

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003 - 190163

(P2003 - 190163A)

(43)公開日 平成15年7月8日(2003.7.8)

(51) Int.Cl⁷

識別記号

FI

テーマコード* (参考)

A 6 1 B 8/00

A 6 1 B 8/00

4 C 3 0 1

G O I S 7/524

G 0 1 S 15/89

B 4 C 6 0 1

7/526

7/52

R 5 J 0 8 3

15/89

J

審査請求 有 請求項の数 220 L (全 12数)

(21)出願番号 特願2001 - 402092(P2001 - 402092)

(22)出願日 平成13年12月28日(2001.12.28)

特許法第30条第1項適用申請有り 2001年6月28日～30日 社団法人大韓電子工学会開催の「2001年度夏季総合学術大会」において文書をもって発表

(71)出願人 597096909

株式会社 メディソン

株式会社 MEDISON

大韓民国 250 - 870 江原道 洪川郡 南
面陽▲徳▼院里 114

(72)発明者 ソン テ キョン

大韓民国 ソウル トクピョルシソチョク
ザンウォンドン ドンアパート105ドン1
403本

(74)代理人 100082175

弁理士 高田 守 (外2名)

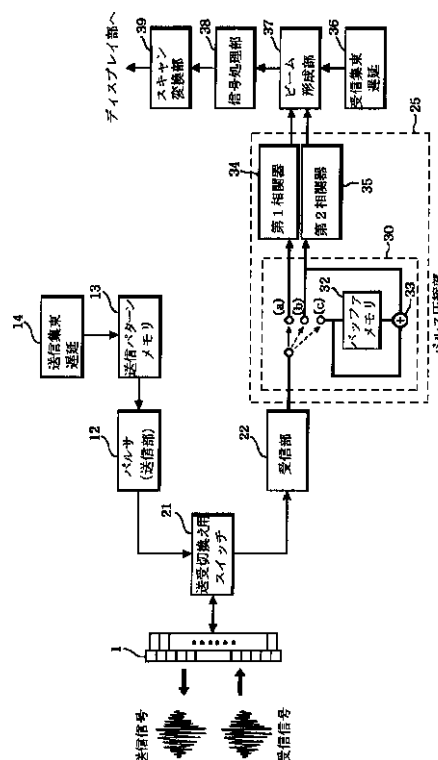
[最終頁に続く](#)

(54)【発明の名称】 超音波撮像装置及びその方法

(57) 【要約】

【課題】 重みチャープ信号を利用したパルス圧縮によって基本周波数成分を効率的に取り除くことによって、優れた信号対雑音比を有した高調波映像が具現できる超音波撮像装置及びその方法を提供する。

【解決手段】 重みチャープ信号を超音波信号に変換してオブジェクトに送信し、オブジェクトから反射された反射信号を受信し、該受信した反射信号から高調波成分に対してパルス圧縮を行い、パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成し、該受信集束した信号を処理してディスプレイする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像装置において、
重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信するトランスデューサと、
前記オブジェクトから反射された反射信号を受信するための受信手段と、
前記受信した反射信号から高調波成分に対してパルス圧縮を行うパルス圧縮手段と、
前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する信号生成手段と、
前記受信集束した信号を処理してディスプレイするためのディスプレイ手段とを含む超音波撮像装置。

【請求項 2】 前記パルス圧縮手段が、
前記受信した反射信号から前記高調波成分を選択する選択部と、
前記選択部により選択された前記高調波成分に対してパルス圧縮を行う相関器とを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 3】 前記相関器が、
高調波 - 相関プロセス及び高調波 - 相関パルス反転プロセスの中のいずれかを選択的に行うことを特徴とする請求項 2 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 4】 前記重みチャープ信号の長さが、所定の音圧で前記高調波成分の大きさに比例して増加することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 5】 前記受信した反射信号から基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う手段を、さらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 6】 前記基本周波数成分に対するパルス圧縮手段が、
前記受信した反射信号から前記基本周波数成分を選択する選択部と、
前記選択部により選択された前記基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う相関器とを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 7】 前記重みチャープ信号に適用されるウィンドウ関数を選択するための手段を、さらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 8】 オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像方法において、
重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信する第 1 段階と、
前記オブジェクトから反射された反射信号を受信する第 2 段階と、
前記受信した反射信号から高調波成分に対してパルス圧縮を行う第 3 段階と、前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する第 4 段階と、
前記受信集束した信号を処理してディスプレイする第 5 段階とを含む超音波撮像方法。

【請求項 9】 前記第 3 段階が、
前記受信した反射信号から前記高調波成分を選択する第 3 a 段階と、
前記第 3 a 段階にて選択された前記高調波成分に対してパルス圧縮を行う第 3 b 段階とを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 10】 前記第 3 b 段階が、
高調波 - 相関プロセス及び高調波 - 相関パルス反転プロセスの中のいずれかを選択的に行うことを特徴とする請求項 9 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 11】 前記重みチャープ信号の長さが、所定の音圧で前記高調波成分の大きさに比例して増加することを特徴とする請求項 8 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 12】 前記受信した反射信号から基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う第 3 c 段階を、さらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 13】 前記第 3 c 段階が、
前記受信した反射信号から前記基本周波数成分を選択する段階と、
前記選択した基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う段階とを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 14】 前記重みチャープ信号に適用されるウィンドウ関数を選択する段階を、さらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 15】 オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像装置において、
重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信するトランスデューサと、
前記オブジェクトから反射された反射信号を受信するための受信手段と、
前記受信した反射信号から基本周波数成分または高調波成分に対して選択的にパルス圧縮を行うパルス圧縮手段と、
前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する信号生成手段と、
前記受信集束した信号を処理してディスプレイするためのディスプレイ手段とを含む超音波撮像装置。

【請求項 16】 前記パルス圧縮手段が、
前記受信した反射信号から前記基本周波数成分または前記高調波成分を選択し、
前記選択した周波数成分を予め決められた複数の経路中のいずれか一つを通じてパルス圧縮するために、モードを切替えるモード選択部と、
前記モード選択部により選択された前記基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う第 1 相関器と、
前記モード選択部により選択された前記高調波成分に対して予め決められた複数の経路の中から選択された経路を通じてパルス圧縮を行う第 2 相関器とを含むことを特徴とする請求項 15 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 17】 前記第 2 相関器が、高調波 - 相関プロセス及び高調波 - 相関パルス反転プロセスの中のいずれかを選択的に行うことを特徴とする請求項 16 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 18】 前記重みチャープ信号の長さが、所定の音圧で前記高調波成分の大きさに比例して増加することを特徴とする請求項 15 に記載の超音波撮像装置。

