

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2009～2010

課題番号：21686036

研究課題名(和文) 超高速超音波イメージングによる血管動態の高精度計測

研究課題名(英文) Accurate Measurement of Arterial Dynamics by High Frame Rate Ultrasonic Imaging

研究代表者

長谷川 英之 (HASEGAWA HIDEYUKI)

東北大学・大学院医工学研究科・准教授

研究者番号：00344698

研究成果の概要(和文)：

現在、脳梗塞などの重篤な疾患は、動脈硬化病変の破綻によって形成された血栓が内腔を閉塞することにより発症すると言われている。本研究では、病変の易破裂性診断など、動脈硬化症診断のための血管動態の高精度計測法に関する研究を行った。具体的には、心拍にともなう動脈壁の2次元変位の高精度計測方法を開発するとともに、3500 Hz という従来にない高時間分解能で血流を観察できる全く新しい超音波血流イメージング方法を開発し、その血流イメージから血流速度分布の推定も行った。

研究成果の概要(英文)：

The rupture of atherosclerotic plaque leads to serious events, such as cerebral infarction and stroke. Therefore, it is important to assess the arterial dynamics to evaluate the vulnerability of plaque. In this study, methods for measurement of the arterial dynamics, such as accurate measurement of 2-dimensional motion of the arterial wall and a new method for imaging blood flow at a very high frame rate of 3500 Hz, have been developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	4,200,000	1,260,000	5,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：動脈壁2次元変位、微小ひずみ、血流、血管動態、超音波

1. 研究開始当初の背景

動脈硬化は沈黙の病気である。すなわち、動脈硬化症自体は自覚症状がなく潜在的に進行し、突然、心筋梗塞・脳梗塞などとなって発症する。動脈硬化症の進行とともに動脈壁に局所的な病変が生じるが、心筋梗塞・不安定狭心症・脳梗塞等は、動脈硬化病変(動脈硬化性プラーク)自体が直接内腔を閉塞させるのではなく、動脈硬化性プラークがその

物理的な脆弱性(破裂し易さ)により破綻して形成された血栓が、末梢の冠動脈や脳動脈の内腔を閉塞させることにより引き起こされると1990年代から考えられてきている。したがって、動脈硬化性プラークの大きさなどの形態的な情報よりもプラークの機械的特性を評価し、易破裂性を診断することが重要である。しかし、従来の超音波診断装置やCT、MRIによる診断はいずれも、断層像を

用いて動脈硬化病変の形状を観察しているのが現状である。

易破裂性に影響する要素として、1) 拍動圧・流による動脈壁の変形およびそれを決定する壁の機械的特性の計測、2) 血流によるずり応力・乱流の発生による壁の振動(参考文献)が挙げられ、これらの計測を可能とするためには、動脈壁と血流の動態を計測する必要がある。

動脈壁の変位を高精度にトラッキング(追跡)するためには超音波データを取得するフレーム間隔を等間隔にする必要がある(従来の速度計測法は超音波ビーム走査の関係上、間歇的に高フレームレートである。この条件で追跡する場合、ある高フレームレート区間で推定した速度が、次の高フレームレート区間までの長い待機時間の間も保たれるという仮定が必要である)、その制約のため従来の方法ではフレームレートは300 Hz程度が限度で、a) 血流の計測ができないことである。また、近年、動脈壁が心拍によりその長軸方向にも変位する場合があることが報告されている。このような変位は血管長軸方向への伸びやずりひずみを発生させ、プラークの易破裂性に大きく影響すると考えられるが、現在、b) 長軸方向への変位は考慮されていない。

これらの問題 a), b) を解決するために我々は、超音波データを取得するフレームレートを数千 Hz まで向上させ、血流の描出を可能にするとともに、血管壁の2次元変位を計測計測する手法について検討を進めている。

2. 研究の目的

我々の血管の超音波計測に関するこれまでの研究成果をさらに発展させ、血管動態の高精度計測法として完成させるため、本研究では次の2つの問題を解決する。

- i) 径方向変位計測は、径方向ひずみを推定する(空間微分を行う)に十分な精度を達成した(径方向ひずみ推定精度約7%)。血管長軸方向変位に関しては、長軸方向ひずみ・ずりひずみを推定するに十分な計測精度を達成しているとは言い難いため、更なる精度向上を目指す。
- ii) 血球からの散乱超音波をエンハンスし、血流の存在部位を描出することは可能となった。本研究では、本血流イメージングの時間分解能を向上させ、より詳細に血流動態を観察できるようにする。

