

タイトル：超音波計測融合シミュレーションによる血流解析

担当分野：超実時間医療工学研究分野

### 1. 研究目的

心筋梗塞や脳卒中など、重篤な循環器系疾患の発症や進展には、血流から血管壁に作用する力、すなわち血行力学が重要な役割を果たすことが明らかとなっている。循環器系疾患の高度な診療方法の確立のためには、血流場の詳細かつ正確な情報が必要不可欠である。本研究は、臨床で広く用いられている超音波計測と数値シミュレーションを一体化した超音波計測融合シミュレーションを構築することにより、実験と計算の両者の特徴を併せ持つ新しい血流可視化診断装置を開発し、生体内の血流の詳細かつ正確な情報の取得を可能とすることを目的とする。

### 2. 研究成果の内容

#### 1) 超音波計測融合シミュレーション

超音波計測融合シミュレーションでは、超音波計測により得られるドプラ速度に関し、その計測結果とそれに対応する数値シミュレーション結果を比較し、両者の誤差に基づく信号を数値シミュレーションにフィードバックする。このフィードバックの効果により、血流速度や血管壁上の応力や圧力を再現できる（図 1）。医療画像より抽出した動脈瘤を有する下行大動脈内の血流を対象として数値実験を行った結果、動脈瘤内の血流の超音波計測データをフィードバックすることにより、上流端の境界条件が未知の場合でも、動脈瘤内の血流場を正確に再現することができ、本手法の有効性が示された。この研究成果は、医工学の国際学術雑誌の表紙を飾った（図 2）。

#### 2) 臨床応用

超音波計測融合シミュレーションの臨床応用について研究を行った。超音波診断装置で得られる頸動脈の血管断面のカラードプラ計測データをもとに、血管形状と血流量を自動的に抽出するとともに、超音波計測融合シミュレーションを行って、血管内部の血流を再現するシステムを開発した（図 3）。本システムによれば、通常の数値シミュレーションでは得ることが困難な壁せん断応力を正確

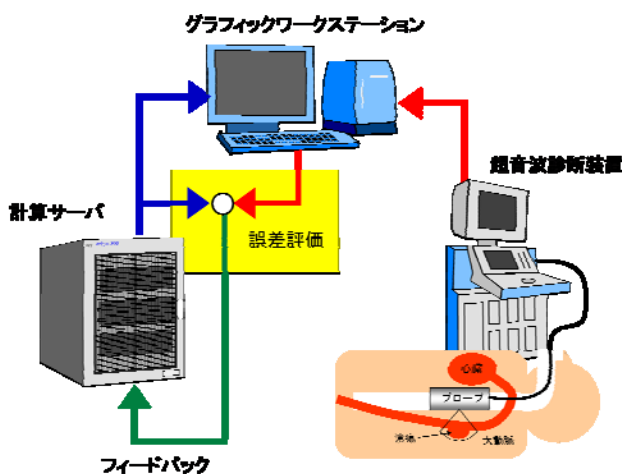


図 1 超音波計測融合シミュレーション



図 2 国際学術雑誌の表紙に掲載された解析結果

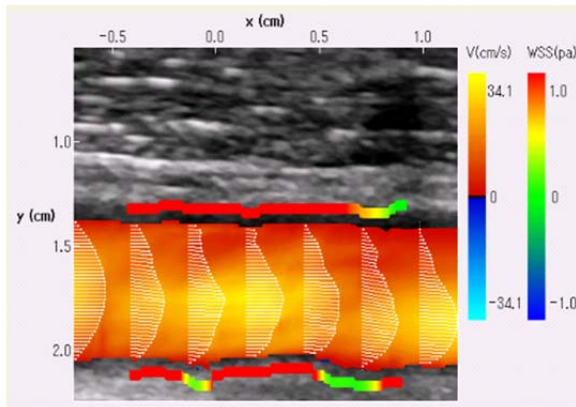


図3 ヒト頸動脈内血流の2次元超音波計測融合シミュレーション結果

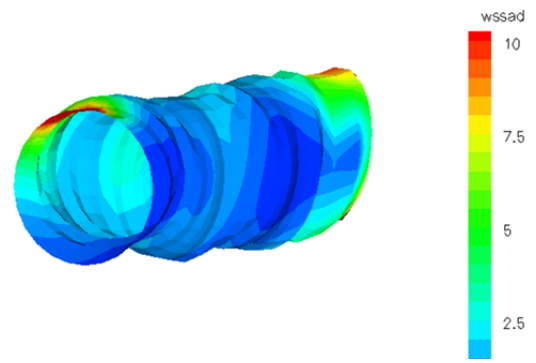


図4 マウス頸動脈の流体構造連成解析結果 (血管形状と壁せん断応力分布)

