

令和 2 年 7 月 5 日現在

機関番号：54501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06479

研究課題名(和文)超音波照射下の海綿骨における圧電特性の測定

研究課題名(英文) Measurements of piezoelectric properties in cancellous bone under ultrasound irradiation

研究代表者

細川 篤 (Hosokawa, Atsushi)

明石工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：00321456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超音波(高周波)領域における海綿骨の圧電特性について検討を行った。まず、海綿骨試料を圧電素子として用いた超音波センサである「圧電セル」の開発および改良を行った。その結果、超音波照射によって海綿骨において発生する圧電信号を観測する方法を確立することができた。次に、この圧電セルを利用して海綿骨における圧電信号の測定を行い、その特性について検討した。具体的には、海綿骨の間隙中を満たす流体による圧電信号の違いを、海綿骨中を伝搬する超音波信号との関係とともに示した。さらに、海綿骨の骨梁配向が圧電信号に及ぼす影響を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、超音波照射による骨折治療が行われているが、その物理的(電気・機械的)メカニズムは不明なままである。骨の生成骨には骨が有する圧電特性が関係すると考えられているが、超音波(高周波)帯域における骨の圧電特性は十分に分かっていない。特に、多孔性構造を有する海綿骨における圧電特性については、ほとんど未知であると言える。本研究で明らかにした海綿骨の圧電特性は、海綿骨生成の物理メカニズムの解明の一助となることが期待できる。最終的には、海綿骨を多く含む関節骨における骨折の効率的な治療方法の実現につながると思われる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the piezoelectric properties of cancellous bone in the ultrasound (high-frequency) region were experimentally investigated. First, "a piezoelectric cell," which is an ultrasonic sensor using a cancellous bone specimen as a piezoelectric element was developed and improved, and a method for observing piezoelectric signals generated in cancellous bone by ultrasound irradiation could be established. Next, using the piezoelectric cell, the piezoelectric signal in cancellous bone was measured, and the piezoelectric properties were investigated. Concretely, the difference in the piezoelectric signal owing to the fluid filling the pores in cancellous bone was shown with the relationship with the ultrasound signal propagating through the bone. Moreover, the effect of the trabecular orientation in cancellous bone on the piezoelectric signal were shown.

研究分野：超音波工学

キーワード：海綿骨 圧電特性 超音波 間隙流体 骨梁構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

骨は生成と吸収(リモデリング)を繰り返し、力学的負荷に適応するように外形や構造を改築・改変する。このことを利用して、超音波照射によって骨折箇所の癒合を促進する方法が開発・実用化されている^{1,2)}。しかし、この骨折治療方法は細胞試験や臨床試験の結果を根拠としており、物理的(電気・機械的)なメカニズムは不明なままである。

骨の生成には、骨中で生じる圧電現象が関係すると考えられている³⁾。したがって、効果的な骨折治癒を行うためには、骨中における超音波挙動と圧電特性の関係を把握することが重要となる。しかし、超音波(高周波)帯域における骨の圧電特性に関する研究は数年前に始まったばかりである⁴⁾。

実用化されている超音波骨折治療は主として骨管部分を対象としており、この部分は緻密な皮質骨で構成される。一方、関節骨の大部分は多孔性の海綿骨が占めており、海綿骨は強い異方性・不均質性を有する。関節骨の骨折治療や増強を実現するためには、海綿骨中の超音波挙動と圧電特性の把握が必要となるが、複雑な構造を有する海綿骨における超音波挙動は複雑であり、圧電特性も複雑になると予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は超音波照射時の海綿骨における圧電特性の解明であり、具体的な研究内容は下記のとおりである。

- ・超音波照射によって海綿骨で発生する圧電信号の測定方法の確立
- ・海綿骨の間隙中を満たす流体が圧電信号に及ぼす影響についての検討
- ・海綿骨の骨梁配向が圧電信号に及ぼす影響についての検討