【請求項 19】 オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像方法において、重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信する第 1 段階と、前記オブジェクトから反射された反射信号を受信する第 2 段階と、前記受信した反射信号から基本周波数成分または高調波成分に対して選択的にパルス圧縮を行う第 3 段階と、前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する第 4 段階と、前記受信集束した信号を処理してディスプレイする第 5 段階とを含む超音波撮像方法。

【請求項 20】 前記第 3 段階が、前記受信した反射信号から前記基本周波数成分または前記高調波成分を選択し、前記選択した周波数成分を予め決められた複数の経路中のいずれか一つを通じてパルス圧縮するために、モードを切替える第 3 a 段階と、前記選択した基本周波数成分に対してパルス圧縮を行う第 3 b 段階と、前記選択した高調波成分に対して予め決められた複数の経路の中から選択した経路を通じてパルス圧縮を行う第 3 c 段階とを含むことを特徴とする請求項 19 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 21】 前記第 3 c 段階が、高調波 - 相関プロセス及び高調波 - 相関パルス反転プロセスの中のいずれかを選択的に行うことを特徴とする請求項 20 に記載の超音波撮像方法。

【請求項 22】 前記重みチャープ信号の長さが、所定の音圧で前記高調波成分の大きさに比例して増加することを特徴とする請求項 19 に記載の超音波撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超音波撮像装置及びその方法に関し、特に重みチャープ信号を用いたパルス圧縮を通じて基本周波数成分を効率的に取り除くことによって、優れた信号対雑音比 (SNR) を有した高調波映像が具現できる超音波撮像装置及びその方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、超音波撮像装置は超音波信号を診断しようとするオブジェクト (対象物)、例えば人体に向かって送信し、それから反射された超音波信号から

オブジェクトの映像を得て、これをディスプレイに表示する装置で、医療分野で広く用いられている。

【0003】超音波撮像装置は、オブジェクトに超音波信号を送信するために複数のトランスデューサを含むトランスデューサ列と、各々のトランスデューサを立ち上げるパルスを供給するパルサーとを含む。各々のトランスデューサはパルサーから印加されるパルスに応じて超音波信号を発生する。超音波信号の送信時には、トランスデューサ列における各トランスデューサから超音波信号を発生するタイミングを調節することによって、診断領域内の任意の個所に超音波が送信集束されるようにする。即ち、診断領域内の任意の個所に超音波信号が同時に到達するように、パルサーにおいて各々のトランスデューサに時間遅延を置いてパルスを印加することによって、望みの位置に超音波信号を送信集束させるものである。

【0004】オブジェクト内から反射された超音波信号は、トランスデューサ列によって受信される。オブジェクトから反射された超音波信号が各トランスデューサに到達する時間が各トランスデューサの位置によって異なるので、このような到達時間の差を補償するべく、ビーム形成器は各トランスデューサによって受信した反射信号に対して時間遅延を印加して加算することによって、受信集束した信号を生成する。

【0005】一方、超音波がゴムまたは身体のような減衰が激しい媒質を通過する場合には、減衰によって受信信号の電力が顕著に減少することになる。従って、前述の超音波撮像装置では、診断深さが深い場合に望みの情報を得るのが困難である。現在、用いられる大部分の超音波撮像装置ではトランスデューサに短い持続時間のパルスを印加して超音波信号を発生させるが、パルスの尖頭電圧を増加させることによって、超音波信号の減衰問題を解決することが可能である。しかし、医療用の超音波撮像装置において受信信号の電力を増加させるために放出する短いパルスの尖頭電圧を増加させるようになれば、身体内部の組織とトランスデューサ自体に影響を与えるので、パルスの尖頭電圧を増加させることには制限がある。

【0006】媒質内で伝播される超音波は、実際に回折、減衰などのいろいろな非線形的な特性によって歪曲される。このような媒質の非線形特性は送信された超音波の基本周波数成分の他に高調波の生成をもたらすが、該高調波を利用して映像を構成する技術が超音波高調波映像技法である。一般に、高調波成分は基本周波数成分の整数倍となる周波数で生成され、このような超音波の非線形的な伝播は有限差分法による KZK (Khokhlov - Zabolotskaya - Kuznetsov) 方程式の近似解を利用して解釈が可能である。

【0007】超音波高調波映像技法は、短いパルスを送信した後に媒質の非線形特性のために発生する第 2 高調

波成分を用いて映像を構成する技術である。一般に、媒質から発生した高調波成分で映像を具現すれば、基本周波数成分で映像を具現することに比べて映像の解像度、信号対雑音比及び対照度などが改善され、画質が高まると知られている。ところで、媒質内で発生する高調波成分は音圧の強さに比例して発生し、基本周波数成分より非常に小さいので、充分の音圧の送信信号を用いなければならない。しかし、一般的な高調波映像技法では、短いパルス信号を用いるので、利用可能な送信音圧の限界があり、これによって信号対雑音比が制限される。換言すれば、水や人体組織のような媒質内で伝播される超音波信号はその音圧が所定のしきい値より大きくなれば、第 2 高調波成分のエネルギーがこれ以上増加しない飽和現象が発生するので、既存の短いパルスを利用する方法では、送信音圧を増加して第 2 高調波映像の信号対雑音比を一定水準以上に改善することができない。

【0008】また、超音波高調波映像技法において高画質の映像を具現するためには、受信信号から効果的に基本周波数成分を取り除き、高調波成分を取出す技術が非常に肝要である。基本周波数成分を取り除くために、通常のフィルタ（即ち、帯域フィルタや高域フィルタ）を用いたりパルス反転方法を用いている。

【0009】しかし、フィルタを用いる方式では、基本周波数成分と高調波成分とが周波数領域において重なって現れる場合には、その重畳度に比例して高調波成分が共に取り除かれたり基本周波数成分を完全に除去できなくなって、信号対雑音比と解像度とが低下する恐れがある。また、パルス反転方式では全ての走査線毎に 180° の位相が反転された二つの信号を各々送信した後、受信して両信号を加えて基本周波数が効果的に除去できるが、2 回の送受信プロセスを経て一つの走査線を構成するので、これをすべての走査線毎に適用すればフレームレートが半分に顕著に落ちるといった短所がある。

【0010】最近、既存の短いパルスを利用する基本周波数撮像方法における送信音圧の限界問題を克服し、超音波の浸透距離を増加させるために、パルス圧縮技法が導入されていた。このパルス圧縮技法に基づいた撮像システムでは、既存の短いパルスの代わりに、持続時間の長い波形の信号を送信するもので、使用信号の特性によってシステムの性能が大きく左右される。即ち、信号の周波数帯域が医療用のトランスデューサの制限された帯域特性に整合するか否かによって画質が大きく左右される。また、長い信号を伝送しながらも短いパルスを伝送したような結果を得るための相関器やパルス圧縮器を受信端でどのように具現するかによってシステムの性能が左右される。ところが、従来のパルス圧縮技法に基づいた撮像システムでは、基本周波数成分に整合された相関器だけを受信端で備え、基本周波数成分だけで超音波映像を形成したので、高調波映像が具現できず、表示映像の品位が相対的に落ちる。基本周波数成分に整合された

