

代表：山口匡（千葉大学）

## 第1回

日時：令和6年6月28日（金）

会場：石川県政記念 しいのき迎賓館

共催：電子情報通信学会 超音波研究会・日本音響学会 北陸支部・千葉大学 マルチスケール QUS 研究会・日本音響学会 超音波研究委員会・IEEE UFFC Society Japan chapter

### BT2024-01

黒色ゴムを接着した樹脂球殻に発生させたレーザ誘起ガイド波の評価

西田 蒼・會澤康治（金沢工大）

我々は高強度パルスレーザ照射で発生させた強いガイド波の経皮薬剤導入への応用に興味がある。本研究では強いガイド波の発生には球殻を用いたガイド波の干渉と重ね合わせを利用する。しかし、黒色樹脂球殻にナノ秒パルスレーザを照射すると照射部の白化によって測定信号にばらつきが見られた。本報告では、照射部の白化を防ぐため黒色ゴム板を接着した樹脂球殻にパルスレーザを照射して発生したガイド波を検出し解析した。発生したガイド波は、周波数に対する速度の変化（分散曲線）から、ラム波 A0 モードの特徴を持っていた。

### BT2024-02

矩形波電圧が超音波液晶光学レンズに与える影響

水野稜山・黒田悠真（同志社大）・江本顕雄（徳島大）・松川真美・小山大介（同志社大）

一般的な光学レンズは単一の焦点を持ち、撮像時に遠近様々な場所で焦点を合わせるために複数枚のレンズと機械的機構を用いた組み合わせレンズが用いられている。しかしこの構造では焦点合わせの応答速度が十分ではなくモジュール全体が大型化してしまう。

そのため、電氣的に焦点距離を制御可能なレンズは、より小型かつ高速撮像可能なカメラの発展に寄与できる。これまでに我々は、音響放射力によってネマティック液晶の配向を制御する技術を用いて、2枚の円形ガラス基板間に形成した液晶層と圧電超音波振動子から成る超音波可変焦点レンズを開発した。本レンズでは液晶が持つ高い流動性と光学異方性を利用することにより、超音波振動によって液晶分子の配向を変化させ、レンズの光学的屈折率分布を制御できる。本報告では、超音波液晶光学レンズを作製し、レンズに共振周波数の正弦波および矩形波を印加し、それぞれの振動速度分布と光学特性を比較することによって印加電圧波形がレンズの光学特性に与える影響を評価した。その結果として、正弦波駆動と比較して矩形波駆動時ではレンズ基板上の振動速度分布が異なるものの、レンズの光学特性にはほとんど影響を与えないことが明らかになった。正弦波駆動と同様の光学特性が得られるため、矩形波電圧によってもレンズを制御できることが示唆された。

### BT2024-03

複数の超音波音源を印加した浮き上がり火炎の持続性と音波強度との関係  
松岡和輝・白石裕之（大同大）

著者らの先行研究により、浮き上がり火炎に超音波を印加する事によって燃焼持続時間が延ばされる事が判明しており、印加周波数が高いほど、また音源数が多いほど持続性が向上する事が確認されている。本研究では各印加ケースでの音圧を新たに測定し、火炎持続性ととの影響の比較を行った。その結果、周波数の印加する台数の増加、超音波音源の設置する角度間隔が狭まることによって音圧レベルの増加が確

認できた。また、音圧レベルを増加させる事によって燃焼持続時間も増加する事が確認できた。

#### BT2024-04

3次元造影超音波における単独マイクロバブルの定位・追尾手法の基礎検討  
福地蓮太郎・吉田憲司・山口 匡・平田慎之介（千葉大）

造影超音波とは、血液中を流れるマイクロバブル（MB）から発生した非線形なエコーのみを可視化することで、血管領域を選択的に抽出する技術である。本研究では、3次元造影超音波の空間分解能を大幅に向上させるため、単独で移動するMBの定位・追尾を行う超解像イメージングの適用を検討している。超解像イメージングでは、MBの軌跡のみを描出することで、超音波の波長以下の微小血管も詳細に可視化することができる。本報告では、まず2次元アレイプローブを用いて水中に単独で存在するMBを撮像し、その中心点を定位する手法について検討を行った。続いて、水中に渦流を発生させ、MBの位置を追尾する手法について検討を行った。その後、MBの軌跡を描出する3次元超解像イメージングを行い、MBの移動速度・方向についても評価を行った。

#### BT2024-05

テンプレートマッチングを用いた光干渉断層血管撮影における血管深度推定  
岡本尚之・岡村宙輝・羽石秀昭（千葉大）

光干渉断層血管撮影（Optical Coherence Tomography Angiography: OCTA）は、3次元血管構造を非破壊で観察可能なイメージング技術である。OCTAは、眼科学において多数の疾患解析に応用されているが、抽出した血管構造下に生じるテーリングアーチファクトによって、3次元血管構造の詳細観察が困難であることが課題として挙げられる。また、3次元の血管アノテ

ーションは真値の判定が困難であり、加えて膨大な作業時間が必要となる。本研究は、3次元の血管アノテーションを必要としない、血管深度情報の推定手法を提案する。本稿では、シミュレーションデータを用いた提案手法の有効性検証について報告する。

#### BT2024-06

高周波条件下での多成分振幅包絡特性解析による基礎検証

白井麻美・張 廷楨（千葉大）・田村和輝（浜松医科大）・森 翔平（東北大）・平田慎之介・吉田憲司・山口匡（千葉大）

定量的超音波診断法の一つであるエコー信号の振幅包絡統計のうち、複数の散乱成分を弁別しての肝臓の脂肪量評価の可能性が示唆されているマルチレイヤー（MRA）モデルを用いて、代謝機能障害関連脂肪肝疾患（MASLD）を高周波条件下で超音波観察した際に生じるエコーの干渉などについて、基礎的な検証を行った。

