

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月14日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16404

研究課題名（和文）超音波治療における生体の3次元変動追従型治療領域検出システムの開発

研究課題名（英文）Development of 3-D Tissue Tracking System for Detection of Treatment Effect in High Intensity Focused Ultrasound Treatment

研究代表者

高木 亮 (Takagi, Ryo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・研究員

研究者番号：20771885

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：強力集束超音波治療において、患者の呼吸振動により、組織が動いてしまうために、安全な治療が困難になるという課題があった。本研究では、その組織移動を追従するために、治療時の組織変位解析を行った。さらに素子数を増やし、最適設計した新規1.5-D超音波アレイプローブを開発した。本プローブにより、従来法に比べて約3倍の範囲の領域の組織変位を検出・追従することを可能にし、超音波治療時の組織移動追従を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、超音波治療時の組織変位を追従するにあたり、最適な超音波プローブ設計パラメータの抽出や治療時の変位形状・パターンを体系化することができた点である。従来、医師の知見やスキルに依存した超音波治療において、組織変位を追従しながら半自動で超音波治療が行える新手法は、医師・患者の身体的・精神的負担軽減のみならず、安全な治療を行える、という点で社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In high intensity focused ultrasound treatment, it has been difficult to track the target region when the tissue to be treated deviates from the imaging plane of ultrasound probe. In this study, a new 1.5-dimensional (1.5D) prototype phased array probe consisting of transducer elements along both the lateral and elevation axes was developed to track tissue motion along the elevation axis of the probe. From the results, it was found that the effective tracking range using this prototype probe was up to 3mm, about 3 times that of a conventional 1D imaging probe. The proposed 1.5D phased array probe has the potential to track target tissue with intrafractional motion.

研究分野：医用超音波

キーワード：強力集束超音波 超音波診断 超音波イメージングプローブ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

強力集束超音波治療とは、凹面型の超音波トランスデューサを使い、超音波のエネルギーを一点に集束させることによって、体を切ることなく、癌等の悪性腫瘍を加熱壊死させる治療法である。本治療法は、低侵襲に悪性腫瘍を治療できるため、通常の外科手術に比べて、患者に対する経済的・肉体的負担が少なく、次世代の治療法として注目を集めている。本治療法において、強力集束超音波照射中、または、照射後に、治療完了をモニタリングする手段が必要になる。現在、超音波診断装置と MRI のイメージングモダリティを使った治療モニタリングに関する研究・開発が行われている。我々は、高い時間分解能と比較的低コストでモニタリングできる超音波診断装置を用いた、治療モニタリング技術の研究開発を行ってきた。

超音波による治療モニタリングにおいて、通常、超音波素子を 1 列に並べた 1-D アレイプローブを用いてモニタリングすることが一般的である。しかしながら、治療時に呼吸振動等によりイメージング面 (2D) から、治療領域が外れた場合は、治療領域が追従できなくなり、治療モニタリングが困難になる、という課題があった。

2. 研究の目的

治療時の呼吸振動等による治療領域を追従するために、超音波プローブの超音波照射方向に対して垂直な方向 (エレベーション方向) に素子を配置した新規 1.5-D 超音波アレイプローブを開発し、組織変位を追従する治療モニタリングシステムを開発することを目的に研究を行った。本プローブは、従来の 1-D イメージングプローブに比べて、製造コストも比較的抑えられ、実際の治療システムに搭載することで、次世代型呼吸振動追従治療システムを実現することが期待できる。

3. 研究の方法

新規 1.5-D プローブを開発するにあたり、超音波治療時の組織変位を詳細に解析し、適切な素子サイズや素子ピッチ (素子間の距離)、周波数等を最適化する必要がある。そこで、超音波伝搬イミュレーションを用いて、数十種類の配列パターンによる超音波イメージングを模擬し、組織変位ができる最適な素子配置を決定した。その結果、図 1 に示すような 1.5-D イメージングプローブを開発した。また、従来の 1-D イメージングプローブとの変位追従性能を比較するため、図 2 のような実験系を構築し、組織変位追従実験を行った。また、本プローブを搭載した、変位追従型治療システムを構築した。

