

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：21401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13875

研究課題名(和文)モティリティシステムにおけるマイクロ・ナノ流動の巨視的運動制御機構の解明

研究課題名(英文)Clarification of Macroscopic Motion Control Mechanism by Nano and Micro Flows in Motility System

研究代表者

須藤 誠一(SUDO, Seiichi)

秋田県立大学・システム科学技術学部・特別研究員

研究者番号：90006198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：微小生物システムにおけるモティリティはナノ・マイクロ流動と関連している。本研究では、微小生物の巨視的な運動に関連しているナノ・マイクロ流動の流動メカニズムを究明し、マイクロ流動の発現原理を利用したデバイスへの開発を目的に研究を進めた。

その結果、ハマトビムシの遊泳肢の微細な折り畳み構造と能動的振動運動が低レイノルズ数領域で効果的な推進力を生成すること、トビムシは跳躍肢の空洞構造を巧みに操り気体高圧を生成して体長の数十倍から百倍以上もの距離を瞬時に移動すること、頭花運動が花弁細胞間の流体流動によってなされていることを解明し、その仕組みを制御する微小振動に倣うマイクロ流動生成デバイスを開発した。

研究成果の概要(英文)：The peculiar motility in microbiological systems is related to the micro and nano flows. In this research, the flow mechanism of micro and nano fluid flows associated with macroscopic movement of microorganisms was investigated. In addition, the development of micro-devices based on the principle of the micro flow mechanism in biological motility system was also aimed in the research.

The results obtained are summarized as follows. The fine folding structure and active periodic motion of swimming organ in beach flea produce effective thrust in the low Reynolds number region. The leaping organ of the springtail has unique hollow pipe shape with one long groove. Compressibility of the air in leaping organ plays an important role during insect extreme long distance jump on the water surface. Movement of the flower head is accomplished by fluid flow between the petal cells. Based on the above obtained results, the micro magnetic fluid device for generating micro flow was developed.

研究分野：工学

キーワード：生物流体力学 ナノ・マイクロ流動 生物モティリティシステム 生物微小振動 節足動物ミメティクス
プラントミメティクス マイクロ磁性流体デバイス 表面弾性波流体駆動素子

1. 研究開始当初の背景

節足動物や運動する植物の優れた機能、機構、構造、形態などを力学的な観点から解析することによって運動原理を学び、人工物に応用するバイオミメティクスや昆虫ミメティクスの分野の研究がきわめて活発になり、著者等も、植物体内の水移動による植物体の運動の解析、飛行を主な移動手段とする飛翔昆虫の航空力学的な特性の解明、水中を巧みに遊泳する魚類や微小水棲生物の遊泳原理を解析し、それらの運動特性を明らかにした上で、それらの運動原理に倣うマイクロ遊泳ロボットの試作とそれらのロボットの遊泳特性を調べる研究を進めてきた。そのような研究を通じて、極めて微量の流体流動が、生物体全体の巨視的な運動を発現する現象を発見することができた。

本研究では、生物モティリティシステムで発現しているそのようなナノ・マイクロ流動の流動メカニズムの解明、また、そのナノ・マイクロ流動が巨視的な運動を誘起するメカニズムを明らかにするものである。さらに、得られる研究成果に基づき、そのような微小流動によって生起される巨視的運動の原理を利用した応用に関しても、非接触エネルギー供給方式によって駆動するメカニズムを試作することによって、マイクロデバイスなどを開発できるかどうかを検証し、その可能性を確認するものである。

すなわち、様々な生物モティリティシステムにおいて観察され、通常の河川流路や液体輸送管内の流体流動においては観察されないナノ・マイクロ流動による巨視的運動発現の現象の存在を具体的に検証し、そのメカニズムを明らかにし、さらに、その機構の応用をも示すものである。

