

工学基礎

ファントム・音場評価	93-基-001－006
像形成原理・超音波加振	93-基-007－011
超音波顕微鏡	93-基-012－015
ファントム・新規手法・シミュレータ	93-基P-001－007

93-基-001

生体組織近似材料用ポリウレタンゲルの材料設計

佐藤 一石¹, 鈴木 勝貴¹, 吉田 知司², 近藤 敏郎¹, 久保 拓也⁴, 濱地 晃平³, 谷口 雅彦³¹徳島文理大学 理工学部, ²徳島文理大学 保健福祉学部, ³八十島プロシード 本部テクノロジーセンター,⁴八十島プロシード NextMED 開発室

【背景と目的】

超音波診断装置用ファントムには、寒天などを天然素材としたものが長年使用されてきた。我々は工業材料を用いることにより長期にわたって品質が保持できて、かつIEC 61685[1]に定められている音響物性値を再現性良く作製する材料設計を検討してきた。

【方法】

表記の材料を実現するため、目標とする生体組織近似材料（TMM）の物性を計算で求めることにした。

TMMの密度 d_0 は次式で与えられる。

$$d_0 = d_{01}x_{01} + d_{02}x_{02} \quad (1)$$

ここで、 d_{01} と d_{02} はそれぞれ2成分液体を含んだゲル（S-SPUG）と粒子の密度であり、 x_{01} と x_{02} はそれぞれ2成分液体を含んだゲルと粒子の体積分率である。

一方、TMMの音速 C_0 は次式で与えられる[2]。

$$C_0 = 1 / [d_0 / (k_1x_{01} + k_2x_{02})]^{0.5} \quad (2)$$

$$k_1 = 1 / d_{01}C_{12}, \quad k_2 = 1 / d_{02}C_{22} \quad (3)$$

ここで、 C_1 , C_2 はそれぞれ2成分液体を含んだゲルの音速と粒子の音速である。

2成分液体を含んだゲルの音速 C_1 と密度 d_{01} は、実験値を用いて以下に示す2次関数で表すことにした。

$$C_1 = k_{11}x_{12} + k_{12}x_{11} + k_{13} \quad (4)$$

$$d_{01} = k_{21}x_{12} + k_{22}x_{11} + k_{23} \quad (5)$$

$$x_{11} + x_{12} = 1 \quad (6)$$

ここで、 x_1 と x_2 は2成分液体中の液体1およびの液体2の重量分率である。 k_{11} , k_{12} , k_{13} , k_{21} , k_{22} および k_{23} は実験で決定できる定数である。

2成分液体を含んだゲル（S-SPUG）に粉体を分散させたゲルの音速と密度の望ましい値は、2成分液体の比率および液体の分散量、ゲルの素材である2成分液体中

の液体1の濃度と密度および音速の関係の実測値および粉体の密度と音速の値があれば、上記の式から求めることができる。

TMMの減衰定数 α については、次式で求めることができる[3]。

$$2\alpha = (4/9)k_1k_2 \cdot \pi a^2 + (4/3)\pi a^3 k(\sigma-1)^2 / (s^2 + (\sigma+\tau)^2) \quad (7)$$

ここで、 s , τ , および σ は次式で与えられる。

$$s = (9/4)(1/\beta a)(1+1/\beta a) \quad (8)$$

$$\tau = (1/2) + (9/4)(1/\beta a) \quad (9)$$

$$\sigma = (\rho_1/\rho_0) \quad (10)$$

$$k = 2\pi/\lambda \quad (11)$$

$$\beta = (\omega/2\mu)0.5 \quad (12)$$

a は粉体の粒径、 ρ_1 は粉体の密度、 ρ_0 はゲルの密度、 μ はゲルの動粘度である。

【結果】

理論式に基づいてTMMの組成を計算により求めて測定用サンプルを作成した。厚さの異なるサンプルでの音波の伝搬時間と減衰量の差分値から音速と伝搬損失を求めた。これらの値は規格で決められた誤差の範囲内であった。また素材の物性値の変化がTMMの物性にどの程度影響を与えるか明らかになり、最終製品の品質管理に有用な知見となり得る。

【結論】

計算によるTMMの材料設計は、工業生産の効率向上と品質管理に有用なことが実証された。

【参考文献】

[1] IEC: IEC61685. Ultrasonic-Flow measurement systems Flow test object

(International Electrotechnical Commission, Geneva, 2001)

[2] R. J. Urick, J. Appl. Phys., 18, 983 (1947).

[3] R. J. Urick, J. Acous. Soc. Am., 20(3), 283 (1948).

The Material Design of Segmented Poly(urethane) Gel for Tissue-Mimicking Materials

Kazuishi SATO¹, Masaki SUZUKI¹, Tomoji YOSHIDA², Toshio KONDO¹, Takuya KUBO⁴, Kohei HAMACHI³, Masahiko TANIGUCHI³¹Faculty of Science and Technology, Tokushima Bunri University, ²Faculty of Health and Welfare, Tokushima Bunri University, ³Headquarter of Technology Center, Yasojima Proceed Co., Ltd, ⁴NextMED R&D Office, Yasojima Proceed Co., Ltd

93-基-002

磁性ナノ粒子含有ファントムの Magneto-motive Ultrasound Imaging

佐藤 泰, 菅野 尚哉, Rebecca Plant, 藤井 佳祐, 池田 隼人, 安齋 快人, 佐藤 蒼, 西條 芳文

東北大学大学院医工学研究科 医工学専攻

【目的】

生体組織の弾性率は組織の状態と密接に関係しており、特にがん細胞は正常細胞と比較して弾性率が高いことが分かっている。医療現場で実施されている弾性率の客観的評価のための手法が超音波エラストグラフィである。また、磁性ナノ粒子は多岐に渡るその柔軟な特性を活用した診断・治療方法の研究が行われている注目の材料である。磁性ナノ粒子は超音波検査において、主にコントラスト造影剤の役割を担うが、本研究では組織内に歪みを発生させる振動源として使用した。以上から本研究の目的は磁性ナノ粒子含有生体模擬ファントムに外部交流磁場を印加し、超音波計測によるファントム内の微小振動及び歪み算出とする。

【原理】

弾性率の代役としてファントムに生じる一次元歪みを利用した。ファントム内に生じる歪みは微小と予想されるので、超音波の平面波送受信で取得されたIQデータに自己相関法を適用し、ビーム方向の一次元変位及び歪みを算出した。外部交流磁場によるファントムの振動数は印加交流磁場周波数の2倍となるため、周波数フィルタにより所望の周波数成分のみを抽出した。上記信号処理を全ピクセルに対して実行し、メディアンフィルタを用いて歪みイメージングを行った。

【実験方法】

データ取得にはVerasonics社製の超音波送受信装置を用い、中心周波数9.3 MHzのリニアアレイプローブを使用した。フレームレートは50 fpsでデータを取得し、そのうち500フレーム分を採用した。ファントムに発生する磁気力は2 Hzとなるように交流磁場を1 Hzとした。評価対象にはPVA濃

度に伴い弾性率を変化可能であるPVA-Hファントムを用い、組織埋め込みモデルを採用した。周辺組織はPVA : 8 wt% (21.5 kPa)、中心部組織はPVA : 13 wt% (89.2 kPa)と設定した。更に、磁性ナノ粒子粉末はSigma Aldrich社製の粒径50-100 μ mを0.05 wt%、超音波反射体として粒径50 μ mのPolyamid粉末を0.3 wt%で加えた。

【結果】

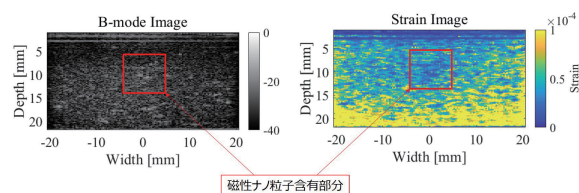
取得された歪み画像から周辺組織と中心部組織との歪み差が見て取れる。ただし、境界付近では差は見られなかった。

【結論】

外部交流磁場により励起された磁性ナノ粒子含有生体模擬ファントムの歪みイメージングは生体組織の弾性率推定の補助となる可能性が示唆された。

【参考文献】

1.Thiago W. J. Almeida, et al., IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, vol. 62, no. 12, pp. 2138-2145 (2015).



