

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-128731  
(P2013-128731A)

(43) 公開日 平成25年7月4日(2013.7.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 18/00 (2006.01)	A 6 1 B 17/36 3 3 0	4 C 1 6 0
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00	4 C 6 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2011-282186 (P2011-282186)  
(22) 出願日 平成23年12月22日 (2011.12.22)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成22年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「戦略的国際標準化推進事業/標準化フォローアップ/集束超音波治療装置に関する国際標準化」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)

(71) 出願人 000153498  
株式会社日立メディコ  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号  
(74) 代理人 100098017  
弁理士 吉岡 宏嗣  
(74) 代理人 100120053  
弁理士 小田 哲明  
(72) 発明者 仲本 秀和  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号  
株式会社日立メディコ内

Fターム(参考) 4C160 JJ33 JJ35 JJ36  
4C601 BB02 BB03 EE09 EE10 FF13  
GA06 GA18 GA21 GA22 JC26  
KK12 KK24 KK25 KK39 KK47  
LL33

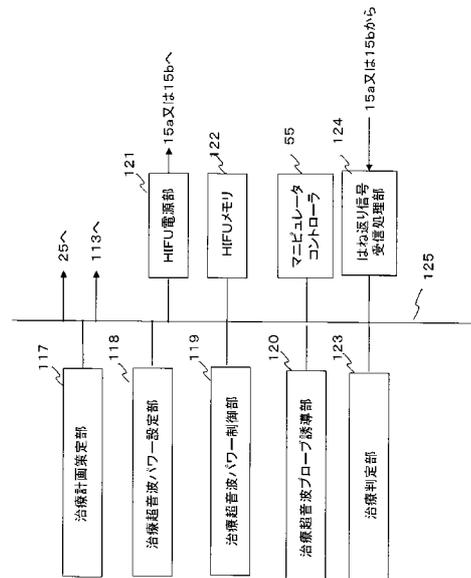
(54) 【発明の名称】 超音波治療装置及び手術支援システム

(57) 【要約】

【課題】 H I F U 治療法における治療の完了又は未完了の判定精度を向上させる。

【解決手段】 患者の治療部位に設定される治療対象領域に治療超音波を照射する治療用超音波プローブ15aと、治療用超音波プローブ15aの焦点を設定される治療超音波の集束位置132に合わせて治療超音波を照射させる超音波プローブ制御部(119, 120)と、治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する治療判定部123と、判定結果を表示するモニタ3, 29と、集束位置132に照射された治療超音波のはね返し信号137を受信する受信用超音波プローブ15bを備え、治療判定部124は、受信用超音波プローブ15bにより受信されたのはね返し信号の強度に基づいて、集束位置を含む治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する。

【選択図】 図5



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

患者の治療部位に設定される治療対象領域に治療超音波を照射する治療用超音波プローブと、前記治療用超音波プローブの焦点を前記治療対象領域に設定される前記治療超音波の集束位置に合わせて前記治療超音波を照射させる超音波プローブ制御部と、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する治療判定部と、該治療判定部の判定結果を表示するモニタとを備えてなる超音波治療装置において、

前記集束位置に照射された前記治療超音波のはね返り信号を受信する受信用超音波プローブを備え、

前記治療判定部は、前記受信用超音波プローブにより受信された前記はね返り信号の強度に基づいて、前記集束位置を含む治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定することを特徴とする超音波治療装置。

10

**【請求項 2】**

前記治療判定部は、前記はね返り信号の強度が予め設定された第 1 のしきい値以上、前記治療超音波の基本周波数に対応する前記はね返り信号の基本周波数成分の強度が予め設定された第 2 のしきい値以上の少なくとも一方により、治療完了を判定することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波治療装置。

**【請求項 3】**

さらに、前記治療判定部は、治療完了と判定した治療済み領域と、治療未完了又は未治療の治療残領域との表示態様を異ならせて前記モニタに表示することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の超音波治療装置。

20

**【請求項 4】**

前記治療超音波プローブと前記受信用超音波プローブとは、一定の間隔を隔てて同一の固定具に取り付けられ、

前記超音波プローブ制御部は、前記受信用超音波プローブの受信焦点を前記治療用超音波プローブの集束位置に制御することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の超音波治療装置。

**【請求項 5】**

さらに、直交 3 軸方向に移動可能で、かつ前記直交 3 軸周りに回転可能なハンド部を有するマニピュレータと、該マニピュレータを制御するマニピュレータコントローラとを備え、

30

前記マニピュレータのハンド部に前記治療超音波プローブと前記受信用超音波プローブが取り付けられた前記固定部を把持させ、

前記超音波プローブ制御部は、前記治療対象領域を隣接する複数のブロック領域に分け、前記治療用超音波プローブの集束位置と前記受信用超音波プローブの受信焦点を各ブロック領域に位置調整し、

前記マニピュレータコントローラは、前記超音波プローブ制御部により指定される前記ブロック領域に前記治療用超音波プローブの集束位置と前記受信用超音波プローブの受信焦点を移動させ、

前記治療判定部は、前記各ブロック領域のはね返り信号を受信してブロック領域ごとに治療判定をすることを特徴とする請求項 4 に記載の超音波治療装置。

40

**【請求項 6】**

前記受信用超音波プローブは、前記治療超音波プローブと互換性を備えて構成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の超音波治療装置。

**【請求項 7】**

超音波治療装置と、医用画像装置と、前記医用画像装置により撮像された前記患者の治療部位を含む画像が表示されるモニタとを備え、

前記超音波治療装置は、患者の治療部位に治療超音波を照射する治療超音波プローブと、前記治療超音波プローブの位置と向きを検出する位置検出器と、前記モニタに描出された前記治療部位に治療対象領域を設定する治療領域設定部と、前記治療対象領域に前記治

50

療超音波プローブから照射する前記治療超音波の集束位置を含む治療計画を策定する治療計画策定部と、前記治療計画に従った前記治療超音波プローブの位置と向き及び前記集束位置を示す誘導画像情報を作成して前記モニタに表示するとともに、前記位置検出器により検出された前記治療超音波プローブの位置と向き及び前記集束位置を示す模擬画像を作成して前記治療部位を含む画像に重ねて前記モニタに表示する治療超音波プローブ誘導部と、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する治療判定部と、該治療判定部から出力される判定結果に基づいて、前記モニタに表示された前記治療対象領域に治療済み領域と治療残領域を異なる表示態様で識別可能に表示するナビゲーション画像の表示制御部と、前記集束位置に照射された前記治療超音波のはね返り信号を受信する受信用超音波プローブを備え、

10

前記治療判定部は、前記受信用超音波プローブにより受信された前記はね返り信号の強度に基づいて、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定することを特徴とする手術支援システム。

【請求項 8】

前記治療判定部は、前記はね返り信号の強度が予め設定された第 1 のしきい値以上、前記治療超音波の基本周波数に対応する前記はね返り信号の基本周波数成分の強度が予め設定された第 2 のしきい値以上の少なくとも一方により、治療完了を判定することを特徴とする請求項 7 に記載の手術支援システム。

【請求項 9】

さらに、前記治療判定部は、治療完了と判定した治療済み領域と、治療未完了又は未治療の治療残領域との表示態様を異ならせて前記モニタに表示することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の手術支援システム。

20

【請求項 10】

前記治療超音波プローブと前記受信用超音波プローブとは、一定の間隔を隔てて同一の固定具に取り付けられ、

前記超音波プローブ制御部は、前記受信用超音波プローブの受信焦点を前記治療用超音波プローブの集束位置に制御することを特徴とする請求項 7 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の手術支援システム。

【請求項 11】

さらに、直交 3 軸方向に移動可能で、かつ前記直交 3 軸周りに回転可能なハンド部を有するマニピュレータと、該マニピュレータを制御するマニピュレータコントローラとを備え、

30

前記マニピュレータのハンド部に前記治療超音波プローブと前記受信用超音波プローブが取り付けられた前記固定部を把持させ、

前記超音波プローブ制御部は、前記治療対象領域を隣接する複数のブロック領域に分け、前記治療用超音波プローブの集束位置と前記受信用超音波プローブの受信焦点を各ブロック領域に位置調整し、

前記マニピュレータコントローラは、前記超音波プローブ制御部により指定される前記ブロック領域に前記治療用超音波プローブの集束位置と前記受信用超音波プローブの受信焦点を移動させ、

40

前記治療判定部は、前記各ブロック領域のはね返り信号を受信してブロック領域ごとに治療判定をすることを特徴とする請求項 10 に記載の手術支援システム。

【請求項 12】

前記受信用超音波プローブは、前記治療超音波プローブと互換性を備えて構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の手術支援システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を治療対象の病変部に照射して温熱により病変部を変性させて治療する超音波治療装置及びそれを備えた手術支援システムに係り、特に、治療領域の治療完了

50

と治療未完了の判定精度を向上して、治療完了と治療未完了の治療領域を精度よく可視化する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

腫瘍、血栓、脳梗塞等の病変部に超音波を照射して、それらの病変部を温熱により変性（例えば、焼灼又は破壊）させて治療する高密度焦点式超音波（HIFU：High Intensity Focused Ultrasound）治療法が知られている。HIFU治療法は、超音波を治療領域に設定した焦点に高密度に集束させることにより、侵襲性の低い治療を行うことができ、例えば、肝臓治療を経皮的に治療可能である。また、脳腫瘍などの治療は、頭部の外皮に治療超音波プローブを配置して侵襲性の低い治療を行うことが可能である。

10

【0003】

特許文献1には、HIFU治療法による超音波治療装置が開示されている。この超音波治療装置では、連続波の治療超音波及びパルス波の撮像超音波を発生する二つの役割を併せ持った超音波プローブと、超音波プローブを駆動制御する超音波送信部を備えて構成されている。超音波送信部は、超音波プローブを駆動して集束超音波を発生させる電源を備えている。さらに、超音波治療装置は、超音波を反射する尿道用カテーテルを備えるとともに、HIFU法による治療領域をモニタリングする磁気共鳴撮像（MRI）装置を備えている。特に、超音波画像のグレースケール変化に従って治療状態を判断し、治療超音波ビームの照射位置を切り換えるようにしている。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2008-526326号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

HIFU治療法における治療の完了又は未完了の判断は、超音波画像（例えば、Bモード像）を用いて治療領域の治療前後のグレースケール値をそれぞれ計算し、治療前後のグレースケール値の変化に基づいて行われている。例えば、グレースケール値が“5”から“10”まで変化する場合は、治療の要求が満たされて完了していると判断するようにしている。