2. 研究の目的

微小な節足動物や雑草などは、これらの生命を脅かすような危機的な状況下におかれた場合に特異な運動性を示すことが、著者等のコペポーダ、アミ、マルトビムシ、タンポポ、ブタナなどの研究で明らかになった。それらの事象は、生物モティリティシステムにおいて、極めて微量な流量の液体流動が、その生物の生存にとって重要な巨視的な運動に結びついていることを示唆するものであった。その運動性(モティリティ)は生物システムにおけるナノ・マイクロ流動と密接に関連している。当該研究は、極めて微量な流量の流体流動が、その生物の生存にとって重要な巨視的な運動に結びついている生物モティリティシステムで発現しているナノ・マイクロ流動の流動メカニズムを解明し、また、そのナノ・マイクロ流動が巨視的な運動を誘起するメカニズムをも明らかにするものである。さらに、得られる研究成果に基づき、そのような微小流動-巨視的運動の原理を利用した応用に関しても実際にメカニズムを試作することによって、人工物において実現

できるかどうか検証し、その開発の可能性を確認するものである。

3. 研究の方法

当該研究の計画・方法は、大きく分けて下記のような項目から構成され、遂行された。

(1) 微小な節足動物の遊泳・跳躍・飛行のモティリティ解析および運動器官のレーザー顕微鏡計測：生物の進化を背景として原始的な生物(ハマトビムシ、トビムシ、微小飛翔昆虫)を試験体として選択し、それらのモティリティ解析を行い、それらの基本原理を高精度で高さ情報も得られるレーザー顕微鏡を用いて計測・解析して究明する。

(2) モティリティ頭花を構成する花卉表面細胞形状計測と細胞内ナノ流動の流量算出：幾つかの植物頭花は雌性生殖器官および雄性配偶体を守るために花卉全体を動かす開閉運動を呈し、植物の葉が光合成を行う際には、葉の表面を太陽に対向し、太陽の光が強すぎる場合には、日光を回避する運動を行う。この花卉や葉の細胞の形状変化を微視的な観点から時系列で観察・計測し、植物の器官が運動する場合の細胞の体積変化・形状変化を流体力学的に定量的に明らかにする。

(3) 微小な節足動物の運動器官使用時における器官内外におけるマイクロ流動場の解析：トビムシが跳躍器を水面に打ちつける際に、空洞内には圧縮性マイクロ流動が生成されている可能性のあることが、水面上でのトビムシの跳躍挙動解析の予備的実験から推察され、跳躍器の変形の時系列データからマイクロ流れ場の解析を行う。また、水棲生物の遊泳脚の細毛周りのマイクロ流れ場を数値計算し、マイクロ流動の本質を究明する。

(4) 細胞壁を有する細胞内のナノ流動モデルの構築とその数値解析による究明：水の蒸散を制御する気孔を有する葉の場合には、相変化が重要であり、予備的顕微鏡観察ではブタナの花弁裏に気孔が見出され、花卉表面細胞から裏細胞へのマイクロ流動の途上での流体の相変化について、実験データおよび解析データを用いて解明する。

(5) ナノ・マイクロ流動によるモティリティ原理を利用したマイクロデバイスの試作および開発：上記の研究遂行から得られるナノ・マイクロ流動機構および流動による大きな変位を伴う生物モティリティシステムに倣うデバイスへの展開を図る。すなわち、ナノ・マイクロ流動を利用した巨視的変位を出力するソフトなマイクロアクチュエータおよびマイクロメカニズムを考案試作し、その駆動特性を調べ、革新的なマイクロデバイスの開発の可能性を検証する。

4. 研究成果

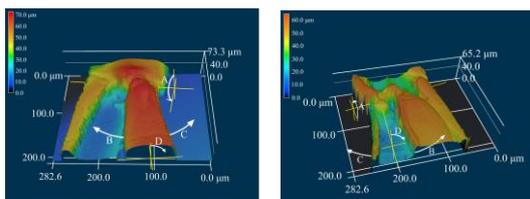
微小な節足動物や雑草は、生命が脅かされる危機的な状況下において特異なモティリティ(運動性)を示す。潮間帯に生息する端脚目ハマトビムシの遊泳肢を微視的観点から観

察し、折り畳みの形態構造と能動的運動機能の関係や遊泳肢の周りに誘起される流動を調べた。また、さらに小さい粘管目トビムシの水上および陸上での逃避において瞬間的な移動運動を可能とする跳躍器の形態構造と運動機能の関連性を調べた。

