

平成20年度研究活動報告書

流体融合研究センター

超実時間医療工学研究分野

教授	早瀬 敏幸	D3	山縣 貴幸
准教授	白井 敦	D3	劉 磊
技術職員	井上 浩介	D2	今川 健太郎
助教	船本 健一	M2	海本 隆志
		M2	齋藤 学
		M2	中西 勉
		M2	山下 治
		M1	鈴木恒俊

超実時間医療工学研究分野

本研究室では、計測と計算を一体化した次世代融合研究手法により、刻々変化する生体内の血流の高精度超高速計算（超実時間計算）技術などにより、生体内の複雑な血流現象を解明し、高度医療を実現するための研究を行っている。

以下に、代表的な研究テーマについて説明する。

医療計測と数値シミュレーションを融合した3次元血流解析

循環器系疾患の機序の解明や、そのより高精度な診断方法の確立を目的に、医療計測（超音波計測やMR計測）と数値シミュレーションを融合した数値解析手法を開発している（図1参照）。従来の診断装置では得られない、疾患部（特に、動脈瘤）内の複雑な3次元非定常の血流場や、壁せん断応力および圧力分布などの血行力学の情報を、本手法により詳細かつ正確に再現する研究を数値実験や流路モデルによる検証実験により行っている。一例として、PC MRI計測と数値シミュレーションを一体化したMR計測融合シミュレーションの計算精度とその基本的な特性に関して数値実験による検討を行った結果を図2に示す。PC MRI計測データを境界条件として与えて得られた脳動脈瘤内の定常流の数値解を基準解として定義し、誤差を含む境界条件を与えて行うMR計測融合シミュレーションにおいて、フィードバックの効果を調べた。臨界ゲイン以下ではゲインの増大とともに誤差が減少し、計算結果を基準解に近づけ動脈瘤内の血流場を再現できた。また、下流端への分流比や壁せん断応力分布についても基準解の値に近づけることができ、診断に際して重要と考えられる情報をより正確に提供できることを示した。また、超音波診断装置とスーパーコンピュータを高速ネットワークで接続し、超音波計測融合シミュレーションの実システムの開発に取り組んでいる。

好中球の固体壁に対する付着/摩擦特性

微小流路を用いた好中球の流動実験において、好中球が流路壁面に付着する現象が見られる。また、肺の毛細血管において、セレクチンなどの好中球と付着する分子がほとんど無いにも関わらず、好中球は毛細血管の通過に時間がかかり、この原因として好中球の変形能の低さおよび血管壁への付着しやすさが考えられる。本研究では、傾斜遠心顕微鏡を用いて、各種基板に対する好中球の付着および摩擦特性を実験的に解析するとともに、内皮細胞による特性の変化の解明を目的としている。

脈診の科学的検証のための数学モデル

中国伝統医療の一つである脈診は、非侵襲で簡便な診察方法であり、これまで、脈診および脈波の科学的検証に関する研究は数多く行われてきたが、得られる情報量が膨大であることに加えて個人差が大きいため、脈波に病変が現れる科学的根拠は未だ得られていない。本研究では、脈診による脈波計測を数値的に再現するために、腕部血管系の数学モデルを構築し(図4参照)、各種計算パラメータが脈波波形に与える影響を明らかにして、実験計測で得られた脈波波形から血管物性等を推定する手法の開発に取り組んでいる。

