

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01337

研究課題名（和文）超音波による生体内温度変化の非侵襲計測法の開発

研究課題名（英文）Noninvasive visualization of change in temperature in living body using ultrasound

研究代表者

長谷川 英之（Hasegawa, Hideyuki）

富山大学・学術研究部工学系・教授

研究者番号：00344698

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：腫瘍のハイパーサーミア治療などにおいて、生体内部の温度上昇の非侵襲的モニタリング手法が求められているが、現在確立された手法はない。本研究では、温度変化により生体組織からの超音波散乱波の振幅統計量が増加することに着目した非侵襲的な温度変化の検出手法について検討を行った。加温による媒質の膨張と音速の変化を考慮した数値シミュレーションによる検討では、音速変化がある状況においても、媒質の膨張による超音波散乱体の密度の変化により振幅統計量が増加することが確認された。同様の傾向はファントム実験および動物実験においても確認され、本手法による非侵襲温度変化計測の可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイパーサーミア治療において生体内部の温度上昇モニタリング手法が求められている。MRI（磁気共鳴画像診断装置）による温度計測手法が研究開発されているが、MRIは装置が大掛かりであり、被験者が長時間狭い空間に拘束される、強力な磁場のため使用できない金属があるなど制約が大きく、ハイパーサーミア等他の機器との併用が必要となる場合、モニタリング手法として適した手段とは必ずしも言えない。また、導入・診断コストが高額という点も、広く普及させるためには大きなハードルとなる。超音波イメージングもMRIと同様非侵襲であり、携帯型の装置も実現しており計測も簡便であるなど、超音波による温度計測の意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In the field of tumor hyperthermia treatment, there is a demand for non-invasive monitoring methods for internal body temperature elevation, but currently, no established method exists. This study examines a non-invasive method for detecting temperature changes, focusing on the fact that the amplitude statistics of ultrasonic scattered waves from biological tissues change with temperature variations. Numerical simulations considering the medium's expansion and changes in sound speed due to heating confirmed that even in situations with changes in sound speed, the amplitude statistics change due to the change in the density of ultrasonic scatterers caused by the expansion of the medium. Similar trends were observed in phantom and animal experiments, indicating the potential for non-invasive temperature change measurement using this method.

研究分野：医用超音波工学

キーワード：超音波 温度計測 非侵襲

1. 研究開始当初の背景

腫瘍組織を加温して治療するハイパーサーミア治療において、対象領域が目標の温度に達していることを確認することは非常に重要であるが、現状では生体内の温度を非侵襲的に計測する実用的な手段は存在しない。ハイパーサーミア治療機器により供給されるエネルギーと、生体組織の熱的特性や血流による冷却効果などを考慮し理論的に対象領域の温度上昇を予測するなどの手法が用いられているが血流による冷却効果などを完全に予測することは困難である。

このように生体内部の温度を非侵襲的に計測する手法が求められており、様々な手法が検討されている。MRI (magnetic resonance imaging) を用いた手法が検討されているものの[1]、MRIは大掛かりで高価な画像診断装置であり、使用できる施設に限られるほか、強力な磁場を発生するためハイパーサーミア機器など他の機器との併用に特別な対応が必要となるなど、制限は大きい。それに対し超音波装置は小型のものは携帯も可能でありベッドサイドでの使用も可能であり、非侵襲性の観点からも温度計測に使用できればその利用価値は高い。超音波を用いた温度計測に関しては、生体組織の温度変化による音速の変化を利用する手法が検討されている[2]。超音波診断装置の画像は、超音波パルスを送信し、画像化範囲内の各点からの反射・散乱波の強度を輝度に変換している。その輝度をマッピングする位置は、超音波送受信器から各点までの往復伝搬時間に、生体内の音速として仮定した値(1540 m/s など)を乗じることにより決定している。したがって、生体組織が加温され音速が変化すると、その組織は超音波画像上で伸びたり縮んだりする(音速が低下すれば伸び、音速が上昇すれば縮む)。このような超音波画像上の伸び縮みを検出することにより音速の変化量を推定すれば、生体組織の音速の温度依存性から温度変化を推定できる。一方、ハイパーサーミア治療における温度変化から予測される音速の変化は数%であるため、例えば5 cm 幅の領域の音速が5%変化したとしても画像上の変位量は2.5 mm である。実際の測定では体動なども存在し、それによる変位も超音波画像には反映されるため、加温による変位量が微小であることから影響が大きい。また、加温前後の音速変化による変位量を推定するには、加温前と同一対象からの超音波反射・散乱波を測定しそれらの往復伝搬時間の違いを推定する必要があるため、体動などによる位置ずれの影響も大きく、音速を推定するには困難が予想される。