Magneto-motive Ultrasound Imaging of Tissue-Mimicking PVA Phantom Labelled by Magnetic Nanoparticles

Akira SATO, Naoya KANNO, Rebecca PLANT, Keisuke FUJII, Hayato IKEDA, Kaito ANZAI, Aoi SATO, Yoshihumi SAIJO

Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University

93-基-003

SPUG (Segmented Polyurethane Gel) を用いた安定したファントム材料

谷口 雅彦¹, 佐藤 一石², 近藤 敏郎², 吉田 知司³, 久保 拓也⁴, 濱地 晃平¹

¹八十島プロシード 本部テクノロジーセンター, ²徳島文理大学 理工学部, ³徳島文理大学 保健福祉学部,

⁴八十島プロシード NextMED 開発室

【目的】

超音波診断装置認証のJIS T1501には検査方法の記載はあるが構成材料は記載がない。IEC規格1)にはファントム・構成材料の物性値が厳格に定められているがその材料は水分を含む寒天であり、雑菌増殖・腐敗・強度劣化だけでなく、含水率の経時変化により音響特性値を長期にわたって充足できないことが問題視されてきた。入手可能なファントムは全て輸入品で価格も高く、日本では先進的な医療施設のみが機器の精度管理を実施し、中小医療施設では実施されていない。今回我々は安定性が高い材料であるSPUG (Segmented Polyurethane Gel) 2)を用い、高沸点分散媒や高分子微粒子の配合により、任意の音速、密度および減衰が設定可能なファントム材料を考案したので報告する。

【方法】

SPUGと親和性の高い高沸点分散媒は水分のように蒸散することなく、ゲルの物性を損なわない範囲において任意に配合が可能である。また高分子微粒子 (PMMA: Polymethyl methacrylate) は分散性が良好であり、含有率を変化させることによりSPUG密度を制御することが可能である。したがってSPUG中の分散媒濃度および微粒子含有率に対し音速と密度とをあらかじめ測定しておけば、計算式から所望する音速・密度を有するファントムを得ることが可能となる。

【結果】

図に分散媒・微粒子を配合した時のSPUGの密度および音速の一例を示す。IEC規格に記載の密度 $d_0=1.047(\text{g/cm}^3)$ 、音速 $C_0=1540(\text{m/s})$ について、独立して d_0 、 C_0 が所定の値となる分散媒濃度および微粒子含有率を決定

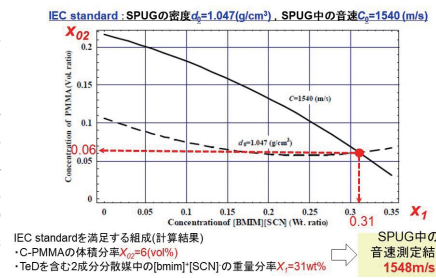
し、コンタープロットすることにより、その交点から目的とする濃度、含有率を求めることが可能となった。

【結論】

SPUGを用いたファントムは、任意の音響特性値に設定が可能である。雑菌増殖、腐敗、強度劣化が発生せず、分散媒の蒸散が極めて少量であることから、音響特性・物性の安定性が極めて高い材料でありSPUGはファントムとして好適な材料であると判断できる。

【参考文献】

- 1) IEC, "Ultrasonic-Flow measurement system-Flow test object", INTERNATIONAL STANDARD, IEC61685 pp.15, 2001
- 2) M. Taniguchi, "Segmented Polyurethane Gels", Fine Chemical, 41(9), 26-31 (2012)
- 3) K. Sato, M. Suzuki, T. Yoshida, T. Kondo, T. Kubo, K. Hamachi and M. Taniguchi "Tissue-Mimicking Materials for Various Kind of Phantoms", WePoS-15.3/2019 IEEE Ultrasonic Symposium



Stable phantom materials based on SPUG : Segmented Polyurethane Gel

Masahiko TANIGUCHI¹, Kazuishi SATO², Toshio KONDO³, Tomoji YOSHIDA³, Takuya KUBO⁴, Kohei HAMACHI⁵

¹Headquarter of Technology Center, Yasojima Proceed Co., Ltd., ²Faculty of Science and Technology, Tokushima Bunri University, ³Faculty of Health and Welfare, Tokushima Bunri University, ⁴NextMED R&D Office, Yasojima Proceed Co., Ltd.

93-基-004

超音波照射による生体組織の熱物性量の測定-FBG センサを用いた測定精度の検討-

真鍋 稔生¹, 小坂 亮司², 秋山 いわき¹

¹同志社大学 超音波医科学研究センター, ²同志社大学 生命医科学部

【目的】

生体組織の熱物性量を測定することは組織性状診断や温熱治療において重要である。そこで、超音波照射によって組織を加温したときの温度上昇をFBGセンサを用いて測定し、測定された温度上昇曲線と生体熱輸送方程式を用いて計算される温度上昇曲線を比較することによって熱物性量を推定する手法を提案し、TMMファントムの体積熱容量を測定した^[1]。本報告では、viscous heating^[2]の影響を抑えるため、音圧を低く設定した。音圧を低くすると温度上昇率が小さくなるので、加温時間を長くすることによって測定精度を向上させた。

【対象と方法】

今回、試料として生体組織模擬ファントム (TMM) を用いた。音圧と温度上昇測定については同じ実験系で測定した。凹面振動子を二次元走査させながらFBGを挿入した試料に超音波を照射し、音圧が最大となる点に振動子を設置した。20秒間2 MHzで連続正弦波の超音波照射を行い、温度上昇値を測定した。減衰定数 α については口径10 mmの平面振動子にパルス波を印加し、透過法を用いて測定した。次に有限要素法FlexPDEを用いてTMM内における温度変化を算出した。計算に必要なパラメータはそれぞれ、音速 1550 m/s, 密度 1050 kg/m³, 減衰係数1.0 dB/cm, 正音圧0.4 MPa, 負音圧0.4 MPa, 体積熱容量3.9 J/cm³/°C, 熱伝導率0.58 W/m/Kであり、このうち密度、体積熱容量、熱伝導率については参照値を用いた^[1]。

【結果と考察】

viscous heating の影響が小さいと考えられる10 sから20 sの時間において測定値とシミュレーションにおける体積熱容量の値を変化させた際の温度変化の傾きをそれぞれ比較した。実験における傾きを10 s間の直線近似から計算した体積熱容量の推定値は $3.9 \pm 0.1 \text{ J/cm}^3/\text{°C}$ となり、文献値3.9 J/cm³/Kとの誤差率約3 %で一致した。

【結論】

音圧を0.4 MPa, 20 s超音波照射した時のFBGセンサによる温度上昇率を10 sから20 sにおける直線近似から推定したTMMの体積熱容量の推定を行った。その結果、測定値は誤差率約3 %で推定された。本手法は体積熱容量だけでなく他の熱物性量も推定可能であるので、今後、in vitroでの生体組織の測定を重ね、基礎データとして蓄積することが重要である。

【参考文献】

- [1] 真鍋稔生, 金山寛明, 秋山いわき, 超音波照射による生体組織の温度上昇のFBGによる測定と体積熱容量の推定, Jpn J. Med. Ultrasonics, 46, Suppl., S574, 2019.
- [2] Hynynen, K., Martin, D.J., Watmough, J.R., "Errors in temperature measurement by thermocouple probes during ultrasound induced hyperthermia", British Journal of Radiology 56, 969-970(1983).
- [3] IEC 60601-2-37 Medical electrical equipment -Part 2-37: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic medical diagnostic and monitoring equipment, Edition 2.0, 2007.

Measurement of thermophysical properties of biological tissues exposed to ultrasound -On the precision of measurement by FBG sensor-

Toshiki MANABE¹, Takashi KOSAKA², Iwaki AKIYAMA¹

¹Ultrasonic Medical Science Research Center, Doshisha University, ²Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University

93-基-005

水面の波立ちを模擬する発泡性板材を用いた容器内音場検討の有用性

相川 武司¹, 工藤 信樹²¹北海道大学 大学院情報科学院, ²北海道大学 大学院情報科学研究院

【はじめに】

超音波の生体作用の基礎研究では、シャーレ内に培養した細胞に底面から超音波を照射する方法が多く用いられている。生体作用が生じる超音波強度では音響放射力により培養液の水面に波立ちが生じ、水面反射による複雑な定在波音場が生じる。以前我々は、特性音響インピーダンスが水に比べて低い発泡性板材を用いて水面の波立ちを模擬する容器を作成し、内部音場の可視化を行った。今回は超音波霧化装置により波立ちを実際に発生させて内部音場を可視化し、波立ちを模擬する容器内に生じる音場と比較検討した。

【実験方法】

超音波霧化装置の円板振動子(中心周波数2.4 MHz)により高さ約3.5 mm程度の水面の突出を発生させた。照明光が超音波の進行方向に垂直に入射するように、突出部は平行に配置した2枚のガラス板(間隔3 mm)の間に発生させた(Fig. 1(a))。また、この突出部と倍率2.4倍で相似な形状の水面模擬容器を発泡性板材(ポリオレフィン樹脂)を用いて作成し(Fig. 1(b))、円板平板振動子(中心周波数1 MHz)で発生させた超音波が生じる音場を可視化した。

【結果および検討】

水と空気の界面における超音波の反射によって突出部の内部に形成された音場(超音波1周期の最大輝度投影像)と、水と発泡性板材の界面での反射によって形成された音場の比較をFig. 2に示す。超音波波長の違いの影響は、模擬容器の寸法を2.4倍し、可視化像を縮小表示することで除外した。超音波霧化装置による音場像では、ガラス板と水の接触面における屈折の影響が突出部の形状に沿った暗部として描出された。しかし、両音場像と

