

# カスタマイズ型連結ノズル を用いたファインバブル発生器

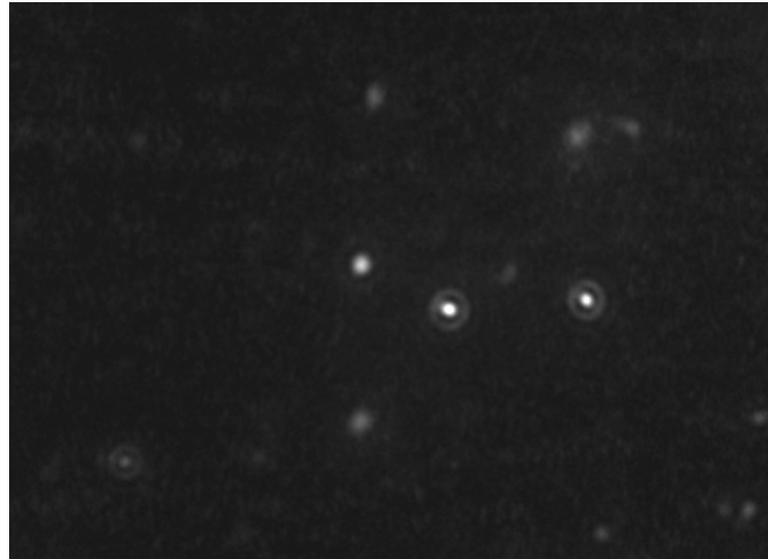
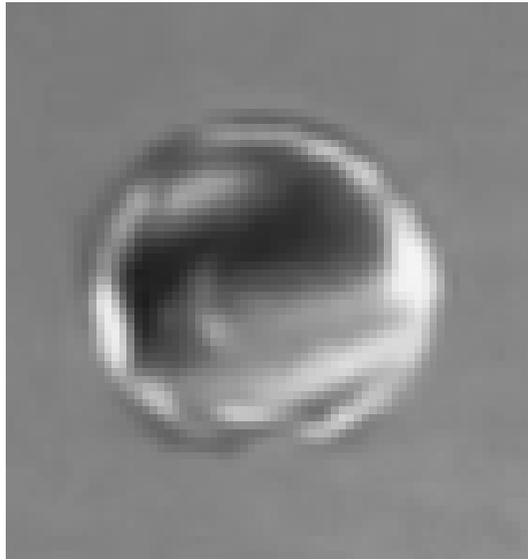
鹿児島大学 大学院工学研究科（工学系）  
化学工学プログラム  
准教授 五島 崇

2024年12月3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 $\mu\text{m}$   
目視可能(白濁)
- ウltraファインバブル  
直径1 $\mu\text{m}$ 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ファインバブル発生器には、加圧溶解式やエジェクター式等があり、広く利用されてきたが、

前者は気泡密度を容易に高めるが低圧操作での溶存気体濃度の増加は難しく、後者はその逆となる等の問題があり、

両方の特徴を有するシンプルでかつスケールアップ適性の高い装置の開発には至っていない。

# 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、低圧操作の下で気泡密度と溶存気体濃度の増加と制御を可能とする気泡発生器を開発することに成功した。
- 従来の気泡発生器は気体溶解特性(KLa)の点で高い操作圧もしくは大過剰のガス供給の下での使用に限られていたが、連結ノズルのカスタマイズ設計により気泡群の動態を制御することで、低圧操作・低ガス流量の下で高KLaが可能となった。
- 本技術の適用により、目的に応じた溶存気体濃度と気泡密度へ幅広く調整できる。また、流路が閉塞しにくく懸濁物の解砕能も併せ持っており、高いスケールアップ適性が見込まれる。

