

日本超音波医学会平成 23 年度第 1 回基礎技術研究会抄録

代表：山田 晃（東京農工大学）

日時：平成 23 年 6 月 23 日（木）

場所：東京農工大学（東京都小金井市）

共催：日本音響学会アコースティック・イメージング研究会，
日本音響学会超音波研究会，電子情報通信学会超音波研究会

BT2011-01 イメージベースシミュレーションを援用した時間反転法による固体内欠陥の映像化の試み

中畑和之¹，木本和志²（¹愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻，²岡山大学大学院環境学研究科社会基盤環境学専攻）
超音波探傷において，均質材料中など波動の伝搬経路が容易に推定できる場合には，B，C スキャンや開口合成法（SAFT）等による欠陥像の映像化が行われている。しかし，局所的に非均質・異质性を有する材料や複雑な形状を持つ界面を介して超音波を送受信する場合には適用が困難である。そこで，本研究ではレイトレースが解析的に難しい材料に対して，イメージベース有限積分法（FIT）を援用した時間反転法による欠陥の映像化を試みる。ここでは，アレイ探触子を用いて全波形サンプリング処理（FSAP）方式によって欠陥エコーを計測し，そのエコーを反転させてイメージベース FIT に入力する。時間反転アルゴリズムによって超音波が欠陥に集束する性質を利用して，シミュレーション中の波動場の可視化結果から欠陥の形状を推定する。

BT2011-02 Carotid artery imaging in transverse plane by multiple steered receiving beams from diverging transmit beam

Akinlolu PONNLE¹，Hideyuki HASEGAWA^{2,1} and Hiroshi KANAI^{1,2}（¹ Graduate School of Engineering, Tohoku University. ² Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University.）

[Background] Transverse cross-sectional imaging of the intima-media complex of the carotid arterial wall is very difficult using conventional linear scanning. The extent of the arterial wall that is clearly imaged is very limited. [Principle] In this study, the use of multi element diverging beam from a linear array transducer in linear sequential scanning was proposed. B-mode image was re-constructed from combinations of many steered receiving beams from multiple transmissions per frame. [Results and Conclusion] Using this method, images obtained from simulations, phantom and *in vivo* scanning of the carotid artery showed that the clearly imaged region of the wall is wider than that of the conventional linear scanning.

BT2011-03 微小気泡の凝集体形成における超音波照射条件と気泡特性の影響

江田 廉，渡會展之，重原彦彦，伊藤拓未，榊田晃司（東京農工大学大学院生物システム応用科学府）

これまで我々は，分岐を有する人工血管において微小気泡が流れる流路を超音波を用いて能動的に選択する研究を行ってきた。そして Secondary Bjerknes force による微小気泡の凝集現象に注目し，凝集体を形成することで超音波による制御性が向上することを確認した。ところで，生体内において凝集体は血管を通過できるサイズであることに加えて血流速度に対応して素早く形成さ

れる必要がある。しかし凝集サイズと形成時間に寄与する要因については詳細には解明されていない。本報告では凝集体を形成する照射音波の周波数を 3 [MHz] から 10 [MHz] まで変更し，気泡の凝集現象を検討するため高速度カメラによる観測を行った。さらに気泡のシェル材質の種類と，気泡濃度，赤血球の存在が凝集現象に及ぼす影響についても検討を行った。

BT2011-04 微小気泡の生体内能動制御のための音場分布可視化 AR/VR システムの開発

田口侑人¹，加藤俊和¹，菅野悠樹¹，江田 廉¹，吉永 崇²，榊田晃司¹（¹東京農工大学大学院生物システム応用科学府，²財団法人九州先端科学技術研究所）

我々はこれまで，超音波を用いた微小気泡の生体内制御を目指し，分岐を有する模擬血管では水流中の気泡の能動的流路選択，また直線状の模擬血管では流速に拮抗した気泡の流路内捕捉に関する研究を進めてきた。しかし，将来の生体応用においては，治療用トランスデューサから発する超音波音場内の焦点の，照射目標部位に対する空間的位置合わせが問題となる。そこで本研究では画像診断用の超音波プローブ及び治療用トランスデューサの 3 次元位置姿勢同時計測による，超音波の焦点の 3 次元可視化システムを設計・開発した。本システムを用いて焦点の照射精度を検証したところ，水槽実験ではプローブ先端から深さ 60 mm 付近において超音波の照射方向によらず 2.5 mm 以内の誤差に収まり，本インターフェースが生体内において十分適用可能であることが示唆された。

