

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560173

研究課題名（和文） 微小生物の極限状況下での運動機能と微小形態構造の流体力学的解明

研究課題名（英文） Hydrodynamical explanation on microscopic morphology and locomotive functions of the micro-organisms in the extreme circumstances

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・教授

研究者番号：90006198

研究成果の概要（和文）：比較的小さな動物や植物が、他の動物などの餌となりながらも、進化の歴史を通じて種として生きながらえている基本的な原理を、それらの生命が脅かされるような極限状況下にさらされた場合に示す運動と運動器官の形態構造の関連性から流体力学的に解析・究明することを目的として、飛行する数種類の昆虫に関して特異な飛行メカニズム・移動メカニズムを明らかにし、微小水棲生物に関しては突発的な遊泳機構・運動能力を究明し、水面および陸上で体長の数十倍から百倍以上にも跳躍するトビムシの運動器官の機構・形態構造などを明瞭にし、植物に関しても運動と細胞の水移動の関連性を明らかにした。また、それら微小生物に倣うマイクロメカニズムの試作と駆動特性を得た。

研究成果の概要（英文）：Analyses related to the microscopic morphology and locomotive functions of the micro-organisms were conducted from the view point of fluid mechanics. The flight characteristics and microscopic structural water repellency of some fly wings were revealed. The mechanism and performance of sudden swimming in small aquatic creatures was revealed. The jumping analysis of the globular springtail was conducted using high-speed camera system, and the micro jumping mechanism and some micro magnetic fluid actuators were produced based on the kinematic analysis on insects. The driving characteristics of micro mechanisms were also revealed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：バイオ流体力学，昆虫飛行，遊泳，跳躍，生物機能，運動機構，マイクロメカニズム，マイクロ磁性流体アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

最近、生物の優れた機能、形態などを学び人工物に応用するバイオミメティックスの分野の研究が活発になり、動物運動のバイオ

メカニクス研究、飛翔・遊泳の力学、植物の生存・成長・分化機能の解明、昆虫の生きる仕組みを人工物の開発や設計に役立てる昆虫ミメティックスに関する研究が多数報告

されている。

このような状況から、著者らも、これまで、幾多の危機的試練にもかかわらず数億年もの長い地球の歴史を通して生き延びてきた飛行をおもな移動手段とする昆虫の航空力学的な特性を解明する目的で、トンボの翅構造と飛行メカニズムの関連性、膜翅目昆虫の翅構造と3次元飛行解析、双翅目昆虫の翅構造の解析、様々な昆虫の翅の3次元表面形状計測などに関する研究を進めてきた。また、水中を巧みに遊泳する魚類や水棲昆虫に関しても、抵抗低減機能を調べる目的でホンザメやメバルの鱗の3次元表面形状計測、トンボの幼虫である若虫の遊泳メカニズムの解明とマイクロ遊泳ロボットの試作、ゲンゴロウの遊泳解析とゲンゴロウ型マイクロ遊泳ロボットの周波数特性、高粘性流体で満たされた微小パイプ内を非接触エネルギー供給システムによって遊泳するマイクロロボットの遊泳特性などを調べる研究を進めてきた。さらに、風を利用し抗力によって飛行する植物種子に関する流体力学的な研究も進めてきた。

そのような研究遂行において、生物がその生命を脅かされるような危機的状況におかれた場合には、通常では考えられないような特別な運動機能を示すことに気づくことができた。当該研究は、このような生死にかかわる極限状況下におかれた微小生物の流体内での運動機能を解析究明し、そのような挙動と微小な運動器官の形態構造の関連性を究明するものであり、これまでに見出されていない生物特性が明らかとなる。