30

【0006】

しかし、超音波画像のグレースケール値に変化があっても、治療が完了しているとは言い難い場合がある。逆に、グレースケール値に変化がなくても、治療が完了している場合もある。このことから、治療の完了又は未完了を超音波画像のグレースケール値の変化のみで判断するのは必ずしも正確でないから、判定精度が乏しいという問題がある。

【0007】

本発明が解決しようとする課題は、HIFU治療法における治療の完了又は未完了の判定精度を向上させることにある。

【課題を解決するための手段】

40

【0008】

本発明は、課題を解決するため、患者の治療部位に設定される治療対象領域に治療超音波を照射する治療用超音波プローブと、前記治療用超音波プローブの焦点を前記治療対象領域に設定される前記治療超音波の集束位置に合わせて前記治療超音波を照射させる超音波プローブ制御部と、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する治療判定部と、該治療判定部の判定結果を表示するモニタとを備えてなる超音波治療装置において、前記集束位置に照射された前記治療超音波のはね返り信号を受信する受信用超音波プローブを備え、前記治療判定部は、前記受信用超音波プローブにより受信された前記はね返り信号の強度に基づいて、前記集束位置を含む治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定することを特徴とする。

50

## 【0009】

すなわち、HIFU治療法により治療対象領域に高密度の治療超音波を照射すると、治療超音波の集束位置（焦点）における病変部が変性され、その集束位置に照射された治療超音波のはね返り信号（反射信号）の強度が高くなる。そこで、本発明は集束位置から反射される治療超音波のはね返り信号を受信する受信用超音波プローブを設け、これにより受信されたはね返り信号（反射信号）の強度に基づいて、治療完了と治療未完了を判定するようにしたのである。これにより、治療完了又は治療未完了の判定精度を高めることができる。

## 【0010】

特に、治療用超音波プローブとは別に、はね返り信号を受信する受信用超音波プローブを設けることが好ましい。これによれば、1つの超音波プローブを時分割で治療用と受信用に使い分ける場合に比べて、リアルタイムで治療の完了・未完了を判断できる。特に、はね返り信号は治療超音波の強度に比べて強度が極めて低いから（例えば、1/100程度）、受信専用として機能する受信用超音波プローブを設けることにより、はね返り信号の受信感度を高めることが可能になる。

10

## 【0011】

治療判定部は、はね返り信号の強度が予め設定された第1のしきい値以上の場合に、治療完了と判定する。ところで、はね返り信号には、治療超音波の周波数を基本周波数とする成分に加えて、高調波成分が含まれている。そこで、集束位置からのはね返り信号をフーリエ変換して少なくとも基本周波数成分を抽出し、その基本周波数成分の強度が予め設定された第2のしきい値以上のときに、治療完了を判定するようにすることができる。さらには、両者を組み合わせて、はね返り信号の強度が第1のしきい値以上で、かつ、はね返り信号の基本周波数成分の強度が第2のしきい値以上の場合に、治療完了と判定することができる。

20

## 【0012】

また、治療完了と判定した治療済み領域と、治療未完了又は未治療の治療残領域とを表示態様を異ならせてGUIのモニタ等に表示することができる。これにより、超音波治療装置を使用するユーザは、例えば、グラフィック・ユーザ・インターフェイス（GUI）のモニタ画像を観察して、治療済み領域と治療残領域を正確かつ精密に認識することができる。

30

## 【0013】

また、治療超音波プローブと受信用超音波プローブとを一定の間隔を隔てて同一の固定具に取り付けるとともに、超音波プローブ制御部により受信用超音波プローブの受信焦点を治療用超音波プローブの集束位置に制御することが好ましい。これにより、ユーザは、治療超音波プローブの位置及び向きを操作するとともに、モニタに表示される治療超音波プローブの焦点を治療対象領域に設定された集束位置に合わせるだけで、その集束位置（ターゲット）に照射された治療超音波のはね返り信号を高感度で受信することができる。なお、受信用超音波プローブは、治療超音波プローブと互換性を備えて構成することができる。これによれば、治療超音波を照射する方向を簡単に切替えることができるから、使い勝手に優れたものとすることができる。

40

## 【0014】

また、治療対象領域を隣接する複数のブロック領域に分け、マニピュレータ又は受波フォーカスにより受信用超音波プローブの受信焦点を各ブロック領域に位置調整して、各ブロック領域のはね返り信号を受信してブロック領域ごとに治療判定をすることができる。

## 【0015】

また、本発明の手術支援システムは、超音波治療装置と、医用画像装置と、前記医用画像装置により撮像された前記患者の治療部位を含む画像が表示されるモニタとを備え、前記超音波治療装置は、患者の治療部位に治療超音波を照射する治療超音波プローブと、前記治療超音波プローブの位置と向きを検出する位置検出器と、前記モニタに描出された前記治療部位に治療対象領域を設定する治療領域設定部と、前記治療対象領域に前記治療超

50

音波プローブから照射する前記治療超音波の集束位置を含む治療計画を策定する治療計画策定部と、前記治療計画に従った前記治療超音波プローブの位置と向き及び前記集束位置を示す誘導画像情報を作成して前記モニタに表示するとともに、前記位置検出器により検出された前記治療超音波プローブの位置と向き及び前記集束位置を示す模擬画像を作成して前記治療部位を含む画像に重ねて前記モニタに表示する治療超音波プローブ誘導部と、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する治療判定部と、該治療判定部から出力される判定結果に基づいて、前記モニタに表示された前記治療対象領域に治療済み領域と治療残領域を異なる表示態様で識別可能に表示するナビゲーション画像の表示制御部と、前記集束位置に照射された前記治療超音波のはね返り信号を受信する受信用超音波プローブを備え、前記治療判定部は、前記受信用超音波プローブにより受信された前記はね返り信号の強度に基づいて、前記治療対象領域の治療完了と治療未完了を判定する構成とすることができる。

10

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、HIFU治療法における治療の完了又は未完了の判定精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態の超音波治療装置を備えた手術支援システムの全体構成図である。

20

【図2】本実施形態の特徴部の1つである超音波プローブの構成及び動作を説明する図である。

【図3】本実施形態の超音波プローブを把持して移動操作するマニピュレータの全体構成図である。

【図4】本実施形態の超音波装置の全体構成図である。

【図5】実施形態の特徴部であるHIFUコントローラの詳細構成図である。

【図6】HIFU法を説明する図である。

【図7】治療超音波プローブの誘導画像情報であるナビゲーション画像を説明する図である。

30

【図8】本発明の特徴である治療判定の実施例1及び実施例2を説明する図である。

【図9】本発明の特徴である治療判定の実施例2の三次元治療判定を説明する図である。

【図10】本発明の特徴である治療判定の実施例3の処理手順を示すフローチャートである。

【図11】治療判定の実施例3の動作を説明する図である。

【図12】本発明の手術支援システムの処理手順の一実施形態のフローチャートである。

【図13】本発明の超音波治療装置における超音波断層画像及びMR断層画像の一例を示す図である。

【図14】本発明の手術支援システムの手術前における治療超音波パワー等のパラメータ設定時のGUIのモニタ画像の表示例を示す図である。

【図15】本発明の手術支援システムにおける術具ナビゲーション時のGUIのモニタ画像の表示例を示す図である。

40

【図16】本発明の手術支援システムにおける手術・治療時のGUIのモニタ画面の表示例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の一実施形態の超音波治療装置を適用してなる手術支援システムを、添付図面に基づいて詳細に説明する。図1に示すように、本実施形態の手術支援システムは、超音波装置1と、磁気共鳴撮像(MRI)装置2と、術者用モニタ3と、位置検出デバイス4を備えて構成される。超音波装置1には、超音波断層画像を撮像する超音波診断装置と、HIFU治療を施す超音波治療装置の機能が組み込まれている。また、超音波装置1

50

は、超音波装置本体部 11 と、超音波モニタ 12 と、超音波プローブ 13、及び超音波プローブ 13 の位置検出器を構成するポインタ 16 を備えて構成されている。超音波プローブ 13 は、本実施形態では一对の超音波プローブ 13 a、13 b を有して構成されている。一对の超音波プローブ 13 a、13 b の詳細構成については後述する。なお、超音波プローブ 13 は、一对に限らず、3 個以上の複数を有して構成することができる。

#### 【0019】

MRI 装置 2 は、例えば、垂直磁場方式永久磁石 MRI 装置であり、垂直な静磁場を発生させる上部磁石 21 と下部磁石 22、これら磁石を連結するとともに上部磁石 21 を支持する支柱 23、ベッド 24、パーソナルコンピュータ 25、MR 制御部 26、映像記録装置 27 を含んで構成されている。また、MRI 装置 2 は、傾斜磁場をパルス的に発生させる図示しない傾斜磁場発生部と、ベッド 24 に横臥された静磁場中の患者 50 に磁気共鳴を生じさせるための図示しない RF 送信器と、患者 50 からの磁気共鳴信号を受信する図示しない RF 受信器を備えている。

10

#### 【0020】

パーソナルコンピュータ 25 には、赤外線カメラ 41 が検出して算出したポインタ 16 の位置及び向きを検出情報が、超音波プローブ 13 の位置及び向き、位置データとして、ケーブル 28 を介して入力される。パーソナルコンピュータ 25 は、入力されるポインタ 16 の位置及び向きを検出情報に基づいて、MRI 装置 2 の MR 画像の位置データに変換し、MR 制御部 26 へ送信するようになっている。MR 画像の位置データは、撮像シーケンスの撮像断面へ反映され、新たな撮像断面で取得された MR 画像は術者用モニタ 3 に表示されるようになっている。また、MR 画像は映像記録装置 27 に同時に記録される。ちなみに、ポインタ 16 は、断層面指示デバイスとして機能する。したがって、例えば、穿刺針などにポインタ 16 を取り付け、穿刺針のある位置及び向きを常に撮像断面とするように構成することができる。この場合、術者用モニタ 3 には針を常に含む超音波断層像が表示されることになる。MR 制御部 26 は、ワークステーションで構成されており、パーソナルコンピュータ 25 に接続され、MRI 装置 2 の図示しない RF 送信器、RF 受信器などを制御するようになっている。

20

#### 【0021】

また、映像記録装置 27 には、手術前に取得された患者 50 の治療部位に係る病変部を含むボリューム画像データが格納されている。つまり、例えば、患者 50 の体軸に直交するスライス断層画像を体軸方向にずらして複数枚取得したボリューム画像データが格納されている。本実施形態の場合は、MRI 装置 2 で取得したボリューム画像データが格納されているが、本発明はこれに限られず、X 線装置、X 線 CT 装置又は超音波装置 1 により取得したボリューム画像データでよいことは言うまでもない。また、映像記録装置 27 に格納されたボリューム画像データには、位置検出デバイス 4 の基準ツール 42 の座標系に変換された座標データ又は変換可能な座標データが付されている。そして、パーソナルコンピュータ 25 は、ボリューム画像データに基づいて、周知のボリュームレンダリング法によりボリュームレンダリング画像（以下、三次元画像という。）を生成して、術者用モニタ 3 に表示するように構成されている。