現在、受信超音波信号のパターンマッチングを用いた2次元変位計測法が広く用いられている。本研究では、この手法の高精度化・解析パラメータの最適化を行うとともに、本申請者がこれまで培った、超音波信号の位相を用いた変位計測のノウハウを活かし、超音波信号のビームに垂直な方向の変動成分の位相も長軸方向変位計測に導入する。

次に、血流イメージング法の時間分解能を向上させ、血流動態のより詳細な観察を可能とする。血流速度は動脈壁の移動速度より1桁程度大きく、散乱体分布の変化も大きいため、高時間分解能が必要である。本研究における超高速超音波イメージングシステムを用いて、高時間分解能な血流イメージを計測することを可能とし、血流速度分布の推定を行う。

3. 研究の方法

従来、2次元変位計測法として広く用いられている超音波信号パターンマッチング法では、異なる時刻(フレーム) t と $t + \Delta T$ に得られた2つの超音波信号のセット $\{s(t)\}$ と $\{s(t + \Delta T)\}$ について、 $\{s(t)\}$ に対して $\{s(t + \Delta T)\}$ を2次元的にシフトさせながら各シフト量における $\{s(t)\}$ と $\{s(t + \Delta T)\}$ 間の相関係数を算出し、相関係数を最大化するシフト量をこの2つのフレーム間の対象物変位として決定している。このとき、相関係数は超音波信号のサンプル間隔ごとに得られるため、変位検出の分解能はサンプル間隔(血管長軸方向では超音波ビームの走査間隔)に依存する。本研究では、標本化された相関係数分布を補間して変位検出の精度向上を図るとともにその限界について検討する。

一方、これまで申請者が径方向変位の高精度計測を実現できたのは、 $\{s(t)\}$ の径方向の変動成分(超音波周波数で変動)の位相を用いたためである。 $\{s(t)\}$ および $\{s(t + \Delta T)\}$ の位相は連続値として得られるため、位相変化(変位量に比例)の検出分解能は理論的には限界はない。同様の概念を $\{s(t)\}$ の長軸方向の変動成分(散乱体分布に依存)に適用すれば、長軸方向変位の高精度推定が期待できる。本研究では上記2つの手法について詳細な検討を行い、最良の推定結果が得られる方法を選択、もしくは複数の手法を組み合わせ高精度推定法を開発する。

開発する2次元変位計測に関して精度評価実験を行う。精度評価のための水槽実験システムにおいて、模擬血管(ファントム)の径方向変位は、ファントムの内圧を拍動流ポンプを用いて変化させることにより発生させる。また、長軸方向変位は、自動ステージを用いて超音波プローブを動かし、超音波プローブとファントムの間に相対的な長軸方向変位を発生させるようにする。径方向変位と長軸方向変位を同時に発生させるために、拍動流ポンプと自動ステージを同期して動作させる制御装置を製作する必要がある。

厚肉円筒管壁の径方向変位は、内圧変化と壁の弾性率から解析的に算出可能である。壁の弾性率を知るために別途内圧-外径試験を行う。内圧-外径試験において、内圧は円筒管内腔に設置した圧力センサで、外径の変化は

レーザー変位計を用いて計測する。内圧-外径試験により得られる壁の弾性率と内圧センサにより得られる内圧変化から径方向変位の真値を算出する。長軸方向変位の真値は、自動ステージに設定した変位量から知ることができる。変位の真値と計測結果を比較し計測精度の評価を行うとともに、計測誤差が最小となる相関窓幅、位相解析領域の大きさなど解析パラメータの最適化を行う。

