

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04210

研究課題名(和文) 縮小拡大管内混相流の流動構造と微粒化機構の解明

研究課題名(英文) Study on flow structure and atomization mechanism of multiphase flow in a converging-diverging nozzle

研究代表者

金子 暁子 (Kaneko, Akiko)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：40396940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では縮小拡大管を微粒化装置として確立するために、縮小拡大管内の流動場に対する固体及び気泡の微粒化現象の解明を目的に実験的研究を実施した。その結果、固体粒子としてアロフェンを用いた結果、アロフェンは気泡崩壊位置より下流で微粒化されたことから、気泡微細化に伴って発生する圧力波がアロフェンの微粒化に寄与している可能性が示唆された。気泡の微細化についてはボイド率の実験値と見積もり値により発生蒸気量を算出し、発生蒸気の比率が高い条件において気泡がより微細化することを明らかにした。高気相流量条件では気泡の急収縮が生じにくくなることが示唆され、気泡微細化を妨げる一因となる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によりこれまで提案してきたベンチュリ管式微細気泡発生装置が気泡の微細化のみならず、固体粒子の粉碎に寄与することを示した。また、微粒化のみならず同時に発生する微細気泡との相乗効果で、微粒子を遠方場まで輸送する機能を付加するなど、工業的に多岐にわたる利用可能性を示した。気泡の微細化においては、混相流の相変化という極めて複雑な現象について解明を試み、実験的にキャビテーションが生じる可能性を示した。また、溶存ガス濃度の影響についても考察し、それぞれが発生気泡径に影響を及ぼすことを示した。これらはさらなる研究が必要ではあるものの、混相流の基礎物理の解明に資する結果である。

研究成果の概要(英文)：In order to establish the shrinking-expanding tube as an atomization device, an experimental study was conducted to elucidate the atomization phenomena of solids and bubbles in response to the flow field in the shrinking-expanding tube. As a result, using allophene as the solid particle, the allophene was atomized downstream of the bubble collapse position, suggesting that the pressure wave generated by bubble atomization may contribute to the atomization of the allophene.

For bubble refinement, the amount of generated vapor was calculated based on experimental and estimated values of void fraction, and it was clarified that bubbles became smaller under conditions with a higher ratio of generated vapor. It was suggested that rapid contraction of bubbles is less likely to occur under high vapor flow rate conditions, which may be one of the factors preventing bubble refinement.

研究分野：流体工学、混相流工学

キーワード：ベンチュリ管 微細気泡 微粒化 キャビテーション

1. 研究開始当初の背景

現在、産業の発展に伴い人類の生産活動からもたらされる環境負荷の重要性が持続可能な社会の実現のうえで問題視されているのは、環境省の発表する環境白書⁽¹⁾に明示されていることから公知である。ゆえに、製造現場で必要不可欠となる物体の洗浄工程において、環境負荷の小さいノンケミカル洗浄手法の開発が切望されている。化学物質を使用しない洗浄手法として、環境負荷の小さい水および空気を用いた噴流洗浄技術の研究が行われている。このような社会背景の下、研究代表者はこれまでに縮小拡大管（ベンチュリ管）に水-空気系の混相流を流すことで、微細気泡（マイクロバブル）や氷粒子を生成し表面洗浄へ利用したり、さらに固体粒子を混入させた固気液三相流において固体粒子の微粒化を促進させ濁水処理技術へ利用したりと、縮小拡大管により簡便に微粒子を生成し環境負荷の低い洗浄や水処理技術へ応用することに注力している。