も突出部の内部には超音波の集束点が一定の間隔で並んだ輝点群として観察され、輝点群は突出部の形状を平行移動した曲線上に存在した。両音場像に共通の特徴がみられたことは、発泡性板材の音響インピーダンス($2.7 \times 10^3 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)が空気($4.0 \times 10^2 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)より10³倍程度大きいものの、水との界面における反射率は70%程度であり、反射率がほぼ100%となる空気との界面における反射が形成する音場分布とは大きく異ならなかったものと考えられる。

【結語】

水と空気の界面での反射により生じた内部音場は、水と発泡性板材の界面での反射により生じた音場と良く一致した。この結果より、発泡性板材を用いて水面を模擬する検討法の有効性が確認された。本研究の一部は科学研究基盤A JP17H00864により行われた。

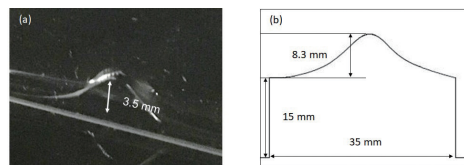


Fig. 1 (a)超音波霧化装置による水面の突出。(b)発泡性板材容器。

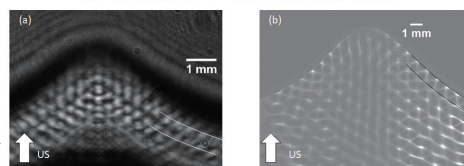


Fig. 2 (a)水と空気の界面における超音波の反射により水面の突出内部に形成された音場。(b)水と発泡性板材の界面での反射によって形成された音場。

Usefulness of investigation on ultrasound fields generated inside a small chamber using a foam board that mimics a shape of water surface disturbance

Takeshi AIKAWA¹, Nobuki KUDO²¹Graduate School and Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University, ²Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University

93-基-006

フォーカストシャドウグラフ法による液柱内音場の可視化

相川 武司¹, 工藤 信樹²¹北海道大学 大学院情報科学院, ²北海道大学 大学院情報科学研究院

【はじめに】

強力超音波の霧化は手軽な加湿法として一般に広く利用されるとともに、物質により霧化の程度が異なることを利用した霧化分離が工業の分野で利用されている。霧の発生機序については多くの報告があるが、霧の発生過程において液柱が発生し、その先端から液滴が生じる現象が知られている。我々は、波立ちのある条件下で小型の容器内に生じる音場像をフォーカストシャドウグラフ法により可視化し、波立ちの形状が音場に大きな影響を与えることを報告してきた。本研究では、霧化の際に生じる液柱内を模擬した容器内の音場を可視化し、液滴の発生機序について検討した結果を報告する。

【実験方法】

独立気泡を内包する発泡性板材(ポリオレフィン系樹脂製、コーヨーソフトボード、高洋産業)を用いて、Simonらの観察結果[1]を参考に液柱を模擬する容器を作製した(Fig. 1)。照明光を超音波の伝搬方向に垂直に入射させるために、光が入・出射する面には厚さ2 mmの亚克力板を使用した。直径40 mmの円形平板振動子を中心周波数1.0 MHz、繰り返し周波数1.0 kHz、波数100波のバースト波で駆動し、脱気水を満たした容器の内部に音圧0.47 MPa_{r-p}の音場を発生させた。

【結果および検討】

可視化した容器内の瞬時音場像と1/10周期毎に撮影した10枚の音場像から作成した最大輝度投影像をFig. 2(a), 2(b)に示す。瞬時音場像(Fig. 2(a))では、超音波の波長である1.5 mm毎に輝線が観察され、最大輝度投影像(Fig. 2(b))では、半波長である0.75 mmおきに輝線が観察された。この結果は、反射面の傾斜が垂直に近く反射波が生じにくい液柱でも定在波が発

生し得ることを示している。また、両音場像とも液柱の先端部では輝線の間隔が広がる傾向が見られ、単純な反射波が作る定在波音場とも異なることを示している。さらに、液柱の先端の輝線の輝度は、直下にある輝線の約1.5倍であった。これらの結果は、先端部により強い音圧が集中することを示しており、超音波が液柱の先端部に強い音響放射力を及ぼすことと、粒子速度の腹の位置に引張力が生じることが液滴の発生機序と推測される。

【結語】

超音波霧化の際に生じる液柱を模擬した容器を作製し、その内部の音場像をフォーカストシャドウグラフ法により可視化した。超音波霧化の際に生じる液柱や液滴の発生機序を考察する際の新たな知見を提供することができた。

【参考文献】

[1] J. C. Simon, Phys. Med. Biol. 57, 8061 (2012).

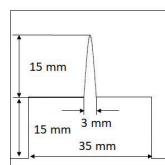


Fig. 1 液柱模擬容器

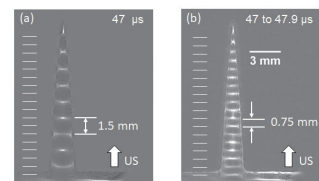


Fig. 2 液柱模擬容器内の(a)瞬時音場像と、(b)定在波音場像

Visualization of an ultrasound field generated inside a liquid column using focused shadowgraphy

Takeshi AIKAWA¹, Nobuki KUDO²¹Graduate School and Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University, ²Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University

93-基-007

超音波エコー振幅分布モデルへの整合誤差の評価による散乱体密度推定精度の向上

尾本 吉隆¹, 長岡 亮³, 竹内 道雄², 坂井 俊彦², Andocs Gabor^{3,4}, 高雄 啓三⁶, 長谷川 英之⁵¹ 富山大学 大学院理工学教育部, ² 立山科学工業, ³ 立山マシン, ⁴ 富山大学大学院医学薬学研究部, ⁵ 富山大学 学術研究部工学系,⁶ 富山大学 学術研究部医学系

【目的】

がん治療法の1つに温熱療法がある。がん組織を加熱して、がん細胞を死滅させる方法である。がん細胞のみの温度を上昇させるため、非侵襲的であり副作用が少ないのが特徴である。今日までに使用されている方法は、MRIによって体内温度を測定し、それを参照しながらターゲットに熱を加える方法である。しかし、MRIは大きかりであり高価なうえ、リアルタイムに画像取得ができないため、温熱療法の際に使用する温度計測には最適ではない。そこで、測定が簡便でありリアルタイムに体内温度を計測できる方法として超音波に注目した。本研究グループでは、生体組織の温度変化に伴う超音波散乱波の統計的性質の変化から温度変化を検出する手法を検討している。本報告では、仲上分布と計測データの整合誤差を評価することにより散乱体密度の推定精度を向上させ、内部温度計測を向上させる手法を提案する。

【原理】

関心領域内の超音波信号振幅（包絡線）のヒストグラムに仲上分布をフィッティングすることにより仲上形状パラメータを決定する。この仲上形状パラメータが温度変化に依存する[1]。フィッティングした際の整合誤差を平均二乗誤差により評価し、重み付けをすることにより誤差の大きいデータの寄与率を低減させる。実験データは単位面積当たりの散乱体数が1.5、2、3、4、6、10、20、50である8種類の超音波散乱波の包絡線データを用意し、重み付け無しと有りの場合の仲上形状パラメータの平均値と標準偏差を比較した。

【実験結果】

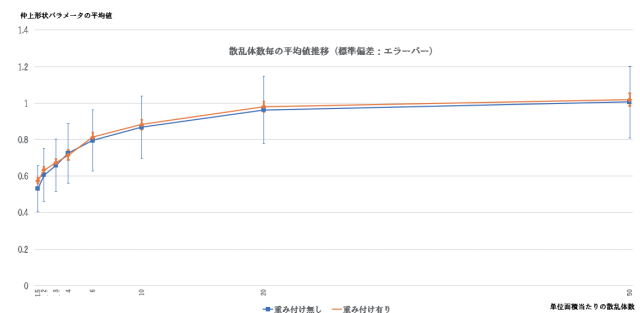
仲上形状パラメータの散乱体毎の平均値は重み付け有りと無しに大きな差は見られなかった。しかし、標準偏差は重み付けを行うことにより大幅に低減することができた。

【結論】

本報告では、散乱体密度の推定精度を向上させるために、平均二乗誤差を用いて仲上形状パラメータ推定の標準偏差を抑える方法を提案した。シミュレーション実験により、標準偏差を大幅に低減できることを示した。

【参考文献】

[1] M. Takeuchi, Y. Matsui, T. Doi, Y. Takano, G. Andocs, and H. Hasegawa, Jpn. J. Appl. Phys., 57, 2018



Improvement of accuracy in scatterer density estimation by evaluation of error in fitting of ultrasonic echo amplitude distribution model to measured data

Yoshitaka OMOTO¹, Ryo NAGAOKA⁴, Michio TAKEUCHI², Toshihiko SAKAI², Andocs GABOR³, Keizo TAKAO⁵, Hideyuki HASEGAWA⁴¹Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, ²Tateyama Scientific Industry Corporation, ³Tateyama Machine Corporation, ⁴Graduate School of Medicine and Pharmaceutical Sciences, University of Toyama, ⁵Faculty of Engineering, Academic Assembly, University of Toyama, ⁶Faculty of Medicine, Academic Assembly, University of Toyama