3. 研究の方法

(1) 圧電セル

骨が有する圧電性は極めて微小であり、実験的に観測するためには電磁ノイズを十分に抑制する必要がある。Okino⁵⁾らは、皮質骨試料を圧電素子として作製した「骨トランスデューサ」による超音波の受波に成功している。この研究を参考にして、海綿骨試料を静電遮蔽した「圧電セル」を開発・試作した。圧電セルの断面図をFig. 1に示す。本研究では、ウシ大腿骨近位骨端から切り出して直方体形状に成形した海綿骨を、試料として用いた。海綿骨試料の間隙率は約0.65(65%)であり、板状の骨梁が厚さ方向(超音波照射方向)とそれに垂直な方向の二方向に層状に配向していた。また、間隙中を満たす骨髄は成形時に除去された。海綿骨試料の両面に、圧電信号を抽出するための電極が貼り付けられている。前面の電極は海綿骨試料の全面に貼付されているが、裏面の電極の寸法は海綿骨試料の寸法よりも一回り小さい。裏面の電極が正極に相当し、この面のみで圧電信号が抽出される。裏面電極は導線によってBNCコネクタの正極に、表面電極は金属板を通してBNCコネクタの負極に接続されている。このように海綿骨試料を金属板と表面電極で囲むことによって、静電遮蔽が施されている。また、海綿骨試料の裏側に空間が作られており、この空間を満たす流体を変更することによって、海綿骨試料の間隙中を満たす流体を変更することができる。

(2) 実験方法

海綿骨における圧電信号を観測するための実験系をFig. 2に示す。圧電セル(海綿骨)の低感度を補うために、高音圧の超音波を照射できるPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)超音波送波器を用いた。圧電セルとPZT超音波送波器を水中に設置して、PZT送波器から照射したバースト超音波を圧電セルで受波した。圧電セルから出力される電気信号を、海綿骨試料で発生した圧電信号として観測した。

まず、海綿骨試料の間隙流体が(脱気した)水道水の場合と空気の場合の、圧電信号波形の

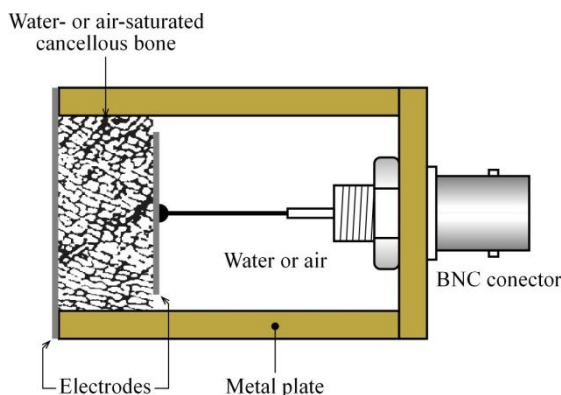


Fig. 1 A cross-sectional view of a piezoelectric cell (PE-cell) of cancellous bone.

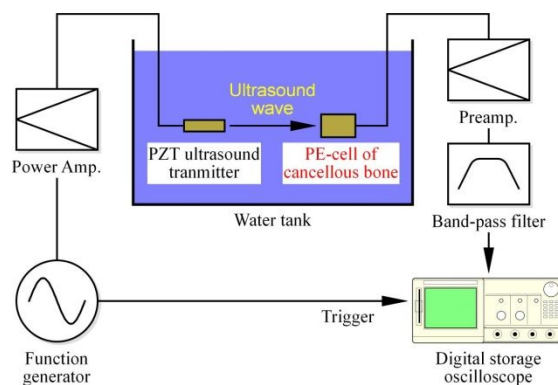


Fig. 2 Experimental arrangement for observation of a piezoelectric signal in cancellous bone by ultrasound irradiation.

