

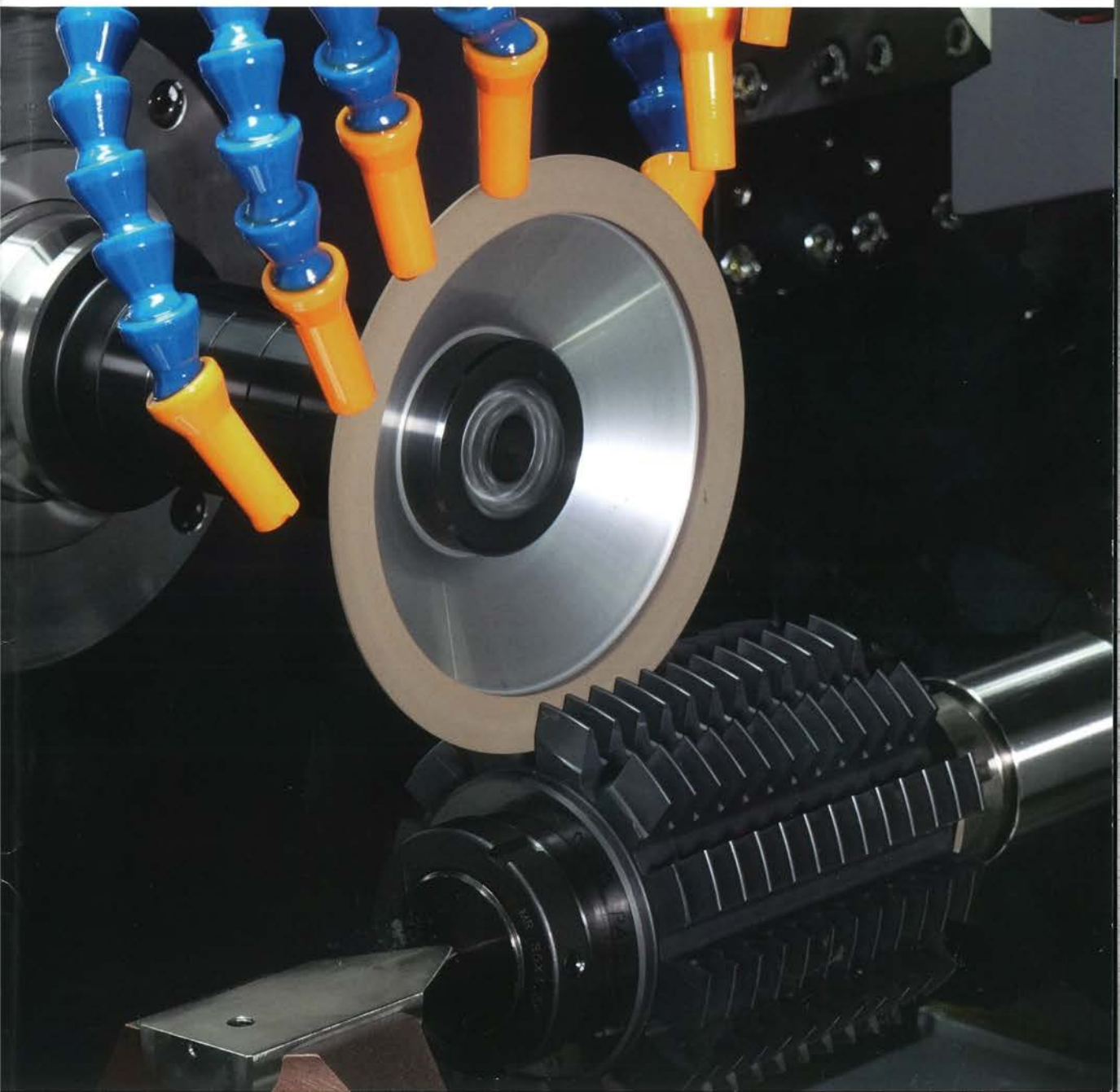
# ツールエンジニア



特集

## 研削加工

## 自動化・省人化の研削盤，周辺機器



# 研削砥石のドレス効果 新手法「HPRドレス」

鳥羽商船高等専門学校 客員教授 和田 任弘  
トクビ製作所 森合 勇介

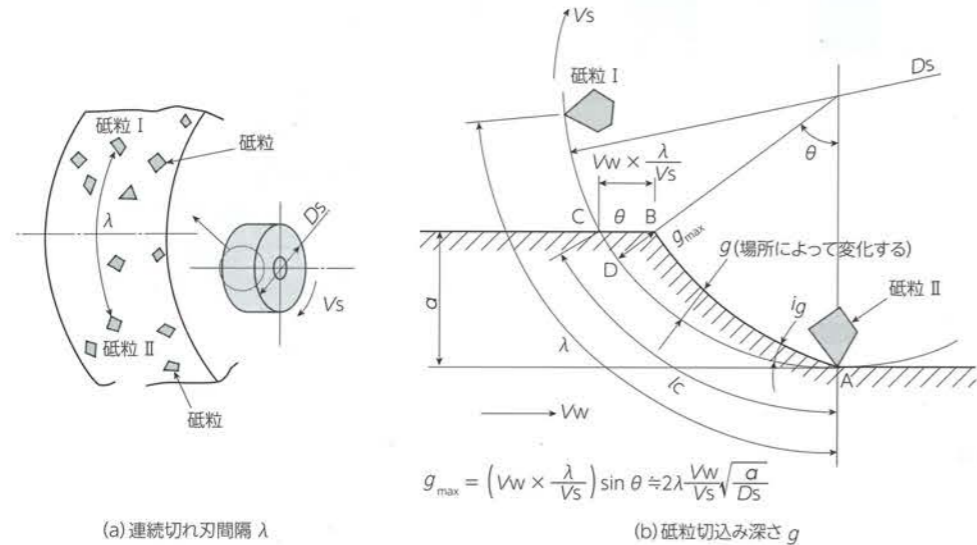


図1 連続切れ刃間隔と砥粒切込み深さ<sup>1)</sup>

## 研削加工の高効率化

### (1) 高能率研削

通常の平面研削では、研削速度を  $V_s$ 、ワーク（テーブル）の送り速度を  $V_w$  とすると、 $V_s \gg V_w$  であるため、図1(b)に示すように、1個の砥粒がワークに描く軌跡は円弧で近似できる。連続切れ刃間隔を  $\lambda$ 、砥石直径を  $D_s$  [図1(a)]、砥石切込み深さを  $a$  とすると、砥粒切込み深さの最大値（以下、砥粒切込み深さ） $g_{max}$  は、

$$g_{max} \approx 2\lambda \frac{V_w}{V_s} \sqrt{\frac{a}{D_s}} \quad \dots\dots(1)$$

で表わされる<sup>1)</sup>。

高能率研削を達成するためには、材料除去量（単位時間、単位研削幅当たりのワーク除去体

