

研究種目：若手研究(A)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19686026
 研究課題名(和文)多チャンネル受信超音波の解析による動脈壁変位ベクトル・血流速度の同時計測法の開発
 研究課題名(英文)Development of a method for simultaneous measurement of artery-wall displacement and blood flow using ultrasonic echoes received by multi-channel array
 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：心筋梗塞・脳梗塞などの重篤な循環器疾患は、動脈硬化症の進展にともない動脈壁に発生する病変の破裂により発生すると言われている。したがって、病変の破裂し易さに関係する動脈壁の弾性特性および破綻のトリガとなりうる血流の計測が重要である。本研究では、動脈壁の弾性特性と血流を同時に計測するために必要な高速(3500 Hz)超音波イメージング法を開発するとともに、それにより得られた超音波信号を解析することにより動脈壁のひずみ(弾性特性)および血流を描出する手法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

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：計測システム

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把握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り、臨床の現場において動脈硬化性プラークの機械的特性を評価し、易破裂性を診断できる手法を開発することが必要である。

本申請者らは、このような課題を解決するために、動脈壁局所弾性特性の計測法の開発

を行ってきた。局所弾性特性を得るためには対象物の変形（半径方向ひずみ）を計測する必要がある。本申請者らは、動脈壁からの反射超音波の位相が対象物の変位に依存して変化することを利用して、超音波ビーム方向の変位の空間分布を高精度に推定し、その空間微分からひずみ分布を算出する手法を開発した。このひずみは、心拍にともなう血圧上昇により血管内腔は拡張し動脈壁が薄くなることに対応する。また、計測したひずみと血圧との関係から、弾性率を算出する手法を開発し、動脈壁の弾性率分布を非侵襲的に描出することを可能とした。

動脈壁の弾性特性は、動脈壁の組織性状と密接な関わりがあることから、動脈壁内の各組織の弾性率が既知であれば、経皮的に（非侵襲的に）計測した弾性率分布から組織性状を診断できる。そこで、*in vitro* 実験においてあらかじめ動脈壁内の各組織の弾性率を計測してデータベース”弾性ライブラリ”として登録しておき、体表から非侵襲的に計測した動脈壁の弾性率断層像を”弾性ライブラリ”をもとに分類することで、動脈壁の組織性状を非観血的に診断できる可能性を示した。また、組織性状診断の精度向上のため、動的弾性率の周波数特性から粘性率も算出する手法を開発した。しかし、本計測法で計測された、動脈壁内の脂質・血栓・線維組織・石灰化組織の弾性率分布は互いに異なるものの、重なりも大きい。また、弾性率の周波数による変化も小さく検出が難しい。したがって、さらにひずみの計測精度を向上させる必要がある。

従来開発した手法において、計測精度を劣化させる要因の1つは、超音波ビーム方向以外の対象物の変位である。特に、動脈硬化症患者で、血管が蛇行している場合などは、血管内腔が血管径方向に拡張する動きに加え、血管軸方向の動きも発生する。このような2次元もしくは3次元的な変位が発生する場合は、従来の超音波ビーム方向の1次元の変位計測法では計測精度が劣化するという問題がある。このような変位に対応するためには、3次元の変位計測法が必要であるが、3次元変位計測に必要となる2次元アレイプローブは現状では入手困難であるため、本研究では、1次元アレイ超音波プローブを用いて3次元にも適用可能な2次元の変位計測法を開発する。現在の多くの2次元変位計測法においては、2次元の相関法が用いられているが、超音波ビームに垂直な方向の変位計測分解能は、超音波ビーム方向の分解能に比べ劣化するため、超音波ビームと垂直な方向の変位計測において、超音波ビーム方向の変位計測と同等の精度は達成できていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、このような問題を解決するべく、申請者が開発した1次元のひずみ計測法を2次元に拡張し、2次元変位の高精度計測法を開発を行う。従来は、多チャンネルで受信した動脈壁からの反射超音波信号を、各チャンネルに対応した遅延を持たせて加算して合成し、その合成した信号をもとに超音波ビーム方向の変位を算出していた。この場合、超音波パルスが超音波送信器と対象物の間を超音波ビーム方向に往復する時間が、受信超音波の位相に対応するため、対象物が超音波ビーム方向に変位すれば受信超音波の位相が変化し、その位相変化から対象物変位を推定できる。しかし、1方向のみに形成される超音波ビームの合成後の信号を用いているため、受信超音波の位相は超音波ビーム方向の変位にしか感度がなく、ビームと垂直な方向の変位は測定できない。本研究では、多チャンネルで受信した、合成前の各チャンネルの受信信号を計測できるシステムを用いて、多方向の変位に対して受信超音波の位相の感度を持たせ、2次元変位を高精度に計測する手法を開発する。また、この場合、全チャンネルで送受信を行い、受信後のデータを用いてビームフォーミングを行うため、1枚当たりの撮像時間を短縮できる。

