

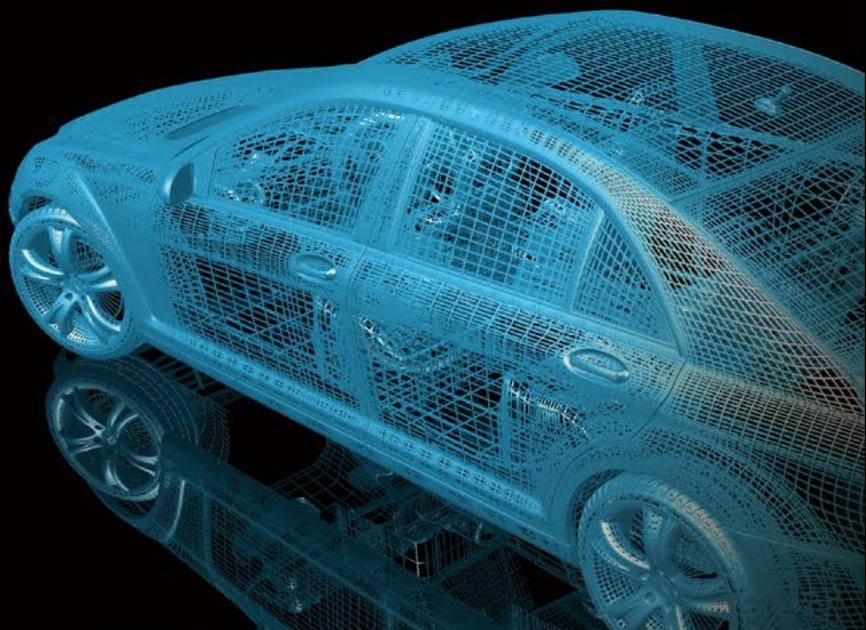
未来予想図

流体シミュレーションを用いた
両頭平面研削における研削液分布の推定

流体解析による 研削液流れの 見える化

[著者] 服部 真之 工業機材事業本部 技術本部 商品開発部 レジノイドグループ

砥石設計へのシミュレーションの活用



流体シミュレーションの活用

みなさんは「流体シミュレーション(数値流体力学:CFD)」という言葉に馴染みがあるでしょうか。私たちが普段から目にするものの中には、流体シミュレーションが活用されているものが少なくありません。身近な例の一つとして天気予報が挙げられます。週間の天候情報や台風の進路予報などに加えて、最近では時刻ごとの雨雲分布予報までもが、インターネット上から簡単にチェックすることができます。流体シミュレーションが活用される他の代表的な事例としては、次のものが挙げられます。

- ・空力解析:航空機や風車を受ける応力の評価
- ・放熱解析:PC内部のファンやヒートシンクの放熱性能の評価
- ・混合解析:ミキサーによる複数材料の混合状態の評価
- ・気流解析:エアコンや空気清浄器による空気の流れの評価
- ・水流解析:トイレや洗面台の水流の評価

図1 シミュレーション手法のイメージ



一般的に用いられる流体シミュレーションの手法は、解析対象となる物体や空間を複数の微小な領域に分割し、それぞれの領域に方程式をあてはめて物理量(力、熱、速度など)の計算を行うことで、全体の挙動を予測するという方法が用いられています(図1)。

では、研削における流体シミュレーションの活用事例はどうでしょうか?円筒研削分野において、回転中の砥石表面に発生する空気流をシミュレーションし、それによって妨げられる研削液供給の様子を検証した事例があります^①。連れ回り空気流を抑制することで研削液の飛散が減少し、研削液供給量の削減と研削性能の向上につながる結果が得られています。また、工作機械分野の例として、砥石軸と軸受の間へのオイルの供給と温度分布をシミュレーションし、最適形状の設計に活用した事例があります^②。このように研削にも流体シミュレーションが普及しつつある現在、ノリタケでも砥石設計時の検討材料のツールとして、流体シミュレーションを活用できないかということに挑戦しています。今回は、研削液供給が難しい研削方式である両頭平面研削に関して、その取り組みの一部をご紹介します。

両頭平面研削の困りごと

両頭平面研削とは、対向させた2枚の砥石でワークを挟みながら両端面を同時に研削し、ワークの厚み寸法や平面度を得るための研削方式です(図2)。研削するワークは、自動車部品(コンロッド、ピストンリングなど)やベアリング、プレート材など多種多様であり、それに伴ってワークの厚みや研削面積もさまざまです(図3)。



両頭平面研削はワークの両端面を同時に加工できる高能率な研削方式です。一方で、砥石とワークの接触面積が広いと、研削熱が発生しやすいという課題があります。また、ワークを砥石で挟み込む方式であるため、加工点への研削液供給が不足して十分な冷却が行えない場合もあります。研削熱が過剰に発生すると、研削焼けや寸法不良といったワークの不具合のほか、熱劣化による砥石の異常摩耗が生じることがあります。

