

経常研究

切削加工音による工具摩耗状態の推定に関する研究

小池 宏侑* 近藤 弘康* 石原島 弘明*

Estimation of Tool Wear State by Cutting Sound
KOIKE Hiroyuki, KONDO Hiroyasu and ISHIHARAJIMA Hiroaki

1 枚刃の正面フライスを用いた切削試験において、計測用及び汎用マイクロホンを用いて加工中の音を収集し、加工状態（工具摩耗）と切削加工音の関係を調査した。その結果、集音データにバンドパスフィルタ処理と強制振動の整数倍成分のみを抽出することで、切削条件、マイクロホンの種類、被削材保持状況によらず、加工音により工具摩耗を推定できる可能性が示唆された。

Key words: 加工音, マイクロホン, 正面フライス, 工具摩耗, 切削力

1 はじめに

近年、金属加工業界では部品価格の低下に伴う部品製造コストの削減が大きな課題となっている。また、製品不具合が発生した場合、再製作にかかるコストが余分に発生してしまうため、不具合リスクの低減も加工現場では常に意識されている。

切削加工現場では、切削面の加工キズの有無などの品質で工具を管理し、工具交換が行われている現状がある。不良製品が出るまで工具を使用するため、不良製品数の増加や時間ロスによる生産性の低下が発生する。加えて、不良製品の確認漏れが発生した場合、後工程にて手作業による磨きが必要となるケースがある。このため、切削加工現場では生産性の向上、不良の確認漏れ防止を目的として、工具の摩耗を監視する手法が求められている。

工具の摩耗を監視する手法として振動、アコースティック・エミッション (AE)、音等を用いた研究^{1) 2)}が行われているが、本研究では、安価なマイクロホン等をセンサとして使用可能な加工音に着目し、正面フライスを用いた切削試験を行うことにより工具摩耗状態と切削加工音の関係を調査した。

2 研究の方法

2.1 工具摩耗試験

正面フライス加工における工具摩耗試験を行い、工具摩耗状態と加工音との関係性を調査した。

摩耗試験の段取りを図1に示す。加工機は3軸マシニングセンタ（安田工業 YBM640verⅢ）を用いて、被削材は64チタン（ASTM B348 Gr.5）、加工工具はホルダ（三

菱マテリアル ASX445-050A03R）に新品のインサート（三菱マテリアル SEMT13T3AGSN-JM VP15TF）を1枚のみ取り付けて使用し、表1に示す切削条件で工具摩耗試験を行った。摩耗試験用被削材を一定距離切削するごとに、切削動力計（日本キスラー 9265B）に固定した被削材（切削力測定用被削材；64チタン（ASTM B348 Gr.5））を切削し、切削動力を測定した。

なお、切削力は主分力のピーク平均を用いた。

表1 切削条件

呼称	Vc75	Vc100	Vc125
切削速度 Vc [m/min]	75	100	125
1刃送り fz [mm/tooth]	0.3		
軸方向切込み ap [mm]	0.5		
半径方向切込み ae [mm]	5.0		
切削液	無		

2.2 マイクロホン

加工音については、入力感度等のマイクロホン性能が影響することが考えられることから、計測用マイクロホン（小野測器 MI-1234）及び汎用マイクロホン（エレコム HS-MC05UBK）を用いることとし、加工機の主軸上部に取り付け（図1、図2）、切削力測定用被削材及び摩耗試験用被削材加工時のマシニングセンタ内部の音を収集した。

3 結果及び考察

3.1 加工条件に応じた切削加工音の解析

工具摩耗状態と加工音との関係性を調査するにあたり、切削条件が加工音に及ぼす影響を明らかにするため、各切削条件における被削材加工時と非加工時（主軸空転時）の集音データをフーリエ変換し、周波数解析を