相関器だけを用いた理由は、受信信号において基本周波数成分より高調波成分が非常に小さいので、これを取り出して高調波映像を具現し難いだけでなく、トランスデューサの制限された帯域特性によく整合される信号を適切に用いることができなかったからである。

【0011】このようなトランスデューサの制限された帯域特性によく整合され、一連の信号処理プロセスを通じて短いパルスのように圧縮される特性を有する信号として、チャープ（線形 FM）信号のような拡散帯域信号があるが、一般的なチャープ信号を相関器に通過させればメインローブより略 - 13 dB 程度の低い尖頭サイドローブを生成する。しかし、医療用の超音波映像を形成するためには、パルス圧縮器による信号の出力においてサイドローブが - 50 dB 以下でなければならないので、一般的な拡散帯域信号を医療用の超音波撮像システムに用いるのに適切でない。

【0012】結論的に、前述の短いパルスを用いる超音波撮像システムは高調波映像を具現するが、送信音圧の限界問題があり、パルス圧縮技法に基づいた超音波撮像システムは基本周波数だけで映像を具現して高調波映像が具現できなかった。また、トランスデューサの制限された帯域特性によく整合される信号を用いることができず、基本周波数成分と高調波成分とを正確に分離することができなかった。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、重みチャープ信号を利用したパルス圧縮によって基本周波数成分を効率的に取り除くことによって、優れた信号対雑音比を有した高調波映像が具現できる超音波撮像装置及びその方法を提供することにある。

【0014】本発明の他の目的は、重みチャープ信号を利用して送信重みチャープ信号の長さを増やすことによって、高調波映像の信号対雑音比を任意に増加させることができる超音波撮像装置及びその方法を提供することにある。

【0015】本発明のさらに他の目的は、重みチャープ信号を送信して各トランスデューサに受信された RF サンプルは送信信号の高調波成分に整合された相関器を通過することによって、高調波成分だけを選択的にパルス圧縮することができる超音波撮像装置及びその方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の一好適実施例は、オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像装置であって、重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信するトランスデューサと、前記オブジェクトから反射された反射信号を受信するための受信手段と、前記受信した反射信号から高調波成分に対してパルス圧縮を行うパルス圧縮手段と、前記パルス圧縮済み信号から受信

集束した信号を生成する信号生成手段と、前記受信集束した信号を処理してディスプレイするためのディスプレイ手段とを含む。

【0017】また、本発明の他の好適実施例は、オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像方法であって、重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信する第1段階と、前記オブジェクトから反射された反射信号を受信する第2段階と、前記受信した反射信号から高調波成分に対してパルス圧縮を行う第3段階と、前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する第4段階と、前記受信集束した信号を処理してディスプレイする第5段階とを含む。

【0018】また、本発明のさらに他の好適実施例は、オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像装置であって、重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信するトランスデューサと、前記オブジェクトから反射された反射信号を受信するための受信手段と、前記受信した反射信号から基本周波数成分または高調波成分に対して選択的にパルス圧縮を行うパルス圧縮手段と、前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する信号生成手段と、前記受信集束した信号を処理してディスプレイするためのディスプレイ手段とを含む。

【0019】また、本発明のさらに他の好適実施例は、オブジェクトに対する超音波映像を形成する超音波撮像方法であって、重みチャープ信号を超音波信号に変換して前記オブジェクトに送信する第1段階と、前記オブジェクトから反射された反射信号を受信する第2段階と、*

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial z^2 \partial t^2} - \frac{c_0}{2} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{\beta}{2c_0^3} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t^2}$$

式(1)

【0024】ここで、 p は音圧、 z は超音波進行方向、 r は z 軸と直交する半径軸（即ち、超音波進行軸からの距離）であり、 t' は遅延時間であり $t - z/c_0$ に該当し、 c_0 は媒質における超音波速度、 δ は拡散度、 β は非線形定数、そして ρ_0 は媒質の密度を示す。

【0025】上記式(1)において、第1項は音波の回

$$r(t) \approx a_1 s(t) + a_2 s(t)^2 \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $r(t)$ は受信した超音波信号を、 $s(t)$ は送信超音波信号を示し、 a_1 と a_2 は任意の定数である。

【0026】図1は、KZK方程式を利用して計算した軸方向の波形を例示したものであって、(a)、(c)及び(e)は多様な深さから測定した信号の軸方向の波形であり、(b)、(d)及び(f)は各々(a)、(c)及び(e)の周波数スペクトラムを示し、横軸は周波数、縦軸は音圧を示す。

【0027】図1の軸方向の波形(a、c、e)及び周波数スペクトラム(b、d、f)は中心周波数3.5 M

*前記受信した反射信号から基本周波数成分または高調波成分に対して選択的にパルス圧縮を行う第3段階と、前記パルス圧縮済み信号から受信集束した信号を生成する第4段階と、前記受信集束した信号を処理してディスプレイする第5段階とを含む。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適実施例について、添付図面を参照しながらより詳しく説明する。

【0021】先ず、媒質内の超音波の非線形伝播特性と超音波高調波映像技法を詳察する。

【0022】超音波は媒質内を進行しながら媒質の非線形的な特性のため歪曲される。このような超音波の非線形特性はKZK方程式の近似解を利用して解釈することができる。KZK方程式は媒質内における音波の回折、減衰、高調波発生、弛緩などの非線形特性をよく説明して初期送信音圧、伝播距離、媒質の特性（例、水、空気、人体等）のパラメータを受けて音波の状態を音圧で表示するものであって、実際媒質内における超音波伝播を予測して説明するための数学的モデリングツールとして用いられる。

【0023】本発明においては、媒質内における超音波の非線形的な伝播を解釈するためにKZK方程式を用い、円形ディスクのトランスデューサを用いて超音波がトランスデューサ中心にて対称に送信されるという仮定の下で、媒質内で伝えられる超音波音圧($\partial^2 p / \partial z \partial t^2$)は次の式(1)のKZK方程式によって表現される。

【数1】

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial z^2 \partial t^2} - \frac{c_0}{2} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{\beta}{2c_0^3} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t^2}$$

式(1)

折を示し、第2項は減衰を示し、第3項は高調波成分を発生させる非線形特性を示す。ここで、第2高調波成分の発生だけを考慮する時、第3項は下記式(2)のような2次多項式で近似化できる。

