

7.

流体工学

7・1

まえがき

流体工学は、基礎工学であり、環境・エネルギー、航空・宇宙、バイオ・ライフサイエンス、ナノ・マイクロ工学等の重点分野にも深く関わっている。研究の進展は二重円構造で、内輪の乱流、圧縮性流れおよび混相流等の基盤領域では研究の「垂直方向の深化」、外輪の機能性流体、ナノ・マイクロ流および生体・生物流れ等の異分野との融合領域では研究の「水平方向の展開」が見られる。流体現象そのものは、時空間的にもマルチスケールで多様な複雑現象であり、流体科学の視点から基礎研究がなされている。近年、流体工学を基盤として異分野との融合も進み、「流体情報」や「流体融合」の新規な概念も構築されつつあり、重点領域への貢献も期待されている。また、新たな研究手法として数値シミュレーションと実験の融合手法も提案されている。年次大会では、「持続可能な日本の技術を支える産官学の連携」のテーマのもとに部門横断セッションが、また部門講演会でも「再生可能流体エネルギーの利用技術」等のセッションも活発に企画されている。ここでは、「乱流」「圧縮性流れ」「混相流」「流体機械」「機能性流体」「ナノ・マイクロ流」「生体・生物流れ」を取り上げ、2014年度の国内外の研究動向を報告する。なお、流体工学が関連する学協会として、日本航空宇宙学会、日本流体力学会、日本混相流学会、日本ガスタービン学会、ターボ機械協会等がある。

[西山 秀哉 東北大学]

7・2

乱流

7・2・1

境界層

境界層に関しては、主流乱れに対するストリークの2次不安定性が調べられ、下流で乱流遷移を引き起こすストリークの形態についての報告⁽¹⁾がなされるとともに、乱流境界層や遷移境界層中のヘアピン渦の役割についての研究⁽²⁾や、分数調波振動を受ける低速ストリーク列から生じるヘアピン渦に関する研究⁽³⁾などの報告がなされた。また、乱流境界層の数値的・統計的な側面に着目し、チャンネル流れの大規模DNSデータをもとにPrandtlの混合距離論を再検討した研究⁽⁴⁾や、有限データ列の乱雑性を示す指標として用いられるKolmogorov複雑度を援用して乱流境界層の乱雑度合を数値的に評価した研究⁽⁵⁾が行われた。ほかにも、平面Couette流れにおける乱流斑点の成長過程を調べた研究⁽⁶⁾に加え、Taylor-Couette流れを対象として線形安定領域の過渡増幅現象を扱った研究⁽⁷⁾やその絶対不安定性に及ぼす偏心の影響を調べた研究⁽⁸⁾などの報告がなされている。さらには、回転円板上に形成される三次元境界層を取り上げ、その層流・乱流遷移過程における絶対不安定性の役割について論じた研究⁽⁹⁾も行われ、広い範囲で成果があった。

7・2・2

制御

乱流境界層の壁面摩擦抵抗を低減させる方法として、スパン方向に周期的な滑り速度を与えることで縦渦のsweep eventに伴う運動量の輸送を抑制し、摩擦抵抗の低減を図る方法が注目されている。壁面そのものを直接周期的に振動させる方法に加え⁽¹⁰⁾、スパン方向に並べたプラズマアクチュエータやピエゾアクチュエータを駆動させてスパン方向に進行する速度変動波を励起し、縦渦の生成を介して壁面近傍の粘性底層内に低速領域を生成することに成功した例が報告されている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。このほかにも、らせん状の速度変動が壁面近傍で規則的に生じるような体積力を作用させる方法⁽¹³⁾や、壁面と面に円板を並べ、スパン方向に隣り合う円板を互いに逆方向に回転させることで滑り速度を導入する方法⁽¹⁴⁾などが提案され、摩擦抵抗低減に一定の効果があることが数値シミュレーションによる研究から示唆されている。また、超疎水性壁面は滑面に比べ75%も摩擦抵抗低減効果があること⁽¹⁵⁾や、界面活性剤のレオロジー特性が非定常流動や乱流抵抗に及ぼす影響について報告⁽¹⁶⁾されている。そのほか、波状リプレットによる乱流境界層の抵抗低減に関する研究も注目される⁽¹⁷⁾。

[福西 祐・伊澤 精一郎 東北大学]

7・3

圧縮性流れ

7・3・1

計測・可視化

2014年は当該分野に関わる大きな国際会議としてThe 16th International Symposium on Flow Visualization (ISFV16)が沖縄で開催され、14のトラック、55のセッションにてさまざまな流体計測・可視化技術の研究発表がなされた。またレーザー計測に関するLisbon会議⁽¹⁸⁾や本年年次大会や流体工学部門講演会等の国内会議でも当該分野の研究が多数報告されている。

まず、速度計測については、Tomographic PIV (粒子イメージング流速計測法)の研究が盛んであり、極超音速⁽¹⁹⁾を含む圧縮性流れへの応用例が数多く報告されている。Scalar計測の分野では、感圧塗料(PSP)と感温塗料(TSP)の研究が着実な進展を見せている。とくに高速応答型PSPは技術的な進歩が著しく、数キロヘルツの応答性を有するスプレー型PSPが開発され、遷音速パフェット現象やヘリコプターブレード上の変動圧力場の計測に適用されている。圧力と温度などの2成分を同時計測する複合塗料としては、2色素をインクジェットでドットマトリクス状に塗り分ける方法が有望視されている⁽²⁰⁾。複合化の研究はPSP以外の計測手法でも精力的に行われていて、PIVとレーザー誘起蛍光法(PLIF)を組み合わせた手法はルーチン的な試験にも供されている。

圧縮性流れの可視化技術の代表と言えるSchlieren法にも新

しい手法の導入が進む。一つは光路上の任意断面を切り出せる Focusing Schlieren (断層シュリーレン) 法で、もう一つは背景画像を利用する Background-Oriented Schlieren (BOS) 法である。BOS 法については、大規模な風洞実験や屋外実験に適用した例 (ISFV16 および文献 (18)) が報告されているほか、三次元密度場を再構築する研究が進められている。

計測・可視化技術の研究の流れは Global, Time-resolved, Multiple variables (species) の三つのキーワードに集約され、今後もその傾向は続くだろう。速度場計測では Optical Flow や Light Field Imaging などの新手法に注目が集まる。計測対象としては、さまざまな高速現象のほかに音響計測への展開が期待されている。その一例として、PIV と PSP の複合計測による空力音源探査が試みられている⁽²¹⁾。

[浅井 圭介 東北大学]