93-基-008

フーリエドメイン音速補正技術の開発

広島 美咲

日立製作所 研究開発グループ

【背景・目的】

一般的に医用超音波撮像では、生体の音速を1540 m/sなどの一定音速と仮定したビームフォーミングが行われる。しかし実際の生体音速は、部位、患者ごとに異なるため、しばしば仮定音速との不一致による分解能の低下が問題となる。音速補正技術は、音速不均一に起因する位相収差を補正するもので、部位・患者依存を低減する上で重要な技術である。これまでに様々な音速補正手法が提案されている。一方で、それらの多くは遅延加算 (DAS) などのビームフォーミングを複数の音速で繰り返し、最適音速を推定するなど、データ量の大きなチャンネルデータの保持と多くの演算コストを必要とする。本研究では、ビームフォーミング後のRFデータを用いた低実装コストの音速補正を可能とする、フーリエドメイン方式を提案し、提案手法による音速補正の実現性を明らかにする。

【方法】

フーリエドメイン法は、分散関係式に基づいて構築した、波数空間の音速変更アルゴリズムを特徴とする。ビームフォーミング後のRFデータを2次元フーリエ変換し、初期音速の波数スペクトルから新たな音速の波数スペクトルへ変換するリマッピング処理を行う。これによりチャンネルデータに問わずに音速変更した画像を生成することが可能となる。また、送信ビームごと、受信ビームごとにDASを繰り返す従来方式に比べ、大幅な演算コスト低減が期待できる。本報告では、平面波イメージングに提案手法を適用し、遅延加算方式と比較した音速変更後の画像評価、および音速推定性能の評価を行う。これにより提案手法による音速補正の実現性を評価する。

【結果・考察】

はじめに本手法による音速変更画像の評価の結果をFig.1に示す。(a)には間違った音速1450 m/sのDAS画像を、(b)には正しい音速1540 m/sのDAS画像を、(c)には(a)のRFデータを元に、フーリエドメイン法を用いて音速1540 m/sに変更した画像を示す。(b)(c)は方位分解能、距離分解能ともに一致することを確認した。次に音速1540 m/sの組織模擬ファントムを用い、音速を変化させたときの振幅パワーの総和から、最適音速の推定を行った結果をFig.2に示す。フーリエドメイン法を用いた音速変更画像から、従来のDAS手法と一致する推定値が得られることを確認した。これらの結果から、低実装コストのフーリエドメイン法による、リアルタイム音速補正の実現が期待される。

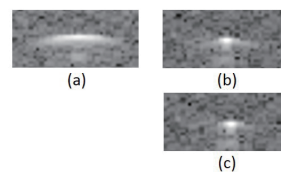


Fig.1 Results of SoS (speed-of-sound) deformation.
(a) Image of DAS by 1450 m/s (wrong)
(b) Image of DAS by 1540 m/s (correct)
(c) Image of Fourier domain deformation from 1450 to 1540 m/s

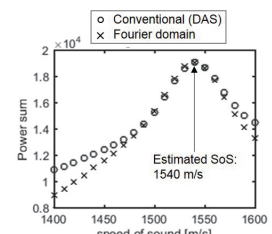


Fig.2 SoS estimation performed on tissue mimicking gel whose SoS is 1540 m/s.

Speed of sound correction in Fourier domain

Misaki HIROSHIMA

Research & Development Group, Hitachi, Ltd.

93-基-009

曲げ感知フレキシブル基板による柔軟性超音波探触子の曲率計測

田中 雄介, 平野 大輔, 岩田 典朗, 小倉 幸夫
ジャパンプローブ 研究開発センター

【目的】

曲面から超音波計測を行う柔軟性超音波リニアアレイ探触子は画像化時に任意の曲率が反映されない課題がある。曲率を計測するセンサを用いて柔軟性リニアアレイ探触子の曲率を測定した。

【対象】

曲率の異なるアクリル丸棒試験体を用いてセンサを曲げ、曲率ごとの出力を評価した。

【方法】

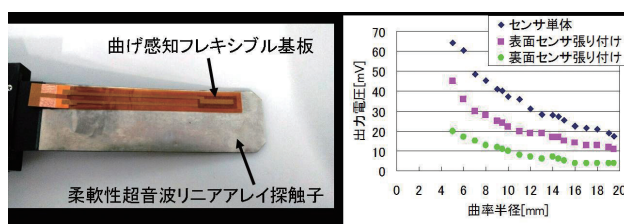
曲率計測センサ(日本メクトロン、曲げ感知フレキシブル基板)をアクリル丸棒試験体に沿わせて曲げ、出力電圧を測定した。センサは曲げると直流電圧が発生するので電圧を電圧計で計測した。センサからの出力はOPアンプで増幅した。センサ単体、柔軟性超音波探触子の表面と裏面にセンサを貼りつけた状態でそれぞれの出力電圧を測定した。アクリル丸棒は曲率半径が5[mm]から19.5[mm]までのものを用いた。

【結果】

センサを曲げた時の曲率半径が大きくなると出力電圧が小さくなり、センサ単体では相関係数が-0.96、柔軟性超音波探触子の表面にセンサを貼りつけた時は相関係数が-0.93、裏面にセンサを貼りつけた時は相関係数が-0.94とセンサの曲率に応じた出力電圧が発生した。

【結論】

曲率計測センサを柔軟性超音波リニアアレイ探触子に搭載することで任意の曲率を計測することができた。今後柔軟性超音波リニアアレイ探触子で画像化する際に曲率計測を行い、画像上で補正できることが期待される。



Curvature measurement of flexible ultrasonic probe by sensing sheet for bending

Yuusuke TANAKA, Daisuke HIRANO, Yoshiaki IWATA, Yukio OGURA
Research and Development Centre, Japan Probe Co., Ltd.

93-基-010

双方向超音波加振による音響放射力の音場ならびに変位分布の計測

荒川 元孝^{1,2}, 川村 響², 福澤 徳美³, 森 翔平², 金井 浩^{1,2}

¹東北大学 医工学研究科, ²東北大学 工学研究科, ³東北大学 工学部

【目的】

我々は、生体組織の粘弾性特性計測を目指し、双方向超音波加振により音響放射力を発生させ、それにより生じる変位を計測した[1]。2つの凹面超音波トランスデューサを用いるため微小領域における計測が可能と考えられるが、その領域の大きさは明らかではない。本報では、本手法により発生する加振超音波の音場、ならびにウレタンゴムファントム表面に発生する変位分布を計測した。

【方法】

動作中心周波数が1 MHz、有効開口幅50 mm、焦点距離60 mmの2つの凹面超音波トランスデューサを対向させ、ファントム表面への照射角度がファントム表面に対して35°、トランスデューサの焦点をファントム表面の中心に一致させるように設置した。1 MHzと1 MHz + Δfの正弦波を足し合わせ、アンプを通した信号を2つの超音波トランスデューサに印加した。Δfを20 Hzとした。ファントムの代わりにハイドロフォンを用いることにより音場を計測した。また、ファントム表面の変位をレーザ変位計により計測した。

【結果・考察】

x軸方向を加振方向とし、1 mm 間隔で計測した音場を図(a)に示す。-10 dBの等高線がx軸方向に比べてy軸方向に約2倍広がった。また、y軸方向に±1 mmの範囲においては、加振焦点からx軸方向に離れるに従い音圧が大きく減少した。これより、音場は加振焦点付近で局所的に強くy軸方向に指向性を持った。

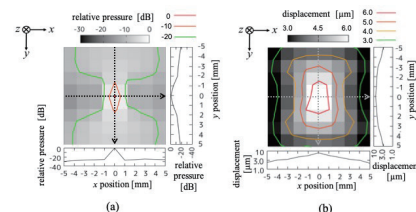
また、ファントムに対して1 mm 間隔で計測した変位分布を図(b)に示す。すべての等高線がx軸方向に比べてy軸方向に約2倍広がった。従って、双方向加振では変位分布が音場の指向性の影響を受けた。しかし、y軸方向に±1 mmの範囲においては、音圧の減少と比較して、変位の減少は緩やかになっていたことから音場の指向性による影響は小さくなった。これは、音響放射力により直接生成される変位に比べて焦点付近の大きな音圧によって間接的に生成された弾性波の方が計測への影響が大きくなったためと考える。

【結論】

双方向超音波加振による音響放射力により発生する音場ならびに変位分布が局所的かつ指向性を有することを確認した。今後、本手法による生体組織の局所的な粘弾性計測法の検討を進める予定である。

【参考文献】

[1] R. Watanabe, M. Arakawa, and H. Kanai, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 57, 07LF09 (2018).



