

よくわかる ツレーイング・ ドレッシング

(砥石の研削性能を最大限に引き出す
切れ刃の創生技術と
メカニズム)

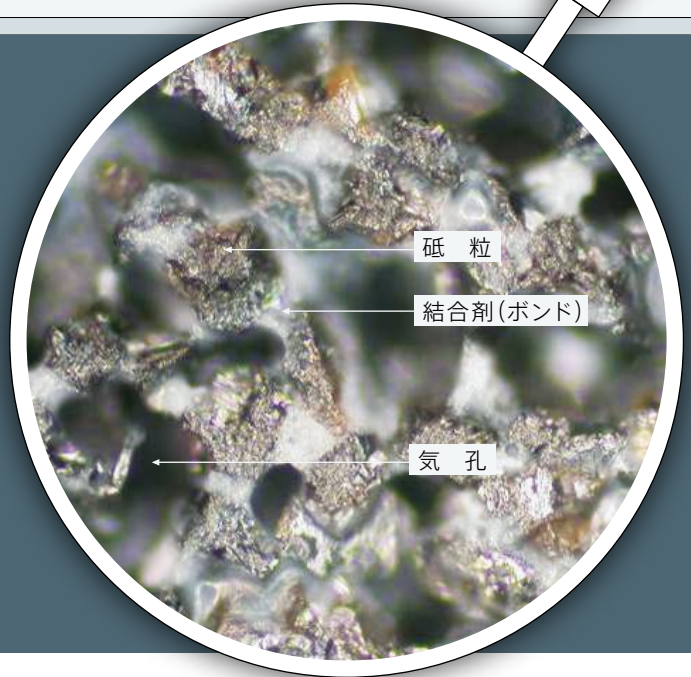


図1 砥石の写真(ビトリファイドCBNホイール)

砥石の切れ刃がものづくりをかえる

研削は、砥石を工具として使用する機械加工の1つで、砥石は砥粒、結合剤(ボンド)、気孔の3要素によって構成されています(図1)¹⁾。そのうち、砥粒は工具における刃先の役割を担っており、砥粒の状態はワーク精度や外観品位に対して大きな影響を及ぼします。砥石を使用する際には切削工具などと異なり、後述するツレーイングと呼ばれる作業によって砥石と砥石軸との芯出しや砥石形状の修正を行い、ドレッシングと呼ばれる作業によって切れ刃を創生します。研削におけるワーク精度や研削能率の改善を考える上では適正な砥石スペックの選択と合わせて、この切れ刃の創生が重要な要素となります。

図2に示すⅠ、Ⅱは同じ砥石を異なるドレッシング条件でドレッシングした後の砥粒1粒の切れ刃の状態です。2つを比較

図2 ドレッシング後の砥粒

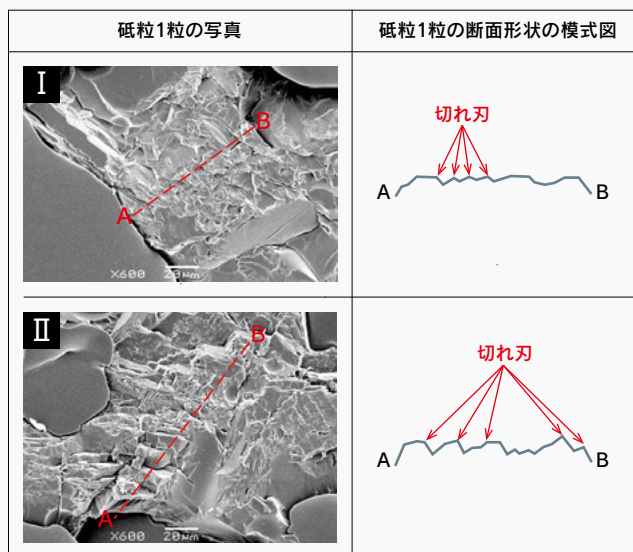
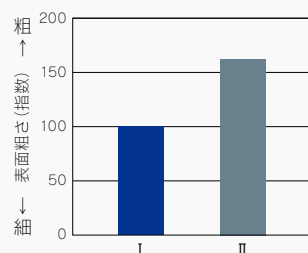
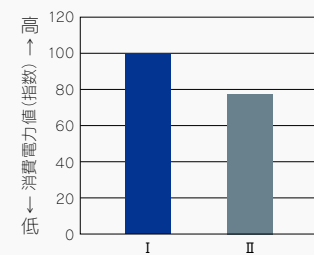


