

NORITAKE

TECHNICAL JOURNAL 2018

研削・研磨工具における革新技術!!

ノリタケの製品に
悩み解決のヒントあり

技術の芽

未来予想図

IoT時代に向けた
研削技術の展望

加工精度と
生産性が
向上する
研削工具の
構造

注目製品と技術

難削材加工・高能率加工を可能とする均質構造ビトリファイド砥石
スーパーユニフォーム・ノンクロッティ

工具費の低減と生産性向上を両立する“超”長寿命ビトリファイドCBNホイール
メガライフホイール

研削焼けの抑制と長寿命を両立するビトリファイドCBNホイール
VPホイール

高い加工能率と加工表面粗さを両立させる新型研削工具
グリットエース

NORITAKE

お客様の課題を解決し 期待される存在であるために 研削・研磨技術の究極を追い続けて

ノリタケグループは、研削・研磨の総合メーカーとして長年にわたりお客様へ工具だけでなく、研削・研磨加工に関わる装置や使用技術をご提供して参りました。

特に、近年急速に変化する生産現場の課題は多岐にわたっており、ノリタケグループに対しても多くのお客様からご相談が寄せられております。お客様のニーズや課題を正確に理解し、ご満足いただける製品と技術を開発することが我々の使命であると考えております。

一方で研削・研磨加工は複雑なメカニズムや不確定要素が多いなどの理由から難しいと感じられる方も多くとお聞きします。ノリタケグループでは、そのように感じられる皆様に研削・研磨加工へのご理解を深めていただくことや研削・研磨加工をご存じない皆様にも技術的な可能性とその魅力をお伝えすることが重要であると考えております。このような思いから、ノリタケグループの研削・研磨に関わる製品と技術を「NORITAKE TECHNICAL JOURNAL」として皆様へお届けいたします。

今回は、お客様より寄せられるご相談の中から「加工精度と生産性の向上」をテーマに取り上げました。加工性能を左右する重要な要素の1つである研削工具の構造についての

解説と構造に関わる技術を取り入れた製品の一部をご紹介します。その他にもお客様から寄せられる課題に対して、技術的なデータや事例を交えて解決策をご提案いたします。更には、研削・研磨業界において注目されている技術や近年話題のIoTと研削加工の将来像について、研削・研磨の総合メーカーとして今後の展望をご紹介します。

今後も私どもノリタケグループは、お客様へ製品とサービスをご提供するだけでなく、お客様と共に課題解決に取り組み、常に期待に応えられるパートナーであり続けるよう努めてまいります。



株式会社ノリタケカンパニーリミテド
取締役 専務執行役員 工業機材事業本部長

小倉 久也

CONTENTS

[特 集]

加工精度と 生産性が向上 研削工具の構造 [分散、配列]

04 ノリタケアカデミー [技術講座] ～解説とノリタケの視点～

■ よくわかる砥石の構造 (組織と集中度)

ノリタケからの提案

注目の
製品・技術

08 **01** 難削材加工・高能率加工を可能とする均質構造ビトリファイド砥石
スーパーユニフォーム・ノンクロツティ

12 **02** 工具費の低減と生産性向上を両立する“超”長寿命ビトリファイドCBNホイール
メガライフホイール

18 **03** 研削焼け抑制と長寿命を両立するビトリファイドCBNホイール
VPホイール

22 **04** 高い加工能率と加工表面粗さを両立させる新型研削工具
グリットエース

ノリタケの製品に 悩み解決のヒントあり

28 **01** **悩み** 従来砥石よりも良い砥石を使いたいが、できるだけコストを抑えたい
ライフキング

32 **02** **悩み** 高硬度材、大型ワークの加工能率を向上させたい
フラッディ



- 36 **03** **悩み** 工具費用削減、生産性・加工品質を向上させたい
CXEシリーズ
- 40 **04** **悩み** 超硬等の研削で加工能率を上げたいが、工具の使い易さは犠牲にたくない
MDLホイール
- 46 **05** **悩み** ドレッサのドレス性能や寿命、修理回数のばらつきを抑えたい
Gシャープ
- 50 **06** **悩み** サファイアの加工能率を上げて加工ダメージも低減したい
サファイア研削用メタルホイール MSG
- 54 **07** **悩み** ステンレスコイルの研磨性能を向上させたい
レジンクロス A-XC70
- 58 **08** **悩み** 水溶性研削液の腐敗・異臭の発生を防ぎたい
スーパーアルカリイオン水



技術の芽

- 62 ■ 半固定砥粒研磨パッド“LHAパッド”とSiC単結晶の研磨
- 68 ■ 研削液へのマイクロ・ナノバブル技術の応用

72 未来予想図 IoT時代に向けた研削技術の展望

ノリタケの海外・国内拠点

- 78 ■ 海外拠点
- 79 ■ 国内拠点

よくわかる 砥石の構造 (組織と集中度)

研削砥石の構造について
モデル図と研削データを交えて
基礎からわかりやすく解説します。

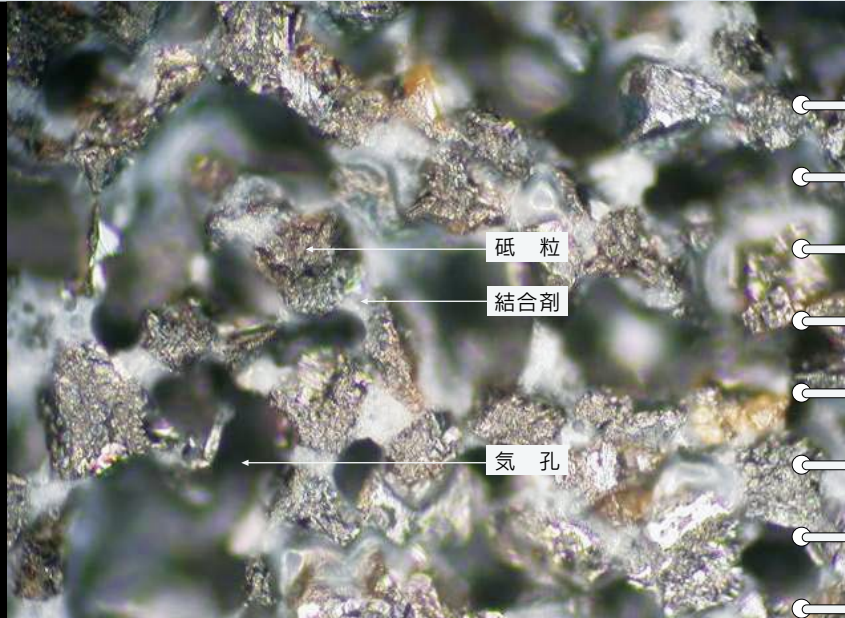


図1 研削砥石の写真(ビトリファイドCBNホイール)

研削砥石とスペック

研削砥石は機械加工において使われる工具の1つですが、一体どのようなものなのでしょうか。ある研削砥石を例として顕微鏡を使い拡大して見てみましょう。一般的に研削砥石は上の図1に示すような「砥粒」、「結合剤(ボンド)」、「気孔」の3要素によって構成されており、それぞれは次のような役割をもっています。

1. 砥粒: 工具の刃先に相当し、主としてワークを除去する。
2. 結合剤(ボンド): 砥粒と砥粒を結合させ、加工中に砥粒へ負荷が加わった際に砥粒を保持する。
3. 気孔:
 - ・砥粒がワークを除去する際に生じる切り屑を取り除くために必要な隙間。
 - ・研削液を保持し、加工点に供給する。
 - ・加工点付近に発生する熱を大気中に放出させる。

これら3要素は研削砥石のスペックと密接な関係があります。つまり、皆さんが研削砥石を使って研削加工をしようとする時、スペックを理解することによって、その研削砥石がどのような物なのかを知ることができます。

スペック例	WA	80	J	7	V35
	砥粒	粒度	結合度	組織	結合剤

スペックは、「砥粒」・「粒度」・「結合度」・「組織」・「結合剤」の5因子によって表されています。この5因子はそれぞれ次のような内容を示しています。

■一般砥石の5因子

1. 「砥粒」: 物を削る粒の種類
2. 「粒度」: 砥粒の大きさ
3. 「結合度」: 砥粒を結合する強さ
4. 「組織」: 砥粒が含まれている割合(砥粒率)
5. 「結合剤」: 砥粒同士を結び付けている種類

なお、研削砥石は使用する原料によって一般砥石*と超砥粒ホイール*とに呼び分けられ、超砥粒ホイールでは「組織」を「集中度」と表現します。研削砥石の研削性能は5因子によって大きく変わるため、求める加工精度を得るには5因子と研削性能の関わりについて知ることが重要です。急速に変化する生産現場の課題に対して従来の砥石構造では対応が困難な場合も出てきており、ノリタケでは研削砥石の構造に着目することで新しい性能を付与した、砥粒の分散性に優れた均質構造の製品を開発しています。研削砥石の均質性が研削性能に及ぼす影響を論じるにあたり、まず組織および集中度という構造に起因する因子について解説します。

「組織」・「集中度」とは

一般砥石の「組織」と超砥粒ホイールの「集中度」とは、砥石または砥材層中にどのくらいの体積割合で砥粒が含まれているかを示すもので、この割合を「砥粒率」と呼びます。砥粒率が高くなれば、砥石中に含まれる砥粒の数が多くなるので、「密」な構造となり、逆に砥粒率が低くなれば「粗」な構造になります。

表1 一般砥石の組織と砥粒率の関係

組織	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
砥粒率(%)	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34

表2 超砥粒ホイールの集中度と砥粒率の関係

集中度	25	50	75	100	125	150	175	200
砥粒率(%)	6.25	12.50	18.75	25.00	31.25	37.50	43.75	50.00

表1は一般砥石の組織と砥粒率の関係、表2は超砥粒ホイールの集中度と砥粒率の関係です。

組織は6を砥粒率50%とし、数字が1変わると砥粒率が2%変化していきます。JIS規格として0~25までの記載がありますが、一般的な研削加工では7~10が使用されます。集中度は100を砥粒率25%とした比になっており、集中度を4で割ると砥粒率となります。

「組織」・「集中度」が変わると研削性能はどのように変わるか

「組織」・「集中度」が変わると研削性能がどのように変わるのでしょうか？ここでは砥粒間の結びつきの強さを一定とし、砥粒と気孔の割合だけを変化させた場合を考えてみましょう。

組織が密になると、砥粒の割合が増えて気孔の割合が減るため、図2の密な構造のように砥石中の砥粒と砥粒の間隔が狭くなります。この場合、研削加工時に砥粒とワークとの接点が多く、砥粒1粒当たりにかかる負荷が小さくなります。そのため砥粒が割れにくくなり、砥粒の先

端が平滑に摩滅摩耗しやすくなります。よって研削砥石の切れ味はやや犠牲になるものの、加工後のワーク表面粗さが細くなる傾向になります。

一方、組織が粗になる場合は、砥粒の割合が減り気孔の割合が増えるため、図2の粗な構造のように砥粒と砥粒の間隔が広がります。この場合は密な構造とは逆に、研削加工時に砥粒とワークとの接点が少なく、砥粒1粒当たりにかかる負荷が大きくなります。そのため砥粒が割れて鋭利な切れ刃が砥粒先端に出やすくなります。よって研削砥石の切れ味は良いものの、加工後のワーク表面粗さが粗くなる傾向となります。

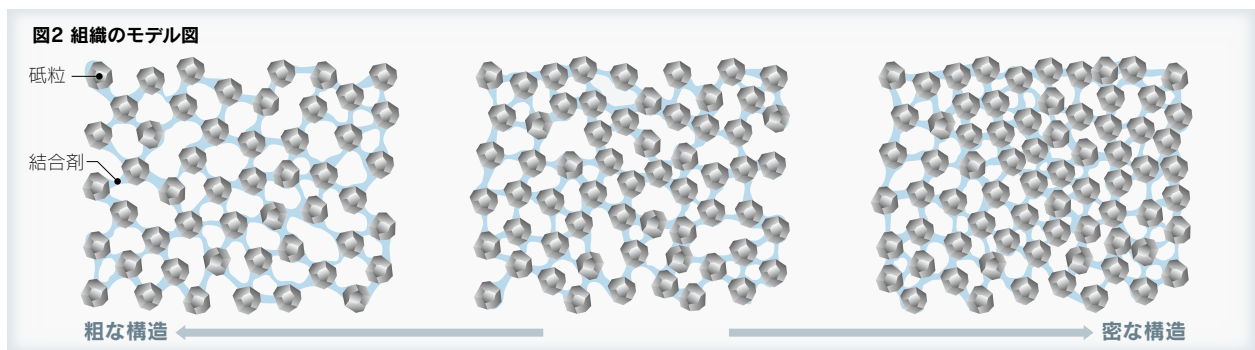
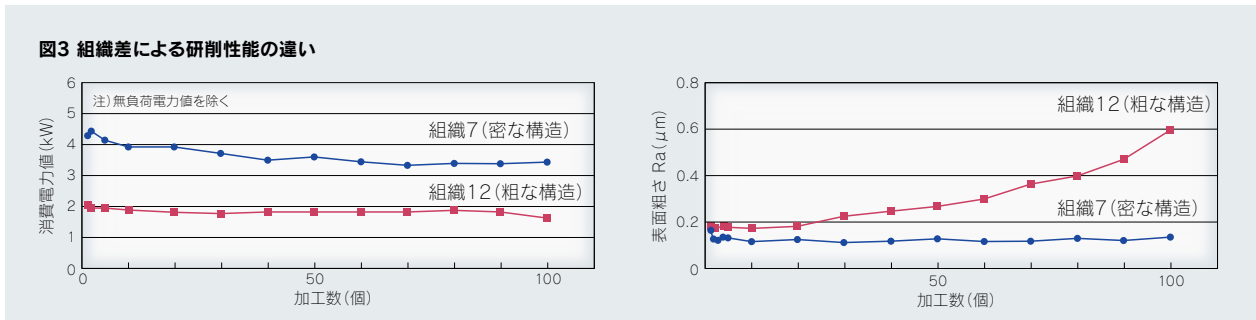


図3は組織が粗になった場合の研削性能をノリタケで評価した結果を示しています。ここでは研削砥石の切れ味を砥石軸の消費電力値で表しており、一般的には消費

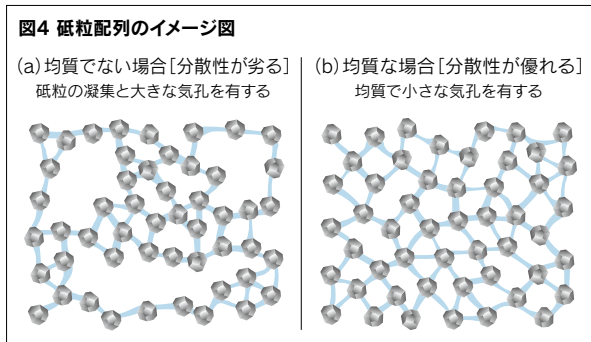
電力値が低いと研削砥石の切れ味が良いことを意味しています。実際に組織が粗になると、消費電力値が低く、表面粗さは粗い傾向であることが分かります。



分散性と研削性能について

同じ砥粒率でも気孔の大きさと研削砥石中の砥粒の分散状態によって研削性能が変わってきます。砥粒配列の均質さの事をノリタケでは分散性と呼んでいます。図4(a)と(b)は、同じ砥粒率なので、「組織」は同じです。しかし、砥粒配列の均質さは異なります。図4(a)の砥粒

配列が均質でない(分散性が劣る)場合、砥粒が凝集した部分ができる反面、大きな気孔を有します。凝集した部分の砥粒は砥粒間隔が狭く非常に強固な結合力を持っており頑丈であることや、大きな気孔部が懐の深いチップポケットの役割を果たすことから、特定の加工方法や加工条件下においては良好な研削性能を示します。しかし加工条件によっては、砥粒の凝集部が溶着の発生(悪化すると集団で砥粒が脱落[※]する)や研削焼けに繋がる場合があります。そのような研削加工現場では、図4(b)の様な砥粒配列が均質である構造の砥石(分散性が優れる)が適していることが明らかになってきました。次に、研削加工をモデル化し、砥粒配列が均質な構造(分散性が優れる)が研削加工にもたらすメリットとそのメカニズムを解説します。



均質構造によってもたらされる効果とメカニズム

「研削」は、研削砥石の表面にある無数の砥粒がワークと干渉することで微小領域における切削現象を起こし無数の切り屑を作りながらワークを削っていく現象です。砥粒配列が均質な構造の研削砥石では、加工中の砥粒1粒にかかる負荷がほぼ均等になります。ここで、一般的な平面研削を例に挙げて考えてみましょう。

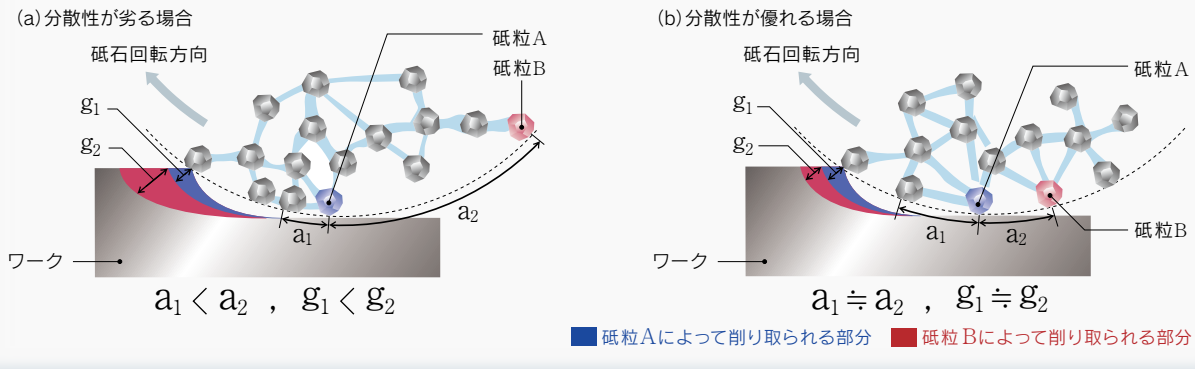
図5は分散性が劣る場合と優れる場合に、砥粒がワー

クにどのように作用して切り屑を作り出すかを考えたモデル図です。

図5のgは、砥粒切込み深さと呼ばれるパラメータです。細かな式の導出はここでは省略しますが、平面研削でのgの研削理論により導かれる理論式は式1のようになります。

図5のaは砥粒間隔を示すので、先に述べたように組織と密接な関係があります。「砥粒が切込む深さ」≒「切り屑の厚さ」と考えられており、aが大きい場合、つまり

図5 砥粒間隔と砥粒切込み深さの関係(平面研削の場合)



$$g = 2a \frac{v}{V} \sqrt{\frac{t}{D}} \dots\dots\dots \text{式1} \square$$

g: 砥粒切込み深さ a: 砥粒間隔 V: 砥石周速度
v: ワーク周速度 D: 砥石直径 t: 1パス当たりの砥石切込み量

砥粒の間隔が広ければ砥粒がワークを切り取る深さが深くなり、砥粒への負荷が高くなります。

図5 (a)の分散性が劣る場合は、局所的に見ると砥粒間隔が狭い所 a_1 と砥粒間隔が広い所 a_2 が混在しており、それぞれ砥粒への負荷が異なります。そのため、研削性能が不安定となる場合があります。

図5 (a)の砥粒間隔が広い部分 a_2 では、砥粒Aの切込み深さ g_1 と比べて、砥粒Bの切込み深さ g_2 の方が大きいため、砥粒Aに比べて砥粒Bの方が研削による負荷が大きくなります。研削負荷が大きすぎると、砥粒が大きく割れたり、砥粒と砥粒を結び付けている結合剤に大きな

ダメージが入り、研削性能を十分に発揮する前に砥粒が脱落してしまう場合があります。

一方、砥粒間隔が狭い部分 a_1 における砥粒Aは、砥粒間隔が広い部分 a_2 の砥粒Bに比べて砥粒切込み深さが小さいため研削による負荷が小さくなります。研削負荷が小さいと砥粒破碎による自生発刃[※]が起りにくく、砥粒先端が摩滅摩耗して研削砥石の切れ味が悪くなります。そのため砥粒とワークの摩擦熱が大きくなってしまい、研削焼けなどの不具合発生に繋がります。

図5 (b)の分散性が優れる場合は、砥粒Aと砥粒Bの砥粒切込み深さが揃っています。この場合、研削負荷は全ての砥粒でほぼ同じとなるので研削性能が安定する傾向になります。つまり、極度の脱落や砥粒の摩滅を防ぎ、適度な自生発刃が生じることで安定した加工性能を得られるという理想的な研削加工に近づけることが可能と考えています。

以上、研削砥石の構造について筆者の考えをなるべく解りやすく解説してみました。

拙い文章ではありますが、この記事が皆様にとって一助となれば幸いです。

[注釈]

- ※一般砥石：アルミナ (Al₂O₃) を主成分とした砥粒もしくは炭化ケイ素 (SiC) を主成分とした砥粒を使用して製造された研削砥石
- ※超砥粒ホイール：ダイヤモンド砥粒もしくは立方晶窒化ホウ素 (CBN) 砥粒を使用して製造された研削砥石
- ※脱落：砥粒が砥石から抜け落ちる現象
- ※自生発刃：砥粒先端が摩耗して鈍化すると砥粒が局部的に破碎し新しい切れ刃が再生される。破碎が繰り返された後に砥粒の保持力が一定以下になると最終的に砥粒は抜け落ち、下層から新しい砥粒が現れ切れ味が継続される現象

[文献]

□ 五十君 智：「研削砥石の基礎」, 機械と技術, 第65巻, 第4号(2017), 32.



[著者] 山本 将之
工業機材事業本部 技術本部
研削ソフト技術部 加工技術グループ



[著者] 大浦 雄介

工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
ビトリファイドグループ

難削材加工・ 高能率加工を可能とする 均質構造ビトリファイド砥石

研削砥石を構成する砥粒がうまく分散しないで密集していると、密集部では大きな摩擦熱が生じてワークの変質や溶着が発生して砥石の寿命が低下します。

加工熱・溶着発生を抑止、砥石の形状維持性の向上を目的とし、砥粒分散性に着目し、均質構造ビトリファイド砥石“スーパーユニフォーム”、“ノンクロツティ”を開発しました。

均質構造ビトリファイド砥石シリーズ

スーパーユニフォーム・ ノンクロツティ



[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●	●	●		

砥粒の均質性が加工に与える影響

ビトリファイド砥石に求められるもの

多くのお客様は「良く切れて長持ちする研削砥石」を求めています。

通常、研削砥石は切れ味が低下したり形状がくずれてくると、その研削性能を復元するためにドレス（目立て修正）をします。

研削砥石の寿命を決める1つの要素として、ドレス1回あたりの加工数（次のドレスまでに何個のワークが加工できるか）があり、切れ味を維持しつつ、ドレスの間隔や砥石寿命を延ばすことが求められています。

ノリタケは砥粒と気孔が均質に分散する新しいボンドシステムを開発し、従来より切れ味が良く長持ちするようにした研削砥石“スーパーユニフォーム”をつくり上げました。

この研削砥石は砥粒を均質に分散させた構造により、砥粒がのこぎりのように一定間隔でワークを切込み、スムーズな切れ味が持続します。また近年、研削加工の高能率化、高品位化に対応するため研削砥石は粗組織化の傾向にあり、同様のコンセプトで粗組織砥石の均質構造化を達成した研削砥石“ノンクロツティ”を開発しました。

均質構造で課題を克服

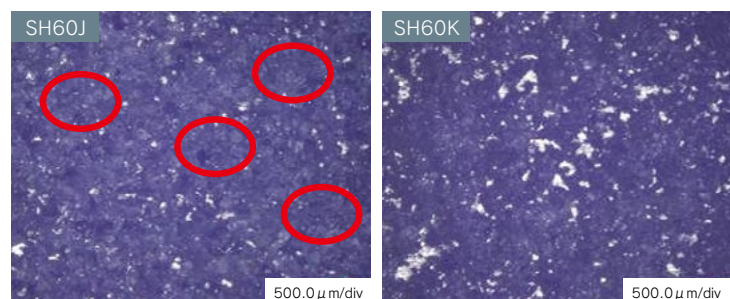
研削砥石で削り難いものの一つに火力発電設備や航空機エンジンに使われるタービンブレードがあります。タービンブレードは、1000℃以上の高温で使われるため耐熱鋼できており、それを加工するのですが、耐熱鋼は硬く粘りがあるため、非常に削りにくい上、おおむね熱伝導率が悪く、研削熱は拡散しにくくなります。そのため、通常の加工に比べ研削熱が工作物にこもりやすくなります。

耐熱鋼の加工の際には前述の特徴から砥粒の摩滅、砥粒

への溶着^{*}の発生などの問題が起こり、脱落による砥石の損耗の進行や研削熱による加工変質層の発生につながります。

図1は社内で耐熱鋼の研削試験を実施した際の研削後の砥石面観察写真です。左の写真では砥粒の脱落が発生しており、右の写真では砥粒の摩滅、溶着が発生しています。砥粒や組織、結合度調整による対応だけではこの不具合の解消には至りませんでした。

図1 研削後の砥石面観察写真



砥粒の脱落部（写真○部分：白点部分がない） 500.0 μm/div
摩滅・溶着部分（写真白点部分）多いが見られる 500.0 μm/div

社内研削試験で得られた観察結果より、従来のボンドシステムによる砥石（従来構造）では図2のように砥粒間隔が狭いところと広いところが混在しており、砥粒間隔が狭いところ

図2 砥石構造の模式図（従来構造）

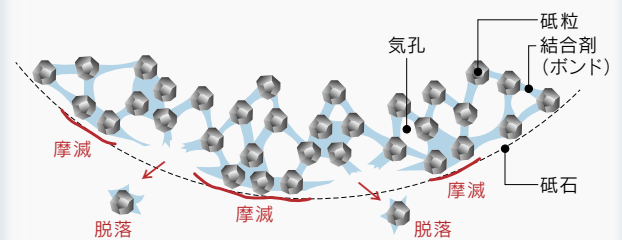
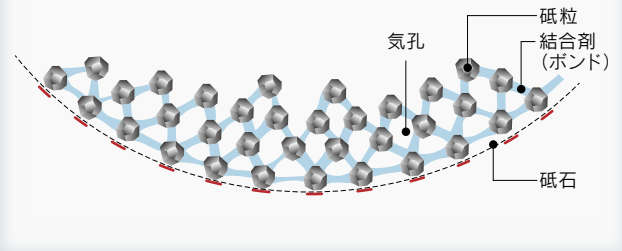


図3 砥石構造の模式図（均質構造）



は、切れ味、冷却性の不足により砥粒の摩滅、溶着が進行するといった不具合が、砥粒間隔の広いところでは砥粒保持力が不足し、砥粒の脱落が発生している傾向が見られました。

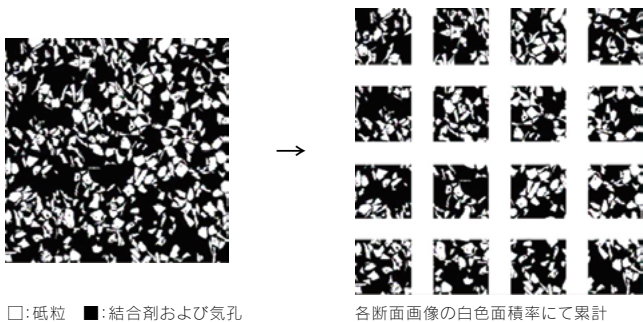
このような不具合のきっかけを少なくするために、砥粒間距離を従来構造よりもコントロールすることが有効であると考え、砥粒がより均質に分散した構造の砥石の開発を目指しました。理想的な均質構造の砥石では図3に示すように、局所的な砥粒の摩滅、脱落を防止する効果が生まれ、切れ味、形状維持性が向上できると考えています。

開発のポイント、定量化

今回、均質性のコントロールの重要性に着目し、どのようにそれをコントロールするか、どのようにそれを評価するかといった技術を開発しました。

この開発によって得られた評価手法は砥石の断面画像を分割し、砥粒の密度分布の標準偏差値にて分散性を評価する方法(図4)であり、その際の分割サイズや標本数の最適値の設定を行いました。

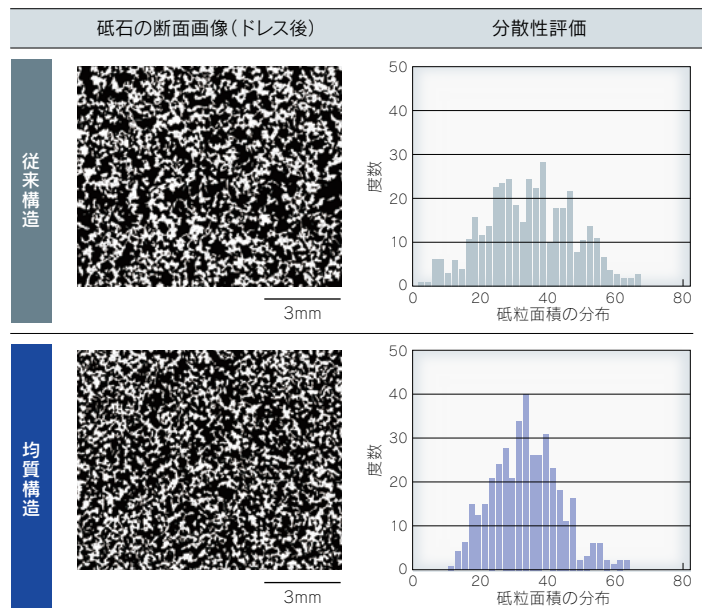
図4 砥石の断面画像から砥粒の分散性を評価する手法



均質性のコントロールにより開発した砥石のドレス後の砥石面と従来品のドレス後の砥石面の分散性評価結果を図5に示します。

均質構造品は砥粒凝集部分が少なく、砥粒が均質に分散していることが見られ、砥粒面積率の度数分布のばらつきと標準偏差が小さく、評価結果から均質な構造の砥石であることが確認されました。

