

平成 22 年度第 1 回社団法人日本超音波医学会基礎技術研究会抄録

代 表：山田 晃 (東京農工大学)

日 時：平成 22 年 6 月 24 日 (木)

会 場：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

BT2010-01 プローブ位置計測と断層像認識の並列処理による 生体内音場の 3 次元可視化インターフェースの開発

加藤俊和，田口侑人，吉永 崇，宮崎 航，榊田晃司 (東京農工大学大学院生物システム応用科学府)

我々はこれまで，超音波を用いたマイクロカプセルの生体内制御を目指し，分岐を有する模擬血管において超音波照射によるマイクロカプセルの能動的流路選択法に関する研究を進めてきた。しかし，生体内へ応用する場合，プローブ断層面と血管，及びトランスデューサから発する超音波音場内の焦点の相対的な位置関係を把握することが困難であった。そこで，本研究ではプローブ及びトランスデューサの位置姿勢計測を行い，断層像認識の並列処理による生体内音場の 3 次元可視化インターフェースを設計・開発した。これにより，生体内でも血管や音場焦点の相対関係を直感的に捉えられ，マイクロカプセルの生体内制御の支援となることが示唆された。

BT2010-02 FDTD 法と CIP 法を用いたハイブリッド音響シミュレーションに関する検討

大宮理生¹，大久保寛¹，土屋隆生²，田川憲男¹ (¹首都大学東京システムデザイン学部，²同志社大学理工学部)

本研究では，大規模な音響シミュレーションの精度向上のための検討として，FDTD 法と CIP 法を組み合わせたハイブリッドシミュレーションの評価を行った。特に，FDTD-CIP 領域の境界の取り扱いについて検討を行い，新たに境界の設定方法を提案した。検討結果より従来から用いられている FDTD 法を単独で用いる場合よりも精度の高いシミュレーションを実現することができることがわかった。

BT2010-03 チャープ信号を用いた生体高調波画像化法における非線形成分抽出法の検討

田邊将之^{1,2}，山村拓也¹，大久保寛¹，田川憲男¹ (¹首都大学東京システムデザイン研究科，²日本学術振興会特別研究員 (DC))
高精細な生体超音波画像を得るための手法として，生体高調波画像化法 (Tissue Harmonic Imaging : THI) が提案されている。THI では基本波の 2 倍の帯域幅を有する第二高調波成分を用いるため，距離分解能が向上する。しかし，基本波と高調波の周波数帯域が混合しないように，周波数帯域に制限を設ける必要がある。また信号対雑音比 (Signal-to-Noise Ratio : SNR) を向上する手法として，チャープ信号を用いたパルス圧縮技術 (Pulse Compression Technique : PCT) が存在する。しかしターゲットまでの距離が近い場合には，送信信号を照射中に受信信号が戻ってきてしまうため，信号長を十分長くすることができず，その結果 SNR の向上が見込まれない。そこで，本研究ではこれらの問題を同時に解決し高 SNR と高空間分解能を実現するため，時間領域における送信信号と受信信号の混合，さらに周波数領域にお

ける基本波成分と高調波成分の混合が生じない手法を提案し，A モードおよび B モード画像の生成を通して有効性の評価を行う。

BT2010-04 超音波 B-Flow 血流映像からの肝硬変疾患の特徴量抽出

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東京農工大学大学院生物システム応用科学府，²GE ヘルスケア・ジャパン超音波技術製造本部，³日本大学医学部消化器肝臓内科)

B-Flow 血流映像法は，造影剤を使わずにミリオーダの肝辺縁血流の走行状態を高解像に映像化することができ，びまん性肝疾患の診断への適用が期待される。例えば，血管の豊富さ，壁の不整，蛇行走行などの肝辺縁の血流動態の異常を検出することにより，肝硬変に伴う肝線維化の度合いを診断できる可能性が期待される。これらは専門医の読影技術に依存するところが大きい，コンピューター支援診断による定量評価が可能になれば，診断の信頼性の向上につながる。こうした点を踏まえて，本報告では肝硬変疾患に伴う肝辺縁血流動態の特徴量抽出処理について検討した。

BT2010-05 コード間干渉雑音を除去した同時送波音響映像法の検討

小笠原一憲，高山潤也，蜂屋弘之 (東京工業大学制御システム工学科)

