

完全閉鎖系・個数密度制御型 ウルトラファインバブル発生器

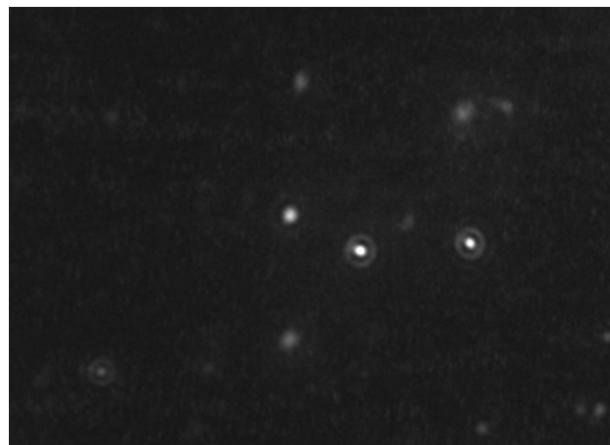
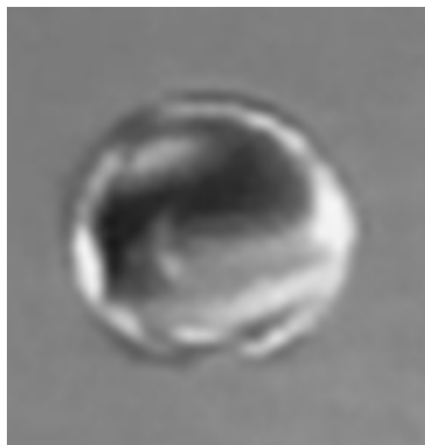
鹿児島大学 大学院理工学研究科
工学専攻 化学工学プログラム
准教授 五島 崇

2026年7月2日

ファインバブルとは？

ファインバブル

- マイクロバブル
直径1~100 μ m
目視可能(白濁)
- ウルトラファインバブル
直径1 μ m未満
目視不可能(無色透明)



代表的なファインバブル発生器

使用原理	マイクロバブル発生器の種類
液流せん断による気相分散	旋回液流式
	スタティックミキサー式
	機械的せん断式
	微細孔式
	ベンチュリー式
	エジェクター式
	流体振動式
液中ガス溶解度変化	加圧溶解式
	加温析出式
キャビテーション	超音波式
	(エジェクター式etc.)
分散相の相変化	混合蒸気凝縮式
液相の化学変化	電気分解式