7.3.2 CFD と極超音速流れ

圧縮性乱流の CFD (数値流体力学) では RANS (Reynolds Averaged Navier-stokes) 解析から LES (Large eddy Simulation) や DNS (Direct Numerical Simulation) への移行が急速に進みつつある。複雑な物理過程を内包する乱流解析では物理過程からくる制約を満たしながら計算精度や数値安定性の確保が求められる。この要求を満たす方法として物理的に矛盾のない工夫を支配方程式に導入してから離散化する手法が注目されている。たとえば衝撃波を含む乱流の LES では速度の発散成分に対して選択的に数値粘性項を加えると、速度の回転成分である乱流には影響のないまま強い衝撃波の捕獲が可能となる。電磁流体乱流の LES では磁場の回転成分に対して物理的に矛盾の生じない形式の人工粘性項を誘導方程式に導入すると、磁場の衝撃波を安定に捕獲しながら磁場のソレノイダル条件を自動的に満たすことが可能となる。さらに物理的に矛盾の生じない形式の密度拡散項を支配方程式に加えると、超臨界圧力条件下の遷臨界乱流境界層の DNS が実現できることが最近示された⁽²²⁾。

強い衝撃波を含む乱流の LES が可能になると、カプセル型大気圏突入機の空力加熱予測技術高度化が期待される。しかし極超音速流れは複雑な物理過程を含むために計算手法の検証が不可欠である。(国研)宇宙航空研究開発機構角田宇宙センターの高温衝撃風洞 HIEST は設置後も計測方法やノズル材料等の改良が続き、今日では高エンタルピ気流条件における乱流遷移データを提供可能な試験設備として世界的に認知されている。空力加熱予測に用いる LES の検証には HIEST 供給データの利用が見込まれている。

一方、HIEST のような大型高温衝撃風洞では高温気流に起因するさまざまな物理現象が実験データに含まれてしまう。たとえば高エンタルピ条件下の鈍頭物体表面加熱率計測では加熱率を異常に高く評価する傾向がある。輻射加熱を考慮した熱化学非平衡 CFD 解析は実験データを程よく再現できることから異常加熱の原因として輻射が着目された。実際に鈍頭物体前方の高温衝撃層からの輻射加熱であることが実験的に特定されたが⁽²³⁾、輻射源はいろいろな可能性が検討されている。このように極超音速流れは気流計測技術と CFD 解析が相補的に進展する分野であり、両者の高度な融合は極超音速流れ研究の発展を加速する。

[澤田 恵介 東北大学]

7.3.3 衝撃波

当該分野の国内会議として 2014 年 3 月に平成 25 年度衝撃波シンポジウムが開かれた。デトネーション・化学反応系 25 件、混相流・凝縮系 20 件、衝突・衝撃系 16 編、可視化系 8 件など、計 116 件の口頭発表がなされた。国際的に活躍した国内外の研究者の中から 1 名に授与される Glass Memorial Lecture Award 賞は、「循環器領域における衝撃波の臨床応用」であった。ここ数年は BOS (Background Oriented Schlieren) に関する話題が増えており、2014 年も同様の傾向であった。また、ロシア隕石突入現象に関する衝撃波研究が継続され⁽²⁴⁾、モデル化手法により遠距離場衝撃波圧を予測する新しい試みがあった⁽²⁵⁾。国際的には最大規模の ISSW (International Symposium on Shock Waves) は 2 年に一度開催され、今回は 2015 年イスラエルで開催される予定である。また、国外では幅広い分野を網羅している関連会議 AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics) Aerospace Sciences Meeting (2014 年 1 月, アメリカ)において、最新の動向を把握することができる。さらに衝撃波研究に関する研究成果に主眼を置いている国際誌 Shock Waves は 60 編の論文が公表された。とくに、Selected topics from the 28th International Symposium on Shock Waves と題した特集号が発刊され、世界中から厳選された 12 編の論文が紹介された。日本人の論文は 2 件である^{(26) (27)}。

[孫 明宇 東北大学]

7.4 混相流

7.4.1 キャビテーション

The Royal Society 主催の Amazing (Cavitation) Bubbles : Great Potentials and Challenges がイギリスのチチェリーで 15 件の招待講演が行われた⁽²⁸⁾。人工弁や頭部損傷におけるキャビテーションの悪影響、結石破砕や口腔洗浄へのキャビテーション衝撃力の有効利用、ドラックデリバリなどへの活用など医学的観点からの発表が主であった。国内では、キャビテーションに関するシンポジウム (第 17 回) が開催され、キャビテーションの基礎と応用に関する 28 件の発表、そして数値解析 (11 件) と応用 (17 件) についての特別企画があった。国内外の研究動向としては、キャビテーション対策の観点から、壊食^{(29)~(31)}、数値解析^{(32)~(34)}に関する研究について報告があり、2011 年 3 月にグルノーブルで開催された国際ワークショップの成果を取りまとめた本⁽³⁵⁾が出版された。また、キャビテーションの有効利用の観点から、加熱治療⁽³⁶⁾、ソノポレーション⁽³⁷⁾、水処理⁽³⁸⁾、バイオマス処理⁽³⁹⁾の研究について報告があり、表面改質についてはキャビテーションピーニングとウォータージェットピーニングの判別法⁽⁴⁰⁾が提案された。

[祖山 均 東北大学]

7.4.2 先端混相流

最近の混相流体解析法においては、マイクロスケール (バブル・チャネル) が主対象であった解法からマルチスケールの流動場への新展開が見られる。東日本大震災以降、津波に代表される比較的大規模スケール混相流動現象解明の要請が高まっているためと考えられる。このような解析においては大スケール

の現象をそのまま計算機上で再現することは事実上不可能であるため、混相流に特有の代表値を用いた何かしらのスケールモデリングを用い、各種混相流動本来の有する本質性を失わないような数学モデル化を行って解析を行っている点に先進性が見られる⁽⁴¹⁾。マルチスケールの先端混相流解析に用いられる手法としては、オイラー型の高解像度CFDと粒子法系統のメッシュレス解法を複合あるいは一部スキームの相互補完を取り入れたハイブリッド型の解法が徐々に用いられるようになってきた⁽⁴¹⁾。従来の分散性混相流解析用カップリング手法の一種であるEuler-Lagrange法はあくまでも混相流動場のみにも適用可能な手法であるが、最近のハイブリッド解法においてはFSI手法の導入により固体相内部応力や固相変形挙動も扱えるようになってきている⁽⁴²⁾。

代表的な研究例を挙げると、自由表面を有する流体と固体材料の相互作用(FSI)を考慮した解析により流体力のみならず固体内部応力までの解析が可能となった研究⁽⁴³⁾、またDEMとMPSという2種の異なる原理から派生した粒子法を同時に用いて回転円柱内の液体・粒子沈降混相流れに適用し、自由表面形状と粒子堆積挙動の再現に成功した新しい試みも見られる⁽⁴⁴⁾。混相流体の数値解法研究に関しては、メッシュレス解法である粒子法(SPH)や圧縮性超音速流に用いられる高解像度のスキーム(WENO)を複合させ、オイラー型手法において限界があった各相の大変形問題や粒子法における流体力の定量評価に進展が見られる⁽⁴⁵⁾。さらに、化学反応や異相間輸送現象に着目し、溶解性界面活性剤が気泡運動に及ぼす影響を解明した解析⁽⁴⁶⁾にも先進性が見られる。

