

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360181

研究課題名(和文) 心筋の興奮伝導の非侵襲的超音波計測と可視化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Noninvasive Ultrasonic Measurement of Minute Mechanical-Excitation Wave-front Propagation in Human Myocardial Tissue and Its Visualization

研究代表者

金井 浩 (KANAI HIROSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10185895

研究成果の概要(和文)：

重篤な心臓疾患では、心臓壁を構成する心筋細胞に障害が出るが、現状ではその特性変化をベッドサイドで計測できる非侵襲診断装置はない。そこで本研究では、心筋の特性に関する非侵襲的診断法の確立を目的とし、独自に開発してきた非侵襲的計測によって見出した心筋の生理現象に基づき、心電信号に対応する電氣的興奮の伝播に対する心筋の応答性、心臓弁閉鎖に伴って発生する心音に対応した機械的微小振動の心臓壁内の伝播速度の可視化の研究を行った。

研究成果の概要(英文)：

Complexity of the cardiac contraction sequence is still not fully understood because the dynamic mechanical excitation process, which directly correlates with contraction, cannot be accurately measured based on the electro-magnetic phenomena. By developing a noninvasive novel imaging modality with high temporal and spatial resolutions, the present study shows that the propagation of the mechanical wave-front occurs at the beginning of cardiac contraction sequence for the first time (about 60 ms prior to the ordinarily accepted onset time of the contraction). From the apical side of the interventricular septum, a minute velocity component with an amplitude of several tenth micrometers is generated and it propagates from the apex to the base of the posterior wall, and then from the base to the apex of the septum, with a propagation speed of 3-9 m/s. This dynamic measurement modality is also applicable to various tissues in biology.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

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：心臓疾患，医用超音波工学，心臓壁弾性特性，位相差トラッキング法，電氣的興奮伝搬，合成開口法，三次元表示，心筋収縮弛緩特性

## 1. 研究開始当初の背景

心筋梗塞など重篤な心臓疾患では、心臓壁を構成する心筋細胞に障害が出ると言われているが、現状では、その特性変化をベッドサイドで計測できる非侵襲診断方法や装置はない。そこで本研究では、心筋の特性に関する非侵襲的診断法を確立することを目的とする。本研究が独自に開発した非侵襲的計測によって見出した心筋の生理現象に基

づき、本研究では、(1)心電信号に対応する電氣的興奮の伝導に対する心筋の応答性、(2)心臓弁閉鎖に伴って発生する心音に対応した微小振動の心臓壁内の伝播速度に関する断層像を描出・可視化する全く新しい計測システムを試作し、大学病院で各種心臓疾患へ適用し、心筋特性の診断法の確立を目指す。

従来、心臓の非侵襲的診断方法には、超音波エコー法・核磁気共鳴等があり、形態情

報・収縮機能・心腔内血流分布・心臓ポンプ機能の診断が行われている。最近では、心筋の収縮機能・拡張特性の非侵襲的計測が可能となっている。しかし、これらすべての手法の観察対象は、医師の肉眼によって確認できる程度の、拍動に伴うゆっくりした動きであり、周波数成分は高々数 Hz 程度までの低周波成分のみ、振幅も数百マイクロン以上の大きなものを対象にしており、ダイナミックな特性を計測し診断に役立てる試みは従来なかった。

本研究者は、独自に開発してきた超音波計測法を用いて、「大動脈弁が閉鎖するタイミング(収縮末期)の僅か数十 ms の期間に、弁閉鎖に伴って発生したパルス状振動が心筋を伝搬する生理学的な現象」を発見している(IEEE 論文誌 2005 年掲載, 米国心臓協会 AHA2006 年研究発表)。さらに「僧帽弁閉鎖時(拡張末期)においても同様な現象」を確認し、また「心電図 Q~R 波の間に心筋を伝導する電氣的興奮に対応した心筋の機械的応答を超音波計測できること」を示している(2007IEEE 超音波シンポジウム発表)。

本研究者のこれまでの予備実験では、こうした波動の伝搬現象は、被験者全員に対して必ずしも得られる訳はなかった。その原因は2つ考えられ、(1)計測精度が依然十分ではなく、特に「心電信号による電氣的興奮の伝導による心筋の応答特性」は、振動が数マイクロンと非常に小さく、計測の空間分解能と時間分解能の更なる向上が必要であること、(2)被験者によっては、心疾患のためにそのような波動伝搬現象がない可能性もあり、これらの原因を明確にして解決するため、さらに信頼性のある計測法を確立する必要がある。

