

ファインバブルクーラントが研削加工に及ぼす影響（第2報）

稲澤 勝史* 江面 篤志* 高岩 徳寿*
加藤 克紀** 篠原 尚也**

Effect of Fine-Bubble Coolant on Grinding Characteristics (2nd Report)

Katsufumi INAZAWA, Atsushi EZURA, Norihisa TAKAIWA

Katsunori KATO and Naoya SHINOHARA

近年、研削加工における加工能率の向上を目的として、ファインバブルを用いた研削加工が注目されている。既報では、大生工業株式会社が開発したファインバブル発生ノズルを用いて、ファインバブル条件が研削特性に及ぼす影響を検討し、吸気量が2 Lの場合に0 Lの場合と比較して砥石の目詰まりが軽減し研削比が向上することを明らかにした。本報では、ファインバブルの有無及びファインバブルに用いる気体を変え、研削特性に及ぼす影響を検討した¹⁾。ファインバブルを含むクーラントを用いた場合には、通常の研削液と比較して砥石摩耗が低減した。特に AirFB を用いた場合には最も砥石摩耗量が低減し、通常の研削液を用いた場合と比較して3倍以上の研削比を達成した。

Key words: ファインバブル, 液特性, 研削抵抗, 研削比

1 はじめに

ファインバブル（以下、FB）は、直径が100 μm以下の気泡であり、近年では裾野の広い技術として注目を浴びており、様々な産業分野での利用が進んでいる²⁾。工業分野での利用に着目すると、FBを含むクーラントを加工に用いることで、研削比の向上及び表面粗さの低減などが報告されており³⁾、FBノズルを搭載した加工機も実用化されている。

FBの特徴として、液中での上昇速度が気泡径の減少と共に減少すること、また気泡が小さくなるほど気泡内部の圧力は高くなり、溶解の推進力が増大し、ガスが溶解しやすくなることが知られている⁴⁾。このため、様々な気体を用いて液特性を制御し、加工雰囲気調整することが可能と考えられる。例えば、加工雰囲気を変化させた加工として、MQLにCO₂ガスを援用したS45Cの切削加工では、酸化発熱を抑制できることから、超硬工具の摩耗が低減することが明らかにされている⁵⁾。加工熱の抑制は、超硬工具のみならず様々な工具の摩耗抑制に効果的であり、特にダイヤモンド工具に対しては有効であると考えられる。

そこで、我々が開発したFBノズルを用い⁶⁾、各種気体を用いて研削液特性を調整し、加工に適した研削液特性を検討することとした。本ノズルは、水圧をかけるこ

とで内部の圧力が減少し、吸気部から空気を自吸する構造となっている。このため、吸気する気体を変えることで、様々な気体のFBを作ることが可能である。よって本研究では、吸気させる気体を変え、各種気体のFBを含有した研削液が研削加工に及ぼす影響を検討した。

2 研究の方法

2.1 各種気体を用いたFBが研削液に及ぼす影響

各種気体のFBを含有させることで、研削液の基礎特性がどのように変化するかを把握するため、図1に示す装置を用い、5Lの研削液に対してAirFB、N₂FB、CO₂FBを発生させた。FB発生後の液特性の評価項目は、先行研究⁵⁾では酸化発熱を抑制していたことから、液中に溶け込んでいる溶存酸素量DO [mg/L]及び水素イオン指数pHとし、HORIBA LAQUA act D-74及びD-75を用いて測定した。ここで、研削液には水道水にて50倍希釈した弱導電性研削液（東洋工学株式会社 CG-7）を用いた。

なお、筆者らは既報¹⁾にて、砥石近傍にFBノズルを設置し、吸気量が研削特性に及ぼす影響を検討しており、2 L/minのFBが研削時の目詰まり及び砥石摩耗を低減することを示している。このため、図1中の点線で示すノズルの吸気部の先端にフローメータを設置し、吸気する各種気体の量を2 L/minに固定して試験を行った。

