

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	細胞レベルから構築した微生物サスペンション力学による藻類の分布予測モデルの革新
研究機関・ 部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・教授
氏名	石川 拓司

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	116,000,000	116,000,000	0	116,000,000	115,991,448	8,552	0
間接経費	34,800,000	34,800,000	0	34,800,000	34,797,434	2,566	0
合計	150,800,000	150,800,000	0	150,800,000	150,788,882	11,118	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	1,491,706	39,207,639	14,654,295	23,751,245	79,104,885
旅費	0	2,266,285	1,952,172	2,812,290	7,030,747
謝金・人件費等	0	0	8,989,960	14,670,434	23,660,394
その他	0	933,921	1,499,296	3,762,205	6,195,422
直接経費計	1,491,706	42,407,845	27,095,723	44,996,174	115,991,448
間接経費計	480,000	12,900,000	7,920,000	13,497,434	34,797,434
合計	1,971,706	55,307,845	35,015,723	58,493,608	150,788,882

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
自動表面張力計	全自動・Wilhelmy法	1	1,470,000	1,470,000	2011/3/11	東北大学
人工気象器	日本医化器械製作所社製 LH-120S	1	740,250	740,250	2011/6/27	東北大学
ワークステーション	Dell Precision R5500	1	826,846	826,846	2011/6/28	東北大学
細胞位置3次元計測システム	DIPP-3DM デイテクト社製	1	2,411,850	2,411,850	2011/8/3	東北大学
共焦点micro-PIVシステム	CHM-300s	1	21,000,000	21,000,000	2011/9/30	東北大学
並列計算機システム	Dell Precision R5500,TPM,N	1	12,266,400	12,266,400	2011/12/7	東北大学
モノクロ高速CCDカメラ	HAS-220M	1	825,300	825,300	2012/7/12	東北大学
無停電電源装置	SUA3000RM J2UB3W	4	262,500	1,050,000	2012/10/25	東北大学
201万画素カラーカメラシステム	FR-210M	1	619,500	619,500	2012/12/11	東北大学
並列計算機システム	Precision R5500	1	9,789,199	9,789,199	2013/2/14	東北大学
201万画素カラーカメラシステム	FR-210M	1	619,500	619,500	2013/2/22	東北大学
ストレージ	(米)DELL社製 Dell社製 MD1200	1	955,639	955,639	2013/5/13	東北大学

様式20

共焦点顕微鏡システム用レーザユニット	横河電機(株)製 CSULD488-100-TIKSP04	1	2,643,375	2,643,375	2013/9/12	東北大学
グラフィックカード	(株)エルザジャパン製 Geforce GTX TITAN GDTIT-6GER	10	136,000	1,360,000	2013/10/31	東北大学
人工気象器	(株)日本医化器械製作所製 LLPH-240SP	1	1,342,950	1,342,950	2013/12/10	東北大学
高速度カメラシステム	西華産業(株)製 PSA3	1	4,389,000	4,389,000	2013/12/16	東北大学
グラフィックカード	(株)エルザジャパン製 Geforce GTX TITAN GDTIT-6GER	10	135,000	1,350,000	2013/12/19	東北大学
XY軸ポジショニングシステム 外	ピーアイ・ジャパン(株)製 P-733.2CL型外	1	2,389,590	2,389,590	2014/1/9	東北大学
ストレージ	(米)DELL社製 NX3300	1	804,174	804,174	2014/2/19	東北大学
ストレージ	(米)DELL社製 MD1200	2	956,550	1,913,100	2014/2/19	東北大学
グラフィックカード	(香)GALAXY社製 TITAN BlackEdition PCI-E 6GBDDR5	4	164,000	656,000	2014/3/7	東北大学

5. 研究成果の概要

流れ場の支配方程式、藻類の保存則、栄養素等の物質の移流拡散方程式を連立し、各式中のテンソル量を細胞スケールから構築したデータベースから外挿することで、従来の数理モデルに対して藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数理モデルを開発した。本成果を具体的な応用問題に適用することで、環境問題や地球温暖化、エネルギー問題、食糧問題など、地球規模のさまざまな問題の解決を加速化することが可能となる。本課題では、市民フォーラム等を開催して広く国民との科学・技術対話に務めた。

課題番号	GR007
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	細胞レベルから構築した微生物サスペンション力学による藻類の分布予測モデルの革新
	Innovation of an algal suspension model based on cellular biomechanics of microbes
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・大学院工学研究科・教授
	Tohoku University, Graduate School of Engineering, Professor
氏名 (下段英語表記)	石川 拓司
	Ishikawa Takuji