このような微細気泡、微小氷粒子、および微粒子の生成において共通するのが、縮小拡大管内の特異な混相流動場である。例えば、ベンチュリ管に気泡流が流入した際、喉部の縮流により流速の増加および圧力の低下が生じる。また、高ボイド率流れとなることで気泡流の音速が数十 m/s まで低下し、流動条件によっては喉部の流速が音速に達する。この結果、拡大部はあたかもラバルノズルのように圧力が低下した後、拡大部半ばにおいて圧力は再び急上昇する。この管内の圧力変化に伴い、気相単相流においては圧力の低下とともに温度低下が生じ、わずかな液相を混入することで液相の凝固により氷が生じる⁽²⁾。気液二相流では流入した気泡は拡大管内部で膨張した後、急縮小し崩壊し、直径が 200 μm 以下の極めて微細な気泡が発生することを明らかにしている⁽³⁾。さらに気泡流に土粒子を添加することで固体粒子の微粒化が促進することを示している⁽⁴⁾。管内流動については、定然的な圧力回復現象に加え、過渡的な圧力変動が生じること、管内温度や圧力分布に対して相変化が生じる可能性を明らかにしている⁽²⁾⁽³⁾。このようにベンチュリ管の微粒化装置としての多岐にわたる利用が期待されるものの、微粒化に寄与するメカニズムを明確にするには至っていない。縮小拡大管の微粒化装置としての汎用性を高めるには、対象とする物体に対する微粒化メカニズムと生成する粒径分布を説明するに資する物理の理解が必要不可欠である。

2. 研究の目的

以上より、本研究では縮小拡大管を微粒化装置として確立するために、縮小拡大管内の流動場に対する固体及び気泡の微粒化現象について明らかにする。固体粒子の粉碎機能およびその適用可能性について示す。また気泡の微細化では管内部流動の圧力場に注目し、圧力変動と相変化の寄与について明らかにする。さらに気泡については発生気泡径への影響について考察する。

3. 研究の方法

固体粒子の微粒化現象に用いた実験装置の概要を図 1 に示す。水、空気および天然由来の土コロイドである凝集剤アロフェンをベンチュリ管に流入させる。管内の可視化には、高速度カメラおよびメタルハライドランプによるバックライト法で撮影した。気泡径分布は画像処理により計測し、アロフェン径分布はレーザ回折・散乱法を用いて計測した。このとき、アロフェンはベンチュリ管を一度だけ通過させた。液相見かけ速度 j_{Lin} は 2.12 m/s (低流速)、3.18 m/s (高流速) とし、気相体積流量比 β は 0.5 および 5% とした。

気泡の微細化現象に用いた実験装置の概略図を図 2 に示す。装置はタンク、ポンプ、コンプレッサ、テスト部であるベンチュリ管により構成されている。液相には水道水を用い、気相には空気を用い、気相と液相の混合にベンチュリ形状の注入口を用いることで安定に供給した。本実験で使用するアクリル製ベンチュリ管は、入口と出口の直径が 16 mm、喉部径 6 mm、開き角 6°、流動方向の全長は 150 mm であり、円形の断面を有する。また、本実験体系において z 軸座標