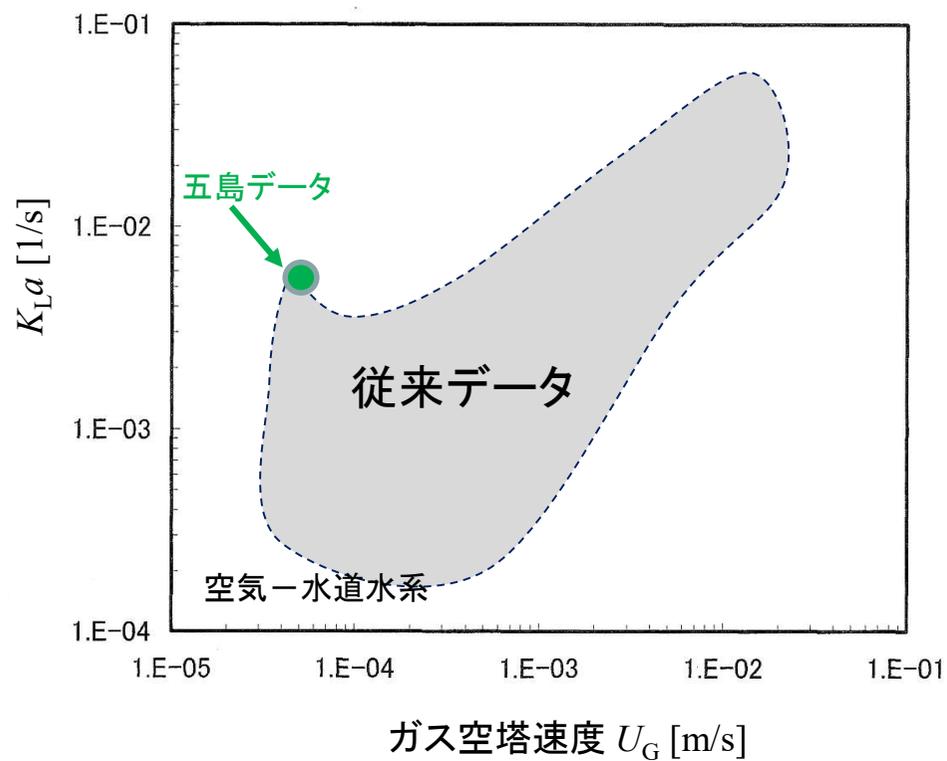
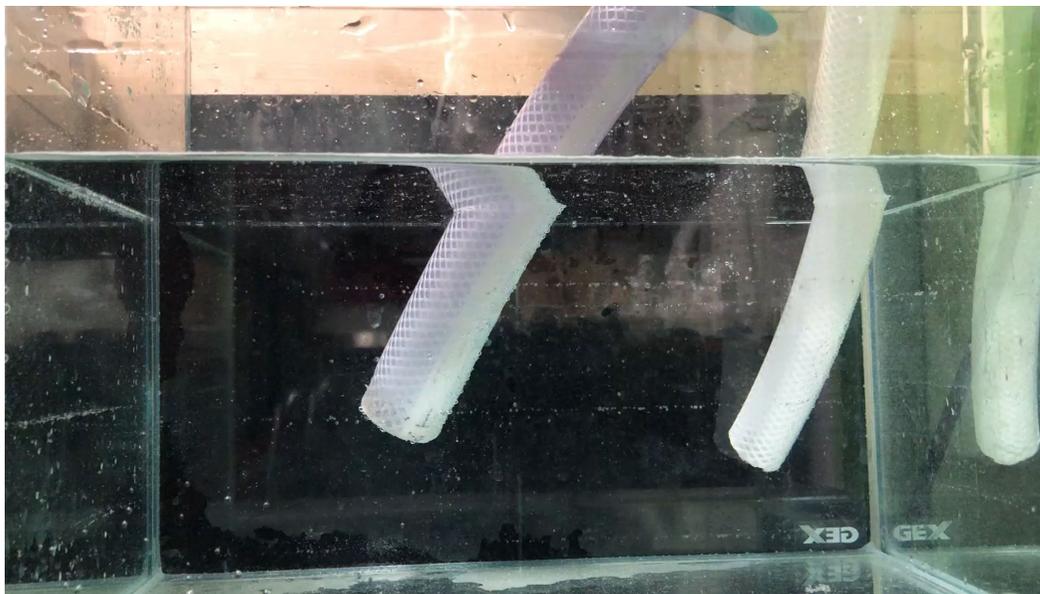
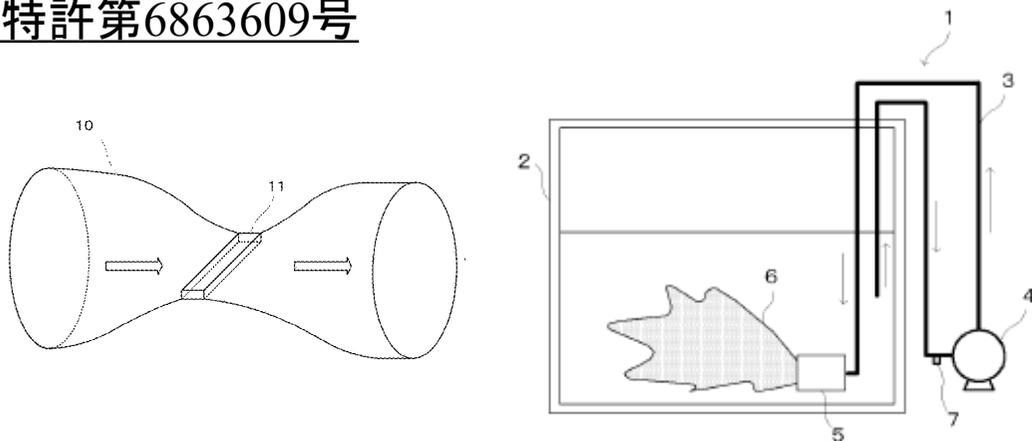
# 代表的なファインバブル発生器