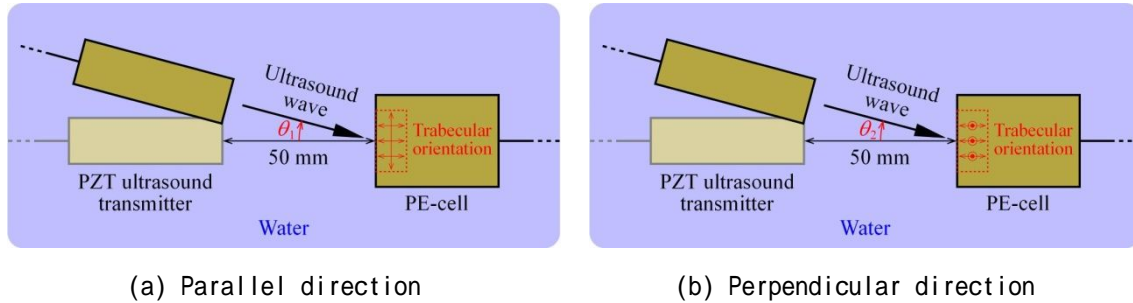


Fig. 3 Variations (rotations) of irradiated ultrasound direction parallel and perpendicular to the layered trabecular orientation in cancellous bone.

観測・比較を行った。なお、照射する超音波の周波数を 1 MHz とした。さらに、圧電信号と超音波信号の関係について検討するために、それぞれの場合の海綿骨における超音波伝搬信号の波形も観測した。この観測では、高い時間分解能のパルス超音波を照射するために、広帯域特性を有する PVDF (ポリフッ化ビニリデン) 超音波トランスデューサを超音波送波器と受波器として用いた。

次に、海綿骨の骨梁配向に対して超音波の照射方向 (角度) を変化 (回転) させた場合の、圧電信号振幅の変化を測定した。超音波照射方向の変化を Fig. 3 に示す。層状の骨梁配向に対して平行な場合 (Fig. 3(a)) と垂直な場合 (Fig. 3(b)) の二通りで、超音波照射方向を変化させた。変化の範囲を $-30 \sim 30$ 度、間隔を 5 度とした。なお、海綿骨試料の間隙流体は、実際の海綿骨の間隙中を満たす骨髄に超音波特性が類似していることから、水 (脱気した水道水) とした。また、照射超音波の周波数を 2 MHz とした。

4. 研究成果

(1) 超音波照射によって海綿骨で発生する圧電信号の測定方法

超音波照射によって海綿骨で発生する圧電信号の測定方法については、3 章に記述したとおりである。ただし、海綿骨試料で発生する圧電信号を効率的に抽出できるように、電極の材質や貼り付け方法について検討した。また、海綿骨の間隙中を満たす流体等について検討するためには、圧電セルから海綿骨試料を取り外したり交換したりできる必要があった。実験における再現性を失うことなく容易に取り外し・交換ができるように、海綿骨試料の取り付け方法についても検討した。検討の結果、電極として厚さ $1 \mu\text{m}$ の銅箔を用いて、導電性テープによって海綿骨試料に貼り付けた。また、海綿骨試料の取り付けや金属板 (本研究では、真鍮板を使用) の組み立てには、可能な限り接着剤を用いずにねじの締め付けで行った。

(2) 海綿骨の間隙中を満たす流体が圧電信号に及ぼす影響

圧電セルによって観測された、超音波照射時の海綿骨試料における圧電信号波形を Fig. 4 に、照射した超音波信号波形を Fig. 5 に示す。Fig. 4(a) および Fig. 5(a) は間隙流体が水の場合の波形、Fig. 4(b) および Fig. 5(b) は空気の場合の波形である。Fig. 4 から分かるように、間隙流体が水の場合と空気の場合の両方で圧電信号が観測できた。Fig. 4(a) と Fig. 4(b) の波形を比較すると、間隙流体が水の場合の圧電信号の振幅は、空気の場合の振幅の約 4 倍大きいことが分かる。導電率が水道水より 3 桁程度小さいイオン交換水を間隙流体とした場合の圧電信号波形の観測も行ったが、水道水の場合とほとんど同じ波形が観測された。すなわち、間隙流体の導電率は圧電信号にほとんど影響を及ぼさないことが示された。したがって、間隙流体が水の場合と空気の場合の圧電信号振幅の違いの要因は導電率ではないと言える。

