

## 研究論文

## 環境調和型加工法の基礎的研究

## —各種低公害加工法の検討と半水中研削法の有効性検証—

西川尚宏\*・塚本真也\*\*・大橋一仁\*\*・中島利勝\*\*  
井山俊郎\*・水野雅裕\*・大田康史\*\*・久保孝典\*\*

## 要 旨

現在、生産現場において、廃液処理の際、大きな環境負荷をもたらす加工液（切削液・研削液）の使用削減が渴望されている。本研究では円筒研削において従来の研削液を用いた湿式研削法の代替として、圧縮空気を用いたブロー研削法、少量の水を加工液として使用するミスト・ノーミスト研削法、従来加工より大幅に加工液供給量を減らした半水中研削法を提案し、冷却性・潤滑性といった加工性能を評価した。ブロー研削法は空気供給量90ℓ/min程度では有効な潤滑性・冷却効果はなく、ミスト研削法は若干の冷却性とプランジ速度が小さい場合での潤滑性が確認された。一方、半水中研削法において少量の液供給を併用することにより湿式研削法に匹敵する潤滑性が得られた。さらに、冷却性においても給液量が2.04ℓ/minで同等になると推計される。工作物への冷却性が大きく、発熱の多い加工に対して適用を期待できる。また、冷却性改良について言及した。

キーワード：円筒研削，廃液処理，半水中加工法，環境調和型加工法，低公害

## 緒 言

現在、切削や研削加工では、高い加工精度や仕上げ面粗さを得るため、また、高能率で加工し工具寿命を延ばすために、潤滑作用、冷却作用、洗浄作用、防錆性といった性質を持つ加工液<sup>1)</sup>を使用している。しかしながら、加工液には潤滑剤として油剤や極圧添加剤の硫黄、塩素、リン化合物などや乳化剤・防錆剤など作業者の健康を害する懸念<sup>2)</sup>がある物質が含まれており、それが工場内で飛散し作業環境を悪化させるとともに、その廃液処理（焼却・埋立処理や凝集沈殿等）<sup>3,4)</sup>には莫大な費用とエネルギーを要し、大きな環境負荷を余儀なくされている。一方で、環境悪化抑止や公害防止が叫ばれISO14000シリーズ制定や工場廃水基準の強化などがあり、このような環境改善に対応するのは目下急務である。そのため、加工液の代わりに冷凍空気を用いる冷風加工法<sup>5)</sup>や、少量の油剤を使用するMQL加工法<sup>6)</sup>などが研究されている。

本研究では環境負荷の大きな研削液の代替として圧縮空気を用いたブロー研削法や、少量の水を利用したミスト・ノーミスト研削法、研削液使用量を減らしたローエミッション加工法として半水中研削法を提案し、その研削性能の評価として冷却性や潤滑性を検証し、有効であるか実験的に検討した。

## 1. ブロー研削法

本項では加工液を使用しない研削加工法の開発を目指し、コンプレッサによる圧縮空気（常温）を加工液の代わりに工作物に吹付けるブロー研削法が実用可能か検証した。

## 1.1 ブロー研削法の原理

図1にブロー研削法の実験装置図を示す。使用したノズルは工作物と砥石が接触する研削点全体に圧縮空気が当たるように吹出し口形状が1×11mmの長方形の平吹ノズルを使用した。吹出し口が鉛直下向きになるよう整え、工作物左右で熱影響に差が生じないように

\*岩手大学工学部機械システム工学科 Naohiro NISHIKAWA, Toshiro IYAMA, Masahiro MIZUNO

\*\*岡山大学大学院 Shinya TSUKAMOTO, Kazuhito OHASHI, Toshikatsu NAKAJIMA,

Yasushi OTA, Takanori KUBO

2009年1月15日受付

2009年4月14日受理

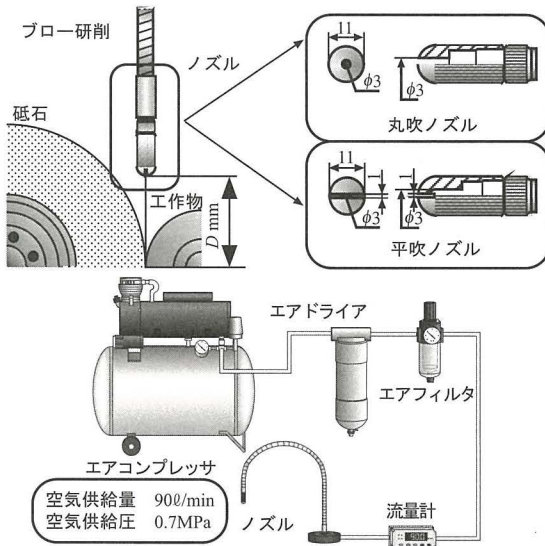


図1 ブロー研削法および圧縮空気配管

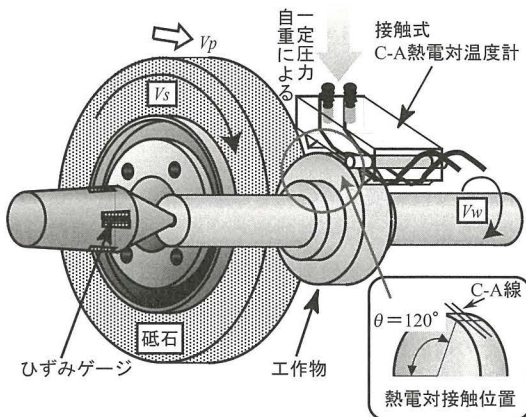


図2 研削力・工作物表面温度測定系

研削点の工作物幅中心に向けた。また、ノズルと研削点間には一定の距離  $D$  を保ち、圧縮空気を吹付けた。圧縮空気はコンプレッサの空気供給量を  $90 \text{ l/min}$ 、空気供給圧力を  $0.7 \text{ MPa}$  と一定にし、ドライヤで圧縮空気を乾燥させ、エアフィルタにより塵などを取り除き供給した。その際、エア圧力はエアフィルタに取付けられている圧力計により測定し、空気供給流量は流量計により測定した。