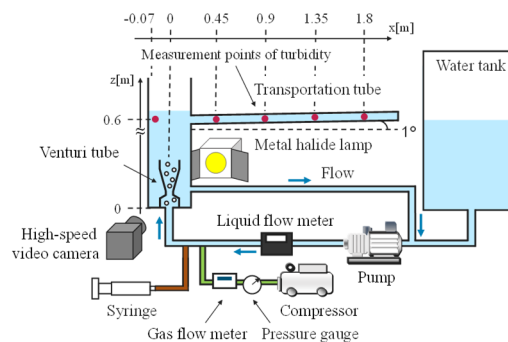


図 1 固体粒子の微粒化に用いた実験装置

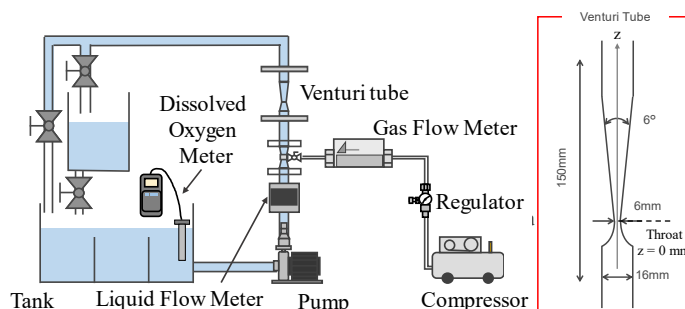


図 2 気泡の微細化に用いた実験装置とベンチュリ管

は喉部を $z = 0 \text{ mm}$ としている。

実験条件は、入口の液相見かけ速度 j_L を $1.50 \sim 3.48 \text{ m/s}$ 、比 β を $0 \sim 0.12$ とした。実験条件に対して、ベンチュリ管内の詳細可視化、発生気泡径計測、管内ボイド率計測、さらに、ベンチュリ管内の流動の詳細を明らかにするためにベンチュリ管出口部に音圧センサを取り付け、計測を実施した。

4. 研究成果

4-1 固体粒子の微粒化について

4-1-1 ベンチュリ管内の気泡挙動と流動場

気相体積流量比 $\beta = 0.5\%$ における管内の気泡挙動の詳細可視化より、低流速条件では気泡は中央からちぎれるように分裂し、一方、高流速条件では気泡が喉部を通過後に膨張し、急激に収縮崩壊する挙動が確認された。このように、流速条件によってベンチュリ管内の気泡挙動は大きく異なった。管内の流速を PIV 計測した結果、これまでの研究報告⁽³⁾⁽⁴⁾の通り、低流速条件では喉部中央において流速が上昇するため壁面との速度差によって気泡はちぎれるように分裂し、高流速条件では流れが音速に達することによる急激な圧力変動が気泡の膨張、収縮崩壊に寄与していると考えられる。

4-1-2 アロフェンの微粒化挙動

低流速および高流速条件においてベンチュリ管を一度だけ通過した後のアロフェン径分布と、ベンチュリ管を外した状態におけるアロフェン径分布を図 3 に示す。さらに、既存研究⁽⁶⁾に倣って 10 分間の超音波攪拌後に計測した径分布を併せて示す。アロフェン径分布は二峰性分布となっており、ベンチュリ管を通過させることで、径の大きい右側のピーク（約 $100 \mu\text{m}$ ）は減少し、径の小さい左側のピーク（約 $10 \mu\text{m}$ ）は増加することが確認された。また、ベンチュリ管を外した状態ではアロフェンの Sauter 平均粒子径は $239 \mu\text{m}$ であったのに対して、低流速および高流速条件ではそれぞれ $163 \mu\text{m}$ 、 $94 \mu\text{m}$ であった。これより、ベンチュリ管を通過する条件において、アロフェンは流速に依存して微粒化が促進されることが分かる。また、10 分間の超音波攪拌後では Sauter 平均粒子径は $90 \mu\text{m}$ であることから、高流速でベンチュリ管を通過する条件においては、10 分間の超音波攪拌後と同程度までアロフェンは微粒化されることが分かった。

そこで、実際にベンチュリ管内でアロフェンが微粒化する様子を調べるために、アロフェンの微粒化挙動の詳細可視化を行った。ベンチュリ管内に水、空気とともにアロフェンを流入させた際の可視化結果を図 4 に示す。アロフェンは図中の帯で示す気泡崩壊位置より下流で微粒化されていることが分かった。なお、アロフェンと気泡の違いはベンチュリ管の喉部から拡大部にかけて膨張していないこと、喉部周囲で突然発生していない（キャビテーション気泡でない）ことから区別した。これまでにベンチュリ管内の気液二相流動場と圧力分布についての議論⁽⁶⁾⁽⁷⁾から、気泡微細化現象に伴って下流に伝播した圧力波が、アロフェンの微粒化に寄与している可能性が示唆された。アロフェンの微粒化挙動を詳細観察することで、アロフェンは微粒化する直前に微細化した気泡群に覆われており、気泡群の消滅とともに微粒化されていることが確認され、前述した下流に伝播する圧力波がアロフェン周囲に広がる多数の微細気泡を収縮崩壊させ、それに伴う局所的な衝撃力がアロフェンの微粒化に寄与していると考えられる。