BT2011-05 波動方程式に基づく FDTD 法（WE-FDTD 法）による音響レンダリング

土屋隆生¹，石井琢人¹，大久保寛²（¹同志社大学理工学部，²首都大学東京システムデザイン学部）

本報告では，音響レンダリングのための時間領域の音波伝搬解析手法として，波動方程式を直接差分化した FDTD 法（WE-FDTD 法）とその省メモリタイプである RMWE-FDTD 法について検討を行っている。波動方程式を直接差分化した WE-FDTD 法では，粒子速度が計算に必要なためメモリ使用量が Yee-FDTD 法の 1/2 で済む。また RMWE-FDTD 法では，CFL 数を安定上限値の $1/\sqrt{3}$ に固定し，隣り合う格子点の定義時間を 1 時間ステップ分ずらすことでメモリ使用量を 1/4 にしている。1 次元音場と 3 次元音場についていくつかの数値実験を行った結果，WE-FDTD 法は Yee-FDTD 法の約 2.4 倍，RMWE-FDTD 法は約 3.2 倍の高速化が図られた。

BT2011-06 画像差分シュリーレン法による治療用超音波音場の可視化 - シャーレ内の定在波音場の可視化 -

小原浩貴，工藤信樹，清水孝一（北海道大学大学院情報科学研究科）

現在，超音波の治療応用として，通常は細胞内に入らない薬物や遺伝子を超音波照射によって細胞内に取り込ませる sonoporation が注目されている。培養細胞に sonoporation を行う際には，細胞と微小気泡を懸濁した培養液をシャーレに入れ，下方から連続超音波を照射する方法が多く用いられている。この際，シャーレ内部では様々な反射によって定在波が発生し，内部の超音波音場は

非常に複雑になる。そこで本報告では、我々が提案する画像差分シュリーレン法を用いてシャーレのような小さな容器内の複雑な音場を可視化した結果について述べる。この手法は、簡易な光学系で超音波の瞬時音場を可視化できる点で従来の方法よりも優れている。実験の結果、定在波音場の輝度が進行波に比べて約2倍増加すること、また壁面の近傍では輝度の低下が生じることが示された。さらに、超音波の照射圧によって生じる水面の波立ちにより、定在波の腹の位置における振幅が大きく変化することが確認された。可視化画像の輝度と超音波圧力の関係には比較的良好な線形性が確認されたことから、画像差分シュリーレン法は小容器内の複雑な音場の定量化に有用と考えられる。

BT2011-07 超音波加振時の粒子速度計測に基づく再生軟骨組織の弾性評価

新田尚隆¹、三澤雅樹¹、本間一弘¹、椎名 毅² (1産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門、²京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻)

再生医療において再生組織の成熟度評価は重要である。再生組織の成熟度は弾性特性の経時変化と密接な関係がある。本研究では摘出した再生軟骨を対象として、超音波加振時における粒子速度のレーザードップラー計測に基づく弾性評価法について実験的に検討した。異なる弾性率を有する寒天ファントムを用いた実験を行った結果、弾性特性の相違が検出可能であった。また摘出した実際の再生軟骨を対象とした計測を行った結果、成熟の時間過程に相関する弾性変化が検出可能であった。

BT2011-08 非破壊検査における超音波フェーズドアレイ探傷と新技術

小島 正 (超音波技術研究所)

