

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波を送受するプローブと、

超音波に係る複数の照射パラメータが上限値以下となるように設定される最大送信電圧以下の送信電圧で前記プローブへ超音波の送信信号を出力する送信部と、

前記各照射パラメータごとに当該各照射パラメータの上限値と過去に算出された送信電圧の推定値に基づいて新たな推定値を次々に算出する電圧推定部と、

前記電圧推定部が次々に算出する送信電圧の推定値のうち、前記複数の照射パラメータが上限値以下となる安全要求を満たした最大の推定値が最適解か否かを判定する電圧評価部と、

最適解であると判定された最大の推定値を前記最大送信電圧として設定する電圧設定部と、

を有する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波診断装置において、

前記電圧評価部は、前記安全要求を満たした最大の推定値と前記安全要求を満たさなかった最小の推定値との差が閾値以下、又は、前記安全要求を満たした最大の推定値が前記送信部から出力できる送信電圧の最大値である場合に、当該最大の推定値が最適解であると判定する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の超音波診断装置において、

前記電圧評価部は、前記電圧推定部が次々に算出する推定値のうち前記安全要求を満たした推定値が得られた回数が閾値回数以上であり、且つ、前記最大の推定値が 0 とは異なる場合に、終了条件を満たしたと判定し、

前記電圧設定部は、前記終了条件を満たした時点における最大の推定値を前記最大送信電圧として設定する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置において、

前記電圧推定部は、前記各照射パラメータの上限値と過去に算出された送信電圧の推定値に基づく逐次的勾配降下法により新たな推定値を次々に算出する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置において、

前記電圧推定部は、前記プローブから送波される超音波のトータルパワーに対して線形的な関係にある制御インデックスを補正後の送信電圧として利用して前記逐次的勾配降下法により新たな推定値を次々に算出する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置において、

複数の診断モードを時分割で交互に実行する複合モードの機能を備え、

前記複合モードを構成する複数の診断モードのうちの対象診断モードを除く各診断モードについて、当該各診断モードが個別に実行されると仮定して当該各診断モードの前記最大送信電圧を決定し、

前記複合モードにおいて前記各診断モードごとに決定された前記最大送信電圧で前記各診断モードが実行されると仮定して前記対象診断モードの前記最大送信電圧を決定する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波診断装置に関し、特に、超音波の安全規格を満たす最大送信電圧を設定する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

生体の安全性を確保することなどを目的として、超音波診断には複数の安全規格が設けられており、超音波診断装置は、それら複数の安全規格による制限を遵守しなければならない。例えば、安全規格の対象となる複数の照射パラメータが、各照射パラメータの上限値を超えないように、超音波の送信電圧などが制御されなければならない。

10

【0003】

例えば、特許文献1には、超音波の送信条件に基づいてトータルパワーを算出し、トータルパワーに応じたプローブ表面温度の推定上昇分を演算して、プローブの駆動電圧を調整する発明が記載されている。また、特許文献2～5にも、安全規格を満たすように送信電圧を制御する発明が記載されている。

【0004】

一般に、超音波診断装置は、診断内容等に応じて変更可能な多数の送信制御パラメータを備えており、それら送信制御パラメータにより決定される送信条件に応じて超音波を送受する。いずれの送信条件で超音波を送波する場合にも、安全規格が遵守されなければならない。

20

【0005】

ところが、多数の送信制御パラメータの組み合わせにより決定される送信条件のパターンは膨大な数となり、送信条件の全パターンについて最適な最大送信電圧を決定することは容易ではない。

【0006】

そのため、従来においては、送信条件の全パターンで安全規格を満たすように、余裕をみて比較的lowの最大送信電圧を設定する傾向があった。この場合、送信条件のパターンによっては、過度に低い最大送信電圧が設定されてしまう可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0007】

【特許文献1】特許第3842069号公報

【特許文献2】特開平7-67877号公報

【特許文献3】特開2011-62359号公報

【特許文献4】特開2009-240699号公報

【特許文献5】特開2009-142473号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上述した背景技術に鑑みて成されたものであり、その目的は、超音波の安全規格を満たす最大送信電圧の設定に係る改良技術を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的にかなう好適な超音波診断装置は、超音波を送受するプローブと、超音波に係る複数の照射パラメータが上限値以下となるように設定される最大送信電圧以下の送信電圧で前記プローブへ超音波の送信信号を出力する送信部と、前記各照射パラメータごとに当該各照射パラメータの上限値と過去に算出された送信電圧の推定値に基づいて新たな推定値を次々に算出する電圧推定部と、前記電圧推定部が次々に算出する送信電圧の推定値のうち、前記複数の照射パラメータが上限値以下となる安全要求を満たした最大の推定値が最適解か否かを判定する電圧評価部と、最適解であると判定された最大の推定値を前記

50

最大送信電圧として設定する電圧設定部と、を有することを特徴とする。

【0010】

望ましい具体例において、前記電圧評価部は、前記安全要求を満たした最大の推定値と前記安全要求を満たさなかった最小の推定値との差が閾値以下、又は、前記安全要求を満たした最大の推定値が前記送信部から出力できる送信電圧の最大値である場合に、当該最大の推定値が最適解であると判定する、ことを特徴とする。

【0011】

望ましい具体例において、前記電圧評価部は、前記電圧推定部が次々に算出する推定値のうち前記安全要求を満たした推定値が得られた回数が閾値回数以上であり、且つ、前記最大の推定値が0とは異なる場合に、終了条件を満たしたと判定し、前記電圧設定部は、前記終了条件を満たした時点における最大の推定値を前記最大送信電圧として設定する、ことを特徴とする。

10

【0012】

望ましい具体例において、前記電圧推定部は、前記各照射パラメータの上限値と過去に算出された送信電圧の推定値に基づく逐次的勾配降下法により新たな推定値を次々に算出する、ことを特徴とする。

【0013】

望ましい具体例において、前記電圧推定部は、前記プローブから送波される超音波のトータルパワーに対して線形的な関係にある制御インデックスを補正後の送信電圧として利用して前記逐次的勾配降下法により新たな推定値を次々に算出する、ことを特徴とする。

20

【0014】

望ましい具体例において、前記超音波診断装置は、複数の診断モードを時分割で交互に実行する複合モードの機能を備え、前記複合モードを構成する複数の診断モードのうちの対象診断モードを除く各診断モードについて、当該各診断モードが個別に実行されると仮定して当該各診断モードの前記最大送信電圧を決定し、前記複合モードにおいて前記各診断モードごとに決定された前記最大送信電圧で前記各診断モードが実行されると仮定して前記対象診断モードの前記最大送信電圧を決定する、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明により、超音波の安全規格を満たす最大送信電圧の設定に係る改良技術が提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施において好適な超音波診断装置の具体例を示す図である。

【図2】最大電圧設定ユニットの内部構成の具体例を示す図である。

【図3】照射パラメータの具体例を示す図である。

【図4】照射パラメータと送信制御パラメータの関係を示す図である。

【図5】送信電圧のリニアリティ補正を説明するための図である。

【図6】音響パラメータ測定値のデータに関する具体例を示す図である。

【図7】最大送信電圧の設定処理の全容を示すフローチャートである。

40

【図8】最大送信電圧の推定処理を説明するための図である。

【図9】送信電圧の推定値の評価処理を説明するための図である。

【図10】複合モードの具体例を示す図である。

【図11】個別設定の具体例を示す図である。

【図12】個別設定における推定結果の具体例を示す図である。

【図13】基本パターンと変形例の比較結果を示す図である。

【図14】休止時間が割り込む複合モードの具体例を示す図である。

【図15】3モードの複合モードにおける個別設定の具体例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

50

図1は、本発明の実施において好適な超音波診断装置の具体例を示す図である。プローブ10は、例えば診断対象を含む領域に超音波を送受波する超音波探触子である。プローブ10は、複数の振動素子を備えており、複数の振動素子が電子的に走査制御されて診断対象を含む空間内で超音波ビームが走査される。プローブ10は、例えば、医師等のユーザ（検査者）に把持されて被検者の体表面上に当接して用いられる。なお、プローブ10は、被検者の体腔内に挿入して用いられるものであってもよいし、電子的な走査と機械的な走査とを組み合わせた探触子であってもよい。プローブ10としては例えばコンベックス型、セクタ型、リニア型等が好適であるが、他のタイプでもよい。

【0018】

送信部12は、超音波の送信信号を出力する送信回路を備えており、送信ビームフォーマーとして機能する。つまり、送信部12は、プローブ10が備える複数の振動素子の各々に対して送信信号を出力し、これにより送信ビームが形成される。受信部14は、受信ビームフォーマーとしての機能を備えている。つまり、受信部14は、プローブ10が備える複数の振動素子から得られる複数の受信信号に対して整相加算処理などを施し、これにより受信ビームが形成される。そして、送信部12と受信部14により、超音波ビーム（送信ビームと受信ビーム）が走査面内において走査され、超音波ビームに対応した受信信号が形成される。なお、超音波の受信信号を得るにあたって、超音波ビームが三次空間内で立体的に走査されてもよいし、送信開口合成等の技術が利用されてもよい。

