

各種センサを用いたドリル加工における加工状態識別に関する研究

森本和邦*

Identification of Cutting Trouble with Various Sensors in Drilling Process

Kazukuni MORIMOTO

In this study, we proposed a discrimination method of operating states in drilling with various sensors such as those for table accelerations vibrational sounds, and cutting forces. As a result, the following characteristics were observed: (1) just at the moment of drill breakage in comparison with the period before drill breakage, the table accelerations showed no increase, and yet the cutting forces and the vibrational sounds showed large increase; (2) as for the frequency spectra, the principal frequency and the second order higher harmonic wave frequency of the spindle rotation were observed in the thrust forces, while the natural vibration frequency of the work material was mainly observed in the vibrational sounds; (3) the vibrational sounds were considered to be useful in discriminating the operating states of drilling because the vibrational sounds contained various frequency components such as the cutting force variations, the motor sounds, and the abrasive sounds between the tool and the hole inner wall as well as the natural vibration frequency of the work material.

Keywords: Drilling, Detecting Cutting Trouble, Cutting Sound, Acceleration, Cutting Force

1. はじめに

近年、政府が Society5.0 を提唱する中で、製造業においては生産工程、検査工程の可視化、自動化に取り組む企業が増えている。可視化や自動化を行うためには、カメラ、加速度センサ、磁気センサ、光センサ等の各種センサが用いられるが、センサから取得したデータを生産性向上に活用することに課題を抱えている企業は多い。一部の工作機械では、装置破損に至る事がないように主軸の加速度センサや主軸サーボモータの負荷を監視することが行われている¹⁾。工具が破損する直前や破損直後であれば上記方法により検知可能であるが、工具破損を事前に予測する技術は確立していない。破損検知は、生産工程では探針を接触させる方法で行われ、センサを用いた方法ではアコースティックエミッション、切削音、主軸モータ電流を用いた実施例が報告がされている²⁻⁵⁾。しかしながらセンサを用いた方法はコス

トや検出精度の点で生産工程において幅広く実用化されるには至っていない。そこで本研究では、センサを用いる方法の実用性を高めることを目指し、加速度センサ、切削音、切削抵抗を組み合わせることでドリル加工の加工状態の識別が可能であるか否かについて調査し、周波数解析により識別できる可能性を示唆する結果を得たので報告する。

2. 実験方法

2. 1 被削物

切削試験に用いた被削物は、S50C 材の焼入れ焼き戻し処理されたものを用いた。被削物の大きさは、W150×L100×H35 mm とした。切削抵抗を測定するため、取り付け用の座グリ穴を被削物の 2 か所に設け、六角穴付きボルトにより固定を行った。

2. 2 加工方法

実験装置の概要を図 1 に示す。切削加工においては切削油剤を用いる事が一般的であるが、今回の実験では切削音を抽出しやすくするために切削

* プロジェクト研究課

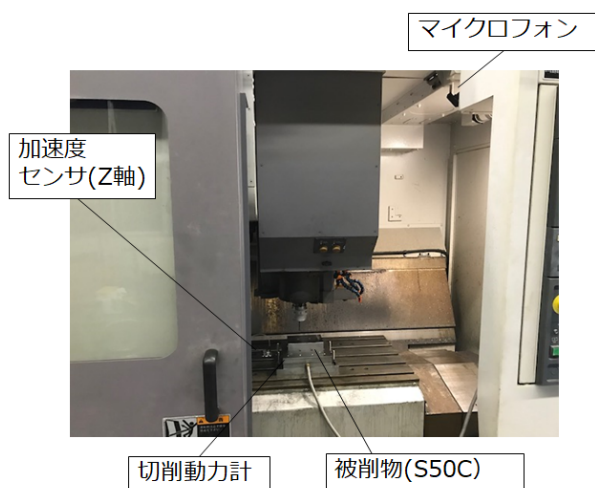


図1 実験装置

油剤を用いずドライ加工とした。加工はハイスドリルを用い、ドリルが破損するまでマシニングセンタ(森精機製 SV-403)により連続して穴加工を繰り返し行った。切削条件は表1に示すとおりで工具のドライ加工における推奨条件を参考に選定した。

