

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4599408号
(P4599408)

(45) 発行日 平成22年12月15日(2010.12.15)

(24) 登録日 平成22年10月1日(2010.10.1)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

A 6 1 B 8/00

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-538647 (P2007-538647)	(73) 特許権者	000153498
(86) (22) 出願日	平成18年7月7日(2006.7.7)		株式会社日立メディコ
(86) 国際出願番号	PCT/JP2006/313578		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(87) 国際公開番号	W02007/039972	(74) 代理人	100091096
(87) 国際公開日	平成19年4月12日(2007.4.12)		弁理士 平木 祐輔
審査請求日	平成19年12月3日(2007.12.3)	(72) 発明者	橋場 邦夫
(31) 優先権主張番号	特願2005-286528 (P2005-286528)		東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
(32) 優先日	平成17年9月30日(2005.9.30)		株式会社日立製作所 中央研究所内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
		審査官	後藤 順也
		(56) 参考文献	特開2001-104303(JP, A)
			特開平07-313509(JP, A)
			特開平01-195844(JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気音響変換素子群から構成される複数のサブアレイと、

前記サブアレイを構成する複数の電気音響変換素子からの受信信号を遅延して加算する第1の受信ビームフォーマと、

前記第1の受信ビームフォーマの出力を1チャンネルとして、前記第1の受信ビームフォーマの出力信号を遅延して加算する第2の受信ビームフォーマと、

前記第1の受信ビームフォーマ及び前記第2の受信ビームフォーマの遅延量を制御する制御部とを具備し、

1回の超音波送信に対する超音波受信中は前記第1の受信ビームフォーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ を固定して前記第2の受信ビームフォーマでダイナミックフォーカス受信を行い

10

、
前記第1の受信ビームフォーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ と、前記第2の受信ビームフォーマにおける遅延量 τ_c とから、撮像領域の深度が F_m の受信フォーカスビームが形成されるように前記遅延量 $\Delta \tau_m$ を設定し、1回の超音波送信に対する撮像領域の深度を $F_1 \sim F_2$ ($F_2 > F_1$) とするとき、 $(F_1 + F_2) / 3 \sim F_m \sim (F_1 + F_2) / 2$ であ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、前記システム制御部は、撮像領域の深度の最小値 F_1 及び最大値 F_2 、あるいは撮像領域の入力を受けて、前記第1の受信ビームフォ

20

ーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ を計算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 に記載の超音波診断装置において、1つの走査線における全撮像領域の深度 $F_{min} \sim F_{max}$ に対して複数回 (m 回) の超音波ビームを送信し、各送信に対する撮像領域の深度 $F_{1m} \sim F_{2m}$ を変化させ、各深度 $F_{1m} \sim F_{2m}$ に対する前記遅延量 $\Delta \tau_m$ を変化させて撮像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 に記載の超音波診断装置において、1つの走査線における全撮像領域の深度 $F_{min} \sim F_{max}$ に対して複数回 (m 回) の超音波ビームを送信し、各送信に対して前記遅延量 $\Delta \tau_m$ を変化させて撮像し、前記第 1 の受信ビームフォーマと前記第 2 の受信ビームフォーマとによって、前記全撮像領域の深度 $F_{min} \sim F_{max}$ に対する受信ビームを各送信に対して形成し、1つの走査線に対する m 個の前記受信ビームを加算して、前記走査線上の前記全撮像領域の深度 $F_{min} \sim F_{max}$ に対する受信ビームを形成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 に記載の超音波診断装置において、前記第 1 の受信ビームフォーマは、全走査線に対し固定の遅延量を与える第 1 の遅延線と、1つの走査線に対して、角度成分のみを与える第 2 の遅延線とを含んで構成されることを特徴とする超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多数の電気音響変換素子から成る超音波アレイを具備する超音波診断装置に関し、特に第 1 の受信ビームフォーマと第 2 の受信ビームフォーマとを有する超音波診断装置に関する。

【背景技術】

【0002】

心臓の冠状動脈などの 3 次元的な血流計測や拍出量の計測など、空間と時間の 4 次元的な超音波エコーを計測するためには、電気音響変換素子を 2 次元アレイ状に配置した探触子が必要であり、所望の分解能を得るために数千個の電気音響変換素子を配列した 2 次元アレイを用いる必要がある。各電気音響変換素子から得られた信号は、受信ビームフォーマによって撮像空間のある一点にフォーカスするための整相処理が施される。しかし、数千チャンネルの入力を有する受信ビームフォーマは装置規模、コスト共に現実的ではないため、100 ~ 200 チャンネル程度にチャンネル数を低減する必要がある。この場合、十分な受信信号パワーを得るためになるべく多くの電気音響変換素子の信号を用いることが望ましい。

【0003】

そこで、従来、3000 個の超音波アレイ素子を、各々のグループが 25 個の素子を含む 120 個のサブアレイにまとめ、グループ内受信プロセッサにより個々の超音波アレイ素子信号を遅延して加算し、加算された信号を受信ビームフォーマのチャンネルの 1 つに提供する「グループ内プロセッサを有するフェーズドアレイ音響装置」が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0004】

この「グループ内プロセッサを有するフェーズドアレイ音響装置」では、グループ内受信プロセッサにおける遅延線は電荷結合素子、アナログ R A M、サンプルアンドホールド回路、能動フィルタ、L - C フィルタ、スイッチドキャパシタフィルタのうち、いずれか 1 つの素子を含んで構成されており、デジタル制御回路を有するシステムコントローラによって遅延値が提供される。特許文献 1（段落 0113、図 3）に記載されているように、遅延データがロードされている間は、遅延データのロードにより生じるデジタルノイズによって微弱な受信信号が埋もれてしまうため、遅延データのロードはそれぞれの走査線に対して 1 回だけ行っている。

【特許文献１】特開２０００－３３０８７号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

従来の「グループ内プロセッサを有するフェーズドアレイ音響装置」では、１つの走査線に対して、グループ内受信プロセッサにセットできる遅延量が１組であるため、撮像領域の深度によっては、理想的なフォーカス遅延量に対して大きな遅延量誤差が生じるようになり、グレーティング・ローブが発生して音響Ｓ／Ｎが劣化するという問題があった。