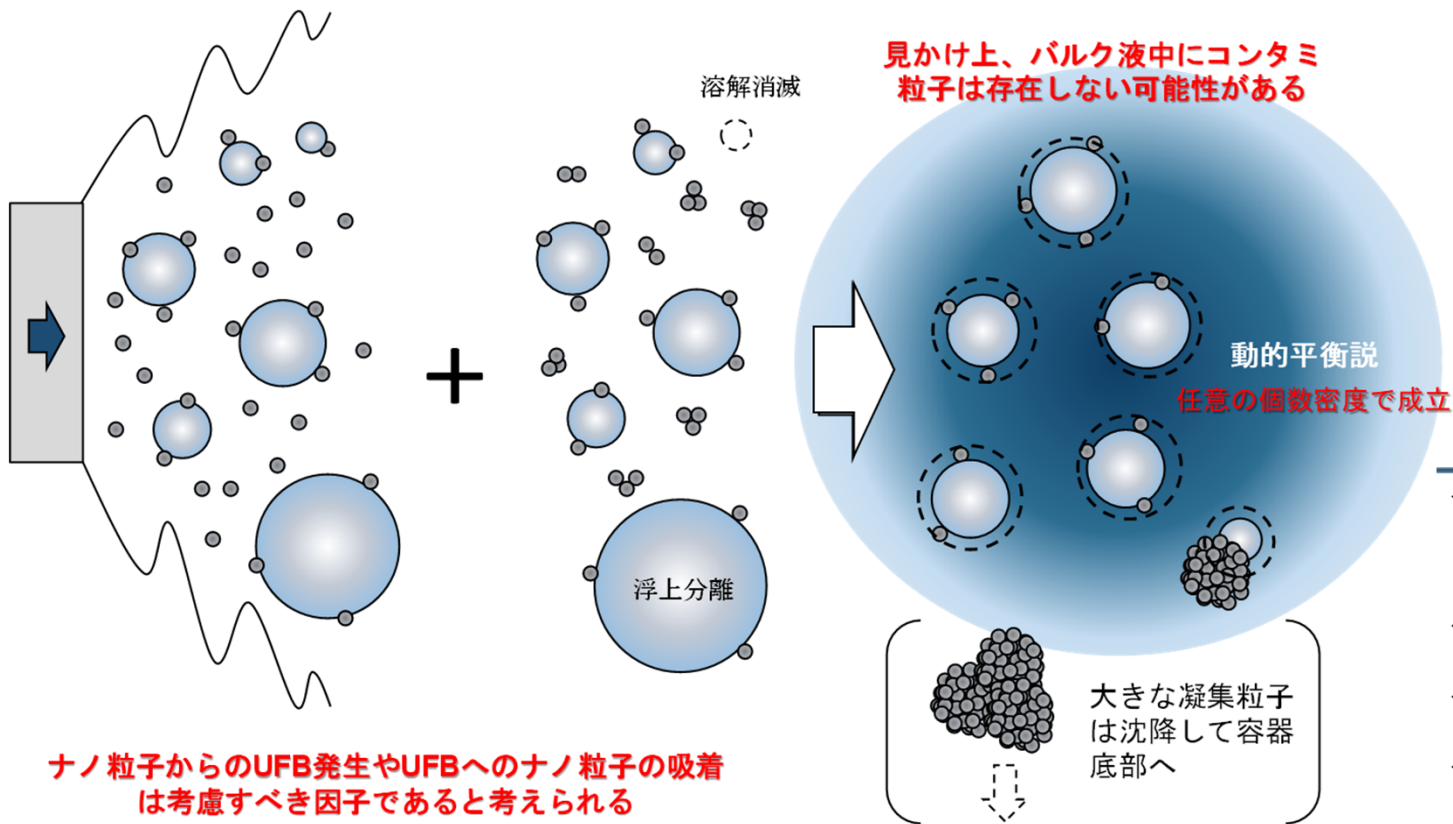
従来技術とその問題点

既に実用化されているものには、気泡発生ノズルと高圧ポンプによる液循環式ウルトラファインバブル発生法等があるが、
超純水では個数密度が 10^9 個/mLオーダーで頭打ち
個数密度の増加や制御には濃縮操作が必要
液体ポンプ由来のコンタミネーションや液温上昇が発生
任意のガス種や液種への対応が困難
等の問題があり、多様な分野で利用されているものの、 10^{10} 個/mLを超える個数密度への気泡生成制御法の構築までには至っていない。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、ウルトラファインバブル水の個数密度制御法を改良することに成功した。
- 従来はウルトラファインバブル水の個数密度の点で 10^9 個/mLオーダーの使用に限られていたが、完全閉鎖系において 10^{11} 個/mLオーダーまで性能が向上できたため、任意のガス種や液種へ対応することが可能となった。
- 本技術の適用により、加圧操作や濃縮操作を用いずに運転時間により個数密度を制御する少量(約100mL)ワンポット生産ができるため、研究開発用途を中心とした幅広い利用が期待される。

ウルトラファインバブル発生メカニズム (推定の域を出ていない)



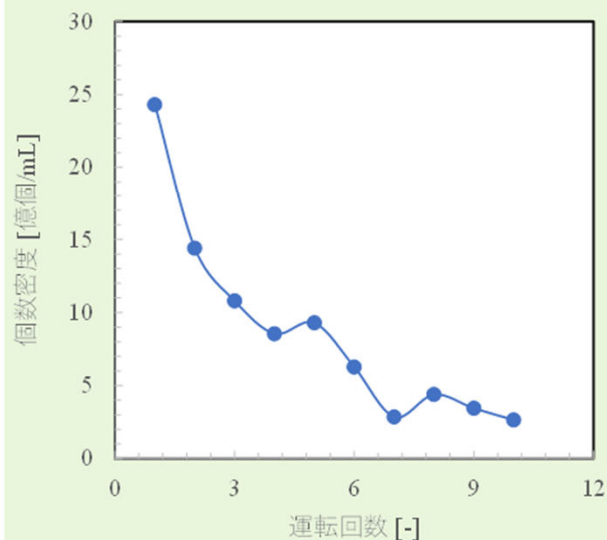
想定される代表的な不純物とその発生源

- ✓ (金属)粒子
ポンプの軸シール部や回転翼、発生ノズルの摩耗・ポンプや配管のサビ(超音波発生装置の場合)振動子もしくは振動子に接する金属板大気中の微粒子(PM2.5など)、
- ✓ 界面活性剤
海水、水道水
- ✓ 油
ポンプの軸シール部
- ✓ 塩
海水、水道水(や蒸留水)に含まれる金属イオン

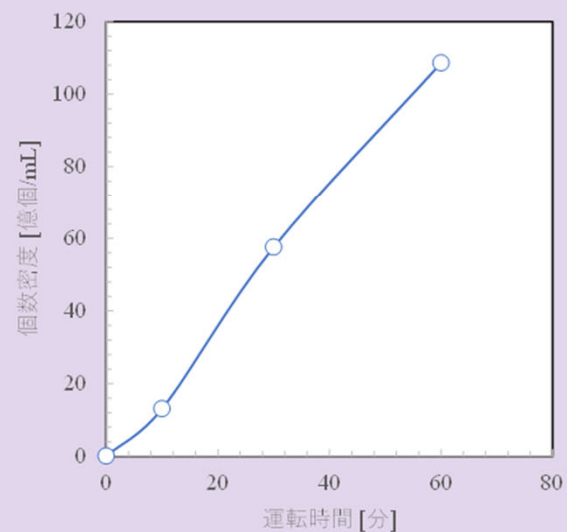
ウルトラファインバブル発生器の 発生能(個数密度)の比較

ウルトラファインバブルの発生方式により気泡生成能は大きく異なる

加圧溶解式

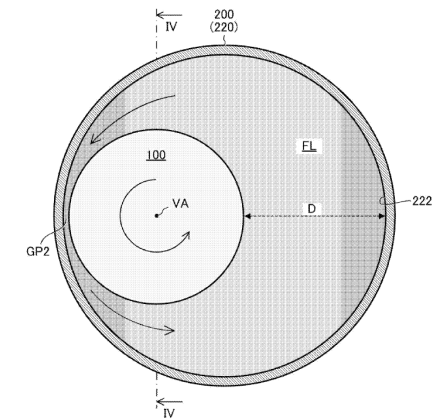
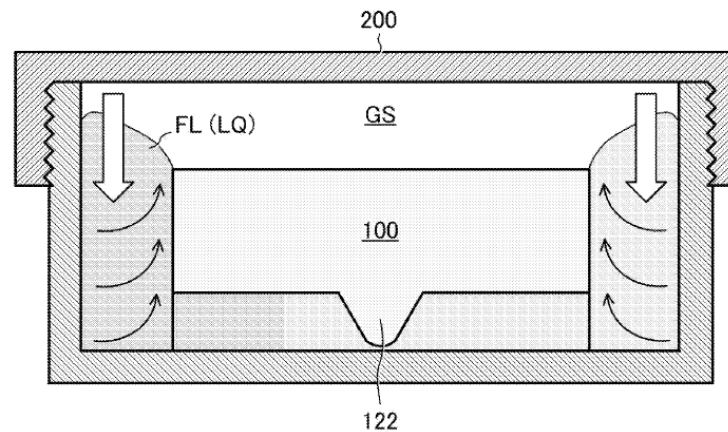