図2に本実験での研削力・工作物表面温度の測定系を示す。研削力(背分力)は、加工時に工作物から伝わる力によるセンタの弾性変位量がセンタに貼り付けられたひずみゲージの電気抵抗変化として現れ、これ

をひずみアンプにより電圧信号に変換し<sup>7)</sup>、コンピュータ上で変位量に相当する背分力に換算することで測定した。加工に伴う工作物の温度上昇である工作物表面温度は、接触式 C-A 熱電対温度計<sup>8)</sup>を用いて測定した。本温度計は研削点から  $120^\circ$  の位置で工作物に接触させ、その部位の温度を測定している。また、温度計に重りを取り付けて重量を調節し、自重による一定圧力で回転する工作物に安定して接触・摺動させている。

ブロー研削法と後述する加工法の主な実験条件は以下の通りである。

工作機械：円筒研削盤 (シギヤ精機 G-27)

研削砥石：WA80H 7 V ( $\phi 400 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ )

工作物：SCM435 ( $\phi 90 \text{ mm} \sim 80 \text{ mm} \times W 20 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$ )

砥石周速度： $V_s = 33.51 \text{ m/s}$ 、速度比： $K_v = 0.0095$

システム剛性： $k_{sy} = 13.95 \text{ N}/\mu\text{m}$

ドレッシング条件：

切込み  $10 \mu\text{m} \times$  送り  $0.1 \text{ mm}/\text{rev.} \times 2$  回

研削液：ソリュブル型水溶性切削油剤

(A2種 (旧 JIS W2種) 1号相当, 80倍希釈)

研削液流量： $Q_g = 15 \text{ l/min}$  (湿式研削時)

空気供給量： $Q_a = 90 \text{ l/min}$

空気供給圧力： $0.7 \text{ MPa}$

なお、研削過程であるが、工作物と砥石が接触後、 $V_p$  にて切込み続けて15秒後に切込みを停止し、弾性変形による切残しを除去するスパークアウト<sup>9)</sup>を30秒行い、砥石を後退させた。

## 1.2 研削性能評価

本項ではブロー研削法において加工時の研削力を測定することにより潤滑性の検証し、ならびに発熱・冷却性の評価のため工作物表面温度を計測し、ブロー研削法の有効性を検討する。図3は砥石を工作物に切込むプランジ速度  $V_p = 4.0 \mu\text{m/s}$ 、ブロー距離  $D = 35 \text{ mm}$  において、圧縮空気を用いたブロー研削法、冷却液を使用せずただ空気中で加工する乾式研削法(ドライ研削法)、研削液を使用した従来の湿式研削法を行った場合の研削時間  $t$  に対する工作物単位幅当たりの研削背分力  $p_b, p_d, p_g$  の変化、および工作物表面温度  $\theta_{wb}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$  の変化を示す。なお、研削時間は砥石と工作物の接触開始時点をもとにしている。

ブロー研削法と乾式研削法を比較すると、 $p_b, p_d$  ならびに  $\theta_{wb}, \theta_{wd}$  においてほぼ差異がなく、効果は確認できなかった。一方、湿式研削法では  $p_g$  と

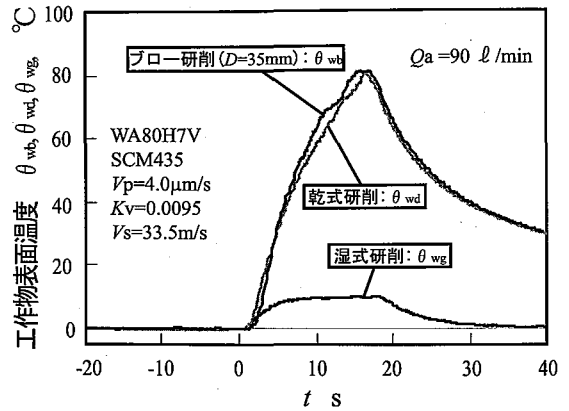
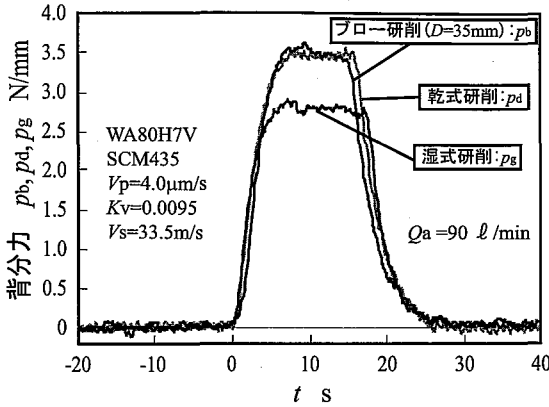


図3 各研削法による背分力  $p_b, p_d, p_g$  と工作物表面温度  $\theta_{wb}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$  ( $V_p = 4.0 \mu\text{m/s}$ ,  $W = 20\text{mm}$ )