### 研究成果の概要

(和文):

流れ場の支配方程式、藻類の保存則、栄養素等の物質の移流拡散方程式を連立し、各式中のテンソル量を細胞スケールから構築したデータベースから外挿することで、従来の数値モデルに対して藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数値モデルを開発した。本成果を具体的な応用問題に適用することで、環境問題や地球温暖化、エネルギー問題、食糧問題など、地球規模のさまざまな問題の解決を加速化することが可能となる。本課題では、市民フォーラム等を開催して広く国民との科学・技術対話に務めた。

(英文):

By simultaneously solving governing equations of fluid flow, conservation law of algae cells, and advection-diffusion equations of nutrients, we developed a novel numerical model to predict distribution of algae cells with high accuracy. The model can be applied to specific topics to solve various problems, such as the global warming, environmental problems, food problems and energy problems. We introduced our research through symposium open to public.

## 様式21

1. 執行金額 150,788,882 円  
(うち、直接経費 115,991,448 円、 間接経費 34,797,434 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

### 3. 研究目的

藻類は流体中に存在するため、周囲の流れの影響を強く受ける。例えば海洋では、海流と海面上の風向きによって海面から鉛直下向きに速度変化が生じ、個々の藻類の遊泳と流れ場が干渉することで、水面下数メートルの位置に周囲の数百倍の密度で分布することが報告されている (Durham et al., *Science*, 2009)。また、バイオ燃料等のバイオリクター内では、藻類を良好な状態で培養するために、栄養物や酸素、二酸化炭素等の物質輸送が十分に行われるよう、リアクター内に流動を生じさせている。こうした流れ中の藻類の分布を予測し効率的に制御することは、生態系の予測や地球環境の予測、バイオリクターの高効率化等において重要である。

藻類の挙動に対する数理モデル化は、藻類の走地性や走光性等に加え、流れと細胞遊泳の干渉や、細胞同士の干渉を考慮する必要がある、非常に複雑で未だに確立していない。本研究課題では、こうした現状を打破するため、代表者がこれまでに開発してきた微生物サスペンション力学を藻類に拡張し、藻類の分布予測モデルを革新することを目的とする。

### 4. 研究計画・方法

研究期間内においては、まず始めに静止流体中の藻類の単一細胞に対し、走性や遊泳能を考慮した数理モデルを確立する。数値解析手法には、代表者がこれまでに開発した境界要素法を応用し、藻類の細胞表面上の繊毛または鞭毛の運動が流体に与える力を数理モデル化する。実験による検証を行う際には共焦点 *micro-PIV* システムを用い、単一細胞周りの流れ場を高精度で計測する。次に、藻類の単一細胞がせん断流れ中にある場合の数理モデルを確立する。流れの中に藻類が存在する場合には、流れの渦度によって藻類の方向ベクトルが回転するため、渦度の強さや時間変化、細胞の回転緩和時間等のパラメータを変化させて調べる。それらの知見を用い、多数の藻類が流れ中にある場合の数理モデルを確立する。数値解析手法には代表者が開発しているストークス動力学法を用い、この手法を改良して高濃度の藻類懸濁液にも対応できるようにする。そして、流動なしの条件下、およびせん断流れ下における、藻類懸濁液の粒子応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルを明らかにする。マクロスケールの藻類の挙動・分布を解析する際には、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則、栄養素等の物質の移流拡散方程式を連立し、流体の運動方程式中の粒子応力テンソル、藻類の数密度の保存則の自己拡散テンソル、物質の移流拡散方程式の物質拡散テンソルに、上述の方法で求めた値を代入する。これにより、従来の数理モデルに対して藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数理モ

デルを開発する。

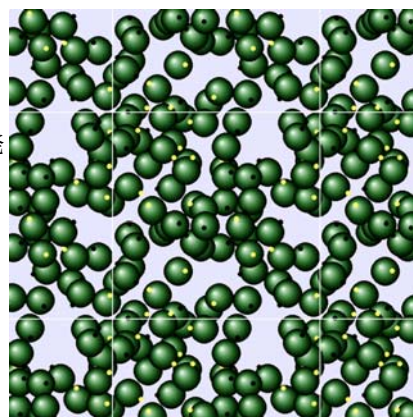
## 5. 研究成果・波及効果

研究は当初の計画以上に進展した。特筆すべきは、最終目標である、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則を連立し、各テンソル量をデータベースから代入する革新的な数理モデルの開発に成功した点である。この成果は流体力学の分野で最も権威のある *Journal of Fluid Mechanics* 誌に掲載され、大きな反響を呼んだ。この他に、繊毛の分子構造および繊毛細胞による流れ場を解明、遊泳細胞懸濁液の特異流動の解明、気液界面における繊毛虫の振る舞いの解明、微生物分離マイクロチップの開発に成功するなど、計画を遥かに超える速度で研究が深化した。研究成果は査読付き雑誌論文33編、国際会議論文として44編発表されている。さらに、生物物理や生体工学の国際会議などで招待講演を多数行った。