【０００６】

そこで本発明は、撮像領域の各深度において遅延量誤差が小さく、音響Ｓ／Ｎの劣化が少ない超音波画像を得ることのできる超音波診断装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明による超音波診断装置は、超音波アレイを構成する電気音響変換素子群から構成される複数のサブアレイと、サブアレイを構成する電気音響変換素子からの受信信号を遅延して加算する第１の受信ビームフォーマと、第１の受信ビームフォーマの出力を１チャンネルとして、第１の受信ビームフォーマの出力信号を遅延して加算する第２の受信ビームフォーマと、第１の受信ビームフォーマ及び第２の受信ビームフォーマの遅延量を制御する制御部とを具備し、１回の超音波送信に対する超音波受信中は第１の受信ビームフォーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ を固定し、第２の受信ビームフォーマでダイナミックフォーカス受信を行う。

【０００８】

固定の遅延量 $\Delta \tau_m$ は、第１の受信ビームフォーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ と、第２の受信ビームフォーマにおける遅延量 τ_c とによって、撮像領域の深度が F_m のときに最適な受信フォーカスビームが形成されるように設定する。深度 F_m は、１回の超音波送信に対する撮像領域の深度を $F_1 \sim F_2$ として、 $(F_1 + F_2) / 3 \leq F_m \leq (F_1 + F_2) / 2$ である。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によると、撮像領域全体に対して最も遅延量誤差の小さい受信フォーカスが可能となり、音響Ｓ／Ｎの劣化を最小限にして、高画質な超音波画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の超音波診断装置の一実施例を示す装置構成ブロック図。

【図２】本発明の第１受信ビームフォーマにおける遅延量決定方法を説明するための遅延量プロファイル図。

【図３】誤差評価関数の固定深度特性図。

【図４】超音波探触子から第２受信ビームフォーマまでの受信系の構成を示した装置構成ブロック図。

【図５】本発明の第１受信ビームフォーマの別の実施例を示す装置構成ブロック図。

【図６】１次元超音波アレイの構成図。

【図７】１次元超音波アレイのビームプロファイル図。

【図８】１次元超音波アレイのビームプロファイルの包絡面抽出図。

【図９】音響ノイズの固定深度特性図。

【図１０】本発明による超音波診断装置の一実施例を示したオペレーション概念図。

【符号の説明】

【００１１】

１，２：超音波診断装置

３：被検体

１０：超音波探触子

１１～１３：遅延量プロファイル曲線

10

20

30

40

50

1 4 : 遅延量誤差面積	
2 0 : 装置本体	
2 1 : 送受分離スイッチ	
2 2 : クロスポイントスイッチ	
2 3 : 送信ビームフォーマ	
2 4 : 送信アンプ	
2 5 : 信号処理部	
2 6 : 表示部	
3 1 ~ 3 3 : 誤差評価関数曲線	
4 0 : ディスプレイ	10
4 1 : 装置本体	
4 2 : ケーブル	
4 3 : 超音波プローブ	
4 4 : 表示画面	
4 5 : 操作パネル	
5 0 : 撮影画像	
5 1 : 撮像深度数値表示部	
5 2 : 撮像深度画像表示部	
5 3 : 固定深度マーカー	
5 4 : 撮像領域選択ボックス	20
6 1 : 固定深度選択操作部	
6 2 : 撮像領域選択操作部	
6 3 : トラックボール	
1 0 0 , 7 0 0 : 超音波アレイ	
1 0 1 ~ 1 0 4 , 1 0 n , 8 0 1 ~ 8 1 6 : サブアレイ	
1 1 1 ~ 1 1 4 , 1 2 1 ~ 1 2 4 , 1 3 1 ~ 1 3 4 , 1 4 1 ~ 1 4 4 , 7 0 1 ~ 7 6 4 : アレイ素子	
2 0 0 , 2 1 1 ~ 2 1 4 , 2 2 1 ~ 2 2 4 , 2 3 1 ~ 2 3 4 , 2 4 1 ~ 2 4 4 : 受信アン プ	
3 0 0 , 3 9 0 : 第 1 受信ビームフォーマ	30
3 5 0 , 3 6 0 , 3 7 0 , 5 5 0 : 遅延線群	
3 1 1 ~ 3 1 4 , 3 2 1 ~ 3 2 4 , 3 3 1 ~ 3 3 4 , 3 4 1 ~ 3 4 4 , 5 1 1 ~ 5 1 4 : 遅延線	
3 0 1 ~ 3 0 4 , 3 8 0 , 5 0 1 : 加算手段	
3 1 0 , 5 1 0 : 遅延量バッファメモリ	
4 0 0 ~ 4 0 4 : A D 変換器	
5 0 0 : 第 2 受信ビームフォーマ	
6 0 0 : 制御部	
【発明を実施するための最良の形態】	
【 0 0 1 2 】	40
以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。	
【 0 0 1 3 】	
まず、本発明の超音波診断装置の構成について説明する。図 1 は、本発明による超音波 診断装置の一実施例を示す、装置構成ブロック図である。超音波診断装置 1 は、超音波探 触子 1 0 と装置本体 2 0 とから構成され、超音波探触子 1 0 は、複数のアレイ素子から成 る超音波アレイ 1 0 0、送受分離スイッチ 2 1、受信アンプ 2 0 0、第 1 受信ビームフォ ーマ 3 0 0、クロスポイントスイッチ 2 2 を含む構成となっている。	
【 0 0 1 4 】	
超音波アレイ 1 0 0 は送受分離スイッチ 2 1 に連結されており、送受分離スイッチ 2 1 は、超音波送信時には超音波アレイ 1 0 0 とクロスポイントスイッチ 2 2 とを連結し、超	50

音波受信時には、超音波アレイ１００と受信アンプ２００とを連結する。クロスポイントスイッチ２２は、送信ビームフォーマ２３の１チャンネルからの送信信号を、どのアレイ素子に伝送するかを選択する手段として用いられる。送信時における送信ビームフォーマ２３からの信号は、所望の超音波放射エネルギーが得られるように、送信アンプ２４で増幅され、クロスポイントスイッチ２２、送受分離スイッチ２１を介して超音波アレイ１００に伝送される。なお、送受分離スイッチ２１の役割をクロスポイントスイッチ２２で兼ねてもよい。

