

(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2007-301286

(P2007-301286A)

(43) 公開日 平成19年11月22日(2007.11.22)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 8/06 (2006.01)

F I

A 6 1 B 8/06

テーマコード (参考)

4 C 6 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2006-135178 (P2006-135178)

(22) 出願日 平成18年5月15日 (2006.5.15)

(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17年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「健康安心プログラム/分子イメージング機器研究開発プロジェクト/ラベル化造影剤を用いた超音波によるがんの超早期診断システムの研究開発に係るフィージビリティスタディ」に係る委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71) 出願人 390029791

アロカ株式会社

東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号

(74) 代理人 100075258

弁理士 吉田 研二

(74) 代理人 100096976

弁理士 石田 純

(72) 発明者 射谷 和徳

東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 アロカ株式会社内

(72) 発明者 伊藤 貴司

東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 アロカ株式会社内

最終頁に続く

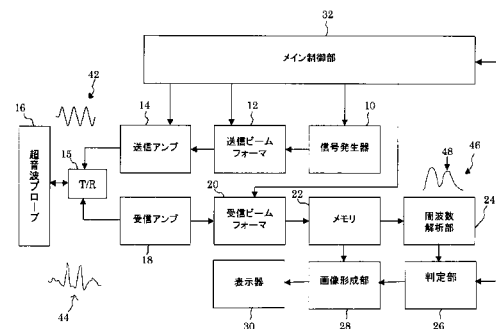
(54) 【発明の名称】 気泡検出装置

(57) 【要約】

【課題】 超音波を利用して高い精度で気泡を検出する。

【解決手段】 周波数解析部24は、受信ビームに設定したウィンドウ内の受信信号に対してFFT処理を施して、その受信信号の周波数分布を求める。例えば、その受信信号に関するパワースペクトラム波形46を形成する。そして、パワースペクトラム波形46から、2次高調波に対応するピーク48を検出する。判定部26は、周波数解析部24によって求められたパワースペクトラム波形46内に、マイクロバブルの振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号がマイクロバブルに対応するものか否かを判定する。その際、判定部26は、パワースペクトラム波形46から検出されたピーク48に基づいて判定処理を実行する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

気泡を含む空間内に超音波を送受波して受信信号を取得する送受波部と、
受信信号に含まれる周波数成分を解析して受信信号の周波数分布を求める周波数解析部と、
受信信号の周波数分布内に、気泡の振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する気泡判定部と、
を有する、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の気泡検出装置において、
前記送受波部は、気泡を検出するための検出パルスを送波することにより、その検出パルスによって気泡に振動を発生させる、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の気泡検出装置において、
前記気泡の振動に対応した周波数分布パターンは、前記検出パルスに関する高調波成分が周波数の低い方へシフトした周波数分布パターンである、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の気泡検出装置において、
前記検出パルスは、パルスに含まれる波の数とパルスの振幅とパルスの中心周波数とに基づいて設定される、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の気泡検出装置において、
前記高調波成分は、第 2 高調波成分である、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 6】

気泡を検出するための第 1 検出パルスと第 2 検出パルスを送波して各パルスに対応した
受信信号を取得する送受波部と、
各受信信号に含まれる周波数成分を解析して、第 1 検出パルスに対応した第 1 周波数分布と第 2 検出パルスに対応した第 2 周波数分布とを求める周波数解析部と、
第 1 周波数分布と第 2 周波数分布とを比較することにより、各パルスに対応した受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する気泡判定部と、
を有する、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の気泡検出装置において、
前記送受波部は、中心周波数が互いに実質的に等しい第 1 検出パルスと第 2 検出パルス
を送波し、
前記気泡判定部は、前記第 1 周波数分布に含まれる高調波成分と前記第 2 周波数分布に含まれる高調波成分との周波数差に基づいて、各パルスに対応した受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の気泡検出装置において、
前記送受波部は、互いに波の数が異なる第 1 検出パルスと第 2 検出パルスを送波する、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

請求項 7 に記載の気泡検出装置において、
前記送受波部は、互いに振幅が異なる第 1 検出パルスと第 2 検出パルスを送波する、
ことを特徴とする気泡検出装置。

【請求項 10】

気泡を含む空間内に超音波を送受波して受信信号を取得し、
受信信号に含まれる周波数成分を解析して受信信号の周波数分布を求め、
受信信号の周波数分布内に、気泡の振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否
かに基づいて、その受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する、
ことを特徴とする気泡検出方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の気泡検出方法において、
前記気泡は、所定の粒径よりも大きいマイクロバブルが取り除かれた複数のマイクロバ
ブルである、
ことを特徴とする気泡検出方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の気泡検出方法において、
前記複数のマイクロバブルは、最大粒径の個数が最多となる個数分布である、
ことを特徴とする気泡検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を利用して気泡を検出する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

液体中に注入された微細な気泡であるマイクロバブルが多くの分野で利用されている。
例えば、医療分野への応用として、マイクロバブルが超音波の好適な反射体となることから、
超音波画像を取得する際の血管造影剤として利用されている。