10

【0019】

超音波画像形成部20は、走査面内から得られる超音波の受信信号に基づいて、超音波画像のデータ（画像データ）を形成する。超音波画像形成部20は、例えば、超音波の受信信号に対して、検波処理やフィルタ処理やAD変換処理等を施すことにより、Bモード画像用のフレームデータを形成する。もちろん、Bモード画像以外の公知の超音波画像（カラードプラ画像等を含む）に係る画像データが形成されてもよい。なお、超音波の受信信号に対する検波処理やフィルタ処理やAD変換処理等は、受信部14において実行されてもよい。

20

【0020】

表示処理部30は、超音波画像形成部20から得られる超音波画像の画像データに基づいて表示画像を形成する。表示処理部30において形成された表示画像は表示部32に表示される。

30

【0021】

最大電圧設定ユニット50は、超音波に係る複数の照射パラメータが上限値以下となるように最大送信電圧を設定する。設定された最大送信電圧は、制御部100による送信部12の制御に利用される。送信部12は、最大送信電圧以下の送信電圧でプローブ10へ超音波の送信信号を出力するように制御される。また、データ記憶部60には、最大電圧設定ユニット50により利用される各種のデータが記憶される。

【0022】

制御部100は、図1の超音波診断装置内を全体的に制御する。制御部100による全体的な制御には、操作デバイス70を介して、医師や検査技師などのユーザから受け付けた指示も反映される。ユーザは、例えば、操作デバイス70を操作することにより、最大送信電圧以下の電圧範囲内で所望の送信電圧に調整することができる。

40

【0023】

図1に示す構成（符号を付した各部）のうち、送信部12，受信部14，超音波画像形成部20，表示処理部30，最大電圧設定ユニット50の各部は、例えば電気電子回路やプロセッサ等のハードウェアを利用して実現することができ、その実現において必要に応じてメモリ等のデバイスが利用されてもよい。また、上記各部に対応した機能の少なくとも一部がコンピュータにより実現されてもよい。つまり、上記各部に対応した機能の少なくとも一部が、CPUやプロセッサやメモリ等のハードウェアと、CPUやプロセッサの動作を規定するソフトウェア（プログラム）との協働により実現されてもよい。

【0024】

50

表示部 3 2 の好適な具体例は液晶モニタ等である。データ記憶部 6 0 は、例えばハードディスクドライブや半導体メモリなどの記憶デバイスにより実現でき、操作デバイス 7 0 は、例えば、マウス、キーボード、トラックボール、タッチパネル、その他のスイッチ類等のうちの少なくとも一つにより実現できる。そして、制御部 1 0 0 は、例えば、CPU やプロセッサやメモリ等のハードウェアと、CPU やプロセッサの動作を規定するソフトウェア（プログラム）との協働により実現することができる。

【0025】

図 2 は、最大電圧設定ユニット 5 0（図 1）の内部構成の具体例を示す図である。最大電圧設定ユニット 5 0 は、線形補正部 5 1 と電圧推定部 5 2 と照射パラメータ算出部 5 3 と電圧評価部 5 4 と電圧設定部 5 5 で構成される。最大電圧設定ユニット 5 0 は、制御部 1 0 0 から得られる送信制御パラメータに応じて、複数の照射パラメータが上限値以下となるように最大送信電圧を設定する。

10

【0026】

図 1 の超音波診断装置の全体構成は以上のとおりである。次に、図 1 の超音波診断装置により実現される機能、特に図 2 の最大電圧設定ユニット 5 0 による最大送信電圧の設定に係る処理の具体例について詳述する。なお、図 1，図 2 に示した構成（符号を付された各部）については、以下の説明において図 1，図 2 の符号を利用する。

【0027】

図 3 は、照射パラメータの具体例を示す図である。生体の安全性を確保すること等を目的として、超音波診断には複数の安全規格が設けられている。それらの安全規格により上限値を定められた複数の照射パラメータの代表例として、MI（メカニカルインデックス）と $I_{spta}(z)$ （空間ピーク時間平均強度）と TIC（頭蓋骨のサーマルインデックス）と T （プローブ表面温度上昇）の 4 つの照射パラメータが図 3 に示されている。

20

【0028】

図 4 は、照射パラメータと送信制御パラメータの関係を示す図である。図 4 には、4 つの照射パラメータ（図 3）について、各照射パラメータと超音波の送信制御パラメータ（ビーム制御パラメータ，走査制御パラメータ）との関係が図示されている。

【0029】

図 4 には、送信制御パラメータの具体例として、送信電圧と波形とフォーカスと pr_r と走査幅が例示されている。送信電圧は、送信部 1 2 からプローブ 1 0 へ出力される送信信号の電圧である。波形は、送信信号の波形であり、例えば、送信モードと送信周波数と波数などの組み合わせによって一意に決定される。フォーカスは、例えば送信ビームのフォーカス深さである。 pr_r は、単位時間あたりのパルス送信回数（Hz：ヘルツ）であり、走査幅は、送信ビームが走査される領域（フレーム）の幅である。

30

【0030】

4 つの照射パラメータは、送信電圧との間に比較的強い相関性があり、送信電圧に対して非線形である。また、4 つの照射パラメータは、波形とフォーカスにも依存する。そして、MI（メカニカルインデックス）以外の 3 つの照射パラメータは、 pr_r と走査幅にも依存する。

40

【0031】

図 4 に示すように、4 つの照射パラメータ、特に各照射パラメータの主因子である音響パラメータは、送信電圧に対して強い相関があるうえに送信電圧に対して非線形である。4 つの照射パラメータに対応した 4 つの音響パラメータのうち、TIC の主因子である P と T の主因子である T （ T 自身が主因子）は、送信電圧自体の非線形性（送信電圧に対するトータルパワーの非線形性）に強く依存するため、リニアリティ補正（後述）により、ほぼ完全な線形性を確保できる。その他の 2 つの音響パラメータについても、リニアリティ補正により送信電圧自体の非線形性を解消できれば、非線形の要因を音場の非線形伝搬に限定できる。そこで、以下に、送信電圧のリニアリティ補正（線形補正）について説明する。

50

【 0 0 3 2 】

図 5 は、送信電圧のリニアリティ補正を説明するための図である。リニアリティ補正では、トータルパワーが線形になるように送信電圧を補正した制御インデックスが導出される。トータルパワーは、プローブ 10 から送波される超音波のパワーであり、例えば、単位時間当たりにプローブ 10 から送波される超音波パワーとして定義される。

【 0 0 3 3 】

図 5 の横軸に示す実送信電圧は、リニアリティ補正前の送信電圧であり、送信部 12 からプローブ 10 へ実際に出力される送信信号（実送信信号）の送信電圧である。これに対し、図 5 の縦軸に示す制御インデックスは、リニアリティ補正後の送信電圧として利用される。

10

【 0 0 3 4 】

送信電圧のリニアリティ補正は、例えば、プローブ 10 の種類、送信波形の種類、フォーカス深さごとに実行されることが望ましい。リニアリティ補正の手順は次のとおりである。

【 0 0 3 5 】

まず、実送信電圧の複数のサンプル電圧値について、各サンプル電圧値ごとにトータルパワーが測定される。例えば 16 サンプル程度のサンプル電圧値について、各サンプル電圧値ごとに実際にプローブ 10 から送波される超音波のトータルパワーが測定される。そして、実送信電圧の各サンプル電圧値ごとに得られたトータルパワーを $f_{pr} = 1 \text{ kHz}$ で規格化したトータルパワー ($W_{1 \text{ kHz}}$) が算出され、そのトータルパワー ($W_{1 \text{ kHz}}$) の平方根であるトータルパワーサンプル値 ($\sqrt{W_{1 \text{ kHz}}}$) が算出される。これにより、実送信電圧の複数のサンプル電圧値に対応した複数のトータルパワーサンプル値が得られる。

20

【 0 0 3 6 】

次に、トータルパワーサンプル値の最大値、例えば、送信部 12 から出力可能な実送信電圧の最大値に対応したトータルパワーサンプル値が均等に N 等分される。分割数 N は送信電圧の制御に必要とされる精度などに応じて決定される自然数である。そして、各分割点ごとに、その分割点に対応した実送信電圧値が探索される。例えば、実送信電圧の複数のサンプル電圧値と複数のトータルパワーサンプル値の対応関係から、最小二乗法などによる逐次近似で図 5 に示す近似曲線を得ることにより、縦軸の各分割点に対応した横軸の実送信電圧値を特定することができる。

30

【 0 0 3 7 】

こうして得られた縦軸の複数の分割点である制御インデックスが、トータルパワーの平方根 ($\sqrt{W_{1 \text{ kHz}}}$) をリニアに（線形的に）変化させる補正後の送信電圧として利用される。例えば、縦軸の複数の分割点（補正後の送信電圧）である制御インデックスと、横軸の実送信電圧値（補正前の送信電圧）との対応関係を定めたテーブルが、電圧値変換データとしてデータ記憶部 60 に記憶される。また、図 5 に示す近似曲線の関数データが電圧値変換データとしてデータ記憶部 60 に記憶され、その関数データに基づいて、縦軸の制御インデックス（補正後の送信電圧）に対応した横軸の実送信電圧値（補正前の送信電圧）が導出されてもよい。