空中における音響センシングは周辺物体の位置，形状，材質，運動などのさまざまな情報を取得できる方法であると考えられている。しかし，現在その利用法は対象物体までの距離計測程度に限られており，高度な計測システムの開発が望まれている。我々は SN 比の高い計測を行うためにコード化信号を用いる手法を検討している。音響画像の分解能を高めるためには，複数の送波器を用いて，送受波器開口を広げることが有効であるが，パルス信号の複数回送波の時間が必要となる。複数のコード化信号を同時に送波することにより，一度の送波で複数回の送波を行ったと同等の効果を得ることができるが，コード間干渉による画像劣化が問題となる。本稿では，相互相関値が小さいプリファードペアとなる複数の M 系列信号を同時に用いた画像化手法と，コード間干渉の除去手順について検討した。送受波器間を直接伝搬する直接波によるコード間干渉の除去を行い，さらに画素を構成する複数信号の複素平面上の分布状況から，コード間干渉の抑圧処理を行い，周囲環境の画像化を行ったところ，一回の送波のみで，高速に高分解能で高品位な画像を生成することができた。

BT2010-06 マルチキャリア波を用いた超音波イメージングの基礎検討

前田泰成¹，杉本雅則²，橋爪宏達³ (¹総合研究大学院大学情報学専攻，²東京大学大学院工学系研究科，³国立情報学研究所)

送信機から送出された超音波が対象物により反射して複数のセンサーに到達する信号を測定することにより，対象物の角度と距離が推定できる。我々はマルチキャリア信号を用いた高精度到来時間推定について研究を行ってきた。また受信された実信号列にヒルベルト変換を施して得られる解析信号列を用いて推定精度を向上することに関心があった。我々は受信機として機械実装され

た MEMS センサーからなるセンサーアレイを用い、各センサーの受信信号から計算された解析信号列に整合フィルタ及びパルス圧縮を適用して、到来時間推定精度を比較し高い推定精度を得た。また、ダウンサンプリング時の推定精度の変化についての実験によって、解析信号列は実信号列に比べてダウンサンプリング耐性が高いことが示された。

BT2010-07 A Novel Class of Binary Zero-Correlation Zone Sequence Sets

Takao MAEDA, Shigeru KANEMOTO, Takafumi HAYASHI
(School of Computer Science and Engineering the University of Aizu)

The present paper introduces a method how to construct binary sequences having a zero-correlation zone property. We generate a set of sequences from an Hadamard matrix. The cross-correlation function of two different sequences of the set is zero for the phase shifts within some range. The side-lobe of the auto-correlation function of a sequence of the set is zero for the phase shifts within the same range. The range is said to be zero-correlation zone. The proposed zero-correlation zone sequence set is divided into two subsets. Zero-correlation zone of the inter-subset cross-correlation function is much wider than zero-correlation zone of the inner-subset cross-correlation function. Applying the proposed sequence set to the synthetic aperture ultrasonic imaging, we get better image because inter-subset zero-correlation zone is wider. The proposed sequence set is expected to be suitable for real-time synthetic aperture ultrasonic imaging.

BT2010-08 血管分岐部におけるマイクロカプセル高効率誘導のための平面波照射条件の実験的検討

渡會展之¹, 江田 廉², 中元隆介¹, 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, ²千葉大学融合科学研究科)

薬物を含んだマイクロカプセルを体内に注入し、体外からの超音波照射によりカプセルを破壊して任意の部位に薬物投与を行う選択的薬物伝送 (Drug Delivery System) を効率よく行うためには、薬物キャリアであるマイクロカプセルの生体内での拡散を最小限に抑え、投薬部位に誘導する必要がある。そこで我々はこれまでに分岐を有する人工血管において集束超音波を照射することによってマイクロカプセルを任意の流路へ誘導が行えることを示した。しかし、これまでの実験で用いていたカプセルの直径は 63-75 [μm] と生体に適用するには大きすぎるものであった。そこで、血球と同程度の 10 [μm] 以下の直径のマイクロカプセルを用いて、分岐を有する人工血管に様々な条件で平面波を照射し、カプセルを高い効率で誘導するための超音波の照射角度、音圧、周波数等の最適条件を実験的に検討した。また、複数音源を用いることで誘導効率の向上を検討した。

BT2010-09 局所的音響放射力の条件に対するマイクロバブルの水流中での効率的捕捉法の検討

中元隆介¹, 田口侑人¹, 加藤俊和¹, 渡會展之¹, 江田 廉², 吉永 崇¹, 榊田晃司¹ (¹東京農工大学大学院 BASE 生物システム応用科学専攻, ²千葉大学大学院融合科学研究科ナノサイエンス専攻)

薬物を付与したマイクロバブルを体内に注入し、体外からの超音波照射により破壊して任意の部位に薬物投与を行う超音波 DDS (Drug Delivery System) を行うためには、血液中のマイク

