

研削における インプロセスセンシング技術の開発

[展開性・目指す方向性]

目指すのは次世代の研削！ものづくりの理想を目指したスマートファクトリーを形にするためにはどんな技術が必要か？砥石メーカーが担うべきタスクを追求していきます。

研削は加工品質を決定付ける因子が多い加工方法です。

砥石の状態は刻一刻と変化していき、それにともない加工品質も変化します。

さらにドレッシングの出来ばえやドレッサの状態などによっても性能が左右されるため、

加工に時間がかかったり、人の感覚に頼らざるを得ない工程があるなど、

無人化・省人化・合理化が難しいという印象を持たれている方も多いのではないのでしょうか。

砥石の状態やドレッシングの出来ばえを定量化できないか？ドレッシングのタイミングを最適化できないか？

研削条件を自動的に最適化できないか？

そういったお客様の声を受け、ノリタケでは新しいセンシング手法による研削の見える化技術を開発しています。

01 | スマートファクトリーの実現を目指すものづくりの現場

近年のものづくりにおけるトレンドとして、IoT技術によるスマートファクトリー化、生産工程の見える化技術が注目を浴びています。実際、国内最大の工作機械見本市であるJIMTOFにおいても2016年頃からIoTやAIに関連した展示が多くなりました。その内容についてもJIMTOF2016の未来のものづくりに対するビジョン・コンセプトの提案から、JIMTOF2018では実装を念頭としたものが研削盤メーカーを中心に展示されていました。

JIMTOF2020はコロナ禍の影響により、オンラインで開催されることになり、今後の業界の展開が垣間見えることに期待が寄せられています。将来、5GやWi-Fi6といった新たな高速通信規格の普及によってさらにIoT技術の利用範囲が拡大すると、研削における自動化・最適化に対する要求が高まってくると考えています。それに応えるため、センサー内蔵ITホイールを用いた研削の見える化技術ITホイールシステムの開発を進めています。

02 | ITホイールシステムの開発思想

ITホイールシステムは、研削ホイール内部にセンサーを配置したITホイールにより研削状態をインプロセスで見える化し、研削の自動化のためのインプットデータを得ることを目的として開発したものです。ITホイールで得られたデータは高速無線通信(Wi-Fi)にてパーソナルコンピュータ(PC)やクラウドに送ることが可能です(図1)。

ここでのセンサーは主にAEセンサーを示します。AEセンサーで得られるAE波^{*}は物質が変形したり破壊したりするときに放出される音波(弾性エネルギー)で、これをセンシング、解析することで砥石の状態やドレッシングの状態を定量化できる可能性があります。既存のセンシングでは回転軸ケース周辺に取り付ける仕様(図2)や、回転軸中心に非接触式のAEセンサーを取り付ける仕様^{*}が一般的で、AEセンサーが研削点に十分近いとは言えないため、機械振動ノイズや研削点での振動の減衰により研削現象を発信源とした振動を捉えることが難しいという問題がありました(図3)。