また、動脈壁のひずみ計測における従来の撮像時間では、速度が大きい血流の測定は不可能であったが、多チャンネル同時送受信を用いれば、動脈壁に比べ速度が大きい血流の速度も計測できる。動脈硬化病変の破裂は、病変自体の機械的特性に加え、血流による応力も1つの大きな要因であるため、壁の機械的特性と同時に血流速度が計測できる意義は大きい。また、2次元変位の高精度計測法が確立できれば、従来法における超音波ビームと直交する変位成分による計測精度劣化を防ぐことができ、動脈壁ひずみ・弾性率計測の精度向上が期待できるとともに、特に複雑な動きを呈する動脈硬化病変の計測も可能となる。

3. 研究の方法

対象物の変位に関して、受信超音波信号の位相が多方向に感度を持つためには、多方向にビームフォーミングする必要がある。多方向に形成されたビームに関して、申請者が開発した1次元の高精度変位計測法を適用し、多方向の変位を推定する手法を開発する。

また、高速超音波イメージング法に関し、ハイドロホンを用いて送信音場の評価を行う。また、点散乱体に対して多チャンネル同時送受信を行ったデータから多方向ビームフォーミングを行い、各ビームフォーミング角度における点拡がり関数を評価することにより空間分解能などを評価する。

既知の2次元変位を発生させるために、自動制御ステージを用いる。自動制御ステージを用いて超音波送受信器(プローブ)に2次元の変位を与えることにより、対象物(点散乱体およびシリコンゴム管)に対する相対変位を与え、その変位を推定し、2次元変位計測精度の評価を行う。

開発した動脈壁変位計測法をヒト頸動脈における非侵襲計測に適用する。得られた動脈壁の変位・ひずみ波形に関して、心臓の拍動にもなって血管内圧が上昇し、血管が拡張することにより壁が円周方向に引き伸ばされ、壁の厚さが薄くなるという変化が計測されていることを確認し、計測再現性などを評価する。血流計測に関しては、本計測システムにより計測した血流イメージと、従来の超音波ドプラ法で計測された血流イメージを比較することにより本計測システムによる計測結果の評価を行う。

4. 研究成果

まず、本申請者が有する96チャンネル同時超音波送受信システムの評価、およびチャンネル超音波RFデータ収集解析ソフトウェアの開発を行い、点散乱体(細径ワイヤ)を用いた基礎実験により96チャンネルの超音波データの収集およびその解析を行えることを確認した。

次に、チャンネル超音波RFデータをもとに2次元変位推定および血流の描出を行うためのビームフォーミング手法について検討を行った。まず、点散乱体に対して超音波の送受信を行い、空間分解能の評価を行った。本ビームフォーミング法により形成されるビームは、従来のリニア走査にくらべ20 dB幅では若干の劣化が見られたが、半値幅はほぼ同様であった。従来のリニア走査では、送信・受信ともに細い超音波ビームを形成しているため、送信開口を細かく走査する必要があり、フレームレートは数十 Hz に制限されていた。本研究では、広い送信ビームを用いることで送信回数を減少させ、フレームレート約3500 Hz という、血流のイメージングに必要な高いフレームレートを達成した。このように、高い空間分解能を保持したまま高いフレームレート(3500 Hz)を実現した例は国内外において初めてであり、重要な研究成果と言える。