以上に見られるように、モデリングや数値計算手法に関してはあまり共通性が見られなかったオイラー法・粒子法が、双方の異なるメリットを取り入れて解法が進化していることは非常に興味深い。異分野手法の導入によるマルチスケールの先端混相流解析手法の進展が垣間見られる。

[石本 淳 東北大学]

7・5

流体機械

7・5・1

空気機械

ガスタービンならびに蒸気タービンに関する2014年の最新研究発表や国内外の学術会議等は、日本ガスタービン学会誌2015年1月号⁽⁴⁷⁾にまとめられている。学術誌論文では、航空機エンジンファン内部のノイズ解析⁽⁴⁸⁾、スパイク型旋回失速の初生計測⁽⁴⁹⁾、熱遮蔽コーティングを考慮したタービンフィルム冷却の評価⁽⁵⁰⁾、Adjoint法に基づく遷音速コンプレッサー翼の多点形状最適化⁽⁵¹⁾、タービンスラウドの有無によるシール隙間の効果⁽⁵²⁾、蒸気タービン最終段における粗大液滴の計算と実験による評価⁽⁵³⁾などがJournal of Turbomachineryに掲載された。また、半開放型プロペラファンの三次元渦構造⁽⁵⁴⁾、遠心送風機の旋回失速⁽⁵⁵⁾、小型遠心ブロワのディフューザー性能の評価⁽⁵⁶⁾などの論文が日本機械学会論文集に掲載された。国際学術会議では、ASME Turbo Expo 2014が6月にデュッセルドルフで開催された。論文発表件数は1230件で参加人数は3000名強であった。その概要は日本ガスタービン学会誌9月号⁽⁵⁷⁾に報告されている。

[山本 悟 東北大学]

7・5・2

水力機械

水力機械の分野では、2014年9月に、主に水車に関する最大の国際会議である、国際水理学会議(IAHR)水力機械とシステムに関するシンポジウムがモンテリオールにて開催された。そこでは、3日間で175件の発表があり、フランス水車、ポンプ水車、ドラフトチューブ、エロージョン、キャビテーションなど、水車やポンプに関するある意味古典的な諸問題がいまだに多く報告・議論されており、継続的な課題となっているのがこの分野の特徴である。その中で、OpenFOAMを用いた数値解析のセッションが個別に設けられており、最近の流体機械の設計開発におけるトレンドである。また、この分野における新しい国際会議として、第1回キャビテーションと混相流に関する国際シンポジウム(ISCM)が10月に北京で開催され、ポンプや水車、水力機械要素におけるキャビテーションに関する発表があった。キャビテーションに関する主たる国際シンポジウムは、第1回(1986, 仙台)第2回(1994, 東京)以降、3年に一度、世界各地で開催されているが、それとは別に中国独自で、ポンプ・水車に関連して新たな会議を立ち上げており、これも最近のトレンドであると言える。

国内の動向としては、電力固定価格買取制度の平成26年度の調達から、中小水力発電で新たに区分が設定されたこともあり、ターボ機械7月号では「再生可能エネルギーとしての小規模水力」という特集が生まれ、小水力発電⁽⁵⁸⁾に注目が集まっている。それに関連して、小型で高性能化が期待できる二重反転羽根車に関する研究⁽⁵⁹⁾も精力的に行われている。一方、水力機械に関する数値解析の分野では、加藤の解説⁽⁶⁰⁾にもあるように、水の動粘性係数が空気のその1/15であることより、ポンプの解析に必要な格子点数はファンの約5000倍となり(直径300mm、回転数1500rpmのポンプのLES解析で5000億点)、空力機械の解析に比べ水力機械の解析は格段に難しいことが試算されており、水力機械の高精度な数値解析は、スーパーコンピュータ京をもってしてもまだまだ容易でないのが現状である。

[伊賀 由佳 東北大学]

7・6

機能性流体

7・6・1

磁性流体

磁性流体は磁性と流動性を併せ持つ人工流体であり、1960年代の中頃に宇宙開発に伴って開発され、その頃から、磁性流体の処方、物理的特性、流体力学、応用に関する多数の研究が行われてきた。最近の研究の傾向は、物性物理学分野の研究者が磁性流体をソフトマターの一つとして捉え、さまざまな力学的振る舞いを調べ、流体力学分野の研究者は交流磁場中のレオロジー特性や界面不安定性などに関心を示し、医学系分野の研究者は磁性粒子を利用したハイパーサーミアに大きな関心を有し、工学分野の研究者はセンサやマイクロデバイスなどの開発を進めている。日本国内では毎年、磁性流体連合講演会が開催され、2014年には11月20日～21日につくば市の(独)物質・材料研究機構において開催された⁽⁶¹⁾。ドイツにおいても毎年講演会が開催され、2014年はIlmenau工科大学において3月17日～19日の3日間にわたりドイツ磁性流体ワークショップ⁽⁶²⁾が開催された。世界から多数の研究者が集う磁性流体国際会議

は3年ごとに開催されており、第14回会議は2016年にロシアのEkaterinburgにおいて開催される予定である。論文としては、磁場作用下の円筒状磁性流体噴流の表面を伝播する軸対称ソリトンを調べた研究⁽⁶³⁾や濡れない表面上の液滴を磁性流体で包み、マイクロ流体デバイスなどへの応用展開を考え、磁場による操作法を確立した研究⁽⁶⁴⁾などが特記されよう。

[須藤 誠一 秋田県立大学]

7.6.2 ER・MR 流体

ER流体 (Electro-Rheological Fluids, 電気粘性流体) やMR流体 (Magneto-Rheological Suspensions, 磁気粘性流体) は、電磁場に反応してレオロジー特性が大きく変化する機能性流体である。隔年開催のER流体とMR流体に関する第14回国際会議が2014年7月にスペイン・グラナダで開催され計160件ほどの最新の研究成果の発表がなされた⁽⁶⁵⁾。その約30%がER流体関係の発表で、約50%がMR流体関係、残りがMRエラストマーほかと、MR流体関係の研究発表がとくに活発であった。

非常に大きな降伏せん断応力を発生するナノ粒子分散系 Giant ER流体を活用して圧電素子のねじれ振動を伝達して回転するモータ⁽⁶⁶⁾や液晶の均一系ER流体で駆動される柔軟構造を有するマイクログリッパー⁽⁶⁷⁾が実現されている。原油輸送パイプラインの抵抗低減策として、電場を印加して原油粘度を低減する方法が提案されそのメカニズムが解明されている⁽⁶⁸⁾。