4-1-3 微粒化したアロフェンへの付加的効果

本装置で微粒化したアロフェンを用いた濁水処理実験を実施した。濁水に微粒化したアロフェンを加え、濁度 (NTU) の時間変化を計測した結果を図 5 に示す。アロフェンを投入していない条件では、計測開始時の濁度は 587 NTU であり、24 時間後は 239 NTU となった。高流速でベンチュリ管を通過させた条件では、濁度の計測開始直後はアロフェンを含むため、 796 NTU と濁度は高いものの、24 時間後には 71 NTU まで濁度が低下した。これは環境省告示の「生活

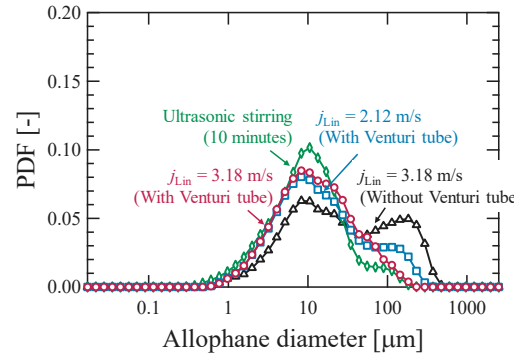


図 3 アロフェン径分布

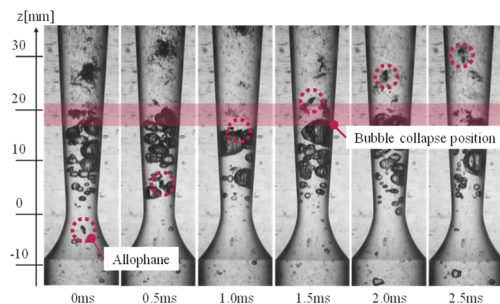


図 4 アロフェンの微粒化挙動 ($\beta = 0.5\%$, $j_{Lin} = 3.82 \text{ m/s}$)

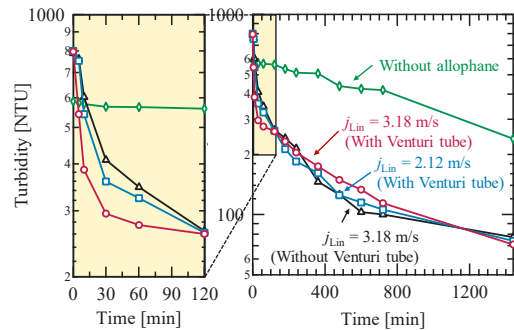


図 5 濁度の時間変化

環境の保全に関する環境基準(河川)における浮遊物質の最高水準である 25 mg/L 以下に相当する。さらに、水平管内に浮遊するアロフェンの様子を確認したところ、微細気泡が発生する条件で生成することで、微細気泡とアロフェンの吸着がみとめられ、気泡の浮力により、より遠方に輸送されることを確認した。

4-1-4 固体粒子の微粒化まとめ

(1) ベンチュリ管内の気泡挙動と流動場の可視化計測より、低流速および高流速条件において異なる気泡微細化挙動と速度場、ならびに微細気泡の生成を確認した。

(2) 固体粒子としてアロフェンを用いて微粒化について実験を実施した。アロフェン径計測と微粒化挙動の可視化により、ベンチュリ管を一度通過する条件においてアロフェンは微粒化されることを確認した。また、アロフェンは気泡崩壊位置より下流で微粒化されたことから、気泡微細化に伴って発生する圧力波がアロフェンの微粒化に寄与している可能性が示唆された。