積）を増加させることが有効である。このためには、ワークの送り速度  $V_w$ 、砥石切込み深さ  $a$  を増加させることが必要になる。式(1)より、 $V_w$ 、 $a$  の増加により砥粒切込み深さ  $g_{max}$  も増加する。砥粒切込み深さ  $g_{max}$  の大小は、図2に示す砥石の研削状態（目こぼれ、目詰まり、目つぶれ）に影響を与える。

一般に、砥粒切込み深さ  $g_{max}$  が大きくなると、砥粒に作用する切削抵抗が大きくなるため、砥粒の破碎や脱落が起こりやすくなるので、砥石は目こぼれの傾向を示す。これに対し、砥粒切込み深さ  $g_{max}$  を小さくすると、砥粒の破碎や脱落が起こりにくくなり、砥石は目詰まり、目つぶれの傾向を示す。研削速度  $V_s$  を増加させる高速研削は、砥粒切込み深さ  $g_{max}$  を一定とし、ワークの送り速度  $V_w$  や砥石切込み深さ  $a$  の増加により、材料除去量を増加させる方法

である。しかし、ワークの送り速度や砥石切込み深さの増化により、研削抵抗も増加するので、高剛性の研削盤を使用しなければならない。

一方、クリープフィード研削は、砥石切込み深さ  $a$  を大きくし、ワークの送り速度  $V_w$  を極端に低速にする高能率研削法の一つである。しかし、ワークと砥石の接触弧長さ  $l_c$  [図1(b)] が大きくなるため、研削焼けが生じやすくなる。また、ワークの送り速度が極端に低い研削盤を使用する必要がある。したがって、高能率研削を行なうには、研削盤の高剛性化、テーブル送り速度の高速化あるいは極低速化、研削焼けの防止などの対策が必要になり、研削現場でこれらの対応がむずかしい場合も多い（対応できない場合もある）。