2. 研究の目的

自然科学は、地球とそれを取り巻く広大な自然事象を対象として、一定の方法で研究して本質を把握し法則性を見出し、その成果を体系化しつつ発展してきた。当該研究は、食物連鎖の下層を支えている比較的小さな動物および小さな多年生植物が、他の動物などの餌となりながらも、進化の歴史を通じて種として生きながらえている基本的な原理を、両者の形態構造と運動機能の類似性と特異性を明らかにしながら、生命が脅かされるような極限状況下にさらされた場合に示す運動と、運動器官の形態構造の関連性を追求することによって流体力学的観点から解析・究明することを目的としている。さらに、その成果を工学的な観点から微小生物の特異な運動機能に倣う革新的なバイオマイクロメカニズムの構築に応用するものである。

3. 研究の方法

研究計画および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) 捕食動物を察知した場合などに、驚異

的な速度で移動する微小遊泳生物としてコペポダ、アミ、砂潜り生物としてヒメスナホリムシ、歩行生物としてトビムシなどを取り上げ、突発的移動挙動を運動学的に解析し、同時に運動器官の特性解析を行う。

(2) 微小生物が運動する場合、周囲の環境流体との相互作用が重要となる。微小生物の運動器官の微細表面構造を定量的に計測し（表面凹凸形状を定量的に計測できるレーザー顕微鏡を使用する）、形態および構造の流体中での運動機能に及ぼす意味を明らかにする。

(3) タンポポおよびブタナなどの小植物の花のがく片・花弁の表面微細構造計測と切頭花の24時間周期の生体リズム（サーカディアンリズム）を解析し、植物の生命に直接関係する危機的状況に対する応答を定量的に明らかにする。

(4) 生物に対して、その生存に影響を及ぼす外部刺激が加わると、生命活動を維持するための様々な運動が発現する。生物を構成する細胞には、生物種に関係なく水の割合が最も多く、水移動が各階層のメカニズムを支えている。当該研究では、微小動物の逃避運動機能および小さな植物の極限状況下で示す運動機能を水移動の流体力学的観点から統一的に解釈するために、微小動物および植物に観察される現象の数値データを対比して考察する。

(5) 微小生物の極限状況下における運動機能と微小形態構造の関連性を調べた結果に基づき、磁気機能性流体、磁気材料、圧電素子などの新素材を活かし、生物に類似する機能を実現できる幾つかのマイクロメカニズムおよびマイクロアクチュエータを試作し、その特性を調べ、工学的応用を試みる。

4. 研究成果

本研究では、水中で生活する食物連鎖の下層を支えている小さな動物、コペポダ、アミ、波打ち際に生息するナミノリソコエビ、ヒメスナホリムシ、おもに海浜の陸上で生活するハマトビムシ、水面と陸上を行き来するトビムシ、陸上の湿気の多い場所に生息するトビムシ、空中を飛行するハエ、チョウ、トンボなど体節制をとり付属肢を有する節足動物として分類される虫を対象として、それらが危機的な状況で示す運動機能、運動器官の構造や機構を力学的観点から調べた。

また、タンポポやブタナなど頭花が朝夕開閉運動を示すキク科の植物を取り上げ、茎切断時に示す運動、サーカディアンリズム、花弁切断時に示す細胞形状変化に関しても機械工学的なデータ処理手法を駆使して研究を遂行した。

さらに、それらの研究遂行によって得られた成果に基づき、磁場に応答する磁気機能性

流体、磁気特性の優れた小さな永久磁石、ちいさなコイルを利用して生成した比較的微小な強さの交流磁場などを用いたマイクロデバイスやマイクロアクチュエータなども試作し、それらの駆動特性についても求めた。以下に、得られた成果の一部を列記する。

(1) 体長 1mm 程度のコペポーダは、遊泳肢と第 1 触覚をパドリングすることによって巡航遊泳し、尾叉の屈伸によって突発的な遊泳を行う。図 1 にテザードコペポーダの肢漕ぎ遊泳 (a) および尾叉による遊泳 (b) を示す。

