

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12556

研究課題名(和文) 高分子MEMSトランスデューサを用いたフレキシブル超音波アレイ

研究課題名(英文) Flexible ultrasound array using polymer MEMS

研究代表者

東 隆 (Azuma, Takashi)

東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・教授

研究者番号：90421932

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高分子MEMS超音波トランスデューサ、自己形状推定ビームフォーミング、デバイスおよび超音波伝搬のシミュレーション、システム評価を検討した。このうち特に2番目の自己形状推定法の開発では、実際にジャパンプローブ製のフレキシブルトランスデューサである「曲探」を用いて、これをプログラマブルビームフォーマー(Verasonics社)に接続、実験検討を行った。In situに送信ビームを評価する手法を開発し、これを評価関数として、自己形状を推定する手法を開発し、特許出願を行った。また3次多項式で形状を推定する方法を用いて、ファントム計測によりその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, 1. Polymer MEMS ultrasonic transducer, 2. Self-shape estimation beamforming, 3. Device and ultrasonic wave propagation simulation, 4. System evaluation were researched. In particular, in the development of the self-shape estimation method of 2, "Kyoku-Tan" which is a flexible transducer made by Japan Probe was used. This probe is connected with a programmable beam former (Verasonics) which can be used as ultrasonic transmission / reception / RF data acquisition system. We developed a method to evaluate the transmitted beam in situ, developed a method to estimate the self shape using it as an evaluation function. Based on these results, a patent application was filed. We also confirmed its effectiveness by phantom measurement by using the method of estimating shape by cubic polynomial.

研究分野：医用超音波

キーワード：自己形状推定 超音波ビームフォーミング 直交関数展開

1. 研究開始当初の背景

超音波イメージングは、X線CT (Computed Tomography) MRI (Magnetic Resonance Imaging)などと並び、生体内の断層イメージを取得する方法として、広く臨床現場で用いられている。他の断層像撮像法に比べ、高速な撮像が可能であること、被曝がないこと、低価格で可搬性があることなどが特徴であり、これらの特徴を活かして、産科、循環器、腹部や体表組織などでの活用が主であり、近年では整形外科領域での利用も増えつつある。

一方で、日本の医療の状況は、少子高齢化の進展に伴い、既存の病院だけでは近い将来に医療リソース不足が深刻化することが予測され、在宅看護、在宅医療へのイノベーションへの期待が大きい。在宅現場での状況と、医療機関にいる医療スタッフ間の情報共有の手段として画像診断技術は有効な方法であると考えられる。そして超音波イメージングは可搬性、低価格、無被曝であることなどから在宅での断層像イメージング手段としての期待が大きく、看護師がエコー装置を扱うことに関して、特定業務において解禁された。

超音波イメージングは、プローブ内の素子の空間的な分布を用いて、対応する画素の位置毎に最適な伝搬時間差を定義し、取得情報の感度の空間分布を与える方法であり、プローブ内の素子形状が確定している必要がある。そのため従来のエコープローブにおいては、少なくともアレイを構成する部分においては剛体であった。在宅現場では、看護師が離れたときにも長時間の継続モニタリングが可能であると、便利なが多いが、エコープローブが剛体であるため、粘弾性体である被験者に密着させていると、被験者にストレスを与えるため、長時間モニタリングは現実的ではなかった。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、粘弾性体である被験者の体表に密着し、被検体の変形に合わせて変形するプローブを用いたエコー撮像法を開発する。特に、エコーイメージングにおいて、焦点からの信号をコヒーレントに取得するには、アレイの自己形状を知る必要がある。自己形状を推定するためのデバイスをアレイに積層すると、アレイの変形自由度が大きく損なわれ、ストレスを与えずにモニタリングするという当初の目的を実現できない。

そこで本研究では超音波の送受信により信号を解析することで、逐次の自己形状推定が可能な手法を開発することとした。

3. 研究の方法

自己形状推定方法は、形状推定精度の評価関数としての超音波ビームイメージング法と、形状推定として効率的な探索を可能とする多項式フィッティングの2つの方法で構

成される。また、評価手法として、形状が既知の型を用いて、推定された形状を評価する方法と、グラフィットファントムとワイヤファントムを用いて撮像性能を評価する方法の2つの評価方法を導入した。