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

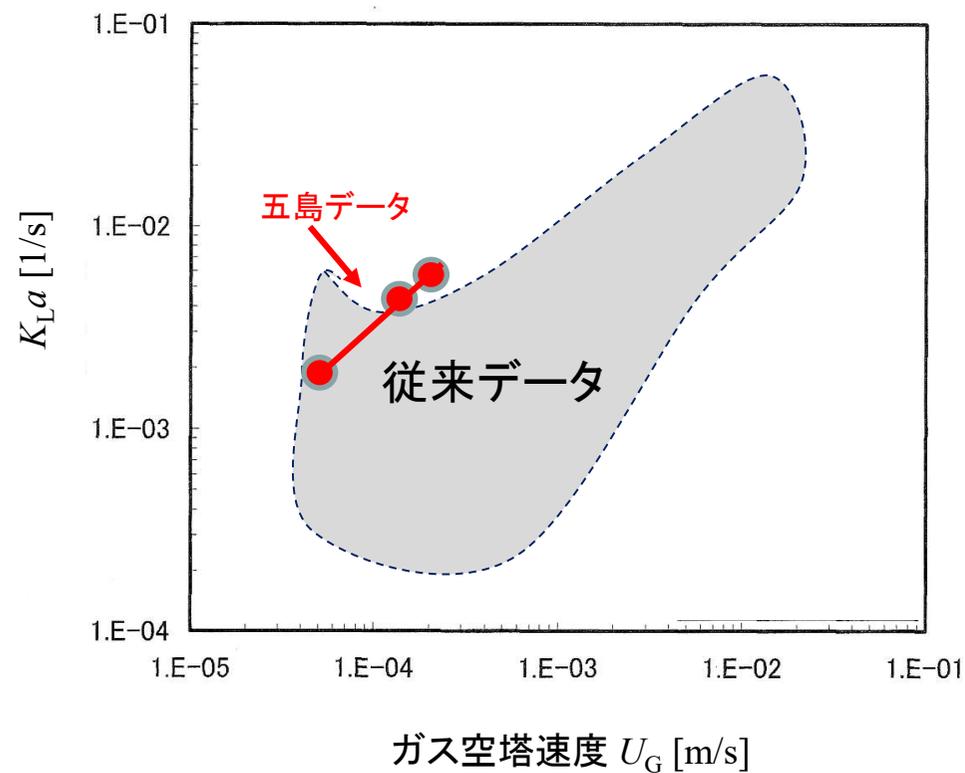
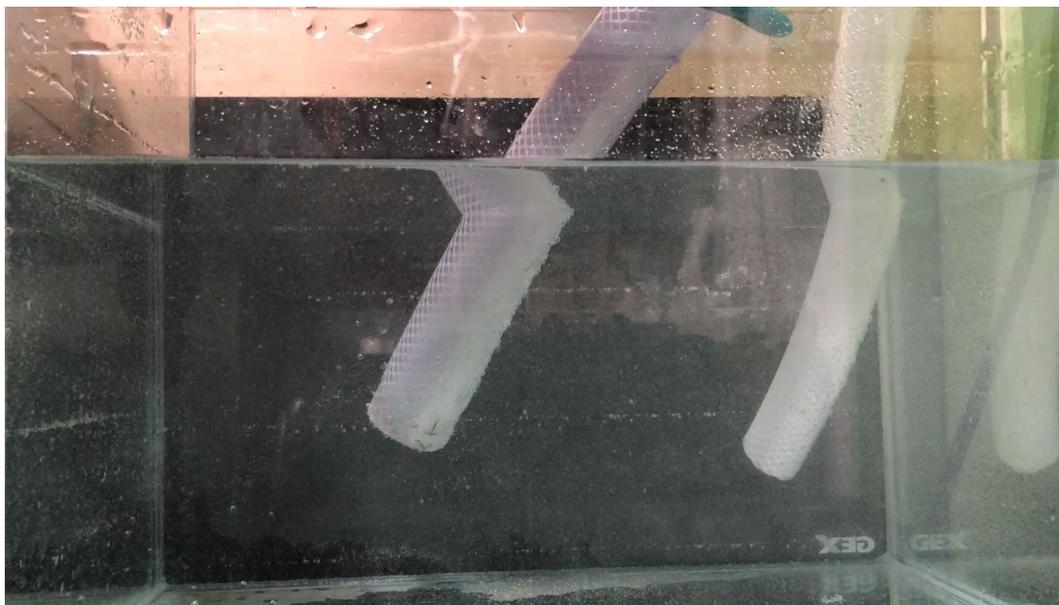
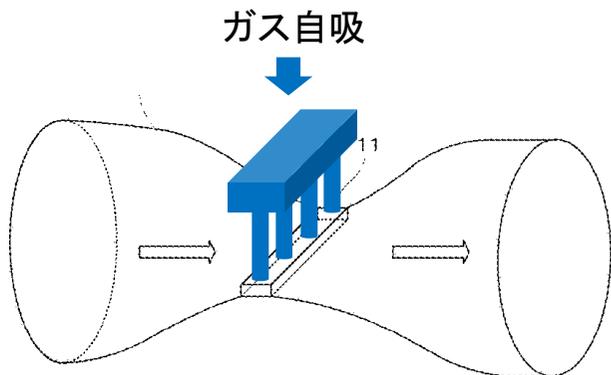
# 加圧溶解式発生器

