

超微細気泡発生器及び 超微細気泡発生装置

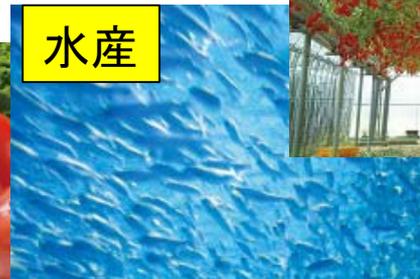
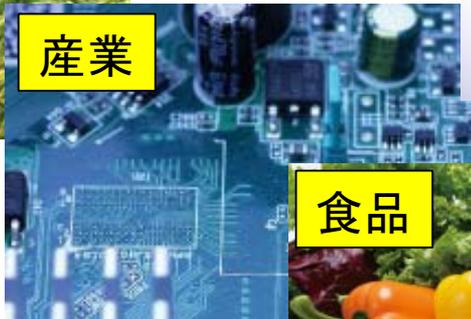
公立諏訪東京理科大学 工学部機械電気工学科
教授 雷 忠

2022年8月23日

- 酸素バブル ⇒ 農作物栽培、微生物活性、魚類養殖
- オゾンバブル ⇒ 殺菌、洗浄、水処理
- 二酸化炭素バブル ⇒ 次亜塩素酸水、炭酸泉、中和処理
- 空気バブル ⇒ 洗浄、カキの養殖、香りの封入
- 窒素バブル ⇒ 食品加工、鮮度保持
- フッ素バブル ⇒ 医療
- 水素バブル ⇒ 水素水、癌治療



日本が世界をリードする
「ファインバブル技術」
様々な分野において
活用の可能性があります！

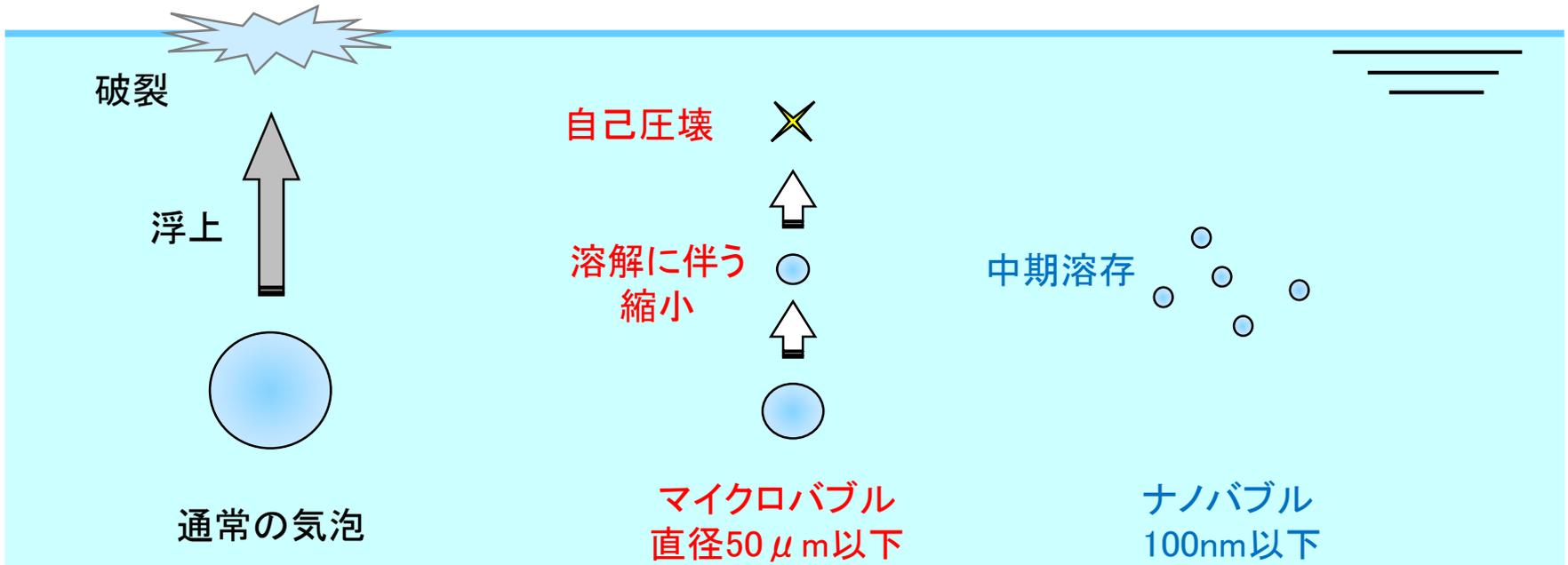


◆マイクロバブル

- 気泡径が $50\mu\text{m}$ 以下の気泡である。微細なため浮力が小さく、上昇速度が緩やかなため、水面に届く前に気泡内の気体分子が水に溶解し、消滅してしまうことがある。

