

7.

流体工学

7・1

まえがき

流体工学は宇宙から環境・エネルギー、生体、医療、ナノテクノロジーに至るまで極めて広い分野に関連している。ここでは機械工学として流体工学の重要な分野であり、研究の進展が著しい、流体機械、乱流、混相流、マイクロ・ナノ流体、生体流れ・医療応用、音響・騒音、流れの計測・可視化を取り上げ、2013年の研究の動向を報告する。

流体機械の節では、数値解析手法の高度化とその援用、再生可能エネルギーに関連した研究の進展などが報告されている。乱流の節では、多様な研究が継続的に実施されており、乱流制御、反応を伴う流れ、実用的な数値解析の進展などが報告されている。混相流の節では、マイクロ分散相を含む流れ、環境関連問題への応用、キャビテーション現象の数値解析の動向などが報告されている。マイクロ・ナノ流体の節では、ナノテクノロジーの進展によりさまざまな分野で注目されており、多くの研究が飛躍的に進歩しており、詳細な現象解明、システム化研究、研究拠点の整備の状況などが報告されている。生体流れ・医療応用の節では、最近の進展が著しい血流の数値解析と医療への展開の状況が詳しく報告されている。音響・騒音の節では、ファン・風車、航空機・車体周りの流体騒音、構造・騒音連成など活発化している研究の現状が報告されている。流れの計測・可視化の節では、時間・空間精度の向上に関する研究の進展、異相界面における計測などの研究状況が報告されている。

[松本 洋一郎 東京大学]

7・2

流体機械

空気機械に関しては、定圧のファン・プロワから高圧の多段圧縮機、ガスタービン、蒸気タービンに至るまで、幅広い分野で精力的に研究が展開されている。2013年6月にアメリカSan Antonioで開催されたASME Turbo Expo 2013では、軸流ファン・圧縮機関係52編、軸流タービン関係39編、遠心圧縮機・ラジアルタービン関係31編、CFD(数値流体力学)を援用した非定常流れに関する研究43編など、ターボ機械関連で230編を超える論文が発表されている。近年は汎用数値解析コードがますます高性能になり、CFDはもはや流体機械研究において必要不可欠な存在になっている。「京」などの高速大容量計算機を用いた数十億点の計算格子を有する大規模計算も進行中である。

空気機械に関する研究は、多目的最適化法やCFDを援用した性能・効率向上に関する研究と、サージや旋回失速を始めとする各種非定常現象の解明と制御に関する研究とに大別される。前者の例としては、遷音速軸流圧縮機動翼の三次元形状に関する最適設計法の提案⁽¹⁾、過給機用ラジアルタービンの性能向上を指向してANN(Artificial Neural Network)を用いた最適設計法の提案⁽²⁾、スリットディフューザを用いた遠心プロワの高効率・低騒音化⁽³⁾、二重反転タービンの性能に与える翼間距離の影響⁽⁴⁾などが報告されている。一方、後者の例としては、軸流圧縮機においてサージの予兆現象となる旋回擾乱に関する実験的研究⁽⁵⁾、サージと旋回失速共存状態での翼列間流れの調査⁽⁶⁾、CT(Casing Treatment)を用いた遠心圧縮機の安定作動領域拡大の試み⁽⁷⁾などが行われている。とくに、旋回失速の予兆現象と制御に関しては多くの研究が展開されており、翼面

上の圧力変動波形から失速の予知を試みたもの⁽⁸⁾、翼端隙間流れの影響を調査したもの⁽⁹⁾、翼端隙間での運動量流束が失速初生に与える影響を調査したもの⁽¹⁰⁾、遠心羽根付ディフューザの失速初生に関する調査⁽¹¹⁾なども報告されている。

このほかには、PC冷却用などに用いられる小形ファン⁽¹²⁾⁽¹³⁾と再生可能エネルギーの有効利用を見据えた風車の研究⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾が盛んである。また、日本ガスタービン学会誌2012年3月号には「風力発電の技術開発動向」、ターボ機械2013年1月号には「A-USCへの蒸気タービンの取り組み」が紹介されている。

水力機械に関しては、CFDと実験を併用したポンプ、水車あるいはポンプ水車に関する研究が盛んに行われている。ポンプに関する報告例としては、軸流ポンプの翼端漏れ渦軌跡の非定常挙動に関する実験と数値解析⁽¹⁶⁾、高比速度の二重反転軸流ポンプの低速化・小型化に向けた設計法の提案⁽¹⁷⁾、翼先端部の部分負荷が異なる斜流ポンプ羽根車に発生する不安定特性⁽¹⁸⁾、遠心羽根車にVR(Vortex Rotor)を併設した遠心渦ポンプの性能改善⁽¹⁹⁾などがある。一方、水車に関する報告例としては、小水力発電用の二重反転形小形水車の性能に関する研究⁽²⁰⁾、ダリウス形水車の開水路への適用に関する実験研究⁽²¹⁾、垂直軸プロペラ水車のランナ羽根枚数による性能・効率への影響調査⁽²²⁾などがある。ポンプ水車においては、不安定現象の発生要因となるS字特性に研究の焦点が絞られ、内部流れ場の詳細調査⁽²³⁾や不等ピッチ案内羽根の設置による不安定現象からの回避⁽²⁴⁾などが報告されている。このほかには、軸流ポンプに発生するキャビテーションの初生に関するLES解析⁽²⁵⁾、ポンプに発生するキャビテーションが原因となる不安定現象に関する詳細な調査報告⁽²⁶⁾がある。

[太田 有 早稲田大学]