2. 研究の目的

前述のとおり、MRI や超音波を用いた温度計測手法は研究開発が行われているが、MRI は被験者を狭い空間で測定することや金属の使用が難しいなど、ハイパーサーミア装置など他の機器と同時に使用することが難しく、また、従来の超音波による温度計測法では心拍や体動の影響の排除が難しいという問題がある。本研究では、生体組織からの超音波散乱波の振幅統計量を用いる手法を検討した。超音波散乱波の振幅統計量は、散乱源の特性を反映し、散乱体密度やサイズの情報が推定できるため、腫瘍などの組織性状診断(この場合の散乱源は細胞)などに応用されている。温度変化に伴う生体組織からの超音波散乱波の振幅統計量の変化を計測するには、加温前後で同一対象からの散乱波を計測することが理想的であるが、振幅統計量は異なる位置においても算出可能であるため、音速変化による超音波画像の変位を検出する手法に比べ位置ずれに強い可能性がある。

3. 研究の方法

前述のとおり生体組織は温度変化によりその音速が変化し、超音波画像上でみかけの変形が生じる。また、温度変化により実際にも体積が変化するため、加温前後で生体組織内の散乱体数が変化しないと仮定すると、加温により散乱体の密度が変化することになる。超音波散乱波の振幅統計量は散乱体密度を反映するため、散乱体密度の変化から温度変化を検出することができる。超音波散乱波を表現する汎用的なモデルとして、(1)式で示される仲上分布が提案されている。

$$f(r) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} r^2\right) \quad (1)$$

ここで、 r 、 $\Gamma()$ 、 Ω 、 m はそれぞれ、超音波散乱波の振幅、ガンマ関数、スケールパラメータ、仲上形状パラメータである。仲上分布において、仲上形状パラメータ m は散乱体密度を反映することが知られている。したがって、生体組織の温度変化による散乱体密度の変化を、超音波散乱波の振幅統計量として仲上形状パラメータを用いて推定する。具体的には、生体組織の超音波断層像内に関心領域を設け、関心領域内の超音波散乱波の振幅のヒストグラムを作成する。作成したヒストグラムに、(1)式に示される仲上分布をフィッティングさせることにより、計測した振幅ヒストグラムを最も良く表現する仲上分布の形状パラメータ m を推定できる。

本研究では、温度変化による仲上形状パラメータ m の変化を評価するパラメータ α を(2)式のように定義した。

$$\alpha = \left| 10 \log_{10} \left(\frac{m_T}{m_{T_R}} \right) \right| \quad (2)$$

ここで、 m_T と m_{T_R} はそれぞれ、測定時点における仲上形状パラメータと基準温度における仲上形状パラメータである。グラスビーズを分散させた寒天ファントムを用いた基礎実験においてファントムの温度を20度から40度程度まで上昇させたところ、 α が温度に依存して変化することが確認された。同様の傾向は同じ実験系においてブタ軟組織を用いて行った実験においても確認され、生体組織においても(2)式のパラメータ α を用いて温度変化を検出できることが示された。ブタ軟組織を用いた実験では、加温により脂肪組織が軟化し変形が発生した。そのような位置ずれがある場合でも、散乱波の振幅分布ヒストグラムを算出する関心領域を大きくすることで、温度変化によるパラメータ α の変化を捉えることができることを示している。

生体組織中の散乱体分布は不均一であるため、基準温度における散乱体密度の大小が温度変化による散乱体密度の変化量にも影響すると考えられる。つまり、基準温度において散乱体が多く存在する領域は、少ない領域に比べ生体組織の膨張による散乱体密度の変化も大きくなると考えられる。したがって、パラメータ α を評価する際、仲上形状パラメータ m の初期値依存性を考慮することでパラメータ α のばらつきを抑えられる可能性がある。そこでパラメータ α を(3)式のように改良した。

$$\alpha_{mod} = \left| \gamma \cdot \log_{10} \left(\frac{m_T}{m_{T_R}} \right) \right| \quad (3)$$