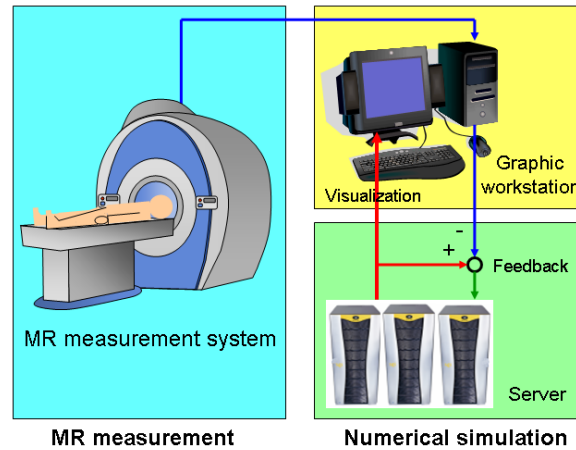


図1 医療計測と数値シミュレーションを融合した血流解析システム

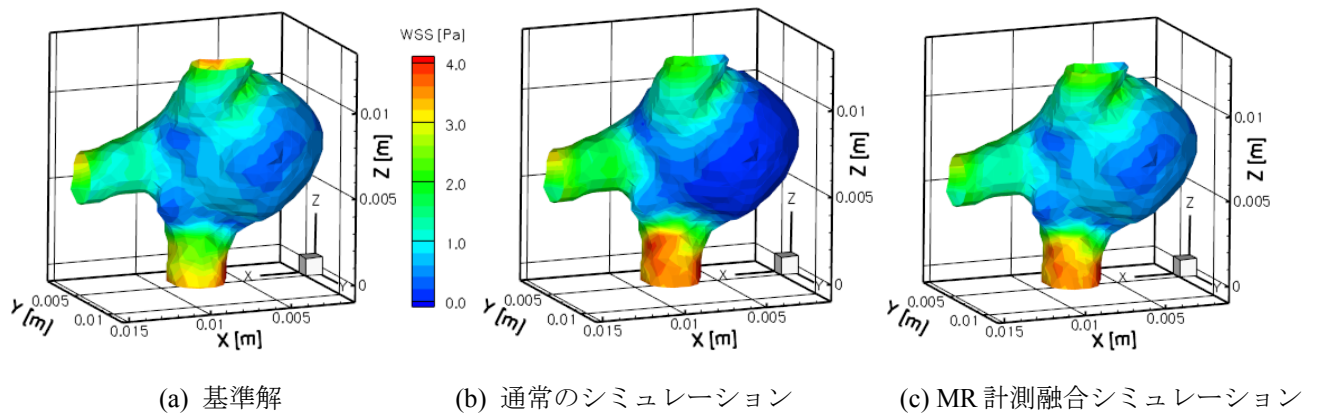


図2 脳動脈瘤の壁せん断応力の解析結果の比較

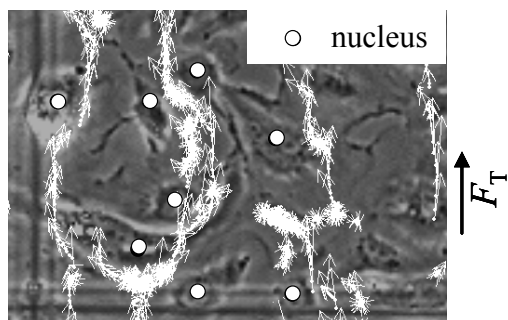


図3 傾斜遠心顕微鏡による内皮細胞上におけるHL60の軌跡。○は内皮細胞の核である。

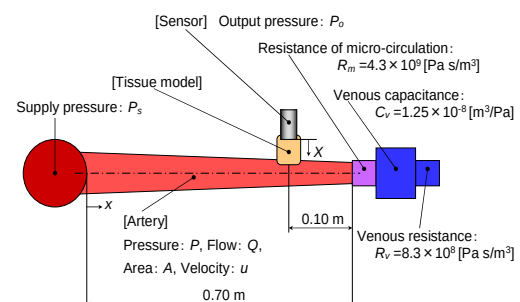


図4 腕部血管系数学モデル

超実時間医療工学研究分野

学術雑誌（解説等を含む）

1. Lei Liu, Kenichi Funamoto, and Toshiyuki Hayase: Numerical Experiment for Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Developed Laminar Pipe Flow Using Axisymmetric Model, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol. 3 No. 2, (2008-4), 101-115.
2. Lei Liu, Toshiyuki Hayase, Makoto Ohta, Kosuke Inoue: Experimental Validation of Color Doppler Velocity Measurement for Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol. 3 No. 2, (2008-5), 161-175.
3. 早瀬敏幸: 計測融合シミュレーションによる流れ解析, *フルードパワーシステム*, Vol. 39 No. 4, (2008-7), 220-224.
4. 廣瀬圭, 飯村彥郎, 佐々木芳宏, 土岐仁, 早瀬敏幸, 林叡, 畑中浩: 圧力測定孔の動特性と波形復元（第1報, オリフィスモデルを用いた場合）, *日本フルードパワーシステム学会論文集*, Vol. 39 No. 4, (2008-7), 1-6.
5. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe: Numerical Experiment for Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Unsteady Blood Flow, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 36 No. 8, (2008-8), 1383-1397.
6. Takashi Kandori, Toshiyuki Hayase, Kousuke Inoue, Kenichi Funamoto, Takanori Takeno, Makoto Ohta, Motohiro Takeda, Atsushi Shirai: Frictional Characteristics of Erythrocytes on Coated Glass Plates Subject to Inclined Centrifugal Forces, *Journal of Biomechanical Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 130 No. 5, (2008-10), 051007-1-8.
7. Atsushi Shirai: Modeling neutrophil transport in pulmonary capillaries, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, Vol. 163 No. 1-3, (2008), 158-165.
8. Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: Numerical simulation of distribution of neutrophils in a lattice alveolar capillary network, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, doi:10.1016/j.resp.2008.11.003 (2008), 1-11.
9. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe: Numerical Experiment of Transient and Steady Characteristics of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation in Three-Dimensional Blood Flow Analysis, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 37 No. 1, (2009-1), 34-49.