ロバブルをモニタし、制御する技術が必要となる。我々はこれまで流れを有する模擬血管内への超音波照射により、流体中のマイクロカプセルの挙動を能動的に制御し、任意の位置の流路内壁でそれらを捕捉する研究を行ってきた。しかし、これまで使用してきたマイクロカプセルはシェルがポリ塩化ビニル製のため、生体に使用する事が不可能であった。そこで現在臨床で使われている超音波造影剤用のマイクロバブルを用いて同様の実験を行なった。超音波の周波数や音圧、照射時間の変化に伴う捕捉量の変化から、安定で効率的な捕捉条件の検証を行った。

BT2010-10 超音波凝固切開装置におけるブレードの振動特性と安全性の検証

成澤 亮¹, 林 秀樹², 蜂屋弘之³, 山口 匡² (¹千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻, ²千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター, ³東京工業大学理工学研究科機械制御システム専攻)

超音波凝固切開装置は腹腔鏡手術などで広く用いられているが、予期せぬ生体の損傷を与えることが報告されている。それらは主にキャビテーション作用によるものと考えられているが、実際のブレードの振動とキャビテーションおよび熱作用の関係が明らかになっていない。そこで、複数の計測法によってブレードの振動特性を計測し、キャビテーションの発生について検証すると共に、実際の生体におけるキャビテーション作用と熱作用の関係について検証実験を行なった。

BT2010-11 音響放射力を用いた光コヒーレンスエラストグラフィ

井砂亮一, 中村健太郎 (東京工業大学精密工学研究所)

ミクロンオーダーの空間分解能の断層像測定法である光コヒーレンストモグラフィ (OCT) による弾性率イメージング法について検討を行なった。集束型圧電振動子を用いて測定試料に音響放射力を加え、その挙動を OCT により測定し、応力印加前後の断層像から相関法を用いて試料内の変位・歪み分布を求める。試料を生体組織のような粘弾性体と考え、レオロジーモデルである Kelvin-Voigt モデルにおける応力印加時の歪み量の時間的な変化から粘弾性特性の導出を試みた。

BT2010-12 ウシ海綿骨梁中の局所的弾性評価

福井健二¹, 川部昌彦¹, 松川真美¹, Quentin GRIMAL², Mathilde MOUCHET², Amena SAIED², Pascal LAUGIER² (¹同志社大学超音波エレクトロニクス・応用計測研究室, ²Universit Pierre et Marie Curie-Paris 6 LIP)

ウシ海綿骨梁中の同一部位を対象に、顕微 Brillouin 散乱と超音波顕微鏡による測定を行った。顕微 Brillouin 散乱および超音波顕微鏡は空間分解能が同程度 (約 10 μm と約 8 μm) である。海綿骨中での音響インピーダンスは約 5 ~ 12 Mrayl であり、骨梁中において複雑に分布することを確認した。縦波音速は 4.75 ~ 5.11 $\times 10^3$ m/s で音響インピーダンスと同様に複雑に分布した。また、音響インピーダンスと縦波音速の間には、中程度の相関が確認された。音響インピーダンスと縦波音速の観測方向および測定周波数は異なるが、ある程度の相関がえられたことから、骨梁の弾性的性質について検討を行った。

BT2010-13 Improved transverse cross-sectional imaging of silicone-rubber tube phantom by using multi-element, spherical beam from a linear array transducer

Ponnle AKINLOLU, Hideyuki HASEGAWA, Hiroshi KANAI
(Graduate School of Engineering, Tohoku University)

[Background] Transverse cross-sectional imaging of the intima-media complex of the carotid arterial wall is difficult to obtain using conventional linear scanning. The angular width of imaged regions of the anterior and posterior walls is limited. [Principle] In this study, multi-element spherical beam from a linear array transducer was investigated both by simulations and basic silicone-rubber tube experiment. Images of a simulated reflector-tube from simulated scanning and a silicone-rubber tube phantom were reconstructed by multi-angle receive steering and focusing from multiple sequential transmissions stepped across the entire cross-section. [Results and Conclusion] B-mode images obtained by the proposed method showed improvement in lateral resolution as well as increase in angular width of imaged region of the tube's wall. This angular width increases with increase in number of transmissions.