ここで、 γ は仲上形状パラメータ m の初期値依存性を考慮するためのパラメータである。仲上形状パラメータ m は、散乱体密度に依存し、散乱体密度が高いほど値は大きくなる。したがって、基準温度における形状パラメータ m_{T_R} が大きいほど、温度変化による形状パラメータの変化が大きいとされる。本研究では、初期値依存性を補正するパラメータ γ を(4)式と設定した。

$$\gamma = \frac{5}{m_{T_R}} \quad (4)$$

4. 研究成果

温度変化と仲上形状パラメータの関係を系統的に検討するために有限要素法を用いた数値シミュレーションも行っている。数値シミュレーションでは、図1に示すように実験におけるものと同様のサイズの数値ファントムをモデル化し、温度上昇によるファントムの膨張を有限要素法により再現した。数値ファントムからの超音波エコー信号を再現するため、数値ファントム内に点散乱源をランダムに配置し、それら散乱体群に対する超音波送受信をField II [3,4]を用いてシミュレーションした。有限要素法により温度上昇にともなう数値ファントム内各点の変位が得られるため、検討した温度ごとに有限要素法により得られた変位をもとに各散乱源を移動させ、超音波送受信シミュレーションを繰り返した。Field IIを用いた超音波送受信シミュレーションにおいては、温度による音速の変化も考慮している。

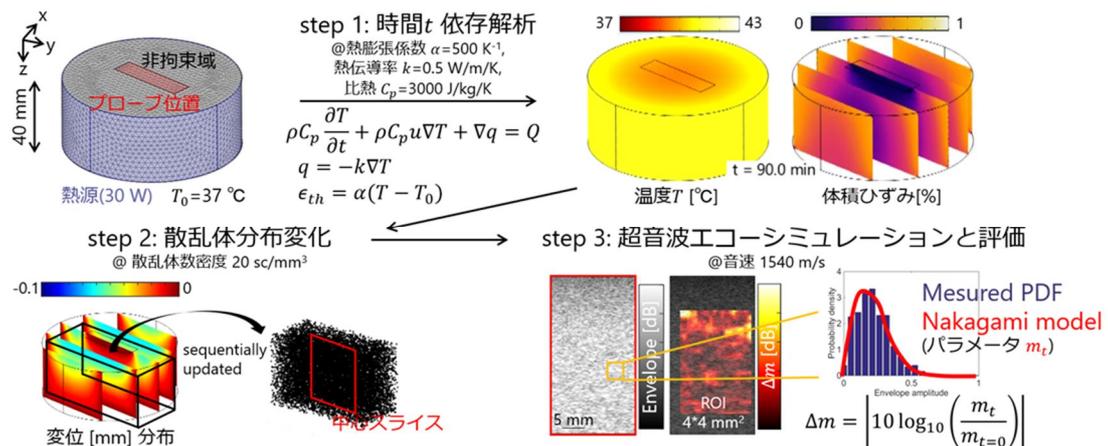


図1: 温度変化する媒質に対する超音波送受信の数値シミュレーションの説明図。

図2は、シミュレーションにより得られた超音波エコー信号を解析することにより得られた仲上形状パラメータの温度依存性を示している。図2(a)と図2(b)は、深さごとに仲上形状パラメータを算出した結果であり、それぞれ受信ビームフォーミングにおけるFナンバーが1と2の場合を示している。本シミュレーションではファントムの温度は空間的に均一なため、深さによらず同様の仲上形状パラメータの変化が得られることが望ましいが、音場の影響を受けることがわかる。図2(c)に示す全範囲で算出した仲上形状パラメータではFナンバーの影響は抑制されるものの、局所ごとに温度変化による仲上形状パラメータの変化を適切に評価するためには超

音波音場の均一化も重要な要素となる。そのような最適化は必要であるが、仲上形状パラメータが温度に依存して変化することが示された。

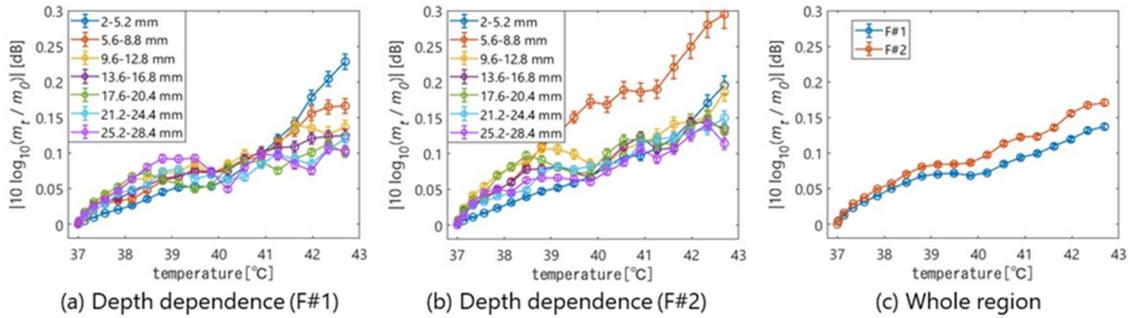


図2: 数値シミュレーションによる各温度における仲上形状パラメータの推定結果。(a) 超音波ビームフォーミングにおけるFナンバーが1の場合の各深さにおける仲上形状パラメータの推定結果。(b) Fナンバーが2の場合の各深さにおける仲上形状パラメータの推定結果。(c) Fナンバーが1と2の場合の全解析範囲の仲上形状パラメータの各温度における平均値。