## 2. 研究の目的

本超音波計測法の特長は、1本の超音波ビーム上にある心臓壁等の対象物の微小振動を、波形  $v(t)$  として計測し、その波形に FFT 等の周波数解析を施して、振動に含まれる各周波数成分の振幅および位相を求めることができる点にある。1本の超音波ビーム上に関心点を多数設定することによって、それらの点の振動波形  $v(t)$  を同時に計測でき、さらに超音波ビームを高速に(1秒間に500回以上)走査することで、それら複数のビーム上の数百点以上の多数点についても、ほぼ同時に振動波形  $v(t)$  の計測ができる。しかし、高速走査のためには、逆に超音波ビーム走査間隔を粗くする必要があり、空間分解能が低下している。これは、振動の伝搬を心臓細部にわたって描出するには不十分である。

そこで、本研究では、1年目に、高速走査をしながら、空間分解能も低下させないように、特殊な超音波ビーム形成を行う。また、本研究者が長年にわたり開発してきた装置は、工学的には優れているが、臨床の現場で使うには解析速度等依然不十分であり、病院に入院している重篤な患者へ適用することができない。そこで、本研究では、2年目に、既に開発された計測原理を実現する「臨床用のシステム」を試作し、3年目には、臨床応

用を行って、基礎データを集めて本手法の有効性を示す。本研究では、こうして完成させる計測システムを用いて、さらに様々な臨床データに関し、これらの病態との対応を詳細に検討し、その振動モード・伝搬速度の内圧依存性・周波数分散性・1拍の中での他のタイミングにおける振動などを明らかにし、これらの生理現象を体系的に解明した上で、電気計測学、超音波医工学、心臓生理学、循環器病学、レオロジーなどの学問分野に貢献する。

本研究者は、独自の超音波計測法を開発し(IEEE Trans. on UFFC. 1996年, 1997年, 2005年, アメリカ合衆国特許(Patent No. 5,840,028, 1998年登録), 国内特許(3652791号 2005年登録)), その計測システムを構築することで、「心臓壁にパルス状振動が伝搬する現象」を発見している。また、心電信号に対応する心筋内での電氣的興奮の伝導に伴って、心筋がピクッと僅かに動く現象を、超音波を使って非侵襲的に計測することを可能とした(2007IEEE 超音波シンポジウム発表)。これらは、今まで全く観察されなかった生理現象であるが、本計測法によって、健常者及び心筋梗塞などの患者においても観察でき、両者の差異も見出している(米国心臓協会 2007発表)。

本研究では、さらに計測上の様々な問題点を解決するとともに、医学への貢献を目指し、臨床の現場で心臓疾患の患者に適用できる計測システムを試作する。さらに、東北大学病院において心臓疾患の患者し、計測システムを改良するとともに、得られた解析結果から、循環器疾患の診断への可能性を示し、本研究開発責任者が独自の計測方法で発見した新しい現象による心臓生理学の体系化を図る。これによって、(1)不整脈における刺激伝導・興奮の旋回路の同定、(2)心筋梗塞による壊死心筋領域の同定、(3)拡張型心筋症における心筋の配列の乱れ(錯綜配列)の同定などの点から、心臓疾患の非侵襲診断の高精度化に貢献する。

## 3. 研究の方法

現有設備には、本研究者が代表者となって科学研究費で構築した『医用超音波デジタル計測システム』があり、各超音波ビームに沿って心臓壁内に設定した多数点での変位・速度波形・厚み変化の同時計測が可能である。しかし、振動波形を得るために必要であった高速走査によって、逆に超音波ビーム走査間隔が粗くなったため、心臓細部の観察には、空間分解能が現状では不十分である。そこで特殊な超音波ビーム形成によって、高速走査をしながら、空間分解能も維持するなどの問題を解決する必要がある。そのため本研究では、以下のプロセスで研究を遂行する。

- (1) 超音波ビームの高速走査を保ったまま、空間分解能を向上させるための方法と計測システム上の実現(平成 20 年度)
- (2) 心臓のファントムによる計測システムの評価と波動伝搬特性計測の精度向上の検討(平成 21 年度)
- (3) ヒト心臓(心臓疾患の患者)への適用し、

