

一般社団法人日本超音波医学会平成 26 年度基礎技術研究会抄録

代表：竹内真一（桐蔭横浜大学医用工学部臨床工学科）

第 1 回

日時：平成 26 年 5 月 11 日（日）

会場：パシフィコ横浜（横浜市）

日本超音波医学会第 87 回学術集会における第 1 回光超音波研究会と共同企画の為、「超音波医学」41 巻 Supplement 号に掲載されていますので、ご参照下さい。

第 2 回

日時：平成 26 年 6 月 23 日（月）

会場：首都大学東京南大沢キャンパス（東京都八王子市）

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

BT2014-09 時間領域音響計測における超解像手法の検討—SCM アルゴリズムに基づく高分解能な空中音響計測システム—

山田友佳里，大久保寛，田川憲男（首都大学東京大学院システムデザイン研究科）

空中音響センシングでは、エコー信号の Time-of-Flight を処理することで対象物までの距離を計測し、またそれらを 2 次元にスキャンすることで画像化を行う。一般には送信信号のパルス幅が狭いほど空間分解能が高くなり、高精細な画像化が可能となる。したがって、搬送波の周波数としては、原理的には周波数が高ければ高いほど、高精細な計測が可能となる。しかし、一方で空中でのセンシングにおいては、周波数が高いと空気中での減衰が大きくなり、エコー信号が受信分解能以下となり、SN 比が小さくなり測定できる距離が短くなるという可能性が指摘される。送信する音圧を上げることで SN 比は向上するが、音圧を大きくしすぎるとスピーカが壊れやすくなり、また、画像化の対象によっては送信ピーク音圧が制限される場合があるため、一定値以上音圧を上げることができないこともある。そこで本論文では、空中音響センシングにおける距離分解能向上のための高分解能推定法として、可聴域音波と SCM 法（MUSIC 法）アルゴリズムを組み合わせた手法を提案し、その評価を行なった結果を報告する。

BT2014-10 不均一グリッドを用いた CIP-MOC 法による音響数値シミュレーション

松村勇汰¹，大久保寛¹，土屋隆生²，田川憲男¹，石塚 崇³（¹首都大学東京大学院システムデザイン研究科，²同志社大学理工学部，³清水建設株式会社技術研究所）

CIP 法は特性曲線法の 1 つであり、数値分散が発生しにくい計算手法として知られている。この手法の特徴として、波動の伝搬を計算する際に、グリッド上にある音圧および粒子速度とともにその空間微分値を利用する点が挙げられる。一方、CIP 法では計算領域が大きくなる場合や複雑な計算モデルだとメモリの使用量や計算時間などが膨大になり、多くの計算コストが必要になる。そこで、このようなモデルを計算する場合には複雑な計算モデルの周囲は小さいグリッドで計算し、均一な領域は大きいグリッドで計算することでメモリの削減や計算時間の短縮が可能となる。これまで我々は、使用メモリと計算時間の低減を目的に、サブグリッド・テクニクを用いた CIP 法を提案してきているが、サ

ブグリッドを CIP 法で用いる場合、異なるグリッド間の境界での直交方向微分の取扱いが難しく、その実装はかなり複雑になる。そこで本研究では、2 次元の計算領域において、これまで均一グリッドのみに対して適用を行っていた PML を不均一グリッドを用いた特性曲線法と組み合わせる方法をあわせて検討している。

BT2014-11 強力集束超音波（HIFU）治療のモニター用イメージングにおける強力超音波成分除去

高木 亮¹，松浦景子¹，岩崎亮祐¹，吉澤 晋²，梅村晋一郎¹（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通信工学専攻）