さらに、動脈に対して複数の異なる角度でビームフォーミングを行い、動脈壁に垂直なビームを用いて壁の径方向ひずみの推定を、他の角度のビームで血流を、同時に描出する手法について検討を行った。ひずみ計測法については、壁弾性率が既知の円筒管を用いて精度評価を行うとともにヒト動脈の *in vitro* および *in vivo* 計測を行った。基礎実験において径ひずみの計測誤差は10%未満であった。

血流イメージングについては頸動脈における *in vivo* 計測を行い、拍動に同期して血流からの散乱超音波信号が描出された。この成果は、動脈壁の弾性特性と血流を同時に計測できる基礎として重要である。

上述した成果(ひずみ計測精度10%程度)に示されるように、超音波ビーム方向(径方向)の変位について高精度な計測を達成することができた。これは、超音波ビーム方向の超音波信号の変動周期(超音波周波数に対応)が既知であるため、対象物変位による超音波信号の位相変化を検出し、変動周期(波長)との関係から変位を推定できるからである。それに対し、超音波ビームと直交する(ラテラル)方向の信号変動周期は不明であるため、位相を用いたラテラル方向変位の高精度推定は困難であった。本研究では、ヒルベルト変換により得られる解析信号から、その位相変化と対象物のラテラル方向変位との関係を推定する手法を開発し、これまでに開発したビーム方向変位推定法と合わせて、動脈壁変位ベクトル計測法として確立した。

血流計測については、高フレームレート(3500 Hz)で得られた超音波血流イメージに対してオプティカルフロー法を適用し、血球からの超音波エコーの2次元トラッキングを行い、血流速度の空間分布を推定した。その結果、内腔中心部に比べ動脈壁に近い領域の血流速度が小さいという、従来の報告と同様の速度プロファイルの傾向が得られた。

本研究では、従来成し得なかった、動脈壁の変位ベクトルおよび血流速度という循環系診断に有用な指標を同時計測するための手法の基礎を確立した。3500 Hz の高速・高空間分解能超音波断層像、動脈壁のひずみ・血流の同時描出は、本研究により世界で初めて実現されたものである。今後は、本研究で開発した高速超音波イメージング法に適用可能な動脈壁2次元ひずみの推定法、血流速度の定量計測法などを研究開発し、循環系の高精度計測法・システムとして発展させる。

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14件)

- ① Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, "Simultaneous imaging of artery-wall strain and blood flow by high frame rate acquisition of RF signals," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 査読有, Vol. 55, No. 12, pp. 2626-2639, 2008.
- ② Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, "Reduction of influence of variation in center frequencies of RF echoes on