【００１５】

超音波アレイ１００で受信された信号は、送受分離スイッチ２１を介して受信アンプ２００へ出力される。受信アンプ２００はＴＧＣ（Time Gain Control）の機能を備えてい

10

てもよい。受信アンプ２００からの信号は第１受信ビームフォーマ３００へ送られ、超音波アレイ１００の口径を分割してなるサブアレイ毎に、信号が遅延、加算される。１つの走査線、あるいは１回の送信に対する受信中は、第１受信ビームフォーマでの信号の遅延量は固定される。第１受信ビームフォーマ３００の出力はＡＤ変換器４００でデジタル信号に変換され、第２受信ビームフォーマ５００に出力される。なお、ＡＤ変換器４００は、超音波探触子１０の中に含んでもよい。

20

【００１６】

第２受信ビームフォーマ５００では、ダイナミックフォーカス処理が行われて、撮像領域の各深度に応じた受信ビームが形成されるように信号を遅延し、加算する。ここで第２受信ビームフォーマでは、入力信号を複数に分岐させて、それぞれ異なる遅延を与え、同時に複数の受信ビームを形成してもよく、これによって撮像のフレームレートを向上させることができる。

30

【００１７】

第２受信ビームフォーマ５００の出力は、信号処理部２５で所望の信号処理が施され、表示部２６で画像情報に変換され表示される。送信ビーム方向、受信ビーム方向、遅延量、表示などの制御は、制御部６００によって行われる。制御部６００は、撮像領域の範囲を指定するためのインターフェイスを含んでおり、例えばユーザーによって撮像領域の深度が指定されると、第１受信ビームフォーマ３００や第２受信ビームフォーマ５００で与えるべき適切な遅延量を決定し、第１受信ビームフォーマ３００や第２受信ビームフォーマ５００に転送する。

40

【００１８】

次に、本発明の超音波診断装置の受信系について、図面を用いて詳細に説明する。図４は、超音波診断装置１の超音波探触子１０から第２受信ビームフォーマ５００までの受信系の構成を示した装置構成ブロック図である。以下では、超音波アレイ１００を構成するアレイ素子が１６個であるものとする。超音波アレイ１００は、それぞれがアレイ素子４個から構成されるサブアレイ１０１～１０４からなり、サブアレイ１０１～１０４は、それぞれアレイ素子１１１～１１４、１２１～１２４、１３１～１３４、１４１～１４４によって構成されている。受信時においては、図示しない送受分離スイッチ２１によって、超音波アレイ１００の信号が受信アンプ２００へ出力される。すべてのアレイ素子１１１～１４４の信号は、個別の受信アンプ２１１～２４４でそれぞれ増幅され、第１受信ビームフォーマ３００へ出力される。

50

【００１９】

第１受信ビームフォーマ３００は、遅延線３１１～３４４を含む遅延線群３５０と、遅延線群３５０のための遅延量バッファメモリ３１０と、加算手段３０１～３０４とを含んで構成されている。受信アンプ２１１～２４４の各出力は、それぞれ異なる遅延量を与えられて、サブアレイ毎に加算され、ＡＤ変換器４０１～４０４によって各サブアレイ毎にＡＤ変換されて、第２受信ビームフォーマ５００へ出力される。例えば、サブアレイ１０１を構成するアレイ素子１１１～１１４の信号は、受信アンプ２１１～２１４で増幅された後、遅延線３１１～３１４で所望の遅延が与えられ、加算手段３０１で加算される。加算手段３０１からの出力信号は、ＡＤ変換器４０１でデジタル信号に変換されて、第２受

信ビームフォーマ500の1チャンネルあたりの入力信号となる。サブアレイ102～104に関しても同様にして、第2受信ビームフォーマ500の1チャンネルあたりの入力信号となる。

【0020】

第2受信ビームフォーマ500は、デジタル遅延線511～514で構成される遅延線群550と、遅延線群550のための遅延量バッファメモリ510と、加算手段501とを含んで構成されている。

【0021】

撮像領域の範囲が設定されると、制御部600は、その撮像領域の範囲に応じた最適な遅延量を計算し、これを第1受信ビームフォーマ300の遅延量バッファメモリ310と第2受信ビームフォーマ500の遅延量バッファメモリ510に転送する。遅延量バッファメモリ310からの遅延データは1つの走査線あるいは1回の送信に対する受信中は固定されており、受信前に遅延線群350に遅延データがロードされる。第2受信ビームフォーマでは、ダイナミックフォーカス処理が施され、深度毎に適切な遅延がデジタル遅延線511～514で与えられる。

【0022】

次に、撮像領域の深度とグループ内受信プロセッサに与える遅延量との最適条件について検討する。図2は、第1の受信ビームフォーマにおける固定遅延量と、第2の受信ビームフォーマにおけるダイナミック遅延量との関係を示した、1次元超音波アレイの遅延量プロファイルである。1次元超音波アレイ100は、 n 個のサブアレイ10 n に分割されており、 $x_{n1} \sim x_{n2}$ に位置するサブアレイ10 n の各超音波アレイ素子からの信号は、第1の受信ビームフォーマ300で処理されて、第2の受信ビームフォーマ500の1チャンネルに提供される。第1の受信ビームフォーマ300における固定の遅延データを決定するために、深度 F_m で理想的な受信フォーカスビームを形成すると仮定すると、その遅延量 $\Delta \tau_{ideal}$ のプロファイルは曲線11ようになる。深度 F_m に対して、第2の受信ビームフォーマで与えるべき遅延量 $\Delta \tau_c$ は、サブアレイ10 n の位相中心から次のように求められる。

【数1】

$$\Delta \tau_c = \arg \left(\int_{x_{n1}}^{x_{n2}} \exp[-i\omega \Delta \tau_{ideal}] dx \right) \quad \dots(1)$$

【0023】

ここで、 i は虚数単位、 ω は超音波の角周波数である。したがって、第1の受信ビームフォーマで与えるべき固定の遅延量 $\Delta \tau_m$ は、 $\Delta \tau_m = \Delta \tau_{ideal} - \Delta \tau_c$ と求められる。

