

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 6 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420117

研究課題名(和文) 流体混合器とバブル噴流式気泡ポンプを用いた環境改善と海底資源の採掘

研究課題名(英文) Environmental preservation and mining of seabed resources

研究代表者

佐田富 道雄 (Sadatomi, Michio)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授

研究者番号：50109667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：申請者発明の流体混合器は太陽電池などの低出力電源でマイクロバブルやミスト(微細液滴)等を作成可能である。この混合器を使って、環境改善に関する酸素と二酸化炭素マイクロバブルの水への溶解試験，ミストによる有毒ガスの吸着試験，及び海底資源の採掘に関わる気泡ポンプの試験，という三種類の試験を行った。これらの成果は社会貢献のため国際学術誌に6編掲載されるなどして公開された。

研究成果の概要(英文)：The multi-fluid mixer invented by us is usable to generate micro-bubbles and mists, i.e. fine droplet, with a lower power supply such as a solar cell. Using the mixer, dissolution of oxygen and carbon dioxide (CO₂) micro-bubbles into water, adsorption of CO₂ in air with the mists, being useful for environmental preservation, and a special air-lift-pump for mining deep-sea resources, were studied experimentally. The results were opened by 6 international journal papers for social contribution.

研究分野：流体工学

キーワード：混相流 環境技術 海洋資源

1. 研究開始当初の背景

申請者らは第一流体を導入するだけで、第二流体は圧入せずとも自動的に吸引して微細化できる流体混合器(2007年出願, 2012年登録, 特許第5103625号)を発明した。この流体混合器は太陽電池などの低出力電源でマイクロバブルやミスト等を作成可能な、応用範囲の広い省エネタイプである。

本研究では、(1) 酸素と二酸化炭素マイクロバブルの水への溶解試験, (2) ミストによる有毒ガスの吸着試験, (3) 掘削兼用気泡ポンプの試験, という3種類の試験を行ったので、それぞれの研究背景を以下に述べる。

(1) 酸素と二酸化炭素マイクロバブルの水への溶解試験

熊本県八代海などの内海の養殖漁場では、海底に近い低層域の水が貧酸素状態となって魚介類が死滅し、赤潮が発生して漁業に大きな被害を与えている。また、熊本県緑川ダムなどのダム湖でも低層域の水が貧酸素状態となってダム下流の河川の水質を悪化させ漁業被害が出始めている。このような被害を減らすためには、低層域の水に酸素を補給して好気性バクテリアを増殖・活性化し、そのバクテリアによって汚濁物質を分解する必要がある。また、化石燃料等の燃焼で発生する二酸化炭素は地球温暖化の原因物質であり、寒冷地における氷の融解によって海水面が上昇し低地では浸水を起こし始めている。このため、火力発電所や高炉等から排出される二酸化炭素の水中への溶解固定は重要な課題である。上記の二つの課題に共通するのは、気体の水中への溶解であり、マイクロバブルはその溶解性能が良好であることから注目されている。しかし、水圧が高い低層域での気体の溶解を調べた研究は申請者が知る限りではない。

(2) ミストによる有毒ガスの吸着試験

療養中の高齢者等が火災の犠牲となられたニュースをよく聞く。火災時には有害ガスや黒煙が発生しているので、消防自動車到着までの間、ミストの噴霧によってそれらを吸着できれば、犠牲者数を減らすことができる。また、経済性の観点から重油の代わりに間伐材やリサイクル燃料 RPF 等の燃焼性の悪い燃料を使う場合が増えており、排煙中の有毒ガスや黒煙の吸着は重要な課題である。申請者らは申請時まで、(株)熊本 IDM との共同研究によって RPF を燃料としたボイラーから排出される黒煙をミストで吸着することに成功した。また、ミストによる CO₂ の吸着性能を調べる研究も始めていた。しかし、申請者らの装置を大きくした場合や市販の噴霧ノズルを用いた場合との性能比較は行っていないかった。

