

# 平成 19 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	D2	山縣 貴幸
講師	白井 敦	D2	劉 磊
技術職員	井上 浩介	D1	今川 健太郎
教育研究支援者	船本 健一	M2	奥山 由希
		M2	菅家 裕輔
		M2	鈴木 禎嗣
		M2	竹内 公祐
		M2	芳賀沼 智美
		M1	海本 隆志
		M1	齋藤 学
		M1	中西 勉
		M1	山下 治

### 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（図2参照）。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。

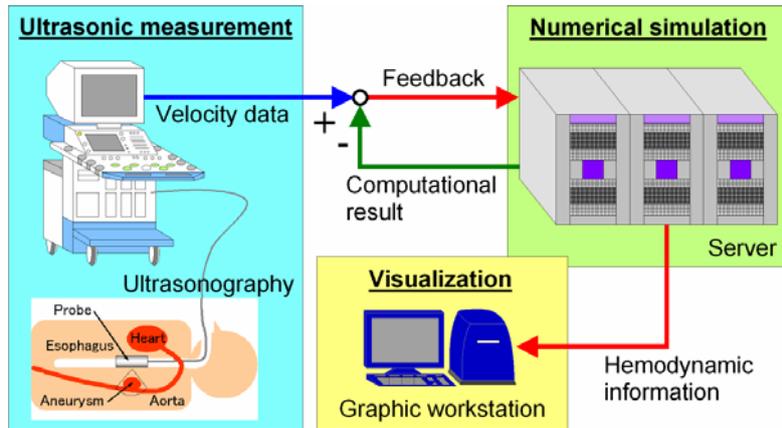
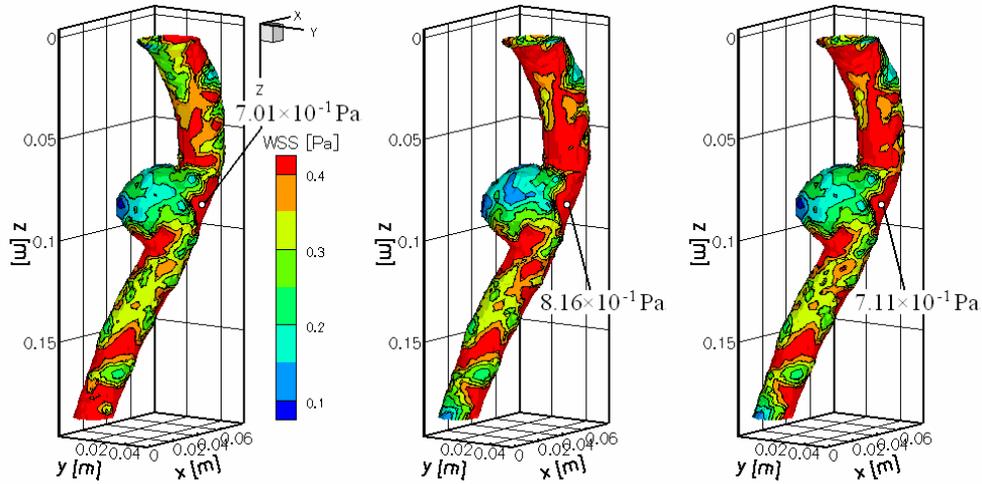


図1 医療計測と数値シミュレーションを融合した血流解析システム



(a) 基準解 (b) 通常のシミュレーション (c) 超音波計測融合シミュレーション

図2 下行大動脈に発症した動脈瘤の時間平均壁せん断応力分布の数値実験による比較

### 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、ガラス平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(図3参照)、各種コーティングによる特性の変化の解明を目的としている。

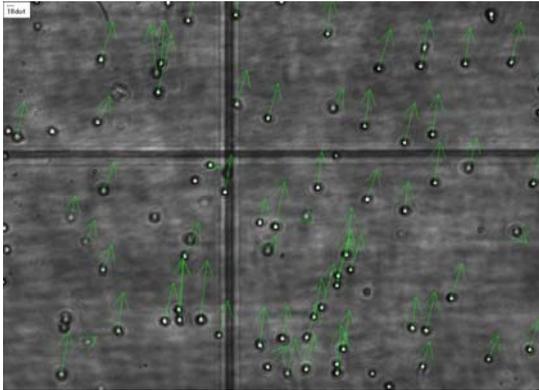


図3 傾斜遠心顕微鏡による好中球の写真と PTV 演算結果(矢印)

