

ウルトラファインバブル生成技術のクーラントへの適用と研削加工の高効率化

IDEC 株式会社 ○小林秀彰, 上條雄樹, 平野正浩, 荒木和成

1. 諸言

ウルトラファインバブル (以下, UFB と呼ぶ) は直径 $1\ \mu\text{m}$ 未満の微細な気泡の呼称であり, ISO にて定義されている。UFB の生成方式としては加圧溶解方式や旋回液流方式等があり, 直径は純水中で概ね $100\ \text{nm}$ 前後であることが報告されている¹⁾。

UFB の大きな特性の一つとして, マイクロバブルが一般的に短時間で浮上して消失するのに対して数か月経過しても残存することが確認されている。また水に溶解しにくい気体を水中に閉じ込める特性等があり, このような特性を活かして幅広い分野での応用が期待されている。特に洗浄分野に関しては, ガラス基板上の無機塩結晶の除去効果向上²⁾や高速道路に散布された凍結防止剤やサービスイリアのトイレの洗浄においても有効性が確認されており³⁾, 実際に UFB を用いた洗浄作業が行われている。近年は植物育成促進・工業洗浄・食品洗浄・鮮度保持・機械加工等の分野においても効果が見出されて⁴⁾⁵⁾, UFB の応用分野が拡大している。

IDEC は 2012 年に加圧管路方式 (GaLF 方式) による UFB 生成装置 ultrafineGaLF を開発し, 粒子トラッキング解析法により 1×10^8 個/mL 以上生成することを確認した⁶⁾。その後 5 種類 10 台の計測装置により直径 $100 \sim 200\ \text{nm}$ 程度の UFB が存在することを定量的に明らかにし⁷⁾, 正の浮力を持つ粒子と負の浮力を持つ粒子を識別可能な共振式質量測定法により UFB の同定を行うことに成功している⁸⁾。

2019 年には, 機械加工分野への応用を目的として水溶性クーラント中に UFB を生成可能な装置 coolantGaLF を開発した。機械加工分野では超硬合金やセラミック等の高硬度の難削材に対する高能率研削が不可欠となってきたが, 砥石の目詰まりや摩耗が生じやすく加工精度・能率の悪化が課題となっている。こうした課題の解決に UFB を利用すべく開発を行った。

これまでにも水溶性クーラント中に生成した UFB により研削抵抗の低下や表面粗さの改善といった加工性能が向上することが報告されている⁹⁾¹⁰⁾。UFB による加工性能向上の要因として UFB による砥石目詰まりの抑制や潤滑作用の向上等が考えられるが, 仕組みについてはまだ解明されていない部分が多い。

本研究では coolantGaLF を用いて水溶性クーラント中に UFB を生成し, 被削材として超硬合金を用いて UFB による研削加工における効果の検証を行った。

2. 実験方法

実験に用いた UFB 生成装置および研削加工機の概略図を図 1 に示す。UFB 生成装置は IDEC 製 coolantGaLF, 加工機は黒田精工製精密成形平面研削盤 GS-45FLhs を用いた。

実験前に水道水中で UFB 生成を行い, レーザ回折・散乱法により UFB のサイズおよび個数濃度の測定評価を行い存在を確認した¹¹⁾¹²⁾。使用した UFB 測定装置は, レーザ回折・散乱法を利用する装置は島津製作所製 SALD-7500X10 である。

バックグラウンドとして検出されるコンタミ粒子を少なくするため, 原料水は水道水をメンブレンフィルター (ADVANTEC 製 MCF-005-C10S) でろ過した水を使用した。フィルターの

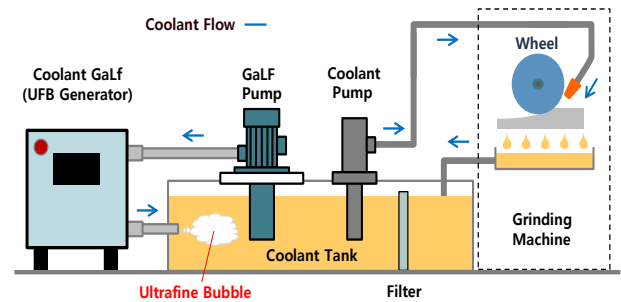


図 1 UFB 生成装置および研削加工機の概略図

孔径は $50\ \text{nm}$ で, 計測範囲のコンタミ粒子を除去可能である。

図 2 に実際に測定された UFB のサイズおよび個数濃度の測定結果を示す。図 2 より直径はモード径 $89\ \text{nm}$, 平均径 $141\ \text{nm}$ で, 個数濃度 1.8×10^8 個/mL の UFB が生成されていることを確認した。