MR流体は、車両サスペンション用MRショックアブソーバとして製品化され普及してきており、すでに13年ほどの実績を有する。MR流体は主に振動制御・衝撃吸収等に適しており、高せん断域で急激にせん断応力が增大しその特性を磁場で可変な衝撃吸収に適したMR Shear-Thickening流体⁽⁶⁹⁾、印加磁場で剛性や減衰特性の可変なMRエラストマーを用いた各種の振動制御デバイス⁽⁷⁰⁾、不織布にMR流体を含浸させたMR流体コンポジットを活用した免震・制振用直動型ダンパ⁽⁷¹⁾などが開発されている。

[中野 政身 東北大学]

7.6.3 プラズマ流体

プラズマ流体は、低温プラズマと熱プラズマにおいてその特性や応用が大きく異なる。低温プラズマに関する研究では、流体工学において、プラズマが形成する流れを利用したプラズマアクチュエータ⁽⁷²⁾による境界層や騒音の制御などの研究が進められている。バイオ・医療分野では、プラズマ医療⁽⁷³⁾が創成され、皮膚治療や止血、ガン治療、遺伝子導入法への応用が進められている。農業分野では収穫物の殺菌、土壌改良⁽⁷⁴⁾、植物の成長促進などが報告されている。環境分野においても、水中プラズマや気泡内プラズマによる汚染物質浄化や放電形成機構⁽⁷⁵⁾について報告されている。

熱プラズマに関する研究では、近年、多相交流アーク発生装置⁽⁷⁶⁾やパルス変調誘導型熱プラズマ⁽⁷⁷⁾が新たな熱プラズマ源として開発され、ガラス原料のインフライト高速処理やナノ粒子粒径制御および大量生成への応用が進められている。また、サスペンション (懸濁液) プラズマ溶射による機能性薄膜創製が革新的な溶射法として注目を集めている⁽⁷⁸⁾。輻射を考慮したLESによる圧縮性電磁流体シミュレーション⁽⁷⁹⁾が活発に進められており、電磁場干渉を伴うアークの複雑挙動が明らかになりつつある。

[佐藤 岳彦・高奈 秀匡 東北大学]

7.7

ナノ・マイクロ流

昨今のナノ・マイクロ加工技術の進歩により、ナノ・マイクロスケールの熱流動現象がさまざまな分野で見られるようになり、その重要性が増大している。2014年度に開催された本会の講演会では、年次大会 (9月, 東京), 流体工学部門講演会 (10月, 富山), 計算力学講演会 (11月, 岩手) など、また、関連学会については、数値流体力学シンポジウム (12月, 東京), 日本伝熱シンポジウム (5月, 浜松), 日本流体力学学会年会 (9月, 仙台) など原子・分子流れに関するセッションが設けられ、活発な議論が行われている。国際学会に関しては、The 29th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics (RGD29) (7月, 西安), Eleventh International Conference on Flow Dynamics (ICFD) (10月, 仙台) など最新の研究動向を知ることができる。

ナノ・マイクロ流は分子動力学 (Molecular Dynamics : MD) 法による取り扱いが必要な原子・分子スケールの熱流動と高クヌッセン数のマイクロ気体流に大別できる。前者に関してはマクロな物性値や物理現象を発現するメカニズムを分子論的に解析する研究や、ナノスケールの流動場を直接的に再現して解析を試みる研究がなされている。物理現象の解析例としては、MD法により液滴を形成し、その液滴の力のつり合いからYoungの式の妥当性が検証されている⁽⁸⁰⁾。また、臨界点近傍の状態にある流体の密度揺らぎ構造について、実験では測定できない数十Åの構造の解析が行われている⁽⁸¹⁾。一方、工学的な応用例としては、燃料電池の発電に重要な高分子電解質膜のプロトン輸送性能⁽⁸²⁾、触媒層のプロトン輸送性能⁽⁸³⁾の解析がMD法を用いて行われ、その支配要因の特定が行われている。また、磁気ディスク表面の潤滑剤の分子モデルが構築され、MD法によりナノメートル厚さの液体膜の潤滑現象の解析が行われている⁽⁸⁴⁾。

一方、マイクロ気体流においては、マイクロチャネル内の熱流動などの研究に加えて、マイクロ気体流の特異な現象の応用を試みる研究が見られ興味深い。たとえば、メンブレンの膜厚方向に温度勾配をかけ、分子質量による熱ほふく流の強弱を利用して、混合ガスの分離が試みられている⁽⁸⁵⁾。また、基板近傍で微細な梁を加熱あるいは冷却して生じるクヌッセン力の大きさと向きと加熱方法の関係⁽⁸⁶⁾、および微細な加熱物体を回転させるクヌッセントルクの発生機構⁽⁸⁷⁾が調べられている。他には、摺動表面の微細なテクスチャ構造で得られるナノ気体潤滑のメカニズムが理論的に明らかにされ、現象がナノスケールで顕著となることが示されている⁽⁸⁸⁾。さらには、ノコギリ刃状の高温表面上でライデンフロスト液滴が決まった方向に移動する現象⁽⁸⁹⁾が報告されているが、これも熱ほふく流あるいは蒸気の圧力勾配によるマイクロ気体流による輸送とする説が提案されている。

[徳増 崇・米村 茂 東北大学]

7.8

生体・生物流れ

7.8.1

生体流動

生体流動に関連する流体工学分野の研究では、近年、医療に

関連したものが多く見られる。中でも、マイクロフルイディクスに関する研究が盛んに行われており、生物医学研究における現状と将来展望についての解説論文⁽⁹⁰⁾や、テーラーメイド医療実現へのマイクロフルイディクス利用に関する解説論文⁽⁹¹⁾がある。また、基板表面の濡れ特性をパターンングした開放型のマイクロ素子が研究されており⁽⁹²⁾、低コストの μ TASへの応用が期待されている。本学会論文でも、クローン内皮細胞の配向の研究でマイクロフルイディクスデバイスが用いられている⁽⁹³⁾。

医療に関連した生体内の流れの研究では、流体と構造の連成解析の研究が盛んに行われている。心臓の拍動に伴う僧帽弁の開閉と弁を通過する血流の連成解析が行われている⁽⁹⁴⁾。MRI計測結果との比較的良好一致が得られており、今後、心臓弁疾患の研究への応用が期待されている。本会論文でも、血液を模擬したカプセル分散液体を対象に、GPUを用いることにより計算負荷を大幅に減少させて、現実的な条件下での解析を可能とした研究⁽⁹⁵⁾などがある。