#### BT2024-07

矩形パルス送信の応答特性を利用した超音波の高分解能化の検討

田中雄介・伊津美 隆・小倉幸夫（ジャパンプローブ）

負の矩形パルスを超音波探触子に印加すると立下りパルスと立上りパルスが印加された瞬間に負の超音波と正の超音波がそれぞれ送信される。矩形パルスの周波数は超音波探触子の周波数に合わせて印加することが通常であるが、信号の尾引きが大きい場合は波数が多くなり距離分解能が低下する。そこで矩形パルス立下り信号で発生する負の超音波の尾引き信号に立上りパルスで発生する正の超音波をぶつけることで尾引き信号を打ち消し、高分解能化を行った。今回、尾引きの長い低周波での送信時と空中超音波における高分解能化について検討した。それぞれの高分解能化とさらなる高分解能化へ

の課題について述べる。

#### BT2024-08

ローカル 5G を用いた超音波遠隔診断の検討

関根紀夫・市川 栞・懸川明貢・公門陸 (都立大)

競技選手にとって、怪我などによるスポーツ傷害の迅速な診断・治療はとても重要である。本研究では、ポータブル超音波装置による動画像を web 会議システムの利用により、遠隔で医療施設からの指示を仰げるシステムを検討した。ローカル 5G 回線環境においてアンテナからの距離を変えたことでインターネット速度は変化する。超音波映像等のリアルタイムの伝達について、インターネット通信速度が送信 50Mbps 程度を確保できれば、LAN 接続で安定した基幹病院側での受信動画像フレームレートが落ちることなく、相互に意思伝達ができることが示唆された。

#### BT2024-09

単一駆動系による有限開口超音波ベッセルビームの実現

齋藤順之介・野村英之 (電通大)

ベッセル関数状に振動を制御された音源は回折のない超音波ベッセルビームを発生する。このようなベッセルビームの発生には、通常、フェーズドアレイが用いられる。本研究は、空間配置を制御した離散音源を単一信号で駆動し、空気中にベッセル状ビームを発生させることを目的とする。提案手法を評価するために、レイリー積分によって音場を数値的に予測した。一様振動するピストン音源、空間的に連続分布するベッセル音源の音場と比較することで、ビーム特性が評価された。その結果、提案したエミッタは音軸周りかつエミッタ近傍の限られた距離において、回折の少ないベッセル状ビームを生成することが示された。

#### BT2024-10

空中超音波定在波の強度変化が浮揚液滴の挙動に与える影響

平山喬也・小山大介 (同志社大)

媒質中に発生する超音波定在波を利用することによって、波長に対して十分小さい物体を非接触で捕捉・操作することができ、本技術は電子部品や薬品などの非接触搬送に応用できる。また、従来手法では測定が困難とされていた流体の物性計測への応用も期待される。本報告では、空中超音波定在波の強度変化が浮揚液滴の挙動に与える影響について実験的に検討した。実験系は 4 つのボルト締めランジュバン型振動子付き円板と反射板で構成される。振動板・反射板間の空中の定在波比が最大となるように板間の距離を調節することにより、板間に超音波定在波を発生させて液滴を捕捉した。振動板に AM 変調信号を入力した際の浮揚液滴の挙動を高速度カメラによって撮影した。AM 変調信号によって超音波定在波の音圧振幅は変調し、浮揚液滴は信号周波数と同期して振動した。実験結果より、液体の種類により浮揚液滴の共振周波数が異なることが明らかとなった。このことから、今後本技術の物性計測への応用について検討を行う。

#### BT2024-11

VHF 帯域の強力超音波照射によって誘起される屈折率勾配中の光伝搬シミュレーション

原田裕生 (同志社大)・石河睦生 (桐蔭横浜大)・松川真美・小山大介 (同志社大)

外部刺激によって媒質の屈折率を変調させることで、光の伝搬を高速かつ可逆的に制御することができる。この光を制御する技術は、物理学から生命科学まで幅広い研究分野で新たな発見をもたらす。光学デバイスの開発に大きな役割を果たしてきた。我々の研究グループは、これまでに外部刺激として超音波に着目し、超音波の放射力を

用いた超音波光デバイスを開発してきた。そして先行研究にて、水中に高周波(VHF 帯域)・高強度(MPa オーダー)の超音波を照射した際に、巨大な屈折率勾配( $\Delta n = 10^{-2}$  オーダー)が誘起される現象を発見した。本研究では、超音波照射によって屈折率勾配が誘起された媒質中での光線追跡シミュレーション結果について報告する。先行研究にて得られた実験データに基づいて屈折率勾配モデルを作成し、オイラー・ラグランジュ方程式を用いた光線追跡シミュレーションを実施した。シミュレーション結果より、屈折率勾配に対して入射したレーザー光の軌跡の変化と実験で観測されたレーザー光の軌跡の変化は数値的に近い結果が得られた。

## 第2回

日時：令和6年8月2日(金)

会場：北海道大学大学院 情報科学研究科棟

共催：日本超音波医学会 分子治療診断研究会・レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会

### BT2024-12

超音波照射による線虫の酸化ストレス耐性獲得メカニズムに関する研究

平井三四郎, 市川寛, 秋山いわき(同志社大)

酸化ストレスの原因である活性酸素は生体内のいたるところで産生され、過剰になることで酸化ストレスを引き起こす。酸化ストレスは認知症や糖尿病のような老化関連疾患や寿命への影響に関与しており、これらを予防・延伸するためには生体の抗酸化能の向上が必要である。そこで本研究では、線虫モデルを用いて、超音波照射による線虫の寿命や抗酸化能への影響を調べた。一辺 35 mm, 周波数 2 MHz の平面型振動子から距離 70 mm の位置に培養皿を設置し、皿が浸かる高さまで常温の脱気水を注ぎ、超音波を照射した。その結果、線虫の寿命が延長し、抗酸化能が

