

Title	生存圏科学と標準化：ファインバブルをめぐる国際連携と研究設計戦略
Author(s)	上田, 義勝; 仲上, 祐斗; 桑島, 修一郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 40: 279-282
Issue Date	2025-11-08
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	https://hdl.handle.net/10119/20231
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

○上田義勝, 仲上祐斗, 栗島修一郎 (京大)

yueda@rishi.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

ファインバブル技術とは、直径 100 μm 以下の極めて小さな気泡を扱う技術であり（図 1 参照）、池や河川の浄化や鉱山での浮遊選鉱などに数十年前から利用されてきた¹⁾。近年、とくに直径 1 μm 未満のウルトラファインバブル（ナノバブルとも呼ばれる）が有する粒子剥離や潤滑効果などの機能が報告され、目に見えない微細な「泡」が農業、洗浄、製造プロセス等に応用できる技術として注目を集めている。このような一般的にも広く用いられる技術は人類生存圏においては今後非常に重要な技術ともなりうる。

一方で、小さな泡は目に見えない事もあり、これまで統一的な定義や測定方法が存在せず、研究者・技術者間の共通基盤が欠如していた。そこで、日本を中心に国際標準化機構（ISO）においてファインバブル技術の標準化が推進され、定義や評価手法の国際標準策定が進められてきている²⁾。

2. ファインバブル技術の国際標準化

国際標準化機構 ISO では 2013 年にファインバブル技術専門委員会（TC281）が設立され、日本からの提案に基づき国際標準の策定が開始された。まず、ファインバブルの基本概念として、直径 100 μm 未満の気泡を「ファインバブル（FB）」と総称し、その中で直径 1 μm 以上 100 μm 以下の気泡を「マイクロバブル（MB）」、1 μm 未満の気泡を「ウルトラファインバブル（UFB）」と定義することが合意された。これらの定義を含む国際規格 ISO 20480-1（微細気泡技術—第 1 部：用語）が 2017 年に刊行され、世界的に微細気泡に関する統一的な用語基準が初めて確立した。同規格は後に日本産業規格（JIS）としても整合化され、現在では国内外でこの定義が広く参照されている。また、ISO/TC281 ではファインバブルの測定方法や性能評価に関する規格策定も順次行われており、例えば気泡濃度測定法、粒径分布評価法、

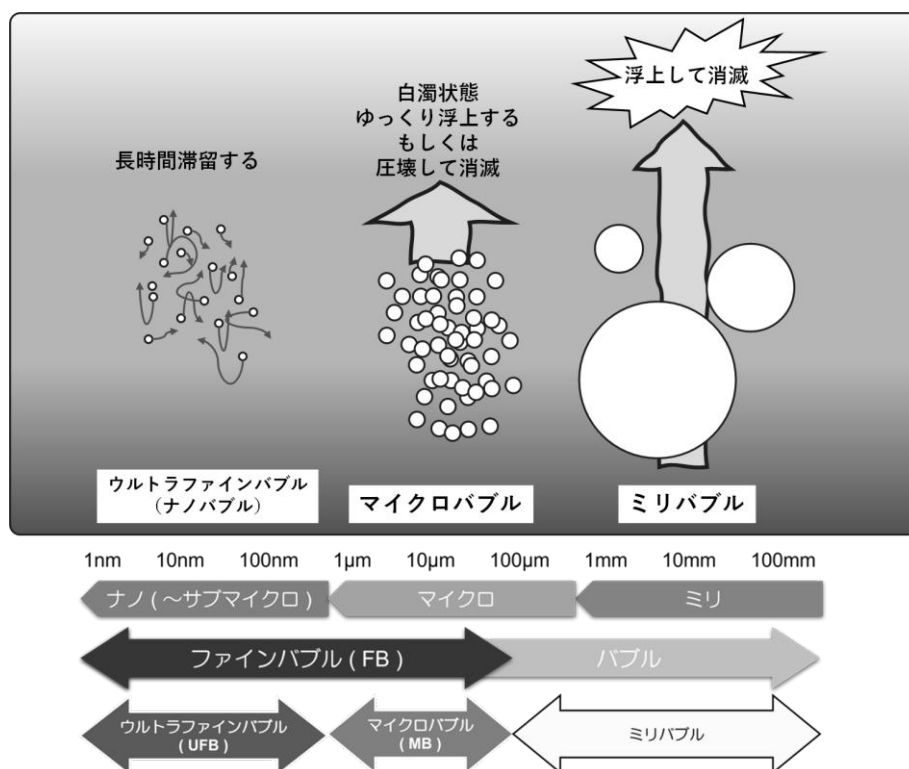


図 1. ファインバブルの定義

安定性試験法などが国際基準として整備されつつある。そのほか、発芽の作用機序や洗浄手法などについても、同様に標準化として規格が発行されている。

3. ウルトラファインバブルの特性と現状の課題

直径が極めて小さいウルトラファインバブル（UFB）は、表面張力による内圧上昇のため極めて短時間で液中に溶解して消滅すると理論的に予測され、長年その長時間存在には疑問が呈されてきた。しかし近年、計測技術の進歩により UFB の存在を支持する知見が蓄積されつつある。