以下に具体的な研究成果例を示す。

### (1) 藻類懸濁液のマクロ特性解析と革新的数理モデルの開発

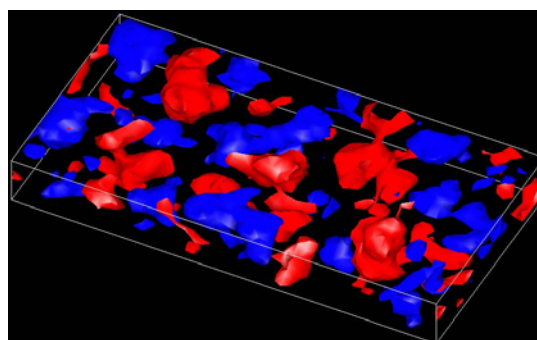
ストークス動力学法による多体干渉解析を行うことで、微細藻類懸濁液の流動構造、およびさまざまなテンソル量を調べた。その結果、藻類の遊泳モードによって藻類の配向構造が大きく変化し、懸濁液内の輸送現象が多大な影響を受けることが明らかとなった。この成果は流体力学の分野で最高峰の *Physics of Fluids* 誌に掲載され、**Research Highlights** で取り上げられた。



これらの解析結果を用い、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則を連立し、各テンソル量をデータベースから代入する革新的な数理モデルを開発することに成功した。この成果は流体力学の分野で最も権威のある *Journal of Fluid Mechanics* 誌に掲載され、大きな反響を呼んだ。これにより、海洋中の微細藻類の分布予測や、バイオリアクターの配管中の微細藻類の分布予測が可能となった。

### (2) 遊泳細胞懸濁液の特異流動の解明

懸濁液内の流動構造を共焦点マイクロPIVを用いて調べることで、液中の輸送現象を明らかにした。特異流動により物質輸送は飛躍的に促進されるが、遊泳細胞が費やす労力は微小であることが明らかとなった。この成果



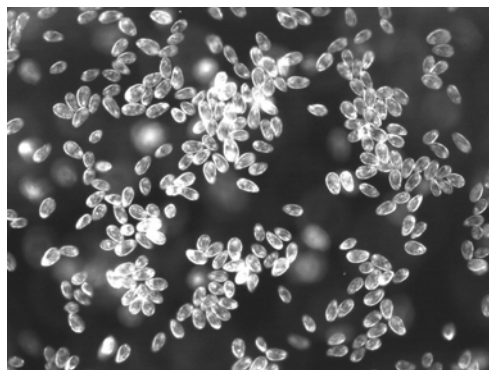
## 様式21

は物理学の分野で最高峰の *Physical Review*

*Letter* 誌に掲載され、Editors' Suggestions に選ばれ、アメリカ物理学会の広報誌 *Physics* にも取り上げられた。

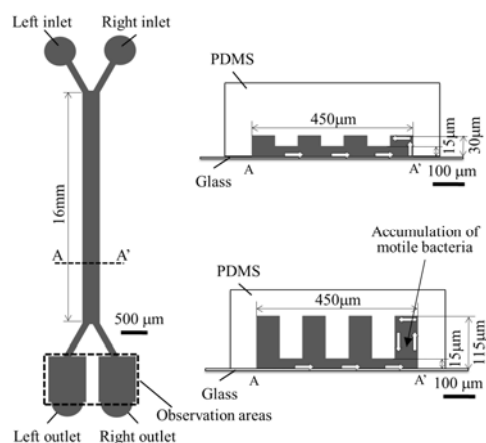
### (3) 気液界面における繊毛虫の振る舞いの解明

懸濁液中の微生物の振る舞いは数多く調べられているものの、気液界面における挙動は不明である。我々は気液界面近傍を遊泳する繊毛虫を観察し、水面に捕捉される現象を発見した。補足される理由には生物学的因子と物理学的因子が考えられるが、本研究では界面物理学によって説明できることを示した。この成果は総合科学の著名誌である *PLoS ONE* に掲載され注目を集めている。