BT2010-14 多共振型圧電振動子による超音波診断装置の開発

吉住夏輝¹, 秋山いわき¹, 斎藤繁実², 和田有司³, 小山大介³, 中村健太郎³ (¹湘南工科大学工学部, ²東海大学海洋学部, ³東京工業大学精密工学研究所)

厚さの異なる圧電素子, 整合層, バッキング層から成る多層構造とすることで, 広帯域な超音波の送受波が可能な圧電振動子について検討を行った。2 MHz に共振周波数を有する圧電素子と 6 MHz に共振周波数を有する圧電素子を同軸上に接着した振動子を試作した。振動子を広帯域な負インパルス状の波形で駆動して, 焦点付近においてハイドロフォンで音圧波形を測定した。その周波数特性には 1.5 MHz, 3.0 MHz, 4.6 MHz, 5.2 MHz, 5.9 MHz, 6.2 MHz, 7.9 MHz, 9.1 MHz にピークが現れ, これらの各周波数で超音波ビームが形成された。6.2 MHz において最大値となり, これに対して -20 dB の帯域は 1.3 MHz から 9.1 MHz であった。多周波超音波イメージングにおける多共振型圧電振動子の有効性について, 試作した振動子及びこれを組み込んだメカニカルセクタプローブを用いて各種の超音波ファントムの映像化して検討した。複数の周波数帯域において B モードの映像化を行い, 周波数コンパウンド法を適用した。その結果, 干渉性の雑音であるスペckルノイズが低減され, 多共振型圧電振動子の有効性が示された。

BT2010-15 医療応用のための貫通孔を有する超音波円形プローブ

田中雄介¹, 田中克彦¹, 来見良誠², 谷 徹², 杉山 進¹ (¹立命館大学大学院理工学研究科フロンティア理工学専攻, ²滋賀医科大学外科学講座)

本研究は超音波で体内の患部を確認しながら穿刺処置を行うた

めの超音波プローブに関する基礎研究である。中央に貫通孔を有する超音波プローブを試作し, 正面の物体の位置と貫通孔に挿入した穿刺針の位置をそれぞれ超音波のバルスエコー法と TOFD (Time of Flight Diffraction) 法を用いて観測した。生体の音響インピーダンスに近い寒天と鶏のささみを用いて予備実験を行った。また, 切除した胃癌摘出標本の一部を用いて実験を行い, 胃壁の位置と穿刺針の位置の両方を同時に確認できた。

BT2010-16 1次元ストライプアレイ構造のフォーカルブレンアレイ受波器の試作と評価

竹内康人 (鹿児島大学工学部情報工学科)

レンズ結像によるフォーカルブレンアレイをピクセル毎の実在 2 次元アレイとして実現せんとする場合, 人間の視覚に一応のイメージして訴え得る画像にしようとする, いわゆる CCD/CMOS ビデオカメラのように, 最低数千ないし数万のピクセルのイメージングプレートおよびその個々のエレメントに対応する電子装置を必要とする。ピクセル検出器の出力が初めから画素のビデオ値である所の光や放射線などの場合にはイメージングプレートを VLSI (大規模集積回路) の一種として全体を一括して製造する事は (現在では) 容易であり, 標準技術となっている。しかしながら超音波の場合はインテンシティモードでもドプラモードでも必要な電子回路はそれらより桁違いに大規模であり, 一括集積化には馴染まない面がある。そこでこれを, イメージングプレートは 1 次元縮退させて 1 次元ストライプアレイとし, これを撮像中に光軸を中心として最低半回転させていわゆるシノグラムを獲得し, これを CT アルゴリズムにより画像化する, という手法 (1) - (4) がより実施容易な代案として浮ぶ。本研究においてはこの主旨に従いピッチ 0.5 mm サイズ 25 x 25 mm の 50 エレメント 1 次元ストライプアレイ構造のフォーカルブレン受波器を試作し, その評価を行い, 所期の成果を得たので報告する。

BT2010-17 位相連続フレネルレンズとフォーカルブレンアレイによるイメージング

竹内康人 (鹿児島大学工学部情報工学科)

著者は先に位相連続フレネルレンズとその応用に関していくつかの提案および試作評価を行って来た (1) ~ (4)。撮像システムとしてはフォーカルブレンアレイによるピクセル群一括撮像を前提とし, そのための 2 次元アレイ受波器およびピクセル毎の受信機を開発している所である。この報告ではこれら開発行程の中間段階として受波器および受信機は 1 チャンネルのみとしつつこれを焦点面にて機械走査する事で時間をかけつつも最終的に実時間動画として獲得したい画面の 1 枚を得る事を試みた。全面一様照射のもとに略 1 対 1 結像にて 32 x 32 = 1024 ピクセルのフローファントムのドプラ像を得た。1 ピクセル 1 秒弱, 画像全体を獲得するのに 20 分ほどかかっているが, この悠長さはステップ移動の都度機械走査系の過渡振動の余波を避けつつデータ採取しているせいであり, ピクセル毎のデータ採取の時間 (積分時間) は 100 ms 弱である。

