

新しい内面研削加工モニタリング技術の開発研究

安達 和彦

大久保 元博（大久保精工株式会社）

内面研削加工におけるびびり振動を含む加工時の異常の自動検出実現を目指し、研削加工音から信号処理によって加工時の異常検知を実現することを最終目標とする。目標達成のため2024年度は加工中のスピンドル振動の新しい計測技術の開発に取り組む、1個の振動加速度センサの計測データからスピンドル振動を推定する見通しを得たので報告する。

1. はじめに

従来は、研削加工時の振動または音の時刻歴データを周波数分析することで、びびり振動を含む加工時の異常状態に特有の周波数成分の有無で異常の有無を判定することや、AEセンサ出力を信号処理してAEイベントのトレンドから加工時の異常の有無を判定することが試みられてきた。

近年、画像解析における畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の応用による画像分類や画像認識の技術が普及している。CNNを用いた画像関連技術自体は、様々な画像データの解析や音データの解析（スペクトログラムの利用）で既に多くの研究事例が公表されている。研削加工への同技術の応用は、加工面品質の評価や砥石のドレスタイミングの判定に広く適用され学会発表も多数行われている。一方で、熟練の研削技能者は自身の耳でびびり振動を含む加工時の異常の有無を感知していることが指摘できる。そこで、研削加工音のカラーコンター画像（スペクトログラム）に適用することで加工時の異常検知を実現できる可能性がある。そこでは研削加工音はマイクロフォンで収録し、収録音の時間周波数分析で得られるスペクトログラムに適用する。モニタリング専用のセンサを使う場合に比べて、市販のマイクロフォンを使うことで異常検知システムを安価に構成できることが期待される。

本研究では、研削加工音のスペクトログラムのCNNを用いた画像解析による異常検知技術の確立を目指し、2024年度は加工中のスピンドル振動の新しい計測技術の開発に取り組んだ。

2. 振動計測技術

2.1 スピンドル振動計測

著者らは、試運転台上での試運転中^{1,2)}もしくは横型内面研削盤に搭載して研削加工中^{3,4)}の振動計測を従来から実施してきた。特に研削加工中のスピンドル振動特性（伝達関数）の測定では、研削送りのため往復運動するワークとのタイミングを見計らってスピンドルを打撃加振してスピンドルの振動変位を非接触計測することが必須となり、振動変位センサのスピンドル周囲への配置が制限される中で計測を実施してきた。

スピンドル振動計測例として図1では、試運転台上での試運転中の大径深穴内面研削用ホイールアーバ式内面研削スピンドルに対して振動試験（ハンマリング試験）による伝達関数測定の状況を示す。図1の例では試運転台上での長時間の運転試験を行うことが主たる目的であり、研削加工を行

っていないので打撃加振したスピンドルの振動変位の測定が容易となる。一方、図2と図3では、横型内面研削盤にスピンドルを搭載して内面研削加工中にスピンドルを打撃加振し、スピンドルの振動変位を計測する。研削加工中のため前述のようにワークが往復運動するので、打撃加振したスピンドルの振動変位を計測するためのセンサの配置が制限されるだけでなく、打撃加振のタイミングも重要となる。またワークの研削深さの長短によってセンサの配置が変わり、打撃加振のタイミングも異なる。図4には図3で示したスピンドルの打撃試験で計測したスピンドルの振動データの例を示す。



