

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4414177号
(P4414177)

(45) 発行日 平成22年2月10日 (2010. 2. 10)

(24) 登録日 平成21年11月27日 (2009. 11. 27)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 29/06 (2006. 01)

GO 1 N 29/06

GO 1 N 29/04 (2006. 01)

GO 1 N 29/10 5 O 1

GO 1 N 29/44 (2006. 01)

GO 1 N 29/22 5 O 1

GO 1 S 7/523 (2006. 01)

GO 1 S 7/52 D

GO 1 S 15/89 (2006. 01)

GO 1 S 15/89 B

請求項の数 10 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-320679 (P2003-320679)
 (22) 出願日 平成15年9月12日 (2003. 9. 12)
 (65) 公開番号 特開2004-109129 (P2004-109129A)
 (43) 公開日 平成16年4月8日 (2004. 4. 8)
 審査請求日 平成18年9月11日 (2006. 9. 11)
 (31) 優先権主張番号 10/244, 637
 (32) 優先日 平成14年9月16日 (2002. 9. 16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100106541
 弁理士 伊藤 信和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 工業用フェーズドアレイ超音波検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

部品 (10) を検査する方法において、

(a) 物質速度 v_w を有するスタンドオフ (18) により部品から離間されたアレイ (14) を形成している複数の変換器 (12) を励起して、前記アレイからの選択されたビーム経路 (16) に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生する超音波送信ビーム生成過程と、

(b) 前記変換器を受信要素 (12) として使用して複数のエコー信号を発生させるエコー信号生成過程と、

(c) エコー信号を複数のチャンネル (20) で処理するエコー信号処理過程とを具備し

10

前記エコー信号処理過程が、

(i) 前記エコー信号を、前記選択されたビーム経路に沿って前記部品の少なくとも 1 つの焦点 P に動的に集束させる動的集束過程であって、

(A) 前記部品と前記スタンドオフとの間の境界面 (22) における超音波送信ビームの屈折による影響を補償するために、遅延プロファイルを調整する工程と、

(B) それぞれのチャンネルのエコー信号に前記調整した遅延プロファイルを適用して、複数の遅延エコー信号を発生させる工程とを含むところの動的集束過程と、

(ii) 前記部品と前記スタンドオフとの間の境界面における超音波送信ビームの屈折を補償する工程を有し、前記アクティブな受信要素の数を、前記部品内での前記送信ビー

20

ムの長さを表す距離 R_s の関数として調整して、受信側の動的アパーチャ (2 4) を規定するアパーチャ規定過程と、

(i i i) 全てのアクティブな受信要素からの遅延エコー信号を加算して、集束エコー信号を発生する集束エコー信号生成過程とを具備することを特徴とする部品検査方法。

【請求項 2】

前記変換器 (1 2) の励起は、前記変換器の各々に別個の励起信号パルスを印加することから成り、

前記検査方法は、

(d) 超音波送信ビームを選択されたビーム経路に沿って面垂線 (2 1) に対して角度を成すようにビーム向きを変えるステアリング過程であって、

(i) 前記部品と前記スタンドオフとの間の境界面における超音波送信ビームの屈折を補償するために、各々が静的ステアリング項データを含む複数の送信遅延データから成る送信遅延プロファイル进行调整するプログラムファイル調整過程と、

(i i) 励起信号パルスを送信遅延プロファイルによって変調する過程からなるステアリング過程と、

(e) それぞれのチャンネルで遅延プロファイルをエコー信号に印加することによりステアリングされた集束エコー信号を形成して、遅延エコー信号を発生する遅延エコー信号生成過程とを更に含み、

前記遅延プロファイルは複数の受信遅延データを含み、各受信遅延データは静的受信ステアリング項データを含み、

前記遅延プロファイル調整課程は、静的受信ステアリング項の各々の値を調整して境界面における屈折を補償することを特徴とする請求項 1 記載の検査方法。

【請求項 3】

さらに、

前記アレイ (1 4) を形成する前記複数の変換器 (1 2) の各々に個別の励起パルスを印加ビーム経路することを特徴とする請求項 1 または 2 の方法。

ビーム経路

【請求項 4】

前記エコー信号処理過程は、

全てのアクティブな受信要素からの遅延エコー信号を加算して、ステアリング済エコー信号を発生することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の検査方法。

【請求項 5】

前記部品 (1 0) の湾曲面 (2 2) に沿って部品 (1 0) を検査する請求項 1 乃至 4 のいずれかの検査方法は、

(a) 少なくとも 1 つの表面幾何学形状効果を補償するために、各々が静的表面幾何学形状項を含む複数の遅延からなる遅延プロファイル进行调整する過程と、

(b) 前記複数の励起信号パルスを送信遅延プロファイルによって変調する過程と、

(c) 前記スタンドオフにより部品から離間された前記アレイ (1 4) を形成している前記複数の変換器 (1 2) に変調励起信号パルスを印加して、前記アレイから選択されたビーム経路 (1 6) に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生する過程と、
を更に具備し、

各々が静的表面幾何学形状項データを含む複数の受信遅延から成る前記遅延プロファイルをそれぞれのチャンネルでエコー信号に適用して、少なくとも 1 つの表面幾何学形状効果を補償する複数の遅延エコー信号を発生する課程と、