低侵襲ながん治療法の一つである強力集束超音波（HIFU）治療のリアルタイム治療モニタリングにおいて、従来は HIFU 成分との干渉を避けるため、HIFU 照射を一時的に止めて、組織内部の変化の様子を捕えている。しかしながら、その方法では組織の 1 ms スケールの変化をモニタリングできない。そこで本研究では、B-mode 画像構成前の生受信データを取得し、そのデータから HIFU 成分のみをカットすることにより、治療中のモニター用インターバルを設けずに HIFU 成分のみを除去した B-mode 画像を取得する方法について検討を行った。その結果、HIFU 成分のみを除去した B-mode 画像が得られ、治療に伴う組織変化の様子を鮮明に確認することができた。

BT2014-12 穿刺用超音波リニアアレイ探触子による穿刺の画像化

田中雄介¹，大平克己¹，小倉幸夫¹，田中克彦²，塩見尚礼³，来見良誠³，谷 徹³（¹ジャパンプローブ株式会社研究開発センター，²立命館大学総合科学技術研究機構，³滋賀医科大学外科学講座）

前方の患部と針先端位置を同時に画像化しながら穿刺するため、小型の 128 ch リニアアレイ探触子を開発し穿刺の画像化を行った。血管ファントムに穿刺し、血管壁と針先端を同時に観測した。動物実験においてイヌ大腿に穿刺し、動脈や静脈、針先端をそれぞれ観測した。また血管に対して斜めに穿刺するために傾斜穿刺用スぺーサを開発し、イヌに対して穿刺を行った。さらに穿刺針用ガイドスリーブ、スリーブ固定用アタッチメントを開発した。アタッチメントを滅菌カバーの上から装着し、動物実験において滅菌カバーに穴を開けずに穿刺を行い、良好な穿刺操作性を確認した。

BT2014-13 スライス方向分解能を考慮したテクスチャ解析による肝組織性状定量化の試み

磯野 洋，平田慎之介，蜂屋弘之（東京工業大学理工学研究科機械制御システム専攻）

超音波画像を用いて非侵襲的に肝組織性状の定量化を行う手段として、テクスチャ解析の一種である同時生起行列に注目している。肝炎により線維化が進行した肝臓の B モード画像のテクスチャには、結節や線維組織といった組織構造の情報が含まれるため、画像から得られる同時生起行列からテクスチャ特徴量を算出することにより、肝病変情報を定量的に抽出できることが期待される。テクスチャ解析の基となる B モード画像においては、エコー

信号の送受信の際にプローブが形成する三次元的な超音波ビーム形状の影響を受けることがわかっている。本報告では特に画像のコントラスト分解能に寄与するスライス方向の超音波ビーム厚に着目し、超音波画像シミュレーションを用いて画像のテクスチャ特微量と超音波ビームのスライス方向分解能の関係を定量的に調べた結果を報告する。

BT2014-14 脈波の反射波成分を用いた動脈硬化簡易検査手法の研究 - 頸動脈分岐前後の波形解析の検討 -

小田原拓也¹、松川真美¹、齊藤雅史²、浅田隆昭² (同志社大学、²村田製作所)

動脈硬化症の簡易検査手法として脈波による評価法がある。脈波は入射波と反射波から構成される。反射波は入射波に比べて伝搬距離が長いので、血管の粘弾性の影響を受ける。そこで、我々はこれまで反射波による血管の硬さ評価法を提案し、左総頸動脈における反射波の最大振幅値と被験者の年齢の相関を確認した。しかし、左総頸動脈は頭側にかけて、左外頸動脈と左内頸動脈に分岐する。そこで、本報告ではこの分岐前後の左総頸動脈と左内頸動脈において脈波と血流速度波形を測定し、反射波の検討を行った。その結果、脈波と血流速度波形には違いが見られたが、反射波の最大振幅値は同様な傾向を示した。

BT2014-15 超音波による生体組織の単位体積あたりの熱容量の測定

清水冠太郎¹、村上真一²、渡辺好章¹、秋山いわき¹ (同志社大学生命医科学部、²同志社大学理工学部)