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

行った。Vc100 の条件において一定程度摩耗が進行した際の集音データの解析結果を図 3 に示す。

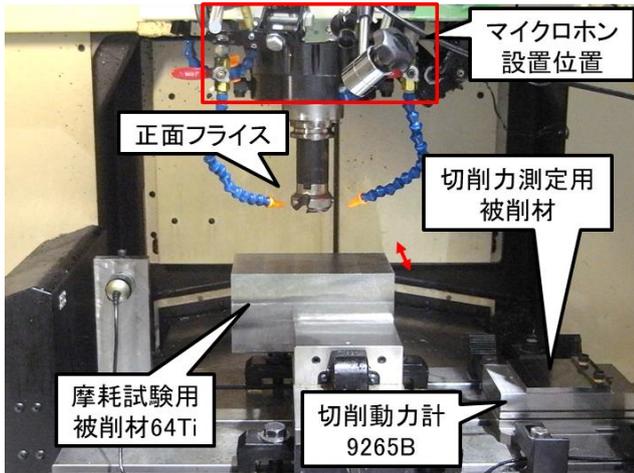


図 1 摩耗試験段取り

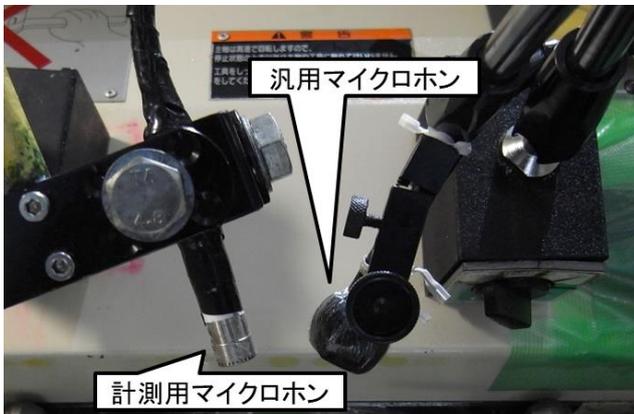


図 2 マイクロホン設置方法 (加工機主軸上部)

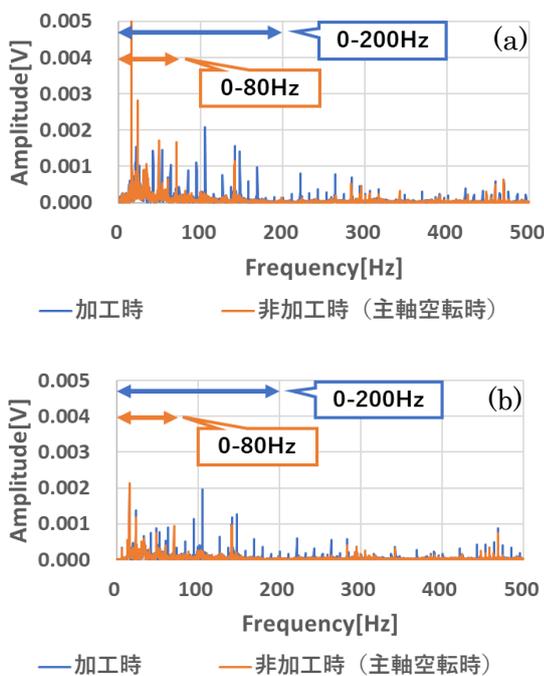


図 3 周波数解析結果

(Vc100, 切削力測定用被削材加工時)

(a) 計測用マイクロホン, (b) 汎用マイクロホン

図 3 から、計測用マイクロホンでは加工時は 200Hz 以下、非加工時は 80Hz 以下の範囲にそれぞれピークが集中していることが分かる。また、汎用マイクロホンにおいても、非加工時のピークの大きさに差があるものの、計測用マイクロホンと同様の傾向を示している。この結果を踏まえ、加工中の音を抽出するため、Vc100 の条件で切削力測定用被削材を加工した際に、計測用マイクロホンで取得した集音データ (図 4) をフーリエ変換し、200Hz 以下のローパスフィルタ処理を施した後、逆フーリエ変換を実施した (図 5)。