30

#### 【0022】

術者用モニタ 3 は、図示例では、2 つの表示画面 3 a、3 b を備えてなり、モニタ支持部 31 を介して回転自在に MRI 装置 2 の上部磁石 21 に支持されており、表示画面の位置及び姿勢を自由に調整できるようになっている。また、GUI（グラフィック・ユーザ・インターフェイス）29 が備えられており、操作者は GUI モニタ画面を見ながら超音波治療を実施することができるようになっている。位置検出デバイス 4 は、2 台の赤外線カメラ 41 と、赤外線を発光する図示しない発光ダイオードと、基準ツール 42 を含んで構成されている。また、位置検出デバイス 4 は、支持アーム 43 を介して姿勢を自由に換えられるように回転自在に MRI 装置 2 の上部磁石 21 に支持されている。基準ツール 42 は、3 つの反射球 44 を備え、上部磁石 21 の側面に設けられている。これにより、位置検出デバイス 4 は断層面指示デバイスであるポインタ 16 の位置及び姿勢（向き）を検

40

50

出し、赤外線カメラ 4 1 の座標系と MRI 装置 2 の座標系をリンクさせるようになっている。

【 0 0 2 3 】

超音波装置 1 の超音波装置本体部 1 1 は、MRI 装置 2 を制御するパーソナルコンピュータ 2 5 と接続されている。ポインタ 1 6 が取り付けられた超音波プローブ 1 3 ( a 、 b ) の超音波探触子 1 4 ( a 、 b ) の一方で得られる超音波断層画像を専用の超音波モニター 1 2 に映し出すだけでなく、パーソナルコンピュータ 2 5 に転送し、画像処理が行われて術者用モニター 3 に映し出すことが可能になっている。なお、断層画像の断層位置は、超音波プローブ 1 3 に取り付けられたポインタ 1 6 により指示することができ、ポインタ 1 6 により検出された位置及び傾きの断層画像が術者用モニター 3 に表示される。また、超音波

10

【 0 0 2 4 】

ここで、図 2 を参照して、本実施形態の特徴部の 1 つである一对の超音波プローブ 1 3 a 、 1 3 b について説明する。一对の超音波プローブ 1 3 a 、 1 3 b は、図 2 に示すように、それぞれ超音波断層画像を撮像するための超音波を送受信する超音波探触子 1 4 ( a 、 b ) と、治療超音波を照射する治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) とを備えて構成されている。一对の超音波プローブ 1 3 a 、 1 3 b は、固定具 1 7 に所定の角度で対向させて一体化して固定されている。すなわち、固定具 1 7 は、U 字型に形成された一对の腕 1 7 a と、一对の腕 1 7 a の中央部に設けられた把持部 1 7 b を備えて構成され、一对の腕 1 7 a の先端に超音波プローブ 1 3 a 、 1 3 b が固定されている。治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) は、例えば治療超音波プローブ 1 5 a は 1 MHz 、治療超音波プローブ 1 5 b は 2 MHz のように異なる周波数でもよい。この場合は、腫瘍の種類や治療方法によって治療超音波プローブ 1 5 a 、 1 5 b を使い分けることができる。また、治療超音波プローブ 1 5 a 、 1 5 b は、同一の周波数のものでもよい。また、治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) は、治療超音波を照射する機能だけでなく、ハイドロホンのように焦点位置の信号を集約して受信する受信超音波プローブとして機能するように形成されている。そして、超音波探触子 1 4 ( a 、 b ) は、治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) の中心部に、同軸に取り付けられている。治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) の焦点 ( 集束位置又は受信焦点 ) 1 8 は、同一位置に制御されている。

20

30

【 0 0 2 5 】

また、治療超音波プローブ 1 5 ( a 、 b ) は、一方で治療超音波を照射し、他方で焦点からののはね返り信号 ( 反射信号 ) を受信するように制御される。例えば、図 2 ( a ) では、治療超音波プローブ 1 5 a から治療超音波を焦点 1 8 に照射し、治療超音波プローブ 1 5 b を受信超音波プローブとして焦点 1 8 からののはね返り信号を受信するように制御できる。逆に、図 2 ( b ) では、治療超音波プローブ 1 5 b から治療超音波を焦点 1 8 に照射し、治療超音波プローブ 1 5 a で焦点 1 8 からののはね返り信号を受信するように制御できる。

【 0 0 2 6 】

このように構成される超音波プローブ 1 3 ( a 、 b ) は、把持部 1 7 b を操作者が手で把持して、所望の位置及び向きに操作できるように形成されている。また、超音波プローブ 1 3 ( a 、 b ) の位置及び向きの精度が要求される場合は、図 3 に示すように、マニピュレータ 5 1 のハンド部 5 2 により、超音波プローブ 1 3 ( a 、 b ) が取り付けられた固定具 1 7 の把持部 1 7 b を把持して、所望の位置及び向きに操作するように構成することができる。マニピュレータ 5 1 は、周知のマニピュレータであり、ハンド部 5 2 を直交 3 軸 ( X 、 Y 、 Z ) 方向に移動可能に、かつ直交 3 軸周りに回転可能に、複数のアーム 5 3 及び関節 5 4 を有して形成されている。また、超音波プローブ 1 3 ( a 、 b ) の位置及び向きの制御は、超音波装置 1 から出力される指令に従って、マニピュレータコントローラ 5 5 により三次元空間で制御可能に形成されている。

40

【 0 0 2 7 】

50

図4に、超音波装置1の詳細構成を示す。超音波装置本体部11は、本実施形態の特徴部である治療超音波装置の中核をなすHIFUコントローラ110と、超音波送受信部111と、超音波画像構成部112と、超音波制御部113と、ユーザとのインターフェイスであるコントロールパネル114とを備えて構成されている。超音波送受信部111は、少なくとも2個以上の超音波プローブ13(a、b)の超音波探触子14(a、b)に接続され、超音波探触子14(a、b)との間で超音波信号を送受信するようになっている。超音波探触子14(a、b)により受信された反射エコー信号は超音波画像構成部112に入力されて、二次元超音波画像(Bモード画像)或いは三次元超音波画像(ボリュームレンダリング画像)が構成されるようになっている。超音波画像構成部112で構成された超音波画像は、モニタ12に表示されるようになっている。超音波制御部113は、超音波送受信部111と超音波画像構成部112と、HIFUコントローラ110を制御するようになっている。コントロールパネル114は、超音波制御部113に指示を与えるようになっている。HIFUコントローラ110は、患者50に照射する治療超音波のパワー(強度及び時間)を制御するようになっている。

10

#### 【0028】

このように構成される超音波装置本体部11は、選択した超音波探触子14a又は14bから患者50内に超音波を送受信し、受信した反射エコー信号を用いて診断部位についての二次元又は三次元の超音波画像を生成して超音波モニタ12と術者用モニタ3及びGUI29のモニタに表示するようになっている。また、HIFUコントローラ110は、超音波制御部113の指令に基づいて治療超音波プローブ15a(又は15b)を介して、患者50の病変部に治療超音波を照射して温熱により変性させて治療を行うように構成されている。また、同時に、治療超音波プローブ15b(又は15a)により受信される焦点位置からのはね返り信号が、HIFUコントローラ110に入力されるようになっている。

20

#### 【0029】

なお、本実施形態では、超音波断層画像を撮像するための超音波探触子14と、治療超音波を照射する治療超音波プローブ15とを別々に設けた例を説明したが、本発明はこれに限らず、同一の振動子を超音波断層画像の撮像用と、治療超音波の照射用に使い分けることもできる。この場合、HIFUコントローラ110は、撮像用として動作させる場合は患者50に照射する超音波パワーを弱め、治療超音波用として動作させる場合は患者50に照射する超音波パワーを強めるように、超音波駆動信号をパルス波又は連続波に切替えるとともに、超音波駆動信号の振幅を制御する。また、本実施形態では、超音波画像装置と超音波治療装置とを1つの超音波装置として構成したが、これらを別々に分けて構成することができる。

30

#### 【0030】

図5に、HIFUコントローラ110の詳細構成図を示す。HIFUコントローラ110は、コンピュータをプログラムで作動させて機能を発揮する治療計画策定部117と、治療超音波パワー設定部118と、治療超音波パワー制御部119と、治療超音波プローブ誘導部120と、本実施形態の特徴部に係る治療判定部123を備えて構成される。また、HIFUコントローラ110は、HIFU電源部121とHIFUメモリ122と、はね返り信号受信処理部124と、各部間の信号伝送を行うバス125を備えて構成されている。バス125には、超音波制御部113とMRI装置2のパーソナルコンピュータ25とマニピュレータコントローラ55とが通信可能に接続されている。HIFU電源部121は、図示していないが、患者50内に治療超音波を照射する治療超音波信号の発生部を備え、治療超音波プローブ15a及び15bに接続されている。また、はね返り信号受信処理部124は、受信用超音波プローブとして機能する治療超音波プローブ15a又は15bから入力されるはね返り信号の受信処理をして、バス125を介して治療判定部123に転送するようになっている。

40

#### 【0031】

このように構成されるHIFUコントローラ110は、超音波制御部113からの制御

50

指令に応じて動作するようになっている。具体的には、HIFUコントローラ110は、マニピュレータ51と連動しており、超音波治療とモニタリングの管理を一緒に行うことができる。例えば、治療計画策定部117において、治療対象領域を複数領域に分割してそれぞれに治療超音波の集束位置を割り付け、複数の集束位置の照射順番と、超音波プローブ13の位置及び向きと、移動距離と、治療間隔を予め設定しておくことで、治療開始から治療終了まで自動的に治療できるようになっている。

#### 【0032】

ここで、図6を参照して、HIFUコントローラ110による治療手順の概要を説明する。ここでは、治療超音波プローブ15aを用いて治療する場合を例に説明するが、治療超音波プローブ15bを用いて治療する場合も同様である。まず、図6(a)に示すように、治療超音波プローブ15aから照射される集束超音波131は、予め設定された1つの集束位置132に集束される。図6(b)に示すように、集束超音波131の1回の照射により温熱変性される三次元領域は、照射深度方向に直交する直径が例えば5~10mmの領域である。なお、実際に温熱変性される三次元領域は、球形ではなく、断面が円形で照射深度方向に少し長円の領域になるが、図示例では球形領域として示している。したがって、集束超音波131による治療を行う際は、図6(b)に示すように、1つの集束位置132に治療超音波を集束させて行う。そして、図6(c)に示すように、集束位置132の位置を二次元及び三次元に順次移動させて、治療対象領域133の全域に集束超音波を照射する。ここで、周知のARFI(Acoustic Radiation Force Impulse)による焦点可視化を行うことができる(非特許文献2参照)。ARFIによれば、理想的な焼灼領域に対して、生体組織内の実際の影響領域を算出することができるから、三次元計測を行うことで立体的な治療対象領域を算出できる。

#### 【0033】

【非特許文献2】Palmeri ML, Wang MH, Dahl JJ, Frinkley KD, et al. Quantifying hepatic shear modulus in vivo using acoustic radiation force. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2008;34:546-58.