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

** 大生工業株式会社 FB事業部

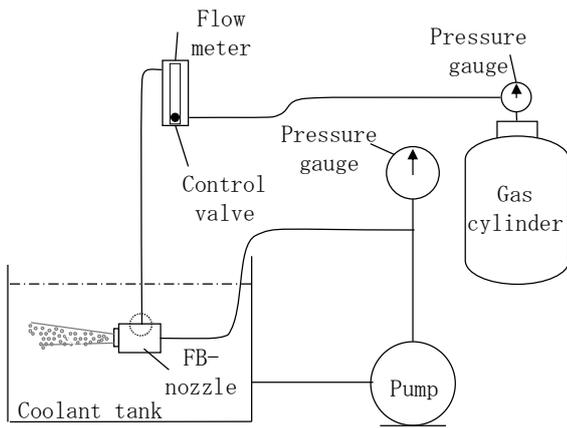


図1 FB循環システムの概観

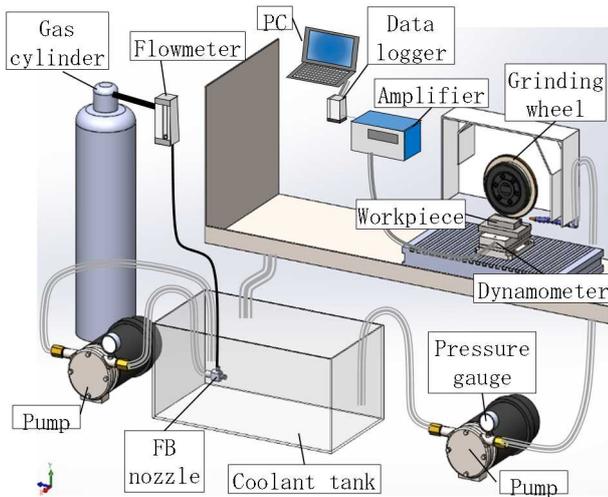


図2 研削加工装置

表1 加工条件

Grinding velocity	314 m/min
Feed rate	2.5 m/min
Depth of cut	0.003 mm
Coolant	Normal, AirFB, N ₂ FB, CO ₂ FB

2.2 加工条件

各種気体のFBを含有した研削液が加工特性に及ぼす影響を検討するため、図2に示す装置を用いて加工実験を行った。加工は、被削材 SUS304(長さ100×幅50 mm)に対して、幅10 mmのSD325メタルボンド砥石を用いた。また加工条件は、長期的な加工を行い除去量と摩耗量の測定を行うため、定常的に加工が可能な条件設定として表1の条件を用いた。ここで、比較のためにFBを発生させない研削液(以下、通常研削液)を用い、各種気体のFBにおいては、加工を行う前に60分間タンク内でFBを循環させ、かつ加工中もFBを発生させることで、十分なFBを供給しながら加工を行った。

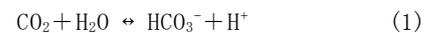
評価項目は、加工後の表面粗さ、砥石の摩耗量、研削抵抗とし、研削抵抗については圧電式三成分動力計(日本キスラー(株) 9265B)を、表面粗さの測定には表面粗さ測定機(アメテック(株) PGI840)を用いて評価を行った。

3 結果及び考察

3.1 各種気体のFBを含有した研削液の基礎特性

表2に各種気体のFBを発生させた場合の研削液の基礎特性を示す。

なお、同表には比較として通常研削液の基礎特性も示した。CO₂FBを用いた場合では、pH値の低下も見られた。これは、次式(1)に示した反応が起こるためである²⁾。



また、CO₂FB及びN₂FBを用いた場合、DO値が低下することがわかった。これは、CO₂FBを用いた場合には、先の反応で水中の酸素が使用されたことによるもので、N₂FBを用いた場合には、液中の酸素が窒素に置換されたことによるものと考えられる。