図1 ITホイールシステム

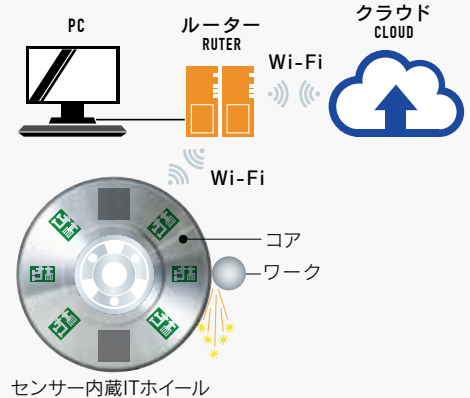


図2 研削盤への一般的なセンサー配置例

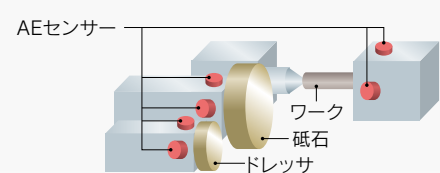
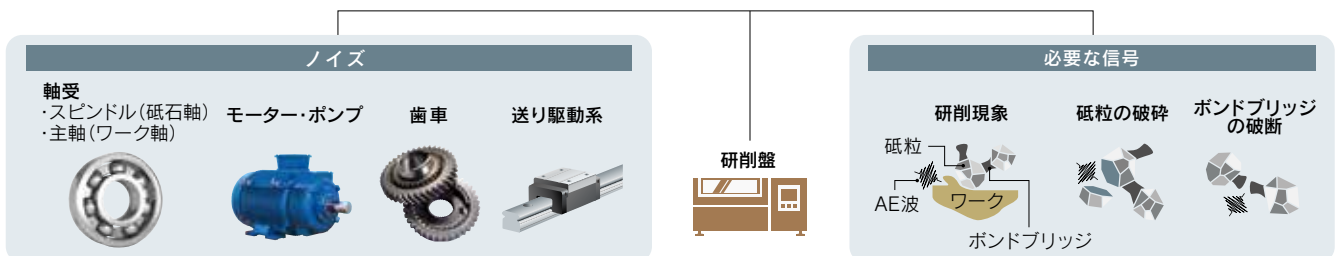


図3 研削における振動の発生源



一方、ITホイールはコア内部にAEセンサーを配置しているため、研削点とAEセンサーの位置がこれまでの手法よりも格段に近く(図4)、逆に軸受等、機械的な振動が発生しやすい箇所から離れています。検証試験の結果、これらの効果からITホイールによって採取された振動波形を周波数解析すると、ノイズの影響が非常に少ないクリーンな波形が得られることがわかっています(図5)。

図4 ITホイールのセンサー配置

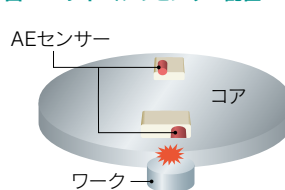
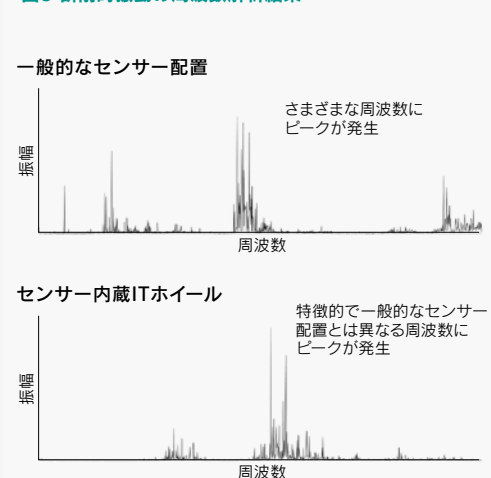


図5 研削時振動の周波数解析結果



ITホイールシステムの開発思想や構成については、NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018「IoTにより変わりゆくものづくりの現場」¹⁾にも詳しく掲載しています。

03 | 振動の周波数解析

ITホイールにおいてAEセンサーから得られたアナログ電気信号はコアに内蔵されたA/D変換器によりデジタル信号に変換され、同じくコアに内蔵されたWi-Fi通信モジュールによりWi-Fiルーターを介してPCに送られます。PCでは振動の時間軸波形をFFT解析※により、周波数と振幅の大きさに変換します。

ITホイールで得られた波形には、前述の通りノイズが少ないクリーンな波形が見られます。また、ここで見られる波形には2つの特徴的なピークが存在し、ノリタケではこれを比較的low周波数帯で発生する「第一周波数帯」と、比較的高周波数帯で発生する「第二周波数帯」と呼んでいます(図6)。

では、これらの周波数帯のピークは、それぞれ何を示しているのでしょうか。それを解明するために、ドレッシング時のロータリードレッサの周速度(V_D)とビットリファイドCBNホイール(以降「ホイール」)の周速度(V_W)の差(周速度比 V_D/V_W)による研削時の作用の違いに着目し、ホイールをロータリードレッサにてドレッシングした際の振動を測定しました。ドレッシングの際のホイールとロータリードレッサの回転方向(図7)や周速度比を変化させて振動の変化を分析しています(図8)。