(3) ベンチュリ管を用いてアロフェンを微粒化した結果、十分な凝集機能を保った状態での微粒化が可能となった。また、微細気泡とアロフェンの吸着を利用することでより遠方場までアロフェンの輸送が可能となることが確認された。これらより、ベンチュリ管式微細気泡発生装置は固体粒子の微粒化装置として用いることが可能となり、さらに、微粒化のみならず粒子の輸送機能が付加される可能性を示した。

4-2 気泡の微細化について

4-2-1 ベンチュリ管内におけるキャビテーション現象

ベンチュリ管内の気泡の体積変化について、式(1)で表される等温変化を仮定した圧力の式に圧力分布の実験値を代入しボイド率を求め、これと実験的に計測したボイド率との差を求めた。

$$\alpha_{est} = \frac{\frac{P_{in}}{P_z} \frac{\beta}{1-\beta}}{1 + \frac{P_{in}}{P_z} \frac{\beta}{1-\beta}} \quad (1)$$

ここで P_z は位置 z [mm] におけるベンチュリ管内の圧力、 P_m は管入口の $z = -33$ mm における圧力、 β は管入口における気相体積流量比である。高流速条件においてはベンチュリ管喉部で計測された実験値と見積もり値の差が生じた。この差分から相変化による蒸気の発生量を見積もる。実験値および見積もり値から蒸気発生量を

$$\delta = \alpha_{exp} - \alpha_{est} \quad (2)$$

により定義した。ここで、 α_{exp} は実験で計測したボイド率、 α_{est} は式(1)から見積もったボイド率である。図 6 に $\beta = 0.016$ での流れ方向に対する蒸気発生量を示す。 $j_L = 1.66$ m/s の条件では実験値と見積もり値はおおよそ一致している。一方で $j_L = 2.49, 3.48$ m/s では見積もり値より多くの気泡が発生していることが示唆された。これは流速の増大によりキャビテーションが発生し、喉部で蒸気が発生したためであると考えられる。さらに、蒸気比率と微細気泡のザウター平均径との相関により、流入空気に対して喉部で発生する蒸気の比率が高い条件において生成気泡径がより微細化することを示した。

4-2-2 気泡流における流動評価

式(3)で定義される広域キャビテーション数を導入し、式(4)の圧力損失係数を用いて気泡流の流動場について評価した。

$$\sigma_{Bulk} = \frac{P_{out} - P_v}{\frac{1}{2} \rho_L v_{th}^2} \quad (3)$$

$$L_c = \frac{P_{in} - P_{out}}{\frac{1}{2} \rho_L v_{th}^2} \quad (4)$$

ここで P_{out} は管出口の $z = 117$ mm における圧力、喉部における速度 v_{th} は $v_{th} = Q_L / (1 - \alpha_{th}) A_{th}$ より算出した。図 7 に気泡流における圧力損失係数および広域キャビテーション数 σ_{Bulk} の相関を示す。気泡流においても、 j_L の増大によりキャビテーション数は小さくなり、圧力損失係数が急激に増大する変曲点が生じることを確認した。さらに圧力損失係数の増大により気泡崩壊挙動もちぎれるような気泡崩壊から急激な収縮崩壊へと変化していることが確認された。

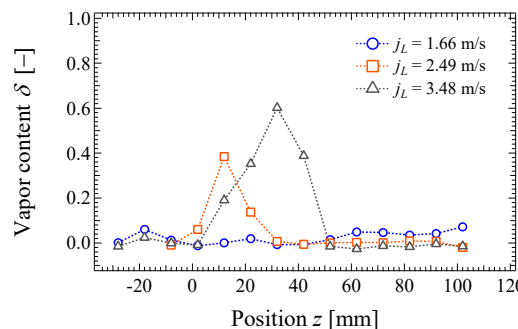


図 6 蒸気の含有率 ($\beta = 0.016$)

