

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04160

研究課題名（和文）超音波顕微鏡による生体試料の高精度音響特性計測に関する基礎的研究

研究課題名（英文）Basic study on high-accuracy acoustic property measurements of biological specimens by ultrasonic microscopy

研究代表者

荒川 元孝（ARAKAWA, Mototaka）

東北大学・医工学研究科・准教授

研究者番号：00333865

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、超音波顕微鏡による生体試料の音響特性を高安定に求める方法を開発した。試料の音速と厚さを得るために、試料の音速、厚さ、用いる超音波デバイスの動作帯域を考慮して、規格化周波数スペクトラムの振幅に放物線近似を行い、振幅が極大・極小となる周波数を求めた。提案法の有用性を実証するために、中心周波数80 MHzの超音波デバイスを取り付けた超音波顕微鏡を用いてヒトの皮膚の悪性黒色腫に適用した。提案法により求めた音速と厚さのばらつきは、自己回帰モデルに基づく方法により求めたそれらよりも小さかった。本手法は、生体組織や細胞の音響特性の解析に有用である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体組織や細胞など微小領域の音響特性を観察する手段を目指して、超音波顕微鏡が開発されてきた。生体試料においては、生体試料とカプラとして用いる液体との音響インピーダンスの差が小さいため、表面からの反射信号の振幅が小さくS/Nが低下し、音響特性の計測精度が劣化する。本研究では、このようなS/Nが低い場合でも精度の高い音響特性を得るためのロバストな解析法を開発した。これにより、生体組織の基礎特性の蓄積や細胞のバイオメカニクスの解明に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a robust analysis method for the acoustic properties of biological specimens measured by acoustic microscopy. To obtain the velocity and thickness of the specimen, parabolic approximation was performed to determine the frequency at which the amplitude of the normalized spectrum became maximum or minimum, considering the sound speed and thickness of the specimens and the operating frequency of the ultrasonic device used. The proposed method was demonstrated for a specimen of malignant melanoma of the skin by using acoustic microscopy attaching a concave transducer with a center frequency of 80 MHz. The variations in sound speed and thickness analyzed by the proposed method were markedly smaller than those analyzed by the method based on an autoregressive model. The proposed method is useful for the analysis of the acoustic properties of biological tissues or cells.

研究分野：工学

キーワード：計測工学 超音波顕微鏡 音速 厚さ 生体試料 集束超音波

1. 研究開始当初の背景

超音波診断装置は、反射エコーの強度から、臓器やその内部構造、およびそれらの動きを観測するものである。疾病の進行に伴い組織や細胞の粘弾性特性が変化し、それにより反射エコーの強度が変化する。このため、音波画像のより正確な解釈を行うためには、組織や細胞レベルの粘弾性特性の変化を理解することは重要である。生体組織や細胞など微小領域の音響特性を観察する手段として、従来、超音波顕微鏡が用いられてきた。超音波顕微鏡は数 μm オーダーの空間分解能で音響特性の二次元分布が得られるという利点があるものの、超音波画像は反射強度の大小のみを示す定性的なものであるという欠点がある。そこで、音速は弾性(硬さ)、減衰は粘性と直接関係することを用いて、音速、減衰という音響特性の計測法ならびにそれらの測定結果による評価法が開発され、生体組織の評価に適用されてきた。

これまで、超音波顕微鏡は様々な生体組織や細胞の弾性特性の評価に適用されてきた。生体試料に対する計測においては、水や生理食塩水などをカプラとして用いるため、試料とカプラの音響インピーダンスの差が小さく、図1に示す試料表面からの反射信号 S_s の振幅が小さい。また、生体試料内部の不均一性により散乱波が生じ、この振幅が信号 S_s の振幅よりも大きくなる場合がある。これらの影響により、音速や厚さの誤差が非常に大きくなり、正確な計測が行えない場合があるという問題がある。