我々は生体組織の単位体積あたりの熱容量に着目した超音波による組織性診断を目指している。一般的にガン細胞は正常細胞と比べ、エネルギー吸収時の熱の発生量が多く、単位体積あたりの熱容量には臨床診断に有用な情報が含まれると考えられる。本研究では、超音波を生体組織に照射し、音響エネルギーの吸収減衰によって生じた熱の生成量から、単位体積あたりの熱容量を算出する手法を提案し、その有用性をファントム実験によって検討した。

BT2014-16 非線形伝搬によって生じる高調波成分の位相観察

田邊将之、田代康太、西本昌彦 (熊本大学大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻)

医用超音波画像において、非線形伝搬で生じる高調波成分を利用して生体内部を高精密可視化する Tissue Harmonic Imaging (THI) や、非線形パラメータによる組織識別手法などが登場して久しい。本研究では、水中およびエチルアルコール中にチャープ信号を伝搬させ、直達波の基本波および高調波成分を解析したところ、高調波と基本波の位相成分にずれが確認された。また、この位相ずれは伝搬距離や伝搬物質の非線形性によって変化することが示唆された。

BT2014-17 ゼルゲル複合体による超音波トランスデューサの開発

小林牧子、井上拓男、木本圭祐、田邊将之 (熊本大学大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻)

生体組織の高精密画像化を目的とした、ゼルゲル複合体によるシンプルな高周波広帯域超音波トランスデューサを作製したので報告する。ゼルゲル複合体は圧電膜中の微細な空孔の存在により、音響インピーダンスが低下すること、バックリング材を用いずに広帯域特性が得られることが特徴である。通常の PZT バルク粉体と粒径が小さい PZT ゼルゲル溶液由来の圧電粉体を用いた結果、それぞれ平均膜厚約 8 μm および 2 μm の多孔性薄膜を厚

さ 3 mm のチタン基板上に作製することに成功した。パルスエコーモードによる超音波測定を行い、第 1 反射波の FFT を行ったところ、平均膜厚約 8 μm のサンプルにおいて中心周波数約 50 MHz という結果が得られた。

第 3 回

日時：平成 26 年 8 月 1 日 (金)

会場：北海道大学大学院情報科学研究科棟 (札幌市)

共催：第 1 回超音波分子診断治療研究会、第 2 回光超音波画像研究会、日本音響学会アコースティックイメージング研究会

BT2014-18 低出力超音波パルスに応答する遺伝子と遺伝子ネットワーク

田淵圭章¹、工藤信樹³、近藤 隆² (富山大学生命科学先端研究センター、²富山大学大学院医学薬学研究部、³北海道大学大学院情報科学研究科)

超音波は、医療現場において診断や治療に広く使用されている。低出力超音波パルス (LIPUS) に対する細胞応答の分子メカニズムを明らかにする目的で、我々はヒトリンパ腫 U937 細胞に対して 300 mW/cm² の LIPUS を 1 分間、マウス前骨芽 MC3T3-E1 細胞に対して 30 mW/cm² の LIPUS を 20 分間照射し、両細胞における遺伝子発現プロファイルを調べた。また、バイオインフォマティクス解析により各々の細胞において LIPUS に応答する遺伝子と遺伝子ネットワークが明らかとなった。これらの成績は、細胞における LIPUS 応答の生体分子メカニズムに新しい洞察を与える。

BT2014-19 空間領域干渉計法と適応型信号処理を用いた超音波頭蓋内血流速度推定法の基礎検討

奥村成皓¹、喜田亜矢²、瀧 宏文¹、佐藤 亨¹ (京都大学大学院情報学専攻通信情報システム専攻、²坂井瑠実クリニック)