Measurements of acoustic field and displacement distribution caused by acoustic radiation force generated by dual ultrasound excitation

Mototaka ARAKAWA^{1,2}, Hibiki KAWAMURA², Narumi FUKUZAWA³, Shohei MORI², Hiroshi KANAI^{1,2}

¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Engineering, Tohoku University, ³Faculty of Engineering, Tohoku University

93-基-011

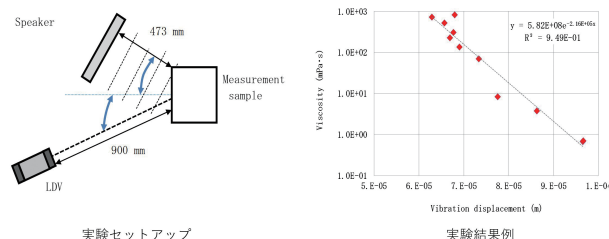
音波照射加振を用いた軟性容器内容物の粘度計測

杉本 恒美, 中川 裕, 川井 重弥
桐蔭横浜大学 大学院工学研究科

我が国では、高齢化社会の進展とともに、要介護認定者の増加も見込まれているために介護食品の潜在的な必要性が高まってきている。ストローや容器の押しつぶしで容易に給食可能な軟性容器を用いることができれば、流動食（高栄養食品）や高機能飲料の処方が簡易迅速に可能となり、医療コストおよび介護負担の軽減につながる事が期待される。しかしながら、実際にこのことを実現するためには、自宅の近くのコンビニエンスストア等における流動食の小売販売に加えて賞味期限の長時間保持可能な常温流通供給が必要となる。この流通の際に、品質管理面で内容物の腐敗検査が可能かどうか極めて重要である。一般的に、内容物の腐敗には大きく分別して2種類の形態が存在する。1つ目は内容物からガスが発生する場合であり、2つ目はガスが発生せずに内容物の粘度のみ変化する場合である。ガスが発生する場合は形状変化を伴うためにカメラ画像等でも検査可能であるが、粘度のみ変化した場合の非破壊的な検査方法は存在していなかった。

一方で、音波照射加振を用いれば、非接触非破壊で軟性容器であっても容易に振動させることが可能である。そこで、音波照射加振とレーザドップラ振動計を組み合わせた非接触音響探査法を応用して、軟性容器の振動エネルギーを計測することによって、軟性容器内容物の粘度計測が可能かどうかについて検討を行った。市販のポリスチレン製容器を用いた実験結果から、自由振動領域の振動速度

の積算値（変位量）は内容物の粘度に反比例しており、この結果は静的粘弾性モデルであるフォークトモデルによる予測と一致することが明らかになった。また、粘度が脱気蒸留水に近い低粘度10 mPa・s以下から高粘度1000 mPa・sという極めて広い範囲まで精度良く測定可能であることも明らかにした。



Viscosity measurement of soft container contents using acoustic irradiation induced vibration

Tsuneyoshi SUGIMOTO, Yutaka NAKAGAWA, Shigeya KAWAI
Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama

93-基-012

超音波顕微鏡を用いた細胞内音響インピーダンスマッピング

Edo Bagus Prastika¹, 新谷 太地¹, 川島 朋裕¹, 村上 義信¹, 吉田 祥子², 小林 和人³, 穂積 直裕¹

¹豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系, ²豊橋技術科学大学 応用化学・生命工学系, ³本多電子 研究所

【目的】

再生医療は臓器再生の段階に入り、細胞・組織の分化状態や健全性を生きたまま観察する技術が求められている。また創薬の現場では、動物実験の削減などのため、薬物効果を培養細胞で評価する必要性に迫られている。光学的方法による細胞の観察は、染色操作を要する侵襲的観察となることが多く、生きた状態で内部構造を非侵襲的に観察するには適さない。そこで染色なしで弾性に関係する音響物性が得られる超音波顕微鏡の特徴を生かし、細胞内構造体の弾性パラメータの分布を動的・非侵襲的・三次元的にサブミクロンスケールでマッピングできる計測・解析する研究を行っている。

【実験方法】

厚さ70μm程度のポリスチレンフィルム基板上にグリア細胞を培養し、背面から振動子を平面走査しながら100MHz～500 MHz程度に広がる帯域を有する集束超音波を出射し、同一の振動子で受信した反射波形を時間領域でデジタル計測した。

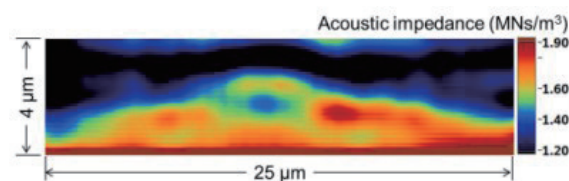
【結果】

基板と培養液の界面からの反射を参照波形として、細胞からの反射波形を規格化(逆畳込)し、入射信号に対する細胞のインパルス応答を計算した。この応答から、細胞内部各点の反射係数を求めた。これをもとに、基板の音響インピーダンスを既知として、ビーム方向に向かって逐次音響インピーダンスに変換した。この計算において

は、原信号の周波数帯域が限定されているため、周波数領域への変換を介した通常の逆畳込ではスペクトル強度が小さい低周波領域でノイズの影響を強く受け、所謂「ゼロ除算」が発生して、計算結果が不安定となる。時間領域で直接行う逆畳込計算ではこの問題が発生しにくい。計算量が増大するため、ダウンサンプリングを行ってから時間領域での逆畳込計算を行い、結果の低周波成分と周波数領域での計算結果と混合することにより、必要な全スペクトル成分における反射係数を精度よく再現した。これらの結果、細胞の任意の断面における音響インピーダンスマッピングが可能となった(図)。

【結論】

培養細胞内部の音響インピーダンス分布を三次元的に観察する方法を提案した。厚さ方向には0.2μm程度に至る高分解能が得られている。動的・非侵襲的観察方法として有効と考えている。



Intracellular acoustic impedance mapping using acoustic microscopy

Edo BAGUS PRASTIKA¹, Daichi SHINTANI¹, Tomohiro KAWASHIMA¹, Yoshinobu MURAKAMI¹, Sachiko YOSHIDA², Kazuto KOBAYASHI³, Naohiro HOZUMI¹

¹Electrical & Electronic Information Engineering, Toyohashi University of Technology, ²Applied Chemistry & Life Science, Toyohashi University of Technology,

³R & D Division, Honda Electronics Co., Ltd.

93-基-013

超音波顕微鏡による音速・音響インピーダンス計測結果の統計学的処置の検討

小林 和人^{1,2}, 栗原 唯生^{2,3}, 西條 芳文², 穂積 直裕⁴¹本多電子 研究部, ²東北大学 医工学研究科, ³埼玉協同病院 外科, ⁴豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学

【はじめに】

超音波顕微鏡による、生体組織の音速や音響インピーダンスの分布を測定することにより組織の状況を確認することが可能である。しかし、臨床現場では、測定データを解析するより先に、正常部位と病変部を見分けることが重要となる。筆者らは2016年に病変部位は正常部位より、組織の変化が大きいことに着目して超音波顕微鏡で取得した生体組織のデータを統計学的に処理し、変動係数（標準偏差÷平均値）マッピングすることを提案した。この提案は臨床現場では、部位の特徴を表す有効な手法であるとの評価を得たので、変動係数を求めるときの設定パラメータの差による結果の違いを検討し、最適値を検討した。

【検討内容】

変動係数マッピングを実施する際に、パラメータの設定での結果に差が出る。そこで、今回振動子の周波数や焦点のスポット径やデータ取得間隔などが結果に反映するパラメータと考え、病変部を見極めるための統計学的処理に関する最適なエリア設定値を検討した。

【結果】

統計学的処理（変動係数）で、病変部位と正常部位の組織構造の変化を感度よく表示できるエリア設定値はデータ取得間隔と焦点径のパラメータに依存していた。また、処理エリアを最適値に調整して観察することにより、より明確に病変部を認識できることが確認された。

れた。

Statistical examination of sound velocity and acoustic impedance measured by an acoustic microscope

Kazuto KOBAYASHI^{1,2}, Tadao KURIBARA^{2,3}, Yoshihumi SAJIYO², Naohiro HOZUMI⁴¹R & D, Honda Electronics Co. Ltd., ²Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ³Surgery, Saitama Cooperative Hospital, ⁴Electrical & Electronic Information Engineering, Toyohashi University of Technology

93-基-014

高周波超音波顕微鏡を用いた細胞の経時計測

川口 航汰¹, 長岡 亮³, 小林 和人², 西條 芳文¹¹東北大学大学院 医工学研究科, ²本多電子 研究開発部, ³富山大学大学院 理工学研究部

【目的】

細胞の力学的応答は、細胞の内部構造や状態と密接に関係している。力学的応答の異常はさまざまな疾患の原因となる。そのため、細胞の応答を力学的な視点で解析することで、疾患のメカニズムの解明や疾患の治療方法の確立が期待される。力学的特性は、音速や音響インピーダンスといった音響特性で表すことができる。本研究では、生きた細胞の評価が可能な超音波顕微鏡システムを開発し、温度変化や薬剤投与にともなう弾性的特性の計測・評価することを目的とする。

【方法】

C2C12筋芽細胞の温度低下にともなう細胞死による力学的特性の変化およびアクチン骨格破壊にともなう力学的特性の変化を先行研究で開発した光学・超音波ハイブリッド顕微鏡を用いて測定した。超音波顕微鏡を用いて音響特性を算出する方法には、時間領域における各境界面の反射時間を用いる時間分解法や周波数領域における各反射の干渉を利用するパルススペクトル法があるが、本研究では両手法を組み合わせる算出した。弾性特性の指標となる音響インピーダンスはパルススペクトル法のピーク値を用いて算出した。