### (4) 微生物を分離するバイオチップの開発

微生物の分離技術は、細胞操作や水の浄化等で重要な基盤技術である。流体力学、細胞生物学、生物物理学の知見を用いて、流路内での微生物挙動の理論・計算解析、MEMS 技術による微小流路作成、PIV 法による挙動計測の手法を統合し、微生物を遊泳能によって分離するマイクロチップを開発した。この研究成果は MEMS の最高峰の雑誌である、*Lab on a Chip* に掲載され反響を呼んでいる。



6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 41 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 33 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Reorientation of a non-spherical capsule in creeping shear flow <i>Physical Review Letters</i>, <b>108</b>, 138102 (2012)</li> <li>(2) D. Alizadehrad, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Parallel simulation of cellular flow in microvessels using a particle method <i>Journal of Biomechanical Science and Engineering</i>, <b>7</b>, 57-71 (2012)</li> <li>(3) T. Tanaka, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, H. Ueno, T. Yoshimoto, N. Matsuki and T. Yamaguchi Inertial migration of cancer cells in blood flow in microchannels <i>Biomedical Microdevices</i>, <b>14</b>, 25-33 (2012)</li> <li>(4) T. Ishikawa, T. Sato, G. Mohit, Y. Imai and T. Yamaguchi Transport phenomena of microbial flora in the small intestine with peristalsis <i>Journal of Theoretical Biology</i>, <b>279</b>, 63-73 (2011)</li> <li>(5) T. Omori, T. Ishikawa, D. Barthes-Biesel, A.-V. Salsac, Y. Imai and T. Yamaguchi Comparison between spring network models and continuum constitutive laws: application to the large deformation of a capsule in shear flow <i>Physical Review E</i>, <b>83</b>, 041918 (2011)</li> <li>(6) Y. Imai, K. Nakaaki, H. Kondo, T. Ishikawa, C. T. Lim, T. Yamaguchi Margination of red blood cells infected by <i>Plasmodium falciparum</i> in a microvessel <i>Journal of Biomechanics</i>, <b>44</b>, 1553-1558 (2011)</li> <li>(7) T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai and T. Yamaguchi Energy transport in a concentrated suspension of bacteria <i>Physical Review Letters</i>, <b>107</b>, 028102 (2011) (<i>Editors' Suggestions</i>)</li> <li>(8) C. Huang, T. W. H. Sheu, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Development of a particle interaction kernel for convection-diffusion scalar transport equation <i>Numerical Heat Transfer, B</i>, <b>60</b>, 96-115 (2011)</li> <li>(9) H. Kamada, K. Tsubota, M. Nakamura, S. Wada, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Computational study on effect of stenosis on a primary thrombus formation <i>Biorheology</i>, <b>48</b>, 99-114 (2011)</li> <li>(10) V. Leble, R. Lima, R. Dias, C. Fernandes, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Asymmetry of red blood cell motions in a microchannel with a diverging and converging bifurcation <i>Biomicrofluidics</i>, <b>5</b>, 044120 (2011)</li> <li>(11) A. A. Evans, T. Ishikawa, T. Yamaguchi and E. Lauga Orientational order in concentrated suspensions of spherical microswimmers <i>Physics of Fluids</i>, <b>23</b>, 111702 (2011) (<i>Featured as "Research Highlights"</i>)</li> <li>(12) T. Ishikawa Vertical dispersion of model microorganisms in horizontal shear flow <i>Journal of Fluid Mechanics</i>, <b>705</b>, 98-119 (2012)</li> <li>(13) T. Ishikawa Models and Numerical Methods for a Suspension of Swimming Microorganisms: Review <i>International Journal of Offshore and Polar Engineering</i>, <b>22</b>, 270-275 (2012)</li> <li>(14) T. Omori, T. Ishikawa, D. Barthes-Biesel, A.-V. Salsac, J. Walter, Y. Imai and T. Yamaguchi Tension of red blood cell membrane in simple shear flow <i>Physical Review E</i>, <b>86</b>, 056321 (2012)</li> </ol>
------------------------	--

