

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22943

研究課題名（和文）ヒト心筋の収縮応答性の計測による心臓収縮を引起こす電気的興奮伝導の非侵襲的可視化

研究課題名（英文）Ultrasonic visualization of propagation of electrical excitation causing contraction by measuring human myocardial response

研究代表者

金井 浩（Kanai, Hiroshi）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：10185895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：虚血性心疾患の初期である虚血部は、速やかに冠動脈を再灌流させることで心筋の壊死を回避できる。そのため虚血部の迅速な同定が重要で、超音波を用いた局所心筋収縮特性の評価では、局所的かつ高精度な速度推定が鍵となる。本研究では、受信超音波信号を多周波数において解析し、複数の異なる周波数における超音波位相差を用いる速度推定法を提案した。本提案法は、空間平均を行わずに上記のような減衰や干渉の影響を軽減することができ、局所的な速度推定が可能である。提案法は従来法に比べて短い窓幅で速度推定を行え、局所的な速度分布、局所的な心筋ストレインレート計測が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来技術では不得意とされていた「心臓壁の高速な動きのトラッキング」と「心臓壁の厚み変化の評価」が可能となった。これらから心臓収縮を引起こす電気的興奮の伝導に伴う生体ヒト心筋の収縮応答性の非侵襲的可視化が達成されたものと言える。提案した複数の異なる周波数における超音波位相差を用いた速度推定法による、局所的な心筋ストレインレート計測を行うことで、心臓壁の局所心筋収縮特性と電気機械的特性の関係を明らかにできる可能性がある。これにより虚血性心疾患の初期段階である虚血部は、速やかに冠動脈を再灌流させることで心筋の壊死を回避でき、また心臓生理学と心臓疾患に関する学術体系が格段に広がることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：In the early stage of ischemic heart disease, the ischemic region can avoid myocardial necrosis by rapidly reperfusing the coronary arteries. Therefore, rapid identification of the ischemic region is important, and local and highly accurate velocity estimation is the key to the evaluation of local myocardial contraction characteristics using ultrasound. In this study, we analyzed the received ultrasonic signal at multiple frequencies and proposed a speed estimation method using ultrasonic phase differences at multiple different frequencies. This proposed method can reduce the effects of attenuation and interference as described above without performing spatial averaging, and local velocity estimation is possible. The proposed method can estimate the velocity with a shorter window width than the conventional method, and can measure the local velocity distribution and the local myocardial strain rate.

研究分野：医用超音波工学

キーワード：医用超音波計測 電気的興奮の伝導経路 心臓収縮 心筋応答 虚血状態 非侵襲的早期診断 超音波工学 位相差トラッキング法

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

心臓の収縮開始には、電気的興奮が、約1秒に1回、洞房結節で発し、順に房室結節、プルキンエ線維を介して、心臓全体の心筋に伝導する。もし、これら「心筋興奮(心電信号)の伝導経路」と「電気的刺激到来後の心筋収縮の伝搬速度」を非侵襲的に可視化できれば、心不全や心筋梗塞など重篤な心疾患において、心臓壁の心筋細胞各々の画期的診断が可能となる。そこで本研究者は、長年開発してきた「超音波による心臓壁の微小速度波形の非侵襲的計測法」によって、興奮の伝導に伴う心筋応答を生体で計測し、さらに(a)心筋応答が螺旋状に心筋を伝搬する現象と、(b)ブタ心臓の冠動脈を駆血して心筋を虚血状態すると、数秒後という僅かな時間に、興奮の伝導速度が約50%も低下する現象を見出した。これら本研究者が新たに見出した「心筋の生理現象」に基づき、本研究は、①心臓壁内での電気的興奮の伝導経路、②電気的興奮に伴う心筋の応答性・伝搬速度に関する断層像、を可視化する全く新しい超音波計測法を開発し、心筋特性の診断法の確立を目指す。これによって心臓生理学と心臓疾患に関する学術体系が格段に広がることを期待できる。