向上することを確認した。さらに本研究では超音波照射による抗酸化能向上のメカニズムについても焦点を当てたところ、機械感受性イオンチャネルである Piezo1 が関わっていることが確認された。

### BT2024-13

超音波を用いたサルコペニア予防法の開発

～酸化ストレスの観点から～

丹羽良介, 市川寛, 秋山いわき(同志社大), 南山幸子(京都府立大)

[目的] 酸化ストレス関連疾患の一つであるサルコペニアに対し、我々は、体表の一部に超音波を照射することにより生体内抗酸化能を向上させることでサルコペニアの予防が可能であることを、動物実験モデルを用いて明らかにしてきた。この結果は、体表の一部に超音波を照射した場合に、非照射部位である遠隔の臓器に抗酸化能誘導作用が認められることを示している。本研究は、超音波照射により細胞から抗酸化能を誘導させる物質が血中に放出されると仮定し、そのメカニズムについて *in vitro* で検討した。

[方法] ヒト表皮角化細胞 (HaCaT) に超音波照射 (ISPTA=0.47 W/cm<sup>2</sup>, 10 min) 後、照射 10 分後に回収したコンディションメディウムを超音波非照射のマウス骨格筋細胞 (C2C12) に添加し、24 時間後および 48 時間後にマウス骨格筋細胞の細胞内一重項酸素消去活性および過酸化水素消去活性を測定した。さらに、各種活性酸素消去物質などを用いて、抗酸化能誘導物質の超音波照射による細胞外放出メカニズムについて検討した。

[結果] ヒト表皮角化細胞に超音波照射をした後のコンディションメディウムをマウス骨格筋細胞に添加した際、超音波照射を行っていないにもかかわらず、マウス骨格筋細胞の抗酸化能誘導作用が確認された。また、超音波照射後にコンディションメディウムを除去

した後のヒト表皮角化細胞では 24 時間後の抗酸化能誘導効果が認められなくなった。

[結論] 超音波照射により誘導される抗酸化能増強メカニズムは、超音波による直接的な刺激によるものではなく、超音波照射により細胞外へ放出される抗酸化能誘導物質によるものであることが示唆された。

#### BT2024-14

超音波を用いた生体内軟骨組織の音速測定に向けた基礎検討

新田尚隆, 鷺尾利克, 疋島啓吾 (産業技術総合研究所)

音速は、変形性膝関節症等の軟骨疾患の評価指標として非侵襲測定が期待されている。しかしながら、軟骨内には強散乱点が存在しないため、従来の手持型プローブを用いたフォーカシング法では軟骨内の音速を求めることができない。そこで本研究では、設定音速を変化させながら全開口による送信フォーカシングを行い、軟骨下骨表面から擬似的な点散乱波を発生させ、受信したチャンネルデータに対してフォーカシング法を適用する音速測定法を提案した。提案手法の実現可能性を検証するため、音速の異なる複数の軟骨ファントムを用いた実験を行った。その結果、提案手法は、音速の差異を精度よく捉えることが可能であった。

#### BT2024-15

改良型第 3 世代アンチバブルに対する超音波照射

佐々木東, 工藤信樹, 滝口満喜 (北大)

アンチバブルは、内部に液胞を含むマイクロサイズの気泡である。気泡としての特性を保ったまま、内部に薬剤を封入できる可能性を持つため、超音波と組み合わせることでドラッグデリバリーシステムになりうると考えられている。これまでの第 3 世代では超音波照射に対する応答性に改善の余地があった。今回は第 3 世代アンチバブル

の組成は変更せずに、粒子径と液胞の搭載効率を下げた改良型第 3 世代アンチバブルでの基礎検討を報告する。4 種の改良型アンチバブルのうち 1 種は超音波への応答性が著しく改善しており、発展性に期待したい。今後はドラッグデリバリーの可能性検討へと進んでいきたい。

#### BT2024-16

マルチスケール QUS 評価を目的としたポータブル POC システムの構築

長岡未唯 (千葉大), Jonathan Mamou, Cameron Hoerig (Weill Cornell Medicine), 平田慎之介, 吉田憲司, 山口匡 (千葉大)

これまで各種の生体組織の性状を超音波で定量的に評価するために、臨床レベルから超高周波帯までの超音波で同一の生体組織の物理特性を評価する検討を進めてきた。また、それらの検討の中で、複数の QUS 法や治療応用、マルチモダリティの融合検討なども行っている。QUS 法と音響特性の検討をブリッジするためには、広い周波数帯での散乱特性と音響特性をリンクする必要があるが、広範囲の周波数帯を網羅した検討が十分に行われていない状況である。また、現在あるシステムでは数十 MHz の高周波数帯と数百 MHz 以上の超高周波数帯で高感度に生体組織を計測することが困難という問題があり、さらに、今後ヒト組織を対象とした検討に応用する際には、手術室への持ち運びや複数の場所での実験を行うために、簡易かつ可搬型のシステムが必要である。そこで散乱や減衰を評価する QUS と音響特性評価を一元的に行うこと可能にすることを目的として、広範囲の周波数帯に対応可能なポータブル型の POC システムを構築した。

#### BT2024-17

機械的バースト加振せん断波ビスコエラストグラフィにおけるせん断波伝播速度の揺らぎの検証

齋藤慎一郎, 小林翔, 菅幹生, 吉田憲司, 山口匡, 平田慎之介 (千葉大)

本研究では、せん断波伝搬速度 (SWS) の周波数特性を評価できる手法の開発を目的として、任意周波数のバースト波で駆動される外部加振器を用いて生体内にせん断波を励起する機械的バースト加振せん断波ビスコエラストグラフィ (MBE-SWVE) を提案している。これまでに肝臓を模擬した粘弾性ファントムを対象として、MBE-SWVE により SWS の周波数特性評価が可能であることを確認している。しかしながら、ファントム内の粘弾性は均一であるにもかかわらず、計測した SWS に縞模様状の揺らぎが生じることも確認された。本発表では、SWS が揺らぐ原因について検討した結果を報告する。