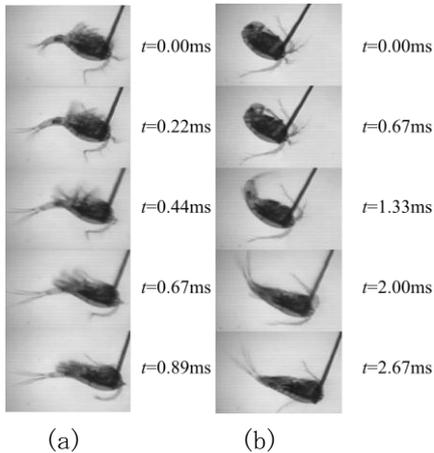


図 1 コペポーダの巡航遊泳と突発遊泳

(2) アミは多数の細毛を開いて遊泳肢を漕ぎ、抗力を推進力とする遊泳を行う。図 2 に肢運動によって生成した流れ場の可視化写真を示す。アミも突発遊泳には尾扇を使用し、陸に上げると尾扇運動で高く跳躍する。

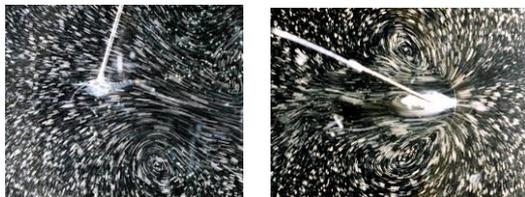


図 2 アミの遊泳における流れの可視化写真

(3) トビムシは腹部先端に二叉の跳躍器を有し、通常はそれを腹部に収め、危機的状況でそれを使って体長の 100 倍以上もの距離を速い速度で移動する。図 3 に跳躍器が腹部に収まった状況と跳躍器が開かれた腹部の状況を示す (体長 1mm のトビムシ)。図 4 に跳躍における変位、速度、加速度を示す。トビムシの跳躍高さが解析的に定式化された。

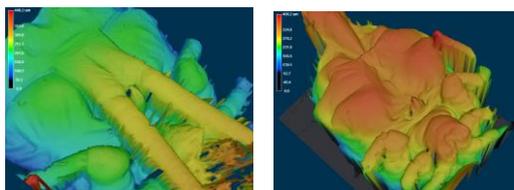


図 3 体長 1mm のトビムシの跳躍器と腹部

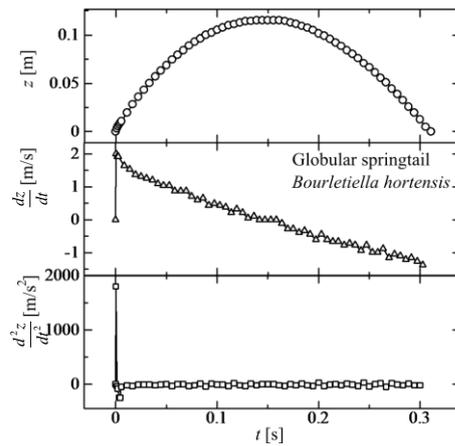


図 4 トビムシ跳躍の変位・速度・加速度

(4) 双翅目昆虫の翅表面には微細な凹凸および微小な多数の細毛のある構造や細毛数分布が場所によって異なる。それらは航空力学的に合理的で、かつ撥水性を有する特性である。図 5 にハエの翅に液滴が衝突した場合の状況を示す。翅は何ら損傷を受けることなく、衝撃力を柔軟性で受け流す。