例えば、水中の UFB の存在を数ヶ月にわたり消滅せず残存していることを確認した事例も複数報告されている^{3,4)}。また、UFB を含む水を急速凍結し凍結レプリカ法で観察することによって、直径約 100 nm の球状の空隙が多数検出され、その数密度がレーザー散乱法等で測定されていた値（約 10^{11} 個/mL）と一致することも報告されている⁵⁾。これらの報告から、液中に長期間存在する 100 nm 程度の微小な空間が UFB であると考えられるに至った。

さらに、UFB が長寿命を維持する要因として、気泡界面に微粒子や有機物などの不純物が付着することで内部気体の溶解が妨げられ、気泡が消滅せず安定化するという仮説が提唱されている。実際、超純水を用いた場合には UFB の生成数が減少することが報告されており、この仮説を支持する結果となっている。

これらの UFB の存在証明と、安定化の報告については、課題もいまだ残っている。一例としては、気泡に不純物が付着した場合、その不純物の大きさの固体粒子が水中に残留している事となるため、実際の計測においては、この不純物そのものを計測している可能性が否定できない。また、凍結レプリカ法などの直接計測の課題としても、気泡としての空隙なのか、凍結された固体粒子、もしくは液体コロイドが除去された空隙なのかなどの識別が、現状は非常に難しい点も挙げられる。以上のことから、UFB 特性についての校正サンプル、また規格としての計測手法などが求められてきており、現在新たな標準規格が申請され、審査されている現状がある。

4. 微細気泡技術の応用と標準化への展望

ファインバブル技術は現在、さまざまな産業分野で積極的に応用が進められている。たとえば、UFB 水は、半導体ウェーハの洗浄・搬送、高速道路サービスエリアのトイレ洗浄、橋梁に付着した融雪剤の除去、水質浄化や排水処理などに活用されている。農業分野では、UFB 水による植物の生長促進、収量増大、高糖度化などの効果が報告されており、植物工場等での利用が期待されている。こうした応用事例から、産業洗浄、水環境浄化、農林水産業、土木分野など幅広い領域でファインバブル技術の有用性が認識されつつある。

これらの応用を整理するにあたり、ファインバブル産業会（FBIA）など産学官の連携によって技術標準化と社会実装が並行して進められた結果、国内外で関連製品・装置の市場は拡大している。さらに、ISO による標準化により気泡の定義や計測方法が統一され、企業や研究機関の間で共通の基盤が構築されつつあり、技術開発や製品評価の効率化・高度化に資する環境が整ってきている。加えて、2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）の開催期間中には「2025 年万博宣言」を発表し、ISO 規格の活用促進とファインバブル技術の産業化を通じて、SDGs やウェルビーイングの実現に貢献することを宣言している（図 2）。

産業発展に向けたファインバブル標準化が進む一方で、学術的な展望を主に見据えた動きもある。フ

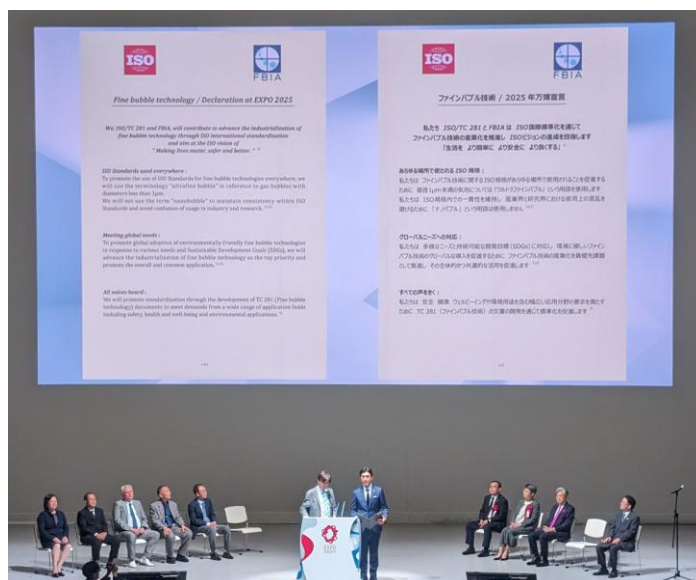


図 2. ファインバブル技術／2025 年万博宣言
(2025.7.17)