#### BT2024-18

リンパ節腫脹モデルマウスの超音波定量解析と微細血流イメージング

大村眞朗 (富山大), 前田一伎, 小玉哲也 (東北大), 吉田憲司, 山口匡 (千葉大)

摘出や体内リンパ節を対象とした超音波定量解析において、散乱係数解析によりリンパ節のがん転移の有無を8~9割の正診率で診断できている。散乱係数解析の過程で組織の減衰補正を行うが、患者ごとのリンパ節の減衰係数を0.5 dB/cm/MHz一定と仮定し、そのばらつきを考慮できていない。本研究ではリンパ節腫脹モデルマウスにおいて、腫瘍成長に伴う減衰係数の傾向を *in vivo* で3次元的に確認するとともに、音響特性や病理構造も踏まえた組織性状の考察を行う。また、転移リンパ節の早期診断指標として、還流欠損が着目される。これまでにマイクロCTによる血管分布の3次元可視化や超音波Bモード像による還流欠損部の面積の定量評価を行っている。本研究で新たにRFデータを用いたクラッタフィルタ、動き補正、超解像イメージング処理を検討し、脈管分布の鮮鋭化や高コントラ

スト化がどの程度可能かを評価した。

#### BT2024-19

炎症性血管の進行の評価に向けた光音響信号の周波数パラメータ分布の評価  
鈴木陸, 板谷信行, 萩原嘉廣, 石井琢郎, 西條芳文 (東北大)

関節炎初期に生じる血管新生では、直径10-200  $\mu\text{m}$ 程度の微小血管が増生し、その径や長さ、本数が経時的に変化すると報告されている。我々の研究グループではアニュラアレイ光音響イメージングシステムの開発を進め、表在微小血管網の選択的かつ高精細な可視化を達成し、測定対象の径を精細に抽出することが可能となった。そこで、現在、血管径の定量評価法の確立を目的とし、受信された光音響信号の周波数解析手法を検討している。本発表では、光吸収体の径と周波数の関係について、数値シミュレーション、ファントム試験、ヒト皮膚微小血管イメージングに加え、関節炎を発症したラットを対象とし、解析された光音響信号の周波数パラメータ分布を評価することで光吸収体の径が識別できる可能性について報告する。

#### BT2024-20

下部尿路流動可視化のためのベクターフローイメージングフレームワークの開発

石井琢郎, 西條芳文 (東北大), Hassan Nahas, Billy Yiu, Alfred Yu (University of Waterloo)

下部尿路症状に関する下部尿路の機能的評価や、治療による流路性状変化のモニタリングのため、下部尿路内の流れの振る舞いの詳細な可視化が期待されている。従来のカラードプラー法を含む検査技術では、排尿中の尿道内における高速で動的かつ非周期的な流れの時空間変動を定量的に捉える事は困難であった。こうした課題を解決するため、発表者らは前立腺肥大症を有する男性下部尿路を対象流路とし、超音

波造影剤を含む生理食塩水の流れイメージングを想定した排尿流動態ベクターフローイメージングフレームワークを構築した。リニアアレイプローブを用いて異なる 2 つの送信方向に平面波ビームを交互送受信し、複数の受信ステアリング角度を用いて Tx-Rx 角度の組み合わせ毎にビームフォーミングおよびカラー Doppler データを生成した。つぎに Extended Least-squares Vector Doppler 法を用いて、エイリアシングノイズを自動補正しながら流速ベクトル場を推定した。さらに、12 角度の Multi-angle 平面波シーケンスを流れイメージング用の送受信中に間欠的に挿入して取得し、B-mode 画像を流れ情報と同時に取得した。最後に Vector Projectile Imaging 法に基づき動的かつ非周期的な下部尿路の臓器運動と排尿流動態を可視化した。本手法の有効性を可変形下部尿路模型による実験と前立腺肥大症を有する下部尿路の in vivo イメージングによって確認した。

### 第 3 回

日時：令和 6 年 10 月 5 日 (土)  
会場：有明セントラルタワーホール & カンファレンス  
第 36 回関東甲信越地方会学術集会と共催の為、「学術集会抄録集」をご参照ください。(BT2024-21~24)

### 第 4 回

日時：令和 6 年 12 月 11 日 (水)  
会場：大学コンソーシアム富山  
共催：日本超音波医学会 分子治療診断研究会・日本音響学会 北陸支部・千葉大学 マルチスケール QUS 研究会

### BT2024-25

血液粘性推定に向けた流体の速度分布形状の評価  
湊川結太，大村眞朗，長岡亮，長谷川英之 (富山大)

血液粘性は心血管系の診断に有用な指標であり、ヘマトクリットや赤血球

凝集に関係する。これまでに、超音波後方散乱法による先行研究では、赤血球凝集状態に血流流速やずり速度が関与することが示されている。本研究では超音波による血液粘性推定に向け、血流速度の分布形状を評価する。ハーゲン・ポアズイユ流れを再現した有限要素法シミュレーションを構築し、複数の流入条件で得られた速度分布形状を評価し、安定的な解析条件を検証した。さらに、赤血球凝集や血液粘性の違いが速度分布形状に及ぼす傾向について、ブタ赤血球の実測データにおいて同手法による評価を行った。

### BT2024-26

高周波超音波を用いた仔ウサギ脳の微小血管イメージングにおける動き補償効果の検討

杉浦諒 (富山大)，Magnus Cinthio，David Ley (Lund University)，大村眞朗，長岡亮，長谷川英之 (富山大)