ロータリードレッサによるドレッシング作用は、ホイールとロータリードレッサの回転方向によって変化することが知られており、特にダウンカットでの周速度比1.0の条件下では特異的なホイール面状態となります。周速度比が1.0の場合、ホイールの砥粒に対するロータリードレッサのダイヤモンド砥粒の切込み角が大きくなることで、砥粒の摩滅が起こりにくく、逆にボンドブリッジの破断やCBN砥粒の破碎が著しくなります。そのようなホイール面でワークを研削した場合、ワークの表面粗さが悪く、研削抵抗が低くなります(このような作用を研削では「ホイールが軟らかく作用する」と表現します)。

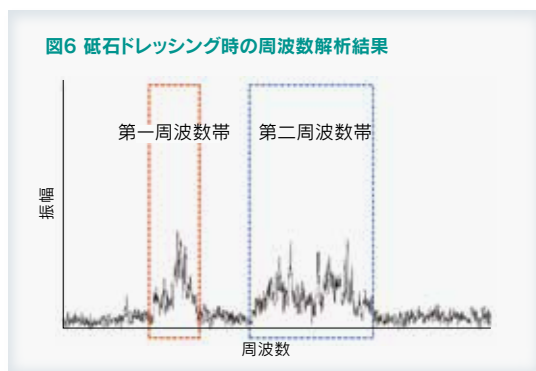
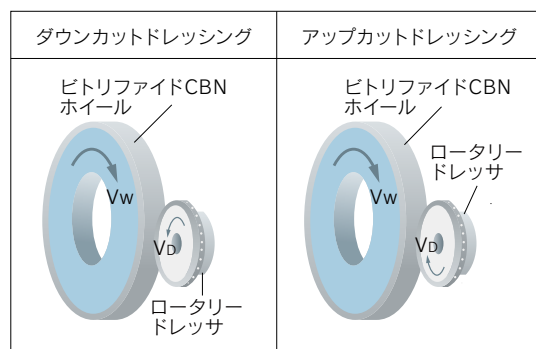
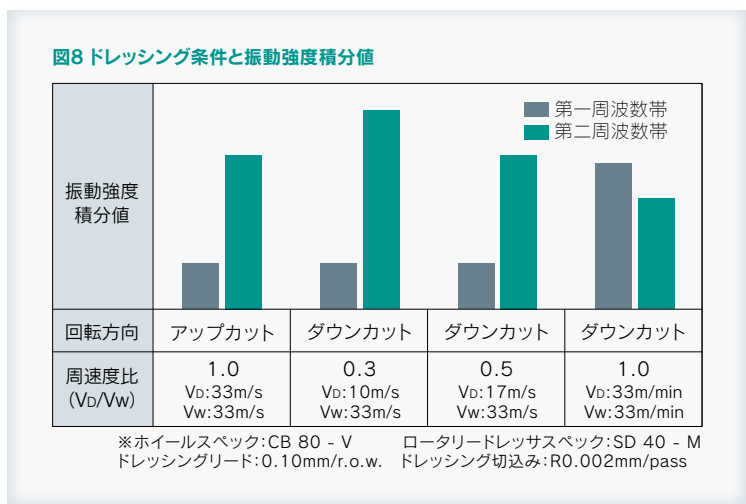


図6 砥石ドレッシング時の周波数解析結果



それを踏まえて第一周波数帯と第二周波数帯に発生する振動強度(振幅の大きさ)の周波数積分値を見てください。アップカットの周速度比1.0やダウンカットの周速度比0.3,0.5に対し、ダウンカットの周速度比1.0では第一周波数帯が3倍程度まで大きくなり、逆に第二周波数帯は減少します。つまり、この周波数帯の振動強度を捉えることで、ドレッシング時のホイールに対する作用を定量的な指標として見える化できる可能性があります。



次に、ホイールでワークを研削した際の振動を分析

した結果を紹介し(図9)。ここで縦軸は振動強度比を表しています。これは、第一周波数帯と第二周波数帯それぞれの周波数積分値の比となっています。

振動強度比 = 第一周波数帯積分値 / 第二周波数帯積分値

ホイールの周速度や研削能率、ワークの種類を変化させた際の振動強度比はドレッシングの周速度比を変化させた試験と同様に、ホイールが軟らかく作用するほど第一周波数帯の積分値が大きくなるため、振動強度比が大きくなっています。