#### 【0034】

次に、図7を参照して、HIFUコントローラ110による誘導支援表示機能及び超音波治療について、図5に示した各部の処理動作に分けて説明する。患者50は例えば手術台上に固定されており、本実施形態では、治療超音波プローブ15(a、b)を用いて非侵襲治療を行う。同図では、図示を簡単化するため、一方の治療超音波プローブ15aを用いて治療を行う場合を示している。まず、用手又はマニピュレータ51を用いて、超音波プローブ13aを患者の治療を行う、例えば頭部の外皮に当てる。これにより、位置検出デバイス4の赤外線カメラ41により検出されたポイント16の位置データに基づいて、超音波装置本体部11は、超音波プローブ13aの位置及び向きを検出して、超音波探触子14aにより撮像される超音波断層像の座標データを算出する。パーソナルコンピュータ25はその超音波断層像の座標データに対応するMR画像を、映像記憶装置27に記憶されているボリューム画像データから切り出す。そして、図7に示すように、アキシャル(Axial)画像、サジタル(Sagittal)画像、コロナル(Coronal)画像の直交3断面画像を含むナビゲーション画像130が術者用モニタ3には表示される。また、術者用モニタ3には、ナビゲーション画像130の一つとしてボリュームレンダリングにより作成した三次元画像を表示させることができる。なお、ナビゲーション画像130は、MRI装置により撮像されたT1強調画像又はT2強調画像等のボリューム画像データから、ポイント16により指示された治療部位を含む超音波断層像に対応するMR断層像及びボリュームレンダリング画像が用いられる。

#### 【0035】

治療領域設定部115は、術者用モニタ3又はGUIモニタに表示される治療部位を含むナビゲーション画像130に基づいて、自動又は用手法により治療すべき領域の外縁に、輪郭線を描画させて治療対象領域133を設定する。また、同様にして、術者は、ナビゲーション画像130に警告領域134の輪郭線を描画させて設定する。なお、ナビゲー

10

20

30

40

50

ション画像 130 上には、治療超音波プローブ誘導部 120 の機能により、治療超音波プローブ 15 a (又は 15 b) の位置及び向きを示す模擬画像 135 が重畳表示される。また、模擬画像 135 には、治療超音波プローブ 15 a (又は 15 b) の治療超音波の集束位置 132 が表示される。また、模擬画像 135 は、これに限らず、矢印と数値の画像により構成することができる。治療超音波プローブ誘導部 120 は、例えば、ナビゲーション画像 130 上の集束位置 132 が警告領域 134 内に入った場合にナビゲーション画像 130 や治療超音波パワーを自動的に変更する機能も有している。その他、上記条件を手術環境に応じて変更することができる。

#### 【0036】

治療計画策定部 117 によって策定された治療計画に従って、治療超音波プローブ誘導部 120 はマニピュレータコントローラ 55 を介してマニピュレータ 51 を駆動制御し、治療超音波プローブ 15 a を患者 50 の体表面に当接させ、位置及び向きを設定された集束位置 132 の 1 つに合わせる。一方、治療超音波パワー制御部 119 は、治療計画に従って集束位置 132 ごとに HIFU 電源部 121 を制御して、治療超音波プローブ 15 a の焦点を集束位置 132 に合わせるとともに治療超音波パワーを制御する。そして、集束位置 132 に治療超音波を照射して治療を実行する。つまり、治療超音波プローブ誘導部 120 と治療超音波パワー制御部 119 によって超音波プローブ制御部が構成されている。

10

#### 【0037】

次に、本実施形態の特徴部である図 5 に示した治療判定部 123 の機能構成について、実施例に分けて説明する。

20

##### (治療判定部の実施例 1)

治療判定部 123 の実施例 1 について説明する。治療超音波プローブ誘導部 120 と治療超音波パワー制御部 119 からなる超音波プローブ制御部は、1 つの集束位置 132 ごとに治療を実施する。治療判定部 123 は、1 つの集束位置 132 ごとに治療の効果を判定する。すなわち、図 8 (a) に示すように、治療超音波プローブ 15 a から集束位置 132 に治療超音波が照射されると、受信用超音波プローブとして機能する治療超音波プローブ 15 b により集束位置 132 の病変部から反射されたはね返り信号 137 が受信される。このはね返り信号 137 は、HIFU コントローラ 110 のはね返り信号受信処理部 124 に入力され、所定の受信処理がなされて治療判定部 123 に入力される。治療判定部 123 は、入力されるはね返り信号 137 の信号強度 (振幅値)  $D$  を求め、予め定められた第 1 のしきい値  $SV_1$  と比較し、 $D \geq SV_1$  であれば治療完了と判定する。また、 $D < SV_1$  であれば治療未完了乃至未治療と判定する。この判定結果に基づいて最終的に治療完了の領域をまとめて治療済み領域と認定し、治療済み領域の情報をナビゲーション画像の表示制御部を構成するパーソナルコンピュータ 25 に転送して、ナビゲーション画像 130 に反映させる。例えば、治療済み領域と未治療領域 (治療残領域) を色分けして、ナビゲーション画像 130 に識別可能に表示する。集束位置 132 を含むブロックについて、治療未完了と判定された場合は、治療超音波パワー制御部 119 により、治療超音波プローブ 15 a の治療超音波のパワーを高くする補正、あるいは治療時間を長くする補正を行うことができる。

30

40

#### 【0038】

治療超音波プローブ誘導部 120 と治療超音波パワー制御部 119 からなる超音波プローブ制御部は、マニピュレータ 51 により治療超音波プローブ 15 a を三次元的に移動して、集束位置 132 を三次元的に移動して治療を行う。一方、受信用超音波プローブである超音波プローブ 15 b の受信焦点は、マニピュレータ 51 により移動される治療超音波プローブ 15 a に連動して三次元的に集束位置 132 に移動される。治療対象領域は、図 8 及び図 9 に示すように、複数のブロックからなるブロック群 140 に分割される。図示では、 $3^3$  個のブロックからなるブロック群 140 の例を示したが、これに限られるものではなく、任意のブロック数に分割することができる。各ブロックの中心に集束位置 132 が設定され、集束位置 132 に治療超音波を照射するとともに、集束位置 132 からの

50

はね返り信号 137 を受信する。このような治療超音波の照射と、はね返り信号の受信とを、三次元に分割されたブロックごとに実施する。

【0039】

図8では、説明を分かり易くするために、治療超音波を照射する集束位置 132 を二次元的に移動しながら、各集束位置 132 からはね返り信号 137 を二次元的に検出する場合について説明する。すなわち、図8(b)に示すように、治療超音波を集束位置 132 に照射するとともに、その集束位置 132 からはね返り信号 137 を検出する。そして、マニピュレータ 51 を操作して、集束位置 132 をブロック群 140 の各ブロックに移動するとともに、移動に合わせて照射したブロックのはね返り信号 137 を検出する。これにより、治療超音波を照射した各ブロックの集束位置 132 のはね返り信号の三次元データが得られる。例えば、マニピュレータ 51 のハンド部 52 を x 軸方向に移動させると、治療超音波を照射する治療超音波プローブ 15a 及び受信用の治療超音波プローブ 15b も x 軸方向に同一量移動する。これにより、治療超音波の集束位置 132 が隣のブロック 141 に移動されるとともに、はね返り信号 137 の受信焦点がブロック 141 に移動されてそのブロック 141 のはね返り信号 137 が受信される。

10

【0040】

このようにして、取得されたはね返り信号 137 を三次元の各ブロックについて解析して得られる信号強度 D の時間変化を、図8(a)、(b)に示すようにグラフ化する。そして、信号強度 D を第 1 のしきい値  $SV_1$  と比較して、各ブロックについて治療の完了・未完了を判定する。つまり、一定時間以上、 $D \geq SV_1$  であれば治療完了と判定し、 $D < SV_1$  であれば治療未完了あるいは未治療と判定する。例えば、図8(a)では、集束位置 132 を含むブロック 138 では、しきい値  $SV_1$  以上の信号強度 D が一定時間得られたことから治療完了と判定される。一方、図8(b)では、ブロック 138 の隣のブロック 141 では、信号強度 D がしきい値  $SV_1$  未満であることから、治療未完了であると判定される。このように、三次元の複数のブロックからなるブロック群 140 について、はね返り信号 137 をブロックごとに受信して信号強度 D を求め、その信号強度 D を解析することにより三次元的に治療の完了・未完了を判定することができる。

20

【0041】

図9を参照して、三次元のブロックごとに治療の完了・未完了を判定した結果の情報をナビゲーション画像 130 に反映させて、ユーザに治療の進捗状態を容易に識別可能にする例を説明する。図8と同様に、ブロック群 140 内の各ブロックのはね返り信号 137 の信号強度 D を求める。その結果、図9のグラフに示すように、ブロック 138 の前後及び上下のブロックからなるブロック群 142 の各ブロックの信号強度 D が  $SV_1$  よりも高いことから、治療完了と判定される。一方、ブロック群 142 の左右のブロック群 143、144 は、各ブロックの信号強度 D が  $SV_1$  よりも低いことから、治療未完了又は未治療と判定される。そして、治療完了のブロック群 142 をまとめて治療済み領域と認定し、その情報をナビゲーション画像に転送して治療済み領域として画像情報に反映させる。これにより、ユーザは容易に治療の進捗状況を認識することができる。治療未完了と判定されたブロックについては、治療超音波プローブ 15a の治療超音波のパワーを高くする補正、あるいは治療時間を長くする補正を行うことができる。

30

40

【0042】

このように、治療判定部 123 の実施例 1 によれば、マニピュレータ 51 のハンド部 52 に治療超音波プローブ 15a と受信用の治療超音波プローブ 15b が取り付けられた固定部 17 を把持させ、超音波プローブ制御部である治療超音波パワー制御部 119 及び治療超音波プローブ誘導部 120 において、治療対象領域 133 を複数のブロックに分割し、治療超音波プローブ 15a の集束位置 132 を各ブロックに中心に合わせて治療超音波を照射する。これに合わせて、受信用の治療超音波プローブ 15b の受信焦点が各ブロックに位置調整されるから、治療判定部 123 により各ブロックのはね返り信号を受信してブロック領域ごとに治療判定をすることができる。なお、本実施例 1 では、マニピュレータ 51 により治療超音波プローブ 15a 及び受信用の治療超音波プローブ 15b の集束位