2. 3 測定方法及び解析方法

測定は、切削抵抗、加速度、切削音の3種類について行った。切削抵抗は切削動力計により測定し、切削音はマイクロフォンを装置内上部に被削物に向けて取り付け測定し、加速度は加速度ピックアップを固定テーブルに取り付けて鉛直方向の加速度を測定した。各種センサのサンプリング周波数は、切削抵抗は1.2 kHz、切削音は88.2 kHz、加速度は100 kHzとした。センサデータの解析は、切削抵抗、切削音、加速度の大きさ及び周波数を解析した。周波数解析は、短期間フーリエ変換により行い、窓関数としてハミング窓、サンプル数として4096個のデータをサンプル数の半数個ずつずらしながら1穴加工毎に解析した。短時間フーリエ解析結果は、周波数成分を分かりやすくするため、グラフを重ね書きして表示した。

3. 結果および考察

3. 1 穴加工の結果

穴加工を行った結果、216穴目でドリルが破損した。ドリルの破損時にはその数穴目前までの切削音と比較して大きな音が発生していた。

3. 2 切削抵抗の測定結果

穴加工における切削抵抗の測定結果を図2に示

表1 切削条件

Cutting condition	
Cutting speed [m/min]	32
Feed rate [mm/tooth]	0.05
Spindle rotation [rpm]	2390
Hole depth [mm]	20
Courant	None
(dry condition)	
Drill	φ 4.2mm
	三菱マテリアル

す。切削抵抗はZ軸方向のスラスト力は300 N付近で徐々に上昇する傾向で破損直前では400~500 Nまで上昇した。またZ軸回りの切削トルクは1~2 N・mで推移し、ドリル破損の直前では7 N・m付近まで上昇していた。スラスト力の周波数解析結果を図3(a)~図3(e)に示す。図3は、加速度が測定できなかった時間を除くため40, 80, 120, 150, 215穴目の周波数解析結果を示しており、周波数測定結果は標本化誤差として約3 Hzの誤差を有している。スラスト力の周波数成分は、41 Hz, 82 Hz, 157 Hz, 237 Hz, 314 Hz, 394 Hzが観測された。単位時間あたりのドリルの回転数は約40 Hzであり、ドリルの刃数が2であることから、回転により発生する基本周波数は約80 Hzとなり、その倍数の周波数が発生していたと考えられる。ドリル破損直前(215穴目)のスラスト力は、約77.3 Hzの周波数成分が大きく、次いで157 Hzが大きかった。