40

【 0 0 3 8 】

後述する最大送信電圧の推定においては、送信電圧として、リニアリティ補正後の送信電圧である制御インデックスを利用することが望ましい。例えば、データ記憶部 60 に記憶された電圧値変換データに基づいて、線形補正部 51 が、制御インデックス（補正後の送信電圧）から実送信電圧値（補正前の送信電圧）への変換、または、実送信電圧値から制御インデックスへの変換を実行する。最大送信電圧の推定においてリニアリティ補正後の制御インデックスを利用することにより、トータルパワーやプローブ表面温度上昇の推定精度が向上し、推定の時間効率も向上する。また、送信電圧の制御に関する精度の向上と、超音波診断（測定）の精度と安全性の向上も期待される。

【 0 0 3 9 】

50

図6は、音響パラメータ測定値のデータに関する具体例を示す図である。音響パラメータ測定値は、送信制御パラメータの組み合わせにより決定される送信条件のパターンごとに測定される。図6には、データ記憶部60に記憶される音響パラメータ測定値のデータ構造の具体例が示されている。

【0040】

例えば、メカニカルインデックスMIの音響パラメータ $p_{r, (z)}$ と、空間ピーク時間平均強度 $I_{spta, (z)}$ の音響パラメータ $I_{pi, (z)}$ は、波形とフォーカスと送信電圧によって決定される送信条件の各パターンごとに測定が行われ、送信条件の各パターンごとに測定データが得られる。なお、これら2つの音響パラメータに関する送信電圧ごとの測定については、代表的な複数の送信電圧値に関する測定のみを行い、それにより得られた複数の測定データから関数近似等により得られる補間データを利用することにより、測定を簡略化することも可能である。

10

【0041】

また、頭蓋骨のサーマルインデックスTICの音響パラメータPは、波形とフォーカスと送信電圧によって決定される送信条件の各パターンごとに測定が行われ、送信条件の各パターンごとに測定データが得られる。なお、音響パラメータPに関する送信電圧ごとの測定については、代表的な複数の送信電圧値に関する測定のみを行い、それにより得られた複数の測定データから関数近似等により得られる補間データを利用することにより、測定を簡略化することも可能である。また、音響パラメータPはフォーカスに対して線形に変化するため、例えば原点を通る直線近似などで測定データを推定計算することにより、測定を省略することも可能である。

20

【0042】

そして、プローブ表面温度上昇Tの音響パラメータTは、波形とフォーカスと送信電圧と走査幅と p_{rr} によって決定される送信条件の各パターンごとに測定が行われ、送信条件の各パターンごとに測定データが得られる。なお、音響パラメータTに関する走査幅ごとの測定については、代表的な幾つかの走査幅に関する測定のみを行い、それにより得られた複数の測定データから関数近似等により得られる補間データを利用することにより、測定を簡略化することも可能である。また、音響パラメータTはフォーカスと送信電圧に対して線形に変化するため、例えば原点を通る直線近似などで測定データを推定計算することにより、測定を省略することも可能である。音響パラメータTの測定は、例えば各パターンごとに数十分程度の長い時間を要するため、可能な限りパターン数を絞り込んで測定することが望ましい。

30

【0043】

図7は、最大送信電圧の設定処理の全容を示すフローチャートである。つまり、最大電圧設定ユニット50において実行される処理の全容が図7に示されている。

【0044】

最大電圧設定ユニット50は、まず、データ記憶部60から各照射パラメータの上限値のデータを取得する(S701)。データ記憶部60には、各種の安全規格により定められた複数の照射パラメータの上限値のデータが予め記憶されている。

【0045】

次に、照射パラメータ算出部53により照射パラメータ値が算出される(S702)。照射パラメータ算出部53は、制御部100から得られる送信制御パラメータ、例えば診断中の装置の設定状態を示す現状の送信制御パラメータを参照して、データ記憶部60に記憶された音響パラメータ測定値のデータ(図6)の中から、現状の送信制御パラメータに対応した4つの音響パラメータの測定値を得る。なお、送信電圧の電圧値としては、送信電圧の推定値が利用される。その推定値の初期値は、送信部12が出力可能な最大の送信電圧である V_{limit} とする。そして、照射パラメータ算出部53は、4つの音響パラメータの測定値に基づいて、図3に示す4つの照射パラメータ値を算出する。

40

【0046】

次に、電圧評価部54により送信電圧の推定値が評価される(S703)。なお、電圧

50

評価部 5 4 による評価処理の具体例については後に詳述する（図 9 参照）。電圧評価部 5 4 による評価結果が OK でなければ、つまり評価結果が NG であれば、電圧推定部 5 2 により新たな送信電圧の推定値が算出される（S 7 0 5）。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、最大送信電圧の推定処理を説明するための図である。電圧推定部 5 2 は、各照射パラメータごとに、その照射パラメータの上限値を超えないことを目標として、最大送信電圧の推定値を算出する。電圧推定部 5 2 は、各照射パラメータごとに、その照射パラメータの上限値と過去の推定値から逐次的勾配降下法により新たな推定値を算出する。図 8 には、照射パラメータ $I_{s p t a, (z)}$ に関する逐次的勾配降下法の具体例が図示されている。

10

【 0 0 4 8 】

電圧推定部 5 2 は、各照射パラメータに応じて選択される数 1 式または数 2 式により送信電圧の推定値 V_i を算出する。なお、 i は過去から順に増加する逐次計算のインデックスであり初期値 0 から 1 ずつ増加する整数である。また、 $P r m_{L i m i t}$ はデータ記憶部 6 0 に記憶された各照射パラメータの上限値であり、 $P r m_i$ は送信電圧を推定値 V_i として照射パラメータ算出部 5 3 により算出される各照射パラメータの値である。

【 0 0 4 9 】

【 数 1 】

$$V_i = V_{i-1} + (P r m_{L i m i t} - P r m_{i-1}) \times \frac{V_{i-1} - V_{i-2}}{P r m_{i-1} - P r m_{i-2}}$$

20

【 数 2 】

$$V_i = \sqrt{V_{i-1}^2 + (P r m_{L i m i t} - P r m_{i-1}) \times \frac{V_{i-1}^2 - V_{i-2}^2}{P r m_{i-1} - P r m_{i-2}}}$$

【 0 0 5 0 】

逐次的勾配降下法では、各照射パラメータの上限値 $P r m_{L i m i t}$ と過去の推定値 V_{i-1} と推定値 V_{i-2} から、数 1 式または数 2 式を利用して、新たな推定値 V_i が算出される。

30

【 0 0 5 1 】

例えば、照射パラメータ $M I$ （メカニカルインデックス）は、送信電圧との間に比較的強い相関関係があるため、照射パラメータ $M I$ に関する推定値 V_i の算出には、送信電圧の 1 乗に対応した数 1 式が利用される。これに対し、照射パラメータ $I_{s p t a, (z)}$ （空間ピーク時間平均強度）と照射パラメータ $T I C$ （頭蓋骨のサーマルインデックス）と照射パラメータ T （プローブ表面温度上昇）は、送信電圧の 2 乗との間に比較的強い相関関係があるため、これらの照射パラメータに関する推定値 V_i の算出には、送信電圧の 2 乗に対応した数 2 式が利用される。

【 0 0 5 2 】

40

電圧推定部 5 2 は、送信電圧の推定値を $V_0 = 0$ 、 $V_1 = V_{L i m i t}$ （送信部 1 2 が出力可能な最大の送信電圧）、各照射パラメータの初期値を $P r m_0 = 0$ として、 $i = 2$ から逐次的勾配降下法による逐次計算を実行する。

【 0 0 5 3 】

図 7 に戻り、S 7 0 5 において各照射パラメータごとに推定値 V_i が算出されると、電圧推定部 5 2 は、複数の照射パラメータについて、各照射パラメータごとに算出された推定値 V_i の中で最も低い値を選択する（S 7 0 6）。そして、選択された推定値 V_i が推定電圧 $M a x V_i$ となる。

【 0 0 5 4 】

さらに、推定電圧に関するリミットチェックが実行される（S 7 0 7）。このリミット

50

チェックは、図7のフローチャートにおけるS702～S706までの処理を繰り返し実行する中で、過去に得られた推定電圧との重複を避けることを目的としている。例えば、数3式によるリミットチェックが実行される。

【0055】

【数3】

$$\text{Max}V_i = \max(\text{Max}V_{\text{OK}} + \alpha, \min(\text{Min}V_{\text{NG}} - \alpha, \text{Max}V_i))$$

【0056】

数3式において、 $\text{Min}V_{\text{NG}}$ は、安全要求を満たさなかった過去の推定電圧の最小値であり、初期値を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とする。また、 $\text{Max}V_{\text{OK}}$ は、安全要求を満たした過去の推定電圧の最大値であり、初期値を0（ゼロ）とする。なお、安全要求とは、全照射パラメータが上限値以下になることである。そして、 α は送信部12が出力可能な送信電圧の最小調整単位である。

10

【0057】

このリミットチェックにより、例えば、OKゾーン（安全要求を満たした過去の推定電圧の最大値）とNGゾーン（安全要求を満たさなかった過去の推定電圧の最小値）の両側から推定電圧の範囲を徐々に狭めていくことにより、推定の精度を高めることが可能になる。また、OKゾーンの推定電圧の初期値を0とし、NGゾーンの推定電圧の初期値を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とすることにより、装置（送信部12）により出力可能な電圧範囲内に収まるように推定電圧が修正される。