◆ナノバブル(或いは、ウルトラファインバブル)

- 気泡径が数百nm以下の気泡であり、目視での確認が出来ない。水中でほぼ静止状態を保つ性質がある。気泡が微小になることで気泡界面の電解質イオンが濃縮され周りを覆うことで、気体分子が水中へ溶解することが抑制され、長時間水中を漂い続ける。



顕微鏡CCDカメラで撮影した映像：水中にブラウン運動とするナノバブル



特徴:

- ナノバブルの長期間保存: 数ヶ月
- バブル内部に高い圧力: 標準大気圧の数十倍
- 大きな表面積とボイド率: 高い接触混合率
- 大量発生: ナノサイズ気泡数千万個/ml
- 気泡サイズ: 数十~数百ナノ
- 形式: 気泡、液体中にブラウン運動、浮遊
- 自己圧壊: フリーラジカル(遊離基)生成
- 内部気圧: 高

物質搬送機能

衝撃圧力作用

界面活性作用

生理活性作用

酸化力維持効果

浸透力作用

表面積増加効果

応用分野

- 機械加工: 加工中の刃先冷却、
- エネルギー: 熱交換器、冷却装置
- 水産養殖: 魚、微生物の活性化、冷却保管、無菌保管
- 栽培: 果物、野菜、水耕栽培、植物工場
- 洗浄消毒: 病院消毒、清掃、野菜、電子基板・半導体、
- 医療関係: 水素ナノバブル治療法、癌治療、眼病、皮膚病

【従来技術】

従来から、ファインバブルやウルトラファインバブルなどと呼ばれる超微細気泡を生成するための各種の装置が開発されている。例えば、液中における安定性の高いナノサイズの気泡を生成する方法としては、界面活性剤添加微細孔式、超音波キャビテーション式などが知られている。また、高速旋回式、加圧溶解式、エジェクター式などの流路形状による気泡生成作用を用いた超微細気泡発生装置も知られている。

【問題点】

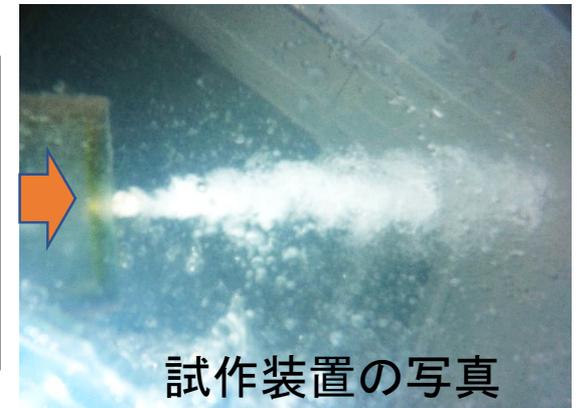
- 上述のような超微細気泡の発生方法として、微細孔や超音波を用いる場合には、高品質、高密度な気泡生成を行うことが難しく、流量が限定される。このため、上述の各分野での技術応用の実現性においてコスト面などの制約があるという問題がある。
- また、高速旋回式、加圧溶解式、エジェクター式などの流路形状による気泡生成作用を用いた超微細気泡発生装置では、比較的容易に超微細気泡を生成することができるものの、各分野において高い性能を発揮できる程度の高密度の超微細気泡を得ることが難しいという問題があった。
- そこで、本発明は上記問題を解決するものであり、その課題は、微細な気泡を高密度に生成させることのできる超微細気泡発生器及び超微細気泡発生装置を実現することにある。