【0003】

近年では、マイクロバブルの表面にたんぱく質（抗原、抗体など）や核酸（DNA、R
NA など）を標識する技術が注目を集めている。例えば、マイクロバブルの表面に特異的
にたんぱく質を認識する抗体などを修飾し、血管内などでマイクロバブルを目的のたんぱ
く質に集積させ、そのマイクロバブルを介して、血管内の目的たんぱく質およびそのたん
ぱく質を発現している細胞の量や分布などを診断する技術である。

【0004】

一般的なマイクロバブルの検出方法として、強い超音波を照射してバブルを破碎し、そ
の時発生する信号を検出する方法が知られている。しかし、この方法では、一度超音波を
照射し画像化するとバブルが破壊されてしまうため、操作性、再現性に関する問題が指摘
されている。

【0005】

また、バブルに比較的弱い超音波を与え、その時発生するバブルの非線形振動に伴う高
調波（主に、第 2 高調波：セカンドハーモニック）を検出する方法が知られている。しか
し、マイクロバブル以外からの反射エコーにも、組織内を超音波が伝搬するときが発生す
る高調波（ティッシュハーモニック）が含まれるため、マイクロバブルの高調波のみを高
い精度で抽出することは難しい。

【0006】

ちなみに、マイクロバブルと組織からの反射エコーを識別する方法として、位相の異な
る 2 つの信号を送信し、受信信号に含まれる周波数シフトを検出する方法などが提案され
ている（非特許文献 1 参照）。

【0007】

10

20

30

40

50

また、バブルからの信号を強める方法として、共振運動する基本波と非線形応答を増強する第2波との組み合わせからなる送信方法（特許文献1参照）や、パルスインバージョンの2つの送信の中間に、マイクロバブルの非線形振動を増強するための送信を行う方法（特許文献2参照）なども提案されている。

【0008】

【非特許文献1】Karen E.Morgan, John S.Allen, Paul A.Dayton, James E.Chomas, Alexander L.Klibanov, and Katherine W.Ferrara, Member, IEEE, "Experimental and Theoretical Evaluation of Microbubble Behavior," IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, VOL.47, No.6, NOVEMBER 2000

【特許文献1】特開2004-113788号公報

10

【特許文献2】特開2005-342512号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

このような状況のもと、本願の発明者らは、マイクロバブルなどの気泡を検出する技術について研究を重ねてきた。

【0010】

本発明は、このような背景において成されたものであり、その目的は、超音波を利用して高い精度で気泡を検出する技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0011】

上記目的を達成するために、本発明の好適な態様である気泡検出装置は、気泡を含む空間内に超音波を送受波して受信信号を取得する送受波部と、受信信号に含まれる周波数成分を解析して受信信号の周波数分布を求める周波数解析部と、受信信号の周波数分布内に、気泡の振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する気泡判定部と、を有することを特徴とする。

【0012】

上記態様により、超音波を利用して高い精度で気泡を検出することが可能になる。なお、上記態様の気泡検出装置や以下に示す態様の気泡検出装置は、例えば、超音波診断装置として実現することができる。例えば、気泡として機能するマイクロバブルを血管内に投与し、血管を含む空間内に超音波を送受波して得られる受信信号の周波数分布を求めて、その分布内にマイクロバブルの振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号がマイクロバブルに対応するものか否かを判定する。これにより、受信信号が血管内から得られたものか否かを高い精度で検出することが可能となり、血管をさらに明瞭に画像化することができる。

30

【0013】

また、上記態様の気泡検出装置や以下に示す態様の気泡検出装置は、超音波分析装置として実現することができる。例えば、分注装置をベースとして、分注装置に気泡検出装置の機能を取り込むことによって超音波分析装置を構成してもよい。そして、例えば、対象物を捕捉するための物質を表面に修飾したマイクロバブルを利用して、その超音波分析装置によって超音波分析を行う。例えば、分注装置の機能によって試験管内やノズルチップ内でマイクロバブルに対象物を捕捉させ、気泡検出装置の機能によって対象物を捕捉したマイクロバブルの量を測定することなどが可能となる。

40

【0014】

望ましい態様において、前記送受波部は、気泡を検出するための検出パルスを送波することにより、その検出パルスによって気泡に振動を発生させることを特徴とする。望ましい態様において、前記気泡の振動に対応した周波数分布パターンは、前記検出パルスに関する高調波成分が周波数の低い方へシフトした周波数分布パターンであることを特徴とする。望ましい態様において、前記検出パルスは、パルスに含まれる波の数とパルスの振幅とパルスの中心周波数とに基づいて設定されることを特徴とする。例えば、検出パルスは

50

、パルスに含まれる波の数が３波または４波、パルスの振幅が３００ＫＰａ～７００ＫＰａ、パルスの中心周波数が３～４ＭＨｚなどが好適である。望ましい態様において、前記高調波成分は、第２高調波成分であることを特徴とする。

【００１５】

また、上記目的を達成するために、本発明の好適な態様である気泡検出装置は、気泡を検出するための第１検出パルスと第２検出パルスを送波して各パルスに対応した受信信号を取得する送受波部と、各受信信号に含まれる周波数成分を解析して、第１検出パルスに対応した第１周波数分布と第２検出パルスに対応した第２周波数分布とを求める周波数解析部と、第１周波数分布と第２周波数分布とを比較することにより、各パルスに対応した受信信号が気泡に対応するものか否かを判定する気泡判定部と、を有することを特徴とする。