- estimation of artery-wall strain,” *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 査読有, Vol. 55, No. 9, pp. 1921-1934, 2008.
- ③ Yoshitaka Odagiri, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Ultrasonic measurement of strain distribution inside object cyclically compressed by dual acoustic radiation force,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 47, No. 5, pp. 4193-4199, 2008.
- ④ Kentaro Tsuzuki, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Masataka Ichiki, and Fumiaki Tezuka, “Threshold setting for likelihood function for elasticity-based tissue classification of arterial wall by evaluating variance in measurement of radial strain,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 47, No. 5, pp. 4180-4187, 2008.
- ⑤ Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Ultrasonic measurement of transient change in the stress-strain property of radial arterial wall caused by endothelial-dependent vasodilation,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 47, No. 5, pp. 4165-4169, 2008.
- ⑥ Takaomi Kinugawa, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Automated segmentation of heart wall using coherence among ultrasonic RF echoes,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 47, No. 5, pp. 4165-4169, 2008.
- ⑦ Kentaro Tsuzuki, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Masataka Ichiki, and Fumiaki Tezuka, “Optimal region-of-interest settings for tissue characterization based on ultrasonic elasticity imaging,” *Ultrasound in Medicine and Biology*, 査読有, Vol. 34, No. 4, pp. 573-585, 2008.
- ⑧ Teppei Onodera, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Measurement of angular dependence of ultrasonic scattering from wire phantom mimicking myocardial fiber,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4897-4899, 2007.
- ⑨ Hiroki Yoshiara, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, and Motonao Tanaka, “Ultrasonic imaging of propagation of contraction and relaxation in the heart walls at high temporal resolution,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4889-4896, 2007.
- ⑩ Takanori Numata, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Basic study on detection of outer boundary of arterial wall using its longitudinal motion,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4900-4907, 2007.
- ⑪ Kazuki Kudo, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Measurement of angular dependence of ultrasonic echo for estimation of surface roughness,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4873-4880, 2007.
- ⑫ Takuya Kaneko, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Ultrasonic measurement of change in elasticity due to endothelium dependent relaxation response by accurate detection of artery-wall boundary,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4881-4888, 2007.
- ⑬ Kosuke Ebina, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Investigation of frequency characteristics in cutting of soft tissue using prototype ultrasonic knives,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4793-4800, 2007.
- ⑭ Yusaku Abe, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Accurate estimation of scattering strength distribution by simultaneous reception of ultrasonic echoes with multichannel transducer array,” *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, No. 7B, pp. 4813-4819, 2007.
- [学会発表] (計 28 件)
- ① 池下和樹, 長谷川英之, 金井 浩, “高周波超音波を用いた内皮依存性血管弛緩反応による橈骨動脈壁の粘弾性特性変化の計測,” 日本音響学会春季大会, 2009 年 3 月 17-19 日, 東京.
- ② 長谷川英之, 金井 浩, “血流速度ベクトルの計測を目指した超高速超音波イメージング,” 日本超音波医学会基礎技術研究会, 2008 年 12 月 12 日, 京都.
- ③ Naoki Suzuki, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Viscoelasticity estimation of soft tissue for estimation of heat generation in application of ultrasonic surgical knife,” *29th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2008 年 11 月 11-13 日, 仙台.
- ④ Nobutaka Saitoh, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Measurement of scatterer-size dependent frequency characteristics of high frequency ultrasonic echoes for assessment of red blood cell aggregation,” *29th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2008 年 11 月 11-13 日, 仙台.
- ⑤ Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, “Optimization of window size and search region in 2D correlation function for assessment of regional myocardial contraction and relaxation,” *29th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2008