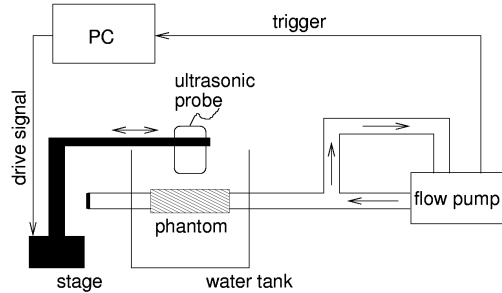


図 1: 基礎実験システム。

本申請者がこれまでに開発した超高速超音波イメージングシステムを用いた、血流の新しい超音波イメージング法に関する研究を行った。通常の超音波血流計測法では、血球からの微弱な超音波散乱波を検出するために、同じ計測位置に対して複数回超音波を照射している。この際、送受信ともに集束ビームを用いているため、1枚の画像を構成する走査線数分の送受信回数が必要であった。一方、本研究における超高速超音波イメージングシステムでは、広い送信ビーム中に複数の受信集束ビームを形成するため、同じ走査線数を得るための送信回数を低減でき、時間分解能を飛躍的に向上できる。この方法で得られた血球からの超音波散乱波を追跡することにより血流速度分布の推定を試みる。

さらに、開発した手法を用いてヒト頸動脈の *in vivo* 計測を行う。動脈壁は非圧縮性であるため、血圧の上昇により血管直径が増加し円周方向に引き伸ばされると体積を保存するため径(厚み)方向には薄くなるはずである。開発した動脈壁変位・ひずみ計測法を頸動脈に適用し、このような動脈壁の変位・ひずみが検出できるか確認する。また、開発した血流計測法を用いて実際に頸動脈の計測を行い、血流動態が観察できることを確認する。

4. 研究成果

4. 1 動脈壁の2次元変位計測法

我々は既に、受信超音波信号の位相を用いた超音波ビーム方向の変位計測法を開発している。本研究では主に、本研究で開発した超音波ビームと直交する方向(ラテラル方向)の変位計測法に関する検討を行った。

開発した変位計測法を、計測した超音波信号にヒルベルト変換を適用して得られる解

析信号 $y(m; n)$ に適用し、ラテラル方向の変位 $u_x(n)$ を推定した。各超音波ビームに沿って20点、ビーム方向 $50 \mu\text{m}$ の間隔で模擬血管後壁に關心点を設定し、それらの点のラテラル方向変位 $\{u_x(n)\}$ を推定した。図 2(1) と 2(2) において、プロットと縦棒はそれぞれ、各超音波ビーム位置において精度より計算時間を優先した手法および計算時間より計測精度を優先した手法を用いて得られたラテラル方向変位最大値 $\{\hat{u}_{x,(01),\text{max}}(n)\}$ の平均と標準偏差を示す。(a), (b), (c), (d)は複素相互相関関数を計算する際の相関窓幅の違いを示す。また、図 2 中の破線は自動ステージに設定した最大変位量を示す。複素相互相関関数の計算において、ビーム方向の相関窓幅は、これまでの研究により得られた最適値 $0.5 \mu\text{s}$ と設定した。ラテラル方向の相関窓幅については、図 2(b), 2(c), 2(d), 2(e)においてそれぞれ、 0.6 mm ($M_c = 2$), 1.2 mm ($M_c = 4$), 2.4 mm ($M_c = 8$), 3.6 mm ($M_c = 12$), と設定した。図 2 から分かるように、より多くの複素相互相関関数を用いることにより(計算時間より精度を優先した手法)、標準偏差が低減されていることが分かる。

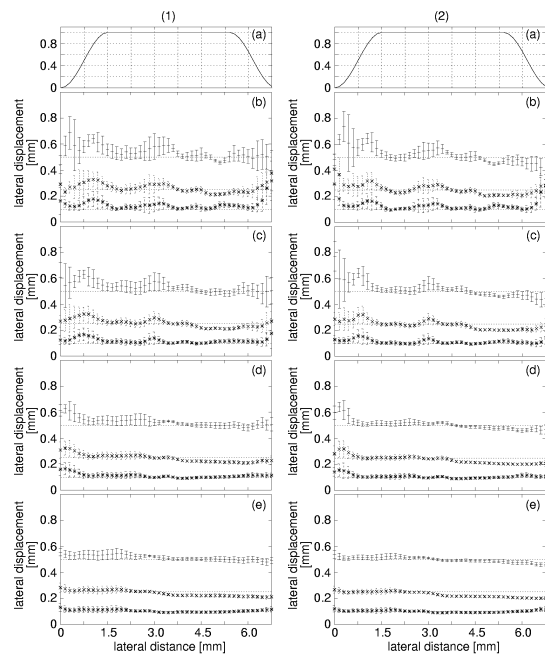


図 2: (1) (6)式および(2) (12)式により推定されたラテラル方向変位の平均値と標準偏差。

(a) 受信超音波 RF 信号のラテラル方向のヒルベルト変換の際に使用した Tukey 窓。相関窓幅 (b) 0.6 mm , (c) 1.2 mm , (d) 2.4 mm , (e) 3.6 mm において提案手法により推定されたラテラル方向変位。図中の破線はラテラル方向変位の真値を示す。