に再現することが可能である。本手法を用いて、動脈硬化や血管狭窄を定量的に評価できる新たな診断パラメータの構築が期待されている。

### 3) 小動物用血流解析システム

マウスなどの小動物による実験で血流の状態を正確に知ることは基礎実験において重要な課題である。小動物に特化した高精度の超音波計測融合シミュレーションシステムを開発している。本システムでは、血圧変動に伴う血管変形も考慮した流体・構造連成解析システムを実現し、より高精度な解析を可能としている (図4)。

## 研究成果

### ① 学術雑誌 (査読付き国際会議, 解説等を含む)

- 1) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Atsushi Shirai, Two-Dimensional Computational Flow Analysis and Frictional Characteristics Model for Red Blood Cell under Inclined Centrifuge Microscopy, JSME International Journal, Series C, 46, 1304-1311 (2003).
- 2) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe, Detection and Correction of Aliasing in Ultrasonic Measurement of Blood Flows with Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, Technology and Health Care, 13, 331-344 (2005).
- 3) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Atsushi Shirai, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe, Fundamental Study of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Real Blood Flow in the Aorta, Annals of Biomedical Engineering, 33, 415-428 (2005).
- 4) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Numerical Study on Variation of Feedback Methods in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in the Aneurysmal Aorta, JSME International Journal Series C, 49, 144-155 (2006).
- 5) 早瀬敏幸, 超音波計測融合血流シミュレーション, フルードパワーシステム, 37, 302-305 (2006).
- 6) Lei Liu, Kosuke Inoue, Toshiyuki Hayase, and Makoto Ohta, Experimental Validation of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation for Blood Flow in Aorta, Future Medical Engineering Based on Bionanotechnology, Eds. Esashi, M., Ishii, K., Ohuchi, N., Osumi, N., Sato,

- M., and Yamaguchi, T., 981-986 (2007).
- 7) Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto, Takayuki Yamagata, Lei Liu, Atsushi, Makoto Ohta, Kosuke Inoue, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe, Numerical Realization of Blood Flow in Aneurysmal Aorta by Integrating Measurement and Simulation, Future Medical Engineering Based on Bionanotechnology, Eds. Esashi, M., Ishii, K., Ohuchi, N., Osumi, N., Sato, M., and Yamaguchi, T., 857-868 (2007).
  - 8) Takayuki Yamagata and Toshiyuki Hayase, Development of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation System for Complex Blood Flows, Future Medical Engineering Based on Bionanotechnology, Eds. Esashi, M., Ishii, K., Ohuchi, N., Osumi, N., Sato, M., and Yamaguchi, T., 1045-1051 (2007).
  - 9) 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, 36, 1383-1397 (2008).
  - 10) 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, 3, 161-175 (2008).
  - 11) 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, 3, 101-115 (2008).
  - 12) 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, 29, 178-184 (2009).
  - 13) 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, 37, 34-49 (2009).
  - 14) 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, 116, 2242-2250 (2010).
  - 15) Funamoto, K., Hayase, T., Saijo, Y., Yambe, T., Numerical Analysis of Effects of Measurement Errors on Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 58, 653-663 (2011).
- ② 国際会議・国内学会・研究会・口頭発表等
- 1) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Atsushi Shirai, Tomoyuki Yambe, and Yoshifumi Saijo, Reproduction of Real Blood Flow in Aorta with Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, Third International Symposium on Advanced Fluid Information, AFI-2003, , 39-40 (2003).
  - 2) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo and Tomoyuki Yambe, Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in the Aorta with an Aneurysm, Proceedings of The Fourth International Symposium on Advanced Fluid Information and The First International Symposium on Transdisciplinary Fluid Intergration AFI/TFI2004, 1, 16-21 (2004).