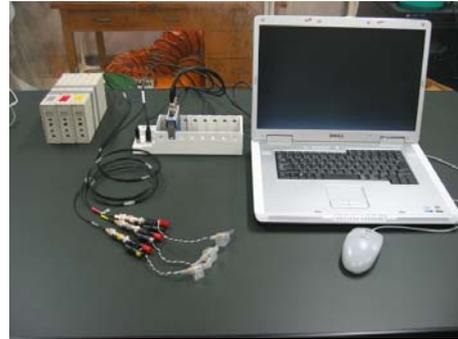


図4 フィルムセンサ型脈波計測システム

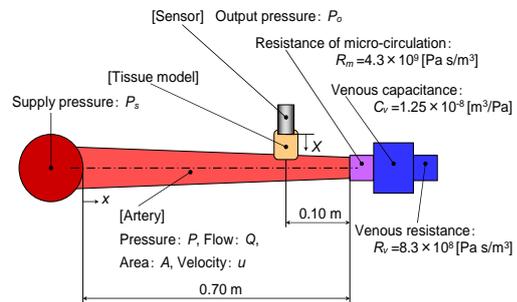


図5 腕部血管系数学モデル

### 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、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、腕部動脈系の数値血流解析による、脈診の科学的検証を目指している。本研究では、脈波波形の計測システムを開発するとともに(図4参照)、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5参照)、実験計測で得られた脈波波形を定量的に再現するための腕部皮下組織の力学モデルを提案している。

## 平成19年度の研究発表

### 学術雑誌（解説等を含む）

1. 永井弘人, 伊藤匠, 三浦慶太, 早瀬敏幸, 磯貝紘二: ホバリング飛行における3次元羽ばたき翼の非定常空気力の測定(第1報, レイノルズ数, 無次元振動数, 翼平面形状の影響), 日本機械学会論文集(B編), Vol. 73 No. 736, (2007-12), 2450-2458.
2. 鳴海 賢太郎, 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の構築, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74 No. 737, (2008-1), 142-148.
3. 是松大樹, 奈良橋英樹, 生井智章, 藤井亀, 早瀬敏幸, 山口隆平: 直角二連分岐管内流れの振動発生の実験的研究, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74 No. 738, (2008-2), 280-285.
4. 山縣貴幸, 柴田光, 早瀬敏幸, Kasper SMIT: ハイブリッド風洞による角柱後流のカルマン渦列の非定常圧力場の再現, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74 No. 738, (2008-2), 362-369.
5. 永井弘人, 伊藤匠, 三浦慶太, 早瀬敏幸, 磯貝紘二: ホバリング飛行における3次元羽ばたき翼の非定常空気力の測定(第2報, 台形波型と正弦波型羽ばたき運動の比較), 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74 No. 739, (2008-3).
6. 早瀬敏幸: 機械工学年鑑 ミクロスケールの流れ, 日本機械学会誌, Vol. 110 No. 1065, (2007-8), 594-595.

### 国際学会

7. Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: EFFECT OF NEUTROPHILS RETENTION TIME IN CAPILLARIES ON INCREASE IN THEIR CONCENTRATION IN A LATTICE CAPILLARY NETWORK MODEL, Proceedings of the ASME 2007 Summer Bioengineering Conference (SBC2007), (2007-6), CD-ROM (SBC2007-176717).
8. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe: Accuracy of ultrasonic-measurement-integrated simulation for three-dimensional blood flow in aneurysmal aorta, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, FEDSM2007, (2007-7), 1-6(CDROM).
9. Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase: EFFECT OF RETENTION TIME OF NEUTROPHILS IN ALVEOLAR CAPILLARIES ON INCREASE IN THEIR COCNENTRATION IN THE CAPILLARY NETWORK, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference (FEDSM2007), (2007-7), 1-6(CD-ROM) (FEDSM2007-37653).
10. Lei Liu, Toshiyuki Hayase: FUNDAMENTAL NUMERICAL EXPERIMENT FOR VALIDATION OF ULTRASONIC-MEASUREMENT-INTEGRATED SIMULATION USING STRAIGHT TUBE MODEL, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference (FEDSM2007), (2007-7), 1-4(CDROM).
11. Hirotaka Suzuki, koji Nagata, yasuhiko Sakai, Toshiyuki Hayase, and Takashi Kubo: Direct Numerical Simulation of Turbulent Boundary Layer Downstream of Turbulence-Generating Grid, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference (FEDSM2007), (2007-8), 1-5(CDROM).

