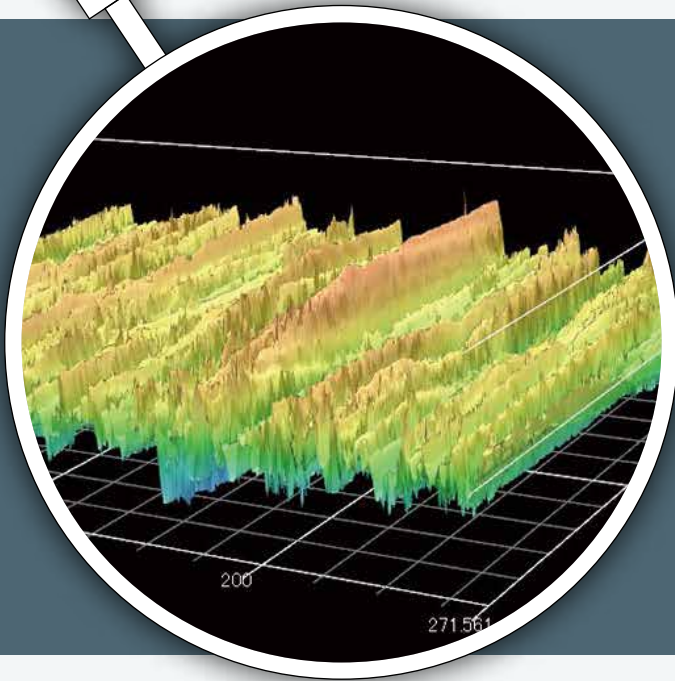


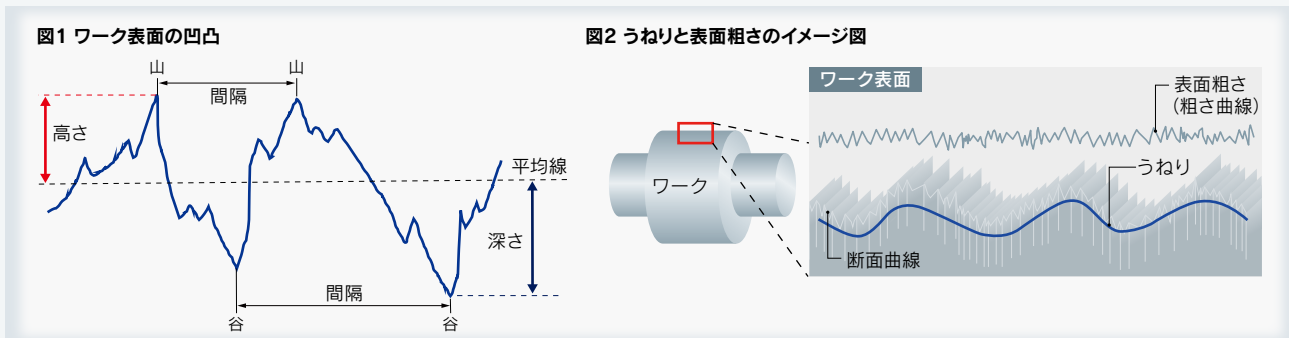
# よくわかる 表面粗さと 粒度の選択



ワーク表面の凸凹写真

## 表面粗さについて

ワーク表面の「ツルツル」、「ザラザラ」、「ピカピカ」など見た目や手触りは、山や谷の高低差や間隔(図1)のような微細な凹凸によるものです。こうした凹凸の中でも比較的大きなものを「うねり」、小さなものを「表面粗さ」といいます(図2)。粗さ曲線、断面曲線、うねり曲線をまとめて表面粗さと表現することもあります。本技術講座では「粗さ曲線」=「表面粗さ」として表現しています。現在、表面粗さの日本産業規格(JIS規格)には算術平均粗さや最大高さ粗さといった16種類の評価パラメータが定められており<sup>1)</sup>、目的に応じてその使い分けが必要です。



表面粗さはワークの光沢性<sup>2)</sup>、表面強度<sup>3)</sup>、ぬれ性<sup>4)</sup>、反応性<sup>5)</sup>、摺動特性<sup>6)</sup>等のさまざまな特性に影響を与えます。加工方法によって創生される表面粗さは大きく左右されますが、研削は表面粗さが細くなる方法の一つです。本技術講座では、初めに代表的な表面粗さパラメータであるRa(算術平均粗さ)、Rz(最大高さ粗さ)、Rz<sub>JIS</sub>(十点平均粗さ)を説明し、砥石のスペックと使用技術による表面粗さの制御について解説します。