US11110414

特許第6863609号

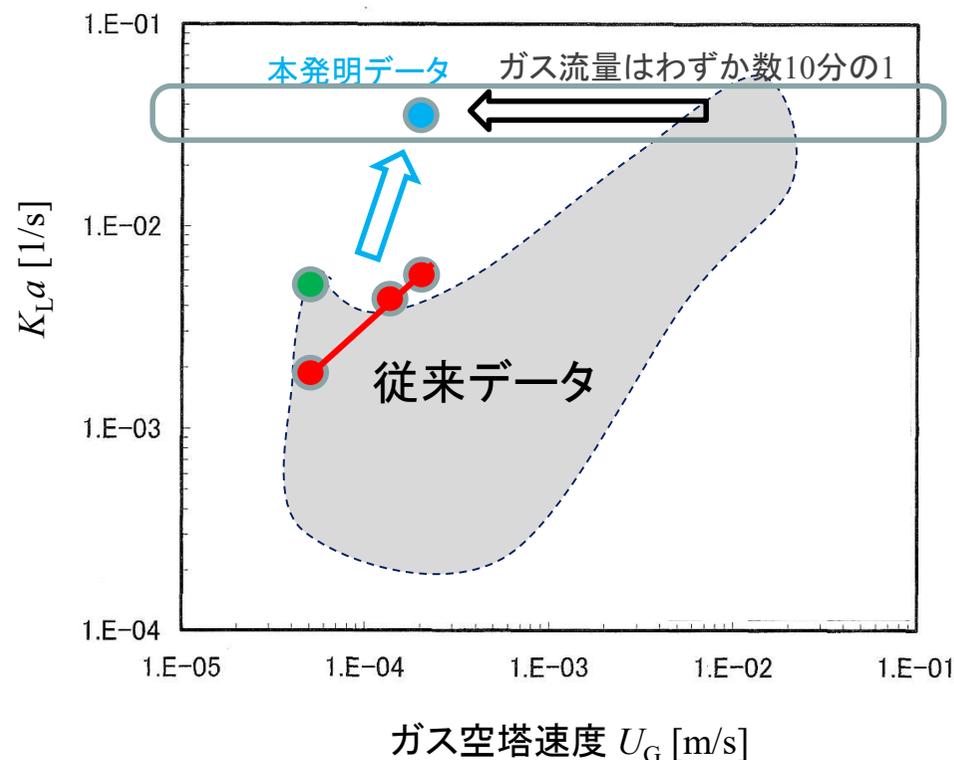
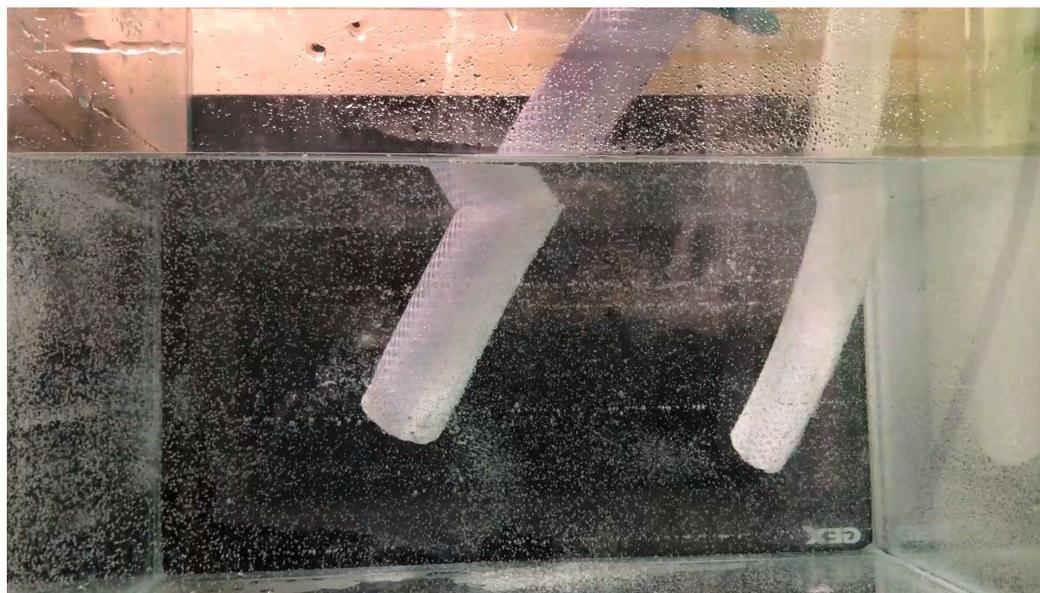