以上のことから、FBに用いる気体を変えることで、研削液の特性を調整できることがわかった。一般に、FBの上昇速度はStokesの式に従うため、直径の二乗に比例する。よって、径が小さくなればなるほど液中での滞在時間が長くなる。加えて、FBの気泡内圧力はYoung-Laplaceの式に従うため、直径に反比例して気泡周囲の圧力よりも高くなる。また、気体はヘンリーの法則に従って溶解するため、加圧された気体は効率的に周囲の水に溶解する^{7),8)}。先述した液特性の変化は、これらの効果に起因すると考えられ、液特性の調整にFBを用いることは効果的であると考えられる。

3.2 各種気体のFBを含有した研削液を用いた加工特性

図3に、研削加工後の表面粗さの測定結果を示す。同図より、CO₂FBを用いた場合にはRa、Rz共に若干の低減が見られたものの、全体として大きな差異はない。既報では、切込み量が多い条件にてFBが目詰まりに効果的であることを明らかにしているが、本条件では目詰まりが起きない定常的な加工であったことから、大きな差が見られなかったと考える。

図4に研削時の研削抵抗を示す。ここで比較のため、昨年と同様にFBを直接供給する方法で、表1の条件を用いて加工した際の研削抵抗も示す。空気及びN₂FBを用いることで、通常研削液を用いた場合に比べて研削抵抗が低減する傾向が見られる。特に、同図(b)に示す背分力ではこの傾向がより顕著に見られた。このことは、砥石に係る負荷が軽減していることを示しており、砥石

表2 液特性の測定結果

	pH	DO [mg/L]
Normal	10	7.0
AirFB	10	7.5
N ₂ FB	10	1.4
CO ₂ FB	7	1.8

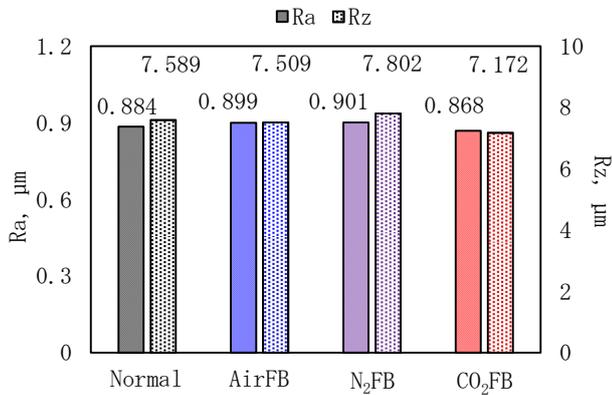
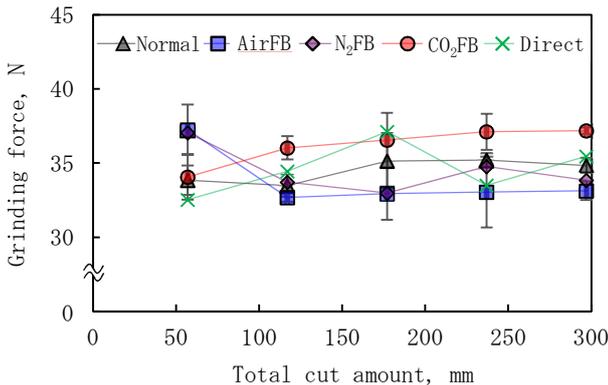
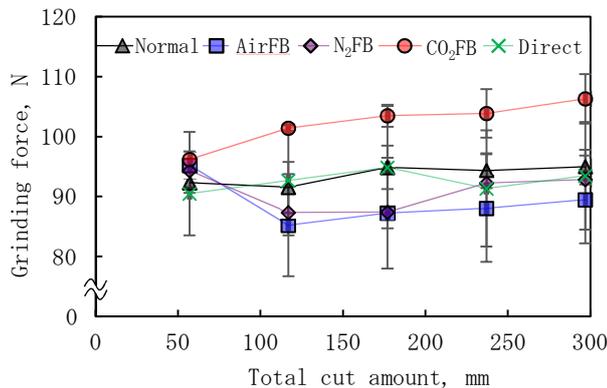


図3 各種FBを用いた研削後の被削材表面粗さ



(a) 主成分力 (x 方向)