3. 3 加速度の測定結果

穴加工における加速度の大きさを図4(a)~図4(e)に示す。加速度の大きさは、ドリル破損時

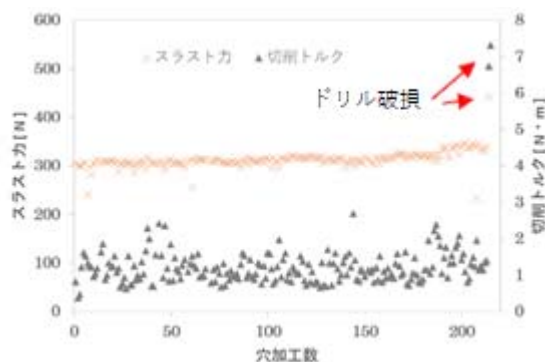


図2 スラスト力及び切削トルク

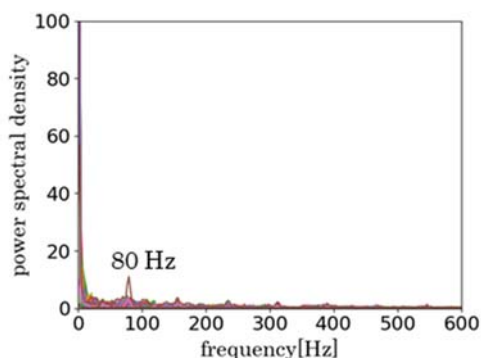


図 3(a) 40 穴目のスラストの短時間フーリエ解析結果

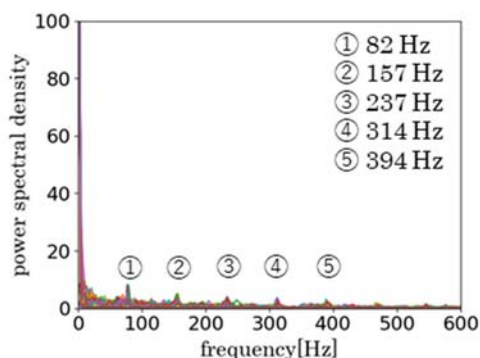


図 3(d) 150 穴目のスラストカの短時間フーリエ解析結果

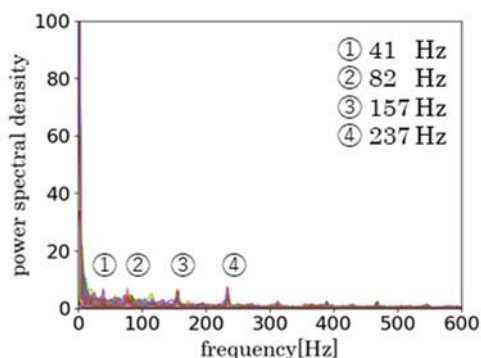


図 3(b) 80 穴目のスラストカの短時間フーリエ解析結果

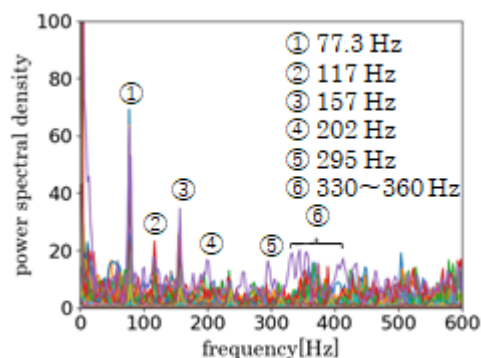


図 3(e) 215 穴目のスラストカの短時間フーリエ解析結果

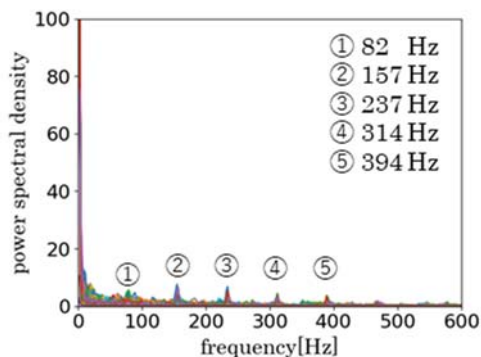


図 3(c) 120 穴目のスラストカの短時間フーリエ解析結果

1,025 Hz, 1,147 Hz, 1,391 Hz, 1,489 Hz, 1,757 Hz, 1,855 Hz, 2,124 Hz, 2,221 Hz, 2,490 Hz, 3,000 Hz 付近の周波数帯が観測された。加速度では、ドリル破損時にも大きさが通常と同程度であり、ドリル破損兆候特有 (215 穴目) の周波数も見られなかった。これは、加速度センサは装置の固定テーブルに固定しており剛性が被作物と測定装置の振動系と比較して高いために、ドリル破損に伴う振動を捉えられなかった事が理由として考えられる。

にも 1 穴～210 穴目までと同程度であった。また 3,300 秒付近から 4,200 秒付近までは加速度ピックアップに堆積した切粉による導通が発生したため、測定が出来なかった。加速度の周波数解析結果を図 5(a)～図 5(e)に示す。図 5 は、測定できなかった時間を除くため 40, 80, 120, 150, 215 穴目の周波数解析結果を示しており、周波数解析結果は標準化誤差として約 26 Hz の誤差を有している。加速度は、48 Hz, 73 Hz, 292 Hz, 415 Hz, 659 Hz, 781 Hz,