図9には研削後のホイール表面の3Dマップを示しています。このマップは、ホイール表面の形状をレーザー顕微鏡にて測定しており、赤色から青色で示した部分が砥粒またはボンドを、黒い部分は気孔を表しています。図10に3Dマップの立体イメージを示します。

振動強度比が大きいほどホイール表面の砥粒やボンドが脱落して黒い部分が多くなっていることがわかります。このように、振動解析により、インプロセスでホイール表面の状態を定量的に検知することが可能となります。ホイール表面の状態の見える化で、将来的にはホイールの状態やドレッシングの出来ばえの定量化、研削条件やドレッシングのタイミングを自動最適化する技術として、スマートファクトリー実現に貢献したいと考えています。

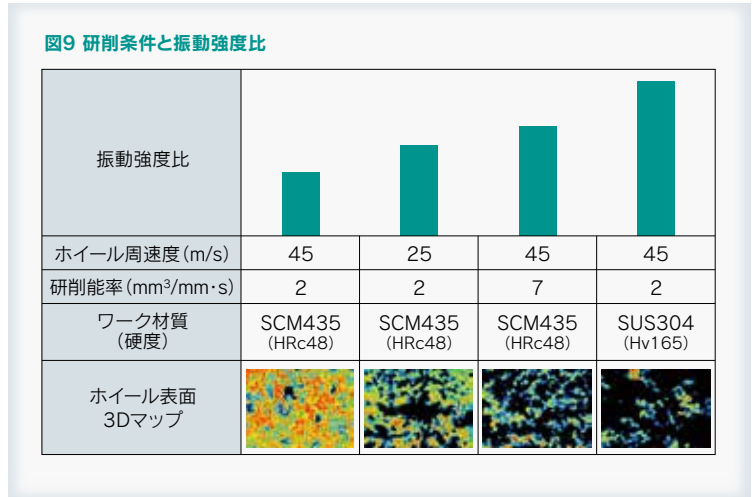
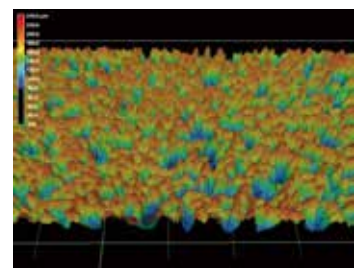


図10 マップの立体イメージ



04 | 最後に

ITホイールシステムによって高感度に研削点の現象を捉えられる可能性があると考えます。今後、さらに開発を進め、研削の見える化、自動化に寄与できる技術として発展させていきますので、ご期待ください。

[注釈]

- ※AE波：アコースティックエミッションの略で、物質が変形・破碎するときに放出する弾性波。
- ※FFT解析：得られたデータを時間軸波形から、周波数とその周波数に含まれる振動の大きさに変換するフーリエ変換を計算機により高速に行うアルゴリズム。

[文献]

- ① 五十君 智：IoTにより変わりゆくものづくりの現場, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018, (2017)72-77

[特許]

- ・株式会社ノリタケカンパニーリミテド, 五十君智, ドレッシング面評価装置、ドレッシング装置、および、研削加工装置, 特開 2020-69638, 2020-05-07
- ・株式会社ノリタケカンパニーリミテド, 五十君智, 研削面状態評価装置および研削加工装置, 特開 2020-69639, 2020-05-07

■期待効果

サイクルタイム短縮	工具寿命向上	加工品質向上	作業性改善	環境配慮
●	●	●	●	

Q ITホイールは具体的に何に使えますか？

A ホイール面の状態を定量的に捉えることができるため、研削盤の自動化としてフィードバック制御をする際の指標値として用いたり、ホイールの異常脱落等の問題を検知したりドレッシングを行うタイミングを判断したり、といった用途を検討しています。

Q AE波で捉えることができる加工現象は？

A 着目している周波数帯の振動強度が砥石の作用硬さによって変化することから、砥粒の破碎や作用砥粒の多い少ないなど砥石の状態をリアルタイムに捉えられる可能性があります。