20

【0058】

そして、図7のフローチャートにおけるS702～S707までの処理を繰り返し実行する中で、S702における2回目以降の算出には、S707におけるリミットチェック後の推定電圧 $\text{Max}V_i$ が送信電圧の推定値として利用される。S702～S707の処理は、S703において送信電圧の推定値が評価OKとなるまで繰り返される。

【0059】

図9は、送信電圧の推定値の評価処理を説明するための図である。つまり、図7のS703において電圧評価部54が実行する処理の具体例が図9に示されている。

【0060】

まず、S702（図7）において算出された全照射パラメータが上限値以下となる安全要求を満たすか否かが確認される（S901）。4つの照射パラメータ値が全て上限値以下であれば安全要求を満たすと判定され、4つの照射パラメータ値のうち少なくとも1つが上限値よりも大きければ安全要求を満たしていないと判定される。

30

【0061】

S901において安全要求を満たしている場合には、安全要求を満たした最大推定値の更新が行われる（S902）。最大推定値の更新は、例えば数4式により実行される。なお、数4式において、 $\text{Max}V_{\text{OK}}$ は安全要求を満たした最大推定値であり、 $\text{Max}V_i$ はS707（図7）におけるリミットチェック後の推定電圧である。

【0062】

【数4】

$$\text{Max}V_{\text{OK}} = \max(\text{Max}V_{\text{OK}}, \text{Max}V_i)$$

40

【0063】

最大推定値が更新されると、安全要求を満たした回数であるOK回数がカウントされる（S903）。OK回数の初期値は0（ゼロ）でありS903のステップが繰り返し実行される度にOK回数が1つだけ増加（カウント）される。

【0064】

一方、S901において安全要求を満たしていない場合には、安全要求を満たしていな

50

い最小推定値の更新が行われる (S 9 0 4)。最小推定値の更新は例えば数 5 式により実行される。なお、数 5 式において、 $MinV_{NG}$ は安全要求を満たしていない最小推定値であり、 $MaxV_i$ は S 7 0 7 (図 7) におけるリミットチェック後の推定電圧である。

【 0 0 6 5 】

【 数 5 】

$$MinV_{NG} = \min(MinV_{NG}, MaxV_i)$$

【 0 0 6 6 】

最小推定値が更新されると、安全要求を満たしていない回数である NG 回数がカウントされる (S 9 0 5)。NG 回数の初期値は 0 (ゼロ) であり S 9 0 5 のステップが繰り返し実行される度に NG 回数が 1 つだけ増加 (カウント) される。

10

【 0 0 6 7 】

続いて、S 9 0 2 において更新された最大推定値 $MaxV_{OK}$ が最適解であるか否かが確認される (S 9 0 6)。例えば、数 6 式の条件を満たせば最適解と判定され、数 6 式の条件を満たさなければ最適解ではないと判定される。なお、数 6 式の α は、送信部 1 2 が出力可能な送信電圧の最小調整単位である。

【 0 0 6 8 】

【 数 6 】

$$MaxV_{OK} = V_{Limit} \quad \text{又は} \quad MinV_{NG} - MaxV_{OK} \leq \alpha$$

20

【 0 0 6 9 】

S 9 0 6 において最適解であると判定されると評価結果 OK となる (S 9 0 7)。これに対し、S 9 0 6 において最適解ではないと判定されると、OK 回数が終了条件を満たすか否かが確認される (S 9 0 8)。例えば、数 7 式の条件を満たすか否かが確認される。

【 数 7 】

$$MaxV_{OK} \neq 0 \quad \text{且つ} \quad OK\text{回数} \geq \text{上限回数}$$

30

【 0 0 7 0 】

数 7 式における上限回数は、音響パラメータの線形性や製品に要求される感度や応答性能等に応じて決定される。上限回数の値は、固定値でもよいし、ユーザが適宜に調整できるようにしてもよい。例えば、上限回数を 1 にすれば、1 度 OK (OK 回数 = 1) で終了条件を満たすことになる。音響パラメータの線形性が高い場合や、感度よりも応答性を重視したい場合には上限回数を小さくすればよい。これに対し、音響パラメータの線形性が低く、感度を重視したい場合には、上限回数を大きくすればよい。例えば、送信部 1 2 が出力可能な送信電圧の段数と同程度の値に上限回数を設定すれば、S 9 0 6 において最適解であると判定されるまで演算と評価を繰り返すようにすることもできる。

40

【 0 0 7 1 】

S 9 0 8 において終了条件を満たしていない判定されると評価結果 NG となり (S 9 0 9)、図 7 のフローチャートにおける S 7 0 5 ~ S 7 0 7 までの処理が再び実行される。そして、評価結果 OK と判定されるまで図 7 のフローチャートにおける S 7 0 2 ~ S 7 0 7 までの処理が繰り返し実行される。

【 0 0 7 2 】

S 9 0 7 において評価結果 OK とされると、電圧設定部 5 5 が最大推定値 $MaxV_{OK}$ を最大送信電圧として設定する (図 7 の S 7 0 8)。最大送信電圧が設定されると、例えば 0 V から最大送信電圧の範囲内でユーザにより送信電圧が調整される。また、0 V から最大送信電圧の範囲内で例えば照射パラメータの指定値に応じて送信電圧が調整されても

50

よい。

【 0 0 7 3 】

次に、複合モード時における最大送信電圧の設定について説明する。図 1 の超音波診断装置は、複数の診断モードを備えている。複数の診断モードには、例えば、断層画像（Bモード画像）を形成するBモード、カラードプラ画像を形成するフローモード（Flowモード）、パルスドプラ計測を行うPWモードなどが含まれる。図 1 の超音波診断装置は各診断モードを個別に実行する個別モードの他に、幾つかの診断モードを時分割で交互に実行する複合モードの機能を備えている。

【 0 0 7 4 】

図 1 0 は、複合モードの具体例を示す図である。図 1 0 には、BモードとFlowモードを時分割で交互に実行する複合モードの具体例が図示されている。図 1 0 の具体例ではBモードの各超音波ビームが周期 $200\ \mu\text{s}$ （マイクロ秒）で次々に形成され、Flowモードの各超音波ビームが周期 $50\ \mu\text{s}$ で次々に形成される。そしてBモードの3本の超音波ビームの形成（期間が $600\ \mu\text{s}$ ）とFlowモードの12本の超音波ビームの形成（期間が $600\ \mu\text{s}$ ）が交互に繰り返される。これにより、Bモード画像とカラードプラ画像が同時進行的に形成され、例えば、表示部 3 2 にBモード画像とカラードプラ画像を左右に並べた表示画像が表示される。

10

【 0 0 7 5 】

複合モードにおいても最大電圧設定ユニット 5 0 は超音波に係る複数の照射パラメータが上限値以下となるように最大送信電圧を設定する。複合モードでは、複合モードを構成する各診断モードのビーム特性（波形、フォーカス、送信電圧）や走査特性（送信周期、1フレーム当たりの走査線数、1フレームの走査範囲）などにより、各照射パラメータへの寄与の度合いが変化する。

20

【 0 0 7 6 】

例えば、音圧に関する照射パラメータ（例えばメカニカルインデックスMI）は、各診断モードのビーム特性のみに依存するため、複数の診断モードについての各々の寄与（メカニカルインデックスMIに対する影響の度合い）を比較し、寄与が大きい方の診断モードに関する最大送信電圧の推定値が複合モードにおける最大送信電圧とされる。

【 0 0 7 7 】

一方、送信電圧の2乗に関連する照射パラメータ（例えばTIC、Isp_{ta}, (z)、T）は、各診断モードのビーム特性と走査特性の両方に依存するため、複数の診断モードについての各々の寄与の合算値から、複合モードにおける最大送信電圧が推定される。

30

【 0 0 7 8 】

図 1 の超音波診断装置は、複合モードにおいて、各診断モードの寄与の度合い（各照射パラメータに対する影響の度合い）に応じて、各診断モードごとに最大送信電圧を設定することができる。例えば、図 1 0 に示す複合モードの具体例において、Bモード用の最大送信電圧とFlowモード用の最大送信電圧を別々に設定（個別設定）する機能を備えている。個別設定の機能について後に詳述することとし、その前に、まず、Bモード用とFlowモード用について同じ最大送信電圧を設定する比較例（単一送信電圧）について説明する。

40

【 0 0 7 9 】

< 比較例（単一送信電圧） >

複合モードにおいて各診断モードごとに個別に最大送信電圧を設定できない単一送信電圧の場合には、各診断モードの寄与の度合い（各照射パラメータに対する影響の度合い）に依らず、複数の照射パラメータが上限値以下となるように、複数の診断モードに対して共通の最大送信電圧が設定される。

【 0 0 8 0 】

例えば、図 1 0 に示す複合モードの具体例において、prr（単位時間あたりのパルス送信回数）が全体的に低く、音圧に関連した照射パラメータ（MI）が支配的となる状況

50

を考える。例えば、メカニカルインデックスMIの上限値を $MI_{Limit} = 1.6$ 、送信電圧を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とした場合におけるBモードのメカニカルインデックスを $MI_B = 1.0$ 、フローモードのメカニカルインデックスを $MI_{Flow} = 3.2$ 、MIが送信電圧Vに比例する（ $MI \propto V$ ）と仮定すると、安全要求を満たす最大送信電圧 $MaxV$ は次式により $MaxV = 0.5V_{Limit}$ となる。