(3) 養殖漁業が盛んな内海では、魚が食べ残した餌や魚の糞が海底に堆積して低層の水質を悪くして魚介類を死滅させると共に、赤潮を引き起こして漁業に深刻な被害を与えている。申請者は、このような堆積物にマ

イクロバブルを含む水噴流を衝突・浮遊させ、エアリフト作用により揚固できる掘削兼用のバブル噴流式気泡ポンプ(2004年出願, 2012年登録, 特許第5007468号)を発明して実証試験を行った。その後、H21-23年度に科学研究費(基盤(C)(一般))を頂戴して、海底・湖底に堆積した汚泥の回収を目的とした実験を行うと共に、その結果を表しうる理論モデルを導いた。

2. 研究の目的

本研究は上記の流体混合器を利用して、1. に述べた3種類の試験を行い、水や大気環境改善と海底からの資源採掘とに資することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 酸素と二酸化炭素マイクロバブルの水への溶解試験

本研究では、貧酸素状態の低層水域への酸素補給に加えて、燃焼ガス中の CO₂ の低層水域への溶解固定を目指している。そのために、既往の研究よりも水圧が高い淡水や海水への酸素と CO₂ のマイクロバブルとしての溶解特性を調べ、物質移動容量係数と酸素溶解効率の実験値を得て、実験値を表しうる理論モデルを導く。その際、水質が溶解性能に及ぼす影響を明らかにするため、水道水、人工海水、純水、汚水を使用し、汚れと塩分濃度の影響を調べ、溶解性能のモデル化に役立てる。

(2) ミストによる有毒ガスの吸着試験

吸着性能の理論的モデル化には、流体混合器の諸寸法、ミストの噴霧流量、ミスト径分布、噴霧濃度(空気中におけるミストの質量比)ならびに広がり分布の影響を明らかにする必要がある。そこで、従来品の2倍の直径を持つ内径 14 mm の中型の流体混合器を作り、既存の試験装置等を用いて吸着特性を左右するミストの噴霧流量、ミスト径分布、噴霧濃度、広がり分布等の流体力学的性能を調べて従来品との比較を行う。さらには、市販の噴霧ノズルを用いた場合との流体力学的性能比較および噴霧した微細水滴による二酸化炭素の吸着性能の比較を行う。

(3) 掘削兼用気泡ポンプの試験

H21-23年度の研究とは異なり、日本近海の水深 200 m 以上の海底に存在するメタンハイドレート等の海洋資源の採掘を目的とした研究を行う。海洋資源は土砂に埋もれているため、土砂を掘削可能なバブル噴流式気泡ポンプの利用は合理的である。現有の試験装置を用いて、メタンハイドレート等に見立てた低比重のプラスチック粒子を土砂内に混ぜて揚固試験を行う。その際、水深の影響を実験的に調べるため、浸水率(気泡ポンプの全長に対する浸水部分の長さの割合)を 0.75 から 0.90 までの範囲で変える。そして、

プラスチック粒子の土砂に対する揚固比率が高いバブル噴流の生成条件とプラスチック粒子そのものの揚固量が高い生成条件を見出す。さらに、それらの試験結果を表しうるように、現有の水深 50 m 未満からの揚固を対象とする理論モデルを水深 200 m 以上まで適用可能であるように改良を行う。また、バブル噴流で浮遊状態となる粒子の水中における濃度を与える実験式を導いて理論モデルに反映させ、海洋資源の採取量と所要動力の関係を予測できるようにする。

4. 研究成果

(1) 酸素と二酸化炭素マイクロバブルの水への溶解試験

佐田富らの流体混合装置を用いて空気中の酸素と二酸化炭素を溶解する試験を行った。前者は低酸素状態の水および海水に酸素を供給して水質を浄化することを目的としており、国土交通省緑川ダムの低層水と熊本県水産研究センターの稚海老養殖池の浄化に成功した。後者は化石燃料の燃焼に伴って発生する CO₂ の水中への固定を目的としており、通常気泡よりも海水への溶解特性に優れることが明らかとなった。成果は論文 3 などで発表した。次に、佐田富らの流体混合装置を用いて二酸化炭素を水道水と人工海水に溶解する試験を行った。この研究は化石燃料の燃焼に伴って発生する CO₂ の水中への固定を目的としており、水道水中よりも人工海水中のほうが気泡は微細となり、溶解特性も優れることが明らかとなった。成果は国内学会 5 と 6 で発表した。