図1 試運転台上での試運転中に内面研削スピンドルの打撃試験

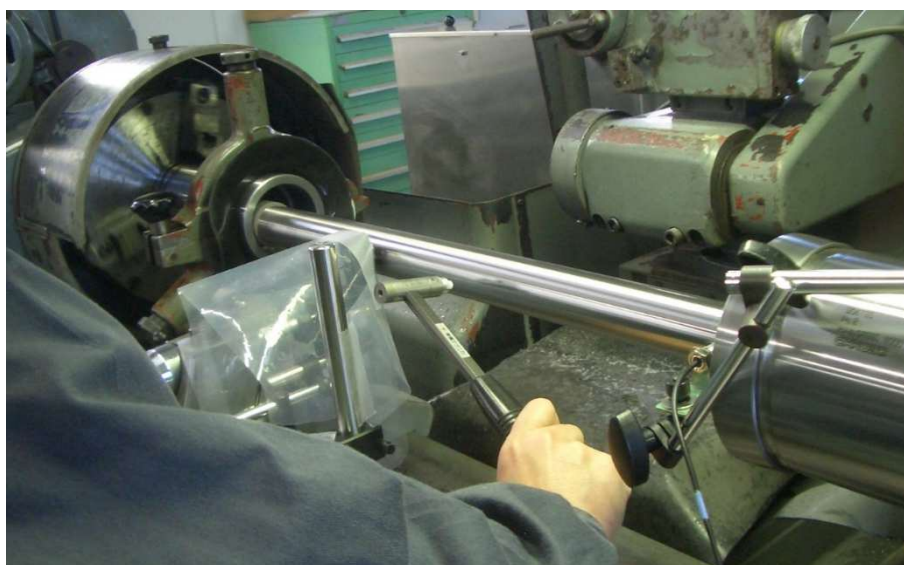


図2 横型内面研削盤上で内面研削中のスピンドルの打撃試験（研削深さが短い場合）

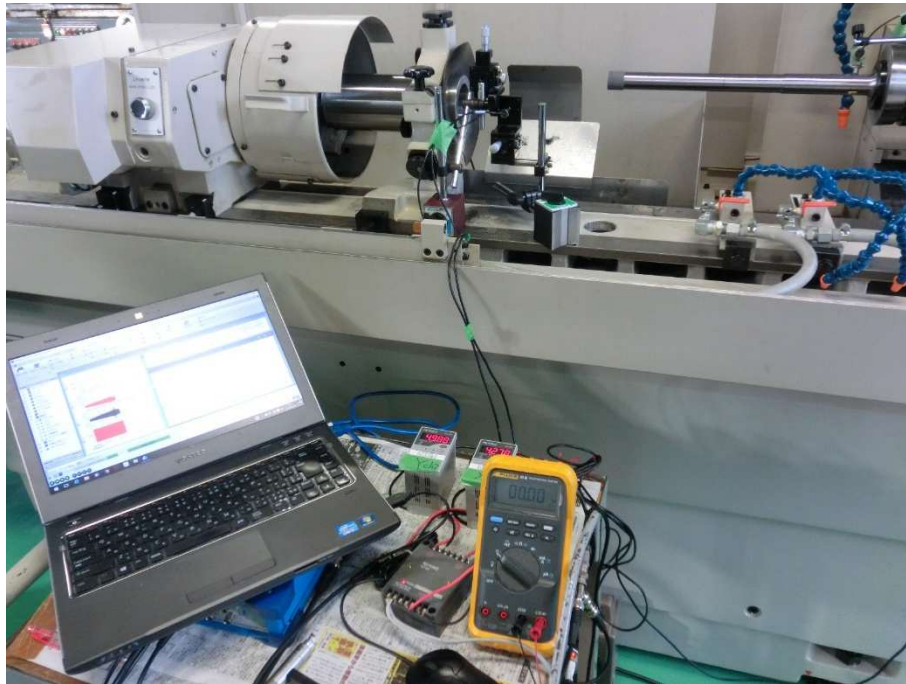


図 3 横型内面研削盤上で内面研削中のスピンドルの打撃試験（研削深さが長い場合）
振動計測用のセンサ／センサ信号増幅器／計測信号レコーダ／周波数分析用 PC

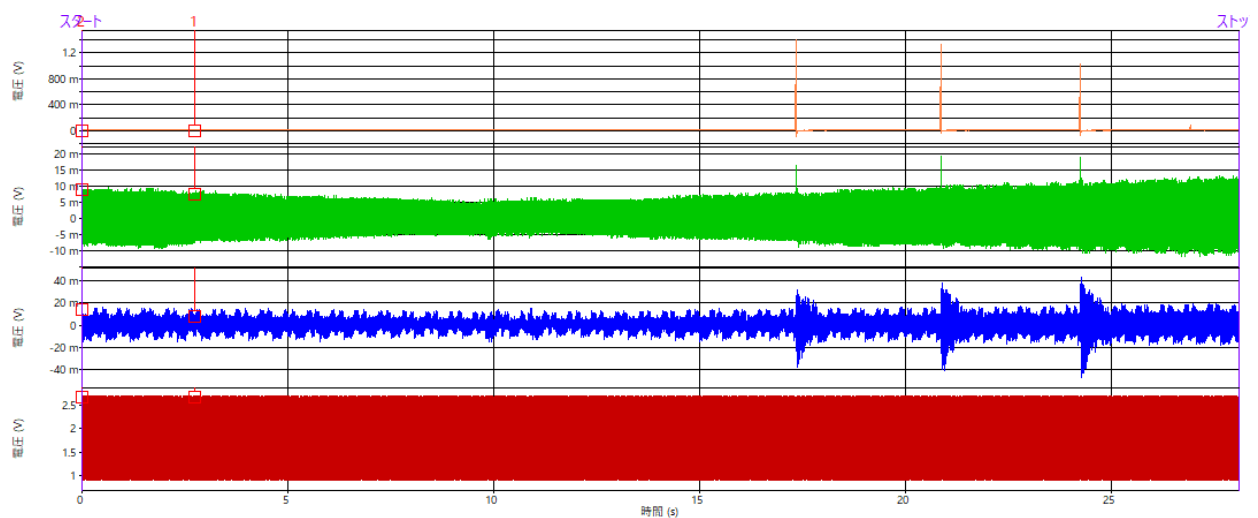


図 4 スピンドルの打撃試験で計測したスピンドルの振動データ（図 3 の事例で計測）
図に示す信号：（上）打撃加振力，（中上）打撃方向と直交する方向の振動変位，
（中下）打撃方向の振動変位，（下）回転パルス