7・3

乱流

乱流現象は多彩であり、その解明へ向けて研究者それぞれの独自なアプローチが続いている。壁面のない自由乱流^{(27)~(29)}ならびに乱流境界層⁽³⁰⁾⁽³¹⁾に関する詳細な実験などが代表的と言える。また、実験やシミュレーションによりベースとなる乱流場に及ぼす外乱の影響の調査^{(32)~(35)}は、乱流の制御指針に示唆を与えるものである。乱流の制御に関しては多様な問題が取り上げられ、実験、シミュレーションの両面からアプローチがなされている。界面活性剤⁽³⁶⁾やポリマー⁽³⁷⁾を用いた抵抗低減、表面形状の変更⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾やジェットを用いたはく離制御⁽⁴⁰⁾が試みられた。計測手法に関する研究としては、現象解明を目的とした圧力速度変動の同時計測法の開発⁽⁴¹⁾と並んで、より工学的な側面の強い壁面せん断応力⁽⁴²⁾、エンジン内の高速PIV(Particle Image Velocimetry)計測⁽⁴³⁾などが試みられた。反応を伴う乱流や、乱流による熱物質輸送に関する研究も実験⁽⁴⁴⁾、シミュレーション⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾、モデリングの試み⁽⁴⁷⁾がなされている。数値シミュレーションによるアプローチでは回転の効果を論じたDNS⁽⁴⁸⁾、体積平均LES(Large Eddy Simulation)モデルの検討⁽⁴⁹⁾からレイノルズ平均モデルの評価が行われた。一方で、実験結果と補完的な情報を得る目的で商用CFDコードを用いるケースも見受けられた。総じて、乱流の数値解析に関しては開発から応用へと比重が移っており、その信頼性自体も一定の格子数が確保されれば現象解析にも十分耐える程度まで向上してきている。

[小尾 晋之介 慶應義塾大学]

7・4

混相流

混相流の分野では、近年、マイクロ分散相に関する研究が盛んである。本会論文集においても、2013年度には、文献(50)～(53)などの論文が掲載されている。文献(50)では、磁性流体への応用として棒状ヘマタイト粒子分散系をブラウン動力学を用いて解析している。文献(51)では、音場とマイクロバブル・アクリル粒子との相互作用について実験的解析を行っている。文献(52)では、マイクロ液滴でとくに重要となる壁面に付着した液滴における濡れ性や表面張力の温度依存性(マランゴニ効果)を、Front Tracking法を用いて精度よく計算するための手法が提案されている。また、文献(53)でもマランゴニ効果を利用した混合の方法について実験および数値計算により検討されている。

マイクロ分散相に関する研究が盛んに行われている領域として、赤血球を考慮した血流の数値解析がある^{(54)～(56)}ほか、とくにわが国における「京」コンピュータを始め、国外でもペタフロップス超のスーパーコンピュータが出現し、100万個を超えるような大量の赤血球を含む計算が行われようになってきた⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾。今後は疾患のメカニズム解明や薬効の評価などに向けてどのような計算が可能になるかの議論が重要となる。

個々の分散相に働く力や流れの理論解析・数値計算に関しては、2013年度は分散相に働く非定常力である付加質量力と履歴力に関して、乱流場における分散相の運動をモデル化する際のスケーリングについて詳細な解析を行っているもの⁽⁵⁷⁾、回転楕円体の気泡の後流の安定性について調べたもの⁽⁵⁸⁾、界面活性剤が気泡の複雑な三次元運動(らせん運動、ジグザグ運動)に与える影響を実験的に調べたもの⁽⁵⁹⁾などが報告された。

従来の流体工学が対象としてきたスケールの研究の中では、文献(60)、(61)などが興味深い。文献(60)では、缶ジュースなどを飲むときに、飲料缶から流れ出る液体の挙動の数値シミュレーションを実施し実験と比較している。気液二相流に関する混相流の研究としても興味深い。また、文献(61)では、1mを超える水槽内の気泡プルームに対する密度成層の影響を調べており、湖沼の浄化技術とも関連して興味深い。

キャビテーションの計算に関して、その難しさのため、従来、実験との比較によりパラメータを調整し、実験データを再現するようにモデルを作り上げることが多かった。これに対し、論文(62)では、均質媒体モデルを用いた際に、気相の生成、消滅に伴う体積変化により、どの程度の誤差が生じるか既存の実験データとの比較を通じて定量的な議論を行っている。補足までに、スーパーコンピュータの計算で、計算規模や計算結果のインパクトで世界一に与えられる ACM Gordon Bell賞は、昨年は、キャビテーション気泡クラウドの崩壊運動のシミュレーションであった⁽⁶³⁾。

さて、2013年の5月末には、混相流の分野で最も大きな国際会議(ICMF2013)が、韓国、済州島で開かれ、混相流関係の最先端の研究内容について700件ほどの発表が行われた。Keynote20件のうち、日本人の発表が6件と、日本の研究この分野におけるアクティビティの高さを反映しており、気泡吹き出しによる船舶の抵抗低減に関する実船を用いた実験⁽⁶⁴⁾を始め、気泡・液滴・粒子・ベシクルなど分散相を扱った講演が多くあった。

また、国内で開かれた混相流関連のいちばん大きな学会である混相流シンポジウムでは、ここ10年ほどマイクロバブル・ナノバブルに関する話題が非常に増えており、実用化を目指した事例も多い。2013年度も同様の傾向であった。このときの講演会の精選論文が論文集⁽⁶⁵⁾としてまとめられている。文献(66)では、ベンチュリ型マイクロバブル生成装置を用いて洗浄技術への応用を目指した実験が行われている。

[高木 周 東京大学]

7・5

マイクロ・ナノ流体

ナノ・マイクロテクノロジーの進展により、さまざまな分野においてマイクロ・ナノ流体は着目されるようになり、国内の機械工学関連では、本会年次大会(2013年9月、岡山)、流体工学部門講演会(2013年11月、九州)や熱工学コンファレンス(2013年10月、弘前)において、国外では幅広い分野を網羅している世界最大規模の Micro TAS(正式名称 International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, 2013年10月、フライブルク)において活発な議論が交わされ、最新の動向を把握することができる。さらにマイクロ・ナノ流体に関する研究成果を掲載している国内誌および国際誌は多岐にわたっているが、2013年6月には、とくにマイクロ・ナノ流体に主眼を置いている国際誌 Microfluidics and Nanofluidics から Special Issue : Microfluidics and Nanofluidics in Japan と題した特集号が発刊され、国内のさまざまな分野から厳選された14編の論文が紹介された。中でも新たに計測法^{(67)～(69)}の登場や精緻な現象解明⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾により、新たな展開が期待できる。