# エジェクター式発生器



# 発明の内容(装置の基本構成)

外気導入部が設置された第一絞り部を持つ第一ノズル、第一絞り部より大きな断面積の第二絞り部を持つ第二ノズル、第一絞り部と第二絞り部の間の中間部、から構成される管状部材であり、当該管状部材に気液混合流体を通過させることでファインバブルを発生させる気泡発生器である。



# 技術ポイント I

加圧溶解式による $K_L a$ 促進効果とエジェクター式による $K_L a$ 促進効果の加成性を可能とした。

## kLaの値

加圧溶解式	ガス流量	0.1L/min	$5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
エジェクター式	ガス流量	0.1L/min	$1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
		0.3L/min	$4.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

## 本発明

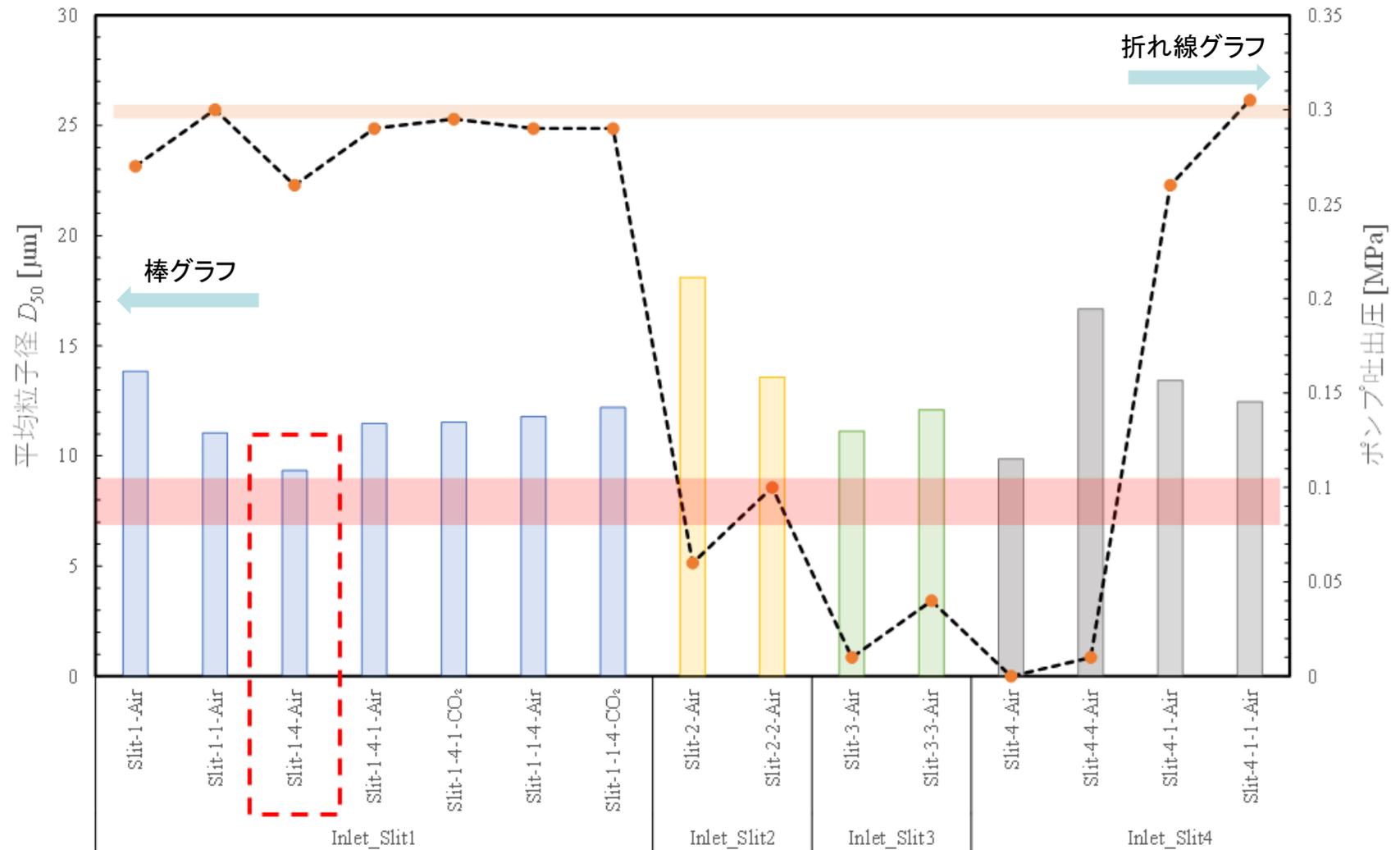
加圧溶解式用ガス流量 0.1L/min  
+ エジェクター式用ガス流量 0.3L/min  