超音波フェーズドアレイ探傷ではポリスチレンなどの樹脂製くさびを使って縦波から横波にモード変換する独特なセクター走査で斜角探傷 (PA 横波斜角探傷) を行っているが、アーチファクト、分解能の低下、スキャン領域の狭小化、その他いろいろな問題が発生している。今回、医用超音波診断装置の技術を応用してくさびを使わない PA 縦波斜角探傷技術および探傷器を開発し非常に良い結果を得た。また、欠陥評価に有用な B スコープのエコー面積と A スコープのエコー高さが極めて強い相関があることを実験で確かめた。

BT2011-09 びまん性肝疾患診断のための B-Flow 血流抽出処理

山田 晃¹、牧田敬介¹、地挽隆夫²、小笠原正文²、小川真広³ (1東京農工大学生物システム応用科学府、²GEヘルスケア・ジャパン、³日本大学医学部消化器肝臓内科)

B-Flow 映像法により、ミリオーダーの高解像な肝辺縁微小血流を描出することが可能になる。この特徴を生かして著者らは B-Flow 血流映像に基づいた、びまん性肝疾患のコンピュータ支援診断の実現に向けた研究を進めている。本報告では、ノイズ分離のためのフレーム間ビークホールド処理、血流強調のための勾配振幅フィルタ、擬似三次元的な血流走行特性を再現するための奥行き方向プローブ回転走査およびシーン積算処理、などを導入する。これにより、肝硬変診断に有効な血流走行情報を効果的に取り出すことのできる処理法を提示する。

日本超音波医学会平成 23 年度第 2 回基礎技術研究会抄録

代表：工藤 信樹 (北海道大学)

日時：平成 23 年 8 月 5 日 (金)

会場：北海道大学 (札幌市)

共催：超音波分子診断治療研究会

BT2011-10 FDTD 法による 3 次元声道音響数値解析と解析結果の即時可視化

紺野健幸、松崎博季、真田博文、岡崎哲夫、上野健治 (北海道工業大学大学院工学研究科電気工学専攻)

本研究では、GPGPU (General Purpose processing on Graphics Processing Unit) による高速化を施した FDTD 法 (Finite-Difference Time-Domain method) による音場シミュレータに対し、MRI データから得た 3 次元声道形状を与え、空間の音圧および粒子速度についての解析を行った。そして、GPU を使用することにより生じた CPU リソースを使用し、解析を行いながら即時可視化を実行する手法についての検討を行った。本稿では、シミュレータ開発の概要と、MRI データの加工の手法について報告する。

BT2011-11 動的せん断歪み解析法にもとづく微小欠損の撮像

寺本顕武、宮成天馬、石橋春香 (佐賀大学大学院工学系研究科先端融合工学専攻)

現在、薄板複合材料が、航空機をはじめとする様々な用途に用いられている。薄板複合材料の非破壊検査では、ガイド波を用いた非破壊検査が注目を浴びている。ガイド波は、薄板内を導波路として進行するため、小さなエネルギー減衰で伝搬する特長があ

る。ところが、ガイド波の多くは音速が周波数と板の厚さによって変化する分散性の波であり、波面の進行とともに、入力パルスの形状が崩れ、亀裂や剥離、腐食箇所からの散乱波を検出することが困難になるという問題点がある。そこで、本研究では、直交する動的せん断歪みの間の線形依存性に着目し、「動的せん断歪みの共分散行列」の行列式による欠損の撮像法を提案している。提案手法は、欠損近傍の音響近接場を撮像することができ、欠損領域のシルエットを映像化するものである。本報告では、提案手法の撮像原理を明らかにするとともに、数値実験および音響実験を通して、手法の有効性を評価している。

BT2011-12 超音波血流測定に基づく血液性状特徴化の実験的検討

新田尚隆 ((独)産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

血液粘度は、血栓や赤血球凝集など血液の異常を検出するための指標として有用と見込まれるが、全血は非ニュートン流体であり、粘度は血液の異常だけでなく速度の大きさに依存して変化するため、粘度のみで血液性状の変化を捉えることは困難であると考えられる。本研究では、血液性状の変化を一意的に評価するため、超音波血流計測の結果から速度-粘度曲線 (SV 曲線) を推定し、血液性状を特徴化する方法を検討した。新鮮なウシ血液を用いて提案手法の実現可能性を実験的に検証した結果、血液性状の変化が検出されることが示された。