機械工学の観点からマイクロ・ナノ流体を鑑みると、流路設計・製作⁽⁷²⁾、熱流動計測による現象解明⁽⁷³⁾、混合や分離等の機能制御⁽⁷⁴⁾、アプリケーションに向けたシステム化⁽⁷⁵⁾に大別されるが、現在では高価な装置群を個々の組織が保有し維持して、個人が研究を行うのは限界がある。そこで国内では組織間のネットワーク化が進み、低炭素ネットワーク、ナノテクノロジープラットフォームやグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス(GRENE)事業先進材料環境材料分野:「低炭素社会の実現に向けた人材育成ネットワークの構築と先進環境材料・デバイス創製」による有機的な繋がりにより、革新的な研究や開発が促進されている。一方、ヨーロッパでは国際拠点化が加速され、現在ではフランス・グルノーブル市にある MINATEC⁽⁷⁶⁾が世界の先導的な役割を果たしている。

[佐藤 洋平 慶應義塾大学]

7・6

生体流れ・医療応用

生体流れは、内部流れと外部流れに大別することができる⁽⁷⁷⁾。前者は、循環器系を中心とした血液の流れや脳脊髄液、そして呼気の流れを例として取り上げることができる。後者は、魚の周りの流れや昆虫や鳥などの飛翔体周りの流れが挙げられる。各流れに対する研究の主なアプローチとしては、数値シミュレーション、PIVによる可視化計測である。そのなかで、近年ではとくに血流の数値シミュレーションの発展はめざましく、医療応用への応用が進んでいる⁽⁷⁸⁾⁽⁷⁹⁾。そこで、生体流れの医療応用という観点で、研究が活発に進められている循環器系の血流シミュレーションを中心にまとめる。

近年の血流シミュレーションの研究では、CT(Computed Tomography)あるいはMRI(Magnetic Resonance Image)などの医用画像診断装置の空間および時間解像度が向上していることを利用して、医用画像と数値シミュレーションを融合し、個別に対応した Patient-Specific Modeling and Simulation が1990年代後半から始まり、現在では主流となっている⁽⁸⁰⁾⁽⁸¹⁾。患者個別の血流シミュレーションは、一般に三つのプロセスから成り立っている。第一のプロセスは、プレ・プロセッシングである。医用画像から必要な形状を抽出し、三次元形状の再構築により解析モデルを作成する。第二のプロセスはこれらの解析モデルを用いて数値シミュレーションを行う。最後の第三プロセスはポスト・プロセッシングであり、データ処理や結果の可視化を行う。約15年がたち、個人に対応した血流シミュレーションの具体的な医用展開も見られ始めている。一方、さまざまな課題も現れ、研究として新しい分野が立ち上がっている⁽⁸²⁾。

通常、医用画像からの形状モデリングでは、医用画像を領域分割し、三次元形状の表面形状を作成したのちに、有限体積あるいは有限要素法などの非構造格子のためのメッシュ作成を行

う。最近では、医用画像 Voxel データをそのままシミュレーションに用いる方法が提案されている⁽⁸³⁾。一方、シミュレーションの分野においては、2010 年以降は、①マルチスケール（マルチドメイン）解析、②連成解析、③医療応用の三点が研究として着目されている。

現行の医用画像の解像度は、CT で約 0.2mm、MRI は約 1mm である。そのため、医用画像で得ることのできない末梢血管等の影響をどのように考慮するかが課題である。とくに、術後の予測などを行う場合には、血流の流量調整が末梢血管で行われるため、医用画像の情報だけでなく、全身循環系の血流を考える必要がある。しかし、全身循環系を三次元解析するのではなく、また、必要な詳細な情報は疾患のある局所的な部分である。そこで、全身循環をネットワーク構造として捉え、主な動脈などを一次元モデル、微小循環を 0 次元モデルで表して解析し、得られる流量や血圧の情報を三次元詳細解析の境界条件として与える手法が開発されている。このように三次元-一次元-0 次元解析を統合した解析手法、マルチスケールあるいはマルチドメイン血流シミュレーションと呼ばれ、研究が進んでいる^{(84) (85)}。

一方、三次元解析では通常、血管壁を剛体壁として取り扱うことが多い。そこで、血管壁を弾性壁として取り扱う流体構造連成問題の開発も進んでいる^{(83) (86) (87)}。通常、流体解析はオイラー座標系であり、構造解析流体のラグランジエ座標系で記述される。これらの違いを踏まえて、流体の移動境界の取り扱い、構造解析における材料非線形性や幾何学的非線形性の取り扱い、そして流体と構造解析の連成手法など、さまざまな手法が提案されている。

近年、医療の現場ではステント留置手術あるいはコイリングによる動脈瘤手術などの血管内治療が普及している。血管内治療は、患者の身体的・経済的な負担が少ないと考えられる。しかし、治療実績が短いことから、患者にとって最良の手術を探るためのケース・スタディに血流シミュレーションを適用する研究が進められている⁽⁸⁸⁾。また、PET (Positron Emission Tomography) などの医用画像の代わりにシミュレーションを用いることで心臓の予備能力を予測する研究が始まっている^{(79) (80)}。

[大島 まり 東京大学]