実際の計測においても数値シミュレーションと同様の傾向が得られるかどうか、ファントムを用いた実験を行った。実験においては、温度センサをファントムに挿入し参照温度を計測した。図3はその計測結果を示す。図3には、音速を固定値とした場合の数値シミュレーション(凡例の1460 m/s, 1500 m/s, 1540 m/s, 1580 m/s)と、実際の媒質のように音速が変化する場合(凡例のvariable (1483-1527 m/s))の数値シミュレーションの結果も重ねてある。図3において、音速の変化を考慮した数値シミュレーション結果と実験結果が同様の傾向を示しており、実測においても温度上昇に依存して仲上形状パラメータが変化することが示された。

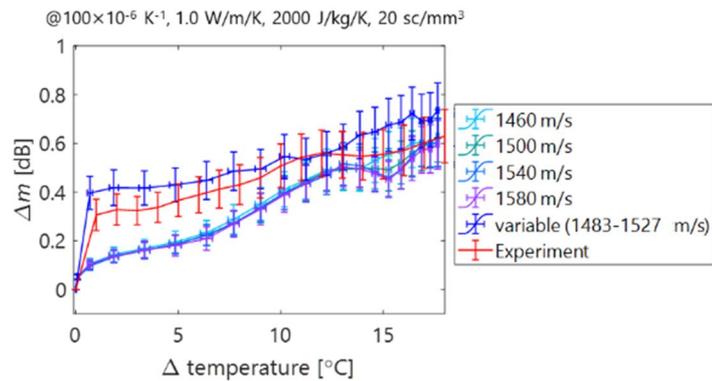


図3: 温度変化に対する仲上形状パラメータの変化量をプロットしたもの。数値シミュレーションの結果とファントム実験結果を重ねてある。

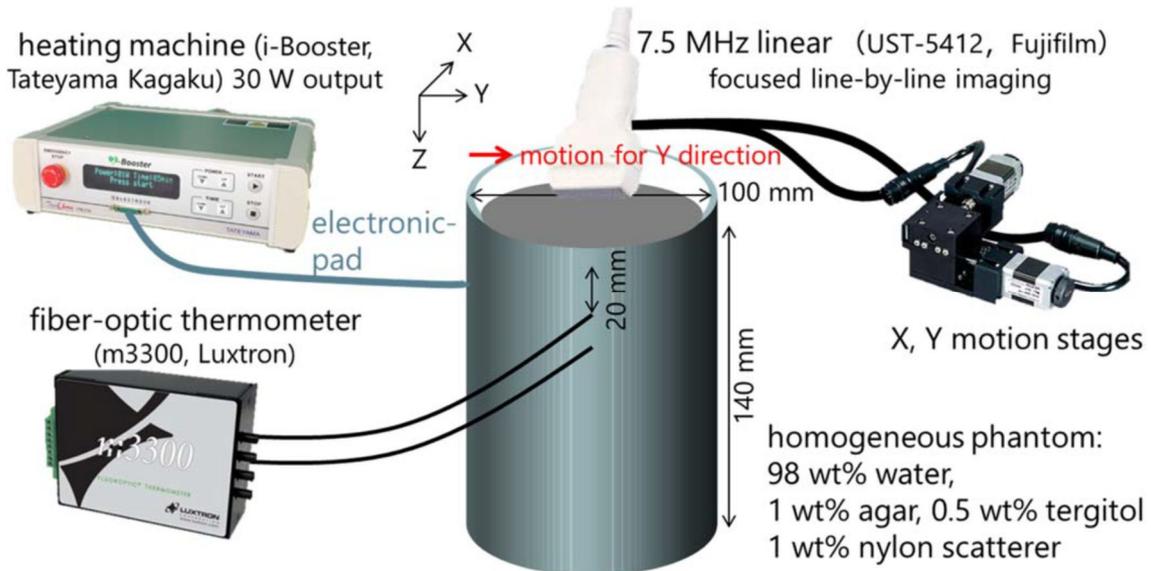


図4: 対象に動きがある場合を模擬したファントム実験システム。

対象の動きが仲上形状パラメータに与える影響についても検討を行った。数値シミュレーションでは、超音波散乱体をフレームごとに移動させることにより対象の動きを模擬した。ファントムを用いた実験的検討においては、図4に示すように自動ステージを用いて超音波プローブを既知の速度で移動させることによりファントムとの間に相対的な変位を発生させた。対象に動きがある場合に、同一部位からの超音波エコー信号を解析するため、移動前後の超音波画像の間の変位を、正規化相互相関関数を用いて推定し、関心領域を追跡させる手法についても検討を行った。