$\theta_{wg}$ ともブロー・乾式研削法に比べ小さくなっているのが分かる。これは、加工液の潤滑性に伴う摩擦力低下により背分力は減少し、摩擦熱低減ならびに加工液による冷却のため工作物表面温度も低くなっていることが示されている。

次に、流量を仮想的に10倍 (900 l/min 相当) にして、大流量における研削性能を評価するため、工作物の幅  $W$  を20mmから2mmに変更し実験を行った。使用するノズルは圧縮空気が広がらない丸吹ノズル(図1)に変更しピンポイントで幅2mmの加工点に吹き付けるようにした。図4に工作物幅  $W = 2\text{mm}$ の工作物を使用し、ブロー研削法と乾式研削法を行った場合の研削時間  $t$  に対する工作物表面温度  $\theta_{wb 2\text{mm}}, \theta_{wd 2\text{mm}}$  の変化を示す。 $\theta_{wb 2\text{mm}}$ は  $\theta_{wd 2\text{mm}}$ に比べ小さく、スパークアウト直前の研削開始後15秒では、 $\theta_{wb 2\text{mm}} = 29.9^\circ\text{C}$ 、 $\theta_{wd 2\text{mm}} = 33.1^\circ\text{C}$ で、その温度差  $3.2^\circ\text{C}$ であり、乾式研削に比較して9.7%低下している。また、スパークアウト時の  $\theta_{wb 2\text{mm}}$ の降下が大きい。以上のことから工作物幅を小さくして単位幅長さ当たりのエアフロー供給量を増加させると若干の冷却効果が存在することが確認できた。しかしながら、強制対流時の水と空気の熱伝達率を比較すれば、普通の条件下では概略で空気は  $10 \sim 500\text{W/m}^2\text{K}$ 、水は  $100 \sim 15000\text{W/m}^2\text{K}$  となり<sup>10)</sup>、水は空気の10倍~30倍大きく。また、熱伝導率 (20℃,  $1\text{kgf/cm}^2$ ) では水は  $0.602\text{W/mK}$ 、空気は  $0.0256\text{W/mK}$  で<sup>11)</sup> 23倍違い、物性として常温空気は水溶性研削液と比較して冷却性能がかなり劣るといえる。また、空気には極圧添加剤や潤滑剤になりうる成分が入っていないため潤滑性がない。これにより

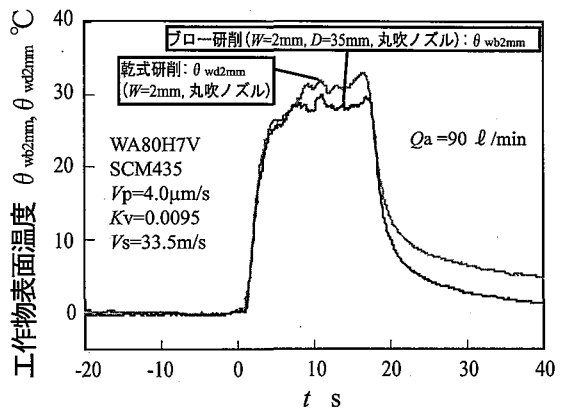


図4 各研削法による工作物表面温度  $\theta_{wb}, \theta_{wd}$  ( $V_p = 4.0 \mu\text{m/s}$ ,  $W = 2\text{mm}$ )

常温圧縮空気のみを加工液の代替として使用するの  
は有効でないといえる。

## 2. ミスト・ノーミスト研削法

次に、研削液の代わりに少量の水 (水道水) を圧縮空気にて霧状にして研削点に供給し研削熱を除去するミスト研削法、および水をミスト化せず研削点に供給するノーミスト研削法の有効性があるか検証する。

### 2.1 ミスト研削法・ノーミスト研削法の原理

図5にミスト研削法とノーミスト研削法の実験装置図を示す。ミスト研削とノーミスト研削では同じノズルを調節することでミストとノーミストを使い分けている。このノズルは研削点上方175mmの位置に設置し、両者とも工作物の左右で熱影響に差が生じないよう研削点の工作物幅中心に向け供給した。水は吸引ポンプ

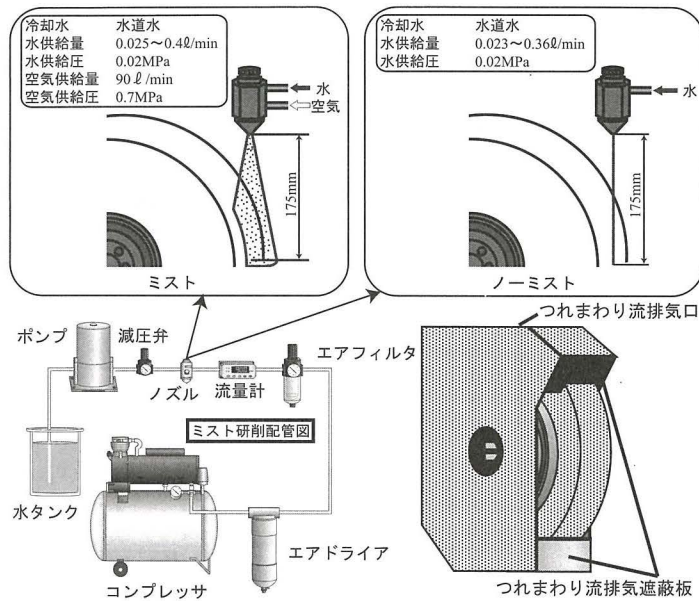


図5 ミスト研削法・ノーミスト研削法および配管系統

を用いてノズルに供給にし、その途中の減圧弁を介して水の供給圧の調整を行った。ミスト研削法は、水(水道水)と圧縮空気をノズルに供給し、ノズル吹出し口でミスト化している。この圧縮空気は前述のブロー研削法と同様に流量と圧力を設定した。実験条件は次の通りである。