BT2011-13 空中超音波ドプラシステムのウロダイナミクス計測への応用

松本成史¹, 竹内康人², 柿崎秀宏¹ (旭川医科大学医学部腎泌尿器科外科学教室, ²無所属 (個人研究者))

排尿機能の動態計測すなわち尿流動態検査, 通称ウロダイナミクス (Urodynamics) 計測と呼ばれる検査は関連する領域での病態把握に不可欠の物である. この計測においては蓄尿, 排尿反射, また排尿時における尿流速, 尿流量, 尿流率, それらの時系列パターン記録, さらに総排尿量などが観測項目となる. この排尿パターンの記録と総量の計測 (ないし近似推定) には従来は尿を受ける容器 (尿器) に応力, 重量, 等のセンサをつけた, かなり即物的原始的な計測が行われ, 装置は “トイレのような物” に各種センサを配備した物となり, また実際にもこれは実用される尿器や便器にかかるセンサシステムを追加装備する形で実装されている. そこで本研究においてはこのようなトイレの側にセンサ一式を装備するという思想を廃し, 排尿を行う人体の側に装備され得る, または独立しても動作可能なウロダイナミクス計測システムとして周波数 40 KHz の空中超音波 CW ドプラシステムを援用し, 一定の好ましい見通しを得たので報告する. 試作プロトタイプシステムは人指し指に嵌めるセンサ (送受波器) を有し, これによって, ビームパターンの重みづけ補正やドプラ見込み角の補正は捨象しつつも, 信号パワーにより瞬時尿流量の, およびドプラスペクトラムにより尿流速時系列の, 相対化されたパターンが明確に観測され, 適切な校正が伴えば従来概念のウロダイナミクス計測を大きく変革する技術である可能性が強く示唆された. 本技術はまた別途多彩な用途も考えられ, 文末にその一端を紹介する.

BT2011-14 超音波後方散乱特性の時間変化計測による心臓壁厚み変化速度推定

志田 光¹, 長谷川英之^{1,2}, 金井 浩^{1,2} (¹東北大学大学院医工学研究科医工学専攻, ²東北大学大学院工学研究科電子工学専攻)

心臓壁からの超音波後方散乱 (IB) は, 定量的な組織性状診断法として注目されている. 本報告では, RF 信号から低速なアーチファクト成分を低減し, 同一部位からの IB を時間分解能とビーム方向の空間分解能を向上させて計測した. その結果, 部位ごとに周期変動の差異が見られた. また, 得られた IB 信号から干渉周期を求め, 厚み変化速度推定を行った. その結果, 目測により測定した干渉周期から算出した厚み変化速度は位相差トラッキング法を用いて算出した厚み変化速度とほぼ一致したことから, IB を用いた壁の厚み変化速度推定の可能性が示された.

BT2011-15 頸動脈壁内膜面の表面粗さ高精度推定を目指した超音波 RF エコーに基づくブロックマッチングによる頸動脈壁の長軸方向変位推定

北村浩典¹, 長谷川英之^{1,2}, 金井 浩^{1,2} (¹東北大学大学院医工学研究科医工学専攻, ²東北大学大学院工学研究科電子工学専攻)

血管壁内膜面表面粗さの高精度推定のために, 頸動脈壁の長軸方向変位の推定を行った. その際に使用した, 超音波 RF エコーを用いたブロックマッチングにおける相関窓幅 (kernel size) の大きさについて検討した. 超音波診断装置を用いて, 点散乱体とみなせる直径 13 μm のワイヤーを計測し, 受信した RF 信号の包絡線からビーム方向およびラテラル方向の超音波ビームの焦域の

大きさをそれぞれ算出した. 算出した焦域の大きさを基準にして相関窓幅の最適な大きさを検討した. さらに, 最適な相関窓幅を用いて, 24 歳健康者男性の頸動脈壁の長軸方向の変位推定も行った.