【数2】

$$r(t) \approx a_1 s(t) + a_2 s(t)^2 \quad \text{式(2)}$$

H_z、直径25.4 mm、63.5 mmの固定された焦点距離を有する円形ディスクのトランスデューサを用いて中心周波数が3.5 MHzであるバストサイン関数を5/f₀の時間の間に175 kPaの初期送信音圧(p_0)で送信して得るものである。図1において、 σ は焦点距離 d に対する進行距離 z の比として、数式では $\sigma = z/d$ として表現される。従って、 $\sigma = 0$ であれば音源を、 $\sigma = 1$ であれば焦点距離を示す。

【0028】図1(a)は音源($\sigma = 0$)における送信信号の波形であり、図1(b)は送信信号のスペクトラムである。図1(c)は焦点距離($\sigma = 1$)にて測定さ

れた信号の軸方向の波形であり、図 1 (d) は図 1 (c) の波形のスペクトラムである。図 1 (d) のスペクトラムを詳察すれば、焦点距離に到達した信号は媒質の非線形特性によって約 7 MHz、10.5 MHz などの周波数で複数の高調波成分が発生し、その結果、波形が図 1 (c) のように歪曲された。図 1 (e) は $\sigma = 10$ の位置にて測定した信号の軸方向の波形で、測定位置の深さによる減衰現象により音圧がたくさん減少した。このような減衰現象は高周波成分であるほど大きく、高調波成分は音圧が低いほど少なく発生するため、図 1 (f) では高調波成分がほとんど観察されないことが見える。

【0029】従って、高画質の超音波高調波映像を具現するためには、高調波成分が増幅されるように音圧を高*

$$s(t) = w_1(t) e^{j(\omega_0 t + \frac{\mu}{2} t^2)} \quad \text{式 (3)}$$

ここで、 $\omega_1(t)$ はウィンドウ関数を、 ω_0 はチャープ信号の中心周波数を、 $\mu (= \Delta \omega / \Delta T)$ は時間による周波数の変化率を示す。

【0031】図 2 は、本発明による超音波撮像装置を概略的に示したブロック図であって、各々の構成要素を詳記すると次の通りである。

【0032】超音波送信部としてのパルサー 12 は、送信パターンメモリ 13 に格納された送信信号のパターンを入力として、これを増幅してトランスデューサ列 1 に伝達する働きを果たす。このパルサー 12 は任意の信号を線形的に増幅させる働きを果たすように具現され得る。送信遅延パターンは送信集束遅延メモリ 14 に格納されている。送信パターンメモリ 13 には送信信号パターンとして上記式 (3) の重みチャープ信号が格納され

$$r(t) = a_1 w_1(t) e^{j(\omega_0 t + \frac{\mu}{2} t^2)} + a_2 w_1^2(t) e^{j(2\omega_0 t + \mu t^2)}$$

式 (4)

ここで、 $\omega_1(t)$ はウィンドウ関数を、 ω_0 はチャープ信号の中心周波数を、 $\mu (= \Delta \omega / \Delta T)$ は時間による周波数の変化率を示し、 a_1 と a_2 は任意の定数である。

【0035】受信信号 $r(t)$ は基本周波数成分 f_0 だけでなく、第 2 高調波成分 $2f_0$ を含んでいる。トランスデューサ列 1 の各素子により受信された重みチャープ信号は、受信部 22 を通じてパルス圧縮部 25 に入力され、基本周波数成分 f_0 または第 2 高調波成分 $2f_0$ に整合された相関器により各成分に対するパルス圧縮が個別に行われる。

【0036】ビーム形成部 37 はパルス圧縮済み信号の入力を受け、受信集束遅延部 36 からの遅延値を参照し

*めることが理想的であるが、音圧の飽和問題のため音圧を一定水準以上に高めることができないので、音圧を高めながらも高調波映像の SNR を改善することができる必要があることが分かる。

【0030】次に、本発明で具現しようとする重みチャープ信号を用いた超音波撮像システムを図 2 を参照して詳察することにする。本発明では超音波送受信時に従来に用いられた一般的な線形チャープ信号の代りにヘニング・ウィンドウ関数によって重み付けられた重みチャープ信号をパルス圧縮信号として用いる。このような重みチャープ信号 $s(t)$ は下記式のようにウィンドウ関数と線形チャープ信号との積として表現される。

【数 3】

*関数を選択する手段が接続され、本発明で用いられたヘニング・ウィンドウ関数の他にもハミング・ウィンドウ関数及びブラックマン・ウィンドウ関数等、多様なウィンドウ関数を任意に選択可能である。

【0033】トランスデューサ列 1 によって送信された重みチャープ信号は媒質内を通過しながら歪曲され、これはさらにトランスデューサ列 1 を通じて受信されて受信部 22 に伝達され、送受切換え用スイッチ 21 はパルサー 12 から放出される高圧の電力が受信部に影響を与えないようにするディフレクサの働きを果たす。即ち、トランスデューサ列 1 が送信及び受信を交互に行う時、送信部のパルサー 12 と受信部 22 をトランスデューサ列 1 に対して適切にスイッチングする働きを果たす。

【0034】上記式 (3) の送信重みチャープ信号を式 (2) の非線形特性を有するシステムに通過させて得た受信信号 $r(t)$ は次の式 (4) のようである。

【数 4】

て受信集束を行う。信号処理部 38 は包絡線検波、ログ圧縮などを行って B モード映像が構成できる信号を生成する働きを果たす。スキャン変換部 39 は B モード映像信号を実際モニターに表示され得る形態に変換する働きを果たす。

【0037】前述の構成要素中、本発明の特徴はパルス圧縮部 25 の内部構造と動作にあるので、以下パルス圧縮部 25 を詳記する。

【0038】パルス圧縮部 25 は、受信された重みチャープ信号の周波数成分を 3 つの経路に選択的にパルス圧縮するためにモードを切替えるモード選択部 30 と、このモード選択部 30 により選択された周波数成分に対してパルス圧縮を行う第 1 相関器 34 と、第 2 相関器 35

とで構成される。

【0039】モード選択部30により行われる3つのモードは、受信した信号が各々第1入力端子a、第2入力端子b、または第3入力端子cに選択的に入力されることによってなされる。第1入力端子aは基本周波数 - 相関 (f_0 - correlation) モードのためのもので、基本周波数成分をパルス圧縮して超音波映像を具現しようとする場合に用いられる。第2入力端子bは高調波 - 相関 ($2f_0$ - correlation) モードのためのもので、高調波成分をパルス圧縮し、フレーム 10 レートの低下を防止するとともに超音波高調波映像を得ようとする場合に用いられるが、送信重みチャープ信号の帯域幅が大きくない場合に有用である。第3入力端子cは高調波 - 相関パルス反転 ($2f_0$ - correlation PI) モードのためのもので、パルス反転方式を適用して得られた高調波成分をパルス圧縮し、フレームレートよりは解像度の向上に重点をおきながら超音波高調波映像を得ようとする場合に用いられるが、広域の送信重みチャープ信号を用いる場合に有用である。