【００１６】

望ましい態様において、前記送受波部は、中心周波数が互いに実質的に等しい第１検出パルスと第２検出パルスを送波し、前記気泡判定部は、前記第１周波数分布に含まれる高調波成分と前記第２周波数分布に含まれる高調波成分との周波数差に基づいて、各パルスに対応した受信信号が気泡に対応するものか否かを判定することを特徴とする。望ましい態様において、前記送受波部は、互いに波の数が異なる第１検出パルスと第２検出パルスを送波することを特徴とする。望ましい態様において、前記送受波部は、互いに振幅が異なる第１検出パルスと第２検出パルスを送波することを特徴とする。

【００１７】

また、上記目的を達成するために、本発明の好適な態様である気泡検出方法は、気泡を含む空間内に超音波を送受波して受信信号を取得し、受信信号に含まれる周波数成分を解析して受信信号の周波数分布を求め、受信信号の周波数分布内に、気泡の振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号が気泡に対応するものか否かを判定することを特徴とする。

【００１８】

望ましい態様において、前記気泡は、所定の粒径よりも大きいマイクロバブルが取り除かれた複数のマイクロバブルであることを特徴とする。望ましい態様において、前記複数のマイクロバブルは、最大粒径の個数が最多となる個数分布であることを特徴とする。

【発明の効果】

【００１９】

本発明により、超音波を利用して高い精度で気泡を検出することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２０】

図１は、本発明の好適な実施形態を説明するための図であり、図１には、本発明に係る気泡検出装置の全体構成を示す機能ブロック図が示されている。図１に示す気泡検出装置は、超音波を利用して気泡であるマイクロバブルを検出する装置である。

【００２１】

信号発生器１０は、送信パルスを形成するための駆動信号を生成して送信ビームフォーマ１２へ出力する。送信ビームフォーマ１２は、マイクロバブルを含んだ液体内のどの位置に超音波を照射するかを制御する。つまり、送信ビームフォーマ１２は、超音波プローブ１６に含まれる図示しない複数の振動素子を制御して送信ビームを形成し、また、形成した送信ビームを必要に応じて電子的に走査する。送信アンプ１４は、送信ビームフォーマ１２から供給される信号に対して増幅処理を施す。そして、増幅処理された送信信号４２が、送受信切替部（Ｔ／Ｒ）１５を介して、超音波プローブ１６へ出力される。

【００２２】

超音波プローブ１６は、送信信号４２に基づいて、マイクロバブルを含んだ液体に対して超音波を照射するとともに、液体内からの反射エコーと、マイクロバブルが振動することによって発生する放射エコーを受信する。受信された受信信号４４は、送受信切替部（Ｔ／Ｒ）１５を介して、受信アンプ１８へ供給されて増幅処理される。

【 0 0 2 3 】

受信ビームフォーマ20は、超音波プローブ16に含まれる複数の振動素子から得られる受信信号44を整相加算処理して受信ビームを形成する。これにより、受信ビームフォーマ20から整相加算後の受信信号が出力される。こうして、複数の受信ビームに関する受信信号が、受信ビームごとにメモリ22に記憶される。

【 0 0 2 4 】

周波数解析部24は、受信信号に含まれる周波数成分を解析して受信信号の周波数分布を求める。つまり、メモリ22から各受信ビームごとに受信信号を読み出し、各受信ビームごとに受信信号を解析する。受信信号の解析は、例えば、1本の受信ビームに対して所定の大きさのウィンドウを設定し、そのウィンドウ内の受信信号に対して実施される。

10

【 0 0 2 5 】

周波数解析部24は、受信ビームに設定したウィンドウ内の受信信号に対してFFT処理を施して、その受信信号の周波数分布を求める。例えば、その受信信号に関するパワースペクトラム波形46を形成する。そして、パワースペクトラム波形46から、2次高調波に対応するピーク48を検出する。

【 0 0 2 6 】

判定部26は、周波数解析部24によって求められた周波数分布（パワースペクトラム波形46）内に、マイクロバブルの振動に対応した周波数分布パターンが含まれるか否かに基づいて、その受信信号がマイクロバブルに対応するものか否かを判定する。その際、判定部26は、パワースペクトラム波形46から検出されたピーク48に基づいて判定処理を実行する。なお、本実施形態によるマイクロバブルの判定原理については、後に詳述する。

20

【 0 0 2 7 】

各受信ビームに設定されるウィンドウは、その受信ビーム内で深さ方向に移動される。そして、移動されるウィンドウの各位置（深さ）で、その位置の受信信号がマイクロバブルに対応するものか否かの判定が行われる。これにより、各受信ビームごとに、その受信ビームのどの位置（深さ）にマイクロバブルが存在するのかが判定される。

【 0 0 2 8 】

画像形成部28は、判定部26の判定結果を参照して、メモリ22内に記憶された複数の受信ビームの受信信号に基づいて超音波画像を形成する。例えば、血管内に投与されたマイクロバブルが検出され、マイクロバブルが存在する位置（深さ）において輝度等を適宜調整した超音波画像を形成することにより、血管が強調された（造影された）画像を形成することが可能になる。