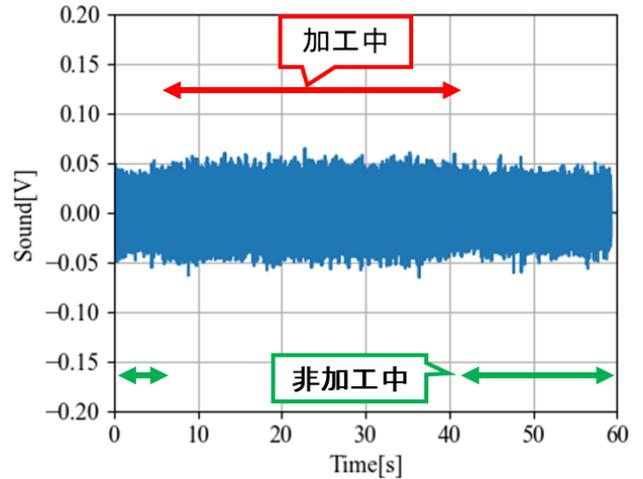


図 4 集音データの波形

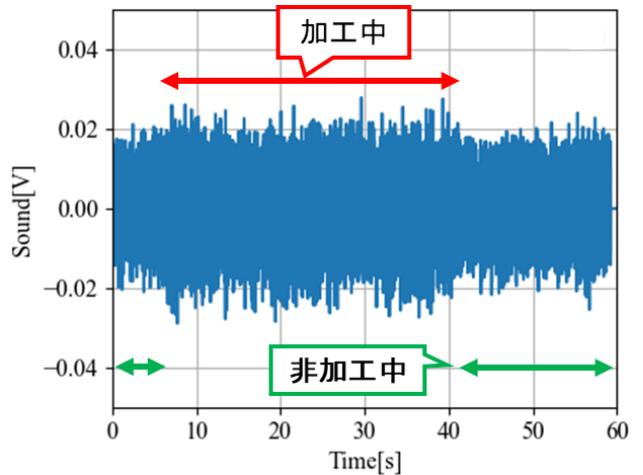


図 5 逆フーリエ変換後の波形
(200Hz 以下のローパスフィルタ処理)

図 4 及び図 5 から、集音データに対し、逆フーリエ変換後の波形の方が加工中と非加工中の区別ができるものの、ノイズが多く見られる結果となった。これは、200Hz 以下の周波数範囲に、加工音だけでなく非加工時に発生する環境音が含まれていたことによるものと推察される。

切削加工において、主軸回転に合わせて刃先が断続的に被削材と接触する際に発生する振動 (以下、強制振動

という。)の周波数及びその整数倍の高調波周波数の振動が生じることが知られており³⁾、令和3年度研究においても主軸に加速度センサを取り付け、切削加工中に取得した加速度を周波数解析したところ、強制振動の整数倍にピークが確認されている⁴⁾。物体の振動(加速度)が空気を伝播したものが音であることから、強制振動の整数倍に対応する周波数のみに着目することで、切削に伴う加工音を抽出できる可能性がある。

そこで、Vc100で切削力測定被削材及び摩耗試験用被削材を加工した際の集音データをフーリエ変換し、強制振動(Vc100の場合10.6Hz)の整数倍の周波数のデータのみを抽出した結果を図6、7に示す。

なお、実加工において周波数(主軸回転数)が変動することを考慮し、強制振動の整数倍に対し、±1Hzの範囲で抽出を行った。

図6及び図7から、計測用マイクロホン及び汎用マイクロホンのどちらの集音データについても、加工時のピークの範囲は150Hz以下、非加工時のピークの範囲は35Hz以下に狭まることが分かった。また、Vc75、125の各被削材における集音データについても同様の傾向を示した。

