

HPCで数億個／mLのUFB生成を達成

—特殊なUFB生成装置が不要，かつ多量のUFB生成を達成—

鳥羽商船高等専門学校
客員教授

株式会社トクピ製作所
取締役 統括部長

和田 任弘

森合 勇介

■著者連絡先

〒581-0854 大阪府八尾市大竹3-167
TEL 072-941-2288 FAX 072-941-5181
E-mail y.morigo@tokupi.co.jp

はじめに

一般社団法人ファインバブル産業会(FBIA)では、ファインバブルのうち、直径100 μm 未満で1 μm 以上の泡を「マイクロバブル」、それより小さい直径1 μm 未満の泡を「ウルトラファインバブル」と呼び区別している(<https://dev.fbia.or.jp/fine-bubble/fine-bubble-knowledge/about/>)。

ウルトラファインバブル(UFB)は、医療、洗浄、農業、水産など様々な分野で応用研究が始まっている。最近、切削^{1,2)}や研削^{3,4)}などの機械加工にファインバブル(FB)を使用して、生産能率を向上させた研究成果が報告されている。さらに、マイクロバブルクーラント(MBC)は、クーラント液腐敗の要因と考えられる細菌の除去作用、およびクーラント内に浮遊する切りくずや油分の除去作用を有している⁵⁾。このように、機械加工の分野においても、FBの活用により生産性向上が図られている。

さて、著者らは、切削・研削加工において、高圧クーラント(HPC)を併用することで、表1に示す生産性向上を達成することができ

ることを示した。さらに、研究を進めた結果、プランジャーポンプで高圧に加圧された水道水をノズルから噴射させると、水道水に数億個/mLのUFBが含まれることが明らかになった。

そこで、本報では、このことについて解説する。なお、HPCをUFB生成のためだけに導入すると、従来のUFB生成装置導入に比べHPC装置の設置面積や価格が増加するためコストがかかる欠点がある。このため、HPCは、UFB生成だけを目的として導入するものではなく、表1に示した生産性向上に加えて、UFBによる付随効果も期待しようとするものである。

高圧プランジャーポンプで高圧に加圧されたクーラントをノズルから噴射させると、クーラントにUFBが多量に含まれる可能性については(株)トクピ製作所 森合 勇介が発想し、UFB存在の検証・立証、ならびに本報告の執筆は和田 任弘が主に担当した。

分析結果

UFBの粒径と個数濃度測定(FBIA規格)は、FBIA指定試験ラボの一つである企業に

表1 HPCで実現できる生産性向上

1. 切りくず折断効果	切りくず巻付きによる設備停止の防止による完全自動化の実現
2. 切削領域の冷却による工具摩耗抑制効果	工具交換回数低減、および高速度切削による加工時間短縮の実現
3. 深穴加工時の切りくずの排出性向上	ノンステップ加工による加工時間短縮の実現
4. 研削砥石の目詰まり除去	目詰まりした砥石のダイヤドレッシングインターバルの延長
5. バリ取り	機械加工で出たバリをHPCの打力で除去することで工程集約

外注した。分析で用いられた装置は、ナノ粒子解析システム (NanoSight NS300) である。NanoSight による粒子軌跡解析法では、溶液中のUFBと、それ以外の粒子 (コンタミ (異物)) を区別することができない。そのため、測定結果からブランク水の測定結果をもって、UFBの個数濃度とする方法が採用されている。表2に、測定装置の主仕様を示す。表2に示すように、測定可能な粒子径は50~1000 nmのUFBで、粒子径1 μm以上のマイクロバブルの測定はできない。

図1に、試料採取のフローチャートを示す。なお、切削油剤の原液を水で希釈して試料とすると、試料中の濁りが測定値に影響を及ぼし、正確な測定ができないため、試料は、すべて水道水を使用した。水道水の流れは、以下の通りである。タンク (A) に貯蔵した水道水を、プランジャーポンプ (C) で吸い込み、ノズル (G) から噴射させる。プランジャーポンプからの吐出圧力は、調圧弁 (E) によって、吐出圧力20 MPa (高压水)、および0.2 MPa

(低压水) について行った。分析を行った試料 (水道水) は、以下の通りである。

- ①タンク内の水道水(B)【数値の記載は省略】：
(B)の試料には、UFB①とコンタミ①が含まれている。久保は、「一般的にUFBは、水道水中や河海中にも自然発生的に存在する可能性があるが、その濃度は極めて希薄である。」としている⁶⁾。
- ②プランジャーポンプから吐出される水道水 (D)：(D)の試料には、(B)の試料にUFB②とコンタミ②が加わり、UFB{(①+②)}とコンタミ{(①+②)}が含まれている。
- ③調圧弁から排出される水道水 (F)：(F)の試料には、(D)の試料にUFB③が加わり、UFB{(①+②)+③}とコンタミ{(①+②)}が含まれている。
- ④ノズルから排出される水道水 (H)：(H)の試料には、(D)の試料にUFB④が加わり、UFB{(①+②)+④}とコンタミ{(①+②)}が含まれている。
- ⑤以上のことから、ノズルから排出される水道水のUFB増加量(UFB④)は、{ノズルから排出される水道水(H)}と{プランジャーポンプから吐出される水道水(D)}の差となる。

表3に、分析結果を示す。

おわりに

プランジャーポンプによって吸い込まれた水道水を、1流体ノズル (噴霧パターン：直進、異物通過径：φ0.8mm) から噴射させる場合、プランジャーポンプで水道水を高压に加圧することによって、4億個/mLのUFBが水道水に含まれることが確かめられた。すなわち、特殊なUFB生成装置がなくても、数億個/mLのUFB生成が達成された。したがって、HPCは表1に示した生産性向上に加えて、UFBによる付随効果も期待できることが明らかになった。