【0081】

【数8】

$$MaxV = V_{Limit} \times MI_{Limit} / \max(MI_B(V_{Limit}), MI_{Flow}(V_{Limit})) = 0.5V_{Limit}$$

10

【0082】

そして、安全要求を満たす最大送信電圧 $MaxV = 0.5V_{Limit}$ による規制後のメカニカルインデックスMIは、 $MI_B = 0.5$ 、 $MI_{Flow} = 1.6$ となる。つまり、Bモードのメカニカルインデックス MI_B は、 $MaxV = V_{Limit}$ の時に $MI_B = 1.0$ と規制値（上限値）以下であったにも関わらず、フローモードのメカニカルインデックスである MI_{Flow} の影響により、 $MI_B = 0.5$ まで過剰に引き下げられてしまうことになる。

【0083】

また、例えば、図10に示す複合モードの具体例において、 pr_r （単位時間あたりのパルス送信回数）が全体的に高く、音圧よりも送信電圧の2乗に関連した照射パラメータである T が支配的となる状況を考える。例えば、プローブ表面温度上昇 T の上限値を $T_{Limit} = 4$ （摂氏4度）、送信電圧を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とした場合におけるBモードのプローブ表面温度上昇 $T_B = 3$ 、フローモードのプローブ表面温度上昇 $T_{Flow} = 3.3$ 、 T が送信電圧Vの2乗に比例する（ $T \propto V^2$ ）と仮定すると、安全要求を満たす最大送信電圧 $MaxV$ は次式により $MaxV = (1/3)V_{Limit}$ となる。

20

【0084】

【数9】

$$\Delta T_{Limit} = \Delta T_B \times (MaxV/V_{Limit})^2 + \Delta T_{Flow} \times (MaxV/V_{Limit})^2 \quad \therefore MaxV = (1/3)V_{Limit}$$

30

【0085】

そして、安全要求を満たす最大送信電圧 $MaxV = (1/3)V_{Limit}$ による規制後の T は、 $T_B = 0.33$ 、 $T_{Flow} = 3.67$ となる。この場合、Bモードとフローモードのプローブ表面温度上昇 T に関する寄与率の差が比較的大きい（ T_{Flow} の方が大きい）ため、フローモードの送信電圧のみを大きく下げた方がよいにも関わらず、単一送信電圧では、フローモードの影響によりBモードの送信電圧も過剰に引き下げられてしまう。

【0086】

このように、単一送信電圧の場合には、一方の診断モードの影響により、他方の診断モードに関する最大送信電圧が過剰に引き下げられてしまう場合がある。

40

【0087】

そこで、図1の超音波診断装置は、複合モードにおいて、各診断モードの寄与の度合い（各照射パラメータに対する影響の度合い）に応じて、各診断モードごとに最大送信電圧を個別設定する。以下に個別設定の具体例を説明する。

【0088】

<個別設定の具体例1（基本パターン）>

個別設定においては、複合モードを構成する複数の診断モードのうちの1つを除き、他の各診断モードについて、各診断モードごとにその診断モードの送信周期で単独送信されて

50

いる場合を仮定し、既に詳述した設定処理（図7～図9参照）により、最大電圧設定ユニット50が各診断モードごとの最大送信電圧を順次推定する。

【0089】

これにより、例えば、音圧に関連する照射パラメータ（例えばMI）による最大送信電圧の規制を必要最小限とすることが可能になる。また、各診断モードの送信周期を利用して計算することにより、送信電圧の2乗に関連する照射パラメータ（例えばT）による最大送信電圧の規制を、送信時間の時分割の割合に従って、照射パラメータが均等になるように複数の診断モードに対して平等に規制を掛けることが可能になる。

【0090】

そして、複合モードを構成する複数の診断モードのうちの最後に残った1つの診断モード（最後の診断モード）は、それ以外の他の各診断モードについて決定された最大送信電圧の値を固定した状態で、複合モード中に最後の診断モードが実行されるとして各照射パラメータが算出される。例えば、送信電圧の2乗に関連する照射パラメータ（例えばT）については、その他の各診断モードの寄与を照射パラメータの上限値から差し引いた値を、最後の診断モードに関する上限値として、既に詳述した設定処理（図7～図9参照）により、最大電圧設定ユニット50が最後の診断モードの最大送信電圧を推定する。

【0091】

このように、最後に残った1つの診断モードに関する最大送信電圧を単独送信ではなく複合モードにおける複合送信のうちの1つとして推定することにより、例えば、次のいずれかの条件が満たされた場合に最大送信電圧をより高く設定することができる。その条件とは、複合モードの一連のシーケンスの中で診断モードが切り換わるタイミングやフレームが切り換わるタイミングで一定の休止時間が割り込む場合（条件1）と、先に最大送信電圧を推定した複数の診断モードの中に、各照射パラメータの上限値に到達しなかったモードがある場合（条件2）である。

【0092】

そこで、図10に示す複合モードの具体例において最大送信電圧を個別設定する場合の設定例を説明する。例えば、メカニカルインデックスMIの上限値を $MI_{Limit} = 1.6$ とし、送信電圧を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とした場合におけるBモードのメカニカルインデックスを $MI_B = 1.0$ 、フローモードのメカニカルインデックスを $MI_{Flow} = 3.2$ とし、MIが送信電圧Vに比例する（ $MI \propto V$ ）と仮定する。また、例えば、プローブ表面温度上昇Tの上限値を $T_{Limit} = 4$ （摂氏4度）とし、送信電圧を V_{Limit} とした場合におけるBモードのプローブ表面温度上昇 $T_B = 8$ 、フローモードのプローブ表面温度上昇 $T_{Flow} = 18$ 、Tが送信電圧Vの2乗に比例する（ $T \propto V^2$ ）と仮定する。

【0093】

個別設定においては、複合モードを構成する複数の診断モードのうちの1つを除き、他の各診断モードについて、各診断モードごとにその診断モードの送信周期で単独送信されている場合を仮定する。図10の具体例では、まず、Bモードが単独送信されると仮定する。

【0094】

そして、複合モードを構成する複数の診断モードのうちの最後に残った1つの診断モードは、それ以外の他の各診断モードについて決定された最大送信電圧の値を固定した状態で、複合モード中に実行される診断モードとして各照射パラメータが算出される。図10の具体例では、フローモードが最後に残った1つの診断モードとなる。

【0095】

図11は、個別設定の具体例を示す図である。図11には、図10に示す複合モードの具体例において最大送信電圧を個別設定する場合の設定例が図示されている。

【0096】

まず、図11のS1に示すように、Bモードが単独送信されると仮定する。つまり、Bモードの各超音波ビームが周期 $200 \mu sec$ （マイクロ秒）で次々に形成され、フロー

10

20

30

40

50

モード（Flowモード）の期間中もBモードが単独送信されると仮定する。そして、送信電圧を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とした場合におけるBモードのメカニカルインデックスを $MI_B = 1.0$ とし、送信電圧を V_{Limit} とした場合におけるBモードのプローブ表面温度上昇を $T_B = 16$ とする。なお、プローブ表面温度上昇 T は、 pr_r （単位時間あたりのパルス送信回数）に比例し、単独送信によりBモードの期間が $600\mu sec$ から2倍の $1200\mu sec$ に増加したため、Bモードのプローブ表面温度上昇を $T_B = 8 \times 2 = 16$ としている。

【0097】

この例では、Bモードのメカニカルインデックスは $MI_B = 1.0$ であり、上限値である $MI_{Limit} = 1.6$ を超えていないが、Bモードのプローブ表面温度上昇は $T_B = 16$ であり、上限値である $T_{Limit} = 4$ を超えてしまう。したがって、Bモードの最大送信電圧は、 V_{Limit} よりも低い値に設定する必要がある。

10

【0098】

図11のS1に示すように、Bモードが単独送信されると仮定して、既に詳述した設定処理（図7～図9参照）により、最大電圧設定ユニット50がBモードの最大送信電圧を推定すると、安全要求を満たすBモードの最大送信電圧 $Max V_B$ は、例えば、次式に示すように $Max V_B = 0.5 V_{Limit}$ となる。

【0099】

【数10】

$$Max V_B = V_{Limit} \times (\Delta T_{Limit} / \Delta T_B)^{0.5} = V_{Limit} \times (4.0 / 16.0)^{0.5} = 0.5 V_{Limit}$$

20

【0100】

続いて、Bモードの最大送信電圧がS1で算出された $Max V_B = 0.5 V_{Limit}$ に設定されていると仮定して、複合モードの状態（時分割送信）におけるフローモードの最大送信電圧が推定される。

【0101】

なお、Bモードの最大送信電圧が $Max V_B = 0.5 V_{Limit}$ に設定され、図11のS2に示すように、Bモードとフローモードが複合送信つまり時分割送信される場合、Bモードのメカニカルインデックスは MI_B とプローブ表面温度上昇 T_B は、それぞれ次式に示すように、 $MI_B = 0.5$ 、 $T_B = 2.0$ （摂氏2.0度）となる。次式においてプローブ表面温度上昇 T_B は、Bモードの単独送信での期間 1200 （ $600 + 600$ ） μsec から複合送信において $1/2$ の $600\mu sec$ に時分割されたことが考慮されている。