Fig. 5(a) と Fig. 5(b) の波形を比較すると、間隙流体が水の場合は 2 つの信号 (波) が観測されたが、空気の場合は 1 つの信号 (波) しか観測されなかった。2 つの波は「高速波」、「低速波」と呼ばれる超音波であり、前者の超音波は海綿骨の骨梁の部分を主として伝搬して、後者の超音波は間隙流体の部分を伝搬することが分かっている。Fig. 5(b) の波は、その波形形状 (到来時間や振幅等) が Fig. 5(a) の高速波の波形形状とほとんど同じであることから、高速波に相当することが分かる。また、間隙流体が水の場合に低速波が観測されなかったのは、空気中での超音波の減衰が大きいことと骨梁と空気の音響インピーダンスが大きく異なることが要因である。なお、間隙流体がイオン交換水の場合は、水道水の場合とほとんど同じ波形が観測された。

Fig. 5 の超音波信号を考慮すると、Fig. 4 で観測された間隙流体による圧電信号の違いは、間隙流体における超音波伝搬特性によるものであると考えられる。さらに、(間隙流体が水の場合に) 高速波と低速波の 2 波で発生した圧電信号の振幅は、(間隙流体が空気の場合に) 高速波のみで発生した圧電信号の振幅よりもかなり大きくなった。このことから、間隙流体が水の場合の圧電信号発生には主として低速波の伝搬が関連して、空気の場合の圧電信号発生には主として高速の伝搬波が関連していると推察できる。さらに、高速波よりも低速波の伝搬のほうが圧電信号発生に大きく関連すると考えられる。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

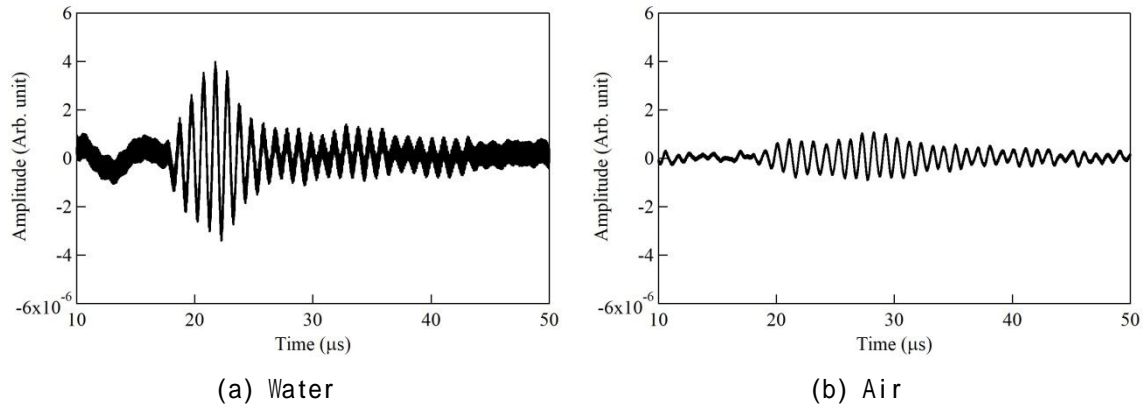


Fig. 4 Piezoelectric signal waveforms generated in cancellous bone by ultrasound irradiation in the cases that the pore fluid filling in the bone was water and air.