2. 研究の目的

非侵襲的な局所心筋機能の評価を目指し、心筋ストレインレート(SR)¹⁾に関する研究が行われてきた。心筋SRは、2点間の速度の差から算出されるため、その局所的な計測を行うためには、局所的な速度を推定する必要がある。先行研究²⁾では、受信超音波信号に位相差トラッキング法³⁾を適用することで、心臓壁内多数点における超音波ビーム方向の速度を推定していた。しかし、従来法は、受信信号を単一周波数で解析した際の位相差を用いるため、超音波が生体組織内を伝播する際の周波数依存の減衰の影響や多数の心筋線維からの散乱波の重ね合わせによって生じる干渉の影響に脆弱であり、これらの影響を低減するために、空間的な平均操作を行う必要があった。そのため、従来法を用いた心筋SR計測では、心臓壁の局所的な厚み変化を捉えることが困難であった。そこで、本研究では、位相差トラッキング法を多周波数に拡張し、空間的な平均操作を必要としない、局所的な速度推定法を提案した。提案法を用いた心筋SR計測を行い、心筋収縮特性の局所的な計測を試みた。

3. 研究の方法

多周波数に拡張した位相差トラッキング法

連続する2つのフレームの受信信号に対して、速度推定を行う関心点を中心に適当な窓をかけ離散フーリエ変換(DFT)を行い、得られた2つのスペクトルを用いて、フレーム間のクロススペクトルを算出する。周波数 f におけるクロススペクトルの位相は、受信信号を周波数 f で復調した解析信号のフレーム間の位相差を表す。DFTを行う窓内で速度が一定と仮定すると、クロススペクトルの位相は線形となる。

しかし、実際には、前述した減衰や干渉の影響により、周波数によっては心臓壁の速度によって生じる位相差と異なる値が計測される場合がある。そのため、クロススペクトルの振幅を重み関数とした最小二乗法によってクロススペクトルの位相の傾きを推定する。クロススペクトルの振幅が高いほど信号対雑音比が高いと考えられるため、クロススペクトルの振幅を重み関数とすることで、前述した減衰や弱め合う干渉の影響を低減できる。

また、干渉状態の変化によって生じる位相差が、各周波数において一定の傾向を持たないと仮定すると、複数の異なる周波数における位相差を用いることで、窓内の厚み変化によって生じる干渉状態の変化の影響を低減できると考えられる。そのため、提案法は、従来法のような空間的な平均操作を行わずに、関心点における局所的な速度を推定できる。

4. 研究成果

(1) 心臓壁の速度推定および心筋SR計測における従来法と提案法の比較⁴⁾

20代健常者3名の傍胸骨左室長軸断面における心室中隔壁を対象に2ms間隔の高フレームレート計測を行い、心電図R波近傍の時相において、従来法と提案法による速度推定を行った。従来法では空間的な平均操作を行う必要があるため、速度推定における窓幅は ± 3.0 mmであったのに対し、空間的な平均操作を必要としない提案法では、窓幅を ± 1.5 mmにまで短くすることができた。

図1(b)、1(c)に、被験者の中央ビームのMモード像上に描出した、従来法と提案法によって推定された速度分布をそれぞれ示す。図1(b)、1(c)のように、従来法と提案法では速度分布に