 $9.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  (=  $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  +  $4.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

## 技術ポイントⅡ-1/2

第一絞り部と第二絞り部の間の中間部では圧力降下を抑えて高速攪拌されるため、第一ノズルを通過して生じたファインバブルを含む気泡群のうち加圧溶解式原理に基づき発生した気泡の動態を維持しつつエジェクター式原理に基づき発生した気泡群の溶解促進効果を高めることができる。

# 技術ポイントⅡ-2/2

## 検証データ: 高速攪拌による凝集性粒子の解砕効果



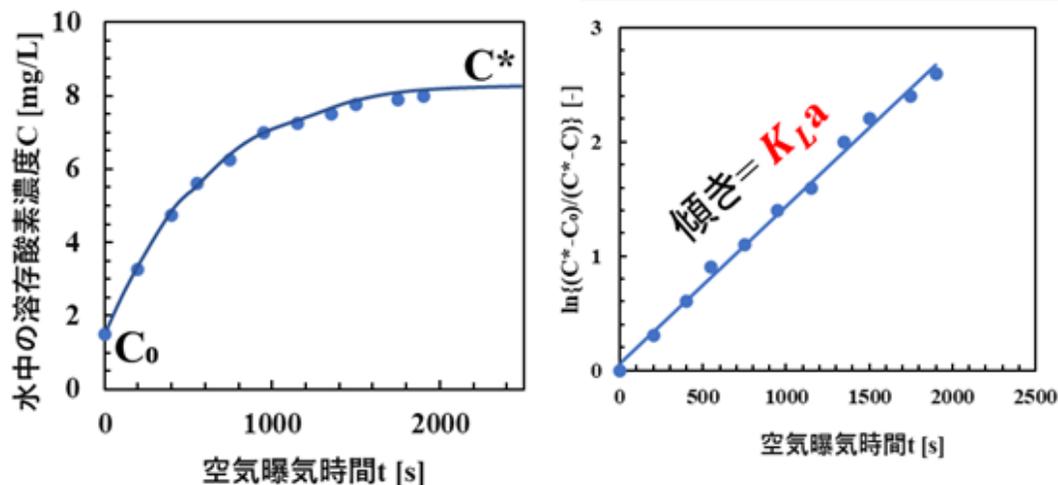
Slit-数値(ノズルの組み合わせ)-ガス種

## 技術ポイントⅢ

ノズルの直径と絞り部の直径の比率でスケールアップできる  
処理液流量40L/min@流路径25mm、ポンプ吐出圧0.3Mpa  
処理液流量1ton/minを実現するには、流路径を  
5倍の12.5cmで対応可と考えている。