50

置あるいは焦点位置を制御することを説明したが、周知のように、治療超音波プローブ 15 a 及び 15 b を構成する複数の振動子を電子走査して、集束位置あるいは焦点位置を制御することを、単独あるいは組み合わせて用いることができる。

#### 【0043】

(治療判定部の実施例 2)

治療判定部 123 の実施例 2 について、図 10 及び図 11 を参照して説明する。図 10 は、治療判定部 123 及びはね返り信号受信処理部 124 における処理手順を示すフローチャートである。治療超音波プローブ 15 b (又は 15 a) で受信されたはね返り信号 137 は、はね返り信号受信処理部 124 において検波され (S1201)、次いでアナログデジタル (AD) 変換され、はね返り信号 137 の信号強度  $D$  が治療判定部 123 に入力される (S1202)。治療判定部 123 は、入力されるはね返り信号 137 の信号強度  $D$  をフーリエ変換して信号強度  $D$  の周波数分布  $D(f)$  を求めた後 (S1203)、ノイズを除去するフィルタリング処理を実行する (S1204)。次に、フーリエ変換された信号強度  $D$  の基本周波数成分  $f_0$  の周波数成分  $D(f_0)$  をフーリエ逆変換 (再構成) して基本周波数成分  $f_0$  の信号強度  $D_0$  を求める (S1205)。この信号強度  $D_0$  の変化をグラフ化し、しきい値  $SV_1$  と比較して治療完了・未完了の治療判定を実行する (S1206)。ここで、基本周波数成分  $f_0$  とは、治療超音波プローブ 15 a から照射した治療超音波の周波数である。

10

#### 【0044】

図 11 (a) に、治療判定部 123 に入力される治療前のはね返り信号 137 の信号強度  $D$  の変化を示し、同図 (b) に治療時のはね返り信号 137 の信号強度  $D$  の変化を示す。治療前は、治療超音波を照射していないので、集束位置 132 からはね返り信号 137 が小さいので、その信号強度  $D$  は図 11 (a1) に示すように、ほとんど検波できないようなノイズレベルであり、 $SV_1$  を越えることはない。この信号強度  $D$  をフーリエ変換した周波数分布を図 11 (a2) に示す。図からわかるように、元の信号強度  $D$  がノイズレベルなので、周波数情報に変換しても特定の周波数を検出することはできず、周波数成分について設定した第 2 のしきい値  $SV_2$  以上となることもない。

20

#### 【0045】

一方、治療時においては、治療超音波を照射しているので集束位置 132 からの大きなはね返り信号 137 が治療判定部 123 に入力される。つまり、治療超音波による焼灼などの治療効果が大きいと信号強度  $D$  が高くなるため、実施例 1 で説明したと同様に、図 11 (b1) に示すように第 1 のしきい値  $SV_1$  以上となり、治療が完了したと判定することができる。さらに、信号強度  $D$  をフーリエ変換した周波数分布  $D(f)$  を図 11 (b2) に示す。図からわかるように、治療超音波プローブ 15 a から照射した治療超音波の基本周波数成分  $f_0$  の信号強度  $D(f_0)$  が第 2 のしきい値  $SV_2$  以上となる。また、同時に、第二次高調波  $f_2$ 、第三次高調波  $f_3$ 、第四次高調波  $f_4$  等の高調波成分が検出されることもある。しかし、治療判定には、基本周波数成分  $f_0$  の信号強度  $D(f_0)$  に基づいて行うことが望ましい。そこで、第 2 のしきい値  $SV_2$  は、信号強度  $D(f_0)$  の実績に基づいて設定する。なお、高調波成分の信号強度は参考値として考慮することができる。この場合、第  $m$  次高調波成分ごとに判定のしきい値  $SV_m$  を設定することが好ましい。

30

40

#### 【0046】

ここで、第 1 のしきい値  $SV_1$  と第 2 のしきい値  $SV_2$  の設定法について説明する。検出するはね返り信号 137 は、治療超音波にて治療された焦点 132 の乱反射信号であり、治療超音波パワーの 1% くらいの微弱な信号である。この点を考慮して、第 1 のしきい値  $SV_1$  と第 2 のしきい値  $SV_2$  を設定する。ところで、焦点 132 からはね返り信号 137 の信号強度  $D$  が高く、第 1 のしきい値  $SV_1$  以上の場合であっても、基本周波数成分の信号強度  $D(f_0)$  が第 2 のしきい値  $SV_2$  未満の場合がある。この場合は、信号強度  $D$  にノイズ分が含まれていると判断できるから、そのような集束位置 132 の治療対象領域については、治療未完了あるいは未治療又は追加治療が必要であると判定する。つまり、信号強度  $D$  又は信号強度  $D(f_0)$  の一方がしきい値  $SV_1$  又は  $SV_2$  を下回る場合

50

には、治療未完了と判定することにより、治療判定の精度が向上し、高い治療精度を担保できる。なお、治療判定は、治療対象の腫瘍等の病変部の全体をカバーするよう三次元的に実施される。

【0047】

図12に、本発明の手術支援システムの一実施形態の処理手順のフローチャートを示す。特に、本実施形態の手術支援システムでは、HIFU治療法によって治療された領域を、GUIモニタに表示して可視化するようにしている。すなわち、パーソナルコンピュータ25とMR制御部26は、MRI装置2を用いて三次元ボリューム撮像及び三次元画像の再構成を行ってGUI29のモニタに表示する(S101)。表示された三次元画像から画像処理にて治療対象領域(セグメンテーション)133を描出する(S102)。次いで、HIFUコントローラ110の治療計画策定部117は、治療対象領域133に対して複数の集束位置132を割り付けるとともに、各集束位置132について超音波プローブ13の位置及び向きを含むHIFU治療計画を策定する(S103)。また、治療に必要な治療超音波パワーやしきい値等のパラメータを入力設定する(S104)。次いで、治療超音波プローブ誘導部120を起動してナビゲーション等の手術支援誘導を実施し(S105)、ハイドロホンを兼用した複数個の治療超音波プローブ15を設置して(S106)、手術(超音波治療)を開始する(S107)。

10

【0048】

手術時は、超音波プローブ13a(又は13b)の位置を追従してナビゲーション画像130上に重畳表示することで(S108)、GUI29や数値情報を用いて超音波プローブ13a(又は13b)を治療計画位置(目的位置)へ誘導する(S109)。誘導後は超音波画像やMRI画像にて集束位置132を確認後(S110)、治療超音波による治療を開始する(S111)。一方の超音波プローブ13a(又は13b)にて治療時には、もう片方の超音波プローブ13b(又は13a)にてはね返り信号137を受信する(S112)。ここで、連続的かつリアルタイムにはね返り信号137の検波及び解析を行い(S113)、はね返り信号の信号強度Dがしきい値(SV<sub>1</sub>又はSV<sub>2</sub>)以上であれば(S114)、治療完了と判定してその位置をマーキングする(S116)。しきい値(SV<sub>1</sub>又はSV<sub>2</sub>)未満であればHIFU治療の超音波パワーを上昇させて治療効果を促進させる(S115)。この状態で再度、はね返り信号137を受信し(S112)、その検波及び解析を行い(S113)、治療が完了したか否かを判定する(S114)。この処理を治療対象領域の全域に対して実施する。そして、未治療あるいは追加治療領域があるかどうか判断し(S117)、マニピュレータ51を三次元的に移動させて未治療領域に向けて治療超音波プローブ13a(又は13b)の位置を調整して治療を繰り返す(S118)。最終的に、治療が完了したら超音波診断装置、X線CT装置あるいはMRI装置等の医用画像装置にて治療後の画像を取得し、取得した画像から治療前後の差分画像を作成表示して、治療効果判定を行う(S119)。しかし、ステップS119は省略できる。

20

30

【0049】

このようにして、本実施形態の手術支援システムによれば、治療の判定結果に基づいて治療完了の領域をまとめて治療済み領域と認定し、治療済み領域の情報をパーソナルコンピュータ25に転送して、ナビゲーション画像130に反映させる。例えば、治療済み領域と未治療領域を色分けして、ナビゲーション画像130に識別可能に表示する。これにより、治療完了領域と治療未完了(残治療)領域の可視化が可能となる。また、焦点132を含むブロックについて、治療未完了と判定された場合は、その未完了領域に超音波プローブ13a(又は13b)の位置を移動させてステップS108に戻って処理を繰り返す。この際、治療超音波プローブ15aの治療超音波のパワーを高くする補正、あるいは治療時間を長くする補正を行うことができる。

40

【0050】

図13に、超音波装置1とMRI装置2とで交互に撮像したときの断層画像の一例を示す。患者50に対して術者又はマニピュレータ51が超音波探触子14a(又は14b)

50

を当てて治療部位を含む超音波断層画像136を撮像すると、超音波断層画像136が超音波モニタ12と術者用モニタ3に表示される。つまり、コンピュータ25が超音波断層画像136に対応するMR断層画像をボリューム画像データから切り出し、前述したように術者用モニタ3にMR断層画像137を表示する。そして、治療部位に応じて術者又はマニピュレータ51が超音波探触子14aを移動させると、これに追従して超音波断層画像136及びMR断層画像139が追従して超音波モニタ12及び術者用モニタ3の表示画像が変わる。また、図示していないが、GUI29のモニタにも同じ画像が表示される。つまり、超音波プローブ13aには位置を検出するためのポイント16が取り付けられているから、位置検出デバイス4によって超音波プローブ13a(又は13b)の位置及び向きを検出して、集束位置132の位置に追従して超音波プローブ13a(又は13b)の位置決めをする。

10

**【0051】**

このようにして、図13に示すように、超音波探触子14aによる超音波断層画像136と、同一位置のMR断層画像139を得ることが可能になり、それぞれ交互に撮像を行って画像情報を取得することが可能となる。MRI装置2の高速撮像シーケンスの応用のひとつとして、フルオロスコピー(透視撮像)と呼ばれるリアルタイム動態画像化法が臨床応用されつつある。フルオロスコピーでは、1秒以下程度の周期で撮像と画像再構成を繰り返すことにより、あたかもX線透視撮像のように体内組織の動態抽出や体内に外部から挿入した器具の位置把握に用いることができる動態画像を生成・表示することができる。この応用は三次元高速撮像にも応用されている。