平成 22 年度第 2 回社団法人日本超音波医学会基礎技術研究会抄録

代 表：工藤 信樹（北海道大学）

日 時：平成 22 年 8 月 6 日（金）

会 場：北海道大学（札幌市）

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、
日本超音波医学会超音波分子診断治療研究会

BT2010-18 球面拡散ビームを用いた高速心臓断層法

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、
²東北大学大学院工学研究科）

超音波断層法は、心臓などの断層像が非侵襲かつリアルタイムに得られる大変有用な方法である。超音波断層像により、肉眼で観察できる心臓のマクロな運動や形状の異常を診断することができる。また、超音波ドプラ法により血流動態や壁運動の定量計測を行うことができるなど、超音波診断技術の果たす役割は大きい。これら従来の診断方法に加え、近年、心機能・心筋性状の評価のためには、非常に短時間（10 ms 程度）の心筋の収縮弛緩の遷移や弁の開閉などにより発生した心臓壁振動の伝搬を計測することが有用であることが分かってきており、そのためには数百 Hz 程度以上の高いフレームレートが必要である。著者らはこれまで、送信に平面波を用い、受信時にその平面波内に複数の受信集束ビームを形成することで従来のセクタ走査と同等の走査線数を少ない送信回数で実現し、超音波断層法のフレームレートを従来の数十 Hz から数百 Hz まで向上させる手法を提案している。しかし、心臓の測定の場合、狭い肋間から超音波を入射するため開口を広くとれず、平面波の幅が制限されるため、セクタ走査の範囲が 40 度程度に制限されるという問題があった。本報告では、狭い開口により広い送信ビーム幅を実現するため球面拡散ビームを用いたところ、従来のセクタ走査と同じセクタ走査範囲 90 度を高いフレームレート（316 Hz）で実現することができた。

BT2010-19 多周波超音波イメージングの生体への応用

吉住夏輝¹、秋山いわき¹、斎藤繁実²、和田有司³、小山大介³、
中村健太郎³（¹湘南工科大学工学部、²東海大学海洋学部、³東京工業大学精密工学研究所）

厚さの異なる圧電素子、整合層、バックリング層から成る多層構造とすることで、広帯域な超音波の送受波が可能な圧電振動子について検討を行っている。この振動子は 2 MHz に共振周波数を有する圧電素子と 6 MHz に共振周波数を有する圧電素子を同軸上に接着した構造を有している。試作した振動子を超音波診断装置のプロープに実装し、多周波超音波イメージングに対する有効性を検討した。プロープを広帯域な負インパルス状の波形で駆動して放射音場の周波数特性を測定した。3 MHz で最大値となり、これに対して -20 dB の帯域は 1 MHz から 11 MHz であった。この帯域において 1 MHz 間隔で超音波ビームが形成されていることを確認し、鶏（心臓）を対象に多周波超音波イメージングを行った。各周波数帯域において B モード像が得られ、これに周波数コンパウンド法を適用した結果、スペckルノイズを有効に低減できることを確認した。また、映像化の際の帯域幅について検討を行った。

BT2010-20 酸化チタンを用いた音響化学療法の効果について

立花克郎、原田慶美（福岡大学医学部解剖学講座）

音響化学療法とは、化学物質を超音波により励起させる新たな癌治療法である。今回、我々はナノ粒子である酸化チタンと超音波を併用し、メラノーマ細胞株（C32）における効果を *in vitro*、*in vivo* において検討した。C32 細胞株に酸化チタンを加え超音波照射し、その効果を評価した。さらに、C32 細胞を移植した担癌マウスにおいて、酸化チタンと超音波の併用効果を検討した。また、酸化チタンの形態的特性を、電子顕微鏡とエネルギー分散型 X 線分析装置にて評価した。我々が知る限り、この研究は *in vitro*、*in vivo* において酸化チタンと超音波を併用し殺細胞効果を認めた初めての報告である。

BT2010-21 ソノポレーションにおける細胞膜の損傷と修復のタイムラプス観察

千田裕樹、工藤信樹、清水孝一（北海道大学大学院情報科学研究科）

我々は、パルス超音波と微小気泡を用いたソノポレーションによる抗がん剤の効果増強を目指して研究を行っている。現状のソノポレーションでは薬剤の導入効果が低く、これを改善することが重要な課題とされているが、効果の高い条件を検討するには、超音波照射直後の薬剤導入の状況を調べるだけでなく、導入薬物の効果によって生じる細胞の変化を数時間から数十時間にわたって継続的に調べることも必要である。このような観察を実現するため、本研究では、長時間タイムラプス観察システムの改善を行ない、実際に抗がん剤を投与した細胞について長時間観察を行った。その結果、コントロール群では最大 20 時間程度まで細胞の劣化が起きないこと、抗がん剤投与群ではアポトーシス特有の形態変化が観察できることを確認した。