3.1 超音波ビームフォーミング

アレイトランスデューサ(波長同等もしくは波長以下のサイズの複数の素子からなる超音波送受信を行うデバイス)を用いた超音波イメージングにおいては、大きく送信と受信の二つのプロセスを経て、断層像撮像を行う。送信では、画素の位置に対応した空間の局所領域に超音波を集束させる。送信されたパルス波が、伝搬中において伝搬経路の様々な媒質の不連続性に起因して生じた後方散乱波群が、アレイを構成する各素子で受信されデジタル信号に変換されたあと、特定の場所生じた後方散乱波のみがコヒーレントに合成されて感度が高くなるように素子間に異なる遅延時間を加えて合成するプロセスが受信である。送受信において空間上の特定の箇所コヒーレントになる処理の説明を下図で行う。

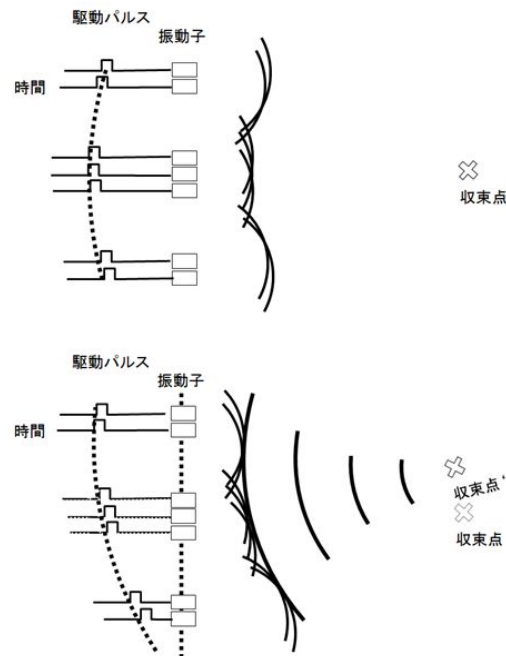


図1 超音波ビームフォーミング

このように、通常のビームフォーミングプロセスにおいては、アレイ中での振動子の位置が確定している必要がある。今回の検討では、長時間モニタリングにおいて、被検体への接触箇所におけるストレスを低減するために、変形できる超音波プローブ(曲探: ジャパンプローブ製)を用いた(図2)。この振動子は素子間隔 1mm で 64ch アレイ、中心周波数 5MHz のものを用いた。



図2 曲探

3.2 超音波ビーブームイメージング

アレイ形状が可変な場合は、もし二次元で考える場合、 N 個の素子がそれぞれ二自由度もつので、最大 $2N$ の自由度を持つ系の、最適化問題となる。しかし現実には、隣接素子間で、一定の連続性は仮定して良い。(空間周波数として、適度な次数で打ち切って良い) 過去に我々は撮像結果を評価関数として、 N 次多項式で fitting して形状を推定することを行った。しかしこの場合、対象物のテクスチャが高空間周波数を有するのか、fitting の結果が正解の近傍にあるのかが判別することが困難であった。そこで本検討では、新たに評価関数として、ビーブームイメージングを導入することとした。ビーブームイメージングとは、送信ビーブームを固定して、受信ビーブームのみを送信フォーカスの近傍で走査することにより、送信ビーブーム形状を in situ で推定する技術であり、主に超音波治療の治療ビーブームの精度管理用に検討されてきた技術である。今回は、アレイ形状の推定精度の評価に、ビーブームイメージングによって撮像された送信ビーブーム形状の鋭さや、最大輝度を用いて評価を行った。勿論、送信を行う前に、自己形状は不明なので、一素子毎に順に送信を行う開口合成法を用いた。

なお、今回の検討においては、多項式は 3 次項で打ち切って評価を行った。

3.3 評価方法

推定精度の検証には、以下の 2 つの方法を用いた。まず曲探を固定する金型を作成し、金型の形状と、推定結果を比較した。このとき金型は曲探の裏面形状を確定させているので、金型の形状から曲探の厚みを差し引いて、曲探表面形状への変換を行い、推定結果との比較を行った。次に、グラフィットファントム中でビーブームイメージングを行い、形状推定を行い、得られた形状を用いて、水中のワイヤを撮像することで、2 つ目の評価を行った。

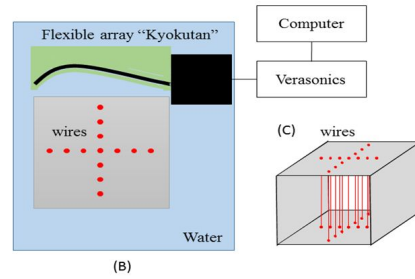


図3 評価方法 II (ワイヤファントム)

4. 研究成果

図 4 及び 5 に金型形状を評価した結果を示す。形状として円弧形状を与えた場合と 3 次関数 (非対称性を導入) の場合の 2 つのケースに関して検討を行った。