20

**【0052】**

以下、本実施形態の手術支援システムの操作と各種の表示画像を説明する。図14に、本実施形態の手術支援システムの手術前における治療超音波パワー等のパラメータ設定時のGUI29のモニタの表示例を示す。GUI画像931の下欄には操作ボタンが、左欄には手術前の処理フローチャートが、中央欄には直交3断面画像920~922及びボリュームレンダリング(Volume Rendering)画像923が、右欄には「HIFU照射強度情報」及び治療判定に係る信号強度のしきい値の設定画面が表示される。

**【0053】**

まず、3DScanボタン901を押下げて、三次元撮像・三次元再構成を実施する(ステップ911)。再構成された画像はGUI29のモニタの中央欄に直交3断面画像920~922及びボリュームレンダリング(Volume Rendering)画像923として表示される。次に、治療領域描出ボタン902を押下げて、三次元画像から治療対象領域(セグメンテーション)をボリューム検出して画像に描出する(ステップ913)。また、必要に応じて治療対象領域に加えて警告領域を設定してもよい。次に、HIFU治療計画ボタン903を押下げて、治療超音波プローブ15a(又は15b)の位置及び方向の治療計画を策定して集束位置924と方向925を各画像に表示する(ステップ914)。このとき、肺や骨等の超音波の妨げとなる経路を予め考慮しておく。ナビゲーションソフトには、手術シミュレーション機能もあり、治療超音波プローブ15a(又は15b)以外にも登録術具を用いたアプローチ方法(角度・距離)を可視化する機能もある。治療パラメータボタン904を押下げて治療超音波プローブ15a(又は15b)の個別情報を入力し、治療超音波パワー等のパラメータ情報を設定する(ステップ915)。設定された治療超音波パワー等の情報は、右表示域931の「HIFU照射強度情報」に表示される。また、治療パラメータ(しきい値)ボタン905を押下げて、受信用超音波プローブ15a(又は15b)が受信するはね返り信号の信号強度Dのしきい値をそれぞれ設定する(ステップ915)。なお、上記の実施形態では受信用超音波プローブ15が2つの例を説明したが、本発明は2つに限らず3つ以上の複数設けることができ、図14はn(nは、2以上の自然数)個の例を示している。これらの設定をした後、ナビゲーション起動ボタン906をクリックすると、関連ソフトが起動して(ステップ916)、手術開始となる(ステップ917)。

30

40

**【0054】**

50

図15に、本実施形態の手術支援システムにおける術具ナビゲーション時のGUI29のモニタの表示例を示す。超音波画像ボタン1001を押下げることにより、超音波情報画面1011内の超音波画面1012にリアルタイムの映像が表示される。また、集束超音波経路1014と治療対象領域1013も重畳表示される。同時に手術に必要な患者情報と手術情報1015が表示され、視覚的に状況を把握できるようになっている。その他、患者情報や術具（治療装置）等の情報詳細であるHIFU照射強度情報として治療超音波プローブに係る各種パラメータ1016、事前に設定した治療パラメータ1017～1019も同一画面内に表示でき、事前に設定した各しきい値1020～1022も表示される。これらの情報は、パラメータ変更/治療器具変更ボタン1003、画像情報変更ボタン1004、モニタリングボタン1005を押下げることで、手術中でも自由に設定変更可能である。

10

#### 【0055】

一方、ナビゲーション画像はナビゲーション画像ボタン1002を押下げることで、直交3断面1031～1033の他にVolume Rendering画像1034が表示され、超音波プローブ1035の位置を画像上に重畳表示することもでき、さらに術具に応じた治療対象領域も表示することができる。また、治療対象領域の集束位置1036及び警告領域をそれぞれ設定しておくことで、直交3断面1031～1033の他にVolume Rendering画像1034上に重畳表示することができ、実空間と画像情報を用いて手術をすることができる。直交3断面の中心は一般的に治療対象領域に設定されているが、超音波プローブ1035や治療対象領域を常に表示させることも可能である。また、三次元画像は画像情報変更ボタン1004を押下げることで、リアルタイムに変更することができ術者の希望により自由に表示ができる。これらの画像は事前に取り込んでおいたMR画像、CT画像、超音波画像を用いることもできるが、その場で撮像したリアルタイム画像を用いることもできる。治療パラメータボタン904、905で設定した情報は、モニタリングボタン1005でON/Offを自由に変更することができ、信号検出があれば各情報は停止指示があるまで時系列にグラフ表示される。その時に、自動的に警告を発するための自動警告ボタン1006を押下げておくことで、しきい値1020～1022以上の値になった場合には術者にわかるような音や色による各種警告をすることができる。ナビゲーションによる手術器具の誘導が終了したら、治療開始ボタン1007を押下げることで治療モードへ移行する。

20

30

#### 【0056】

図16に、本実施形態の手術支援システムにおける手術・治療時のGUIモニタ画面の表示例を示す。超音波画面1111にリアルタイムの超音波画像が表示される。さらに集束超音波経路1113と集束位置1115、治療対象領域1114が重畳表示される。治療開始（又は終了）指示に合わせて、治療ボタン1101を押下げることで、治療超音波の照射が実施される。また、治療ボタン1101に連動して患者情報、手術情報、治療経過・ログが記録される。この機能により、治療前情報と治療中及びその差分情報（治療経過情報、残治療領域等）が画像情報として表示される。また、ログ表示ボタン1106は、過去に行った治療経過内容を見直すために使用される。生体情報は、患者情報や術具（治療装置）等の情報詳細が表示され、深度や周波数等の各種パラメータが表示される。

40

#### 【0057】

一方、ナビゲーション画像には直交3断面画像1131～1133の他にVolume Rendering画像1134が表示され、超音波プローブ1135の位置を画像上に重畳表示することもでき、さらに術具に応じたターゲット（集束位置）も表示することができる。また、治療対象領域1137及び警告領域（マージン）をそれぞれ設定しておくことで、直交3断面画像1131～1133に重畳表示することができ、画像情報を用いて手術をすることとなる。ここで、残治療領域描出ボタン1107を押下げることで、治療前の治療対象領域1114から治療中の領域1115との三次元的差分情報（残治療領域）が明瞭に分かるようになっている。さらに、追加治療/治療終了ボタン1108を押下げることで、治療音波プローブの再設置位置をシミュレーションすることができ、例えば再経路1138

50

を 3 軸断面画像 1 1 3 1 ~ 1 1 3 3 及び Volume Rendering 画像 1 1 3 4 内に表示できる。

【 0 0 5 8 】

治療ボタン 1 1 0 1 に合わせて、モニタリングボタン 1 1 0 2 を連動させることで、治療超音波プローブ 1 1 3 5 とは異なる受信超音波プローブ 1 1 4 0 が焦点 1 1 1 6 からはね返り信号を受信する。さらに、受信超音波プローブ 1 1 4 0 の固定具を把持するマニピュレータ 5 1 が三次元的に移動することで、集束位置 1 1 1 6 を中心として複数のブロック 1 1 1 7 のはね返り信号を取得する。取得したはね返り信号は図 1 0 のフローに従って解析され、解析信号情報が専用の画面 1 1 1 8 の各ブロックと専用グラフ 1 1 2 3 上にグラフ 1 1 2 8 が表示される。ここでは、しきい値以上のはね返り信号が設定時間以上継続しているので、治療完了であると自動的に判断され、治療済み情報 1 1 1 6、1 1 1 9、1 1 3 6 が超音波画面 1 1 1 1 とナビゲーション画面上に表示される。このデータ取得はモニタリングボタン 1 1 0 2 が Off になるまで三次元的に繰り返され、解析信号情報が専用の画面 1 1 1 8 の各ブロック、専用グラフ 1 1 2 2 ~ 1 1 2 4、超音波画像 1 1 1 1 及びナビゲーション画像 1 1 3 1 ~ 1 1 3 4 がリアルタイムに更新される。また、自動的に警告を発するための自動警告ボタン 1 1 0 3 を押下げておくことで、はね返り信号がしきい値 1 1 2 5 ~ 1 1 2 7 以上の値になった場合に、術者にわかるような音や色による各種警告をすることができる。その他、画像情報更新ボタン 1 1 0 4 やパラメータ変更ボタン 1 1 0 5 は前述の通りである。最終的に治療結果が GUI モニタ画面上に表示され、問題なければ追加治療 / 治療終了ボタン 1 1 0 8 を押下して手術・治療終了とする。

10

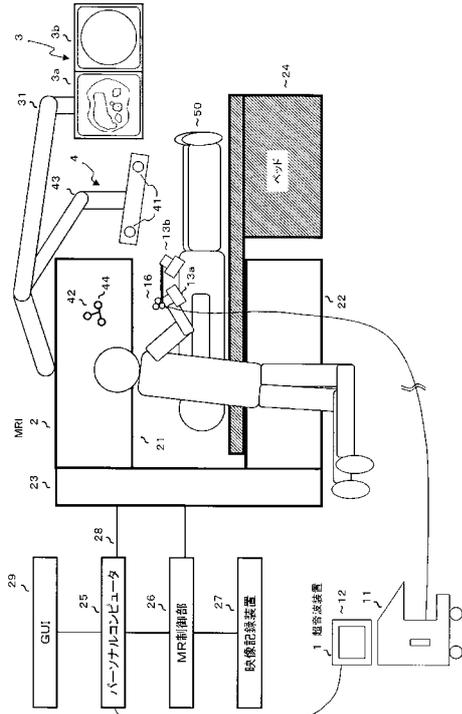
【 符号の説明 】

20

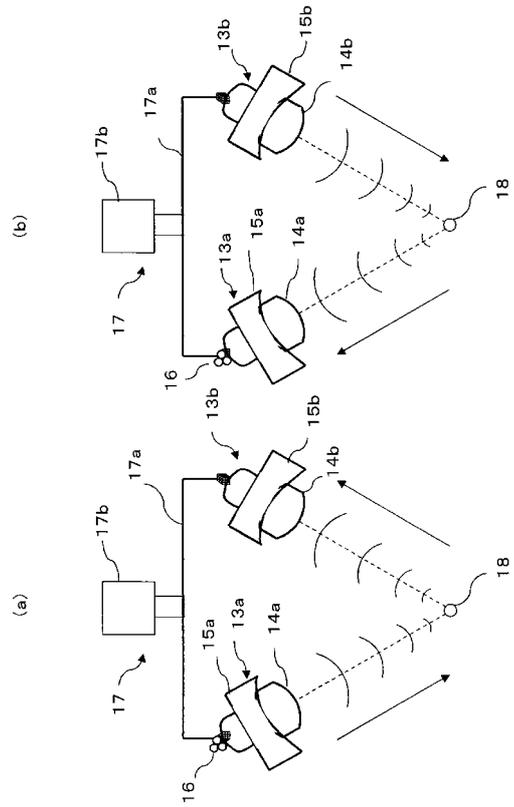
【 0 0 5 9 】

1 ... 超音波装置、2 ... M R I 装置、3、3 a、3 b ... 術者モニタ、4 ... 位置検出システム、1 1 ... 超音波装置本体部、1 2 ... 超音波モニタ、1 3 ( a , b ) ... 超音波プローブ、1 4 ( a , b ) ... 超音波探触子、1 5 ( a , b ) ... 治療超音波プローブ、1 6 ... ポインタ、1 1 1 ... 超音波送受信部、1 1 2 ... 超音波画像構成部、1 1 3 ... 超音波制御部、1 1 4 ... コントロールパネル、1 1 0 ... H I F U コントローラ、2 5 ... コンピュータ、4 2 ... 基準ツール、2 6 ... M R 制御部、2 7 ... 映像記録装置、2 9 ... G U I、5 0 ... 患者、5 1 ... マニピュレータ、1 1 7 ... 治療計画策定部、1 1 9 ... 治療超音波パワー制御部、1 2 0 ... 治療超音波プローブ誘導部、1 2 3 ... 治療判定部、1 2 4 ... はね返り信号受信処理部