## 代表的な表面粗さパラメータ

Ra(算術平均粗さ)、Rz(最大高さ粗さ)、Rz<sub>JIS</sub>(十点平均粗さ)をはじめとする表面粗さに関するJIS規格は繰り返し改訂されています。JIS規格は1982年、1994年、2001年、2013年に見直されており、現在JIS B 0601:2013が最も新しいJIS規格となっています。また、表1に示すようにRz(最大高さ粗さ)、Rz<sub>JIS</sub>(十点平均粗さ)は改訂年によって表記が異なるため<sup>1)7)8)</sup>、

いつのJIS規格に沿って書かれたパラメータであるか注意が必要です。

◆Ra(算術平均粗さ)

最も広く使われているパラメータで基準長さ $l_r$ における $y=Z(x)$ の絶対値の平均を表したものです<sup>□</sup>(図3)。平均値であるため、突出した凹凸の影響は小さくなる傾向があります。

◆Rz(最大高さ粗さ)

基準長さ $l_r$ における最も高い山の高さ( $R_p$ )と最も深い谷の深さ( $R_v$ )の和のことです<sup>□</sup>(図4)。突出した凹凸の影響を受けやすいパラメータであるため、傷等の評価に効果的です。

◆RzJIS(十点平均粗さ)

基準長さ $l_r$ における最も高い山から5番目まで( $Z_{p1} \sim Z_{p5}$ )の高さ平均と最も深い谷から5番目まで( $Z_{v1} \sim Z_{v5}$ )の深さ平均の和です<sup>□</sup>(図5)。国際規格(ISO4287:1997)からは削除されていますが、日本において広く普及しているためにJIS規格に残っています<sup>□</sup>。

このように、同じ表面粗さパラメータでも定義が異なります。一例としてスクラッチのような深い傷がある場合、平均的な値であるRaには大きな差は見られず、最大値と最小値から算出されるRzには顕著な差が見られます(図6)。そのため、目的に応じた表面粗さパラメータの選択が必要です。

本技術講座では、3つのパラメータを代表してRaの制御について解説します。

表1 表面粗さパラメータの表記

パラメータ	JIS規格		
	JIS B0601:1982 <sup>□</sup>	JIS B0601:1994 <sup>□</sup>	JIS B0601:2013 <sup>□</sup>
算術平均粗さ	Ra	Ra	Ra
最大高さ粗さ	Rmax	Ry	Rz
十点平均粗さ	Rz	Rz	RzJIS

図3 算術平均粗さRa

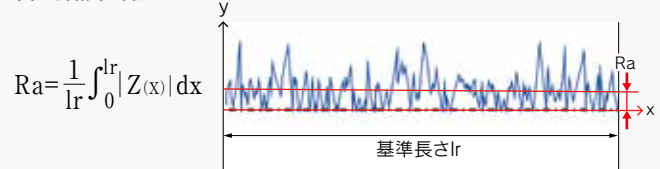


図4 最大高さ粗さRz

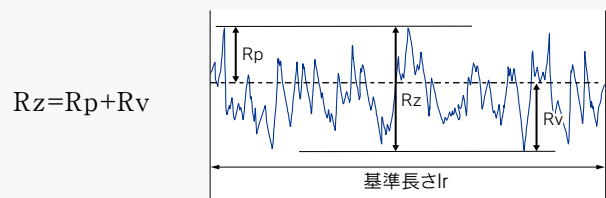


図5 十点平均粗さRzJIS

$$R_{zJIS} = \frac{|Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + Z_{p4} + Z_{p5}| + |Z_{v1} + Z_{v2} + Z_{v3} + Z_{v4} + Z_{v5}|}{5}$$

