

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6475369号
(P6475369)

(45) 発行日 平成31年2月27日(2019.2.27)

(24) 登録日 平成31年2月8日(2019.2.8)

(51) Int.Cl. F I
A 6 1 B 8/13 (2006.01) A 6 1 B 8/13 Z DM
A 6 1 B 8/06 (2006.01) A 6 1 B 8/06

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-566920 (P2017-566920)	(73) 特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(86) (22) 出願日	平成29年2月3日(2017.2.3)	(74) 代理人	110001519 特許業務法人太陽国際特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/004072	(72) 発明者	橋本 温之 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
(87) 国際公開番号	W02017/138459	(72) 発明者	入澤 覚 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
(87) 国際公開日	平成29年8月17日(2017.8.17)	(72) 発明者	宮地 幸哉 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
審査請求日	平成30年3月14日(2018.3.14)		
(31) 優先権主張番号	特願2016-22210 (P2016-22210)		
(32) 優先日	平成28年2月8日(2016.2.8)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音響波画像生成装置および音響波画像生成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検体に向けて出射された光を受けることにより該被検体内から発生した光音響波を音響波検出プローブにより検出して得られた信号に基づいて光音響画像を生成し、かつ、前記被検体に関するドップラ画像を生成する音響波画像生成装置において、

前記ドップラ画像にて関心領域を設定する手段と、

前記音響波検出プローブの前記光音響波を検出する受信開口を、前記設定された関心領域の大きさに基づいて、該音響波検出プローブが有する全部の受信開口よりも小さい開口に設定し、かつ、前記音響波検出プローブの前記光音響波を検出する受信開口の位置を、前記設定された関心領域の位置に基づいて設定する受信開口制御手段と、
を有する音響波画像生成装置。

10

【請求項2】

前記音響波検出プローブとして、前記光音響波を検出可能な複数の音響波振動子が並設されてなる音響波検出プローブが用いられ、

前記受信開口制御手段は、受信開口とする音響波振動子以外の音響波振動子のうち少なくとも一部の音響波振動子から出力される光音響波検出信号を遮断する手段である請求項1記載の音響波画像生成装置。

【請求項3】

前記受信開口制御手段は、前記関心領域の全域と向かい合っており並んでいる前記音響波振動子を全て受信開口に設定する請求項2記載の音響波画像生成装置。

20

【請求項 4】

前記受信開口制御手段は、前記関心領域の全域と向かい合っていて並んでいる前記音響波振動子のうち、一部の音響波振動子のみを受信開口に設定する請求項 2 記載の音響波画像生成装置。

【請求項 5】

前記受信開口制御手段は、前記一部の音響波振動子を、前記関心領域の端部に向かい合う位置と比べて、前記関心領域の中央部に向かい合う位置においてより密に存在する状態に設定する請求項 4 記載の音響波画像生成装置。

【請求項 6】

前記関心領域の全域と向かい合っていて並んでいる複数の音響波振動子のうち、前記一部の音響波振動子以外の音響波振動子から出力された信号を、前記一部の音響波振動子から出力された信号を補間して求める手段をさらに有する請求項 4 または 5 記載の音響波画像生成装置。

10

【請求項 7】

被検体に向けて出射された光を受けることにより該被検体内から発生した光音響波を音響波検出プローブにより検出して得られた信号に基づいて光音響画像を生成し、かつ、前記被検体に関するドップラ画像を生成する音響波画像生成方法において、

前記ドップラ画像にて関心領域を設定し、

前記音響波検出プローブの前記光音響波を検出する受信開口を、前記設定された関心領域の大きさに基づいて、該音響波検出プローブが有する全部の受信開口よりも小さい開口に設定し、かつ、前記音響波検出プローブの前記光音響波を検出する受信開口の位置を、前記設定された関心領域の位置に基づいて設定する音響波画像生成方法。

20

【請求項 8】

前記音響波検出プローブとして、前記光音響波を検出可能な複数の音響波振動子が並設されてなる音響波検出プローブを用い、

受信開口とする音響波振動子以外の音響波振動子のうち少なくとも一部の音響波振動子から出力される光音響波検出信号を遮断することにより、前記受信開口の設定を行う請求項 7 記載の音響波画像生成方法。

【請求項 9】

前記関心領域の全域と向かい合っていて並んでいる前記音響波振動子を全て受信開口に設定する請求項 8 記載の音響波画像生成方法。

30

【請求項 10】

前記関心領域の全域と向かい合っていて並んでいる前記音響波振動子のうち、一部の音響波振動子のみを受信開口に設定する請求項 8 記載の音響波画像生成方法。

【請求項 11】

前記一部の音響波振動子を、前記関心領域の端部に向かい合う位置と比べて、前記関心領域の中央部に向かい合う位置においてより密に存在する状態に設定する請求項 10 記載の音響波画像生成方法。

【請求項 12】

前記関心領域の全域と向かい合っていて並んでいる複数の音響波振動子のうち、前記一部の音響波振動子以外の音響波振動子から出力された信号を、前記一部の音響波振動子から出力された信号を補間して求める請求項 10 または 11 記載の音響波画像生成方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音響波画像を生成する装置および、音響波画像を生成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、光音響効果を利用した非侵襲の計測法が注目されている。この計測法は、ある適宜の波長（例えば、可視光、近赤外光または中間赤外光の波長帯域）を有するパルス光を

50

被検体に向けて出射し、被検体内の吸収物質がこのパルス光のエネルギーを吸収した結果生じる弾性波である光音響波を検出して、その吸収物質の濃度を定量的に計測するものである。被検体内の吸収物質とは、例えば血液中に含まれるグルコースやヘモグロビンなどである。また、このような光音響波を検出しその検出信号に基づいて光音響画像を生成する技術は、光音響イメージング（PAI：Photoacoustic Imaging）あるいは光音響トモグラフィー（PAT：Photo Acoustic Tomography）と呼ばれている。

【0003】

例えば特許文献1および2には、光音響イメージングを行って光音響画像を生成する装置が示されている。この種の光音響画像生成装置は、特許文献2にも示されているように、いわゆる反射超音波画像も生成可能に構成されることが多い。