数値流体力学は、循環器系の臨床研究にも盛んに応用されている。冠動脈の血行力学と疾患との関係に関する解説記事⁽⁹⁶⁾がある。また組織工学への応用として、心臓弁を対象としたコラーゲン生成に流れ場が与える影響が数値流体力学により明らかにされている⁽⁹⁷⁾。単心室症の治療計画にも数値流体力学が活用されている⁽⁹⁸⁾。本会論文では、動脈瘤の上流側に存在する血管狭窄が動脈瘤内の流れに与える影響が数値解析により明らかにされ、動脈瘤治療への貢献が期待されている⁽⁹⁹⁾。

[早瀬 敏幸 東北大学]

7・8・2 微小生物流れ

微小生物の流れに関する研究は、近年増加の一途をたどっている。単体の微生物の遊泳に関しては、表面形状を変化させストークス流れ中を遊泳する挙動⁽¹⁰⁰⁾や、複数の鞭毛を持つバクテリアが鞭毛を束にして遊泳する挙動⁽¹⁰¹⁾などが報告されている。遊泳挙動の解明に流体力学が有用であることが示された。

複雑な境界条件として、壁面近傍の精子の遊泳⁽¹⁰²⁾や、円管内のらせん状微生物の遊泳挙動⁽¹⁰³⁾、気液界面における遊泳⁽¹⁰⁴⁾、界面活性剤で覆われた界面近傍の遊泳⁽¹⁰⁵⁾などが報告されている。界面の状態によって遊泳方向が水平方向および鉛直方向に変化し、遊泳軌跡に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

微生物の集団遊泳についても調べられており、乱流中での微生物の凝集構造⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁰⁷⁾や、不均一な懸濁液中の非平衡分散過程⁽¹⁰⁸⁾などが報告されている。また、古くから研究されている生物対流についても新たな報告⁽¹⁰⁹⁾⁽¹¹⁰⁾がされており、生物対流に及ぼすバックグラウンドの流れの影響が明らかになった。

近年は、微生物の遊泳能を利用して微生物を分別する微小流体流路の研究も進んでいる。バクテリアが壁面近傍で真っ直ぐに泳げない性質を利用した分離デバイス⁽¹¹¹⁾や、山型のトラップを仕掛けて精子をガイドするデバイス⁽¹¹²⁾等が報告されている。

[石川 拓司 東北大学]

文 献

- (1) Hack, M.J.P. and Zaki, T.A., Streak Instabilities in Boundary Layers beneath Free-stream Turbulence, *J. Fluid Mech.*, 741 (2014), 280315.
- (2) Eitel-Amorl, G., Flores, O. and Schlatter, P., Hairpin Vortices in Turbulent Boundary Layers, *J. of Physics*, 506 (2014), 012008.
- (3) Li, J., Dong, G. and Lu, Z., Formation and Evolution of a Hairpin

- Vortex Induced by Subharmonic Sinuous Low-speed Streaks, *Fluid Dyn. Res.*, 46 (2014), 055516.
- (4) Pirozzoli, S., Revisiting the Mixing-length Hypothesis in the Outer Part of Turbulent Wall Layers: Mean Flow and Wall Friction, *J. Fluid Mech.*, 745 (2014), 378397.
- (5) 一宮昌司・中村育雄・原 達彦, コルモゴロフ複雑度による乱流のランダムさ表現(平板上単一突起下流の乱流くさびの場合), 日本機械学会論文集, 80-813 (2014), FE0117.
- (6) Rolland, J., Turbulent Spot Growth in Plane Couette Flow: Statistical Study and Formation of Spanwise Vorticity, *Fluid Dyn. Res.*, 46 (2014), 015512.
- (7) Maretzke, S., Hof, B. and Avila, M., Transient Growth in Linearly Stable Taylor-Couette flows, *J. Fluid Mech.*, 742 (2014), 254290.
- (8) Leclercq, C., Pier, B. and Scott, J.F., Absolute Instabilities in Eccentric Taylor-Couette-Poiseuille flow, *J. Fluid Mech.*, 741 (2014), 543566.
- (9) Imayama, S., Alfredsson, P.H. and Lingwood, R. J., On the Laminar-turbulent Transition of the Rotating-disk Flow: the Role of Absolute Instability, *J. Fluid Mech.*, 745 (2014), 132163.
- (10) Agostini, L., Toubert, E. and Leschziner, M.A., Spanwise oscillatory Wall Motion in Channel Flow: Drag-reduction Mechanisms Inferred from DNS-predicted Phase-wise Property Variations at $Re\tau=1000$, *J. Fluid Mech.*, 743 (2014), 606-635.
- (11) Bai, H.L., Zhou, Y., Zhang, W.G., Xu, S.J., Wang, Y. and Antonia, R.A., Active Control of a Turbulent Boundary Layer Based on Local Surface Perturbation, *J. Fluid Mech.*, 750 (2014), 316-354.
- (12) Richard D. and Choi, K.S., Turbulent Boundary-layer Control with Plasma Spanwise Travelling Waves, *Exp. Fluids*, 55 (2014), 1796.
- (13) Chagelishvili, G., Khujadze, G., Foyi, H. and Oberlack, M., Spanwise Reflection Symmetry Breaking and Turbulence Control: Plane Couette Flow, *J. Fluid Mech.*, 745 (2014), 300-320.
- (14) Wise, D.J. and Ricco, J., Turbulent Drag Reduction through Oscillating Discs, *J. Fluid Mech.*, 746 (2014), 536-564.
- (15) Park, H., Sun, G. and Kim, C.J., Superhydrophobic Turbulent Drag Reduction as a Function of Surface Grating Parameters, *J. Fluid Mech.*, 747 (2014), 722-734.
- (16) 玉野真司, 粘弾性流体の抵抗低減, 日本レオロジー学会誌 41-5 (2014), 289-300.
- (17) Mamori, H., Iwamoto, K., and Murata, A., Effect of the Parameters of Traveling Waves Created by Blowing and Suction on the Relaminarization Phenomena in Fully Developed Turbulent Channel Flow, *Physics of Fluids*, 26 (2014), 015101.
- (18) 17th International Symposium On Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics ホームページ <http://ltces.dem.ist.utl.pt/lxaser/lxaser2014/index.asp>
- (19) Avallone, F., Ye, Q., Schrijer, F.F.J., Scarano, F. and Cardone, G., Tomographic PIV Investigation of Roughness-induced Transition in a Hypersonic Boundary Layer, *Exp. in Fluids*, 55 (2014), 1852.
- (20) 上山淳一・古川 聖・亀谷知宏・松田 佑・山口浩樹・新美智秀・江上泰広, 陽極酸化被膜上のマイクロドット型PSP実現のためのインクジェット塗布条件, 日本機械学会論文集, 80-811 (2014), FE0040.
- (21) 飯田明由, 空力音源探査のためのファン表面圧力変動計測技術の開発, ニューズレター「流れ」, 日本機械学会流体工学部門, (2014-12).
- (22) 河合宗司, 超臨界圧条件下における遷臨界乱流境界層の高精度シミュレーション, 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, (2014-7), JSASS-2014-2106-A.
- (23) Tanno, H., Komuro, T., Ohnishi, N., Ishihara, T., Ogino, Y. and Sawada, K., Experimental Study on Heat Flux Augmentation in High-Enthalpy Shock Tunnels, *11th AIAA/ASME Joint Thermophysics and Heat Transfer Conf.*, (2014-6) 2014-2548.
- (24) Avramenko, M.I., Glazyrin, I.V., Ionov, G.V. and Karpeev, A.V., Simulation of the Airwave Caused by the Chelyabinsk Superbolide, *J. of Geophysical Research-Atmospheres*, V119 (2014), 7035-7050.
- (25) 丸山 諒・孫 明宇, 小隕石突入時における誘起衝撃波圧の数