2.2 スピンドル振動の新しい計測技術の開発

2.1 節で述べた研削加工中のスピンドルの振動特性の計測時の制限を回避するために新しい計測技術を開発する．図 4 に示した振動データを対象とし，回転パルスデータと一方向の振動変位データから，もう一方向の振動変位を予測する．

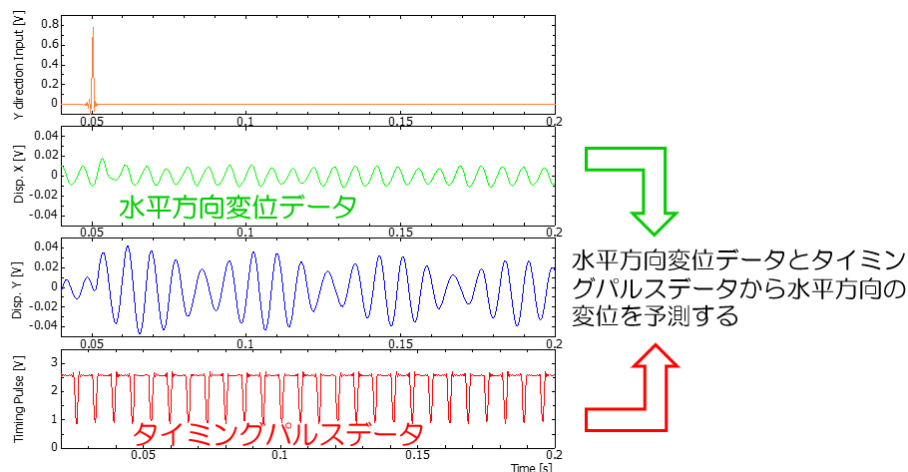


図 5 スピンドルの振動データの予測

図 4 で示した打撃方向と直交する方向の振動変位と打撃方向の振動変位は、スピンドルが回転体であることから 90° の位相差で本来は同様の時刻歴変化となる。実際は、ケーシングの非対称性も含めた軸受部の支持剛性の異方性の結果、変位振幅に差が生じる。打撃加振による振動変位への影響は打撃方向で大きい、直交する方向の振動変位に影響が表れる。

2.2.1 スペクトログラム

スピンドルの直交二軸方向の振動変位データの時間周波数分析でスペクトログラムを描画することで、定常運転時の画像と異常運転（びびり振動中の運転）時の画像との比較により、異常状態の抽出ができる。

2.2.2 振動変位の時刻歴データを用いた 1 次元 CNN

前記と異なり、生データである振動変位の時刻歴データを用いて 1 次元データの機械学習を用いた推定計算により、スピンドル振動変位の予測や、直交二軸方向の振動変位の内、一軸の計測結果からもう一軸の振動変位を予測することができる。

3. おわりに

本研究では、2024 年度は加工中のスピンドル振動の新しい計測技術の開発に取り組んだ。開発技術による計測推定結果は省略するが、1 個の振動加速度センサの計測データからスピンドル振動を推定する見通しを得た。今後、2024 年度に検証ができなかった計測推定の再現性（異なる加工条件下での計測推定）や計測推定精度の検証を進め、本研究課題が最終目標とする内面研削加工におけるびびり振動を含む加工時の異常の自動検出実現を目指す。

参考文献

- 1) 安達和彦・大久保元博, “大径内面研削技術開発に関する研究,” 2023 年度生産技術開発センター研究報告書, (2024), 8 p.
- 2) 安達和彦・大久保元博, “大径内面研削技術開発に関する研究,” 2022 年度生産技術開発センター研究報告書, (2023), 9 p.

- 3) 安達和彦・大久保元博, “長尺内面研削スピンドルの開発に関する研究 (第5報: 小径深穴加工物の試研削),” 2015年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC 2015) 講演論文集, A27, (2015), pp. 62-65.
- 4) 安達和彦・大久保信雄・大久保元博・向井良平・高橋宏美, “長尺内面研削スピンドルの開発に関する研究 (第6報: 小径深穴加工物の試研削時の振動解析),” 2016年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC 2016) 講演論文集, A05, (2016), pp. 13-16.