【0024】

次に、深度 F で理想的な受信フォーカスビームを形成することを考えると、その遅延量 τ_{ideal} のプロファイルは曲線13ようになる。深度 F_m の場合と同様に、第2の受信ビームフォーマで与えるべき遅延量 τ_c は、式(2)のようになる。

【数2】

$$\tau_c = \arg \left(\int_{x_{n1}}^{x_{n2}} \exp[-i\omega \tau_{ideal}] dx \right) \quad \dots(2)$$

【0025】

先に求めた第1の受信ビームフォーマにおける遅延量 $\Delta \tau_m$ とあわせて、実際の遅延量は $\tau_c + \Delta \tau_m$ となり、遅延量プロファイルは図2の曲線12のように示される。したがって、理想的な遅延量との誤差は

$$\tau_{ideal} - (\tau_c + \Delta \tau_m) = (\tau_{ideal} - \Delta \tau_{ideal}) - (\tau_c - \Delta \tau_c)$$

となり、この誤差が大きいとサブアレイ間の誤差も大きく、グレーティング・ローブ発生の原因になる。そこで、図2の斜線で示される Δe_n 領域14の面積の大きさを音響 $S /$

10

20

30

40

50

Nの劣化に影響を与えるパラメータとして、全てのサブアレイ10n、及び撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ に対して Δe_n を積分した、次式(3)のような深度 F_m の関数Eを、誤差評価関数として定義する。

【数3】

$$\begin{aligned} E(F_m) &= \sum_n \int_{F_1}^{F_2} \Delta e_n(F_m, F, x_{n1}, x_{n2}) dF \\ &= \sum_n \int_{F_1}^{F_2} \int_{x_{n1}}^{x_{n2}} |(\tau_{ideal} - \Delta\tau_{ideal}) - (\tau_c - \Delta\tau_c)| dx dF \quad \dots(3) \end{aligned}$$

【0026】

10

音響S/Nの劣化を最小にする深度 F_m を求めるには、 $dE/dF_m = 0$ となる深度 F_m を求めればよい。問題を簡単にするために、撮像領域の深度を $F_1 \sim F_2$ 、深度 F_m ($F_1 < F_m < F_2$) が十分遠方にあるとして、いずれの深度に対しても位相中心の値に対する座標 x が x_c ($x_{n1} < x_c < x_{n2}$) にあると仮定する。音速を c_0 とすれば、遅延量 τ_{ideal} 、 $\Delta\tau_{ideal}$ 、 τ_c 、 $\Delta\tau_c$ はそれぞれ以下のように近似される。

【数4】

$$\tau_{ideal} = \frac{x^2}{2Fc_0}, \quad \Delta\tau_{ideal} = \frac{x^2}{2F_m c_0}, \quad \tau_c = \frac{x_c^2}{2Fc_0}, \quad \Delta\tau_c = \frac{x_c^2}{2F_m c_0} \quad \dots(4)$$

【0027】

20

式(4)を式(3)に代入し、 x 、 F についての積分を実行すると次式(5)が得られる。

【数5】

$$\begin{aligned} E(F_m) &= f(F_m, F_1, F_2) \cdot \sum_n g(x_{n1}, x_{n2}, x_c) \\ f(F_m, F_1, F_2) &= 2(\log F_m - 1) + \frac{F_1 + F_2}{F_m} - \log F_1 F_2 \\ g(x_{n1}, x_{n2}, x_c) &= \frac{1}{6c_0} \left\{ (x_{n1} + x_{n2}) (3x_c^2 - x_{n1}^2 + x_{n1}x_{n2} - x_{n2}^2) - 4x_c^2 \right\} \quad \dots(5) \end{aligned}$$

30

【0028】

次に、式(5)で表される深度 F_m と誤差評価関数Eとの関係を調べるために行ったシミュレーション結果について、図3を用いて説明する。シミュレーションは、1次元超音波アレイの口径 L を19.2mm、素子数を64(素子ピッチ0.3mm)、周波数を2.5MHz、音速を1500m/s、撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ をFナンバーで1~9($F_1 = 19.2$ mm、 $F_2 = 172.8$ mm)として、1次元超音波アレイを8個、16個、32個のサブアレイにそれぞれ分割した場合を仮定した。図3は、上記条件における誤差評価関数Eの固定深度特性図であり、横軸は深度 F_m に対応するFナンバー F_m/L 、縦軸は誤差評価関数Eの値を対数軸上に示している。図中、実線31~33はサブアレイが8個、16個、32個の場合の結果をそれぞれ示している。図3のシミュレーション結果から、誤差評価関数Eの最小値は $F_m/L = 5$ 付近のときであり、サブアレイの数が少ないと若干高くなること、 $F_m/L > 3$ では、誤差評価関数Eの値は低く抑えられることがわかる。

40

【0029】

以上の結果から、誤差評価関数Eは深度 F_m に関して、下に凸の曲線関係となっており、上述の深度 F_m の最適値は、式(5)を用いて、 $dE/dF_m = 0$ 、すなわち $df/dF_m = 0$ となる深度 F_m を求めればよく、結果として $F_m = (F_1 + F_2)/2$ が最適値として得られる。したがって、撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ ($F_2 > F_1$) が超音波アレイよりも充分遠方にある場合、第1の受信ビームフォーマにおける固定の遅延量は、 $F_m = (F_1 + F_2)/2$ となる深度 F_m で最適な受信フォーカスビームが形成されるように決定すればよいこと

50

が明らかになった。

【 0 0 3 0 】

上述の結果は、撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ ($F_2 > F_1$) が超音波アレイよりも充分遠方にある場合の結果であり、また、グレーティング・ローブの強度を直接評価したものではない。そこで以下では、撮像領域の深度が浅いところにある場合も含めて、グレーティング・ローブを直接評価したシミュレーション結果について、図 6 ~ 図 9 を用いて説明する。