図5 従来構造品と均質構造品の分散性評価結果



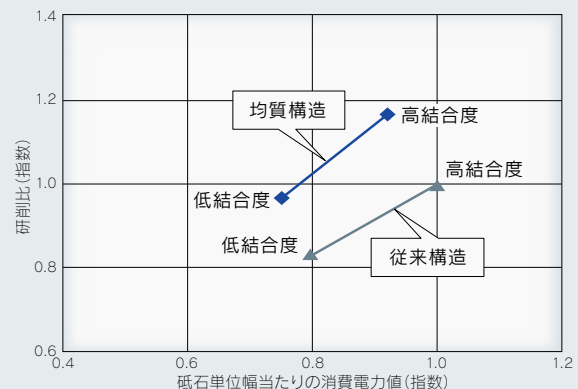
以上の評価から今回開発した均質構造砥石と従来構造砥石の比較のため、表1に示す条件にて難削材である耐熱鋼の研削試験を行い、図6の結果を得ました。

横軸は砥石単位幅当たりの消費電力値であり、値が小さい

表1 試験条件

研削方式	湿式平面研削
砥石寸法	φ205×t19×φ76.2
砥石周速度	33m/s
ワーク	耐熱鋼
テーブル送り速度	0.33m/s
切込み量	10μm/pass
総切込み量	3mm
研削液	水溶性研削液

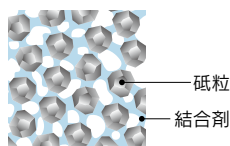
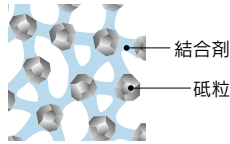
図6 研削試験結果



ほど砥石の切れ味が優れる傾向を意味します。縦軸は研削比[※]の値であり、値が大きいほど砥石摩耗量当たりのワーク削除量大きく砥石寿命が優れる傾向を意味します。均質構造(◆)は従来構造(▲)と比べ、消費電力値が低くかつ研削比が高い、すなわち均質構造は切れ味に優れて砥石が摩耗しにくいという性能を兼ね備えていることが示されています。

このように均質性をコントロールした砥石を開発し、その技術をお客様での使用用途、重要視する性能にあわせ製品化しました。比較的形状維持性を重視したい場合には普通組織砥石の“スーパーユニフォーム”を、研削焼けなど比較的切れ味を重視される場合には粗組織砥石の“ノンクロッティ”をご推奨します(図7)。

図7 スーパーユニフォームとノンクロッティ

均質構造品	組織	適用範囲
スーパーユニフォーム	密組織 7,8 	比較的形状維持性を重視される場合
ノンクロッティ	粗組織 9~12 	研削焼けなど比較的切れ味を重視される場合

[注釈]

※溶着：ワークが研削熱などの温度上昇によって溶けて、砥粒や研削砥石の表面に付着した状態

※研削比：ワーク削除量÷砥石摩耗量によって求められる値

Q CBN砥粒でも製造できますか？

A この製品はアルミナ砥粒(A系一般砥粒)のみとなっています。

Q 従来構造の粗組織砥石(ポーラタイプ)と比べて最高使用周速度は変わりますか？

A 変わりません。粒度、結合度、組織が同じであれば同等です。

Q & A

ノリタケ
からの
提案

注目の製品・技術

02



[著者] 小久保 貴文
工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
ビトリファイドグループ

工具費の低減と生産性向上を 両立する“超”長寿命を実現

自動車、ベアリングほか、幅広い産業分野の

研削工程で使用されるビトリファイドCBNホイール

切れ味が良いと、砥石寿命が短くなる傾向があるなか、ノリタケは均質構造とボンドの高強度化に着目し、“切れ味”と“超”長寿命を両立させた“メガライフホイール”を開発しました。

ビトリファイドCBNホイール

メガライフホイール



[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●	●	●		

砥粒の均質性向上と高強度新ボンドを目指す

全てを満たすことの難しさ

立方晶窒化ホウ素 (CBN) を砥粒に用いたビトリファイド CBNホイール (以降ビトCBNホイール) は、特に高能率、長寿命、自動化が求められる工程にて使用されています。具体的にはクランクシャフトの円筒研削、ベアリング用のニードルコロのセントレス研削、インジェクションノズルの内面研削等、多岐に渡り、特にカムプロファイル研削はチルド鋳鉄・ダクタイル鋳鉄等を高能率で加工するため、加工精度 (表面粗さ、プロファイル精度、びびり (図1) 等) や加工面品位 (研削焼け (図2)・割れ、残留応力等) の目標を達成しにくい傾向となります。

図1 びびり等

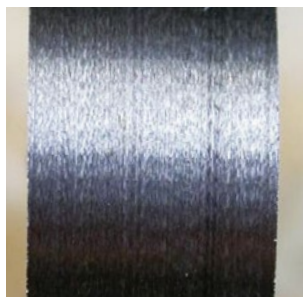


図2 研削焼け



対策として切れ味の良いホイールを選択しますが、切れ味の良いホイールは寿命が短い傾向になりやすく、①加工費の上昇、②生産性の低下 (ドレス時間及び工具交換時間の増大) という問題が発生します。

一般的な寿命対策として結合度や集中度アップなどホイールスペックを調整しますが、寿命向上は得られるものの切れ味不足による研削割れが生じてしまうなど、従来の製品では

対応が困難な用途が存在しました。[□]そのような状況を打開するため、切れ味と寿命の両立が可能なホイールの開発に取り組み、“メガライフホイール”を製品化しました。

メガライフホイールにより得られる効果

メガライフホイールの研削性能を評価するために、先ほど述べたカムプロファイル研削方式において、表1の試験条件で従来品を対照に研削試験を実施しました (図3)。その結果、メガライフホイールは、表面粗さの維持性が向上しドレス間隔が90%延長出来、ホイール摩耗量も34%低減出来ています。消費電力値は約40%高いものの、従来品では発生していた研削割れはないことが確認できました (図4)。消費電力値が高くなった要因は、構造の均質化によるものと考えられます。このような結果からメガライフホイールは工具費低減と生産性の向上を両立し、超長寿命を実現する製品と言えます、現在は多数のお客様にご使用いただいています。

表1 試験条件

研削方式	カムプロファイル研削
ワーク	チルド鋳鉄材 (FC250チル)
ホイール周速度	160m/s
研削能率 [※]	Z' = 176mm ³ /mm・s
ドレッサ	メタルロータリータイプ

図3 試験結果

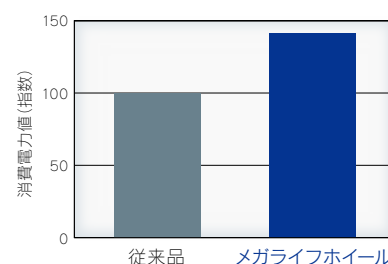
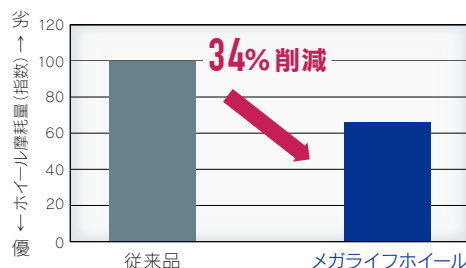
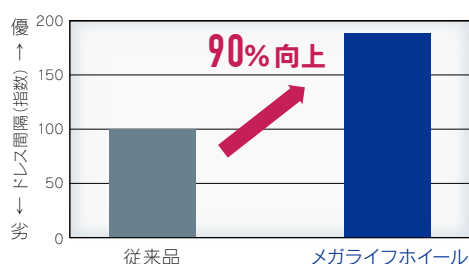
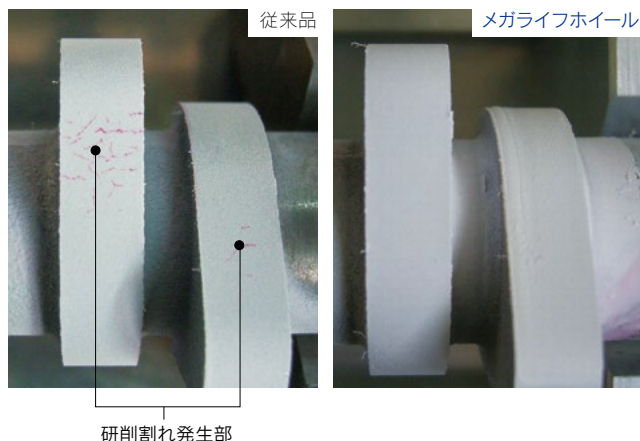


図4 研削試験結果(ワークの加工品位確認)

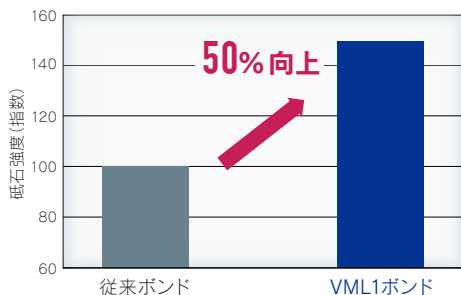


続いて、優れた研削性能が確認されたメガライフホイールの開発における、ノリタケの視点と創意を解説いたします。

ホイールの高寿命化に対するノリタケの創意 — 新ボンドVML1の開発

研削量の増加に伴い、砥粒先端の鋭利な切れ刃の減少や砥粒の脱落によって徐々に表面粗さ等が悪化し、一定周期でドレスを行う必要があるため、研削砥石の長寿命化はいかに砥粒の脱落等を発生させないかが重要で、砥粒・結合度・集中度・ボンド(結合剤)変更などの方策が取られます。その中でもボンドは寿命に与える影響が大きいため、砥粒をより強固に保持できる(=強度の高い)ボンド開発が重要と考え開発に取り組んだ結果、新開発の“VML1”ボンドを用いることで砥石強度を50%向上させることに成功しました(図5)。

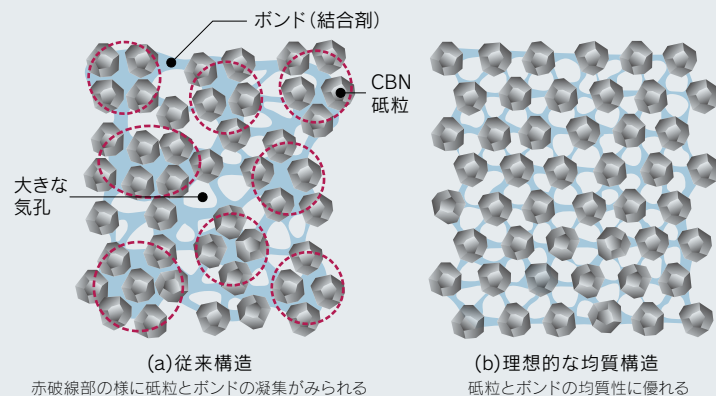
図5 砥石強度



高精度・高品位加工に対するノリタケの創意—構造の均質化

メガライフホイールの開発過程において高強度ボンドを用いたビットCBNホイールをカムプロファイル研削に適用したところ、砥石強度の上昇に伴い研削抵抗が増大し、加工品位の悪化(研削割れ等)が発生しました。この結果は図6(a)のように砥粒とボンドが凝集したところでは強固に砥粒が保持されていることもあり、他の部分と比較して研削熱が高くなりやすく、切れ味や冷却性が不足してしまうことが原因であり、カムプロファイル研削のように高能率研削においてより顕著に表れやすいと考え、構造については均質化した図6(b)を目標に開発を進めました。

図6 ビットCBNホイールの構造

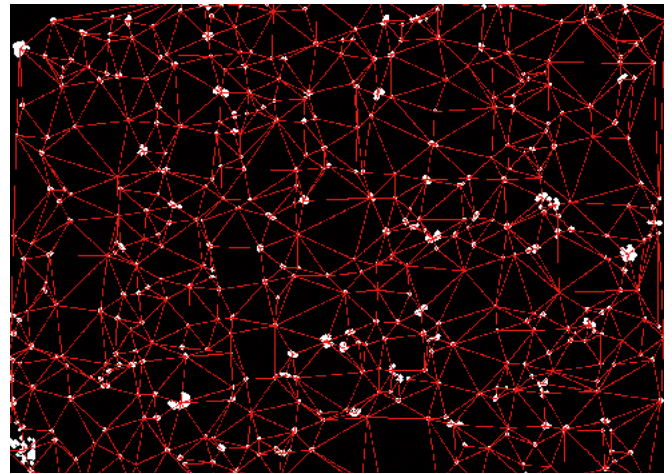


均質構造の開発に際し、均質性の評価方法についても検討しています。従来構造の図6(a)の場合は、砥粒とボンドが凝集した密な構造のところと気孔が大きくなった粗な構造のところがあるため、隣り合う砥粒の距離のばらつきが大きくなります。一方で均質構造の図6(b)は隣り合う砥粒の距離のばらつきは小さくなります。このような点に着目し、“砥粒間距離”の標準偏差および変動係数により構造の均質性を評価しました。実際にビットCBNホイールを部分的に拡大して観察したものが図7(a)であり、続いてこの写真に対して画像処理を行うと図7(b)となります。図7(b)において、白い点が砥粒を示し、隣接する砥粒を結ぶ赤線の長さが砥粒間距離となりま

図7 構造の均質性評価方法



(a) 砥石面写真



(b) 解析結果

砥粒間距離(赤線部)の分布を数値解析

す。図6(b)の均質性を改良した構造は、図6(a)従来構造と比べて砥粒間距離のばらつきが20%向上していることが確認できました(図8)²⁾。このような構造の均質性を改良する技術と高強度なVML1ボンドを組み合わせたビットCBNホイールを「メガラ이프ホイール」として製品化しました。

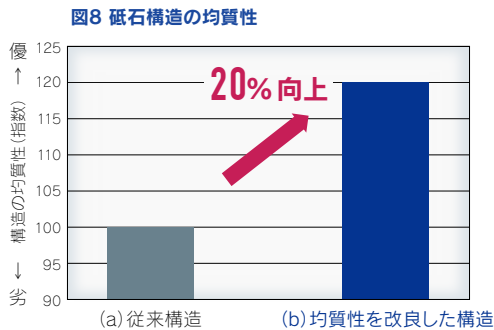
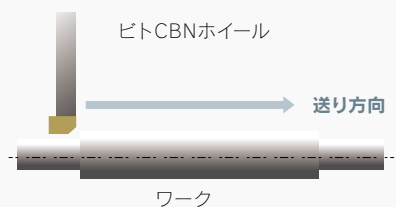


図10のようにビットCBNホイールを送ることで任意の形状に加工する方法で、加工数の増加に伴いホイールの先端から形状崩れが発生することとなり、形状維持性を要求される研削方式です。

図9 試験用ビットCBNホイール先端形状



図10 コンタリング研削 試験方法



市場における メガラ이프ホイールの採用拡大

メガラ이프ホイールはカムプロファイル研削の他にも、特に耐摩耗性・形状維持性を要求される用途のセンタレス研削、コンタリング(倣い)研削(図9、図10)、溝研削に採用が広がっています。今回は一例としてコンタリング研削の事例をご紹介します。コンタリング研削は予め形状付けされたビットCBNホイール(形状の一例として図9)を使用して、

耐摩耗性・形状維持性の確認を目的に表2の試験条件で研削試験を行いました。

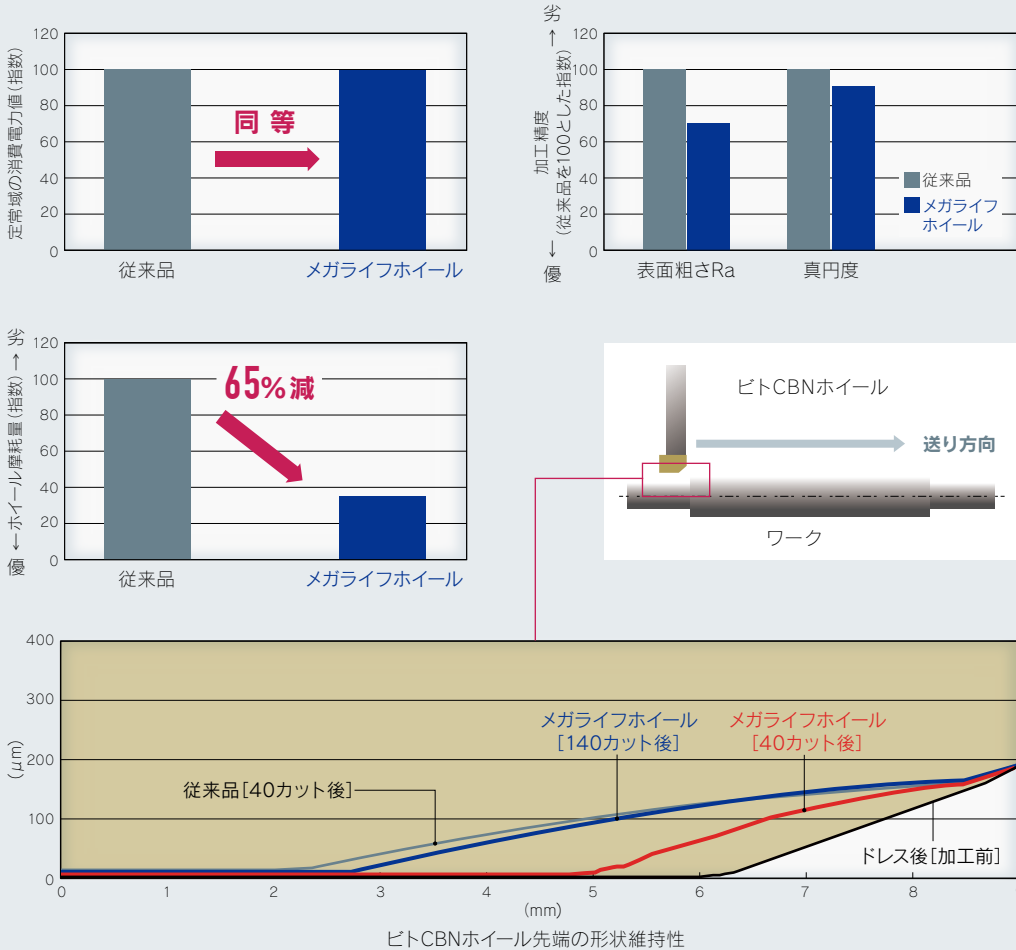
消費電力値、ホイール摩耗量、加工精度（表面粗さ、真円度）、ホイール先端形状の変化を図11に示します。加工時の消

費電力値は従来品と同等、ホイール摩耗量は65%減少すると共に、真円度や表面粗さといった加工精度も従来品同等以上の結果が得られました。この様に形状維持性が重要視される分野においてもご好評をいただいています。

表2 試験条件

研削方式	円筒研削（微い研削）
ワーク	SCM435 焼入
ホイール周速度	120m/s
送り速度	580mm/min.

図11 試験結果



今回ご紹介した用途に限らず、今後、研削工程の更なる高精度化、高品位化に加え、工程集約も更に進んでいくことが予想されます。工程集約を達成するためには、従来よりも圧倒

的に高性能な研削砥石が要求されることとなるため、今回得られた知見を基礎とし、更に高性能な研削砥石の開発を行っていきたくと考えています。

[注釈]

※研削能率：単位時間当たりに除去されるワークの体積

[文献]

- ① 吉村 晃一、2015、機械技術 Vol63、No10、70-72
- ② Kouichi Yoshimura, Akihiro Mizuno, Takeshi Mishima, Kazumasa Yoshida, Hiroshi Hoshino, 2014, Proceedings of the ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference

Q 鋳物以外で適した
ワーク材質は無いでしょうか？

A 前述の様にSCM材のコンタリング加工の他、
SUJ2材のセンタレス加工の実績がございます。
また集中度を下げれば他の材料にも適用できる
可能性があります。

Q どのような用途で使用された
実績がありますか？

A カムプロファイルやコンタリング研削など高負
荷研削で多くの実績があります。また、形状維持
性の求められる溝研削、特に長期耐久性を求め
られるセンタレス加工においても実施例があり
ます。

Q & A

ナリタケ
からの
提案

注目の製品・技術

03



[著者] 伊藤 綾真

工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
ビトリファイドグループ

優れた分散性による 「研削焼け抑制」+「長寿命」 超多気孔構造でも長寿命

加工能率と寿命を求める場合において特に効果を発揮しやすいビトリファイドCBNホイール

以前にも増して切れ味が必要となるケースが増えつつあるものの、寿命も軽視できません。

ナリタケでは、砥粒の分散性と多気孔構造の技術導入による良好な切れ味と、

ホイール寿命を両立させた“VPホイール”を開発しました。

ビトリファイドCBNホイール

VPホイール

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●	●	●		



中空セラミックフィラーを用いた ビットファイドCBNホイールの効果

生産性向上の壁となる研削焼け

図1 プランジ研削とトラバース研削を組み合わせた方式とアンギュラ研削

加工方式	模式図	長所
① プランジ研削 もしくは プランジ研削 + トラバース研削	プランジ研削 	・砥石コストが安価 ・多段研削に適しており汎用性が高い
② アンギュラ研削	アンギュラ研削 	・研削工数削減 ・サイクルタイムが短い

機械部品の研削加工においては、円筒部と端面部をそれぞれ高精度に加工する場合があります。そのような場合の研削方式としては、主に①「プランジ研削とトラバース研削を組み合わせた方式」と、②「研削砥石を傾斜させ斜め方向に切込んでワーク外周と端面部を同時に研削するアンギュラ研削方式」があります。

プランジ研削とトラバース研削を組み合わせた方式と、アンギュラ研削の研削模式図と長所を図1に示します。

アンギュラ研削はワークの円筒部と端面部を同時に加工する研削方式で、複数箇所を同時に研削できることから研削工数短縮などの生産性向上に寄与します。

今まで、アンギュラ研削では主に一般砥石が用いられてきましたが、近年ではビットファイドCBNホイール（以下ビットCBNホイール）が用いられるケースも増えてきました。ビットCBNホイールは一般砥石と比較して高能率かつ長寿命であり、トータルコストの点でビットCBNホイールを用いたアンギュラ研削は、生産性向上が見込める場合があります。

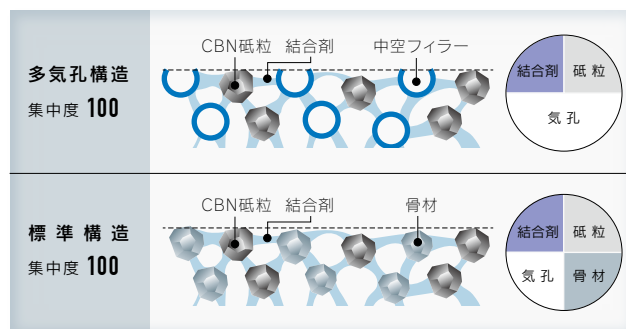
アンギュラ研削の円筒部は通常の円筒研削と同様のため、ホイール寿命が重視されます。一方で端面部は加工中に発生する熱がこもりやすいため、研削焼けの発生が懸念されます。アンギュラ研削では端面部の研削焼けを嫌って超多気孔構造

ビットCBNホイールが使用されていますが、生産性向上や工具費削減の要求レベルの向上に伴い、ホイールに対しては切れ味だけでなく寿命面もこれまで以上に重視されるようになってきました。

ノリタケのオリジナル技術

超多気孔構造ビットCBNホイールは低から中集中度のビットCBNホイールで、中空セラミックフィラー（以下中空フィラー）を用いた切れ味重視タイプのノリタケオリジナルホイールです。通常はフィラーに骨材*が用いられていますが、このホイールでは中空フィラーを骨材の代替とすることで、従来よりも良い切れ味が得られます（図2）。

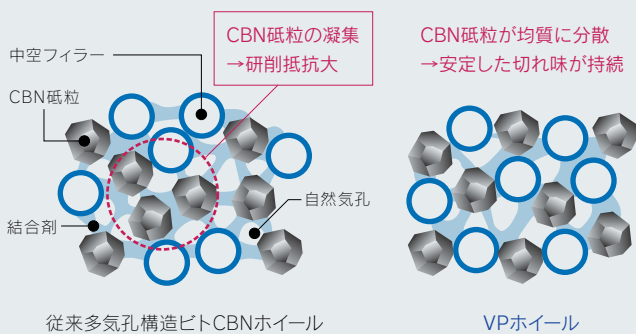
図2 ビットCBNホイール砥石構造



多気孔均質構造

研削工具は一般的に切れ味を追求すると、寿命が犠牲になることがあります。近年、アンギュラ研削などでは、従来の切れ味は変えずに寿命向上を要望する声が多くなっており、そのような要望に応える新多気孔構造ビトCBNホイール『VPホイール』を開発しました。VPホイールは、切れ味と寿命を両立させるために、中空フィラーを使用した従来技術に「CBN砥粒の分散性」を均質化する新技术を加えた製品です。これからCBN砥粒の分散性に着目して開発を進めた理由を説明します。

図3 CBN砥粒分散状態の模式図

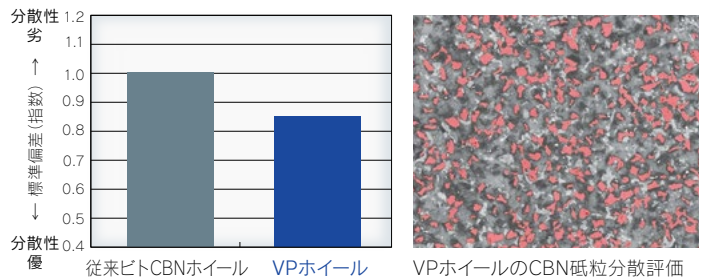


中空フィラーを使用する多気孔構造ビトCBNホイールでは、中空フィラーに押されてCBN砥粒が凝集することがあります。CBN砥粒の凝集があると、その箇所に部分的な目潰れや溶着が発生し、極端な場合は研削抵抗の上昇やCBN砥粒の脱落が懸念されます。研削焼けを嫌うアンギュラ研削ではこのような症状が出る前にドレスを掛けて頂いていましたが、ホイール寿命を伸ばすお客さまの声に応えるべく、従来よりも均質性を一層高めたホイールの開発に取り組みました。

CBNホイールの均質性を向上させCBN砥粒が凝集する部分を減らし、作用しているCBN砥粒に均一に研削抵抗が加わることで部分的な砥粒の脱落を抑制することができ、ホイールの長寿命化が実現できると考えられます。VPホイールではCBN砥粒が均質に分散する中空フィラー粒径を見極め、中空フィラー量をCBN砥粒量にあわせて適正化することで、従来ホイールよりも高い分散性を実現しました(図3)。従来ホイール、VPホイール

の分散性の評価結果を図4に示します。図中写真が測定したホイール面において赤い部分がCBN砥粒を示しており、VPホイールは従来ホイールと比較して標準偏差が低く分散性の向上が見られます。

図4 VPホイールの分散性評価結果

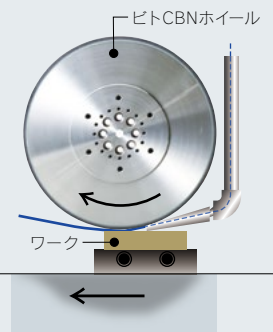


VPホイール能力評価

VPホイールの性能検証試験として研削試験を実施しました。試験条件を図5に示します。比較対象の従来ビトCBNホイールはいずれも多気孔構造で、「従来ホイール1」は耐用重視タイプ、「従来ホイール2」は切れ味重視タイプです。

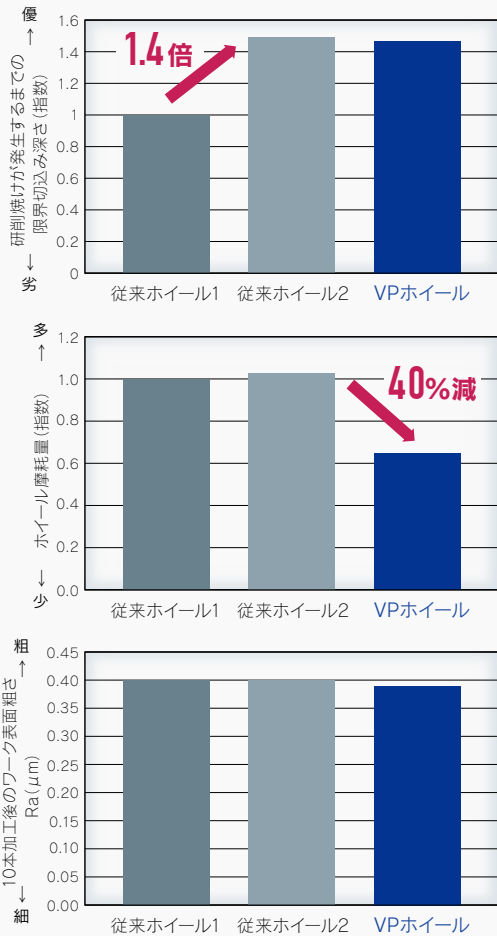
図5 試験条件

研削盤	横軸平面研削盤
ワーク材質	SKD-11
ワーク寸法	100L×10W mm
ホイール周速度	1,800m/min
研削方式	クリープフィード
テーブル速度	300mm/min
切込み量	0.2mm/pass 10cut
研削液	水溶性(SEC700 50倍希釈)



研削方式は研削焼けの発生しやすいクリープフィード研削※で、「研削焼けが発生するまでの限界切込みの深さ」「ホイール摩耗量」、「表面粗さ」を評価しました(図6)。VPホイールは、研削焼けが発生するまでの限界切込み深さは従来ホイール1の約1.4倍、従来ホイール2と同等であり、切れ味の良いことが確認されました。切れ味と寿命の両立は一般的には簡単ではなく、切れ味が良いビトCBNホイールはホイール摩耗量が多くなることによる工具コストの上昇や表面粗さが粗くなることでの加工品質および生産性の低下といった問題が懸念

図6 試験結果



されます。しかし、VPホイールは従来品1および2と比較してホイール摩耗量が約40%少なくホイール寿命が長いことが確認されました。表面粗さも従来品と同等の結果が得られており、良好な切れ味とホイールの長寿命化を両立することが可能となります。

市場での採用

VPホイールは研削焼けを嫌う用途で特に効果が確認されています。また、試験結果を紹介したクリープフィード研削はもちろんのこと、冒頭に述べたアンギュラ研削や研削液の供給が難しい加工など、切れ味が求められる用途において効果が確認されています。