	<p>(15) N. Matsuki, S. Ichiba, T. Ishikawa, O. Nagano, M. Takeda, Y. Ujike and T. Yamaguchi Blood oxygenation using microbubble suspensions <i>European Biophysics Journal</i>, <b>41</b>, 571-578 (2012)</p> <p>(16) J-J. Christophe, T. Ishikawa, Y. Imai, K. Takase, M. Thiriet and T. Yamaguchi Hemodynamics in the pulmonary artery of a patient with pneumothorax <i>Medical Engineering &amp; Physics</i>, <b>34</b>, 725-732 (2012)</p> <p>(17) T. Miki, X. Wang, T. Aoki, Y. Imai, T. Ishikawa, K. Takase and T. Yamaguchi Patient-specific modeling of pulmonary air flow using GPU cluster for the application in medical practice <i>Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering</i>, <b>15</b>, 771-778 (2012)</p> <p>(18) Y. Imai, T. Miki, T. Ishikawa, T. Aoki and T. Yamaguchi Deposition of micrometer particles in pulmonary airways during inhalation and breath holding <i>Journal of Biomechanics</i>, <b>45</b>, 1809-1815 (2012)</p> <p>(19) H. Ueno, T. Ishikawa, K. H. Bui, K. Gonda, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Mouse respiratory cilia with the asymmetric axonemal structure on sparsely distributed ciliary cells can generate overall directional flow <i>Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine</i>, <b>8</b>, 1081-1087 (2012)</p> <p>(20) T. Tanaka, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, H. Ueno, N. Matsuki, T. Yamaguchi Separation of cancer cells from a red blood cell suspension using inertial force <i>Lab on a Chip</i>, <b>12</b>, 4336-4343 (2012)</p> <p>(21) H. Kamada, Y. Imai, M. Nakamura, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Computational analysis on the mechanical interaction between thrombus and red blood cells <i>Medical Engineering &amp; Physics</i>, <b>34</b>, 1411-1420 (2012)</p> <p>(22) D. Alizadehrad, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Quantifying the deformation of red blood cells in microvessels <i>Journal of Biomechanics</i>, <b>45</b>, 2684-2689 (2012)</p> <p>(23) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Membrane tension of red blood cells pairwise interacting in simple shear flow <i>Journal of Biomechanics</i>, <b>46</b>, 548-553 (2013)</p> <p>(24) Y. Imai, I. Kobayashi, S. Ishida, T. Ishikawa, M. Buist and T. Yamaguchi Antral recirculation in the stomach during gastric mixing <i>American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology</i>, <b>304</b>, G536-542 (2013)</p> <p>(25) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Shear-induced diffusion of red blood cells in a semi-dilute suspension <i>Journal of Fluid Mechanics</i>, <b>724</b>, 154-174 (2013)</p> <p>(26) A. Takamatsu, T. Ishikawa, K. Shinohara and H. Hamada Asymmetric rotational stroke in mouse node cilia during left-right determination <i>Physical Review E</i>, <b>87</b>, 050701(R) (2013)</p> <p>(27) A. Takamatsu, K. Shinohara, T. Ishikawa and H. Hamada Hydrodynamic Phase Locking in Mouse Node Cilia <i>Physical Review Letters</i>, <b>110</b>, 248107 (2013)</p> <p>(28) T. Yaginuma, M. S. N. Oliveira, R. Lima, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Behavior of red blood cells in a hyperbolic microchannel: the extensional flow effect <i>Biomicrofluidics</i>, <b>7</b>, 054110 (2013)</p>
--	--