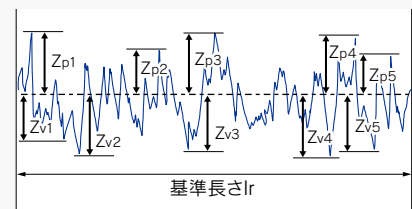
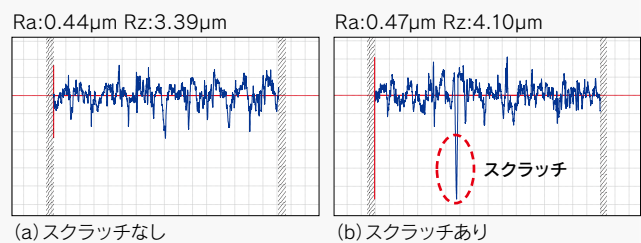


図6 スクラッチによる各表面粗さパラメータ



砥石の粒度と表面粗さ

一般砥石のスペックは図7に示すように砥石の5因子である砥粒、粒度、結合度、組織、結合剤(ボンド)で表記され、その組み合わせによって表面粗

図7 一般砥石のスペック表記例

WA 80 K 7 V  
 砥粒 粒度 結合度 組織 結合剤(ボンド)

表2 粒度と標準粒径



さは大きく異なります。ここでは粒度を中心に他の因子と表面粗さの関係を解説します。

粒度は砥粒の粒径を表しており、数字が大きくなるほど砥粒の粒径は小さくなります(表2)。粗粒(～220)はF、微粒(240～)は#で表します。

A系砥粒<sup>※</sup>を使用したビトリファイドボンド砥石での表面粗さと粒度の関係の一例を示します(表3, 図8)。粒径が小さくなる(粒度が大きくなる)ほど、表面粗さは細くなる傾向にあり、#1000以細になると収束します。この傾向は砥石やワークの形状からも確認でき、表面粗さが細くなるほど砥石とワークの凹凸が小さくなり、#1000以細ではワーク表面に写る文字がはっきりと見えるようになります(図9, 10)。しかし、粒径が小さい場合は研削量の増加に伴う表面粗さの変化が早く、研削能率<sup>※</sup>の最大値(限界研削能率)が小さくなる傾向にあります<sup>⑩</sup>。また、粒度によって最適なドレッシング条件<sup>⑪</sup>、研削条件も異なるため、適正な条件設定が必要です。

表3 試験条件

【砥石】

スペック	WA-V
寸法	φ405×T20×φ127mm

【ワーク】

材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRc48

【研削条件】

研削方式	円筒研削
砥石周速度	33m/s
ワーク周速度	0.33m/s
取り代	φ0.512～0.019mm (F120) (#3000)
スパークアウト	10回転
研削能率	1～0.038mm <sup>3</sup> /mm·s (F120) (#3000)
ドレッサ	LL単石ドレッサ(ダイヤモンド0.6mm)
ドレッシングリード	0.042～0.0016mm/r.o.w. (F120) (#3000)
ドレッシング切込み量	0.01～0.001mm/pass (F120) (#3000)
研削油	水溶性

※粒度により、ドレッシング条件や研削能率を調整しています。

図8 試験結果(表面粗さと粒度の関係)