ミスト研削法 (ミスト発生条件) :

水供給量 :  $Q_m = 0.025 \sim 0.4 \text{ l/min}$ , 水供給圧力 :  $0.02 \text{ MPa}$   
 空気供給量 :  $Q_a = 90 \text{ l/min}$ , 空気供給圧力 :  $0.7 \text{ MPa}$

ノーミスト研削法 (水供給条件) :

水供給量 :  $Q_{nm} = 0.023 \sim 0.36 \text{ l/min}$ , 水供給圧力 :  $0.02 \text{ MPa}$

なお、砥石の高速回転に伴うつれまわり流による研削点からのミストの飛散を防ぐため、砥石カバー前面の隙間に遮蔽版を設置し、砥石カバー上部に排気口を設け、砥石作用面上のつれまわり流を遮断し低減させた。

## 2.2 研削性能評価

ミスト研削法、ノーミスト研削法において背分力と工作物表面温度を検証することにより加工性能の検証を実施した。図6はプランジ速度  $V_p = 4.0 \mu\text{m/s}$  で各

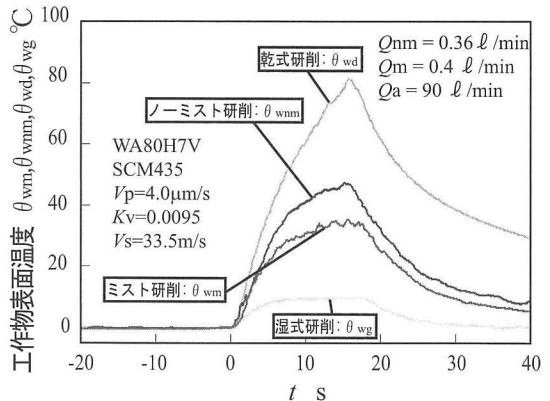
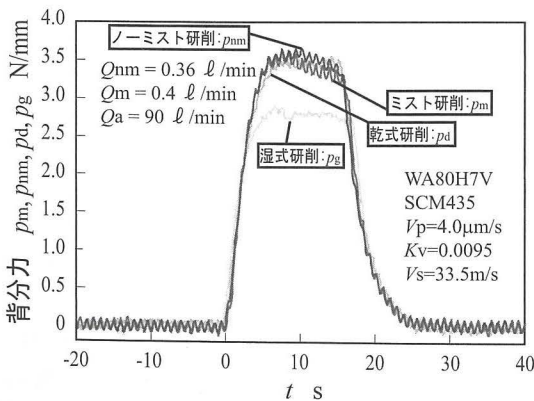


図6 各研削法による背分力  $p_m, p_{nm}, p_d, p_g$  と工作物表面温度  $\theta_{wm}, \theta_{wnm}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$  ( $V_p = 4.0 \mu\text{m/s}$ ,  $W = 20\text{mm}$ )

研削法を行った場合の研削時間  $t$  に対する工作物単位幅当たりの背分力  $p_m, p_{nm}, p_d, p_g$  の変化 (左図) および工作物表面温度  $\theta_{wm}, \theta_{wnm}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$  の変化 (右図) を示す。なお、その際、ミスト研削法において水供給量  $Q_m$  は  $0.4 \text{ l/min}$  に、ノーミスト研削法の水供給量  $Q_{nm}$  は  $0.36 \text{ l/min}$  に設定した。

図6左図より、 $p_{nm}$  および  $p_d$  はほぼ同程度であり、 $p_m$  がわずかにそれを下回っていることが示された。これは水には極圧添加剤や油剤が含まれておらず潤滑性が小さいため、湿式研削法に比べ研削抵抗が大きくなってしまふと考えられる。一方、図6右図より、 $\theta_{wm}, \theta_{wnm}$  とも  $\theta_{wd}$  の半分程度まで下がり、いずれも冷却効果があることが分かる。しかしながら、 $\theta_{wg}$  と比較すると、冷却性が低いことが示された。

次に、比較的冷却性のあったミスト研削法についてプランジ速度を変化させた場合の加工性能について検証した。図7左図に各研削法の各プランジ速度  $V_p$  に対する背分力の最大値  $p_{mmax}, p_{dmax}, p_{gmax}$  の変化を示す。研削過程において研削力は変化するので各研削法の比較のため背分力の最大値を使用した。 $p_{mmax}$  は  $p_{dmax}$  や  $p_{gmax}$  と同様にプランジ速度の増加に伴い大きくなっている。 $V_p=1.0, 2.0 \mu\text{m/s}$  の時の  $p_{mmax}$  は  $p_{dmax}$  より小さくなり、湿式研削法程ではないが水によって摩擦が減少し背分力が減少する潤滑効果が現れているが、 $V_p=4.0 \mu\text{m/s}$  以上では  $p_{mmax}$  と  $p_{dmax}$  はほぼ同じ値となっており、 $V_p$  により潤滑性が変化することが見て取れる。また、図7右図に各研削法の各プランジ速度  $V_p$  に対する研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wm15s}, \theta_{wd15s}, \theta_{wg15s}$  を示す。 $V_p$  の増加に伴い発熱も増えるためいずれも大きくなっているのが分かる。 $V_p=2.0 \sim 6.0 \mu\text{m/s}$  の場合は  $\theta_{wm15s}$  は  $\theta_{wd15s}$  の50%程度の大きさであるのに対し、 $V_p=1.0 \mu\text{m/s}$  の時は37%となり  $V_p$  が小さい程冷却効果が示された。これは、 $V_p=1.0 \mu\text{m/s}$  の場合では発生する研削熱が少ないため、水の沸騰現象<sup>12)</sup>の度合いが低く、研削点において液体の割合が多くなり研削点での冷却効果が増しているためと考察される。以上のことから、 $V_p$  を増加させると発生する研削熱が増えるため研削点温度が上昇し、研削点における沸騰現象が起こり、水が水蒸気になるため潤滑作用が減少すると考えられる。