【 0 0 3 1 】

シミュレーションにおいては、図 6 に示すような、64 個の点音源状の素子 701 ~ 764 (素子ピッチ 0.3 mm、アレイ寸法 $L = 18.9$ mm) からなる 1 次元アレイ 700 を考え、隣り合う 4 素子で一つのサブアレイを構成し、全 16 サブアレイ 801 ~ 816 で構成されているものとした。各サブアレイ 801 ~ 816 は、第 1 の受信ビームフォーマで、それぞれ遅延、加算処理が行なわれ、第 1 の受信ビームフォーマからの 16 個の出力は、第 2 の受信ビームフォーマで遅延、加算処理が行なわれる。第 1 の受信ビームフォーマで与えられる遅延量は固定とし、第 2 の受信ビームフォーマでは深度に応じた受信ダイナミックフォーカスを行なうものとする。また、周波数を 2.5 MHz、音響媒質の音速を 1500 m/s とした。

【 0 0 3 2 】

図 7 は、図 6 の 1 次元超音波アレイ 700 が形成する、1 次元アレイの中央からの角度と深度との 2 次元ビームプロファイルを示したものである。図 7 においては、撮像領域の深度を 20 mm ~ 180 mm とし、深度 68 mm において最適なビームフォーミングがなされるように、第 1 の受信ビームフォーマにおける遅延量を固定し、走査線方向は 1 次元超音波アレイ 700 の正面方向 (0 度方向) である。図 7 から、深度が 68 mm より浅い場合及び深い場合において、 ± 30 度方向、 ± 90 度方向にグレーティング・ローブが生じていることがわかる。

【 0 0 3 3 】

上記グレーティング・ローブを音響ノイズとして定義するために、まず、図 7 で示したようなビームプロファイルの包絡面を抽出する。図 7 の包絡面は図 8 のように示される。以下では、図 8 のような包絡面の全音響エネルギー P_m と、各深度において理想的なフォーカスが行なわれたときのビームプロファイルの包絡面の音響エネルギー S_i との音響エネルギー差 $N_m = P_m - S_i$ を計算し、 N_m を音響ノイズとして定義する。

【 0 0 3 4 】

図 9 は、第 1 の受信ビームフォーマと第 2 の受信ビームフォーマとで与えられた遅延量によって、理想状態と同じ最適なフォーカスビームが形成される固定深度 F_m と、上記音響ノイズ N_m との関係を示した、音響ノイズの固定深度特性図である。図中、曲線 34 ~ 38 は、撮像領域の深度範囲 $F_1 \sim F_2$ ($F_1 < F_2$) を、それぞれ 20 mm ~ 180 mm、20 mm ~ 150 mm、40 mm ~ 120 mm、100 mm ~ 180 mm、160 mm ~ 180 mm とした場合に相当する。1 次元超音波アレイからの距離が充分遠方とみなせる曲線 36 ~ 38 においては、図 3 で示した結果同様、ほぼ $F_m = (F_1 + F_2) / 2$ が、固定深度の最適値となっているが、曲線 34, 35 のように撮像領域が充分遠方とみなせない領域を含む場合においては、固定深度の最適値は $F_m = (F_1 + F_2) / 3$ 程度となる。ここで充分遠方とは、1 次元アレイの半分の寸法 $L / 2$ と撮像領域の深度の最小値 F_1 との関係が $\arctan(L / 2 F_1) \ll L / 2 F_1$ となることに相当し、図 6 に示した 1 次元超音波アレイ 700 の場合には、 $F_1 = 40$ mm において、約 2 % 以内の誤差で $\arctan(L / 2 F_1) \ll L / 2 F_1$ が成り立つ。

【 0 0 3 5 】

以上のことから、撮像領域の深度の最小値 F_1 が充分遠方とみなせない浅いところがあり、撮像領域の深度の最小値 F_2 が充分遠方にあるとみなせる場合には、第 1 の受信ビームフォーマにおける固定の遅延量は、 $F_m = (F_1 + F_2) / 3$ となる深度 F_m で最適な受信フォーカスビームが形成されるように決定すればよい。

【 0 0 3 6 】

したがって、図3に示した結果も含めると、第1の受信ビームフォーマにおける固定の遅延量は、深度 F_m が $(F_1 + F_2) / 3 \leq F_m \leq (F_1 + F_2) / 2$ の範囲となるようにして決定すればよく、特に浅いところから深いところまで撮像する場合は $F_m = (F_1 + F_2) / 3$ 、充分深いところを撮像する場合は $F_m = (F_1 + F_2) / 2$ とすればよい。

【0037】

以上の結果は、被測定物の音速を 1500 m/s で一定として得られたものであり、被測定物が均質で、音速がほぼ一定の場合に適用される。しかし、被測定物が例えば生体であると、生体組織の種類によって、その音速は $(1560 \pm 70) \text{ m/s}$ 程度の幅を持つ。したがって、式(4)に示したような遅延時間を計算するとき、設定した音速から定まるフォーカス距離と、実際のフォーカス距離とに誤差を生じることを考慮する必要がある。

10

【0038】

本発明の超音波診断装置において、音速の設定値を c_0 とし、実際の被測定物の音速が $c_0 + \Delta c$ であるとする。また、音速を c_0 としたときのフォーカス距離を F_0 とし、実際のフォーカス距離を $F_0 + \Delta F$ とする。このとき、上記設定値から求まる遅延時間と実際の遅延時間は等しいから、 $F_0 c_0 = (F_0 + \Delta F)(c_0 + \Delta c)$ の関係式が成り立つ。この関係式から、 $\Delta F / F_0 = -(\Delta c / c_0) / (1 + \Delta c / c_0)$ が得られる。上述のように、例えば生体組織の音速が $(1560 \pm 70) \text{ m/s}$ であるとすれば、 $c_0 = 1560 \text{ m/s}$ 、 $\Delta c = \pm 70 \text{ m/s}$ とすると、 $|\Delta F / F_0| \leq 4.3\%$ となる。実際には、異なる組織を音波が伝播する際に生じる屈折などの影響も考慮し、 $|\Delta F / F_0| \leq 5\%$ 程度とすることが望ましい。

20

【0039】

以上の結果から、上述した第1の受信ビームフォーマにおける固定の遅延量を決定するための深度 F_m を求めた後、その値の $\pm 5\%$ の幅で深度 F_m を微調整できるようにすることが、実用上望ましい。

【0040】

次に、撮像範囲の深度 $F_1 \sim F_2$ が与えられた場合に、第1受信ビームフォーマ300及び第2受信ビームフォーマ500で与えるべき遅延量の決定方法について、サブアレイ101を例に述べる。