図3 研削性能



するとⅠの砥粒の方が平滑になっています。研削試験を行った結果から、同じ砥石でも異なる性能を得られることがわかります(図3)。

ⅠからⅡにドレッシング条件を変更したデータでは消費電力値の低下から、砥石の切れ味が向上したことがわかり、切込み速度アップなど高能率が期待できます。またⅡからⅠにドレッシング条件を変更したデータでは、表面粗さが細かくなっているのでワーク精度の向上が期待できます。つまり、ドレッシングは砥石の性能を左右する重要な技術であり、最適なドレッシング条件を見出すことで、高能率研削やワーク品質の向上も可能になります。

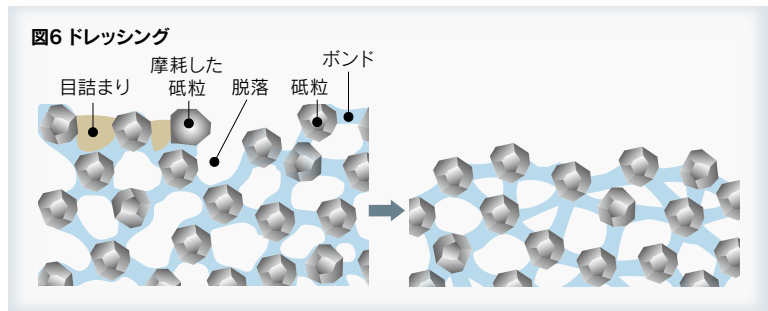
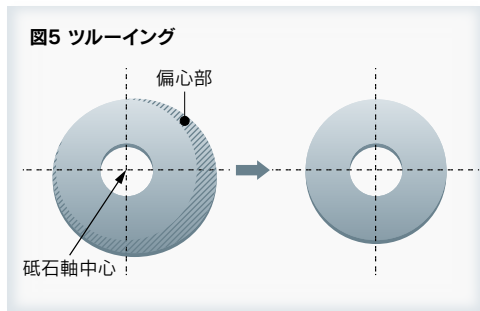
砥石の性能を引き出すツルーイングとドレッシング技術

砥石は、加工中の負荷によって砥粒の破碎や脱落が生じ、新しい切れ刃が創生される「自生発刃」という作用(自生作用)を繰り返す工具です。しかし過度な砥粒の破碎や脱落は、砥石の形状崩れによるワークの精度不良を引き起こします(目こぼれ形)。また自生発刃が適度に行われないと、砥粒が摩滅して、切れ味の低下を招きます(目つぶれ形)。気孔に切り屑が詰まる、目詰まり現象によっても切れ味は低下します(目詰まり形)^②。図4は各形態の模式図と実際の砥石表面の様子や起こりうるトラブルを示しています。

これらの不具合現象を避けるために、「ツルーイング(形直し)・ドレッシング(目直し)」作業によって砥石を理想的な正常形に保つことが重要です。これからツルーイングとドレッシングの技術によって砥石を使う理想的な方法を解説します。

図4 研削作用の4形態

正常形(理想)	目こぼれ形	目つぶれ形	目詰まり形
<p>ワーク 切り屑</p>	<p>ワーク 切り屑 原粒のまま脱落した砥粒</p>	<p>ワーク 発熱 切り屑 切れ刃が平滑に摩耗した砥粒</p>	<p>ワーク 発熱 切り屑 チップポケットに詰まった切り屑</p>
			<p>切り屑</p>
起こりうるトラブル	形状・面精度不良	研削焼け びびり	研削焼け びびり



各作業は次のような目的で行なわれます。

ツルーイング(形直し):

- ・砥石の外周部が砥石軸中心に対して同心になるように外周振れ(偏心部)を取り除く(図5)。
- ・加工形状に合う形状に修正する。

ドレッシング(目直し):