BT2011-16 Suppression of receive grating lobe artifacts in images formed from wide diverging transmit beams by modulation of steered receiving beams

Akinlolu PONNLE¹, Hideyuki HASEGAWA^{2,1} and Hiroshi KANAI^{1,2} (¹ Graduate School of Engineering, Tohoku University, ² Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University.)

For ultrasonic imaging involving the use of diverging transmit beams with steered receiving beams, we proposed a technique of modulating the receiving beams by a factor that is governed by the envelope of a corresponding signal, which was formed by filtering the receive-beamformed signal by a zero phase low-pass filter with a cut-off frequency that is determined by the receive-steering angle. This technique significantly suppressed receive-grating lobe artifacts without loss in spatial resolution in offline reconstructed B-mode images from simulation, phantom and *in vivo* imaging of the carotid artery.

BT2011-17 ゲル上に培養した細胞へのソノポレーション効果に関する検討

木下勇人, 工藤信樹 (北海道大学大学院情報科学研究科生命人間情報科学専攻)

これまで我々は, 細胞に気泡が接触した条件では, 通常ソノポレーション効果が生じないパルス超音波でも細胞に一時的な膜損傷を生じ得ることを報告してきた. この現象を利用して *in vivo* ソノポレーションを実現するには, 発生機序に関する検討と超音波照射条件の最適化が必要となる. しかし, これまでソノポレーションの発生機序に関する報告は少なく, かつほとんどが生体内とは大きく異なる条件で検討されてきた. そこで本研究では, より生体に近い状態でのソノポレーション現象の解明を目的として, 柔らかいゲル層上に細胞を培養する手技を開発し, 足場層の特性がソノポレーション効果に与える影響について検討した. 硬いカバーガラス上に培養した細胞と柔らかいゲル上に培養した細胞について, 波数を 3 波と 10,000 波に変えたパルス超音波を照射して, ソノポレーション効果を調べた. その結果, ゲル上ではカバーガラス上に比べて細胞の接着強度が高いこと, 細胞膜の損傷率が大幅に低下すること, その原因が材質の違いだけでなく, ゲル層の厚さにも依存することが示された.

BT2011-18 診断装置によるソノポレーションの特徴と条件設定

佐々木東¹, 中村健介¹, 工藤信樹², 滝口満喜¹ (¹北海道大学大学院獣医学研究科, ²北海道大学大学院情報科学研究科)

診断用超音波と超音波造影剤を用いたシスプラチンのソノポレーションの特徴と, その効果を最大にする条件を明らかにするため *in vitro* で実験を行った. 犬甲状腺癌細胞を対象にソナゾイドおよびシスプラチン, 診断用超音波を様々な濃度および条件で用い, 殺細胞効果を検討した. 診断用超音波によるソノポレーションはシスプラチンの殺細胞効果を短い照射時間で有意に増強した. また, バブル濃度およびシスプラチン濃度が比較的低い濃度で最大の増強効果を示した. 今回の至適条件を基に, 診断用超音波および造影剤による抗がん剤のソノポレーションを *in vivo* へ応用

していくことで、診断装置によるソノレーションは新たながん治療法として期待できる。

BT2011-19 超音波の生物作用に関する最近の知見：薬物による細胞死の増強について

近藤 隆¹, Mariame Ali Hasssan¹, 古澤之裕¹, 趙 慶利¹, 小川良平¹, 田渕圭章² (富山大学大学院医学薬学研究部(医学)放射線基礎医学講座, ²富山大学生命科学先端研究センター)

超音波は診断領域のみならず治療応用もすすんでいる。それに伴い、生物作用の研究も進展し、我々の研究室でも超音波が、がん細胞に対して低強度でアポトーシスを誘導すること、細胞内にDNA二本鎖切断を起こすこと、そして、これらに関連して遺伝子発現変化を起こすことを報告してきた。本研究では、薬剤と超音波の併用時における細胞死増強作用に着目して、特にサナゾールを用いた場合の細胞内活性酸素の役割について検討を行ったので報告する。