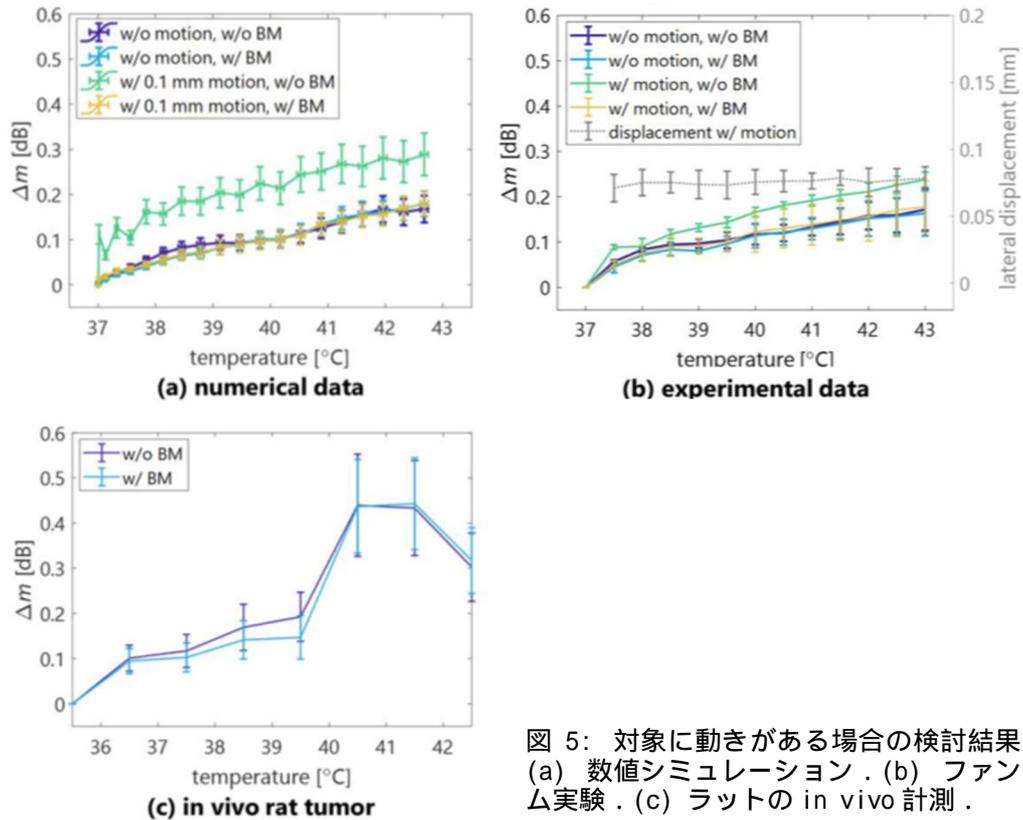


図 5: 対象に動きがある場合の検討結果．
 (a) 数値シミュレーション．(b) ファントム実験．(c) ラットの in vivo 計測．

図 5 は対象に動きがある場合の検討結果を示す．図 5(a)と 5(b)はそれぞれ，数値シミュレーションとファントム実験の結果を示しており，凡例の w/o motion は動きがない状態での結果である．動きがある場合は w/ motion であり，w/o BM は動き追跡を行わない場合，w/ BM は動き追跡を行った場合である．動き追跡を行わない場合は，動きがない場合の結果と異なる傾向を示している．一方，動きがある場合においても，動き追跡を行うことにより動きがない場合と同様の結果が得られることが数値シミュレーションおよびファントム実験において確認できた．図 5(c)はラットを用いた in vivo 計測の結果であり，w/o BM は動き追跡なし，w/ BM は動き追跡ありの場合を示しており，動き追跡を行うことにより標準偏差(図 5(c)のエラーバー)が減少していることがわかる．全体としての傾向はあまり変わっておらず，in vivo では動きが 3 次元的であるため，3 次元変位の計測が必要であることが示唆される．

