

# アコースティックエミッション法を用いた 微小径ドリルの折損予測に関する研究

長谷 亜蘭

埼玉工業大学工学部機械工学科

alan\_hase@sit.ac.jp

## A Study on Prediction of Breakage in Micro Hole Drilling Using Acoustic Emission Technique

Alan HASE

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

### Abstract

In micro hole drilling that uses minute diameter drills of 1 mm or less in a diameter, clogging and twining of chips, adhesion of workpiece material can become the factors of breakage of the drills. The identification of the cutting state is assumed to be a very difficult. An acoustic emission (AE) measurement is a nondestructive testing that measures elastic stress waves generated when a material is deformed and fractured. In AE measurements, a high sensitive measurement is possible without changing the rigidity of an experimental system unlike the force sensing of cutting resistance etc. In this study, the identification of the cutting state and the tool wear, and the abnormality prediction in micro hole drilling are tried by using the frequency changes in the AE signal waveforms due to deformation and fracture mode.

**Key Words:** acoustic emission (AE), sensing, micro hole drilling, frequency analysis, IoT

### 1. 緒 言

2011年にドイツ政府が打ち出したインダストリー4.0 (Industrie 4.0)<sup>1)</sup>を皮切りとして、日本政府ではソサイエティ5.0 (Society 5.0: 狩猟社会, 農耕社会, 工業社会, 情報社会に続く新たな社会)<sup>2)</sup>と銘打った科学技術政策が現在進められている。Society 5.0の実現には、フィジカル (現実) 空間からセンサとIoT (Internet of Things)<sup>3)</sup>: 様々なモノに通信機能を持たせ、

インターネット通信等によって、自動認識や自動制御, 遠隔計測・操作などを行う考え)を通じてあらゆる情報が集積 (ビッグデータ) され, 人工知能 (AI) がビッグデータを解析し, 高付加価値を現実空間にフィードバックさせることが必須となる<sup>4)</sup>。その中でも, センシング技術は現実空間からの情報を取得して, 評価・判断の足掛かりを築くという重要な役割を担っている。

製造・加工分野においては工作機械の IoT 化・知能化，スマートファクトリーの実現が急務となっており，高感度かつ高確度なセンシング技術が必要とされている．また，機械システムや要素部品等の小型化に伴い，超精密加工や超小型工作機械における加工状態監視の要求も年々高まっている．工作機械や製品の小型化により工作物および加工寸法が極めて小さくなるため，加工中の切削状態を従来通りの手法（切削動力や振動など）で認識・評価するのは困難となる．

したがって，加工状態把握・認識のための技術確立こそがマイクロ生産技術の発展および工作機械の IoT 化へのブレークスルーに繋がると考える．そこで，変形・破壊現象に対する検出感度が高いアコースティックエミッション (AE) 計測<sup>5)</sup> を加工モニタリングに適用するため，旋削加工における加工現象と AE 信号の紐づけを先行研究で主に行ってきた<sup>6-8)</sup>．本研究では，変形・破壊モードによる AE 信号波形の周波数変化を利用し，微小径ドリル加工における加工状態監視および工具摩耗の進行状況の認識と折損予測を試みる．

## 2. 実験方法

図 1 は，本研究で使用した小型自動ボール盤を用いた実験系の外観である．今回，工具は直径 1.0 mm の高速度鋼ドリルを使用した．一部，窒化チタン (TiN) コーティングが施されたドリルを用いた実験も実施した．被削材は，ブロック状

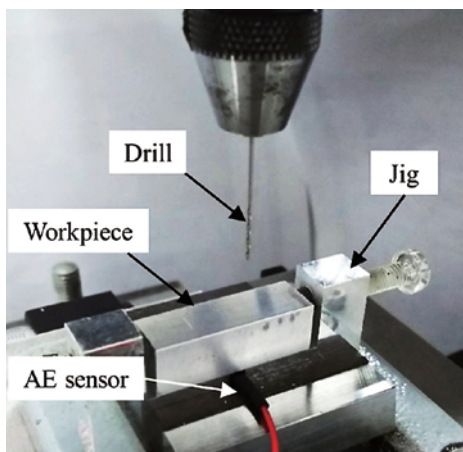


Fig. 1 Appearance of the experimental setup.