明らかな違いはみられなかった。

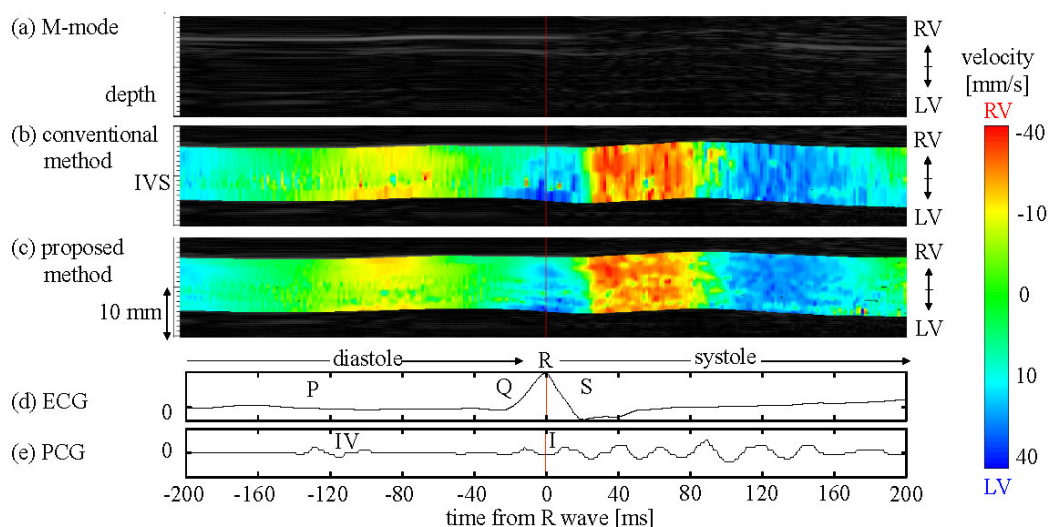


図1: 被験者の心電図R波近傍の時相における, (a) Mモード像, (b) 単一周波数での位相差トラッキング法(従来法)によって推定した速度分布, (c) 多周波数に拡張した位相差トラッキング法(提案法)によって推定した速度分布, (d) 心電図波形(ECG), (e) 心音図波形(PCG). (RV: 右心室, IVS: 心室中隔壁, LV: 左心室).

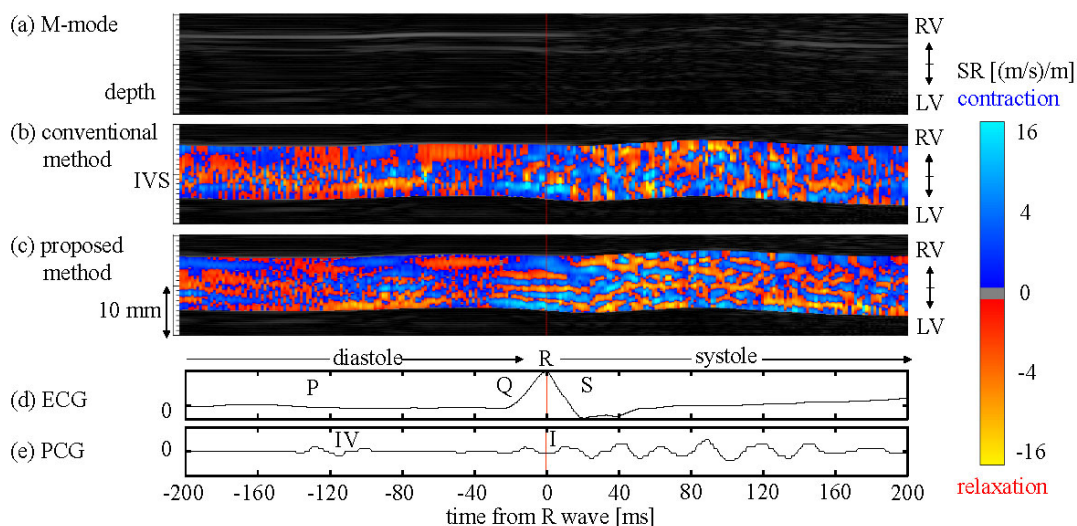


図2: 被験者の心電図R波近傍の時相における, (a) Mモード像, (b) 従来法によって計測した心筋ストレインレート(SR)分布, (c) 提案法によって計測した心筋SR分布, (d) 心電図波形(ECG), (e) 心音図波形(PCG).