2. 研究の目的

超音波顕微鏡の計測信号にはパルス波が広く用いられており、その場合の音響特性計測法は、大きく2種類に分けられる。1つ目は、パルスの到達時間を計測する方法である。試料がない場合の基板表面からの反射信号、および試料があるときの試料表面と試料裏面からの反射信号の到達時間を計測し、カプラの音速をリファレンスとして、音速を計測することが可能である。2つ目は、パルススペクトラム法である。この方法では、計測信号にパルス波を用い、反射信号の振幅と位相の周波数スペクトラムより、試料の厚さと音速を同時に求めることが可能である。さらに、自己回帰(AR)モデルに基づいた解析法が提案され、市販の超音波顕微鏡に実装されている。

しかし、これらの解析法では、音速や厚さの誤差が非常に大きくなる場合があり、正確な計測ができていない。本研究では、「超音波顕微鏡により測定される生体試料の音響特性の高精度化」を目的とし、音速、厚さのロバストな解析方法について検討した。

3. 研究の方法

本研究では、超音波顕微鏡による生体試料の音響特性(音速、厚さ)を高精度に求めるために、パルススペクトラム法による得られる規格化スペクトラムの振幅の極値、音速、厚さの間の関係に着目し、試料の音速と厚さを求める方法を検討した。試料として、ヒトの皮膚の悪性黒色腫を取り上げ、超音波顕微鏡で計測したデータに対して、従来法と提案法で解析し、得られた特性を比較することで提案法の有用性を実証する。

4. 研究成果

図1に、超音波顕微鏡による生体試料の音響特性測定時の実験構成を示す。試料は、シャーレやスライドガラスなどの基板の上に乗せられる。超音波トランスデューサより発せられる超音波は、水または生理食塩水などのカプラを介して試料に照射される。

信号 S_s と信号 S_b とが時間軸上で分離できない場合、それらの重なり合った信号($S_s + S_b$)を信号 S_w で規格化し、この信号をフーリエ変換すると、振幅スペクトラム $|H(f)|$ と位相スペクトラム $\angle H(f)$ が得られ、振幅スペクトラム $|H(f)|$ の極小、極大となる周波数 f_m とその周波数における位相 $\phi_m = \angle H(f_m)$ より、次のように試料の厚さ d と音速 V_2 が求められる。

$$d = (V_1/4\pi f_m) \cdot (\phi_m + n\pi) \quad (1)$$

$$V_2 = (1/V_1 - \phi_m/4\pi f_m d)^{-1} \quad (2)$$

ここで、 n は振幅スペクトラムが極大または極小となる周波数の次数であり、自然数である。信号 S_s と信号 S_b が極大・極小となる時、それらの信号の位相差が π の整数倍となることに着目することにより、試料の厚さ d と音速 V_2 を同時に求めることが可能となる。