高分解能を特徴とする高周波超音波は微小血管イメージングに適しているが、微弱なエコー信号を平均化することで特徴を抽出するため、動きの影響を受けやすい。本報告では、微小血管イメージングにおける動き補償効果の検討を行った。本研究では、Vevo F2 の UHX46 トランスデューサーを使用して、平面波伝送により仔ウサギの脳を覚醒下で計測した。本手法では、スペクトルトラッキングを使用して、2 フレーム間の相関を計算し、この相関値が最大になる変位を推定することで、動きの変位を推定する。特異値分解ベースのクラッタフィルタにより血球からのエコー信号を抽出し、パワードプラ法により微小血管を可視化した。動き補償は、画像信号をレンジ方向とラテラル方向の両方向で 5 つのブロックに分割し、それぞれの動き情報を用いて平行移動することにより動き補償を行う。その結果、微小血管をイメージングした一部の領域で振幅値が増加し、心臓の拍動や呼吸による脳位置の移動が補

償され、微小血管イメージングの精度向上が示された。

#### BT2024-27

膀胱シミュレーターを使用した膀胱内 Vector Flow Imaging の検討

佐々木東，工藤信樹，滝口満喜（北海道大）

血流の可視化法として種々の Vector Flow Imaging が超音波診断装置に実装され始めている。生体には心血管系以外にも、内部に液体を貯留し流れが生じうる臓器として膀胱がある。そこで、既存の超音波診断装置に搭載されている Vector Flow Imaging 技術が膀胱に応用できないかを探索した。膀胱内エコー観察用シミュレーター内に水、もしくは超音波造影剤を混ぜた水で流れを作り撮像を行ったところ、超音波造影剤を併用することでシミュレーターに入る流れの Vector Flow Imaging は可能だった。

#### BT2024-28

光音響イメージングによる酸素飽和度推定の課題

鈴木陸，石井琢郎，西條芳文（東北大）

光音響イメージングは、組織にレーザー光を照射し、光吸収体から生じる超音波信号を取得することで、特定の生体内物質を選択的に可視化する技術である。近年、2波長以上のレーザー光を用いることで、酸化・還元ヘモグロビンの光吸収係数の差から、微小血管の酸素飽和度を推定し、組織の非侵襲的な性状診断法としての応用が提案されている。しかし、光音響イメージングによる酸素飽和度の推定では、レーザーの出力の不安定性や組織内での強い光散乱等の影響で、推定精度に課題が多くある。本発表では、ウマ保存血液を注入した模擬血管とラット等の生体に対して、波長 532 nm と 556 nm のレーザー光で生じた光音響信号から酸素飽和度を推定し、その推定精度について議論する。

#### BT2024-29

MBE-SWVE におけるせん断波伝搬速度推定の高精度化に関する検討

齋藤慎一郎，小林翔，松田歩夢，菅幹生，吉田憲司，山口匡，平田慎之介（千葉大）

本研究では、生体内を伝搬するせん断波の速度（SWS）の周波数特性を評価できる手法の開発を目的として、機械的バースト加振せん断波ビスコエラストグラフィ（MBE-SWVE）を提案している。MBE-SWVE では、任意の周波数で駆動される圧電振動子を用いて体表面を機械的に加振することで、バースト波として励起されたせん断波の SWS を計測する。本検討では、SWS の計測精度を向上させるため、ビームステアリングによる超音波撮像と画像コンパウンドを適用した。ステアリング角度は $\pm 4^\circ$ とし、加振周波数を 30 Hz から 470 Hz まで変化させ、各周波数におけるせん断波伝搬の可視化および SWS 計測について評価を行った。評価には肝臓を模擬した高分子ゲルファントムを使用した。

#### BT2024-30

散乱体密度が音響特性評価に与える影響の基礎検討

坂口翔哉，長岡未唯，平田慎之介，吉田憲司，山口匡（千葉大）

超音波を用いて生体組織の状態を非侵襲的かつ定量的に評価するためには、細胞や構造単位での音響特性を理解することが重要である。本検討では、生体組織の総合的な散乱特性や音響特性を評価するために、均質で散乱体濃度が異なる生体模擬ファントムおよびラットの摘出肝臓を 1~15 MHz の 5 種の平面振動子で計測し、音速と減衰を評価した。均質なファントムに比して、ラット肝臓では音響特性と周波数との間に相関性が認められなかった。特に 10 MHz 超での評価結果特において高周波数域での減衰が大きく、正常肝臓のよ

うな均質な組織であっても超音波の散乱と伝搬に構造が影響を与えていることが想定される。

#### BT2024-31

マルチタスク学習を用いた血管内超音波画像による経皮的冠動脈形成術の合併症予測

○金子慧士，西毅，野村行弘，中口俊哉（千葉大）

経皮的冠動脈形成術は冠動脈の狭窄・閉塞病変を治療するカテーテル手術である。治療中に流出したプラーク内容物により末梢血管が閉塞し、血流障害をきたす合併症のリスクがある。一方、プラーク性状から合併症のリスクを評価できる可能性が示唆されており、医師は術前に発症リスクを把握することで最適な術式を選択できる。本研究では治療前に用いられる血管内超音波から病変部の血管断面画像を取得し、深層学習による合併症の発症有無を予測する。本発表では血管内超音波画像内の血管壁と内腔の領域を分割するタスクを組み合わせた学習手法を検討した。複数の異なるタスクを同時に学習するマルチタスク学習と各タスクを順に学習する逐次学習を構築し、合併症の予測精度を比較した。

#### BT2024-32

U-net ディープラーニングに基づく血流画像のコントラスト評価

王洪鵬，坂口裕基，大村眞朗，長岡亮，長谷川英之（富山大）

本研究室では、高フレームレート超音波イメージング技術を用いた血流イメージングの実験を行っている。高フレームレート血流イメージングでは、SVD（特異値分解）クラッターフィルタを用いる。SVD フィルタは、時空間特性を有する超音波素子信号を特異値分解し、時空間特異値行列と特異値対角行列に分解する。組織やノイズに対応する特異値を除去することで、血液中の微弱なエコーを効果的に可視化するこ