- 年 11 月 11-13 日, 仙台.
- ⑥ Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Accuracy evaluation for high-frequency ultrasonic measurement of viscoelasticity of radial arterial wall by basic experiments," *29th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2008 年 11 月 11-13 日, 仙台.
 - ⑦ Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Flow mediated change in viscoelasticity of radial artery noninvasively measured by 22-MHz ultrasound," *IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium*, 2008 年 11 月 2-5 日, 北京, 中国.
 - ⑧ Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Accurate ultrasonic measurement of myocardial regional strain rate at high temporal and spatial resolutions," *IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium*, 2008 年 11 月 2-5 日, 北京, 中国.
 - ⑨ Nobutaka Saitoh, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Assessment of red blood cell aggregation using normalized power spectrum of high frequency ultrasound," *IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium*, 2008 年 11 月 2-5 日, 北京, 中国.
 - ⑩ Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, "Simultaneous imaging of artery-wall strain and blood flow realized by high frame rate acquisition of RF echoes," *IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium*, 2008 年 11 月 2-5 日, 北京, 中国.
 - ⑪ 池下和樹, 長谷川英之, 金井 浩, "橈骨動脈壁のFlow-Mediated Dilatationによる粘弾性特性の変化の高周波超音波による計測," 日本超音波医学会第 81 回学術集会, 2008 年 5 月 23-25 日, 神戸.
 - ⑫ 長谷川英之, 金井 浩, "血管壁の弾性計測," 日本超音波医学会第 81 回学術集会, 2008 年 5 月 23-25 日, 神戸.
 - ⑬ 池下和樹, 長谷川英之, 金井 浩, "内皮依存性弛緩反応による橈骨動脈壁粘弾性特性変化の超音波計測," 日本音響学会春季大会, 2008 年 3 月 17-19 日, 千葉.
 - ⑭ Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, "Accurate tracking of arterial wall at high frame rate," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16, 筑波.
 - ⑮ Takaomi Kinugawa, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Evaluation of coherence among ultrasonic RF echoes for automated identification of heart wall," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16 日, 筑波.
 - ⑯ Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Ultrasonic measurement of transient change in viscoelasticity of radial artery wall caused by endothelial-dependent vasodilation," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16 日, 筑波.
 - ⑰ Kentaro Tsuzuki, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Masataka Ichiki, and Fumiaki Tezuka, "Optimization of elasticity-based tissue characterization of arterial wall by evaluating variance in measurement of radial strain," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16 日, 筑波.
 - ⑱ Yoshitaka Odagiri, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Ultrasonic measurement of displacement distribution inside object cyclically compressed by dual acoustic radiation force," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16 日, 筑波.
 - ⑲ Teppei Onodera, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Measurement of angular dependence of ultrasonic scattering from nylon phantom which mimics bundle of myocardial fibers," *28th Symposium on Ultrasonic Electronics*, 2007 年 11 月 14-16 日, 筑波.
 - ⑳ Magnus Cinthio, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Minute roughness measurement using phase tracking for arterial wall diagnosis noninvasively in vivo," *IEEE 2007 International Ultrasonics Symposium*, 2007 年 10 月 28-31 日, ニューヨーク, アメリカ合衆国.
 - ㉑ Takaomi Kinugawa, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Identification of heart wall based on coherence of ultrasonic RF echoes evaluated in frequency domain," *IEEE 2007 International Ultrasonics Symposium*, 2007 年 10 月 28-31 日, ニューヨーク, アメリカ合衆国.
 - ㉒ Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, "Transient change in hysteresis property of the arterial wall due to flow-mediated dilatation," *IEEE 2007 International Ultrasonics Symposium*, 2007 年 10 月 28-31 日, ニューヨーク, アメリカ合衆国.
 - ㉓ Hideyuki Hasegawa, Kazuki Kudo, and Hiroshi Kanai, "Angular dependence of ultrasonic echo from surface with minute roughness," *IEEE 2007 International Ultrasonics Symposium*, 2007 年 10 月 28-31 日, ニューヨーク, アメリカ合衆国.
 - ㉔ Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, "Strain imaging of arterial wall with translational motion compensation and error correction," *IEEE 2007 International Ultrasonics Symposium*, 2007 年 10 月 28-31 日, ニューヨーク, アメリカ合衆国.

カ合衆国.

㉓ 長谷川英之, 金井 浩, “超音波RF信号の高フレームレート計測による動脈壁ひずみ・血流の同時計測,” 日本音響学会秋季大会, 2007年9月19-21日, 甲府.

㉔ 池下和樹, 長谷川英之, 金井 浩, “内皮依存性弛緩反応時における橈骨動脈壁応力-ひずみ特性変化の超音波計測,” 日本音響学会秋季大会, 2007年9月19-21日, 甲府.

㉕ 長谷川英之, 金井 浩, 対象物の位置変化の相殺によるひずみ計測精度向上,” 日本超音波医学会第80回学術集会, 2007年5月18-20日, 鹿児島.

㉖ 長谷川英之, 金井 浩, “動脈壁の位置変化の相殺と超音波中心周波数の推定によるひずみ計測精度向上,” 第46回日本生体医工学学会大会, 2007年4月25-27日, 仙台.

[図書] (計2件)

① Iwaki Akiyama, Ed., *Acoustical Imaging*, Springer, Tokyo, pp. 19-25, 2008 (Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, “Strain imaging for arterial wall with translational motion compensation and center frequency estimation”).

② Mostafa Fatemi and Ahmed Al-Jumaily, Ed., *Biomedical Applications of Vibration and Acoustics in Imaging and Characterizations*, ASME Press, New York, pp. 41-55, 2008 (Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, “Strain induced by dual acoustic radiation force and its ultrasonic measurement”).

[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 :

<http://www.ecei.tohoku.ac.jp/~hkanai/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 英之 (HASEGAWA HIDEYUKI)

東北大学・大学院医工学研究科・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 :