10 × 10 × 25 mm のアルミニウム合金 (A6063) を使用した．この被削材に 2.5 mm 間隔で，深さ 9 mm の穴を加工する実験を行った．ステップ切削時間を 0.5 秒とし，ステップ戻り時間を 0.7 秒に設定した．実験条件は，表 1 に示す通りである．今回は乾式切削で実験を実施した．

本研究では，加工現象の変化に伴う AE 信号原波形の周波数スペクトル変化を調べるため，広帯域型 AE センサ (AE-900M-WB) を使用した．AE センサは，被削材の下面に治具を用いて設置した．AE センサから出力信号は，ブリアンプで増幅した後，ノイズの影響を抑えるためにディスクリミネータにより，50 kHz のハイパスフィルタ処理を施した．本研究では，AE 信号原波形と AE 平均値電圧 (AE 信号振幅値の変化に相当) の計測を行った．

Table 1 Summary of the experimental conditions

AE sensor	Wideband-type
Tool material	High-speed steel (SD), uncoated/TiN coated
Workpiece material	Aluminum alloy (A6063)
AE amplification factor	40 dB
Rotation speed	6500 rpm
Cutting speed	18.8 m/min
Feed rate	162 mm/min
Feed	0.025 mm/rev

## 3. 実験結果および論議

図 2 は，高速度鋼ドリルを使用した加工実験における穴あけ回数による AE 平均値電圧変化の比較である．図 2 において，穴あけ 40 回まではほぼ同様の変化を示しているが，その後は振幅値が上昇していき，最終的に穴あけ 55 回目でドリルが折損した．このように，加工開始時からある程度までは，AE 信号振幅値は同レベルであり，後半から増加する傾向がみられた．また，折損直前の 54 回目では，切削中の 7 秒付近で平均値電圧の数値が大きく上昇している．通常は穴あけの進行とともに，AE 信号振幅は緩やかに増加する．これは工具と被削材間の接触領域の増加および加工点とセンサ間の距離の減少による影響と考える．折損時は，切削開始

直後に AE 信号振幅が急峻に上昇した。上昇直前にわずかな変化がみられるため、ドリルの食いつき初期で折損に至ったといえる。

図 3 は、それぞれの穴あけ回数で計測された AE 信号原波形の周波数解析結果である。この結果から、加工回数を重ねるごとに、AE 信号振幅値だけでなく、1 MHz 近辺の AE 周波数ピークが上昇していくことが確認できる。特に、AE 信号振幅値に差異がみられない穴あけ 40 回目から、この高周波成分に特徴が現れていることに注目したい。このように、ドリルの折損前に高周波成分を持つ AE 信号波形が多く計測されるため、高周波成分を利用することによって折損予知が可能になると考える。また、図 2