【0040】第1相関器34は受信された重みチャープ 20 信号の基本周波数成分 f_0 に整合された相関器として、第1入力端子aに連結して基本周波数 - 相関モードを行うために用いられる。

【0041】第2相関器35は、受信した重みチャープ信号の高調波成分 $2f_0$ に整合された相関器として、第2入力端子bまたは第3入力端子cに連結して高調波 - 相関モード、或いは高調波 - 相関パルス反転モードを選択的に行うために用いられる。

【0042】高調波映像具現のための第2相関器35のインパルス応答関数 $h(t)$ は次の式 (5) のようであ 30 る。

【数5】
$$h(t) = \omega_1^2(t) e^{j(2\omega_0 t + \mu t^2)}$$
 式 (5) *

$$y(t) = a_2 e^{j(2\omega_0 t + \mu t^2)} \int_{-\infty}^{\infty} w_1^2(t+\tau) w_1^{*2}(\tau) e^{-j2\mu\tau} d\tau + c_{02}(t)$$

式 (6)

ここで、予め述べたパラメーターに対する説明は省略

し、 $c_{02}(t)$ は次の式 (7) のように表現できる。

$$c_{02}(t) = a_1 e^{j(\omega_0 t + \frac{\mu}{2} t^2)} \int_{-\infty}^{\infty} w_1(t+\tau) w_1^{*2}(\tau) e^{-j(\omega_0 - \mu\tau + \frac{\mu}{2} \tau^2)} d\tau$$

式 (7)

【0049】上記式 (7) において、 $c_{02}(t)$ は、受信信号の基本周波数成分 f_0 と第2相関器35のインパルス応答関数 $h(t)$ との相互相関関数であって、送信信号の基本周波数成分 f_0 と第2高調波成分 $2f_0$ の周波数帯域が重ならない時は無視する程小さい値を有する。しかし、基本周波数成分 f_0 と第2高調波成分 $2f_0$ の周波数帯域が重なる場合には、重なる周波数帯域幅に比例して相互相関値が増加するようになって、画質の 50

*ここで、 $\omega_1(t)$ はウィンドウ関数を、 ω_0 はチャープ信号の中心周波数を、 $\mu (= \Delta\omega / \Delta T)$ は時間による周波数の変化率を示す。

【0043】インパルス応答関数 $h(t)$ は、式 (3) の送信重みチャープ信号 $s(t)$ を自乗した形態として受信した信号を第2高調波成分 $2f_0$ に整合してパルス圧縮を行う時、基準信号として用いられる。

【0044】以下、モード選択部30により行われる3つのモードに対して詳記する。

【0045】第1入力端子aを通じた基本周波数 - 相関モードでは、受信した信号を送信重みチャープ信号の基本周波数成分 f_0 に整合された第1相関器34に伝達し、高調波成分 $2f_0$ を取り除くとともに基本周波数成分 f_0 に対してパルス圧縮を行う。

【0046】第2入力端子bを通じた高調波 - 相関モードでは、受信した信号を送信重みチャープ信号の高調波成分 $2f_0$ に整合された第2相関器35に伝達してパルス圧縮を行うことによって、基本周波数成分 f_0 を取り除いて高調波映像を具現する。

【0047】第3入力端子cを通じた高調波 - 相関パルス反転モードでは、式 (3) の送信重みチャープ信号 $s(t)$ を送信した後、受信した信号をバッファメモリ32に格納する。次に送信重みチャープ信号 $s(t)$ と位相の 180° 反転した信号 $-s(t)$ を送信するが、この時、加算器33は受信した信号と以前の送受信プロセスにおいてバッファメモリ32に格納されている信号とを加えて基本周波数成分 f_0 を取り除く。このようにパルス反転方式を適用して得た信号を第2相関器35に伝達してパルス圧縮を行うことによって、高調波映像を具現する。

【0048】前述の構成の超音波撮像装置において、第2相関器35を通過して圧縮されたパルスは、次の式 (6) のように表現できる。

【数6】

【数7】

低下をもたらす原因となる。

【0050】これをより詳記すると、重みチャープ信号を圧縮した信号のメインローブの幅は重みチャープ信号の帯域幅に反比例するので、高い解像度を得るためには重みチャープ信号の帯域幅を最大限に増加させなければならない。

【0051】しかし、送信信号の帯域幅が用いるトランスデューサ列1の帯域幅の半分より大きくなれば、基本

周波数の帯域と第 2 高調波の帯域とが重なるようになる。この時、高調波 - 相関モードを通じて第 2 相関器 35 によって圧縮されたパルスは基本周波数成分と第 2 相関器 35 のインパルス応答関数 $h(t)$ との相互相関値によってサイドローブ値が増加するようになって、画質の低下を齎す。

【0052】従って、このような場合には第 3 入力端子 c を通じた高調波 - 相関パルス反転方式を利用して基本周波数成分 f_0 を効果的に取り除くとともに、第 2 高調波成分 $2f_0$ を圧縮することによって、最大の信号対雑音比と解像度を有する高調波映像が構成できる。

【0053】しかし、第 3 入力端子 c を通じた高調波 - 相関パルス反転方式は映像の品質は高まるが、相対的に高調波 - 相関方式よりはフレームレートが低下されるので、解像度よりフレームレートがさらに重要な場合には、医療用の超音波映像を形成するために必要な一定水準の要件、即ち、 $C_{02}(t)$ の大きさを -50 dB 以下に維持できる限度内で送信信号の帯域幅を適当に調節して第 2 相関器 35 による高調波 - 相関を行うことによって、フィルタやパルス反転を用いながらフレームレートの低下を齎すことなく基本周波数成分 f_0 を取り除くことができる。

【0054】換言すれば、本発明による超音波撮像システムでは、第 2 相関器 35 による高調波映像の形成においても、フレームレートに中心をおくか、あるいは解像度に中心をおくかによって高調波 - 相関プロセスと高調波 - 相関パルス反転プロセスが選択的に用いられることができる。

【0055】図 3 (a) は、本発明で適用された送信重みチャープ信号を示したものであって、音源で測定したもので、図 3 (b) はその送信重みチャープ信号のスペクトラムを示したものである。

【0056】図 4 (a) は焦点距離における受信信号を示したもので、図 4 (b) は前記受信信号のスペクトラムを示したものである。

【0057】本発明の実施例で用いられた送信重みチャープ信号は 63% の 30 dB 相対帯域幅を有する重みチャープ信号 ($\Delta\omega/\omega_0 = 0.63, 2.39\text{ MHz} \leq \omega \leq 4.61\text{ MHz}$) であり、その長さは図 3 (a) で示したように $10\text{ }\mu\text{s}$ である。

【0058】図 3 (b) と図 4 (b) を見れば、基本周波数成分 f_0 は中心周波数 3.5 MHz で現れ、第 2 高調波成分は 7 MHz で現れることが分かる。

