

平成 21 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	大学院生 D3	今川 健太郎
准教授	白井 敦	M2	鈴木 恒俊
助教	船本 健一	M1	浦沼 晴香
技術職員	井上 浩介	M1	加藤 宇海
技術補佐員	松野 史子	M1	小泉 遼
		M1	田中 裕志

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血流解析

循環器系疾患の機序の解明やより高精度な診断方法を確立するため、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。本手法では、計測結果に対する誤差を数値シミュレーションにフィードバックすることにより、従来の診断装置では得られない、血管内の複雑な血流場や壁せん断応力などの血行力学の情報を詳細かつ正確に再現する。本研究では、計測融合シミュレーションの有用性や過渡特性、定常特性について、数値実験により明らかにすると共に、モデル流路を用いた検証実験を行っている。また、計測融合シミュレーションの計測結果に対する誤差の挙動に関する固有値解析も行っている。さらに、計測融合シミュレーションの臨床応用を目的としたフィージビリティスタディに取り組んでいる（図 1 参照）。ここでは、動脈硬化の好発部位であり、脳への血液供給にとって重要な頸動脈の血流を研究対象とし、臨床で得られた実際のカラー Doppler 法による超音波計測の生データを基に、血管形状の抽出、計算格子の生成、流量の推定、そして超音波計測融合シミュレーションの実行の一連の動作を自動で行うプログラムを作成した。この血流解析を診断装置に搭載されている PC で実行することと、計算の高速化について更なる検討を行い、ハイエンドの PC（CPU: Intel Core2 Quad Q2450 @ 2.66 GHz 2.66 GHz, Memory: 4.00GB, 32bit operating system）を用いて 5 分以内に計算結果が得られるようになった。また、得られる血流場および血行力学の情報を医師に分かり易く表示するため、主に壁せん断応力の可視化について検討を行い、図 2 に示すような壁せん断応力の方向や大きさを表示する方法を提案した。

好中球の固体壁に対する付着/摩擦特性

好中球は、血管壁上を転がりながら移動することが知られている。生体外の実験観察において、好中球がガラス平板に培養された血管内皮細胞の凹凸に沿って移動する事が確認されているが、実際の血管内では、血流の剪断応力によって血管内皮細胞が流れ方向に配向することが知られている。本研究では、血管内皮細胞の配向が好中球の挙動に与える影響を明らかにすることを目的として、傾斜遠心顕微鏡を用いて血管内皮細胞上における血球の詳細な挙動観察を行っている(図3参照)。

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、定量的に脈波データを得るために、市販の手首式血圧計を改良して脈波計測システムを(図4参照)構築し、簡便で再現性のある脈診を行う手法の開発に取り組んでいる。

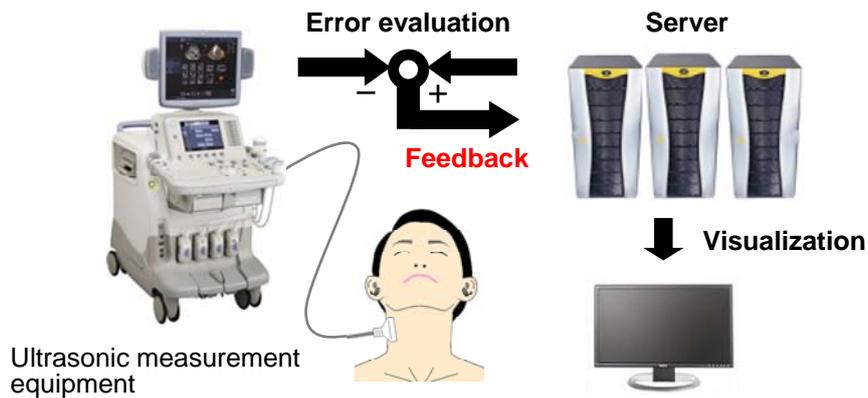
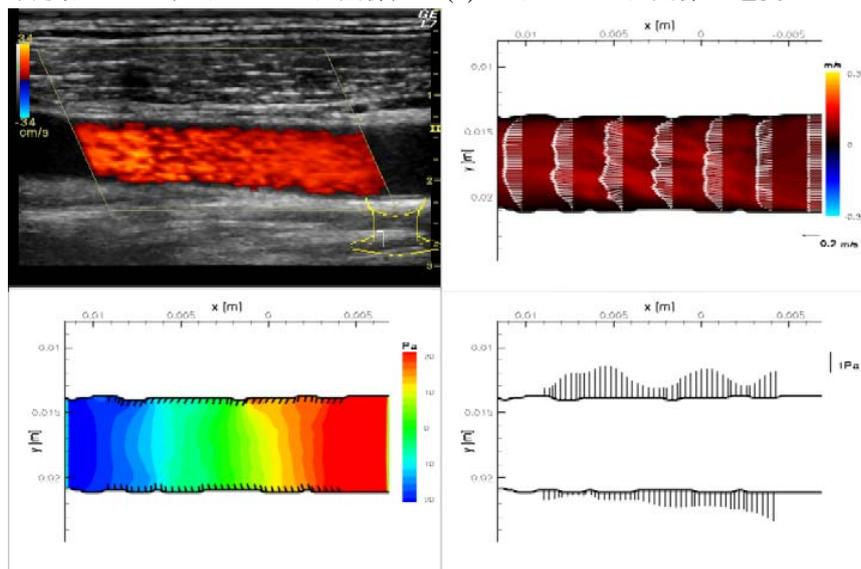