研削加工における実験条件を表 1 に示す。加工液として, (a)水道水に水溶性研削油を混合した通常の水溶性クーラント (UFB-Free とする) および (b) (a) に UFB を生成させた水溶性クーラント (UFB とする) の 2 種類を用いた。水溶性研削油はソリューションタイプのノリタケ製ノリタケクール N-60TCS で希釈率は 2.5% である。

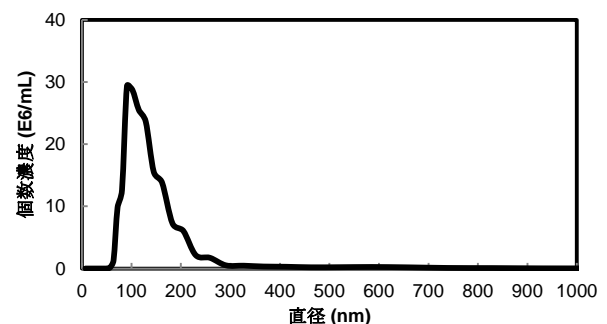


図 2 coolantGaLF にて生成された UFB のサイズ・濃度分布

表 1 実験における研削条件

装置	加工機: 精密成形平面研削盤 GS-45FLhs (黒田精工) UFB 発生装置: coolantGaLF FZ1C-GS (IDEC)
被削材	超硬合金, HRA88, $\phi 95\ \text{mm} \times 15\ \text{mm}$
研削条件	加工方法: 総研削・トラバース ドレス: 前ドレスあり
	砥石: ダイヤモンドホイール TDC200L75 (テイケン) 平均砥粒径: $74\ \mu\text{m}$ (JIS B4130 による)
	主軸回転数: $3000 \sim 3300\ \text{min}^{-1}$
	テーブル速度: 左右 $10 \sim 13\ \text{m/min}$ 送り速度: 前後 $150 \sim 200\ \text{mm/min}$ (連続)
	切込み量: $10\ \mu\text{m}, 20\ \mu\text{m}, 30\ \mu\text{m}, 40\ \mu\text{m}, 50\ \mu\text{m/回}$ 研削量: $300\ \mu\text{m}$
加工液	水溶性研削油: ノリタケクール N-60TCS (ソリューション), 2.5% 希釈, 供給量: $5 \sim 6\ \text{L/min}$

被削材としては HRA88 (V40 相当) の超硬合金を使用し、送り速度前後 150~200 mm/min で目標切込み量を 10 μ m, 20 μ m, 30 μ m, 40 μ m, 50 μ m と変化させて研削を行った。研削量は 300 μ m と一定にした。

3. 実験結果および考察

(a)UFB-Free および(b)UFB の水溶性クーラントを使用した場合の各目標切込み量における研削加工の実験結果を図 3 に示す。横軸は砥石の目標切込み量、縦軸は各切込み量に対する除去率を寸法精度として百分率(%)で表した。したがって、寸法精度は仕上り寸法を目標切込み量で除した値となる。

(a)UFB-Free のクーラントでは切込み量が 10 μ m の場合寸法精度 95 %, 20 μ m の場合寸法精度 93 %, 30 μ m の場合寸法精度 90 %, 40 μ m の場合寸法精度 81 %, 50 μ m の場合寸法精度 90 % であった。

一方、(b)UFB のクーラントによる加工では切込み量が 10 μ m の場合寸法精度 99 %, 20 μ m の場合寸法精度 99 %, 30 μ m の場合寸法精度 97 %, 40 μ m の場合寸法精度 95 %, 50 μ m の場合寸法精度 98 % であった。

(a)UFB-Free のクーラントでは切込み量が増加すると寸法精度が低下し切込み量が 10 μ m を超えると 95 % 以下であった。一方で、(b)UFB のクーラントでは切込み量を増加させても寸法精度がほとんど低下せず全ての切込み量で寸法精度 95 % 以上を維持し、最大切込み量の 50 μ m でも寸法精度 98 % を達成した。

したがって、UFB を生成させたクーラントで研削加工を行った結果、通常のクーラント(UFB を含有していないクーラント)における切込み量に対して約 5 倍の切込み量で加工を行っても寸法精度を維持することができた。これは UFB を用いることで加工時間が減少し能率が向上する可能性が示されたといえる。