7・7

音響・騒音

音響・騒音に関する国際学会として、2013 年 9 月に Inter-Noise 2013 (オーストリア) が開かれ計 700 件以上の報告がなされた。とくに、ファン・風車周りの騒音、高速輸送機関に関連する騒音について議論が活発になされた。日本での新幹線からの騒音の低減技術に関する講演⁽⁸⁹⁾を始めとして、鉄道騒音に関するセッションでは 28 件の報告が、航空機騒音に関するセッションでは 39 件の報告がなされた。また、電気自動車の普及に備え、ウインドスロップ・HVAC 騒音などの空力騒音に関する報告が多く見られ、自動車・ロードノイズに関するセッションでは 51 件の報告がなされた。構造振動と音響の連成に関連するセッションにおいても 23 件の報告がなされており、この分野に注目が集まっていると考えられる。5 月には 19th AIAA / CEAS Aeroacoustics Conference (34th AIAA Aeroacoustics Conference) (ドイツ) が、7 月には 20th International Congress on Sound & Vibration (タイ) が開かれ、関連する発表があった。国内学会としては、本会年次大会・流体力学部門講演会における関連するセッションでの報告とともに、12 月には第 33 回の流力騒音シンポジウムが開かれ、国内の流力騒音に関する幅広い活発な議論がなされた。

本会論文集にも幅広い・数多くの関連する報告がなされたが、とくに 2013 年度は「空力騒音研究の最前線」特集号が組まれ、車内騒音に関する研究⁽⁹⁰⁾や送風機に関する研究⁽⁹¹⁾など企業からの研究成果も多く発表された。

空力騒音の数値解析に関する研究としては、線形安定性理論に基づいたもの⁽⁹²⁾、Lighthill の音響アナロジーを用いた流れ場と音響場を別々に解く分離解法に関するもの⁽⁹³⁾、圧縮性

Navier-Stokes 方程式に基づく直接解法に関するもの⁽⁹⁴⁾、それぞれにおいて数多くの報告がなされていた。直接解法においては、格子ボルツマン法⁽⁹⁵⁾や、固定の格子を用いつつ埋め込み境界法の一種である Volume penalization method を導入し移動物体を表現する手法⁽⁹⁶⁾に関する研究が活発になっていた。今後、複雑形状・移動物体周りからの空力騒音への直接解法の適用方法の確立が期待される。

実験の分野においては、低騒音風洞の開発⁽⁹⁷⁾や吸音パネルの開発⁽⁹⁸⁾が見られた。また、空力騒音の制御として、翼後縁騒音の制御としてセレーションを利用したもの⁽⁹⁹⁾、プラズマアクチュエータを用いたもの⁽¹⁰⁰⁾が報告されており、今後のさらなる発展が期待されている。

[横山 博史 豊橋技術科学大学]

7・8

流れの計測・可視化

当該分野の国際会議として The 12th Asian Symposium on Visualization (ASV12 : Tainan, Taiwan) と The 10th International Symposium on Particle Image Velocimetry (PIV13 : Delft, the Netherlands) が開催され、前者では 125 件、後者では 161 件（含む、ポスター発表 28 件）の研究発表がなされた。研究テーマの動向を大胆にまとめると、「計測・可視化手法」としては Time-resolved, Whole-field, LIF (Laser Induced Fluorescence) であり (ASV12 : 10 件, PIV13 : 58 件)、「計測・可視化対象」としては Droplet, Film, Gas-liquid interface である (ASV12 : 13 件, PIV13 : 12 件)。流速測定の whole-field 手法である Tomographic PIV に関する研究が精力的に続けられており、その状況がレビュー論文⁽¹⁰¹⁾として報告されている。当該分野の代表的ジャーナルである Experiments in Fluids の 2013 年掲載論文を見ると、全 215 編のうち、上記「計測・可視化手法」に属するものが 38 編、上記「計測・可視化対象」に属するものが 46 編である。「手法」としては Time-resolved が最も多く (13 編)、Tomographic PIV に関するものはいまだ 6 編である。なお、13 編には、流体実験における高速度撮影のレビュー論文⁽¹⁰²⁾も含まれる。

上述の国際会議での研究発表動向を鑑みると、Time-resolved 手法から Whole-field 手法（あるいは、Time-resolved 手法に Whole-field 手法を組み合わせたもの）への変化が予想され、論文報告がなされつつある⁽¹⁰³⁾。Whole-field 手法として、plenoptic カメラの利用が着目されている⁽¹⁰⁴⁾。計測手法の高度化と並行して、計測の不確かさの再認識がなされており、PIV13 では「Measurement Uncertainty」が単独セッションで取り上げられた。Droplet, film, gas-liquid interface は計測・可視化が難しい対象であり、複数の手法を組み合わせたアプローチが進められている [たとえば、文献 (105)]。気液界面の影響を受けにくいシンクロトロン光の利用も報告されている⁽¹⁰⁶⁾。

[西野 耕一 横浜国立大学]

文 献

- (1) Myoren, C., Takahashi, Y. and Kato, Y., Multi-Objective Optimization of Three-Dimensional Blade Shape for an Axial Compressor Rotor in Transonic Stage, *Int. J. of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems*, 5-1 (2013), 8-16.
- (2) Mueller, L., Alsalihi, Z. and Verstraete, T., Multidisciplinary Optimization of a Turbocharger Radial Turbine, *Trans. ASME, J. of Turbomachinery*, 135 (2013), 021022.
- (3) 本多武史・坂上誠二・杉村和之・馳 益祥・荒巻森一朗・速水洋、遠心プロワ用スリットディフューザの高効率低騒音化に関する研究、日本機械学会論文集, 79-805, B (2013), 1784-1792.
- (4) Subbarao, R. and Govardhan, M., Effect of Axial Spacing between the Components on the Performance of a Counter Rotating Turbine, *Int. J. Fluid Machinery and Systems*, 6-4 (2013), 170-176.
- (5) Courtiade, N. and Ottavy, X., Experimental Study of Surge Precursors in a High-Speed Multistage Compressor, *Trans. ASME, J.*