そのため、両頭平面研削用砥石は研削熱の発生を抑制するための優れた切れ味が求められます。それに加えて、発生した研削熱を速やかに冷却して良好な加工状態を保つための、研削液の効果的な供給が求められます。今回は研削液供給の観点から、両頭平面研削用砥石の高性能化について考えます。

困りごとを解決するための砥石構造

湿式研削では、加工点に研削液を供給しながらワークを研削します。研削時における研削液には主に3つの効果があります(表1)。研削液の供給が不十分だと研削液の効果は十分に得られず、ワークの研削焼けや精度不良、砥石寿命の低下などの不具合が生じます。

表1 研削液の効果

潤滑作用	砥石とワークの間に浸透し、潤滑膜により砥粒の目つぶれを減少し、砥石の寿命を延長する。
冷却作用	研削時に発生する加工熱を速やかに吸収し、ワークの温度を低下させ仕上げ表面粗さ、寸法精度を維持する。
浸透及び洗浄作用	砥石の隙間に浸透して研削焼けの防止や、砥石の気孔に堆積する切り屑を洗浄して砥石の目詰まりを防止する。

図4 平面研削での研削液供給

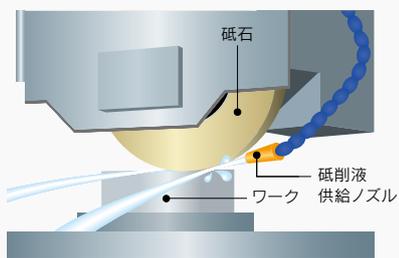
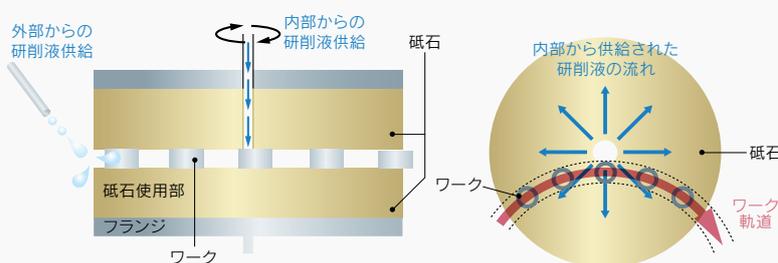


図5 両頭平面研削での研削液供給

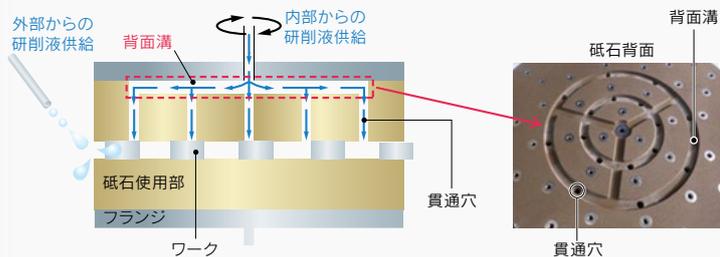


一般的な平面研削では、研削盤に取り付けられた供給ノズルから加工点を狙って研削液を供給するため、砥石使用面に研削液を行き渡せることが比較的容易です(図4)。一方、両頭平面研削では、砥石と砥石の間隔が狭いため、外部ノズルから加工点への研削液供給は困難です。しかも、供給される研削液は回転する砥石の遠心力によって外にはじき出され、砥石使用面に行き渡らせることができません(図5)。そのため、砥石中心穴から砥石使用面へ研削液を供給する手法が一般的に用いられています(図5の青色矢印)。

この中心軸からの研削液をより効果的に砥石使用面に供給するため、両頭平面研削用砥石には背面溝・貫通穴という通液構造を設けることがあります(図6)。研削液が背面溝内を流れ、貫通穴を通じて砥石使用面まで運ばれることにより、研削時に大きな負荷がかかる砥石外周付近に供給されます。

背面溝による研削液供給は研削性能に大きく影響することが知られていますが、高速回転する砥石からどの程度の研削液が排出され、使用面にどのように分布しているのかを評価することはとても困難でした。そこでノリタケでは、流体シミュレーションによる研削中の研削液流れの見える化・数値化に取り組みました。