次に、 f_m が存在する周波数範囲について考える。式(1)を変形することにより、以下の式が得られる。

$$\phi_m = 4\pi f_m/V_1 - n\pi \quad (3)$$

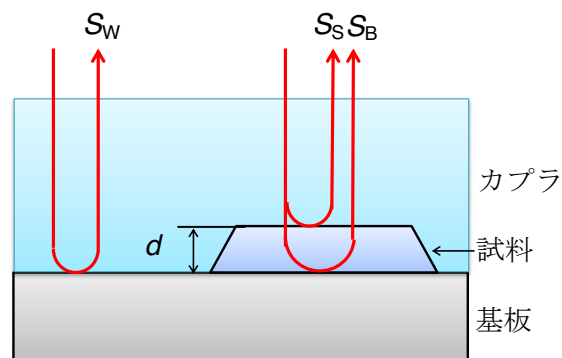


図1 超音波顕微鏡による音響特性計測のための計測信号

式(3)を式(2)に代入することにより、以下の式が得られる。

$$V_2 = 4\pi d/n \quad (4)$$

式(3)と式(4)より、 d がわかれば、各 n に対して、 ϕ_m 、 V_2 と f_m との関係が求められる。 $n=1$ 、すなわち、振幅スペクトラムが最初に極小となる周波数における ϕ_m 、 V_2 と f_m との関係を図 2 に示す。厚さが $4\text{--}8\ \mu\text{m}$ 、音速が $1400\text{--}1700\ \text{m/s}$ のとき、 f_m は $40\text{--}105\ \text{MHz}$ の範囲に存在する。また、 $n=2$ のときには、厚さが $n=1$ の倍となる $8\text{--}16\ \mu\text{m}$ のときに、 f_m が同じ周波数範囲に存在する。このため、用いる超音波デバイスの動作帯域と試料の厚さ d と音速 V_2 が決まれば、どの周波数範囲に振幅スペクトラムの極大・極小が現れるのか予想可能となる。

以上の考察を以下の手順によって実現し、極となる周波数 f_m を決定する。

- (1) 試料の厚さ d と超音波デバイスの帯域を考慮して、振幅スペクトラムに対して放物線近似を行い、極となる周波数 f_m を求める。

- (2) f_m における位相 ϕ_m を求め、式(1)と式(2)より d と V_2 を求める。

これにより、散乱波成分や多重反射成分などにより振幅スペクトラムにリップルが生じた場合でも、帯域全体の特性変化より極値となる周波数を求めるため、試料の平均的な特性が求められると考える。

試料として、ヒトの皮膚の悪性黒色腫を取り上げた。市販の超音波顕微鏡 (AMS-50SI; 本多電子社製) に、超音波トランスデューサとして PVDF、動作中心周波数 $80\ \text{MHz}$ 、焦点距離 $1.5\ \text{mm}$ の凹面振動子を取り付けた。 $2.4\ \text{mm} \times 2.4\ \text{mm}$ の範囲を $8\ \mu\text{m}$ ステップで計測した。

図 3(a)に基板および試料からの反射信号を示す。それらをフーリエ変換することにより求めた周波数スペクトラムを図 3 (b)に示す。図 3(b)より基板からの反射振幅スペクトラムの $6\ \text{dB}$ 帯域幅は $30\text{--}100\ \text{MHz}$ となった。また、規格化周波数スペクトラムを図 3 (c)に示す。図 3(c)より、 $87.2\ \text{MHz}$ で振幅スペクトラムは極小となった。図 2 および図 3(c)より、今回の試料に対しては、最初に極小となる周波数 ($n=1$)を利用して、厚さと音速を求めることができる。

図 4 に C モード画像を示す。AR モデルを用いた解析法による厚さ d と音速 V_2 の解析結果をそれぞれ図 5(a)、図 5(b)に示す。また、 $y = 1.5\ \text{mm}$ における厚さ d と音速 V_2 をそれぞれ図 5(c)、図 5(d)に示す。この結果、音速 V_2 が $2,500\ \text{m/s}$ 以上、厚さ d が $20\ \mu\text{m}$ 以上と誤解析される値がみられた。

同様に、提案手法により解析した結果を図 6 に示す。提案手法による音速と厚さのばらつきは、AR モデルに基づいた方法によるそれらよりもかなり小さかった。図 4 の C モード画像と比較すると、強度が低いところほど、音速が高くなる傾向がみられた。音速が高いと試料の音響インピーダンスが大きくなり、試料への超音波の透過が少なくなるためである。

AR モデルに基づいた解析法は、規格化周波数スペクトラム $H(f)$ から、反射信号の振幅と位相を推定し、その位相差から音速を求めるものである。誤差が大きくなった原因として、試料の不均一により生じた散乱波のほうが試料表面からの反射信号よりも信号の強度が大きくなったことが考えられる。

本実験では、試料の準備段階で、その厚さを $5\text{--}7\ \mu\text{m}$ に調整した。本手法では、図 2 (b)に示した音速 V_2 と f_m の間の関係を調べるために、音速 V_2 と厚さ d の概略値は必要となる。AR モデルに基づいた方法によって解析された音速と厚さの平均値は、提案法によって解析したそれらと同程度の値であった。これより、AR モデルに基づいた方法によって解析された値は、提案法の解析範囲を決定するための概略値として用いることができると考えられる。