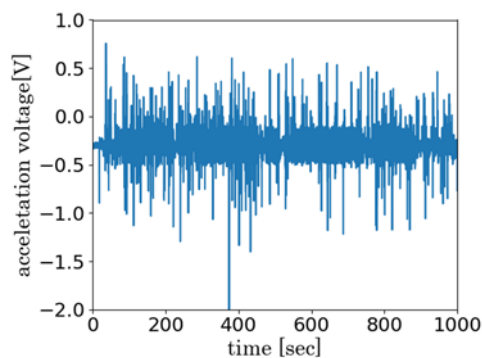


図 4(a) 0～1,000 秒の加速度の電圧

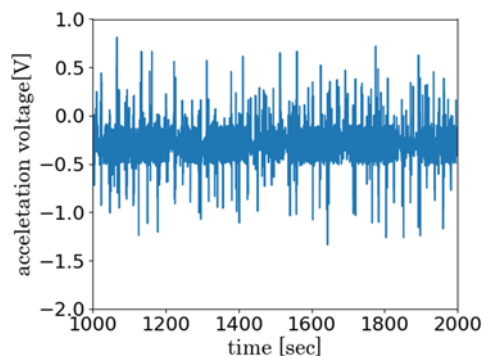


図 4(b) 1,000～2,000 秒の加速度の電圧

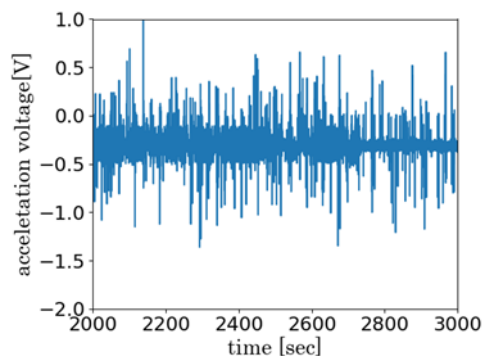


図 4(c) 2,000～3,000 秒の加速度の電圧

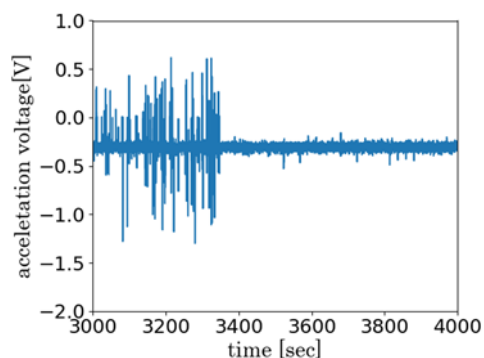


図 4(d) 3,000～4,000 秒の加速度の電圧

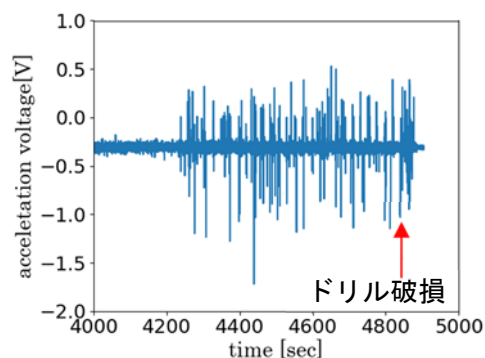


図 4(e) 4,000～5,000 秒の加速度の電圧

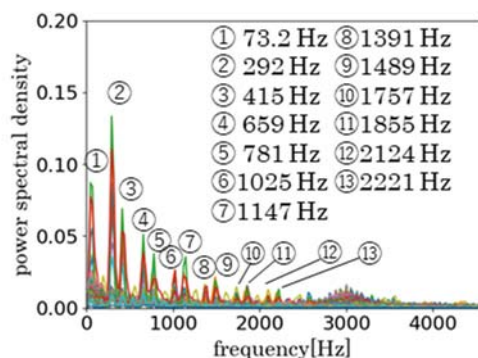


図 5(a) 40 穴目の加速度の短時間フーリエ解析結果

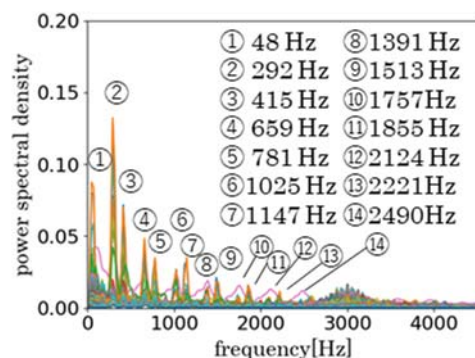


図 5(b) 80 穴目の加速度の短時間フーリエ解析結果

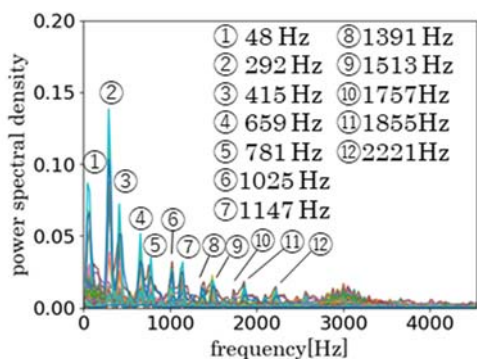