### (2) ドレッシング

研削加工の高効率化には、材料除去量を増加させる方法が有効であるが、研削時間に要する時間を短縮させる方法（たとえば、ワーク取付け・取外しの時間短縮、ドレッシングの回数短縮など）も有効である。

砥石の研削状態は、図2に示した3種類の異常状態（目こぼれ、目詰まり、目つぶれ）と正常状態の4種類に大別される。砥石に目詰まりが生じると、一般砥粒砥石ではダイヤモンドドレッサによるドレッシングが行なわれる。超砥粒砥石では、結合剤に適したドレッシングが行なわれる。いずれの砥石のドレッシングも、砥石作業面の一部を除去するため、目詰まりのみを解消するのではなく、目つぶれも同時に解消できる。しかし、電着砥石のように、ドレッシングがむずかしい砥石もある。

一般に、ドレッシングを実施することにより、表1に示すさまざまな問題が発生する。ドレッシングに時間を要するため、研削作業能率向上

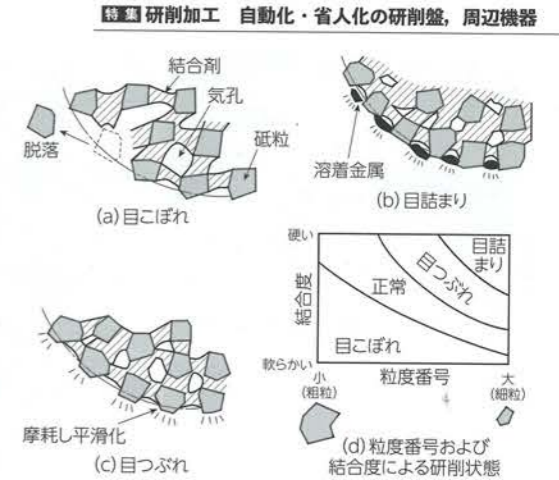


図2 砥石の研削状態<sup>1)</sup>

の点でドレッシングは避けたい作業の一つであろう。

そこで、切削加工におけるさまざまな問題解決に提案されている「高圧クーラント供給法」を、研削加工においても適用し、高圧クーラントによって砥石の目詰まり解消を目的とした、「HPR (High Pressure Remover) ドレス」を併用する方法が実用化されている。

このHPRドレスは、高圧クーラントを、砥石作業面に噴射させることによって、砥石気孔に詰まった切りくずや砥石の破片を高圧クーラントで除去する方法である。ただし、HPRドレスのみで従来から行なわれているドレッシングを完了するのではなく、従来の機械的なドレッシングを併用する必要がある。