以上、本研究では、超音波顕微鏡による生体試料の音響特性のロバストな解析法について検討

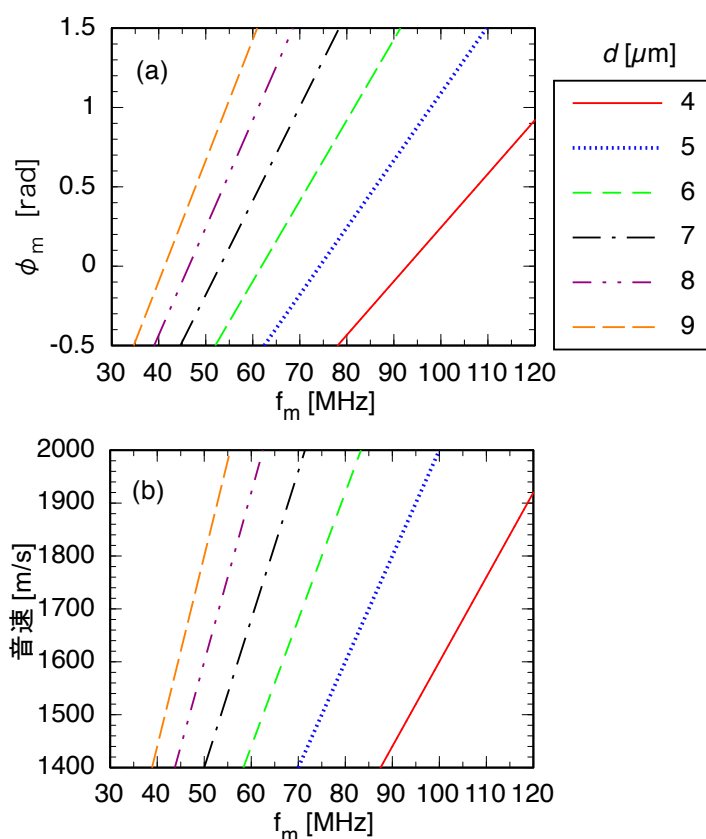


図 2 位相スペクトラムの位相 ϕ_m 、試料の音速 V_2 と、振幅スペクトラムが極小となる周波数 f_m との関係

を行った。計測で用いる超音波デバイスの帯域を考慮して、解析を行うことにより、信号のS/Nが悪い、または、試料内部の不均一により散乱波が生じ、ARモデルに基づいた方法で解析した場合に誤差が大きくなる場合においても、試料の平均的な音響特性を求めることができた。本手法は、生体組織や細胞の音響特性の解析に有用であり、今後の展開が期待される。

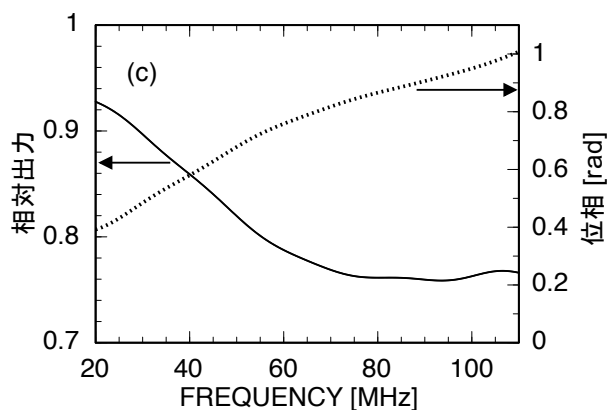
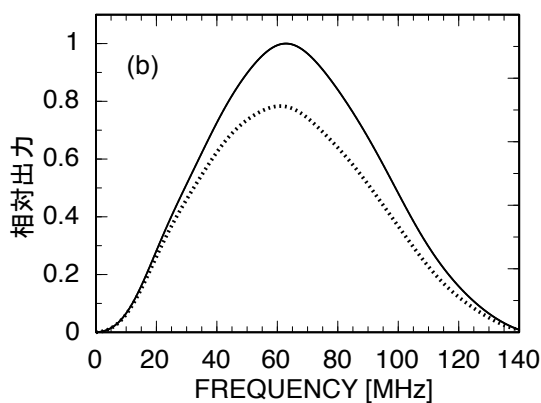
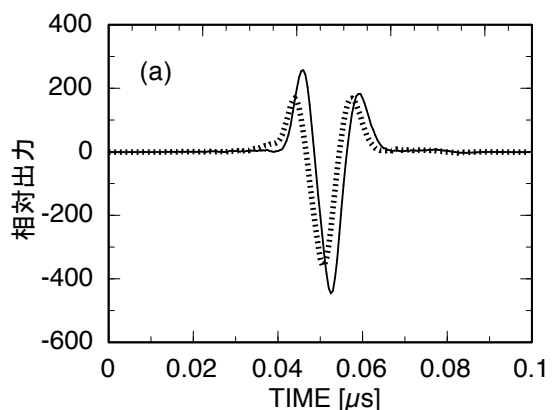