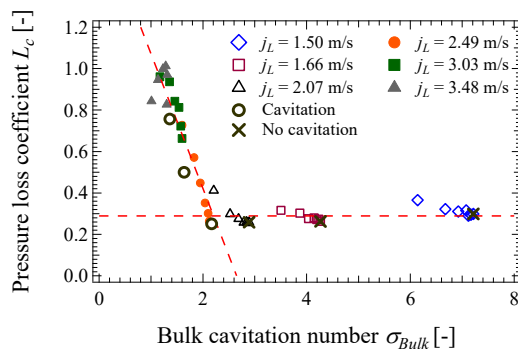


図 7 気泡流における圧力損失

図8に各条件で計測された音圧を示す。 $j_L = 1.50$ 、 1.66 m/s などの低流速条件においては気相流量に依らず音圧の計測値に変化が生じなかった。一方で $j_L = 3.03$ 、 3.48 m/s の高流速条件では音圧が上昇していることを確認し、低流速条件と高流速条件では気泡崩壊のメカニズムが異なることが示唆された。さらに、気相流量の増大により音圧が低下し、液流速の影響が小さくなることを確認した。これは、喉部で発生した音波が気相により減衰し下流へと伝播しにくくなったためだと考えられる。さらに、増大した気相により喉部で十分な気泡の膨張ができないことが予想され、高流速条件においても気泡の急収縮が生じにくくなることが考えられる。

図9に音圧とザウター平均径の相関を示す。気相流量比の増大により、下流へと伝播する音波が弱くなることに加え、音圧と生成気泡径の相関を気相流量比ごとに整理すると、音圧の増大により気泡径が小さくなる負の相関が生じることがわかった。これは音圧の発生を伴う気泡の急収縮が生じる条件において、より気泡が微細化していることを示す。また、気相流量比が増加すると、高流速条件でも気泡径が増加した。これは音圧が下流へと伝播しにくくなることに加えて、気相が増大することによって気泡の急収縮が生じづらくなるためであると考えられる。以上の結果より管内での音波の発生や下流への伝播が生成気泡径と相関があることを示した。

4-2-3 溶存空気の影響

喉部における気泡内の蒸気割合が気泡径に及ぼす影響をさらに追及するため、溶存ガス濃度（ここでは溶存酸素濃度 DO 値）を 6.5 mg/L および 8.5 mg/L とした場合について調べた。いずれも溶解度は 90% 以上である。図10に示すように $j_{Lin} = 3.0$ m/s の場合の圧力損失係数 L_c は、 $j_{Lin} = 1.5$ m/s よりも高いことがわかる。いずれの場合も、 σ_{Bulk} が減少するにつれて、この数値は大きく増加した。このような傾向は、他の実験条件と整合している。また、液速度が速いほどキャビテーションが生じる可能性を示唆している。また、いずれの液速度においても、空気流量比が大きくなるにつれて、高い圧力損失係数が観測された。同じ条件で DO を変えて比較すると、DO8.5 と DO6.5 では、液速度が速い場合、 σ_{Bulk} はほぼ同じであった。しかし、 L_c は DO8.5 で若干大きくなっている。これは、溶存ガス量が高いことで析出する蒸気量が増加した結果と考えられる。これらの結果は、DO の違いにより、キャビテーションの挙動が異なることを示している。

4-2-4 気泡の微細化まとめ

- (1)定電流法により計測したボイド率の実験値と見積もり値により発生蒸気量を算出し、発生蒸気の比率が高い条件において気泡がより微細化することを明らかにした。
- (2)液相が低流速の条件では気相流量が増大しても圧力損失係数に影響しない。一方、流速の増大により広域キャビテーション数が 2.1 以下になると急激な気泡の収縮崩壊が生じ、圧力損失係数が増大する。溶存ガス濃度が高い場合、圧力損失係数に影響があらわれ、流動構造に影響することが示唆された。
- (3)気泡の急収縮によって音波が生じることを音圧計測により明らかにした。
- (4)圧力損失係数と伝播する音圧の間に相関があり、気泡崩壊挙動が急激な収縮崩壊に変化することで圧力損失係数は大きな値をとることを確認した。また、高気相流量条件では計測された音圧が低くなることから、気泡の急収縮が生じにくくなることが示唆され、気相の存在により急激な収縮崩壊が生じないことが気泡微細化を妨げる一因となる可能性を示した。

