験を中断した. 加えて, 図から添加剤の効果と粘度の効果によりタップトルクの減少が見られることが分かる.

Figure 6 には計測された AE 波のしきい値 0.01V におけるイベント数を示す. 図からトルクと同様に添加剤の効果と粘度の効果が見られることが分かる. また, P15 のイベント数が加工継続に伴い増加する傾向が見られた. Figure 6 のイベント数を積算した結果を Fig. 7 に示す. 図からイベント数積算値の増加割合からも添加剤の効果と粘度の効果が見られることが分かった. 実験に使用したタップ切れ刃の SEM による観察結果を Fig. 8 に示す. 図から切削油に P15 と P32 を使用した切れ刃は逃げ面摩耗が見えるのに対し, 鉱油 P15 に硫黄系極圧添加剤を加えた切削油を使用した切れ刃では逃げ面摩耗をほぼ確認できなかった. すなわち, 低粘度の無添加鉱油 P15 にて AE 波が多く計測された理由は切れ刃の摩耗に起因していると予想される.

### 4. おわりに

タップ加工のモニタリングを目的に無線式 AE 波計測装置を試作し, 工具を伝達する AE 波を計測した. 実験の結果, AE 波のイベント数は切削トルクの計測結果と同じ傾向を示すことが分かった. これにより, 本装置はタップの工具摩耗をモニタリングできる可能性があることが分かった. 今後は, AE 波の発生原因を調査する予定である.

### 文献

- 1) 松岡: 機械学習を用いた切削工具の状態監視, トライボロジスト, 67, 12 (2022) 851-857
- 2) 長谷: アコースティックエミッション計測の基礎, 精密工学学会誌, 78, 10, (2012) 861.
- 3) 大津: コンクリート工学におけるアコースティック・エミッション(AE)研究の歴史と現状, 土木学会論文集, 496, 24(1994)9-19

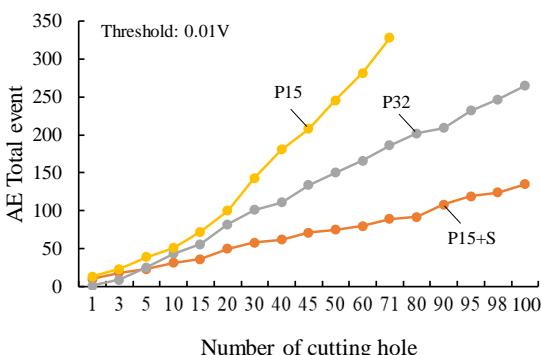


Fig. 7 Measurement of AE total event

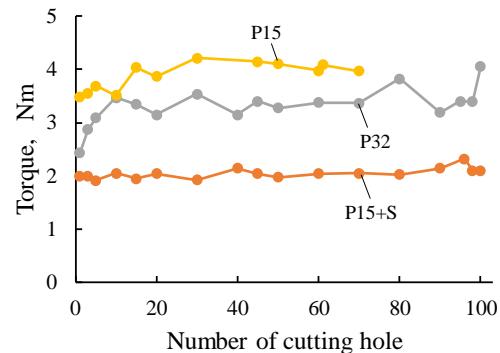


Fig. 5 Measurement of tapping torque

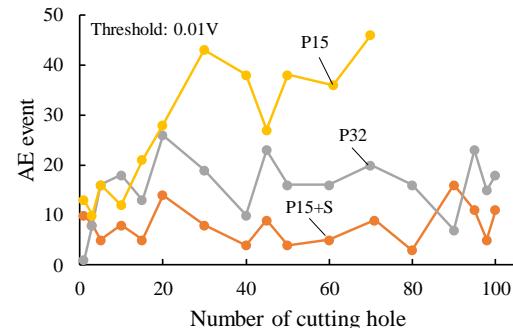


Fig. 6 Measurement of AE event

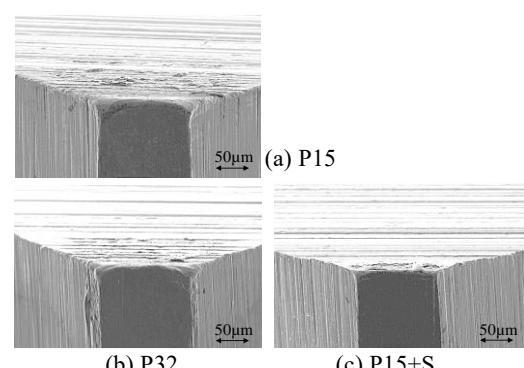


Fig. 8 SEM image of cutting edge (50 holes)