4. 2 血流の高時間分解能イメージング

従来のリニア走査では送信・受信ともにビームを形成するため、超音波送信繰り返し周

波数を f_{PRF} , ビーム本数を N_{bm} とするとフレームレートは $f_{\text{PRF}}/N_{\text{bm}}$ となる.

一方, parallel beam forming (PBF) では, 広いビームを送信(本研究では平面波)し, そのビーム内に複数の受信ビームを形成するために, リニア走査と同じビーム本数を得るために必要な送信回数を減少させることができる. ただし, 最終的なビームの指向性は, 送信ビームと受信ビームの指向性の積となるため, 従来のリニア走査に比べ方位分解能は劣化する.

本研究では, $N_t = 96$ チャンネル同時送受信を行うことにより parallel beam forming を行った. 1 つの受信ビームを形成するために使用する素子の数を N_e とし, 第 m ($m = 1, 2, \dots, M$) 回目の送受信に使用する素子の番号を $(N_t - N_e)(m-1) + i$ ($i = 1, 2, \dots, N_e$) とすると, 一回の送受信で $(N_t - N_e)$ 本のビームを形成することができる. 本報告では, 送信回数 $M = 3$, 受信ビーム形成に使用する素子数 $N_e = 72$ とすることにより, $M(N_t - N_e) = 72$ 本のビームを形成した. $f_{\text{PRF}} = 10416$ Hz (観察可能深度: 7.4 cm) であるから, 以上の処理によりフレームレート $f_{\text{PRF}}/M =$ 約 3500 Hz を実現できる. フレームレート 3500 Hz を実現したことで, 動脈壁のひずみと同時に, 血流の描出も可能であると考えられる. そこで, 受信ビームは $\phi = -\varphi_0, 0, \varphi_0$ の 3 種類の偏向角度で形成し ($\varphi_0 > 0$), $\phi = -\varphi_0, \varphi_0$ のビームを血流の描出に使用した.

血流イメージングでは, 偏向角度 $-\varphi_0$ と φ_0 のビームから得られる超音波 RF 信号に高域通過処理を行い, 血球からのエコーを強調する. 2 つの偏向角度 $-\varphi_0, \varphi_0$ において得られる, 第 n フレームの点 (x, y) における血球からのエコー信号(高域通過処理後)の振幅を $G_{-\varphi_0}(x, z; n)$, $G_{\varphi_0}(x, z; n)$ とすると (G はそれぞれ正規化されている), 血流描出に用いられるエコー信号の振幅データ $G_0(x, z; n)$ は次式で表される.

$$G_0(x, z; n) = \begin{cases} G_{-\varphi_0}(x, z; n) \text{ or } G_{\varphi_0}(x, z; n) & \text{(beams do not overlap)} \\ \frac{G_{-\varphi_0}(x, z; n) + G_{\varphi_0}(x, z; n)}{2} & \text{(beams overlap)} \end{cases} \quad (1)$$

$\phi = 90$ 度で形成されたビームから得られるエコー信号の振幅(高域通過処理なし)を $G_p(x, z; n)$ とすると, 血球からのエコーと動脈壁などの組織からのエコー両方の振幅を(2)式により重み付け平均したもの $G(x, z; n)$ を最終的な超音波像として表示する.

$$G(x, z; n) = \alpha G_p(x, z; n) + (1 - \alpha) G_0(x, z; n) \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (2)$$

本研究では, α は 0.9 と設定した.