30

【 0 0 2 9 】

また、マイクロバブルが存在する位置（深さ）の受信信号の振幅などに基づいて、その位置におけるマイクロバブルの数量などが測定されてもよい。さらに、画像形成部28が、その測定量を示す数値やグラフなどの表示態様を形成してもよい。

【 0 0 3 0 】

画像形成部28で形成された画像は、表示器30に表示される。表示器30としては、例えば、CRTモニタや液晶モニタなどが好適である。もちろん、他の表示デバイスを利用してもよい。

40

【 0 0 3 1 】

次に、本実施形態によるマイクロバブルの判定原理について説明する。本実施形態においては、マイクロバブルを検出するための送信パルス（検出パルス）として、パルスの振幅が最大音圧500Kpa、パルスの中心周波数が3MHz、パルス内の波の数が3波である送信パルスを利用することが望ましい。

【 0 0 3 2 】

図2は、最大音圧500Kpa、中心周波数3MHz、3波の送信パルスを利用した場合のシミュレーション結果を示している。

【 0 0 3 3 】

50

図 2 (A) は、送信パルスの波形を示しており、横軸に時間を示し縦軸に振幅を示している。図 2 (A) に示す送信パルスは、パルスの振幅が最大音圧 5 0 0 K p a、パルスの中心周波数が 3 M H z、パルス内の波の数が 3 波である。

【 0 0 3 4 】

図 2 (B) は、図 2 (A) の送信パルスを与えた場合のマイクロバブルの半径の時間的な変化を示しており、横軸に時間を示し縦軸にバブル半径を示している。図 2 (B) は、例えば、半径 1 μ m、膜厚 1 n m、膜粘性 0 . 6 P a $\cdot$ s のマイクロバブルの半径の時間的な変位をシミュレーションによって求めたものである。

【 0 0 3 5 】

図 2 (C) は、図 2 (B) に示すマイクロバブルの振動に伴い発生する放射エコーを、バブルから 1 m m の位置で観測した場合に、トランデューサーの帯域を考慮して得られる受信信号である。なお、図 2 (C) は、横軸に時間を示し縦軸に振幅を示している。 10

【 0 0 3 6 】

図 2 (D) は、図 2 (C) に示す放射エコーの受信信号から得られたパワースペクトラムである。中心周波数 3 M H z の基本波の信号に対し、受信信号に含まれるセカンドハーモニックの中心周波数 (ピーク周波数 4 8) は 5 . 3 M H z である。つまり、送信パルスの中心周波数 3 M H z の 2 倍の周波数 (= 6 M H z) 5 0 よりも、周波数の低い方に 0 . 7 M H z シフトすることが示されている。

【 0 0 3 7 】

マイクロバブル以外の単純な反射体では、このような中心周波数のシフトはほとんど発生しない。したがって、例えば、上記のような条件で送信パルスを送信し、その受信信号に含まれる第 2 高調波の中心周波数を検出することで、マイクロバブルからの信号か否かの判定を行うことが可能になる。 20

【 0 0 3 8 】

ちなみに、上記条件の送信パルス以外のパルスについて検討すると次のようになる。

【 0 0 3 9 】

図 3 は、最大音圧 5 0 0 K p a、中心周波数 3 M H z、6 波の送信パルスを利用した場合のシミュレーション結果を示している。図 2 と同様に、図 3 には、送信パルスの波形 (A)、マイクロバブルの半径の時間的な変化 (B)、放射エコー (C)、パワースペクトラム (D) が示されている。最大音圧 5 0 0 K p a、中心周波数 3 M H z を同じ条件として、波の数を 6 波にした送信パルスを利用すると、図 3 (D) に示すように、受信信号に含まれるセカンドハーモニックの中心周波数はほぼ 6 M H z となり、送信パルスの中心周波数 3 M H z の 2 倍の周波数 (= 6 M H z) から、ほとんどシフトしていない。つまり、波の数を 3 波から 6 波に変更すると、第 2 高調波の周波数のシフトが発生しない。 30

【 0 0 4 0 】

図 4 は、送信パルスの中心周波数と周波数シフト量との関係を示す図であり、図 4 には、最大音圧 5 0 0 K p a、3 波の送信パルスを様々な中心周波数で送信した場合のパワースペクトラムが示されている。

【 0 0 4 1 】

図 4 (A) は、中心周波数が 2 M H z、最大音圧 5 0 0 K p a、3 波の送信パルスを利用した場合にマイクロバブルから得られる放射エコー (受信信号) のパワースペクトラムを示しており、同様に、図 4 (B) は中心周波数が 4 M H z の場合のパワースペクトラムであり、図 4 (C) は中心周波数が 5 M H z の場合のパワースペクトラムである。 40

【 0 0 4 2 】

これらの結果からわかるように、中心周波数が 2 M H z では中心周波数のシフト量は 0 . 2 7 M H z と小さく、また、5 M H z ではピーク周波数の検出が難しい。そして、4 M H z では 0 . 9 3 M H z のシフト量が測定される。これらの結果から、第 2 高調波の周波数のシフトは、マイクロバブルの特性によって決まる特定の周波数によって発生するものであり、例えば、図 3 に示した 3 M H z の場合や、図 4 (B) に示した 4 M H z の場合に特に顕著に現れる。