【0041】

まず、撮像範囲の深度の最小値 F_1 と最大値 F_2 とから、第1受信ビームフォーマ300で与えられる固定の遅延量を決定するための深度 F_m を、 $(F_1 + F_2) / 3 \leq F_m \leq (F_1 + F_2) / 2$ の範囲で求める。ここで、深度 F_m を求める際のアルゴリズムについて説明する。まず、超音波探触子には、近距離とみなせる深度と充分遠方とみなせる深度との境界の情報が与えられており、これらの境界の深度を D とする。境界の深度 D は、例えば、超音波探触子の口径 L の半分の長さ $L / 2$ を代表寸法として、 2% の誤差で $\arctan(L / 2D) \approx L / 2D$ が成り立つような値を選べば良い。

30

【0042】

まず、撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ の最小値 F_1 が $F_1 \leq D$ である場合には、 $F_m = (F_1 + F_2) / 2$ とする。撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ の最小値 F_1 が口径と等しく(F ナンバーが1)、 $F_1 = L$ である場合には、 $F_m = (F_1 + F_2) / 3$ とする。 $L < F_1 < D$ の範囲にある場合には、例えば、 $L < F_1 < D$ の間で $(F_1 + F_2) / 3 < F_m < (F_1 + F_2) / 2$ の関係式を直線補間し、 $F_m = (F_1 + F_2)(D - L) / (3D - 2L - F_1)$ の関係式から、最適な深度 F_m が求められる。

40

【0043】

次に、アレイ素子111～114について、深度 F_m で理想的な受信フォーカスビームが形成されとした場合の遅延量 $\Delta \tau_{\text{ideal}}$ を求め、その中で最も小さい遅延量を $\Delta \tau_{\text{min}}$ とする。これより、第1受信ビームフォーマ300内の遅延線311～314に与えるべき遅延量 $\Delta \tau_m$ は、 $\Delta \tau_m = \Delta \tau_{\text{ideal}} - \Delta \tau_{\text{min}}$ として求まる。

【0044】

次に、サブアレイ101を構成するアレイ素子111～114に同じ遅延量 $\Delta \tau_c$ を与

50

えて加算したときに、深度 F_m で受信ビームがフォーカスされるものとし、サブアレイ 101 に関して式(1)を用いて遅延量 $\Delta \tau_c$ を求める。さらに、 $\Delta \tau_c$ と $\Delta \tau_{min}$ との差 $\Delta \tau_d = \Delta \tau_c - \Delta \tau_{min}$ を求める。

【0045】

撮像領域の深度 F のデータを取得する場合、第2受信ビームフォーマ500ではダイナミックフォーカス処理が行われる。すなわち、第2受信ビームフォーマ500内の遅延線511で与える遅延量は次のようにして求められる。まず、サブアレイ101を構成するアレイ素子111～114に同じ遅延量 τ_c を与えて加算したときに、深度 F で受信ビームがフォーカスされるものとし、サブアレイ101に関して式(2)を用いて遅延量 τ_c を求める。遅延量 τ_c と前記 $\Delta \tau_d$ から、遅延線511で与えるべき遅延量 τ_c' が $\tau_c' = \tau_c - \Delta \tau_d$ として求まる。他の全てのサブアレイ102～104についても同様の計算方法によって、第1受信ビームフォーマ300及び第2受信ビームフォーマ500で与えるべき遅延量 $\Delta \tau_m$ 及び τ_c' を求める。

【0046】

以上のようにして、深度 F に受信ビームを形成すると、撮像領域の深度が充分遠方にある場合には、図2における曲線12のような遅延データが与えられたことになる。曲線12は深度 $F_m = (F_1 + F_2) / 2$ として求められているので、前述したように深度 F に理想的な受信フォーカスビームが形成される遅延データの曲線13との差異が最も小さく抑えられている。したがって、撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ においてグレーティング・ローブの影響を最小限に抑えることができる。同様に、撮像領域の深度が浅いところも含む場合にも、上述のように適切な固定深度 F_m が選択され、グレーティング・ローブの影響を最小限に抑えることができる。

【0047】

また、撮像領域の深度の最小値 F_{min} と最大値 F_{max} に対して、 m 回の送信によって $F_{min} \sim F_{max}$ のデータを収集する場合には、例えば m 回の送信で $F_{min} \sim F_{max}$ 全体が撮像できるように、1回の送信における撮像領域の深度 $F_1 \sim F_2$ を決定し、上述の方法により、 m 組の $F_1 \sim F_2$ に対して遅延線群350で固定する遅延量 $\Delta \tau_m$ をそれぞれ求めればよい。

【0048】

また、上記 m 組の各組において発生するグレーティング・ローブの方向は異なるため、1組の $F_1 \sim F_2$ に対して固定される $\Delta \tau_m$ を用いて $F_{min} \sim F_{max}$ までのデータを収集し、これを全ての組の $F_1 \sim F_2$ に対して行って、全ての収集データを加算してもよい。

【0049】

また、図5に示すように、第1受信ビームフォーマ内の遅延線群を2段直列に連結し、第1の遅延線群360、第2の遅延線群370、加算手段380、遅延量バッファメモリ310とから構成した第1受信ビームフォーマ390を用い、第1の遅延線群360で与えるべき遅延量は、全ての走査線方向に対して固定とし、第2の遅延線群370ではビーム方向のみを変化させるための遅延量を与えるようにすれば、各走査線に対してロードすべき遅延データの大きさが小さくなり、高速な撮像と省メモリ化が実現できる。

【0050】

なお、上述の第1受信ビームフォーマにおける遅延線群360、370は、電荷結合素子、 $L-C$ フィルタ、サンプルアンドホールド回路、スイッチドキャパシタ回路、アナログRAMのうち、少なくとも1つの素子を含んで構成する。

【0051】

上述の実施例は、1次元超音波アレイを対象としていたが、第1及び第2受信ビームフォーマを有する装置構成は、2次元超音波アレイからの受信信号のように、2000～3000素子からの受信信号数を、100～200チャンネルの信号数に低減するために特に有効な構成である。本発明の思想や上述の受信シーケンス、制御についても、1次元超音波アレイへの適用に限定されるものではなく、2次元超音波アレイにも適用される。