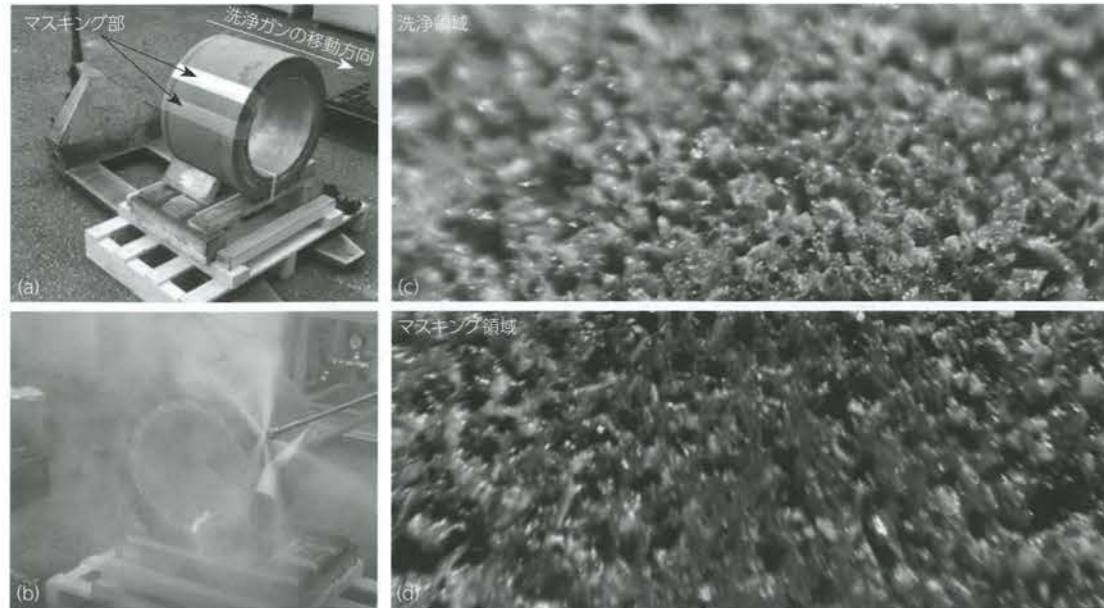
## 砥石作業面に噴射させた高圧クーラントの効果（予備実験）

### (1) 実証

図3(a)に、センタレス研削終了後の砥石を示す。この砥石作業面に、洗浄ガンにより、高圧クーラントを砥石作業面に噴射させたときの効

表1 研削砥石をドレッシングすることにより予測される問題点(一例)<sup>2,3)</sup>

項目	現象	問題点
1	ドレッシング後の砥石直径がわずかに減少する	ゼロ点調整が必要となる
2	ドレッシング前後の砥石作業面の状態が変化する	研削仕上げ面の表面状態に変化が生じる
3	機外でのドレッシングでは砥石の取外し、取付けによる問題が生じる	タイムロスが生じる
4	電着砥石では機上でのドレッシングがむずかしい	機上でのドレスそのものが不可能な場合も多い



(a), (b) 効果を調べる実験 (c), (d) 高圧クーラントの効果

図3 センタレス研削に要する砥石の高圧クーラント(洗浄ガン)による作用

果を調べた。図3(a)は、クーラントを噴射させる前の砥石(センタレス研削終了後の砥石状態)、図3(b)は洗浄ガンによりクーラントを噴射させている状態を示している。

実験の方法は、洗浄ガンを砥石作業面から約10 mm 程度離し、吐出圧力14 MPaでクーラントを砥石作業面に噴射した。洗浄ガンのクーラント噴射口に、ノズル穴径φ1.2 mmのノズルを取付けた。なお、洗浄ガンは手動にて、図3(a)に示すように砥石の軸方向に1回移動させた。図3(c)は砥石作業面にクーラントが作用している領域(洗浄領域)、図3(d)はクーラントが研削後目詰まり部分(黒色)



図4 高圧クーラント噴射後の砥石作業面(センタレス研削砥石)の状態

作用していない領域(マスキング領域、非洗浄領域)を示している。洗浄領域とマスキング領域の違いを観察するために、図3(a)で示すようにマスキング[図3(a)に示される白色部分(幅10 mm程度)]を2か所行なった。

図3(c), (d)に示す高圧クーラントの効果を比較すると、図3(c)に示す洗浄領域、すなわち高圧クーラントを噴射させた領域では、砥石気孔に詰まった切りくずや砥石の破片が高圧クーラントによって除去され、目詰まりが解消されており、高圧クーラントを噴射させる効果が現われている。なお、図3(d)に示すマスキング領