次に、雌性生殖器および雄性配偶体を守るために花弁全体を周囲環境状態（気象）に応じて開閉運動する植物の器官のレーザー顕微鏡による精密計測を行い、また、花弁の運動変位を時系列で精密に計測し、植物の頭花のモティリティの生成原理を植物流体力学的に考察した。

さらに、生物のモティリティシステムの原理に倣うナノ・マイクロ流動を生成するデバイスを開発するため、微小な永久磁石と磁性流体から構成される要素に外部から磁気信号を用いて非接触で駆動するシステムを構築し、その駆動特性を調べた。また、SAW（表面弾性波）素子を製作し、マイクロ液滴の液体自由表面での毛細表面波の生成、表面崩壊、超微細液滴の生成などマイクロ界面流動を調べた。得られた成果を簡潔にまとめると、以下の通りである。

(1) 潮間帯に生息する端脚目ハマトビムシは体節制をとる節足動物であり、器官として、運動目的に特化した機能的な付属肢を有する。すなわち、砂を掘るための潜砂用の肢、砂浜を歩行するための肢、捕食鳥から逃れるための跳躍用の肢、水中を遊泳するための肢がそれぞれ機能分化し、発達している。図1に遊泳用の肢の二叉部分のレーザー顕微鏡による計測結果とその部分の運動方向を矢印で示す。肢運動のパワーストロークとリカバリーストロークに対応した能動的な周期運動が低レイノルズ数領域で極めて効果的な推進力を生成する。



(a)後流側 (b)圧力側

図1 ハマトビムシの遊泳肢と肢運動の方向

(2) 水上と陸上を行き来する粘管目トビムシは、体長の数十倍から百倍以上もの距離を瞬時に移動する跳躍器を有し、その跳躍は水上でも陸上と同様に可能である。体長1.5mmのトビムシが固体平板上および水面上で跳躍する時の詳細を時系列で図2に示す。上部が陸上、下部が水上での跳躍であり、各コマ間隔は0.2msである。微小な跳躍肢は空洞構造で肢方向に細い溝を有する。この足を地面あるいは水面に打ち付けて空洞内気体を圧縮し、溝から瞬時に高圧気体を噴出することによって跳躍する。通常は跳躍肢を腹側に巧みに折り畳んで収納しており、その関節部分

を中心に腹側と肢側の形状を精密計測したデータを図3に示す。本研究はPhys. Rev. Fluids 2 (2017)においても取り上げられ、世界的に高い評価を得ている。