10

【0004】

反射超音波画像を生成する装置は一般に、被検体に向けて出射された音響波（多くは超音波）が被検体内で反射した反射音響波を検出して得られた信号に基づいて、被検体の内部の断層画像等を生成する。また、特許文献3に示されているように、反射超音波検出信号から速度情報を周波数解析し、ドップラ効果による血流や組織、造影剤エコー成分を抽出して、例えば血流部を示すドップラ画像を生成する装置も公知となっている。このドップラ画像は、特許文献3にも示されている通り、光音響画像を生成する装置において作成可能されることも多い。

【0005】

一方、光音響画像生成装置は一般に、被検体に向けてレーザ光等の光を出射し、この光を吸収することにより被検体内から発生した光音響波を検出して得られた信号に基づいて、被検体の内部組織等を示す光音響画像を生成する。

20

【0006】

本明細書においては、反射超音波検出信号に基づいて生成される画像と、光音響波検出信号に基づいて生成される画像をまとめて音響波画像と称する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2013-158531号公報

【特許文献2】特開2015-181660号公報

【特許文献3】特開2014-136103号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述したように、反射超音波検出信号に基づいて生成される画像と、光音響波検出信号に基づいて生成される画像を共に生成可能とした従来の音響波画像生成装置においては、ドップラ画像と光音響画像を同時に観察可能とする要求がある。例えば、ドップラ画像においては血流部等を見ることが可能であり、光音響画像においては血液中のヘモグロビン等を可視化することで血管を見ることが可能である。

【0009】

40

このようにドップラ画像と光音響画像を同時に観察可能とする場合は、両画像ともリアルタイム性を確保して観察可能であることが望ましい。しかし、光音響画像はドップラ画像に比べてリアルタイム性が低い。つまり、ドップラ画像生成の繰り返し周波数は30Hz（フレームレートは30枚/秒）確保可能であるのに対し、光音響画像生成の繰り返し周波数は、被検体へ向けた光出射が必要なこともあって10Hz（フレームレートは10枚/秒）程度に制限されている。

【0010】

本発明は上記の問題に鑑みてなされたものであり、反射超音波検出信号に基づいて生成される画像と、光音響波検出信号に基づいて生成される画像を共に生成可能とした音響波画像生成装置および方法において、光音響画像生成のフレームレートを高く確保すること

50

を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明による音響波画像生成装置は、

被検体に向けて出射された光を受けることにより被検体内から発生した光音響波を音響波検出プローブにより検出して得られた信号に基づいて光音響画像を生成し、かつ、被検体に関するドップラ画像を生成する音響波画像生成装置において、

ドップラ画像にて関心領域を設定する手段と、

音響波検出プローブの光音響波を検出する受信開口を、設定された関心領域の大きさに基づいて、音響波検出プローブが有する全部の受信開口よりも小さい開口に設定し、かつ、音響波検出プローブの光音響波を検出する受信開口の位置を、設定された関心領域の位置に基づいて設定する受信開口制御手段と、

を有するものである。

【0012】

なお、本発明の音響波画像生成装置においては、

音響波検出プローブとして、光音響波を検出可能な複数音響波振動子が並設されてなる音響波検出プローブが用いられ、

受信開口制御手段は、受信開口とする音響波振動子以外の音響波振動子のうち少なくとも一部の音響波振動子から出力される光音響波検出信号を遮断する手段であることが望ましい。

【0013】

また、本発明の音響波画像生成装置において、受信開口制御手段は、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる音響波振動子を全て受信開口に設定することが望ましい。

【0014】

また、本発明の音響波画像生成装置において、受信開口制御手段は、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる音響波振動子のうち、一部の音響波振動子のみを受信開口に設定するものであってもよい。

【0015】

また、本発明の音響波画像生成装置において、受信開口制御手段は、上記一部の音響波振動子を、関心領域の端部に向かい合う位置と比べて、関心領域の中央部に向かい合う位置においてより密に存在する状態に設定することが望ましい。

【0016】

また、本発明の音響波画像生成装置は、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる複数の音響波振動子のうち、上記一部の音響波振動子以外の音響波振動子から出力された信号を、上記一部の音響波振動子から出力された信号を補間して求める手段をさらに有することが望ましい。

【0017】

一方、本発明の音響波画像生成方法は、

被検体に向けて出射された光を受けることにより被検体内から発生した光音響波を音響波検出プローブにより検出して得られた信号に基づいて光音響画像を生成し、かつ、被検体に関するドップラ画像を生成する音響波画像生成方法において、

ドップラ画像にて関心領域を設定し、

音響波検出プローブの光音響波を検出する受信開口を、設定された関心領域の大きさに基づいて、音響波検出プローブが有する全部の受信開口よりも小さい開口に設定し、かつ、音響波検出プローブの光音響波を検出する受信開口の位置を、設定された関心領域の位置に基づいて設定するものである。

【0018】

本発明の音響波画像生成方法においては、

音響波検出プローブとして、光音響波を検出可能な複数の音響波振動子が並設されてなる音響波検出プローブを用い、

10

20

30

40

50

受信開口とする音響波振動子以外の音響波振動子のうち少なくとも一部の音響波振動子から出力される光音響波検出信号を遮断することにより、受信開口の設定を行うことが望ましい。

【0019】

また、本発明の音響波画像生成方法においては、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる音響波振動子を全て受信開口に設定することが望ましい。

【0020】

あるいは、本発明の音響波画像生成方法においては、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる音響波振動子のうち、一部の音響波振動子のみを受信開口に設定するようにしてもよい。

10

【0021】

また、本発明の音響波画像生成方法においては、上記一部の音響波振動子を、関心領域の端部に向かい合う位置と比べて、関心領域の中央部に向かい合う位置においてより密に存在する状態に設定することが望ましい。

【0022】

また、本発明の音響波画像生成方法においては、関心領域の全域と向かい合っており並んでいる複数の音響波振動子のうち、上記一部の音響波振動子以外の音響波振動子から出力された信号を、上記一部の音響波振動子から出力された信号を補間して求めることが望ましい。