【0043】

図5は、送信パルスの最大音圧と周波数シフト量との関係を示す図である。図5は、半径 $1\mu\text{m}$ 、膜厚 1nm 、膜の粘性 $0.6\text{Pa}\cdot\text{s}$ のマイクロバブルに対して、中心周波数が 3MHz で、波の数が3波の送信パルスを最大音圧を $100\sim600\text{Kpa}$ の条件で変えて送信した場合のセカンドハーモニック（第2高調波）の周波数シフトをシミュレーションによって求めたものである。図5に示すように、最大音圧の変化に応じて周波数シフト量も変化しており、最大音圧 500Kpa 付近の音圧で最大シフト量が得られている。

【0044】

次に、本実施形態で利用されるマイクロバブルについて説明する。本実施形態においては、粒径が $2\mu\text{m}$ よりも大きいバブルが取り除かれた複数のマイクロバブルを利用することが望ましい。また、最大粒径（ $2\mu\text{m}$ ）の個数が最多となる個数分布のマイクロバブルを利用することが望ましい。

10

【0045】

図6は、マイクロバブルの半径と周波数シフト量との関係を示す図である。図6は、中心周波数 3MHz 、最大音圧 500Kpa 、3波の送信パルスを送信した場合のバブルの半径による第2高調波の中心周波数シフトをシミュレーションによって求めたものである。図6に示すように、マイクロバブルの半径の変化に応じて周波数シフト量も変化しており、半径 $1\mu\text{m}$ 付近のバブルで最大のシフト量が得られている。なお、バブルの膜の特性は膜厚 1nm 、膜の粘性 $0.6\text{Pa}\cdot\text{s}$ としてシミュレーションしている。

【0046】

20

図7は、マイクロバブルの粒径分布を示す図である。図7（A）には、典型的な陰イオン界面活性剤SDSに気体を混合しながら超音波を照射し、マイクロバブルを作製した時のバブル粒径（半径）の分布が示されている。そして、図7（A）に示す粒径分布のマイクロバブルを含んだ溶液を開口 $2\mu\text{m}$ のメッシュフィルターを通すことにより、図7（B）に示す粒径分布のマイクロバブルを得ることができる。つまり、図7（B）では、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上の大きさのバブルが除去されている。

【0047】

図8は、マイクロバブルの半径と第2高調波の信号量（信号量差）との関係を示す図である。図8は、中心周波数 3MHz 、最大音圧 500Kpa 、3波の送信パルスを送信した場合の、バブルの半径による第2高調波の信号量（2次高調波が出現する量）をシミュレーションによって求めたものである。図8からわかるように、バブル半径が $1\mu\text{m}$ よりも小さい領域では第2高調波の信号量が比較的小さいのに対して、バブル半径が $1\mu\text{m}$ よりも大きい領域では第2高調波の信号量が比較的大きい。

30

【0048】

このため、図7（B）に示すように、バブル半径が $1\mu\text{m}$ よりも小さいマイクロバブルが存在しても、それらのバブルによる2次高調波への影響は、図8からわかるように比較的小さい。一方、図8に示すようにバブル半径が $1\mu\text{m}$ よりも大きい領域では第2高調波の信号量が比較的大きいため、半径が $1\mu\text{m}$ よりも大きいバブルによる2次高調波への影響も大きい。そのため、図7（B）に示すように、バブル半径が $1\mu\text{m}$ よりも大きいマイクロバブルは取り除かれることが望ましい。

40

【0049】

さらに、図6に示したように、半径が $1\mu\text{m}$ のバブルの周波数シフト量が最大となるため、半径が $1\mu\text{m}$ のマイクロバブルを利用することが望ましい。そのため、図7（B）に示すように、 $1\mu\text{m}$ の部分でバブル粒径が最大分布をもつようにマイクロバブルが作成されることが望ましい。

【0050】

以上、本実施形態によるマイクロバブルの判定原理や本実施形態で利用されるマイクロバブルについて説明した。そこで、図1に戻り、周波数解析部24と判定部26において実行される処理について説明する。

【0051】

50

周波数解析部 24 は、メモリ 22 から各受信ビームごとに受信信号を読み出し、各受信ビームごとに受信信号を解析する。受信ビームは、例えば 50 MHz のクロックで A/D 変換されてメモリ 22 に記憶される。

【0052】

図 9 は、1 本の受信ビーム上（1 走査線上）の受信信号の模式図である。メモリ 22 内には、図 9 に示した受信信号が 50 MHz のクロックでデジタル化されて（サンプリングされて）、例えば 500 個のデータとして記憶されている。なお、図 9 において、丸印（○）はマイクロバブルからの放射エコーを示しており、バツ印（×）は組織境界からの放射エコーを表している。