[注釈]

※骨材：低集中度ピトCBNホイールに用いられるCBN砥粒の代替材料
 ※クリープフィード研削：深い切込み量と遅い送り速度で加工する研削方式

Q ホイールの寿命は犠牲になりますか？

A 優れた切れ味持続性により、寿命延長の効果が期待できます。

Q 中空ファイラーを使用すると弱い構造となりそうですが、目こぼれしやすくないですか？

A ノリタケでノウハウを蓄積しているため、状況に応じたスペック調整によって抑制できます。

Q 中空ファイラーは研削時に、悪影響を与えることはありませんか？

A 表面に存在する中空ファイラーはドレスで破壊されて気孔として働くため、研削時に悪影響を与えることはありません。

Q & A

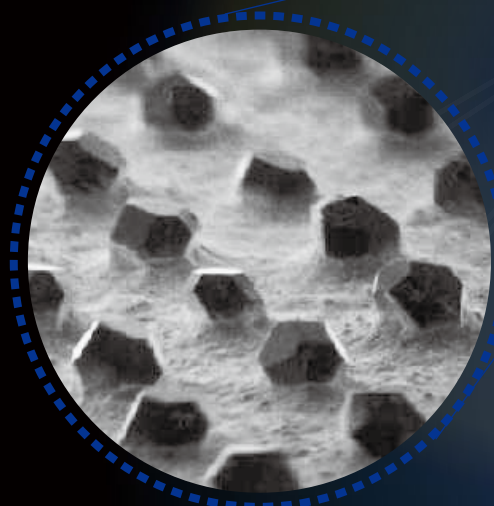
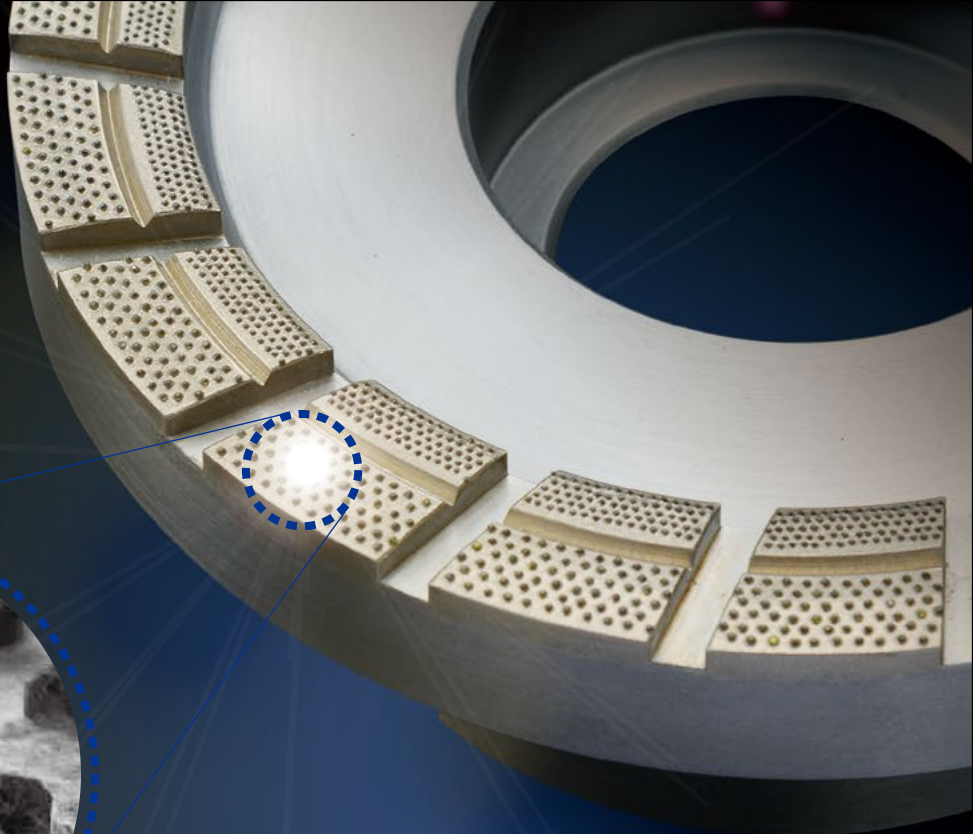
ノリタケ
からの
提案

注目の製品・技術

04



[著者] 行徳 聡人
工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
電着グループ



高い加工能率と加工表面粗さを 両立させる新型研削工具

加工能率と加工精度の両立は生産現場における難しい課題の1つです。

工具に対して一般的には切れ味と寿命や加工精度が求められますが、両立させることは容易ではありません。

ノリタケでは固定観念にとらわれない新しい発想による独自の技術を取り入れ、

切れ味と寿命や加工精度の両立を可能とする砥粒単層固着ホイール“グリットエース”を開発しました。

砥粒単層固着ホイール

グリットエース



[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
	●		●	
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
●	●	●		

砥粒の「規則配列」・「突出し量」・「配列間隔」・「先端高さ」の4つを制御

機械加工における矛盾と切削加工領域へ近づいた研削工具

市場では少量多品種生産、リードタイムの短縮、低コスト化などの目標に対して柔軟に対応出来る加工機械や工具が求められており、機械メーカーや工具メーカーからはこれまでも日々新しい技術や製品が市場へ投入されています。機械加工における一般論として、加工能率において優位性の高い切削加工は粗工程で、加工精度という点で優位性の高い研削加工は仕上げ工程で多く用いられてきました。

研削・研磨総合メーカーのノリタケに対しては、粗工程の切削加工を研削加工へ置き換えるための工具の問い合わせを多くのお客様から過去よりいただいていた。

このようなご要求に対しノリタケはこれまで製品の仕様改良でアプローチしてきました。しかしながら、その壁は想像以上に高く、これまでにはない新しい発想による開発が必要であるとの結論に至り、ノリタケの技術力を結集した新しいタイプの研削工具「グリットエース」を開発しました。

グリットエースは、図1に示すような切削加工の加工能率と研削加工の表面粗さを両立させる位置付けの研削工具であり、特許技術16件を適用したまさにノリタケのオリジナル工具です。

グリットエースの実力

アルミ合金ワークに対して、切削工具のPCDフライスを対照にグリットエースの性能を比較しました。試験条件を表1に、グリットエースの外観を図2に示します。なお、PCDフライスは有効径100mm、刃数6枚のものを用いました。

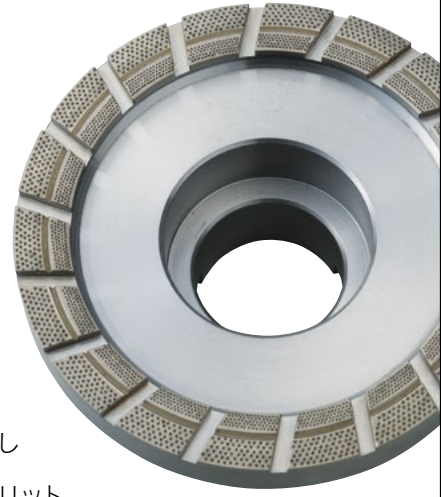


図2 グリットエース

表1 試験条件

グリットエーススペック	SD40
ホイール寸法	φ100×30T×31.75H
ホイール周速度	21m/s
送り速度	800mm/min
切込み量	3mm/pass

ホイール主軸負荷率を図3に、加工後の表面粗さを図4に示します。グリットエースはPCDフライスとホイール主軸負荷は同等でありながら表面粗さは数値として17分の1程度であり、グリットエースはPCDフライスに対して良好な表面粗さが得られています。

図1 グリットエースの位置付け

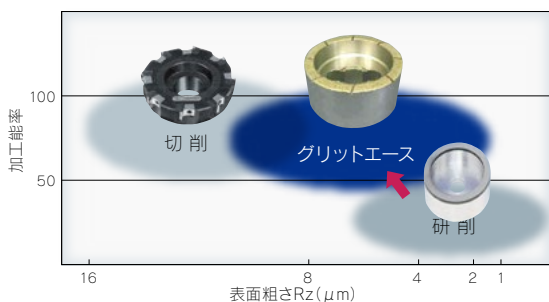


図3 ホイール主軸負荷率

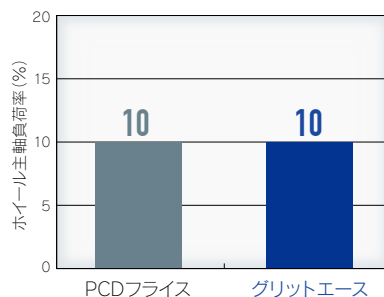
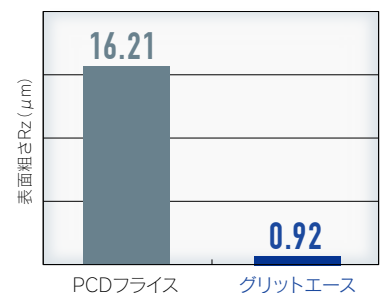


図4 表面粗さ

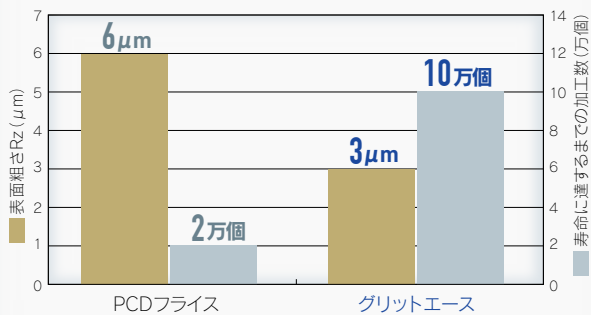


その他にも使用事例としてエンジンシリンダーブロック上面加工があります。従来この加工においてPCDフライスを用いた場合、刃先の損傷によって加工表面粗さが粗く、不良品が発生することがありました。グリットエースはPCDフライスとほぼ同等の加工能率で使用できるため、良好な表面粗さが得られれば、不良品の低減に対して大きな効果が期待できます。そこで表面粗さと工具寿命の検証試験を行いました。その時の試験条件を表2に、結果を図5に示します。

表2 試験条件

従来工具	PCDフライス
グリットエーススペック	SD40
ホイール寸法	φ200×50T×47.625H mm
使用機械	縦軸マシニングセンタ
ワーク	シリンダーブロック(アルミ合金)
ワーク加工部位	シリンダーブロック上面
ホイール周速度	58 m/s
取り代	0.5 mm/pass

図5 表面粗さと工具寿命



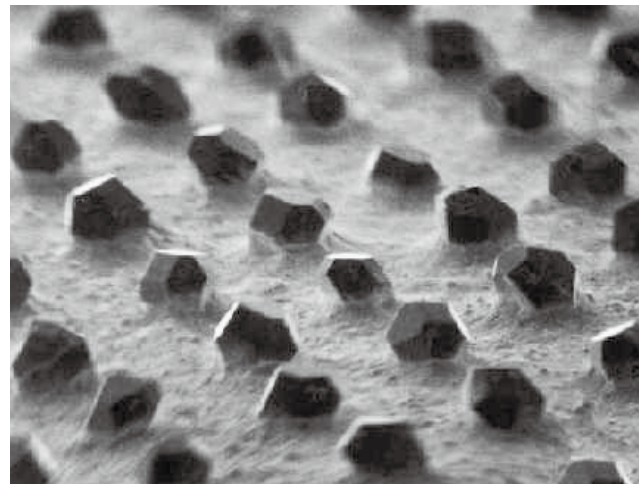
試験結果において、グリットエースは表面粗さがPCDフライスよりも細かい結果が得られ、当初課題であった不良率を下げることはできました。また、工具が寿命に達するまでの加工数もグリットエースの方が多く結果が得られ、工具の交換頻度を減らすこともできています。従来PCDフライスによる切削工程とその後に研削工程がありましたが、切削工程を省略でき、工具寿命も延長できることから大幅な生産性向上と作業工数の低減が可能になりました。では、グリットエースとは一体どのような研削工具なのか、その秘密についてご紹介します。

秘密
01

高い加工能率での加工を可能とする
〔砥粒の規則配列〕

高い加工能率を実現させた秘密の1つは砥粒が規則配列していることです。グリットエースの基本的な構造としては、研削加工において切れ刃の役割をする砥粒を台金[※]上に規則配列させています。図6はグリットエースの表面を拡大した状態を示しており、砥粒が規則配列していることが良くわかります。

図6 砥粒規則配列



ノリタケでは砥粒を均質に分散させた構造の研削砥石の開発を進めていますが、一般的に研削砥石では砥粒を規則的に配列させることは製造技術的に非常に難しいとされています。しかしながら、加工能率および加工後の表面品位を向上させるには、砥粒の均質分散および規則配列は重要な要素の一つであり、研削加工の壁を打ち破り切削領域へ近づけるためには、砥粒をいかに規則的に配列させるかがポイントとなります。

ではなぜ、従来の研削砥石では加工能率を切削加工に近づけることが難しかったのでしょうか。その要因として加工時に排出される切り屑と砥石の構造が挙げられます。一般的に高い加工能率で加工すると、加工点から排出される切り屑は大きくなります。切削加工を経験されている方は良くご存

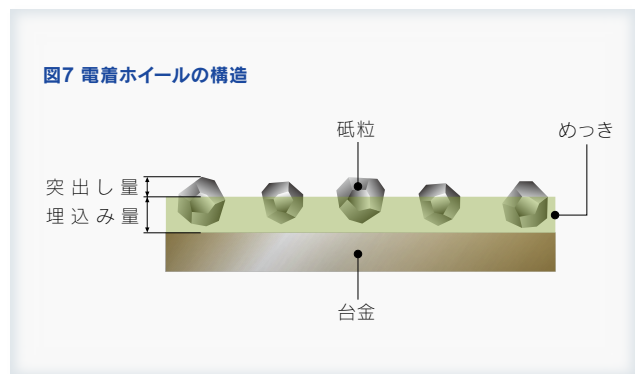
じだと思いますが、工具の切込み量を上げたり工具もしくはワークの送り速度を早くしたりすると切り屑は大きくなります。

この現象は研削砥石においてもほぼ同様の傾向です。研削砥石は無数の砥粒によって構成されていますが、砥粒同士の間隔が不均一で狭い箇所があると、その部分に対して溶着[※]や目詰まり[※]といった現象が生じやすくなり、結果として研削砥石の切れ味が低下し、加工能率に限界が生じます。

グリットエースはこの点に着目して開発を進め、砥粒の規則配列を実現させたのです。さらに、加工点において発生する研削熱は、砥粒の規則配列により大気中へ放熱されやすくなり、研削焼けや残留応力といったワーク品質への悪影響も軽減できます。

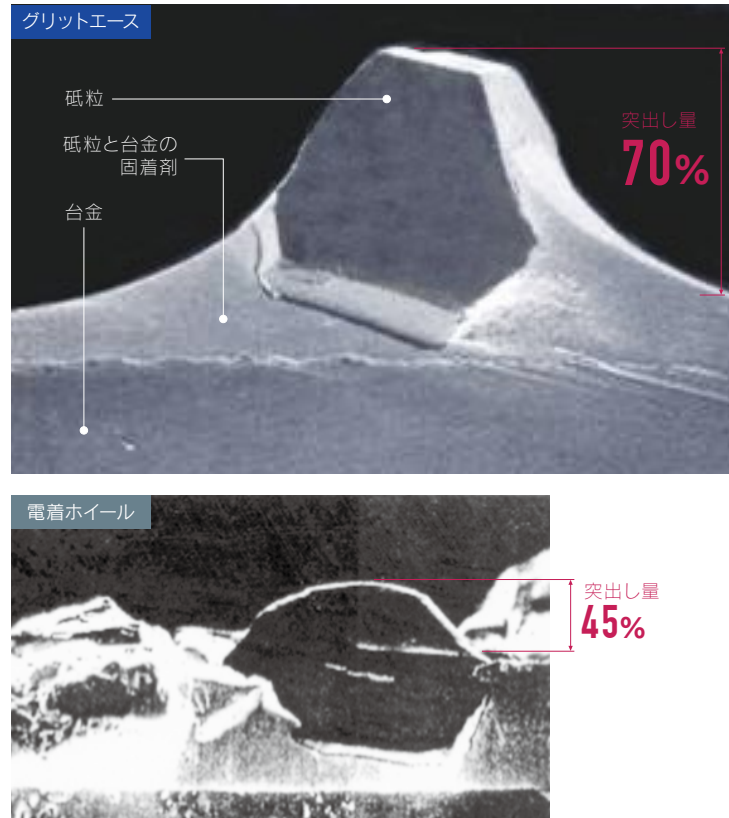
秘密 02 高い加工能率での加工を可能とする
[砥粒の突出し量]

高い加工能率を実現させたもう一つの秘密は砥粒の突出し量が高いことにあります。従来、加工能率を重視する場合には主に電着ホイールが使用されてきました。電着ホイールは図7に示す構造をしており、砥粒が台金と呼ばれる金属にめっきで固着されます。



電着ホイールの切れ味は砥粒がめっきから高く突出しているほど良い傾向にあります。砥粒の突出し量が大きいと砥粒がワークに食い込みやすく、切り屑の排出性もよくなるため、高い加工能率が得られます。図8はグリットエースと電着ホイールの砥粒の突出し量を比較したのですが、グリットエー

図8 砥粒の突出し量と保持状態



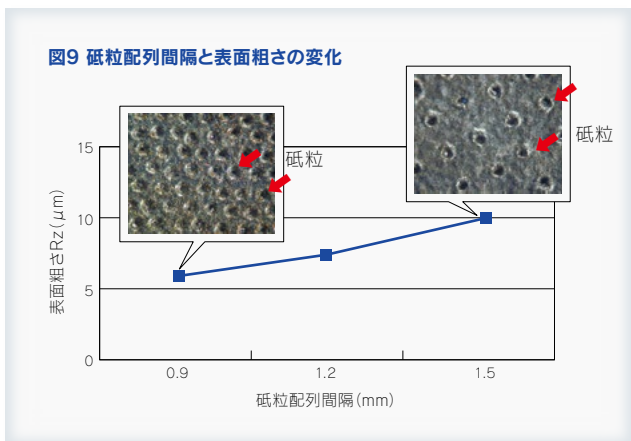
スは70%程度あり電着ホイールよりも砥粒の突出し量が大きくなっています。

しかしながら突出し量を大きくしすぎるとデメリットも発生します。それは砥粒を保持する力も弱くなるため砥粒が脱落し、結果として工具寿命の低下を招いてしまうことです。グリットエースは、従来とは異なる強固な固着方法によって高い保持力を有し、高能率加工でも砥粒の脱落を抑えることができます。

秘密 03 良好な表面粗さを可能とする
[砥粒の配列間隔]

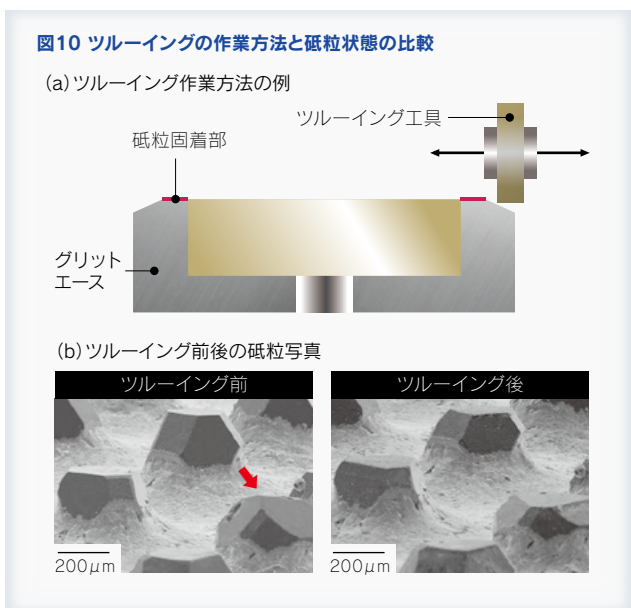
通常、切れ味の良い研削工具は加工面の表面粗さが粗い傾向にあります。サイクルタイムが許容される範囲内という前提では、ワークの送り速度や切込み速度を下げるなど加工条件を変更することで、また、研削工具においては砥粒の粒度

を細かくすることで表面粗さは細かくなります。さらにグリットエースにおいては、砥粒の配列間隔を任意に変更できる技術を取り入れたことで、目標とする表面粗さへより柔軟に対応することができます(図9)。ただし、極端に表面粗さを追求してしまうと切れ味の低下つまり加工能率を犠牲にしてしまうため、そのバランスをとることも重要です。



秘密
04 良好な表面粗さを可能とする
[砥粒の先端高さ]

高精度な仕上げ面を研削初期から安定して得るためにもう一つ重要な要素として、砥粒先端の高さがあります。先端の高さが不揃いであると、ワークへの切込み深さや負荷が不均



一になるためです。グリットエースは、図10(a)に示すような砥粒先端を揃えるツルーイング※という作業を施しており、ツルーイング前後の砥粒写真を図10(b)に示します。

ツルーイング前には、矢印で示すひときわ高さの高い砥粒が存在しています。これにツルーイングを行うことで、砥粒先端に欠けを発生させることなく、砥粒先端を揃えることができています。ただし、ツルーイングも過剰に行うと切れ味の低下、つまり加工能率を犠牲にしてしまうためそのバランスをとることも重要です。

広がりを見せる市場での採用

グリットエースは高能率な切削加工によって加工されている非鉄系材料分野に対して、高精度、高品位で加工する用途で広がりをみせています。例えば次のようなものがあります。

- ・アルミ材のエンジンブロック
- ・複合材のブレーキパッド
- ・鋳鉄のコンプレッサー部品
- ・プラスチックのレンズ

前述の用途以外にも、グリットエースは、切削加工の加工能率を落とすことなく、ワークの表面粗さや表面品位を向上させたい用途に有効であると考えられます。これからも、グリットエースが、お客様の生産性向上のご要望に寄与できることを願っています。

[注釈]

※台金：砥粒および砥粒層を固着させる金属

※溶着：ワークが研削熱などの温度上昇によって溶けて、砥粒や研削砥石の表面に付着した状態

※目詰まり：切り屑が砥石の気孔に詰まっている状態

※ツルーイング：研削砥石の形状修正作業

[文献]

- ① 峠直樹・野々下哲也・井上靖章：フライス工具、公開特許公報、特開2002-263937、特許公報、特許3485544
- ② 井上靖章・峠直樹：ダイヤモンド単層固着ホイールによる精密研削加工、日本機械学会九州支部地方講演会講演論文集、(2001)7

Q 台金の再利用は可能でしょうか？

A 申し訳ございません、できません。

Q 複雑な形状(総型)は製造できますか？

A 対応できない場合がありますので、詳細は担当営業員にお問合せ下さい。

Q 研削が難しい軟らかい材料の加工に適しますか？

A 砥粒の突出しが大きく切り屑の排出性が良いため研削が困難なアルミ、樹脂、ゴム等の軟らかい材料の加工に適しています。

Q & A



〔著者〕 大山 紘史
工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
ピトリファイドグループ

研削焼け

ドレッサ寿命

ドレスインターバル向上

タフ

従来の一般A系砥石よりも 良い砥石を使いたいが できるだけコストを抑えたい



こんな悩みにはこの製品



一般A系砥粒最大の タフさを有する TA砥粒を用いた強み ライフキング



TA砥粒と砥粒の保持力に優れる専用ボンドを組み合わせることで、砥石の長寿命化を実現しながら、一般的な高寿命砥石で懸念されるドレス性にも優れる特長を兼ね備えた“ライフキング”を開発しました。

一般砥粒とセラミック砥粒 それぞれの悩み

アルミナを主成分とするA系砥粒*を用いた研削砥石は、一般に鉄系材料を研削するために使用されます。昨今、金属材料の進化とともに難削材が増え、さらに加工能率や仕上面品質の高度化が進んだことから、研削砥石は、より高性能な砥粒を用いたものが求められています。

現在、A系砥粒の中で最も高性能とされているものはセラミック砥粒（セラミック砥粒の詳細はP.37を参照）です。セラミック砥粒を使用した研削砥石は、他のA系砥粒を使用したときと比べて、大幅な切れ味向上ができ、かつ砥石摩耗量も少なく非常に優れています。しかしながら、セラミック砥粒では、お客様のコストメリットを出せないような場合には、WA砥粒やSH等の単結晶砥粒のような一般A系砥粒をご使用頂くこともあります。しかし、高研

削能率下は、従来の一般A系砥粒にとって過酷な状態であり、切れ味が維持しにくいので、研削焼けや面品位の悪化が起こり、ドレスが頻繁になります。よって、高研削能率下では、一般A系砥粒を使用した研削砥石においても切れ味が長く維持できる、よりタフな砥粒を用いた研削砥石が必要となります。

市場対応型研削砥石 ライフキングの誕生

ノリタケは一般A系砥粒の中で最もタフな「TA砥粒」と砥粒の保持力に優れる専用新ビトリファイドボンド（結合剤）「VLK1」を組み合わせた研削砥石「ライフキング」の製品化に成功しました。ライフキングは、従来の単結晶砥粒を用いた研削砥石に比べて切れ味の持続性が良く、研削性能に優れた研削砥石です。

TA砥粒のタフネスを図1に示します。タフネスとは砥粒のタフ*さを表しており、数値が大きいほどタフで耐摩耗性に優れる特性を意味します。ノリタケで使用している代表的なWA砥粒や単結晶砥粒SHと比較すると、TA砥粒はタフネス値が大きく上回り、耐摩耗性に優れた砥粒であることがわかります。

続いてライフキングによってもたらされる期待効果を解説します。

ドレス間隔の延長

ドレス間隔延長の有効性を検証した試験条件を表1に、結果を図2、3に示します。図2は一般A系砥粒として代表的な、WA砥粒、SH砥粒を使用したV35砥石と、ライフキング(TA-VLK1)の研削性能位置を示しています。

表1 試験条件

研削砥石	
寸法	φ405×t25×φ127mm
スペック	TA-VLK1 ライフキング
	WA-V35
	SH-V35

ドレス条件

ドレスサ	0.8LLドレスサ
ドレスリード*	0.6mm/r.o.w
切込み量	φ20μm/pass×5pass

研削条件

機械	円筒研削盤
研削方式	円筒研削(プランジ)
ワーク	SCM435 φ50×T10mm(焼入 HRC48)
砥石周速度	60m/s
ワーク周速度	0.15m/s
研削能率*	2mm ³ /mm ³ ・s
スパークアウト	10回転
研削液	水溶性:SEC-700(×50)

図1 砥粒のタフネス値

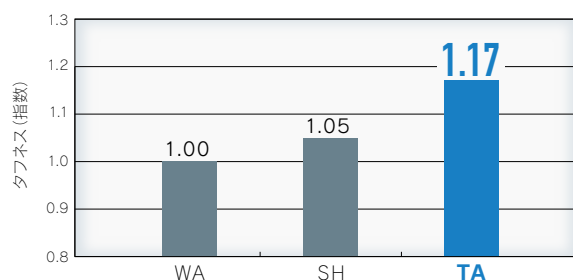


図2 砥石の研削性能位置

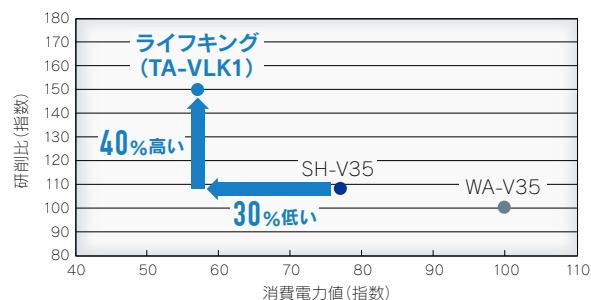
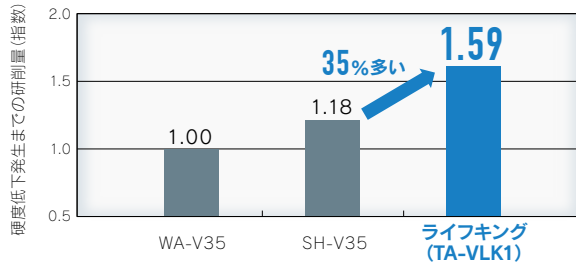
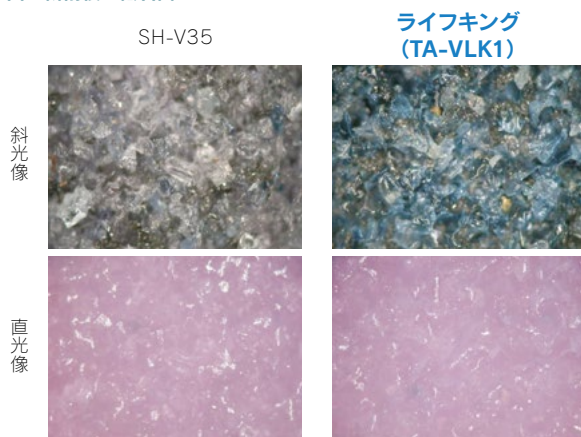


図3 硬度低下発生までの研削量



ライフキングは、SH-V35よりも消費電力値が30%低く、かつ研削比*が40%高く、研削性能に優れドレス間隔の延長が期待できます。研削後の砥石面を顕微鏡で観察した状態を図4に示します。上が斜光像で、下が直光像であり、直光像で白く光っている部分が砥粒の摩滅面です。一般的に砥粒のすり減りが生じると摩滅部分が多くなります。つまりドレス直後鋭利な状態であった砥粒切れ刃が劣化していることを意味しています。SH-V35とライフキングを比べると、ライフキングは白い部分の面積が少なく、摩滅が少ないことが観察されます。このことにより、ライフキングは砥粒切れ刃の維持ができており、切れ味と耐摩耗性に優れることが分かります。

図4 研削後の砥石面



研削焼けの抑制

図3はワークの硬度低下が発生するまでの研削量を示しています。研削量が多いほど、研削熱によるワークの影響が抑制されていることを示しています。ライフキングは切れ刃の維持性が高いため摩滅にしにくいことから