12. Toshiyuki Hayase : Overview of Nano-Biomechanics Group in Global Nano-Biomedical Engineering Network Centre, 2nd International Symposium on 2007 Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and research Network Centre, (2007-9), 13-16.
13. Hiroto Nagai, Koji Isogai, and Toshiyuki Hayase : Measurement of Unsteady Aerodynamic Forces on 3D Flapping Wing (Comparison between Rotational and Sinusoidal Flapping Motions), JSASS-KSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering (2007-10), 284-287.
14. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe : Effect of Time Resolution of Measurement on Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Unsteady Blood Flow in an Aneurysmal Aorta, Proceedings of the 3rd Tohoku-NUS Joint Symposium on Nano-Biomedical Engineering in the East Asian-Pacific Rim Region, (2007-12), 13-16.
15. Tomomi Haganuma, Toshiyuki Hayase, Kosuke Inoue, Motohiro Takeda : Friction Characteristics of Red Blood Cells Under Physiological Temperature Condition Measured with an Inclined Centrifuge Microscope, Proceedings of The seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 62-63.
16. Kosuke Takeuchi, Kosuke Inoue, Toshiyuki Hayase : Development of a Three-Dimensional Blood Vessel Image Acquisition System with Ultrasonic Diagnostic Equipment, Processing of The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 54-55.
17. Yoshitsugu Suzuki, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Takashi Kosugi, Haruo Isoda : MR-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in a Cerebral Aneurysm, Proceedings of The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 58-59.
18. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Hiroshi Higuchi : Effects of Number of Feedback Points in PIV Measurement-Integrated Simulation, Proceedings of The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 232-235.
19. Takayuki Yamagata, Hikaru Shibata, Kasper Smit and Toshiyuki Hayase : Reproduction of a Real Flow with Karman Vortex Street by Integrating Flow Simulation and Pressure Measurement on an Obstacle, Proceedings of APCOM'07-EPMESC XI, CD-ROM, (2007-12), .
20. Yusuke Kanke, Toshiyuki Hayase, Tomoyuki Yambe, Muneichi Shibata, Yasuyuki Shiraishi : Numerical Simulation of Blood Flow in Left Atrium Modeled with Magnetic Resonance Imaging, Proceedings of The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 64-65.
21. Yuki Okuyama, Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto : Three-Dimensional Flow Simulation Around a Deformed Red Blood Cell Moving on a Flat Plate, Proceedings of The seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on

Transdisciplinary Fluid Integration (2007-12), 60-61.

22. Hiroshi Higuchi and Toshiyuki Hayase : Examples of Collaborative Japan- U.S. Fluids Information Triad Research (Invited), 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition (2008-1) 1-9.
23. Lei Liu, Toshiyuki Hayase, Makoto Ohta, Kosuke Inoue : Accuracy Verification of Ultrasonic Measurement for Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation Using Poly (vinyl alcohol) Hydrogel Straight Tube Phantom, 5th International Symposium on Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and research Network Centre, (2008-3).
24. Toshiyuki Hayase : Determination of Fine Structure of Blood Flows by Coupling Measurement and Simulation, 5th International Symposium on Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and research Network Centre, (2008-3).
25. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe : Numerical Evaluation of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow, Fifth International Bio-Fluid Symposium and Workshop, (2008-3).