【0059】図 3 と図 4 を比較すれば、媒質の非線形特性によって発生した高調波成分によって、焦点距離において重みチャープ信号が歪曲されたことが分かる。

【0060】図 5 (a) は、図 4 (a) に示した信号を基本周波数成分 f_0 に整合された第 1 相関器 34 を通じてパルス圧縮した結果を示し、図 5 (b) はそのスペクトラムを示したものである。

【0061】図 6 (a) は図 4 (a) に表示した信号を高調波成分 $2f_0$ に整合された第 2 相関器 35 を通じてパルス圧縮した結果を示し、図 6 (b) はそのスペクトラムを示したものである。

【0062】図 5 と図 6 を参照すれば、基本周波数 - 相関と高調波 - 相関とによって基本周波数成分 f_0 と第 2 高調波成分 $2f_0$ とを分離して独立して圧縮できることが分かる。図 5 (a) は図 3 (a) の送信重みチャープ信号の長さより約 $1/5$ に圧縮されたことを示し、図 6 (a) は図 3 (a) の送信重みチャープ信号の長さより約 $1/8$ に圧縮されたことを示す。また、図 5 (b) はパルス圧縮済み信号の周波数帯域幅が送信信号の帯域と同一であることを示し、図 6 (b) はパルス圧縮済み信号の周波数帯域幅が送信信号の高調波帯域と同一であることを示す。

【0063】図 7 は、基本周波数 - 相関、高調波 - 相関、及び高調波 - 相関パルス反転プロセスに対して、KZK 方程式による理論的な解釈を適用したパルス圧縮結果 (図 7 (a) 及び 7 (c)) と実際媒質を通過したパルス圧縮結果 (図 7 (b) 及び 7 (d)) とを比較したものである。

【0064】図 7 において、両者間の比較のための基準として、基本周波数成分 f_0 が含まれていない高調波成分 (式 (5)) の自己相関結果を共に示した。図 7 (a) は送信重みチャープ信号の 30 dB 帯域幅が中心周波数の 63% ($\Delta\omega/\omega_0 = 0.63; 2.39\text{ MHz} \leq \omega \leq 4.61\text{ MHz}$) の場合に、KZK 方程式を利用したシミュレーションによるパルス圧縮結果であり、図 7 (b) は同じ条件で実際焦点距離から受信された超音波信号に対するパルス圧縮結果を示す。図 7 (c) は送信重みチャープ信号の 30 dB 帯域幅が中心周波数の 89% ($\Delta\omega/\omega_0 = 0.89; 1.94\text{ MHz} \leq \omega \leq 5.01\text{ MHz}$) の時、KZK 方程式を利用したシミュレーションによるパルス圧縮結果であり、図 7 (d) は同じ条件における実際焦点距離から受信された超音波信号に対するパルス圧縮結果を示す。

【0065】図 7 (a) と 7 (b) では、基本周波数成分の帯域 ($2.39\text{ MHz} \leq \omega \leq 4.61\text{ MHz}$) と 2 次高調波成分の帯域 ($4.78\text{ MHz} \leq \omega \leq 9.22\text{ MHz}$) とがほとんど重ならない。従って、 $c_{02}(t)$ による影響が少ないので、図 7 (a) のパルス圧縮結果で示すように、基本周波数 - 相関信号のサイドローブが継続して減少する。同様に、高調波 - 相関信号のサイドローブもメインローブ付近で -60 dB 以下に継続して減少している。しかし、高調波成分は基本周波数成分に比べてエネルギーが小さいので、相対的に $c_{02}(t)$ の影響が大きくて、メインローブの中心から $5\text{ }\mu\text{s}$ 程度離れた所でサイドローブ値が -57 dB に上昇した。これに反して、高調波 - 相関パルス反転の場合には、基本周波数成分が予め除去されて $c_{02}(t)$ によるサイドロ

ープの上昇が示されていない。高調波 - 相関プロセスを通じた第 2 相関器 35 の出力信号と高調波 - 相関パルス反転を通じた第 2 相関器 35 の出力信号との 20 dB メインローブの幅は全部 1.28 μ s として、第 1 相関器 34 の出力信号の 20 dB メインローブの幅が 1.99 μ s より少ないが、これは高調波成分 $2f_0$ の帯域幅が基本周波数成分 f_0 の帯域幅より広く、パルス圧縮済み信号のメインローブの幅は重みチャープ信号の帯域幅に反比例するからである。

【0066】一方、図 7 (a)、(b) において基本周波数成分が除去されたにもかかわらず、高調波 - 相関パルス反転信号のメインローブは高調波 - 自己相関 (2F₀-autocorrelation) 信号のメインローブに比べて -40 dB 以下で差がある。これは基本周波数成分とは異なり、入力信号に含まれた 3 次以上の高調波成分がパルス反転によって除去されなかったからである。しかし、3 次以上の高調波成分は基本周波数成分に比べて小さな値であるので、高調波 - 相関パルス反転信号は高調波 - 相関信号より高調波 - 自己相関信号と類似している。

【0067】図 7 (c) は、全体として図 7 (a) の場合と類似する結果を示すが、基本周波数帯域と 2 次高調波帯域が各々 1.94 MHz - 5.01 MHz、3.88 MHz - 10.02 MHz として図 7 (a) の場合と比較して各成分の帯域幅が増加された。その結果、基本周波数 - 相関、高調波 - 相関、高調波 - 相関パルス反転の信号等の 20 dB メインローブの幅は図 7 (a) より減少した。しかし、基本周波数成分 f_0 と高調波成分 $2f_0$ とが重なる帯域幅が増加して高調波 - 相関信号のサイドローブ値が -30 dB まで上昇した。しかし、高調波 - 相関パルス反転方式の場合にはパルス反転によって基本周波数成分 f_0 が除去されたので、図 7 (a) の場合のように圧縮されたパルス波形のサイドローブが早く減少して非常に小さい値を有する。

【0068】図 7 (b) と図 7 (d) は、図 7 (a) ($\Delta\omega/\omega_0 = 0.63$) と図 7 (c) ($\Delta\omega/\omega_0 = 0.89$) に対する実際オブジェクトから反射された信号のパルス圧縮結果であって、基本周波数相関の場合には、KZK 方程式を利用した解釈を示した図 7 (a) 及び図 7 (c) とほとんど同一の結果を示している。即ち、高調波 - 相関の場合において 20 dB メインローブの幅が図 7 (b) では 1.285 μ s であり、図 7 (d) では 0.89 μ s で、図 7 (a) 及び図 7 (c) の場合とほとんど一致しており、最大サイドローブ値も各々 -57 dB と -30 dB であって、図 7 (a) 及び図 7 (c) の場合のような結果を示している。