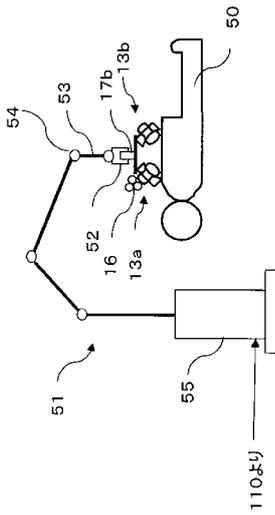
【 図 1 】



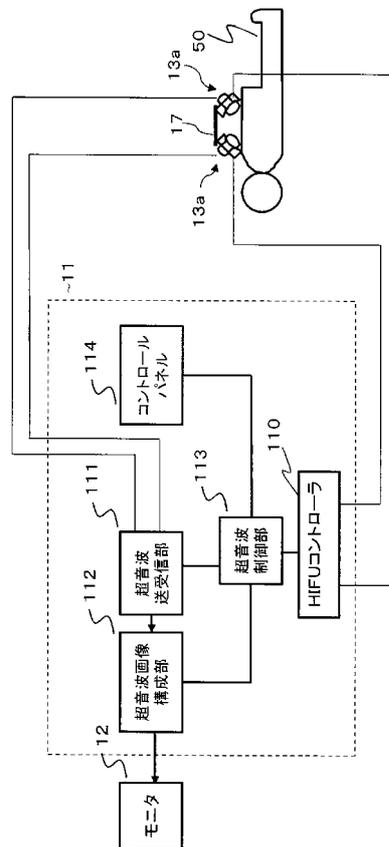
【 図 2 】



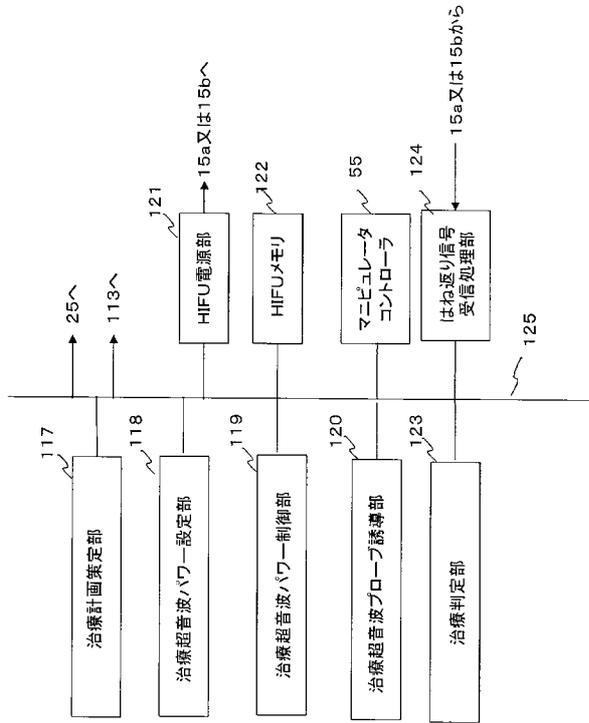
【 図 3 】



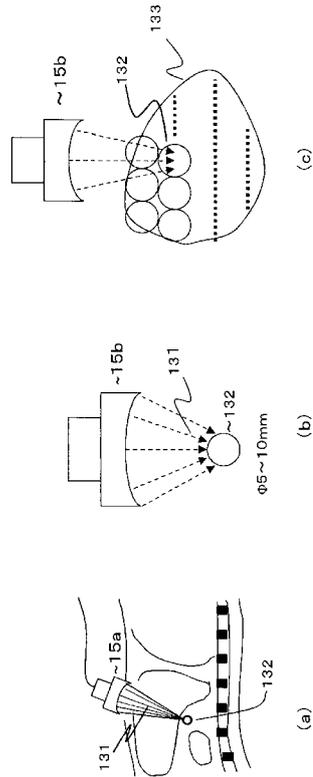
【 図 4 】



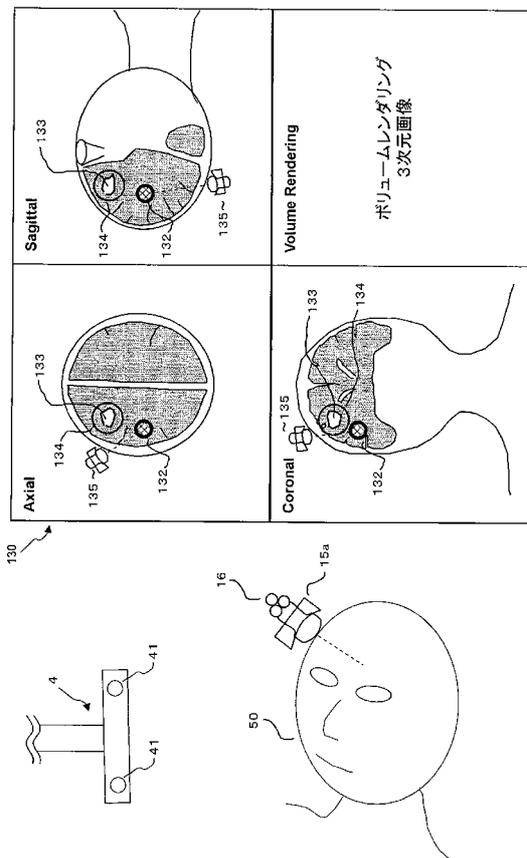
【 図 5 】



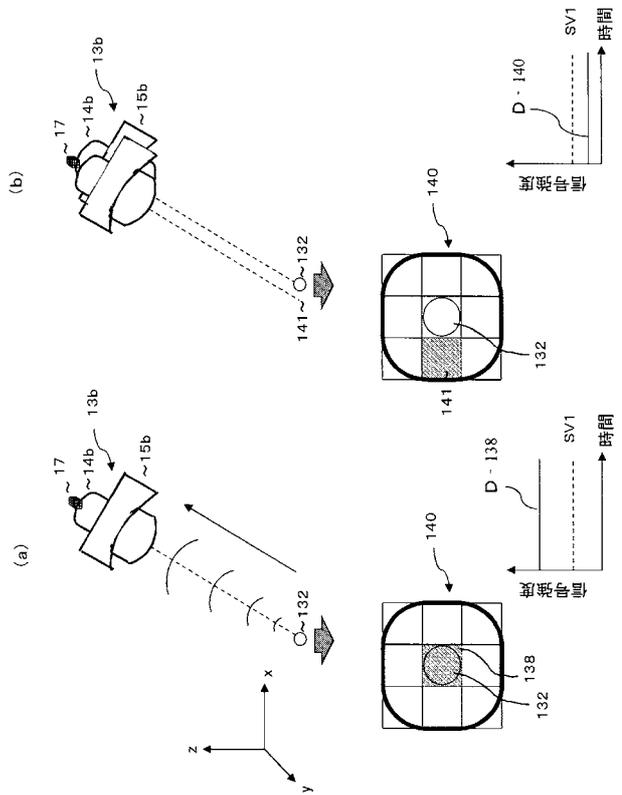
【 図 6 】



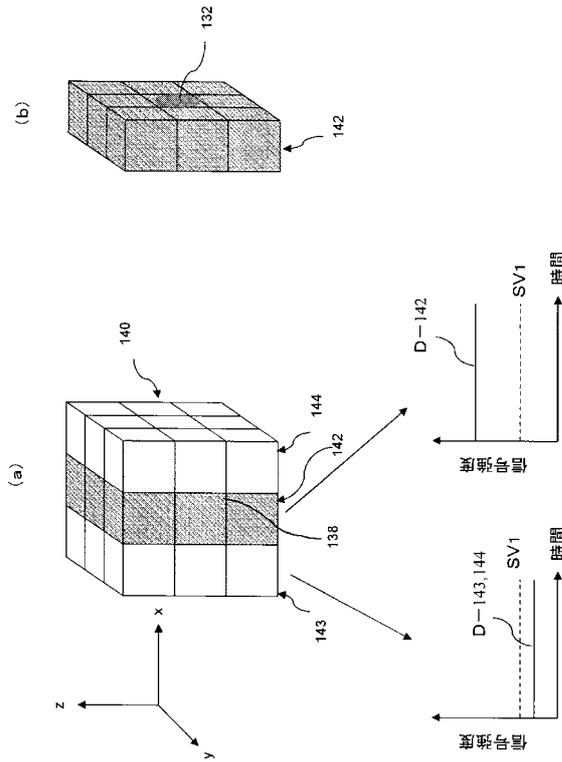
【 図 7 】



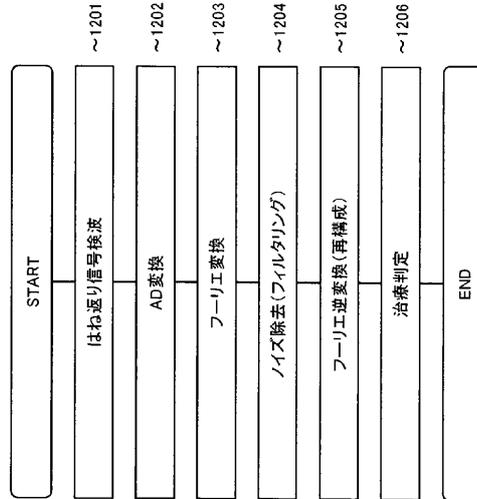
【 図 8 】



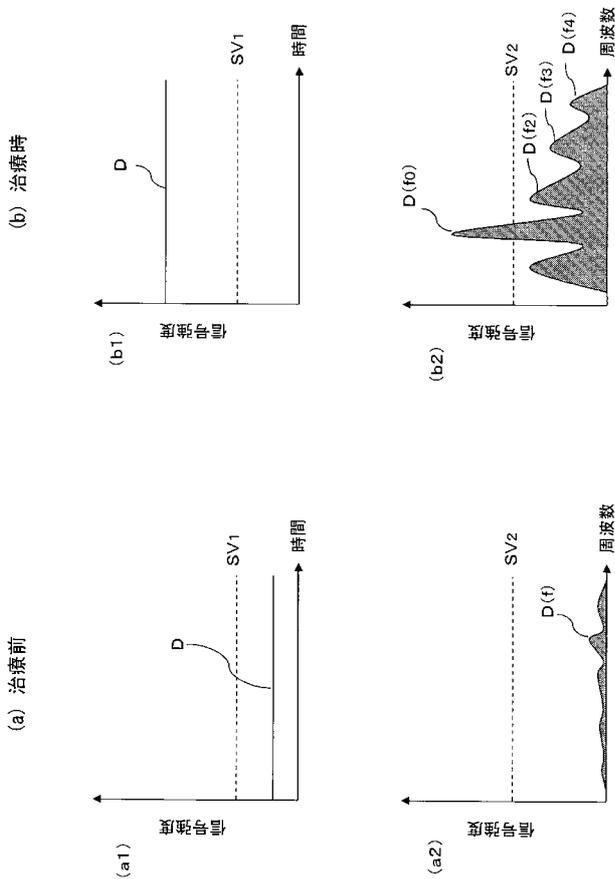
【図9】



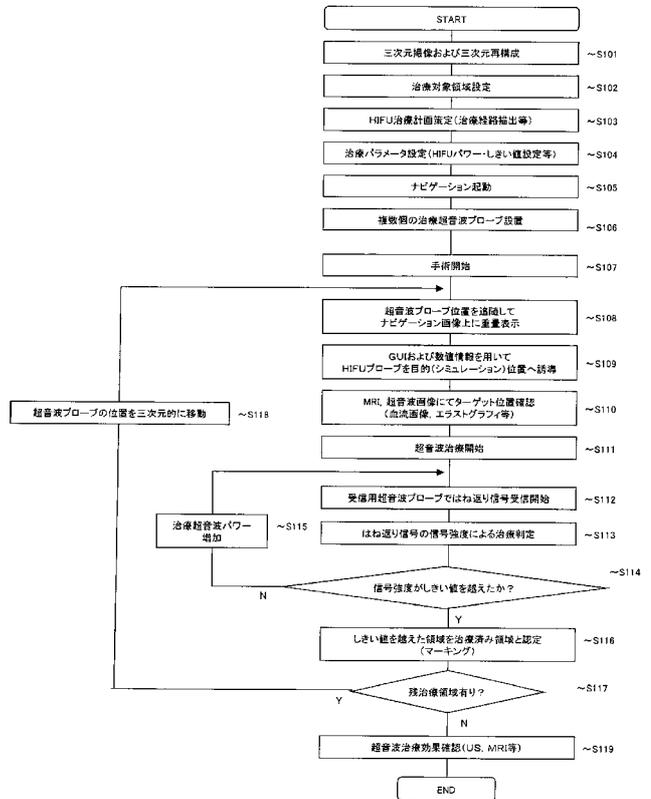
【図10】



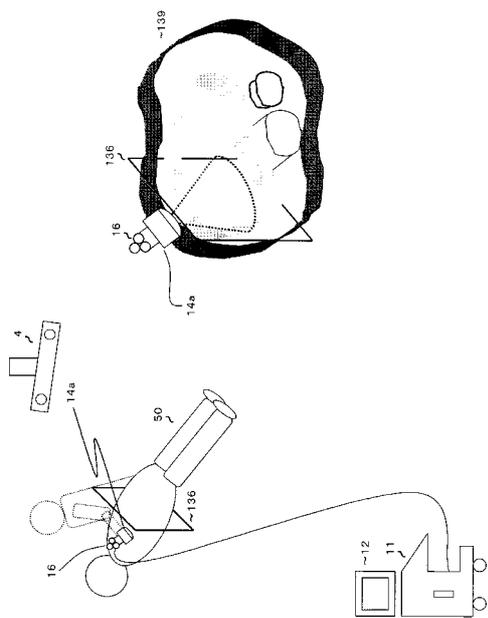
【図11】



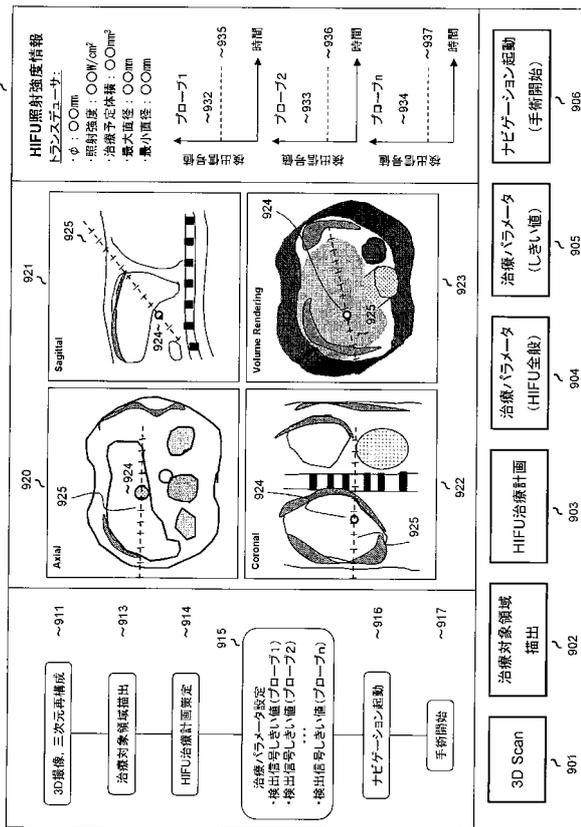
【図12】



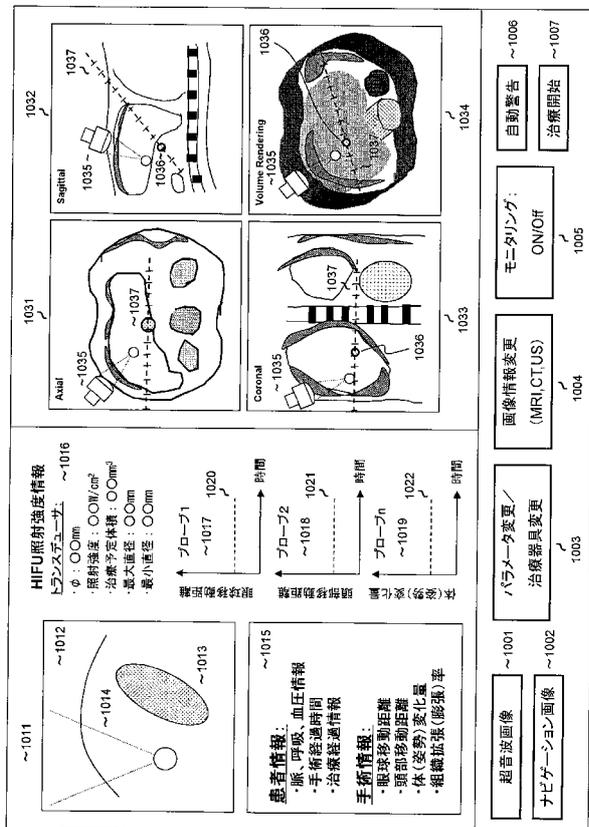
【 図 1 3 】



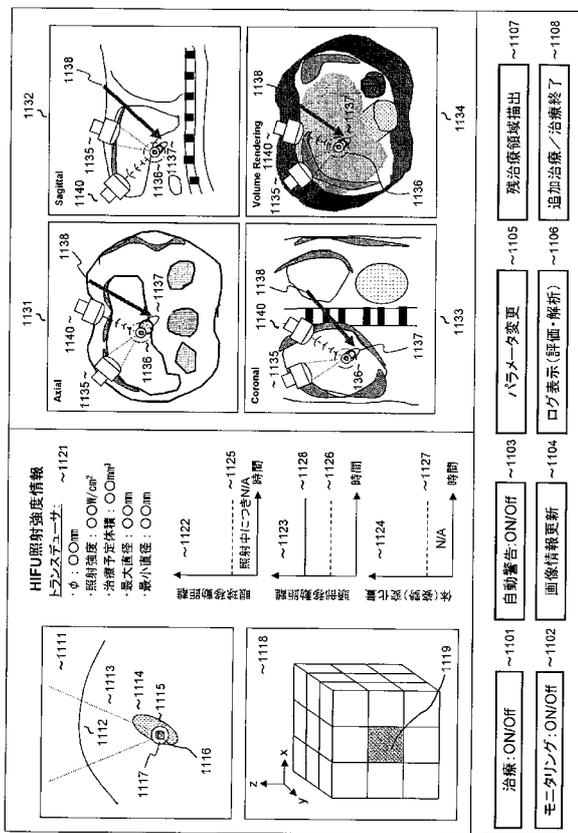
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



专利名称(译)	超声治疗仪和手术支持系统		
公开(公告)号	<a href="#">JP2013128731A</a>	公开(公告)日	2013-07-04
申请号	JP2011282186	申请日	2011-12-22