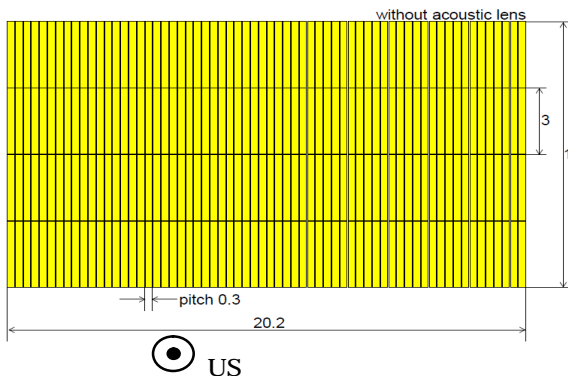


図 1 最適設計後の 1.5-D 超音波アレイプローブ

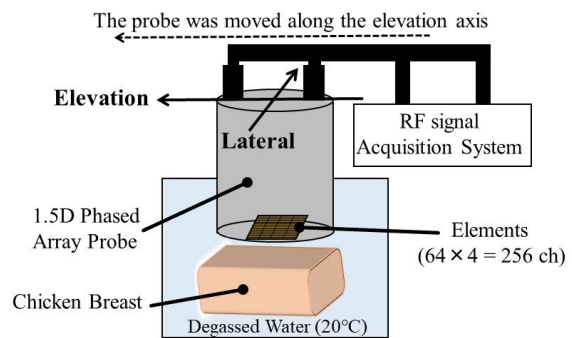


図 2 変位追従実験系

4. 研究成果

(1) 1.5-D 超音波アレイプローブと変位追従性能

超音波治療時の組織変位を弾性波解析シミュレーションソフトウェアにより、詳細に解析することで、治療用超音波の照射方向に対する変位や歪り変形等を体系的に整理することができた。その結果を踏まえて、図 3 のように、コンポジット素子を使った、新規 1.5-D 超音波アレイプローブを開発した。

従来の 1-D 超音波アレイプローブと本 1.5-D 超音波アレイプローブのエレベーション方向の組織変位追従実験を行った。その結果、図 4 に示すように、従来プローブに比べて約 3 倍のエレベーション方向の変位追従が可能になることが分かった。本プローブを搭載した治療システムにより、従来不可能であった、エレベーション方向の変位追従型治療が可能になることが示唆された。超音波治療時の組織変位を追従するにあたり、最適な超音波プローブ設計パラメータの抽出や治療時の変位形状・パターンを体系化することができたことに学術的意義がある。

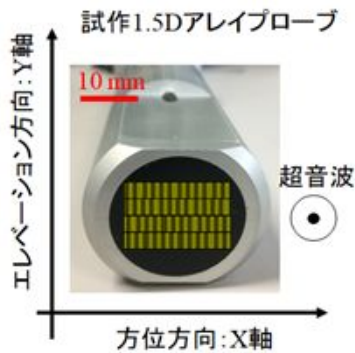


図3 新規 1.5-D 超音波アレイプローブ

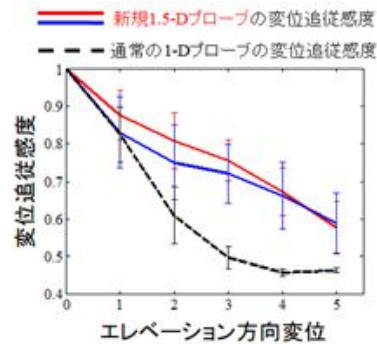


図4 変位追従性能の比較

(2) 3次元追従型治療システムへの統合

本研究により開発した超音波プローブを実際の治療システムに統合し、変位追従型超音波治療システムとして機能するかを検証した。その結果、図5に示すように呼吸振動を模擬した実験系において、治療領域を検出することに成功した。本システムが次世代型超音波治療システムとして機能することを世界で初めて実証した。変位追従型の治療システムは、現在のところ、研究開発されておらず、本システムが実験的に有用性を示した初例になる。本イメージングプローブを用いることで、比較的低コストで施術者（医者）のスキル・治療に依存しない、半自動型の治療システムの構築が期待できる。また、(1)(2)の独創性および成果が認められ、平成29年度に採択された論文誌 Japanese Journal of Applied Physics 56号において、注目論文として、「Spot light 論文」に選出された。