【発明の効果】

20

【0023】

本発明の音響波画像生成装置によれば、光音響画像生成のフレームレートを高く保つことができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の一実施形態に係る音響波画像生成装置の全体構成を示す概略図

【図2】音響波検出プローブの受信開口設定の一例を示す概略図

【図3】関心領域の設定例を示す概略図

【図4】音響波検出プローブの受信開口設定の別の例を示す概略図

【図5】音響波検出プローブの受信開口設定のさらに別の例を示す概略図

30

【図6】音響波検出プローブの受信開口設定のさらに別の例を示す概略図

【図7】音響波検出プローブの受信開口設定のさらに別の例を示す概略図

【図8】ドップラ画像と光音響画像の重畳表示状態を示す概略図

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について詳しく説明する。

【0026】

図1は、本発明の一実施形態に係る音響波画像生成装置10の全体構成を示す概略図である。なお図1において、音響波検出プローブ(以下、単にプローブという)11の形状は概略的に示してある。本例の音響波画像生成装置10は、一例として、光音響波検出信号に基づいて光音響画像を生成する機能を有するものであり、図1に概略的に示すように、プローブ11、超音波ユニット12、レーザユニット13、画像表示部14、および入力部15等を備えている。以下、それらの構成要素について順次説明する。

40

【0027】

プローブ11は、例えば生体である被検体Mに向けて測定光および超音波を出射する機能と、被検体M内を伝搬する音響波Uを検出する機能とを有する。すなわちプローブ11は、被検体Mに対する超音波(音響波)の出射(送信)、および被検体Mで反射して戻って来た反射超音波(反射音響波)の検出(受信)を行うことができる。

【0028】

本明細書において「音響波」とは、超音波および光音響波を含む用語である。ここで、

50

「超音波」とはプローブ11により送信された弾性波およびその反射波（反射超音波）を意味し、「光音響波」とは吸収体65が測定光を吸収することにより発する弾性波を意味する。また、プローブ11が発する音響波は超音波に限定されるものではなく、被検対象や測定条件等に応じて適切な周波数を選択してさえいれば、可聴周波数の音響波を用いてもよい。なお被検体M内の吸収体65としては、例えば血管、金属部材等が挙げられる。

【0029】

プローブ11は一般に、セクタ走査対応のもの、リニア走査対応のもの、コンベックス走査対応のもの等が用意され、それらの中から適宜のものが撮像部位に応じて選択使用される。またプローブ11には、後述するレーザユニット13から発せられた測定光であるレーザ光Lを、光出射部40まで導光させる接続部としての光ファイバ60が接続されている。

10

【0030】

プローブ11は、音響波検出器である振動子アレイ20と、この振動子アレイ20を間に置いて、振動子アレイ20の両側に各々1つずつ配設された合計2つの光出射部40と、振動子アレイ20および2つの光出射部40等を内部に収容した筐体50とを備えている。

【0031】

本実施形態において振動子アレイ20は、超音波送信素子としても機能する。振動子アレイ20は、図示外の配線を介して、超音波送信用の回路および音響波受信用の回路等と接続されている。

20

【0032】

振動子アレイ20は、電気音響変換素子である音響波振動子（超音波振動子）が複数、一次元方向に並設されてなるものである。音響波振動子は、例えば圧電セラミクスから構成された圧電素子である。また音響波振動子は、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）のような高分子フィルムから構成された圧電素子であってもよい。音響波振動子は、受信した音響波Uを電気信号に変換する機能を有している。なお、振動子アレイ20は音響レンズを含んでもよい。

【0033】

本実施形態における振動子アレイ20は、上述の通り、複数の音響波振動子が一次元に並設されてなるものであるが、複数の音響波振動子が二次元に並設されてなる振動子アレイが用いられてもよい。

30

【0034】

上記音響波振動子は、上述した通り超音波を送信する機能も有する。すなわち、この音響波振動子に交番電圧が印加されると、音響波振動子は交番電圧の周波数に対応した周波数の超音波を発生させる。なお、超音波の送信と受信は互いに分離させてもよい。つまり、例えばプローブ11とは異なる位置から超音波の送信を行い、その送信された超音波に対する反射超音波をプローブ11で受信するようにしてもよい。

【0035】

光出射部40は、光ファイバ60によって導光されたレーザ光Lを被検体Mに向けて出射させる部分である。本実施形態において光出射部40は、光ファイバ60の先端部、つまり測定光の光源であるレーザユニット13から遠い方の端部によって構成されている。図1に示されるように、本実施形態では2つの光出射部40が、振動子アレイ20を間に置いて、振動子アレイ20の例えばエレベーション方向の両側に配置されている。このエレベーション方向とは、複数の音響波振動子が一次元に並設された場合、その並び方向に対して直角で、振動子アレイ20の検出面に平行な方向である。

40

【0036】

なお光出射部は、光ファイバ60の先端に光学的に結合させた導光板および拡散板から構成されてもよい。そのような導光板は、例えばアクリル板や石英板から構成することができる。また拡散板としては、マイクロレンズが基板上にランダムに配置されているレンズ拡散板を使用することができる。また、例えば拡散微粒子が分散された石英板等を使用

50

することができる。さらにレンズ拡散板としてはホログラフィカル拡散板を用いてもよいし、エンジニアリング拡散板を用いてもよい。

【0037】

図1に示されるレーザユニット13は、例えばQスイッチアレキサンドライトレーザ等のフラッシュランプ励起Qスイッチ固体レーザを有し、測定光としてのレーザ光Lを発する。レーザユニット13は、例えば超音波ユニット12の制御部34からのトリガ信号を受けてレーザ光Lを出力するように構成されている。レーザユニット13は、1~100ns(ナノ秒)のパルス幅を有するパルスレーザ光Lを出力するものであることが好ましい。