- of *Turbomachinery*, 135 (2013), 061018.
- (6) Abe, T., Mitsui, H. and Ohta, Y., Coexisting Phenomena of Surge and Rotating Stall in an Axial Flow Compressor, *J. of Thermal Science*, 22-6 (2013), 547-554.
 - (7) Chen, H. and Lei, V., Casing Treatment and Inlet Swirl of Centrifugal Compressors, *Trans. ASME, J. of Turbomachinery*, 135 (2013), 041010.
 - (8) Young, A., Day, I. and Pullan, G., Stall Warning by Blade Pressure Signature Analysis, *Trans. ASME, J. of Turbomachinery*, 135 (2013), 011033.
 - (9) 山田和豊・喜久田敬明・古川雅人・郡司鷗智・原 靖典, 軸流圧縮機動翼列における旋回失速初生プロセスに及ぼす翼端すき間流れの影響, 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 900-916.
 - (10) Cameron, J., Bennington, M., Ross, M., Morris, S., Du, J., Lin, F. and Chen, J., The Influence of Tip Clearance Momentum Flux on Stall Inception in a High-Speed Axial Compressor, *Trans. ASME, J. of Turbomachinery*, 135 (2013), 051005.
 - (11) Everitt, J. and Spakovszky, Z., An Investigation of Stall Inception in Centrifugal Compressor Vaned Diffuser, *Trans. ASME, J. of Turbomachinery*, 135 (2013), 011025.
 - (12) 川口清司・渡邊文庸・大江健司, 吸込口側に障害物を有する小型軸流ファンにおける翼周りの流れと圧力変動, ターボ機械, 41-12 (2013), 723-733.
 - (13) 千葉皓太・船崎健一・谷口英夫, 狹隘環境で使用される小型軸流ファンの流れ場及び騒音特性に関する研究, ターボ機械, 41-8 (2013), 492-501.
 - (14) 井上尚子・西村紗也香・原 豊・住 隆博, 垂直軸風車特性予測のための広迎角範囲・広レイノルズ数範囲における翼型空力特性のCFD計算, ターボ機械, 41-2 (2013), 104-109.
 - (15) 飯野光政・飯田 誠, 風向急変時の風向追従における可動式小形風車尾翼の影響, 日本機械学会論文集, 79-807, B (2013), 2334-2351.
 - (16) Desheng, Z., Weidong, S., Suqing, W., Dazhi, P., Peipei, S. and Haiyu, W., Numerical and Experimental Investigation of Tip Leakage Vortex Trajectory in Axial Flow Pump, *ASME FEDSM2013*, (2013-7), 16058.
 - (17) Cao, L., Watanabe, S., Momosaki, S., Imanishi, T. and Furukawa, A., Low Speed Design of Rear Rotor in Contra-Rotating Axial Flow Pump, *Int. J. Fluid Machinery and Systems*, 6-2 (2013), 105-112.
 - (18) 西 泰行・福富純一郎・中村俊介, 翼端羽根負荷分布の異なる斜流ポンプの不安定特性に関する研究, 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 939-952.
 - (19) Mihalic, T., Guzovic, Z. and Predin, A., Performances and Flow Analysis in the Centrifugal Vortex Pump, *Trans. ASME, J. of Fluids Engineering*, 135 (2013), 011107.
 - (20) 重光 亨・福富純一郎・箕畑達介, 二重反転形小形ハイドロタービンに関する研究, ターボ機械, 41-2 (2013), 110-115.
 - (21) Tanaka, K., Hirowatari, K., Shimokawa, K., Watanabe, S., Matsushita, D. and Furukawa, A., A Study on Darrieus-type Hydroturbine toward Utilization of Extra-Low Head Natural Flow Streams, *Int. J. Fluid Machinery and Systems*, 6-3 (2013), 152-159.
 - (22) Byeon, S. and Kim, Y., Influence of Blade Number on the Flow Characteristics in the Vertical Axis Propeller Hydro Turbine, *Int. J. Fluid Machinery and Systems*, 6-3 (2013), 144-151.
 - (23) Yin, J., Wang, D., Wei, X. and Wang, L., Hydraulic Improvement to Eliminate S-Shaped Curve in Pump Turbine, *Trans. ASME, J. of Fluids Engineering*, 135 (2013), 071105.
 - (24) Sun, H., Xiao, R., Liu, W. and Wang, F., Analysis of S Characteristics and Pressure Pulsations in a Pump-Turbine With Misaligned Guide Vanes, *Trans. ASME, J. of Fluids Engineering*, 135 (2013), 051101.
 - (25) Hah, C. and Katz, J., Study of Alternating Passage Cavitation Inception in an Axial Water Jet Pump with Large Eddy Simulation, *ASME FEDSM2013-16095*, (2013).