SH-V35よりも35%研削量が多く、研削焼けが抑制されている傾向にあります。

従来の一般A系砥粒と同等のドレス性

ドレス性に関して検証を行った結果を図5に示します。また、その時のドレス試験条件を表2に示し、図6に示すような測定方法でドレッサの摩耗量を比較しました。一般に、タフな砥粒ほどドレス時の消費電力値が増大し、ドレッサ摩耗量が多くなる傾向にあります。図5は一般A系砥粒を用いた砥石のドレス性試験の結果で、ドレス比*と消費電力値をプロットしたものです。ライフキングは一般A系砥粒と同等な消費電力値とドレス比でありドレス性が良好といえます。

図5 ドレス試験結果(ドレス切込み回数200pass後)

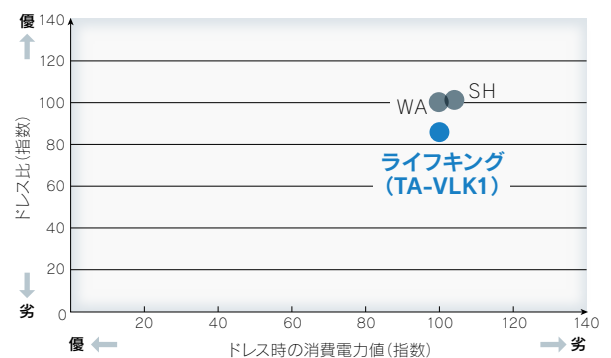


図6 ドレッサの摩耗量測定方法

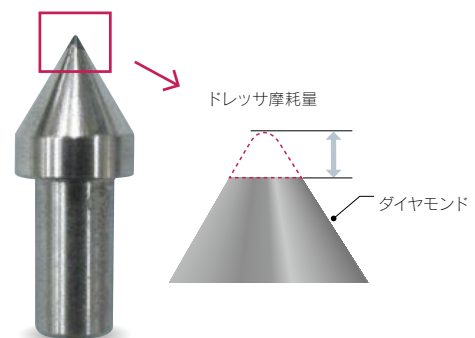


表2 ドレス試験条件

研削盤	円筒研削盤
砥石周速度	45m/s
ドレッサ	円錐ポイントドレッサ 1.0T先端 0.1R 60°
ドレスリード	0.1mm/r.o.w
切込み量	φ20μm/pass
総切込み回数	200pass
研削液	水溶性:SEC-700(×50)

コスト削減や加工時間削減など、良好な実績があります。また、これら以外にも、歯車研削やリニアガイドレールなど、用途を選ばず様々なところで使用されています。本稿をご覧になり、ライフキングをご検討いただく方々の、ご参考になれば幸いです。

ライフキングの使用事例

これまで記してきた通り、従来の一般A系砥粒を使用した研削砥石よりも優位性のあるライフキングは、多くのお客様にご使用いただいております。自動車、ベアリング、工具、耐熱鋼といったところでドレス間隔の向上による

[注釈]

- ※A系砥粒：アルミナ質の砥粒。アラウンドム(Alundum)のAからA系と呼ばれる。
- ※タフ：砥粒が破碎し難いこと
- ※研削比：ワーク削除量÷砥石摩耗量
- ※ドレスリード：ドレス時において、砥石1回転あたりのドレッサの送り量
- ※研削能率：単位時間あたりに除去されるワークの断面積
- ※ドレス比：砥石削除量÷ドレッサ摩耗量

Q ドレス間隔は具体的にどれくらい延びますか？

A 加工条件やワーク材質によっても異なりますが、一般砥粒と比較して1.3~2倍くらいに延びると想定しています。

Q 普通の砥石と同じ条件でドレスができますか？

A 一般的なA系砥石に近い条件でドレスを行うことができます。

Q & A

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●	●	●	●	



〔著者〕小野田 憲
工業機材事業本部 商品開発部
レジノイドグループ

切れ味持続性

大型部品

レジノイド砥石

高硬度材質

低電力

切れ味不足によるドレス(目立て)作業を減らして 生産性を向上させたい

焼け

削りにくい高硬度材、大型ワークの 加工能率を向上させたい

研削方式

生産性

一般砥粒



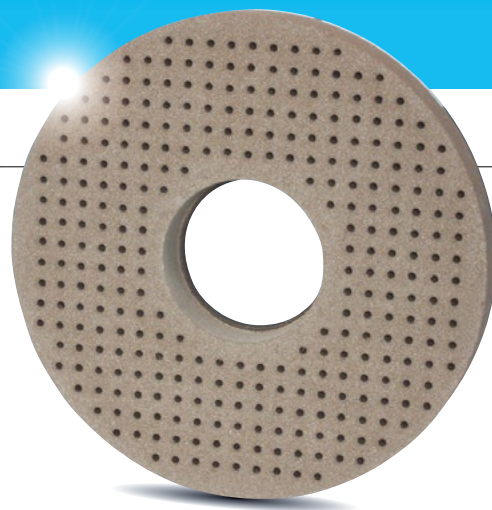
ドレス頻度

平面研削用砥石

こんな悩みにはこの製品



優れた切れ味によって 生産性向上へ導く 両頭平面研削用砥石 フラツディ



生産性向上のご要望や高硬度・大型ワークでの切れ味不足に対応するため、特殊なボンド(結合剤)を開発しノリタケにおける両頭平面研削用砥石の中で最も優れた切れ味持続性を備える“フラツディ”が誕生しました。

両頭平面研削の研削焼けや 寸法精度の悪化による生産性低下の悩み

両頭平面研削は、対向する2枚の研削砥石でワークなどを挟み込みながら研削し、高い精度でワークの厚み寸法、平面度を得るために使用される加工方式です(図1左側)。一般的な円筒研削(図1右側)と異なり、研削砥石とワークの接触面積が広いいため、研削熱(加工により発生する熱)が発生しやすい研削方式になります。研削熱が過

図1 研削方式の比較

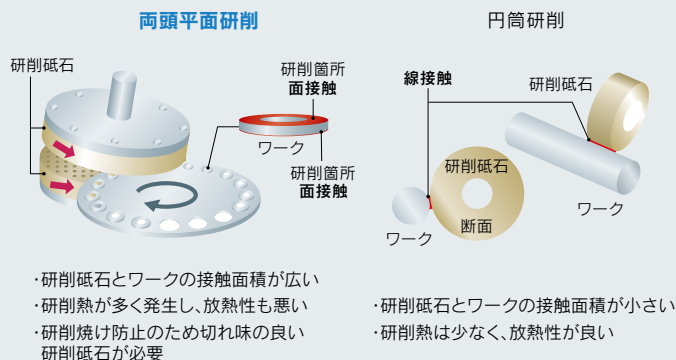


図2 研削焼け



剥に発生するとワーク表層部に研削焼け(図2)が生じ、品質低下に繋がります。また、砥粒が摩耗しやすい研削方式でもあるため、切れ味低下によるワーク精度悪化も起こりやすいです。

研削焼けやワーク精度不良が発生する場合、研削砥石の切れ味を回復させるためドレス(目立て)作業を行います。このドレス作業の頻度が増加するほど生産性の低下が起こります。

これらの問題に加えて、近年のワーク材質高硬化化(特殊熱処理品の増加)の流れ、大型部品の増加、更なる生産性向上のご要望などもあり、これまでよりも切れ味持続性の良い研削砥石が求められています。

お客様からの“もっと切れ味持続性の良い砥石を!”という声に応えるべく、“フラツディ”を開発しました。

フラツディの特長と性能

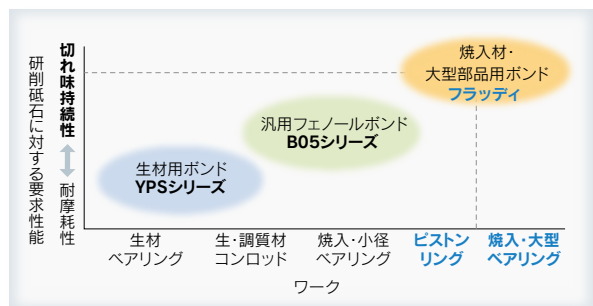
■優れた切れ味持続性

A: フラツディの性能位置付け

フラツディは熱処理品の高硬度大型部品(ベアリング等)や、加工中の研削抵抗の増加により変形しやすい薄肉部品(ピストンリング等)の加工用に開発しました。

前述の加工用途に最も適した特殊樹脂、気孔材を組み

図3 ノリタケ両頭平面研削用砥石の性能位置づけ

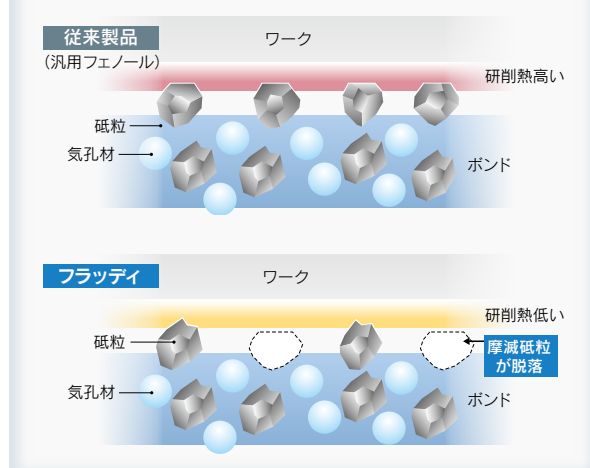


合わせたポンド(結合剤)であり、従来のノリタケの両頭平面研削用砥石の中で最も切れ味持続性に優れた製品です(図3)。

B: 鋭利な砥粒を選択的に維持

両頭平面研削用砥石は砥粒先端部が摩滅摩耗し易く(図4上)、この状態で加工を続けると部品表層の研削焼けや削り残しなどの不良が発生します。フラツディは特殊ポンドを採用したことで、従来汎用フェノール砥石(以下従来製品と表現します)に比べると鋭利な砥粒を選択的に残り、摩滅摩耗した砥粒を脱落させやすい特徴を持ちます(図4下)。鋭利な砥粒のみで加工を行うため、研削焼け、平面度不良、外観不良(光沢)など不良の改善が期待できます。

図4 砥粒状態(イメージ)



C: 研削抵抗の減少と焼け発生率の改善

フラツディの消費電力値(研削抵抗)、研削焼け発生本数を評価したところ、1400本のワークを連続加工した後も研削焼けは全く発生せず、消費電力値は従来製品の約50%と大幅に減少させることができました(図5、表1)。

図5 試験結果1

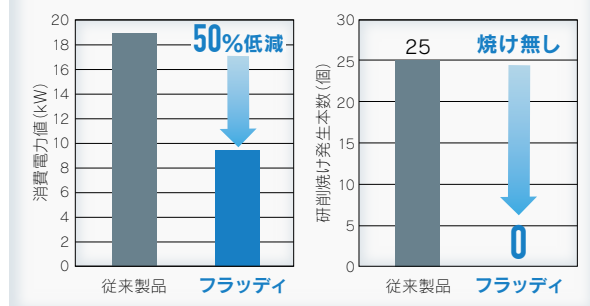
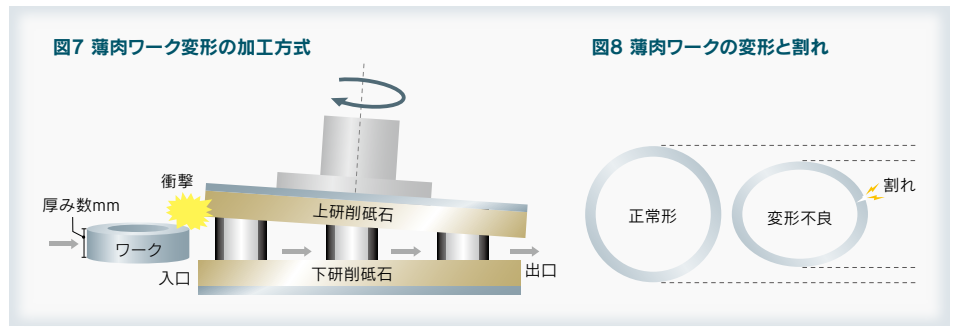


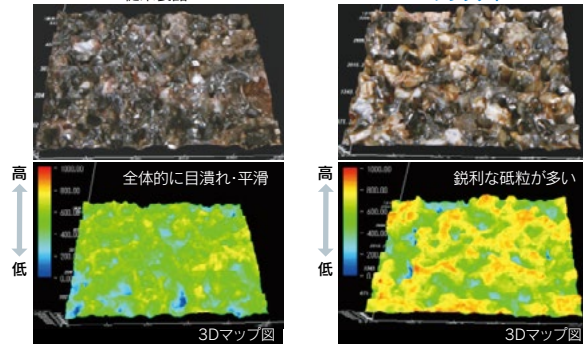
表1 試験条件1

研削盤	両頭平面研削盤
研削方式	立軸キャリア方式
砥石寸法	φ585×t65×φ195mm
ワーク	リング径φ50mm SUJ2焼入材
取り代	0.2mm(両面)



連続加工後の砥石面状態において、フラツディは従来製品に対して砥粒突出しが高く、鋭利な砥粒が多く存在していることも確認できます(図6)。これまでの様な切れ味不足による生産性低下に悩むことなく、良好な切れ味を維持することができます。

図6 連続加工後の砥石面状態

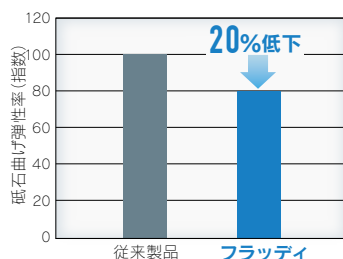


D: ドレス頻度減少による生産性向上と工具費用削減

フラツディは切れ味持続性に優れるため、従来製品と比べてドレス(目立て)頻度を低減させることができます。ドレス頻度減少により、下記項目の様な生産性の向上、工具コストの削減が期待できます。

- ・ドレス作業に使っていた時間が削減でき、生産性が向上
- ・ドレスによる砥石削除量が減少し、砥石寿命が向上 = 工具費用の削減

図9 砥石曲げ弾性率



- ・砥石交換頻度の減少による生産性向上
- ・ドレッサ摩耗量の減少による工具費用の削減

図衝撃を吸収することによりワークの変形を防止

両頭平面研削では厚さ数mmの薄肉ベアリングやピストンリングの端面を加工する場合があります(図7)。この様な薄肉ワークは加工中の切れ味低下による研削抵抗の増加や、最外周部における研削砥石との衝撃によりワークの変形不良(折れ、曲がり、割れ)が発生します(図8)。

フラツディは切れ味持続性が良いため、加工中の研削抵抗の増加による部品の変形不良が発生しにくい傾向にあります。更に従来製品に比べて砥石曲げ弾性率が約20%低く(図9)、柔軟でソフトである特徴によって研削砥石最外周側におけるワークとの衝撃を緩和し、ワークの変形不良を軽減することができます。

表2の試験条件2でピストンリングを模擬した薄肉リング状ワークを評価したところ、ワーク1000本の連続加工において、従来製品では発生していたワーク折れ変形不良がなくなる結果(図10)が得られました。実際のピストンリング生産においても変形不良率の大幅な低下、作業性の改善が期待できます。

図10 試験結果2

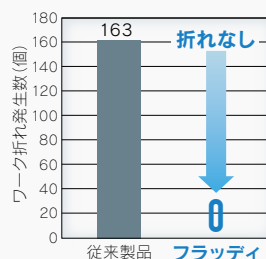


表2 試験条件2

研削盤	両頭平面研削盤
研削方式	立軸キャリア方式
砥石寸法	φ585×t65×φ195mm
ワーク	リングFC材 φ100mm×t1mm
取り代	0.1mm

表3 フラツディ良好事例

ワーク(材質)	研削方式	研削性能と効果
ピストンリング (FC・FCD材)	センタースルー方式	・ワーク変形、研削焼け発生率が約50%減少 ・ドレス頻度が半減し、砥石寿命1.7倍向上
ベアリング (SUJ2焼入) φ70~200mm	センタースルー方式	・研削焼け、幅不同発生率が約50%減少 ・ドレス頻度が半減し、砥石寿命1.5倍向上
	キャリア方式	・上下面の取り代バランスの改善、幅不同が半減 ・ドレス頻度が半減し、砥石寿命2倍向上
	インフィード方式	・研削異音の解消 ・ワーク送り速度2倍でも研削焼けなく加工可能
コンロッド (生材・調質材)	インフィード方式	・消費電力値が約30%減少、幅不同が約30%改善 ・ドレス頻度が約25%減少

表4 フラツディの性能が発揮されやすい条件

項目	内容
ワーク寸法	φ100mm付近の大径ワーク、 テーパベアリング大端側
ワーク材質	ベアリング熱処理品など硬度が硬く、 砥粒が目潰れし易い材質
研削方式	砥石アライメントが平行なインフィード方式
	大径ワークの加工が多く、 ワーク滞留が起こり易いセンタースルー方式
加工不具合	研削焼け、幅不同、薄肉部品の変形、 光沢(表面粗さ細め)、加工中の消費電力値が高い

良好事例と効果的な加工条件

フラツディの市場良好事例としては表3の様に、ピストンリングにおいて変形不具合減少、テーパベアリングにおいて切れ味向上による研削焼け減少、加工精度の安定化など多数得られています。フラツディは性能が発揮されやすい使用条件の一例として表4のような場合が考えられ、お客様の生産性向上や工具費用削減に貢献できることを願っています。

Q セラミック砥粒でも製造は可能でしょうか？

A 製造可能です。

Q 加工工数の削減にはつながりますか？

A 従来のパス回数を削減できる可能性がありますので、工数削減に寄与できると考えています。

Q 向かないワークはありますか？

A 極端にサイズの小さいワーク(φ5mm程度以下)はワークで研削砥石の摩耗が多くなり、効果が出難いと考えています。

Q & A

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●	●			
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
●	●	●	●	



〔著者〕川本 英人
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

セラミック砥粒

原単価低減

微結晶

**生産が忙しく
加工能率を上げたい**

**生産性は維持したまま
工具費用を
抑えたい**

**ワークの外観品位を向上させ
不良の削減
品質を向上させたい**



高エネルギー
高寿命

こんな悩みにはこの製品



高品質な鋼板の 製造工程に欠かせない ロール研削砥石

高性能ロール研削用セラミック砥粒レジノイド砥石

CXEシリーズ



圧延ロール研削砥石における高能率化や高寿命化などのご要望へ柔軟に対応するために、ノリタケでは新セラミック砥粒を採用し、最適な砥粒配合とボンドの選択が可能なレジロール砥石CXEシリーズを開発しました。

要求を解決する難しさ

鉄の生産工程には、高温のスラブとよばれる鋼片を帯状の鋼板に薄くひきのばす熱間圧延と呼ばれる工程があります(図1)。この工程はロールを用いて実施しており、圧延を繰り返して続けると、ロールが摩耗していくため、途中でロール形状の修正が必要となります。その際用いられるのが、ロール研削砥石です(図2)。ロー

ール研削砥石に求められる市場からの要求は様々であり、市場の動向によっても都度変化していきます。

図1 熱間圧延工程イメージ図

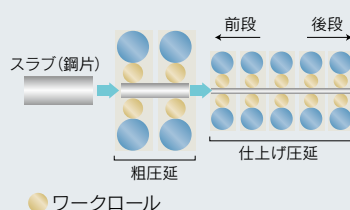
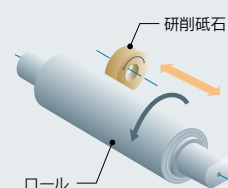


図2 ロール研削状況

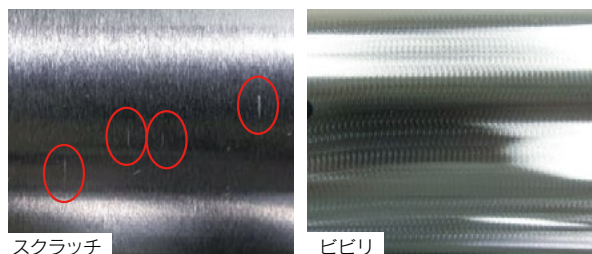


ご要求の一例として以下の事柄が挙げられます。

- ①生産性は維持したまま、工具費用を抑えたい
→ **コスト削減**
- ②生産量が増えたため加工能率をアップさせたい
→ **生産性向上**
- ③ワーク外観品位を向上し不良率を低下させたい
→ **加工品質向上**

この分野におけるワーク外観品位とは単に表面粗さを示しているのではなく、スクラッチやびびりといった項目が挙げられます(図3)。

図3 ロール面不具合例



しかしながら、これら全てを満たすことは想像以上に難しいのが現実です。

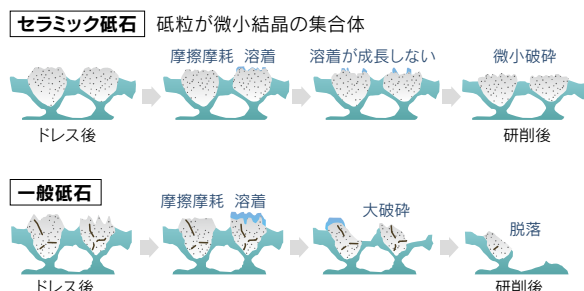
そのためノリタケでは、お客様のご要求に対応できるよう、バリエーションを備えたCXEシリーズを開発しました。

セラミックCXE砥石の秘密

■セラミック砥石とは?

セラミック砥石とは、図4下に示すような一般砥石と違い、微小破砕することで自生発刃を起こすセラミック砥粒を用いた研削砥石のことであり、一般砥石に比べて高能率、高寿命化が可能になります。

図4 セラミック砥粒の研削メカニズム



■CXE砥石の特長

CXE砥粒は従来のセラミック砥粒と比較して、結晶がより微小で均一な構造をしており、従来セラミック砥粒よりも細かく破砕するため、切れ味持続性に優れる砥粒です(図5)。また、緻密で硬度も高いため、砥石寿命向上の効果も期待できます(図6)。

この砥粒と専用ボンド38XXシリーズ(図7)を組み合わせることで、砥粒の性能を最大限に引き出し、研削比向上、研削能率向上が期待できる研削砥石がCXE砥石です。

図5 砥粒イメージ図

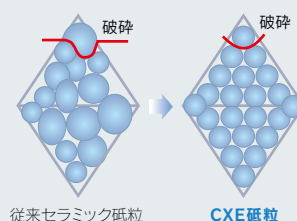


図6 砥粒硬度比較

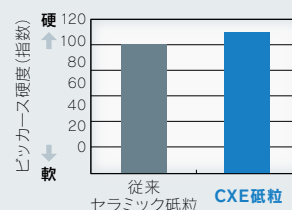


図7 CXE砥石 38XXボンドの特長



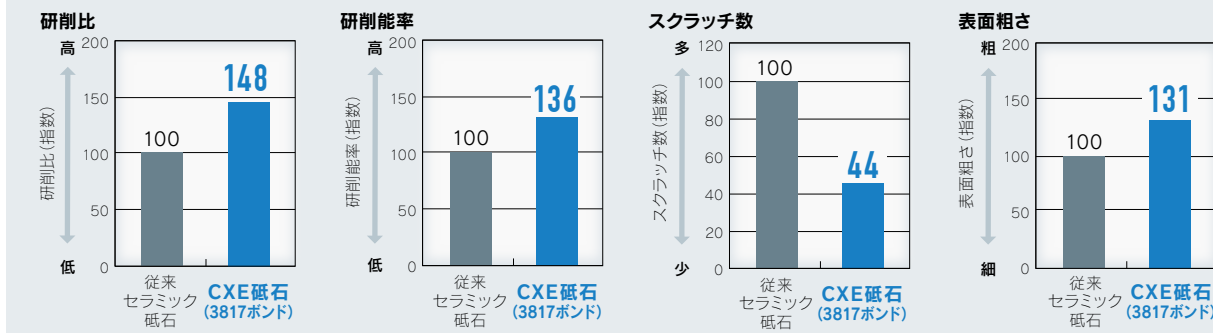
CXE砥石の効果

従来セラミック砥石とCXE砥石の性能比較を実施いたしました。試験条件を表1に示します。

表1 試験条件

	条件
研削盤	円筒研削盤
研削方式	トラバース方式
研削液	水溶性
ワーク	ハイス (HRC 61)
ワーク寸法	φ110×L190mm
砥石寸法	φ370×t20×φ127mm
砥石スペック	・従来セラミック砥石 ・CXE砥石(3817ボンド)

図8 試験結果



研削性能比較の結果を、図8に示します。

従来のセラミック砥石と比較して、CXE砥石は研削比は48%向上、研削能率は36%向上し、飛躍的に生産性が向上する結果となっています。これは砥粒がより細かく破碎するため、切れ刃が多く切れ味に優れ、また大きな脱落がないため、砥石摩耗量も少なくなることによる効果です。研削後の砥石面状態を比較すると、従来セラミックよりもCXE砥石のほうが作用面積は少なく、作用砥粒数は多い結果となっています(図9、表2)。

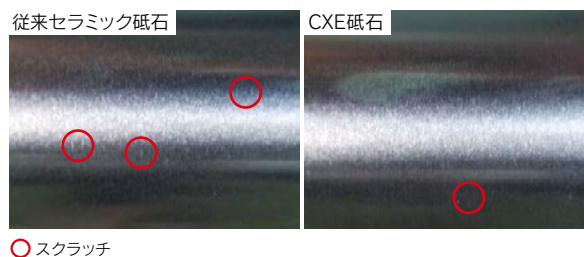
スクラッチにおいても従来セラミック砥石よりも少なく約56%低減しており、これも細かく破碎することでスクラッチがつきにくくなっている効果によるものです(図10)。

ただし、切れ味が良い分、従来砥石よりも表面粗さが粗くなる結果となりました。

これらの結果から、表面粗さが粗くなる点を考慮する

と、CXE砥石の適する用途としては、図1に示した粗圧延のワークロールや仕上げ圧延の前段ワークロール研削に最も適していると考えられます。また、実際にご使用いただいたお客様の加工条件下でも、従来のセラミック砥石と比較して、1.5倍~2.0倍程度性能向上し、良好な結果が得られています。

図10 研削後のワーク観察



お客様のご要求はどこにある？

CXE砥石は、前述に示すように従来のセラミック砥石から大幅に性能向上が可能ですが、必ずしもすべてのお客様が高性能なものを求めているかという一概にそうとは言いきれません。従来の研削砥石の性能でもっと安価なもの、もしくは生産に応じてもっと高能率なものなどいろいろな要求があり、その時の市場の動向によっても変化していくと考えられます。

これらに対して柔軟に対応するため、セラミック砥粒の配合比を変えて、CXEY(セラミック砥粒少)、CXE(標準)、CXEZ(セラミック砥粒多)の3種類をCXEシリーズとして取り揃えました。

それぞれの研削性能比較としては、下記の図11に示します。(研削条件は表1と同様)

図9 研削後の砥石面状態

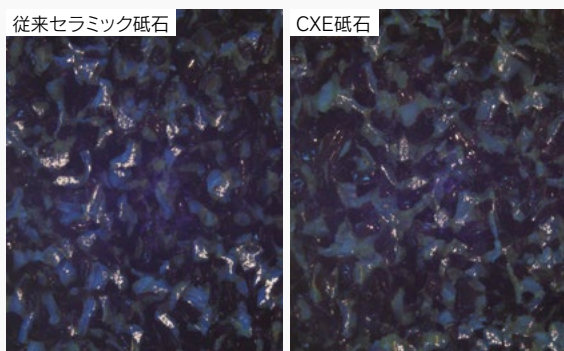
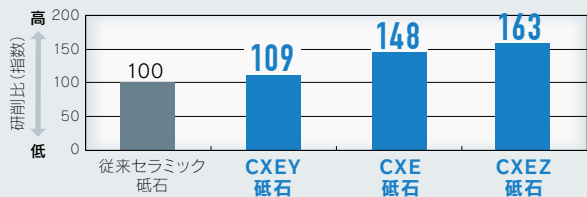


表2 研削後の作用面積、作用砥粒数

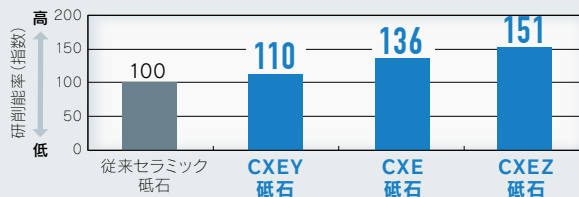
	作用面積【指数】	作用砥粒数【指数】
従来セラミック砥石	100	100
CXE砥石	93	113

図11 試験結果

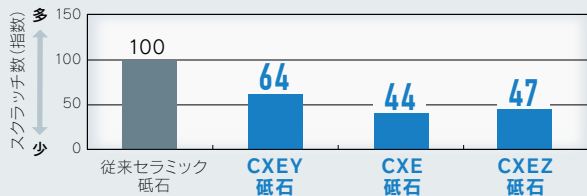
研削比



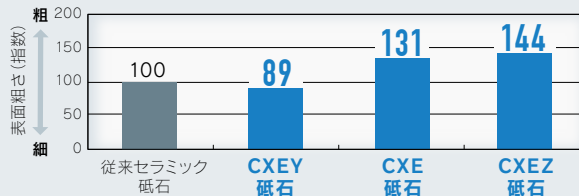
研削能率



スクラッチ数



表面粗さ



※CXEシリーズは全て3817ボンド使用

結果として、

CXEシリーズのCXEY、CXE、CXEZのそれぞれは、従来セラミックに対して特徴的な性能が得られるので、表3のようにお客様のいろいろなご要求に対応可能ではないかと考えています。

表3 ご要求に対するCXEシリーズの適合表

お客様のご要求	適合研削砥石
① 現状から研削性能を維持したまま、原単価を低減したい	CXEY
② 面品位の厳しい仕上げ圧延用ロールの表面粗さを向上したい	
③ 現状から研削能率、研削比を向上させたい	CXE
④ 研削砥石の交換頻度を低減したい	
⑤ 事故ロールの突発的な研削や大幅に生産能力を向上させたい	CXEZ