ミスト・ノーミスト研削法はわずかな水を供給しただけで乾式研削法に比べ大幅に冷却されている。これは前述のように水は極めて大きな冷却能力があるためであるが、湿式研削法では加工液供給流量  $Q_g$  が  $15 \text{ l/min}$  とミスト研削法の37.5倍、ノーミスト研削法の41.6倍もの供給量であることから、 $\theta_{wg15s}$  が小さいのは流量による影響が大きく、ミスト・ノーミスト研削法では十分な冷却性を得るには供給量不足と考えられる。しかしながら、流量を増やすなどして加工液供給方法を改良し、水の工作物への接触面積を大きくすれば効果的に冷却できると推察される。

また、緒言で述べた加工液として必要な性質において、水の冷却性・潤滑性以外の適性であるが、水は粘性が低く泡立たないため、切屑を除去する洗浄性を備えている。一方、防錆剤が含まれないため、鉄系工作物

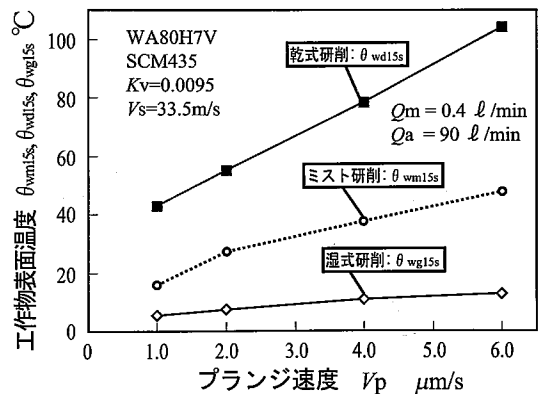
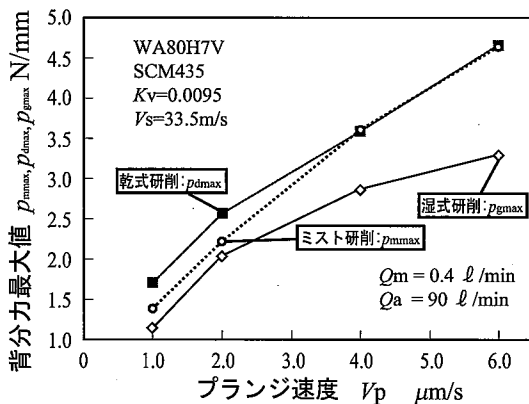


図7 各研削法の各プランジ速度  $V_p$  における背分力  $p_{mmax}, p_{dmax}, p_{gmax}$  と研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wm15s}, \theta_{wd15s}, \theta_{wg15s}$



において致命的な錆を発生させる問題があるので加工液として水の使用は困難である。しかしながら水のみで防錆性を保有する手法として、電気防錆加工法<sup>13-16)</sup>があり、これを適用することにより水のみで錆を防ぐことが可能である。

### 3. 半水中研削法

次に、本項では供給加工液量を削減するローエミッション研削加工法として、加工液供給方法を改良した半水中研削法を提案し、その有効性を検証する。

#### 3.1 半水中研削法・半水中（給液併用）研削法の原理

図8に半水中研削法の実験装置を示す。半水中研削法では、冷却液の入った水槽の中に工作物（φ80mm）の下から24mmの部分浸漬させ冷却を行った。冷却液

にはソリュブル型水溶性切削油剤（A2種（旧JIS W2種）1号相当，80倍希釈）を使用した。また、工作物を回転させると工作物のつれまわりによって冷却液が水槽内から出てわずかに減少するため、その分、水槽内に冷却液を注ぎ足し研削加工中も一定の水位になるようにした。さらに、半水中（給液併用）研削法では前述の丸吹ノズルを使用し、冷却液がミスト化することを抑え、工作物に向けて研削点から60°のつれまわり流の影響がより少ない位置に冷却液がかかるようにした。なお、工作物とノズルの距離は20mmとし、冷却液は工作物の左右で熱影響に差が生じないように研削点の工作物幅中央にかけた。