キャビテーション式



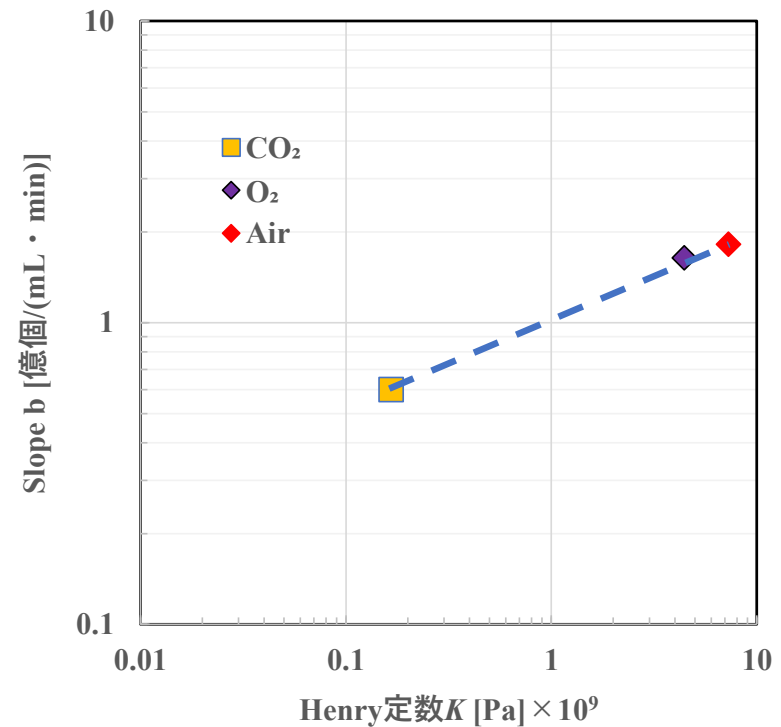
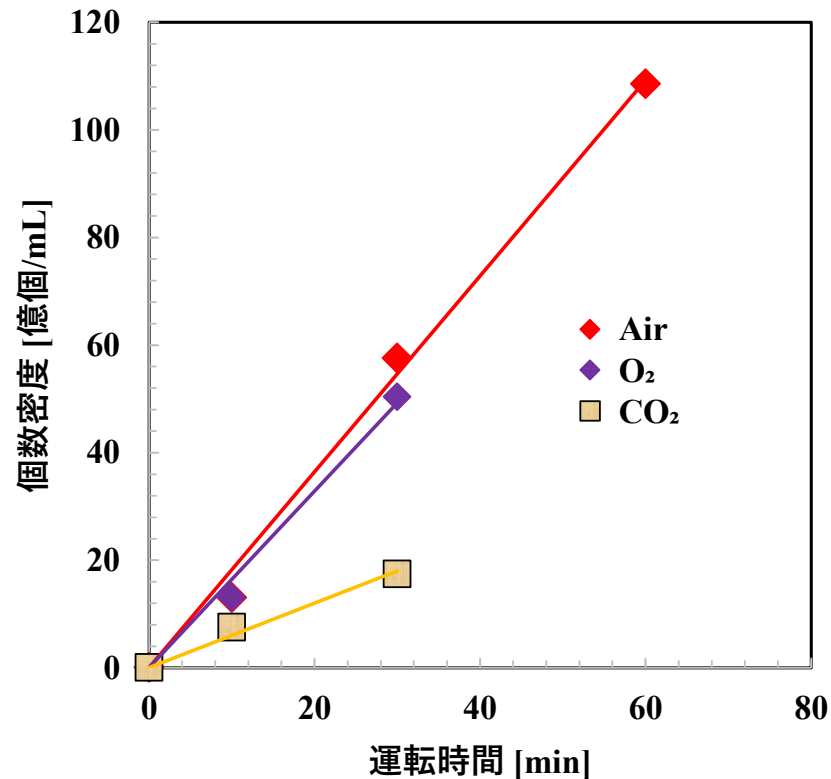
発明の内容(装置の基本構成)

攪拌子（回転子）に形成された凹凸構造を容器内面（下面および側面）に押し付けた状態で高速回転させることで、シンプルな構成ながら高効率にウルトラファインバブルを生成可能なキャビテーション方式の発生器である。さらに運転時間により個数密度の制御が可能である。