国際学会

10. Osamu Yamashita, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase: Development of Material Close to Anatomy: Experimental Apparatus to Measure Acoustic Properties, *Tohoku-NUS Student Joint Symposium*, (2008-5), 6-7.
11. Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, and Toshiyuki Hayase: GADGET/FV: Ontology-Supported Design of Visualization Workflows in Fluid Science, *The first International Workshop on Super Visualization (IWSV08)*, Greece, (2008-6), 1-5.
12. Kenichi Funamoto, Yoshitsugu Suzuki, Toshiyuki Hayase, Takashi Kosugi, Haruo Isoda: Numerical experiment of MR-measurement-integrated simulation of steady blood flow in a cerebral aneurysm, *Proceedings of the 2008 Summer Bioengineering Conference (CD-ROM)*, (2008-6), 1-2.

13. Kenichi Funamoto: MR-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in Cerebral Artery, Tsinghua University and IFS, Tohoku University Joint Workshop, (2008-10).
14. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase: Estimation of Unsteady Blood Flow Rate in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation —Effect of Estimation Precision on Reproducibility of Blood Flow, International Symposium on Nano-Biomedical Engineering, 7th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program “Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre”, (2008-10), 36-37.
15. Toshiyuki Hayase: Reproduction of Complex Real Flows by Integrating Measurement and Simulation, Tsinghua University and IFS, Tohoku University Joint Workshop, (2008-10).
16. Kentaro Imagawa, Toshiyuki Hayase: Eigenvalue Analysis for Error Dynamics of Measurement Integrated Simulation to Reproduce Real Flows, 61st Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, (2008-11).
17. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase: Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Flow Behind a Square Cylinder Using Pressure Measurement on the Cylinder, BULLETIN OF THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY, Vol. 53 No. 15, (2008-11), 36-37.
18. Toshiyuki Hayase: Reproduction of Complex Real Flows with Measurement-Integrated Simulation (invited lecture), ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, (2008-11).
19. Shinichiro Morizawa, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi., Kenichi Funamoto, and Toshiyuki Hayase: Physics Data Mining for Three-Dimensional Unsteady Blood Flow Field in an Aneurysmal Aorta, Proceedings of Eighth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2008-12), 74-75.
20. Takashi Umimoto, Atsushi Shirai , Toshiyuki Hayase: Measurement of Friction Characteristics of Neutrophils on MPC Polymer with the Inclined Centrifuge Microscope, GPBE/NUS-Tohoku Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 11-12.
21. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase: Reproduction of Three-Dimensional Flow with Karman Vortex Street by Integrating Flow Simulation and Pressure Measurement, Proceedings of Eighth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, V (2008-12), 50-51.
22. Kentaro Imagawa, Toshiyuki Hayase: Formulation of Linearized Error Dynamics Equation of Measurement-Integrated Simulation, GPBE/NUS-Tohoku Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 36-37.
23. Manabu Saito, Toshiyuki Hayase, Kousuke Inoue, Motohiro Takeda: Effect of Vertical Distribution of Shear Stress Generated by Flow or Centrifugal Force on Orientation of Cultured Endothelial Cell, GPBE/NUS-Tohoku Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 38-39.
24. Tsutomu Nakanishi, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: Reproduction of Pulse Waveform Measurement using One-dimensional Mathematical Model for Validation of Pulse Diagnosis, GPBE/NUS-Tohoku

Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 9-10.