#### 3.2 研削性能の検証

半水中研削法，半水中（給液併用）研削法において背分力と工作物表面温度を検証し，有効性を検討した。

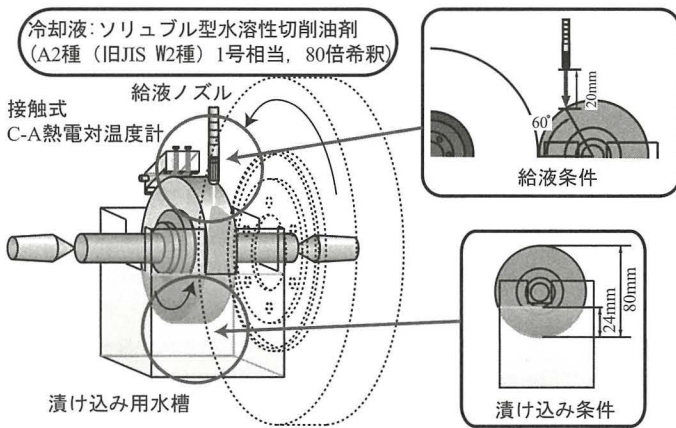


図8 半水中研削実験装置

図9はプランジ速度  $V_p=4.0 \mu\text{m/s}$  で各研削法を行った場合の研削時間  $t$  に対する背分力  $p_p, p_{ps}, p_d, p_g$  の変化（左図）および工作物表面温度  $\theta_{wp}, \theta_{wps}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$  の変化（右図）を示す。また、半水中（給液併用）研削法の冷却液供給量  $Q_{ps}$  は  $0.4 \text{ l/min}$  である。図9左図より、 $p_p$  と  $p_{ps}$  が  $p_d$  より小さくなっていることから潤滑性があることが示された。これは半水中研削法では水槽に漬け込まれた工作物が回転する際、研削液が工作物に付着し研削点まで運ばれるからである。また、半水中（給液併用）研

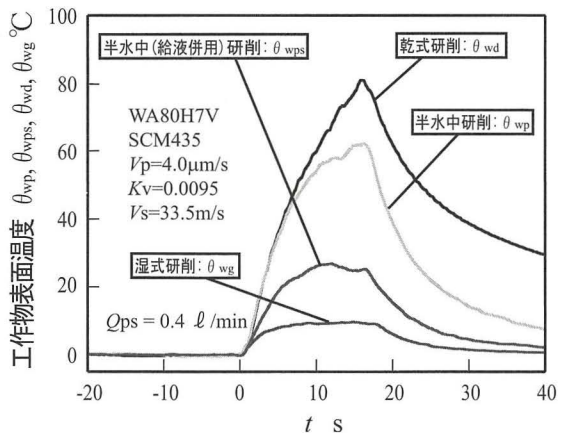
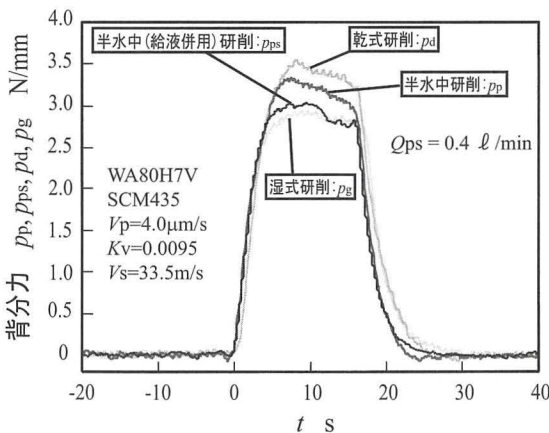


図9 各研削法による背分力  $p_p, p_{ps}, p_d, p_g$  と工作物表面温度  $\theta_{wp}, \theta_{wps}, \theta_{wd}, \theta_{wg}$

削法は工作物にかかった供給液も研削点に流入するため、給液量がわずかであるにもかかわらず湿式研削法に匹敵する背分力を示している。図9右図において半水中研削法の工作物表面温度をみると乾式より低く冷却効果が現れていることが分かる。加工点自体の冷却はなされていないにもかかわらず、工作物下半分の冷却によって、加工部位が水槽で冷却前に検知される温度上昇が低く抑えられている。これにより、加工点を直接冷却しなくても工作物表面温度を低下させることが可能なことが示された。また、半水中(給液併用)研削法では研削点付近にも冷却液をかけているため半水中研削法よりさらに冷却されていることが分かる。

次に、半水中研削法の工作物冷却性について速度比を変化させて検証した。図10に各研削を行った場合の速度比  $K_v$  に対する研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wp15s}$ ,  $\theta_{wd15s}$ ,  $\theta_{wg15s}$  の変化を示す。速度比  $K_v$  は工作物周速度  $V_w$  を砥石周速度  $V_s$  で除した値であり、砥石と工作物の相対速度比を表わす。実験では  $V_s$  を一定にして  $V_w$  を変えることにより  $K_v$  を変化させ、加工後の工作物が水槽に浸かるまでの間隔を変えている。  $K_v$  が増加すると工作物の研削される量が増加し加工能率も上がるが、その分発熱も多くなり、 $\theta_{wd15s}$  と  $\theta_{wg15s}$  は上昇している。一方、 $\theta_{wp15s}$  は逆に温度が減少し、湿式研削の値に近づいている。これは研削された部分が水槽に漬かるまでの時間が短くなり、短い時間でも工作物表面付近にある熱なら工作物内部に拡散する前に冷却液で奪いやすいためであり、また、常に水槽に浸漬していることで工作物半面の熱伝達により工作物全体を低い温度に平衡させる作

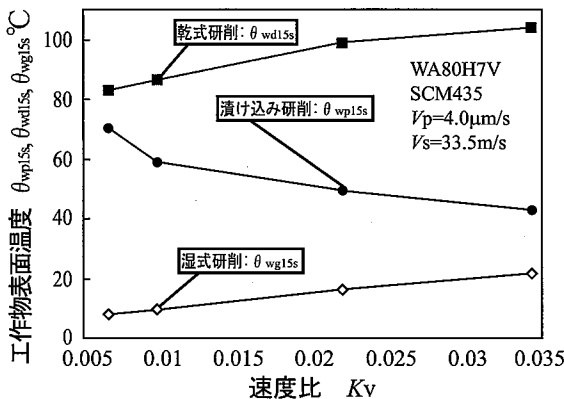


図10 各研削法による速度比  $K_v$  に対する研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wp15s}$ ,  $\theta_{wd15s}$ ,  $\theta_{wg15s}$