# 実証実験1

## 総括物質移動容量係数 $K_L a$ の評価



$$\ln\left(\frac{C^* - C_0}{C^* - C}\right) = K_L a t$$

$C^* \left[\frac{mg}{L}\right]$ : 水中での空气中酸素の飽和濃度

$C_0 \left[\frac{mg}{L}\right]$ : 水中での空气中酸素の初期濃度

$K_L a [s^{-1}]$ : 液相基準の総括物質移動容量係数

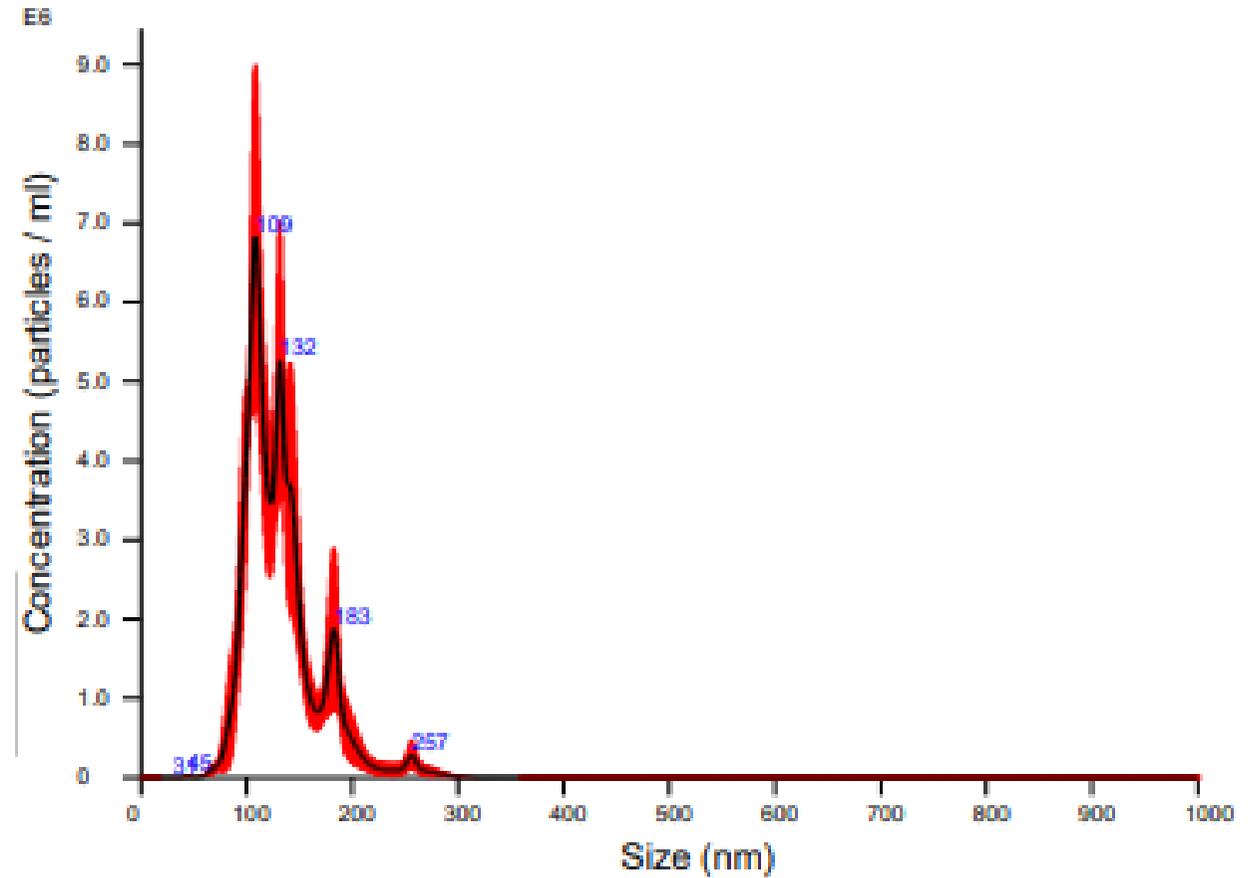
$t [s]$ : 空気曝気時間

<静的手法>					
	ガス流量[L/min]	液ポンプ吐出圧[MPa]	液流量[L/min]	$K_L a [1/s]$	
多孔板式	0.4	-	-	0.0016	
	0.7	-	-	0.0025	
<動的手法>					
○1段					
	ガス流量[L/min]	液ポンプ吐出圧[MPa]	液流量[L/min]	$K_L a [1/s]$	
加圧溶解式	0.1	0.2	30	0.005	
エジェクター式	0.1	0.2	30	0.0019	
	0.3	0.2	30	0.0044	
	0.4	0.2	30	0.0056	
○2段 (加圧溶解用ガス流量0.1L/min)					
	ガス流量[L/min]	液ポンプ吐出圧[MPa]	液流量[L/min]	スリットタイプ	$K_L a [1/s]$
エジェクター部	0.3	0.2	30	クロス	0.0132
	0.3	0.3	40	クロス	0.0155
	0.3	0.2	30	パラレル	0.0216
	0.3	0.3	40	パラレル	0.0383
	0.3	0.36	40	パラレル	0.0355

# 実証実験2

## ウルトラファインバブルの発生能確認

532nm レーザー光照射



モード径115.6nm、個数密度 $3.3 \times 10^8$ 個/mL

## 想定される用途

- 本技術はカスタマイズ型連結ノズルという特徴があるため、陸上養殖や水耕栽培など海洋生物や淡水植物の育成に適用することでメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、凝集剤の分散や吸着の促進の効果が得られ懸濁物の分離回収に用いることも期待される。
- また、達成された幅広い溶存気体濃度と気泡密度の調整能に着目すると、触媒反応の促進など化合物合成を扱う分野や用途に展開することも可能と思われる。