【0052】

以上のような構成および制御のもと行なわれる超音波診断時のオペレーションの具体例

10

20

30

40

50

について、図面を用いて説明する。

【 0 0 5 3 】

図 1 0 は、本発明による超音波診断装置の一実施例を示したオペレーション概念図である。超音波診断装置 2 は装置本体 4 1 と、ケーブル 4 2 と、超音波プローブ 4 3 と、ディスプレイ 4 0 と、ユーザーが撮像条件を入力するための操作パネル 4 5 とから構成されている。被検体 3 に超音波プローブ 4 3 を当てると、ディスプレイ 4 0 の表示画面 4 4 に撮影画像 5 0 が映し出される。この時、表示画面 4 4 には、撮像画像 5 0 の撮像領域の深度情報が撮像深度数値表示部 5 1 と撮像深度画像表示部 5 2 に表示される。撮像深度数値表示部 5 1 には、撮像領域の深度の最小値 F_1 、最大値 F_2 、超音波プローブ 4 3 に内包された図示しない前記第 1 の受信ビームフォーマの遅延量を決定する固定深度 F_m の数値情報が表示されており、撮像深度画像表示部 5 2 では、例えば固定深度の情報を固定深度マーカー 5 3 によって表すなど、これらの深度情報がグラフィカルに表示される。

10

【 0 0 5 4 】

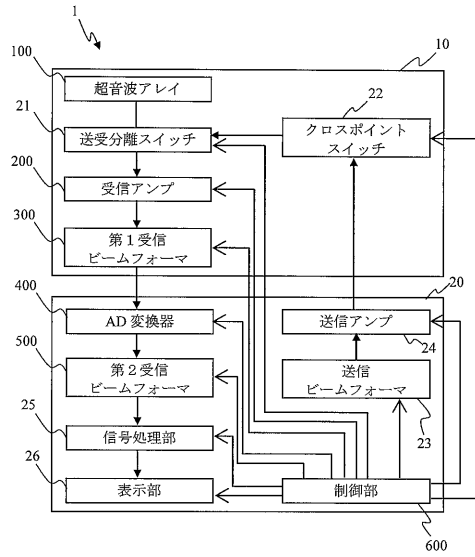
撮像領域の範囲は、例えば、表示画面 4 4 に映し出された撮像領域選択ボックス 5 4 を、操作パネル 4 5 に設けられた撮像領域選択操作部 6 2 やトラックボール 6 3 によって操作して選択することができる。撮像領域の範囲が指定されると、これより得られる撮像領域の深度の最小値 F_1 、最大値 F_2 から、最適な固定深度 F_m が計算され、超音波プローブ 4 3 に内包された第 1 の受信ビームフォーマにおける遅延量が設定されて、撮像が行われる。また、固定深度 F_m は、操作パネル 4 5 に設けられた固定深度選択操作部 6 1 によって、ユーザーが連続的あるいはステップ的に任意に設定することもでき、これによって超音波プローブ 4 3 に内包された第 1 の受信ビームフォーマにおける遅延量の設定や、表示画面 4 4 内の撮像深度数値表示部 5 1 と撮像深度画像表示部 5 2 で表される深度情報は、リアルタイムに追隨して変更される。

20

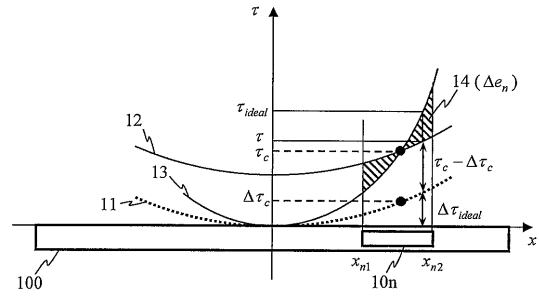
【 0 0 5 5 】

以上のような、超音波診断装置のオペレーションによって、撮像領域の深度に対して最適な受信フォーカスが行われ、安価な装置構成で、高画質な診断画像が得られると共に、任意の深度に対して分解能の高い鮮明な画像を表示することも可能になる。