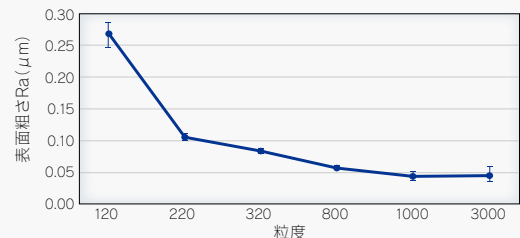


図9 各粒度の砥石面の断面形状

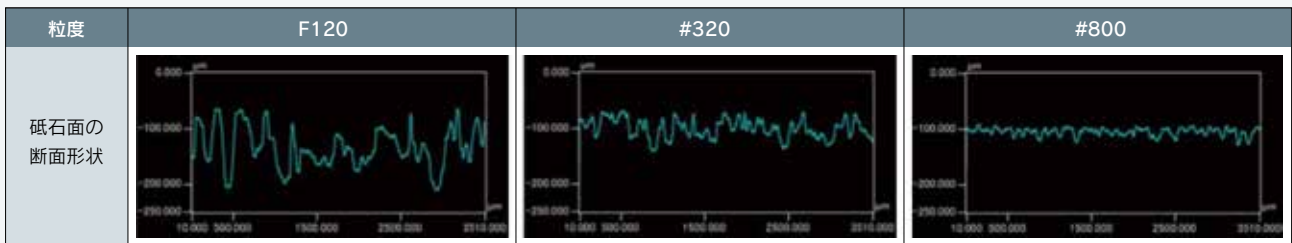
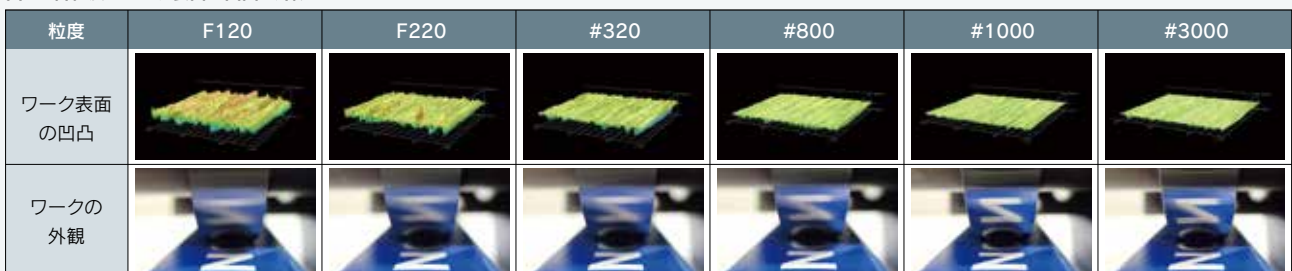


図10 各粒度のワーク表面の凹凸と外観



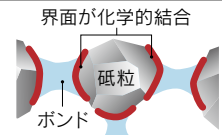

## その他の因子と表面粗さ

その他の因子が表面粗さに及ぼす影響について解説します。

### ①結合剤(ボンド)

結合剤(ボンド)は砥粒同士を結合させ、保持する役割を担うものです。ワークの種類や研削方式、要求精度によって使い分ける必要があります。A系砥粒ではレジノイドボンド\*よりもビトリファイドボンド\*の表面粗さが細かく、安定していることがわかります(表4, 図11)。これは両方のボンドの結合状態の違いにあります(図12)。ビトリファイドボンドの場合、砥粒とボンドの界面は化学的結合をしているため、砥粒保持力が強くなります。一方レジノイドボンドでは、機械的な結合のみで砥粒がボンドにかしめられた状態で砥粒が保持されているため、比較的砥粒保持力が弱くなります<sup>2)</sup>。

図12 砥粒とボンドの結合状態

ボンド	ビトリファイドボンド	レジノイドボンド
表記	V	B
砥粒の結合状態	ボンドと砥粒間が化学的結合 + ボンドによる機械的結合	ボンドによる機械的結合
結合状態イメージ		

このため、ビトリファイドボンドに保持された砥粒は研削中に脱落しにくく、ドレッシングによって創生された切れ刃が摩滅\*すると再ドレッシングをする必要があります。一方、レジノイドボンドに保持された砥粒は摩滅すると脱落しやすく、砥粒の大きさが表面粗さに反映されやすいため、ドレッシングにより砥粒に切れ刃が創生されるビトリファイドボンドと比較して、表面粗さは粗くなる傾向にあります。これは消費電力値と摩耗量、砥石面の高さ分布からも裏付けられます(表5, 図13, 14)。しかし、レジノイドボンドは

表5 試験条件

[砥石]	
スペック	WA120-V, WA120-B
寸法	φ405×T20×φ127mm
[ワーク]	
材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRC48
[研削条件]	
研削方式	円筒研削
砥石周速度	33m/s
ワーク周速度	0.33m/s
取り代	φ0.512mm
スパークアウト	10回転
研削能率	1 mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> ・s
ドレッサ	LL単石ドレッサ(ダイヤモンド0.6mm)
ドレッシングリード	0.042mm/r.o.w.
ドレッシング切込み量	0.01mm/pass
研削油	水溶性

\*粒度により、ドレッシング条件や研削能率を調整しています。

表4 試験条件

[砥石]	
スペック	WA-V, WA-B
寸法	φ405×T20×φ127mm
[ワーク]	
材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRC48
[研削条件]	
研削方式	円筒研削
砥石周速度	33m/s
ワーク周速度	0.33m/s
取り代	φ0.512~0.019mm (F120) (#3000)
スパークアウト	10回転
研削能率	1 ~ 0.038mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> ・s (F120) (#3000)
ドレッサ	LL単石ドレッサ(ダイヤモンド0.6mm)
ドレッシングリード	0.042~0.0016mm/r.o.w. (F120) (#3000)
ドレッシング切込み量	0.01~0.001mm/pass (F120) (#3000)
研削油	水溶性