CXEシリーズにより、多くのお客様の困りごとの解決の一助となることを期待しています。

Q CXEYでどの程度加工コストが低減できるのでしょうか？

A 実績から従来セラミックに対して10~20%程度の加工コスト低減が期待できます。

Q CXEでどの程度性能向上が期待できるのでしょうか？

A 実績から従来セラミックに対して1.5~2倍程度の寿命延長が期待できます。

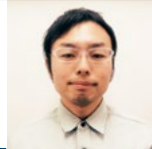
Q この製品の一番の特長はどのような点でしょうか？

A 砥粒がとて細かく破砕するので、良好な切れ味が持続する点です。

Q & A

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●	●	●	●	



〔著者〕 三井 剛

工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
メタルレジグループ

レジンホイール

ツルレーイング

メタルホイール

ドレス

耐用に優れるメタルホイールを レジンホイールのように簡単に ツルレーイング、ドレスを行って 使用したい

超硬

難削材



こんな悩みにはこの製品



ここまでツルレーイング、 ドレスが簡単なメタルホイールが かつてあっただろうか？

MDLホイール



超硬等の難削材の研削における高能率化対応と

使いやすさ(ツルレーイング、ドレス性)に対して、

メタルホイールとレジンホイール双方の長所を併せ持つ“MDLホイール”を開発しました。

メタルホイールの 得意分野と苦手分野とは？

ボンド(結合剤)に金属を使用しているメタルホイールは、以下のような特徴をもっています。

- ①高強度のため、砥粒保持力が強い
- ②耐摩耗性が高く、切粉によりボンドが後退し難い
- ③熱影響に強く、高負荷時でも高強度を維持

このような特徴から、特にシリコンやガラスといった、高脆性材料の分野に対して、メタルホイールは優れた研削性能を発揮することができます。

その一方で、切削工具等に使用される、難削材と呼ばれる超硬等の分野に対して、メタルホイールは切れ味の確保ができない問題が発生します。また、研削性能に大きな影響を与えるツルレーイング、ドレスは非常に困難で、簡易な設備ではツルレーイングやドレスをすることができ

ません。さらに、設備上の問題をクリアしても、十分なドレスを行うためにはレジンホイールの5~10倍のドレス量や時間を必要とする場合もあります。これらの問題が、メタルホイールを使用することを断念する原因となっています。

近年、その問題を解決すべく、ボンド強度の低いメタルホイールが市場に現れていますが、レジンホイールと同じツルーイング性とドレス性で利用できるものはなく、難削材の超硬を加工する分野には広く展開できていません。

メタルホイールへの大きな期待と 超えなければならない壁

「研削能率」、「形状維持性」の向上要求達成のためにはメタルホイールを使用することが望ましいですが、メタルホイールは「切れ味の確保」、「ツルーイング、ドレスの実施」が困難という壁が超えられない状況が続いていました。

近年、自動車や航空機分野に使用される超硬切削工具の高精度化やコスト低減の要求はさらに激しくなり、切削工具メーカーは高品位化及び加工時間の短縮が重要な課題となっています。超硬は難削材のため、これを原料としたドリル、エンドミル等の加工にメタルホイールを用いることは難しく、切れ味の良いレジンダイヤホイールが使用されています。しかし、それ故に前述した研削能率や形状維持性の向上と言った要求の達成が困難となっています。その中でも特にネック工程は主溝*加工工程です。丸棒材から溝形状を削り出すこの工程は、取り代が大きいために加工負荷が非常に高く、送り速度を上げると熱影響によってレジンホイールの形状崩れが発生します。

また、主溝加工工程は、要求される形状精度、面品位の確保が厳しく、これに伴いホイール形状を高頻度で修正しながら使用されます。そのために、修正作業負荷が非常に高い工程となっており、ツルーイング、ドレスが困難なメタルホイールを使用する足かせとなっていました。

メタルホイールの 革命児『MDLホイール』の誕生

ノリタケは、「レジンホイール並みにツルーイングやドレスがし易く、砥粒が突出したまま高い切れ味を持続させることが可能」であり、「メタルホイール本来の高い砥粒保持力を有し、形状維持性に優れる」という特徴を兼ね備えた革命的なメタルホイール『MDLホイール』を開発しました。従来のメタルホイールでは、ワークにボンドが接触し研削焼けが発生してしまう状況でも、MDLホイールはボンドが摩耗して砥粒の突出しが持続する特性をもち、加工抵抗の低減、研削焼けの抑制が可能になります。さらに、レジンホイールよりも形状維持性に優れながらも、ツルーイング、ドレスが実施しやすくなるという要求も達成しています。

表1に示すMDLホイールと従来レジンホイールの各種性能を下記①~③の内容で比較することでその特徴を示します。

表1 試験ホイール

スペック	SDC325 N 100 B(レジンホイール) SD325 L 60 MDL(MDLホイール)
寸法	φ150×3 ^U mm

① ツルーイング性の比較

ツルーイング性が高いほど、形状修正が容易であると言えます。MDLホイールのツルーイング性を評価するた

めに、表2の条件にてツルーイングを行った結果を図1に示します。

図1の結果より、MDLホイールはレジンホイールの3.5倍のホイール除去量であり、レジンホイール以上の優れたツルーイング性を示したことから、形状修正し易い特徴を有することがわかります。

表2 ツルーイング条件

ツルーイング装置	ブレーキツルーアー
ホイール周速度	7.5m/s
切込み量	0.01mm/pass×50pass
ドレッサ	一般砥石GC220HV (寸法 φ80×T20mm)

図1 ツルーイング時のホイール除去量比較

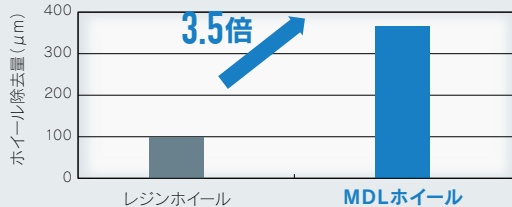


図2 ドレス性の比較

砥粒突出し高さが不十分な状況でホイールを使用すると、切れ味が悪い原因として研削焼けの発生が懸念されます。ドレス性が高いほど、使用前の砥粒突き出し高さ確保が容易であると言えます。

MDLホイールのドレス性を評価するために、前述のホイールを表3の条件にてドレスを行い、砥粒突出し高さの評価を行いました。

図2のドレス後のホイール面状態から、MDLホイールはレジンホイールより砥粒突出し高さがあり、ドレス性が高

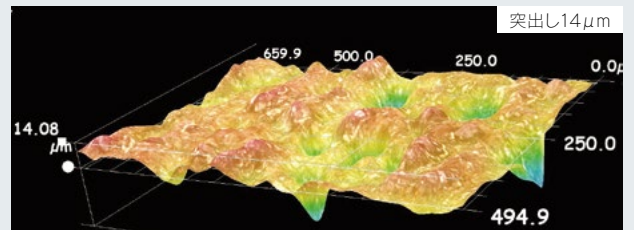
いことがわかります。つまり、MDLホイールは従来のレンジホイールと同様のドレス条件で使用可能です。

表3 ドレス条件

ドレス方法	一般砥石研削法*
ホイール周速度	7.5m/s
切込み量	1mm/pass×1pass
ドレッサ	一般砥石WA220HV (寸法 125 ^L ×10 ^W mm)

図2 ドレス後のホイール面状態比較

レジンホイール



MDLホイール

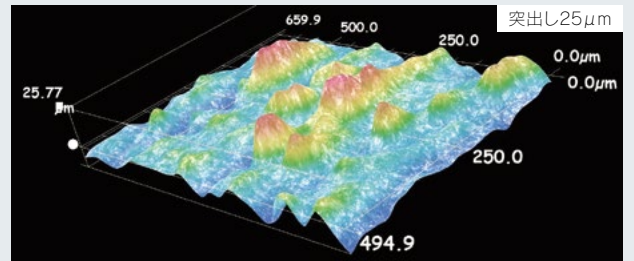


図3 平面研削盤での高速送り(目立て有)の比較

超硬ドリル、エンドミルの主溝加工を想定し、平面研削盤を用い超硬のクリープフィード研削を行いました。試験前の砥粒突出し高さは共に25μmに揃えています。試験条件を表4に、研削性能の結果を図3、4に示します。

図3、4の結果よりMDLホイールはレジジンホイールに比べ消費電力値が低く、さらにホイール摩耗量が1/8以下を達成しました。このことから、MDLホイールは、切れ味に優れながらも高寿命であることがわかります。

MDLホイールの加工事例

MDLホイールを用い、工具研削盤にて実際に超硬エンドミルの主溝加工を行いました。比較対照として耐熱性の高いポリイミドレジジンホイールを併記します。ただし、MDLホイールは砥粒の沈み込みが無いことから、仕上げ面品位を同等にするためMDLホイールの粒度400番に対し、ポリイミドレジジンホイールは粒度270番を選定しています。

実施例をご紹介します(実施例:表5、研削状況:図5、研削後のエンドミル:図6、消費電力値とホイール摩耗量:図7、表面粗さ:図8、ワーク刃先のチッピング:図9、研削後のホイール面状態:図10)。

従来のポリイミドレジジンホイールではホイール面に溶着が発生し、連続研削ができない条件においてもMDLホイールは安定して研削を行うことができました。また、加工面品位もポリイミドレジジンホイールに比べ優れた結果となり、大幅な生産性向上とコスト低減が可能になります。

表4 試験条件

研削方式	湿式クリープフィード研削
ワーク	微粒子超硬 (寸法 100 ^L ×50 ^W mm)
ホイール周速度	25m/s
テーブル速度	150mm/min
切込み量	2mm/pass
総加工溝数	48溝
研削液	水溶性(N70TCS 50倍希釈)

図3 高速送り(目立て有)の消費電力比較

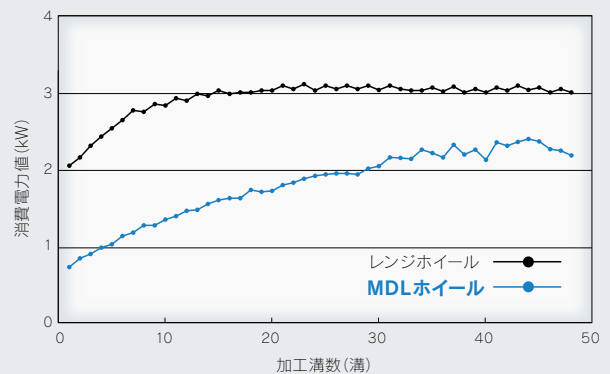


図4 高速送り(目立て有)の摩耗量比較

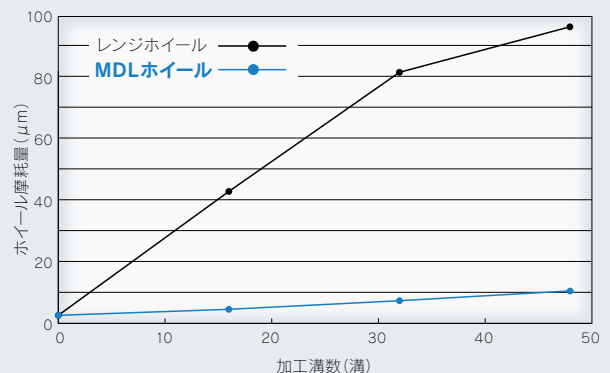


図5 研削状況写真

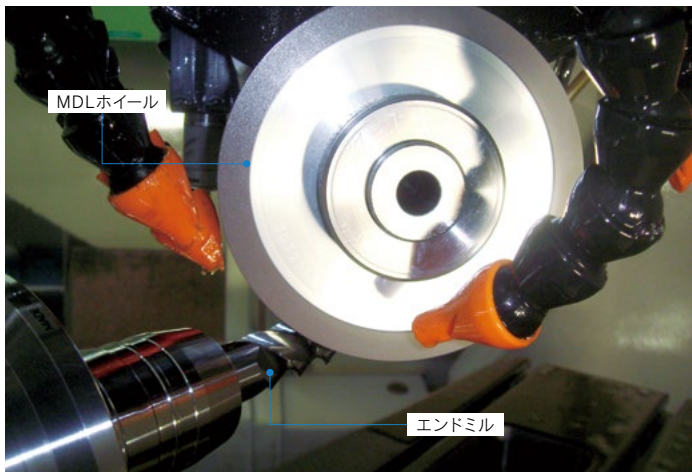


図6 研削後のエンドミル写真



図7 消費電力値と摩擦量

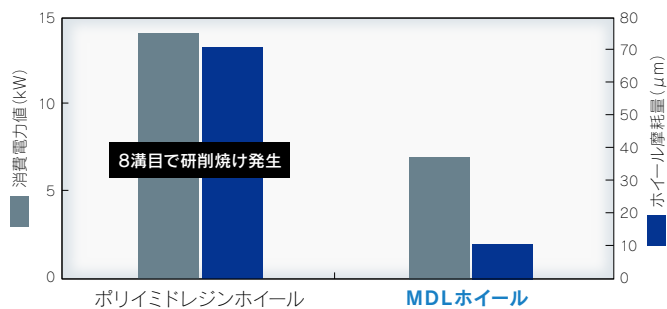


図9 ワーク刃先のチップング

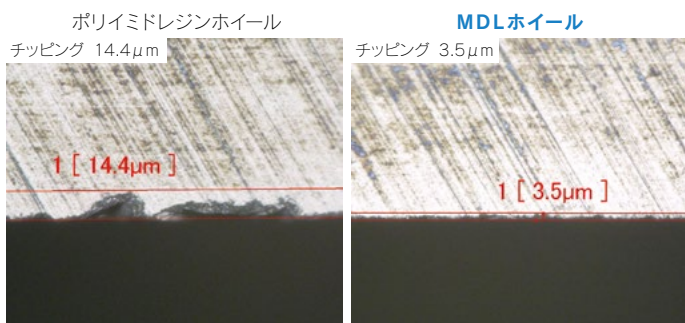


表5 実施例

スペック	SDC270 N 100 B (ポリイミドレジンホイール) SD400 L 60 MDL (MDLホイール)
ホイール寸法	φ125×10 ⁴ mm
研削盤	工具研削盤(18kW)
ワーク	微粒子超硬(φ20L×220Lmm)12枚刃
ホイール周速度	20m/s
切込み量	3mm/pass
軸方向送り速度	70mm/min
ドレス砥石	一般砥石WA220HV 30×25×5mm
研削液	不水溶性

図8 表面粗さ

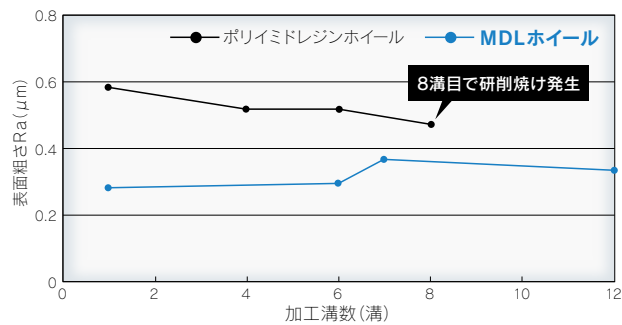
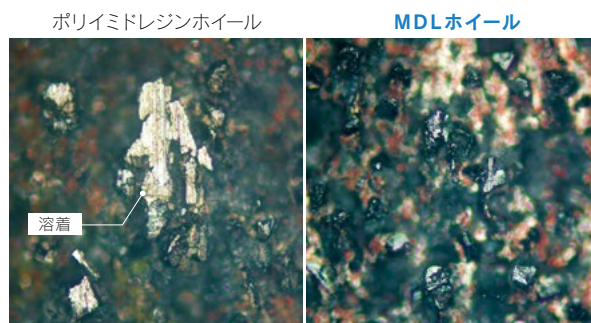


図10 研削後のホイール面状態



不可能を可能にする 挑戦は永遠に

本稿では、メタルホイールとレジジンホイール双方の良好な特徴を併せ持つ、新しいメタルホイールについてご紹介しました。開発した新メタルホイールを用いることで、従来技術では達成が困難であった「切れ味」と「寿命」の両立が可能となりました。

一見、越えることが不可能に思える壁があっても、挑戦し続けることでいつか乗り越えることができると考えます。ノリタケはこれからもお客様からの声に応えるため、新しい超砥粒ホイールの開発、加工技術の構築に取り組んでいきます。

【注釈】

※主溝：ドリル、エンドミルの溝部(ドリル、エンドミルで加工したときに生じる切り屑を排出するために設けられた溝)(参考:図6)

※一般砥石研削法：一般砥石をドレッサとし、ホイール面をドレスする方法

【適用範囲と期待効果】

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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 レジンホイールに比べて 表面粗さは粗くなりませんか？

A スペック調整によって表面粗さ、チッピング対策等対応可能です。

Q ハイス工具に対しては、適応可能でしょうか？

A ハイス工具に対しては、スチールマイスターという製品がありますので、詳しくはノリタケへお問い合わせください。

Q 乾式加工に使えますか？

A 申し訳ございません、MDLホイールは湿式専用ですので乾式加工には使用しないでください。

Q ドレスを入れずに使用できますか？

A ドレスを入れずに使用できません。必ずドレスを行ってください。しかし、レジジンと同様なドレス性であるため容易にドレスができます。

Q & A

悩み解決の
ヒント
あり

05



〔著者〕松尾 秀平
工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
メタルレジグループ

ドレッサ

再研磨修理

研磨仕上

天然ダイヤモンド

性能安定

天然単石ドレッサを使っているが、 ドレス性能や寿命、修理回数がばらついて 管理に困っている

寿命安定



こんな悩みにはこの製品



ドレッサの性能・寿命を安定化! 『大粒』人造ダイヤモンドを 用いた新ドレッサ 人造単石ドレッサ Gシャープ



“Gシャープ”はサイズと形状が整った高品位の人造ダイヤモンドを採用し、
研磨仕上げによる先端部形状の均一化によって研削砥石の切れ味を最大限に引き出します。

天然単石ドレッサの課題

研削砥石を用いた研削加工で適切な加工精度および加工能率を維持するためには、研削砥石状態を適宜修正する必要があります。具体的には、研削砥石表面の目こぼれや目詰り、目潰れした砥粒を除去して、砥粒に新しい切れ刃を創生する『ドレス』作業、研削砥石の外周加工面を軸中心に対して同心に成形する『ツレーイング』作業があります。これらの作業にはダイヤモンド工具であ

るドレッサを用います。つまりドレッサは研削加工において、任意の加工品質を安定して得るために不可欠な工具です。

単石ドレッサは、過去より天然ダイヤモンドが広く使用されています(図1)。ドレッサは研削砥石に切れ刃を

図1 天然単石ドレッサ

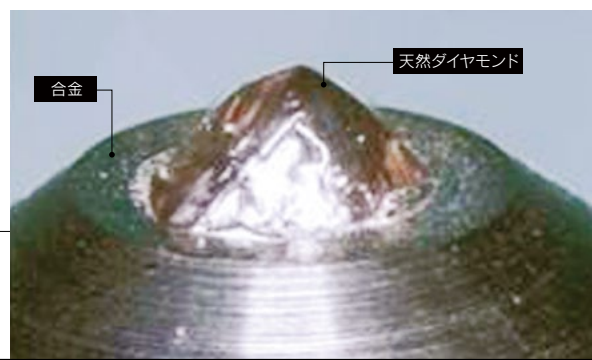
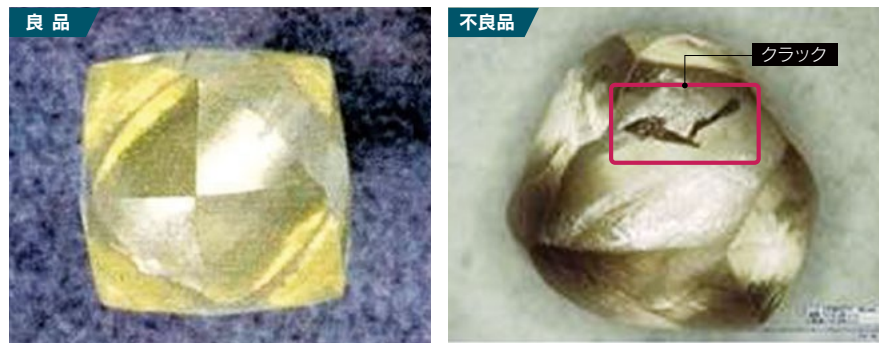


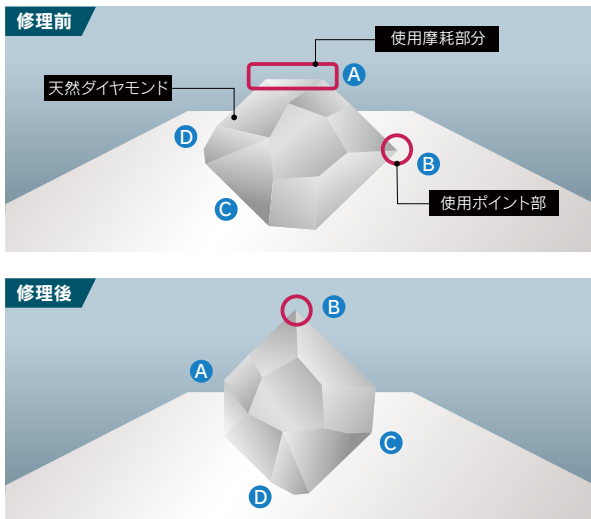
図3 天然単石ドレッサ用の天然ダイヤモンド



創生する作業に用いるため、ドレッサ自体のダイヤモンド先端も鋭利な形状が求められます。そのため、単石ドレッサは使用に伴い先端部が摩耗して平滑になると、新品への取り替えやメーカーでのダイヤモンド埋め替え修理を行うことで、残っている鋭利な頂点を再利用します(図2)。この修理方法をくり返すには、単石ドレッサに用いる天然ダイヤモンドは、鋭利な頂点を多く有し、かつ内部にクラックや不純物を内包しない大粒なものが適しています。

図2 天然単石ドレッサの修理方法

※使用に伴い摩耗した頂点Aから、埋設していた鋭利な頂点Bへ埋めかえ



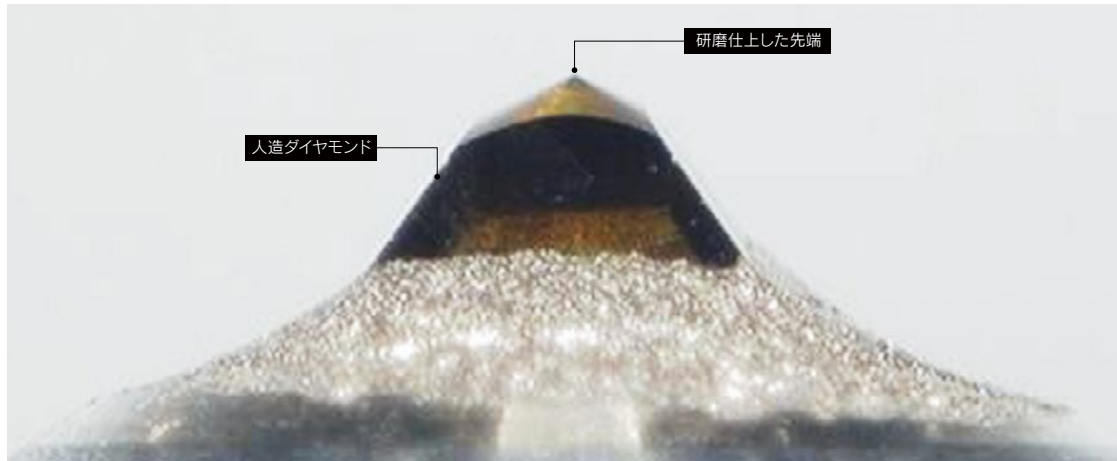
しかし、天然ダイヤモンドはサイズや形状にばらつきがあり、クラックや不純物を内包するものが多くあります(図3)。小さく鋭利な頂点の少ない天然ダイヤモンドは修理可能回数が少なく、クラックや不純物がある天然ダイヤモンドは製品使用途中にドレス性が悪化しやすい

ため、ドレスした研削砥石の加工精度が悪化します。このように、天然単石ドレッサは天然ダイヤモンドの品質によって製品毎に寿命や性能がばらつくといった工具管理上の問題があります。特に近年、顧客市場では工具品質の安定化の要求が高まっていることから、この問題がより顕著になりつつあります。

問題解決のカギは人造ダイヤモンド

天然ダイヤモンドを使った単石ドレッサの品質(性能、寿命、修理回数)が不安定である問題は天然ダイヤモンドの品質に起因するため、品質が安定する人造ダイヤモンドへの切替えにより解決が期待できます。1940年代頃、人造ダイヤモンドの合成技術が実用化されるとともにダイヤモンド工具は人造ダイヤモンドに切替えが始まりました。しかし、人造単石ドレッサが国内で実用化されたのは1980年代頃からであり、ドレッサの人造ダイヤモンドへの切替えの歴史は比較的浅いです。これは、ダイヤモンドホイールでは数 μm から数百 μm サイズのダイヤモンドを用いるのに対して、ドレッサはmmサイズと比較的大きいダイヤモンドが必要であり、人造ダイヤモンドの合成技術の進歩に準じて実用化されたのが理由の1つです。なお、実用化された人造単石ドレッサの多くは、角柱形状の人造ダイヤモンドが一般的に用いられてきました。一方、近年では合成技術のさらなる発展により、従来の角柱形状より大きな粒形状の人造ダイヤモンドが市場化されています。

図4 Gシャープ



安定品質への挑戦、 人造単石ドレッサ『Gシャープ』

ドレッサに対する市場要求は、製品性能が新品から廃却まで、製品ロットの違いで大きなばらつきがないことです。Gシャープの開発にあたっては、市場要求を達成できるように原材料および設計を検討しています。

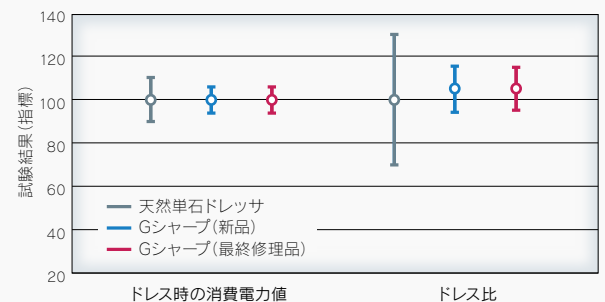
ドレッサの製品性能が変化する要因としては、ダイヤモンド部のクラックやカケ、内部不純物の露出といったダイヤモンドに起因する点が多くあります。Gシャープではこれらの要因を排除するために、クラックやカケが発生しにくい形状のダイヤモンドを採用して、不純物やクラック、カケを内包しないダイヤモンドのみを選別して、高品質なダイヤモンドのみを製品に利用しています。また、使用初期の製品性能を安定化させるためにダイヤモンド先端部に研磨仕上げを行い(図4)、先端部形状をロット違いで均一化しています。

天然単石ドレッサを比較対照としてGシャープの新品時および修理品(廃却寸法)にてドレス試験を行いました。ドレス試験条件を表1、ドレス試験結果を図5に示します。図5には砥石切れ味に影響するドレス時の消費電力値およびドレッサ寿命に影響するドレス比*の結果を記載していますが、Gシャープには新品と修理品に差はなく、また天然単石ドレッサに比べてばらつきが小さいことが確認できます。

表1 ドレス試験条件

研削盤	円筒研削盤
研削方式	円筒研削
砥石スペック	CXZ 60 K 8 V104
砥石寸法	φ405×75T×127H mm
砥石周速度	45m/s
研削液	水溶性 SEC-700(×50)
ドレスリード	0.1mm/r.o.w
ドレス切込み量	半径10μm/pass

図5 天然単石ドレッサとGシャープ(新品・修理品)のドレス試験結果

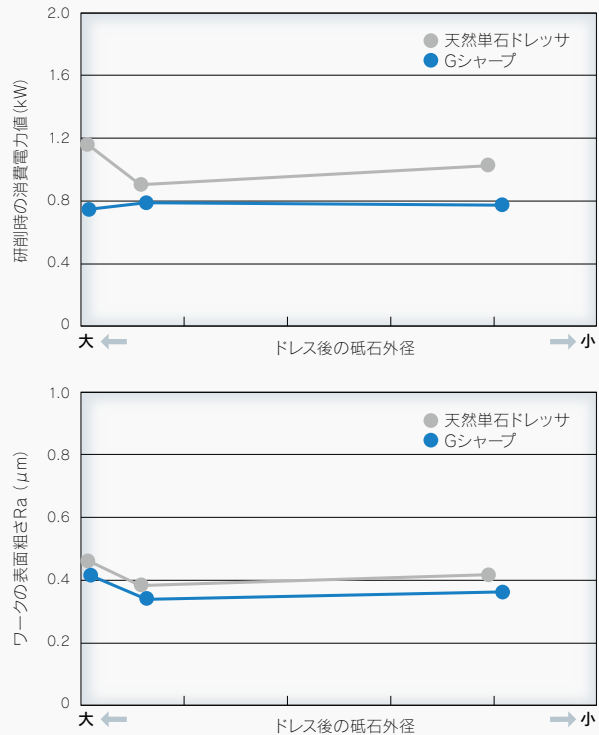


また、表1のドレス試験条件にて天然単石ドレッサとGシャープのそれぞれでドレスをくり返し行った場合の研削性能を評価しました。試験条件は表2、ドレス後の砥石外径と研削性能を図6に示します。Gシャープと天然単石ドレッサのそれぞれでドレスした砥石にて研削したワークの表面粗さにほとんど差はありませんが、研削時の消費電力値はGシャープ使用時のほうが安定していることが確認できます。

表2 試験条件

研削盤	円筒研削盤
研削方式	円筒研削
砥石スペック	CXZ 60 K 8 V104
砥石寸法	φ405×75T×127H mm
砥石周速度	45m/s
研削液	水溶性 SEC-700(×50)
ワーク周速度	0.56m/s
取り代	研削代断面積80mm ² /cut
スパークアウト	10回転
加工数	8cut
ワーク	SCM435 焼入れ HRC48(寸法φ45×T10mm)
研削能率	2mm ³ /mm・s

図6 ドレス後の砥石外径と研削性能



以上の結果より、新たに開発したGシャープは天然単石ドレッサの性能や寿命のばらつきによる工具管理上の問題解決が期待できます。

[注釈]

※ドレス比：砥石削除量÷ドレッサ摩耗量

Q 修理回数は何回までできますか？

A ダイヤモンドの摩耗や破損状態によるため回数は定めていません。使用限界まで修理対応致します。

Q 形状の修正(修理)は自社で対応可能ですか？

A 修正(修理)についてはノリタケへ返却をお願いしております。

Q & A

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
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
	●	●	●	

悩み解決の
ヒント
あり

06



〔著者〕古野 大樹
工業機材事業本部 技術本部 商品開発部
先端材料グループ

高寿命・低コスト

低ダメージ加工

材料が硬く
加工出来ない!