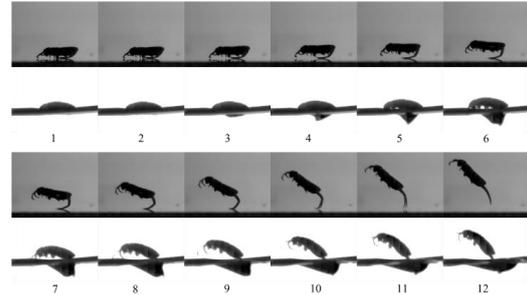


図2 トビムシの陸上と水上における跳躍比較

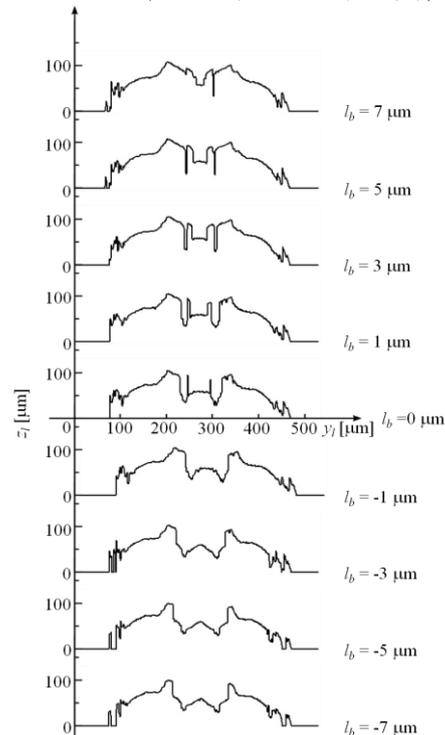


図3 トビムシの跳躍関連器官の形状計測結果

(3) 一般にキク科植物のタンポポやブタナの頭花は、通常は早朝に開花し、夕刻には花を閉じ、光傾性の運動に分類されている。著者の野外観察でタンポポやブタナの頭花は曇天、雨天、冷強風などの気象変化に適合して、その頭花を閉じる応答を示すことが確認され、頭花開閉運動時の細胞形状変化の精密計測がなされた。その一例として図4にブタナの花弁表面細胞の光学画像（上）、可視化画像（中）、および断面形状（下）を示す。頭花開閉時に花弁の表裏細胞間での水移動が運動を誘起する。植物体の姿勢の維持には吸水が必要で、細胞壁の力学的な性質は植物の生長・姿勢制御・強度などに大きな影響を及ぼし、細胞の拡大成長は、細胞の吸水によって制御される。また、頭花運動はガス交換を伴う気孔運動とも連動している。図5にアサガオの葉裏の気孔のレーザー顕微鏡観察を行った結果の画像を示す（左図は光学画像、右図は3次元可視化画像）。

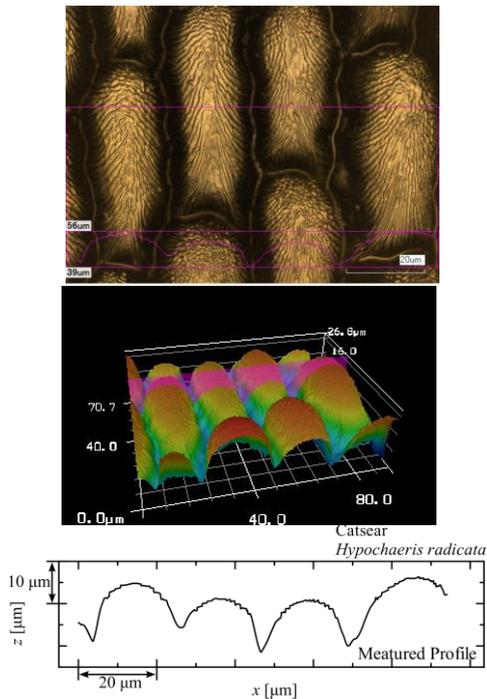


図4 ブタナの花弁表面細胞の微視的計測結果

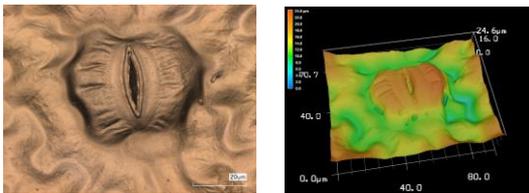


図5 アサガオの気孔画像とその形状計測結果

(4) 針状永久磁石 2 本および数マイクロリットルのケロシンベース磁性流体を用いて構成した磁性流体液橋の素子に外部から比較的弱い強さの磁気的信号を入力することによって非接触で磁性流体振動を誘起し、生物の動きとその仕組みを制御する微小振動と同様な微小界面振動を利用することによって、素子の周辺に極低レイノルズ数のマイクロ流れを生成することが可能であることを証明した。また、そのマイクロ流動は Stokes 数を一定とした条件下で、Keulegan-Carpenter 数に依存することを示した。さらに、磁性流体素子を改良し、小さな円盤状永久磁石 1 個と磁性流体を用いた素子を構成し、その素子に弱い強さの外部交流磁界を印加することによって同様なマイクロ流動を生成するデバイスを製作した。図 6 に改良した素子系と流れの概略図および可視化写真を示す。