\*粒度により、ドレッシング条件や研削能率を調整しています。

図11 試験結果(ボンドと表面粗さの関係)

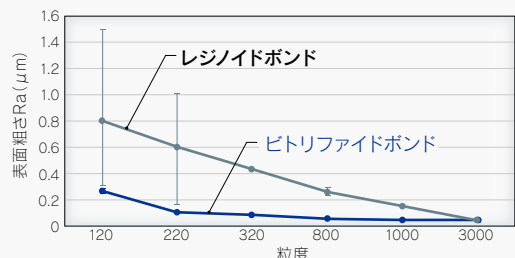


図13 試験結果

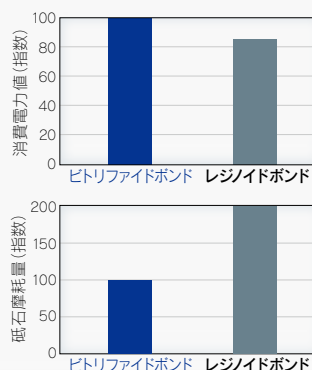
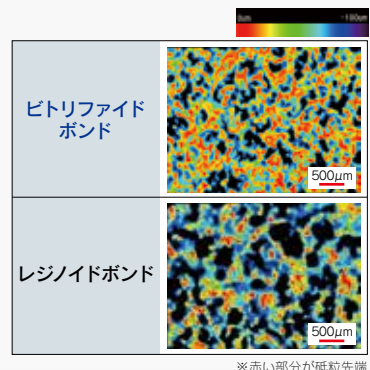


図14 研削後砥石面の高さ分布



\*赤い部分が砥粒先端

低弾性率\*の砥石であるため、自生作用\*よりも弾性変形が支配的となる条件ではビトリファイドボンドよりも表面粗さが細くなる場合があります。そのため、目的に応じたボンドの選択が必要です。

②砥粒

砥粒の種類が違っても同じ粒度であっても表面粗さは変化します。表面粗さを細くするためには、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を主成分とするA系砥粒よりも炭化ケイ素(SiC)を主成分とするC系砥粒を選択するほうが優位となります(表6, 図15)。これはC系砥粒で鉄鋼材料を研削すると、SiCの炭素が鉄中に拡散する化学反応によって砥粒が摩滅し、切れ味が低下する現象によるものと考えます<sup>⑧⑨</sup>。この現象はC系砥粒の摩耗量が少なく、消費電力値が高いことから裏付けられます(図16)。

表6 試験条件

【砥石】	
スペック	WA-V,GC-V
寸法	φ405×T20×φ127mm
【ワーク】	
材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRc48
【研削条件】	
研削方式	円筒研削
砥石周速度	33m/s
ワーク周速度	0.33m/s
取り代	φ0.512~0.019mm (F120) (#3000)
スパークアウト	10回転
研削能率	1~0.038mm <sup>3</sup> /mm·s (F120) (#3000)
ドレッサ	LL単石ドレッサ(ダイヤモンド0.6mm)
ドレッシンググリード	0.042~0.0016mm/r.o.w. (F120) (#3000)
ドレッシング切込み量	0.01~0.001mm/pass (F120) (#3000)
研削油	水溶性

\*粒度により、ドレッシング条件や研削能率を調整しています。

図16 試験結果

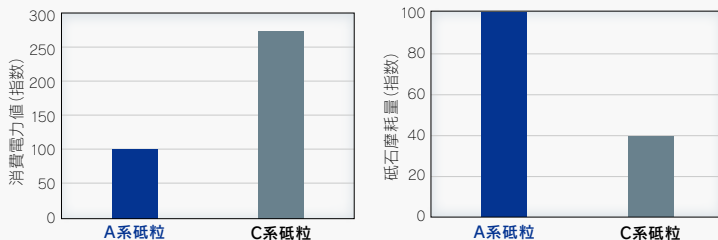
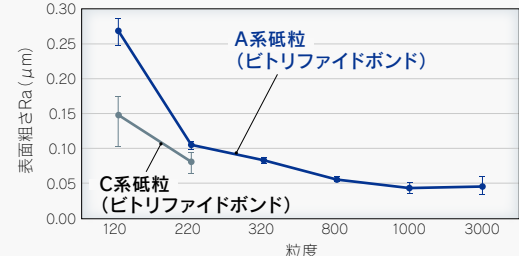