- ・摩耗した砥粒を砕き、あるいは取り除いて新しい鋭利な切れ刃を作り出す(図6)。
- ・ボンドを除去し、砥粒を突出させる。
- ・気孔に詰まった切り屑を除去し、切り屑を排出するためのチップポケットを新たに作り出す。

ツルーイング・ドレッシングには使用するドレッサの種類と使用条件(切込み量や送り速度など)の2つの要素があり、それらの選択によって研削性能は大きく変化します。そのため砥石の種類や要求される精度に応じて、適切なドレッサや使用条件を選ぶ必要があります。

砥石の種類とドレッシング工具・方法の使い分け

ツルーイング・ドレッシングには砥石の種類で異なるものの、多くはダイヤモンド工具であるダイヤモンドドレッサが用いられています。ダイヤモンドドレッサはダイヤモンドが台金に固定された工具で、大きく分けて単石ドレッサ(図7(a))や多石ドレッサ(図7(b))などの静止した状態で使用するタイプ(静止形)と、ロータリードレッサ(図7(c))などの回転させて使用するタイプ(回転形)があります。

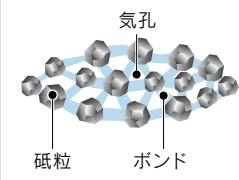
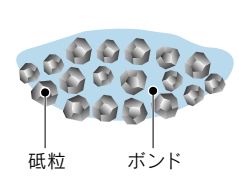
単石ドレッサの使用で、ドレッサの性能・寿命の安定を重視する場合はノリタケのGシャープを推奨します^③。また、ノリタケの



LLドレッサ(単石はLL単石ドレッサ、多石はLLニードドレッサ)は角柱状ダイヤモンドを使用しているため、ドレッシング時に砥石に作用するダイヤモンドの面積が変化せず、安定したドレッシングを可能にします。LLドレッサは静止形と回転形のどちらにも対応した製品です。

砥石は使用するボンドによって砥粒の結合状態や特性が異なります^④。今回はビトリファイドボンドの一般砥石(以降、ビトリファイド一般砥石)、ビトリファイドボンドのCBN砥粒ホイール[※](以降、ビトリファイドCBNホイール)、レジノイド・メタルボンドの

図8 砥石の種類

ボンド	ビトリファイドボンド	レジン・メタルボンド
砥粒結合状態	化学的+機械的結合 (ブリッジタイプ)	機械的結合 (マトリックスタイプ)
解説	ボンドは砥粒と砥粒を橋でつなぐような構造を形成し、連通気孔(連続的な気孔)を有することが特徴で、砥粒結合状態は「ボンドブリッジ型」、「ブリッジタイプ」などと呼ばれます。	砥粒はボンドによるかきめによって保持され、砥粒はボンドに包み込まれる様な構造となり、砥粒結合状態は「ボンドマトリックス型」、「マトリックス構造」と呼ばれます。
結合模式図		

超砥粒ホイール(以降、レジン・メタル超砥粒ホイール)の3つに焦点を当て、砥石の種類とドレッサの選定目安、ドレッシング方法と研削性能差について考えてみましょう(図8)。その他にもレジンボンドの一般砥石、電着製品があります。用途によっても異なりますが、レジンボンドの一般砥石は重研削などに使用され自生作用を主な加工メカニズムとすることからツルーイングが主に行われます。また電着製品は台金に砥粒をめっきで固着させ、砥粒はめっきから突出した状態で固着されるため一般的にはツルーイングを行うケースは少ないです。

◆ビトリファイド一般砥石のツルーイング・ドレッシング方法

一般砥石のドレッシングでは単石ドレッサやLLドレッサなどの静止形を主に使用します。ドレッサによるドレッシングは①切込み量、②ドレッシングリードの2つの条件設定が重要となります。それぞれについて詳しくみてみましょう。

①切込み量

ドレッサの切込み量によって砥粒の破碎状態が変化し、研削性能に影響します。

ワークの表面粗さを細くしたい場合には切込み量を小さくします。図9からわかるように、砥粒表面が平滑になるため、ワークの表面粗さは細くなりますが、消費電力値は大きくなることから砥石の切れ味は低下します(図10)。