【0038】

レーザ光Lの波長は、計測の対象となる被検体M内の吸収体65の光吸収特性に応じて適宜選択される。例えば計測対象が生体内のヘモグロビンである場合、つまり血管を撮像する場合、一般的にその波長は、近赤外波長域に属する波長であることが好ましい。近赤外波長域とはおよそ700~850nmの波長域を意味する。しかし、レーザ光Lの波長は当然これに限られるものではない。またレーザ光Lは、単波長のものでもよいし、例えば750nmおよび800nm等の複数波長を含むものでもよい。レーザ光Lが複数の波長を含む場合、これらの波長の光は、同時に射出されてもよいし、交互に切り替えながら射出されてもよい。

【0039】

なおレーザユニット13は、上に述べたアレキサンドライトレーザの他、同様に近赤外波長域のレーザ光を出力可能なYAG-SHG(Second harmonic generation: 第二次高調波発生)-OPO(Optical Parametric Oscillation: 光パラメトリック発振)レーザを用いた、あるいはTi-Sapphire(チタン-サファイア)レーザ等を用いて構成することもできる。

【0040】

光ファイバ60は、レーザユニット13から射出されたレーザ光Lを、2つの光射出部40まで導く。光ファイバ60は特に限定されず、石英ファイバ等の公知のものを使用することができる。例えば1本の太い光ファイバが用いられてもよいし、あるいは複数の光ファイバが束ねられてなるバンドルファイバが用いられてもよい。一例としてバンドルファイバが用いられる場合、1つにまとめられたファイバ部分の光入射端面から上記レーザ光Lが入射するようにバンドルファイバが配置され、そしてバンドルファイバの2つに分岐されたファイバ部分の各先端部が前述した通り光射出部40を構成する。

【0041】

超音波ユニット12は、マルチプレクサ19、受信回路21、受信メモリ22、データ分離手段23、光音響画像生成部24、ドップラ画像生成部25、関心領域設定部26、画像表示制御部27、送信制御回路33および制御部34を有する。超音波ユニット12は、典型的にはプロセッサ、メモリ、およびバス等を有する。超音波ユニット12には、光音響画像生成およびドップラ画像生成に関するプログラムがメモリに組み込まれている。プロセッサによって構成される制御部34によって上記プログラムが動作することで、光音響画像生成部24、ドップラ画像生成部25、関心領域設定部26および画像表示制御部27の機能が実現する。すなわち、これらの各部分は、プログラムが組み込まれたメモリとプロセッサにより構成されている。

【0042】

なお、超音波ユニット12のハードウェアの構成は特に限定されるものではなく、複数のIC(Integrated Circuit)、プロセッサ、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、FPGA(Field-programmable Gate Array)、メモリなどを適宜組み合わせることによって実現することができる。

【0043】

制御部34は、音響波画像生成装置10の各部を制御するものであり、本実施形態では図示外のトリガ制御回路を備える。このトリガ制御回路は、例えば光音響画像を生成する

10

20

30

40

50

場合には、レーザユニット 13 に光トリガ信号を送る。これによりレーザユニット 13 の Q スイッチ固体レーザにおいて励起源のフラッシュランプが点灯し、レーザロッドの励起が開始される。このレーザロッドの励起状態が維持されている間、レーザユニット 13 はレーザ光 L を出力可能な状態となる。

【 0 0 4 4 】

制御部 34 は、その後トリガ制御回路からレーザユニット 13 へ Q スイッチトリガ信号を送信する。つまり制御部 34 は、この Q スイッチトリガ信号によって、レーザユニット 13 からのレーザ光 L の出力タイミングを制御する。また制御部 34 は、Q スイッチトリガ信号の送信と同時に、サンプリングトリガ信号を受信回路 21 に送信する。このサンプリングトリガ信号は、受信回路 21 の A/D 変換器 (Analog to Digital convertor) における光音響波検出信号のサンプリングの開始タイミングを規定する。このように、サンプリングトリガ信号を使用することにより、レーザ光 L の出力と同期して光音響波検出信号をサンプリングすることが可能となる。

10

【 0 0 4 5 】

制御部 34 は、超音波画像を生成する場合は、送信制御回路 33 に超音波送信を指示する超音波トリガ信号を送信する。送信制御回路 33 は、超音波トリガ信号を受けると、プローブ 11 から超音波を送信させる。制御部 34 は、超音波送信のタイミングに合わせて受信回路 21 にサンプリングトリガ信号を送信し、反射超音波検出信号のサンプリングを開始させる。

【 0 0 4 6 】

20

以上述べた光音響画像あるいは超音波画像を生成する際、プローブ 11 は、被検体 M に対して例えば前述したエレベーション方向に少しずつ位置が変えられて、レーザ光 L あるいは超音波により被検体 M が走査される。そこで上記光音響波検出信号あるいは反射超音波検出信号のサンプリングはこの走査と同期して、音響波検出ラインを一ラインずつずらしながらなされる。なお上記走査は、術者がプローブ 11 を手操作で動かすことによってもなされてもよいし、あるいは自動走査機構を用いてなされてもよい。

【 0 0 4 7 】

受信回路 21 は、プローブ 11 の振動子アレイ 20 が出力する光音響波検出信号を受信し、受信した検出信号を受信メモリ 22 に格納する。なお、上記光音響波検出信号はマルチプレクサ 19 を通して受信回路 21 に伝えられるが、このマルチプレクサ 19 については後に詳しく説明する。

30

【 0 0 4 8 】

受信回路 21 は典型的には、低ノイズアンプ、可変ゲインアンプ、ローパスフィルタ、および A/D 変換器を含んで構成される。プローブ 11 が出力する光音響波検出信号は、低ノイズアンプで増幅された後に、可変ゲインアンプで深度に応じたゲイン調整がなされ、ローパスフィルタで高周波成分がカットされた後に A/D 変換器でデジタル信号に変換され、受信メモリ 22 に格納される。

【 0 0 4 9 】

受信回路 21 は、例えば 1 つの IC (Integrated Circuit) で構成される。なお、上記ローパスフィルタによる高周波成分のカットは、A/D 変換時に折り返し雑音が発生することを防止するためのものであり、一般にそのカットオフ周波数は、A/D 変換のサンプリング周波数の半分程度の 10 MHz ~ 30 MHz 程度とされる。