- 3) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Atsushi Shirai, Yoshifumi Saijo and Tomoyuki Yambe, Application of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation to Blood Flow, *Frontiers of Medical Infomatics, The 4th International Simposium on Future Medical Engineering based on Bio-nanotechnology(21st Century COE Program)*, , 78-79 (2004).
- 4) Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Development of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation System for Complex Blood flows, *Proceedings of the Fifth International Symposium of Advanced Fluid Information*, , 61-62 (2005).
- 5) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Effect of Ultrasound Probe Placement in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flows, *Proceedings of the 12th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME 2005)*, CD-ROM, 1-4 (2005).
- 6) Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto, Takayuki Yamagata, Lei Liu, Atsushi Shirai, Makoto Ohta, Kosuke Inoue, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe, Transdisciplinary Methodology Integrating Measurement and Simulation in Application of Complex Biomedical Flows, *Proceedings of the Fifth International Symposium on Advanced Fluid information, AFI-2005*, , 36-39 (2005).
- 7) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Effect of Feedback Domain in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation on Reproduction of Blood Flow Field in an Aneurysmal Aorta, *Proceedings of the 6th International Symposium on Future Medical Engineering based on Bio-nanotechnology*, , 62-63 (2005).
- 8) Lei Liu, Kosuke Inoue, Toshiyuki Hayase, Makoto Ohta, Experimental Validation of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation for Blood Flow in Aorta, *Proceedings of Second International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, TFI-2005*, , 37 (2005).
- 9) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation For Reproduction Of Three-Dimensional Blood Flow Field In The Aorta With Aneurysm, *Proceedings of the 2005 Summer Bioengineering Conference*, CD-ROM, 1-2 (2005).
- 10) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe, Effect of Density of Monitoring Points for Feedback in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in the Aorta with Aneurysm, *Proceedings of the Third IASTED International Conference on Biomedical Engineering (BioMED 2005)*, , 118-123 (2005).
- 11) Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto, and Atsushi Shirai, Measurement-Integrated Simulation for Numerical Realization of Complex Bio-Fluid Systems, *The Second International Symposium on Intelligent Artifacts and Bio-systems, 2nd INABIO*, , 65 (2005).
- 12) Lei Liu, Kosuke Inoue, Toshiyuki Hayase, and Makoto Ohta, Application of Ultrasonic Measurement to PVA-H Tissue-mimicking phantom, *The 2nd Tohoku-NUS Joint Symposium on the Future Nano-medicine and Bioengineering in the East Asian Region*, , 97-98 (2006).
- 13) Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Method of Determining Unsteady Blood Flow Rate Condition in Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, *The 2nd Tohoku-NUS Joint*

- Symposium on the Future Nano-medicine and Bioengineering in the East Asian Region, , 45-46 (2006).
- 14) Toshiyuki Hayase, Integration of Measurement and Simulation in Complex Blood Flow Researches in Super-Real-Time Medical Engineering Laboratory, Proceedings of 3rd International Conference on Flow Dynamics, , 87-88 (2006).
  - 15) Toshiyuki Hayase and Kenichi Funamoto, Blood Flow Simulation Coupled with Ultrasonic Measurement, The 1st Japan Korea Student Workshop, , 2 (2006).
  - 16) Lei Liu, Kosuke Inoue, Toshiyuki Hayase, Makoto Ohta, Fundamental Study of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation: Numerical Experiment and Experimental Application with PVA Straight Pipe Model, Proceedings of the Sixth International Symposium on Advanced Fluid Information, , 53-54 (2006).
  - 17) Toshiyuki Hayase, Ultrasonic-measurement-integrated simulation of blood flows (Invited lecture), 3rd International Intracranial Stent Meeting, , (2006).
  - 18) 早瀬敏幸, 計測融合シミュレーションによる流れ解析と医療への応用 (招待講演), 第2回 REDEEM シンポジウム 医療工学の最前線, , 15-18 (2006).
  - 19) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Improvement of accuracy of blood flow simulation by integrating measurement using ultrasonic Doppler method, Journal of Biomechanics (Abstracts of the 5th World Congress of Biomechanics), 39, S612 (2006).
  - 20) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Fundamental study of transient characteristics of ultrasonic-measurement-integrated simulation toward reproduction of unsteady blood flows, Proceedings of ASME 2006 Summer Bioengineering Conference(CD-ROM), , CD-ROM (2006).
  - 21) 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, , 13-16 (2007).
  - 22) 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, , 54-55 (2007).
  - 23) 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, , 19 (2007).
  - 24) 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, , 1-6(CDROM) (2007).
  - 25) 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), , 1-4(CDROM) (2007).
- 26) Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Development of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation System for Real Time Analysis of Complex Blood Flow, Proceedings of The 9th International Symposium on Future Medical Engineering Based on Bio-nanotechnology, , 42-43 (2007).
  - 27) Lei Liu, Toshiyuki Hayase, Fundamental Study of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation: Numerical Experiment with an Axisymmetric Cylinder Model, The 9th International Symposium on Future Medical Engineering Based on Bio-nanotechnology, , 88-89 (2007).
  - 28) 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 PROGRAM & ABSTRACT, , 19-20 (2008).
  - 29) 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, , 30-31 (2008).
  - 30) 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”, , 36-37 (2008).
  - 31) Osamu Yamashita, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Development of Material Close to Anatomy: Experimental Apparatus to Measure Acoustic Properties, Tohoku-NUS Student Joint Symposium, , 6-7 (2008).
  - 32) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Numerical Evaluation of Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow, Proceedings of 5th International Bio-Fluid Symposium and Workshop, , 116-117 (2008).
  - 33) 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 Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, , 103-106 (2008).
  - 34) 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, , 75-78 (2008).
  - 35) 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, , 116-117 (2009).
  - 36) 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, , 102-103 (2009).
- 37) 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, , 120-121 (2009).
- 38) 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), , 1-2 (2009).
- 39) 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, , 114-115 (2009).
- 40) 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, , 86-89 (2009).
- 41) 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, , 106-107 (2009).
- 42) Toshiyuki Hayase, Reproduction of Complex Real Flows by Measurement-Integrated Simulation (plenary lecture), International Symposium of Experiment-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics (ECCMF), , 110 (2009).
- 43) Takayuki Sawao, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Experimental Validation of Ultrasonic-Measurement-Integrated Blood Flow Simulation Using Carotid Artery Models, 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, , 158-159 (2010).
- 44) Toshiyuki Hayase, Some Theoretical Issues on Measurement-Integrated Simulation (Keynote lecture), 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, , 54-55 (2010).
- 45) Takaumi Kato, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Masafumi Ogasawara, Takao Jibiki, Hiroshi Hashimoto, Koji Miyama, Evaluation of Wall Shear Stress Carotid Artery with Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation, Seventh International Conference on Flow Dynamics, , 542-543 (2010).
- 46) 船本健一, 早瀬敏幸, 医療計測との融合による血流解析, 日本機械学会第 88 期流体工学部門講演会講演論文集, , 619-620 (2010).
- 47) Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, Yoshifumi Saijo, Tomoyuki Yambe, Effect of Measurement Error on Ultrasonic-Measurement-Integrated Simulation of Blood Flow in an Aortic Aneurysm,

