

## 研削加工における少流量クーラント供給技術の開発 (EcoLOG 研削 TYPE II)

Development of Limited Coolant Supplying Technology in Grinding (EcoLOG Grinding TYPE II)

吉見隆行 T. YOSHIMI 大石重雄 S. OISHI 大久保 聡 S. OKUBO 森田 浩 H. MORITA

In grinding, a large amount of grinding fluid (coolant) is supplied to break through the air-flow circulating with the rotating grinding wheel to reach the grinding point. In this study, technology to reduce the required amount of coolant supply has been developed whereby air supplied above the grinding point from the side of the wheel effectively intercept the air-flow around the wheel. Evaluation testing has confirmed that in the high-efficiency grinding range, grinding performance equivalent to that with the conventional method can be achieved with half the coolant supply. In addition, wheel spindle power loss due to coolant has been reduced by about 50%. In the case of grinding where the grinding point moves widely up and down, coolant has been confirmed to reach to the lower part of the wheel in contrast with conventional methods.

**Key Words:** environment, coolant supplying system, air-flow, high-speed grinding

### 1. はじめに

近年、環境意識の高まりから、生産現場においても環境保全、省エネルギーへの取組みが積極的に行われるようになってきた。その代表的な取組みの1つに、加工油剤（以下、クーラントと称す）使用量の削減があり、切削加工においては、ドライ加工やMQL（Minimum Quantity Lubrication）加工などが、実際の生産現場で活用されるようになってきている<sup>1)</sup>。

一方、研削加工は工具である砥石が負のすくい角を持つ切れ刃の集合体であるため、切削加工に比べて加工時の発熱量が大きく、また高精度、高品位の要求から、多量のクーラントを加工点に供給することが必要とされている。そのため、生産現場でクーラント使用量を削減した加工事例の報告は少ない。

筆者らは先に研削加工におけるクーラント使用量の削減を狙いとして、微量潤滑油ミストと微量クーラントを供給するセミドライ研削方式「EcoLOG（エコロジー）研削 TYPE I」を開発し、ミッションシャフト部品などの円筒研削加工において、従来の1/100程度のクーラント供給量で加工が可能であると報告した<sup>2)</sup>。しかし、工作物材質や形状、および要求精度によって適用範囲に制約があり、また研削能率が高くなると、研削焼けが発生しやすくなるなどの課題があった。

そこで今回、適用範囲を拡大するために、高能率研

削領域でのクーラント供給量の削減を狙いとして、回転する砥石周辺に連れ回る空気流を効率的に遮断し、クーラント供給量を大幅に削減した新クーラント供給方式「EcoLOG 研削 TYPE II」を開発した。

本報では本技術の概要と加工事例について報告する。

### 2. 従来のクーラント供給技術と課題

外面研削盤における対象工作物とクーラント供給量の関係の一例を図1に示す。一般的に、研削能率が高くなるにしたがって研削点における発熱量が大きくなるため、クーラント供給量を増加させる傾向にある。また、クランクシャフトやカムシャフトなどのように高生産性が求められる部品の場合、砥石周速度が高速化される傾向にあり、回転する砥石の周辺に存在する連れ回り空気流がクーラントの研削点への到達を妨げている。そのため、空気流を打ち破るために、さらに多くのクーラントが必要になる。

ここで砥石周辺に発生する空気流を把握するために、ピトー管を用いて砥石外周面付近の空気流の圧力から、実験的に空気流速を測定した。図2に示すように砥石面から同じ距離で比較すると、砥石周速度が高くなるほど、空気流速が高くなっていることが分かる。また、砥石外周面に近づくほど、空気流速は速くなっている。

この空気流を遮断する代表的な方策として、邪魔板と

呼ばれる金属の遮風板を砥石表面付近に設置する方法<sup>3)</sup>が挙げられる。しかし砥石とのすきまの調整や、砥石径変化に対する管理が困難などの課題がある。そのため、高速研削盤では多量または高圧のクーラントを供給して、空気流を打ち破る方法が多用されている。ここで高圧ポンプは設備コスト、メンテナンスなどに課題があるため、通常ポンプでのクーラント供給が要望されている。その代表的な方式として、直角ノズル方式<sup>4)</sup>がある。同方式は図3に示すように、砥石表面に対して直角方向にクーラントを供給して、砥石連れ回り空気流を打ち破り、そのまま砥石表面にクーラントを巻き付かせて、研削点にクーラントを導く方式で、高砥石周速度でも低圧ポンプで対応が可能で、ノズル取付け位置の調整が容易という特長がある。