実証実験1

ガス種によるウルトラファインバブル発生能への影響

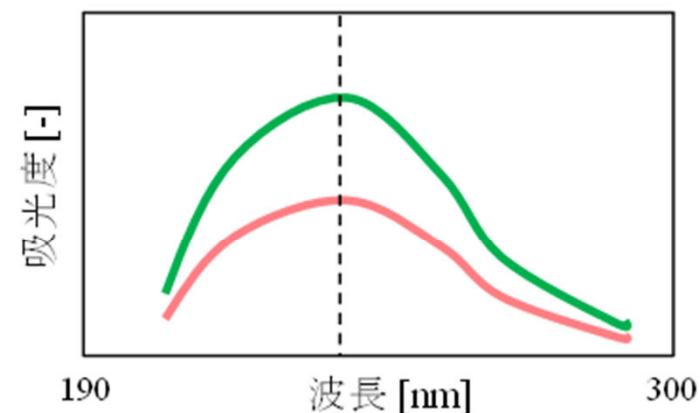
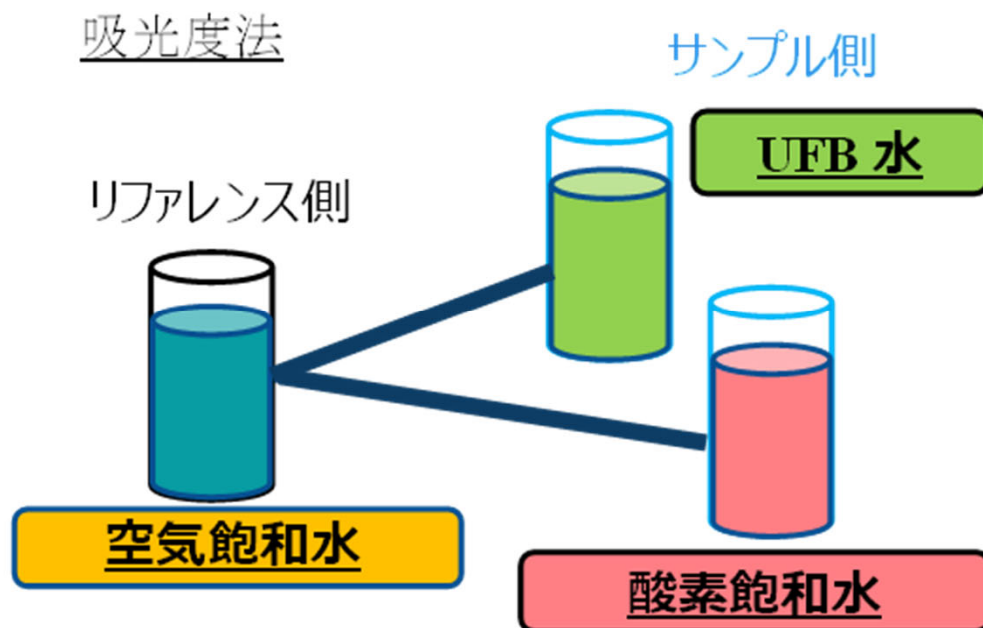


気体の溶解性がウルトラファインバブルの個数密度へ影響

個数密度の増加率は、気体の溶解度の指標であるヘンリー定数により支配され、溶解度が小さいほど個数密度の増加率が大きいことが確認された

実証実験2

ウルトラファインバブルが周囲に保持する溶存気体量の評価

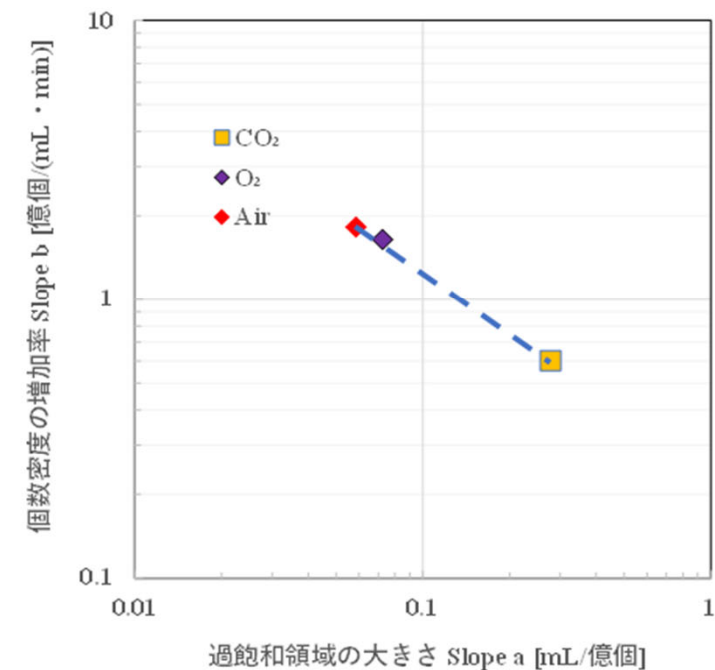
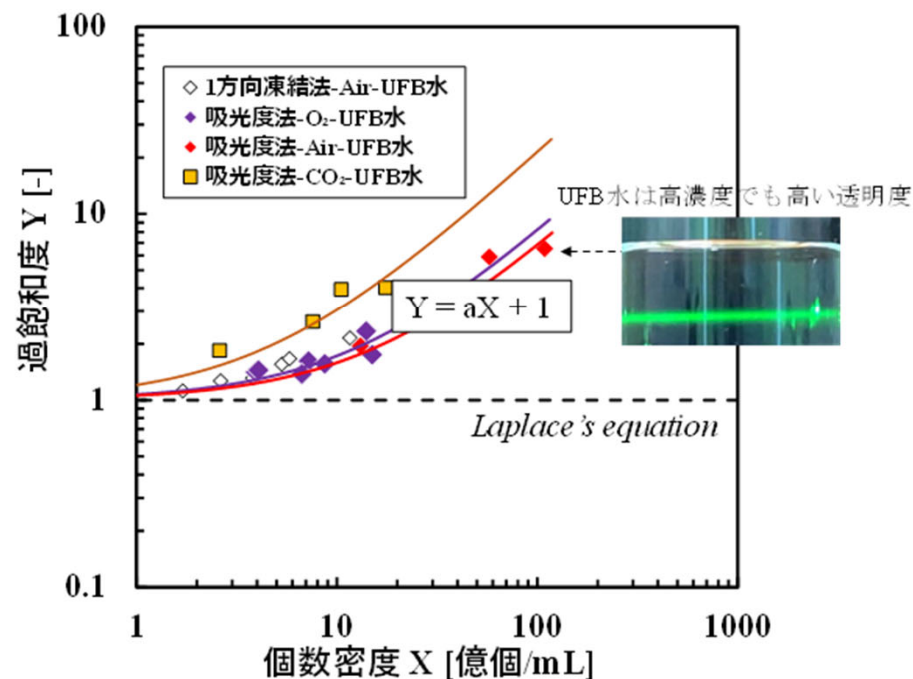