図3 (a) 時間領域における基板からの反射信号（実線）と試料からの反射信号（点線）、(b) (a)の各信号に対する周波数スペクトラム（実線：基板 $S_w(f)$ 、点線： $S_s(f) + S_B(f)$ ）、(c) 規格化周波数スペクトル $H(f)$ （実線：振幅、点線：位相）

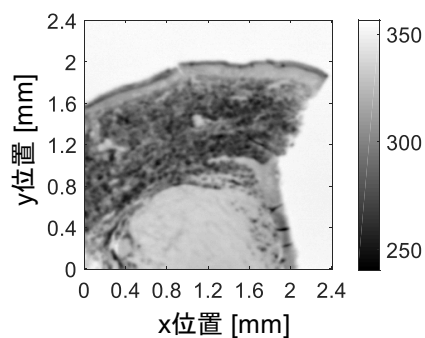


図4 悪性黒色腫試料のCモード像

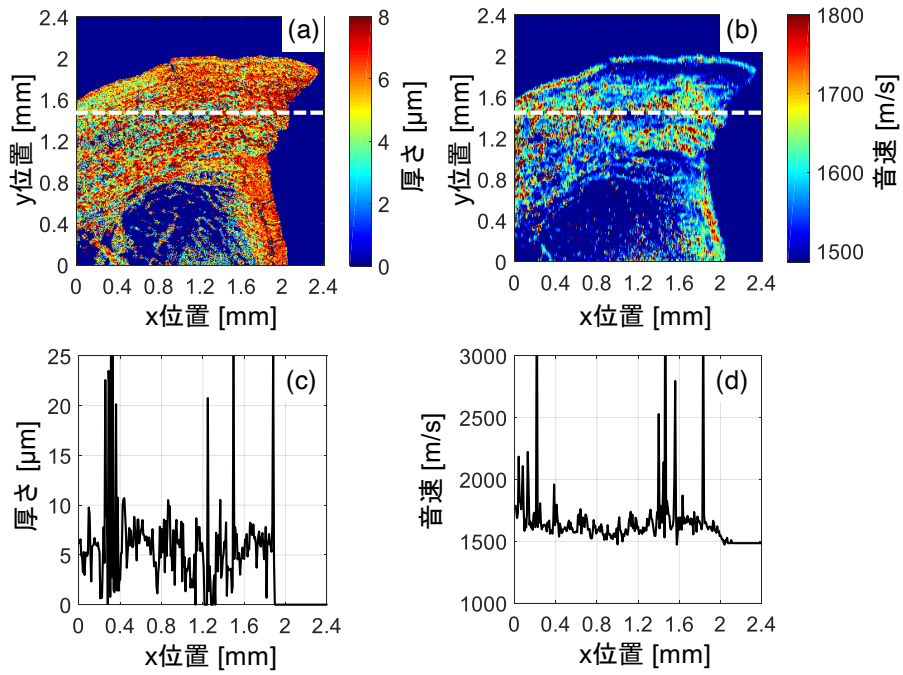


図5 ARモデルに基づいた方法による解析結果 (a) 厚さ分布、(b) 音速分布、(c) (a)の $y = 1.5$ mmにおける厚さ、(d) (b)の $y = 1.5$ mmにおける音速