UFB を生成させたクーラントの研削効果向上の要因として主に浸透効果および洗浄効果の 2 つが考えられる。浸透効果に関しては被削材(固体)と加工液(液体)の間の表面自由エネルギーの低下が生じ、洗浄効果に関しては UFB の除去効果に伴う砥石目詰りの抑制が挙げられる²⁾³⁾。UFB はスラッジの除去を促進し砥石の性能を正常に保つと推察される⁹⁾¹⁰⁾。

浸透効果に関して検証するため、研削加工に使用した(a)UFB-Free および(b)UFB のクーラントについて金属表面に対する接触角を測定した値が図 4 である。測定装置は協和界面科学製 CAX-150 で、図 4 は 5 回測定した平均値を表している。

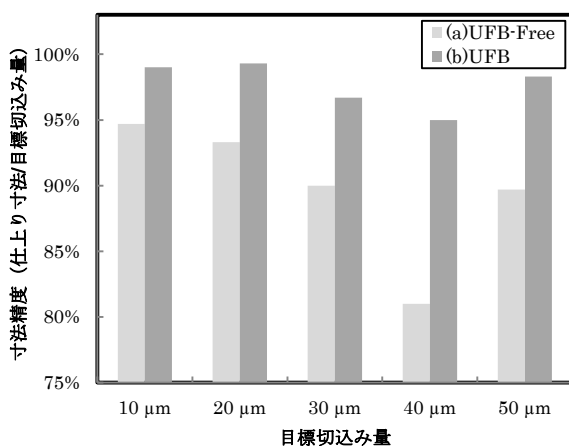


図 3 (a)UFB-Free および(b)UFB のクーラントを用いた場合の研削加工における各切込み量での寸法精度

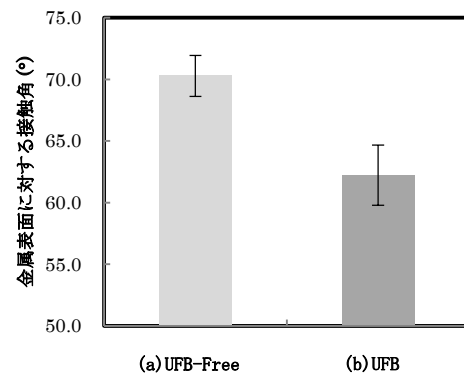


図 4 (a)UFB-Free および(b)UFB のクーラントの金属表面に対する接触角

(a)UFB-Free のクーラントの金属表面に対する接触角が 70.3° であるのに対して (b)UFB は 62.2° であり、(b)UFB のクーラントは(a)UFB-Free に比べて接触角が約 12 % 低下することがわかった。UFB による表面自由エネルギーの低下が生じているものと考えられ、UFB によってクーラントが被削材細部に届き潤滑・放熱作用が促進されたものと推察される。

4. 結言

機械加工分野への応用を目的として、水溶性クーラント中に加圧管路方式(GaLF方式)により UFB が生成可能な装置を開発した。また、UFB を生成させたクーラントで研削加工を行った結果、通常のクーラントにおける切込み量に対して約 5 倍の切込み量で加工を行っても寸法精度を維持することができた。このことから UFB を用いることで加工時間が減少し能率が向上する可能性が示された。加工効率が向上した要因としては、UFB による表面自由エネルギーの低下によりクーラントの浸透効果が向上したこと等が考えられる。

5. 参考文献

- 川崎一則ほか：混相流シンポジウム 2015 講演論文集, E114(2015)
- 川原垣昌利ほか：日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp.184-185(2012)
- 角田直行：1st International Symposium of Fine Bubbles 講演要旨集 (2012)
- 阿波加和孝ほか：日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp.182-182(2012)
- 小林秀彰ほか：日本混相流学会年会講演会 2014 講演論文集, D132(2014)
- 柏雅一ほか：日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp.180-181(2012)
- 前田重雄ほか：混相流シンポジウム 2014 講演論文集, D124(2014)
- 小林秀彰ほか：混相流シンポジウム 2014 講演論文集, D123(2014)
- 岩井学ほか：マイクロ・ナノバブルクーラントによる除去加工の研究, 2017 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.111-112(2017)
- 稲澤勝史ほか：ファインバブルクーラントのバブル条件が研削加工に及ぼす影響, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, B09-6(2018)
- 小林秀彰ほか：混相流シンポジウム 2015 講演論文集, E115(2015)
- 小林秀彰ほか：混相流シンポジウム 2016 講演論文集, E112(2016)