【0053】

周波数解析部 24 は、メモリ 22 から、1 本の受信ビーム上の 1 番目から 50 番目までの 50 個のデータ（3 MHz，3 波の送信条件であれば 1 μ 秒間に相当する）を読み込み、これら 50 個のデータに対して FFT 処理をしてパワースペクトラムを計算し、第 2 高調波の中心周波数を求める。次に、1 本の受信ビーム上を深さ方向に移動して、例えば 1 番目から 60 番目までのデータを用いて同様な処理を行う。順次この処理を繰り返し、1 本の受信ビーム上の全ての深さで、エコー信号に含まれる第 2 高調波の中心周波数を求める。

【0054】

判定部 26 は、メイン制御部 32 から供給されるシフト量の基準値と、各深さにおける第 2 高調波の中心周波数を比較して、マイクロバブルからのエコー信号であるか否かを判定する。例えば、メイン制御部 32 は、シフト量の基準値として 0.7 MHz（図 2 参照）を設定し、判定部 26 は、各深さにおける第 2 高調波の中心周波数のシフト量が 0.7 MHz 以上の場合に、その深さの受信信号がマイクロバブルからのエコー信号であると判定する。その結果、例えば、図 9 に示すように、各深さごとに、マイクロバブルからの放射エコーが否かが判定される。

【0055】

なお、メイン制御部 32 が設定する基準値や、判定部 26 における判定処理については、マイクロバブルがより正確に判定できるように、適宜変更することが可能である。例えば、既知の量のマイクロバブルを検出してその検出結果などに基づいて、0.7 MHz ~ 0.6 MHz 程度のうちのいずれかの周波数に基準値を設定するなどしてもよい。

【0056】

図 10 は、本発明の他の実施形態を説明するための図であり、図 10 には、本発明に係る別の気泡検出装置の全体構成を示す機能ブロック図が示されている。図 10 に示す気泡検出装置は、2 つの送信パルスを利用してマイクロバブルを検出する装置である。

【0057】

図 2 に示したように、最大音圧 500 Kpa，中心周波数 3 MHz，3 波の送信パルスを利用した場合、マイクロバブルから得られる 2 次高調波は、周波数の低い方に 0.7 MHz シフトしている。これに対し、図 3 に示したように、最大音圧 500 Kpa，中心周波数 3 MHz，6 波の送信パルスを利用した場合、マイクロバブルから得られる 2 次高調波は、ほとんどシフトしていない。

【0058】

生体などの減衰の大きな媒体では、伝搬中に発生する媒体の非線形性によって発生する高調波は、高い周波数成分の減衰が大きいため中心周波数が低い方へシフトする可能性も考えられる。そのため、単純に中心周波数のシフト量のみでマイクロバブルか否かを判定すると、マイクロバブル以外の反射体による周波数のシフトが存在した場合に、マイクロバブルの検出精度が下がる可能性もある。

【0059】

ところが、マイクロバブル以外の通常の反射体に対して、同じ周波数で波の数が互いに異なる 2 つの送信パルスを送信すると、一方の送信パルスによって得られる 2 次高調波の周波数と、他方の送信パルスによって得られる 2 次高調波の周波数との差は、ほとんど発

10

20

30

40

50

生しない。つまり、図 2 および図 3 に示したように、3 波の送信パルスを利用した場合にのみ 2 次高調波が大きくシフトするという現象は、マイクロバブルの振動に伴う固有の現象として抽出することができる。

【0060】

図 10 に示す気泡検出装置は、このマイクロバブルの振動に伴う固有の現象を捉えることにより、マイクロバブルを検出する。なお、図 10 において、図 1 に示した構成と同じ構成部分については、図 1 に示した符号と同じ符号を利用して説明を簡略化する。

【0061】

信号発生器 10 は、中心周波数 3 MHz の 3 波と 6 波の 2 つの送信パルスを作成する。そして、まず、6 波の送信パルス 42 A による送信が行われ、これによって得られる受信信号 44 A が受信アンプ 18 と受信ビームフォーマ 20 で処理されてメモリ 22 A に記憶される。周波数解析部 24 は、メモリ 22 A から各受信ビームごとに受信信号を読み出し、各受信ビームごとに受信信号を解析する。受信信号の解析は、例えば、図 1 で説明した動作と同様に、1 本の受信ビームに対して所定の大きさのウィンドウを設定し、そのウィンドウ内の受信信号に対して実施される。

【0062】

周波数解析部 24 は、受信ビームに設定したウィンドウ内の受信信号に対して FFT 処理を施して、その受信信号の周波数分布を求める。例えば、その受信信号に関するパワースペクトラム波形 46 を形成する。そして、パワースペクトラム波形 46 から、2 次高調波に対応するピーク 48 を検出する。こうして、各深さごとにピーク 48 の周波数が検出されて各深さごとにメモリ 22 B に記憶される。

【0063】

次に、3 波の送信パルス 42 B による送信が行われ、これによって得られる受信信号 44 B が受信アンプ 18 と受信ビームフォーマ 20 で処理されてメモリ 22 A に記憶される。周波数解析部 24 は、メモリ 22 A から各受信ビームごとに受信信号を読み出し、6 波の場合と同様に、3 波の送信パルス 42 B から得られる受信信号に対して、各深さごとにピーク 48 の周波数を検出する。