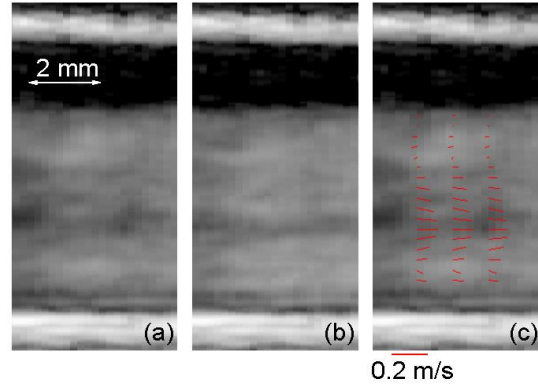


図 3: (a) 頸動脈の血流イメージ. (b) (a) から 6.6 ms 後の血流イメージ. (c) 輝度勾配から推定した血流速度プロファイル.

図 3(a) と 3(b) は 2 つの異なるタイミングの血流イメージである. 2 つのイメージ間の時間は 6.6 ms であり, 高速イメージング法により 6.6 ms 間に 32 枚の同様のイメージを得ることができる. これら 32 枚のイメージから, 時間方向および空間方向の輝度勾配を求め, 速度ベクトルを推定した結果が図 3(c) である. 内腔中心部に比べ, 壁に近い領域では血流速度が小さくなるという良く知られた血流速度分布が得られた.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. Hideaki Tagashira, Shenuarin Bhuiyan, Norifumi Shioda, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, and Kohji Fukunaga, σ_1 -Receptor stimulation with fluvoxamine ameliorates transverse aortic constriction-induced myocardial hypertrophy and dysfunction in mice, American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology, 査読有, 299 巻, 2010 年, 1535-1545
2. Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Two-Dimensional Tracking of Heart Wall for Detailed Analysis of Heart Function at High Temporal and Spatial Resolutions, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 49 巻, 2010 年, 07HF14-1 - 07HF14-9
3. Tomotaka Sawada, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Line-Focus Array Transducers for Effective Actuation of Tissue, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 49 巻, 2010 年, 07HF10-1 - 07HF10-6
4. Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, Phase-Sensitive Lateral Motion Estimator

- for Measurement of Artery-Wall Displacement—Phantom Study, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 査読有, 56 巻, 2009 年, 2450-2462
5. Toshio Yamagishi, Makoto Kato, Yoshiro Koiwa, Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, Impact of Lifestyle-Related Diseases on Carotid Arterial Wall Elasticity as Evaluated by an Ultrasonic Phased-Tracking Method in Japanese Subjects, Journal of Atherosclerosis and Thrombosis, 査読有, 16 巻, 2009 年, 782-791
 6. 高橋 広樹, 長谷川英之, 金井 浩, 超音波 RF 信号のコヒーレンスに基づく心臓壁領域同定, 超音波医学, 査読有, 36 巻, 2009 年, 679-681
 7. Ai Tokita, Yasushi Ishigaki, Hisashi Okimoto, Hideyuki Hasegawa, Yoshiro Koiwa, Makoto Kato, Hisamitsu Ishihara, Yoshinori Hinokio, Hideki Katagiri, Hiroshi Kanai, Yoshitomo Oka, Carotid Arterial Elasticity is a Sensitive Atherosclerosis Value Reflecting Visceral Fat Accumulation in Obese subjects, Atherosclerosis, 査読有, 206 巻, 2009 年, 168-172
 8. Toshio Yamagishi, Makoto Kato, Yoshiro Koiwa, Ken Omata, Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, Evaluation of Plaque Stabilization by Fluvastatin with Carotid Intima-Medial Elasticity Measured by a Transcutaneous Ultrasonic-Based Tissue Characterization System, Journal of Atherosclerosis and Thrombosis, 査読有, 16 巻, 2009 年, 662-673
 9. Shumarjav Uurtuya, Kazuhiko Kotani, Nobuyuki Taniguchi, Hiroaki Matsunaga, Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Kazuomi Kario, Shun Ishibashi, and Kouichi Itoh, Relationship between upper limb peripheral artery stiffness using the radial artery and atherosclerotic parameters, Journal of Medical Ultrasonics, 査読有, 36 巻, 2009 年, 129-135
 10. Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Flow-Mediated Change in Viscoelastic Property of Radial Arterial Wall Measured by 22MHz Ultrasound, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 48 巻, 2009 年, 07GJ10-1-07GJ10-5
 11. Nobutaka Saitoh, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Estimation of Scatterer Diameter Using Ultrasonic Backscattering Property for Assessment of Red Blood Cell Aggregation, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 48 巻, 2009 年, 07GJ08-1-07GJ08-5