図2(b), 2(c)に, 被験者の中央ビームのMモード像上に描出した, 従来法と提案法によって推定されたSR分布をそれぞれ示す。提案法では, 心電図R波からの時刻 $-20\text{ ms} \sim +40\text{ ms}$ において, 収縮層と弛緩層が貫壁方向に交互にみられる多層状の分布が得られた。一方, 従来法では, このような多層状の分布は計測されなかった。

心臓壁の動きには, 弁の開閉や心室の血流による心臓壁全体の大きな動きと, 電氣的興奮に呼応する局所的かつ微小な収縮応答が含まれる。速度分布では心臓壁全体の大きな動きが支配的であり, 従来法と提案法の窓幅による違いがみられなかったと考えられる。一方で, 心臓壁全体の動きを取り除いた局所的な厚み変化を表すSR分布では, 短い窓幅で速度推定が可能な提案法において, 従来法では計測できなかった, 局所的かつ微小な収縮応答がみられたと考えられる。

(2) 提案法による心筋収縮特性の局所的な計測^{5,7)}

局所的かつ微小な収縮応答を計測できる提案法を用いて, 心筋収縮特性の局所的な計測を試みた。図3に, 被験者の, 心電図R波からの時刻 $-12\text{ ms} \sim +10\text{ ms}$ において, 2 ms 間隔で計測した, 心筋SRの2次元分布を示す。図3(a)のように, 心尖部側では, 超音波ビームと直交する

方向(x方向)に連続な収縮層と弛緩層がみられた。SRは各超音波ビーム(z方向)で独立に算出されるため、収縮層と弛緩層の多層状の分布(x方向)は、心臓壁の生理学的構造を表すものと考えられる。

心筋SRの2次元分布から、電気的興奮の伝導に伴う心筋収縮応答の伝播を観察した。図3(a)-(g)のように、心電図R波からの時刻-12msからR波の時刻において、収縮成分(高輝度)は、心尖部側から心基部側へ向かって心筋層ごとに伝播した。この伝播の様子は左心室側で顕著にみられた。図3(g)-(1)のように、心電図R波の時刻から+10ms後までに、収縮を示す領域が徐々に増加した。

心筋線維は電気的異方性を持ち、心筋線維方向における伝導速度は線維に直交する方向の伝導速度に比べ2~4倍速いため、心臓壁内の電気的興奮の伝導は、心筋シート内の心筋線維方向に従う⁶⁾。本研究において計測された心筋収縮応答の伝播方向は、左心室側における心筋線維方向と一致していた。そのため、提案法による心筋SR計測によって、電気的興奮の伝導に伴う、局所的かつ微小な心筋収縮応答の伝播を計測できた可能性がある。