【0064】

差分検出部 25 は、周波数解析部 24 において検出された 3 波の場合のピーク 48 の周波数と、メモリ 22 B に記憶されている 6 波の場合のピーク 48 の周波数との差分を検出する。差分の検出は、受信ビームの各深さごとに行われ、例えば、検出された差分量が所定量よりも大きい場合に、その深さの受信信号がマイクロバブルに対応する信号であると判断される。

【0065】

そして、検出された差分量は、正規化処理部 27 において正規化処理され、画像形成部 28 において、メモリ 22 A に記憶された受信ビームのデータ（各深さの強度信号）と正規化された差分量が合成され、画像データが構築される。

【0066】

このように、図 10 に示す気泡検出装置では、互いに波の数が異なる 2 つの送信パルスを利用してマイクロバブルを検出している。なお、3 波の送信パルスに換えて 4 波の送信パルスを利用して、4 波の送信パルスと 6 波の送信パルスのペアを利用してもよい。

【0067】

ちなみに、図 5 に示したように、送信パルスの最大音圧を変化させても周波数シフト量が変化する。第 2 高調波の中心周波数が振幅によってシフトすることは、バブル特有の現象である。つまり、単純な反射体では、基本的には第 2 高調波の中心周波数は、振幅によってシフトしない。

【0068】

したがって、図 10 における 6 波の送信パルス 42 A と 3 波の送信パルス 42 B に換えて、中心周波数と波の数が互いに同じで、互いに振幅のみが異なる 2 つの送信パルスを利用することにより、それら 2 つの送信パルスから得られる第 2 高調波の中心周波数の差が

ら、マイクロバブルに対応した受信信号を検出することも可能となる。互いに振幅が異なる2つの送信パルスを利用する場合、一方の送信パルスの振幅が、他方の送信パルスの振幅の1/2以下であることが望ましい。

【0069】

以上、本発明の好適な実施形態を説明したが、上述した実施形態は、あらゆる点で単なる例示にすぎず、本発明の範囲を限定するものではない。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明に係る気泡検出装置の全体構成を示す機能ブロック図である。

【図2】最大音圧500Kpa，中心周波数3MHz，3波の送信パルスを利用した場合のシミュレーション結果を示す図である。 10

【図3】最大音圧500Kpa，中心周波数3MHz，6波の送信パルスを利用した場合のシミュレーション結果を示す図である。

【図4】送信パルスの中心周波数と周波数シフト量との関係を示す図である。

【図5】送信パルスの最大音圧と周波数シフト量との関係を示す図である。

【図6】マイクロバブルの半径と周波数シフト量との関係を示す図である。

【図7】マイクロバブルの粒径分布を示す図である。

【図8】マイクロバブルの半径と第2高調波の信号量との関係を示す図である。

【図9】1本の受信ビーム上の受信信号の模式図である。

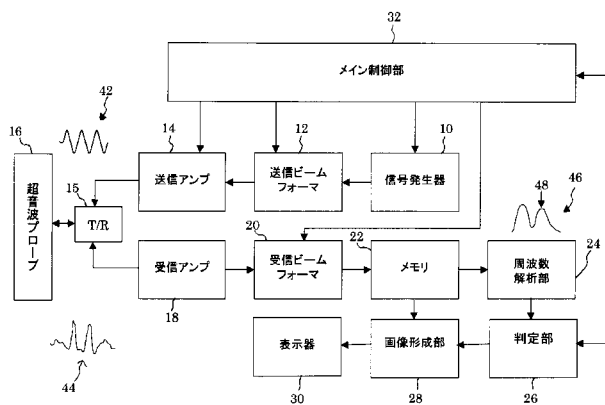
【図10】本発明に係る別の気泡検出装置の全体構成を示す機能ブロック図である。 20