とが可能である。しかし、SVD フィルタの計算コストが大きいと、リアルタイムでの可視化が困難である。本研究では、SVD クラッターフィルタを教師データとして利用し、ディープラーニングネットワークを用いて同等の性能を達成することを試みた。従来の研究では、LSTM（長短期記憶）ディープラーニングネットワークを用いた。LSTM は時系列データの処理に優れており、非線形データへの適応性が高い。また、SVD フィルタと比較して、血流イメージングにおけるコントラスト強調で優れた性能を示している。しかし、LSTM は時間的特徴のみに考慮するため、空間的特徴を十分に考慮していないという制限がある。この問題を解決するために、本研究では空間的特徴抽出に優れた U-Net 畳み込みディープラーニングネットワークを用いた。U-Net は画像分割に広く応用されており、エンコーダ、デコーダ、スキップ接続で構成される。この構造により、浅い空間特徴と深い空間特徴を同時に抽出することが可能である。本研究では、高フレームレート超音波イメージング技術と U-Net ネットワークを組み合わせることで、従来の SVD フィルタと同様の性能を達成した。また、血管の流れを可視化し、関心領域のコントラストを評価した。

#### 第 5 回

日時：令和 7 年 2 月 19 日（水）

会場：東京科学大学大岡山キャンパス

共催：電子情報通信学会 超音波研究会・日本非破壊検査協会超音波部門・日本音響学会 超音波研究委員会・IEEE UFFC Society Japan chapter

#### BT2024-33

GHz 帯パルスエコー法を用いた ScAlN, GaN, PbTiO<sub>3</sub>, ZnO 圧電薄膜や金属膜の機械的品質係数 Q<sub>m</sub> 評価法

島野耀康・味田ここの・下山 航・柳谷隆彦（早大）

GHzの超音波パルスエコー法を用いた、薄膜の Intrinsic な機械的品質係数  $Q_m$  を推定する手法を提案する。本手法では基板(遅延層)上に超音波トランスデューサを作製し、基板裏に直接被測定膜を成膜する。トランスデューサで励振された音波は基板底面と被測定膜底面で反射し、両者の反射信号の差は被測定膜一往復分の音響減衰である。機械的品質係数  $Q_m$  は音響減衰  $\alpha$  が起源であり、 $Q_m = \pi f / \alpha V$  より  $Q_m$  を推定することが可能である。本手法は圧電薄膜のみならず金属膜や非晶質などの非圧電膜に対しても評価することができる点において有用である。また、共振子法とは異なり、デバイス構造の最適化を必要とせずに Intrinsic な  $Q_m$  を推定できるので、材料探索にうってつけである。本報告では実測において ScAlN、AlN、GaN、ZnO などの圧電薄膜や金属膜の  $Q_m$  を評価した。ノンドープの多結晶 AlN は 2 GHz で  $Q_m = 3800$  を示した一方で、多結晶 Sc<sub>0.4</sub>Al<sub>0.6</sub>N は  $Q_m = 1300$  となり、Sc 濃度が上昇するほど  $Q_m$  は劣化する傾向にあった。また、結晶配向性が良好なほど  $Q_m$  は向上する傾向が確認された。特にエピタキシャル Sc<sub>0.4</sub>Al<sub>0.6</sub>N の  $Q_m$  は 3600 であり、多結晶の 1300 と比べ著しく向上する結果となった。

#### BT2024-34

周期的分極反転構造の ScAlN 薄膜を用いたベタ電極での SAW 励振

松村理司・島野耀康・大野直輝・柳谷隆彦(早大)・長 康雄(東北大)

SAW フィルタは、スマートフォンを代表とする通信機器の周波数フィルタとして使われている。近年、5 GHz 以上の超高周波に対応した SAW フィルタの需要が高まっている。通常、SAW の励振には圧電基板表面に作製された楕形電極 (IDT) を使用する。SAW フィルタの高周波化の要求に答えるには、IDT の線幅を狭くしていく必要があるが、それに伴って IDT 電極の耐電力性と  $Q$  値は劣化

してしまう。本研究では、IDT ではなく、ベタ電極を用いて SAW の励振を試みた。周期的分極反転させた圧電層に対して、ベタ電極を用いて基板表面に垂直な方向の電界を印加することで SAW を励振する構造を提案する。有限要素法 (FEM) を用いてシミュレーションを行うことで、提案構造が SAW を励振するかどうかを確認した。また圧電層として ScAlN 薄膜を用いた場合、傾斜角度は  $40^\circ$  が最もよく、 $h/\lambda = 1.5$  の時に最大値  $K_2 = 11.9\%$  をとることがわかった。さらに  $h/\lambda$  が 0.2、0.25 の 2 種類の周期的分極反転構造を Sc<sub>0.4</sub>Al<sub>0.6</sub>N 薄膜を用いて作製した。ベタ電極を用いてインピーダンス特性を測定したところ、それぞれ 600 MHz、690 MHz 付近で SAW 励振が確認され、 $K_2$  は 8.7%、6.0% と算出された。

#### BT2024-35

音響的サブ波長整合層による広帯域超音波プローブの設計

小島 正 (超技研)

超音波  $\lambda/4$  音響整合法における最適整合条件は整合層厚みが  $\lambda/4$  であることおよび整合層の音響インピーダンスが理論上指定される特定のインピーダンスを持つことである。しかし、理論上指定された特定の音響インピーダンスを持つ音響材料を得ることは非常に難しい。また、高周波になるにつれて  $\lambda/4$  層を形成することも非常に難しくなる。その解決策として、音響整合層の F-Matrix に新しく厚みパラメータ ( $k_1$ ) を導入し、音響整合層表面に凹凸を一定の範囲内 (例えば、使用周波数の波長内) で作ることにより整合層の音響インピーダンスが理論上の最適値でなくとも高感度、広帯域な送受波特性が得られることをシミュレーションと 30MHz ハイドロフォンに適用した実例で示す。