経頭蓋骨超音波ドップラー法 (TCD) は、くも膜下出血の予後管理において重要であるが、頭蓋骨からの強い反射波が混入し、その精度は低い。そこで本研究では空間領域干渉計法と Capon 法を適用し、頭蓋骨からの妨害波を抑圧する。TCD では測定対象が近傍界に存在し、高時間分解能が要求されるため、焦点形成による近傍界での Capon 法適用方法、相関行列の距離-時間方向平均による時間分解能改善方法を提案する。簡易シミュレーションの結果、距離分解能 5.8 mm、時間分解能 0.8 ms、妨害波電力と所望波電力の比が 50 dB 以下の場合で平均推定誤差が 0.1 m/s 以下となった。

BT2014-20 受動励振による組織粘弾性評価の実験的検討

小江啓介¹、近藤健悟²、山川 誠³、椎名 毅¹ (京都大学大学院医学研究科、²京都大学学際融合教育研究推進センター、³京都大学先端工学研究ユニット)

癌や肝硬変における線維化、動脈硬化症などの疾患は、組織弾性率、粘性率の変化を伴う。これらの変化を可視化できれば、疾病の早期診断や、病巣の進展範囲の鑑別の利用が期待できる。現在利用されている組織弾性のイメージング法に、加振器や音響放射圧により剪断波を発生させ、その伝搬速度を計測して弾性の分布を可視化する「動的手法」がある。これに対して、本研究では、生体内の拍動などによる肝臓の低周波振動から shear wave の成分を抽出し、組織粘弾性のイメージングを行う "Passive Elastography 法" を検討した。本研究では、生体組織を模したファントムに対し、手動的にランダムに発生させた shear wave からファントム

の粘弾性の測定を行い、Passive Elastography の実用化に向けた基礎的検討を行う。

BT2014-21 ドブラ外測ウロダイナミクス計測システムの実用評価について

松本成史, 竹内康人, 柿崎秀宏 (旭川医科大学医学部腎泌尿器外科学講座)

我々はこの所 40 KHz 空中超音波 CW ドブラシステムによる外測ウロダイナミクス計測システムの開発を進め、臨床実用化に近い段階にある(1)。一方、外測ウロダイナミクスはマイクロ波ドブラシステムによっても可能(2)(3)であり、さらにまた最近はそのビデオカメラによる動画像ビデオ計測によっても可能で、ある旨の提案もある(4)。しかしながらいずれの外測ウロダイナミクスシステムにおいても尿その物に接触的に計測しないため、臨床に必要となる量的計測はいくつかの前提条件の許に推定値を導出する間接計測とならざるを得ない。また多人数のサンプルによる臨床評価ないし前臨床評価もまだ課題として残っている。本研究においては我々の CW ドブラ方式におけるマイクロ波と超音波の2つの計測方法への取り組みと、ファントムおよび実際の排尿の観測による実用評価の取り組み、および現段階での中間結論について報告する。

BT2014-22 培養足場層の硬さが微小気泡のふるまいとソノポレーション効果に与える影響

工藤 光, 工藤信樹 (北海道大学大学院情報科学研究科)

我々は、生体組織に近い硬さを持つ足場層上に培養した細胞において、ソノポレーション効率が著しく低下することを報告してきた。その原因の一つとして、超音波照射下で微小気泡の生じるふるまいが細胞培養足場層の硬さによって異なることが挙げられる。そこで本研究では、硬さの異なる2つの足場層を用いて、その近傍の気泡が超音波照射下で生じるふるまいの違いを高速度撮影し、細胞膜に生じる損傷を蛍光観察によって調べた結果と比較した。その結果、柔軟な足場層近傍では微小気泡が超音波照射によって膨張・収縮を繰り返しながら瞬時的に離れていくことが確認され、細胞膜損傷の発生する頻度が低下することが確認された。このことより、生体内におけるソノポレーション効率を向上させるためには気泡運動を考慮に入れた超音波照射条件や気泡の付着条件の考案が重要であることが示された。

BT2014-23 超音波イメージングにおけるログステップマルチキャリア波システム時刻偏移の利用と解消法

前田泰成¹, 杉本雅則², 橋爪宏達¹ (¹国立情報学研究所, ²北海道大学大学院情報科学研究科)