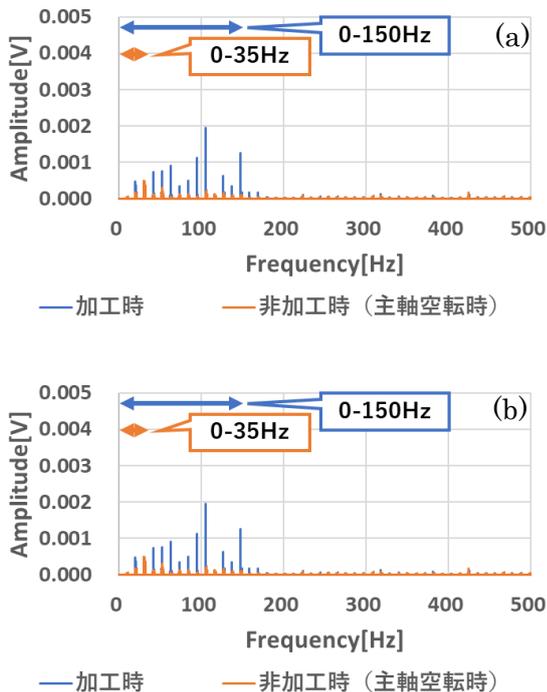


図6 強制振動成分のみ抽出した周波数解析結果 (Vc100, 切削力測定用被削材加工時)
(a)計測用マイクロホン, (b)汎用マイクロホン

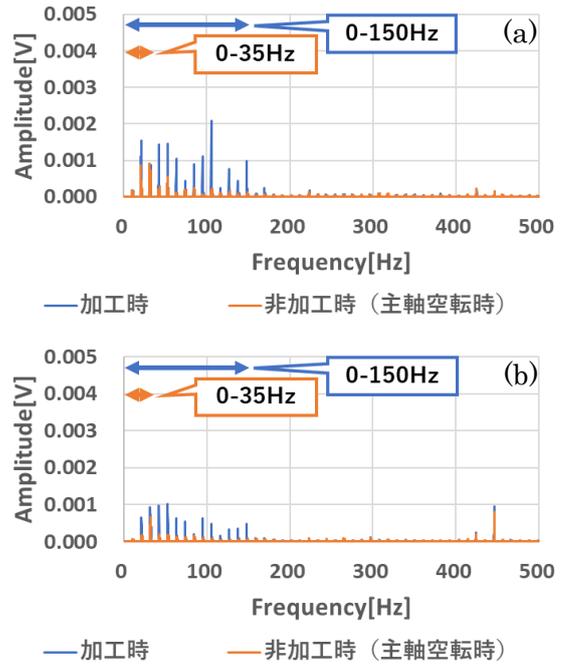


図7 強制振動成分のみ抽出した周波数解析結果 (Vc100, 摩耗試験用被削材加工時)
(a)計測用マイクロホン, (b)汎用マイクロホン

強制振動成分のみに着目した結果を踏まえて、図4の集音データをフーリエ変換し、35~150Hzのバンドパスフィルタ処理及び強制振動の整数倍±1Hzの範囲の成分のみを抽出する処理を施した後、逆フーリエ変換を実施した(図8)。

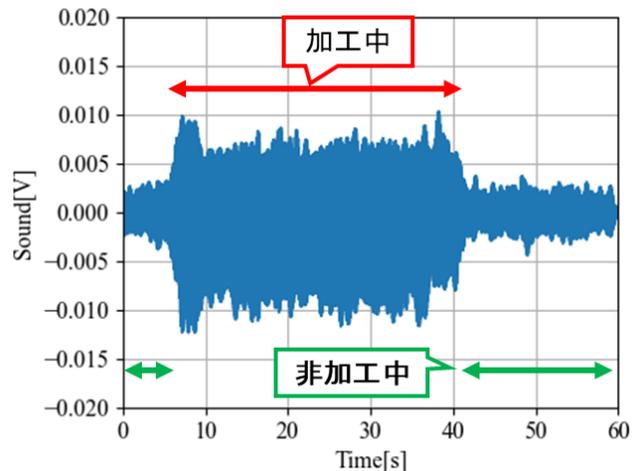


図8 逆フーリエ変換後の波形 (35~150Hz, 強制振動の整数倍±1Hzのみ)

図8から、ローパスフィルタ処理のみの場合(図5)に比べ、加工中と非加工中の差が明確になり、判別しやすいことが分かる。

以上のことから、加工中に発生する音のうち、35~150Hzかつ強制振動の整数倍の範囲の周波数が切削に伴

う加工音に関係すると推察される。

3. 2 切削加工音による工具摩耗状態の推定

3. 1の結果から、加工中に発生する音のうち切削に伴う音を抽出できる可能性が示唆された。工具摩耗の進展に伴って切削力が上昇することは一般的に知られているため、切削力と抽出した音（加工音）に相関関係が見られれば、加工音から工具摩耗を推定できる。

そこで、加工中の集音データをフーリエ変換後、35～150Hzのバンドパスフィルタ処理及び強制振動の整数倍±1Hzの成分のみを抽出し、逆フーリエ変換を実施することで得られた波形のうち切削時間の中央一定区間の最大値ピーク平均を算出する処理を行い、切削力との比較を行った。一定区間は、Vc75の条件においては14秒、Vc100の条件においては15秒、Vc125の条件においては20秒とした。

Vc100の条件で、切削力測定用被削材を加工した際の、加工音と切削力の関係を図9に示す。

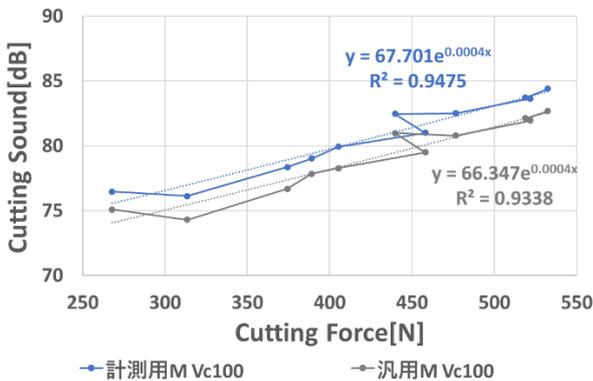


図9 加工音と切削力の関係
(Vc100, 切削力測定用被削材加工時)