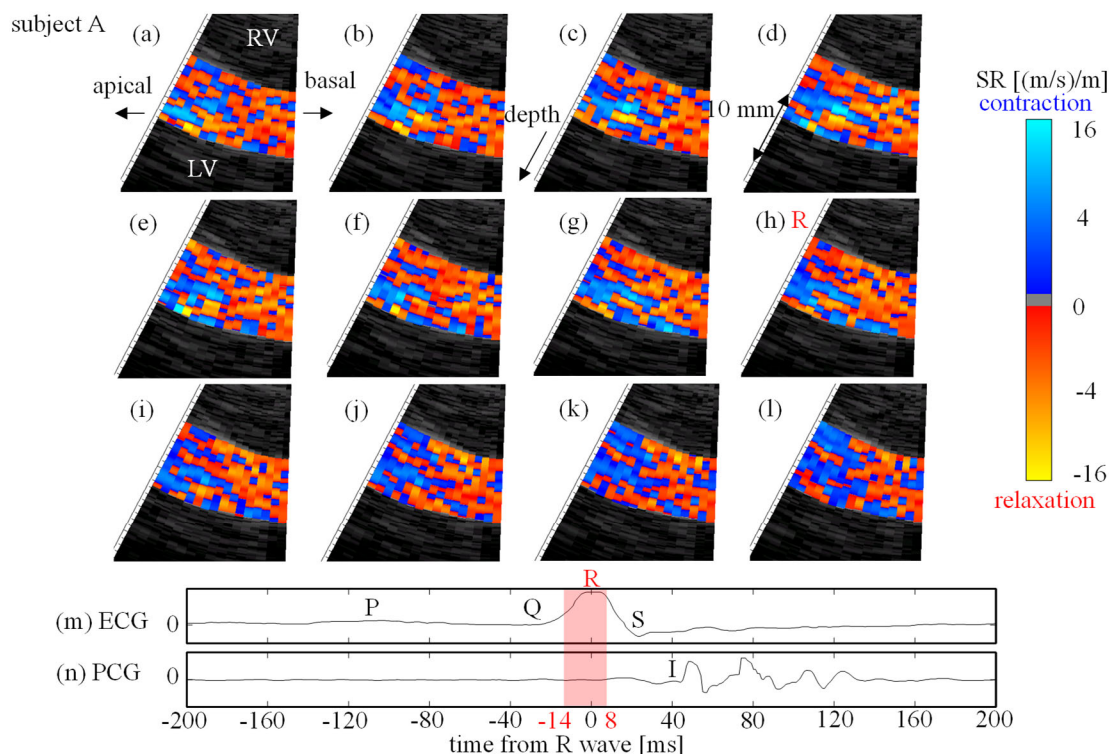


図3 心室中隔壁(IVS)におけるストレインレート(SR)の2次元分布。(RV: 右心室, LV: 左心室, ECG: 心電図, PCG: 心音図)

(3) まとめ

超音波を用いた局所心筋収縮特性の評価において、局所的かつ高精度な速度推定が重要である。従来の単一周波数での超音波位相差を用いる速度推定法は、超音波が生体組織内を伝播する際の散乱および吸収に起因する周波数依存の減衰の影響や、多数の心筋線維からの散乱波の重ね合わせによって生じる干渉の影響に脆弱であり、空間的な平均操作が必要であった。本研究では、受信超音波信号を多周波数において解析し、複数の異なる周波数における超音波位相差を用いる速度推定法を提案した。本提案法は、空間平均を行わずに上記のような減衰や干渉の影響を軽減することができ、局所的な速度推定が可能である。提案法の有用性をヒト心臓壁を対象とした *in vivo* 計測によって評価した。提案法は従来法に比べて短い窓幅で速度推定を行うことが可能であるため、従来法より局所的な速度分布を計測することができた。そのため、提案法によって局所的な心筋ストレインレート計測が可能となる。提案法による心筋ストレインレート計測では、心臓壁に電気的興奮が伝導する時相において、従来法ではみられなかった、収縮層と弛緩層が貫壁方向に交互に存在する多層状の心筋ストレインレート分布がみられた。また、心筋収縮が心筋線維の方向に伝播の様子がみられた。提案した複数の異なる周波数における超音波位相差を用いた速度推定法による、局所的な心筋ストレインレート計測を行うことで、心臓壁の局所心筋収縮特性と電気機械的特性の関係を明らかにできる可能性が示唆された。