- 値解析, 第 63 回理論応用力学講演会, (2014-9) .
- (26) Sasoh, A., Kim, J., Yamashita, K. and Sakai, T., Supersonic Aerodynamic Performance of Truncated Cones with Repetitive Laser Pulse Energy Depositions, *Shock Waves*, V24 (2014), 59-67.
- (27) Mizukaki, T., Wakabayashi, K., Matsumura, T. and Nakayama, K., Background-oriented Schlieren with Natural Background for Quantitative Visualization of Open-air Explosions, *Shock Waves*, V24 (2014), 69-78.
- (28) Amazing (cavitation) bubbles : great potentials and challenges, (2014-11), ホームページ
<https://royalsociety.org/events/2014/amazing-bubbles/>
- (29) 直江 崇・二川正敏, 静止水銀中の狭隙部における圧力波誘起キャビテーション損傷, 日本機械学会論文集, 80 (2014), FE0025.
- (30) 服部修次・寶澤 賢・中本浩章, 表面形状に注目したガラス繊維強化プラスチックのキャビテーション壊食の評価, ターボ機械, 42 (2014), 627-632.
- (31) Hsiao, C.T., Jayaprakash, A., Kapahi, A., Choi, J.K. and Chahine, G.L., Modelling of Material Pitting from Cavitation Bubble Collapse, *J. of Fluid Mechanics*, 755 (2014), 142-175.
- (32) 高比良裕之・神保佳典・小笠原紀行, 気泡崩壊のシミュレーション, ターボ機械, 42 (2014), 681-687.
- (33) 梶島岳夫, キャビテーション乱流の数値シミュレーションの現状, ターボ機械, 42 (2014), 688-693.
- (34) 伊賀由佳・姜 東赫, キャビテーション不安定現象のシミュレーション, ターボ機械, 42 (2014), 737-749.
- (35) Editors : Kim, K.H., Chahine, G., Franc, J.P. and Karimi, A., Fluid Mechanics and its Applications Vol. 106, Advanced Experimental and Numerical Techniques for Cavitation Erosion Prediction, (2014), 399, Springer.
- (36) Sasaki, H., Yasuda, J., Takagi, R., Miyashita, T., Goto, K., Yoshizawa, S. and Umemura, S., Highly Efficient Cavitation-Enhanced Heating with Dual-Frequency Ultrasound Exposure in High-Intensity Focused Ultrasound Treatment, *Japanese J. of Applied Physics*, 53 (2014), 07KF11, 1-4.
- (37) Lentacker, I., De Cock, I., Deckers, R., De Smedt, S.C., Moonen, C.T.W., Understanding Ultrasound Induced Sonoporation : Definitions and Underlying Mechanisms, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 72 (2014), 49-64.
- (38) Bagal, M.V. and Gogate, P.R., Wastewater Treatment Using Hybrid Treatment Schemes Based on Cavitation and Fenton Chemistry : A Review, *Ultrasonics Sonochemistry*, 21 (2014), 1-14.
- (39) Karimi, M., Jenkins, B. and Stroeve, P., Ultrasound Irradiation in the Production of Ethanol from Biomass, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 40 (2014), 400-421.
- (40) Soyama, H., Surface Mechanics Design of Metallic Materials on Mechanical Surface Treatment, *Mech. Eng. Rev.*, 2 (2015), 14-00192, 1-21.
- (41) Didier, E., Neves, D.R.C.B., Martins, R. and Neves, M.G., Wave Interaction with a Vertical Wall : SPH Numerical and Experimental Modeling, *Ocean Eng.*, 88, 15 (2014), 330-341.
- (42) Sefid, M., Fatehi, R. and Shamsoddini, R.A., Modified Smoothed Particle Hydrodynamics Scheme to Model the Stationary and Moving Boundary Problems for Newtonian Fluid Flows, *ASME J. Fluids Eng.*, 137-3 (2014), 031201-031201-9.
- (43) Esmailzadeh, H.H. and Passandideh-Fard, M.M., Numerical and Experimental Analysis of the Fluid-Structure Interaction in Presence of a Hyperelastic Body, *ASME J. Fluids Eng.*, 136-11 (2014), 111107-111107-12.
- (44) Sun, X., Sakai, M., Sakai, M. and Yamada, Y., A Lagrangian-Lagrangian Coupled Method for Three-dimensional Solid-liquid Flows Involving Free Surfaces in a Rotating Cylindrical Tank, *Chem. Eng. J.*, 246-15 (2014), 122-141.
- (45) Avesani, D., Dumbser, M. and Bellin, A., A New Class of Moving-least-squares WENO-SPH Schemes, *J. Comput. Phys.*, 270-1, (2014) 278-299.
- (46) Muradoglu, M. and Tryggvason, G., Simulations of Soluble Surfactants in 3D Multiphase Flow, *J. Comput. Phys.*, 274, 1 (2014) 737-757.
- (47) 特集 [ガスタービンに関わる国内外の学術会議], 日本ガスタービン学会誌, 43-1 (2014) .
- (48) Frey, C., Ashcroft, G., Kersken, H.P. and Weckemuller, C., Advanced Numerical Methods for the Prediction of Tonal Noise in Turbomachinery—Part II : Time-Linearized Methods, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 021003-1-021003-10.
- (49) Weichert, S. and Day, I., Detailed Measurements of Spike Formation in an Axial Compressor, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 051006-1-051006-9.
- (50) Davidson, F.T., Kistenmacher, D.A. and Bogard, D.G., Film Cooling with a Thermal Barrier Coating : Round Holes, Craters, and Trenches, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 041007-1-041007-11.
- (51) Luo, J., Zhou, C. and Liu F., Multipoint Design Optimization of a Transonic Compressor Blade by Using an Adjoint Method, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 051005-1-051005-10.
- (52) Yoon, S., Curtis, E., Denton, J. and Longley, J., The Effect of Clearance on Shrouded and Unshrouded Turbines at Two Levels of Reaction, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 021013-1-021013-9.
- (53) Starzmann, J., Kaluza, P., Casey, M.V. and Sieverding, F., On Kinematic Relaxation and Deposition of Water Droplets in the Last Stages of Low Pressure Steam Turbines, *J. of Turbomachinery*, 136 (2014), 071001-1-071001-10.
- (54) 草野和也・古川雅人・山田和豊, 半開放形プロペラファンにおける翼端渦の三次元構造, 日本機械学会論文集, 80-810 (2014), 1-17.
- (55) 福田泰之, 武山祐輔, 太田 有, 側板付羽根車を有する遠心送風機に発生する旋回不安定性擾乱の特性, 日本機械学会論文集, 80-809 (2014), 1-11.
- (56) 本多武史, 坂上誠二, 馮 益祥, 船崎健一, 小型遠心プロウ用羽根付きディフューザの翼間曲率半径が及ぼす流れと性能への影響, 日本機械学会論文集, 80-816 (2014), 1-16.
- (57) 2014 年 ASME 国際ガスタービン会議, 日本ガスタービン学会誌, 42-5 (2014) .
- (58) 飯尾昭一郎, 一般消費家庭向けマイクロ水力発電の取り組み, ターボ機械, 42-7 (2014), 451-457.
- (59) 重光 享, 植物性異物混入時における二重反転形小型ハイドロタービンの内部流れ, ターボ機械, 42-6 (2014), 363-370.
- (60) 加藤千幸, 直接シミュレーションによる乱流解析, ターボ機械, 42-5 (2014), 290-296.
- (61) 磁性流体研究連絡会, 磁性流体連合講演会講演予稿集, (2014-11), 1-43.
- (62) German Ferrofluid Community, Book of Abstracts of 14th German Ferrofluid Workshop, (2014-3), 1-95.
- (63) Blyth, M.G. and Parau, E.I., Solitary Waves on a Ferrofluid Jet, *J. Fluid Mech.*, 750 (2014), 401-420.
- (64) Khalil, K.S., Mahmoudi, S.R., Abu-dheir, N. and Varanasi, K.K., Active Surfaces : Ferrofluid-impregnated Surfaces for Active Manipulation of Droplets, *Appl. Phys. Lett.*, 105 (2014), 041604.
- (65) 14th International Conference on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2014) ホームページ
<http://www.ermr2014.com/>
- (66) Qiu, W., Hong, Y., Mizuno, Y., Wen, W. and Nakamura, K., Non-Contact Piezoelectric Rotary Motor Modulated by Giant Electrorheological Fluid, *Sensors and Actuators, A:Physical*, 217-15 (2014), 124-128.
- (67) Miyoshi T., Yoshida, K., Kim, J.W., EOM, S.I. and Yokota, S., Fabrication of a MEMS-Based ER Microgripper with an Alternating-Pressure Source, *Proc. of the 9th JFPS Int. Symp. on Fluid Power*, (2014-10), 438-441.
- (68) Tao, R., Du, E., Tang, H. and Xu, X., Neutron Scattering Studies of Crude Oil Viscosity Reduction with Electric Field, *Fuel*, 134 (2014), 493-498.
- (69) Li, W.H., Nakano, M., Tian, T.F., Totsuka, A. and Sato, C., Viscoelastic Properties of MR Shear Thickening Fluids, *Bulletin of JSME, J. of Fluid Science and Technology*, 9-2 (2014), JFST0019.
- (70) Li, Y.C., Li, J.C., Li, W.H. and Du, H.P., A State-of-the-Art Review on Magnetorheological Elastomer Devices, *Smart Materials and Structures*, 23-12 (2014), No.123001.
- (71) Nakano, M., Totsuka, A., Inaba, T. and Fukukita, A., Damping