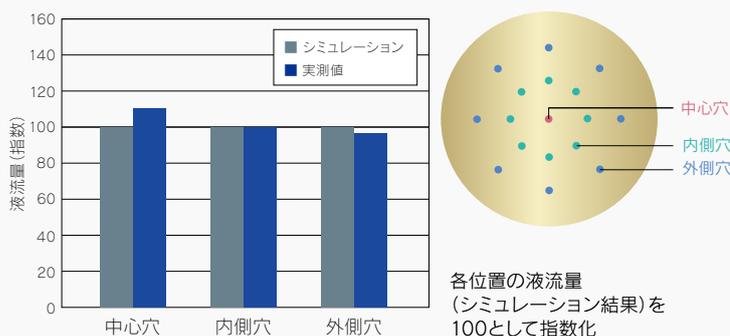
図6 背面溝・貫通穴を用いた通液構造



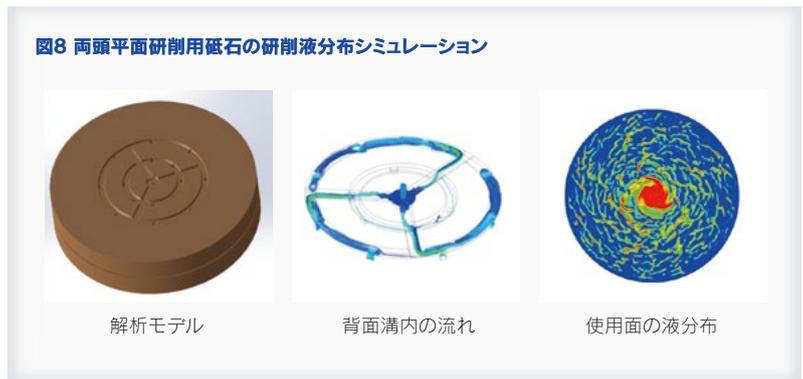
研削中の研削液分布の見える化

流体シミュレーションを行うには、まず解析対象のモデル化が必要であり、モデル化では3DCADによる形状作成や各種物性値、境界条件などの設定を行います。作成したモデルによるシミュレーション結果の妥当性を検証するために、片側みの砥石を低速回転させた状態で背面溝に水を流し入れ、貫通穴からの流量を測定しました。モデル形状や各種条件を調整することで、実測値とおよそ一致するシミュレーション結果が得られることを確認しました(図7)。

図7 実測値とシミュレーション結果との比較(貫通穴からの液流量)



砥石回転数や砥石と砥石の間隔などの実際の研削条件をモデル化し、砥石の通液構造内を流れる研削液の様子をシミュレーションすることで、背面溝を流れる研削液の様子がグラフィック化され、各貫通穴から排出される流量値も求められます。また、貫通穴から供給された研削液が砥石使用面にどのように分布しているかを評価することも可能になります(図8)。



このような流体シミュレーションの活用には、主に2つのメリットがあります。

1つ目は、従来では観測・測定が困難だった高速回転中の砥石内部の研削液流れの可視化と数値化が可能になることです。砥石回転数や研削液の流量、ワークの形状・厚みなどの研削条件を変更すると、研削液の流れがどのように変化するのかといった検証が視覚的にも定量的にも行えます。この解析結果は、ワークの研削焼けや砥石寿命の低下などの困りごとを解決するための新しい検討材料として活用できます。

2つ目は、サンプル(砥石見本)評価の効率化です。従来では比較する数だけ実際にサンプルを作成して評価を行う必要がありましたが、シミュレーションであれば基準となる解析モデルの形状や各種条件をコンピューター上で変更するだけで結果が得られます。これによりサンプル作成に必要な労力やコストが大幅に削減されます。これらのメリットをいかし、例えばお客様の研削条件に合わせて通液構造を設計、あるいは狙った箇所に任意の流量を供給できるような通液構造を持った高性能砥石の開発に役立てていきたいと思えます。

そうした便利で有益に思えるシミュレーションにも課題はあります。解析モデルを作成する際には、計算結果の妥当性を十分に確認する必要があります。誤った解析モデルで計算を進めてしまうと、実物とかけ離れたシミュレーション結果が出る恐れがあります。そのため、ときには細部まで形状の再現や計算条件の見直しを行い、実物とシミュレーションの結果が一致しているか検証を繰り返して、妥当性のある解析モデルを作成する必要があります。一方で、あまりに緻密なモデルを作成してしまうと、計算にかかる時間が長くなってしまいうため、妥当性を確保できる範囲でモデルの簡略化等の検討が必要となります。これらの課題を乗り越えることで初めて、実用的なツールとして流体シミュレーションを活用できるようになります。

今後の開発目標、展望

ここまで、流体シミュレーションを砥石設計の検討材料としてどのように活用するのかという思想を述べてきました。今回は両頭平面研削の例をご紹介しましたが、他にも内面研削など研削液供給が困難な他の研削方式への応用も検討しています。さらに、今後は流体シミュレーションだけに限らず、応力解析や熱解析などの他のシミュレーション手法についても、研削メカニズムの深堀りや砥石設計の手がかりになるようなツールとして活用していきたいと考えています。

世の中には新しい測定器や評価方法、システムが次々と生み出されています。昔から伝わる技法や習慣だけにとらわれることなく、新しい手法や考え方を積極的に取り入れることによって、ものづくりを進化させることができると考えています。

[文献]

- ① 吉見隆行 他3名：研削加工における小流量クーラント供給技術の開発(ECOLOG研削TYPEⅡ), JTECT Engineering Journal, No.1007(2009)
- ② 齋尾克男 他4名：超高速・高精度プロファイル研削盤の開発, KOMATSU TECHNICAL REPORT, VOL.63 NO.170(2017)