

ウルトラファインバブルによる O/W 型エマルジョン形成下での油滴の分散性向上

Improvement of the oil droplets dispersity under O/W type emulsion formation by ultrafine bubbles

小林 秀彰 (IDEC), 平野 正浩 (IDEC), 荒木 和成 (IDEC)

KOBAYASHI Hideaki, HIRANO Masahiro, ARAKI Kazunari

Abstract It has been reported ultrafine bubbles generated in water-soluble processing oil called coolant fluids improves the efficiency of grinding processing. We evaluated how the size of the oil droplets were changed under O/W type emulsion formation by ultrafine bubble water that was used to dilute the stocked coolant fluids. The fluids was made by mixing based oil with surfactant and it was dispersed in ultrafine bubble water. The diameter of the oil decreased and the range of distribution became narrower compared with the oil droplets dispersed in water without ultrafine bubbles. Furthermore, the diameter of oil droplets became decrease exponentially when the number concentration of ultrafine bubbles was large. The result indicated ultrafine bubbles improve the dispersibility of oil droplets under O/W type emulsion formation. The decreased size of the oil droplets by ultrafine bubble water may affect the efficiency in grinding processing.

Keywords: Ultrafine bubble, Emulsion, Oil droplet, Dispersity, Coolant

1. 緒言

ウルトラファインバブル(以下、UFB と呼ぶ)は直径 1 μm 未満の気泡の呼称であり ISO にて定義されている。UFB の生成方式としては加圧溶解式や巡回液流式等があり、平均直径としては純水や超純水中で 60~150 nm 程度で長期間存在することが報告されている[1]。UFB は巨大な比表面積を持つ、気泡表面が負の電荷を帯びる、液体中の疎水性物質を表面に付着させる等の物理的・化学的な特性を有している。そのため、近年機械加工・植物育成促進・工業洗浄・食品洗浄・鮮度保持といった幅広い分野で応用されており効果が見出されてきている。

IDEC は 2012 年に UFB を 1.0×10^8 個/mL 以上生成することが可能な ultrafineGaLF を開発し、現在では 1.0×10^9 個/mL を超える UFB 数濃度まで改良されてきた。その後 UFB の機械加工分野への応用ニーズが高まってきたことから、2019 年に加工液である水溶性クーラント(水溶性研削油剤)中に UFB を生成させることができる coolantGaLF を開発した。coolantGaLF を用いて水溶性クーラントで研削加工を行った結果、UFB を生成す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[2]。加工能率が向上する理由としては、被削材とクーラントの間のぬれ性が向上することで、液体が被削材の細部に届きやすくなり潤滑作用が促進されること等が挙げられる。

一方で、UFB が水溶性クーラント中の基油や界面活性剤といった成分に対してどのような影響を及ぼして効果が発揮されるのか未だ解明されていない。本研究では、水溶性加工油を作製し UFB 水中に乳化分散させ油滴径の測定評価を行った。ブランク水中に分散させた場合と比較することで、O/W (Oil in Water) 型エマルジョン形成下において油滴径がどのように変化するか実験的に検証を行った。

2. 実験方法

UFB の生成には ultrafineGaLF (IDEC 製) を使用した。ultrafineGaLF の生成方式は加圧溶解式の一種で、液体に気体が過飽和した状態となるため、UFB が長期間安定して残存することが特長である[1]。UFB 数濃度および径分布の評価は、粒子トラッキング解析法の計測装置である NanoSight NS500 (Malvern Panalytical 製) を用いて行った。

サンプル作製は Fig. 1 に示すような手順で行った。UFB 生成の原料水はバックグラウンドとして検出される粒子数をできるだけ少なくするため蒸留水(富士フィルム和光純薬製)を用い、供給気体は空気を用いた。実験には生成して 1 日経過したマイクロバブルがほとんど消失した状態の UFB 水を使用した。粒子トラッキング解析法により UFB 水の個数濃度は 8.4×10^8 個/mL、直径がモード径 83 nm、平均径 89 nm であることを確認した。