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立医药		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立メディコ		
[标]发明人	仲本秀和		
发明人	仲本 秀和		
IPC分类号	A61B18/00 A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/0808		
FI分类号	A61B17/36.330 A61B8/00 A61B17/00.700 A61B8/14		
F-TERM分类号	4C160/JJ33 4C160/JJ35 4C160/JJ36 4C601/BB02 4C601/BB03 4C601/EE09 4C601/EE10 4C601/FF13 4C601/GA06 4C601/GA18 4C601/GA21 4C601/GA22 4C601/JC26 4C601/KK12 4C601/KK24 4C601/KK25 4C601/KK39 4C601/KK47 4C601/LL33		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

摘要：要解决的问题：提高HIFU（高强度聚焦超声）治疗方法中治疗是否完成的确定准确性。解决方案：一种超声治疗装置，包括：用于治疗的超声探头15a，其用超声波照射设置在患者的治疗部位中的待治疗区域以进行治疗；超声波探头控制部分（119和120），其将用于治疗的超声波探头15a聚焦在超声波的设定聚焦位置132上以进行治疗以发射用于治疗的超声波；治疗确定部分123，确定待治疗区域的治疗是否完成；显示确定结果的监视器3和29；接收用超声波探头15b接收用于施加到聚焦位置132的治疗用超声波的反射信号137。治疗判定部123判断对包含聚焦位置132的被治疗区域的治疗是否结束根据超声波探头15b接收的反射信号的强度进行接收。