 - (26) Brennen, C. E., A Review of the Dynamics of Cavitating Pumps, *Trans. ASME, J. of Fluids Engineering*, 135 (2013), 061301.
 - (27) 鈴木浩之・長田孝二・酒井康彦・鈴木博貴・寺島 修・稻葉拓人, フラクタル格子乱流の空間発展に関する風洞実験(第1報 I型熱線プローブを用いた乱流場の基本特性の計測), 日本機械学会論文集, 79-798, B (2013), 115-125.
 - (28) 稲葉拓人・長田孝二・酒井康彦・鈴木浩之・寺島 修・鈴木博貴, フラクタル格子乱流の空間発展に関する風洞実験(第2報 I型及びX型熱線プローブを用いた乱流場の乱れエネルギー輸送の計測), 日本機械学会論文集, 79-804, B (2013), 1476-1488.
 - (29) 池田 寛・小園茂平, 低波数帯域に入力された擾乱の非線形干渉による一様乱流の生成(ランダム位相法により生成される乱流の特性), 日本機械学会論文集, 79-800, B (2013), 555-566.
 - (30) 畫田紘佑・長田孝二・酒井康彦・鈴木博貴・寺島 修, 乱流域の統計的特性に及ぼす円柱後流による主流乱れの影響, 日本機械学会論文集, 79-799, B (2013), 291-303.
 - (31) 亀田孝嗣・望月信介・大坂英雄, 二次元矩形粗面乱流境界層における壁近傍流れの力学, 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 927-938.
 - (32) 一宮昌司・松平隼人・藤村勇斗・大野英希, 周期的吹き出しによる円管助走部境界層の乱流遷移(孤立乱流塊の形状と成長), 日本機械学会論文集, 79-797, B (2013), 22-37.
 - (33) 一宮昌司・松平隼人・藤村勇斗, 周期的吹き出しによる円管助走部境界層の乱流遷移(孤立乱流塊内部の乱れと乱流塊の成長機構), 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 863-878.
 - (34) 一宮昌司・三浦武総・鍛田慎也, 二次元噴流出口混合層に及ぼす局所周期搅乱の効果(搅乱振幅と周波数の影響), 日本機械学会論文集, 79-806, B (2013), 2093-2108.
 - (35) 福留功二・飯田雄章, 低レイノルズ数ボアズイユ乱流に生じる大規模構造の縦渦への影響, 日本機械学会論文集, 79-807, B (2013), 2352-2362.
 - (36) 中村大吾・柄木 弘・小方 聰・渡辺敬三, 界面活性剤水溶液の抵抗減少効果に関する研究(溶媒や添加剤が円管内流動に及ぼす影響), 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 879-887.
 - (37) 歌田裕太・守 裕也・岩本 薫・村田 章・川口靖夫・安藤裕友・千田哲也, 平行平板間乱流に添加された直鎖状多連結ばねダンパ要素による摩擦抵抗低減の数値シミュレーション, 日本機械学会論文集, 79-806, B (2013), 1937-1950.
 - (38) 山岸陽一・木村茂雄・沖 真, 溝つき円柱の抗力低減に関する研究, 日本機械学会論文集, 79-805, B (2013), 1742-1751.
 - (39) 社河内敏彦・鬼頭みすゞ・辻本公一・安藤俊剛, 共鳴噴流の流动特性と切欠きノズルによる制御, 日本機械学会論文集, 79-798, B (2013), 126-139.
 - (40) 大谷 浄, 後方ステップ形状を持つ静翼のシンセティックジェットによる剥離制御, 日本機械学会論文集, 79-806, B (2013), 1927-1936.
 - (41) 大西一弘・寺島 修・酒井康彦・長田孝二・伊藤靖仁, 乱流中の速度三成分と変動圧力の同時計測, 日本機械学会論文集, 79-800, B (2013), 541-554.
 - (42) 木綿隆弘・歌野原陽一・中村 晶・木村繁男・小松信義・山田 紘司・菅原康裕・中道淳平, 円管内オリフィス下流域における壁面せん断応力の時間平均と変動成分, 日本機械学会論文集, 79-799, B (2013), 258-262.
 - (43) 大倉康裕・樋口和哉・浦田泰弘・染矢 聰・店橋 譲, 高速PIVによるエンジン燃焼室内の乱流計測, 日本機械学会論文集, 79-806, B (2013), 2193-2206.
 - (44) 星野晃一・長田孝二・酒井康彦・鈴木博貴・鵜飼涼太・寺島 修・伊藤靖仁, 正方格子およびフラクタル格子乱流場における高シミュレーション数スカラ混合に関する実験的研究, 日本機械学会論文集, 79-799, B (2013), 304-316.
 - (45) 猿渡祥悟・山本義暢, 高レイノルズ数チャンネル乱流場の内層における乱流熱流束の高プロントル数効果に関する考察, 日本機械学会論文集, 79-808, B (2013), 2846-2858.
 - (46) 加藤健司・酒井 陽・藤井亮介・脇本辰郎・河原源太, 乱流場における運動量と熱輸送の非相似性に及ぼすスパン方向渦度の影響, 日本機械学会論文集, 79-806, B (2013), 2019-2029.
 - (47) 鈴木 健・酒井康彦, ランダムフーリエモード法とLagrangian的分子混合モデルによる反応性乱流混合層の数値シミュレーション, 日本機械学会論文集, 79-798, B (2013), 104-114.
 - (48) 森西洋平・夏野匡哲・劉 治翔・玉野真司, 振動格子乱流の渦構造に及ぼす回転効果の数値解析, 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 822-837.
 - (49) 桑田祐丞・須賀一彦, 正方形角柱群内乱流のLESによる体積平均乱流輸送方程式の考察, 日本機械学会論文集, 79-805, B (2013), 1752-1763.
 - (50) 佐藤 明, スピン回転ブラウン運動を考慮したブラウン運動力学シミュレーションによる棒状ヘマタイト粒子分散系の逆磁気粘性効果の検討, 日本機械学会論文集, 79-804, B (2013), 1460-1475.
 - (51) 太田淳一・堂山直紀・若林大翔・鈴木宏彰, 液中にある粒子挙動に及ぼす円形平面音源超音波の影響(マイクロバブルとアクリル粒子の分子と速度), 日本機械学会論文集, 79-807, B (2013), 2397-2405.
 - (52) 山本恭史・安岡卓哉・植村知正, 濡れ性と表面張力の温度依存性を利用した液滴駆動のFront-trackingシミュレーション, 日本機械学会論文集, 79-800, B (2013), 567-576.
 - (53) 山田 崇・小野直樹, マランゴニ力を活用したマイクロ混合流の生成, 日本機械学会論文集, 79-801, B (2013), 888-899.
 - (54) Rahimian, A.,ほか, Petascale Direct Numerical Simulation of Blood flow on 200K Cores and Heterogeneous Architectures, *SC10*, (2010-11), USA 978-1-4244-7558-2.
 - (55) 杉山和靖・伊井仁志・高木 周・松本洋一郎, 超大規模並列計算に適した流体・構造連成手法の開発と血流シミュレーション