30

【0102】

【数11】

$$MI_B = 1.0 \times (Max V_B / V_{Limit}) = 0.5$$

$$\Delta T_B = 16.0 \times (Max V_B / V_{Limit})^2 \times 600 / (600 + 600) = 2.0^\circ C$$

40

【0103】

Bモードとフローモードの2モードの分割送信において、Bモードのプローブ表面温度上昇が $T_B = 2.0$ であると、プローブ表面温度上昇 T の上限値が $T_{Limit} = 4$ であるため、フローモードにおいて許容されるプローブ表面温度上昇は $T_{odd} = 2.0$ （ $4.0 - 2.0$ ）となる。なお、メカニカルインデックス MI の上限値は、2モードの分割送信でも $MI_{Limit} = 1.6$ である。

【0104】

最大電圧設定ユニット50は、既に詳述した設定処理（図7～図9参照）により、メカニカルインデックス MI の上限値 $MI_{Limit} = 1.6$ とし、フローモードにおいて許容されるプローブ表面温度上昇 $T_{odd} = 2.0$ 以下となる安全要求を満たすフロー

50

モードの最大送信電圧を推定する。これにより、安全要求を満たすフローモードの最大送信電圧 $Max V_{Flow}$ は、例えば次式に示すように $Max V_{Flow} = 0.33 V_{Limit}$ となる。

【0105】

【数12】

$$Max V_{Flow_MI} = V_{Limit} \times (MI_{Limit} / MI_{Flow}) = V_{Limit} \times (1.6/3.2) = 0.5 V_{Limit}$$

$$Max V_{Flow_dT} = V_{Limit} \times (\Delta T_{odd} / \Delta T_{Flow})^{0.5} = V_{Limit} \times (2.0/18.0)^{0.5} \cong 0.33 V_{Limit}$$

$$Max V_{Flow} = \min(Max V_{Flow_MI}, Max V_{Flow_dT}) \cong 0.33 V_{Limit}$$

$$MI_{Flow} = 3.2 \times (Max V_{Flow} / V_{Limit}) \cong 1.06$$

$$\Delta T_{Flow} = 18.0 \times (Max V_{Flow} / V_{Limit})^2 = 2.0^\circ C$$

10

【0106】

図12は、個別設定における推定結果の具体例を示す図である。図12には、図11を利用して説明した個別設定により推定されるBモードの最大送信電圧 $Max V_B$ とフローモードの最大送信電圧 $Max V_{Flow}$ の演算結果が図示されている。

【0107】

図11, 図12に示す具体例のように、送信電圧の2乗に関連した照射パラメータであるプローブ表面温度上昇 T により規制が掛かる場合には、その照射パラメータ(例えば T) が複数の診断モードにおいて均等になるように最大送信電圧が推定される。

20

【0108】

なお、図7における処理のループ回数は、複合モードを構成する複数の診断モードの個数だけとなる。ループ回数については、比較例の単一送信電圧における推定処理と同じである。したがって、単一送信電圧の場合における推定処理と比較して、ほぼ同等な演算負荷で個別設定(図11, 図12参照)における推定処理が可能になる。

【0109】

<個別設定の具体例2(基本パターンの変形例)>

次に、個別設定の具体例2として、上述した基本パターンの変形例について説明する。図10に示す複合モードの具体例において、例えば、メカニカルインデックス MI の上限値を $MI_{Limit} = 1.6$ とし、送信電圧を V_{Limit} (送信部12が出力可能な最大の送信電圧)とした場合におけるBモードのメカニカルインデックスを $MI_B = 1.0$ 、フローモードのメカニカルインデックスを $MI_{Flow} = 1.6$ とし、 MI が送信電圧 V に比例する ($MI \propto V$) と仮定する。また、プローブ表面温度上昇 T の上限値を $T_{Limit} = 4$ (摂氏4度) とし、送信電圧を V_{Limit} とした場合におけるBモードのプローブ表面温度上昇 $T_B = 1.0$ 、フローモードのプローブ表面温度上昇 $T_{Flow} = 18$ 、 T が送信電圧 V の2乗に比例する ($T \propto V^2$) と仮定する。つまり、安全要求の上限値を超えるのが T_{Flow} だけとなる例を仮定する。

30

【0110】

Bモードとフローモードの時分割比率 $1/2$ ($600 \mu sec / 1200 \mu sec$) に応じて、プローブ表面温度上昇 T の上限値 $T_{Limit} = 4$ (摂氏4度) をフローモードに分配すると $T_{Limit_div} = 2.0$ となる。

40

【0111】

一方、プローブ表面温度上昇 T の上限値 $T_{Limit} = 4$ から、Bモードのプローブ表面温度上昇 $T_B = 1.0$ を差し引いた T の許容分は $T_{odd} = T_{Limit} - T_B = 3.0$ となる。

【0112】

したがって、時分割比率でフローモードの $T_{Limit_div} = 2.0$ を設定する基本パターンの場合に比べて、Bモードの $T_B = 1.0$ を差し引くことにより T

50

の許容分 $T_{o_d_d} = 3.0$ を算出する変形例の方が、 1.0 だけ有利であり、フローモードの上限（最大送信電圧）を増加することができる。

【0113】

図13は、基本パターンと変形例の比較結果を示す図である。図13には、基本パターンにより得られる結果に対する変形例により得られる結果の増加割合が図示されている。つまり、フローモード（Flowモード）のプローブ表面温度上昇 T の増加割合と、送信電圧（最大送信電圧）の増加割合が図示されている。

【0114】

<個別設定の具体例3（休止時間の追加）>

次に、個別設定の具体例3として、上述した基本パターンの変形例に休止時間が割り込む例を説明する。

【0115】

図14は、休止時間が割り込む複合モードの具体例を示す図である。図14には、BモードとFlowモードを時分割で交互に実行する複合モードに休止時間を割り込ませる具体例が図示されている。つまり、図14の具体例では、Bモードの各超音波ビームが周期 $200 \mu\text{sec}$ （マイクロ秒）で次々に形成され、Flowモードの各超音波ビームが周期 $50 \mu\text{sec}$ で次々に形成される。そしてBモードの3本の超音波ビームの形成（期間が $600 \mu\text{sec}$ ）とFlowモードの12本の超音波ビームの形成（期間が $600 \mu\text{sec}$ ）の後に、 $300 \mu\text{sec}$ の休止時間が設けられる。なお、休止時間において、例えば、プローブ10による超音波の送受が停止される。

【0116】

図14に示す複合モードの具体例において、例えば、メカニカルインデックスMIの上限値を $MI_{Limit} = 1.6$ とし、送信電圧を V_{Limit} （送信部12が出力可能な最大の送信電圧）とした場合におけるBモードのメカニカルインデックスを $MI_B = 1.0$ 、フローモードのメカニカルインデックスを $MI_{Flow} = 1.6$ と仮定する。また、プローブ表面温度上昇 T の上限値を $T_{Limit} = 4$ （摂氏4度）とし、Bモードのプローブ表面温度上昇 T_B が時分割により得られる上限値 $T_{Limit_div} = 4.0 * (40 / 100) = 1.6$ に等しいと仮定すると、フローモードにおいて許容される温度上昇 T の余りは、 $T_{Flow} = T_{Limit} - T_B = 4.0 - 1.6 = 2.4$ となる。つまり、休止時間が設けられたことにより、複合モード全体のPRT（パルス繰り返し時間）が延びてBモードの割合が低下した分だけ、フローモードに許容される T の上限が増加したことになる。図14には、休止時間を設けない場合（休止時間なし）と休止時間を設ける場合（休止時間あり）のプローブ表面温度上昇 T_{Flow} の具体例が図示されている。

【0117】

そして、図14に示すように、休止時間が追加されたことにより、フローモードの温度上昇 T の上昇し易さが 0.8 の割合で低下する。また、休止時間が追加されたことにより、図14に示す送信電圧の増加割合でフローモードの最大送信電圧を高くすることができる。

【0118】

さらに、基本パターンの変形例（個別設定の具体例2）と休止時間の追加（個別設定の具体例3）を併用すれば、基本パターンの変形例による送信電圧の増加割合（図13）と休止時間の追加による送信電圧の増加割合（図14）を掛け合わせた送信電圧の増加割合の効果を得ることが可能になる。

【0119】

<個別設定の応用例>

上述した個別設定の具体例1～3を応用することにより、例えば強度に関する照射パラメータが支配的な場合に、例えば、以下に示す態様により、意図的に複数の診断モード間の送信電圧のバランスを調整し、所望の診断モードに関する送信電圧を高めるようにしてもよい。

10

20

30

40

50

【0120】

態様1（他の診断モードの送信電圧を下げる）

例えばBモードとフローモードの複合モードにおいて、Bモードの最大送信電圧を推定した後に、装置やプローブモードなどの目的に応じて、Bモードの最大送信電圧に任意の比率を乗じることにより、Bモードとフローモードの送信電圧のバランスが調整されてもよい。フローモードの送信電圧を高めたい場合には、1未満の比率を乗じてBモードの送信電圧を下げればよい。逆に、1より大きい比率でBモードの送信電圧を高める場合には、照射パラメータ（例えばMI）の上限値以下の範囲で調整する。