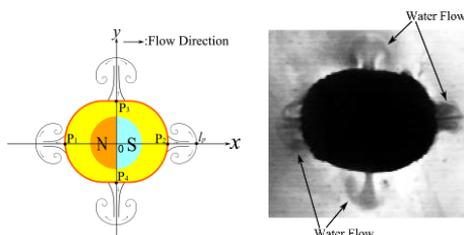


図6 素子周りに生成された流れと可視化写真

(5) フォトリソグラフィ技術で IDT をパターンニングし、3.17MHz を共振周波数とする SAW (表面弾性波) デバイスを製作し、SAW の印加によってマイクロ液滴の表面に発生する毛細表面波の生成過程を調べ、高周波数表面弾性波によるマイクロ液滴の形状の時間変化を高時間分解能で明らかにした。また、マイクロ液滴内部の流動特性、界面不連続性、および超微細液滴の生成特性などについても定量的に明らかにした。さらに、超微細液滴の生成が高振動数で高加速度の振動によって発生する液滴内のキャビテーションによって生成されることを示した。図 7 に $5\mu\text{l}$ の液滴表面に発生する毛細表面波の進展と液滴形状時間変化の過渡現象を写真で示す。

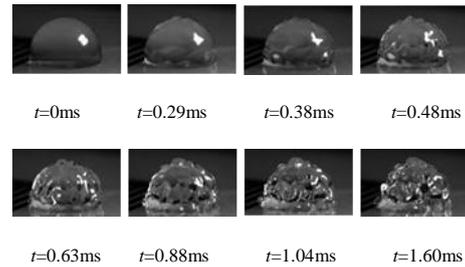


図7 マイクロ液滴の表面に発生する過渡現象

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① S.Sudo and H.Kuwano, Dynamics of a Water Droplet Subjected to Forced Vibration by Surface Acoustic Wave Device, Materials Science Forum, Vol.915, pp.22-27 (2018). 査読有
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.915.22>
- ② S.Sudo, Y.Ishimoto, and S.Nix, The Relation between Surface Shape and Magnetic Field Distribution in Magnetic Fluid Bridge System in Alternating Magnetic Field, Advanced Experimental Mechanics, Vol.2, pp.35-40 (2017). 査読有
https://doi.org/10.11395/aem.2.0_35
- ③ S.Sudo, M.Ito, Y.Ishimoto, and S.Nix, Streaming Flows Produced by Oscillating Interface of Magnetic Fluid Adsorbed on a Permanent Magnet in Alternating Magnetic Field, Journal of Physics: Conference Series, Vol.822, No.1, 012076(pp.1-9) (2017). 査読有
doi:10.1088/1742-6596/822/1/012076
- ④ S.Sudo, K.Yamamoto, Y.Ishimoto, and S.Nix, Water Flow Patterns Induced by Bridge Oscillation of Magnetic Fluid Between Two Permanent Magnets Subjected to Alternating Magnetic Field, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.431, pp.70-73 (2017). 査読有
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.08.036>