高平坦度

高効率

材料が硬く、加工時間がかかり
工具寿命が短く
コストがかかる!!!



材料が硬脆く
加工すると
割れてしまう!!

高精度・高能率加工

こんな悩みにはこの製品



硬脆い材料を速く
高精度に加工するには!!
サファイア研削用
メタルホイールMSG



サファイアなど高硬度・高脆性材料の加工効率を上げる固定砥粒工具として、
高能率で高精度・高寿命な加工が可能となり、
ウェーハへの加工ダメージとチッピング率を低減するという市場要求を上回る性能を達成しました。

生産性と精度向上を 両立させる固定砥粒加工

サファイアウェーハメーカー、デバイスメーカーからは、サファイアウェーハの低コスト、高品位化のご要求があります。コストダウンのためφ6インチやφ4インチのバッチ処理による加工枚数を増やし半導体チップを製造していますが、チップ化の歩留まり向上には、従来に対し

て加工精度(平坦度、表面粗さ、反り量など)を向上させる必要があります。一方、パワー半導体メーカーからは、SiCウェーハを使用したデバイス開発において、従来のSiウェーハ並みの高精度化・高品位化が求められ、量産対応、低コスト化のために大口径化ウェーハ(φ6インチ)の利用が一部始まっています。産業界においても電気自動車の開発実用化、家電製品や産業機器の省エネ技術開発が進められています。特に電気自動車の普及拡大に対

図1 遊離砥粒加工と固定砥粒加工のイメージ

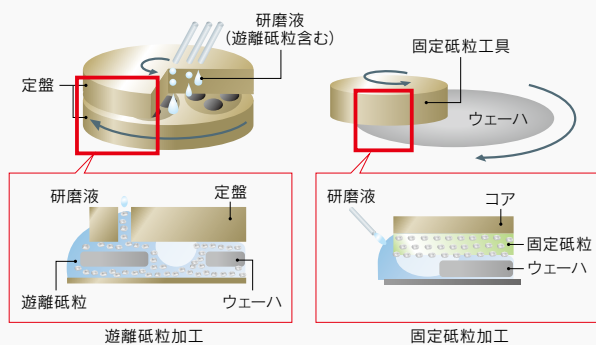


表1 遊離砥粒加工と固定砥粒加工

	長所	短所
遊離砥粒加工 (ラッピング研磨)	<ul style="list-style-type: none"> ・バッチ処理で生産性が高い ・良好な加工面品位 (表面粗さ・低ダメージ) が得られる 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業環境が汚れる ・自動化困難 ・定盤精度維持に熟練が必要 ・加工速度が遅い
固定砥粒加工 (研削加工)	<ul style="list-style-type: none"> ・自動化容易 ・加工速度が速い ・ウェーハ1枚から加工可能 ・作業環境がきれい ・ロット内厚みバラツキが小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウェーハ口径により、工具仕様、加工条件出しが必要

しては二次電池とモーターがポイントとなっており、大電力を扱うことから、より電力損失が少ないSiCを基板とした次世代型パワー半導体の開発が進められています。

現在、サファイア、SiC等の高硬度材料に対するウェーハの平坦化・薄型化は主にラッピング研磨といった遊離砥粒加工を用いていますが、固定砥粒加工に置き換わることで様々なメリットが期待できます。遊離砥粒加工と固定砥粒加工のイメージを図1に、それぞれの長所短所を表1に示します。

り、高能率、かつ低摩擦で低ダメージという相反する要求があります。

表2 工具のボンド (結合剤) 種類による長所と短所

ボンド種類	長所	短所
ビトリファイドボンド	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの砥粒で自生させながら加工するため加工持続性に優れる 	<ul style="list-style-type: none"> ・工具摩耗が多い ・加工時間が長い
メタルボンド	<ul style="list-style-type: none"> ・高強度で砥粒保持力が強く高寿命 ・熱影響に強く、劣化しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・摩滅した砥粒が脱落しにくく切れ味低下を招く ・ボンドが後退しにくいいため、砥粒突き出しが確保しにくい
レジンボンド	<ul style="list-style-type: none"> ・弾性変形で加工するため、加工後の表面粗さが細かい (高脆性材料に対しては加工持続性が悪い) 	<ul style="list-style-type: none"> ・砥粒がボンドに沈み込み、ボンドと接触して加工が持続しない

材料特性からの工具設計

新しい材料を加工するには、まずその特性を知ることが重要です。サファイアはシリコンと比較して硬度が2倍で熱が逃げにくい材料です。SiCもシリコンと比較して、3倍の硬度があり、切れ刃であるダイヤモンドが摩耗しやすく、切れ味の低下を招きやすい材料です。

ダイヤモンド砥粒を結合保持させるボンド (結合剤) の種類には、①ガラスなどを原料とした「ビトリファイドボンド」、②銅、錫などの金属を原料とする「メタルボンド」、③フェノール樹脂、エポキシ樹脂を原料とした「レジンボンド」があります。

サファイアの研削加工を例にとり、工具のボンド種類による長所短所を表2に示します。

工具には切れ味、摩耗だけでなく、脆性材料のウェーハを薄型化するため、割れやチッピングも大きな課題とな

サファイア研削用メタルボンドホイールのあるべき姿

あるべき姿としては、「メタルボンドの高強度、砥粒保持力を維持しながら、ビトリファイドボンドのように砥粒の目替わり作用があり、切れ味持続性に優れる」高性能のメタルホイールです。前述の目標を達成するために、砥粒の目替わり作用が効果的に発生するボンド後退性の良い専用のメタルボンドを開発しました。このボンドにより安定した切れ味を得られたことと、ダイヤモンド砥粒の設計を見直すことで、従来にない高能率で高精度・高寿命な加工が可能となりました。また、従来より切れ味が向上したことで、ウェーハへの加工ダメージが低

表3 試験ホイール

寸法	外径φ300mm
評価スペック	SD 325 V (従来ビトリファイドホイール) SD 325 MSG (開発メタルホイールMSG)

減でき、チッピング率も減少するという市場要求を上回る性能を達成しました。現在では更なる特殊ホイール構造により、砥粒目替わり性を制御し、摩耗量削減にも成功しています。

この製品をメタルホイールMSG (Metal Surface Grinding) と名付け、表3の開発メタルホイールMSGと従来ビトリファイドホイールとの各種性能を①～②の内容で比較しました。

①高速送り条件での研削性能比較

研削性能の比較評価を行うために、表4の試験条件で研削試験を行いました。切れ味の指標となる電流値の結果を図2に、ホイール摩耗量の指標となる加工除去率の結果を図3に示します。一般的には電流値が低いと切れ味が優れる傾向を意味します。

図2より、開発メタルホイールMSGは従来ビトリファイ

表4 試験条件

研削方式	縦軸平面研削(インフィード)
ワーク	c面サファイアウエーハ φ4インチ×5枚
ホイール回転数	1,100rpm
テーブル回転数	100rpm
切込み速度	100μm/min
取り代	520μm(最終厚み135μm)
研削液	市水

図2 電流値

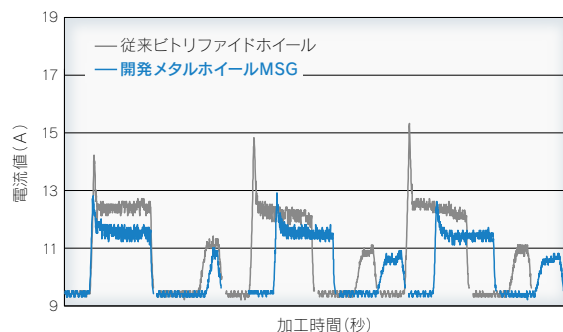
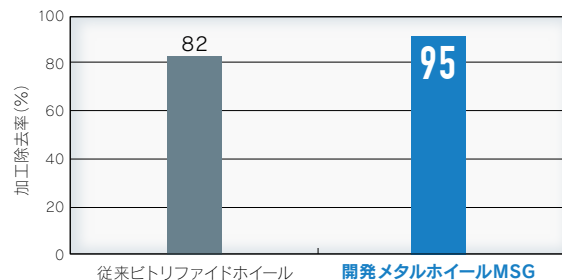


図3 加工除去率



ドホイールよりも低い電流値で加工が可能であり、切れ味が良いことが分かります。

図3より、開発メタルホイールMSGは従来ビトリファイドホイールよりも切込み量分を除去できるウエーハの量が多いことから、高効率、かつ少ないホイール摩耗量で加工が可能なが分かります。

②ステップポリッシュによる加工ダメージ比較

簡易的に加工ダメージを評価するため、研削試験後のウエーハ面を一定時間研磨することで加工ダメージの深さを知るステップポリッシュ法(表5)を実施しました。研削試験後、ステップポリッシュ後のウエーハ面状態を図4に示します。

表5 研削ダメージの評価条件(ステップポリッシュ法)

研磨方式	遊離砥粒定圧方式
ワーク	c面サファイアウエーハ φ4インチ×5枚
研磨液	6μm多結晶ダイヤモンドスラリー
取り代	10μm
研磨時間	30分

図4 ステップポリッシュ後のウエーハ面比較

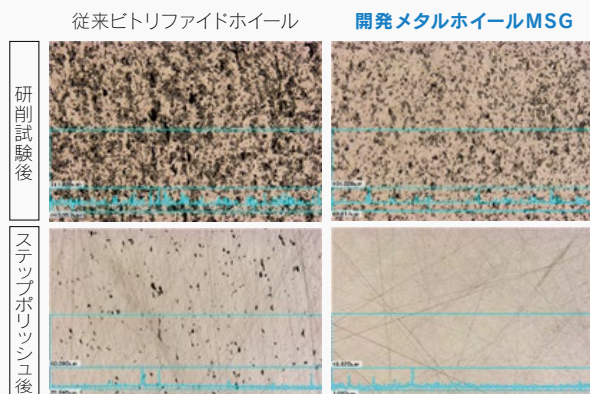


図4より、研削試験後のウェーハ面において開発メタルホイールMSGは従来ビトリファイドホイールよりも研削の条痕が細かくなっているのがわかります。ステップポリッシュ後のウェーハ面を比較すると、従来ビトリファイドホイールは研削条痕が一部残っているのに対し、開発メタルホイールMSGは研削条痕が全て取り切れていることから、低ダメージ加工が可能です。

以上の評価より、開発メタルホイールMSGは高硬度・高脆性材料に対する市場要求に応え、優位性を有する製品であると言えます。

製品の高付加価値を 推進する技術への挑戦

今回は、新たなサファイア研削用メタルホイールについて紹介しました。開発したメタルホイールMSGを用いることで、従来技術では達成が困難であった高能率条件での、「切れ味」、「高寿命」、「低ダメージ」を同時に実現します。

今後はSiCやその他材料に対しても、今回の基礎要素技術に基づいて開発を行い、更なる面品位の向上、加工ダメージの低減の要求に応える新しい技術を創生することがノリタケの使命です。ノリタケはこれからもお客様からの声に応えるために新しいダイヤモンドホイールの開発に取り組んでいきます。

Q 例えばφ4インチウェーハの加工実績として平坦度はどのくらいですか？

A 加工機にもよりますが、5μm以下の実績があります。

Q 例えばφ4インチウェーハの加工実績として表面粗さはどの程度ですか？

A #325でRa0.5μm程度です。粒度により調整も可能です。

Q サファイアウェーハでφ6インチは加工できますか？

A 可能です。送り速度3μm/sec以上での実績があります。

Q & A

【適用範囲と期待効果】

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
		●		●
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
●	●	●	●	●

悩み解決の
ヒント
あり

07



キズ取り

生産能力を高める

作業効率向上

表面均質化

寿命低下



ステンレスコイルの 研磨性能を向上させたい (加工性向上による生産性改善)

研磨量 ベルト研磨工程の最適化

こんな悩みにはこの製品



ステンレスの 価値を高める 高性能研磨ベルト

レジックロス A-XC70



ステンレスコイルの研磨用ベルトは目的に応じて研磨性(キズ除去性)重視や寿命重視
または作業コスト重視に分類され、それぞれの要望に適した研磨ベルトの選択をご提案します。

ステンレスコイルとは

ステンレスの板材は錆びにくいという特性からキッチンのシンク、地下鉄車両、エレベーター等公共設備の内装材、さらには耐熱性が高く曲げやすいという特性を生かして自動車用部品等にも使われています。

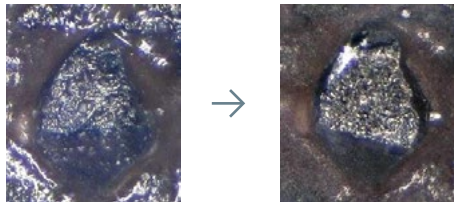
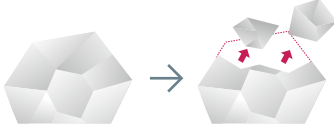
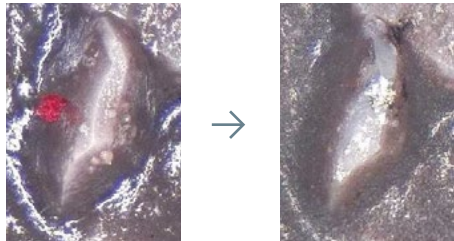
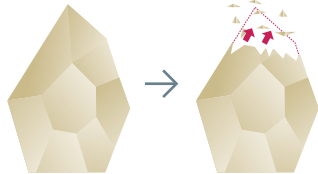
一般にステンレス材というとSUS-304系(18Cr-8Ni)が幅広く使われていますが、用途に合わせて化学的・機械的特性が改良されており、今では多くの種類が使われて

います。

ステンレス板材の製造工程は原料の溶融に始まり、圧延という機械的に押しつぶされる工程を経て厚みが薄くなっていきます。ある程度薄くなったステンレス板材はその柔軟性(延伸性)により、幅1m×長さ300~500m程度のコイルの状態での次の工程に移送されます。

所定の厚さに調整される際に室温で圧延される工程は、一般に冷間圧延と言います。その冷間圧延工程の前にキズや異物の付着等の異常があると、それらが押しつ

表1 A砥粒とセラミック砥粒の破碎性の違い

砥粒 (製品名)	砥粒拡大写真	砥粒破碎模式図
A砥粒 (A80X82)	 <p>使用前 → 研磨試験 初期(10m)</p>	<p>アルミナ (結晶径:大)</p> <p>大破碎による摩耗が起こりやすい</p> 
セラミック砥粒 (A80XC70)	 <p>使用前 → 研磨試験 初期(10m)</p>	<p>セラミック (結晶径:小) A砥粒の500分の1以下</p> <p>微小破碎するため摩耗が抑制できる</p> 

ぶされ異常な部分がさらに広がります。そのため、冷間圧延工程の前にはステンレスコイル材の異状部分を除去するための「キズ取り」、および表面をできるだけ全体的に均質状態にするための「仕上がり」として研磨工程が必要とされます。

冷間圧延前の研磨工程の悩み

冷間圧延前の研磨工程では前述の「キズ取り」という目的と全体を一定の状態にする「仕上がり」の2つの目的があります。一方、研磨されるステンレスコイルは300～500m程度の長さがあるため、何回もコイルを研磨するには作業性が損なわれます。そのため、1巻きのコイルに対し研磨機が複数台設置され、一度に「キズ取り」と「仕上がり」の両方を達成する研磨方式が一般的に採用されています。「キズ取り」を主目的とした研磨ベルトの選定ポイントは①高性能な砥粒にする②砥粒の粒径を大きくするに大別されます。

①砥粒の種類と研磨性能

砥粒の種類はワーク材質に応じてアルミナ質砥粒(以降A砥粒)とジルコニア/アルミナ共晶砥粒(以降Z砥粒)の2種類が良く使われています。一般的にZ砥粒の方が

使用時の砥粒先端の摩耗が抑えられるため、研磨力の持続性が高くなります。

②砥粒の大きさ(粒度)と研磨性能

この工程ではJIS-R6010に規定されている粒度の中でP60またはP80が最も多く使用されています。粒度の数字が小さいほど砥粒の粒径も大きくなるため、「キズ取り」効果は高くなりますが、一方で研磨された後の表面状態(研磨目)は粗くなるため「仕上がり」に対しては後工程の負担が大きくなります。

セラミック砥粒で悩みを解決

従来、「キズ取り」効果が必要な場合にはZ砥粒が使用されてきましたが、近年の鋼種改良によりステンレスコイル自体が研磨されにくいものも出始め、さらには前工程の表面状態として通常よりキズが深いまたは不均一状のコイルもあり、研磨工程が2回必要になる場合もあります。そのような場合に対してはセラミック砥粒と言われる特殊な砥粒を使用するのが有効です。

セラミック砥粒はA砥粒、Z砥粒とは異なる特殊な方法で製造されています。その特徴は砥粒の結晶サイズが非常に小さく砥粒の摩耗が抑制できることです(表1)。また

鋭利な砥粒先端形状を有しており、使用初期から高い研磨力が得られます。その結果、初期の高い研磨性能が長時間持続されることで従来のA砥粒やZ砥粒では得られなかった研磨性能が得られるようになりました(図1)。

砥粒社内研磨試験後の観察(表1)においても、セラミック砥粒はA砥粒に比べて砥粒の摩耗が著しく抑えられていることがわかります。

表2の試験条件で砥粒差(A砥粒、Z砥粒、セラミック砥粒)を比較した結果を示します(図1、図2)。

表2 試験条件

試験機	平面研磨機
研磨ベルト①	A砥粒 (A80X82)
研磨ベルト②	セラミック砥粒 (A80XC70)
研磨ベルト③	Z砥粒 (Z80X82N)
研磨ベルト寸法	幅200mm×長2100mm
研磨ベルト速度	1600m/min
ワーク	SUS-304
ワーク寸法	幅38mm×長500mm
ワーク送り速度	10m/min
研磨負荷	1.0HP/25mm (3.8A/38mm)
コンタクトホイール	外径φ150mm、ゴム硬度70°、セレーション比1:1
研磨方向	ダウンカット
研削液	不水溶性(ポリッシングオイル)

図1 砥粒差と研磨量

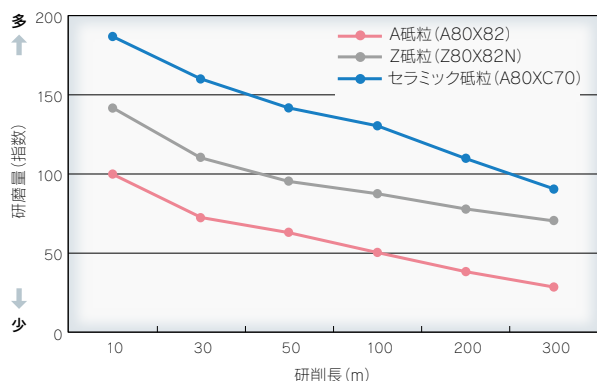


図1で示すように、研磨量はセラミック砥粒>Z砥粒>A砥粒の順に高く、特にセラミック砥粒製品はA砥粒製品と比較して初期から300mまでおよそ2倍の研磨力があり、研磨工程のキズ取りにおける作業効率向上が見込めます。

図2の表面粗さは、図1の研磨量と相関性があり研磨量が多いほど、表面粗さも粗い傾向になります。

これらの結果から、セラミック砥粒製品は生産能力を大幅に向上したい場合に適しています。

研磨製品の使用技術とその影響

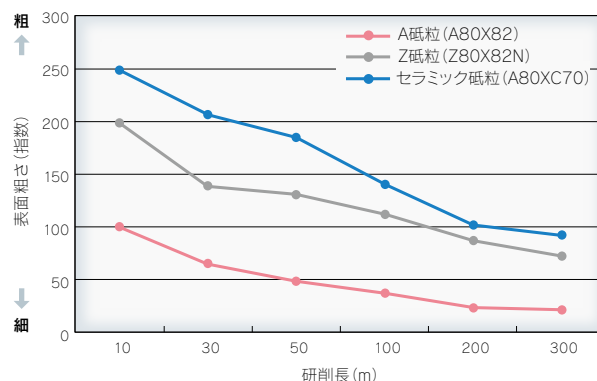
ステンレスコイルの研磨工程では従来のアルミナ砥粒製品、ジルコニア砥粒製品だけでなく研磨性を重視したセラミック砥粒製品の必要性も年々増えています。そのような中、目標とする削除量や表面粗さに応じて最適な砥粒を選択し、さらには加工条件も含めた最適化を図ることで生産性をさらに高めることができると考えます。

ここで、一般的な研磨条件の影響を以下に示します。

・ワーク送り速度

送り速度が速くなると研磨作用時間が減ることにより、研磨量が減少します。

図2 砥粒差と表面粗さ



逆に送り速度を遅くすると研磨作用時間が増えることにより、研磨量が増加します。

・研磨負荷(モーター負荷)

研磨負荷を上げることにより、研磨量は増加しますが、砥粒の種類によってはダメージが促進されるため、寿命低下となるケースもあります。

・コンタクトホイール*の選定

ゴム硬度を硬くすると研磨力は向上しますが、研磨砥粒のダメージの進行も早くなります。

・研削液

作業工程及びワーク面品位に影響を及ぼします。研磨性重視の際には硫黄系添加剤を多く含む鉱物油系研削液が推奨されます。

最後に、ステンレスコイルの研磨工程は次工程の冷間圧延時にコイル表面の不具合を極力低減させるためには必須な工程です。しかし、研磨ベルトに求められる性能は「キズ取り」と「仕上がり」の相反するニーズを満たさなければなりません。「キズ取り」用にはセラミック砥粒製品またはジルコニア砥粒製品が適しており、「仕上がり」にはアルミナ砥粒製品が推奨されます。ただし、研磨ベルトの砥粒選定以外にもワーク材質自体の硬度や、研磨前工程の表面状態によっても求められる程度が異なります。ベルト研磨工程の最適化および生産性向上のご要望に応じて、ご使用状態に応じた研磨条件、研磨ベルト、研削液を提案できるノリタケに是非ご相談ください。

Q ワークの面品位を向上させたいのですがセラミック製品が最適なのでしょうか？

A 面品位を重要視する場合はアルミナ砥粒製品の方が適しています。また砥粒の粒度によっても表面粗さは変化します。粒度の数字が大きいほど砥粒の粒径が小さいため表面粗さは細かめになる傾向です。

Q 研削液を使用する環境でも研磨ベルトは使えるのでしょうか？

A 冷間圧延前研磨で使用される研磨材は耐油性の高い布基材をベースにし、耐久性に優れたフェノール系接着剤で布基材と砥粒が固着していますので、水溶性研削液、油性研削液のどちらでもご使用いただけます。



[注釈]

※コンタクトホイール：ベルト研磨において研磨ベルトの裏面に接して回転運動し、これにより研磨ベルトとワークとの間に押付け圧を発生させる。一般に、ゴムが金属製の物が多い

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●				
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
●		●	●	

悩み解決の
ヒント
あり

08



〔著者〕熊谷 和晃
エンジニアリング事業部 流体テクノ部
製品開発グループ

水溶性研削液

スーパーアルカリイオン水

バクテリア

酸化還元電位(ORP)

濾過装置

強アルカリ

水溶性研削液の 腐敗・異臭の発生

安全・安心

水素イオン濃度(pH)

洗浄



こんな悩みにはこの製品



水溶性研削液の 腐敗を防ぐ不思議な水 スーパー アルカリイオン水

スーパーアルカリイオン水は強アルカリ性(pH12.5)でありながら人や環境に無害な水です。

研削液の希釈水として使うことで、防腐剤などの薬品を使わず安全・安心に研削液のpHを高め、腐敗臭の原因であるバクテリアの繁殖を抑えることができます。

水溶性研削液に起こる異変

長期休み明け入社して、研削盤の運転を開始すると、鼻を刺激する悪臭が作業場に広がる事があります。これは、研削盤で使用する研削液の腐敗が原因です。研削盤の運転中、研削液はポンプで循環され、濾過しながら何度も使用されます。基本的に研削液は頻繁に交換することではなく、研削液の原液と水を継ぎ足ししながら使い続

けます。すると、いつしか研削液が腐敗し、悪臭を発生させるようになってしまいます。臭気問題は、水溶性研削液を使用している工程で良くみられる現象です。研削液の腐敗は、単に臭いの問題だけに留まりません。加工精度の低下やゲル状物質による配管・フィルターなどの目詰まり、研削砥石の抵抗増大・寿命低下など、様々な悪影響をもたらす可能性があるのです。

研削液の悩みの種 = バクテリア

水溶性研削液が腐敗する原因のひとつは、嫌気性バクテリア(微生物)*の繁殖です。研削液の使用環境は、温度や水分、そして栄養源ということを考えてもバクテリアの繁殖に適した条件が揃っています。長期間、研削液を交換せず使い続けていると液中に機械油が混入し、この油がバクテリアの餌となって繁殖の手助けとなります。それに加えて、夏場などの高温環境では研削液の温度が上昇し、バクテリアは活発化します。研削盤の運転中は常に研削液が循環し空気と混ざり合うため、嫌気性バクテリアが繁殖することはありません。しかし研削盤を長期間停止させておくと研削液中の溶存酸素は消費され、嫌気性バクテリアの繁殖に適した環境となってしまいます。

研削液の腐敗防止対策としては、十分な量の防腐剤を投入する、研削液の濃度を適正值に保つ、適切な温度で管理するなど、バクテリアを繁殖させない環境を作り出すことが重要です。その中で今回はこれまでなかった新しい手法による対策を紹介します。

不思議な水 「スーパーアルカリイオン水」

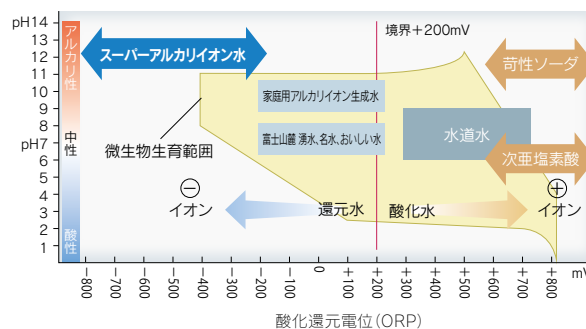
「スーパーアルカリイオン水」(以下SAIW)とは、水の力を最大限に高めたアルカリ水です。一口に水と言っても、ただの水ではありません。SAIWのpH(水素イオン濃度)*は12.5を示し、強アルカリ性に属します(図1)。それにもかかわらず、人が直接触れても問題なく、化学火傷や皮膚刺激といった危険性はまったくありません。SAIWは食品にも使われる炭酸カリウム(K₂CO₃)を水に溶解し電気分解することで生成します。成分の99.83%が水であり、界面活性剤や化学物質は含まれていません。

図1 様々な液体の一般的なpH値



強アルカリ水と聞くと、苛性ソーダ*を使用した物が一般的です。苛性ソーダといえばアルカリ系薬品の代名詞であり、脱脂・洗浄や中和など幅広い業界、用途で活用されています。しかし、苛性ソーダは毒物及び劇物取締法の「劇物」に該当します。皮膚や粘膜に触れると化学火傷や炎症を起こし、目に入れば失明の恐れがあるため、取扱いに非常に気を付けなければなりません。その一方で、SAIWも同じ強アルカリ性ですが、人が直接触れても安全なのは、酸化還元電位(ORP)*が関係しています(図2)。苛性ソーダはORPがプラスであり酸化力が強いのに対し、SAIWはマイナスであり還元力を持ちます。そのため、SAIWは苛性ソーダと異なり、刺激がなく安全・安心です。

図2 様々な液体のpHとORPの関係



SAIW以外にもアルカリ性の水を生成する装置はいくつか存在しますが、水生成時にアルカリ水だけでなく酸性水も生成される、塩素ガスが発生してしまうなど、様々なデメリットがあります。それに対して、ノリタケのSAIWの生成装置にはそれらのデメリットは存在しません。SAIW生成装置(図3)の主なラインナップは3種類あり、型式はSAIWの1時間あたりの生成量で決まっています

図3 SAIW生成装置(左…UF-15α、右…UF-30、UF-60)



(UF-15α…15L/h、UF-30…30L/h、UF-60…60L/h)。炭酸カリウムやフィルターなど消耗品はありますが、電気代や水道代を含めてもランニングコストは1Lあたり約8～13円程度であり、非常にリーズナブルです。

「スーパーアルカリイオン水」で腐敗防止!