BT2010-22 パルス超音波と微小気泡によるシスプラチンの抗腫瘍効果増強の基礎的知見

佐々木東¹、中村健介¹、村上正紘¹、大田 寛¹、山崎真大¹、

工藤信樹^{1,2}、滝口満喜¹（¹北海道大学大学院獣医学研究科獣医内科学教室、²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）

パルス波超音波と微小気泡の併用によってシスプラチンの抗腫瘍効果が増強されることを明らかにする目的で、犬甲状腺癌由来細胞株を対象に微小気泡、シスプラチン存在下で超音波を照射した。微小気泡およびシスプラチン、超音波を併用すると細胞生存率は有意に低下した。さらに FITC-dextran を用いると、FITC の細胞内への導入が確認された。また、照射前に 5 分以上インキュベーションをすること、もしくは MI 値 0.51 以上の超音波照射で細胞生存率は低下した。診断用超音波と微小気泡を併用することでシスプラチンの抗腫瘍効果の増強が示された。これは超音波照射で細胞近傍の微小気泡が破裂し、細胞内にシスプラチンが導入されたためと考えられた。

BT2010-23 低強度パルス超音波による DNA 損傷

古澤之裕¹, 藤原美定¹, 趙 慶利¹, 田淵圭章², 高橋昭久³, 大西武雄³, 近藤 隆¹ (富山大学大学院医薬学研究部 (医学) 放射線基礎医学, ²富山大学生命科学先端研究センター, ³奈良県立医科大学医学部生物学)

超音波は現代医療において診断領域のみならずがん治療にも用いられている。これまでがん細胞に対して低強度のパルス超音波

を照射することにより、アポトーシスなど細胞死を誘導することが知られている。一定強度以上の超音波照射により、細胞内に塩基損傷や一本鎖切断などの DNA 損傷が起こることが過去に報告されているが、損傷の種類、損傷の誘発機構、損傷に対する細胞の応答など依然不明な点が多い。本研究では低強度パルス超音波をリンパ腫細胞株に照射した際に、核内に形成される DNA 損傷に着目して、その誘発機構の検討を行った。

平成 22 年度第 3 回社団法人日本超音波医学会基礎技術研究会抄録

代 表：住野 泰清 (東邦大学)

日 時：平成 22 年 10 月 30 日 (土)

会 場：TFT ホール (東京都江東区)

共 催：日本超音波医学会第 22 回関東甲信越地方会学術集会

BT2010-31 凝集体形成を利用した微小気泡の生体内超音波制御法の検討

榊田晃司¹, 中元隆介¹, 江田 廉¹, 渡會展之¹, 宮本義孝², 千葉敏雄³ (東京農工大学大学院生物システム応用科学府, ²名古屋大学医学部, ³国立成育医療センター)

我々はこれまで、血流中の微小気泡の動態を制御するため、直線状や Y 字分岐といった単純な形状の人工血管に進行波を作用させ、直線部での捕捉や分岐部での誘導といった制御に必要な音波のパラメータを検討してきた。しかし気泡の直径が小さくなるに従い、気泡を押し出す力である放射力が直径の 2 乗に反比例して小さくなるため、血球程度の気泡では制御効率に限界があった。そのため、気泡が凝集体を形成する条件の超音波を、制御対象箇所の上流部分で新たに照射することによって、気泡を凝集体ごと制御することに成功した。これは気泡の直径が見かけ上大きくなったことに相当する効果が得られた結果であると考えられる。写真は Y 字分岐流路において、微小気泡が凝集体を形成しつつ片方の流路へ押し出されている様子であり、同様の比較実験の結果、凝集体形成の有効性を確認した。これより、生体内で気泡を能動的に制御する際の音波の照射方法が示唆された。

BT2010-32 気泡キャビテーションにより生じるゲル流路内面の微小窪みの評価

山越芳樹, 三輪空司 (群馬大学大学院工学研究科)

微小気泡を薬液搬送媒体に用いる超音波支援のドラッグデリバリスシステムでは、強力超音波により気泡を破壊したときにできるマイクロジェット流などのキャビテーション効果を有効に活用して生体細胞内への薬液導入効率を向上させることが重要になる。我々は強力超音波を照射する直前に、気泡を破壊しないが気泡に音響放射圧を与えるような音圧を持つポンピング超音波と呼ぶ超音波を用いることで、キャビテーション効果を増強させる手法について検討してきた。この方法では気泡のダイナミクスの変化に応じて超音波の照射シーケンスを最適化していくことが重要になる。今回、音響特性と弾性が生体組織に近く光学的に透明で外部