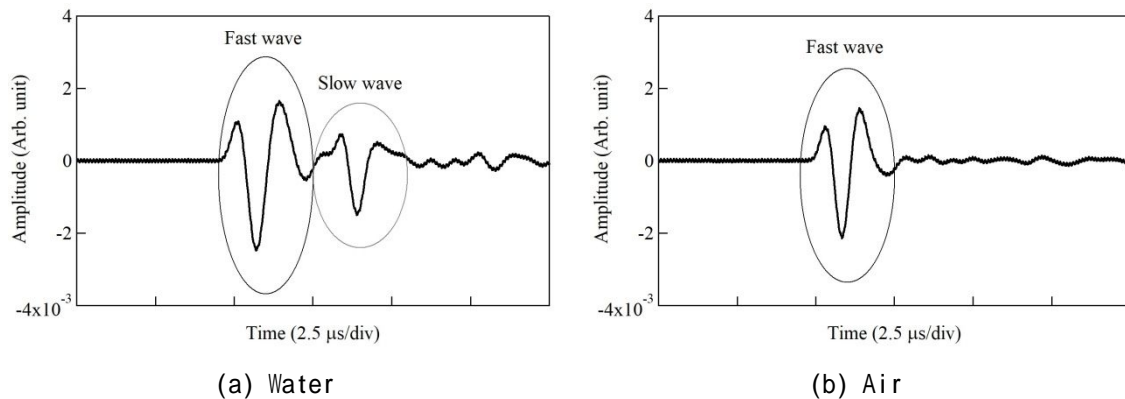


Fig. 5 Ultrasound signal waveforms propagating through cancellous bone by ultrasound irradiation in the cases that the pore fluid filling in the bone was water and air.

(3) 海綿骨の骨梁配向が圧電信号に及ぼす影響

超音波照射方向の変化が層状の骨梁配向に対して平行な場合と垂直な場合の両方において、 $-30 \sim 30$ 度のすべての方向で圧電信号を観測することができた。超音波照射方向に対する圧電信号振幅の変化（圧電セルの指向特性）を Fig. 6 に示す。Fig. 6 において、（赤色の）円形プロットが圧電信号振幅の測定値を、（灰色の）実線が（圧電セルと同じ寸法の）正方形の受波平面を有する通常の超音波受波器の指向特性の理論計算値を示す。また、Fig. 6(a) と Fig. 6(b) はそれぞれ、超音波照射方向の変化が骨梁配向に対して平行な場合と垂直な場合の指向特性である。超音波照射方向の変化が平行・垂直の両方の場合で、圧電セルの指向特性は通常の超音波受波器の指向特性と大きく異なり、正負非対称で非常に広く（サイドローブの振幅が大きく）なった。Fig. 6(a) と Fig. 6(b) の指向特性を比較すると、超音波照射方向の変化が骨梁配向に対して水平な場合と垂直な場合の指向特性の間には有意差が見られた。前者の指向特性は後者よりもサイドローブの振幅が大きく、メインローブの振幅と同程度以上であった。

圧電セルの指向特性が広い要因として、骨組織自体の圧電異方性が考えられる。以前の研究において、ウシの皮質骨試料を用いて作製した圧電セルでも広い指向特性となり、この要因が骨組織自体の圧電異方性であることが数値シミュレーションによって確認されている。しかし、海綿骨の圧電セルで見られた正負非対称な指向特性は、皮質骨の圧電セルでは見られなかった。この非対称性は、海綿骨の非対称な（不均質な）骨梁構造が要因であると考えられる。一方、超音波照射方向の変化が骨梁配向に対して水平な場合と垂直な場合の指向特性の違いは、超音波伝搬特性が要因であると考えられる。4章(2)節において、間隙流体が水の場合の圧電信号には主として低速波伝搬が関連していると推察した。また、骨梁配向に対する超音波照射角度が大きくなると低速波振幅が小さく（低速波の伝搬が妨げられる）なることが、以前の研究で示されている。超音波照射方向の変化が骨梁配向に対して水平な場合は、骨梁配向に対する超音波照射角度は変化しない。超音波照射方向の変化が垂直な場合は、骨梁配向に対する超音波照射角度が変化する。したがって、前者の場合は超音波（低速波）伝搬特性の影響が少なく圧電異方性の影響が大きく現れたため、後者の場合よりもサイドローブが大きくなったと考えられる。後者の場合は超音波伝搬特性の影響が大きく現れたため、骨梁配向に対する超音波照射角度とともに圧電信号発生に関連する低速波伝搬が妨げられて、サイドローブが小さくなったと考えられる。以上のように、圧電セルの指向性すなわち海綿骨の圧電異方性は、骨組織自体の圧電異方性と超音波伝搬特性の両方の影響を受けることが分かった。