図15 試験結果(砥粒と表面粗さの関係)



しかし、C系砥粒を不適な条件で使用すると摩滅がさらに進行し、研削抵抗が砥粒保持力を上回り、砥粒が脱落する要因となります。例えば鉄鋼材料を高い研削能率で使用した場合、C系砥粒を用いると砥石摩耗量が増加し、表面粗さが粗くなります(表7, 図17)。したがって、鉄鋼材料を研削する場合はA系砥粒を選択するのが一般的ですが、表面粗さを細くするためにC系砥粒を用いる際には、低い研削能率で用いることを推奨します。なお、本技術講座の試験結果はクロムモリブデン鋼に適した研削能率ですが、適正な研削能率は材質によって異なります。

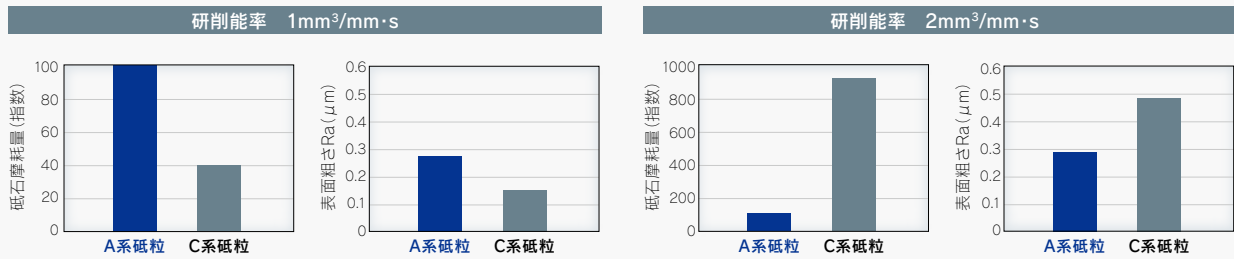
表7 試験条件

【砥石】	
スペック	WA-V,GC-V
寸法	φ405×T20×φ127mm
【ワーク】	
材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRc48
【研削条件】	
研削方式	円筒研削
砥石周速度	33m/s
ワーク周速度	0.33m/s
スパークアウト	10回転
研削能率	1.2mm <sup>3</sup> /mm·s
ドレッサ	LL単石ドレッサ(ダイヤモンド0.6mm)
ドレッシンググリード	0.042mm/r.o.w.
ドレッシング切込み量	0.01mm/pass
研削油	水溶性

\*粒度により、ドレッシング条件や研削能率を調整しています。

今回はA系砥粒とC系砥粒の表面粗さについて解説しましたが、A系砥粒でも種類があり、破碎性や硬度が一様ではなくそれぞれが異なる性質を持っています<sup>⑩</sup>。目的に応じた砥粒の選択が必要です。

図17 試験結果



### ③ 結合度

砥石の硬さを示す結合度は、A～Zのアルファベットで表記され、Zに近づくほど砥粒保持力が強くなります。一般的に表面粗さを細かくするには、結合度を高くします。しかし、結合度が高すぎると新たな切れ刃を発生させる自生作用が起こりづらくなり、砥粒の摩滅が進行します。その結果、ワークの研削焼け※、びびり※の発生、引張り残留応力の発生等の不具合を起こす可能性があり、適正な結合度の選択が必要です。結合度を高くすると、砥石摩耗量が減り、消費電力値が高く、表面粗さが細くなる傾向があり、これを砥石が「硬く作用」と呼びます。また、結合度を低くすると、砥石摩耗量が増え、消費電力値が低く、表面粗さが粗くなる傾向があり、これを砥石が「軟らかく作用」と呼びます。一例として、高結合度と低結合度を同じ条件下で研削した試験結果を示します。低結合度に対して高結合度が硬く作用していることがわかります(表8,図18)。

### ④ 組織

砥石全体に占める砥粒の割合(砥粒率)を示す組織は、密にすることによって作用する砥粒数が増えるため、一般的に表面粗さが細くなる傾向があります<sup>④</sup>。しかし、組織を粗にしてもボンドの量が一定である場合、砥粒一粒に対するボンドの量が相対的に増加し、硬く作用する場合がありますため注意が必要です<sup>④</sup>。