本発明のウルトラファインバブル生成法：乱流高圧破壊式

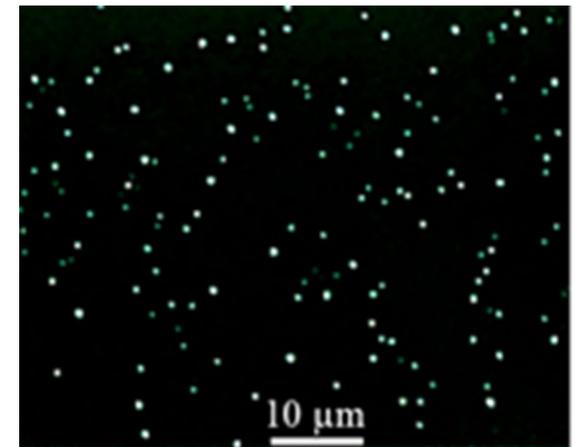
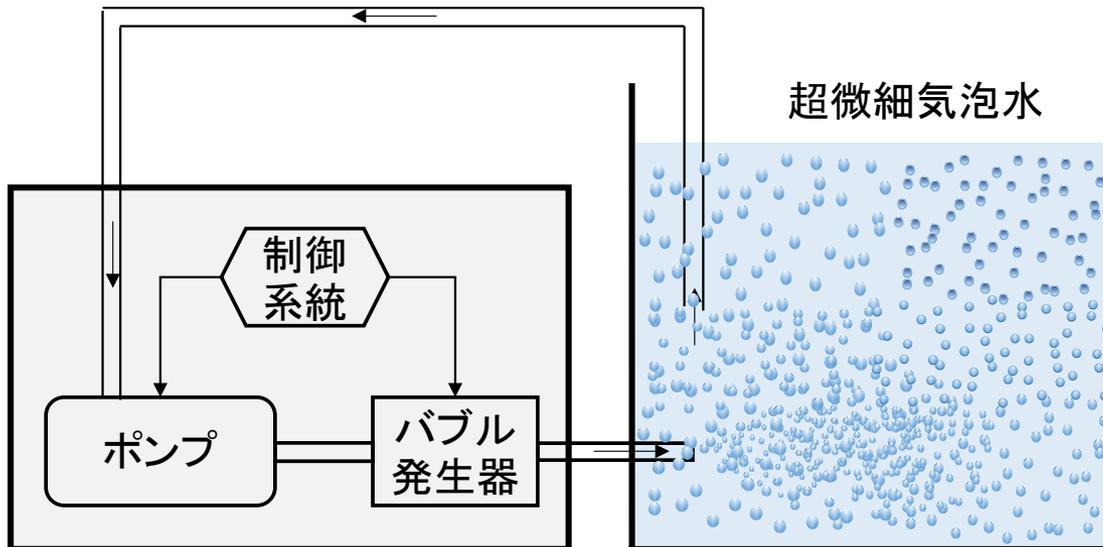
- バイパスジェット流れの干渉より乱れを促進し、激しい乱れより乱流応力は非常に小さいスケールまで存在するため、気泡を切断、引き断、圧壊することよりナノサイズまでの超微細気泡を生成する。
- 従来技術より効率的にウルトラファインバブルを生成し、ランニングコストを削減することに成功した。

特徴：

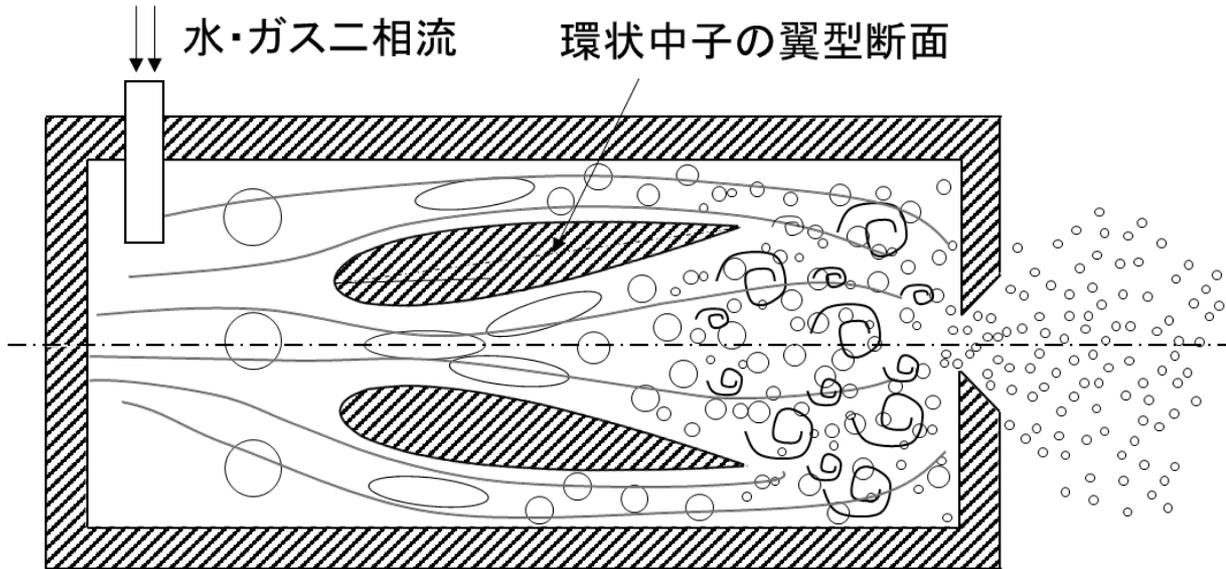
- 高い品質、低ランニングコスト、短時間大量生成
- 既存の市販製品よりウルトラファインバブルの個数が多い
- マイクロからナノサイズまでバブルサイズの制御
- 流量制御が可能