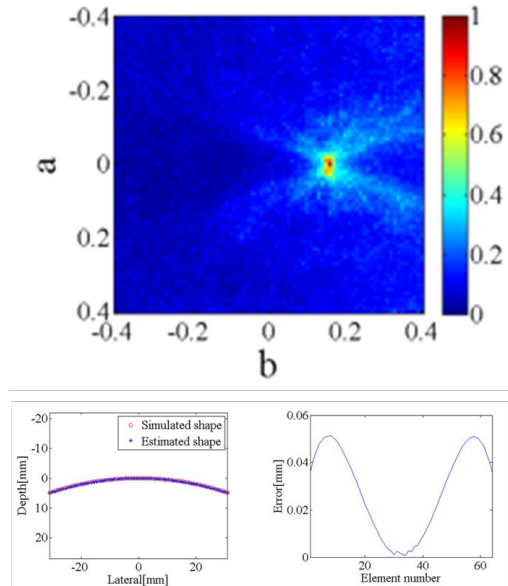


図4 円弧上の金型を与えた場合の評価結果 (上: パラメータ空間内の評価関数の変化、下左: 与えた形状と推定形状の比較、下右: 与えた形状と推定形状の差分)

多項式の典型例として係数 2 つ (a と b) を変えた時の、ビーブームイメージングの最大輝度の変化を図に示し、この評価関数が最大となった時の形状と与えた形状を重ねた図 (下左) と差分 (下右) を示す。図 4 及び 5 において、最大誤差は 0.1mm 程度であることが確認できた。

次に推定した結果を用いたワイヤを撮像した結果を図 6 に示す。いずれも推定形状を用いることで、ワイヤが点として撮像出来ていることが確認できる。

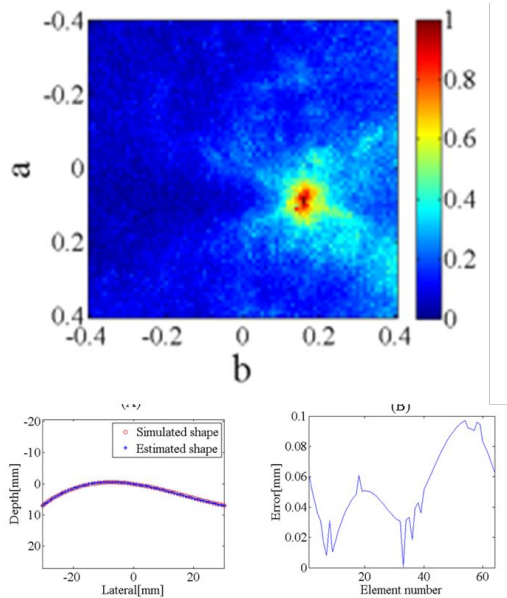


図5 3次関数の金型を与えた場合の評価結果(上:パラメータ空間内の評価関数の変化、下左:与えた形状と推定形状の比較、下右:与えた形状と推定形状の差分)

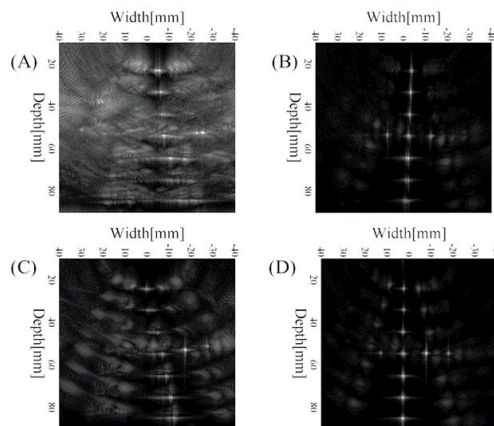


図6 ワイヤの撮像結果(上左:直線を仮定した場合の円弧形状での撮像結果。上右:推定結果を用いた場合の円弧形状での撮像結果。下左:直線を仮定した場合の3次関数形状での撮像結果。下右:推定結果を用いた場合の3次関数形状での撮像結果。)

以上、金型の形状確認とワイヤ撮像評価を用いて、提案手法の有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

Y. Nakajima, K. Matsui, T. Azuma, E. Kobayashi and I. Sakuma, "Self-shape estimation algorithm for a flexible ultrasonic array probe", 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016.11.28, Honolulu (USA)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 超音波撮像装置
 発明者: 東隆、佐久間一郎、小林英津子、中島義耀
 権利者: 東京大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2016-229623
 出願年月日: 平成 28 年 11 月 27 日
 国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

〔その他〕
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東 隆 (AZUMA, Takashi)
 東京大学・大学院医学系研究科・教授
 研究者番号: 90421932

(4) 研究協力者

中島 義耀 (NAKAJIMA, Yoshiaki)