- Properties of Seismic Linear Motion Damper with MR Fluid Composite Rotary Brake, *Proc. of the 9th JFPS Int. Symp. on Fluid Power*, (2014-10), 550-555.
- (72) Nishida, H., Nonomura, T. and Abe, T., Three-dimensional Simulations of Discharge Plasma Evolution on a Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator, *J. Appl. Phys.*, **115** (2014), 133301.
- (73) Haertel, B., von Woedtke, T., Weltmann, K.D. and Lindequist, U., Biomolecules & Therapeutics, Non-Thermal Atmospheric-Pressure Plasma Possible Application in Wound Healing, **22-6** (2014), 477-490.
- (74) Mitsugi, F., Nagatomo, T., Takigawa, K., Sakai, T., Ikegami, T., Nagahama, K., Ebihara, K. Sung, T. and Teii, S., Properties of Soil Treated With Ozone Generated by Surface Discharge, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42-12** (2014), 3706-3711.
- (75) Fujita, H., Kanazawa, S., Ohtani, K., Komiya, A., Kaneko, T. and Sato, T., Initiation Process and Propagation Mechanism of Positive Streamer Discharge in Water, *J. Appl. Phys.*, **116** (2014), 213301.
- (76) Watanabe, T., Liu, Y. and Tanaka, M., Investigation of Electrode Phenomena in an Innovative Thermal Plasma Process for Glass Melting, *Plasma Chem. Plasma Process*, **34** (2014), 443-456.
- (77) Kodama, N., Tanaka, Y., Kita, K., Uesugi, Y., Ishijima, T., Watanabe, S. and Nakamura, K., A Method for Large-Scale Synthesis of Al-Doped TiO₂ Nanopowder Using Pulse-Modulated Induction Thermal Plasmas with Time-Controlled Feedback Feeding, *J. Phys. D:Appl. Phys.*, **47** (2014), 195304.
- (78) Aubignat, E., Planche, M.P., Allimant, A., Billieres, D., Girardot, L., Bailly, Y. and Montavon, G., *J. of Phys. : Conference Series*, **550** (2014), 012019.
- (79) Jenista, J., Takana, H., Nishiyama, H., Krenek, P., Bartlova, M. and Aubrecht, V., Quai-Laminar Flow Characteristics in Hybrid-Stabilized Argon-Water Arc Discharge for Subsonic-Supersonic Regimes, *IEEE Trans. on Plasma Sci.*, **42** (2014), 2632-2633.
- (80) Nishida, S., Surbly, D., Yamaguchi, Y., Kuroda, K., Kagawa, M., Nakajima, T. and Fujimura, H., Molecular Dynamics Analysis of Multiphase Interfaces Based on in situ Extraction of the Pressure Distribution of a Liquid Droplet on a Solid Surface, *J. Chem. Phys.*, **140** (2014), 074707.
- (81) 富 正人・井川祥平・坪井伸幸・徳増 崇・津田伸一, 二原子分子流体の臨界点近傍におけるゆらぎ構造の分子動力学計算, 日本機械学会論文集, **80-816** (2014), TEP0231.
- (82) Mabuchi, T. and Tokumasu, T., Effect of Bound State of Water on Hydronium ion Mobility in Hydrated Nafion Using Molecular Dynamics Simulation, *J. Chem. Phys.*, **141** (2014), 104904.
- (83) Zhang, X. and Ding, Y., Thickness-dependent Structural and Transport Behaviors in the Platinum-Nafion Interface : a Molecular Dynamics Investigation, *Roy. Soc. Chem.*, **4** (2014), 44214-44222.
- (84) 小林敬之, 張 賀東, 福澤健二, 伊藤伸太郎, サブモノレイヤー極性液体潤滑膜の表面拡散に関する分子動力学シミュレーション, 日本機械学会第6回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, (2014-10), 21am2-F3.
- (85) Nakaye, S., Sugimoto, H., Gupta, N.K. and Gianchandani, Y.B., Thermally Enhanced Membrane Gas Separation, *European J. of Mechanics B/Fluids*, **49** (2015), 36-49.
- (86) Strongrich, A.D., O'Neill, W.J., Cofer A.G. and Alexeenko, A.A., Experimental Measurements and Numerical Simulations of the Knudsen Force on a Non-uniformly Heated beam, *Vacuum*, **109** (2014), 405-416.
- (87) Li, Q., Liang, T. and Ye, W., Knudsen Torque : A Rotational Mechanism Driven by Thermal Force, *Physical Review E*, **90** (2014), 033009.
- (88) Yonemura, S., Isono, S., Yamaguchi, M., Kawagoe, Y., Takeno, T., Miki, H. and Takagi, T., Mechanism of Levitation of a Slider with a Micro/Nanoscale Surface Structure on a Rotating Disk, *Tribology Letters*, **55** (2014), 437-454.
- (89) Dupeux, G., Bourrienne, P., Magdelaine, Q., Clanet, C. and Quéré, D., Propulsion on a Superhydrophobic Ratchet, *Scientific Reports*, **4** (2014), 5280.
- (90) Sackmann, E.K., Fulton, A.L. and Beebe, D.J., The Present and Future Role of Microfluidics in Biomedical Research. *Nature*. **507-7491** (2014), 181-189.