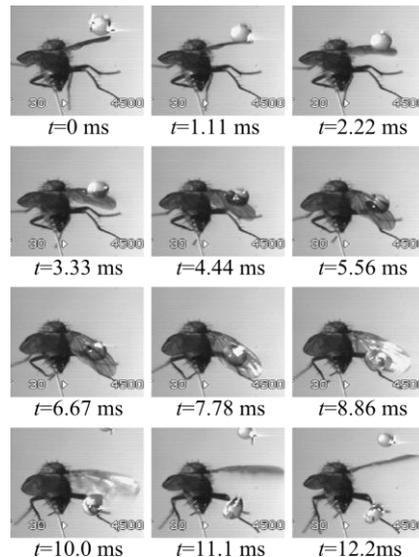


図 5 ハエの右翅と水滴の衝突の高速度写真

(5) 切断したタンポポの花弁の表面形状は時間経過に従い、水移動が起こり、表面形状を変えてゆく。細胞間での水移動が植物のダイナミックな運動を誘起する。図 6 にタンポポの花弁表面の凹凸形状の時間変化を示す。

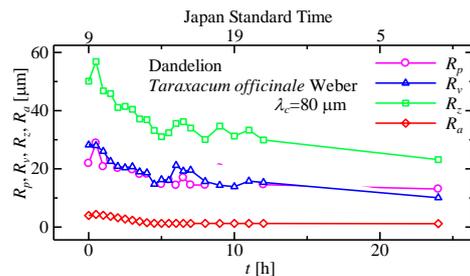


図 6 表面粗さの手法を用いた花卉形状変化

(6) 生物の微小振動の原理をまねたワイヤレスエネルギー供給方式によって駆動される遊泳メカニズムおよび磁性流体とNdFeB磁石を用いたマイクロ磁性流体アクチュエータが試作された。図7にコペポーダの尾叉の形状を尾ヒレとするマイクロ遊泳メカニズムの構造と寸法を示す。

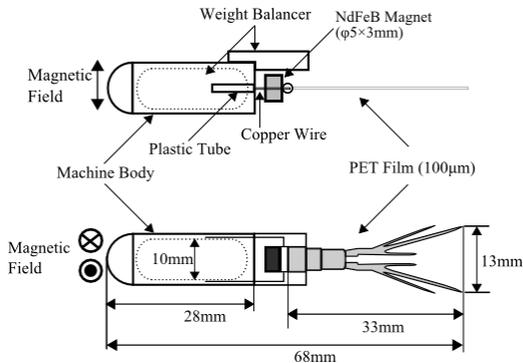


図7 生物模倣型マイクロ遊泳メカニズム

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 24 件)