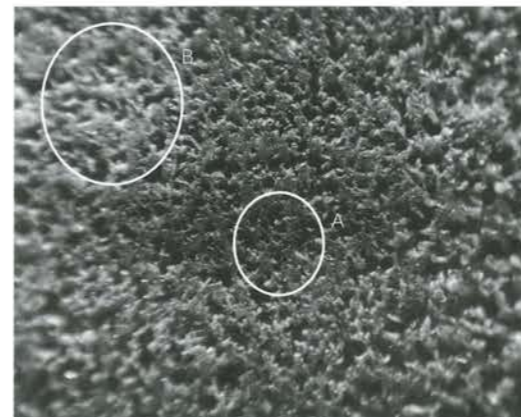


図5 図4に示すB部の状態

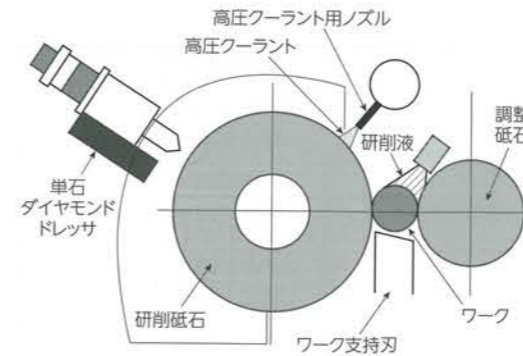


図6 センタレス研削時のHPRドレス概念図<sup>2),3)</sup>

域は、目詰まりが生じている領域である。

結論として、洗浄ガンを砥石表面から約10 mm 程度離してクーラントを噴射させ、手動にて洗浄ガンを移動させた場合を図3に示した。その結果、クーラントによって砥石気孔に詰まった切りくずや砥石の破片を高圧クーラントで除去することができ、目詰まりが解消されることがわかった。

### (2)高圧クーラント噴射の効果

次に、図4に、研削砥石作業面に高圧クーラントを噴射させたときの効果を示す。なお、実験には、図3の実験で使用した砥石を使用した。また、洗浄ガンには図3の実験で使用した洗浄ガン(クーラント噴射口にノズル穴径φ1.2 mmのノズルを取付けた)を使用した。

洗浄ガンは、砥石の軸方向に1回、手動にて移動させた。クーラントの吐出圧力は14 MPaである。その結果、高圧クーラントを砥石作業面に噴射させる前に生じていた目詰まりが、高圧クーラントを砥石作業面に噴射させることによって解消されていることがわかる(図4に示すA部など)。

図5に砥石作業面の状態を示す。図5で示されるA部(クーラントが噴射されていない非洗浄領域)では、砥石作業面に切りくずなどが付着し、目詰まりが生じていることが確認できる。これに対して、B部(クーラントが噴射された洗浄領域)では、A部に示した目詰まりが解消され

表2 研削にHPRドレスを併用(一例)

項目	主な効果
1	ダイヤモンドドレッサによるドレッシング間隔を延長することができるので、大幅にドレッシング回数を低減させることができる
2	研削作業中にHPRドレスを行なうことができるので、研削の中断なしに、長時間の研削作業を行なうことができる
3	HPRドレス後に寸法補正をする必要がなく、さらに表面粗さRaの平均値、標準偏差を小さくすることができるので、精度的に安定した製品を生産することができる
4	既存の研削盤にHPRドレッサを簡単に取付けることができる

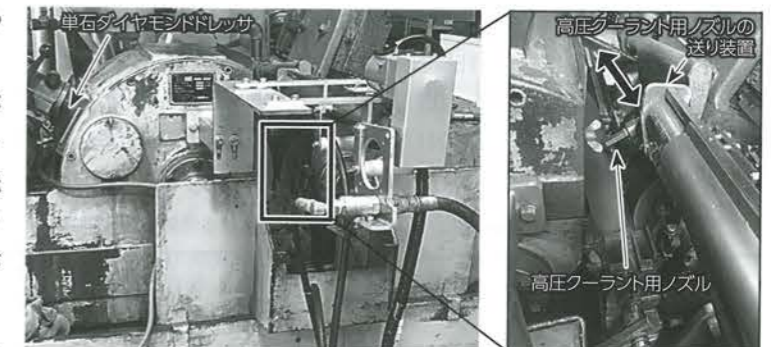
ており高圧クーラント噴射の効果が確認できる。

### HPRドレス

図6に、HPRドレスの概念図を示す。図はセンタレス研削におけるHPRドレスの主要装置であるHPRドレッサを示している。センタレス研削は、ワークを、研削砥石、調整砥石、およびワーク支持台の3点で支えて外周を研削する方法である。

外径寸法が安定している、生産性が高いなどの長所があり、円柱状や円筒状ワークの外周面の研削加工に用いられている。HPRドレッサによって、高圧クーラント用ノズルから噴射されるクーラントによって砥石気孔に詰まった切りくずや砥石の破片を高圧クーラントで除去できる。