試作装置の写真



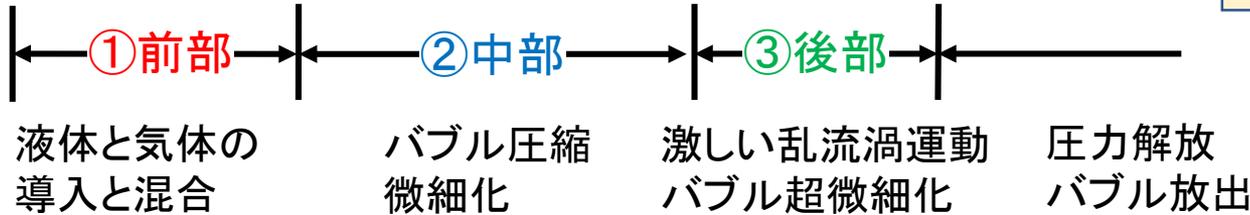
生成したUFBの顕微鏡画像 7



発想:
航空機ジェットエンジン

↓

- 激しい混合
- 高速噴出



◆ナノバブル発生原理

- ① **前部**にある流入口から水と空気を側面に沿って装置内に入れ旋回流を作る。
- ② **中部**にある翼型断面とした中子大の内側と外側に混入した気泡を引き伸ばし、乱流せん断層を発生させる。
- ③ **後部**で気泡を乱流と圧力により崩壊させ、吐出口の穴から得た高い圧力と大きな乱流せん断応力により気泡を破壊させる。

諏訪圏工業メッセ2017時の出展





10,000倍拡大写真



顕微鏡





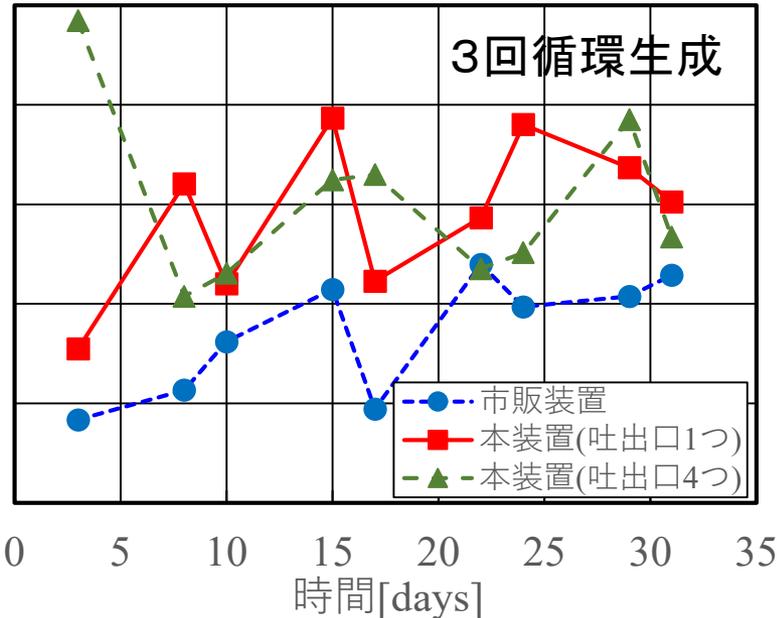
測定期間：2017年11月15日～12月16日、計31日間、毎週月と水2回
保存条件：25°C恒温室

- 1ヵ月間に渡って平均粒径と個数密度に**大きな変化がない**
- 平均粒径はナノサイズに保って、**安定的に保存できた。**
- 市販装置よりも平均個数密度の数値が高い。

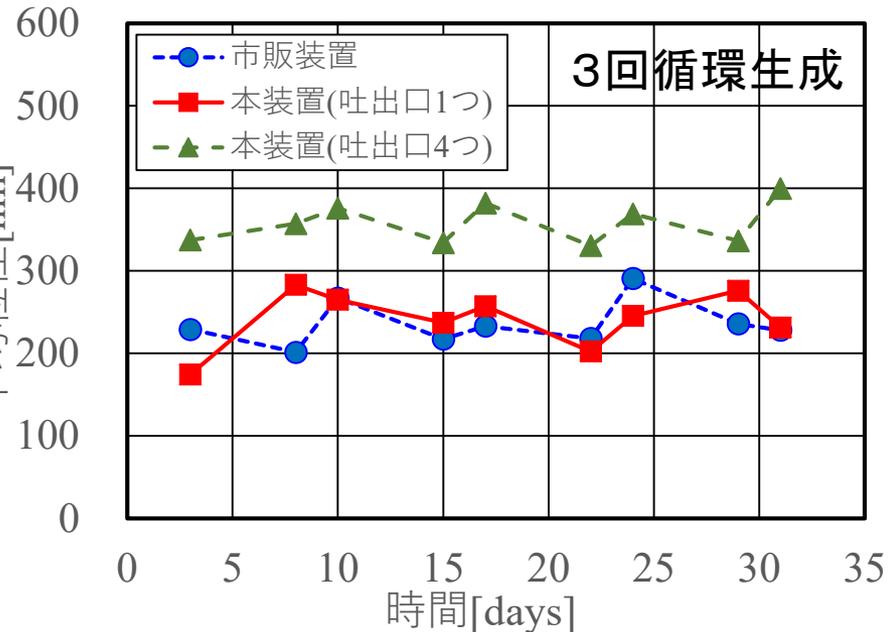


長時間保存、安定なウルトラファインバブル生成

平均個数密度 [$\times 10^7$ /mL]