から流路内面の様子が観察しやすい N-イソプロピルアクリルアミド (NIPA) ゲルを用いて生体模擬流路を形成し、音圧一定の条件の下で流路内の流速や気泡密度を変えてキャビテーションにより形成される微小窪みを評価したので報告する。

BT2010-33 ソノポレーションの超高速・長時間・長時間観察

工藤信樹 (北海道大学大学院情報科学研究科)

超音波造影剤として広く診断に使われている微小気泡は、治療の分野においても盛んな応用が検討されるようになってきている。超音波照射により細胞膜の透過性を一時的に向上させ、通常は入らない物質を細胞内に取り込むソノポレーションにおいても、微小気泡が効率の向上に大きく寄与することが広く知られている。しかし、微小気泡が超音波照射下でどのようなふるまいを生じているのか、そのふるまいが細胞にどのような機序で作用を与えているのか、さらには、作用を受けた細胞がどのように修復されるのかなど、未だ明らかになっていない点も多い。本発表では、ソノポレーションにおける気泡や細胞のふるまいを、観測の時間幅が大きく異なる 3 つの観察法、超高速撮影法、長時間撮影法、長時間撮影法で観察し、ソノポレーションの実際を明らかにした結果を報告する。

BT2010-34 超音波とマイクロバブルによる非侵襲治療応用

鹿仲 潔¹, 妹尾直彦¹, 西原輝幸², 岡本旭生², 一柳満久³, 鈴木 潤⁴, 宮田哲郎⁴, 高木 周², 松本洋一郎² (東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻, ²東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻, ³東京大学 IML, ⁴東京大学医学部血管外科)

我々の研究室では超音波の非侵襲治療への応用に関して研究開発を行っている。超音波による治療は、強力集束超音波 (High Intensity Focused Ultrasound, HIFU) が用いられる。HIFU は球面型の超音波振動子を用いて超音波を集束させることにより、周りの体組織に損傷を与えることなく、体内の狭い領域にエネルギーを集中させるというものである。具体例としては、超音波による発熱作用を用いる悪性腫瘍の治療、超音波と血管造影用マイクロバブルを用いた超音波遺伝子導入法、発生するキャビテーション気泡の崩壊圧を利用する結石破碎術などが挙げられる。本講演ではこれら超音波の医療応用を中心に、静脈瘤治療への応用や、本研究分野での最新のトピックスを紹介する。

平成 22 年度第 4 回社団法人日本超音波医学会基礎技術研究会抄録

代 表：長谷川英之（東北大学）

日 時：平成 22 年 12 月 10 日（金）

会 場：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

BT2010-24 時間反転波を用いる音場可視化法におけるアーチファクトの軽減

津隈和樹, 若槻尚斗, 水谷孝一（筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻）

時間反転波を用いた音響散乱体の可視化手法は、境界などからの反射波を有効に利用できるため、特に反射する境界で囲まれた空間での可視化に有効である。時間反転波は音源から発せられた音波を逆にたどるという観点から、逆伝搬において音源の位置に集束したあと消滅すべきものであるが、実際には逆伝搬の計算において音源位置を通り越して伝搬し、それが可視化像におけるアーチファクトの原因となる。本報告では、波動逆伝搬において音源位置に集束した音波を消滅させることによりアーチファクトを軽減する手法を考案し、それを音響散乱体の可視化に応用した。また、数値シミュレーションによりその有効性を確認した。

BT2010-25 物体の表面振動速度計測による空中におけるイメージングの一方法

今野和彦, 佐藤博仁（秋田大学大学院工学資源学研究所電気電子工学専攻）

圧電振動子をパルス波を用いて定電圧駆動した場合に振動面に同位相同振幅の平面振動（直接波の発生）が発生することを用いて、振動面に置いた物体の表面振動速度をレーザドップラ振動計による振動速度差の検出によって空気中における物体の新しいイメージング法を提案している。映像化の原理を説明するために伝送線路を用いた電氣的等価回路による解析および実験により駆動電圧パルス波形と相似な振動速度出力波形が得られることを示した。次に、物体と圧電振動子の音響放射面との振動速度の差を検出することで、対象物にある文字のイメージングを行った。その結果、本手法が非接触かつ空気中におけるイメージングに有用である可能性があることを示した。