#### BT2024-36

ガイド波と多層パーセプトロンを用い

た配管減肉の推定

西野秀郎（徳島大）

本研究では、多層パーセプトロンとガイド波反射係数を用いて、配管減肉を定量的に評価する新しいアプローチを示す。この手法には2つの特徴がある。

特徴1：多周波数のガイド波を用いることにより、実際の減肉形状に幅広く対応できる。

特徴2：人工知能に必要な約30万個の学習データを数理モデルで高速計算する。実験やシミュレーションで収集する必要がない。

#### BT2024-37

コンクリート内部検査のための周波数自動可変型3D超音波フェーズドアレイ映像法

藤川裕翔（東北大）・ユーリッヒ ティモスイ（ロスアラモス国立研究所/テキサスA&M大）・レミュー マルセロ（ロスアラモス国立研究所）・小原良和（東北大）

コンクリート構造物の老朽化は世界的な課題となっており、その安全性と信頼性を確保するためには、内部欠陥の定量評価が不可欠である。しかし、多様な減衰特性を持つコンクリートに広く適用可能な非破壊検査手法は限られているのが現状である。本研究では、我々が開発している3D超音波フェーズドアレイ映像法（Piezoelectric and Laser Ultrasonic System: PLUS）を発展させ、様々な超音波減衰特性を持つ材料に対応可能な周波数自動可変型3D超音波フェーズドアレイ映像法を提案する。

#### BT2024-38

基本波振幅差分に基づく非線形超音波フェーズドアレイの補正係数に関する検討

芳川敏樹・小原良和（東北大）

非線形超音波フェーズドアレイの一種であるFAD（fundamental wave

amplitude difference）は単一のアレイ探触子により高い選択性で閉じたき裂を映像化できるポテンシャルを有するため、高い実用性が期待されているが、フェーズドアレイ装置の特性によってアーティファクトが発生する問題があった。一方、英国では選択性向上のための補正係数の導入が提案されたが、素子・周波数特性が未考慮のためアーティファクトが残存した。本研究では素子・周波数依存の補正係数を提案し、異電圧FADによる疲労き裂の映像化でその有効性を検証した。

#### BT2024-39

音響放射力による細胞凝集体の捕捉効率向上のための超音波照射条件の検討

小西康太・渡部舜也・野口彩子（東京農工大）・宮本義孝（NCCHD）・小俣大樹・鈴木 亮（帝京大）・榊田晃司（東京農工大）

近年、細胞製の人工血管の構築が注目されている。我々は、音響放射力による微小気泡と結合した細胞の流路内壁への捕捉制御技術を応用し、内皮細胞による人工血管の作製を目指している。しかし、従来の超音波照射条件では培養に適さない細胞分布となっていた。そこで本研究では、流路と音場の形状変更により、細胞の捕捉及び培養効率の向上を目的とする。

脱気水中にて流路に対して2次元アレイトランスデューサで音波を照射し、細胞捕捉と流路内培養を行った。流路は断面を幅2mm、断面積を2mm<sup>2</sup>とし、断面形状が矩形のものと底面が曲面となる円形のものを使用し、音場の長さは5, 8, 11mmとした。その結果、長さ8mm、最大音圧260kPa-ppの棒状音場において、矩形と比べ、円形での捕捉面積が約2.3倍、培養面積は約8倍増加した。一連の結果より、効率的な細胞捕捉及び培養の為の基礎的な超音波照射条件が得られた。

#### BT2024-40

超音波振動子と音響集束キャップを組合せた音響吸引ピンセットの実装 ～ 音響放射力によって発生する上昇力（揚力）の制御と音響ガジェット的设计 ～

横山裕正・大久保 寛（都立大）

ピンポン玉と漏斗を利用した空気力学的浮揚現象と同様に、超音波振動子に音響集束キャップを取り付けることで、ポリスチレン球を重力に逆らって引き寄せることが可能となる。本研究では、音響放射力によって発生する揚力を利用することで、従来の音響浮揚制御方式を刷新し、音響ガジェットをウェアラブル化することでその実用性を高める可能性を検討する。

#### BT2024-41

ヒト超音波エコー信号や組織音響特性の分離のための深層分岐学習モデルに関する研究 ～ 第1報 ～

高 一城・炭 親良（上智大学院）

我々は、医療用超音波エコー信号におけるスペキュラー信号成分とスペクトル信号成分とを抽出したり反射や散乱等の音響特性を定量的に推定するためのマルチタスク深層学習モデルを開発している。本稿で報告するモデルはオートエンコーダに基づくモデルであり我々が別に開発しているシングルタスクモデルと同様であるが、分岐型のマルチタスクモデルであることを特徴とし、信号成分や音響特性を高精度に効率的に分離できることを指向したものである。モデルパラメータを大幅に削減できる（例えば、118.5M が 95M に）。本稿では本モデルをさらに改良し、事前に訓練された ResNet-50 にてエンコーダを初期化し、さらに、SSIM (structural similarity index measure) メトリックを学習中と学習後の性能評価に用いた。また、共有損失関数を導入し、各タスクの損失の大きさの不均衡による学習能の劣化を軽減した。その結果、改良モデルは信号成分の分離と音響特性の推定において、

基本とする旧マルチタスクモデルやシングルタスクモデルを凌駕した。

#### BT2024-42

リング型超音波画像診断装置のアーチファクトのシミュレーション評価

公門 陸（都立大）・東 隆（Lily MedTech）・関根紀夫（都立大）

リング型超音波画像診断装置「COCOLY」の撮像シミュレーションをMATLAB上で作成し、撮像時の事象や撮像条件が点応答関数に与える影響を評価している。本報告では、まず素子数を減らした時に、偏った分布をする場合と、素子間隔が均等な場合の比較を通して、リニアアレイとリングアレイでの撮像の比較を行った。

