

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500537

研究課題名(和文) スマート超音波システムを用いた癌患部の自動HIFU治療

研究課題名(英文) Development of Ultrasonic field control using the Fresnel zone plate system

## 研究代表者

柳田 裕隆 (YANAGIDA, Hirotaka)

山形大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80323179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：現在のHIFU治療で用いられる超音波プローブは焦点距離が固定されており、焦点をあわせるには機械的な操作を行う。焦点位置を電子制御することが出来るデバイスがあれば、患者や医師の負担が小さくなる。提案したフレネルゾーンプレート方式による超音波音場の制御では単一の電気信号さえあれば、焦点位置を自由に制御することが可能である。フレネルゾーンプレートの配列パターンを変化させることによって、焦点の位置を深さ方向および角度方向に変化させることができることをコンピュータシミュレーションで確認した。

研究成果の概要(英文)：Since the ultrasonic probes used in present-day HIFU treatment systems have a fixed focal length, it is necessary to perform a mechanical operation to focus on the affected area. The equipment cost is high with the use of such transducers because this method requires a large number of high-voltage signals. In contrast, with ultrasonic field control using the Fresnel zone plate system proposed in this study, the focal point can be freely controlled even with only one electrical signal. In this study, we confirmed that the angular and depth directions of the focal point can be varied by altering the arrangement pattern of the Fresnel zone plate using a computer simulation.

研究分野：超音波工学

キーワード：HIFU 超音波 リニアアレイ フレネルレンズ

### 1. 研究開始当初の背景

マイクロ波や超音波を体内に照射すると、その振動エネルギーは吸収されて熱に変化する。この局所的な発熱によって癌細胞を死滅させる治療法はハイパーサーミアと呼ばれ、なかでも超音波によるハイパーサーミアは、前立腺癌の治療に実用化され効果をあげている。現在の超音波ハイパーサーミアでは、手動で腫瘍部をスキャンするため1回の処置に2時間以上もかかってしまうという問題がある。

### 2. 研究の目的

本研究では医師による手動操作を軽減し、腫瘍部位を超音波診断装置で画面で確認しながら、腫瘍部だけを発熱させるスマート超音波システムを開発する

### 3. 研究の方法

アクティブフレネルレンズ式超音波システムのコントロール部の開発に集中して研究を行う。手動スイッチを用いたフレネルレンズパターン形成とその音場制御を行う。焦点を自由に換えられることが確認できたら、スイッチを電子的にコントロールできるようにする。基本的な仕様をこの段階で決める。生体組織を十分に加熱できるエネルギーが発生しているかどうかを非接触型の温度計で確認する。音場計測を行い、PC 画面上下とのマッチングをとる。この段階で超音波診断画像も得られているため、水槽内の音場とPC 画面および診断像の3空間の位置関係を把握し、出来る限り一致させる。リニアアレイによる平面的なスキャンから収束点を3次元的に制御できる2Dアレイを用いたシステムに移行する。初年度の実験ではアレイ上の超音波素子はその総数の半分以下しか駆動させない。そのため、超音波強度が医療現場で使用されている凹面型トランスデューサに比べて弱くなることが予想出来る。すこしでも発熱の効率を上げるために、超音波強度を高くしたい。

そこで、2年目からは初年度の基礎実験では

駆動させていなかった素子も逆位相で駆動できるようにシステムを拡張し、超音波強度の底上げを図る。超音波照射後の細胞への効果は写真撮影し変色した部分のサイズを計測し、超音波エネルギーの分布と照らし合わせる。

### 4. 研究成果

サイズ16.8×35mm、素子数1200個、素子の幅0.7mmの長方形の2D超音波アレイを用いて、1.0MHzの超音波の集束点の制御ができるかどうかをシミュレーションによって検討した。

2D超音波アレイにフレネルゾーンプレートパターンをパターンニングした結果をFig.1に示

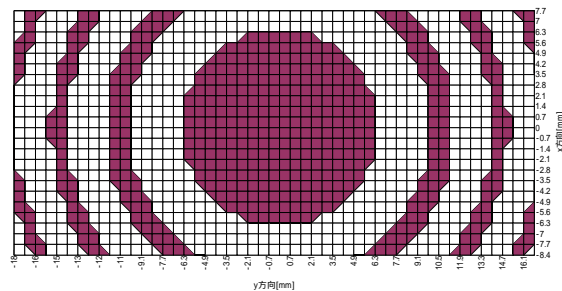


Fig. 1 フレネルゾーンプレートパターンを施した超音波2Dアレイ (焦点距離=30mm)