【0069】しかし、KZK 方程式を利用したシミュレーションと実際実験結果において、メインローブ付近のサイドローブ値は互いに差がある。その理由は第一、KZK 方程式を利用した解釈は実際媒質における超音波伝*50

*播現象を近似的に示すものであるため、第二は実際媒質に対する本発明の適用プロセスから発生する一抹の誤差からである。即ち、パルス反転のためには完全に同一の信号が位相が反転された形態で送信されるべきであるが、実際装置において、この条件を完全に満たすことが難しく、二つの受信信号の間にサンプリングプロセスやその他回路の非完全性に起因して若干の位相差があることができるからである。その結果、図 7 (b) と 7 (d) の場合、高調波 - 相関パルス反転信号のサイドローブが図 7 (a) と 7 (c) の場合より増加した。しかし、図 7 (b) と図 7 (d) の場合と図 7 (a) と図 7 (c) の場合の両方において、サイドローブの最大値が -60 dB 以下に制限されたので、医療用の超音波撮像システムに適したことが分かる。

【0070】前述の結果において、高調波 - 相関方式は送信重みチャープ信号の帯域幅が大きくない場合に有用であり、一回の送受信プロセスで圧縮済みの高調波パルスを生成することができるので、フレームレートにおいて既存のパルス反転方式より優れたことが分かる。そして、高調波 - 相関パルス反転方式はパルス圧縮された第 2 高調波信号のメインローブの幅を小さくして解像度を向上するために、広域の送信重みチャープ信号を用いる時に適したものであることが分かる。

【0071】図 8 は、送信重みチャープ信号の音圧を所定の音圧 (例えば、210 kPa) に固定した場合に重みチャープ信号の長さに対する第 2 高調波成分の大きさの変化を示したものである。図 8 に示された通り、重みチャープ信号を用いる場合には信号の長さに比例して高調波成分 $2f_0$ の大きさが飽和現象なしに継続して増加することが分かる。このように、重みチャープ信号の長さに比例して高調波成分の大きさが増加するので、重みチャープ信号の長さを増やせば高調波映像の信号対雑音比も増加させることができる。これを更に詳記すると次の通りである。

【0072】重みチャープ信号はその長さに比例して高調波成分の大きさを増加させることができる反面、トランスデューサの電気的な特性と人体に対する悪影響等の要素によって重みチャープ信号のピーク電圧を低くすることが要求される。しかし、本発明による実施例では重みチャープ信号の尖頭電圧を低くしても、これを補償するように重みチャープ信号の長さを一定部分増やすことによって、低い音圧で少なく発生した高調波成分を増加させることができる。このように重みチャープ信号の長さを補償する関係は次の式 (8) により示すことができる。

$$\left[\frac{TV_1}{TV_2} \right]^2 \times \frac{L_1}{L_2} = 1 \quad \text{式 (8)}$$

【0073】上記式 (8) は同一の高調波 - 相関パルス圧縮結果を有する二つの重みチャープ信号の関係を示し

たものであって、 TV は送信電圧、 L は重みチャープ信号の長さで、 TV_1 は第1重みチャープ信号の送信電圧、 TV_2 は第2重みチャープ信号の送信電圧、 L_1 は第1重みチャープ信号の長さ、そして L_2 は第2重みチャープ信号の長さを示す。

【0074】即ち、上記式(8)によれば、例えば、送信電圧を半分に低くした場合には重みチャープ信号の長さを4倍に増加させて送信すれば、送信電圧を低くする以前に獲得した高調波映像の信号対雑音比を維持できる。

【0075】上記の結果から重みチャープ信号を用いて高調波映像を具現する場合、その長さを増やして効率的に高調波映像のSNRを向上させることができることが分かる。

【0076】上記において、本発明の好適な実施の形態について説明したが、本発明の請求範囲を逸脱することなく、当業者は種々の改変をなし得るであろう。

【0077】

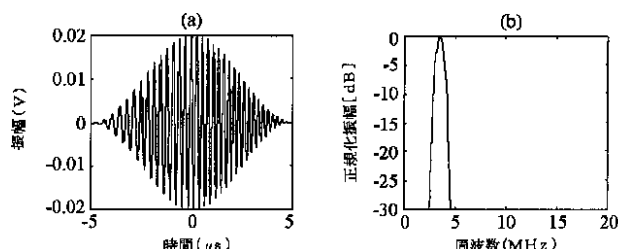
【発明の効果】従って、本発明によれば、重みチャープ信号を利用したパルス圧縮を通じて基本周波数成分を効率的に取り除くことによって、優れた信号対雑音比を有した高調波映像を具現することができ、送信音圧限界問題を克服して送信重みチャープ信号の長さを増やすことによって、高調波映像の信号対雑音比を任意に増加させることができる。

【0078】また、基本周波数を利用した超音波撮像はもちろん、高調波映像の具現においても、フレームレートに中心をおくか、或いは解像度に中心をおくかによって高調波-相関方式と高調波-相関パルス反転方式とを選択的に用いることができるので、非常に効率的であり、また汎用性が高い。

【図面の簡単な説明】

【図1】KZK方程式を利用して計算した軸方向の波形を例示した模式図である。

【図3】



【図2】本発明による超音波撮像装置を概略的に示したブロック図である。

【図3】(a)及び(b)よりなり、(a)は本発明で適用された送信重みチャープ信号を示した模式図で、

(b)はその送信重みチャープ信号のスペクトラムを示した模式図である。

【図4】(a)及び(b)よりなり、(a)は焦点距離における受信信号を示した模式図で、(b)はその受信信号のスペクトラムを示した模式図である。

【図5】(a)及び(b)よりなり、(a)は図4(a)に示し信号を基本周波数成分 f_0 に整合された第1相関器を通じてパルス圧縮した結果を示し、(b)はそのスペクトラムを示した模式図である。

【図6】(a)及び(b)よりなり、(a)は図4(a)に表示した信号を高調波成分 $2f_0$ に整合された第2相関器を通じてパルス圧縮した結果を示し、(b)はそのスペクトラムを示した模式図である。

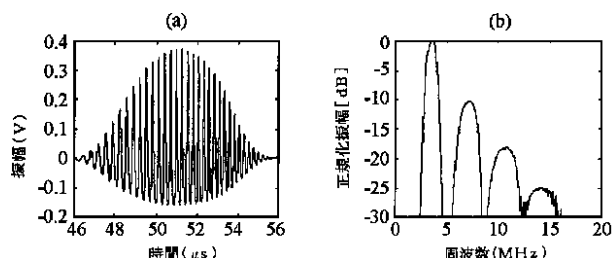
【図7】基本周波数-相関、高調波-相関、及び高調波-相関パルス反転プロセスに対して、KZK方程式による理論的な解釈を適用したパルス圧縮結果(7(a)及び7(c))と実際媒質を通過したパルス圧縮結果(7(b)及び7(d))とを比較した模式図である。