- ⑤ 須藤誠一, 液体の界面波動現象と微粒化, ケミカルエンジニアリング, 第 62 巻, 第 2 号, pp.13-20(2017). 査読無
- ⑥ 須藤誠一, 石本志高, NIX Stephanie, 開閉運動する花卉細胞の表面形状変化の研究, 日本流体力学会誌「ながれ」, 第 35 巻, 第 6 号, pp.491-495 (2016). 査読無
- ⑦ S.Sudo, K.Takahashi, and H.Nishiyama, Periodic Disintegration and Reconnection of Magnetic Fluid Bridge by Alternating Magnetic Field, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.52, pp.129-136 (2016). 査読有
DOI 10.3233/JAE-16223
- ⑧ 白井 敦, 井上浩介, 早瀬敏幸, 須藤誠一, 水棲微小生物の繊毛遊泳脚による推進機構に関する数値解析 (単一遊泳脚モデルの繊毛間隔が推進力に与える影響), 日本機械学会論文集, Vol.82, No.840 (2016), DOI:10.1299/trnsjsme.16-00099(1-11). 査読有
<https://doi.org/10.1299/transjsme.16-00099>
- ⑨ S.Sudo and H.Kuwano, Surface Disintegration and Atomization of Micro Water Droplet Subjected to Surface Acoustic Wave, Advanced Experimental Mechanics, Vol.1, pp.42-46 (2016). 査読有
https://doi.org/10.11395/aem.1.0_42
- ⑩ S.Sudo, M.Nakanishi, M.Shinozaki, and H.Nishiyama, Characteristics in the Opening and Closing Operations of Micro Magnetic Fluid Diaphragm Mechanism by Alternating Magnetic Field, Materials Science Forum, Vol.856, pp.26-31 (2016). 査読有
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/M SF.856.26>
- ⑪ M.Nakanishi, S.Sudo, and H.Nishiyama, Dynamic Interfacial Phenomena at Water-Magnetic Fluid System Subject to Alternating Magnetic Field, Materials Science Forum, Vol.856, pp.15-20 (2016). 査読有
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/M SF.856.15>
- ⑫ S.Sudo, T.Amano, A.Shirai, and T.Hayase, On the Motility and Locomotive Organs of Beach Flea, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol.4, No.1, pp.37-43 (2015). 査読有
<https://doi.org/10.5226/jabmech.4.37>
- ⑬ S.Sudo, T.Kainuma, T.Yano, A.Shirai, and T.Hayase, Jumps of Water Springtail and Morphology of the Jumping Organ, Journal of JSEM, Vol.15, Special Issue, pp.s117-s124(2015). 査読有
<https://doi.org/10.11395/jjsem.15.s117>
- ⑭ 須藤誠一, 磁性流体の界面現象とその応用, 油空圧技術, 第 54 巻, 13 号, pp.6-10(2015). 査読無
- [学会発表] (計 29 件)
- ① S.Sudo, Some Application Researches of Magnetic Fluids, Proceedings of the 12th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Kanazawa, Japan, USB, pp.1-6. (November 1-4, 2017, Kanazawa Kagekiza, Kanazawa, Japan)
- ② 須藤誠一, 桑野博喜, 日本実験力学学会 2017 年度年次講演会講演論文集, pp.133-134. (2017 年 8 月 28 日-8 月 30 日 岡山理科大学)
- ③ S.Sudo and H.Kuwano, Dynamics of a Water Droplet Subjected to Forced Vibration by Surface Acoustic Wave Device, Abstract Book of the Tenth Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting, Multifunctional and Nanomaterials (JAPMED'10), p.9. (July 4-8, 2017, Izmir Institute of Technology, Urla, Turkey)
- ④ 須藤誠一, 山本和輝, 石本志高, Stephanie Nix, 磁性流体液橋の振動によって生成されるマイクロ流動場について, 磁性流体連合講演会講演論文集, 2016-12, pp.16-18. (2016 年 12 月 8 日 北海道大学百年記念館)
- ⑤ S.Sudo, M.Ito, Y.Ishimoto, and S.Nix, Streaming Flows Produced by Oscillating Interface of Magnetic Fluid Adsorbed on a Permanent Magnet in Alternating Magnetic Field, Proceedings of the 15th Asian Congress of Fluid Mechanics, Kuching, Malaysia, USB, pp.1-9. (November 21-23, 2016, Pullman Hotel, Kuching, Sarawak, Malaysia)
- ⑥ S.Sudo, K.Takahashi, Y.Ishimoto, and S.Nix, The Relation between Surface Shape and Magnetic Field Distribution in Magnetic Fluid Bridge System in Alternating Magnetic Field, Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Ho Chi Minh City, Vietnam, USB, pp.1-5. (November 1-4, 2016, Saigon Vissai Hotel, Ho Chi Minh City, Vietnam)
- ⑦ 須藤誠一, 石本志高, Nix Stephanie, 開閉運動する花卉細胞の表面形状変化の研究, 日本流体力学会年会 2016 講演論文集 (USB メモリ), pp.1-3. (2016 年 9 月 26 日-9 月 28 日 名古屋工業大学御器所キャンパス)
- ⑧ 須藤誠一, 伊東正英, 石本志高, NIX Stephanie, 日本実験力学学会 2016 年度年次講演会講演論文集, pp.198-199. (2016 年 9 月 1 日-3 日 近畿大学東大阪キャンパス)
- ⑨ 須藤誠一, 石本志高, Nix Stephanie, 昆虫の飛翔逃避における翅収納の影響, 可視化情報シンポジウム 2016 講演概要集, p.6.