ここまで表面粗さと砥石の5因子の関係を解説しました。5因子の中で粒度が表面粗さに大きな影響を与えることがわかります。しかし、砥石のスペックに合わせて適切なドレッシング条件や研削条件を設定しなければ、その効果を発揮することができません。次は使用技術について解説します。

表8 試験条件

#### [砥石]

スペック	SH80-V
寸法	φ405×T20×φ127mm

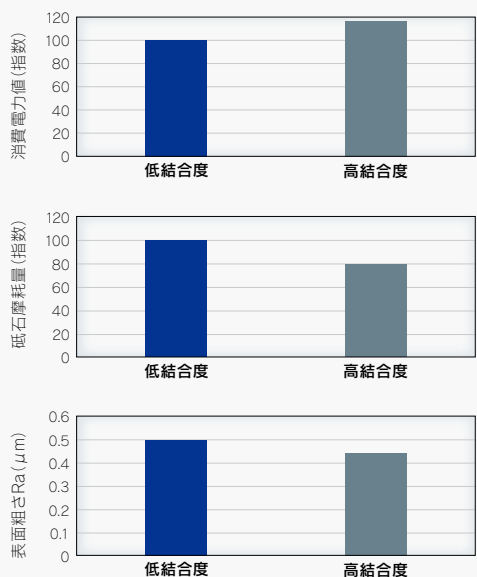
#### [ワーク]

材質	クロムモリブデン鋼(SCM435)
寸法	φ50mm
硬度	HRC48

#### [研削条件]

研削方式	円筒研削
砥石周速度	45m/s
ワーク周速度	0.45m/s
スパークアウト	10回転
研削能率	2mm³/mm·s
ドレッサ	LL単石ドレッサ
ドレッシングリード	0.1mm/r.o.w.
ドレッシング切込み量	0.01mm/pass
研削油	水溶性

図18 試験結果



## 使用技術と表面粗さ

表面粗さは砥石の5因子だけではなく、使用技術によっても制御することができます。主な使用技術であるドレッシングは、砥粒の目立てに該当する作業です。ドレッサの切込み量を少なくすることや、ドレッシングリードを細かくする(ドレッサ送り速度を遅くする)ことで、砥粒に細かな切れ刃が形成され、表面粗さは細かくなります。一般的には、ドレッサの切込み量よりもドレッシングリードを調整するほうが表面粗さに大きく影響します。表面粗さを制御する際は、まずドレッシングリードの検討を推奨します。また、安定してドレッシングができない等の不具合が生じた場合には、ドレッサの変更で改善されることもあります<sup>⑦</sup>。詳細な解説はNORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2019に掲載していますので<sup>⑧</sup>、是非ご覧ください。

さらに、表面粗さはドレッシング以外にも砥石周速度<sup>⑨⑩</sup>、ワーク周速度、砥石の切込みのような研削条件に関するパラメータと、砥石直径やワーク直径のような研削するうちに変化していくパラメータによっても変わります。これらは、砥粒1粒の作用に注目した砥粒切込み深さや接触弧長さから解釈することができます<sup>⑪</sup>。

最後に、砥石とワークは研削中に刻々と変化するため、その過程における状態を把握することも重要です。砥石には主に正常形、目こぼれ形、目つぶれ形、目詰まり形の4つの形態があります(図19)。詳細な解説はNORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020をご覧ください<sup>⑫</sup>。硬く作用させる方向に行き過ぎると目つぶれ形や目詰まり形になってしまい、研削抵抗や研削熱の増加により、ワークに研削焼けやびびりなどの不具合を起こす可能性があります。したがって、表面粗さの制御はあくまで砥石を正常形に近づけるような範囲で行うことを念頭において、砥石の5因子を設計し、使用技術を活用する必要があります。