- (91) Song, P.Y., Hu, R., Tng, D.J.H. and Yong, K.T., Moving towards Individualized Medicine with Microfluidics Technology, *Rsc Advances*, **4-22** (2014), 11499-11511.
- (92) Ghosh, A., Ganguly, R., Schutzius, T.M. and Megaridis, C.M., Wettability Patterning for High-rate, Pumpless Fluid Transport on Open, Non-planar Microfluidic Platforms, *Lab on a Chip*. **14-9** (2014), 1538-1550.
- (93) Weibull, E., Matsui, S., Andersson Svahn, H. and Ohashi, T., A Microfluidic Device towards Shear Stress Analysis of Clonal Expanded Endothelial Cells. *J. of Biomechanical Science and Engineering*, **9-1** (2014), JBSE0006.
- (94) Gao, H., Ma, X.S., Qi, N., Berry, C., Griffith, B.E. and Luo, X.Y., A Finite Strain Nonlinear Human Mitral Valve Model with Fluid-structure Interaction. *Int. J. for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, **30-12** (2014), 1597-1613.
- (95) Matsunaga, D., Imai, Y., Omori, T., Ishikawa, T. and Yamaguchi, T., A Full GPU Implementation of a Numerical Method for Simulating Capsule Suspensions. *J. of Biomechanical Science and Engineering*, **9-3** (2014), 14-00039.
- (96) Sun, Z.H. and Xu, L., Computational Fluid Dynamics in Coronary Artery Disease. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **38-8** (2014), 651-663.
- (97) Salinas, M. and Ramaswamy, S., Computational Simulations Predict a Key Role for Oscillatory Fluid Shear Stress in de novo Valvular Tissue Formation, *J. of Biomechanics*, **47-14** (2014), 3517-3523.
- (98) Slesnick, T.C. and Yoganathan, A.P., Computational Modeling of Fontan Physiology : at the Crossroads of Pediatric Cardiology and Biomedical Engineering, *Int. J. of Cardiovascular Imaging*, **30-6** (2014), 1073-1084.
- (99) Li, Y., Anzai, H., Nakayama, T., Shimizu, Y., Miura, Y., Qiao, A. and Ohta, M., Simulation of Hemodynamics in Artery with Aneurysm and Stenosis with Different Geometric Configuration, *J. of Biomechanical Science and Engineering*, **9-1** (2014), JBSE0003.
- (100) Toppaladoddi, S. and Balmforth, N.J., Slender Axisymmetric Stokesian Swimmers, *J. Fluid Mech.*, **746** (2014), 273-299.
- (101) Kanehl, P. and Ishikawa, T., Fluid Mechanics of Swimming Bacteria with Multiple Flagella, *Phys. Rev. E*, **89** (2014), 042704.
- (102) Ishimoto, K. and Gaffney, E.A., A Study of Spermatozoan Swimming Stability near a Surface, *J. Theor. Biol.*, **360** (2014) 187-199.
- (103) Liu, B., Breuer, K.S. and Powers, T.R., Propulsion by a Helical Flagellum in a Capillary Tube, *Phys. Fluids*, **26** (2014), 011701.
- (104) Masoud, H. and Stone, H. A., A reciprocal Theorem for Marangoni Propulsion, *J. Fluid Mech.*, **741** (2014), R4.
- (105) Lopez, D. and Lauga, E., Dynamics of Swimming Bacteria at Complex Interfaces, *Phys. Fluids*, **26** (2014), 071902.
- (106) Zhan, C., Sardina, G., Lushi, E. and Brandt, L., Accumulation of Motile Elongated Micro-organisms in Turbulence, *J. Fluid Mech.*, **739** (2014), 22-36.
- (107) Lillo, F. D., Cencini, M., Durham, W. M., ほか, Turbulent Fluid Acceleration Generates Clusters of Gyrotactic Microorganisms, *Phys. Rev. Lett.*, **112** (2014), 044502.
- (108) Ishikawa, T. and Pedley, T. J., Dispersion of Model Microorganisms Swimming in a Nonuniform Suspension, *Phys. Rev. E*, **90** (2014), 033008.
- (109) Hwang, Y. and Pedley, T.J., Bioconvection under Uniform Shear : Linear Stability Analysis, *J. Fluid Mech.*, **738** (2014), 522-562.
- (110) Hwang, Y. and Pedley, T. J., Stability of Downward Gyrotactic Microorganism Suspensions in a Two-dimensional Vertical Channel, *J. Fluid Mech.*, **749** (2014), 750-777.
- (111) Ishikawa, T., Shioiri, T., Numayama-Tsuruta, K., ほか, Separation of Bacteria Using the Near-wall Drift Velocity in a Microchannel, *Lab Chip*, **14** (2014), 1023-1032.
- (112) Guidobaldi, A., Jeyaram, Y., Berdakin, I., ほか, Geometrical Guidance and Trapping Transition of Human Sperm Cells, *Phys. Rev. E*, **89** (2014), 032720.