- ① S. Sudo, M. Shiono, T. Kainuma, A. Shirai, and T. Hayase, Observation on the Springtail Leaping Organ and Jumping Mechanism Worked by a Spring, *Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms*, Vol.3, No.1, pp.92-96 (2013). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jabmech/3/1/3_92/_pdf
- ② S.Sudo, M.Shiono, T.Kainuma, A.Shirai, and T.Hayase, The Kinematics of Jumping of Globular Springtail, *Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms*, Vol.3, No.1, pp.85-91 (2013). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jabmech/3/1/3_85/_pdf
- ③ T.Amano and S.Sudo, Mechanical Aspects in Relation between Locomotive Organs and Behavior of Beach Flea, *Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms*, Vol.3, No.1, pp.65-70 (2013). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jabmech/3/1/3_65/_pdf
- ④ 須藤誠二, 塩野正裕, 白井 敦, 早瀬敏幸, 植物表面細胞の形状計測—植物流体力学的アプローチ—, *実験力学*, Vol.12, No.4, pp.338-343 (2012). 査読有
- ⑤ 天野拓也, 須藤誠二, 節足動物の運動器官と運動機構の工学的研究, *実験力学*, Vol.12, No.4, pp.332-337 (2012). 査読有
- ⑥ S.Sudo, Y.Abe, K.Kitadera, T.Yano, and M.Futamura, A Study on the Wing Characteristics of Flies, *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol.6, No.11, pp.1745-1750 (2012). 査読有
- ⑦ S.Sudo, T.Goto, M.Shinozaki, T.Kainuma, H.Takana, H.Nishiyama, The Dynamic Behaviour of Magnetic Levitating Magnet-Magnetic Fluid Element in Alternating Magnetic Field, *International Journal of Applied Electromagnetics and Electromagnetics and Mechanics*, Vol.39, No.1-4, pp.595-601(2012). 査読有
- ⑧ S.Inomata, S.Sudo, H.Takana, and H.Nishiyama, Vibration Characteristics of Magnetic Fluid Droplet Adsorbed to Magnetized Needlepoint in Alternating Magnetic Field, *Materials Science Forum*, Vol.721, pp.108-113(2012). 査読有
- ⑨ S.Sudo, D.Asano, H.Takana, and H.Nishiyama, Alternating Magnetic Field Responses of Magnetic Fluid Drop Adsorbed to a Small Permanent Magnet, *Materials Science Forum*, Vol.721, pp.102-107(2012). 査読有
- ⑩ S.Sudo, T.Goto, T.Yano, M.Futamura, H.Takan, and H.Nishiyama, Micro Reciprocating Actuator Using Magnetic Fluid and Two Permanent Magnets, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol.6, No.6, pp.555-564(2012). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmmp/6/6/6_555/_pdf
- ⑪ 猪股聡太, 須藤誠二, 高奈秀匡, 西山秀哉, 磁化された針端に吸着した磁性流体液滴の交流磁場応答, *日本 AEM 学会誌*, Vol.20, No.1, pp.174-180(2012). 査読有
- ⑫ 須藤誠二, 浅野大作, 高奈秀匡, 西山秀哉, 小さい円柱状永久磁石に吸着した磁性流体の界面振動の周波数特性, *日本 AEM 学会誌*, Vol.20, No.1, pp.90-96(2012). 査読有
- ⑬ K.Hoshika and S.Sudo, A Study on the Locomotive Functions of *Excirolana chiltoni* Richardson, *Journal of JSEM*, Vol.11, Special Issue, pp.SS299-SS304 (2011). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsem/11/Special_Issue/11_Special_Issue_s299/_pdf
- ⑭ 須藤誠二, 星加恭平, 白井 敦, 早瀬敏幸, 微小な海浜生物のいくつかの移動様式, *実験力学*, Vol.11, No.2, pp.91-100(2011). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsem/11/2/11_2_91/_article/-char/ja/
- ⑮ S.Sudo, Y.Kurosu and D.Asano, Surface Responses of Magnetic Fluid adsorbed to Permanent Magnet subject to Vertical Vibration, *Materials Science Forum*, Vol.670,