【符号の説明】

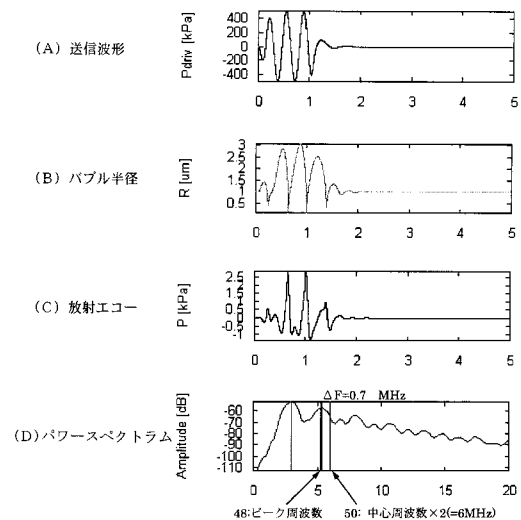
【0071】

16 超音波プローブ、24 周波数解析部、25 差分検出部、26 判定部。

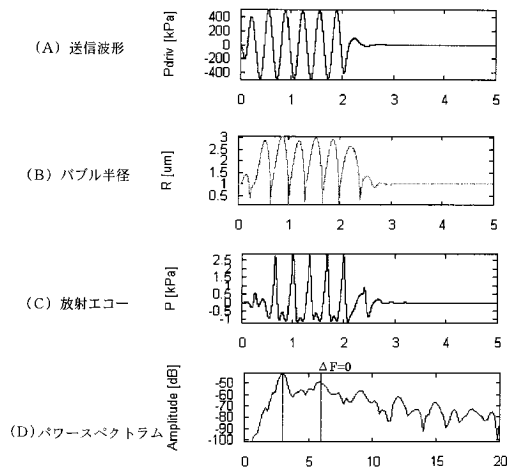
【図1】



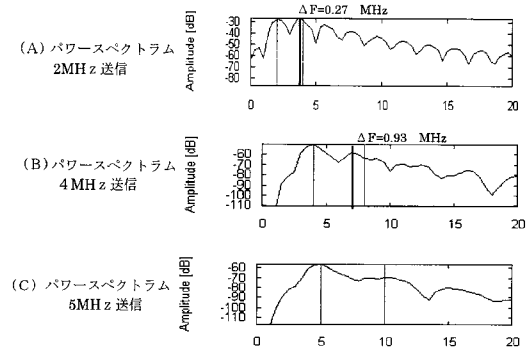
【図2】



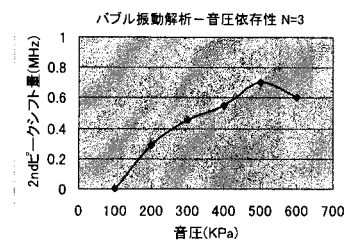
【図 3】



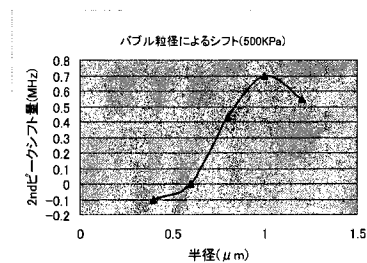
【図 4】



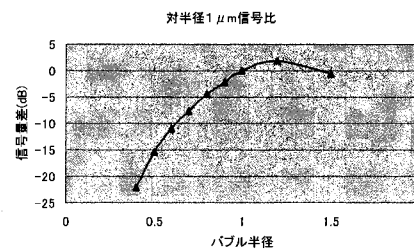
【図 5】



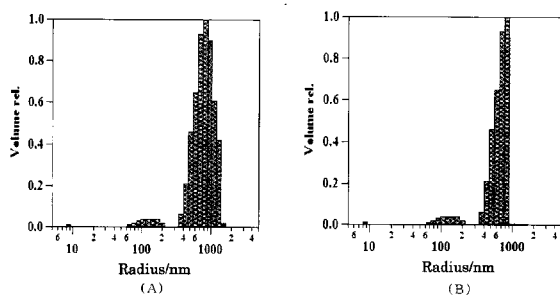
【図 6】



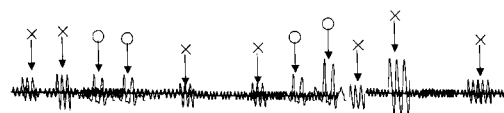
【図 8】



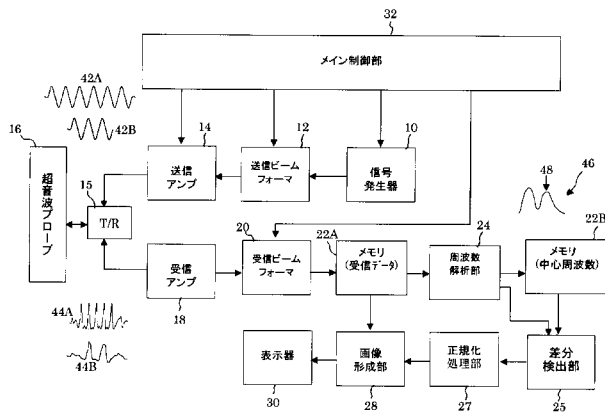
【図 7】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 今野 剛人

東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 アロカ株式会社内

Fターム(参考) 4C601 DD03 DE06 DE10 DE12 EE09 HH05 HH06 HH08 JB30 JB35
JB49 JC19 KK12

专利名称(译)	气泡探测器		
公开(公告)号	JP2007301286A	公开(公告)日	2007-11-22
申请号	JP2006135178	申请日	2006-05-15
[标]申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	阿洛卡有限公司		
[标]发明人	射谷和徳 伊藤貴司 今野剛人		
发明人	射谷 和徳 伊藤 貴司 今野 剛人		
IPC分类号	A61B8/06		
FI分类号	A61B8/06 A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/DD03 4C601/DE06 4C601/DE10 4C601/DE12 4C601/EE09 4C601/HH05 4C601/HH06 4C601/HH08 4C601/JB30 4C601/JB35 4C601/JB49 4C601/JC19 4C601/KK12		
代理人(译)	吉田健治 石田 純		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：利用超声波精确检测气泡。解决方案：频率分析部分24对设置为接收波束的窗口中的接收信号执行FFT处理，并获得接收信号的频率分布。例如，形成相对于接收信号的功率谱波形46。从功率谱波形46中，检测对应于第二高次谐波的峰值48。基于对应于微气泡的振动的频率分布模式是否包括在由频率分析部分24获得的功率谱波形46中，判定部分26确定接收信号是否对应于微气泡。在这种情况下，决定部分26根据从功率谱波形46中检测到的峰值48进行判定处理