溶存酸素濃度計では、ウルトラファインバブルが周囲に保有する溶存気体を計測できないため、今回、UV-visを用いた吸光度法を提案し、対象気体を持つ固有の吸収波長のピーク高さから、溶存気体量の推算を試みた。

実証実験2

ウルトラファインバブルが周囲に保持する溶存気体量の評価

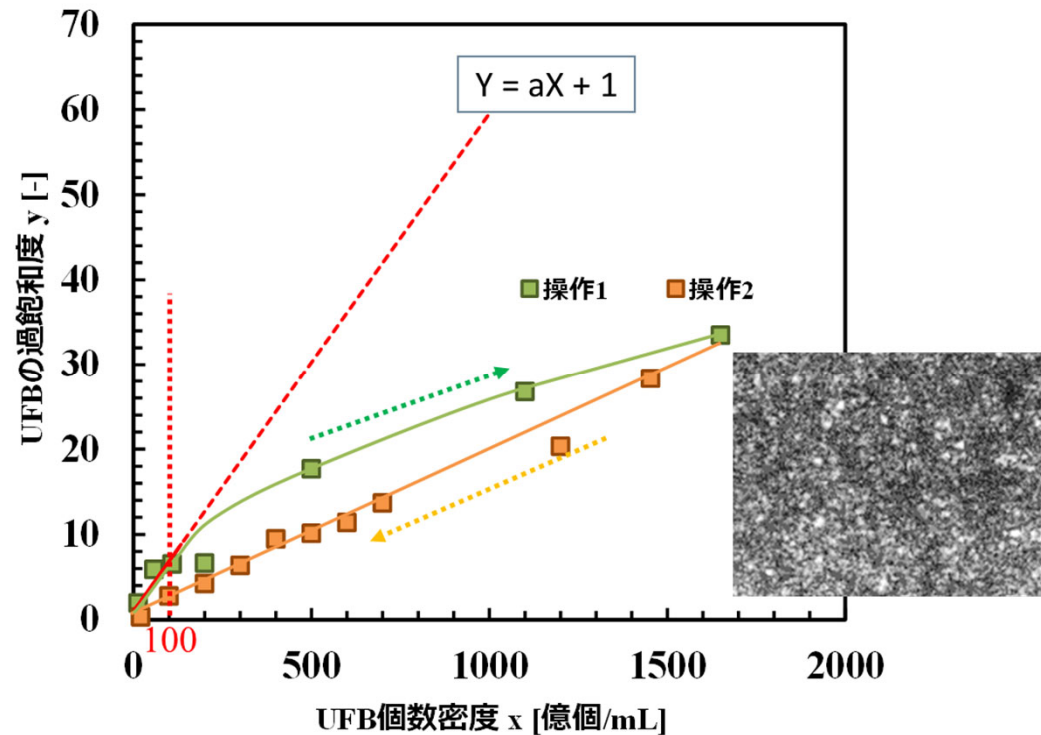
ウルトラファインバブル水の過飽和度と個数密度との関係



提案する吸光度法により、(1)ウルトラファインバブル周囲に過飽和状態で気体が溶解する過飽和領域の存在の可能性が見出されたこと、また、(2)過飽和領域の大きさはヘンリー定数により支配され、溶解度が小さいほど過飽和領域の大きさが小さいこと、が確認された。

実証実験2

ウルトラファインバブルが周囲に保持する溶存気体量の評価

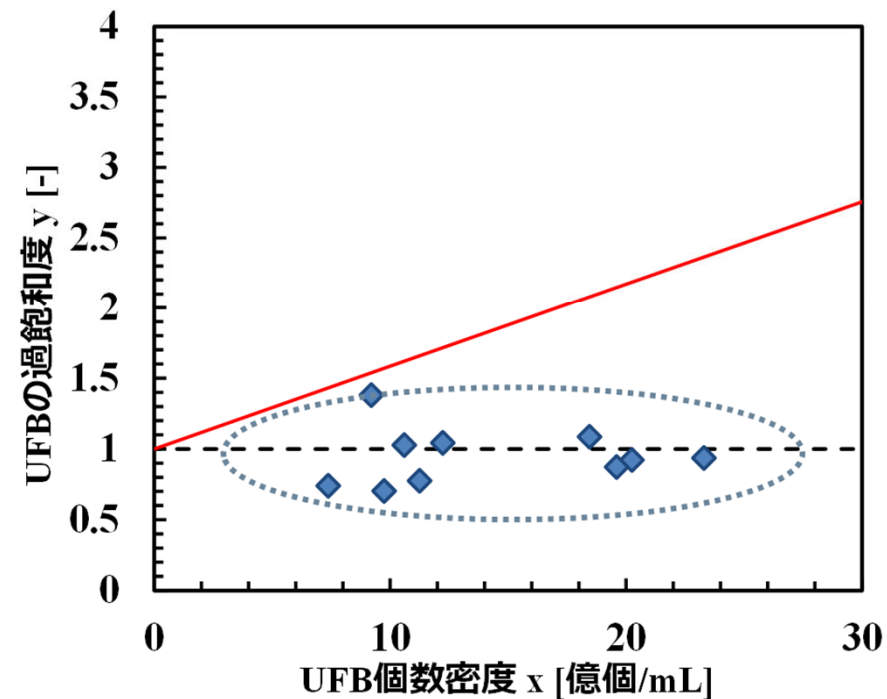


空気ウルトラファインバブルについて、(1)操作1(運転時間増加による個数密度の増大過程)では、個数密度が100億個/mLを超えると、気泡間の相互作用が増加して過飽和領域を共有すること、(2)操作2(希釈操作による個数密度の減少過程)では、操作1とは異なり、気泡間の相互作用から場の不均一性が増加して、過飽和領域を共有する気泡の割合が一時的に増加すること、が推定される結果が得られた。