図1 超音波計測融合シミュレーションによる血流可視化システム
 (a) 計測データ (カラー Doppler 画像) (b) カラー Doppler 画像と速度ベクトル



(c) 圧力場とせん断応力表示 (d) せん断応力の大きさ

図2 心収縮期のある時刻における結果

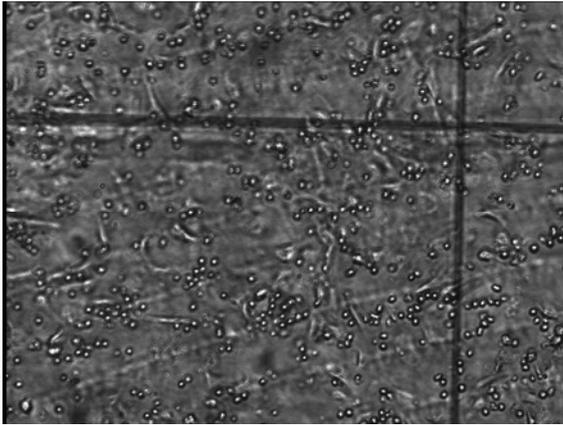


図3 傾斜遠心顕微鏡による内皮細胞上における HL60



図4 脈波計測システム

超実時間医療工学研究分野

学術雑誌（解説等を含む）

1. Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: Numerical simulation of distribution of neutrophils in a lattice alveolar capillary network, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, Vol. 165 No. 2-3, (2009-2), 143-153.
2. Hiroto Nagai, Koji Isogai, Tatsumi Fujimoto, Toshiyuki Hayase: Experimental and Numerical Study of Forward Flight Aerodynamics of Insect Flapping Wing, *AIAA Journal*, Vol. 47 No. 3, (2009-3), 730-742.
3. 船本健一, 早瀬敏幸: 計測融合シミュレーションによる血流解析, *日本機械学会流体工学部門ニューズレター 流れ*, 2009年4月号, (2009-4), Online (http://www.jsme-fed.org/newsletters/2009_4/no4.html#ctop).
4. Kenichi Funamoto, Yoshitsugu Suzuki, Toshiyuki Hayase, Takashi Kosugi, Haruo Isoda: Numerical Validation of MR-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in a Cerebral Aneurysm, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 37 No. 6, (2009-6), 1105-1116.
5. 船本健一, 早瀬敏幸: 医療計測と数値シミュレーションを融合した血管内血流の解析, *日本可視化情報学会会誌*, Vol. 29 No. 114, (2009-7), 178-184.
6. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 早瀬敏幸, 久保貴: フラクタル格子により生成されるマルチスケール誘起乱流の構造とスカラー拡散機構（第1報, DNSによるフラクタル基本形状の影響に関する検討）, *日本機械学会論文集（B編）*, Vol. 75 No. 755, (2009-7), 1387-1394.
7. 早瀬敏幸: 熱流体解析の最近の動向, *油空圧技術*, Vol. 49 No. 1, (2010-1), 1-4.
8. Lei Liu, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, Toshiyuki Hayase: Anisotropic In Vitro Vessel Model Using Poly(vinyl Alcohol) Hydro Gel and Mesh Material, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 116, (2010-3), 2242-2250.