#### 国内学会, 研究会等

26. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 早瀬敏幸, 久保貴 : 格子乱流の直接数値シミュレーション, 計算工学講演会論文集, Vol. 12 No. , (2007-5), 1-2.
27. 山縣貴幸, 柴田光, Kasper Smit, 早瀬敏幸 : 壁面圧力計測と流れのシミュレーションの融合による非定常流れのリアルタイム解析, 計測自動制御学会東北支部第 236 回研究集会資料, (2007-6), 1-8.
28. 白井 敦, 早瀬敏幸 : 肺毛細血管網における好中球の停滞時間が濃度上昇に与える影響, 日本機械学会 2007 年度年次大会, Vol. 6 No. , (2007-9), 83-84.
29. 奈良橋英樹, 是松大樹, 生井智章, 早瀬敏幸, 山口隆平 : 直角二連分岐管内流れの振動発生の研究, 日本機械学会 2007 年度年次大会, Vol. 7 No. , (2007-9), 101-102.
30. 藤代一成, 竹島由里子, 早瀬敏幸 : 協調的可視化環境のプロトタイピングと流体融合研究への適用, 日本機械学会 2007 年度年次大会, Vol. 6 No. , (2007-9), 175-176.
31. 劉磊, 早瀬敏幸 : PVA-H 直管モデルを用いた超音波計測融合シミュレーションにおける超音波計測精度の検証, 日本機械学会第 18 回バイオフィロンティア講演会講演論文集, (2007-10), 99-100.
32. 早瀬敏幸 : 超音波計測融合シミュレーションによる血流解析 (教育講演) , 第 17 回日本シミュレーション外科学会誌, (2007-10), 19.
33. 山縣貴幸, 早瀬敏幸 : ハイブリッド風洞による角柱後流のカルマン渦列の三次元解析, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, No. 85, (2007-11), .
34. 中西勉, 鳴海賢太郎, 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の構築, 第 11 回日本代替・相補・伝統医療連合会議(JACT) 第 7 回日本統合医療学界(JIM) 合同大会 2007in 松島 プログラム・抄録集, (2007-12), 76.
35. 劉磊, 船本 健一, 早瀬 敏幸 : 超音波計測融合シミュレーションにおける直円管内層流の解

36. 奥山由希, 早瀬敏幸, 船本健一: 平板上を移動する変形した赤血球まわりの3次元流動数値解析, 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 19-20.
37. 鈴木禎嗣, 船本健一, 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血流解析, 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 251-252.
38. 竹内公祐, 井上浩介, 早瀬敏幸: 超音波計測による3次元血流動態可視化システムの開発, 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 31-32.
39. 芳賀沼智美, 早瀬敏幸, 井上浩介, 武田元博: 傾斜遠心顕微鏡による生理的温度条件下での赤血球の摩擦特性の計測, 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 21-22.
40. 船本健一, 劉磊, 早瀬敏幸: 超音波計測融合シミュレーションにおける直円管内層流の解析(非軸対称フィードバック則による3次元解析), 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 271-272.
41. 菅家裕輔, 早瀬敏幸, 山家智之, 柴田宗一, 白石泰之: MRI計測に基づく左心房内血流場の数値シミュレーション, 日本機械学会第20回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2008-1), 29-30.
42. 早瀬敏幸: 計測との融合による流れの実現象のリアルタイムシミュレーション, EFD/CFD融合研究会, (2008-2).

## 主な論文別刷り

1. 鳴海 賢太郎, 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の構築, 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 74 No. 737, (2008-1), 142-148.
2. 山縣貴幸, 柴田光, 早瀬敏幸, Kasper SMIT : ハイブリッド風洞による角柱後流のカルマン渦列の非定常圧力場の再現, 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 74 No. 738, (2008-2), 362-369.
3. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe : Accuracy of ultrasonic-measurement-integrated simulation for three-dimensional blood flow in aneurysmal aorta, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, FEDSM2007, (2007-7), 1-6(CDROM).
4. Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase : EFFECT OF RETENTION TIME OF NEUTROPHILS IN ALVEOLAR CAPILLARIES ON INCREASE IN THEIR COCNENTRATION IN THE CAPILLARY NETWORK, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference (FEDSM2007), (2007-7), 1-6(CD-ROM) (FEDSM2007-37653).
5. Lei Liu, Toshiyuki Hayase : FUNDAMENTAL NUMERICAL EXPERIMENT FOR VALIDATION OF ULTRASONIC-MEASUREMENT-INTEGRATED SIMULATION USING STRAIGHT TUBE MODEL, Proceedings of the 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference (FEDSM2007), (2007-7), 1-4(CDROM).
6. Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe : Effect of Time Resolution of Measurement on Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Unsteady Blood Flow in an Aneurysmal Aorta, Proceedings of the 3rd Tohoku-NUS Joint Symposium on Nano-Biomedical Engineering in the East Asian-Pacific Rim Region, (2007-12), 13-16.
7. Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Hiroshi Higuchi : Effects of Number of Feedback Points in PIV Measurement-Integrated Simulation, Proceedings of The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and The Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, (2007-12), 232-235.
8. Hiroshi Higuchi and Toshiyuki Hayase : Examples of Collaborative Japan- U.S. Fluids Information Triad Research (Invited), (2008-1), 1-9.

## 5. 参考資料

### テレビ放映

平成 19 年 10 月 22 日 東日本放送「東北大学の世紀」計測と計算の融合が命を救うにて計測融合血流シミュレーションが紹介された。