BT2011-20 バブルリポソームの特性評価および遺伝子治療への応用

鈴木 亮, 小田雄介, 平田圭一, 野村鉄也, 宇都口直樹, 丸山一雄 (帝京大学薬学部)

これまでに我々は、リポソームにパーフルオロプロパンを封入したバブルリポソーム (BL) と超音波照射を併用した遺伝子導入システムを開発した。この遺伝子導入システムを実用化してい

くためにはBLの特性評価をする必要がある。そこで本研究では、遺伝子導入効率におよぼすBL構成脂質の影響を検討した。異なる相転移温度を示すリン脂質を主要な構成成分として持つBLを用い、遺伝子導入効率を検討した。その結果、相転移温度の高いリン脂質から成るBLの方が、遺伝子導入効率が高いことが示され、BLの構成脂質の遺伝子導入効率と相転移温度に相関が認められた。このことから、遺伝子導入効率にリポソーム膜の流動性が関与していると考えられた。

BT2011-21 超音波を用いた悪性黒色腫細胞へのインターフェロン-β遺伝子導入と増殖抑制効果の検討

立花克郎¹, 山口和記², 中山樹一郎² (¹福岡大学医学部解剖学講座, ²福岡大学医学部皮膚科学講座)

悪性黒色腫は難治性の疾患で、進行した症例では有効な治療法は少ない。いくつかの新しい治療法が研究されており、その一つに遺伝子治療が挙げられる。近年、超音波の治療への応用や高率遺伝子導入システムの研究は、*in vitro*, *in vivo* 双方においておこなわれている。超音波を照射することにより、細胞膜に小孔を生じさせ、遺伝子や薬剤を細胞内に導入することができる。超音波照射により悪性黒色腫に治療効果のある遺伝子を導入し、腫瘍の増殖抑制効果を検討した報告はない。今回我々は、超音波照射と超音波造影剤を併用した方法で悪性黒色腫細胞にインターフェロンβ (IFNβ) 遺伝子を導入し、増殖抑制効果を検討した。

日本超音波医学会平成23年度第3回基礎技術研究会抄録

代表：鈴木 真事 (東邦大学医学部附属大橋病院)

日時：平成23年10月29日(土)

場所：TFTホール(東京都江東区)

共催：日本超音波医学会第23回関東甲信越地方会学術集会

BT2011-22 音響放射力とは

鎌倉友男 (電気通信大学情報理工学研究所)

音響放射圧とは、周期的に変動する音圧信号を1周期で時間平均したとき、音圧振幅そのものに比べれば無視できるほど小さいが、0ではない2次的な圧力が発生し、音波の照射面に対して微小力として作用する現象である。もちろん、音波がないときにはこのような力は発生しない。この音響放射圧の理論は、音響学の祖といわれるレイリー卿までさかのぼる。ただ、レイリーは容器内に閉じ込められた音波が容器の壁に作用する力という、あまり実用的でない音響環境を研究対象とした。これに対して、開放された容器壁、あるいは照射面に作用する力を取り扱うことが応用面においては多く、このときの圧力をランジュバン放射圧という。歴史的には長く議論されてきた音響放射圧も、今日ではその理論はほぼ完結したと思われる。本講では、ランジュバン放射圧を中心に、その放射圧とはどのようなもので、どのように理論化されるか、著者の理解範囲内で説明したいと思う。

BT2011-23 音響放射力による診断

蜂屋弘之 (東京工業大学理工学研究所)

生体のずり弾性(剛性率)に対応する硬さは、有用な診断情報を提供することが指摘されている。この硬さに関する情報を得る一つの方法は力に対する変形を計測することであり、もう一つの

方法は力により発生する横波の伝搬速度を計測することである。力の与え方も、探触子を生体にあて軽く上下させるなどの方法に加え、音響放射力(acoustic radiation force)を用いて力を加える方法があり、製品化も行われている。音響放射力は進行する超音波を物体で遮るときに、照射物体表面に、超音波のエネルギー密度に比例して生じる力であるが、音響放射圧によって組織変位を発生させるために用いられる超音波は、従来の超音波診断装置と異なり、持続時間の長いパルス波形が用いられている。本講演では、音響的な基礎について述べるとともに、得られる診断情報の特徴、安全性を確保するために考慮されている点などについて述べる。