Proceedings of the 13th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program “Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre”, , 80-83 (2010).

- 48) Toshiyuki Hayase, Kennichi Funamoto, Kentaro Imagawa, Determination of Local Fine Structure of Blood Flows by Measurement Coupled Simulation, Proceedings of 12th International Symposium of Tohoku University Global COE Programme Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, , 89-92 (2010).
- 49) 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, , 41-42 (2010).
- 50) Kenichi Funamoto, Takaumi Kato, Toshiyuki Hayase, Integration of Ultrasound Color Doppler Imaging and Numerical Simulation, 2nd International Conference on Computational and Mathematical Biomedical Engineering (CMBE11), , 262-265 (2011).

③ その他（特許，受賞，マスコミ発表等）

1) 特許

- i. 血流可視化診断装置（特許第4269623号，登録日：2009年3月6日）
- ii. 超音波診断装置血流可視化装置およびプログラム（特願 2009-215969，出願日：2009年9月17日）

2) 受賞

- i. 計測自動制御学会学術奨励賞，流れの数値解析を融合した超音波診断装置の基礎的研究，船本健一（2004年2月23日）
- ii. 日本機械学会フェロー賞，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3報：3次元血流場の再現，船本健一（2004年11月6日）
- iii. 計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞，血流の超音波計測融合シミュレーションにおけるエイリアジングの除去，船本健一（2004年12月22日）
- iv. 日本機械学会流体力学部門優秀講演表彰，3次元超音波計測融合血流シミュレーションのフィードバック方式に関する検討，船本健一（2005年10月29日）
- v. 計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞，超音波ドプラ計測を融合した3次元血流解析に関する基礎的研究，船本健一（2006年5月17日）
- vi. 日本機械学会奨励賞（研究），超音波ドプラ計測と流れの数値解析を融合した血流解析の研究，船本健一（2007年4月6日）
- vii. 第12回GCOE国際シンポジウムポスター発表賞，Eigenvalue analysis for error dynamics of measurement-integrated simulation of blood flow，今川健太郎（2010年3月27日）
- viii. 日本超音波医学会奨励賞，超音波計測融合シミュレーションによる分岐血管の流量推定，船本健一（2010年5月30日）
- ix. 日本機械学会フェロー賞，超音波計測融合シミュレーションによる頸動脈内の壁せん断応力の評価，加藤宇海（2011年1月8日）