#### BT2024-43

競走馬の脚皮質骨における超音波音速とBMD, HApの配向強度の関係

児玉周大（同志社大）・三田宇宙・田村周久（JRA総研）・松川真美（同志社大）

競走馬の脚部の損傷や疾病を未然に防ぐことは重要である。現在、競走馬の脚の骨診断にはX線CTなどが用いられる。CTにより骨ミネラル量（BMD）や骨の微細構造を評価できる。しかし、骨強度と関連する弾性（骨質の一つ）特性を評価することができない、測定が大掛かりで高価、X線による被曝の危険性といった問題点がある。そこで、安全かつ簡便に、弾性に関連する音速を評価できる定量的超音波法（QUS）が注目されている。QUSを競走馬の骨評価に用いるための基礎情報として、QUSから得られる情報と骨の物性の関係を把握する必要がある。そこで、本研究では競走馬脚部の密な皮質骨を伝搬した超音波の伝搬速度（SOS）とBMD、微細構造、ハイドロキシアパタイト（HAp）結晶の配向との関係を実験的に検討した。結果として、SOSはBMDとHApの配向を反映することが示唆された。

#### BT2024-44

〔招待講演〕非線形音響の現状と展望  
鎌倉友男・酒井新一（SAE）

超音波研究会とほぼ同じ頃に産声を上げ、そして現在まで発展してきた非線形音響に関する研究の小歴史を辿るとともに、その研究分野の現状と展望を紹介したい。

#### BT2024-45

〔招待講演〕弾性超音波計測における相反性の再考 ～ 送信と受信デバイスの入れ替えは妥当か ～  
中畑和之（愛媛大）・Bernd Koehler（Fraunhofer IKTS）

線形弾性理論では、応力とひずみ（外力と変形）の間で対称性を示す相反定理が知られている。静的な弾性問題だけでなく動的な問題でも成り立ち、超音波や弾性波を用いた非破壊検査も相反定理を利用した技術が提案されている。しかし、対象とする問題で相反定理が成立しているか、その適用は妥当であるかを事前に調査しておく必要がある。特に、ひずみや応力を直接測ることのできるデバイス以外を用いる場合は注意が必要である。ここでは、動弾性力学と電磁力学から相反定理を整理し、非接触デバイスを使って対象の変動を測るケースを含め、非破壊検査における相反定理の利用とその妥当性について考える。

#### BT2024-46

〔招待講演〕超音波による可変焦点光学レンズ  
小山大介（同志社大）

一般的なカメラモジュールにおいて焦点位置を調整する際は、その内部に搭載されるレンズの位置をアクチュエータを介して光軸方向に移動させる必要がある。モジュールの大型化や部品数の増加を引き起こす。本報告では、超音波の放射力を利用することによりレンズ自身の形状や屈折率を変化させ、その焦点位置を制御可能な超音波式可

変焦点光学レンズを紹介する。特に、屈折率が異なる2種の液体界面をレンズとして利用する超音波液体レンズ、透明ゲルをレンズとして用いる超音波ゲルレンズ、液晶材料をレンズとして活用する超音波液晶レンズについてこれらの動作特性を解説する。いずれの超音波式レンズにおいても、圧電振動子によってレンズに発生する共振モードと、それに伴ってレンズに作用する音響放射力を利用することによりレンズの形状や屈折率分布を変化させる。これらのレンズの焦点距離は入力電圧振幅によって制御することが可能で、機械的可動部を持たない単純構造で小型化可能な可変焦点レンズとして動作する。

#### BT2024-47

〔招待講演〕分極反転 ScAlN 薄膜を用いた高次モードBAW 薄膜共振子  
柳谷隆彦（早大）

分極反転層を用いた高次モードBAW 薄膜共振子のさまざまな利点や作製方法、現状について解説した。さらに分極反転層共振子の実現に向けて、ScAlN/AlN 多層膜からなるSMRを作製した結果について紹介した。ScAlN と AlN の抗電界差を利用することで中間電極を使わず、低抗電界の ScAlN のみを分極反転することに成功した。広く使われている数 GHz 帯において、基本モードから高次モードへの周波数スイッチングの In-situ 観測結果について報告した。

#### BT2024-48

〔招待講演〕高速超音波による血液レオロジー計測

大村眞朗（富山大）・八木邦公（金沢医科大）・長岡 亮（富山大）・吉田憲司（千葉大）・高 尚策（富山大）・山口 匡（千葉大）・長谷川英之（富山大）

赤血球凝集などの血液レオロジー特性は、超音波の後方散乱係数解析によ

って評価できる。後方散乱係数は散乱体サイズや濃度に関わる物理量であり、超音波伝搬方向の周波数応答を解析する。これまでに、高時間分解能で周波数帯域幅を拡大するために、2周波数励起を用いたデータ収集シーケンスを提案した。本報告では、従来の短パルス条件で単一励起を行った手法 (method 1) と比較し、ex vivo のブタ血液および in vivo のヒト上腕静脈での検証を行った。2周波数励起 (method 2) では、励起波の中心周波数を 7.8 MHz および 12.5 MHz で交互に励起させ、適応型のクラッタフィルタ後の RF データから参照ファントム法を用いて 2 周波の連続した散乱係数 (BSC) を算出した。構造因子サイズ推定法 (SFSE) を用い、BSC を数学モデル化し、凝集体直径パラメータ  $D$  を推定した。高分子量デキストランに懸濁したブタ血液や駆血解放後の上腕静脈において、血球凝集が想定される BSC を算出でき、method 2 では method 1 に比べて周波数帯域の向上を確認した。method 2 のパラメータ  $D$  の推定結果について、method 1 と比較して血球解離時での空間のばらつきの低下や血球凝集時の  $D$  の増加がより顕著に確認した。Method 2 の周波数応答の広帯域化かつ高 S/N な傾向から、血球解放から凝集の状態をより詳細に評価できたと考えられる。