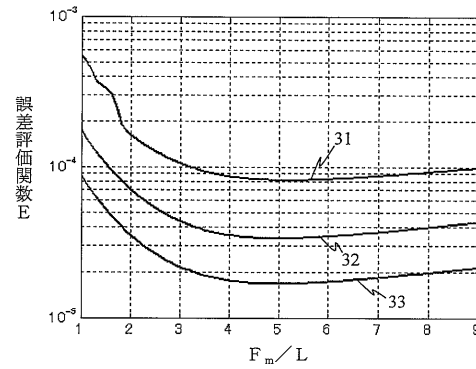
【図 1】



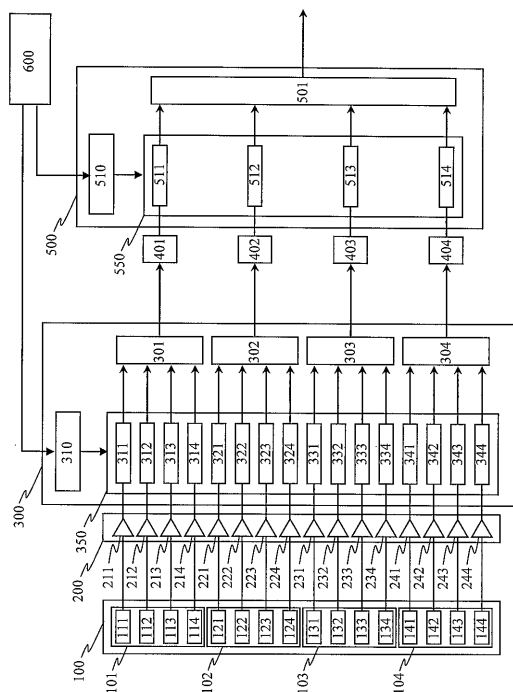
【図 2】



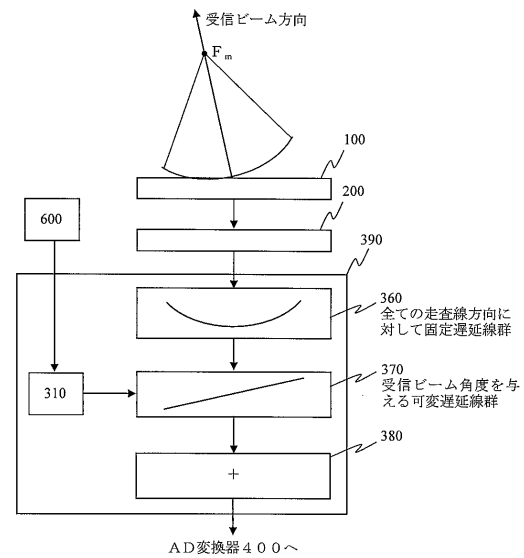
【図 3】



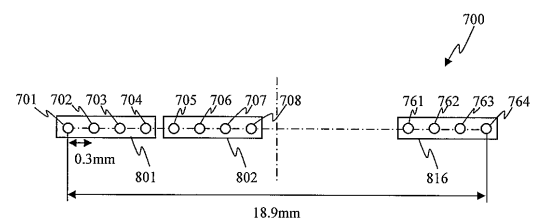
【図 4】



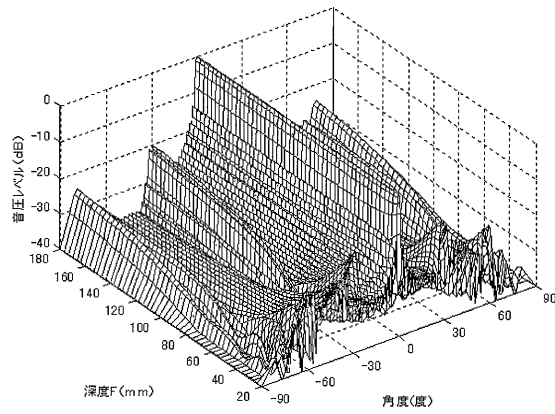
【図 5】



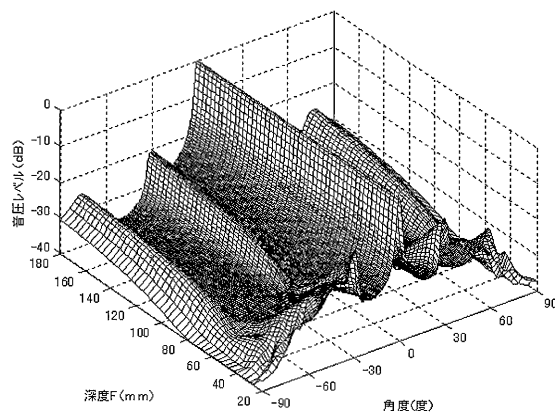
【図 6】



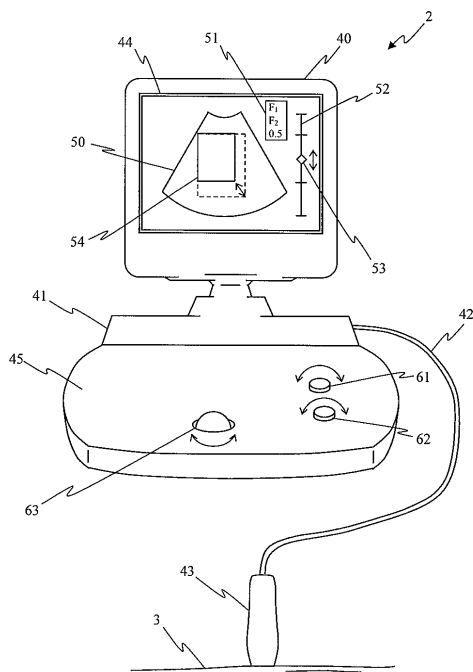
【図 7】



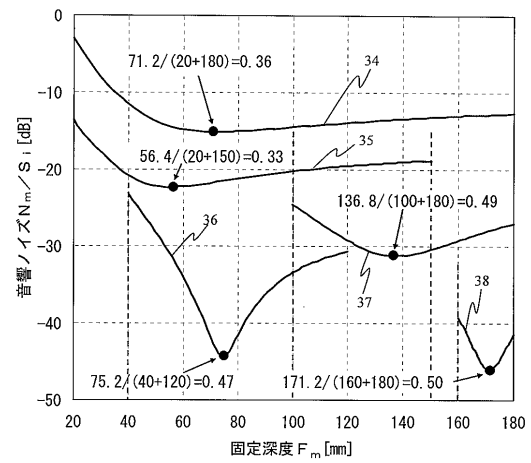
【図 8】



【図 10】



【図 9】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B 8/00

专利名称(译)	超声诊断设备		
公开(公告)号	JP4599408B2	公开(公告)日	2010-12-15
申请号	JP2007538647	申请日	2006-07-07
[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		
当前申请(专利权)人(译)	株式会社日立メディコ		
[标]发明人	橋場邦夫		
发明人	橋場 邦夫		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01S7/52023 G01S7/52047 G01S15/8927 G10K11/346		
FI分类号	A61B8/00		
优先权	2005286528 2005-09-30 JP		
其他公开文献	JPWO2007039972A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

从而减少了超声阵列探头的信号通道数量并获得了高质量的图像。 超声阵列100分成多个子阵列，从构成在第一接收波束形成器300中的子阵列的电声换能元件所接收的信号相加的延迟，首先由第二接收波束形成器500接收利用波束形成器的输出作为一个通道，第一接收波束形成器的输出信号被延迟并相加。响应于一个超声波发送接收修复了第一延迟量 $\Delta\tau_m$ 接收波束形成器来执行由所述第二接收波束形成器接收的动态焦点。并且在第一延迟量 $\Delta\tau_m$ 在第二接收波束形成器，通过一个延迟量 τ_C 接收波束形成器，以在该摄像区域的深度FM最佳接收聚焦光束。不过，相对于单一的传输为F1～F2的摄像区域的深度，是 $(F1 + F2) / 3 \leq FM \leq (F1 + F2) / 2$ 。

：ideal のプロファイルは曲線 1
-ムフォーマで与えるべき遅延量
【数 2】

$$\tau_c = \arg \left(\int_{x_{n1}}^{x_{n2}} \exp[-i\omega\tau_{ideal}] dx \right)$$