【結果】

温度低下にともなう細胞死による力学的特性の変化の計測では、核周囲で厚さが増加し音響インピーダンスが低下した。これは細胞死

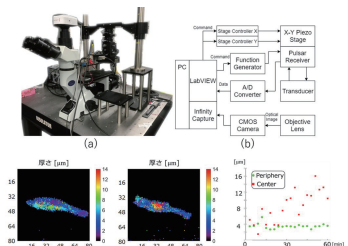
による力学的特性の変化だと考えられた。アクチン骨格破壊にともなう力学的特性の変化の計測では、全体的に厚さが増加し音響インピーダンスが低下した。また、薬剤滴下後に音響インピーダンスの激しい変化がみられた。これはアクチン骨格破壊による力学的特性の変化だと考えられた。

【結論】

経時変化観測が可能な超音波顕微鏡システムを開発し、細胞の力学的特性を経時的に観測することが可能となった。今後、この超音波顕微鏡システムを用いた疾患の解明に応用が期待される。

【参考文献】

- 1) Ryo Hirano, et al., 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp. 4828-4831 (2018).
- 2) N. Hozumi, R. Yamashita, C.-K. Lee, M. Nagao, K. Kobayashi, Y. Saijo, M. Tanaka, N. Tanaka, S. Ohtsuki, Ultrasonics 84 (2004) 172-179
- 3) R. Nagaoka, et al., Ultrasonics, 99 (2019)



Time-lapse measurement of cells using a high-frequency acoustic microscope

Kota KAWAGUCHI¹, Ryo NAGAOKA³, Kazuto KOBAYASHI², Yoshifumi SAJO¹¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²Division of Research and Development, Honda Electronics, ³Graduate School of Engineering, Toyama University

93-基-015

細胞の鮮明なイメージングを可能にする高分解能光音響顕微鏡の開発

新橋 諒¹, 長岡 亮², 小林 和人³, 西條 芳文¹¹東北大学 大学院医工学研究科, ²富山大学 大学院理工学研究部, ³本多電子 研究開発部

【背景と目的】

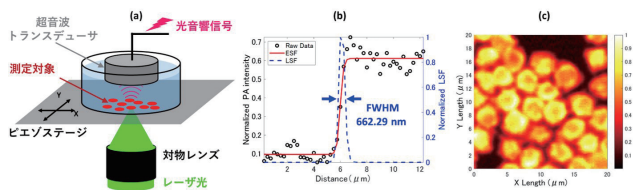
細胞は人間の体を構成する最小の単位であり, その異常は様々な疾患の原因となるため, 細胞を可視化する顕微鏡は医学の発展に必要不可欠である。しかし, 従来まで細胞観察で用いられてきた蛍光顕微鏡や超音波顕微鏡には一長一短の性質があり, 生きた細胞構造の鮮明な可視化には不十分であった。そこで本研究では, 光と超音波の双方の長所を併せ持つ光音響イメージングを応用した顕微鏡を開発することで細胞の鮮明な可視化を試みた。

【方法】

図(a)に開発した光音響顕微鏡の概略図を示す。測定対象を乗せたディッシュ底面から集束レーザー (波長: 532 nm, 繰り返し周波数: 10 kHz, パルス幅: 5 ns) を照射することで対象物から光音響波を発生させる。発生した光音響波を超音波トランスデューサ (中心周波数: 50 MHz) で受信し, ピエゾステージを2Dスキャンすることで測定範囲全体から信号を取得する。開発した顕微鏡の性能評価として, USAF1951テストターゲットのエッジを使用した分解能計測を行った。得られたエッジ部の信号からLSF (Line Spread Function) を求め, その半値幅 (FWHM) から方位分解能を算出した。次に細胞計測としてウシ赤血球 (直径3~4μm) の血液塗抹標本を作製し, 25μm×25μm (ステップ幅: 0.25μm) の範囲で計測することでC-mode画像を生成した。

【結果と考察・結論】

図(b)にエッジ部のLSFとそのFWHMを示す。顕微鏡の方位分解能は662.29 nmと算出され, 細胞サイズのイメージングが十分可能であることを示した。次に図(c)にウシ赤血球のC-mode画像を示す。赤血球は一つ一つが鮮明に可視化されただけでなく, 赤血球特有のくぼみ形状も再現されることが確認できた。赤血球のくぼみ部と周辺部におけるヘモグロビン量の差が発生する光音響波の大きさに影響を及ぼしたためだと考えられる。以上より, 開発した光音響顕微鏡によって細胞の鮮明な可視化が可能であることが示唆された。



Development of high-resolution photoacoustic microscopy that enables clear imaging of cells

Ryo SHINTATE¹, Ryo NAGAOKA², Kazuto KOBAYASHI³, Yoshifumi SAIJO¹¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, ³Division of Research and Development, Honda Electronics Co., Ltd.

93-基P-001

電子工作を使った患者情報入力デバイスの試作について

中野 恵一^{1,2}¹なかのクリニック 外科, ²福島県立医科大学 甲状腺内分泌学講座

【目的】

クリニックでの超音波診療を行なうにあたり, コストパフォーマンスを考えながら, 診療の効率化を計ることは重要な要素であり, 診療の合理化・簡略化の工夫が日々必要である。超音波画像の管理のために, DICOMサーバーを構成が必須であり, 加えて画像診断装置への患者情報入力のためのRISサーバーやMWMサーバーを構成することは, 診療の効率化や医療安全のためにも重要ではあるが, かかる費用も増大する。

近年, 簡単に行える電子工作環境が整ってきており, それを自施設での診療に役立てている報告も多くなっている。

当院では, 簡単に行える電子工作を使用して, 電子カルテシステムと連携した患者情報を入力するデバイスを試作し, 運用しているので報告する。

【方法】

電子カルテ (レセコン・電子カルテ一体型Dynamics, 株式会社ダイナミクス) 内で患者情報を抜き出し, 院内LAN経由で, 電子デバイスに情報を送信するプログラムをACCESSVBAにて作成した。

電子デバイスは, ESP-WROOM-02のwifi接続機能を利用して院内LANから情報を受信し, ArduinoProMicroのUSB-HIDクラス機能を利用してキーボード入力をエミュレートし, 患者IDと患者氏名 (ローマ字のみ) の入力を行なう方式で試作した。

【結果】

超音波機器への患者ID・患者氏名入力を手動で行なう場合には検査開始まで30秒ほどかかるが, 試作したデバイスを用いることにより15秒程度まで短縮できるため, 15秒程度ほどの短縮が計れた。部品代自体は, 5000円に満たないものであり, コストパフォーマンスにも優れる方法である。

Prototype of patient information input device using electronic work

Keiichi NAKANO^{1,2}¹Surgery, Nakano Clinic, ²Department of Thyroid Endocrinology, Fukushima Medical University

93-基P-002

超音波信号における ICA を用いた加算処理効果 (第2報)

炭 親良, 榮 僚介, 李 碩
上智大学 理工学部情報理工学科

【目的・対象】

スペックルを低減するために、複数の異なる偏向波動を生成したり周波数分割により複数の疑似波動を生成してインコヒーレント加算を行っている。また、我々はそれらの加算処理をICA(Independent Component Analysis)によって行っている[1]。二乗検波や包絡線検波の各々の信号において2つの信号を対象とし、単なる加算よりも高検出能であることがシミュレーションにより確認された。本稿では信号を3つ以上にし、信号のSN比が異なる場合においてICAの有効性を確認した。ここでは二乗検波を行った。

【方法・結果】

関心領域を10 mm 辺の正方形とし、中央に直径5mmの反射率10を持つ円形領域の境界が有る。これに白色データ(ばらつき, 1)を加えたものに2次元ガウス型点拡がり関数を畳み込み積分して観測エコーデータ(Echo 1)を模擬した。周波数を3 MHzとし、パルス長とビーム幅を0.4 mmとした。別の白色データを用いて求められた信号99個をノイズとしてEcho 1に加法的に加え、別の観測信号99個を生成した(Echo 2~100)。ここでは、Echo 2~100のSN比が100(高SN比)と0.01(低SN比)のときにおいて生成される和成分において、境界におけるエコー強度の最大値を境界以外の領域の信号のばらつきで除して評価した結果を示す(Peak/SD)。データ数を増やすと、加算平均は高SN比では略一定(約76)だったが、低SN比では高く

なった(113から840に)。ICAの結果は高SN比では加算平均よりも高い値を示し、データ数を2つから増やすと値は高くなったが(100から244に)、データ数が70個を超えると若干低下した。一方、低SN比でもデータ数の増加と共に値は高くなったが(114から244に)、8個当たりで加算平均の方が上まった(219 vs 222)。

【考察・結論】

ICAはエコーが高SN比のときはデータ数に寄らずに有効であった。但し、データ数が多いと高SN比の大規模なシステムとなって不安定となり、特異値分解や正則化による安定化が必要と考えられた。低SN比のときはデータ数が少ないときに有効だった。エコーデータは必要に応じて変位観測やマッチドフィルタリングを行ってスペキュラー信号(又はターゲットのスペックル信号)の位置合わせを行った上で処理する必要がある。また、収集又は生成できるデータ数に限りがあることが多く、ICAは有用と考えられた。我々は、スペックルフィルタリングや超解像やセグメンテーションにCN型の深層学習を応用することも提案しており(例えば、CN型原型やGANやオートエンコーダ教師無し学習等)、様々な曲率の弧と様々な方向の線分を中心とした学習を基礎として有用な方法を探索している。これらを癌病変の検出や結節の可視化による癌病変の進行度の鑑別等に役立てたい。

[1] 超音波医, vol. 46, Suppl, S559, 92-基-020. 2019.