BT2011-24 超音波照射と温度上昇

新田尚隆¹, 工藤信樹², 秋山いわき³ (¹(独)産業技術総合研究所, ²北海道大学大学院情報科学研究科, ³湘南工科大学工学部)

【目的】音響放射力を用いて硬さ計測を行う場合、従来の超音波診断装置とは異なり、持続時間の長いパルス波形が用いられる。一方、その焦点に骨が存在する場合、基準値(720 mW/cm²)以下でも安全上問題となる温度上昇が生じる可能性があるとしてHerman-Harrisらは指摘している。そのため本研究では、超音波照射条件と温度上昇との関係を数値的に解析した。【方法】骨層を含む3次元組織モデルに対して、音響放射力を伴う超音波パルスを一定時間間隔で複数回、同一走査線上に照射する場合を想定し、生体熱輸送方程式を用いて骨表面上焦点での温度変化を計算した。【結果】超音波照射期間での温度上昇と非照射期間での温度降下を繰り返しながら、最高到達温度は徐々に上昇した。この温度上昇

は、瞬時強度、パルス持続時間及び照射回数、duty比、骨吸収係数等による影響を受けた。【結語】数値計算により超音波照射条件と温度上昇の関係を示した。

BT2011-25 気泡と音響放射力

山越芳樹，三輪空司（群馬大学大学院工学研究科電気電子工学専攻）

微小気泡を搬送媒体として使う超音波支援のドラッグデリバリシステム（DDS）や遺伝子デリバリシステム（GDS）では、患部へのターゲティング、可制御な薬液放出、細胞内部への吸収改善の3つの技術が必要になる。これらどの技術に対しても超音波

の音響放射圧は重要な役割を果たす。超音波場中で体積振動をしている気泡はBjerknes力と呼ばれる音響放射圧を受けるが、ターゲティングでは音響放射圧により特定位置に気泡を捕捉しようとするアイデアが検討されているし、吸収改善では気泡のキャビテーション現象を音響放射圧で制御できないかという検討もある。このようにDDSやGDSの効率改善やピンポイント化のために音響放射圧には大きな期待が寄せられているが、本稿では、将来の超音波支援のDDSやGDSでの利用を目指した音響放射圧を用いた微小気泡のダイナミクス制御について、我々の研究室で行ってきた実験を中心に紹介する。

日本超音波医学会平成23年度第4回基礎技術研究会抄録

代表：長谷川英之（東北大学）

日時：平成23年12月9日（金）

場所：東北大学（仙台市）

共催：日本音響学会 アコースティック・イメージング研究会

BT2011-26 内皮依存性血管弛緩反応時の橈骨動脈壁粘弾性特性変化の高精度計測

池下和樹¹，長谷川英之^{1,2}，金井 浩^{1,2}（¹東北大学大学院医工学研究科医工学専攻，²東北大学大学院工学研究科電子工学専攻）

循環器系疾患の主因である動脈硬化症は、血管の内側（内皮）から進行するとされている。さらにその初期段階では、血管中膜を構成している平滑筋細胞のタイプが変化することも報告されている。ゆえに、動脈硬化症の早期診断のためには、内皮細胞の機能や平滑筋の力学的特性の計測が重要となる。本報告では、模擬血管を用いた基礎実験において我々が開発した粘弾性特性計測法の精度評価を行うとともに、粘弾性係数推定において必要となるひずみ速度の、高周波ノイズ低減による推定精度向上に関する検討を行った。基礎実験の結果から、提案法が高精度かつ再現性良く弾性係数の推定をえていることが確認できた。さらに、高周波ノイズの低減によって、*in vivo* 計測において特に粘弾性係数の推定精度が向上していることが確認できた。