25. Osamu Yamashita, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase: Development of Poly (Vinyl Alcohol) Gel with in vivo Acoustic Properties, GPBE/NUS-Tohoku Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 30-31.
26. Lei Liu, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, Toshiyuki Hayase: Anisotropic Hybrid Blood Vessel Model using Poly (Vinyl Alcohol) Hydro Gel and Mesh Material, GPBE/NUS-Tohoku Graduate Student Conference in Bioengineering, (2008-12), 19-20.
27. Kenichi Funamoto, Yoshitsugu Suzuki, Toshiyuki Hayase, Takashi Kosugi, Haruo Isoda: Numerical Evaluation of MR-Measurement-Integrated Simulation of Unsteady Hemodynamics in a Cerebral Aneurysm, Proceedings of the 8th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program “Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre”, Proceedings of the 13th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME2008), (CD-ROM) (2008-12), 56-59.

国内学会, 研究会等

28. 船本 健一, 早瀬 敏幸, 劉 磊, 小笠原 正文, 地挽 隆夫, 橋本 浩, 見山 広二: 超音波計測融合シミュレーションによる血流場の可視化, 超音波医学, Vol. 35 Supplement, (2008-5), S254.
29. 劉 磊, 早瀬 敏幸, 船本 健一, 小笠原 正文, 地挽 隆夫, 橋本 浩, 見山 広二: PVA-H による超音波計測・可視化同時実験用頸動脈ファントム, 超音波医学, Vol. 35 Supplement, (2008-5), S311.
30. 船本健一, 鈴木禎嗣, 早瀬敏幸, 小杉隆司, 磯田治夫: MR 計測融合シミュレーションによる脳動脈瘤内の定常流再現の数値実験, 計算工学講演会論文集, Vol. 13 No. 2, (2008-5), 547-550.
31. 山縣貴幸, 早瀬敏幸, 樋口博: PIV 計測融合シミュレーションにおけるフィードバックデータ率の影響, 第 40 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2008 講演集, (2008-6), 133-136.
32. 早瀬敏幸: 生体計測とシミュレーションの一体化, 第 1 回東北大学バイオフィォーラム, (2008-6), 22-23.
33. 劉磊, 小助川博之, 太田信, 早瀬敏幸: PVA ハイドロゲルとメッシュ材料を用いた異方性血管モデルの製作, 日本機械学会第 19 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, (2008-9), 145-146.
34. 船本健一, 鈴木禎嗣, 早瀬敏幸, 小杉隆司, 磯田治夫: MR 計測融合シミュレーションによる脳動脈瘤内の非定常流再現の数値実験, 日本機械学会第 19 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, (2008-9), 52-53.
35. 海本隆志, 白井敦, 早瀬敏幸: 傾斜遠心顕微鏡を用いた好中球の MPC ポリマーに対する摩擦特性の計測, 日本機械学会第 19 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, (2008-9), 111-112.
36. 山下治, 船本健一, 早瀬敏幸: 生体の音響特性を有する材料の開発: 音響特性計測装置の構築, 日本機械学会第 19 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, No. 08-30, (2008-9), 141-142.
37. 中西勉, 白井敦, 早瀬敏幸: 脈診の科学的検証のための一次元数学モデルを用いた脈波計測

- 実験の再現, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 51-52.
38. 山下治, 船本健一, 早瀬敏幸: 生体に近い音響特性を有する PVA ゲルの開発, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 451-452.
39. 船本健一, 早瀬敏幸, 西條芳文, 山家智之: 血流の超音波計測融合シミュレーションに関する研究 第 8 報: 計測誤差の影響, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 353-354.
40. 海本隆志, 白井敦, 早瀬敏幸: 傾斜遠心顕微鏡を用いた好中球の内皮細胞に対する摩擦特性の計測, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 81-82.
41. 齋藤学, 早瀬敏幸, 井上浩介, 武田元博: 流れ負荷および遠心力負荷によるせん断応力の垂直方向分布の差が培養内皮細胞の配向に与える影響, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 291-292.
42. 井上浩介, 早瀬敏幸: 拍動流に起因する曲がり管の動きが流れに与える影響, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 08-53, (2009-1), 285-286.