図9から、計測用マイクロホン及び汎用マイクロホンともに処理後の加工音は切削力の上昇とともに増加しており、決定係数0.9以上の高い線形性を示した。このことから、Vc100の条件において本処理方法を用いることで、工具摩耗を推定できる可能性が示唆された。

続いて、Vc75及びVc125の条件で切削力測定用被削材を加工した際の加工音と切削力の関係を図10、11に示す。

図10及び図11から、マイクロホンの種類によらず、加工音と切削力に線形性が見られた。実際の加工現場では、被削材の種類や加工品形状に合わせて切削条件を変更するため、本処理方法を用いることで切削条件（主軸回転数）によらず加工音から工具摩耗状態を推定できる可能性が示唆された。

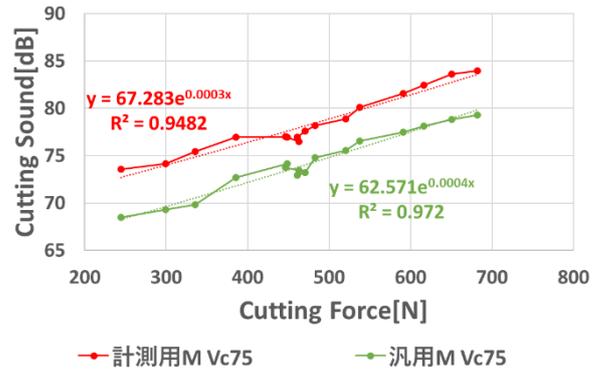


図10 加工音と切削力の関係
(Vc75, 切削力測定用被削材加工時)

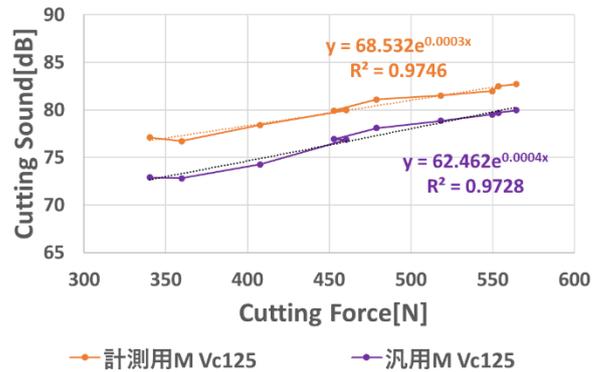


図11 加工音と切削力の関係
(Vc125, 切削力測定用被削材加工時)

また、被削材保持状況が変わった場合における本手法の有効性を検証するため、摩耗試験用被削材加工時の集音データに対して同様の処理を行った。結果を図12～14に示す。

なお、摩耗試験用被削材加工時の切削力は測定していないことから、直前の切削力測定用被削材加工時の切削力との比較を行った。

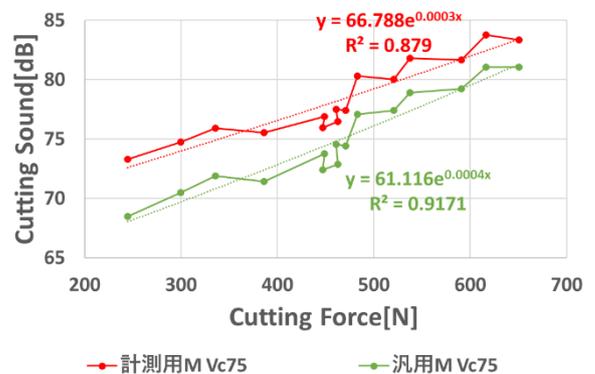


図12 加工音と切削力の関係
(Vc75, 摩耗試験用被削材加工時)

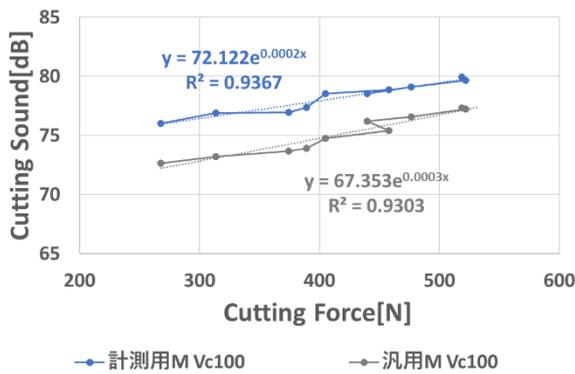


図 1 3 加工音と切削力の関係
(Vc100, 摩耗試験用被削材加工時)