用があることを示していると考えられる。

次に、より効果のあった半水中(給液併用)研削法と他の冷却液を供給する研削法の比較を行った。図11に各研削法を行った場合の冷却液供給量に対する研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wps15s}$ ,  $\theta_{wm15s}$ ,  $\theta_{wnm15s}$  の変化を示す。ただし前述のようにミスト研削法とノーミスト研削法では冷却液には水(水道水)を使用している。この図より各々液量が増えるほど冷却効果が高まることを現し、また、半水中(給液併用)研削法は同液量のミスト・ノーミスト研削法に比べ冷却効果が高いことが示された。これはミスト・ノーミスト研削法とは違い、わずかな量でも研削液による潤滑性により発熱が抑えられ、水槽への浸漬による冷却効果も付加されているためであると考えられる。また、本実験の液供給は装置の性能上  $0.4\text{ l/min}$  が限界であるが、半水中(給液併用)研削法の給液量を増加させれば  $15\text{ l/min}$  もなくても湿式に匹敵すると考えられる。図11から半水中(給液併用)研削法における  $\theta_{wps15s}$  と  $Q_{ps}$  の間に、以下の自然対数近似実験式が得られる。

$$\theta_{wps15s} = -10.43 \ln(Q_{ps}) + 17.16$$

図9より湿式研削法では  $V_p = 4\mu\text{m/sec}$ ,  $K_v = 0.0095$  において研削開始15秒後の工作物表面温度は  $\theta_{wg15s} = 9.75^\circ\text{C}$  である。実験式から半水中(給液併用)研削法が同  $V_p = 4\mu\text{m/sec}$ ,  $K_v = 0.0095$  において研削液と同じ温度まで冷却するために要する冷却液供給量

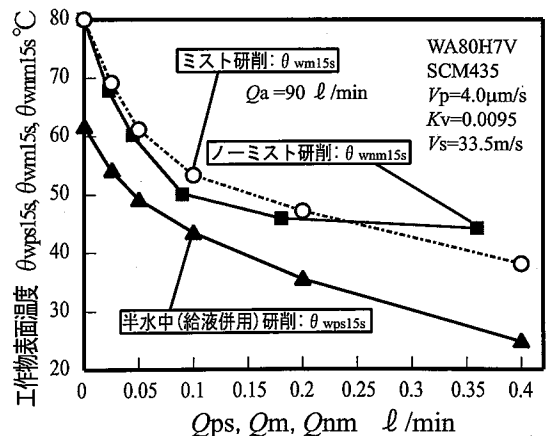


図11 各研削法による冷却液供給量  $Q_{ps}$ ,  $Q_m$ ,  $Q_{nm}$  に対する研削開始15秒後の工作物表面温度  $\theta_{wps15s}$ ,  $\theta_{wm15s}$ ,  $\theta_{wnm15s}$

は2.04 ℓ/minであると推算できる。これは半水中（給液併用）研削法による冷却効果の高さを示している。

以上の結果から、半水中（給液併用）研削法によりノズルからの供給流量を減らすことで使用加工液総量もまた減らせると考えられる。また、ノズルより吐出す液量が減るため、研削液の飛散も少なくなり、作業者が研削液を吸い込むリスクも低減し作業環境が改善されると考えられる。また、水槽の切削油剤を水のみによればより環境改善効果が期待できるが、電気防錆加工法<sup>13-16</sup>の併用による装置改造・防錆検証が必要なため、本報では半水中加工法の提案・検証にとどめた。

### 3.3 半水中研削法の応用と改良

半水中研削法の応用としては、高熱伝達率の廃熱先である水槽に漬かっているため低い温度に平衡させる作用があることから、難研削材の加工や工作物加工量が多い高発熱の高エネルギー・重研削加工<sup>17</sup>へ適用可能性がある。これらは工作物に流入する熱量が多く工作物全体に蓄熱されやすいので、半水中研削法を適用すれば冷却性増加に伴う潤滑性や工作物表面粗さの改善効果が期待される。次に冷却性を向上させる改良として、研削直後の部分が速やかに水槽に入るようにするため、以下に示すa.～c.の手法が考えられる。

a. 砥石と工作物の回転方向を両方逆にする。

これにより、研削直後の工作物部位が水槽に入るため、速やかな冷却が実現する。しかし、通常、砥石回転方向に対して砥石フランジは締まるようになっているため、そのまま逆回転するとフランジが緩み砥石が外れる懸念があるのでフランジの交換が必要である。

b. 工作物の回転を逆にし、下向き研削<sup>18</sup>を実施する。

前述の実験はすべて工作物と砥石の回転方向が逆の上向き研削<sup>18</sup>であった。工作物の回転方向を逆転させることで、a. 同様、研削直後の工作物部位が水槽に入るため、速やかな冷却が実現する。ただし、下向き研削の場合、砥石と工作物の進行方向が同じため上滑りしにくく砥石が割れる危険があるため、加工条件の慎重な検討が必要である。

c. 工作物全体を水槽に浸漬するようにする（水中加工）。

半水中研削法は工作物下半分が浸漬する半水中加工であった。工作物全体を水中に沈漬する水中加工では、常に工作物全面が水に浸かって冷却されているため、

a. やb. より冷却性が向上することが望める。しかしながら、工作物全体が水槽に漬かりながら研削でき

るように研削盤自体の構造の変更等を要するため研究・開発が必要である。また、この水中加工において加工液に水のみを使用し電気防錆加工法<sup>13-16</sup>と併用することで、廃液処理を著しく低減させるだけでなく、水のみで加工性能を増加できる可能性がある。