[学会発表] (計 19 件)

1. Akinlolu Ponnle, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Improved Imaging of the Carotid Artery in the Short-Axis Plane by Using Multi-Element Diverging Beam from a Linear Array Transducer, 16th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 22, 2011, Sendai
2. Kosuke Kitamura, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Basic Study on Accurate Estimation of Surface Roughness Using Ultrasonic RF Echo for Application to Luminal Surface of Arterial Wall, 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering December 15, 2010, Singapore, Singapore
3. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Blood Flow Stream Line Imaging by Direct Visualization of Echo Trajectories, IEEE 2010 International Ultrasonics Symposium, October 13, 2010, San Diego, USA
4. 長谷川英之, 金井 浩, 心血管系の高速度超音波イメージング, 電子情報通信学会 2010 年ソサイエティ大会, 2010 年 9 月 17 日, 大阪
5. 長谷川英之, 金井 浩, 球面拡散超音波ビームを用いた高速心臓断層法, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 2010 年 9 月 16 日, 大阪
6. Taku Fukushima, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Estimation of Scatterer's Size by Normalized Power Spectrum of High-Frequency Ultrasonic RF Echo for Assessment of Red Blood Cellaggregation, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 15, 2010, Matsushima
7. Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Flow-Mediated Change in Viscoelastic Property of Radial Arterial Wall Byaccurate Detection of Arterial Wall Boundaries, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
8. Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Two-Dimensional Ultrasonic Measurement of Heart Wall Motion at Hightemporal and Spatial Resolutions, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
9. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Very High Frame Rate Imaging of Cardiovascular

- Tissues, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
10. 長谷川英之, 金井 浩, 球面拡散ビームを用いた高速超音波心臓断層法, 電子通信情報学会応用音響研究会, 2010年8月10日, 東北大学
 11. Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, High Frame Rate Cardiovascular Ultrasonography, 第49回日本生体工学会大会, 2010年6月26日, 大阪
 12. 長谷川英之, 金井 浩, 超音波信号の位相偏移と位相変化率の同時推定によるラテラル変位計測, 日本超音波医学会第83回学術集会, 2010年5月30日, 京都
 13. Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Kazuki Ikeshita, Evaluation of Transient Change in Viscoelasticity of Arterial Wall during Flow-Mediated Dilatation, 12th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 27, 2010, Sendai
 14. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Artery-Wall Elasticity Imaging with Ultrasound, 5rd International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics in Sendai, February 24, 2010, Sendai
 15. Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, Vascular Elasticity Imaging with Transcutaneous Ultrasound, 12th International Symposium on Advanced Biomedical Ultrasound, February 23, 2010, Sendai
 16. Yukiyo Ogata, Yukiya Miyachi, Kazushi Manaka, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Koichi Itoh, Carotid Artery Elasticity Using the Phased-Tracking Method Is Useful as a Risk Factor for Coronary Artery Disease, EUROSON 2009, December 6, 2009, Edinburgh, United Kingdom
 17. Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Kazuki Ikeshita, In Vivo Measurements of Change in Viscoelasticity of Arterial Wall during The Flow-Mediated Dilatation, ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2009, November 18, 2009, Lake Buena Vista, USA
 18. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Lateral Motion Estimator for Measurement of Artery-Wall Displacement, IEEE 2009 International Ultrasonics Symposium, September 22, 2009, Roma, Italy
 19. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, High Frame Rate Ultrasonic Imaging of Artery-Wall Strain and Blood Flow, 10th

International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, April 17, 2009, Christchurch, New Zealand

[図書] (計 1 件)

1. Hideyuki Hasegawa, Kentaro Tsuzuki, Masataka Ichiki, Fumiaki Tezuka, Hiroshi Kanai, Imperial College Press, Nano-Biomedical Engineering 2009, 2009年, 129-138

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

[その他]
 ホームページ等

6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 長谷川 英之
 (HASEGAWA HIDEYUKI)
 東北大学・大学院医学研究科・准教授
 研究者番号 : 00344698

- (2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

- (3) 連携研究者 ()

研究者番号 :