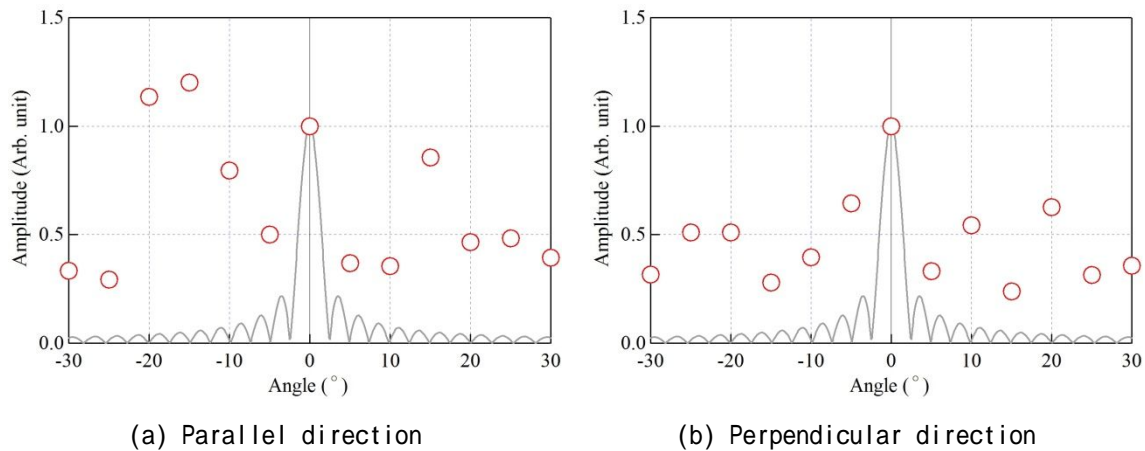


Fig. 6 Variations of piezoelectric signal amplitudes in cancellous bone with ultrasound irradiation angle (a) parallel and perpendicular to the layered trabecular orientation. The (red) circles represent the measured piezoelectric amplitudes, and the gray lines represent the theoretical directivity of an ordinary ultrasound receiver.