著者らは空中超音波を用いたイメージングにおいて、乗法相乗性を持つログステップマルチキャリア波を提案し、これを用いたドップラー解析法を研究してきた。これまでに複数の参照波との相互相関ピーク比を主に用いたドップラー量推定方法を提案し、この方法が優れた性能を持つことを示した。このたび、同波の持つ特徴の一つであるシステム時刻偏移を利用したドップラー量解析法を確立した。この方法が特に高ノイズ環境において有効であることをシミュレーションにより示す。

BT2014-24 音響放射力インパルス照射下のウサギ肝臓及び大腿骨上における温度上昇の in vivo 測定

新田尚隆¹, 石黒保直², 笹沼英紀², 谷口信行³, 秋山いわか⁴ (¹(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, ²自治医科大学消化器・一般外科, ³自治医科大学臨床検査医学, ⁴同志社大学生命医科学部医情報学科)

近年、超音波診断で音響放射力の利用が進む一方、生体への影響についても関心が高まっている。本研究では、以前開発した動物実験用の温度測定システムを用い、音響放射力インパルス照射下で、ウサギ肝臓内及び大腿骨上に設定した焦点域での温度上昇を in vivo 測定した。肝臓では超音波造影剤を併用した場合の温度上昇も測定した。

BT2014-25 金ナノ粒子を用いた光音響信号増強に関する基礎的検討

石原美弥¹, 平沢 壮¹, 佐藤良太², 大川晋平¹, 寺西利治² (¹防衛医科大学校医用工学講座, ²京都大学化学研究所)

光音響イメージング(光超音波イメージング)は、光を照射した際に光吸収体で発生する超音波を用いて画像化する原理に基づく断層画像である。超音波で検出するため光散乱などによる減衰の影響がなく深部の画像化が可能である特徴を持つ。さらに、励起波長を複数にするマルチスペクトル化により複数の撮像対象を画像化できるため、蛍光イメージングなどで先行している特定の分子を標的とするイメージングプローブの手法が光音響イメージングに活用され始めている。吸収断面積の大きい金ナノ粒子を用いることが有効である。様々な金ナノ粒子を用いて光音響信号増強効果を検討した。

第4回

日時:平成26年10月18日(土)

会場:ビッグサイトTFTホール(東京都江東区)

共催:第26回関東甲信越地方学会学術集会和共催の為、「超音波医学」42巻2号(p225)に掲載されていますので、ご参照下さい。

第5回

日時:平成26年12月12日(金)

会場:産業技術総合研究所つくば中央第3(つくば市)

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

BT2014-31 産総研計量標準総合センター(NMIJ)における音響・超音波標準の開発と供給

吉岡正裕, 高橋弘宜, 松田洋一, 内田武吉, 山田桂輔, 堀内竜三(独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門音響振動科音響超音波標準研究室)

産総研(AIST)計量標準総合センター(NMIJ)において開発している音響・超音波標準と、その供給に関する活動について報告する。音響標準では、定量的な騒音の評価などで重要な役割を担っているコンデンサマイクロホンの感度や基準音源が放射する音響パワーを校正するための技術開発を行っている。超音波標準では、医用超音波機器の性能、安全性評価のための超音波音場計測技術の研究と、その計測に資する超音波パワー、ハイドロホン感度、超音波音場パラメータ校正システムの開発を行っている。また、諸外国の音響・超音波標準との同等性を相互に承認するための国際比較やピアレビューに参加している。

BT2014-32 パルス超音波を用いたソノポレーションにおける2気泡間相互作用を用いた細胞損傷の制御

工藤祐也, 工藤信樹 (北海道大学大学院情報科学研究科)