実証実験2

ウルトラファインバブルが周囲に保持する溶存気体量の評価

分散剤で被覆安定化したウルトラファインバブル水

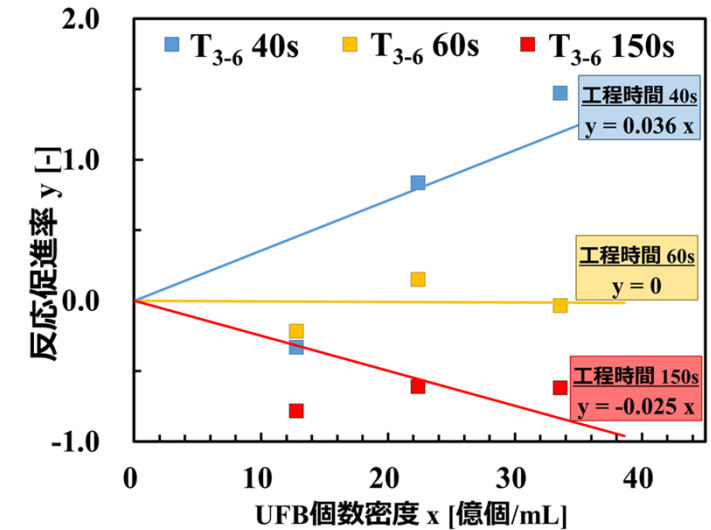
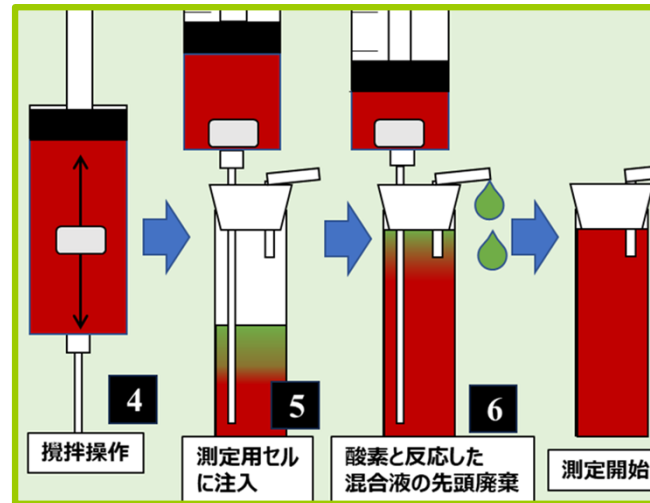
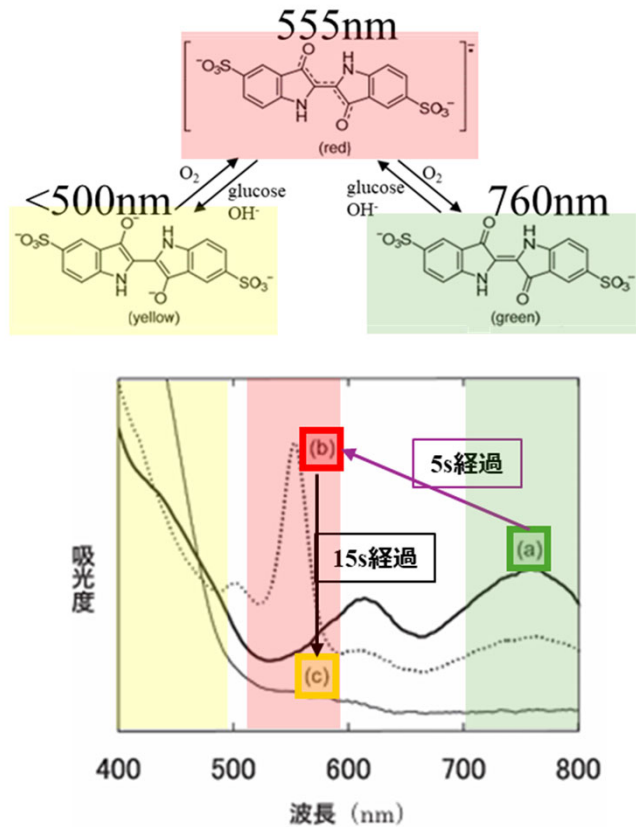


分散剤で被覆されたウルトラファインバブルは、被覆が無く動的平衡説で分散安定化する気泡とは異なり、気泡周囲に過飽和領域が形成されないことが確認された。

実証実験3

ウルトラファインバブルによる酸化還元反応促進効果の評価

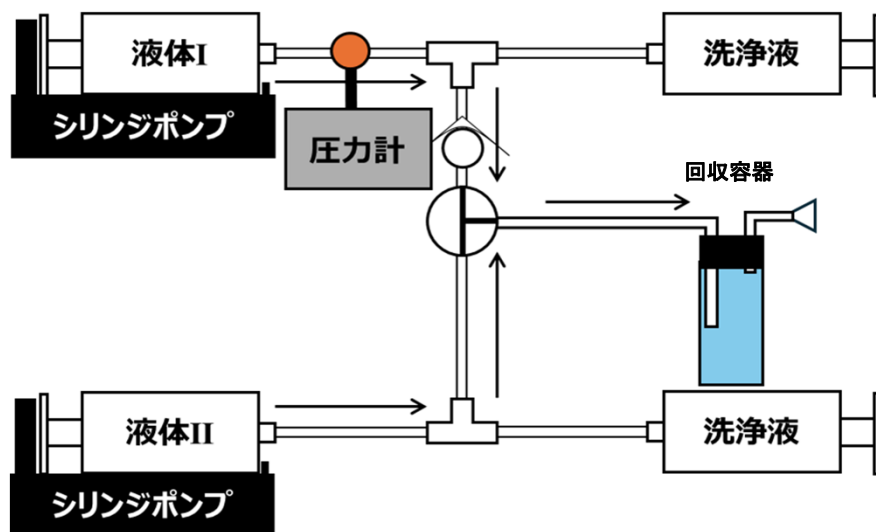
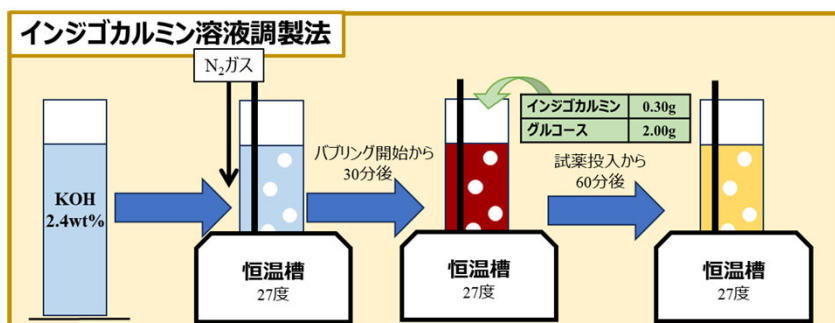
モデル反応系として酸化還元反応の中で簡易的な評価が可能であるインジゴカルミン比色法(IC法)を選定した。