図 6 は，ファントム実験において計測している 2 次元断面と垂直な方向に変位させた場合の結果をしめしており，計測断面と垂直な方向への変位量が大きくなるほど，温度変化と仲上形状パラメータの関係が大きく変化することを示しており，このことから 3 次元的な変位を考慮することが必要であることが示唆される．ただ，図 5(a)と 5(b)の結果からは，動きの影響を補正すれば動きのない場合と同様の仲上形状パラメータの変化を計測できることが示されており，3 次元変位計測用の超音波プローブおよび変位推定法を導入することで計測結果を大きく改善できると考えられる．

<引用文献>

- [1] K. Kuroda, et al., Med. Imaging Technol., vol. 21, pp. 201-207, 2003.
- [2] M. Fujii and X. Zhang, Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 24, pp. 107-116, 2001.
- [3] J. A. Jensen, J. Acoust. Soc. Am., vol. 89, pp. 182-190, 1991.
- [4] J. A. Jensen and N. B. Svendsen, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 39, pp. 262-267, 1992.

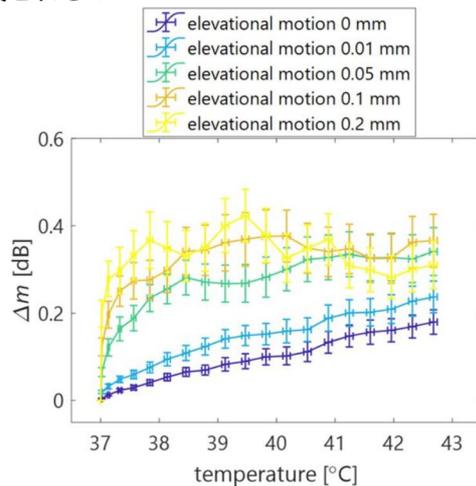


図 6: ファントム実験において計測断面と垂直な方向に変位させた場合の結果．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Omura Masaaki, Takeuchi Michio, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Ultrasonic envelope statistical analysis in motion compensated images during temperature change	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ1036 ~ SJ1036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acbb11	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 Omura Masaaki, Yagi Kunimasa, Nagaoka Ryo, Yoshida Kenji, Yamaguchi Tadashi, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 23
2. 論文標題 Effect of Clutter Filter in High-Frame-Rate Ultrasonic Backscatter Coefficient Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2639 ~ 2639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s23052639	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 Takeuchi Michio, Sakai Toshihiko, Oshima Yusuke, Kojima Yasuhiro, Mori Kenji, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Nakagami parametric image for evaluation of the degree of thermal denaturation inside porcine liver induced ex vivo by radiofrequency ablation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ1018 ~ SJ1018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acb71a	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 Hasegawa Hideyuki, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Saito Kozue	4. 巻 22
2. 論文標題 Two-Dimensional Wavenumber Analysis Implemented in Ultrasonic Vector Doppler Method with Focused Transmit Beams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 9787 ~ 9787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22249787	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 Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Yagi Kunimasa, Yoshida Kenji, Yamaguchi Tadashi, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Characterization of blood mimicking fluid with ultrafast ultrasonic and optical image velocimeters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1067 ~ SG1067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4ea9	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 Yano Tatsuya, Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Investigation on effect of transmit condition on ultrasonic measurement of 2D motion velocity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1053 ~ SG1053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac49fd	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 Hasegawa Hideyuki, Nagaoka Ryo, Omura Masaaki, Mozumi Michiya, Saito Kozue	4. 巻 48
2. 論文標題 Investigation of feasibility of singular value decomposition clutter filter in plane wave imaging with packet transmission sequence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 13 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-020-01067-x	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 Ishikawa Kazuma, Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 60
2. 論文標題 Evaluation of accuracy of phase-sensitive method in estimation of axial motion and deformation with fluid-structure interaction analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE01 ~ SDDE01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe5be	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 Nagata Kazunori, Nagaoka Ryo, WilhjelM Jens E., Hasegawa Hideyuki	4. 巻 60
2. 論文標題 Study on estimation of surface roughness by separation of reflection and backscattering components using ultrasonic synthetic aperture imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE09 ~ SDDE09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf2a4	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 該当する