なお、研削にHPRドレスを併用することにより、表2に示す効果が期待できるため、高能率研削を達成できる。図7に、HPRドレッサ装置を示す。



(a)研削部分 (b)高圧クーラント用ノズルを取付けた状態

図7 HPRドレッサ装置<sup>2),3)</sup>

表3 研削砥石<sup>2),3)</sup>

項目	表示/記号	説明
砥石仕様	C/GC 80I7V81R	外径455 mm×厚さ205 mm×穴径228.6 mm
砥粒	C/GC	炭化ケイ素を主体とした砥粒
粒度	80	砥粒の大きさが平均177 μm
結合度	I	「I」は、軟らかめの設定
組織	7	容積比50%が砥粒
結合剤	V	ビトリファイド結合剤
最高周速	2000 m/min(参考)	

表4 研削条件<sup>2),3)</sup>

研削速度	1760 m/min(砥石回転数: 1400 min <sup>-1</sup> )
取りしろ	50 μm
1回あたりのHPRドレス時間	50 s
HPRドレス条件	吐出圧力: 14 MPa, ノズル送り速度: 533 mm/min (ノズル穴径φ0.3 mm)
砥石仕様	C/GC 80I7V81R(外径455 mm×厚さ205 mm×穴径228.6 mm, 表3参照)
被削材	SUS304 φ22 mm×L100 mm (1個当たりの研削時間は50 s)
単石ダイヤモンドドレスによるドレス実施の判定基準	連続20本の研削を行ない、20本目の表面粗さRaが0.3 μm以上になれば、ドレスを実施

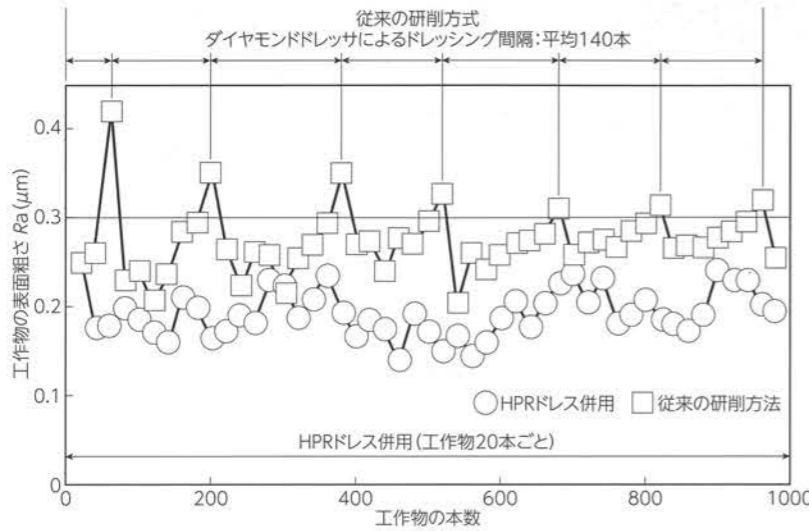


図8 SUS304丸棒のセンタレス研削にHPRドレスを併用した効果<sup>2),3)</sup>  
(工作物の本数が980本以下)

(1) 実験結果

ここでは、目詰まり解消の有効性をワークの表面粗さと関連付けて、研削時にHPRドレスを併用することの効果解説する。

SUS304 (φ22 mm × L100 mm) のセンタレス研削を行ない、ワークの本数が工作物の表面粗さRaに及ぼす影響を調べた結果を図8に示す。なお、20本のワークをセンタレス研削した時点で、表面粗さRaを測定した。

Ra 0.3 μm 以上になれば、単石ダイヤモンドドレスによる砥石のドレスングを行なった。

従来の研削方法では、ワークを980本センタレス研削する間に、単石ダイヤモンドドレスによる砥石のドレスングを7回行なう必要があった。すなわち、平均140本のワークを研削すると、単石ダイヤモンドドレスによるドレスングを行なう必要がある。これに対し、HPR

ドレス(ワーク20本ごとにHPRドレスを実施)を併用した場合、ワーク20本のセンタレス研削が終了した時点での表面粗さがRa 0.3 μm 以上にならなかったため、単石ダイヤモンドドレスによるドレスングなしに980本のワークをセンタレス研削することができた。

また、表5に示すように、従来の研削方法では、表面粗さRaの平均値が0.274 μm、標準偏差が0.037 μmであるのに対し、HPRドレスを併用した場合、表面粗さRaの平均値が0.193 μm、標準偏差が0.026 μmとなった。したがって、HPRドレスを併用することにより、精度的に安定した製品を生産することができた。