我々は, パルス超音波照射下で生じる微小気泡のふるまいにより細胞膜の透過性を一時的に向上させ, 細胞内に遺伝子や薬剤を導入するソノポレーションについて検討している. 我々はこれまでの検討において, 微小気泡の非等方的収縮に伴って発生する水流が膜損傷を引き起こすことを明らかにし, 近接する2つの気泡が存在する場合には, 気泡間の相互作用により安定な水流の発生と, それによる導入効果の向上が期待できることを報告してきた. そこで本研究では, 1つもしくは2つの気泡を細胞近傍に配置した条件でソノポレーションを行い, 超音波照射下の気泡のふるまいが細胞の損傷へ与える作用を高速度観察した. 実験の結果, 1つの気泡を用いた場合には, 超音波の波数による気泡の分裂の制御が難しく, 細胞への作用は全か無かの傾向を示した. これに対し, 2つの気泡を近接して配置した場合には, より短い波数で安定に微小な流れを発生させることができ, 細胞に再現性良く修復可能な膜損傷を与えられることを確認した.

BT2014-33 高速フーリエビームフォーミングの波数マッチングにおいて補間近似を要さない平面波やフォーカシングビームのステアリング

炭 親良 (上智大学理工学部情報理工学科)

高速フーリエ変換を用いた補間近似を要さない高速エコーデータの生成方法に関する本研究において, 他のフーリエ変換を用いる方法とは異なり, 波数マッチング等において補間近似を要せずに, 任意のビームフォーミング時において, 高速且つ高精度に任意直交座標系にてエコーデータを生成できる方法を開発し, シミュレーションと実験を通じて実行可能性を報告してきた. リニアアコンベックス, セクタスキャン, IVUS等の任意のトランスデューサを使用できる. ステアリングした平面波や円形波, 円筒波, 球面波等を送波した場合, モノスタティックとマルチスタティックの開口面合成を行った場合, 固定フォーカシング送信を行った場合等を報告している. 本稿では, 送信と受信のステアリ

ング角度が異なる場合や, 物理的にステアリング送信した場合において, ソフト的にステアリング送信を加えて受信ステアリングを行うことについて報告する.

BT2014-34 リニアアレイプローブを用いた生体観察時の散乱体サイズ・密度分布推定

大栗拓真¹, 田村和輝¹, 吉田憲司², Mamou Jonathan³, 丸山紀史⁴, 蜂屋弘之⁵, 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医工学センター, ³Riverside Research Lizzi Center for Biomedical Engineering, ⁴千葉大学大学院医学研究院消化器・腎臓内科学, ⁵東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻)

これまでに, 病変組織の定量評価を目的とし, 凹面単一振動子を用いて生体組織から取得したRF信号より散乱体サイズ・密度を推定した例が報告されている. しかし, 超音波診断装置を用いて得られた推定結果に対しては, 送受信音波の使用可能な周波数帯域が狭いことや形成される音場が複雑であることなどの理由により十分な議論がなされていない. そこで本研究では, リニアアレイプローブを用いてガラスビーズファントムから取得したRF信号より, プローブによって形成される音場を考慮した手法を用いて散乱体サイズ・密度の推定を試み, 凹面単一振動子での推定結果と比較した. また, 摘出したブタ肝臓を対象としても同様に検討を行った.

BT2014-35 超音波による体積熱容量の測定

清水冠太郎, 杉山真璃子, 渡辺好章, 秋山いわき, (同志社大学生命医科学部)

本研究では生体組織の単位体積当たりの熱容量 (体積熱容量) に着目した超音波による組織性状診断を目指している. 一般的にガン細胞は正常細胞と比べ, エネルギー吸収時の熱の発生量が多く, 体積熱容量には臨床診断に有用な情報が含まれると考えられる. 本研究では, 超音波を生体組織に照射し, 音響エネルギーの吸収減衰によって生じた熱の生成量から, 体積熱容量を算出する手法を提案し, その有用性をひまし油を測定対象とした実験によって検討した.