図 5(c) 120 穴目の加速度の短時間フーリエ解析結果

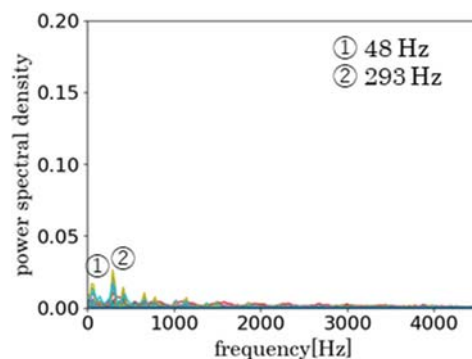


図 5(d) 150 穴目の加速度の短時間フーリエ解析結果

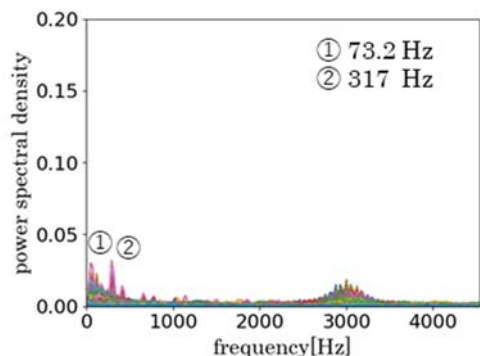


図 5(e) 215 穴目の加速度の短時間フーリエ解析結果

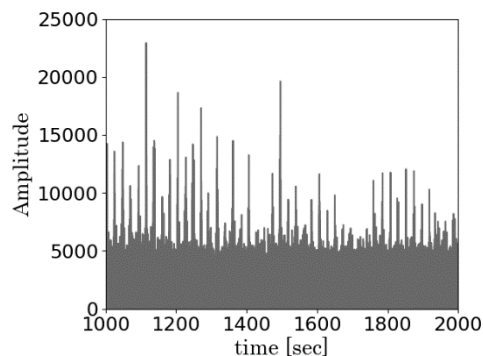


図 6 (a) 0~1000 秒の切削音の振幅

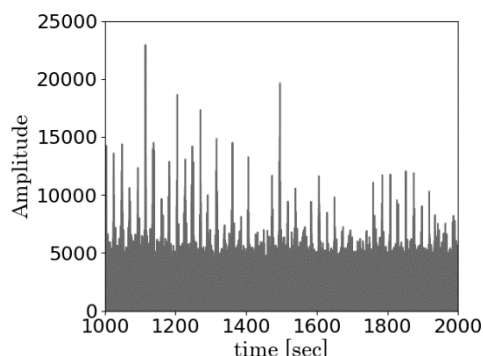


図 6(b) 1001~2000 秒の切削音の振幅

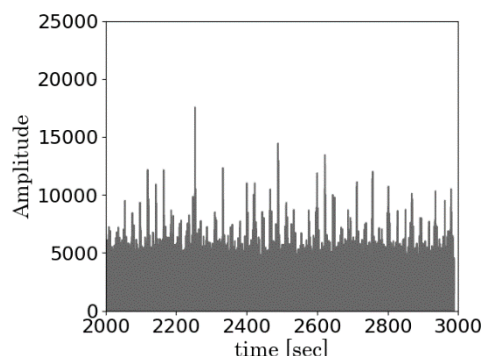


図 6 (c) 2001~3000 秒の切削音の振幅

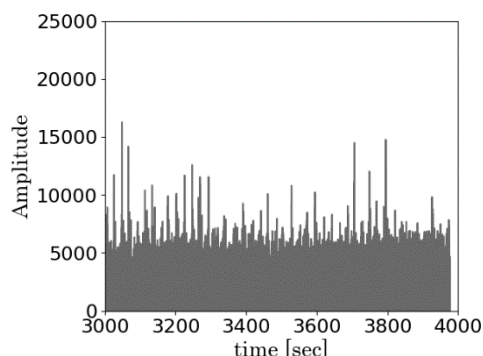


図 6 (d) 3001~4000 秒の切削音の振幅

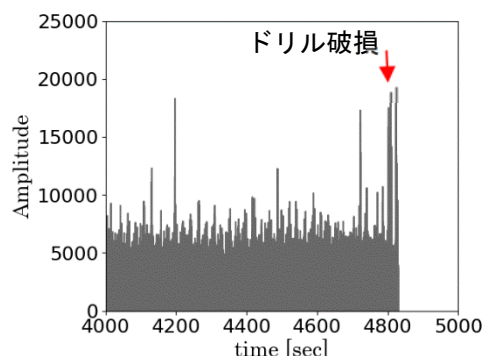


図 6 (e) 4001~5000 秒の切削音の振幅

3. 4 切削音の測定結果

穴加工における切削音の測定結果を図 6(a)~図 6(e)に示す。切削音は穴内壁とドリルの擦過が大きい時や切り屑排出不良が見られる時に大きくなる傾向が見られ、またドリルが破損する直前も大きな値を示していた。切削音の周波数解析結果を図 7(a)~図 7(e)に示す。図 7 は、加速度が測定できなかった時間を除くため 40, 80, 120, 150, 215 穴目の周波数解析結果を示しており、周波数解析結果の標本化誤差として約 22 Hz の誤差を含んでいる。切削音は、366 Hz, 883 Hz, 1,160 Hz, 6,100 Hz, 10,000Hz, 11,800 Hz と幅広い周波数が観測された。ドリル破

損直前では、646 Hz, 883 Hz, 1,210 Hz の周波数成分が大きく、次いで 6,000 Hz の周波数が発生していた。これは被削物系の固有振動数が 600~700 Hz であることから、被削物が共振して発生した音が大きかったためと考えられる。高音域の音については、加工時の状態から判断するとモータの回転音やドリルと穴内壁の擦過している音を計測しているものと考えられる。