しかし、1つのクーラントノズルに空気流を打ち破る機能と、研削点に必要なクーラント量を供給する機能を兼用させているため、多量のクーラントが必要となる。その結果、クーラントが砥石面に接触することにより発生する砥石軸モータの損失動力は増加し、特に図4に示すように砥石周速度が高くなると、損失動力も大きくなる。

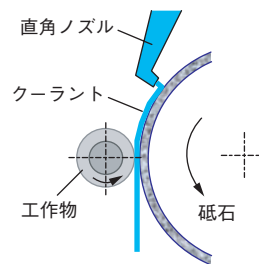


図3 直角ノズル方式  
Right-angle nozzle

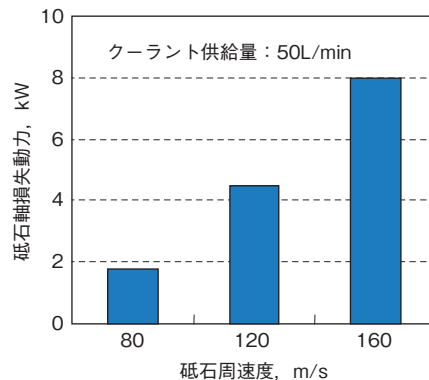


図4 砥石周速度と砥石軸損失動力の関係  
Relation between wheel peripheral speed and wheel spindle power loss

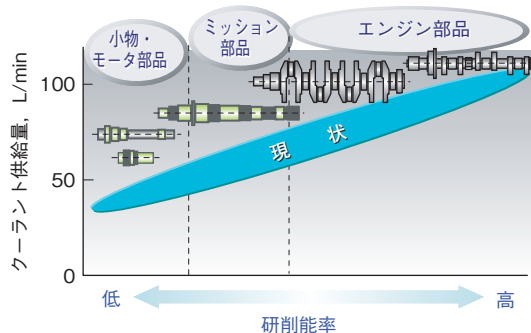


図1 クーラント供給量と対象工作物の関係  
Relation between the amount of coolant and type of workpiece

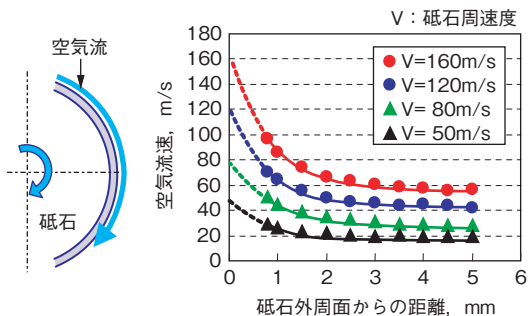


図2 砥石周速度と空気流速の関係  
Relation between wheel peripheral speed and air-flow velocity

### 3. 新クーラント供給方式 (EcoLoG研削TYPE II)

この課題を克服するために考案したのが、図5に示す新クーラント供給方式である。本方式は従来ノズルの持つ2つの機能である「空気流の遮断」と「研削点への供給」を分離したことを特長としている。具体的には、研削点の上部において、砥石側面方向からエアを供給して空気流を遮断し、研削点近傍の砥石表面に対して、接線方向からストレートタイプのノズルを用いて、少流量のクーラントを供給する方式である。

図6に砥石外周面に連れ回る空気流を遮断したときの、空気流速分布をCFD (Computational Fluid Dynamics) 解析した結果を示す。図より、新方式ではエアを供給した直後に、砥石表面近傍の空気流速が急激に低下していることが分かる。また、遮断後の連れ回り空気層が薄くなっており、クーラントが砥石面に到達しやすいと考えられる。

この効果を確認するために、砥石周速度 160m/s で回転する砥石にクーラントを供給し、空気流遮断の有無でクーラントの状態を比較した。ここで空気流を打ち破るために必要なクーラント流速は、空気速度エネルギーが研削点で圧力に変換されるものとして、それを上回

るだけの圧力を発生する速度が必要となる<sup>5)</sup>。それに基づき、本実験でのクーラント供給条件は、計算上砥石面に到達しない圧力 0.1MPa、流量 3L/min とした。図 7 (a) に示すように空気流遮断なしでは、砥石表面にクーラントは到達しないことが分かる。そこで本方式を用いて空気流を遮断すると、砥石表面近傍の空気流速はピトー管による実測で 48% 程度低減し、図 7 (b) に示すように同じクーラント供給状態でも砥石表面にクーラントを到達させることができた。以下に研削性能と具体的な適用事例について述べる。