<p>(29) H. Kamada, Y. Imai, M. Nakamura, T. Ishikawa and T. Yamaguchi          Computational simulation of thrombus formation regulated by platelet membrane receptors and blood shear  <i>Microvascular Research</i>, <b>89</b>, 95-106 (2013)</p> <p>(30) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi, T. Ishikawa          Hydrodynamical entrapment of ciliates at the air-liquid interface  <i>PLoS ONE</i>, <b>8</b>, e75238 (2013)</p> <p>(31) K. Kiyota, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, T. Haga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Fluctuation of cilia-generated flow on the surface of tracheal lumen  <i>Amer. J. Physiol. - Lung Cellular and Molecular Physiology</i>, <b>306</b>, L144-L151 (2014)</p> <p>(32) T. Ishikawa, T. Shioiri, K. Numayama-Tsuruta, H. Ueno, Y. Imai, T. Yamaguchi          Separation of bacteria using the near-wall drift velocity in a microchannel  <i>Lab on a Chip</i>, <b>14</b>, 1023-1032 (2013)</p> <p>(33) T. Omori, H. Hosaka, Y. Imai, T. Yamaguchi, T. Ishikawa          Numerical analysis of a red blood cell flowing through a thin micro-pore  <i>Physical Review E</i>, <b>89</b>, 013008 (2014)</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 7 件</p> <p>(1) T. Yamaguchi, T. Ishikawa and Y. Imai          Computational biomechanics of blood flow at macro- and micro-scales          Nano-Biomedical Engineering, pp.53-62, Imperial College Press (2012)</p> <p>(2) C. Chuang, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi          Gradient diffusion of red blood cells flowing in a straight microchannel          Nano-Biomedical Engineering, pp. 63-69, Imperial College Press (2012)</p> <p>(3) J. Ferracci, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi          Entrapment of fresh water ciliates at the interface fluid-air          Nano-Biomedical Engineering, pp. 70-76, Imperial College Press (2012)</p> <p>(4) S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi          Behavior of a spherical capsule in simple shear flow near an infinite plane          Nano-Biomedical Engineering, pp. 122-127, Imperial College Press (2012)</p> <p>(5) M. Saadatmand, T. Ishikawa, N. Matsuki, H. J. Abdekhodaie, Y. Imai, H. Ueno and T. Yamaguchi          Radial dispersion of tracer particles through high-hematocrit blood flow within a capillary tube          Nano-Biomedical Engineering, pp. 134-143, Imperial College Press (2012)</p> <p>(6) R. Lima, T. Ishikawa, Y. Imai, T. Yamaguchi          Chapter 20 "Blood flow behavior in microchannels: past, current and future trends"  <i>Single and two-Phase Flows on Chemical and Biomedical Engineering</i>, pp. 513-547,          Bentham Press (2012)</p> <p>(7) R. Lima, R. J. Joseyphus, T. Ishikawa, Y. Imai, T. Yamaguchi          Chapter 23 "Micro-flow visualization of magnetic nanoparticles for biomedical applications"  <i>Single and two-Phase Flows on Chemical and Biomedical Engineering</i>, pp. 600-612,          Bentham Press (2012)</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <p>(1) P. Kaneh and T. Ishikawa          Fluid mechanics of swimming bacteria with multiple flagella  <i>Physical Review E</i>, in press (2014)</p>
---

<p>会議発表 計 47 件</p>	<p>専門家向け 計 44 件</p> <p>(1) J. Ferracci, T Ishikawa, K. Numayama, Y. Imai, H. Ueno and T. Yamaguchi Entrapment of Ciliates at the Air-fluid Interface Sendai, Japan, 2011.3.22-23 Tohoku University Global COE Program, Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, Nano-Biomedical Engineering in the East Asian-Pacific Rim Region 「会議中止・論文発表扱いにて記載」</p> <p>(2) H. Ueno, T. Ishikawa, K. Gonda, K. H. Bui, T. Ishikawa, Y. Imai, K. Numayama-Tsuruta, T. Yamaguchi Analysis of ciliary motion and fluid flow on the surface of tracheal cells Portugal, 2011.5.30-2011.6.1, Tohoku University GCOE &amp; University of Porto</p> <p>(3) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Omori, T. Miki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi High performance GPU computing of capsule flow using boundary integral method Portugal, 2011.5.30-2011.6.1, Tohoku University GCOE &amp; University of Porto</p> <p>(4) T. Ishikawa Suspension biomechanics of swimming micro-organisms USA, 2011.6.19-2011.6.24, The International Society of Offshore and Polar Engineers</p> <p>(5) T. Ishikawa Computational Mechanics of Suspensions of Swimming Micro-organisms USA, 2011.7.25-2011.7.28, National Congress on Computational Mechanics</p> <p>(6) T. Shioiri, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, H. Ueno, Y. Imai and T. Yamaguchi Development of a microdevice for sorting motile bacteria USA, 2011.9.26-2011.9.27, American Society of Mechanical Engineers</p> <p>(7) H. Ueno, T. Ishikawa, K. H. Bui, K. Gonda, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Analysis of ciliary motion and the axonemal structure in the mouse respiratory cilia China, 2011.11.4-2011.11.8, Shanghai Society of Biophysics</p> <p>(8) Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Development of GPU computing for simulating dense suspension of capsules China, 2011.11.4-2011.11.8, Shanghai Society of Biophysics</p> <p>(9) A. Evans, T. Ishikawa, T. Yamaguchi, E. Lauga Instabilities and global order in concentrated suspensions of spherical microswimmers USA, 2011.11.20-2011.11.22, American Physical Society</p> <p>(10) T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai, T. Yamaguchi Energy Transport in a Concentrated Suspension of Bacteria USA, 2011.11.20-2011.11.22, American Physical Society</p> <p>(11) T. Ishikawa Transport phenomena in suspensions of swimming microorganisms Singapore, 2011.12.12-2011.12.14, Tohoku University GCOE &amp; National University of Singapore</p> <p>(12) T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai, T. Yamaguchi Energy efficiency in collective motions of swimming bacteria Beijing, 2012.5.26-31, <i>World Cong. Med. Phys. Biomed. Eng.</i></p> <p>(13) T. Ishikawa Transport Phenomena in Suspensions of Swimming Microorganisms France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p> <p>(14) S. Nix, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Dynamics of capsules near a plane wall France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p> <p>(15) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Hydrodynamic entrapment of ciliates at the air-liquid interface France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p>
------------------------	--