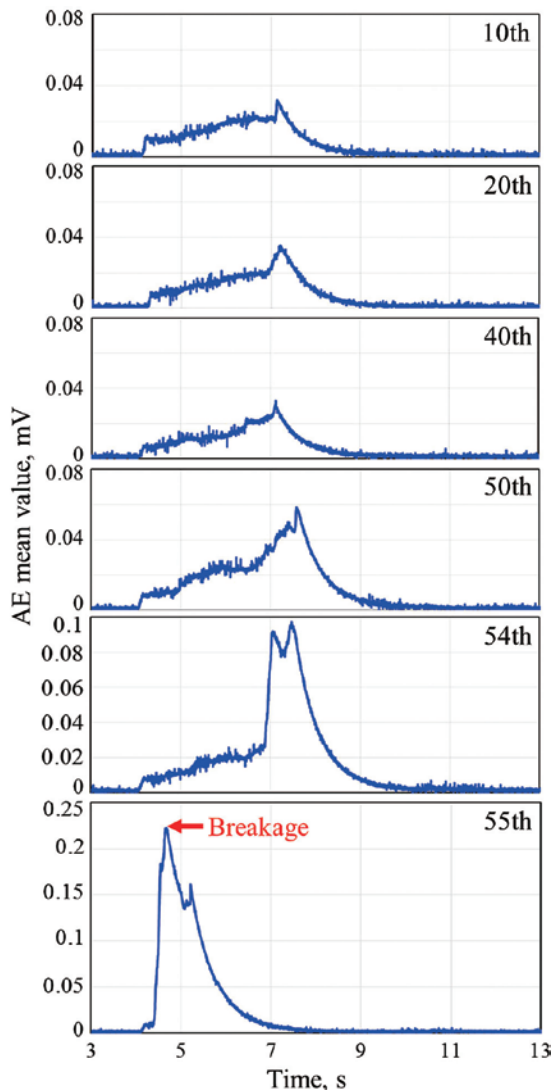


Fig. 2 Changes in the AE mean value detected during drilling until breakage of the uncoated drill.

の 5~7 秒の区間において、AE 信号振幅値の変動やレベルが大きくなっているのは、凝着現象によって切削状態が不安定になっていることが原因といえる。

図 4 は、未使用および折損した 55 回目のドリル刃先を顕微鏡観察した結果である。これらと比較すると、ドリルの刃先にチッピングが発

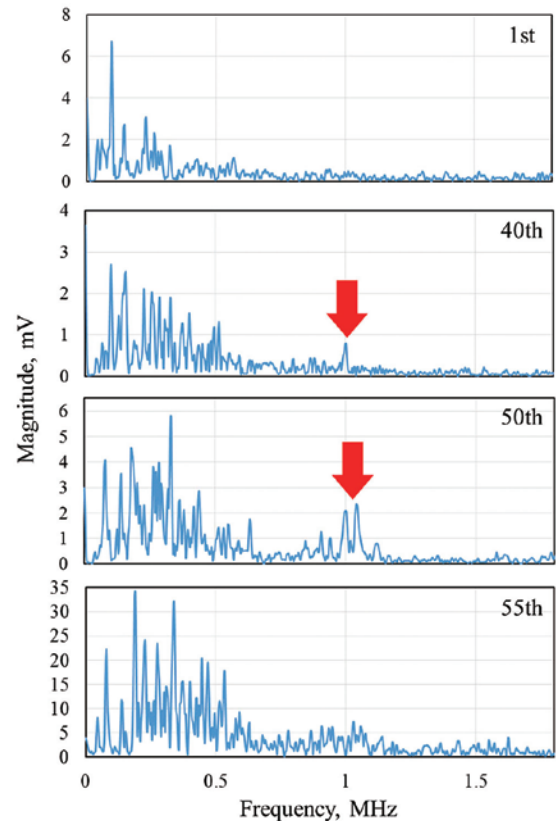


Fig. 3 Changes in the frequency spectrum of the AE signal waveform detected during drilling until breakage of the uncoated drill.

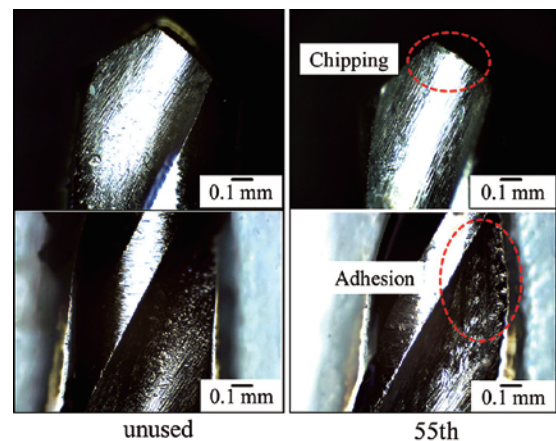


Fig. 4 Micrographs of the cutting edge of the uncoated drill for unused (left) and 55th drilling (right).