ファインバブルに関する学術論文は非常に幅広い分野で発表されているが、電気学会や建築学会などのように、一つの学会として体系的に議論する場は十分に成熟していない。ファインバブル学会連合といった取り組みも存在するが、連合体であるため、一つの学会としての活動には限界があるのが現状である。その結果、分野横断的に多様な論文が蓄積される一方で、計測データのパラメータに不整合があるなど、必要な文献を広範に検索することが難しいといった課題が顕在化している。

このような課題に対応するため、我々のグループでは北京航空航天大学との共同研究として、国際標準規格に準拠したファインバブル論文検索データベースの構築と規格化を進めている。現在は、各種論文に記載されている単位系を基に、UFBのパラメータおよびUFBが存在する水などの溶媒のパラメータを調査し、その頻度分布を確認している段階である。調査対象の論文数はまだ20件程度にとどまるが、試験的に、論文中で用いられている単位について、気泡計測に用いられる単位と溶媒計測に用いられる単位の解析を行った。対象分野は主として化学工学および環境工学であるが、図3に示すように、特に溶媒特性に関しては非常に多様な計測パラメータが混在していることが明らかとなった。

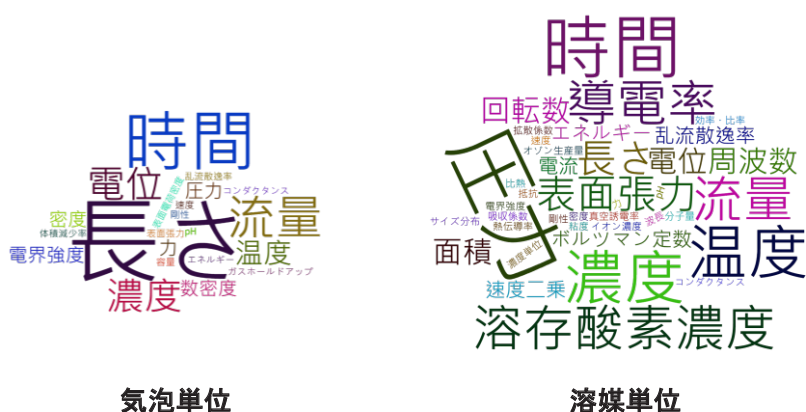


図3. ワードクラウド解析による論文中の単位表示の頻度（左：気泡、右：溶媒（主に水））

今後この単位パラメータをデータベース化することで、特に分野別の論文の使用単位頻度を統計解析する他、科学的解析に必要な最低限のパラメータの定義づけや、国際標準に準拠すべき単位系を満たすには単位以外にどのような記載が必要かなどを考案し、データベース規格として国際共同で提案したいと考えている。

5. おわりに

以上、ファインバブル技術の国際標準化の歩みと技術展開について紹介した。ISOによる定義確立を契機として、世界中の研究者・技術者が共通の土俵で議論し協働できる環境が整ったことは、本技術分野の発展に大きな意義を持つ。今後、気泡安定化メカニズムの一層の解明や、国際標準に準拠した信頼性の高い評価手法の開発が進めば、ファインバブル技術の応用はさらに広がり、持続可能な社会に資する新たなイノベーション創出につながると期待される。

さらに、この標準化の取り組みは、単に技術的枠組みを整備するにとどまらず、我々が所属する研究所の名前でもあるが、人類が生きる基盤としての「生存圏」の理解と維持に深く関わる。水や大気といった地球環境の根幹に作用するファインバブル技術を、国際的な規格を通じて共通化することは、異分野間の知見を結び付け、環境保全や資源循環に向けた学際的な研究を推進する原動力となる。我々が目指す、「生存圏と標準化」（図4）を軸に据えた活動は、科学と産業、そして社会を橋渡しし、人類の持続可能な未来の構築に不可欠な戦略となるであろう。



図4. 生存圏と標準化

参考文献

- 1) 矢部 彰, ファインバブル技術とその開発動向 —半導体洗浄, ウェーハ搬送, 植物工場等—, 電気学会誌, Vol. 138(7), 430–434, 2018.
- 2) Yabe Akira, Scientific Knowledge Supporting International Standardization of Fine Bubble Technology (Role and Expected Contribution of Academic Society), JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW, Vol. 30(1), 45–48, 2016.
- 3) Duval E., Adichtchev S., Sirotkin S. and Mermet A., Long-lived submicrometric bubbles in very diluted alkali halide water solutions, Phys Chem Chem Phys, Vol. 14(12), 4125–4132, 2012.
- 4) Kanematsu Wataru, Tuziuti Toru and Yasui Kyuichi, The influence of storage conditions and container materials on the long term stability of bulk nanobubbles — Consideration from a perspective of interactions between bubbles and surroundings, Chemical Engineering Science, Vol. 219, 2020.
- 5) Uchida T. and Takeya S., Powder X-ray diffraction observations of ice crystals formed from disaccharide solutions, Phys Chem Chem Phys, Vol. 12(45), 15034–15039, 2010.