では、このSAIWを水溶性研削液の希釈水として使うとどうなるのでしょうか?先ほど述べた通り、SAIWのpHは12.5です。そのため、一般的な水道水などで希釈するよりも、SAIWで希釈することでより高いpHの研削液が出来上がります。種類によって異なりますが、細菌などの微生物には生育可能なpHの範囲があります。pHを高い値で保つことで、研削液に繁殖しやすい細菌は基本的に生育できなくなります。その結果、腐敗の進行を食い止め悪臭の発生を抑制し、更液の頻度を減らすことができます。ただし、研削液にはアミンという成分が含まれており、SAIW中の水酸化物イオン(OH⁻)がアミンと結合し消費されます。そのため、もともとpH12.5の

SAIWも研削液と混ざるとpH10～11程度に低下します。また、長期使用し既に腐敗した研削液にSAIWを添加する場合、効果が現れるまで時間がかかるため、研削液を更液するタイミングで使用開始することを推奨します。

一般的には、研削液が腐敗しpHが下がってしまった場合、研削液の原液を追加して濃度調整したり、防腐剤を入れて殺菌したりする対策が取られます。しかし、作業者の視点に立つて考えると、色々な薬品が添加された研削液に毎日触れていると手荒れに悩まされる場合があります。希釈水を安全・安心なSAIWに変えることで作業者の作業環境改善につながります。

水の腐敗は、水溶性研削液だけではなく、水洗式塗装ブースの循環水や、鋳造工程における金型用冷却水、チラー用の循環水など、様々な場所で発生し、多くの人が悪臭に悩まされています。使用する水をSAIWに変えることで環境改善の助けとなればと切に願います。

「スーパーアルカリイオン水」は洗浄に効果あり

これまで、SAIWを水溶性研削液の希釈水として使用する場合について説明しました。しかし、SAIWの最も特徴的な効果は、強アルカリによる洗浄力にあります。SAIW中に含まれる水酸化物イオンが、物体の表面に付着した汚れを取り囲みます。さらに、汚れの界面に浸透していき、物体表面からはく離させ、最終的に汚れを包み込んで石鹸化します(図4)。そのため、水が汚れてもある程度の期

図4 SAIWによる洗浄イメージ

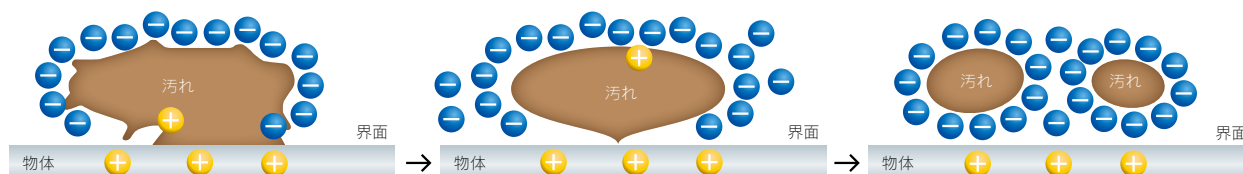


図5 SAIWノードカンサー



間は強アルカリを保ち効果が持続します。

中性洗剤やアルカリ洗浄剤の多くは、界面活性剤の影響により泡立ちが起こるため大量の水ですすぐ必要がある、人体に影響があるため取扱いに注意しなければならない、使用後の産廃処理に費用がかかるなど、様々な問題点がありました。それに対し、SAIWは99.83%が水で、界面活性剤を含んでおらず泡立ちもないため、すすぐ水の量と洗浄時間を削減できます。また、BOD*やCOD*は含んでいないので、産廃処理のコストも薬品を使用した場合より安くなります。

SAIWは、金属加工部品の脱脂洗浄や洗浄機の洗浄液に最適です。それだけに留まらず、機械まわりの油よごれの洗浄、作業場の床の洗浄、工具の洗浄、ヘルメットや手袋などの洗浄・除菌など、あらゆる場面で活用できます。

ただし、洗浄液で有機溶剤の代替として検討する場合、pH12.5では効果が出ないことがあります。その場合にはSAIWを加熱したり、5倍強力なpH13.1のSAIWを使用したりするなどの措置があるため、用途によっては注意が必要です。

[注釈]

- ※嫌気性バクテリア：繁殖に酸素を必要としない微生物
- ※水素イオン濃度 (pH)：水溶液の性質を表す単位があり、pH1～6までを酸性、pH7を中性、pH8～14をアルカリ性と呼ぶ。一般的な水道水はおよそ7～8
- ※苛性ソーダ：水酸化ナトリウムの慣用句。強アルカリ性の薬品として幅広く使用される
- ※酸化還元電位 (ORP)：液体の酸化させる力と還元させる力との差を電圧 (mV) で表したものの。電圧値がプラスであれば酸化力が強く、マイナスであれば還元力が強い
- ※BOD (Biochemical Oxygen Demand)：生物化学的酸素要求量。水質指標のひとつ。微生物が一定時間中に水中の有機物 (汚物) を酸化・分解する際に消費する溶存酸素の量
- ※COD (Chemical Oxygen Demand)：化学的酸素要求量。水質指標のひとつ。水中の有機物などの汚染源となる物質を過マンガン酸カリウム等の酸化剤で酸化するときに消費される酸素量

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●		●	●	●
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
●		●	●	●

これからの研削液濾過システム

ノリタケでは、マグネットセパレーター「マグドライ」、液体サイクロン「ミラクルエース」、これらを組み合わせた研削液タンクユニットといった、濾過装置を製造・販売しています。これまで培ってきた技術を活用し、SAIW生成装置を搭載した研削液希釈装置 (SAIWノードカンサー) を新たに開発しました (図5)。希釈水としてSAIWを使用して、研削液の濃度が自動で調整された液を各研削盤の研削液タンクに供給することができます。安定した研削液を供給するだけでなく、作業者の負担軽減にも役立つ製品です。

ノリタケは、研削・研磨のリーディングカンパニーとして、人や環境に優しいものづくりに貢献できるようにこれからも取り組んでいきます。

半固定砥粒研磨パッド“LHAパッド”とSiC単結晶の研磨

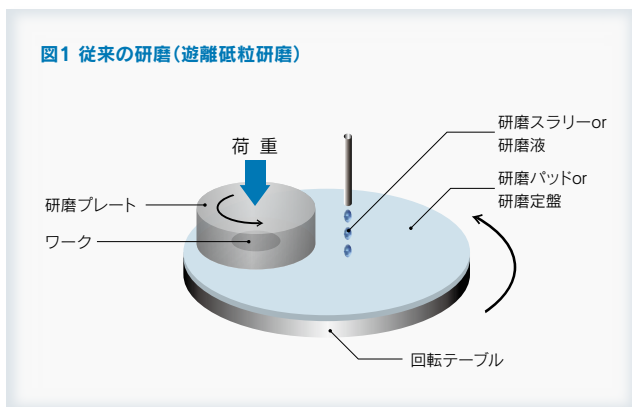
[展開性・目指す方向性]

電子・半導体、MEMS※、光学部品向け研磨工程での“遊離砥粒研磨の置き換え”を図り、“加工の高能率化、加工面の高品位化”を目指しています。

ノリタケが開発した半固定砥粒研磨パッド“LHAパッド”は、網目状樹脂に砥粒を挟み込んだ構造であり、砥粒がその場から大きく動かずに転がります。この構造が遊離砥粒研磨の高い研磨能率と固定砥粒研磨の高平坦性というメリットを両立させます。また、LHAパッドを用いて強酸化剤を援用しながらSiC単結晶を研磨したところ、従来方法では研磨中にどうしても発生してしまう傷がほとんど発生しませんでした。さらに、LHAパッドで研磨したSiC単結晶ウェーハの表面付近の断面をTEMで観察したところ非常にきれいな原子配列が観察され、ウェーハ上にパワーデバイスを成形可能な状態であることが判明しました。

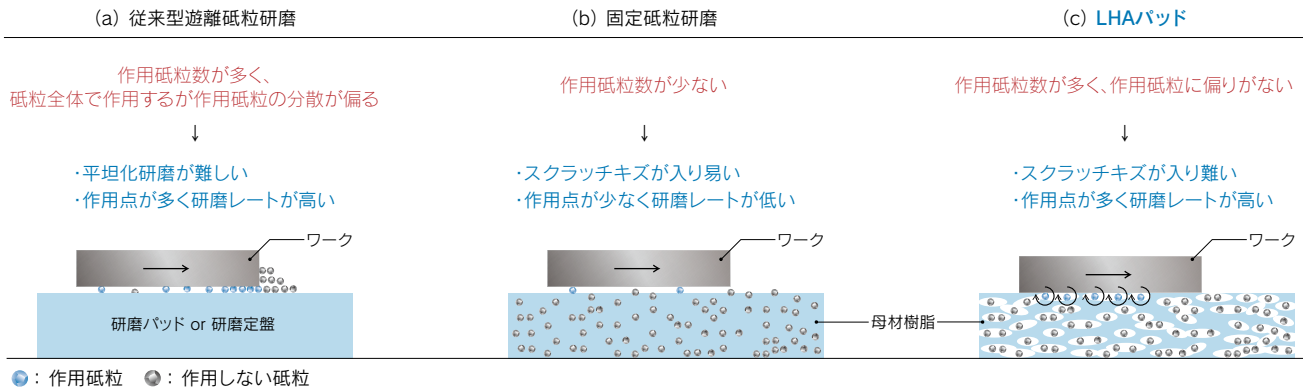
01 | 研磨の常識を変えるLHAパッド ～ノリタケからの提案～

従来の研磨方法とメカニズム



“研磨”という加工方法についてご存知でしょうか？スマートフォンやパソコンの中のCPUやメモリの製造過程、カメラや顕微鏡の中にある光学レンズの製造過程など様々な分野で使われています。これら従来の研磨は、図1のように回転する円形テーブルの上に樹脂・織布・不織布等のできたシート（以降研磨パッド）もしくは金属・樹脂金属複合材料・セラミックス等のできた円板（以降研磨定盤）を載せ、さらにその上に砥粒を液体（水や油等）に分散させた研磨スラリーを撒きながら研磨したい物（以降ワーク）を研磨パッドもしくは研磨定盤に押し当てることによって行われ

図2 砥粒の作用のしかた



ます。

ここで、砥粒は実際に研磨を行うものであり、研磨パッドもしくは研磨定盤は砥粒をワークに作用させ、動かせる役割をします。

また、研磨スラリー中の液は砥粒を分散させたり、研磨パッドもしくは研磨定盤とワークとの間で起きる摩擦を低減したり、摩擦熱を逃がしたり、場合によってはワークとの間で化学反応を起こし柔らかくすることにより砥粒の働きを手助けもします。

研磨加工の悩み

従来の研磨方法(以降遊離砥粒研磨)は図2(a)のように砥粒の分散の偏りがあるため、平坦に磨くことが非常に難しくなります。

これに対し砥粒の分散の偏りがないように砥粒を研磨パッドや研磨定盤に固定し、砥粒の入っていない液体(以降研磨液)を掛けながら研磨する方法(以降固定砥粒研磨)がありますが、この方法は図2(b)のように面方向の砥粒の分散の偏りは少なくなりますが、母材中の上下方向の砥粒の分散の偏りも少なくなるためワークに当たる(動く)砥粒数が少なくなり、結果として研磨能率が低くなります。さらに砥粒1粒あたりに掛かる荷重が高くなり傷が入りやすくなります。

悩みを解決する LHAパッドによる研磨

遊離砥粒研磨と固定砥粒研磨の両者の良いところを生かすために考案されたのがLoosely Held Abrasive(以降LHA)構造の研磨パッドであるLHAパッド¹⁾²⁾です。構造自体は図3や図4のように、非常に細かな網目状の樹脂に砥粒が挟まった構造であり、固定砥粒研磨と同様にこのLHAパッド

図3 LHAパッドの断面写真

網目状樹脂に砥粒が挟まっている。

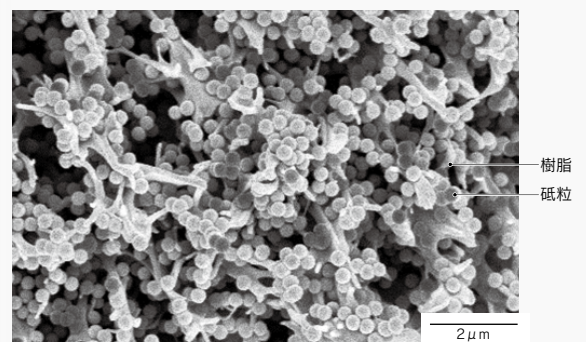


図4 LHAパッドの構造

LHAとはLoosely Held Abrasiveの略で繊維状の母材中に砥粒が挟まり、砥粒が完全には固定されていない構造を有する研磨工具である。

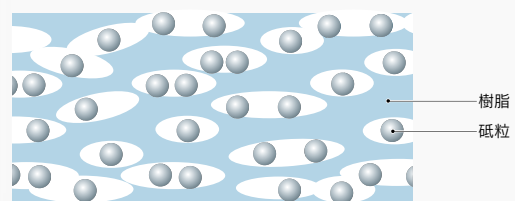
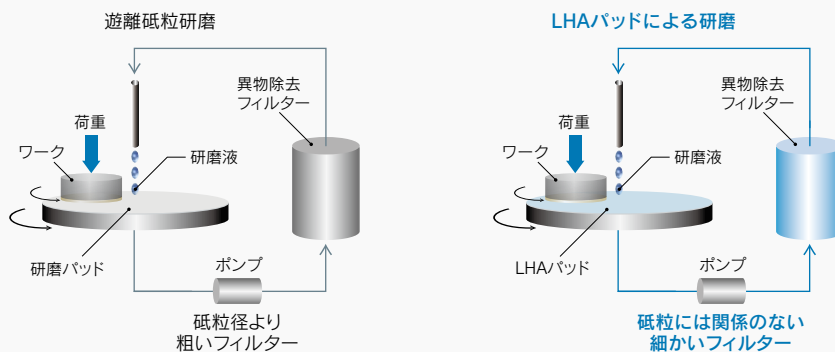


図5 研磨スラリー・研磨液を循環する場合



に研磨液を掛けながら研磨を行います。このとき、砥粒は図2(c)のように作用し、砥粒がワークに数多く均質に当たるため、高い研磨能率と平坦化研磨の両立という従来の常識を変える研磨を行うことができます。

また、研磨スラリーの循環を行いながら研磨する場合(図5)、遊離砥粒研磨は砥粒径より細かなフィルターを使用

することが出来ないため、砥粒径に近いサイズの異物が研磨スラリーに混入した場合、傷が入る確率が高くなります。これに対しLHAパッドを用いた研磨では砥粒が入っていない研磨液を掛けながら研磨を行うため、砥粒径に関係なく、細かなフィルターを通しての研磨液の循環が可能であり、異物が研磨液に混入しても傷が入り難くなります。

02 | LHAパッドをSiCの研磨に適用したら…

ここでは、LHAパッドによるSiC単結晶の研磨の試みを紹介します。

期待の半導体材料SiC

スマートフォンやパソコン等に使用されている半導体の多くがシリコン(Si)という素材で出来ています。このシリコン半導体はCPUやメモリの他にもパワーデバイスと呼ばれる電力や電気信号を制御する素子としても使われています。しかし、シリコンのパワーデバイスは大きな電力を扱う時には、電力の一部が熱になってしまうため電力のロスが生じるという問題があります。そこで電力のロスが少なく効率的に扱うことができ、省エネを実現できる次世代半導体材料が新たに登場しています。次世代半導体の代表例と

してSiC単結晶が挙げられており、電気自動車(図6)、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車の大きな電力を必要とする駆動モーターの制御用途で大量に使用されることが期待されているものの、従来型のシリコンパワーデバイスに比べ高価であることが課題です。

図6 パワーデバイスの使われ方の一例(電気自動車)

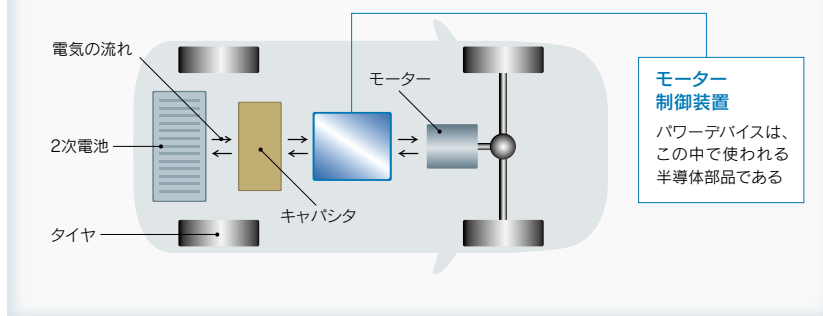
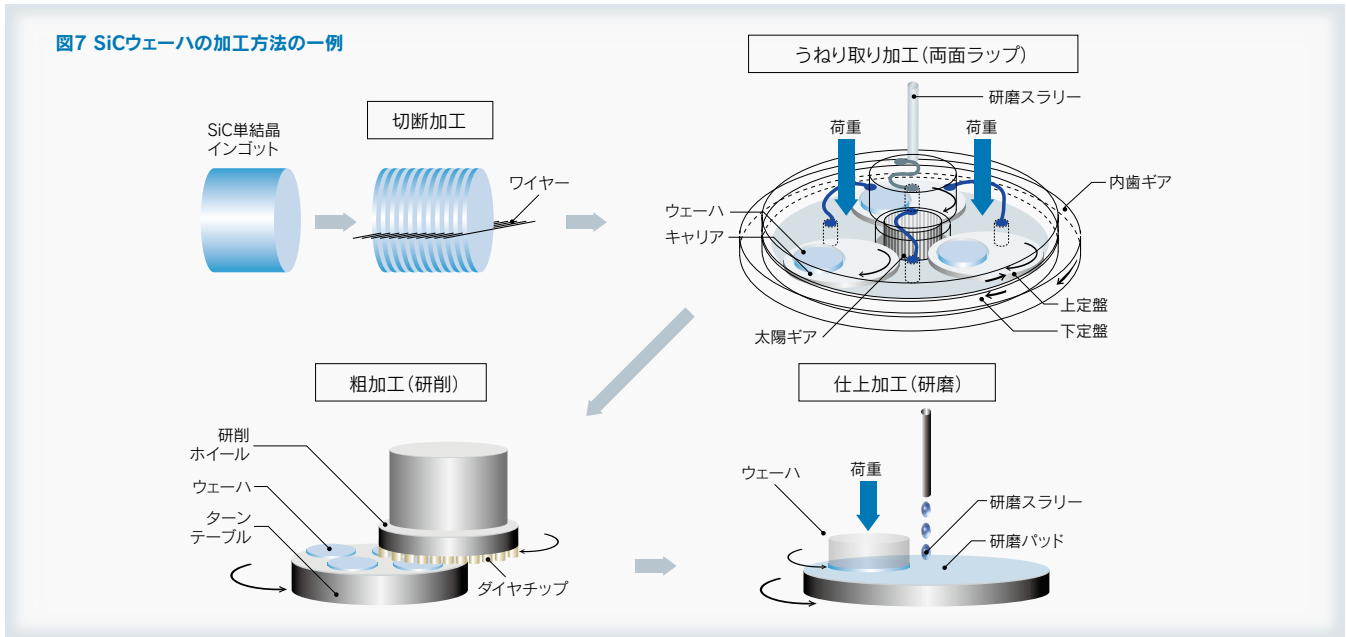


図7 SiCウェーハの加工方法の一例



SiCの加工プロセス

SiC単結晶をパワーデバイスとして使うためには薄いウェーハ形状にしなければなりません(代表的なSiC単結晶ウェーハ加工プロセスを図7に示します)。しかしながら、SiC単結晶は砥粒に使用されるほど硬い材料であり、通常の研磨では研磨能率が低く、研磨の工程が長時間となります。このことが製造原価を押し上げる大きな要因の一つとなっています。

SiCの新しい研磨プロセス

研磨能率向上に対応するため、ノリタケではさまざまな研磨実験や研究を行い、SiC単結晶に対し強酸化剤が研磨能率

向上に大きく寄与することを発見^{③④⑤}しました。そして、現在はLHAパッドに強酸化剤を援用しながら研磨する新しい研磨プロセスを開発しています。

表1の試験条件でこの新しい研磨プロセスをもちいてSiC単結晶ウェーハを研磨した結果を示します(図8~10)。今回はφ6インチのSiC単結晶ウェーハを3枚、研磨プレートに貼付けて研磨しました。ウェーハは通常パワーデバイスで用いら

表1 試験条件

研磨装置	φ36インチ片面研磨機	
研磨ワーク	SiC単結晶[4Hタイプ]基板 Si(シリコン)面[0001]	切り出し角4° φ6インチ×3枚
研磨圧力	30 kPa	
テーブル回転数	35 rpm	
研磨液	・ノリタケプリカントLSC-1 (LHAパッド用強酸化剤研磨液) ・強酸化剤研磨スラリー (遊離砥粒研磨用・従来法)	
加工時間	2時間	

図8 研磨性能の比較(研磨能率)

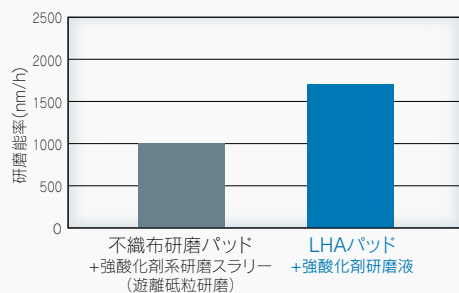
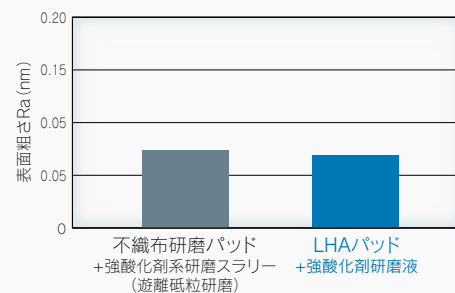


図9 研磨性能の比較(表面粗さ)



れている面(切り出し角4°のSiC面^{*})を用いました。図8のようにLHAパッドによる研磨の研磨能率は遊離砥粒研磨の1.7倍と非常に高くなりました。またこの時の表面粗さは図9のようにほぼ同等となりました。

一般に研磨を行う場合、研磨能率が高くなると表面粗さが粗くなる傾向となりますが、LHAパッドは遊離砥粒研磨に対し表面粗さが同等のまま研磨能率が高くなっているため非常に研磨性能が高いと言えます。さらに図10のように研磨後のSiC単結晶ウェーハの表面の微細な凹凸を比較すると、LHAパッドの研磨面は遊離砥粒研磨に対し、細かくなっているため、より均質な研磨が出来ていると言えます。また、図11のように遊離砥粒研磨は傷が入りますがLHAパッドによる研磨は傷が全く入っていません。これらの結果から研磨面品位が非

常に高い事が判明したので、図12のようにLHAパッドで研磨後のSiC単結晶ウェーハの断面をTEM(透過型電子顕微鏡)で観察しました。

一般にSiC単結晶ウェーハ上にパワーデバイスを作る際に、結晶の乱れがあるとパワーデバイスを作ることが出来ません。図12では表層まで原子配列が鮮明に見え、結晶の乱れが無いことが分かりました。これはウェーハに対するダメージが皆無、もしくはダメージを除去できた状態で研磨が終了し、パワーデバイスを作ることが出来る状態であることを意味します。このようにLHAパッドを用いた新しい研磨プロセスはSiC単結晶ウェーハを高品質かつ短時間で研磨できる可能性を秘めています。

図10 研磨性能の比較(表面高さ分布)

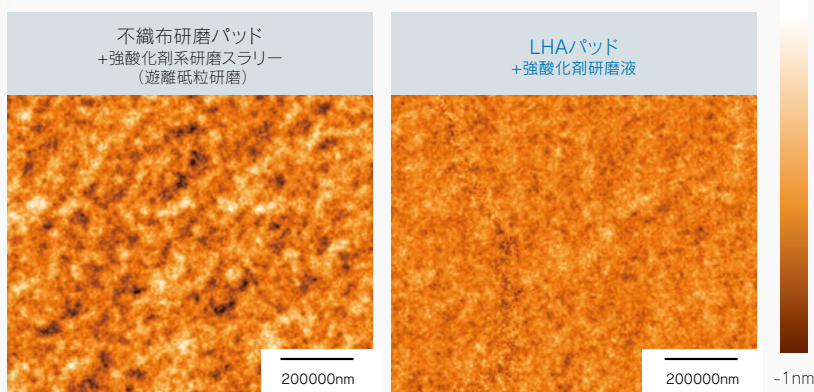


図11 研磨性能の比較(傷の比較)

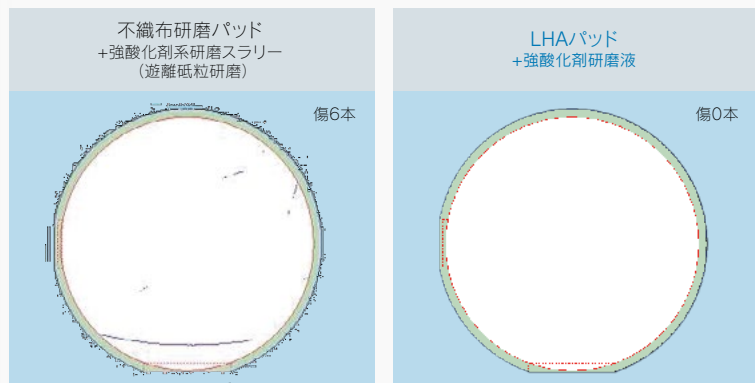
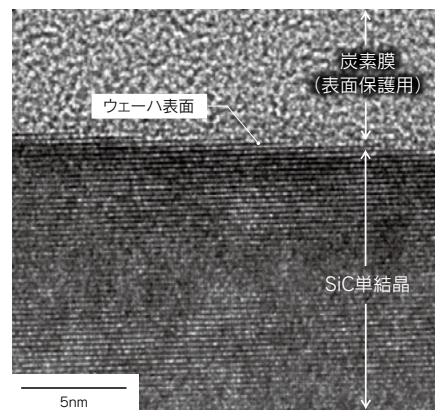


図12 LHAパッドで研磨したSiC単結晶のTEM断面像

SiC単結晶ウェーハ表面近くまで原子の配列を鮮明に見ることが出来る。



03 | 普及が期待される技術の芽———LHAパッド

以上のようにLHAパッドの構造解説とSiC単結晶の研磨事例を紹介しましたが、遊離砥粒研磨と固定砥粒研磨との良いとこ取りを実現したLHAパッドは、まだまだ用途開発の途中であり、様々な加工への適用をトライしている最中です。

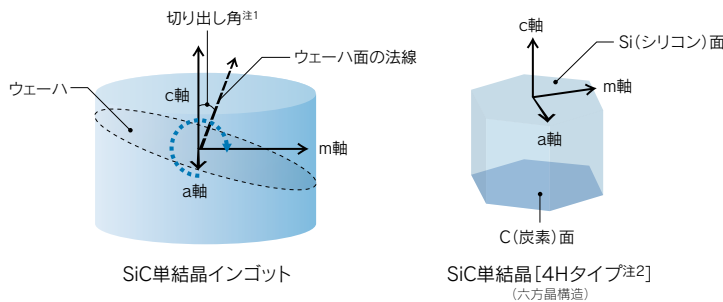
例えばシリコンウェーハの研磨や先端材料であるGaNの研磨に適用できることは確認していますが、今後はさらに適用事例を積み上げていく予定です。

[注釈]

※MEMS: Micro Electro Mechanical Systems の略で微細加工技術を用いて作られた機械要素部分や電子回路を集積化したデバイスを意味します。実用化されている(比較的大きな)ものの例としてはスマートフォン等のオートフォーカス機構、ハードディスクのヘッドの制御機構、インクジェットプリンターのヘッド等があります。

※図13のようにSiC単結晶の結晶c軸面(c軸を法線とする面)はシリコン(SiC)面[0001]とC(炭素)面[000-1]があり、ほとんどの場合Si面側にデバイスを作ります。一般的にはSi面側が研磨しにくくなります。⁷⁾

図13 SiC単結晶の構造とウェーハの切り出し角



注1: パワーデバイス用ウェーハの場合、a軸周りに2~4°傾けて切り出したものが多い
注2: パワーデバイス用にはポリタイプ⁶⁾が4Hタイプのものを使う場合が多い

[参考文献]

- ① M.Sato, T.Nonami, J.Ishizaki, : "Polishing Pad with Loose Held Abrasive Structure", Journal of the Ceramic Society of Japan Supplement 112-1, 112[5]2004.
- ② 佐藤誠: "研磨体およびその製造方法", 特許第4266579号
- ③ M.Sato, K.Okuda : "Polishing of Single Crystal SiC with the LHA Pad", The 11th International Conference on Precision Engineering (August 16-18, 2006, Tokyo, Japan) proceedings, "Towards Synthesis of Micro-/Nano-system", p271-275.
- ④ 佐藤誠・奥田和弘: "砥粒内包パッドの開発(3)", 2006年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p555-556.
- ⑤ 佐藤誠・奥田和弘: "結晶材料の研磨加工方法", 特許第5336699号
- ⑥ 松浪弘之(編著): "半導体SiC技術と応用", 日刊工業新聞社(2003), p15-31
- ⑦ 佐藤誠: "SiC単結晶の酸化剤援用研磨とそのメカニズム", 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, p241-242

■適用範囲と期待効果

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
		●	●	●
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
●		●		

■技術名

マイクロ・ナノバブル発生器

[著者] 清水 友佑 エンジニアリング事業部 流体テクノ部 製品開発グループ

技術の芽

研削液への マイクロ・ナノバブル技術の応用

[展開性・目指す方向性]

研削液の安定維持(腐敗・臭気抑制、混入油・微細切粉浮上分離)、
工具寿命向上、加工効率アップ

日本発の革命的な技術であるマイクロ[※]・ナノバブル[※]は、様々な産業において活用が進んでいます。

加工分野においてマイクロ・ナノバブルを用いると、研削液の安定維持や、

研削砥石などの工具寿命向上、加工面品位向上が可能との研究結果が報告されており、

一部研削盤メーカーでは加工能率の大幅アップを達成した製品も実用化されています。

ノリタケでは、多孔質セラミックを用いたマイクロ・ナノバブル発生器の開発を行っており、

研削砥石・研削液濾過装置と組み合わせて環境改善と加工性能向上の両立に取り組んでいます。

日本発の技術

「マイクロ・ナノバブル」の活用

マイクロ・ナノバブルは日本で開発された技術です。マイクロ・ナノバブルの産業利用は、水へ気体を供給する用途で多く実用化されています。例えば排水処理における曝気工程(排水を分解する微生物へ酸素を送る処理)では、微細な気泡を使用することで処理効率が上がり、気体を送り込むブロー設備に要する電気エネルギーの削減に役立っています。魚介類の養殖においても利用されており、気体供給の効率化、魚介類の酸素吸収促進によってサイズアップ・鮮度向上を図っています。

また、微細な気泡が汚れに吸着・剥離する効果を利用した、工業用の洗浄装置や、一般家庭向けにも体の汚れが落ちやすくなるお風呂・シャワー、洗浄効果を高めた洗濯機が市販されています。機械加工においても加工能率向上、工具寿命向上などの効果が期待されています。