平均粒径 [nm]



実験条件及びナノバブル粒度(2018年5月25日):
蒸留水使用、流量8.5 l/m、3回循環、5日目



生成方式	1	2	3
流量 (l/min)	8.0	12.0	12.5
個数濃度 (Particles/ml)	1.30×10^9	1.53×10^9	1.56×10^9
分散	大	中	小

測定原理

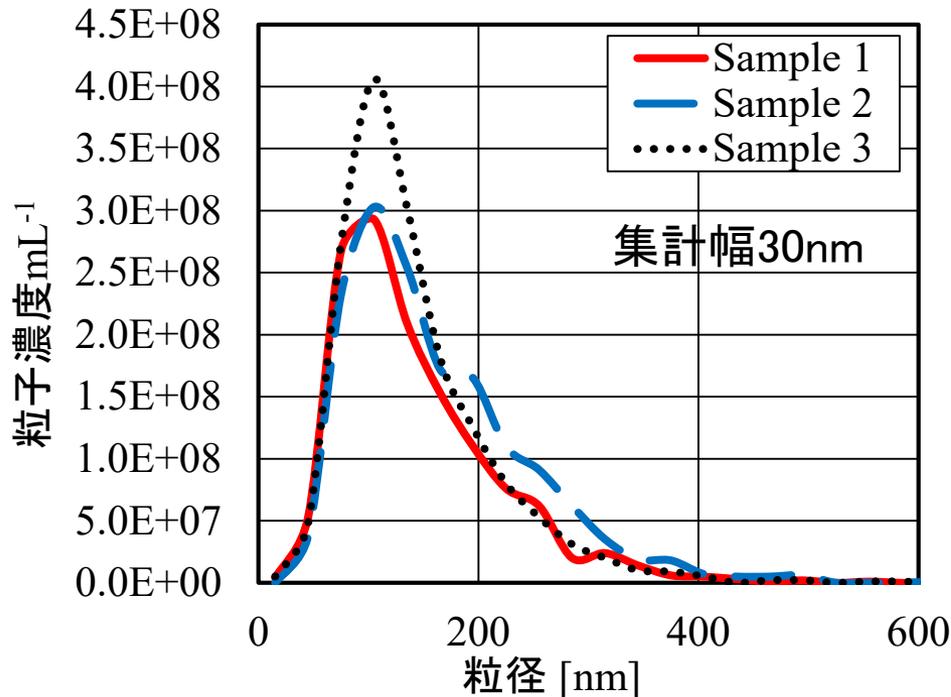
- 粒径, 粒子濃度 → 粒子追跡法
- ゼータ電位 → 顕微鏡電子泳動法

結果

- ウルトラファインバブル直径: 500 nm 以下
- 流量大、12.5 l/min
- 粒子濃度大、15億個以上
- 100 nm に個数最大、高い集中度

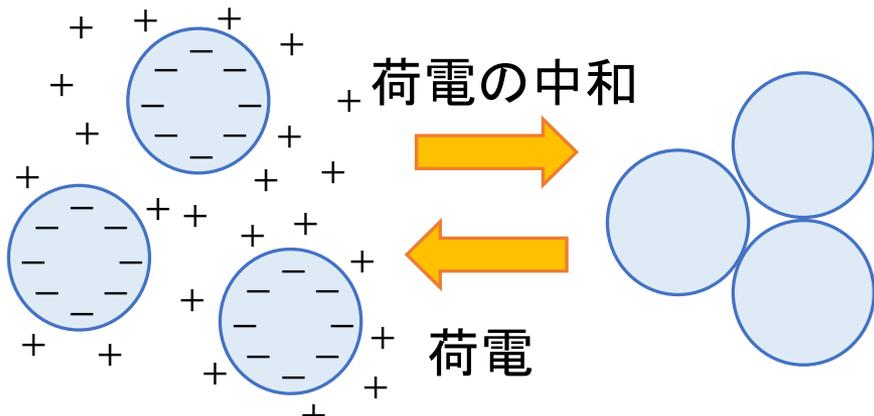
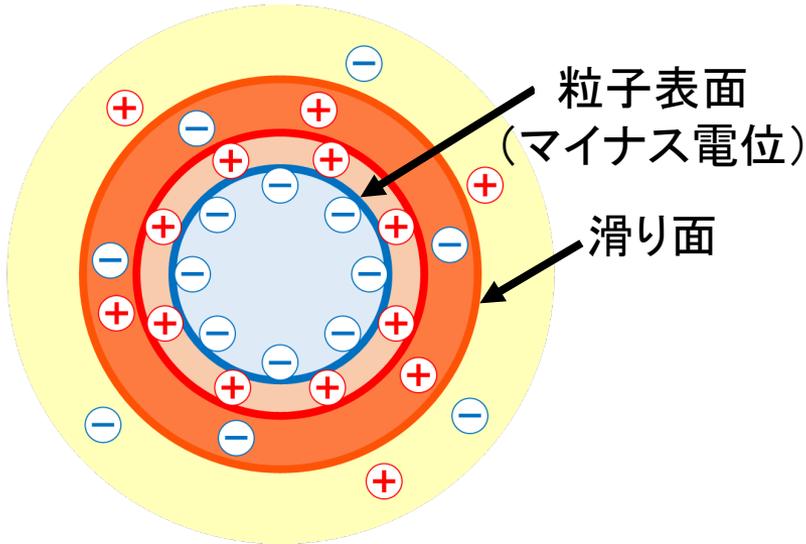