国際学会

9. Toshiyuki Hayase: Reproduction of Complex Real Flows by Measurement-Integrated Simulation

- (plenary lecture), International Symposium of Experiment-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics (ECCMF), (2009-1), 110.
10. Lei Liu, Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto: Fluid-Structure Coupled Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Fluid in Elastic Tube with Contraction, Proceedings of 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, (2009-3), 106-107.
 11. Toshiyuki Hayase: Determination of Local Fine Structure of Blood Flows by Measurement Coupled Simulation, Proceedings of 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, (2009-3), 86-89.
 12. Hiroyuki Kosukegawa, Keisuke Mamada, Kanju Kuroki, Lei Liu, Toshiyuki Hayase: Measurement of Mechanical Properties of PVA-Hydrogel for Blood Vessel Biomodeling, Proceedings of 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, (2009-3), 122-123.
 13. Kentaro Imagawa, Toshiyuki Hayase: Eigenvalue Analysis for Error Dynamics of Measurement-Integrated Simulation, Proceedings of 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, (2009-3), 104-105.
 14. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase: Blood Flow Analysis by Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation with Flow Rate Estimation, Proceedings of 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, (2009-3), 114-115.
 15. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Kentaro Imagawa, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe: Effect of Aliasing on Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Unsteady Blood Flow, Proceedings of 4th Asian Pacific Conference on Biomechanics, (2009-4), 64-65.
 16. Kentaro Imagawa, Toshiyuki Hayase: Formulation for Eigenvalue Analysis of Error Dynamics of Measurement-Integrated Simulation, Proceedings of 4th Asian Pacific Conference on Biomechanics, (2009-4), 98-99.
 17. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe: Reproduction of blood flow field by numerical simulation integrated with ultrasonic measurement with noise, Proceedings of the 2009 Summer Bioengineering Conference (CD-ROM), (2009-6), 1-2.
 18. Gabriele Bellani, Kentaro Imagawa, Fredrik Lundell, Hiroshi Higuchi, Toshiyuki Hayase: Measurements-integrated simulations applied to the case of a planar coflowing jet: results and experimental validation, 4th Symposium on integrating CFD and experiments in aerodynamics, (2009-9).
 19. Muneichi Shibata, Hisao Ito, Tomoyuki Yambe, Ryo Koizumi, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase:

- Atrial Vortex, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2009-11), 64-65.
20. Joshua H. Smith, Kenichi Funamoto, Martin V. Racenis, Toshiyuki Hayase: Fundamental Study of Convection-Enhanced Delivery Simulation in Rat Brain, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, 70-71.
 21. Ryuta Saito, Yukihiko Sonoda, Toshihiro Kumabe, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Teiji Tominaga: Convection-Enhanced Delivery of ACNU under MRI Monitoring against Recurrent Gliomas- Development of Computational Simulation of Drug Distribution, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2009-11), 72-73.
 22. Issei Fujishiro, Yuriko Takeshima, Shigeru Obayashi, Toshiyuki Hayase: Realizing Scalable Visualization Through Hierarchical Provenance Management, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2009-11), 106-107.
 23. Koji Nagata, Yasuhiko Sakai, Hirotaka Suzuki, Toshiyuki Hayase: Direct Numerical Simulation on the Effects of Free-stream Turbulence on Neutral, Stably and Unstably Stratified Turbulence Boundary Layers, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2009-11), 110-111.
 24. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase: Blood Flow Analysis by Measurement-Integrated Simulation, Proceedings of The Ninth International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2009-11), 120-121.
 25. Toshiyuki Hayase and Kentaro Imagawa: Eigenvalue Analysis to Design Feedback Scheme in Measurement-Integrated Simulation (Invited), ASME International Mechanical Engineering Congress (IMECE 2009), (2009-11).
 26. Ryo Koizumi, Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto: Dynamic Characteristics Analysis of Diseased Circulatory System with Lumped Parameter Model 1st Report : Heart Valve Disease, 3rd East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, (2009-12), 6-7.
 27. Haruka Uranuma, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: Experimental Observation of Behavior of Neutrophil-like HL60 Cells on Oriented Endothelial Cells, 3rd East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, (2009-12), 22-23.
 28. Takaumi Kato, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Masafumi Ogasawara, Takao Jibiki, Hiroshi Hashimoto, Koji Miyama: Analysis of Clinical Data with Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, 3rd East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, (2009-12), 102-103.
 29. Tsunetoshi Suzuki, Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto, Kosuke Inoue: Three-Dimensional