# 実用化に向けた課題

- 現在、連結ノズルについて絞り部の大きさの比率による気泡径分布と溶存気体濃度の制御方法まで開発済み。しかし、実設計でのノズル製造法やノズルを含めたシステム全体の設計法の点が未検証である。
- 今後、多様なガス種や液種について実験データを取得し、任意のスケールに適用していく場合の装置操作条件の設定を行っていく。
- 実用化に向けて、ノズルのカスタマイズを自動設計できるよう技術を確立する必要もあり。

# 企業への期待

- 未検証の実設計でのノズル製造法やノズルを含めたシステム全体の設計法については、加工技術や自動制御技術により克服できると考えている。
- 3D造形技術やシステム制御技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、陸上養殖や水耕栽培を開発中の企業、化学プロセス分野(化合物合成、懸濁物分離回収)への展開を考えている企業には、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

- 本技術は気泡生成ノズルのカスタマイズ設計が可能のため、目的に応じた溶存気体濃度と気泡密度へ幅広く調整することでより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能である。
- これまでに10種類を超えるファインバブル発生器を開発した経験から、本格導入にあたっての技術指導等が可能である。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 管状部材、気泡生成装置、及び気泡生成方法
- 出願番号 : 特願2024-160882
- 出願人 : 鹿児島大学、鹿児島県
- 発明者 : 五島崇、吉村幸雄

# お問い合わせ先

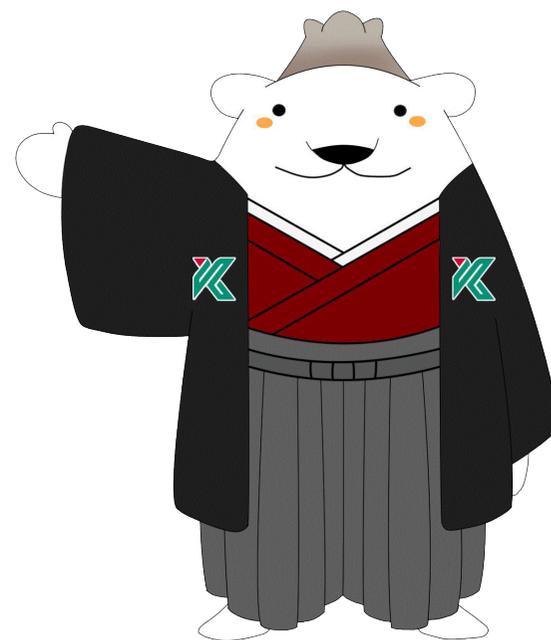
国立大学法人 鹿児島大学  
南九州・南西諸島域イノベーションセンター  
知的財産・リスクマネジメントユニット

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40

TEL: 099-285-3881

FAX: 099-285-3886

E-Mail: [tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp](mailto:tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp)



鹿児島大学公式マスコットキャラクター

さっしん