- pp.215-220(2011). 査読有
- ⑬ S.Sudo, K.Hoshika, K.Funyu and T.Yano, Magnetic Micro Swimming Mechanism and Visualization of the Surface Flow Induced by the Mechanism Propulsion, Materials Science Forum, Vol.670, pp.191-197(2011). 査読有
- ⑭ S.Sudo, H.Takayanagi, and S.Kamiyama, Water Entry of a Magnetic Fluid Coated Sphere, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.323, pp.1348-1353(2011). 査読有
- ⑮ S.Sudo, D.Asano, H.Takana, and H.Nishiyama, The Dynamic Behavior of Magnetic Fluid Adsorbed to Small Permanent Magnet in Alternating Magnetic Field, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.323, pp.1314-1318(2011). 査読有
- ⑯ S. Sudo, K. Hoshika, T. Yano and Y. Shimazaki, The Dynamic Behavior of Opossum Shrimps, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol. 1, No. 1, pp.80-85(2010). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jabmech/1/1/1_1_80/_pdf
- ⑰ S. Sudo, T. Moriya, K. Hoshika, T. Yano, and Y. Shimazaki, Wing Morphology and Powered Flight of Insects, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol.1, No.1, pp.24-29(2010). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jabmech/1/1/1_1_24/_pdf
- ⑱ S.Sudo, A.Goto, H.Kuwano, Y.Hamate, T.Yano, and K.Hoshika, Journal of Japanese Society for Experimental Mechanics, Vol.10, pp.38-45(2010). 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsem/10/Special_Issue/10_Special_Issue_s38/_pdf
- ⑲ S.Sudo, H.Wakuda, and D.Asano, Capillary Jet Production of Magnetic Fluid by Electromagnetic Vibration, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, pp.63-69(2010). 査読有
- ⑳ M.Shiono, K.Kitadera, and S.Sudo, Dynamics of Flower Head Movement in Bio-System, Advanced Materials Research, Vol.123-125, pp.311-314(2010). 査読有
- ㉑ 須藤誠一, 高柳拓吉, 磁石-磁性流体系のウォーターエントリーによるキャビテイの様相, 日本機械学会論文集(B編), 第76巻, 第760号, pp.1355-1362(2010).
- エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会資料集, pp.25-26. (2013年3月21日 工学院大学)
- ㉒ 佐藤真紀, 須藤誠一, 植物表面細胞の継時的観察, 日本機械学会東北支部第48期総会・講演会講演論文集, No. 2013-1, pp.6-7. (2013年3月15日 東北大学工学部)
- ㉓ 佐藤真紀, 須藤誠一, 植物流体力学としての表面細胞の研究, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, No. 12-40, pp.125-126. (2012年11月17日—18日同志社大学寒梅館)
- ㉔ 篠崎成大, 須藤誠一, 高奈秀匡, 西山秀哉, 交流磁場下の磁性流体ホールの光入出力特性, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, No. 12-40, pp.109-110. (2012年11月17日—18日同志社大学寒梅館)
- ㉕ S.Sudo, M.Shinozaki, and H.Nishiyama, A Study on the Optical Diaphragm using Magnetic Fluid and a Permanent Magnet, Proceedings of 23rd International Conference on Adaptive Structures and Technologies, p.44. (October 11-13, 2012, Grand Metropark Hotel, Nanjing, China)
- ㉖ M.Shinozaki, S.Sudo, H.Takana and H.Nishiyama, Dynamics of Micro Magnetic Fluid Hole in a Alternating Field, Proceedings of the Twelfth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, pp.150-151. (September 19-21, 2012 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉗ M.Shinozaki, S.Sudo, H.Takana, and H.Nishiyama, Optical Characteristics of Magnetic Fluid Hole in Alternating Fields, Proceedings of Ninth International Conference on Flow Dynamics, pp.368-369. (September 19-21, 2012 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉘ S.Inomata, S.Sudo, H.Takana, and H.Nishiyama, Micro System of Vibration Generator of Magnetic Fluid Droplet Driven by Alternating Magnetic Field, Proceedings of Ninth International Conference on Flow Dynamics, pp.362-363. (September 19-21, 2012 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉙ T.Kainuma, S.Sudo, A.Shirai, and T.Hayase, Kinematic Analysis on Unique Jump of Springtail, Proceedings of Ninth International Conference on Flow Dynamics, pp.174-175. (September 19-21, 2012 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉚ 須藤誠一, 塩野正裕, 白井 敦, 早瀬敏幸, 植物流体力学としての花卉表面細胞の研究, 日本機械学会 2012年度年次大会

[学会発表] (計 44 件)