- への適用, ながれ, 32 (2013), 139–143.
- (56) Freund, J.B., Numerical Simulation of Flowing Blood Cells, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46 (2014), 67–96.
- (57) Ling, Y., Parmar, M. and Balachandar, S., A Scaling Analysis of Added-mass and History Forces and Their Coupling in Dispersed Multiphase Flows, *Int. J. Multiphase Flow*, 57 (2013), 102–114.
- (58) Tchoufag, J., Magnaudet, J. and Fabre, D., Linear Stability and Sensitivity of the Flow Past a Fixed Oblate Spheroidal Bubble, *Physics of Fluids*, 25 (2013), 054108.
- (59) Tagawa, Y., Takagi, S. and Matsumoto, Y., Surfactant Effect on Path Instability of a Rising Bubble, *J. Fluid Mech.*, 738 (2014), 124–142.
- (60) 和田 誠・ほか, 飲料缶から注ぎ出される液体の挙動に関する可視化実験および数値解析, 日本機械学会論文集, 79–806, B (2013), 1963–1972.
- (61) 北浦秀和・ほか, 気泡ブルームによる密度成層崩壊プロセスの時空間構造, 日本機械学会論文集, 79–801, B (2013), 966–979.
- (62) 鈴木貴之・加藤千幸, 均質媒体モデルを用いたキャビテーション解析の問題, 日本機械学会論文集, 79–808, B (2013), 2743–2758.
- (63) Rossinelli, D., ほか, 11 PFLOP/s Simulations of Cloud Cavitation Collapse, *SC13*, (2013–11), ACM 978-1-4503-2378-9/13/11.
- (64) Murai, Y., ほか, Fundamentals in Frictional Drag Reduction by Bubble Injection, *Proc. of 8th Int. Conf. on Multiphase Flow*, (2013–5), Keynote.
- (65) 混相流－混相流研究の進展－, 27–5 (2014), ISSN 0914-2842.
- (66) 田村尚也・ほか, ペンチュリ管を用いたノンケミカルマイクロバブル洗浄技術の開発, 混相流研究の進展, 27–5 (2014), 577–584.
- (67) Fukuyama, M., Yoshida, Y., Eijkel, J.C.T., van den Berg, A. and Hibara, A., Time-resolved Electrochemical Measurement Device for Microscopic Liquid Interfaces during Droplet Formation, *Microfluidic. Nanofluidic.*, 14–6 (2013), 943–950.
- (68) Hatsuki, R., Fuchigami, Y. and Yamamoto, T., Direct Measurement of Electric Double Layer in a Nanochannel by Electrical Impedance Spectroscopy, *Microfluidic. Nanofluidic.*, 14–6 (2013), 983–988.
- (69) Kuriyama, R. and Sato, Y., Non-intrusive Measurement of Microscale Temperature Distribution by Spontaneous Raman Imaging, *Microfluidic. Nanofluidic.*, 14–6 (2013), 1031–1037.
- (70) Ichiyanagi, M., Miyazaki, R., Ogasawara, T., Kinoshita, I., Matsumoto, Y. and Takagi, S., Measurements of Microbubble Generation Process in Microchannel Using UltraHigh-speed Micro-PTV System, *Microfluidic. Nanofluidic.*, 14–6 (2013), 1011–1020.
- (71) Motosuke, M., Yamasaki, K., Ishida, A., Toki, H. and Honami, S., Improved Particle Concentration by Cascade AC Electroosmotic Flow, *Microfluidic. Nanofluidic.*, 14–6 (2013), 1021–1030.
- (72) Glavan, A.C., Martinez, R.V., Maxwell, E.J., Subramaniam, A.B., Nunes, R.M.D., Soh, S. and Whitesides, G.M., Rapid Fabrication of Pressure-driven Open-channel Microfluidic Devices in Omniphotic RF Paper, *Lab Chip*, 13–15 (2013), 2922–2930.
- (73) Fradet, E., Abbyad, P., Vos, M.H. and Baroud, C.N., Parallel Measurements of Reaction Kinetics Using Ultralow-volumes, *Lab Chip*, 13–22 (2013), 4326–4330.
- (74) Aizel, K., Agache, V., Pudda, C., Bottausci, F., Fraisseix, C., Bruniaux, J., Navarro, F. and Fouillet, Y., Enrichment of Nanoparticles and Bacteria Using Electroless and Manual Actuation Modes of a bypass Nanofluidic Device, *Lab Chip*, 13–22 (2013), 4476–4485.
- (75) Li, T., Fan, Y., Cheng, Y. and Yang, J., An Electrochemical Lab-on-a-CD System for Parallel Whole Blood Analysis, *Lab Chip*, 13–13 (2013), 2634–2640.
- (76) MINATEC ホームページ,
<http://www.minatec.org/jp/minatec/>
- (77) 谷下一夫・山口隆美編, 生物流体力学, (2012), 朝倉書店。
- (78) Lessick, J. and Aronson, D., Noninvasive Approach to Assess Coronary Artery Stenosis and Ischemia, *JAMA*, 309 (2013), 233–236.
- (79) Kim, H.J., Vignon-Clementel, L.E., Coogan, J.S., Figueroa, C.A., Jansen, K.E. and Taylor, C.A., Patient-Specific Modeling of Blood Flow and Pressure in Human Arteries, *Annal of Biomedical Engineering*, 38 (2010), 3195–3209.
- (80) Taylor, C.A., Draney, M. T., Ku, J. P., Parker, D., Steele, B. N., Wang, K. and Zarins, C. K., Predictive Medicine : Computational Techniques in Therapeutic Decision-Making, *Computer Aided Surgery*, 4 (1999), 231–247.
- (81) Shojima, M., Oshima, M., Takagi, K., Torii, R., Hayakawa, M., Katada, K., Morita, A. and Kirino, T., Magnitude and Role of Wall Shear Stress on Cerebral Aneurysm : Computational Fluid Dynamic Study of 20 Middle Cerebral Artery Aneurysms, *Stroke*, 35 (2004), 2500–2505.
- (82) Taylor A.T. and Steinman, D.A., Image-Based Modeling of Blood Flow and Vessel Wall Dynamics : Applications, Methods and Future Directions, *Annals of Biomedical Engineering*, 38 (2010), 1188–1202.