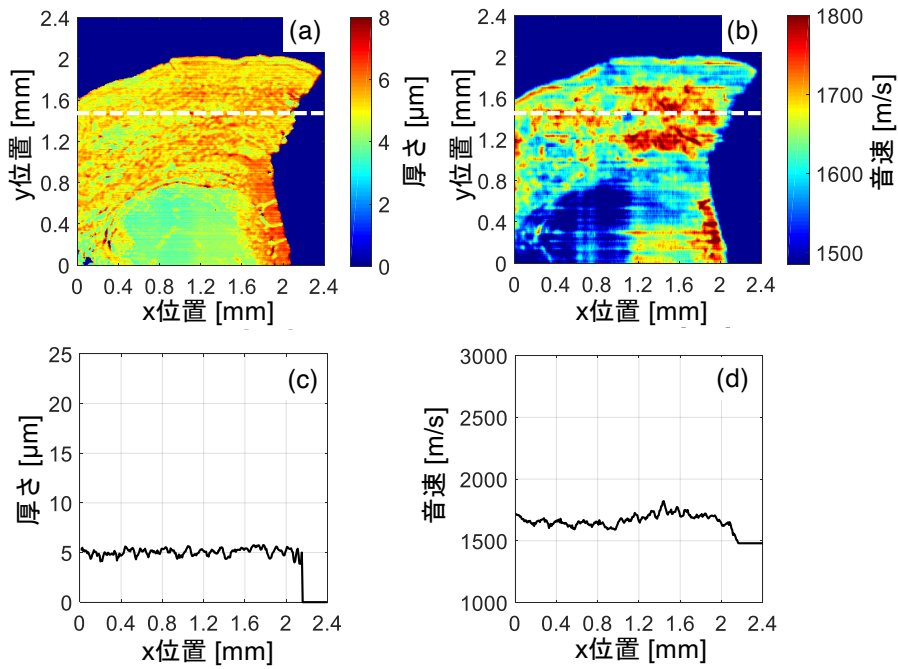


図6 提案法による解析結果 (a) 厚さ分布、(b) 音速分布、(c) (a)の $y = 1.5$ mmにおける厚さ、(d) (b)の $y = 1.5$ mmにおける音速