文献

- 1) George R Sutherland, Giovanni Di Salvo, Piet Claus, Jan D'hooge, Bart Bijnens, "A new clinical approach to quantifying regional myocardial function," J. Am. Soc. Echocardiogr., Vol. 17, No. 7, pp. 788-802 (2004).
- 2) Motonao Tanaka, Tsuguya Sakamoto, Shigeo Sugawara, Yoshiaki Katahira, Haruna Tabuchi, Hiroyuki Nakajima, Takafumi Kurokawa, Hiroshi Kanai, Hideyuki Hasegawa, Shigeo Ohtsuki: "A new concept of the contraction-extension property of the left ventricular myocardium," Journal of Cardiology Vol. 63, No. 4, pp. 313-319 (2014).
- 3) Hiroshi Kanai, Michie Sato, Yoshiro Koiwa, and Noriyoshi Chubachi, "Transcutaneous Measurement and Spectrum Analysis of Heart Wall Vibrations" IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Vol. 43, No. 5, pp. 791-810 (1996).
- 4) Yu Obara, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai: "Strain rate distribution in layered myocardium measured using local velocity estimator with multifrequency phase differences," Ultrasound in Medicine & Biology, Vol. 47, No. 9, pp. 2768-2773 (2021).
- 5) Yu Obara, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai: "Appropriate window function and window length in multifrequency velocity estimator for rapid motion and locality of layered myocardium," IEEE Transaction on Ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, Vol. 69, No. 4, pp. 1353-1369 (2022).
- 6) Bryan J. Caldwell, Mark L. Trew, Gregory B. Sands, Darren A. Hooks, Ian J. LeGrice and Bruce H. Smaill, "Three Distinct Directions of Intramural Activation Reveal Nonuniform Side-to-Side Electrical Coupling of Ventricular Myocytes," Circ. Arrhythmia. Electrophysiol., Vol. 2, pp. 433-440 (2009).
- 7) 小原 優 「超音波位相差を用いた心筋収縮特性の局所的な計測に関する研究」東北大学審査修士学位論文 2021.3.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sugahara Kana, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Evaluation of error factors depending on ultrasonic transmitted beamwidth in measurement of myocardial minute velocity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE05 ~ SDDE05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abef0e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shoji Yuto, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Ohba Shigeo, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Estimation of viscoelasticity of radial artery during flow-mediated dilatation using a single ultrasound probe based on blood pressure measurement via pulse transit time method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE03 ~ SDDE03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abef0b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Obara Yu, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Measurement of propagation of local and minute contractile response in layered myocardium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE02 ~ SDDE02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abeabf	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 KUROKAWA Takafumi, NAKAJIMA Hiroyuki, TAKAHASHI Shinichiro, TANAKA Motonao, KANAI Hiroshi, SAIJO Yoshifumi	4. 巻 48
2. 論文標題 High temporal resolution measurement of propagation pattern of myocardial stretching in left ventricle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Choonpa Igaku	6. 最初と最後の頁 73 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3179/jjmu.JJMU.A.177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Obara Yu, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi	4. 巻 47
2. 論文標題 Multifrequency Phased Tracking Method for Estimating Velocity in Heart Wall	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasound in Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 1077 ~ 1088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.12.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagasawa Kanta, Fukase Akiyo, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Yashiro Satoshi, Ishigaki Yasushi, Kanai Hiroshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Evaluation method of the degree of red blood cell aggregation considering ultrasonic propagation attenuation by analyzing ultrasonic backscattering properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 3 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-020-01065-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobori Shusaku, Murotsuki Jun, Watanabe Shimpei, Hasegawa Hideyuki, Kanai Hiroshi, Yaegashi Nobuo, Saito Masatoshi	4. 巻 46
2. 論文標題 Feasibility of Non-invasive Pulse Pressure Measurement Using the Phased-Tracking Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ultrasound in Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 2711 ~ 2716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.06.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muramoto Jin, Murotsuki Jun, Miyashita Susumu, Hasegawa Hideyuki, Taki Hirofumi, Kanai Hiroshi, Yaegashi Nobuo	4. 巻 46
2. 論文標題 Ultrasound measurement of fetal arterial pulse pressure using phased tracking methods: A phantom study and clinical experience with antenatal corticosteroid therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Obstetrics and Gynaecology Research	6. 最初と最後の頁 1994 ~ 2001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jog.14402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawamura Hibiki, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Measurement of viscoelasticity of anisotropic viscoelastic phantom by dual ultrasound excitation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKE24 ~ SKKE24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8bc0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hisatsu Masanori, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi	4. 巻 47