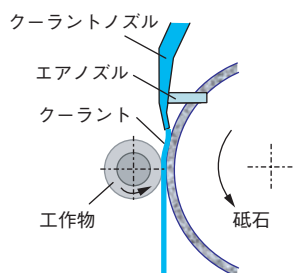
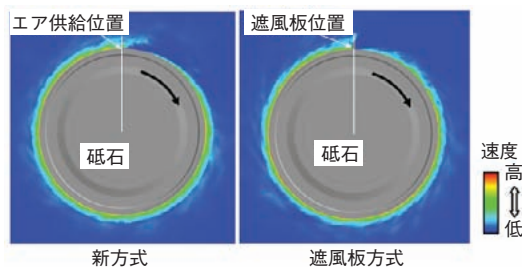


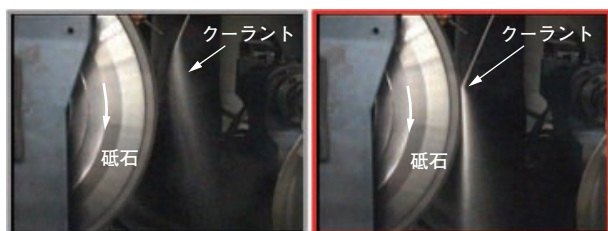
図5 新クーラント供給方式  
New coolant supply system



(株豊田中央研究所殿の流体解析ソフトによる結果)

図6 砥石周りの空気流速分布

Distribution of air-flow velocity around wheel



(a) 空気流遮断なし (b) 空気流遮断あり

図7 クーラント供給状態の比較

Comparison of state of supplied coolant

#### 4. 研削性能評価実験

新クーラント供給方式での研削性能を評価するために、円筒研削盤を用いて研削実験を行った。表 1 に研削条件を示す。実験はビトリファイド CBN 砥石を用いて、砥石周速度 120m/s で浸炭焼入れしたクロムモリブデン鋼を円筒プランジ方式で研削し、直角ノズルを用いた場合と比較した。ここでクーラント供給量の低減により懸念される工作物の熱的損傷を明確にするために、研削サイクルは粗研削終了後スパークアウトなしとし、研削焼けの発生による工作物の硬度低下の有無を指標とした限界研削能率で比較した。図 8 にクーラント供給量と限界研削能率の関係を示す。

表1 研削条件  
Grinding conditions

砥石	ビトリファイド CBN 砥石 ( $\phi 400 \times 20\text{mm}$ , #120, 集中度 150)
砥石周速度	120m/s
工作物	クロムモリブデン鋼 ( $\phi 30 \times 20\text{mm}$ ) (浸炭焼入れ: 60HRC)
工作物回転速度	150min <sup>-1</sup>
研削方式	円筒プランジ (スパークアウトなし)
取代	$\phi 0.5\text{mm}$
クーラント	エマルジョンタイプ (希釈倍率 20 倍)
エア流量	150NL/min

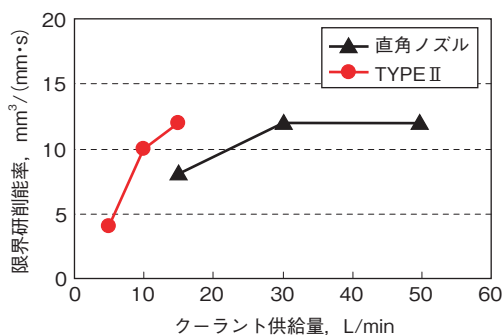


図8 クーラント供給量と限界研削能率の関係  
Relation between the amount of coolant and maximum material removal rate

同じクーラント供給量 15L/min で比較すると、新クーラント供給方式の方が直角ノズルより限界研削能率が高く、また同じ限界研削能率で比較すると、新クーラント供給方式の方が必要なクーラント供給量が少ないことが分かる。その結果、クーラント供給による砥石軸損失動力も直角ノズル方式より低減できた。また連続研削実験を実施した結果、クーラントの飛散が少ないことによ