【0121】

態様2（休止時間を設ける又は休止時間を増やす）

休止時間を意図的に設ける又は増やすことにより、例えば、フローモードの強度に関連した照射パラメータの上限が相対的に高くなり、複合モード全体のPRTも下がり、最大送信電圧を高くすることが可能になる。

【0122】

態様3（各診断モードの推定順序を変更する）

各診断モードの推定順序を変更し、最後に推定する診断モードを変更すれば、優先的に送信電圧を高くする診断モードを意図的に選択することが可能になる。

【0123】

<3モードの個別設定>

図15は、3モードの複合モードにおける個別設定の具体例を示す図である。図15にはBモードとフローモード（Flowモード）とパルスドプラモード（PWモード）の3モードからなる複合モードの具体例が図示されている。

【0124】

3モード（または4モード以上）の複合モードの個別設定においても、複合モードを構成する複数の診断モードのうちの一つを除き、他の各診断モードについて、各診断モードごとにその診断モードの送信周期で単独送信されている場合を仮定し、既に詳述した設定処理（図7～図9参照）により、最大電圧設定ユニット50が各診断モードごとの最大送信電圧を順次推定する。

【0125】

そして、複合モードを構成する複数の診断モードのうち最後に残った一つの診断モード（最後の診断モード）は、それ以外の他の各診断モードについて決定された最大送信電圧の値を固定した状態で、複合モード中に最後の診断モードが実行されるとして各照射パラメータが算出され、最大電圧設定ユニット50が最後の診断モードの最大送信電圧を推定する。

【0126】

例えば、図15に示す3モードの場合には、まず、ステップ1（S1）において、Bモードが単独送信されると仮定され、Bモードの最大送信電圧 $Max V_B$ が決定される。次に、ステップ2（S2）において、フローモード（Flowモード）が単独送信されると仮定され、フローモードの最大送信電圧 $Max V_{Flow}$ が決定される。

【0127】

そして、最後にステップ3（S3）において、Bモードとフローモードがそれぞれの最大送信電圧 $Max V_B$ と $Max V_{Flow}$ で実行されるとして、複合モードにおけるパルスドプラモード（PWモード）の最大送信電圧 $Max V_{PW}$ が決定される。

【0128】

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。本発明は、その本質を逸脱しない範囲で各種の変形形態を包含する。

【符号の説明】

【0129】

10 プローブ、12 送信部、14 受信部、20 超音波画像形成部、30 表示

10

20

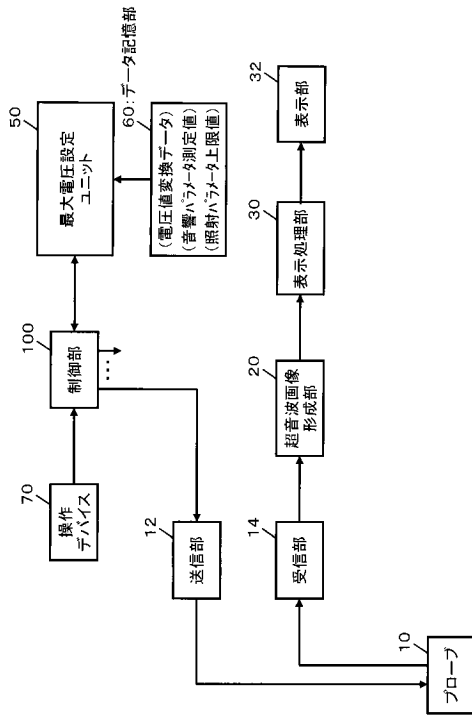
30

40

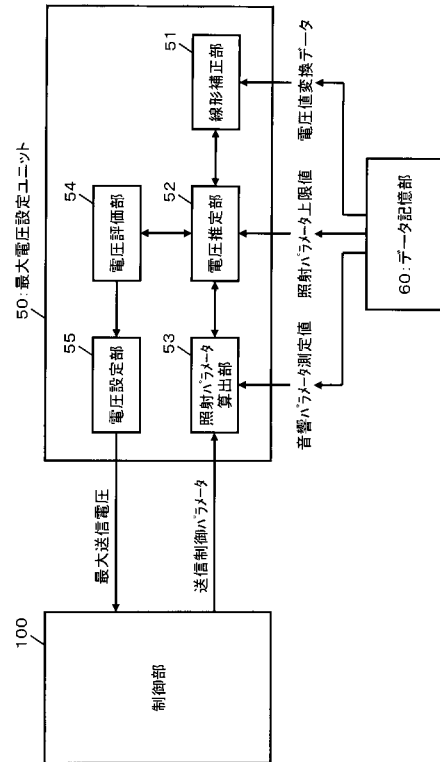
50

処理部、32 表示部、50 最大電圧設定ユニット、51 線形補正部、52 電圧推定部、53 照射パラメータ算出部、54 電圧評価部、55 電圧設定部、60 データ記憶部、70 操作デバイス、100 制御部。

【 図 1 】



【 図 2 】



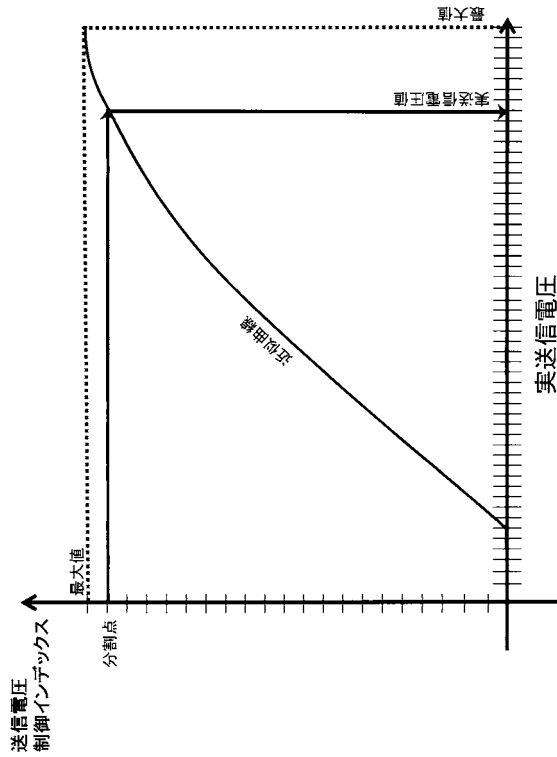
【 図 3 】

- $MI = pr_{\alpha}(z) f_{awf}^{-1/2}$
 MI: マカニカルインデックス
 $pr_{\alpha}(z)$: 深さ z における減衰を考慮した最大負音圧。送信電圧と非線形な正の相関がある。
 f_{awf} : 音響作用周波数 [MHz]
- $I_{spiaa}(z) \propto I_{pia}(z) \times prr$
 $I_{spiaa}(z)$: 深さ z における減衰を考慮した空間ピーク時間平均強度 [$mW \cdot cm^{-2}$]
 $I_{pia}(z)$: 減衰パルス強度積分 [$m \cdot cm^{-2}$]。送信電圧の2乗と非線形な正の相関がある。
 prr : 単位時間当たりのパルス送信回数 [Hz]
- $TIC \propto P$ (※)
 TIC: 頭蓋骨のサーマルインデックス
 P : 超音波出力 [mW]。送信電圧の2乗と非線形な正の相関がある。 prr に比例する。
 ※他にも、TIS, TIBがあるが、計算方法が少々複雑である為、割愛する。
- ΔT
 ΔT : プロロープの表面温度上昇 [$^{\circ}C$]
 P と同様、送信電圧の2乗と非線形な正の相関がある。 prr に比例する。

【 図 4 】

照射パラメータのビーム制御パラメータへの依存関係					
照射パラメータ	送信電圧 (V_{amp})	その他パラメータ	波形状	フォーカス	走査制御
名称	相関性	線形性	波形状	フォーカス	走査制御
MI	$pr_{\alpha}(z)$	$\propto V_{amp}$	非線形	○	-
$I_{spiaa}(z)$	$I_{pia}(z)$	$\propto V_{amp}^2$	非線形	○	○
TIC	P	$\propto V_{amp}^2$	非線形	○	○
ΔT	ΔT	$\propto V_{amp}^2$	非線形	○	○