UFB 水に対して作製した水溶性加工油を 3.4 wt% の割合で滴下した後、マグネチックスターラー(攪拌子: $\phi 60 \times 10$ mm)にて回転数 300 rpm で 30 秒間攪拌することで分散させエマルジョンを作製した。また、同様の手順で蒸留水に対して水溶性加工油を 3.4 wt% の割合で分散させ比較用のエマルジョンを作製した。蒸留水および UFB 水の水温は 21 $^{\circ}\text{C}$ であった。エマルジョンの外観写真を Fig. 2 に示す。なお、水溶性加工油は基油と界面活性剤を 7:3 の割合で混合・振とう器(アズワン製ビッグローター BR-2)を用いて上下振とう数約 30 回/min で 5 分間十分に混合することで用意した。基油は鉱物油である流動パラフィン(ナカライテスク製)、界面活性剤は非イオン系界面活性剤であるポリオキシエチレンソルビタントリオレートをを使用した。

水溶性加工油を分散させたエマルジョンのサンプルを 25 $^{\circ}\text{C}$ の一定温度で保存した後、油滴径分布を動的光散乱法にて測定評価を行った。動的光散乱法の計測装置は濃厚系粒径アナライザー FPAR-1000 (大塚電子製)を用いた。計測可能な粒子径範囲は 3 nm~5000 nm である。

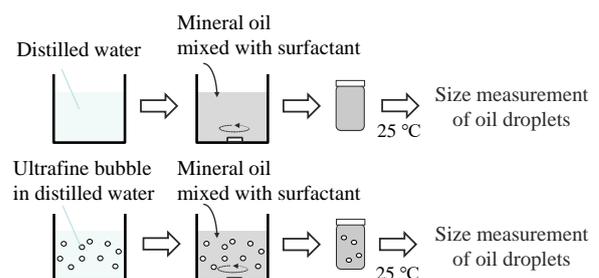


Fig. 1 Experimental procedure of evaluation about oil droplets size with and without ultrafine bubbles.



Fig. 2 Appearance of the processing oil in water emulsion.

さらに、蒸留水中のUFB数濃度による油滴径分布の変化を検証するため、個数濃度の異なる3種類のUFB水を準備した。Fig. 2の手順でエマルションを作製・保存した後、油滴径分布を評価した。3種類のUFB水は、生成して1日経過後のUFB水を蒸留水で2倍、4倍、10倍に希釈し濃度を調整することで作製した[3]。各々のUFB数濃度は粒子トラッキング解析法を用いた計測によりそれぞれ 4.8×10^8 個/mL、 2.6×10^8 個/mL、 0.87×10^8 個/mLであった。

3. 実験結果および考察

UFBを含有していない蒸留水（以下、UFB-Free水と呼ぶ）およびUFB水を用いて作製したエマルションについて、保管1日後の動的光散乱法による油滴径の頻度分布をFig. 3に示す。横軸は油滴の粒子径、縦軸は各粒子径に対する散乱光強度を百分率で表している。

UFB-Free水を使用した場合の散乱光強度基準での油滴径分布は、モード径が447.7 nm、平均径が333.1 nm、正規分布だと仮定した場合の標準偏差が236.1 nmであった。一方で、UFB水を用いた場合の油滴径分布は、モード径が291.0 nm、平均径が231.5 nm、標準偏差が125.7 nmであった。UFB-Free水と比較してモード径、平均径ともに減少したことから、UFB水を用いることで油滴径が減少することがわかった。また標準偏差が小さくなり分布がシャープになったことから、UFBによりエマルション形成下における油滴の分散性が向上したといえる。

Fig. 4に異なる個数濃度のUFB水を用いた場合の油滴径の変化を示す。横軸がUFB数濃度、縦軸が散乱光基準での油滴径の頻度分布におけるモード径を表している。個数濃度 0.87×10^8 個/mLのUFB水の場合モード径が414.8 nmで、個数濃度 2.6×10^8 個/mL、 4.8×10^8 個/mLのUFB水ではモード径が381.7 nm、331.3 nmだった。UFB数濃度に対して油滴径が指数関数的に減少したことから、UFB数濃度が大きいほど油滴の分散性が向上することが明らかとなった。