マイクロ・ナノバブルの性質

100 μm 以下の微細な泡をマイクロバブル、1 μm 以下になるとナノバブルといいます。

大きな泡は、発生すると速やかに浮上し液面ではじけて消えてしまいますが、マイクロ・ナノバブルのような小さい泡になるとその挙動が変わってきます(図1)。マイクロバブルの

図1 マイクロ・ナノバブル発生の様子



状態になると、例えば水に発生させると白く濁ったように見えます(図2左)。泡の浮上速度は非常に遅くなり、マイクロバブルが液面に浮上して消えるまでには数分かかります。ナノバブルまで小さくなると、人の目では存在が確認できず、見た目にはただの水と変わらないように見えますが(図2右)、レーザーを使った微粒子の測定手法を用いると泡の存在が確認できます(図3)。ナノレベルの泡は浮上速度が極めて遅く、液体中に停滞する性質があります。そのため、発生させた泡を数日経過してから計測しても、泡の個数が変わらないといったことも確認されています。

また、目に見える違い以外にも、泡がマイナスの電荷をもっていて、泡が小さくなるにつれて電荷も大きくなっていくといった特徴があります。

マイクロ・ナノバブルを発生させる代表的な方式には以下の4つがあります。

①エジェクター方式

エジェクター(ベンチュリー効果で負圧を発生させる配管)で少量の気体を吸引し、液体と混合して噴射する方式です。

②旋回流方式

液体サイクロンのように偏心位置から円筒内に液体を流入させて旋回流を作り、中心の渦流を小さい穴から噴射し強いせん断力を与えることで微細気泡を生成させる方式です。

③加圧溶解方式

液体と気体を加圧状態で混合して溶解し、その後減圧状態に解放し溶存気体を微細気泡として析出させる方式です。

表1 マイクロ・ナノバブル発生方式と長所、短所

①エジェクター方式 ②旋回流方式	長所	・発生器の構造がシンプルでメンテナンスが容易 ・気体の供給源が不要(自吸可能)
	短所	・添加できる気体流量が少ない ・使用には高揚程(20mH以上)のポンプが必要
③加圧溶解方式	長所	・得られるマイクロ・ナノバブルの数密度が高い
	短所	・構成機器点数が多い (ポンプ、溶解管、圧力調整弁等)
④微細孔方式	長所	・気泡発生にポンプなどの動力が不要で最も導入が容易 ・水以外の粘度の高い液体への気泡発生が可能
	短所	・気泡径分布が比較的大きい

図2 マイクロバブルとナノバブルの違い

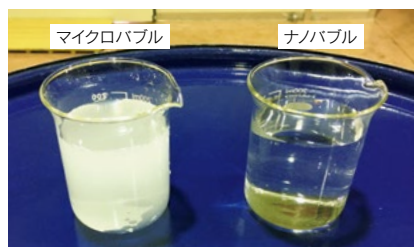


図3 レーザー光によるナノバブルの可視化



④微細孔方式

樹脂や焼結金属、セラミックなどで微細な孔を形成し、そこから気体を放出する方式です。

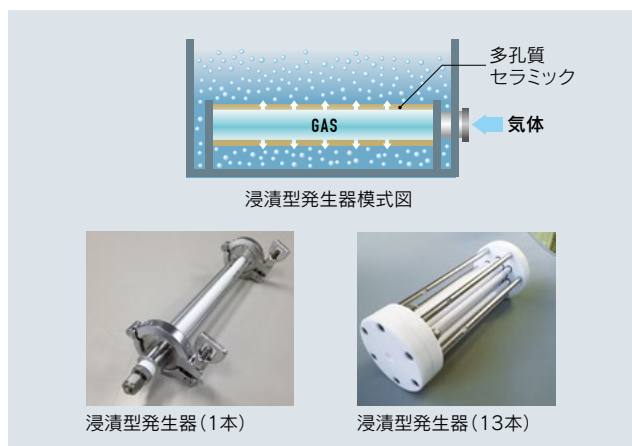
ノリタケでは、自社のコア技術であるセラミック製造手法の活用、研削液濾過装置への組み込みの容易さ(設置方法、コスト)から、多孔質セラミックを用いた微細孔方式発生器の開発に取り組んでいます。

ノリタケ製マイクロ・ナノバブル発生器のメカニズム

ノリタケが開発製造している多孔質セラミックは管状に成形され、膜面の気孔サイズが均一に制御されています。膜面に一定の圧力をかけることで液中へ微細な気泡を放出できます。材料には純度の高いアルミナを使用しており、強度・耐薬品性に優れます。

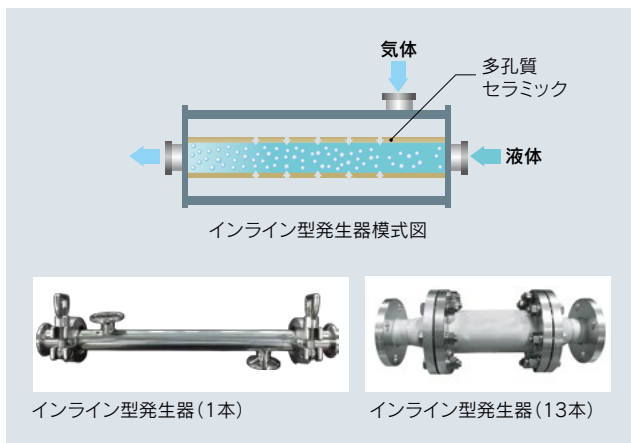
微細気泡を発生させる発生器には、1浸漬型と2インライン型の2種類があります。

1 浸漬型



多孔質セラミックの内面へ気体を供給し、外面へ微細気泡を放出させる発生器です。容器、タンクの底面に設置して使用します。気体の供給源を準備して発生器に繋ぐだけで使用できますので、設備の改造が不要で容易に導入できます。

2 インライン型



浸漬型とは逆に、外面より気体を供給し、多孔質セラミック管内を通過する液体へ微細気泡を発生させる発生器です。液体の移送配管に取り付けて使用します。管内面から発生する微細気泡を液流で剥ぎ取りますので、浸漬型と比べてより微細な気泡が得られます。また、油性研削液のような粘性の高い液体への気泡発生にも使用できます。

浸漬型、インライン型ともに、多孔質セラミックを複数本組み込んだ発生器も製作でき、必要な処理能力に合わせて最適な本数を選択することができます。

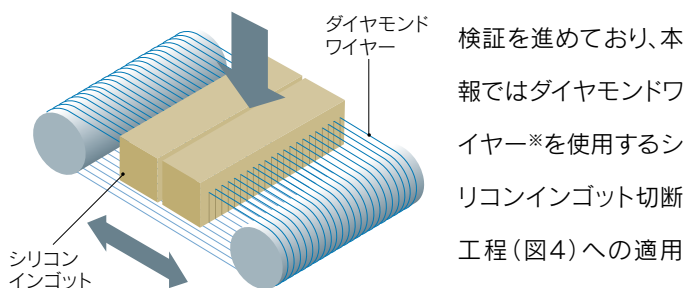
臭気抑制や異物の浮上分離など研削液の安定維持を目的とする場合はタンク内へ常に大量の気泡を発生できる浸漬型が適しており、工具寿命延長や加工性向上など加工点へ確実に微細気泡を送り込む必要がある場合はインライン型が適しています。

加工分野への応用事例

金属加工分野では、大学のグループが水溶性研削液へのマイクロ・ナノバブルの応用研究について取り組んでいます。^[1]

また、マイクロ・ナノバブル発生器を搭載した高能率研削盤もいくつかの研削盤メーカーから製品化されています。^[2]

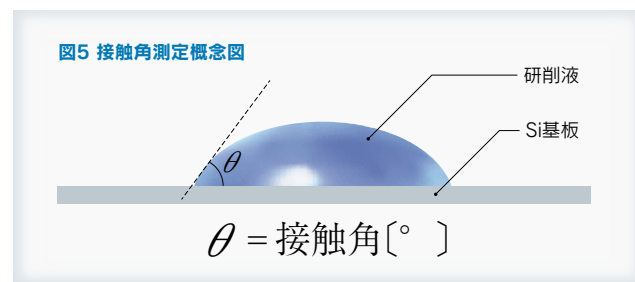
図4 ダイヤモンドワイヤーによる切断イメージ



ノリタケでもテスト検証を進めており、本報ではダイヤモンドワイヤー*を使用するシリコンインゴット切断工程(図4)への適用

検討事例をご紹介します。ダイヤモンドワイヤーによるシリコン切断では、③ワイヤーの細線化への対応のためワイヤーとシリコンの隙間に研削液を上手く浸透させることと、⑤加工により生じるシリコン切り屑のワークへの付着軽減が課題となっています。マイクロ・ナノバブルによってこれらの課題を解決できるか、検証を行いました。

④浸透性の評価は、表面張力の変化を見るためにシリコン板上での研削液の接触角を計測しました(図5)。マイクロ・ナノバブルなしの状態では10回測定時の平均値が14.8°でしたが、微細気泡発生後の研削液で同様の測定を行うと5.6°に低下しました。マイクロ・ナノバブルの持つマイナス電荷によって、シリコンへの濡れ広がりがよくなったものと推測します。実際の加工へ適用した場合、シリコン切断面への研削液浸透性向上によってダイヤモンドワイヤーの寿命向上、細いダイヤモンドワイヤーを使用した場合の加工性向上が期待できます。



⑥シリコン切り屑付着軽減については、切断加工後のシリコン微粉を混ぜた研削液をステンレス板に流下させた後に乾燥させ、粒子の付着状態を確認しました(図6)。目視により確認すると、マイクロ・ナノバブルを発生させた方がシリコンの付着が少ない結果となりました。実際の加工現場では、ダイヤモンドワイヤー装置ワーク内の汚れ低減、切断面からの切粉排出促進による表面粗さ向上が期待できます。

図6 シリコン付着確認



これまで行ったテスト検証の結果として、加工分野におけるマイクロ・ナノバブルの応用には以下の効果を期待できる

ことが分かりました。

▶加工サイクルタイムの短縮

研削時の消費電力値が下がりますので、切込み量やワークの移動速度を上げることができ、加工時間が短くなります。

▶加工面性状の改善

マイクロ・ナノバブルによってワークと研削砥石の間から砥粒・切り屑の排出が促進されるため、加工後の表面粗さが細かくなります。

▶研削工具寿命の向上

研削液の浸透性が高まるため、研削抵抗が下がり砥粒の脱落が抑えられ、研削砥石等の研削工具が長持ちします。

▶研削液の臭気抑制

研削液の嫌な臭いのもととなる嫌気性バクテリアの繁殖を、マイクロ・ナノバブルを発生させ続けることによって抑制でき、研削液の長寿命化が図れます。

▶混入異物の浮上回収

一般の濾過装置では除去できない油分や微細な切り屑にマイクロ・ナノバブルが吸着して浮上させるため、簡単に回収することができます。

マイクロ・ナノバブルによる
新たな加工技術を皆様へ

ノリタケはマイクロ・ナノバブルを使った研削に適する砥石の開発、マイクロ・ナノバブル発生器を組み込んだ研削液濾過装置の開発に取り組んでいます。加工条件によって効果の大小があるため、最適条件の見極めが課題となっておりますが、研削砥石・研削液・濾過装置を全て取り扱う研削・研磨の総合メーカーとして、技術を確立し、加工分野に携わる皆様へ広く製品をお届けしたいと考えています。

■適用範囲と期待効果

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Alなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●		●		●
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
●	●	●		●

[注釈]

※マイクロ：1μm(マイクロメートル)は1mの百万分の1の長さ

※ナノ：1nm(ナノメートル)は1mの十億分の1の長さ

※ダイヤモンドワイヤー：太陽電池用ウエーハ(基板)に使用されるシリコンやLED基板に使用されるサファイアなどの各材料をスライスするのに使用される工具

[参考文献]

① FT専門委員会 第26回研究会・セミナー「高機能マイクロ・ナノバブルの生産加工への最新応用事例」講演資料

[社外発表]

FT専門委員会 第26回研究会・セミナー「高機能マイクロ・ナノバブルの生産加工への最新応用事例」

[特許(出願中)]

・2016-011680 微小気泡発生具および装置

・2016-055834 微小気泡発生装置

・2016-055841 微小気泡発生装置

Q 使用する場合、取り付けるために大掛かりな改造工事が必要でしょうか？

A 浸漬型発生器は、コンプレッサーやガスボンベなど気体の供給源さえあれば研削液タンクに設置するのみで使用できます。インライン型を使用する場合には、研削液供給ポンプから加工点ノズルまでの配管経路の改造が必要ですが、ホース等での接続も可能ですので大掛かりな工事は必要ありません。

Q 試してみたいと思うのですが、装置はテスト的に借りすることはできますか？

A 小型の貸出器を保有していますので、現場に持ち込み実証試験を行うことが可能です。

Q マイクロバブルとナノバブルに効果の違いや、向き不向きなどはあるのでしょうか？

A 研削液中の異物除去、バクテリア繁殖抑制といった用途にはマイクロバブルの利用が適しています。加工能率向上、工具寿命延長、表面粗さ向上にはナノバブルの効果が大きく貢献していると考えていますがメカニズムは十分に解明できておらず、ノリタケでも継続して研究を行っています。



IoTにより変わりゆくものづくりの現場

[著者] 五十君 智 工業機材事業本部 技術本部 研削ソフト技術部 加工技術グループ

研削工具および研削加工とIoTとの関わりおよびそれによってもたらされる期待効果について

時代は「IoT」

「最近、IoTという言葉をよく耳にします。」という書き出しを色々なところで目にする様になりだして数年が経ったでしょうか。IoTという言葉は1999年には使われ始めていたと言われており^①、その言葉が持つパワーに何か我々の生活が大きく変わってしまうのかと戦々恐々とした私もその一人です。あらゆる「モノ」がインターネットで繋がり、クラウド上に情報を蓄積する。それをAIを使って分析^②し情報（アウトプット）をフィードバックすることで然るべき処置に繋げるという一連の流れがIoTのモデルイメージです。図1にモデルイメージを示します。

実際、私はアナログ時代の人間ですので、身近なところでその恩恵に預かっているという実感を持つことは少ないです。しかし、たとえば私がコンビニで買い物をしたら、買ったものや時間、私の見た目年齢といった情報はクラウド上に蓄積されているかもしれません。よく考えてみると先日インターネットショッピングで購入した趣味の釣り竿を待ちきれず、今どこにあるか配送状況を何回もスマートフォンで調べているのもある種のIoTかもしれません。IoTは確実に「検証」の時代から「実装」の時代に移り変わっており、ものづくりの現場においてもIoTを取り入れることで「ものづくりの高度化」が成され始めています。

図1 IoTのモデルイメージ





ものづくりにおけるIoTの活用

ものづくりの現場でIoTを活用すると、以下の様な効果やアウトプットを得られることが期待されます。

- ・製造ラインの最適稼働
- ・製品のトレーサビリティ[※]
- ・加工条件の最適化
- ・加工不具合の検知、予知
- ・製造設備の故障検知、予知
- ・品質不良の低減
- ・製造ラインの省人化(自動化の促進)
- ・開発、営業判断、経営判断のための情報入手 等

実際に工作機械においても機械振動や機械各部の温度、加工抵抗などから故障を予知し、事前対処できるシステムが発表されていたり、様々な生産データを生産計画や在庫管理、トレーサビリティにいかす試みが行われています。これらの動きは現状、基本的には工作機械メーカーが主導しているイメージであり、各社が様々なシステム形態を模索、提案しています。

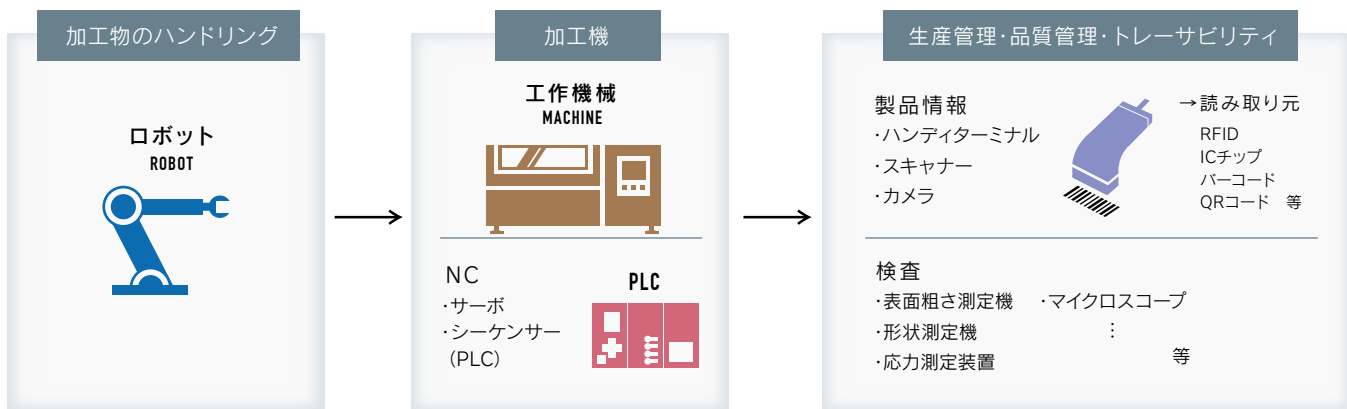
その様な状況において、研削工具メーカーであるノリタケには何ができるのでしょうか。今、ノリタケが捉えるべき世の中の中の“要望”とは？ それを考えると、研削業界の未来の姿が見えてくるのではないかと考えているのです。

なにはなくともIoTのスタートはセンシング!

IoTの根幹でもある「データ収集」ですが、ものづくりの現場でデータを得るために用いられるデバイスはいくつかありま

す^③。図2にその一例を示します。

図2 ものづくりの現場で用いられるデバイス



現在研削加工において、工具やワークの状態を判断することに対してどのようなデータが用いられているでしょうか。状態をモニタリングできるデータとその活用方法の一例を表1に示します。

表1 研削加工において主に用いられるデータとその活用方法の一例

データ	活用方法の一例
消費電力値	研削工具の切れ味の良否判断に対する指標
ワーク寸法	ワークの出来栄え、研削工具の切れ味の良否判断に対する指標
研削温度	ワーク品質への影響に対する判断指標
研削音	研削工具の切れ味の良否判断に対する指標
振動加速度	研削砥石の動バランス※修正
AE波	研削砥石とドレッサの接触検知
工具摩耗量	研削工具の寿命評価

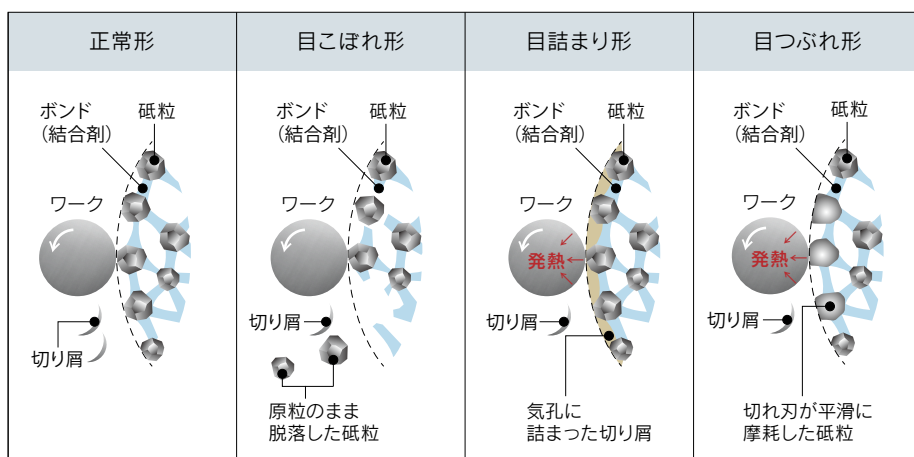
これらのデータから得られた情報を活用することで、研削加工の高度化が見込まれます。

その中でも特にノリタケが着目しているのは「AE波」です。

「AE」とはAcoustic Emissionの略で、物質が変形したり破壊したりする時に放出される音波（弾性エネルギー）のことです。AE波を測定することで破壊に至る小さな変形や微小クラックの発生・進展を捉えることができ、実際に材料や構造物の欠陥や破壊の発見・予知に使われています。技術としては古くから用いられており、ノリタケにおいてもAE波をタッチセンサー（ドレス時において研削砥石とドレッサの接触を検知する）として利用する「スーパータッチャー」という製品があり、多くのお客様にご使用いただいています^[4]。

しかし、このAE波が物質の変形や破壊により発生するということを見ると、研削においてもっと広い用途が考えられるのではないのでしょうか。研削加工は切削加工と同じく、ワークを削り取る除去加工であり、研削砥石は切れ刃である砥粒が割れたり、ボンド（結合剤）が破断したりして「自生発刃」※を起こしながら消耗される工具です。詳細な解説は今回割愛しますが、研削砥石においては図3に示すような主に4つ

図3 研削砥石の4形態



の形態が見られます⁵⁾。また、ワークは、局所的な切削現象により塑性変形や脆性破壊をおこしています。これらの現象により発生するAE波を捉えることができれば、研削砥石の4形態を検知することができる可能性があります。これを研削盤の制御にいかせないか？と考えているのです。

研削砥石における4形態を判断するために検知する必要がある現象として、①切れ刃に相当する砥粒とワークとの切削現象、②砥粒を保持するボンドの破壊、③切れ刃である砥粒の破碎(破壊)などがあります。それぞれ現象は異なった周波数のAE波を発生させていると考えられ、加工中に得られるAE波を測定することでこれらを捉えることができる可能性があります。図4にAE波と研削現象の相関イメージを示します。横軸はAE波の周波数帯、縦軸はAE波(AE波振幅)強さを表しています。

しかし、これら微小領域でのAE波を捉えるのは簡単ではありません。図5に加工機周辺環境に存在する様々な振動の

源を示します。加工機周辺にはモーターやポンプ等の駆動による振動、歯車の噛み合いによる振動、ベアリングによる振動、送り駆動系(テーブル移動等)による振動など、様々なノイズとなる振動が発生しており、必要な信号だけを収集することは困難を極めます。さらに、現在使われているAEセンサーの多くは加工点から離れた場所に取り付けられ、配線や設置場所の制約もあります。

図4 AE波と研削現象の相関イメージ

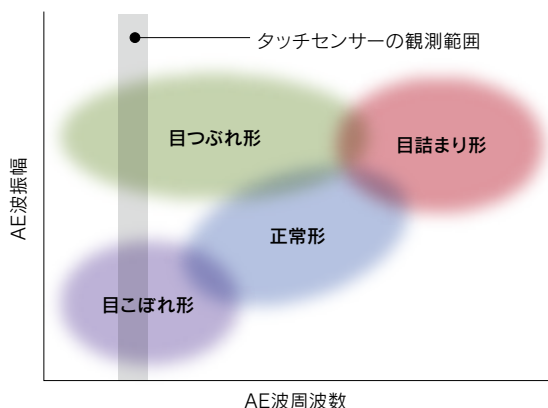
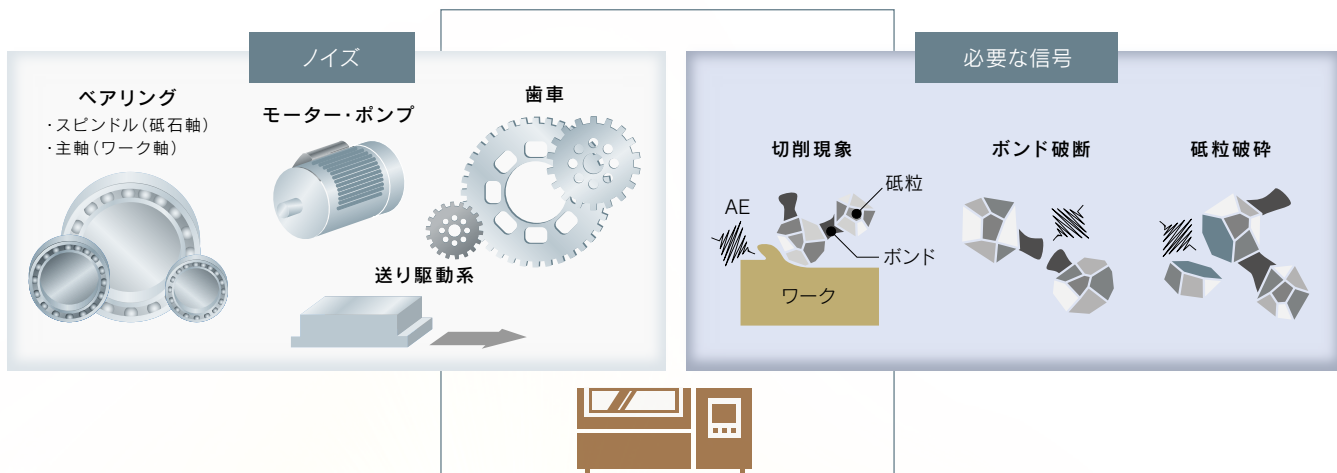
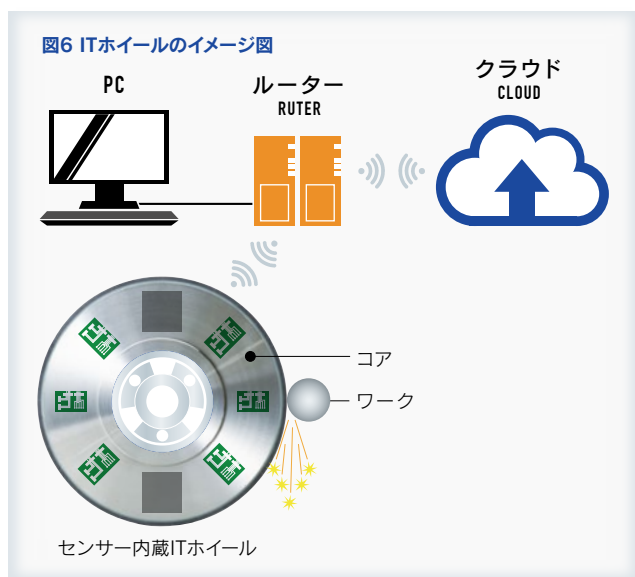


図5 研削加工における振動の発生源



未来型研削工具のITホイール

そこでノリタケとして開発に取り組んでいるのがAEセンサー内蔵ホイール「IT (intelligent) ホイール」です。ITホイールはホイールのスチールコア[※]内にAEセンサーを内蔵することで、加工点近傍のAE波を測定しようとしています。それにより、今まで測定不可能だった加工点で発生しているクリアな状態の信号をキャッチできる可能性があります。これを実現するため、センサーで得られた高サンプリングレート[※]の波形データを高速無線通信によりルーターを介して解析用PCに送る技術の開発に取り組んでいます。図6に全体のイメージ図を示します。



ITホイールによる研削現象の見える化

ITホイールによって得られたAE波データに周波数解析を施すと、加工中のワークが変形する際や研削砥石のボンドが

破断する際、砥粒が破砕する際に発生する特定周波数の強度を知ることが可能になるかもしれません。これを監視し、研削盤へフィードバックすることで、加工条件の自動制御や異常発生の検知等に使える可能性があるのではないかと考えています。

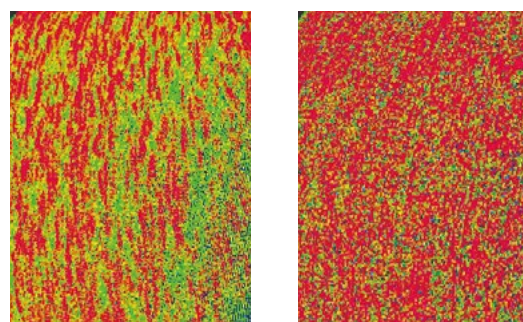
期待されるITホイールの活用

ITホイールの開発思想を述べさせていただきましたが、これを使って得られる可能性があるアウトプットを下記にまとめます。

- ・研削条件の自動制御によるサイクルタイム向上や歩留まり向上
- ・加工異常の検知による高度な品質管理
- ・研削砥石表面状態が見える化することによるドレスのトリガー[※]制御（図7にそのモデルイメージを示します）
- ・ワーク品質を予想し、検査工程の簡略化

その他にノリタケは研削工具メーカーとして、研削加工メカニズムの解明や研削砥石スペックのフィッティング、最適工具の要件の判断（工具開発の方向性決定）など、センサーとしての用途はIoTの具現化に留まらず広がりを見せると期待しています。

図7 ドレス後の研削砥石表面状態が見える化したモデルイメージ



NG：不均一

OK：均一

以上、研削加工の未来予想図としてIoT思想に基づく自動化、異常検知や予測、見える化の実現に伴うものづくりの高度化について述べさせていただきました。また、研削工具メーカーであるノリタケが急速な変化を見せる業界のトレンドを掴むべく誠意開発中のITホイールについても紹介させていただきました。変わり始めているものづくりの現場の“要望”がまさにここにあるのではないのでしょうか。

我々の思想を実現するには解決しなければならない技術的な課題がまだ多く残されています。しかし、未来を見据えた開発を持続的に行うことで研削加工におけるリーディングカンパニーになるべくノリタケは進み続けます。



[注釈]

※トレーサビリティ：物の流通経路が追跡可能な状態

※動バランス：研削砥石を回転させた状態でみた研削砥石のアンバランス量

※自生発刃：砥粒先端が摩耗して鈍化すると砥粒が局部的に破砕し新しい切れ刃が再生される。破砕が繰り返された後に砥粒の保持力が一定以下になると最終的に砥粒は抜け落ち、下層から新しい砥粒が現れ切れ味が継続される現象

※コア：研削砥石の使用層を張り付けるポディー部(台金)

※サンプリングレート：アナログ波をデジタルデータ化する際に単位時間あたりに標本を得る頻度

※トリガー：動作させるきっかけおよびその機能

[文献]

① デジタルビジネスを支えるIoT特集によせて、NEC技報、70.1 (1997) 8.

② 須藤雅子：オープン型プラットフォームFIELSystemについて、精密工学会第385回講習会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016年12月、385 (2016) 12.

③ I/O編集部：IoTがわかる本、株式会社工学社 (2015) 36.

④ 汎用品カタログ Vol 3、ノリタケカンパニーリミテド (2016).

⑤ 五十君智：研削砥石の選び方、機械技術、65. 4 (2017) 31.