40

【 0 0 5 0 】

本実施形態においてプローブ 11 は、光音響波の検出信号と反射超音波の検出信号とを出力する。そこで受信メモリ 22 には、デジタル化された光音響波検出信号および反射超音波検出信号が格納される。なお、詳しくいえば、上記光音響波検出信号は被検体 M に向けて出射されたレーザ光 L を吸収することにより被検体 M 内から発生した光音響波を検出して得られた信号である。一方上記反射超音波検出信号は、被検体 M に向けて出射された音響波である超音波が被検体 M 内で反射した反射音響波を検出して得られた信号である。

【 0 0 5 1 】

50

データ分離手段23は、受信メモリ22から光音響画像用のデータ、つまりデジタル化された光音響波検出信号を読み出して、光音響画像生成部24に送信する。またデータ分離手段23は、受信メモリ22から反射超音波画像用のデータ、つまりデジタル化された反射超音波検出信号を読み出して、ドップラ画像生成部25に送信する。

【0052】

光音響画像生成部24は、受信メモリ22からデータ分離手段23を経て受信した光音響波検出信号を再構成して、光音響画像を生成する。具体的には、光音響画像生成部24は、振動子アレイ20の各音響波振動子の位置に応じた遅延時間で各音響波振動子からの信号に基づく光音響波検出信号を加算し、1ライン分の光音響波検出信号を生成する(遅延加算法)。光音響画像生成部24は、遅延加算法に代えて、CBP法(Circular Back Projection)により再構成を行ってもよい。あるいは光音響画像生成部24は、ハフ変換法又はフーリエ変換法を用いて再構成を行ってもよい。再構成された複数ライン分の光音響波検出信号は、検波処理および対数変換処理等の信号処理を受けてから、被検体Mのある断面に関する光音響画像(断層画像)を表示する信号として、画像表示制御部27を経て画像表示部14に送られる。

10

【0053】

ドップラ画像生成部25は、受信メモリ22からデータ分離手段23を経て受信した反射超音波検出信号から速度情報を周波数解析し、ドップラ効果による血流や組織、造影剤エコー成分を抽出して、例えば血流部を示すドップラ画像を表示するドップラ画像信号を取得する。このドップラ画像信号も、画像表示制御部27を経て画像表示部14に送られる。

20

【0054】

上記のドップラ画像信号を取得する範囲は、術者によって設定される。この範囲を関心領域と称する。この関心領域の位置および大きさは、関心領域設定部26によって設定される。本実施形態では、一例として、まず受信メモリ22から受信した全ての反射超音波検出信号から生成し得るドップラ画像が画像表示部14に表示される。術者はこのドップラ画像を観察しながら、それよりも狭い、例えば血流部を示す画像範囲を関心領域として設定する。

【0055】

この設定をする際には、画像表示部14に表示されたドップラ画像上で、術者が例えばマウス等の入力部15を用いて領域を指定し、その指定された領域が制御部34に入力される。そして制御部34が、指定された関心領域を示す情報を関心領域設定部26に送って、該関心領域設定部26を制御することによってなされる。

30

【0056】

なお関心領域の設定は、上述のようにまず広い範囲のドップラ画像を生成し、その上で領域を指定する他、受信メモリ22が出力する反射超音波検出信号から超音波Bモード画像を生成して画像表示部14に表示させ、そのBモード画像上で領域を指定することによって行うこともできる。

【0057】

画像表示制御部27は、上記の光音響画像を表示する信号に基づいて光音響画像を、上記ドップラ画像信号に基づいてドップラ画像をそれぞれ画像表示部14に表示させる。これら2種類の画像は別々に、あるいは合成されて合成画像として画像表示部14に表示される。後者の場合、画像表示制御部27は、例えば光音響画像とドップラ画像とを重畳させて画像合成を行う。

40

【0058】

なお図8に、光音響画像Ipaとドップラ画像Idpとが、画像表示部14の表示画面14aに重畳表示された状態を概略的に示す。光音響画像Ipaは、被検体Mの表皮Sに比較的近い部分に存在する毛細血管Cv等を示すものとなっている。一方ドップラ画像Idpは、上記毛細血管Cvよりも深い位置にある血流部Ve等を示すものとなっている。

【0059】

50

以上述べた2種類の音響波画像は、互いに時間を置いて生成される。特に本実施形態では、ドップラ画像が生成されてから光音響画像が生成される。それらの音響波画像を重畳表示するために、例えば画像表示制御部27は各画像を示す画像信号を一時的に記憶するバッファメモリを備えている。

【0060】

次に、光音響画像を作成する際に、図1に示したプローブ11の受信開口を制御する点について説明する。図2はこの説明をするための概略図であり、ここではプローブ11を、複数の音響波振動子G1~G16が一次元アレイ状に並設されてなるものとして示している。つまり本例では、プローブ11を16ch(チャンネル)のものとして示している。なお、これらの音響波振動子G1~G16が、図1に示した振動子アレイ20である。また、図2では音響波振動子G1~G16のうち、一部のものにだけ附番を与えているが、図中の左側から右側に向かって音響波振動子G1、音響波振動子G2、・・・音響波振動子G16という順序で並んでいるものとする。

10

【0061】

また、Fはドップラ画像を生成可能な領域を示し、ROIはその領域Fの中に設定された関心領域を示している。なお、ここでは、プローブ11の位置を上記領域Fに対する相対位置として示しているが、この相対位置は、光音響画像を生成する際のプローブ11と被検体Mとの位置関係と対応している。

【0062】

また21Cは、図1に示した受信回路21の受信チャンネルを概念的に示している。ここでは、受信回路21がC1~C8の8つの受信チャンネルを有しているものとする。そして19は、受信チャンネル21Cとプローブ11との間に介設されたマルチプレクサ(図1を参照)を示している。

20

【0063】

以上の構成において、16chの音響波振動子G1~G16から発せられる信号を全て受信回路21で受信する場合は、まず8chの音響波振動子G1~G8から発せられた信号が、8chの受信チャンネルC1~C8から受信回路21に受信される。その後、マルチプレクサ19が切り換えられて、残りの8chの音響波振動子G9~G16から発せられた信号が、8chの受信チャンネルC1~C8から受信回路21に受信される。