3) マスコミ発表：

- i. 生体内の血流構造再現，超音波診断装置とスパコン融合，シミュレーション装置開発，日刊工業新聞（2003年6月10日）
- ii. 世界唯一のスパコンで動脈瘤を解明へ，シリーズ東北大学 100年物語，仙台放送（2006年6月26日）
- iii. 計測と計算の融合が命を救う，東北大学の新世紀，東北放送（2007年10月22日）

# 生体内の血流構造再現

## 超音波診断装置とスパコン融合

### シミュレーション装置開発

超実時間医療工学の実現へ。東北大学流体科学研究所の早瀬敏幸教授らは、生体計測とシミュレーションの一体化による診断・治療の高度化に向けた医療工学分野の研究を進めている。常に変化を遂げる生体内の血流をリアルタイムで厳密に再現するのが大きな狙いだ。研究グループは、超音波診断装置とスーパーコンピュータ（スパコン）システムを一体化した超音波計測融合シミュレーション装置を開発、次世代融合研究手法の確立に取り組んでいる。

### 東北大学 科学研究所

#### 新センター発足

次世代融合研究は、計測データをリアルタイムで数値シミュレーションにフィードバックさせ、実現象を計算機上に再現する「計算」と「実験」を一体化した新たな研究手法。今年4月、東北大

を基盤とした「流体融合研究センター」を発足。

新センターの一プロジェクトとして早瀬教授らは、高度医療支援システム開発を担っている。

超音波計測とシミュレーションの融合による血流と圧力分布のリアルタイム可視化がプロジェクトのテーマ。現在のところ、超音波測定で得られる情報は、超音波ビーム方向の血流速度成分に限られ、圧力などの情報が得られない状況。一方で、計算機シミュレーションは、各瞬間の流れの条件を厳密に指定できないため、現実の血流を再現するにはやはり限界があったという。

#### 枠組み超え挑戦

臨床現場で「流れ」のシミュレーションを用いるためには、その計算結果が現実の血流そのものであることが不可欠で、

早瀬教授は「こうした問題を解決するために従来装置を開発、第一弾としての数値シミュレーションで大動脈にある潰瘍部の枠組みを超えたチャレンジャーシミュレーションにこのシミュレーション」

#### 圧力など計測

すでに研究室では、東北大加齢医学研究所と共同で、超音波診断装置と音波計測融合シミュレーション結果は、加齢研の潰瘍部の経食道超音波計測融合シミュレーション装置



超音波計測融合シミュレーション装置

## 臨床現場で流れ可視化 最適な治療計画可能に

波診断のデータを基にしたもの。診断画像（カラードプラ法）から求めた超音波方向の速度成分とシミュレーション結果との差を求め、その差に応じた体積力を信号として計算にフィードバック。それにより診断画像に見られる複雑な血流構造の再現が可能になった。断面的ではあるものの、従来の計測では得られなかった血管表面の圧力など

の強弱が分かるようになったのがポイント。「リアルタイムシミュレーションはまだ先。だが、これまで得られなかった情報が一部分かるようになった」（早瀬教授）

## 幅広い測定技術に應用も

今後研究が加速する。とて現在、計測不可能な血流速度の3次元構造や圧力分布、血管壁の上のせん断応力分布などがコンピュータ上に再現される見通し。従来の計測技術では分からなかった血流の詳細な特徴や血管表面に作用する力が明らかになれば、より正確な医療診断や治療計画につながるという。また、計測融合シミュレーションの原理は、超音波測定だけではなく幅広い測定技術に應用が可能。エック

### 微生物脱硫

大気汚染の硫黄酸化物(SOx)対策で石油中の硫黄分除去(脱硫)が注目されている。とくにディーゼル車の用油は、これまでの硫黄分濃度500ppmから04年末には50ppmと規制が強化される。08年には10ppmともいわれており、より高度な低硫黄軽油が必要になる。

### 安全で省エネルギー

#### 触媒法と組み合わせも研究

一口に硫黄分といっても、スルフイドなども、スルフイドなど脂質族の場合は水素化脱硫がしやすいが、ジベンゾチオフェンなどは、処理しても芳香族の場合は簡単ではない。そのため、触媒法と微生物法を組み合わせた研究などが進められている。



かし反応速度が遅く寿命が短いなどの欠点から、日本では実用化されていない。現在、石油会社などが採用するのは金属触媒を用いた接触水素化による水素化脱硫だ。数十気圧、300-400度Cという高温高

存在下で、硫黄に水素を反応させて除いている。環境面の問題が多いうえ、爆発の可能性がある水素を使うし、途上国ではプラント設置コストも重い。