## 結 言

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1)ブロー研削法は冷却性、潤滑性において有効な効果がないことが示された。
- (2)ミスト、ノーミスト研削法は若干冷却性が示された。またミスト研削法においてプランジ速度が小さい場合は潤滑性が確認できた。しかし、十分な冷却のためには水供給量が不足しているといえる。
- (3)半水中研削法は冷却液量は少ないにもかかわらず冷却性、潤滑性があることが分かった。給液併用においては0.4 ℓ/minで湿式研削法に遜色ない潤滑性が得られ、また給液量を2.04 ℓ/minまで増加させれば冷却性も匹敵すると推定される。

謝辞：本研究の実施にあたり、科研費（19860003）の助成を受けたことを記す。

## 参 考 文 献

- 1) 中島利勝, 鳴瀧則彦; 機械加工学, コロナ社, 181-185, 1983.
- 2) 広井進, 中山康夫; 切削油剤と研削油剤, 幸書房, 238-244, 1982.
- 3) 広井進, 中山康夫; 切削油剤と研削油剤, 幸書房, 244-264, 1982.
- 4) 勸機械振興協会 技術研究所; 加工技術データファイル基礎編 (研削研磨加工), 勸機械振興協会 技術研究所, 32-33, 2002.
- 5) 横川和彦, 横川宗彦; ISO14000取得のための冷風切削・研削技術, 機械技術, 45, (8), 52, 1997.
- 6) 横田秀雄; MQL 切削の現状と課題, 精密工学会誌, 68, (7), 903, 2002.
- 7) 中川平三郎; 実験技術シリーズ 固定砥粒加工編 その1 研削抵抗の測定 円筒外面研削加工における研削抵抗の測定, 砥粒加工学会誌, 44, (11), 482-485, 2000.
- 8) 中島利勝・塚本真也・吉川満雄; 水溶性研削油剤の作用に関する研究 (第3報) 一界面活性剤の冷却性および潤滑性と研削結果, 精密工学会誌, 54, (2), 414-420, 1988.
- 9) 砥粒加工学会 編; 切削・研削・研磨用語辞典, (株)工業調査会, p.114, 1995.
- 10) 関信弘 編; 伝熱工学, 森北出版(株), p.43, 1988.
- 11) 関信弘 編; 伝熱工学, 森北出版(株), 244-245, 1988.
- 12) 安井平司; 接触弧内における研削液の沸騰 湿式研削温度の研究 I, 精密機械, 48, (5), 609-615, 1982.
- 13) 塚本真也, 大橋一仁, 西川尚宏, 須藤将仁, 久保孝典,



- 中島利勝；円筒研削における電気防錆加工法の提案，精密工学会誌，71，(3)，337-341，2005.
- 14) S. Tsukamoto, N. Nishikawa, K. Okamoto and K. Ohashi ; Development of the Electricity Rust Preventive Machining Method in Surface Grinding Advances in Abrasive Technology VI Key Engineering Materials Vols, 257-258, 483-488, 2004.
- 15) 西川尚宏，大橋一仁，吉原啓太，塚本真也；内面研削における電気防錆加工法の開発—加工液に水のみを使用するエコマシニングの提案—，環境技術，35，(6)，452-459，2006.
- 16) 西川尚宏，塚本真也，大橋一仁，三宅隆介，井山俊郎，水野雅裕；エンドミル切削における電気防錆加工法の開発—切削加工における水のみを使用した環境調和型加工法—，環境技術，37，(4)，274-281，2008.
- 17) 松尾哲夫；特集 最近の高効率研削・重研削技術 高効率研削・重研削技術の現状，精密工学会誌，58，(4)，571-573，1992.
- 18) 中島利勝，鳴瀧則彦；機械加工学，コロナ社，p.118，1983.

### Basic Investigation of Environmental Harmonic Machining

#### - Examination of various low pollution machining methods and effectiveness verification of half underwater grinding -

Naohiro NISHIKAWA, Shinya TSUKAMOTO, Kazuhito OHASHI, Toshikatsu NAKAJIMA  
Toshirou IYAMA, Masahiro MIZUNO, Yasushi OTA, Takanori KUBO

#### ABSTRACT

Reducing the use of machining fluid such as cutting oil and grinding fluid, which cause heavy environmental load in waste fluid treatment, is desired in industrial plant processing. In this investigation, new grinding methods such as the blow grinding method using compressed air, the mist / no mist grinding method using small quantities of water, and the half underwater grinding method, all of which greatly decrease the amount of the grinding fluid supply, are proposed as a substitution of the wet grinding method, which uses a large quantity of conventional grinding fluid in cylindrical grinding. Cooling ability and lubricity as grinding performance of these methods were evaluated. The blow grinding method obtained neither effective lubricity nor the cooling effect with an air supply rate of approximately 90 ℓ/min. In the mist grinding method, partial cooling ability was confirmed, and the lubricity was confirmed while plunge speed is small. On the other hand, the half underwater grinding method achieved lubricity equal to the wet grinding method by combining a small amount of fluid supply. In addition, it is estimated that cooling ability of the half underwater method is equal to that of the wet grinding method considering a fluid supply rate of 2.04 ℓ/min. In conclusion, because of the large cooling ability for workpieces, it is expected that the half underwater grinding method can be applied to highly exothermic machining.

**Key Words** : Cylindrical grinding, Waste fluid treatment, Half underwater machining, Environmental harmonic machining, Low pollution