参考文献

- (1)平成30年版 環境・循環型社会・生物多様性白書 (PDF版), 環境省, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h30/pdf.html> (2018).
- (2)横山他5名, 混相流, 33巻, 1号, pp.103-110 (2019).
- (3)金子他4名, 日本機械学会論文集(B編), 78巻, 786号, pp.207-217 (2012).
- (4)井上他4名, 混相流, 32巻, 1号, pp.89-96 (2018).
- (5) Umino, H., et al., Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series B1, Vol. 70(4), pp.1573-1578 (2014).
- (6)上澤他4名, 混相流, 27巻, 5号, pp. 531-538 (2014).
- (7)藤井他3名, 混相流, 27巻, 5号, pp. 46-54 (2019).

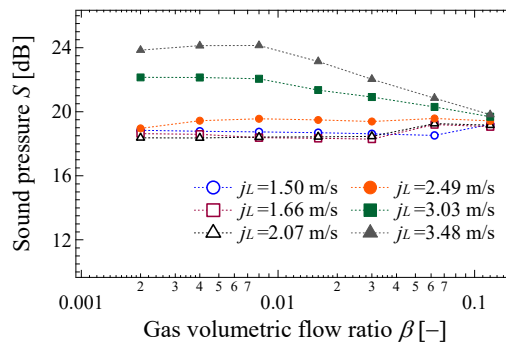


図8 気泡流における圧力損失

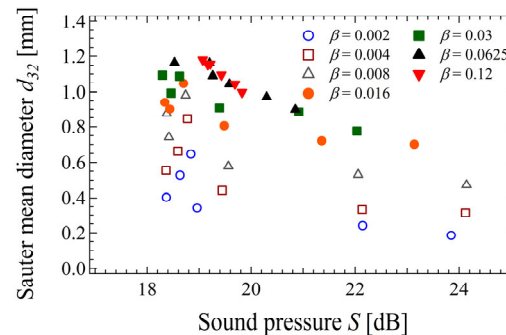


図9 気泡流における圧力損失

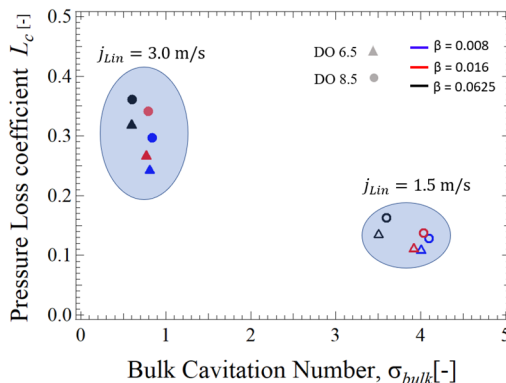


図10 溶存酸素量を変えた場合の圧力損失係数と広域キャビテーション数

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 KIDO Naoki, KANEKO Akiko, ABE Yutaka, IKE Masatoshi | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Bubble Collapse Phenomenon of Multiphase Flow Field in a Venturi Tube | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW | 6. 最初と最後の頁 51～59 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3811/jjmf.2021.009 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 YU Ruoyi, KANEKO Akiko, ABE Yutaka, IKE Masatoshi | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 Low Environmental Impact Cleaning Technology with Ozone Micro-Bubbles Generated by a Venturi Tube | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW | 6. 最初と最後の頁 46～54 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3811/jjmf.2020.003 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 ISHIZAKI Takahiro, KANEKO Akiko, TAKEMURA Fumio, IKE Masatoshi, ABE Yutaka | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 Effect of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Venturi Tube on Atomization and Transportation of Coagulant | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW | 6. 最初と最後の頁 55～63 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3811/jjmf.2020.004 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 金子暁子, 弗田昭博, 阿部 豊, 鈴木 裕 | 4. 巻 418 |
| 2. 論文標題 排熱回収技術への適用を目指した高耐圧マイクロチャネル熱交換器内沸騰現象の解明 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ボイラ研究 | 6. 最初と最後の頁 29-34 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 Noor Saffreena, Akiko Kaneko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 The Breakup Characteristics of Bubbles in Venturi Tubes Under Different Levels of Dissolved Gas | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 混相流 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 木戸直樹, 金子暁子, 阿部豊, 池昌俊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管内混相流動場における気泡崩壊現象 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Akiko Kaneko, Keita Fujii, Shinichiro Uesawa, Yutaka Abe |