(2) 注意点

現場では、要求される表面粗さ、標準偏差が指定される。指定される表面粗さ、標準偏差を得るためには、砥石(とくに粒度)、研削条件を変更することによって達成できる。このため、指定される要求精度(表面粗さ、標準偏差)を達成する必要がある場合には、相談してもらえると幸いである。

図8に示したように、研削においてHPRドレスを併用した場合、980本のワークを研削したが、表面粗さRaは0.3 μm 以上に達しなかった。このため、さらにワークのセンタレス研削を行なった。その結果、ワーク2120本で、表面粗さRaが0.3 μm 以上になったため研削を中断

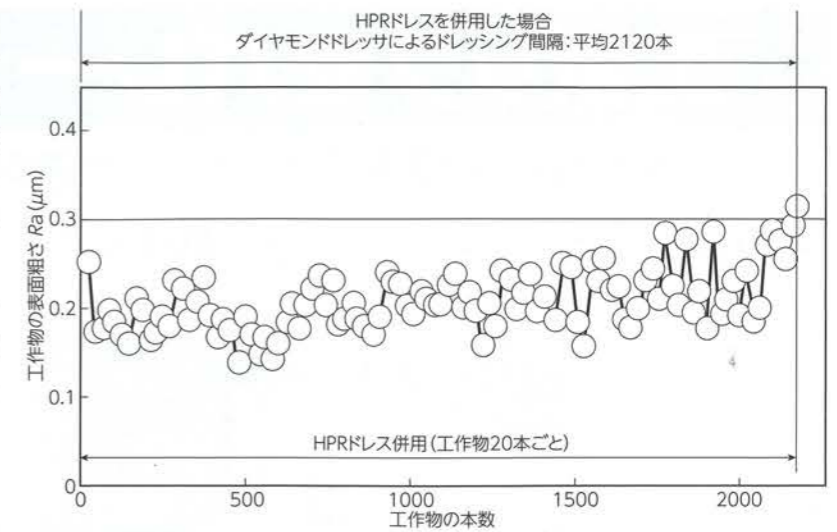


図9 SUS304丸棒のセンタレス研削にHPRドレスを併用した場合の効果<sup>2),3)</sup>  
(工作物の本数が2120本以下)

した。図9に、ワーク本数2120本までの表面粗さRaの変化を示す。表6に示すように、この場合の表面粗さRaの平均値は0.210 μm、標準偏差が0.034 μmである。

ここでは、切りくずや砥石の微細破砕したものが砥石の気孔に詰まる研削状態、すなわち目詰まりをクーラントの圧力で解消するために「HPRドレス」を併用することによって、研削作業効率の向上を達成できることを実験結果に基づいて解説した。

最後に、本稿執筆にあたって、下記の書籍、商業誌に記載されているデータなどを引用した。

<参考文献>

- 1) 平井三友, 和田任弘, 塚本晃久: 機械系教科書シリーズ3機械工作法(増補), コロナ社(2005発行)
- 2) 和田任弘, 森合勇介: 研削作業効率の飛躍的向上を目指して, 機械と工具, 2021年11月号
- 3) 和田任弘, 森合勇介: 切削・研削加工における高圧クーラント供給技術, 月刊トライボロジー, 新樹社第37巻3号(2023年3月号)

表5 SUS304丸棒のセンタレス研削にHPRドレスを併用した場合の効果<sup>2)</sup> (工作物の本数が980本以下)

	従来の研削(HPRドレスを併用しない場合)	HPRドレスを併用した場合
表面粗さRaの平均値	0.274 μm	0.193 μm
表面粗さRaの標準偏差	0.037 μm	0.026 μm

\*20本の工作物を研削した後、表面粗さRaの測定を行い、Ra 0.3 μm 以上になれば、単石ダイヤモンドドレスによる砥石のドレスングを行なった。

表6 SUS304丸棒のセンタレス研削にHPRドレスを併用した場合の効果<sup>2)</sup> (工作物の本数が2120本以下)

	工作物の本数が980本以下	工作物の本数が2120本以下
表面粗さRaの平均値	0.193 μm	0.210 μm
表面粗さRaの標準偏差	0.026 μm	0.034 μm