(2) ミストによる有毒ガスの吸着試験

佐田富らの二流体式流体混合装置とそれを線状噴霧が可能であるように設計変更した装置の試験を行い、前者が所要動力あたりの噴霧流量が多く優れていることを明らかにした。さらに、佐田富らの二流体式と一般的な一流体式ノズルの性能比較を行い、前者は後者よりも所要動力は大となるものの発生したミストによる CO₂ の吸着量は約 2 倍高いことを明らかにした。成果は論文 1, 2, 5 と国内学会 1, 2 で発表した。次に、佐田富らの二流体式流体混合装置と市販のガーデニング用の一流体旋回式噴霧ノズルおよびドライミスト用二流体式噴霧ノズルの性能試験を行った。佐田富らの装置は、噴霧に必要な動力は市販のものよりも大きいものの、発生したミストによる CO₂ の吸着量は他よりも 2-3 割以上多いことを明らかにした。これは、一流体旋回式噴霧ノズルでは CO₂ 雰囲気中の滞留時間が短い 80 μm より大きい粒径のミストが存在すること、およびドライミスト用二流体式噴霧ノズルでは 20 μm 未満のミストが蒸発気化することにより CO₂ を吸着できないことが原因であることが明らかとなった。この成果は国内学会 4, 6, およびスペインのコスタデルソルで行われた熱流体系の国際会議 9 で発表したのち論文 6 に

掲載された。

(3) 掘削兼用気泡ポンプの試験

直径 50 mm のライザーを持つ装置においてメタンハイドレート模擬のプラスチック粒子と川砂を堆積物とする試験を行い、プラスチック粒子/川砂の揚固比率を高くする運転条件を明らかにした。さらに、南鳥島周辺深海底からのレアアースを含む泥の採掘を目指した模擬試験と数値シミュレーションを行った。この場合、空気を深海底まで導くことは困難であるので、ライザーの途中から入れる方式を採用し、その空気の導入位置がポンプ性能に及ぼす影響を明らかにした。前半の試験の成果はフランスのクレルモンフェランで行われた学生の国際会議 3 と論文 4 で、後半の試験等の成果はオーストリアのレオーベンで行われた熱流体系の国際会議 8 で発表するとともに論文 4 で発表した。次に、南鳥島周辺深海底からのレアアースを含む泥の採掘を目指して直径 50 mm のライザーを持つ装置による模擬試験を行った。この場合、空気を深海底まで導くことは困難であるので、ライザーの途中から入れる方式を採用し、その空気の導入位置がポンプ性能に及ぼす影響を明らかにした。既往の装置からの改良点はライザー下部のスカート形状と水ジェット発生ノズルの位置の変更であり、これによって改良前のものよりも低動力で揚固・揚水が可能となった。この成果は国内の学会 7 で発表した。さらに、その空気の導入位置がポンプ性能に及ぼす影響を実験及び解析モデルにより明らかにした。この成果はハワイのホノルルで行われた熱流体系の国際会議 12 で発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. J. Yao, S. Furusawa, A. Kawahara and M. Sadatomi, Influence of some geometrical parameters on the characteristics of prefilming twin-fluid atomization, Transaction of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 38, 2014, 391-404.
2. J. Yao, K. Tanaka, A. Kawahara and M. Sadatomi, Design procedure and performance evaluation of a flat-jet twin-fluid atomizer by siphoning liquid, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, 2015, 424-430.
3. M. Sadatomi, A. Kawahara, K. Kurogawa and T. Akasaki, Purification of deep water in a dam lake using micro-bubbles and/or Eco-Bio-Ring, International Journal of Environmental

Science and development, Vol.6, 2015, 419-424.