Effect of addition processing for ultrasonic signals achieved by using ICA (2nd report)

Chikayoshi SUMI, Ryosuke SAKAE, Seki LI
Info & Commun Sci, Sophia University

93-基P-003

色空間変換によるマルチスペクトル位相差画像の輪郭強調

齋藤 立壽¹, 吉澤 昌純¹, 篠田 航平², 田川 憲男³, 入江 喬介⁴

¹東京都立産業技術高等専門学校 創造工学専攻, ²東京大学大学院 新領域創成科学研究科, ³首都大学東京大学院 システムデザイン研究科, ⁴マイクロソニック

【目的】

我々は穿刺型超音波顕微鏡の開発を行っている⁽¹⁾。これまでに、超音波干渉法によるマルチスペクトル位相差画像法が考案され、複数の周波数で計測した画像を一枚に合成することで、生体試料の音響特性を反映させた画像を提示することができた⁽²⁻³⁾。今回、マルチスペクトル位相差画像法にて取得された超音波画像の色空間に着目し、RGB色空間からHSV色空間への変換を行い、その特徴や有用性についての検討を行う。

【方法】

実際の臨床での計測に近い生体試料として鶏骨を計測対象に用いた。計測に使用する周波数は、40.0 MHz, 44.9 MHz, 50.0 MHzとした。取得した3枚のグレースケール画像をそれぞれ赤、青、緑に対応させ一枚に合成し、マルチスペクトル位相差画像を提示した。合成画像をRGB色空間から変換式に基づいてHSV色空間に変換した。どの成分が輪郭強調に影響を与えるのかを確認するため、H, S, V成分をそれぞれのチャンネルごとに分解してグレースケール画像にて表示した。画像処理にはpythonを使用した。

【結果と考察】

3枚の計測画像、それらから作製したRGB色空間の合成画像、HSV色空間への変換後画像、HSVチャンネル分解画像、光学画像を図に示す。HSV色空間への変換後画像では、RGB色空間の合成画像に比べて輪郭が強調して表示されている。HSVチャンネル分解後の各グレースケール画像で、最も輪郭部が強調されているのは色相である。これは色相を算出する際に、RGB値の中でRが最大の場合に対し、G, Bが最大の場合にはそれぞれ、

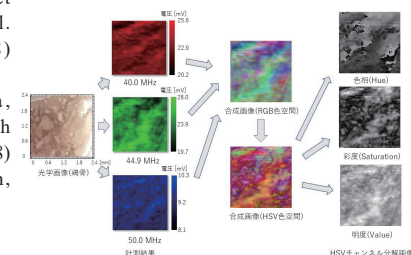
120, 240バイアスを加えた変換式となるためである。彩度の成分はRGB値の最大値と最小値の差分を最大値で割って算出するので、最大値と最小値の差が大きければ、彩度は高くなる。よって、彩度は吸収・散乱などの周波数依存性を表示している。明度の成分はRGB値の最大値が明度の値になるので反射信号が小さい場合、明度は低く表示される。よって、明度は反射強度を表示している。

【結論】

色空間をRGB色空間からHSV色空間へ変換することにより、従来のRGB合成画像上で表示されていた周波数依存性、反射強度の情報を保持しつつ材質の境界描出に有用である可能性を確認した。

【参考文献】

1. M. Yoshizawa, et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) 4176.
2. S. Ishikura, et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 57 (2018) 07LF20.
3. K. Shinoda, et al.: 30th EUROSON (2018) ePoster. Poznan, Poland.



Contour Emphasis for Multispectral Phase-contrast Images by Converting Color Space

Ryuji SAITO¹, Masasumi YOSHIZAWA¹, Kohei SHINODA², Norio TAGAWA³, Takasuke IRIE⁴

¹Innovative Engineering, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, ²Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo,

³Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, ⁴Microsonic Co., Ltd.

93-基P-004

仮想音源を用いた際の補間近似処理を要さないフーリエビームフォーミング (第2報)

炭 親良

上智大学 理工学部情報理工学科

【目的・対象】

我々は、精密イメージングを実現するビームフォーミングを追及し、受信信号の位相回転処理に基づく整相加算処理や位相収差補正(別稿)の他、新しいフーリエビームフォーミングも行っている(例えば、[1])。通常は波数空間における波数マッピングにおいて補間近似を要するが、複素指数関数の乗算によって近似処理を全くに行うことなく、任意形状の物理開口を用い、開口面合成や、1つ以上の任意の送信波動に対して一括して受信ビームフォーミングできる。偏向も可能である。昨年度は、ヤコビ演算を応用し、送信座標系とは異なる任意の座標系において受信処理を終えることを寒天ファントムを対象として実施した。その際には物理開口とは別に仮想音源や仮想受信センサーを用いる場合も報告し、特に1次元と2次元のリニアアレイ型探触子を用いてその後方に位置する仮想点音源波から円形波と球面波の各々を送波して高速フレームレートを実現することを模擬した。円形開口(コンベ型)や球面開口のアレイを用いてデカルト座標系においてエコー信号を生成することに該当する。本稿では同ケースにおいて、新しい方法として波数マッピングにおいて位相を調整し、リニアアレイ型探触子を用いた場合と同等のエコー信号を生成した。

【方法・結果】

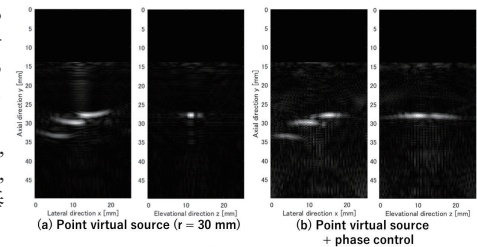
上田日本無線製の2次元リニアアレイ型探触子を用いた(公称周波数1.5MHz)。観測対象は水槽内に張った3本のワイヤーであり、深さ

約30mmの所に若干に深さを変えて6mmの間隔で配置した。アレイ中央の後方30mmに点音源を1つ設置し、球面波を送信した状態を開口面合成用に送受信した信号に位相回転を施して生成し、ヤコビ演算を用いた受信ビームフォーミングを行った。その際の波数マッピングにおいて位相を逆回転させ、リニアアレイ型探触子をそのままに用いた場合に該当するエコー信号を生成した。図1に、(a)仮想音源と(b)本法により生成した像を示す。

【考察・結論】

球面開口型アレイを用いてリニアアレイ型イメージングを実施することを模擬した。ビームフォーミングの前処理として位相回転を行い、同像を生成することも可能である。また、これらの処理は、波数マッピングにおいて近似処理する場合や整相加算を行う場合でも実施できる。尚、時間があれば、別の仮想音源として、受信ビームフォーミング処理後にさらにビームフォーミング処理する場合についても報告する。

[1] 超音波医学, vol. 46, Suppl, S557, 92-基-016, 2019.



Fourier beamforming with no approximate processing for virtual source (2nd report)

Chikayoshi SUMI

Info & Commun Sci, Sophia University

93-基P-005

生体組織近似材料に用いる膨潤媒を含んだポリウレタンゲルの音響物性

鈴木 勝貴¹, 楠本 佳威¹, 佐藤 一石¹, 近藤 敏郎¹, 濱地 晃平², 久保 拓也³, 谷口 雅彦²¹徳島文理大学 理工学部, ²八十島プロシード 本部テクノロジーセンター, ³八十島プロシード NextMED 開発室

【目的】

現在、超音波診断装置校正用ファントムは、生体組織近似材料として寒天を基材としたものが多く存在するが、ゲルが腐敗する、柔軟性が低い、機械的強度が低い等の問題があり、さらに含水率の変化により音響特性(音速、密度、減衰特性、後方散乱係数)の長期安定性に問題があり、IEC規格を満たすものではない。我々はセグメント化ポリウレタンゲル(SPUG)を基材とし、SPUG中に膨潤媒を含有させることによって音速と密度を任意の値に設定できる生体組織近似材料を検討中である。本研究では、SPUGに含有させる膨潤媒がポリウレタンゲル中の音響物性に与える影響を調べた。