り、機械各部への切りくず堆積が少なくなることも確認された。

## 5. クランクシャフトピン研削への適用

ジャーナル部に対して大きな偏心量を持つクランクシャフトピンの加工は、**図9**に示すように偏心チャックでクランクシャフトの両端ジャーナルを保持し、ピン中心を回転中心として研削する方式と、クランクシャフトをジャーナル中心で回転させ、偏心するピン部の回転 (C 軸) と砥石台の送り (X 軸) を同期させて研削する方式 (以下、C-X 研削と称す) の2種類がある。

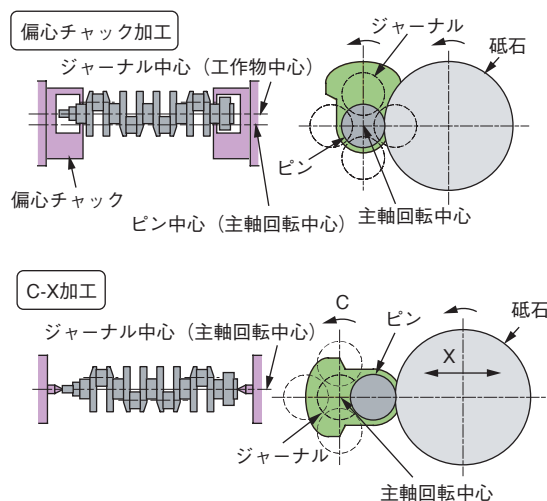
近年、工程集約・工程分割の生産方式に柔軟な対応が可能な C-X 研削方式が主流になりつつある。しかし同方式は工作物が1回転する間に研削点が砥石台の送りに同期して上下に偏心量分移動するので、ノズルは工作物との干渉を考慮して、研削点から離れた上方に設置せざるを得ない。このため、研削点にクーラントが供給されにくくなり、特に研削点がジャーナル回転中心より下にあるときには、クーラントの供給が不十分となるため、研削焼けの発生が問題となる。そのため、C-X 研削方式ではクーラント供給量も増加する傾向にある。

ここで新クーラント供給方式は、**図10**に示すように少流量のクーラントでも、クーラントが下方まで砥石面に巻き付いていることが分かる。そこで C-X 研削方式に適用した場合の、砥石上部から下部までのクーラント到達度を確認した。評価は研削点にクーラントが到達すれば、その点に圧力が発生するとの考えから、動圧軸受の原理を円弧に適用することにより<sup>6)</sup>、発生する圧力を比較した。測定は**図11**に示すように、外周にφ0.7mmの穴を開け、その後方に半導体圧力センサを設置した治具を用いて、砥石周速度 120m/s でクーラント供給量を変化させたときの、ピン位相ごとに研削点で発生するクーラント動圧を評価した。**図12**に測定結果を示す。図より直角ノズルでクーラント供給量 80L/min の場合、クーラントノズルに最も近い位置にある 270 度位相では高いクーラント動圧が発生しているが、研削点が下方に移動するにしたがって、クーラント動圧は大きく低下する傾向にある。これに対して新クーラント供給方式では、クーラント供給量が半分の 40L/min でも、研削点の移動に伴うクーラント動圧低下量が少なく、最下点の 90 度位相で直角ノズルよりも高いクーラント動圧が発生している。また、20L/min でも同等の動圧が発

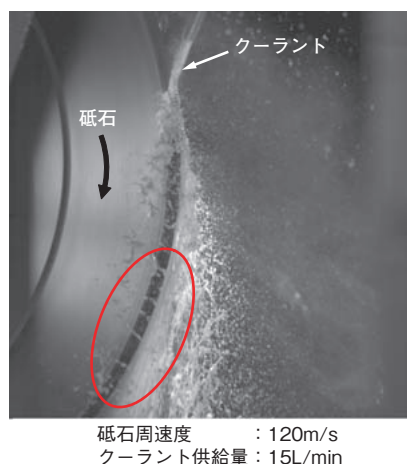
生しており、効率よくクーラントが供給されていると考えられる。

**図13**に砥石周速度 120m/s で砥石空気流遮断の有無による実加工中のクーラント供給状態の比較を示す。ここで工作物は加工状態を観察しやすくするために、クランクシャフトのピン形状を模擬したテストピースを使用した。図より空気流遮断によりクーラント供給量 20L/min の少流量でも、研削点までのクーラント拡散が抑制され、加工中の研削火花が少なくなることが分かる。

以上のことから、新クーラント供給方式は C-X 研削方式において、クーラント供給量の削減だけではなく、研削焼けの抑制などの研削性能向上にも効果があると考えられる。