【0064】

ここで、光音響画像を生成する際にはマルチプレクサ19が図示の通りの状態とされる。そして、被検体Mのある1つの断面の光音響画像を生成するに当たり、この状態下で1回だけレーザ光Lが被検体Mに向けて出射される。こうしてレーザ光Lが1回出射された際、8chの音響波振動子G4~G11から出力される信号(光音響波検出信号)だけが、8chの受信チャンネルC1~C8から受信回路21に受信される。その後、マルチプレクサ19の切り換えはなされず、以上で、1つの断面の光音響画像を生成するための光音響波検出信号の受信が完了する。

30

【0065】

以上のようにして本例では、16chの音響波振動子G1~G16のうち一部のチャンネル、すなわち8chの音響波振動子G1~G3およびG12~G16から出力される信号(光音響波検出信号)はマルチプレクサ19において遮断され、受信回路21では受信されない。それにより、光音響画像生成のフレームレートを上げて、光音響画像のリアルタイム性を向上させることができる。なお図2では、受信開口となる音響波振動子を、ハッチングを付して示してある(図4~図7でも同様)。

40

【0066】

上記の受信開口とする8chの音響波振動子G4~G11は、ドップラ画像信号を取得する範囲である関心領域ROIの大きさおよび位置に基づいて定められる。すなわち本例では、関心領域ROIの全域と向かい合っており並んでいる音響波振動子を全て受信開口に設定できるように、8chの音響波振動子G4~G11が受信開口に設定される。

【0067】

50

ここで、受信開口の設定を、図3に示す実際の超音波画像を用いて説明する。この図において、黒の背景の中にある扇状部分が例えばBモード画像等の超音波画像であり、その中に、ドップラ画像の表示範囲である関心領域ROIが設定される。なおこの図3の例では、Aで示す関心領域ROIの中央部近辺に血流部が示され、Bで示す関心領域の図中左右の端部に近い部分には、表示したい対象物は存在していない。

【0068】

ドップラ画像においては、一般に血流部が表示される。また光音響画像は多くの場合、レーザ光L等の光を良く吸収して光音響波を発生する血管部分を表示するために用いられる。したがって、上記血流部が含まれるように関心領域ROIが設定されていることを前提として、少なくともこの関心領域ROIについて光音響波検出信号を生成可能にプローブ11の受信開口を設定しておけば、受信開口が小さく制限されていても、生成される光音響画像は上述のように血管部分を表示できるものとなる。

10

【0069】

なおマルチプレクサ19の状態は、関心領域ROIを示す情報に基づいて制御部34によって制御される。つまり本実施形態では、マルチプレクサ19および制御部34が受信開口制御手段を構成している。また、関心領域設定部26および制御部34が、関心領域を設定する手段を構成している。

【0070】

次に図4に、プローブ11の受信開口設定の別の例を示す。この例では、受信開口の大きさは図2の例と同様に8chとされるが、関心領域ROIの位置が図2の例と異なるので、その位置に対応して、音響波振動子G8~G15が受信開口とされている。

20

【0071】

以下、上述した効果を、実際の装置に即した例を用いてより詳しく説明する。本例では、プローブ11の音響波振動子が128ch、受信回路21の受信チャンネルが64ch、レーザ光Lの出射の繰り返し周波数が10Hzであるとする。この例では、1枚の光音響画像を生成するために通常、

(1) レーザ光Lの出射(1回目)

(2) 64chの音響波振動子により光音響波を検出(1回目)

(3) レーザ光Lの出射(2回目)

(4) 残りの64chの音響波振動子により光音響波を検出(2回目)

(5) 光音響画像生成部24(図1を参照)により光音響画像を生成

30

というように、レーザ光Lの出射を2回行う必要がある。すると、レーザ光Lの出射の繰り返し周波数が10Hzであることから、光音響画像生成の繰り返し周波数は5Hz(フレームレートは5枚/秒)となってしまう。

【0072】

それに対して、基本的に図2の例と同じようにして、プローブ11の音響波振動子が本来128chであるところ、半分の64chを受信開口とする場合は、1枚の光音響画像を生成するために、

(1) レーザ光Lの出射(1回目)

(2) 64chの音響波振動子により光音響波を検出(1回目)

(3) 光音響画像生成部24(図1を参照)により光音響画像を生成

40

というように、レーザ光Lの出射を1回だけ行えばよいことになる。これにより、光音響画像生成の繰り返し周波数を、レーザ光Lの出射の繰り返し周波数と同じ10Hz(フレームレートは10枚/秒)とすることができる。

【0073】

一般的に、関心領域ROIは、プローブ11によって超音波画像を取得できる範囲の中の一部領域に設定されることが多い。したがって、プローブ11の受信開口を、本来プローブ11が備えている受信開口の1/2程度まで制限しても、血管部分等の所望部分を表示できる光音響画像を生成可能であることが多い。そこで本発明によれば、多くの場合、上に述べた通り光音響画像生成において、本来プローブ11が備えている受信開口を全て

50

使用する場合と比べて、フレームレートを向上させることができる。

【 0 0 7 4 】

また一般に、超音響画像は画像化可能領域が浅い。つまり、被検体の光照射側の表面から比較的近い所に有る部分しか画像化できない。そのため、ドップラ画像の関心領域 R O I から離れた部分と向き合う音響波振動子が出力する超音響波検出信号は、音響波振動子の受信指向角が深いことから画質の向上に寄与せず、むしろノイズを増やすことで超音響画像の画質を劣化させることも多い。それに対して、図 2 に示す例あるいは図 4 に示す例では、主に受信指向角が浅い音響波振動子が出力する信号に基づいて超音響画像を生成することになるので、超音響画像の画質向上も期待できる。

【 0 0 7 5 】

なお、関心領域 R O I が比較的小さく、設定されたプローブ 1 1 の受信開口に対応する音響波振動子のチャンネル数が 6 4 c h より小さい場合は、受信開口を、フレームレートが低下しない範囲内で広げてもよい。例えば、ドップラ画像の関心領域 R O I に基づいて定められたプローブ 1 1 の受信開口に対応する音響波振動子のチャンネル数が 3 2 c h の場合、受信開口を 6 4 c h まで広げてもよい。