臨床上有意義で新しい診断情報を取得可能なことを示し、さらに、パルス状振動が伝搬する現象・心筋の粘弾性特性の変化を体系的に解明(平成 22 年度)

#### 4. 研究成果

重篤な心臓疾患では、心臓壁を構成する心筋細胞に障害が出るが、現状ではその特性変化をベッドサイドで計測できる非侵襲診断装置はない。そこで本研究では、心筋の特性に関する非侵襲的診断法の確立を目的し、独自に開発してきた非侵襲的計測によって見出した心筋の生理現象に基づき、心電信号に対応する電氣的興奮の伝導に対する心筋の応答性、心臓弁閉鎖に伴って発生する心音に対応した微小振動の心臓壁内の伝搬速度、の可視化の研究を行った。

(1) 超音波ビームの高速走査を保ったまま、空間分解能を向上させる方法と計測システムへの実現

本研究では、心臓壁の振動計測時のエイリアシングを防ぐため、超音波ビームを 10 方向程度に限定して高速に走査し、心臓壁内に設定した約 150 点でのパルス状振動  $v(t)$  の同時計測を実現してきた。しかし、高速走査によって空間分解能が低下しており、振動等の伝搬を心臓細部にわたって高精度に描出するには、現状では空間分解能が不十分である。そこで本研究では、90 度範囲のセクタ走査領域を 12 度程度の 8 個の帯状領域に分割し、各々の扇形に関して平面波を送信し、その扇形内のすべての反射・散乱波を、同じセクタ型超音波プローブで収集し、合成開口法に基づいて超音波ビームを再形成することによって、扇形内の全ての点からの散乱・反射波を分離して算出する方法を新たに考案した。

(2) 必要なソフトウェアを超音波デジタル計測装置に組み込み、独自の計測システムを構築

①上記の方法を実現するため、「超音波デジタル計測装置」にプログラムを作成した。

②次いで、付属するセクタ型超音波プローブの約 100 個の超音波トランスジューサ各々で同時に計測された RF 波形(標準化周波数:約 15MHz)を、1.での検討結果に基づいて解析し、心臓壁内各点から反射・散乱波の RF 信号を計測した。

③さらに、心臓壁内で密に設定された各点での振動波形  $v(t)$  を算出した。

④一方、心臓の 3 次元計測と表示に関しても、検討を行った。

(3) 心臓ファントムによる計測システム評価と波動伝搬特性計測の精度向上の検討

心臓のファントムとして、弾性球殻をシリコーンゴムによって作製し、加振器によってパルス状振動を伝搬させ、壁内に設定した数百点で、パルス状速度波形の空間分布の同時計測し、パルス状振動の伝搬速度の分散の算出、ラム波の伝搬速度の理論式をこの計測値に整合し、粘弾性率を算出し、本方法がヒト心臓に適用できることを実験的に示した。

(4)病院におけるヒト心臓への適用の準備

以上で構築し評価した計測システムを臨床の現場で利用するに当たり、計算時間などの問題を再検討して準備を進めた。その結果、リアルタイム装置にはまだ難しいが、オフライン処理は可能であることが分かった。

(5)心筋で生じる厚み変化との対応

健常者の心臓では、心電信号による興奮伝導によって、それに引き続き「厚み変化の伝搬」が生じる。そのため厚み変化を高い時間・空間分解能で求める必要がある。そのため的手法に関して、各種パラメータの最適化など詳細に検討を行って、局所ごとの厚み変化の時間的変化のイメージングを実現した。高い時間分解能と空間分解能を有する。

(6)局所伝搬速度算出の高精度化の検討

心臓壁の内部に任意の線状領域を設定し、その線状領域の振動位相の時間的変化を求めることによって、伝搬速度を安定化に算出できることを実験的に示した。

(7)ブタ心臓の狭心症モデルへ適用しパルス状振動が伝播する現象を可視化

東北大学医学部の協力を得て、ブタ心臓の冠動脈にアメロイドを埋め込み、徐々に冠動脈が堰き止められる狭心症のモデルに関して本計測を行った。特に心電信号の伝播直後に、心筋が動く振動が計測された。