図19 砥石の4形態<sup>⑬</sup>

	正常形(理想)	目こぼれ形	目つぶれ形	目詰まり形
砥石の形態				
ワークに起こるトラブル例		形状精度・表面粗さ不良	研削焼け びびり	研削焼け びびり

今回、砥石の5因子と使用技術による表面粗さの制御に関する解説をしました。本稿が皆様にとって一助になれば幸いです。

[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。
- ※研削能率：単位時間当たりに除去されるワークの体積。
- ※レジノイドボンド：熱硬化性樹脂を主原料としたボンド。低弾性率で耐衝撃性に優れるため重研削に向く反面、砥粒保持力が低い。
- ※ビトリファイドボンド：長石や粘度等を主原料としたボンド。高弾性率で形状維持性に優れる反面、耐衝撃性が低いため、重研削には向かない。
- ※摩滅：砥粒先端が平滑となり、切れ味が低下する現象。
- ※弾性率：弾性変形のし難さを表す物性値。低弾性率=力を加えたときの変形が大きい。
- ※自生作用：研削時に生じる切り屑により砥石のボンドが削られていき、砥粒の保持力が一定以下になると砥粒は脱落し、下層から新しい砥粒が現れ切れ味が継続される現象。
- ※研削焼け：砥石の切れ味低下によって研削熱が上昇し、金属組織の変質や酸化が起こる現象。
- ※びびり：ワークに発生する規則的な模様のこと。振れや砥石の形状崩れ、切れ味の低下などが原因で発生。

[文献]

- ① 日本産業規格：製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状:輪郭曲線方式-用語, 定義及び表面性状パラメータ, JIS B 0601:2013, 2013
- ② M.Yonehara, T.Matsui, K.Kihara, H.Isono, A.Kijima, T.Sugibayashi, : Experimental Relationships between Surface Roughness, Glossiness and Color of Chromatic Colored Metals, Materials Transactions,45,4, 2004 1027-1032
- ③ 井藤賢 久岳, 戸根 恵郎, 中島 正貴, 高 行男: 高強度鋼の長寿命疲労強度に及ぼす切欠きと表面粗さの影響, 材料,54,12, 2005 1249-1254
- ④ G.Aksoy, H.Polat, M.Polat, G. Coskun : Effect of various treatment and glazing (coating) techniques on the roughness and wettability of ceramic dental restorative surfaces, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,53, 2006 254-259
- ⑤ H.Kusaba, Y.Shibata, K.Sasaki, Y.Teraoka : Surface effect on oxygen permeation through dense membrane of mixed-conductive LSCF perovskite-type oxide, Solid State Ionics,177, 2006 2249-2253
- ⑥ 小野 雅彦,井上 陽一 : 摩擦摩耗特性に及ぼす表面粗さとリン酸マンガ処理の効果, 表面技術,56,1, 2005 52-56
- ⑦ 日本産業規格：表面粗さの定義と表示, JIS B 0601 :1982, 1982
- ⑧ 日本産業規格：表面粗さ一定義及び表示, JIS B 0601:1994, 1994
- ⑨ 日本産業規格：製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状:輪郭曲線方式-用語, 定義及び表面性状パラメータ, JIS B 0601:2001, 2001
- ⑩ ノリタケカンパニーリミテド：ビトリファイドCBNホイールによる内面研削一粒度の選び方一, ノリタケ技報 1990, 1, 1990 25-33
- ⑪ 杉野 香奈絵：よくわかるツルーイング・ドレッシング, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2019, 2018 24-31
- ⑫ 初井 孝平：研削砥石の分類と構造, 月刊トライボロジー,391, 2020 15-17
- ⑬ 桜木 真二郎：よくわかる砥粒とその選択, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 2019 4-9
- ⑭ 後藤 直希,神谷 泰弘：オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) に対する適正なビトリファイド一般砥石, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 2019 24-30
- ⑮ 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 4-7
- ⑯ 五十君 智：研削砥石の基礎, 機械技術, 第65巻, 第4号, 2017 26-29
- ⑰ 松尾 秀平：Gシャープ, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018, 2017 46-49
- ⑱ ノリタケカンパニーリミテド：ビトリファイドCBNホイールによる超高速研削, ノリタケ技報 1993, 1993 1-12
- ⑲ 福島 正人：チタン合金 (Ti-6Al-4V) に対するビトリファイド一般砥石, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 2019 30-35
- ⑳ 五十君 智：研削砥石の選び方, 機械技術, 第65巻, 第4号, 2017 31-35
- ㉑ 松井 諒：難削材の研削現象と不具合解決の考え方, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2020, 2019 10-17



[著者] 初井 孝平

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