1. 著者名 Wang Hongpeng, Gao Shangce, Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 60
2. 論文標題 Preliminary investigation on clutter filtering based on deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE21 ~ SDDE21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf39d	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 Omura Masaaki, Takeuchi Michio, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 48
2. 論文標題 A study on understanding the physical mechanism of change in ultrasonic envelope statistical property during temperature elevation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 3042 ~ 3054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.14890	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 Hasegawa Hideyuki, Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Saito Kozue	4. 巻 48
2. 論文標題 Measurement of flow velocity vectors in carotid artery using plane wave imaging with repeated transmit sequence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 417 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10396-021-01113-2	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 Takeuchi Michio, Sakai Toshihiko, Andocs Gabor, Takanaka Tsuyoshi, Taka Masashi, Yamashita Kuniko, Kawahara Masahiro, Nojiri Tomoko, Tanaka Asaka, Norishima Azusa, Omoto Yoshitaka, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Takao Keizo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 47
2. 論文標題 Statistical Analysis of Ultrasonic Scattered Echoes Enables the Non-invasive Measurement of Temperature Elevations inside Tumor Tissue during Oncological Hyperthermia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasound in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 3301 ~ 3309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultrasmedbio.2021.07.019	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 Mozumi Michiya, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 120
2. 論文標題 Improving image contrast and accuracy in velocity estimation by convolution filters for intracardiac blood flow imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 106650 ~ 106650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2021.106650	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 Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Saito Kozue, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Preliminary study on modeling blood flow velocity profile for ultrasonic measurement of wall shear stress	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ1053 ~ SJ1053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc07b	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 Sugioka Kotaro, Mozumi Michiya, Omura Masaaki, Nagaoka Ryo, Hasegawa Hideyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Investigation on synthetic aperture imaging using focused transmit beams for cardiac ultrasonography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ1048 ~ SJ1048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc6db	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51件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa, Masaaki Omura, and Ryo Nagaoka
2. 発表標題 Effects of beam steering angle in vector Doppler method with plane wave imaging
3. 学会等名 2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, Kunimasa Yagi, Kenji Yoshida, Tadashi Yamaguchi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Ultrasonic backscatter coefficient analysis with clutter filter for ultrafast blood characterization
3. 学会等名 2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Omura, Michio Takeuchi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Motion compensation algorithm for stabilization of temporal variation in envelope statistical analysis
3. 学会等名 The 43rd Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Michio Takeuchi, Toshihiko Sakai, Yusuke Oshima, Yasuhiro Kojima, Kenji Mori, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Nakagami shape parameter 2D image for visualization of internal biological tissue heat denatured by radiofrequency ablation
3. 学会等名 The 43rd Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Evaluation of accuracy of ultrasonic measurement of wall shear stress at stenosis by computational fluid dynamics
3. 学会等名 The 43rd Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotaro Sugioka, Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Synthetic aperture imaging with numerical simulation of propagation delay time of transmitted wave
3. 学会等名 The 43rd Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢野達也, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 十字型プローブにおける頸動脈短軸断面の速度推定精度向上に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 血管変形モデルシミュレーションによる狭窄部壁せん断応力の超音波計測の精度評価
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村眞朗, 竹内道雄, 長岡亮, 長谷川英之
2. 発表標題 振幅包絡分布の時間変動解析における体動補正手法の検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川英之
2. 発表標題 生体内温度上昇の超音波による可視化
3. 学会等名 日本機会学会2022年年次大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村眞朗, 茂澄倫也, 長岡 亮, 八木邦公, 吉田憲司, 山口 匡, 長谷川英之
2. 発表標題 血流の高速超音波イメージングと後方散乱特性解析
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村眞朗, 長岡 亮, 八木邦公, 吉田憲司, 山口 匡, 長谷川英之
2. 発表標題 高速超音波断層法による血液レオロジーの可視化と赤血球・血小板凝集評価
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢野達也, 高松佳汰, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 頸動脈壁速度計測のための十字型プローブの数値シミュレーション
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内道雄, 坂井俊彦, 大島祐介, 小島康弘, 森 謙二, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心筋焼灼術中の生体組織内温度上昇の超音波非侵襲温度測定に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 流体力学シミュレーションによる超音波血流イメージングによる壁せん断応力推定の評価