- 高品質ウルトラファインバブル
- 低ランニングコスト



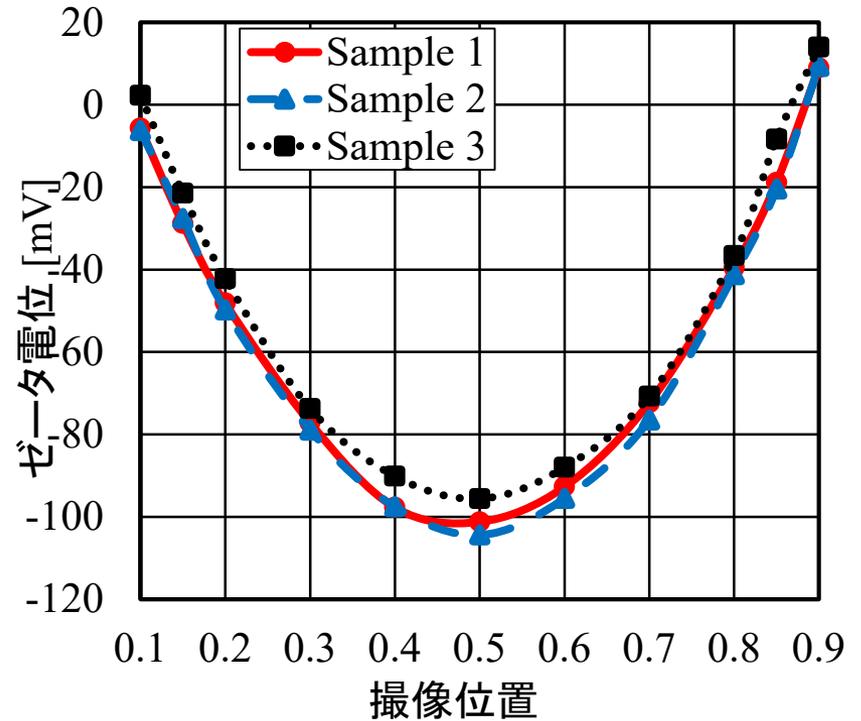
ゼータ電位の測定

ゼータ電位 (Zeta Potential) とは、溶液中の微粒子の周りに形成する電気二重層中の液体流動が起こり始めるすべり面の電位として定義される。



ゼータ電位大:
安定・分散

ゼータ電位小:
不安定・凝集



従来の製品:ゼータ電位約 -50 mV
本発明:-100 mV

• 高い安定性



41日目の酸素バブル水による栽培



41日目の空気バブル水による栽培



41日目の普通水による栽培

- 41日目, 全体的には大きく育っているが2つに比べ酸素バブル水の野菜の葉のはりつつやがあり, 茎が生き生きとしている. この日に全ての野菜を収穫した.