生しており、すくい面の部分には被削材の凝着がみられた。刃先のチッピングによって切れ味が低下し、凝着が進行し、この凝着によって加工時に異常が発生し、折損原因となったと考える。切りくず表面にも凝着摩擦の痕が確認された。

凝着現象が発生する際、AE 信号原波形の周波数スペクトルの高周波領域（1 MHz 付近）に周波数ピークが発生することが、先行研究<sup>6,8)</sup>からわかっている。また、図3をみると中周波領域（0.3 MHz 付近）にも周波数ピークが発生しており、切れ味の低下および凝着（切りくずのすくい面への凝着）に伴う切りくず排出時のはく離現象を捉えたものと考えられる。

図5は、TiN コーティングが施されたドリルを使用した加工実験における穴あけ回数によるAE 信号原波形の周波数解析結果である。この結果より、穴あけ5回目までは0.5 MHz 以上の高周波成分に特徴がみられないが、穴あけ6回目と7回目では1 MHz 付近に周波数ピークが発生している。この実験では、穴あけ7回目でドリルが折損しており、6～7回目の穴あけ加工で進行した凝着現象が起因したと考える。

図6は、未使用および折損した7回目のドリル刃先を顕微鏡観察した結果である。これより、ドリルすくい面に被削材の凝着が確認できる。

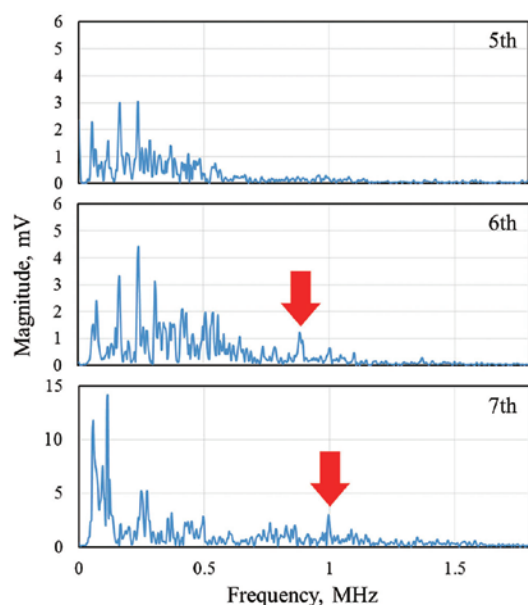


Fig. 5 Changes in the frequency spectrum of the AE signal waveform detected during drilling until breakage of the TiN coated drill.

図4と比較すると凝着領域が広範囲にみられるため、この凝着が未コーティングのドリルよりも早く折損した原因といえる。

今回の実験結果から、以下のAE 信号周波数スペクトルの特徴がドリルの異常状態の認識に有用であると考えられる。

- ・0.5 MHz 以下：切削現象に起因（加工面のむしれにより増加）
- ・1 MHz 以上：凝着現象に起因（工具折損の予兆に利用可能）

高精度のAE 計測およびIoT 化の実現のためには、信号の特徴抽出が有効となる。そこで、AE 信号原波形の周波数解析結果を整理したAE 周波数-摩耗形態の相関マップ<sup>9)</sup>を考案し、その相関マップのバージョンアップを現在進めている<sup>10)</sup>。被削材加工面およびドリルスくい面の観察結果を踏まえ、微小径ドリル加工におけるAE 信号周波数スペクトルの特徴を整理した相関マップを図7に示す。この相関マップを活

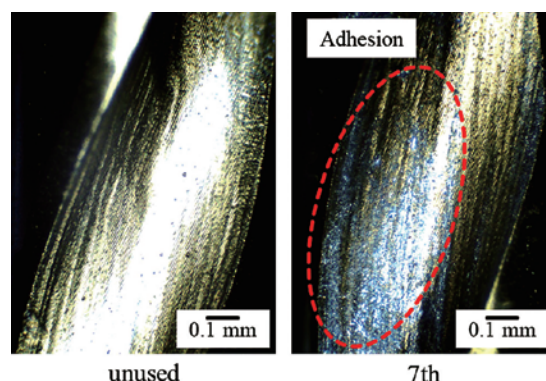


Fig. 6 Micrographs of the cutting edge of the TiN coated drill for unused (left) and 7th drilling (right).