- (83) Li, S., Sugiyama, K., Takeuchi, S., Takagi, S. and Matsumoto, Y., An Implicit Full Eulerian Method for the Fluid-Structure Interaction Problem, *Numerical Methods in Fluids*, 65 (2011), 150–165.
- (84) Blanco, P.J., Urquiza, S.A. and Feijojo R.A., Assessing the Influence of Heart Rate in Local Hemodynamics Through Coupled 3D-1D-0D Models, *Int. J. for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 26 (2010), 890–903.
- (85) Linag, F.Y., Takagi, S., Hineno, R. and Liu, H., Biomechanical Characterization of Ventricular-arterial Coupling during Aging : A Multi-scale Model Study, *J. of Biomechanics*, 42 (2009), 692–704.
- (86) Torii, R., Oshima, M., Kobayashi, T., Takagi, K. and Tezduyar, T.E., Fluid-Strucutre Interaction Modeling of a Patient-Specific Cerebral Aneurysm : Influence of Structural Modeling, *Computational Mechanics*, 43 (2008), 151–159.
- (87) Figueroa, C.A.S., Baek, S., Taylor, C.A. and Humphrey, J.D., A Computational Framework for Coupled Fluid-Solid growth Modeling in Cardiovascular Simulations, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 198 (2009), 284–294.
- (88) Li, Z. and Kleinstreuer, C., Analysis of Biomechanical Factors Affecting Stent-Graft Migration in an Abdominal Aortic Aneurysm Model, *J. of Biomechanics*, 39 (2006), 2264–2273.
- (89) Kurita, T., Reduction of External Noise from Shinkansen Trains, *Proc. of Inter-Noise 2013*, (2013–9), No. 9007.
- (90) 安保 慧・吉野 崇・寺村 実, 前方ステップから発生する風切音のガラス透過メカニズム, 日本機械学会論文集, 79–804, B (2013), 1408–1418.
- (91) 川崎真俊・平原裕行・中村匡徳, 多翼送風機の非定常流れと空力騒音発生メカニズムに関する研究, 日本機械学会論文集, 79–804, B (2013), 1571–1582.
- (92) Yamouni, S., Sipp, D. and Jacquin, L., Interaction between Feedback Aeroacoustic and Acoustic Resonance Mechanisms in a Cavity Flow : A Global Stability Analysis, *J. Fluid Mech.*, 717 (2013), 134–165.
- (93) Tang, H., Qi, D. and Mao, Y., Analysis on the Frequency-domain Numerical Method to Compute the Noise Radiated from Rotating Sources, *J. Sound Vib.*, 332 (2013), 6093–6103.
- (94) Yokoyama, H., Kitamiya, K. and Iida, A., Flows around a Cascade of Flat Plates with Acoustics Resonance, *Phys. Fluids*, 25–10 (2013), 106104.
- (95) de Jong, A.T., Bijl, H., Hazir, A. and Wiedemann, J., Aeroacoustic Simulation of Slender Partially Covered Cavities Using a Lattice Boltzmann Method, *J. Sound Vib.*, 332 (2013), 1687–1703.
- (96) Hattori, Y. and Komatsu, R., Aeroacoustic Sound Radiated from a Flow Past an Oscillating and a Fixed Cylinder in Tandem, *Bulletin of the American Physical Society*, 66th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, (2013–11), 58–18.
- (97) Devenport, W.J., Burdisso, R.A., Borgoltz, A., Ravetta, P.A., Barone, M.F., Brown, K.A. and Morto, M.A., The Kevlar-walled Anechoic Wind Tunnel, *J. Sound Vib.*, 332 (2013), 3971–3991.
- (98) Park, S.H., Acoustic Properties of Micro-perforated Panel Absorbers Backed by Helmholtz Resonators for the Improvement of Low-frequency Sound Absorption, *J. Sound Vib.*, 332 (2013), 4895–4911.
- (99) Chong, T.P. and Joseph, P.F., An Experimental Study of Airfoil Instability Tonal Noise with Trailing Edge Serrations, *J. Sound Vib.*, 332 (2013), 6335–6358.
- (100) Inasawa, A., Ninomiya, C. and Asai, M., Suppression of Tonal Trailing-Edge Noise From an Airfoil Using a Plasma Actuator, *AIAA J.*, 51–7 (2013), 1695–1701.
- (101) Scarano, R., Tomographic PIV : Principles and Practice, *Meas. Sci. Technol.*, 24 (2013), 012001.
- (102) Versluis, M., High-speed Imaging in Fluids, *Exp. in Fluids*, 54 (2013), 1458.
- (103) Pröbsting, S., Scarano, F., Bernardini, M. and Pirozzoli, S., On the Estimation of Wall Pressure Coherence Using Time-resolved Tomographic PIV, *Exp. in Fluids*, 54 (2013), 1567.
- (104) Thurow, B.S. and Fahringer, T., Recent Development of Volumetric PIV with a Plenoptic Camera, *Proc. of the 10th Int. Symp. on Particle Image Velocimetry*, (2013–7).
- (105) Hirata, K., Kawaguchi, R., Taoka, M. and Funaki, J., 3D-PTV Measuring on Bubble and Liquid Velocities of a Single Bubble Jet, *J. Fluid Science and Technology*, 8–3 (2013), 423–435.
- (106) Balz, R., Mokso, R., Narayanan, C., Weiss, D.A. and Heiniger, K.C., Ultra-fast X-ray Particle Velocimetry Measurements within an Abrasive Water Jet, *Exp. in Fluids*, 54 (2013), 1476.