吸光度法の検証結果が妥当であるとした場合、酸素ウルトラファインバブル水を用いた酸化還元反応を行うと、過飽和領域に存在する過剰な気体量により、酸化反応が促進される可能性について実験的に検証した。

実証実験3

ウルトラファインバブルによる酸化還元反応促進効果の評価



液体 I

O₂飽和水

O₂UFB水 (個数密度: 80~690億個/mL)

O₂過飽和水 (過飽和度4)

液流量比

液体 I 流量: 液体 II 流量

総液流量

10, 20, 30, 40 mL/min

反応時間

液滞留時間

先頭破棄時間

静置時間

酸化還元反応は反応速度が極めて大きいため、反応速度を厳密に制御できるフロー式マイクロリアクタを採用した。

実証実験3

ウルトラファインバブルによる酸化還元反応促進効果の評価

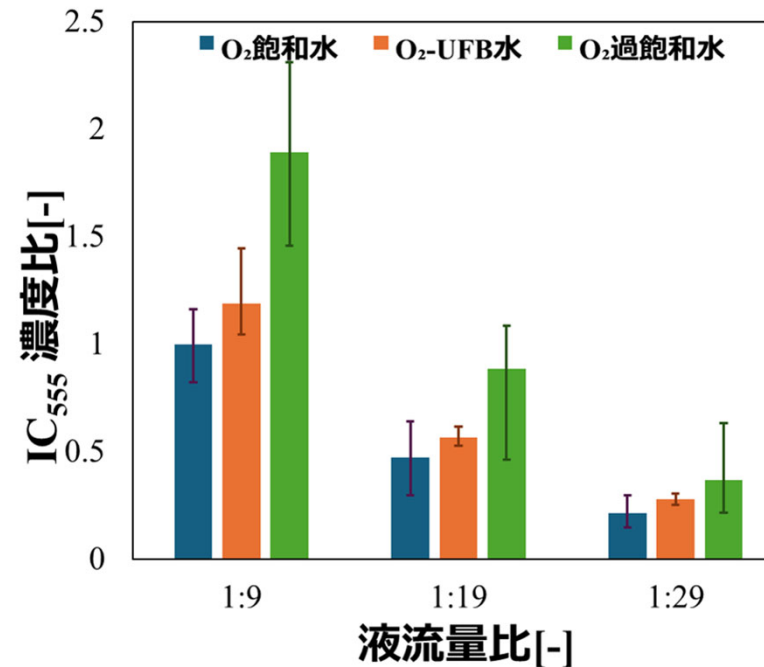
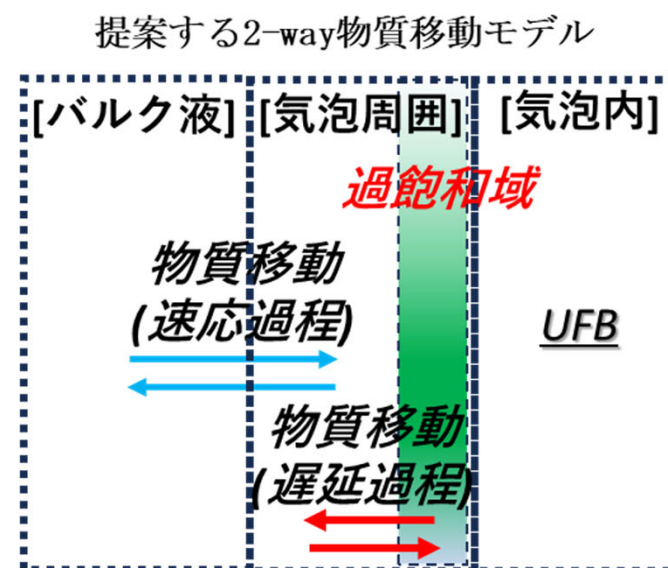
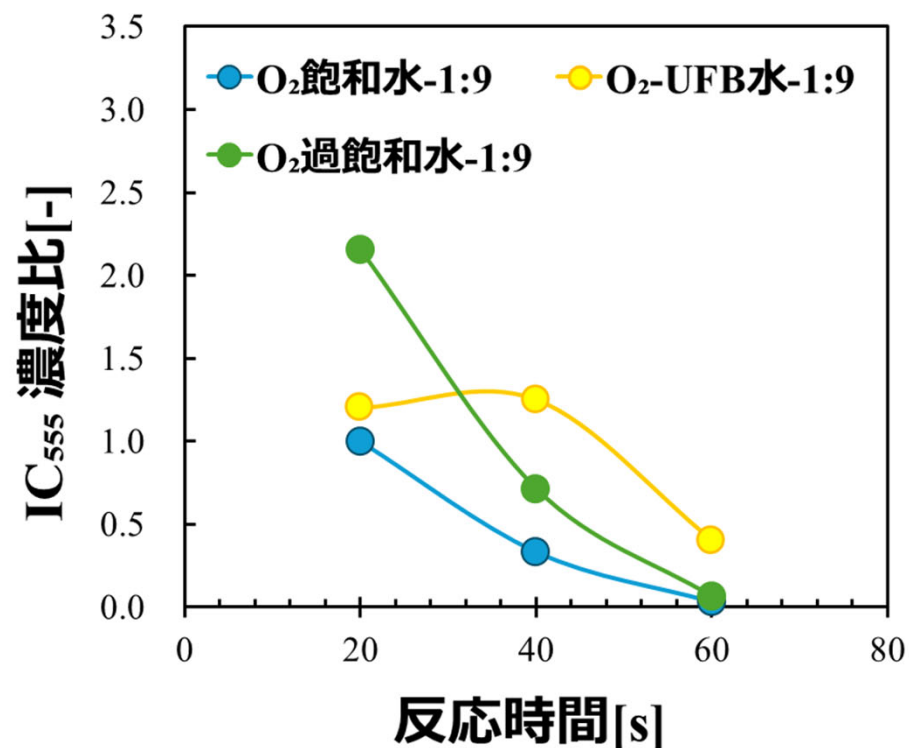