3. 5 加工状態の識別

ドリル破損直前には、スラスト力は工具回転の基本周波数とその倍数の力成分が主な力の周波数成分として現れることが示唆された。加速度で計測され

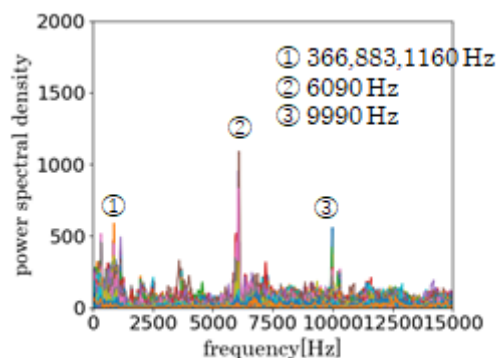


図 7(a) 40 穴目の切削音の短時間フーリエ解析結果

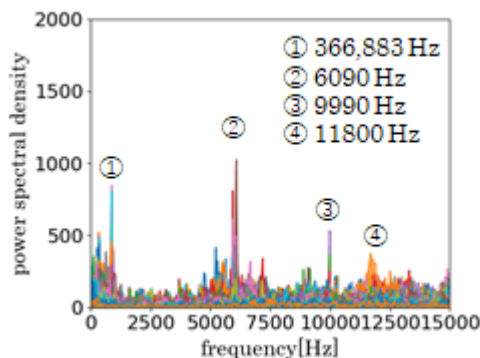


図 7(b) 80 穴目の切削音の短時間フーリエ解析結果

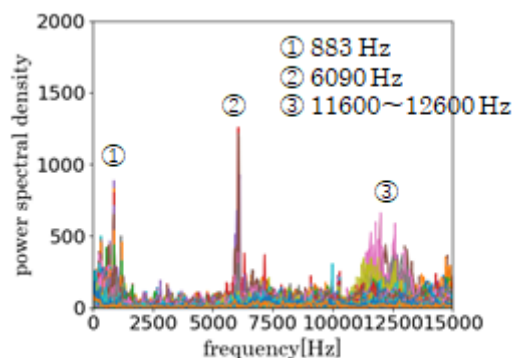


図 7(c) 120 穴目の切削音の短時間フーリエ解析結果

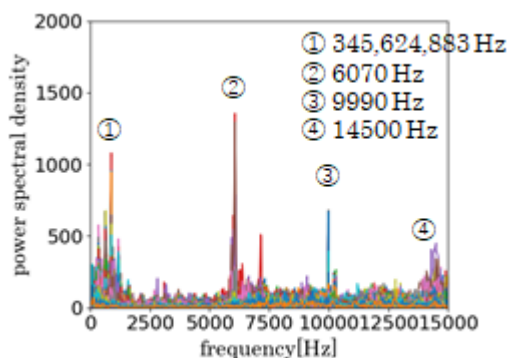


図 7(d) 150 穴目の切削音の短時間フーリエ解析結果

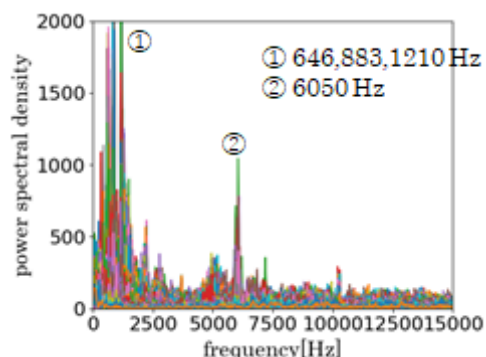


図 7(e) 215 穴目の切削音の短時間フーリエ解析結果

た周波数はスラスト力の周波数成分および、被削物系の固有振動数の周波数である 600~700 Hz とその倍数が計測されていると考えられた。切削音は、低周波成分はスラスト力及び被削物系の振動音に起因するもの、高音域での周波数成分は、モータの回転音及び穴内壁とドリルの擦過音を計測していると考えられた。切削音はスラスト力、加速度に比較して、モータの回転音や穴内壁とドリルの擦過音等多くの情報を有していることが確認された。これは、オペレータが加工状態を判断する際に音を利用して

いることと一致する。ゆえに切削音の大きさ及び周波数により加工状態をある程度識別できると考えられる。しかし、実際の加工においては切削油剤を用いることが一般的であり、切削油剤を用いた場合にも切削音から加工状態が識別できるかは別途調査が必要である。

4. まとめ

ドリル破損の事前予測に繋げることを目的にマシンニングセンタにより切削油剤を用いずにドリルが破損するまで穴加工を行い、切削抵抗、加速度、切削音の大きさ及び周波数解析を実施し、穴加工状態の識別を試みた。その結果以下の事が得られた。

(1) ドリルの破損の直前では加速度は大きな変化は見られないものの、スラスト力、切削音は上昇し、その際のスラスト力は工具回転周期の 80 Hz 及びその倍数で、切削音の周波数は 646 Hz, 883 Hz, 1,210 Hz であった。

(2) 切削音は、切削抵抗、加速度で捉えられていない高周波成分を含んでいた。またドリル破損時には切削音の周波数成分は、加速度、スラスト力の周波

数成分及び被削物系の固有振動数を含み、加えてモータの回転音や被削物とドリルの擦過音を捉えている可能性があり、穴加工における加工状態を識別できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 桑原修：“小径ドリル加工における加工時のモータ電力変化とドリル折損の関係”，広島県工業技術センター年報，第19巻，p37-40 (2006)
 - 2) 古賀俊彦ほか：“アコースティックエミッション法を用いた切削状態の監視に関する実験的検討”，トライボロジスト，第63巻 第7号(2018) p487～498
 - 3) 高橋悠ほか：“切削音を利用した工具摩耗のリアルタイム判定”，第10回生産加工・工作機械部門講演会：生産と加工に関する学術講演会 p59-60 (2014)
 - 4) 伊藤一夫：“電力監視を基にした工作機械の診断技術”，精密工学会誌，Journal of the Japan Society for Precision Engineering vol83, No.3 (2017) p214-219
 - 5) 藤井義也ほか：“主軸電流値による切削状態の監視について”，精密工学会誌，Journal of the Japan Society for Precision Engineering vol55, No.7 (1989) p1301-1306
- (本研究は，法人県民税の超過課税を財源としています.)