【 0 0 7 6 】

次に図 5 を参照して、プローブ 1 1 の受信開口設定の別の例を示す。図 2 に示した例および図 4 に示した例では、関心領域 R O I の全域と向かい合っていて並んでいる音響波振動子を全て受信開口に設定している。しかし、関心領域 R O I が比較的大きい（音響波振動子の並び方向に長い）場合は、上記 2 つの例のように受信開口を設定すると、それらの受信開口の数が、受信回路 2 1 の受信チャンネル C 1 ~ C 8 の数よりも大きくなることもある。そうなった場合は、超音響画像生成のフレームレートが低下することになる。

【 0 0 7 7 】

そのようなことを防ぐために図 5 の例では、関心領域 R O I の全域と向かい合っていて並んでいる音響波振動子のうち、一部の音響波振動子のみを受信開口に設定するようにしている。つまり本例では具体的に、関心領域 R O I の全域と向かい合っていて並んでいる 1 4 個の音響波振動子のうち、8 個の音響波振動子 G 2、G 4、G 6、G 8、G 9、G 1 1、G 1 3 および G 1 5 のみを受信開口としている。こうすることにより、プローブ 1 1 の受信開口の数を受信回路 2 1 の受信チャンネル C 1 ~ C 8 の数と一致させ、超音響画像生成のフレームレートが低下することを防止できる。この効果は、後述する図 6 の例でも同様に得られる。

【 0 0 7 8 】

以上のようなプローブ 1 1 の受信開口の設定は、先に述べた実際の装置に即した例、つまりプローブ 1 1 の音響波振動子が 1 2 8 c h、受信回路 2 1 の受信チャンネルが 6 4 c h、レーザ光 L の出射の繰り返し周波数が 1 0 H z である例においても適用可能である。そうした場合は、超音響画像生成の繰り返し周波数を、レーザ光 L の出射の繰り返し周波数と同じ 1 0 H z とすることができる。

【 0 0 7 9 】

図 6 に、プローブ 1 1 の受信開口設定のさらに別の例を示す。この図 6 に示す例は、図 5 に示した例と基本的に同じで、受信開口とする音響波振動子の並び方が一部異なるだけのものである。

【 0 0 8 0 】

上述した図 5 の例および図 6 の例では、関心領域 R O I の全域と向かい合っていて並んでいる複数の音響波振動子のうち、受信開口に設定されない音響波振動子から出力された信号（超音響波検出信号）を、受信開口に設定された音響波振動子から出力された信号を補間して求めるのが望ましい。その補間して求めた信号に基づいて超音響画像を生成すれば、輝度や濃度の分布等において違和感の無い超音響画像を生成可能となる。

【 0 0 8 1 】

上記の補間は、超音響画像を再構成した後の信号に対して行ってもよいし、再構成の前の信号に対して行ってもよい。例えば前者のようにする場合は、図 1 に示した超音響画像

10

20

30

40

50

生成部 2 4 に補間機能を持たせて、この超音響画像生成部 2 4 を補間手段として用いてもよい。

【 0 0 8 2 】

図 7 に、プローブ 1 1 の受信開口設定のさらに別の例を示す。この図 7 に示す例は、上述した図 5 の例および図 6 の例と同様に、関心領域 R O I の全域と向かい合って並んでいる音響波振動子のうち、一部の音響波振動子 G 2、G 4、G 6、G 7、G 8、G 9、G 1 1 および G 1 3 のみを受信開口に設定するものである。それにより、図 5 の例および図 6 の例におけるのと同様の効果が得られる。

【 0 0 8 3 】

それに加えて図 7 の例では、受信開口とする音響波振動子として、音響波振動子 G 2、G 4、G 6、G 7、G 8、G 9、G 1 1 および G 1 3 を選択することにより、受信開口となる音響波振動子が、関心領域 R O I の端部に向かい合う位置と比べて、関心領域 R O I の中央部に向かい合う位置においてより密に存在する状態に設定している。

【 0 0 8 4 】

ここで、一般に関心領域 R O I は、血流部等が中央部近くに有るように設定されることが多い。そうした場合、超音響波検出信号は、関心領域 R O I の周辺部ほど信号強度が低く、そのため、再構成後の超音響画像におけるノイズ発生の原因となることもある。そこで、本例のようにプローブ 1 1 の受信開口を設定して、関心領域 R O I の端部近くから発生する超音響波を検出した信号は超音響画像生成のために余り利用しないようにすれば、超音響画像の画質向上の効果が得られる。

【 0 0 8 5 】

以上、プローブ 1 1 のチャンネル数（音響波振動子の数）が 1 2 8 c h で、受信回路 2 1 側の受信チャンネル数が 6 4 c h の場合を例に挙げて詳しく説明したが、本発明ではそれらのチャンネル数は例示したものに限定されない。例えば、プローブ 1 1 のチャンネル数は 1 9 6 c h、2 5 6 c h、あるいは 5 1 2 c h 等であってもよく、受信回路 2 1 側の受信チャンネル数は 1 2 8 c h、あるいは 2 5 6 c h 等であってもよい。

【 0 0 8 6 】

また、マルチプレクサ 1 9（図 1 を参照）は、3 以上の入力系を備えるものであっても構わない。さらに、プローブ 1 1 の受信開口を設定する手段としては、このマルチプレクサ 1 9 以外の手段が用いられても構わない。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 7 】

- 1 0 音響波画像生成装置
- 1 1 プローブ
- 1 2 超音波ユニット
- 1 3 レーザユニット
- 1 4 画像表示部
- 1 4 a 表示画面
- 1 5 入力部
- 2 0 振動子アレイ
- 2 1 受信回路
- 2 1 C 受信回路の受信チャンネル
- 2 2 受信メモリ
- 2 3 データ分離手段
- 2 4 超音響画像生成部
- 2 5 ドップラ画像生成部
- 2 6 関心領域設定部
- 2 7 画像表示制御部
- 3 3 送信制御回路
- 3 4 制御部