(8)健常者への適用

健常者に関して心尖アプローチによって計測した結果を詳細に解析した結果、心電図 P 波直後に心尖部から振動パルスが発生し、そのパルスが、左心室自由壁を伝播して心基部に到達し、その後、心室中隔壁に伝わって、中隔壁に沿って心尖部まで左心室を 1 周する様子が可視化された。これは従来心臓生理学では言及されていない新しい事実と言える。今後、不整脈患者等における伝播経路の異常さの検出などへの応用が期待できる。

(9)心筋梗塞患者への適用

心筋梗塞患者に適用した結果、梗塞部位においては、心 1 音や 2 音に対応する機械的振動は伝播しているが、心 1 音より数十 ms 前の心電図 Q 波から R 波の間に、健常者では、心電信号が心基部から心尖部に伝播しているが、心筋梗塞患者では、健常部ではその伝播が見られるものの、病変部ではそうした伝播が見られないことが分かった。これは、本研究の目標とする結果が得られたものと考えられ、本研究のパルス状振動が伝播現象の意義を総括できる。

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 22 件)

1. Hideaki Tagashira, Shenuarin Bhuiyan, Norifumi Shioda, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, and Kohji Fukunaga,  $\sigma$ 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. Motonao Tanaka, Tsuguya Sakamoto, Shigeo Sugawara, Hiroyuki Nakajima, Takeyoshi Kameyama, Yoshiaki Katahira, Shigeo Ohtsuki, Hiroshi Kanai, Spiral systolic blood flow in the ascending aorta and aortic arch analyzed by echo-dynamography, Journal of Cardiology, 査読有, 56 巻, 2010 年, 97-110
  5. 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
  6. 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
  7. 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
  8. 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
  9. 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
  10. Shuumarjav 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
  11. 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
  12. 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
  13. Hiroshi Kanai, Propagation of Vibration Caused by Electrical Excitation in the Normal Human Heart, Ultrasound in Medicine and Biology, 査読有, 35 巻, 2009 年, 936-948
  14. Hideyuki Hasegawa, Michiko Matsuura, Hiroshi Sato, Teruko Yamamoto and Hiroshi Kanai, Imaging of Gaps in Digital Joints by Measurement of Ultrasound Transmission Using a Linear Array, Ultrasound in Medicine and Biology, 査読有, 35 巻, 2009 年, 382-394
  15. 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, 55 巻, 2008 年, 2626-2639
  16. Motonao Tanaka, Tsuguya Sakamoto, Shigeo Sugawara, Hiroyuki Nakajima, Yoshiaki Katahira, Shigeo Ohtsuki, and Hiroshi Kanai, Blood flow structure and dynamics, and ejection mechanism in the left ventricle: Analysis using echo-dynamography, Journal of Cardiology, 査読有, 52 巻, 2008 年, 86-101
  17. 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 巻, 2008 年, 1921-1934
  18. 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, 47 巻, 2008 年, 4193-4199
  19. 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, 47 卷, 2008 年, 4180-4187
20. 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, 47 卷, 2008 年, 4165-4169
  21. 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, 47 卷, 2008 年, 4155-4164
  22. Kentaro Tsuzuki, Hideyuki Hasegawa, Masataka Ichiki, Fumiaki Tezuka, and Hiroshi Kanai, Optimal Region-of-Interest Settings for Tissue Characterization Based on Ultrasonic Elasticity Imaging, Ultrasound in Medicine and Biology, 査読有, 34 卷, 2008 年, 573-585
- [学会発表] (計 30 件)
1. Hiroshi Kanai, Visualization in Propagation of Electric Excitation in Human Heart, 16th International Symposium of Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 22, 2011, Sendai
  2. Takaya Uno, Hiroshi Kanai, LPUS: Labile Platform for Ultrasound System, 16th International Symposium of Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 22, 2011, Sendai
  3. 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
  4. 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
  5. 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
  6. Hiroshi Kanai, Visualization in Propagation of Electric Excitation in Human Heart, IEEE 2010 International Ultrasonics Symposium, October 13, 2010, San Diego, USA
  7. 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 Cell Aggregation, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 15, 2010, Matsushima
  8. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Very High Frame Rate Imaging of Cardiovascular Tissues, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
  9. Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Two-Dimensional Ultrasonic Measurement of Heart Wall Motion at High Temporal and Spatial Resolutions, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
  10. Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Flow-Mediated Change in Viscoelastic Property of Radial Arterial Wall By Accurate Detection of Arterial Wall Boundaries, 7th International Conference on Ultrasonic Biomedical Microscanning, September 14, 2010, Matsushima
  11. Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Kazuki Ikeshita, Evaluation of Transient Change in Viscoelasticity of Arterial Wall during Flow-Mediated Dilatation, 12th International Symposium of Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 27, 2010, Sendai
  12. Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Artery-Wall Elasticity Imaging with Ultrasound, 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics in Sendai, February 24, 2010, Sendai
  13. Hiroshi Kanai, Imaging of Vibration Propagating on Heart Wall, 12th International Symposium on Advanced Biomedical Ultrasound, February 23, 2010, Sendai
  14. Hideyuki Hasegawa and Hiroshi Kanai, Vascular Elasticity Imaging with Transcutaneous Ultrasound, 12th International Symposium on Advanced Biomedical Ultrasound, February 23, 2010, Sendai
  15. 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, UK
  16. Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Kazuki Ikeshita, In Vivo Measurements of Change in Viscoelasticity of Arterial Wall during The