一方、切れ味を重視する場合は切込み量を大きくします。切込み量が大きくなるのに伴って大きな切れ刃が形成され、ボンドにも負荷がかかり、砥粒の脱落が起こりやすく、荒れた砥石面状態になります。

図9 切込み量に対するドレッシング模式図と砥粒

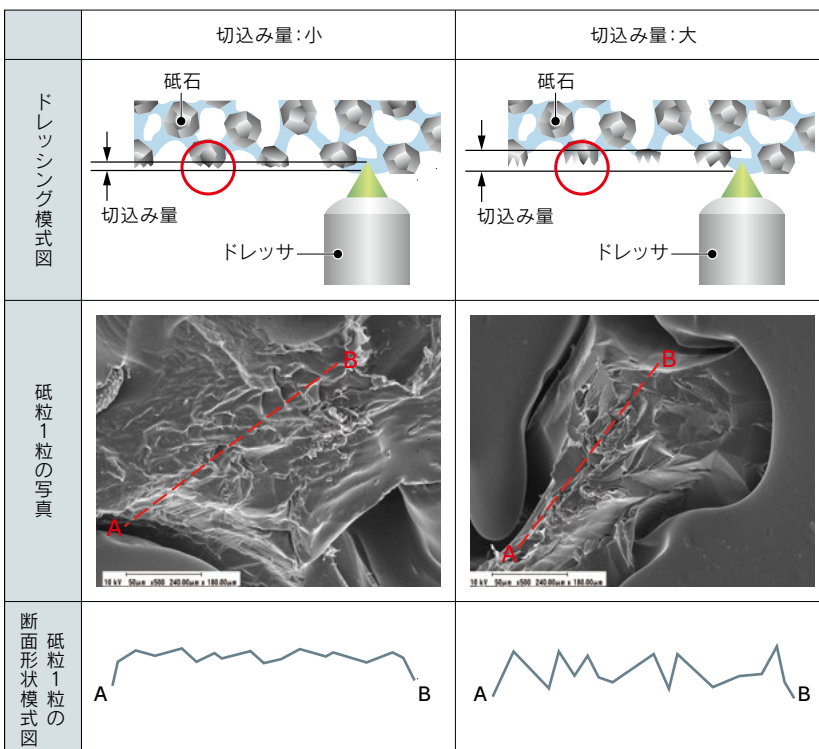
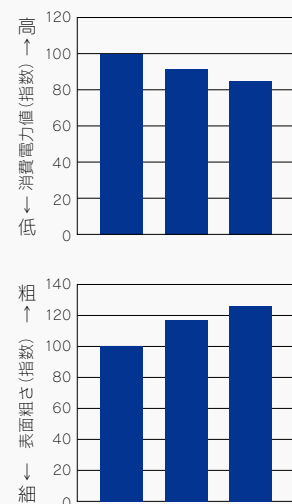
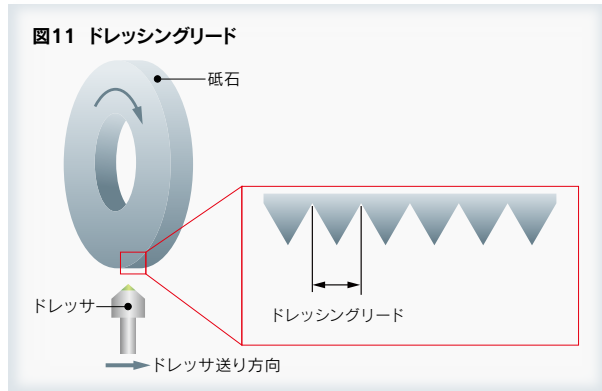


図10 ドレッシング条件による研削性能の違い



ドレッシングリード (mm/r.o.w.)	0.05	0.05	0.1
切込み量 (mm)	0.01	0.02	0.01



切込み量は一般的に、 $\phi 0.03\text{mm}$ 以下を目安に平均粒径の1/10程度、靱性の高いセラミック砥粒を用いたセラミック砥石の場合は平均粒径の1/20を目安にします。