2. 論文標題 Generalized coherence factor estimated from real signals in ultrasound beamforming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 179 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-019-01004-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito Takumi, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Ohba Shigeo, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Estimation of viscoelasticity of radial artery via simultaneous measurement of changes in pressure and diameter using a single ultrasound probe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKE04 ~ SKKE04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7f1c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takumi Saito, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Shigeo Ohba, Kazuto Kobayashi, and Hiroshi Kanai	4. 巻 59
2. 論文標題 Estimation of viscoelasticity of radial artery via simultaneous measurement of changes in pressure and diameter using a single ultrasound probe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKE04-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7f1c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiro Yokoyama, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Eiko Onishi, Masanori Yamauchi, and Hiroshi Kanai	4. 巻 47
2. 論文標題 Discrimination of thoracic spine from muscle based on their difference in ultrasound reflection and scattering characteristics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 3-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-019-00964-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Motonao Tanaka, Tsuguya Sakamoto, Yoshifumi Saijo, Yoshiaki Katahira, Shigeo Sugawara, Hiroyuki Nakajima, Takafumi Kurokawa, and Hiroshi Kanai	4. 巻 46
2. 論文標題 Role of intraventricular vortex in left ventricular ejection elucidated by echodynamography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 413-423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-019-00943-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Naoya Furusawa, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai	4. 巻 58
2. 論文標題 A new evaluation method for dependence of width of transmitted waves on accuracy in multipoint simultaneous ultrasonic measurements of cardiac wall vibration waveform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGA08-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab1a30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akane Hayashi, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai	4. 巻 58
2. 論文標題 Local two-dimensional distribution of propagation speed of myocardial contraction for ultrasonic visualization of contraction propagation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGE05-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0d0b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arakawa Mototaka, Saito Takumi, Mori Shohei, Ohba Shigeo, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi	4. 巻 297
2. 論文標題 Development of an ultrasonic probe to measure both radial arterial pressure and diameter change at the same position for early diagnosis of vascular endothelial function: Preliminary study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.07.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 金井 浩, 小原 優, 荻野智司, 森 翔平, 荒川元孝, 山本裕朗, 諸沢 薦, 下川宏明, 高野真澄
2. 発表標題 心筋虚血後の数秒間における心室中隔壁内の速度波形の変化の超音波による検出
3. 学会等名 日本超音波医学会第60回東北地方会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金井 浩, 森 翔平, 荒川元孝
2. 発表標題 電氣的興奮の超音波計測と, 前駆出期の収縮伝播速度が貴壁方向と縦方向で異なること
3. 学会等名 日本超音波医学会第93回学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小原 優, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 多周波数における超音波位相差を用いた心臓壁の局所的な微小速度推定
3. 学会等名 日本超音波医学会第93回学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akiyo Fukase, Kanta Nagasawa, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Satoshi Yashiro, Yasushi Ishigaki, Hiroshi Kanai
2. 発表標題 Correlation between Red Blood Cell Aggregation and Blood Glucose Level
3. 学会等名 2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Iwamori, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Hiroshi Kanai
2. 発表標題 Accurate Estimation Method of Arterial Wall Movement in Longitudinal Direction
3. 学会等名 2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kanai, Shohei Mori, Mototaka Arakawa
2. 発表標題 Speeds of Contraction Responses Propagating Along Septum at Pre-Ejection Period Are Different between Radial and Longitudinal
3. 学会等名 2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小原 優, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 超音波の位相を用いた心臓壁における微小速度推定法の高精度化
3. 学会等名 第97回超音波エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金井 浩, 森 翔平, 荒川元孝
2. 発表標題 心室中隔壁の前駆期での収縮応答の伝播速度が, 貫壁方向と縦方向で異なること
3. 学会等名 日本超音波医学会第58回東北地方会学術集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本音響学会、松川 真美、山口 匡、長谷川 英之、斎藤 繁実、西條 芳文、細川 篤、長谷 芳樹、蜂屋 弘之、神山 直久、吉田 憲司、金井 浩、椎名 毅、山越 芳樹、梅村 晋一郎、工藤 信樹	4. 発行年 2022年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 244
3. 書名 生体組織の超音波計測	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東北大学 金井・荒川研究室 論文 http://www.ecei.tohoku.ac.jp/~hkanai/publication.html#articles</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	荒川 元孝 (Arakawa Mototaka) (00333865)	東北大学・医工学研究科・准教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 翔平 (Mori Shohei) (50815149)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	高瀬 圭 (Takase Kei) (60361094)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関