- Flow-Mediated Dilation , ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2009 , November 18 2009, Lake Buena Vista, USA
17. Hiroshi Kanai , Anisotropy in Three-Dimensional Propagation of Electric Excitation in Human Heart, IEEE 2009 International Ultrasonics Symposium , September 22, 2009, Roma, Italy
  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
  20. Hiroshi Kanai , Propagation of Electric Excitation and Vibrations in the Human Heart , 10th International Symposium of Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, April 17, 2009, Christchurch, New Zealand
  21. Hiroshi Kanai, Ultrasonic Visualization of Propagation of vibration caused by electrical excitation in the normal human heart, 9th International Symposium of Tohoku University Global COE Program Global Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, March 28, 2009, Sendai
  22. Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Flow-Mediated Change in Viscoelasticity of Radial Artery Noninvasively Measured by 22-MHz Ultrasound , IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium, November 5, 2008, Beijing, China
  23. Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai , Accurate Ultrasonic Measurement of Myocardial Regional Strain Rate at High Temporal and Spatial Resolutions , IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium, November 5, 2008, Beijing, China
  24. Nobutaka Saitoh, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Assessment of Red Blood Cell Aggregation Using Normalized Power Spectrum of High Frequency Ultrasound, IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium, November 5, 2008, Beijing, China
  25. Hiroshi Kanai, Junya Ohkohchi, and Hideyuki Hasegawa, Ultrasonic Imaging of 3-Dimensional Propagation of Electric Excitation and Vibrations in Human Heart, IEEE 2008 International Ultrasonics Symposium, November 5, 2008, Beijing, China
  26. Hideyuki Hasegawa, 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 , November 3, 2008, Beijing, China
  27. Naoki Suzuki, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai, Viscoelasticity Measurement of Soft Tissue for Estimation of Heat Generation by Application of Prototype Ultrasonic Surgical Knife, 7th International Symposium of 2007 Tohoku University Global COE Program Nano-Biomedical Engineering Education and Research Network Centre, October 16, 2008, Tainan, Taiwan
  28. Hideyuki Hasegawa, Yoshitaka Odagiri, Hiroshi Kanai , Ultrasonic Imaging of Displacements Inside Objects Induced by Continuously Applied Fluctuating Acoustic Radiation forces, Acoustics'08 Paris, July 4, 2008, Paris, France
  29. Kazuki Ikeshita, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai, Flow-Mediated Change in Viscoelasticity of Radial Arterial Wall Measured by 22-MHz Ultrasound , Acoustics'08 Paris, July 4, 2008, Paris, France
  30. Yasunori Honjo, Hideyuki Hasegawa, Hiroshi Kanai , Accurate Ultrasonic Measurement of Two-Dimensional Displacement of Heart Wall Motion for Estimation of Myocardial Regional Strain Rate, Acoustics'08 Paris, July 4, 2008, Paris, France
- [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
- [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  
金井 浩 (KANAI HIROSHI)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：10185895
  - (2)研究分担者  
西條 芳文 (SAIJO YOSHIFUMI)  
東北大学・大学院医工学研究科・教授  
研究者番号：00292277  
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
  - (3)連携研究者 なし