| 2. 発表標題 Relation between gas-liquid two-phase flow structure and bubble breakup behavior in a converging-diverging nozzle |
| 3. 学会等名 Kick-off Symposium of JAPAN Consortium for Theoretical and Applied Mechanics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takahiro Ishizaki, Keita Fujii, Akiko Kaneko, Fumio Takemura, Masatoshi Ike, Yutaka Abe |
| 2. 発表標題 Research on Atomization and Transportation of Coagulant Using the Microbubble Generator with a Venturi Tube |
| 3. 学会等名 10th International Conference on Multiphase Flow (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yu Ruoyi, Keita Fujii, Akiko Kaneko, Yutaka Abe, Masatoshi Ike |
| 2. 発表標題 Degreasing technology with Ozone micro-bubbles generated by a Venturi tube |
| 3. 学会等名 10th International Conference on Multiphase Flow (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------------|
| 1. 発表者名 木戸 直樹, 金子 暁子, 阿部 豊, 池 昌俊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管内気泡崩壊に及ぼすキャピテーション現象の影響 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 関東支部 第26期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------------|
| 1. 発表者名 YU RUOYI, 金子暁子, 阿部 豊, 池昌俊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管式オゾンマイクロバブルを用いた低環境負荷洗浄技術 |
| 3. 学会等名 第30回日本化学学会関東支部茨城地区研究交流会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 木戸 直樹, 金子暁子, 阿部 豊, 池昌俊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管内におけるキャピテーション現象 |
| 3. 学会等名 第30回日本化学学会関東支部茨城地区研究交流会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名 YU RUOYI, 阿部豊, 金子暁子, 池昌俊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管式オゾンマイクロバブルによる低環境負荷洗浄技術 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名 石崎貴大, 金子暁子, 竹村文男, 池昌俊, 阿部豊 |
| 2. 発表標題 ベンチュリ管内気液二相流が凝集剤の微粒化および輸送に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Noor Saffreena Binti Hamdan, Akiko Kaneko |
| 2. 発表標題 Cavitation Effects on Bubble Breakup Characteristics in a Venturi Tube |
| 3. 学会等名 7TH Thermal and Fluids Engineering Conference (Hybrid) (国際学会) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Noor Saffreena Binti Hamdan, Akiko Kaneko |
| 2. 発表標題 キャビテーション影響によるベンチュリ管内の気泡崩壊現象 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 関東支部 第28期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Noor Saffreena Binti Hamdan, Akiko Kaneko |
| 2. 発表標題 Comparison Study of Microbubble Collapse Phenomena Under Different Dissolved gas level |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 熱流体制御・計測研究室 www.kz.tsukuba.ac.jp/~abe 熱流体制御・計測研究室 http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~abe/ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------------------|------------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 阿部 豊 (Yutaka Abe) (10241720) | 筑波大学・システム情報系・名誉教授 (12102) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|