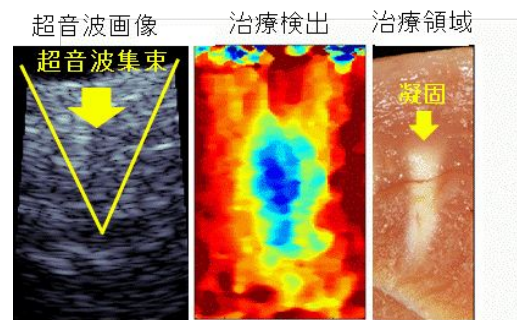


図5 新規プローブを用いた治療領域検出

<引用文献>

R. Takagi, R. Iwasaki, K. Tomiyasu, S. Yoshizawa, and S. Umemura, "Basic study on ultrasonic monitoring using 1.5-dimensional ultrasound phased array for ultrasound-guided high-intensity focused ultrasound treatment", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 56, 07JF22(2017).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

R. Takagi, H. Jimbo, R. Iwasaki, K. Tomiyasu, S. Yoshizawa, and S. Umemura, "Feasibility of real-time treatment feedback using novel filter for eliminating therapeutic ultrasound noise with high-speed ultrasonic imaging in ultrasound-guided high-intensity focused ultrasound treatment", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 55, 07KC10 (2016).

R. Takagi, R. Iwasaki, K. Tomiyasu, S. Yoshizawa, and S. Umemura, "Basic study on ultrasonic monitoring using 1.5-dimensional ultrasound phased array for ultrasound-guided high-intensity focused ultrasound treatment", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 56, 07JF22(2017).

R. Iwasaki, R. Takagi, K. Tomiyasu, S. Yoshizawa, and S. Umemura, "Prediction of thermal coagulation from the instantaneous strain distribution induced by high-intensity focused ultrasound", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 56, 07JF23(2017).

S. Yoshizawa, R. Takagi, and S. Umemura, "Enhancement of High-Intensity Focused Ultrasound Heating by Short-Pulse Generated Cavitation", Applied Sciences, vol. 7, no. 3, 288(2017).

[学会発表](計8件)

高木 亮, 岩崎 亮祐, 富安 謙太郎, 吉澤 晋, 梅村 晋一郎 : 「1.5D アレイプローブを用いた集束超音波治療モニタリングに関する基礎検討」, 第 37 回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE2016)(2016)

Ryo Takagi, Ryosuke Iwasaki, Shin Yoshizawa, Shin-ichiro Umemura : "Elimination of therapeutic ultrasound noise in phase modulated high intensity focused ultrasound treatment", 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2016)

高木 亮, 岩崎 亮祐, 吉澤 晋, 梅村 晋一郎 : 「超音波治療モニタリングにおける 1.5D アレイプローブを用いたエレベーション方向の変位追従に関する基礎検討」, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2017 (2017)

Ryo Takagi, Shin Yoshizawa, Shin-ichiro Umemura : "Basic Study on Ultrasonic Tissue Monitoring Using 1.5-Dimensional Ultrasound Phased Array for Ultrasound-Guided High Intensity Focused Ultrasound Treatment" , 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2017) (2017)

高木 亮 : 「強力集束超音波を用いた低侵襲熱治療に関する 強力集束超音波を用いた低侵襲熱治療に関する基礎・応用研究」, 日本冷凍空調学会 2018 年度年次大会

Ryo Takagi : "Study on The Feasibility of Noise Reduction Method in Ultrasound Monitoring of High Intensity Focused Ultrasound Treatment", 第 39 回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE2018)(2018)

Ryo Takagi, Shin Yoshizawa : "Feasibility study on noise reduction using continuous wave response of therapeutic ultrasound for high intensity focused ultrasound treatment", 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2018)

高木 亮 : 「体に優しい超音波治療 - 超音波診断・治療技術を融合した新規医療機器開発 - 」, サステナブル技術連携シンポジウム(2018)

〔 図書 〕 (計 0 件)

〔 産業財産権 〕
出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

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

〔 その他 〕

ホームページ等

<https://scholar.google.co.jp/citations?user=hUZ9FvIAAAAJ&hl=ja&cit sig=AMstHGRcfwuNUIl0AlfAv7mZ1Y64apGNSA>

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。