<引用文献>

- A. M. Parfitt, "Osteonal and hemi-osteonal remodeling: The spatial and temporal framework for signal traffic in adult human bone," *J. Cell. Biochem.*, Vol. 55, No. 3, pp. 273-286, 1994.
- L. R. Duarte, "The stimulation of bone growth by ultrasound," *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Vol. 101, pp. 153-159, 1983.
- S. Mitragotri, "Healing sound: The use of ultrasound in drug delivery and other therapeutic applications," *Nat. Rev. Drug Discovery*, Vol. 4, pp. 255-260, 2005.
- M. H. Shamos and L. S. Lavine, "Physical bases for bioelectric effects in mineralized tissues," *Clin. Orthop.*, Vol. 35, pp. 177-188, 1964.
- C. A. Bassett, "Biologic significance of piezoelectricity," *Calcif. Tissue Res.*, Vol. 1, No. 4, pp. 252-272, 1968.
- K. Ikushima, S. Watanuki, and S. Komiyama, "Detection of acoustically induced electromagnetic radiation," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, 194103, 2006.
- M. Okino, S. Coutelou, K. Mizuno, T. Yanagitani, and M. Matsukawa, "Electrical potentials in bone induced by ultrasound irradiation in the megahertz range," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 103, 10370, 2013.
- A. Hosokawa, Y. Nagatani, and M. Matsukawa, "The fast and slow wave propagation in cancellous bone: Experiments and simulations," in *Bone Quantitative Ultrasound*, P. Laugier and G. Haÿat, Eds., Dordrecht: Springer, 2011, Chap. 11, pp. 291-318.
- A. Hosokawa, "Experimental observation of piezoelectric effect in cancellous bone generated by ultrasound irradiation," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 140, No. 5, pp. EL441-EL445, 2016.
- A. Hosokawa and T. Otani, "Ultrasonic wave propagation in bovine cancellous bone," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 101, No. 1, pp. 558-562, 1997.
- L. Cardoso, F. Teboul, L. Sedel, C. Oddou, and A. Meunier, "In vitro acoustic waves propagation in human and bovine cancellous bone," *J. Bone Miner. Res.*, Vol. 18, No. 10, pp. 1803-1810, 2003.
- A. Hosokawa, "Investigation of piezoelectric anisotropy of bovine cortical bone at an ultrasound frequency by coupling an experiment and a simulation," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 142, No. 2, pp. EL184-EL189, 2017.
- A. Hosokawa, T. Otani, T. Suzuki, Y. Kubo, and S. Takai, "Influence of trabecular structure on ultrasonic wave propagation in bovine cancellous bone," *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 36, No. 5B, 3233-3237, 1997.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Atsushi Hosokawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Observations of experimental and numerical waveforms of piezoelectric	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LF06-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.57.07LF06	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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Frequency dependence of the piezoelectric signal generated in cancellous bone by Ultrasound irradiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Meetings on Acoustics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 A. Hosokawa	4. 巻 142
2. 論文標題 Investigation of piezoelectric anisotropy of bovine cortical bone at an ultrasound frequency by coupling an experiment and a simulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 EL184-EL189
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1121/1.4996909	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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Structural dependence of piezoelectric signal in cancellous bone at an ultrasound frequency	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Meetings on Acoustics	6. 最初と最後の頁 20001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1121/2.0000687	査読の有無 無
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 細川 篤	4. 巻 30
2. 論文標題 超音波照射下での海綿骨における圧電信号の実験的観測 = 海綿骨で作製した圧電セルによる超音波の受波 =	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 超音波TECHNO	6. 最初と最後の頁 94-97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 in press
2. 論文標題 Observations of experimental and numerical waveforms of piezoelectric signals generated in bovine cancellous bone by ultrasound waves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 38
2. 論文標題 Experimental observations of piezoelectric signals generated in cancellous bone at megahertz frequencies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Meetings on Acoustics	6. 最初と最後の頁 20001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/2.0001055	査読の有無 無
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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 59
2. 論文標題 Numerical analysis of backscatter properties of fast and slow waves in cancellous bone	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 36504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7720	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 Atsushi Hosokawa	4. 巻 59
2. 論文標題 Change of piezoelectric signal in cancellous bone with ultrasound irradiation angle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKE03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7f56	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Effect of pore fluid on piezoelectric signal generated in cancellous bone by ultrasound irradiation
3. 学会等名 The 39th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Frequency dependence of the piezoelectric signal generated in cancellous bone by Ultrasound irradiation
3. 学会等名 13th Western Pacific Acoustics Conference (WESPAC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細川篤, 壁下育弥
2. 発表標題 水で飽和した海綿骨で発生する圧電信号の観測
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Estimation of piezoelectric sensitivity at an ultrasound frequency in bovine cancellous bone
3. 学会等名 21st International Bone Densitometry Workshop (IBDW) and 7th European Symposium on Ultrasonic Characterization of Bone (ESUCB) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Experimental and numerical observations of piezoelectric signal generated in cancellous bone by an ultrasound wave
3. 学会等名 The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Structural dependence of piezoelectric signal in cancellous bone at an ultrasound frequency
3. 学会等名 2017 International Congress on Ultrasonics (ICU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 壁下育弥, 細川篤
2. 発表標題 海綿骨を用いた超音波センサの電極に関する検討
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細川篤
2. 発表標題 水で飽和した海綿骨で発生する圧電信号の観測
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Experimental observations of piezoelectric signals generated in water-saturated cancellous bone by ultrasound irradiation
3. 学会等名 8th International Symposium on Ultrasonic Characterization of Bone (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Experimental observations of piezoelectric signals generated in cancellous bone at megahertz frequencies
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Hosokawa
2. 発表標題 Effect of ultrasound direction on piezoelectric signal generated in cancellous bone
3. 学会等名 The 40th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細川篤
2. 発表標題 海綿骨における圧電信号の照射超音波周波数による変化
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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