【方法】

膨潤媒は、ジエチレングリコールジメチルエーテル(分子量134.18)、トリエチレングリコールジメチルエーテル(分子量178.23)、テトラエチレングリコールジメチルエーテル(分子量222.28)、ポリエチレングリコールジメチルエーテル240(M=ca.240)、ポリエチレングリコールジメチルエーテル250(M=250)、ポリエチレングリコールジメチルエーテル500(M=500)を用いた。試料中の音速は、シング・ア라운드法を用いて測定した。

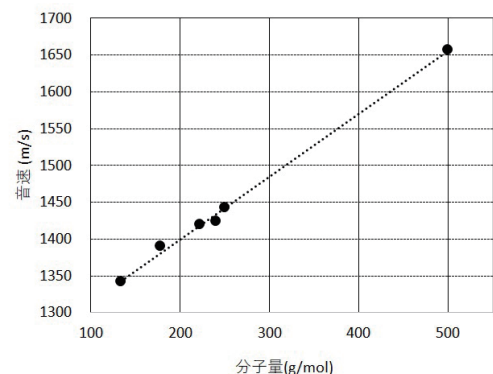
【結果】

図1に22℃における試料中の音速のエチレングリコールジメチル

エーテル類の分子量依存性を示す。SPUGに含有させる膨潤媒の分子量に比例して、音速は1342から1657m/sまで単純増加することが分かった。

【結論】

SPUG中に含有させる膨潤媒の分子量を選択することによって、音速をおよそ1340～1660m/sまで任意にコントロールできることが実証された。



Acoustic Properties of Poly(urethane) Gel containing Swelling Medium used for Tissue-Mimicking Materials

Masaki SUZUKI¹, Kai KUSUMOTO¹, Kazuishi SATO¹, Toshio KONDO¹, Kohei HAMACHI², Takuya KUBO³, Masahiko TANIGUCHI²¹Faculty of Science and Technology, Tokushima Bunri University, ²Headquarter of Technology Center, Yasojima Proceed Co., Ltd., ³NextMED R&D Office, Yasojima Proceed Co., Ltd

93-基P-006

力学イメージングのための変位ベクトル観測における MAP 推定と正則化による高精度化

炭 親良, 小林 優介
上智大学 理工学部情報理工学科

【目的・対象】

我々は、軟組織および血液のダイナミクスを実時間でベクトル観測する方法を開発している(多次元クロススペクトル位相勾配法や多次元自己相関法等)。軟組織においては加圧や自然変位により生じる変位(や速度や加速度)や歪テンソルの他、加振や放射圧により生じるずり波の媒体変位や伝搬速度を観測でき、また、血流においては歪率テンソルを観測できる。これらは、組織の(粘)ずり弾性率や粘性や密度、内圧や応力テンソルの観測を可能にする。最近にMAP(maximum a posteriori)推定や正則化等の最適化を可能にする新しい位相マッチング法を報告した[1,2]。特に[2]では多次元自己相関法を対象として単位行列を用いたMAP推定(原型)を行ったが、本稿ではさらに高精度化するべく高周波の観測エラーを効率よく抑圧できるラプラシアン作用素を用いたMAP推定と正則化処理を行った。静的な場合と動的な場合におけるずり観測も行った。動的な場合においては、これまでに提案した、分布再構成と波長(波数)を用いたpointwise観測法と波動移動の観測法等を含めて報告する。

【方法・結果】

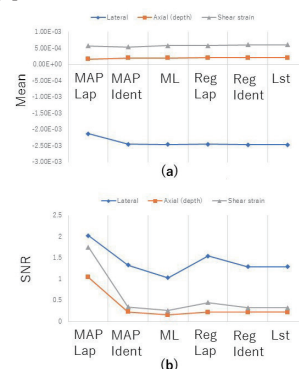
寒天ファントムのエコーデータ[2]を用いた結果を示す。深さ19mmに直径20mmの円柱状のつめもの(高寒天濃度)が存在し、周囲に比べてずり弾性率が約3.3倍高い。横方向に圧迫を加えて横方向に約2%の歪を生成させた。超音波探触子は公称周波数7.5MHzの1次元リニアアレイ型である。開口正面に対して±20度と±30度の4つ

の偏向ビームを生成し、over-determined(OD)システムを生成した。図1につめものの中心位置にて観測された歪テンソル3成分(深さ方向と横方向の歪とずり歪)の(a)平均値と(b)SN比を示す。ラプラシアン作用素を用いたMAP推定は原型や最尤推定や正則化よりもSN比が高かった。正則化もラプラシアン作用素を用いた方が高SN比であり、最小二乗解よりも高SN比だった。

【考察・結論】

新しいMAP推定は有効だった。[2]と同様にスペクトルを周波数分割して生成したODシステムにおける有効性も報告する。また、多次元スペクトル解析を用いたずり波合成(重ね合わせとスペクトル分割)も報告する。最適化は信号のSN比が低い場合(例えば、加熱治療時や、複雑な流れのある場合の造影剤使用時等)においても効果を弄するため、クロススペクトル法との比較も行う。

[1] ITEC2018, ID: 015. [2] JJAP, vol. 67, 07LF24, 2019.



Increasing measurement accuracy of displacement vector using MAP estimation or regularization for mechanical imaging

Chikayoshi SUMI, Yusuke KOBAYASHI
Info and Commun Sci, Sophia University

93-基P-007

超音波検査用シミュレータによる超音波検査技術習得の現状

狩野 賢二, 佐藤 直
島根大学医学部附属病院 クリニカルスキルアップセンター

【はじめに】

医学部および医療技術系大学等の授業で超音波検査技術の学習は限られており、実患者で音波検査を実施できる機会は少ない。そこで、基本的な超音波検査技術習得には、超音波検査用シミュレータの利用が効果的であると考えられる。島根大学医学部附属病院クリニカルスキルアップセンター（以下、当センター）においても、腹部領域、心臓領域、体表領域、産科婦人科領域、救急医学領域などの超音波検査用シミュレータを保有している。これらの超音波検査用シミュレータは、それぞれの特徴があり使用目的に応じたシミュレータを選択することが重要である。本研究では、超音波検査学習の現状を把握するために超音波検査用シミュレータの利用状況を調査した。

【調査期間】

2018年10月から2019年9月までに当センターで行った超音波検査トレーニングにおける超音波検査用シミュレータの利用状況を調査した。

【調査内容】

当センターで保有している超音波検査用シミュレータは以下の通りである。
①心臓超音波シミュレータ ハートワークス（日本ライトサービス株式会社）
②超音波トレーニングシステム ウルトラシム（日本ライトサービス株式会社）
③エコーガイド下胸腔穿刺トレーニング（日本ライトサービス株式会社）
④超音波トレーニングモデルECHOZY（株式会社京都科学）
⑤外傷・救急用超音波診断トレーニングファントムFAST/ER FAN（株式会社京都科学）
⑥CVC穿刺挿入シミュレータ（株式会社京都科学）

【調査結果】

各超音波検査用シミュレータの使用回数および受講者人数（受講者内訳）は以下の通りである。

- ①67件および256名（医学科5年生、6年生）
- ②21件および65名（医学科5年生）

③46件および167名（医学科5年生、6年生）

④46件および169名（医学科5年生、6年生）

⑤29件および237名（医学科5年生、6年生）

⑥16件および76名（医学科6年生、研修医）

【考察】

超音波検査用シミュレータの種類を大別すると、各領域の様々な疾患を再現できるバーチャル画像シミュレータと、人体に近い超音波特性を示す素材で作成された超音波用ファントムに分類される。当センター保有の超音波検査用シミュレータは、①および②がバーチャル画像シミュレータであり、③、④、⑤、⑥は超音波用ファントムである。当センターで最も使用頻度が多かったのは①ハートワークスであった。ハートワークスは心エコーシミュレータであり、プローブ操作によって拍動する心臓のエコー画像と3D心臓モデルが連動して表示される。②ウルトラシムは、疾患毎にDVDを取り替えることで頸部領域、腹部領域、産科婦人科領域、救急領域の様々な疾患が描出できるが、プローブをあてる位置が限られており、使い勝手に劣ることから使用頻度が低いと考えられた。超音波用ファントムは、③下胸腔穿刺トレーニングおよび④ECHOZYを5年生の臨床実習で使用するため使用頻度が高くなったと考えられた。⑤FAST/ER FANは、腹腔内出血、胸腔内液体貯留および大動脈瘤などの疾患が再現されており④ECHOZYの正常腹部モデルの実習を補う目的で使用していた。また、⑤FAST/ER FANおよび⑥CVC穿刺挿入シミュレータは、超音波に関するセミナーで使用するため、1回あたりの受講者人数が8名以上と他のシミュレータに比較して多くっていると考えられた。

【まとめ】

バーチャル画像シミュレータの超音波画像はリアル性が高く、プローブ操作の学習および病態の理解には有効であると考えられた。超音波用ファントムは、エコーガイド下の穿刺手技などのエコー技術に伴う医療技術の習得に非常に有効であると考えられた。

Status report of the training for Ultrasonic inspection technology by use the simulator

Kenji KARINO, Nao SATO
Clinical Skill-up Center, Shimane University Faculty of Medicine