②ドレッシンググリード

ドレッシンググリードとは砥石一回転当たりのドレッサ送り量を示します(図11)。

ある条件下での研削試験において砥石面が変化し、研削抵抗が減少した点を寿命と判断すると、粒度100番は0.05mm/r.o.w.*、粒度60番は0.1mm/r.o.w.*、粒度36番は0.22mm/r.o.w.*のときに最も寿命が長くなります(図12の赤丸部)。

これは図13のようにいずれも砥粒1粒におおよそ2.5山の切れ刃が形成された時点です。そのためノリタケは図13の式1で求められるドレッシンググリードを目安に推奨しています(表1)。

図14 ドレッシンググリードに対するドレッシング後の砥粒

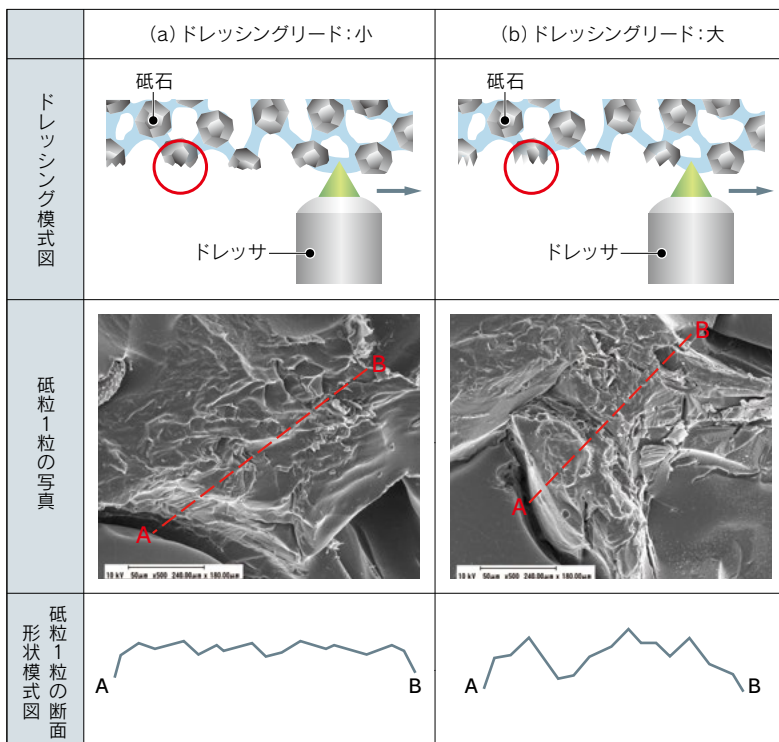


図12 ドレッシンググリードによる寿命の違い

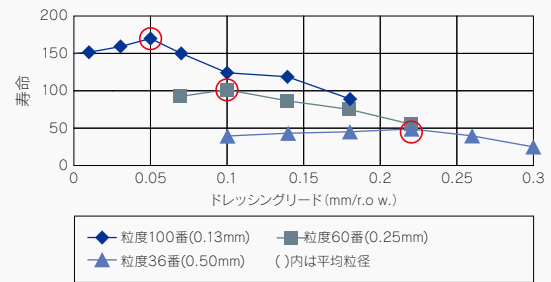


図13 砥粒切れ刃のイメージ

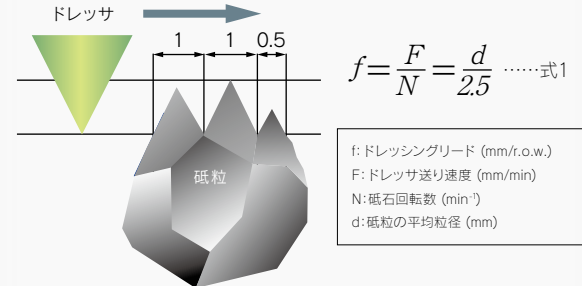


表1 粒度と推奨ドレッシンググリード

粒度	60	80	100	120	180	220
平均粒径 (mm)	0.25	0.18	0.13	0.10	0.06	0.05
ドレッシンググリード (mm/r.o.w.)	0.1	0.08	0.05	0.04	0.02	0.02