	<p>(16) K. Kyoya, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  Double-layer representation of model microorganisms by a boundary element method  USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(17) T. Miyagawa, Y. Imai, I. Kobayashi, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  Development of a multi-phase flow model for simulating solid particle motion in the stomach  USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(18) N. Takeishi, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  Development of a numerical model for micro-scale blood flow simulation using GPGPU  USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(19) S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  Dynamics of a spherical capsule in a near-wall shear flow  USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(20) H. Ueno, T. Ishikawa, K. H. Bui, K. Gonda, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  Analysis of ciliary motion and the axonemal structure in the mouse respiratory cilia  USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(21) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  Hydrodynamical entrapment of ciliates at the air-liquid interface  USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(22) H. Hosaka, T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  Analysis of red blood cell behavior in a narrow tube  USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(23) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi  Off-plane motion of a non-spherical capsule in simple shear flow  USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(24) K. Kiyota, H. Ueno, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Omori and T. Yamaguchi  Measurement of ciliary flow generated on the surface of tracheal  USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(25) T. Maeda, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi  3D-PTV measurement of the phototactic movement of algae in shear flow  USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(26) Y. Imai, N. Takeishi, T. Ami, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  A cellular flow simulation on graphics processing unit  Spain, 2013.6.17-19, <i>ECCOMAS. COUPLED2013</i>.</p> <p>(27) T. Yamaguchi, Y. Imai, T. Omori, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta and T. Ishikawa  Integrated Biomechanics for Physiological Flow Problems  Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(28) H. Ito, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  A Numerical Analysis of the Rheology of Capsule Suspensions Containing DifferentSize Capsules  Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(29) K. Kyoya, D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  Collective Swimming of Ellipsoidal Microorganisms  Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(30) T. Miyagawa, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  Numerical simulation of motion of solid particles in the stomach  Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p>
--	--

	<p>(31) S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Mechanism of capsule migration near a plane wall          Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(32) A. Ami, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi          Modeling of cytoadhesion in malaria infection          Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(33) Y. Nonaka, H. Ueno, K. Numayama, T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Effect of Aeration on the Bioconvection Pattern in a Microalgae Suspension          Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(34) N. Takeishi, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi          Margination of white blood cell in various sizes of circular micro-channel          Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p> <p>(35) N. Takeishi, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Margination of leukocyte in different sizes of circular micro-channel          Taiwan, 2013.11.18-20, <i>7th East Asian Consortium on Biomedical Engineering. National Taiwan University</i></p> <p>(36) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Viscosity of Dense Capsule Suspension Under Simple Shear Flow Condition          Taiwan, 2013.11.18-20, <i>7th East Asian Consortium on Biomedical Engineering. National Taiwan University</i></p> <p>(37) S. Kajiki, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Nutrient uptake in a suspension of squirmers          USA, 2013.11.24-26, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(38) K. Kyoya, D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi, and T. Ishikawa          Collective Swimming in a Suspension of Ellipsoidal Squirmers          USA, 2013.11.24-26, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(39) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Viscoelasticity of dilute capsule suspension under Stokes flows          USA, 2013.11.24-26, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(40) N. Takeishi, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Numerical analysis of margination of a cancer cell in microcirculation          Singapore, 2013.12.11-14, <i>APCOM · ISCM</i></p> <p>(41) Y. Ichikawa, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi, and T. Ishikawa          A numerical analysis of a capsule containing multiple small capsules in simple shear flow          Singapore, 2013.12.11-14, <i>APCOM · ISCM</i></p> <p>(42) T. Ishikawa          A Bottom-Up Approach in Biological Flow Studies          Tokyo, 2014.3.14, <i>Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation</i></p> <p>(43) Y. Imai, I. Kobayashi, T. Miyagawa, S. Ishida, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          How Does Gastric Mixing Proceed over Minutes?          Tokyo, 2014.3.14, <i>Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation</i></p> <p>(44) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa          Rheological analysis of dense capsule suspension under Stokes flow condition          Tokyo, 2014.3.14, <i>Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation</i></p>
--	--