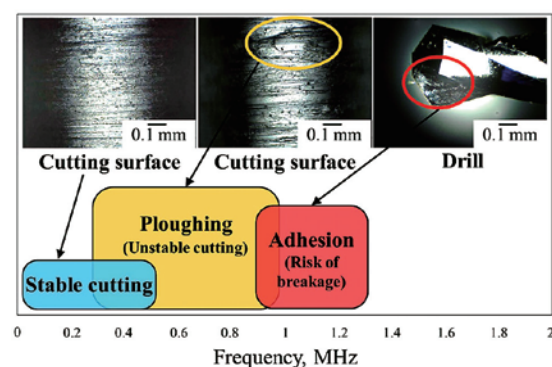


Fig. 7 Correlation map of AE frequency spectrum for identifying drilling state.



用すれば、ドリル折損の起点となる凝着の発生のみならず加工面のむしれ（掘り起こし）といった加工状態もインプロセスで認識できると考える。今後、異なる工具および被削材を用いた実験や潤滑下の実験によりさらなる検証を進めていく。

#### 4. 結 言

本研究では、AE 法を用いた微小径ドリル加工の異常予知に関して検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1) ドリルの折損が近づくにつれ、AE 平均値電圧が大きくなる傾向にあることがわかった。
- (2) 工具刃先に折損の原因となる凝着が発生すると、1 MHz 付近の高周波数成分を持つ AE 信号が計測されることがわかった。
- (3) AE 信号周波数スペクトルの特徴は、コーティング有無に関わらず、同様の傾向を示す。
- (4) AE 信号振幅値および周波数成分の変化を計測することによって、微小径ドリルの切れ味の状態を高確度に評価できると考える。

#### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、実験の補助をいただいた埼玉工業大学工学部機械工学科の当時学生であった山崎裕史 氏、河谷 誠 氏、間仁田直哉 氏、松岡良太 氏に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) H. Kagermann, W.D. Lukas, W. Wahlster: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf

dem Weg zur 4. industriellen Revolution, VDI nachrichten, Nr.13 (2011).

- 2) 内閣府：第 5 期科学技術基本計画, (2016) pp.9-15.
- 3) K. Ashton: That ‘Internet of Things’ Thing, RFID Journal, July 22, 2009.
- 4) 内閣府：Society 5.0「科学技術イノベーションが拓く新たな社会」説明資料, p.3.
- 5) 長谷亜蘭：アコースティックエミッション計測の基礎, 精密工学会誌, 78 巻, 10 号 (2012), pp.856-861.
- 6) A. Hase: Acoustic Emission Signal during Cutting Process on Super-Precision Micro-Machine Tool, Proc. of the Global Engineering, Science and Technology Conference, Singapore, No.521 (2013).
- 7) A. Hase, M. Wada, T. Koga, H. Mishina: The Relationship between Acoustic Emission Signals and Cutting Phenomena in Turning Process, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.70 (2014) pp.947-955.
- 8) A. Hase: A Study on AE Signals during Micro Cutting by In Situ Observation of Metal Cutting, Progress in Acoustic Emission XVIII Proc. of the 23<sup>rd</sup> International Acoustic Emission Symposium, Kyoto, (2016) pp.55-60.
- 9) A. Hase, H. Mishina, M. Wada: Correlation between Features of Acoustic Emission Signals and Mechanical Wear Mechanisms, Wear, Vol.292-293 (2012) pp.144-150.
- 10) 長谷亜蘭：摩耗計測の進化と可能性, トライボロジー会議予稿集 東京 2018-5, (2018) pp.430-431.