ワークの表面粗さを細かくしたい場合、ドレッシンググリードは小さくします。すると、1つの砥粒に細かな切れ刃が多く形成され、平滑な砥石面となります(図14(a))。そのため、ワーク表面粗さは細かくなりますが、研削抵抗は高くなります(図10)、目詰まりが起こりやすくなります。

一方、切れ味を良くしたい場合、ドレッシンググリードを大きくします。このとき砥粒には大きな切れ刃ができますが、砥石面は荒れた状態になるので、表面粗さに余裕があれば、ドレッシンググリードを大きくすることは研削抵抗の低減に対して有効な手段と言えます(図14(b))。

一般的に切込み量よりドレッシングリードを調整する方が研削性能には大きく影響します。ワーク精度への改善には、まずドレッシングリードの変更を検討することが効果的です。

◆ビトリファイドCBNホイールのツルージング・ドレッシング方法

CBN砥粒は高硬度なため、精度よく切れ刃を形成するにはロータリドレッサを推奨しています(図7(c))。これは、ビトリファイドCBNホイールを単石ドレッサによってドレッシングすると、ホイールの断面形状が大きく崩れ、砥粒切れ刃は平滑になってしま

い、適切に修正できないためです(図15)。なお、ロータリドレッサの使用にはドレッサを回転駆動させる専用の装置が必要となります。ノリタケでは無駄なドレッシングをなくすため、接触開始点の高精度検知が可能なAEセンサシステムを推奨しています。

ビトリファイドCBNホイールのドレッシングにも、ビトリファイド一般砥石と同様に①切込み量、②ドレッシングリードの条件設定が必要です。その設定値は異なりますが、どちらもビトリファイド一般砥石と同様の傾向を示します。ただし、CBN砥粒は高硬度であるなどの特徴からビトリファイド一般砥石とは異なるドレッシング条件が推奨され、切込み量はφ1~7μm、ドレッシングリードは0.01~0.2mm/r.o.w.を目安に設定します。

ロータリドレッサは回転体であることから①~②に加えて③ドレッサ回転方向、④ドレッシング周速度比という因子が加わり、この2つの条件も研削性能に大きく影響します。

③ドレッサ回転方向

ドレッサとホイールの回転方向が異なる場合をダウンカットドレッシングと呼び、切れ味を重視する場合に選択します。一方でドレッサとホイールの回転方向が同じ場合をアップカットドレッシングと呼び、表面粗さを重視する場合に選択します(図16)。

ダウンカットドレッシングではドレッサがホイールに進入するとき、砥粒を破碎させる作用がアップカットより大きく働くため、後述するドレッシング周速度比によって切れ味のよい砥石面を形成することができます。

④ドレッシング周速度比

切れ味を良くするためには、ダウンカットドレッシングでドレッシング周速度比(ドレッサ周速度/ホ

図15 各ドレッサによるドレッシング後の砥粒とホイール断面形状

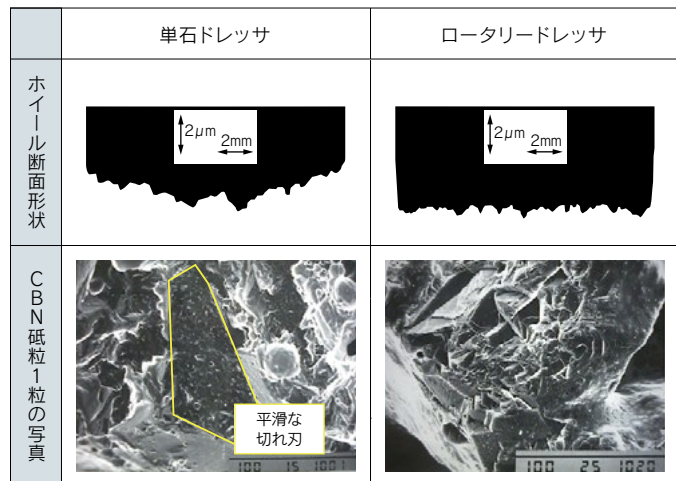
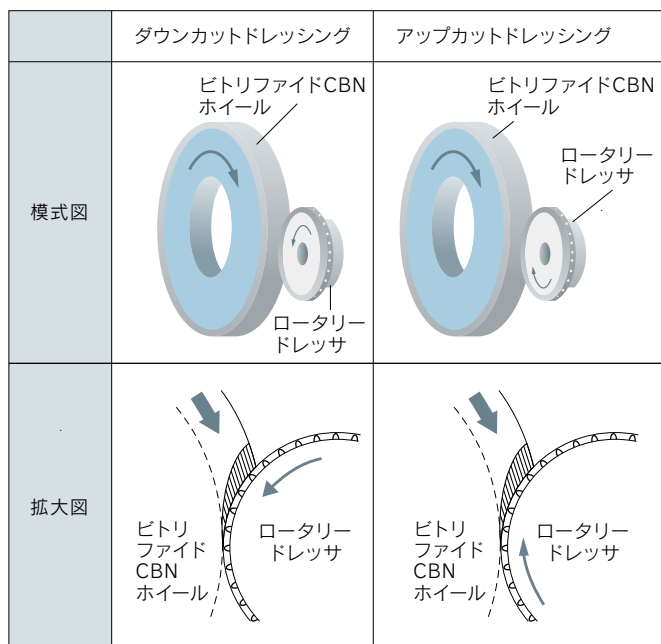