した。

また、このアレイのすべての超音波素子を同一の信号で駆動した時の超音波ビームプロファイルをFig.2に示す。

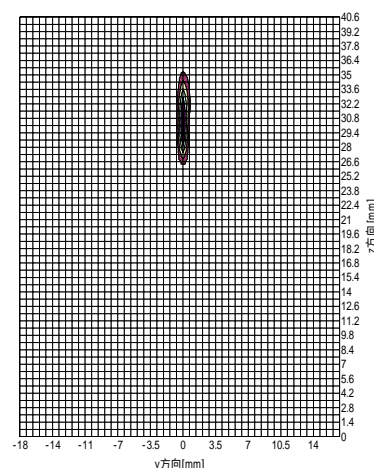


Fig. 2 超音波のビームプロファイル

アレイはz = 0の場所にy=0にアレイの中心が来るように設置しており、集束点はち

よほどアレイから30mm離れた $z=30$ ,  $y=0$ の地点に現れていることが確認できる。この結果の他、焦点を $y$ のプラス方向に移動させた場合、 $z$ 方向の奥行きを変えた場合についてもシミュレーションを行い、良好な結果を得た。

超音波2Dアレイを用い、超音波素子を選択してフレネルゾーンプレートをパターンニングすることによって、単一の信号のみで超音波の焦点位置を制御できることを明らかにした。

超音波3次元撮像の高速化とダイナミックレンジ向上については次の結果を得た。

イメージングシステムの概略を Fig.3 に示す。

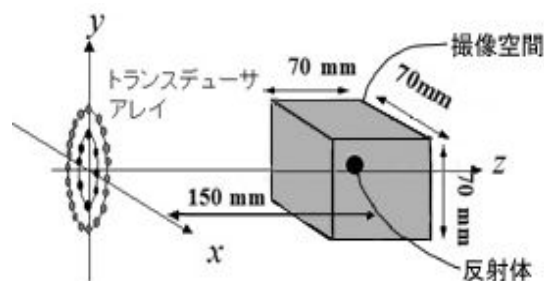


Fig. 3 超音波アレイと撮像空間の概略

計算時間の基本時間は Intel Xeon E5645 を用いてプログラムを実行したときの実行時間 7.455[sec](0.134[vol/s])であり、この実行時間(ボリュームレート)に対しての効果を確認する。本イメージングプログラムはC言語で記述した。プログラム記述並列化可能部分の抽出には OpenMP を使用した。GPGPU で計算を行う際に使用するグラフィックカードは NVIDIA GTX295(クロック数:576MHz,メモリ:896MB,OpenCL 1.0)を用い、FPGA では動作周波数 50MHz,ロジック・エレメント数:38951 個,メモリ:290KB のハードウェアの条件で計算を行った。当初のスループットは、0.1 [vol/s]程度になってしまっていたが、FPGA や GPGPU もしくは複数コアの CPU による並列計算を行えるシステムを設計し、表示速度の改善を試み、コ

ンピュータシミュレーションを行った。

Table 1 に演算器や並列演算を変えることによって得られた演算時間の結果をまとめて示した。

Table 1 演算器や方法の違いによる演算時間

CPU	OpenMP	OpenCL	FPGA
7.45(s)	0.71(s)	2.32(s)	0.24(s)

GPGPU を用いたシステムでは表示速度は CPU 単体の場合に比べて約5倍高速になり、FPGA を用いた場合ではさらに高速になり、その表示速度は約 40 倍高速になった。この時のスループットレートは 4[fps]であり、ビデオレートには及ばないものの診断を行うことができる範囲内に到達しつつあると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

フレネルゾーンプレート超音波 2D アレイを用いた焦点位置の制御、柳田裕隆、大山達也、田村安孝、高橋龍尚、生体医工学シンポジウム 2014.9.26、東京農工大学(東京都小金井市)  
 超音波三次元撮像用高速演算システムのハード・ソフト協調設計、柳田裕隆、和田裕人、田村安孝、高橋龍尚、生体医工学シンポジウム 2014.9.26、東京農工大学(東京都小金井市)  
 FPGA を用いた高速 3 次元超音波撮像演算、和田裕人、田村安孝、柳田裕隆、情報処理学会第 76 回全国大会 2014.3.11、東京電機大学(東京都足立区)

〔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：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
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

柳田 裕隆 (YANAGIDA, Hirotaka )  
山形大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：80323179

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：