BT2010-26 心筋の厚み変化速度の三次元分布の可視化に関するパラメータの検討

渡辺博文¹, 金井 浩², 長谷川英之^{1,2}（¹東北大学大学院医学工学研究科医学工学専攻, ²東北大学大学院工学研究科電子工学専攻）

近年、心筋の厚み変化速度計測に関する研究や超音波による心臓の三次元可視化についての研究が進んでいる。そこで、本研究では心臓壁心筋の収縮の伝搬過程を三次元的に確認するため、超音波ビーム方向の心臓壁厚み変化速度の三次元分布の経時変化を算出した。その中で、三次元計測におけるパラメータであるスライス方向に機械的走査を行う際の断面間角度について検討した。本報告では、心臓の中で収縮能が最も高い左心室について高時間分解能（フレームレート 600 Hz（時間分解能 1.7 ms））で深さ方向の厚み変化速度の三次元分布計測を行った。その結果、心筋厚み変化速度の三次元分布の経時変化から心筋の収縮・弛緩の伝搬が確認できる可能性を示した。

BT2010-27 RFA 治療のための US-CT 像の非線形形成表示法の提案

藤生賢士朗¹, 前佛聡樹², 山口 匡²（¹千葉大学大学院融合科学研究科, ²千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター）

肝臓の治療法として超音波画像ガイド下での RFA 治療が注目されている。その際に術前に取得した CT データ等を参照画像として表示し、治療の支援をするシステムが開発され商用化されている。しかし、このシステムでは撮影時の体位の違い等による臓器の変形は考慮されていない。そこで我々は参照画像を術中の超音波画像に対して非線形位置合わせをすることで、治療時の臓器形状に合わせるような変形をし、術者に提示する手法を提案する。本報告では、その基礎検討として RFA 治療前後に撮影した 2 つの CT データを用いて非線形位置合わせの有効性を確認した。

BT2010-28 ドブラ・自己相関方式胎児心拍数計の使用の期待に反する動作およびそれに由来する意図せざる誤診の可能性について

竹内康人（無所属）

ドブラ・自己相関方式の胎児監視装置はドブラ探触子の有感領域を太く取った設計と併せてとりあえず誰がやっても産婦のおなかのしかるべき近辺に探触子をつけて放っておけば連続と胎児心拍数図が描かれるので斯界のデファクトスタンダードとなつて久しいが、普段は見え難い色々な盲点もある。本発表ではその使用者の期待に反する動作およびそれに由来する意図せざる誤診の可能性についてハイポセシス、シミュレーションおよび実信号自験例にもとづき復習・解説し、また啓蒙不足を注意喚起する。

BT2010-29 画像差分シュリーレン法による高周波超音波音場の顕微鏡観察

三本松美明, 工藤信樹, 清水孝一（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、CCD カメラで撮影した画像を計算機上で処理することによりシュリーレン光学系と同等の処理を実現する画像差分シュリーレン法を提案し、その有用性に関する検討を行ってきた。この手法は簡便な構成であり、種々の光学系に組み込みが可能と考えられる。本研究では、画像差分シュリーレン法を倒立型顕微鏡に組み込んだシステムを開発し、血管内超音波法（IVUS）に用いられる 14 MHz の小型高周波振動子と、50 MHz の平面型振動子のパルス音場を可視化した。その結果、微弱で周波数の高い超音波音場の可視化が可能となり、対物レンズ×4、×10 を用いた場合の空間分解能はそれぞれ 2.5 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 、0.93 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ に、時間分解能は 1.7 ns、0.67 ns に向上した。以上の結果より、超音波計測の標準であるメンブレンハイドロホン法でも計測が困難な微弱かつ微細な超音波音場の可視化に対し、本手法が有用な手法であることが示された。

**BT2010-30 超音波感受性リポソーム（バブルリポソーム）と
超音波照射の併用によるがん温熱治療における免疫系の関与**

鈴木 亮, 光嶋里茶, 小田雄介, 平田圭一, 野村鉄也,
宇都口直樹, 丸山一雄 (帝京大学薬学部生物薬剤学教室)

これまでに我々は超音波感受性リポソーム（バブルリポソーム（BL））を開発し、超音波照射との併用で生じるマイクロジェット流や発熱を利用した超音波がん温熱療法について検討してきた。

この両方において、生体内では傷害されたがん細胞を処理するために免疫系が活性化され、この免疫系活性化が抗腫瘍効果において重要な役割を担っていると考えられる。そこで、本療法に対する免疫系の関与を検討した。細胞障害性 T 細胞（CTL）枯渇マウスを用い本療法によるがん治療効果を検討したところ、その治療効果が消失した。このことから、バブルリポソームの圧壊による物理的な障害に続いて起こる免疫系活性化が本療法のがん治療効果に重要であることが示唆された。