**図9** クランクシャフトピン研削機構  
Mechanism of crank-shaft pin grinding



**図10** クーラント供給状態 (円筒研削盤)  
State of supplied coolant in cylindrical grinder

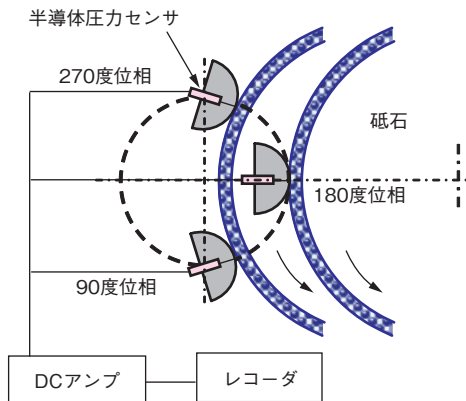


図11 クーラント動圧測定状態  
Measuring method of coolant pressure

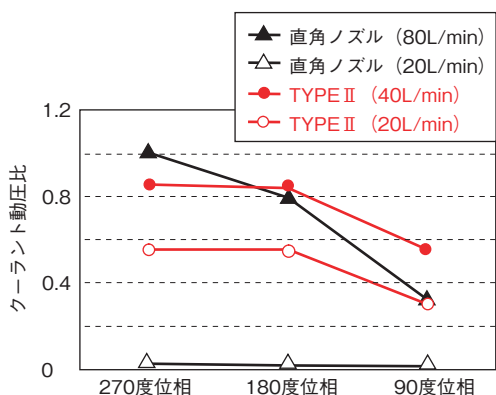
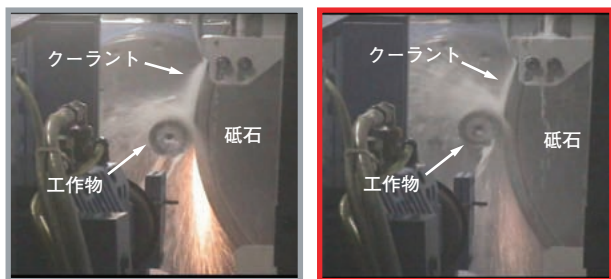


図12 ピン位相とクーラント動圧の関係  
Relation between pin phase and coolant pressure



(a) 空気流遮断なし (b) 空気流遮断あり

図13 研削状態の比較  
Comparison of grinding state

## 6. おわりに

新クーラント供給方式 (EcoLoG 研削 TYPE II) により、高能率研削領域において、従来と同等の研削性能でクーラント供給量 1/2、砥石軸損失動力 1/2 を達成した。さらにクランクシャフトピン研削のように、研削点が上下に大きく移動する研削方式において、クーラントノズルの追従機構なしで、従来に比べて下方までクーラントを到達させられることを確認し、実機に適用した。

これらの成果を受けて、本技術は精密工学会および日本トライボロジー学会の技術賞を受賞した<sup>7), 8)</sup>。

今後もトータルシステムとして、生産性とコストの両立を目指し、さらなる環境に優しい加工技術および研削盤の開発を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 近藤智浩：自動車部品へのセミドライ加工の適用，月刊トライボロジー，no. 211(2005)18.
- 2) 阿部忠之，渋谷哲郎，向井良平，石山 元，若園賀生，吉見隆行：小形円筒研削盤「EGProcessor」の開発，砥粒加工学会誌，vol. 50，no. 5(2006)2.
- 3) 横川和彦，横川宗彦：研削加工の進め方，工業調査会，(1992)257.
- 4) 向井良平，筒井利弘：高速研削における研削液供給法，昭和60年精機学会春季大会学術講演会論文集(1985)215.
- 5) 佐田登志夫，井上英夫：機械工学全書 高能率研削(2)実際編，大河出版(1975)64.
- 6) 向井良平，横川和彦：巻付けノズルによる研削油剤供給法に関する研究，砥粒加工学会誌，vol. 31，no. 238(1987)21.
- 7) 2008年度(第4回)精密工学会技術賞受賞業績の紹介，精密工学会誌，vol. 74，no. 12(2008).
- 8) 2008年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者，トライボロジスト，vol. 54，no. 4(2009)232.

## 筆者



吉見隆行\*  
T. YOSHIMI



大石重雄\*  
S. OISHI



大久保 聡\*  
S. OKUBO



森田 浩\*\*  
H. MORITA

\* 研究開発センター 加工システム研究部

\*\* 生技・生産・物流部門 生産技術開発部