4. M. Sadatomi, S. Sugikubo, D. Goto and A. Kawahara, Feasibility study on lifting of seabed materials using a bubble-jet-type air-lift pump, Journal of Mechanics Engineering and Automation, Vol. 5, 2015, 533-541.

5. M. Sadatomi, K. Tanaka and A. Kawahara, Comparison of mist generators between twin-fluid water suction type and single-fluid swirl type, International Journal of Advancements in Mechanical and Aeronautical Engineering, Vol. 2, 2015, 200-204.

6. M. Sadatomi, A. Kawahara and Y. Kawasaki, Air Purification Using Mists Generated by an Efficient Multi-Fluid Mixer, Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 10, 2016, 643-649.

[学会発表] (計 12 件)

1. 佐田富道雄, 川原顕磨呂, 低動力二流体式噴霧システムを目指した研究とその応用, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2014 (招待講演), 2014年7月30日, 北海道立道民活動センターかでの2・7(北海道)。

2. J. Yao, 田中佳一, 辻 将大, 川原顕磨呂, 佐田富道雄, CO₂ 捕捉のための二流体の微細化における液滴サイズの特性に関する研究, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2014, 2014年7月30日, 北海道立道民活動センターかでの2・7(北海道)。

3. D. Goto, S. Sugikubo, M. Sadatomi, K. Kawahara, Energy-saving lifting of sediments in sea and lake using bubble-jet-type air-lift pump, International Student Conference on Advanced Science and Technology, 2014年12月11日, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand, France.

4. 佐田富道雄, 田中佳一, 川原顕磨呂, 著者らの二流体式と一流体旋回式の噴霧性能比較, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2015, 2015年8月4日, 高知工科大学(高知)。

5. 坂口拓也, 森永知浩, 川原顕磨呂, 佐田富道雄, マイクロバブルを用いた水と人工海水への二酸化炭素溶解試験, 日本機械学会九州支部第69期総会・講演会, 2015年3月15日, 熊本大学工学部(熊本)。

6. 川崎雄太郎(熊本大), 河野陽輔, 川原顕磨呂, 佐田富道雄, 一流体式と二流体式のミスト発生装置の性能特性比較と二酸化炭素吸着への応用, 日本機械学会九州支部第69期総会・講演会, 2015年3月15日, 熊本大学工学部(熊本)。

7. 田尻鴻平, 庄野瑛莉果, 川原顕磨呂, 佐田富道雄, バブルジェット式エアリフトポンプによる擬似レアアース粒子の省エネ回収, 日本機械学会九州支部第69期総会・講演会, 2015年3月15日, 熊本大学工学部(熊

本)

8. M. Sadatomi, S. Sugikubo, D. Goto and A. Kawahara, Feasibility study on lifting of seabed materials using a bubble-jet-type air-lift pump, 26th International Symposium on Transport Phenomena, 2015年9月28日, Leoben, Austria.

9. M. Sadatomi, A. Kawahara and Y. Kawasaki, Air Purification Using Mists Generated by an Efficient Multi-fluid Mixer, 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 2016年7月12日, Costa del Sol (Spain)。

10. 佐田富道雄, 川崎雄太郎, 河野陽輔, 川原顕磨呂, 細霧による二酸化炭素の吸着に適する噴霧ノズルの選定法, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2016, 2016年8月10日, 同志社大学(京都)。

11. 坂口拓也, 森永知浩, 川原顕磨呂, 佐田富道雄, マイクロバブルを用いた液中への二酸化炭素溶解試験, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2016, 2016年8月10日, 同志社大学(京都)。

12. T. Tajiri, E. Shono, M. Sadatomi and A. Kawahara, Energy-saving lifting of seabed resources using bubble-jet-type air-lift pump, 27th International Symposium on Transport Phenomena, 2016年9月21日, Honolulu (USA)。

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/Info/lab/fluid/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐田富 道雄 (SADATOMI, Michio)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授

研究者番号: 50109667

(3) 連携研究者

川原 顕磨呂 (KAWAHARA, Akimaro)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号: 20224818