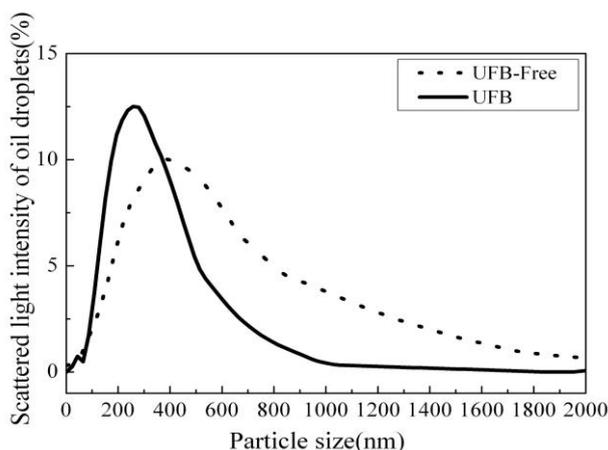


Fig. 3 Size distribution of oil droplets under O/W type emulsion formation with and without ultrafine bubbles.

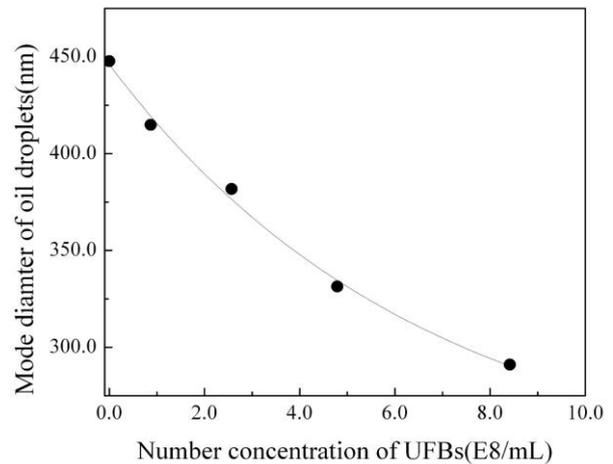


Fig. 4 Size change of oil droplets under O/W type emulsion formation by the number concentration of ultrafine bubbles.

UFBによりエマルション形成下における油滴の分散性が向上する要因としては、UFBにより油滴表面への界面活性剤の付着量が増加しエマルション化が進んだことが考えられる。機械加工においては、水溶性加工油剤の油滴径が小さいほど工具-被削材界面の極めて微小な空間に浸透しやすくなり潤滑性が向上することが知られており[4]、UFBによる油滴径の減少が研削加工における能率向上の直接的な要因である可能性が示唆された。

4. 結言

UFB水中に基油と界面活性剤を混合し作製した水溶性加工油を分散させ、O/W型エマルション形成下における油滴径の評価を行った。UFBを含有していない水中に分散させた場合と比較して油滴径が減少し径分布がシャープになったことから、UFBにより油滴の分散性が向上することがわかった。さらに、複数の個数濃度が異なるUFB水を用いて検証を行った結果、UFB数濃度に対して油滴径が指数関数的に減少した。この結果から、O/W型エマルションの作製に用いるUFB水の個数濃度が大きいほど油滴の分散性が向上することが明らかとなった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、大阪大学榎本俊之教授のご指導を賜りました。ここに記し心より感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Terasaka, K. et al., Generation and Long-Term Stability of Ultrafine Bubbles in Water, *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 93, No. 1-2, pp. 168-179 (2021).
- [2] 小林秀彰ほか、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能率化、2020年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 717-718 (2020).
- [3] Maeda, S. et al., The effect of dilution on the quantitative measurement of bubbles in high-density ultrafine bubble-filled water using the light scattering method, *Proc. SPIE*, Vol. 9232, International Conference on Optical Particle Characterization(OPC 2014) (2014).
- [4] 杉原達哉ほか、チタン合金加工における油滴挙動に着目した高潤滑水溶性切削油剤の開発、*砥粒加工学会誌*, Vol. 61, No. 4, pp. 197-203 (2017).