(b) 背成分力 (z 方向)

図4 各種FBを用いた研削時の研削抵抗

摩耗の抑制が期待できる。また、AirFBと直接供給を比較すると、AirFBを用いた場合に研削抵抗が小さい値を示すことから、定常状態での研削においては、タンク内

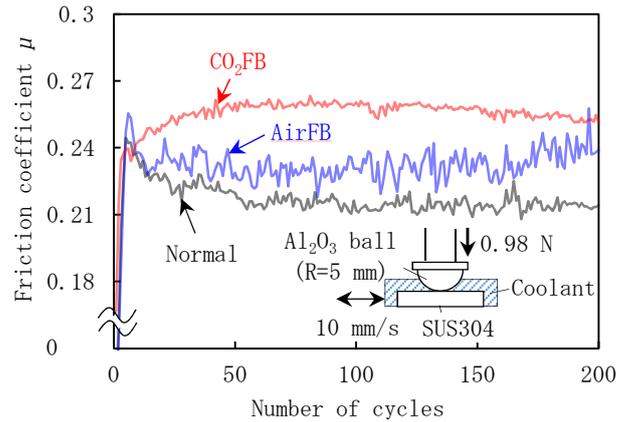


図5 摩擦摩耗試験時の摩擦係数の推移

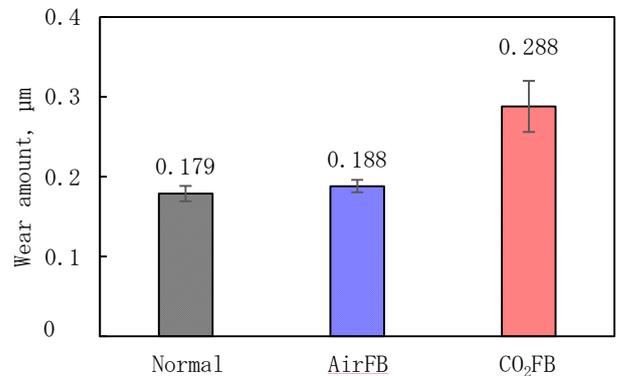


図6 摩擦摩耗試験後の試料表面の摩耗量

で循環したFBを用いた場合には砥石に係る負荷が低減できることを示唆している。一方で、CO₂FBを用いた場合には、通常研削液を用いた場合と比べて研削抵抗が高い値を示し、他のFBを用いた場合と異なる挙動を示した。この現象を把握するため、砥粒と被削材との二面間の接触状態を模擬し、摩擦摩耗試験を行った。

図5に摩擦試験の繰り返し回数と摩擦係数の推移を示す。同図より、CO₂FBを用いた場合に摩擦係数が高い値を示す傾向が見られた。図6に摩擦摩耗試験後の試料表面の摩耗量の測定結果を示す。同図より、CO₂FBを用いた場合には他の研削液を用いた場合と比べて摩耗量が多い傾向が見られた。以上の結果から、CO₂FBを用いた場合には相手材表面を変質させ、摩擦を繰り返すことで摩耗量が増え、真実接触面積が増加したために摩擦係数が高い値を示したと考えられる。これらの効果により、研削時の研削抵抗も高い値を示したと考えられる。

一方、図7に研削加工後の被削材除去量及び砥石の摩耗量を示す。同図より、FBを用いることで砥石摩耗の低減とそれに起因する除去量が多いことがわかる。特に、AirFBでは最も砥石摩耗が低減していることがわかる。