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小路重虎, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 回転を考慮したブロックマッチングにおける対象速度の影響の検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川英之, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 斎藤こずえ
2. 発表標題 高調波検出フィルタに関する検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第95回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川英之, 大村眞朗, 長岡 亮
2. 発表標題 超音波による血流計測
3. 学会等名 日本音響学会アコースティックイメージング研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川英之, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 斎藤こずえ
2. 発表標題 平面波バケット送信におけるクラッタフィルタに関する検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第94回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大村眞朗, 長岡 亮, 茂澄倫也, 八木邦公, 吉田憲司, 山口 匡, 長谷川英之
2. 発表標題 散乱特性解析による静脈血評価と微小血栓検出に向けた基礎検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第94回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 超音波画像の受信ビーム間隔のブロックマッチング法の推定精度への影響に関する検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第94回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長岡 亮, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長谷川英之
2. 発表標題 頸動脈の2次元変位計測におけるエレベーション方向の動きの影響に関する基礎検討
3. 学会等名 日本超音波医学会第94回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 斎藤こずえ, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 小林泰代, 杉江和馬, 平井都始子, 長谷川英之
2. 発表標題 超高速超音波イメージングによる頸動脈プラーク動態計測の試み
3. 学会等名 日本超音波医学会第94回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢野達也, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心拍による頸動脈変位の2次元超音波計測における送信条件の影響の検討
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小路重虎, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 心臓血流速度計測のためのブロックマッチングにおける回転考慮
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸 尊駿, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 斉藤 哲, 藤原久美子, 長谷川英之
2. 発表標題 乳児の哺乳運動評価のための超音波動態速度計測の精度評価シミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口 崇, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, Jens E. Wilhjelm, 長谷川英之
2. 発表標題 超音波開口合成法による表面粗さ評価の深さ依存性に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高松佳汰, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 血管壁の3次元変位計測のための少数素子プローブの検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢野達也, 茂澄倫也, 大村眞朗, 長岡 亮, 長谷川英之
2. 発表標題 基礎実験による2次元位相追跡法における送信条件の影響の検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村眞朗, 長岡 亮, 八木邦公, 吉田憲司, 山口 匡, 長谷川英之
2. 発表標題 血液の後方散乱係数解析におけるクラッタフィルタの効果検証
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Omura, Michio Takeuchi, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Effect of material properties on Ultrasonic Envelope statistical property during temperature change
3. 学会等名 IEEE 2021 International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuya Yano, Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Investigation on effect of transmit condition on displacement estimation by phase-sensitive 2D motion estimators
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideyuki Hasegawa, Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Kozue Saito
2. 発表標題 Investigation on estimation of velocity vectors for blood flow measurements
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Nagaoka, Masaaki Omura, Michiya Mozumi, Kunimasa Yagi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Investigation on singular value decomposition filter for extraction of reflected signals from blood flow in veins
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Basic study on separation of reflected components in pulse wave propagation using ultrafast ultrasound
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Sugioka, Michiya Mozumi, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Investigation on improvement of spatial resolution of ultrasound images by considering propagation delay time of transmitted wave
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michio Takeuchi, Toshihiko Sakai, Yusuke Oshima, Yasuhiro Kojima, Kenji Mori, Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 A basic study on ultrasound noninvasive measurement of temperature elevation inside biological tissue cauterized by radiofrequency catheter ablation
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuhiro Tochigi, Ryo Nagaoka, Jens E. Wilhjelm, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 On the investigation of separation between reflection and backscattering components by plane wave imaging for estimation of surface roughness
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaaki Omura, Ryo Nagaoka, Kunimasa Yagi, Kenji Yoshida, Tadashi Yamaguchi, and Hideyuki Hasegawa
2. 発表標題 Comparison of tracking methods of particle distribution in ultrafast ultrasound imaging
3. 学会等名 The 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Mami Matsukawa, Pak-Kon Choi, Kentaro Nakamura, Hirotsugu Ogi, and Hideyuki Hasegawa編著	4. 発行年 2022年
2. 出版社 IOP Publishing Ltd.	5. 総ページ数 310
3. 書名 Ultrasonics: Physics and applications	

1. 著者名 渡辺好章編著	4. 発行年 2022年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 247
3. 書名 音響学講座8 超音波	

1. 著者名 松川真美, 山口 匡, 長谷川英之編著	4. 発行年 2022年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 222
3. 書名 音響サイエンスシリーズ23 生体組織の超音波計測	

〔産業財産権〕

〔その他〕

富山大学 工学部工学科 知能情報工学コース 医用情報計測学研究室 http://www3.u-toyama.ac.jp/hase/index.html

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	八木 邦公 (Kunimasa Yagi) (30293343)	金沢医科大学・医学部・教授 (33303)	

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	長岡 亮 (Nagaoka Ryo) (60781648)	富山大学・学術研究部工学系・准教授 (13201)	
研究分担者	高雄 啓三 (Keizo Takao) (80420397)	富山大学・学術研究部医学系・教授 (13201)	
研究分担者	大村 眞朗 (Omura Masaaki) (90897703)	富山大学・学術研究部工学系・助教 (13201)	

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