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Masanori Hisatsu, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai | 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 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 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 Kanta Nagasawa, Akiyo Fukase, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Satoshi Yashiro, Yasushi Ishigaki, and Hiroshi Kanai | 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 Yu Obara, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, and Hiroshi Kanai | 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 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 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 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 Mototaka Arakawa, Takumi Saito, Shohei Mori, Shigeo Ohba, Kazuto Kobayashi, and Hiroshi Kanai | 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 & 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 Furusawa Naoya, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi | 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 ~ SGGA08 |
| 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 Hayashi Akane, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi | 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 ~ SGGE05 |
| 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 Arakawa Mototaka, Mori Shohei, Kanai Hiroshi, Nagaoka Ryo, Horie Miki, Kobayashi Kazuto, Saijo Yoshifumi | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 Robust analysis method for acoustic properties of biological specimens measured by acoustic microscopy | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 07LB07 ~ 07LB07 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.07LB07 | 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 Arakawa Mototaka, Kudo Kota, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi | 4. 巻 286 |
| 2. 論文標題 Blood pressure measurement using piezoelectric effect by an ultrasonic probe | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical | 6. 最初と最後の頁 146 ~ 151 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2018.12.019 | 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 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 無 |
| 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 Akiyama Seira, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Accuracy verification in ultrasonic elasticity measurement within intima-media complex visible range using phantom experimental system | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SDDA07 ~ SDDA07 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abef0d | 査読の有無 無 |
| 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 Fukase Akiyo, Higashiyama Kyohei, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Yashiro Satoshi, Ishigaki Yasushi, Kanai Hiroshi | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Stabilization of red blood cell aggregation evaluation using short-axis view of vein of ultrasound | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SDDE08 ~ SDDE08 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf3d5 | 査読の有無 無 |
| 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 Hashimoto Takumi, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Onishi Eiko, Yamauchi Masanori, Kanai Hiroshi | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 A study on differentiation of depiction between scatterer and reflector to assist epidural anesthesia by ultrasound | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SDDE15 ~ SDDE15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf4a3 | 査読の有無 無 |
| 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 Nakayama Aoi, Mori Shohei, Arakawa Mototaka, Kanai Hiroshi | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Estimation error in sound velocity depending on size of target scatterer | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SDDE17 ~ SDDE17 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf39e | 査読の有無 無 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuto Shoji, Takumi Saito, Shohei Mori, Mototaka Arakawa, Shigeo Ohba, Kazuto Kobayashi, Hiroshi Kanai |
| 2. 発表標題 Measurement of Change in Viscoelasticity of Radial Artery During Flow-Mediated Dilatation Using a Single Ultrasonic Probe |
| 3. 学会等名 2020 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Mototaka Arakawa, Kanta Nagasawa, Akiyo Fukase, Kyohei Higashiyama, Shohei Mori, Satoshi Yashiro, Yasushi Ishigaki, Hiroshi Kanai |
| 2. 発表標題 Basic Study for Size Estimation of Red Blood Cell Aggregates by Analyzing Ultrasonic Backscattering Properties Considering Ultrasonic Propagation Attenuation |
| 3. 学会等名 2020 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shohei Mori, Takahisa Abe, Mototaka Arakawa, Jens E. Wilhjelm, Hiroshi Kanai |
| 2. 発表標題 Ultrasonic Measurement of Luminal Surface Roughness of Carotid Artery Wall with Removal of Local Displacement Induced by Blood Vessel Pulsation |
| 3. 学会等名 2020 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会) |
| 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 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波を用いた赤血球集合度評価における駆血の安定性に関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響会2020年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 橋本拓実, 森 翔平, 荒川元孝, 大西詠子, 山内正憲, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波によるヒト胸椎描出を目指した面構造の反射特性と点構造の散乱特性の差異に関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響会2020年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 庄司悠人, 斎藤拓海, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 単一超音波プローブを用いた内皮依存性血管拡張反応における橈骨動脈粘弾性特性の計測 |