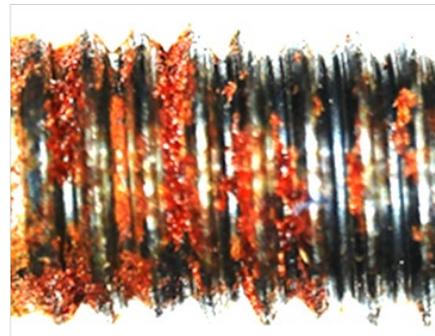
金属の錆び落とし実験



洗浄に使用したボルト



a. 蒸留水



b. UFB水

洗浄前のボルトの顕微鏡画像



a. 蒸留水



b. UFB水

30分後のボルトの顕微鏡画像

洗浄液

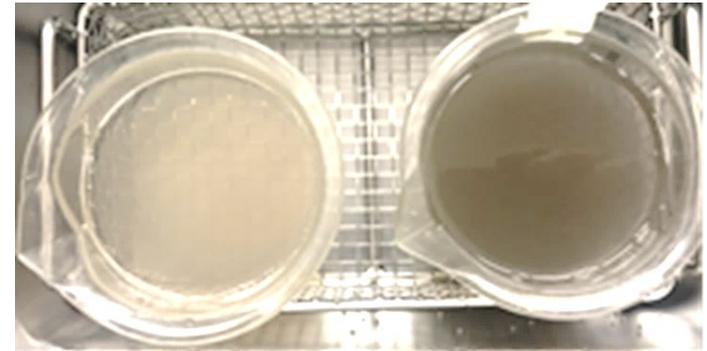
UFB水+ 錆び落とし剤

蒸留水+ 錆び落とし剤

試験方法

超音波洗浄機を28kHzに設定

30分洗浄実施



30分洗浄した後の溶液の比較

UFB水

- ✓ ほぼ100%の錆びが除去可能
- ✓ ボルトの金属光沢が出現

⇒ 高効率の洗浄が実現

グリスの油膜落とし実験:

- 洗浄液: ①蒸留水、②空気ナノバブル水
- 試験片: グリスを塗布したワーク

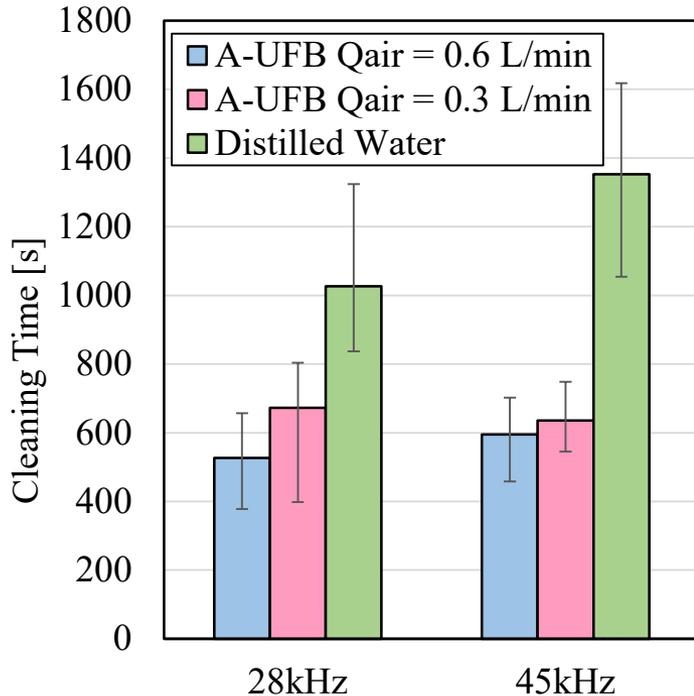
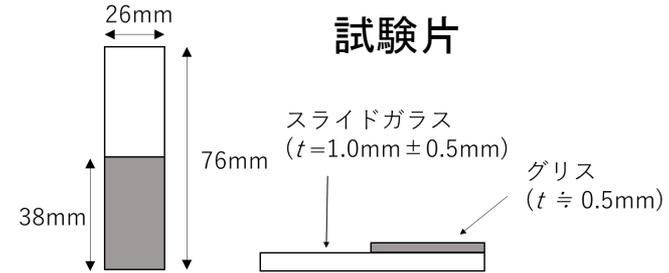
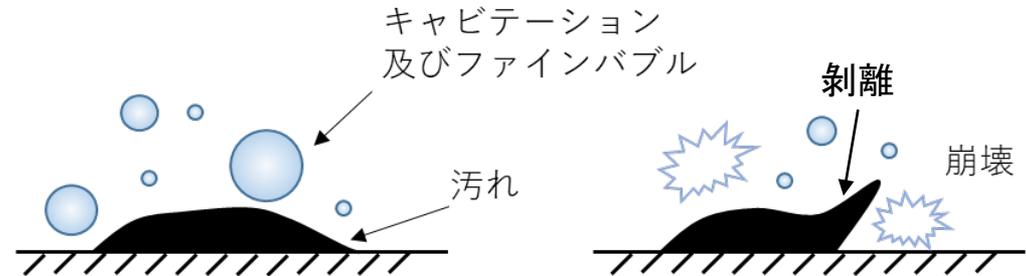