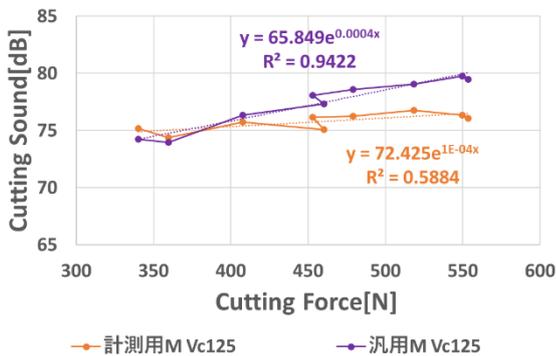


図 1 4 加工音と切削力の関係
(Vc125, 摩耗試験用被削材加工時)

図 1 2, 図 1 3 及び図 1 4 から, Vc75 及び Vc100 の条件で摩耗試験用被削材を加工した場合, マイクロホンの種類によらず加工音と切削力に線形性が見られた。一方, 図 1 4 から, Vc125 の条件では汎用マイクロホンの場合は高い線形性が見られたが, 計測用マイクロホンでは線形性が低い結果となった。

本処理方法において, 実際の主軸回転数に変動することを考慮し, 強制振動の抽出範囲 ($\pm 1\text{Hz}$) を設けているが, 抽出範囲にノイズが含まれていた場合, 切削に伴う加工音を適切に抽出できなくなる可能性が考えられる。そこで, 強制振動の抽出範囲を $\pm 0.5\text{Hz}$ に狭めて, 再度処理を行った (図 1 5)。

図 1 5 から, 強制振動の抽出範囲を $\pm 0.5\text{Hz}$ に狭めることで, 加工音と切削力に高い線形性が見られた。

計測用マイクロホンで線形性が崩れた要因としては, マイクロホンの設置状況 (向き及び位置) が影響していると考えられる。本実験において, 加工条件ごとにマイクロホンを固定しなおしており, マイクロホンについては, 目分量で調整し設置している。そのため, Vc125 の条件において, マイクロホンの向き等が他の条件に比べ

ずれていたため, 切削に伴わない音 (環境音などのノイズ) まで集音された可能性が考えられる。一方で, 強制振動の抽出範囲を適切に設定することで, ノイズの影響を軽減できる可能性が示唆された。

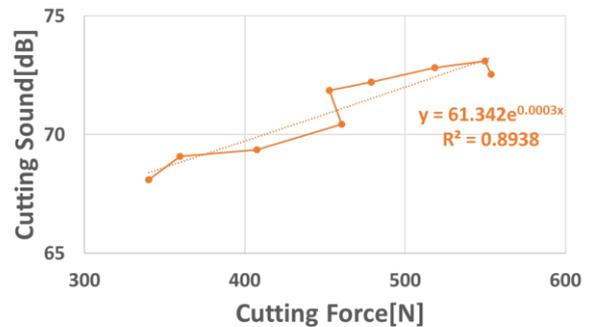


図 1 5 加工音と切削力の関係
(Vc125, 汎用マイクロホン, 摩耗試験用被削材)

以上の結果から, 1 枚刃の正面フライス加工において, 切削条件 (主軸回転数), マイクロホンの種類, 被削材保持状況によらず, 加工音を評価することで工具摩耗を推定できる可能性が示唆された。

4 おわりに

1 枚刃の正面フライス加工における加工音を計測マイクロホン及び汎用マイクロホンで集音し, 切削力 (工具摩耗) との関係性を評価し, 以下の知見を得た。

- (1) 集音データを周波数解析したところ, 加工中に発生する音のうち, 35~150Hz かつ強制振動の整数倍の範囲の周波数が切削に伴う加工音に関係することが分かった。
- (2) 集音データをバンドパスフィルタ処理と強制振動の整数倍成分のみを抽出する処理を施すことで, 切削条件, マイクロホンの種類, 被削材設置状況によらず, 工具摩耗を推定できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 稲澤勝史ら: “栃木県産業技術センター研究報告”, 18, 1-5, (2021)
- 2) 竹山秀彦ら: “精密機械”, 42 (11), 63-66, (1976)
- 3) 竹山秀彦ら: “加工技術データファイル基礎編切削加工編”, 機械振興協会, 54, (2001)
- 4) 阿部雅ら: “栃木県産業技術センター研究報告”, 19, 39-44, (2022)