- ① 須藤誠一, 貝沼俊哉, トビムシの運動器官の観察と跳躍回転運動の検証, 第 29 回

- 講演論文集, No. 12-1, CD-R, pp.1-4.
(2012年9月9日-9月12日 金沢大学角間キャンパス)
- ⑪ 貝沼俊哉, 須藤誠一, 白井 敦, 早瀬敏幸, 水上跳躍昆虫の流体力学的研究, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, No. 12-1, CD-R, pp. 1-4. (2012年9月9日-9月12日 金沢大学角間キャンパス)
- ⑫ S.Sudo, M.Shiono, A.Shirai, and T.Hayase, The Jump of Globular Springtail and Jumping Mechanism Worked by a Spring, Abstracts of the Fifth International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms, p.S10. (August 25-28, 2012 Howard Civil Service International House, Taipei, Taiwan)
- ⑬ S.Sudo, M.Shiono, A.Shirai, and T.Hayase, Dynamics in Motion of Dandelion Flower Head, Proceedings of the 15th International Conference on Experimental Mechanics, pp.469-470. (July 22-27, 2012 Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, Portugal)
- ⑭ 須藤誠一, 塩野正裕, 白井 敦, 早瀬敏幸, 植物表面細胞の形状計測, 日本実験力学学会 2012 年度年次講演会講演論文集, pp. 215-220. (2012年7月14日-7月15日 豊橋技術科学大学)
- ⑮ 天野拓也, 須藤誠一, 節足動物の運動器官と運動機構の工学的研究, 日本実験力学学会 2012 年度年次講演会講演論文集, pp. 208-212. (2012年7月14日-7月15日 豊橋技術科学大学)
- ⑯ 須藤誠一, 天野拓也, ハマトビムシの運動器官の特性と機能, 第 28 回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会資料集, pp. 11-12. (3月23日 中央大学理工学部)
- ⑰ 篠崎成大, 須藤誠一, 高奈秀匡, 西山秀哉, 磁性流体と円環状磁石によって形成されたホールの交流磁場応答, 日本機械学会東北支部第 47 期総会・講演会講演論文集, No. 2012-1, pp. 46-47. (2012年3月13日 東北大学工学部)
- ⑱ 天野拓也, 須藤誠一, 白井 敦, 早瀬敏幸, ハマトビムシのロコモーション・メカニズム, 日本機械学会東北支部第 47 期総会・講演会講演論文集, No. 2012-1, pp. 18-19. (2012年3月13日 東北大学工学部)
- ⑲ 貝沼俊哉, 須藤誠一, 白井 敦, 早瀬敏幸, トビムシの水面上での跳躍, 日本機械学会東北支部第 47 期総会・講演会講演論文集, No. 2012-1, pp. 16-17. (2012年3月13日 東北大学工学部)
- ⑳ 須藤誠一, 磁性流体と小さな永久磁石を利用したマイクロメカニズムの基礎的研究, 日本フルードパワーシステム学会「機能性流体を核としたフルードパワーシステムの融合化に関する研究委員会」配布資料, pp. 1-17. (2012年3月9日 中央大学後楽園キャンパス)
- ㉑ 須藤誠一, 微小生物の運動器官の形態と流体力学, 日本実験力学学会第 6 回機能性流体に関する公開研究会講演資料集, pp. 5-8. (2011年12月2日 滋賀県立大学交流センター)
- ㉒ 須藤誠一, 後藤卓巳, 微小デバイスを搭載できる磁性流体アクチュエータの特性, 磁性流体連合講演会講演論文集, 2011-12, pp. 67-69. (2011年12月1日-12月2日 滋賀県立大学)
- ㉓ M.Shinozaki, S.Sudo, H.Takana and H.Nishiyama, Oscillation Characteristics of Levitated Magnet-Magnetic Fluid System, Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, pp.142-143. (November 9-11, 2011 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉔ T.Kainuma, S.Sudo, A.Shirai and T.Hayase, Springtail Jump on Water Surface, Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, pp.104-105. (November 9-11, 2011 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉕ K.Kitadera, S.Sudo, A.Shirai and T.Hayase, Observation of Fly Wings and Flight Behavior, Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp.154-155. (November 9-11, 2011 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- ㉖ M.Shiono, S.Sudo, A.Shirai and T.Hayase, Movement of Springtail in Air, Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp.152-153. (November 9-11, 2011 Hotel Metropolitan Sendai, Japan)
- その他 多数
- [その他]
ホームページ等
<http://www.akita-pu.ac.jp/system/mise/fluid/achievements/kaken-sudo/index.html>
(ダウンロード可能な論文のみ)

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・教授

研究者番号：90006198