BT2011-27 頸動脈壁微小振動速度波形の周波数解析による進行波・反射波成分の可視化

本江和恵¹，長谷川英之¹，金井 浩²（¹東北大学大学院医工学研究科医工学専攻，²東北大学大学院工学研究科電子工学専攻）

脈波伝播速度（Pulse wave velocity; PWV）は心臓の拍動に伴い脈を伝播する圧力波（脈波）の速度である。脈波伝播速度は動脈硬化の進展に伴い大きくなることが知られており動脈硬化診断の指標として用いられている。従来の脈波伝播速度法では頸動脈・大腿動脈の数十 cm 間での値を指標として用いており数 mm 程度の初期病変を見逃してしまう可能性があるため局所の弾性評価には不適である。本報告では局所多数点で計測した動脈壁微小振動速度波形を周波数解析し、周波数スペクトルの位相を用いて伝播の様子を可視化することで速度波形に含まれる進行波・反射波成分を判別し、各成分の伝播速度を算出した。

BT2011-28 Sonoporation による抗がん剤の効果増強の多角的評価

松井智子，工藤信樹（北海道大学大学院情報科学研究科生命人間情報科学専攻）

我々は、微小気泡と短いパルス超音波を用いたソノポレーションの応用として、抗がん剤の効果増強の可能性について検討を行っている。本稿では、2種類のヒト前立腺がん細胞 PC-3 と LNCaP を用いて、抗がん剤 Oxaliplatin によるアポトーシス誘導効果の増強の可能性について検討した結果について述べる。ソノポレーションの20時間後に核の構造変化に注目してアポトーシス発生率を調べたところ、抗がん剤単独では効果を生じない低濃度でもソノポレーション併用により抗がん効果を示すことが両細胞種で確認された。増強効果はがん抑制遺伝子 p53 を持つ LNCaP で大きく、細胞種による違いを明確に確認できた。また、最大20時間にわたる細胞変化のタイムラプス観察では、細胞膜のプレビングや細胞膜の破壊などの現象が観察され、アポトーシスの発生をより明確に捉えるために多角的な観察手法を用いることは有用と考えられた。

BT2011-29 腹腔鏡手術における複数モダリティの統合に関する検討

前佛聡樹^{1,2}，山口 匡¹（¹千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター，²千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻）

腹腔鏡手術は開腹手術に比べ低侵襲な手技であるが、映像を頼りに手技を行うため難易度が高い。近年、腹腔鏡手術の新しい試みとして腹腔内を液体で満たした状態で手技を行う研究が進められている。腹腔内を液体で満たすことによる大きなメリットとして術中に体表から超音波診断装置によって腹腔内を観察できることが挙げられている。そこで本研究では、術中の腹腔鏡による臓器表面光学情報と超音波診断装置による内部超音波情報の重畳表示を行う手術支援システムを提案する。提案システムでは、取得した光学像と超音波像より観察対象臓器の表面形状を取得し、これを基に両モダリティ間の位置合わせを行う。本検討では擬似生体試料を用いて手技の検討を行った。

BT2011-30 格子ガスオートマトン法の音場への適用に関する
一考察

竹内智晴¹, 岩谷幸雄¹, 大谷 真², 土屋隆生³, 松岡 浩⁴,
鈴木陽一¹ (¹東北大学大学院情報科学研究科/電気通信研究
所, ²信州大学工学部情報工学科, ³同志社大学理工学部情報シ
ステムデザイン学科, ⁴理化学研究所計算科学研究機構)

3次元空間の実時間音場解析手法の開発を目的として, 我々は
数値流体解析分野で利用されている格子ガスオートマトン (LGA)
法を適用した新たな音場解析技術についての開発をおこなってい

る. LGA法は, 複雑な物理現象の扱いが容易であり, かつ論理
演算による並列処理が可能なアルゴリズムであるという点から,
音場解析において音波の波動性を考慮した音場の実時間解析が可
能であると考えた. 本報告では, LGA法の音場解析モデルとし
て音響格子ガスオートマトン法を構築することを目指し, 課題点
を整理してモデルの定義をおこなった. また基礎的検討として,
1 m × 1 m 正方領域の計算時間の測定や1次元音場の解析精度を
評価し, その有用性について検討した.