- Ultrasonic-Measurement-Integrated Blood Flow Simulation using PVA Carotid Artery Model, 3rd East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, (2009-12), 116-117.
30. Kentaro Imagawa, Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto: Eigenvalue Analysis for Error Dynamics of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in the Aneurismal Aorta, 3rd East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, (2009-12), 114-115.
31. Kenichi Funamoto, Takaumi Kato, Toshiyuki Hayase, Masafumi Ogasawara, Takao Jibiki, Hiroshi Hashimoto, Koji Miyama: Clinical Application of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation for Diagnosis of Carotid Artery, Proceedings of SMART-Tohoku GCOE joint Workshop on Micro & Nano Bioengineering: MIT, NUS, NTU and Tohoku, (2010-1), 41-42.

国内学会, 研究会等

32. 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行力学情報のリアルタイム可視化に関する研究, 超音波医学, Vol. 36, Supplement, (2009-5), S309.
33. 今川健太郎, 早瀬敏幸: 計測融合シミュレーションの誤差ダイナミクスに対する固有値解析, 第 41 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 2009 講演集, (2009-6), 113-116.
34. 早瀬敏幸: 複雑な実現象流れ場の計測融合リアルタイムシミュレーション (基調講演), 平成 21 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2009-6), 1-4.
35. 白井敦: 健康度のわかる血管情報の可視化, 第 8 回情報科学技術フォーラム(FIT200)講演論文集, (2009-8), DVD.
36. 今川健太郎, 早瀬敏幸: 計測融合シミュレーションの誤差ダイナミクスに対する固有値解析, 計測自動制御学会東北支部 45 周年記念学術講演会講演論文集, (2009-9), 109-112.
37. 加藤宇海, 浦沼晴香, 小泉遼, 船本健一, 早瀬敏幸: 生体モデリングにおける音響特性の制御と超音波計測 PVA ゲルによる実形状頸動脈モデルの作成, 計測自動制御学会東北支部 45 周年記念学術講演会講演論文集, (2009-9), 133-134.
38. 浦沼晴香, 白井敦, 早瀬敏幸: 内皮細胞の配向が好中球の挙動に与える影響に関する実験的研究, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, Vol. 6 No. 09-1, (2009-9), 195-196.
39. 加藤宇海, 船本健一, 早瀬敏幸, 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臨床データの解析, 日本機械学会第 20 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, No. 09-10, (2009-11), 43-44.
40. 小泉遼, 早瀬敏幸, 船本健一: 集中定数モデルによる循環器系病態の動特性解析 第 1 報: 心臓弁膜症の考察, 日本機械学会第 20 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, No. 09-10, (2009-11), 115-116.
41. 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 9 報: 計測ノイズの影響, 日本機械学会第 20 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, No. 09-10, (2009-11), 117-118.

42. 鈴木恒俊, 早瀬敏幸, 船本健一, 井上浩介: PVA 頸動脈モデルを用いた 3 次元超音波計測融合血流シミュレーション, 日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 09-55, (2010-1), 28.
43. 井上浩介, 早瀬敏幸, 樋口博: 曲がり管の運動が流れに与える影響に関する数値解析, 日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 09-55, (2010-1), 259.
44. 小泉遼, 早瀬敏幸, 船本健一: 集中定数モデルによる循環器系病態の動特性解析 第 2 報: 心室中隔欠損症の考察, 日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 09-55, (2010-1), 279.
45. 船本健一, 早瀬敏幸, 小玉哲也: 超音波 B モード画像の輝度値の変動に基づく微小循環の可視化, 日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 09-55, (2010-1), 376.

受賞

46. 今川健太郎: 第 41 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学生プレゼンテーション賞, (2009-6).
47. 今川健太郎, 早瀬敏幸: 第 41 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最優秀賞, (2009-6).