10

20

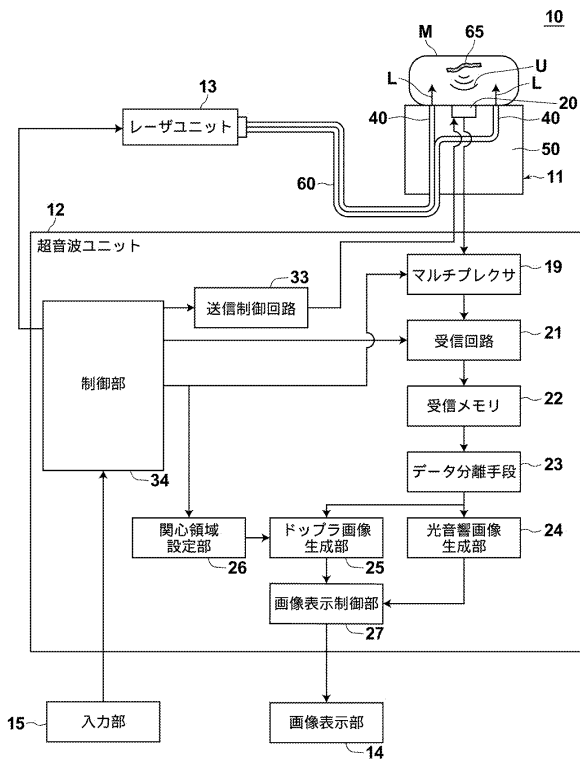
30

40

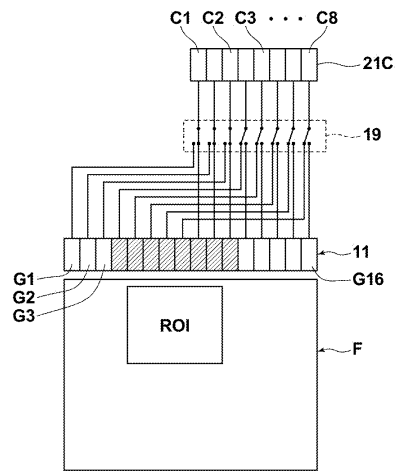
50

- 40 光出射部
- 50 筐体
- 60 光ファイバ
- 65 吸収体
- F ドップラ画像を生成可能な領域
- G1、G2、・・・G16 音響波振動子
- I d p ドップラ画像
- I p a 光音響画像
- L レーザ光（測定光）
- M 被検体
- U 音響波

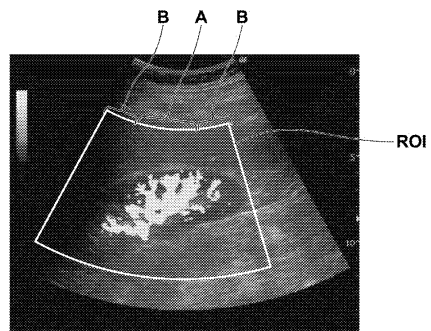
【図1】



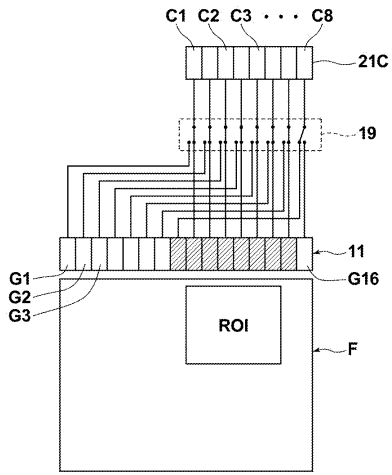
【図2】



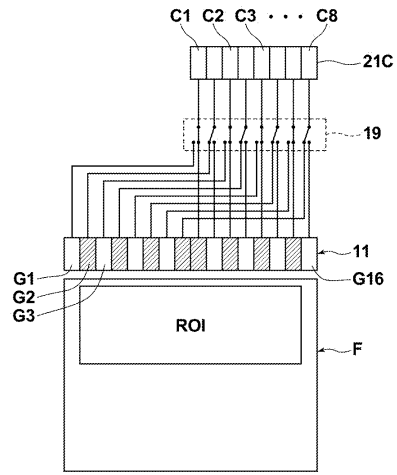
【図3】



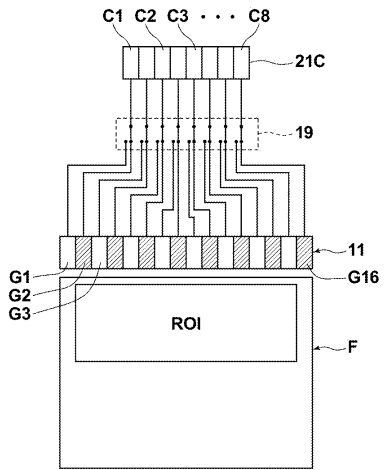
【 図 4 】



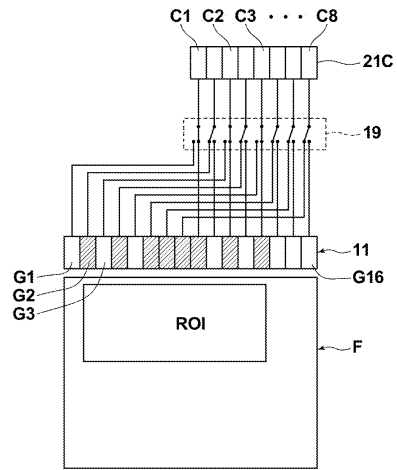
【 図 5 】



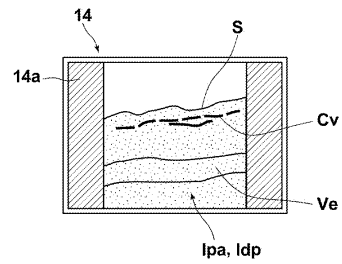
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

審査官 宮川 哲伸

(56)参考文献 特開2015-150238(JP,A)
特開2012-223367(JP,A)
特開2014-136102(JP,A)
特開2012-254284(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 8/00 - 8/15