表2 測定装置の主仕様

(<https://izumitec.co.jp/wp-site/wp-content/uploads/2024/12/1822b27288588e3e99f4e478fc12456c.pdf>)

測定装置	NanoSight NS300
計測方法	粒子軌跡解析法
計測範囲 (粒子径)	φ 50 ~ 1000 nm
計測範囲 (個数濃度)	1×10 ⁷ ~ 3×10 ⁹ 個/mL
レーザー波長	λ 405 nm

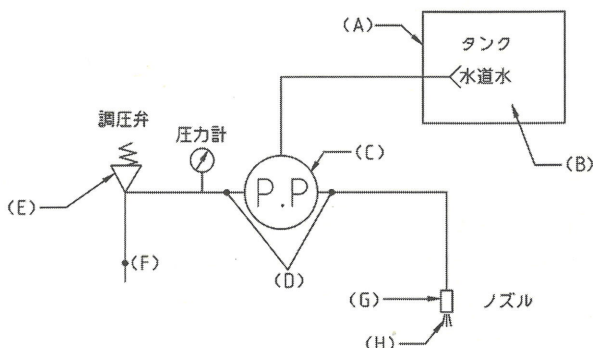
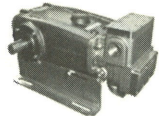
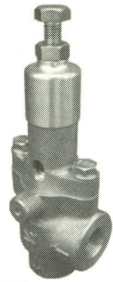


図1 試料採取フローチャート

表3 分析結果

	ブランジャーポンプからの吐出圧力	粒子個数濃度 (個/mL)	
		0.2 MPa (低圧水)	20 MPa (高圧水)
(A)	タンク		
(B)	タンク内の水道水に含まれる粒子個数濃度: ①+①		
(C)	ブランジャーポンプ	株式会社トクビ製作所製 (型式: A-2125A) 	
(D)	ブランジャーポンプから吐出される水道水に含まれる粒子個数濃度: {(①+①)+②+②}	$4.25 \times 10^7 (< 4.32 \times 10^7)$	$< 5.66 \times 10^7$ [注3]
(E)	調圧弁	株式会社トクビ製作所製 (型式: SV1320) 	
(F)	調圧弁から排出される水道水に含まれる粒子個数濃度: {(①+①)+②+②}+③	4.32×10^7	5.66×10^7
(G)	ノズル	1 流体ノズル (噴霧パターン: 直進, 異物通過径: $\phi 0.8$ mm)	
(H)	ノズルから噴射される水道水に含まれる粒子個数濃度: {(①+①)+②+②}+④	1.49×10^8	4.08×10^8
	ノズルから排出される水道水の UFB 粒子個数濃度増加量④	1.07×10^8	$> 3.51 \times 10^8$

[注1] ①~④: UFB 粒子個数濃度, ①~②: コンタミ (UFB 以外の異物) 粒子個数濃度

[注2] 試料の採取場所: 株式会社トクビ製作所 (大阪府八尾市大竹 3-167), 採取日: 2025 年 6 月 28 日

[注3] ブランジャーポンプからの吐出圧力 20 MPa の場合, ブランジャーポンプ (C) から吐出される水道水に含まれる UFB とコンタミの分析ができないため, (F) の数値 (5.66×10^7 個/mL) 以下とした。なお, 吐出圧力 0.2 MPa の場合, ブランジャーポンプ (C) から吐出される水道水に含まれる UFB とコンタミの粒子個数濃度 (4.25×10^7 個/mL) は, (F) (4.32×10^7 個/mL) に比べ小さくなっている。

[注4] 粒子個数濃度については, 試料を採取する環境 (たとえば, 試料採取時期, 採取場所など) によって変化するため, 一定値ではない。

[注5] (D), (F), (H) に示す粒子個数濃度は, 一つの試料につき 5 回分析を行い, その平均値である。

<参考文献>

- 1) 山下凌大, 鳥村奈央, 松岡志帆, 安斎聡, 岩井学, 二ノ宮進一: ウルトラファインバブルクーラントによる難加工材の切削加工, 2021 年度精密工学会春季大会, 2021/03/16 - 2021/03/22.
- 2) 高田亮, 渡辺剛, 三浦尚大, 深見信吾, 毛利茂樹, 松村隆, 竹下朋春: 切削加工におけるファインバブルクーラントの効果, 2019 年度精密工学会秋季大会, 開催日: 2019/09/04 - 2019/09/06.
- 3) 岩井学, 中川清隆, 西崎匡, 清水俊晴, 植松哲太郎, 鈴木清: マイクロバブルクーラントの研究 - 第 1 報: 研削液への適用, 精密工学会大会学術講演会講演

論文集 (精密工学会大会シンポジウム資料集), 81, 2007 年 03 月 01 日.

- 4) 二ノ宮進一, 樊強, 清水俊晴, 西崎匡, 岩井学, 植松哲太郎, 鈴木清: マイクロバブルクーラントによるステンレス鋼の研削特性, 2008 年度精密工学会秋季大会, セッション ID: E32.
- 5) 二ノ宮進一, 清水俊晴, 岩井学, 植松哲太郎, 鈴木清: マイクロバブルクーラントの研削液浄化効果について, 2009 年度精密工学会春季大会, セッション ID: J18.
- 6) 久保和弘: ファインバブルの機能特性, 日本家政学会誌, Vol. 71, No. 2, pp.124-128