【図8】送信重みチャープ信号の音圧を所定の音圧(例えば、210 kPa)に固定した場合に重みチャープ信号の長さに対する第2高調波成分の大きさの変化を示した模式図である。

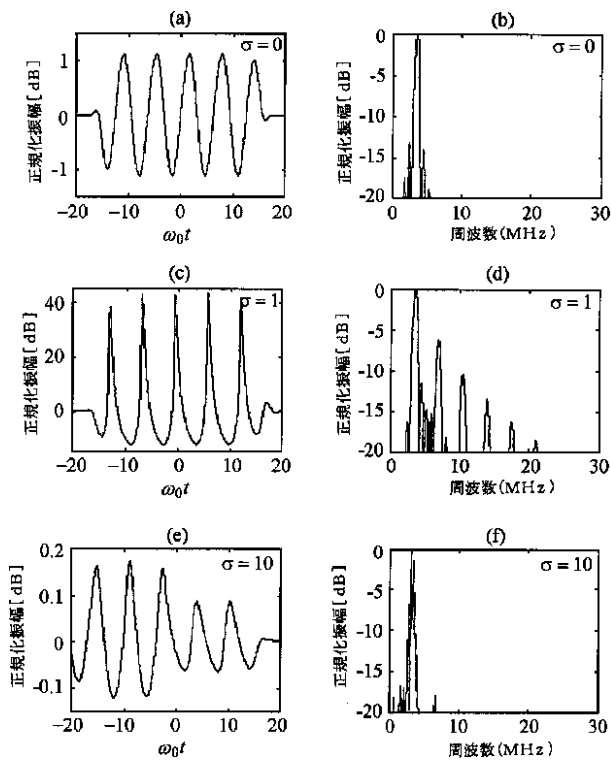
【符号の説明】

- 1 トランスデューサ列
- 12 パルサー
- 13 送信パターンメモリ
- 14 送信集束遅延メモリ
- 22 受信部
- 25 パルス圧縮部

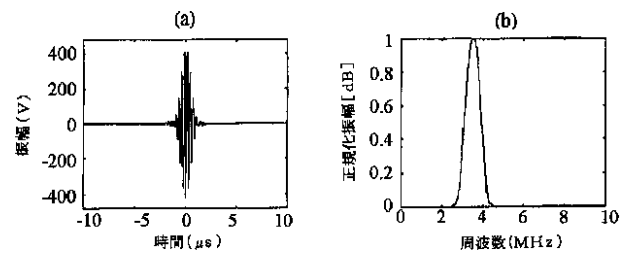
【図4】



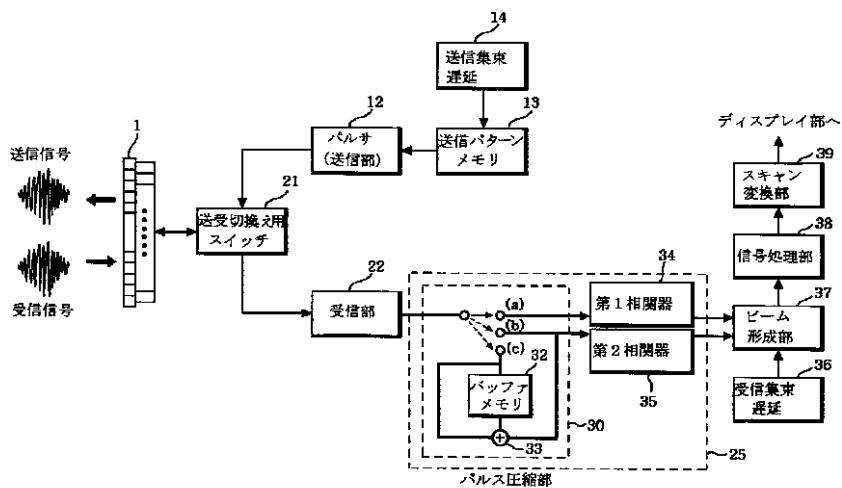
【図1】



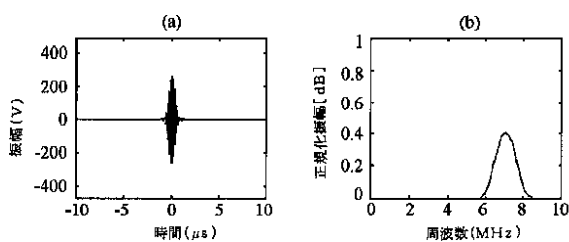
【図5】



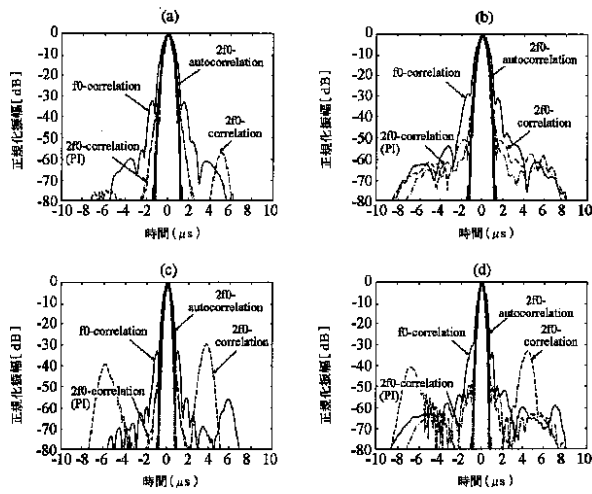
【図2】



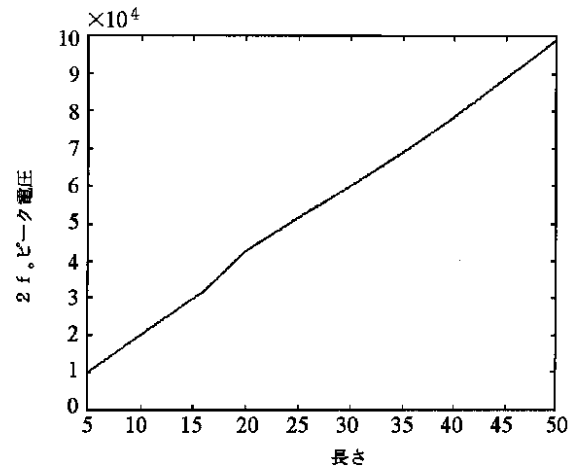
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 キム ドン ヨル
大韓民国 ソウル トクピョルシウンピョ
ンクガルヒョン 2 ドン 506ドン 9 ホ

F ターム(参考) 4C301 CC02 EE04 JB21 JB50
4C601 EE02 JB34 JB60 KK12
5J083 AA02 AB17 AC18 AC28 AC30
AD13 AE08 BA03 BB03 BB10
BC18 BE08 BE28 DC05