図16 ドレッサ回転方向



イール周速度)を1に近づけます。砥粒が大きく破砕しやすくなるため、表面粗さは粗くなりますが、研削抵抗が低減します(図17、18)。

一方、アップカットドレッシングの場合はドレッシング周速度比を変化させても研削性能にはあまり影響を及ぼさないことがわかります。これはドレッサのホイールへの進入厚みが小さく、砥粒が破砕されにくく、先端が平滑になるためです。

ドレッシング周速度比は求めるワーク精度にもよりますが、一般的にはダウンカットドレッシングにおいて0.4~0.9を目安に、切れ味重視の場合は0.75以上を選択することが多いです。

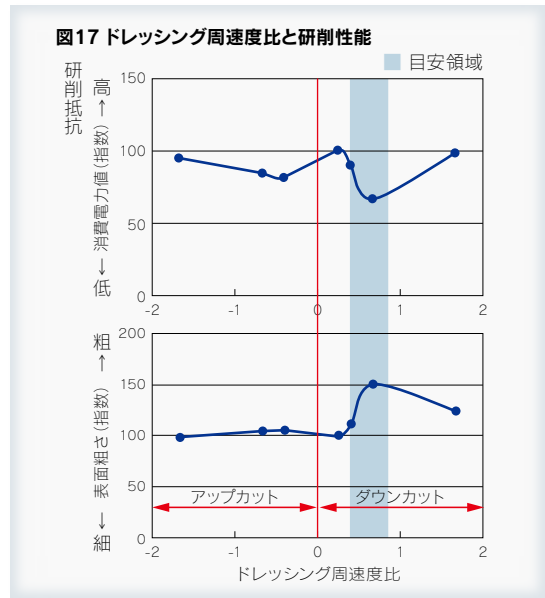


図18 ドレッシング周速度比に対するドレッシング後の砥粒

周速度比	0.25	0.4	0.67	アップカット 0.67
砥粒1粒の写真				
砥粒1粒の断面形状模式図				

◆レジン・メタル超砥粒ホイールのツルーイング・ドレッシング方法

マトリックスタイプのホイールはドレッシングによってボンドを除去し、砥粒を突出させることが重要です。切れ味を向上させるためには砥粒の突出し量を大きくする必要があります(図19)。突出し量を変化させた際に研削抵抗がどのように変化するかを動力計で測定した試験結果から、砥粒突出し量が大きくなるとともに研削抵抗は低くなることからわかります(図20)。

レジン・メタル超砥粒ホイールはダイヤモンドドレッサでのツルーイング・ドレッシングが困難です。そのため、ツルーイングには、ピトリファイド一般砥石や軟金属を削る方法がとられます。ドレッシングには、ホイールに対して2~3段細粒のピトリファイド一般砥石やホワイトストーン*などの一般砥石スティックをレジンホイールに当てることでボンドを後