【 図 5 】



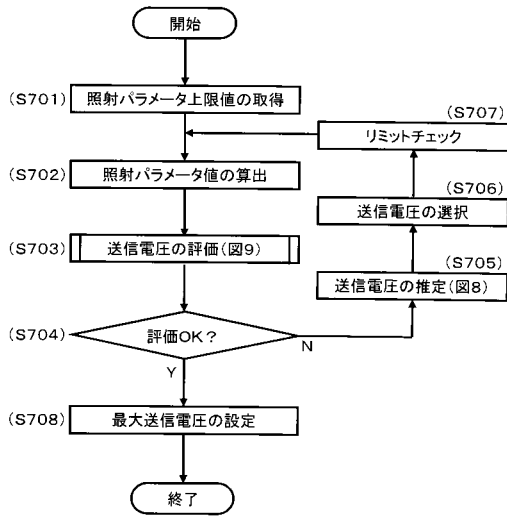
【 図 6 】

< 音響パラメータの制御パラメータごとのデータ構造 >

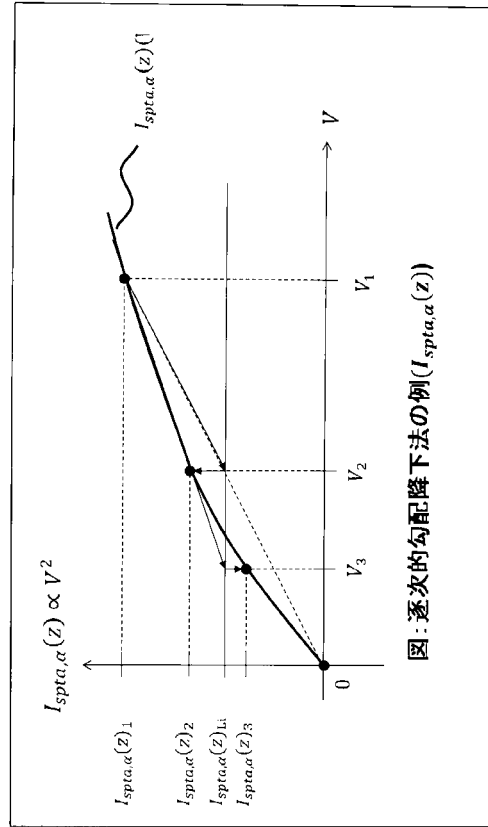
音響パラメータ	データ構造			
	ビーム制御		シーケンス制御	
	波形状	フォーカス	送信電圧	走査幅
$pr_{\alpha}(z)$	○	○	送信電圧 (☆)	prr
$I_{pia}(z)$	○	○	送信電圧 (☆)	-
P	○	△線形	送信電圧 (☆)	-
ΔT (※)	○	△線形	送信電圧 (☆)	△線形

-: 不要, △: 推定計算により省略可能, ☆: 関数近似でデータ補間可能

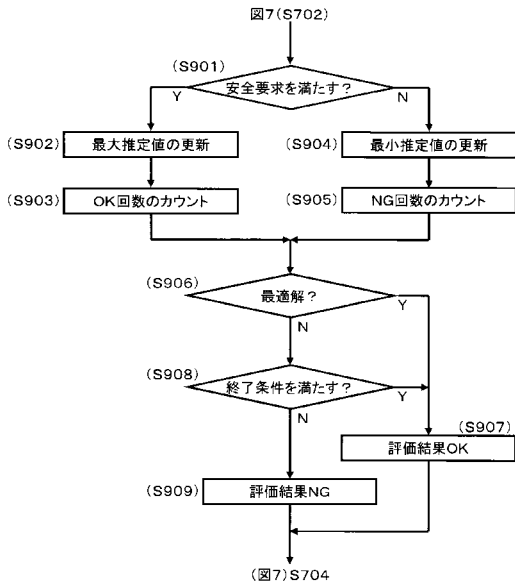
【 図 7 】



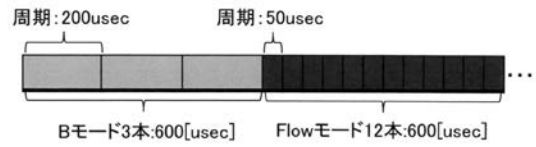
【 図 8 】



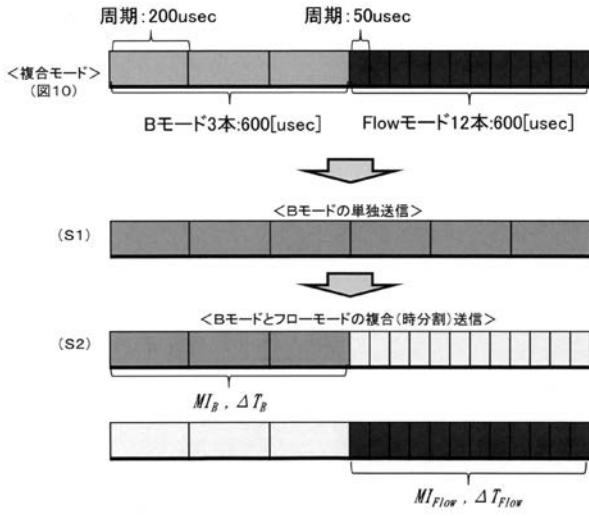
【 図 9 】



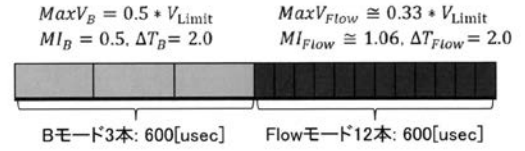
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

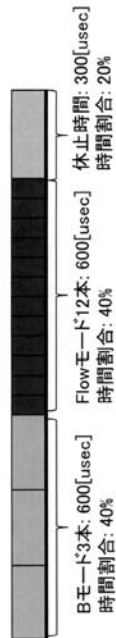
全体の送信時間 $ScanT_{Mix} = ScanT_B + ScanT_F$ とし、まとめると、以下の通りである。

$$Flow\ mode\ の\ \Delta T\ 上\ 限\ 増\ 加\ 割\ 合 = \frac{\Delta T_{Limit} - \Delta T_B}{\Delta T_{Limit} - ScanT_{Mix}} * \frac{ScanT_{Mix}}{ScanT_B} = \frac{4.0 - 1.0}{4.0} * \frac{600 + 600}{600} = 1.5$$

$$送\ 信\ 電\ 圧\ の\ 増\ 加\ 割\ 合 = \frac{MaxV_{Flow, Mode\ Limited}}{MaxV_{Flow, Mode\ Limited}} = \left(\frac{\Delta T_{Limit} - \Delta T_B}{\Delta T_{Limit}} * \frac{ScanT_{Mix}}{ScanT_B} \right)^{0.5} = 1.5^{0.5} \approx 1.22$$

$$\Delta T_{Limit, Flow}\ が高\ くな\ る\ \Delta T_B\ の\ 条\ 件 : \frac{\Delta T_B}{\Delta T_{Limit}} < \frac{ScanT_B}{ScanT_{Mix}}$$

【 図 1 4 】



< 休止時間有無によるFlow上限値の違い >

$$\begin{aligned} \text{休止時間なし: } \Delta T_{Flow, Limit, NoRest} &= \frac{ScanT_{Flow}}{ScanT_B + ScanT_{Flow}} * \Delta T_{Limit} = \frac{600}{600 + 600} * 4.0 = 2.0 \\ \text{休止時間あり: } \Delta T_{Flow, Limit, WithRest} &= \frac{ScanT_{Flow}}{ScanT_{Flow} + ScanT_{Flow} + ScanT_{Rest}} * \Delta T_{Limit} = \frac{600 + 300}{600 + 600 + 300} * 4.0 = 2.4 \end{aligned}$$

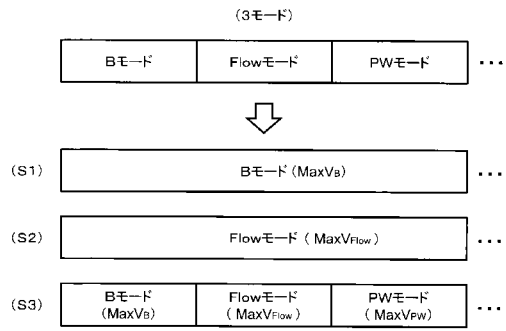
< 休止時間の追加によるフローモードΔTの上昇し易さ >

$$\frac{\Delta T_{Flow, WithRest}}{\Delta T_{Flow, NoRest}} = \frac{ScanT_B + ScanT_{Flow}}{ScanT_B + ScanT_{Flow} + ScanT_{Rest}} = \frac{600 + 600}{600 + 600 + 300} = 0.8$$

< 送信電圧の増加割合 (休止時間の追加による最大比率) >

$$\begin{aligned} \frac{MaxV_{Flow, WithRest}}{MaxV_{Flow, NoRest}} &= \left(\frac{\Delta T_{Flow, Limit, WithRest}}{\Delta T_{Flow, Limit, NoRest}} * \frac{\Delta T_{Flow, NoRest}}{\Delta T_{Flow, WithRest}} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{ScanT_{Flow} + ScanT_{Rest}}{ScanT_{Flow}} * \frac{ScanT_{Flow}}{ScanT_B + ScanT_{Flow}} * \frac{ScanT_{Mix}}{ScanT_{Mix}} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{ScanT_{Flow} + ScanT_{Rest}}{ScanT_{Flow}} \right)^{0.5} \end{aligned}$$

【 図 1 5 】



专利名称(译)	超声诊断设备		
公开(公告)号	JP2017124025A	公开(公告)日	2017-07-20
申请号	JP2016004915	申请日	2016-01-14
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	小宫海志		
发明人	小宫 海志		
IPC分类号	A61B8/13		
CPC分类号	A61B8/13		
FI分类号	A61B8/13		
F-TERM分类号	4C601/EE16 4C601/EE19 4C601/EE22 4C601/EE24 4C601/HH02		
其他公开文献	JP6085377B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

本发明提供了一种用于设定满足超声波安全标准的最大传输电压的改进技术。电压估计单元(52)基于照射参数的上限值和过去计算的发送电压的估计值,计算与超声波相关的多个照射参数的每个照射参数的新估计值。一个接一个地计算。电压评估单元54确定由电压估计单元52顺序计算的传输电压的估计值中,满足多个照射参数等于或小于上限的安全要求的最大估计值是否是最佳解。。电压设置单元55将确定为最佳解的最大估计值设置为最大传输电压。[选择图]图2