Fig. 過飽和度とIC₅₅₅濃度比の関係

インジゴカルミン溶液とサンプル液の混合比率によらず、中間体(吸収波長555nm)の生成量の大小関係は、O₂過飽和水(過飽和度4)＞O₂-UFB水＞O₂-飽和水となり、ウルトラファインバブルの周囲に過飽和領域が存在することを示唆する傾向が観察された

実証実験3

ウルトラファインバブルによる酸化還元反応促進効果の評価



中間体濃度の経時変化を観察したところ、ウルトラファインバブル水では飽和水や過飽和水とは異なる還元反応の進行挙動が観察された。これは、ウルトラファインバブル周囲の過飽和領域近傍では、バルク液との迅速な物質移動を行う速応過程とは異なる遅延過程の存在が示唆されることが確認された

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、研究開発におけるウルトラファインバブルの生成・利用に関する条件検討に適用することで完全閉鎖系、個数密度の制御能、任意のガス種や液種への対応、少量(100mL)でのワンポット精密制御のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、ウルトラファインバブル液の連続供給システム(マイクロリアクタ等)の構築も期待される。
- また、高い気体保持能や懸濁物分散制御に着目すると、化合物合成プロセスに展開することも可能と思われる。
- さらに、研究開発プラットフォームとして展開可能である。

実用化に向けた課題

- 現在、任意のガス種について運転時間の増加に伴いウルトラファインバブルの個数密度を制御することが可能なところまで開発済み。しかし、ウルトラファインバブルの分散安定化メカニズムや個数密度の増加メカニズムが未解決である。
- 今後、有機溶媒系についても実験データを取得し、化学合成プロセスに適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、ウルトラファインバブルの個数密度の増加速度を現状の10倍まで向上できるよう技術を確立する必要もあり。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・簡易型自動制御装置の設計が完了	
現在	・完全閉鎖系での高個数密度化を実現 ・任意ガス種への対応を確認	・大学内での基礎評価を実施 ・企業との共同研究を開始可能
1年後	・液相酸化還元反応 ・微生物培養系への適用条件確立	・用途別デモ機の試作 ・企業への試料提供開始可能
3年後	・個数密度制御機構の解明 ・有機溶媒系への適用拡大	・共同研究による用途最適化 ・OEM/装置提供体制の検討
5年後	・連続供給化 ・スケールアップ化 ・研究用途で蓄積した条件データを基に、産業用途への最適化を実施	・研究用途向け装置販売 ・化学/バイオプロセスへの導入

企業への期待

- 未解決の個数密度の増加メカニズムについては、発生器のシリーズ化技術により克服できると考えている。
- ウルトラファインバブルの分散状態や気泡周囲の気体溶存状態を直接観察できる技術、また自動システム化技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、ウルトラファインバブルのガス溶解・分散制御を利用した化合物合成プロセスを開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術はサイエンスの解明が遅れているウルトラファインバブルの生成・利用に関し、個数密度をパラメータとして閉鎖系にて任意のガス種および液種を用いた条件検討が可能なため、製品化することにより企業に貢献できると考えている。
- 周期操作がないため、ウルトラファインバブル液の連続供給システムへの応用が可能。
- 本格導入に向けた技術指導や共同条件検討にも対応可能である。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 気泡形成装置及び気泡形成方法
- 出願番号 : 特願2021-520779
- 出願人 : 鹿児島大学
- 発明者 : 五島 崇、三国 勇大

お問い合わせ先

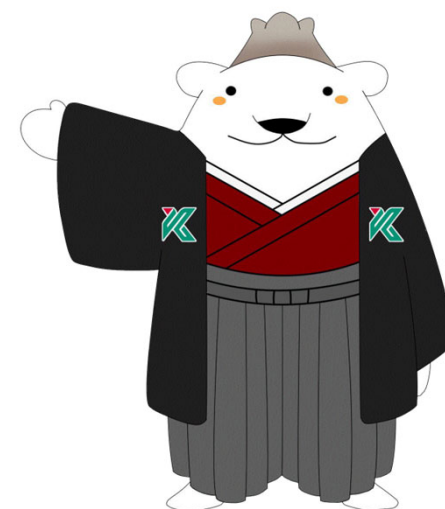
国立大学法人 鹿児島大学
南九州・南西諸島域イノベーションセンター
知的財産・リスクマネジメントユニット

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40

TEL: 099-285-3878

FAX: 099-285-3886

e-mail: tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp



鹿児島大学公式マスコットキャラクター