- (2016年7月19日-21日 工学院大学新宿キャンパス)
- ⑩ S.Sudo, K.Yamamoto, Y.Ishimoto, S.Nix, Water Flow Patterns Induced by Bridge Oscillation of Magnetic Fluid Between Two Permanent Magnets Subject to Alternating Magnetic Field, Book of Abstracts of 14th International Conference on Magnetic Fluids, p.70. (July 4-8, 2016, World Trade Center, Ekaterinburg, Russia)
- ⑪ 須藤誠一, 諏佐拓己, 山本翔也, クロウリハムシの運動に関する諸特性, 第34回エアロ・アクアバイオメカニズム学会定例講演会資料集, pp.9-10. (2016年3月23日 東京工業大学大岡山キャンパス西5号館 W531 講義室)
- ⑫ 山本和輝, 須藤誠一, 上原聡司, 高奈秀匡, 西山秀哉, 水中の磁性流体マイクロ液橋振動の誘起する流れパターンの研究, 日本機械学会東北支部第51期総会・講演会講演論文集, No.2016-1, pp.61-62. (2016年3月11日 東北大学工学部青葉記念会館)
- ⑬ 須藤誠一, 生物の進化と運動の一考察, 日本実験力学会第10回機能性流体に関する公開研究会講演資料集, pp.39-56. (2015年12月3日-4日 静岡大学浜松キャンパス S-port)
- ⑭ S.Sudo, R.Sato, and H.Kuwano, Surface Disintegration and Atomization of Micro Water Droplet Subjected to Surface Acoustic Wave, Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Matsue, Japan, CD-ROM, pp.1-5. (November 1-4, 2015, Kunibiki Messe, Matsue, Japan)
- ⑮ M.Nakanishi, S.Sudo, and H.Nishiyama, The Effect of Surrounding Fluids on the Interfacial Oscillation of Magnetic Fluid Subject to Alternating Magnetic Field, Proceedings of Twelfth International Conference on Flow Dynamics, pp.560-561. (October 27-29, 2015, Sendai International Center, Sendai, Japan)
- ⑯ S.Sudo, K.Takahashi, and H.Nishiyama, Surface Oscillations of Magnetic Fluid in Magnet-Magnetic Fluid Systems under the Alternating Magnetic Field, Proceedings of Twelfth International Conference on Flow Dynamics, pp.556-557. (October 27-29, 2015, Sendai International Center, Sendai, Japan)
- ⑰ S.Sudo, K.Takahashi, S.Uehara, and H.Nishiyama, Capillary Phenomena of Magnetic Fluid Bridge between Two Permanent Magnets in Alternating Magnetic Field, Proceedings of the Fifteenth International Symposium on Advance Fluid Information, pp.148-149. (October 27-29,

- 2015, Sendai International Center, Sendai, Japan)
- ⑱ S.Sudo, M.Nakanishi, S.Inomata, H.Takana, and H.Nishiyama, Liquid Surface Oscillations of ferrofluid Droplet in Static and Alternating Fields, Abstract Book of International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, Toyohashi, Japan, p.271. (October 4-8, 2015, Loisir Hotel Toyohashi, Toyohashi, Japan)
- ⑲ 須藤誠一, 天野拓也, ハマトビムシのモテイリテイ, 日本流体力学会年会2015講演論文集(USBメモリ), pp.1-4. (2015年9月26日-9月28日 東京工業大学大岡山キャンパス)
- ⑳ S.Sudo, K.Takahashi, and H.Nishiyama, Periodic Disintegration and Reconnection of Magnetic Fluid Bridge by Alternating Magnetic Field, Proceedings of The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015), Awaji City, Hyogo, Japan, CD-ROM, pp.1-2. (September 15-18, 2015, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji City, Japan)

その他 The 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design や 9th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano Materials などの海外で開催された国際会議での講演発表3件, 第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウムや第24回 MAGDA コンファレンス in Tohoku—電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス—など国内で開催された学会での講演発表6件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須藤 誠一 (SUDO SEIICHI)

秋田県立大学・システム科学技術学部・特別研究員

研究者番号 : 90006198

(2) 研究分担者

矢野 哲也 (YANO TETSUYA)

弘前大学・理工学部・准教授

研究者番号 : 70404853