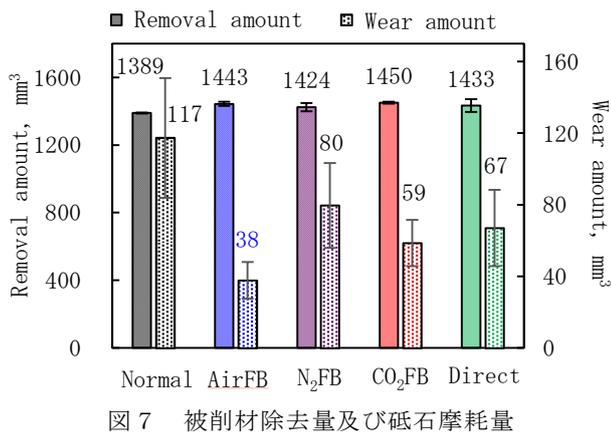


図7 被削材除去量及び砥石摩耗量

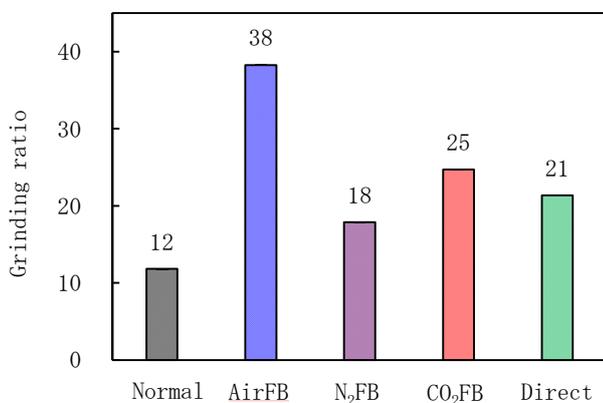


図8 各種FBを用いた研削後の研削比

これは、AirFBに係る研削抵抗が最も低い値を示したことに起因すると考えられる。ただし、先述したようにAirFB及びN₂FBを用いた場合には、研削時の砥石に係る負荷が低減したが、CO₂FBを用いた場合には研削抵抗が高い値を示した。しかしながら、各種気体のFBを用いることで砥石摩耗が低減しているという結果は、本実験においては液特性の変化よりもFBが物理的に作用し、砥石摩耗を実現したことによると考えられる。加えて、AirFBを用いた場合は直接供給と比較して、砥石摩耗量の低減が見られた。これは、前述したとおり、定常的な加工が可能な条件では、タンク内で循環したFBを供給することで砥石に係る負荷が軽減し、砥石摩耗を抑制できることを示している。

図8に被削材除去量を砥石摩耗量で除した値である研削比を示す。研削比は、砥石の研削能力を評価するものである。同図より、FBを用いることで研削比が向上す

ることがわかる。また、AirFBを用いた場合は、通常研削液を用いた場合と比較して3倍以上の研削比向上を実現していることがわかる。これは、前述した砥石摩耗の低減に起因するものである。以上の結果より、FBを用いることで砥石の摩耗を抑えて多くの被削材を除去できるため、FBを用いた加工はコスト低減につながるだけでなく、高い形状精度の創成に資するものと考えられる。

4 おわりに

本研究では、研削液に各種気体のFBを含有したFBクーラントを用い、液特性調査及び加工実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) FBを用いることで、研削液の液特性を調整することが可能である。CO₂FB及びN₂FBを用いた場合、DO値が低下する。また、CO₂FBを用いた場合には、pH値も低下する。
- (2) FBを用いた研削では、通常研削に比べ除去量の増加及び砥石摩耗量の低減が見られた。これは、FBが物理的に作用したことによると考えられる。
- (3) FBを用いることで砥石摩耗が低減することから、研削比が向上する。特に、AirFBを用いることで通常研削に比べて3倍以上の値を示した。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、茨城大学工学部 伊藤 伸英教授には、有益な御助言・御協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 稲澤ら：2018年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(2018)，pp.262-263.
- 2) 齋藤：計測と制御，54，10(2015)，pp.752-755.
- 3) 岩井ら：2007年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(2007)，pp.671-672.
- 4) 柘植：日本海水学会誌，64，1(2010)，pp.4-10.
- 5) 田中ら：2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(2014)，pp.1167-1168.
- 6) 青木ら：流体工学部門講演会講演論文集，(2015).
- 7) H. Tsuge：Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan, 64, 1(2010), pp.4-10.
- 8) M. Takahashi：Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan, 64, 1(2010), pp.19-23.