図 洗浄時間の比較

旋回や、超音波などによる超微細気泡の崩壊



本実験による洗浄メカニズム

内部に含まれている高圧気体により連続的な微細衝撃波が発生
⇒ 高い洗浄効果

- 空気ナノバブル水は蒸留水に比べて洗浄時間に顕著な差が見られた。

- 微細衝撃波によるガン細胞破壊
- 過酸化細胞修復
- 薬剤の輸送
- 水素治療法、酸素治療法
- 標的治療法

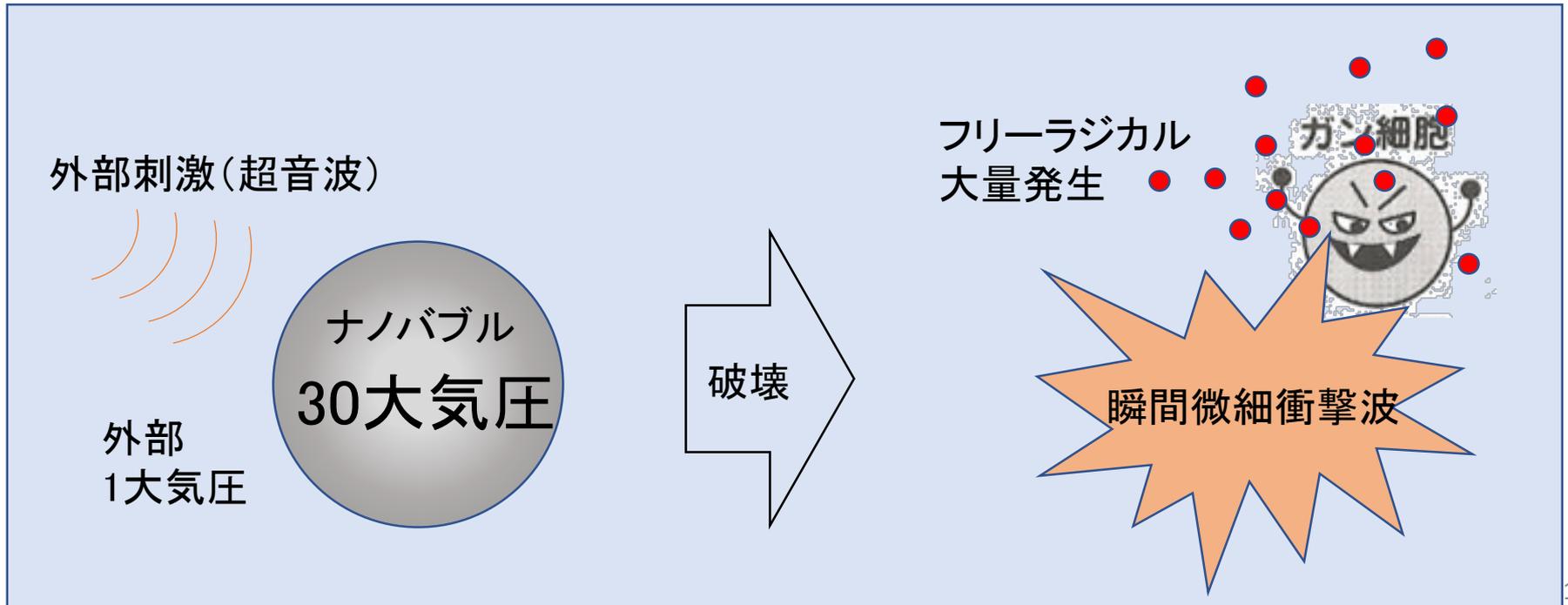
内・外部圧力差：

$$\Delta p = p - p_0 = \frac{4\sigma}{D}$$

水の場合： $\sigma = 72.75$ [mN/m]

気泡直径 100nm、 $Dp=28.72$

内部気圧約30標準大気圧



実用化に向けた課題

- ガスを導入する際に逆流の問題が未解決。逆止弁、圧力制御を改良する課題
- ウルトラファインバブルを製造する際に、特に粒度、ゼータ電位を即時に計測する技術が困難
- 使用目的に合わせた専用装置の開発に対応が可能、確認実験を実施、専門技術を導入する
- 現在、実用化に向けて進めており、部品調達やシステム調整などが必要
- 装置の製造コスト削減に関して、今後、試作を行う。

企業への期待

- 本技術が様々な分野へ展開することを期待しており、他分野に連携、応用課題を提案していただく。
- 流量、圧力、粒度など、各性能計測、制御の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- 装置の製造、販売、市場展開に協力していただく企業を期待
- 洗浄、消毒、食品衛生管理、植物栽培などに関連する製品の製造過程に本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：超微細気泡発生器及び超微細気泡発生装置
- 出願番号：特願2019-22683
- 公開番号：特開2020-127932
- 登録番号：特許第7092358号
- 出願人：公立諏訪東京理科大学
- 発明者：雷 忠

お問い合わせ先

公立諏訪東京理科大学 産学連携センター

T E L 0266-73-1201

F A X 0266-73-1230

e-mail sangaku@admin.sus.ac.jp

Web. <https://www.sus.ac.jp>