様式21

	<p>一般向け 計3件</p> <p>(1) 石川拓司 微生物の泳ぎの驚くべき戦略 仙台, 2012.3.18, 東北大学</p> <p>(2) 石川拓司 微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来 仙台, 2012.12.27, せんだいメディアテーク</p> <p>(3) 石川拓司 微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来 仙台, 2013.8.25, せんだいメディアテーク</p>
図書 計2件	<p>(1) 石川拓司 生物流体力学, 朝倉書店 (2012), 総ページ数 247</p> <p>(2) R. Lima, Y. Imai, T. Ishikawa and M. S.N.Oliveira Visualization and Simulation of Complex Flows in Biomedical Engineering Springer, 2013, 240</p>
産業財産権 出願・取得状況 計1件	<p>(公開済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計1件 発明の名称: 血液中の粒子分離装置 発明者: 石川拓司, 田中達也, 沼山恵子, 上野裕則, 今井陽介, 山口隆美 権利者: 石川拓司, 田中達也, 沼山恵子, 上野裕則, 今井陽介, 山口隆美 出願日: 平成24年1月26日 出願番号: 特願 2012-013612 公開番号: 特開 2013-152171 国内・外国の別: 国内</p>
Webページ (URL)	<p>研究業績の Web ページ <a href="http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html">http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html</a></p> <p>研究室の Web ページ <a href="http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/index.html">http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/index.html</a></p>
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>(1) 標題: 市民講座「世界をリードする東北大学機械系の若手研究者が目指す未来社会」 実施日: 平成24年3月18日 場所: 仙台国際センター (仙台) 対象者: 一般市民 参加者数: 約80名 内容: 「微生物の泳ぎの驚くべき戦略」の演題で講演し、国民との対話に努めた。</p> <p>(2) 標題: 市民講座「世界をリードする東北大学機械系の若手研究者が目指す未来社会」 実施日: 平成24年12月27日 場所: せんだいメディアテーク (仙台) 対象者: 一般市民 参加者数: 約70名 内容: 「微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来」の演題で講演し、国民との対話に努めた。 URL: <a href="http://cat-vnet.tv/movie/tu_2012_winter/001_01.html">http://cat-vnet.tv/movie/tu_2012_winter/001_01.html</a></p>

様式21

	<p>(3) 標題：市民講座「未来をつくる ―東北大学機械系若手研究者の挑戦―」          実施日：平成 25 年 8 月 25 日          場所：せんだいメディアテーク（仙台）          対象者：一般市民          参加者数：約 85 名          内容：「微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来」の演題で講演し、国民との対話に努めた。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載計 6 件</p>	<p>(1) 2011 年 7 月 7 日掲載, Physics (<a href="http://physics.aps.org/">http://physics.aps.org/</a>) 「Bacteria, live in 3D」          (2) 2011 年 7 月 11 日掲載, NIKKEI 「東北大学、バクテリアの効率的な群泳を発見」  <a href="http://www.nikkei.com/">http://www.nikkei.com/</a>          (3) 2011 年 11 月 17 日掲載, Featured as “Research Highlights” on the Physics of Fluids web site  <a href="http://pof.aip.org/">http://pof.aip.org/</a>          (4) 2012 年 2 月 14 日掲載, Yahoo Japan ニュース, goo ニュース, マイナビニュース          「東北大、哺乳類の「気管繊毛」の 3 次元構造を解明して繊毛運動の謎を解明」  <a href="http://news.mynavi.jp/news/2012/02/14/013/index.html">http://news.mynavi.jp/news/2012/02/14/013/index.html</a>          (5) 2012 年 2 月 14 日掲載, NIKKEI 「東北大、ウイルス・細菌を排除する気管表面の繊毛運動の 3 次元内部構造を解明」 <a href="http://www.nikkei.com/">http://www.nikkei.com/</a>          (6) 2012 年 3 月 7 日掲載, 日経産業新聞 7 面「乳がん細胞 低コスト検出」</p>
<p>その他</p>	

7. その他特記事項

なし