図19 砥粒突出し量イメージ図

砥粒突出し量	小さい	大きい
砥石の切れ味	劣る	優れる
イメージ図		

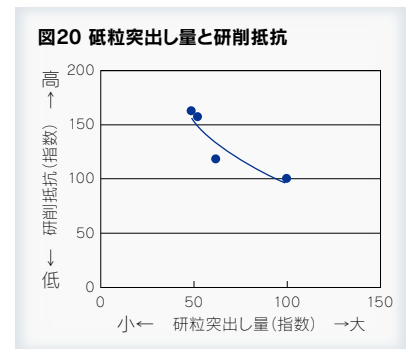


表2 ツルーイングとドレッシング方法

	ホイール ドレッサ	レジン		メタル	
		CBN	DIA	CBN	DIA
ツルーイング	インブリドレッサ	△	×	×	×
	ロータリドレッサ	△	×	×	×
	軟金属	○	○	○	○
	ビトリファイド一般砥石	○	○	○	○
	プレーキコントロール	○	○	○	○
	放電法	×	×	○	○
ドレッシング	一般砥石スティック	○	○	○	○
	ビトリファイド一般砥石	○	○	○	○
	遊離砥粒法	○	○	○	○
	放電・電解法	×	×	○	○
	ショットブラスト法	○	○	○	○

退させます(表2)。

ただし、メタルホイールにはレジンホイール同様の方法が可能ですが、ボンド強度が高いためドレッシング作業に多くの時間を要してしまいます。そこで、電解ドレッシング*や放電ドレッシング*といった電気的方法も採用されています。導電性を有するボンドの特性を利用してボンドを溶解・除去し、砥粒を突出させることができます。

以上のようにホイールのボンドや砥粒などに応じて最適なツルーイングとドレッシング方法を選択することが重要となります(表2)。

トラブル対策

研削において研削焼けや研削割れ、びびりが生じたり、形状精度不良や表面粗さの悪化など、トラブルが起きた場合の解決策としてドレッシング条件を見直すことも一つの手段です。

例えば、研削焼けであれば砥石の目詰まりや目つぶれによる研削熱の発生が一つの原因として考えられるので、ドレッシングリードを大きくして切れ味を良くすることによって改善する可能性があります。

一方、仕上げ面精度の悪化であれば砥石の目こぼれや脱落が原因の一つなので、ドレッシング切込み量やドレッシングリードを小さくすると精度よく研削できる可能性があります。

前述したドレッシング条件と砥石作用の関係を右の表3にまとめます。

以上、砥石の種類に適したツルーイング・ドレッシング方法について述べてきました。砥石の研削性能を最大限に引き出す一助となれば幸いです。

表3 ドレッシング条件と砥石作用

性能	砥石の切れ味	良い	悪い
	ワーク表面粗さ	粗い	細かい
ドレッシング抵抗	小さい	大きい	
条件	ドレッシング切込み量	大きい	小さい
	ドレッシングリード	大きい	小さい
	ドレッサ回転方向(ロータリドレッサ)	ダウンカット	アップカット
	ドレッシング周速度比(ダウンカット)	1に近い	1から遠い
	砥粒突出し量	大きい	小さい

[注釈]

- ※ r.o.w. : 砥石1回転当たり (revolution of wheel)
- ※ 一般的に超砥粒(CBN砥粒、ダイヤモンド砥粒)を使用した研削砥石は、砥石ではなくホイールと呼ばれる。
- ※ 電解ドレッシング: 陽極と陰極の間に電解液を流し、ボンドを溶出させるドレッシング方法。
- ※ 放電ドレッシング: 電極を研削し、放電作用によって電極形状をホイールに転写、ボンドを溶融除去する方法。
- ※ ホワイトストーン: WA砥粒を使ったダイヤモンド・CBNホイールの目立て用砥石

[文献]

- ① 山本 将之: よくわかる砥石の構造(組織と集中度), NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018, (2017)4
- ② 五十君 智: 研削砥石の選び方, 機械技術, 第65巻, 第4号(2017)31
- ③ 松尾 秀平: Gシャープ, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018, (2017)46
- ④ 五十君 智: 研削砥石の基礎, 機械技術, 第65巻, 第4号(2017)26

[著者] 杉野 香奈絵
工業機材事業本部 技術本部
研削ソフト技術部
フィールド技術グループ