| 3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東山京平, 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波後方散乱特性計測による赤血球集合度評価時の解析法に関する検討 - 解析窓位置の選択 - |
| 3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 福澤徳美, 川村 響, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 双方向超音波加振による異方性粘弾性ファントムの粘弾性特性の推定 |
| 3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本拓実, 森 翔平, 荒川元孝, 大西詠子, 山内正憲, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波によるヒト胸椎描出を目指した面構造の反射特性の計測 |
| 3. 学会等名 第2回東北地区音響学研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川村 響, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 筋組織の粘弾性推定を目指した双方向超音波加振による指向性音場の変位分布の計測 |
| 3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 斎藤拓海, 森 翔平, 荒川元孝, 大庭茂男, 小林和人, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 単一超音波プローブを用いた血圧と血管径の同時計測による橈骨動脈の粘弾性推定 |
| 3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 永澤幹太, 深瀬晶予, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 赤血球集合度評価のための超音波後方散乱特性解析による血管内腔の減衰推定 |
| 3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 斎藤拓海, 森 翔平, 荒川元孝, 大庭茂男, 小林和人, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 単一超音波プローブを用いた血圧と血管径の同時計測による橈骨動脈壁の粘弾性推定 |
| 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 永澤幹太, 深瀬晶予, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 血管内腔の減衰を考慮した超音波後方散乱特性解析による赤血球集合度評価法 |
| 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 川村 響, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 双方向超音波加振による異方性粘弾性ファントムの粘弾性計測 |
| 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 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波による赤血球集合度と血糖値との相関に関する検討 |
| 3. 学会等名 第22回日本栓子検出と治療学会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波を用いた赤血球集合度と血糖値との相関における駆血時間の影響 |
| 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 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本拓実, 森 翔平, 荒川元孝, 大西詠子, 山内正憲, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波によるヒト胸胸椎描出を目指した面構造からの受信波形の模擬 |
| 3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波を用いた赤血球集合観察方法の安定化に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| | |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | Arakawa Mototaka, Saito Takumi, Mori Shohei, Ohba Shigeo, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi |
| 2. 発表標題 | Development of an ultrasonic probe to measure both radial arterial pressure and diameter at identical position for early diagnosis of endothelial function |
| 3. 学会等名 | The 39th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2018) |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Arakawa Mototaka, Sakaki Hiroki, Nagasawa Kanta, Fukase Akiyo, Shohei Mori, Yashiro Satoshi, Ishigaki Yasushi, Kanai Hiroshi |
| 2. 発表標題 | Red blood cell aggregation measurement with 40-MHz ultrasound has a possibility for noninvasive evaluation of blood glucose level in patients with diabetes |
| 3. 学会等名 | 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Arakawa Mototaka, Saito Takumi, Mori Shohei, Ohba Shigeo, Kobayashi Kazuto, Kanai Hiroshi |
| 2. 発表標題 | An ultrasonic probe to measure both radial arterial pressure and diameter at identical position for early diagnosis of arteriosclerosis |
| 3. 学会等名 | 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 | 平野 亮, 荒川元孝, 小林和人, 長岡 亮, 西條芳文 |
| 2. 発表標題 | 細胞のバイオメカニクス計測を目的とした高周波超音波顕微鏡システムの開発 |
| 3. 学会等名 | 東北大学電気通信研究所 第92回超音波エレクトロニクス研究会 |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 平野 亮, 荒川元孝, 小林和人, 長岡 亮, 西條芳文 |
| 2. 発表標題 細胞バイオメカニクスの経時的計測を目的とした超音波顕微鏡システムの開発 |
| 3. 学会等名 第52回 日本生体医工学会 東北支部大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 橋本拓実, 森 翔平, 荒川元孝, 大西詠子, 山内正憲, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波によるヒト胸椎描出を目指した面構造の反射特性と点構造の散乱特性の差異に関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 深瀬晶予, 永澤幹太, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波を用いた赤血球集合度評価における駆血の安定性に関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 庄司悠人, 森 翔平, 荒川元孝, 大庭茂男, 小林和人, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 単一プローブによる橈骨動脈粘弾性推定のためのパルス伝播時間法による高精度血圧計測 |
| 3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本拓実, 森 翔平, 荒川元孝, 大西詠子, 山内正憲, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波による硬膜外麻酔補助を目指した反射体の角度推定に関する検討 |
| 3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東山京平, 深瀬晶予, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波後方散乱特性解析による赤血球集合度評価時の散乱体間における干渉の影響の低減 |
| 3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 深瀬晶予, 東山京平, 森 翔平, 荒川元孝, 八代 諭, 石垣 泰, 金井 浩 |
| 2. 発表標題 超音波を用いた静脈短軸計測による赤血球集合度の安定な評価法の検討 |
| 3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>金井・荒川研究室 http://www.ecei.tohoku.ac.jp/~hkanai/index.html 東北大学 電気・情報系 電子制御工学 [金井・荒川] 研究室 http://www.ecei.tohoku.ac.jp/ecei_web/Laboratory/kanai_j_index.html 東北大学大学院医工学研究科 分野紹介:計測・診断医工学 http://www.bme.tohoku.ac.jp/labo/field_01.html</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 | 金井 浩 (KANAI Hiroshi) (10185895) | 東北大学・工学研究科・教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 西條 芳文 (SAIJO Yoshifumi) (00292277) | 東北大学・医工学研究科・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 |
|---------|---------|
| | |