前記受信要素からの遅延エコー信号を加算して、表面幾何学形状効果補償エコー信号を発生する課程とを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の検査方法。

【請求項 6】

検査面 (2 2) を有する部品 (1 0) を請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の検査方法により検査するシングルターン方法において、

(a) 部品の検査面に面するように変換器 (1 2) のアレイ (1 4) を位置決めする過

10

20

30

40

50

程と、

(b) 前記変換器を励起して、前記アレイから選択されたビーム経路(16)に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生する過程と、

(c) 前記変換器を受信要素(12)として使用して複数のエコー信号を発生する過程と、

(d) 軸(26)に関して前記アレイ及び部品の相対的角度向きを変化させ、過程(b)及び(c)を繰り返す過程と、

(e) 複数のチャンネル(20)でエコー信号を処理して、少なくとも1つの処理済エコー信号を形成する過程から成るシングルターン検査方法。

【請求項7】

前記アレイ(14)及び部品の相対的向きを軸(26)に関する回転に限定した上で、部品(10)の最終画像に対応する処理済エコー信号が得られる請求項6記載のシングルターン検査方法。

【請求項8】

パイプ(50)を通過する製品流れを請求項1乃至7のいずれかの検査方法により検査する方法において、

(a) アレイ(14)を形成している複数の変換器(12)を励起して、パイプの中へ超音波エネルギーを送信する過程と、

(b) 反射される超音波エネルギーから複数の受信信号を発生する過程と、

(c) 複数のチャンネル(20)で受信信号を処理する過程から成り、前記処理は、反射される超音波エネルギーに与えられた複数の周波数偏移を判定するために、受信信号を周波数基準と比較することを含む方法。

【請求項9】

更に、

(a) アレイ(14)中の第1の組の変換器(12)を同時に励起する過程と、

(b) 前記アレイ中の第2の組の変換器(12)を受信要素(12)として使用して、部品からの複数の後方散乱超音波信号を受信する過程と、

(c) 前記受信要素を使用して、後方散乱超音波信号から複数の受信信号を発生する過程と、

(d) 受信信号を処理して、1組のビーム形態画像データを形成する過程とを具備することを特徴とする請求項1乃至8のいずれかの方法。

【請求項10】

変換器(12)の単一のアレイ(14)を使用して請求項1乃至9のいずれかの検査方法により部品(10)を検査する方法において、

(a) 前記変換器(12)のうちの少なくとも1つの送信組の変換器を励起して、面垂線(21)に対して角度で部品の検査面(22)に入射する超音波送信ビームを発生する過程と、

(b) 前記アレイ中の変換器(12)のうちの、前記送信組と同様にアレイ中の特定の位置を中心とする少なくとも1つの受信組の変換器を受信要素(12)として使用して、部品からの複数の後方散乱超音波信号を受信する過程と、

(c) 後方散乱超音波信号から複数のエコー信号を発生する過程と、

(d) 複数のチャンネル(20)でエコー信号を処理して、1組のビーム形態画像データを形成する過程から成る方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に工業用の超音波撮影方法に関し、特に、最新のフェーズドアレイ超音波システムを使用して、工業設備で見られる部品及び構造(合わせて「部品」という)で発見される欠陥を検出するための改善された超音波検査方法に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

工業用途でより軽量の部品が使用されるになり、また、より長い技術設計寿命にわたり工業部品が使用されるようになるにつれて、工業設備用に設計された非破壊検査技法の改善が更に求められるようになってきた。現在の要求に応えるためには、より小さな欠陥をより高い生産性をもって検出することが必要である。GE LOGIQ 9及びGE LOGIQ Bookなどの医療用撮影ツールは、工業用として適用した場合に望ましいと考えられる数多くの特徴を含む。

【 0 0 0 3 】

工業用として適用されている従来の超音波検査システムは固定焦点レンズを含むプローブ、又は能力の限定されたフェーズドアレイ撮影技法のいずれかを採用している。その限界は、固定焦点レンズシステムの場合には焦点深度の中で検査を実行することであり、集束ビームを発生するためにフェーズドアレイシステムの限界の中で検査を実行することである。一般に、工業用の従来の超音波システムはパルスエコーモードで単一のプローブを使用するか、あるいはスルットランスミッションモード又はピッチアンドキャッチモードで一对のプローブを使用する。これらのプローブは付属のレンズを使用して焦点から外されるか、又は焦点合わせされることができる。広い深度範囲にわたり高い感度を要求される工業分野での検査は、通常、プローブを適切に焦点合わせした上で複数回の走査を使用して実行される。複数回の走査が要求されるため、このような検査には時間がかかる。また、高感度で、深度範囲の広い検査は、複数のプローブからのデータを監視するためにマルチチャネル収集システムを使用し、各プローブが試験部品内部の別個の深度を監視するようなマルチゾーン方式を使用しても実行されている。工業用の従来の超音波検査システムは、通常、試験部品を単一の角度のビームで問い合わせることに限定されている。角度を規定された超音波ビームは、プローブを試験部品に対してある角度を成す物質の楔に装着するか、又はビームの屈折を発生させるために試験部品の物質速度とは十分に異なる物質速度を有する物質の中にプローブを浸漬するかのいずれかの方法により発生される。

【 0 0 0 4 】

工業用検査に使用される従来のフェーズドアレイ撮影超音波システムは、通常、ビーム整形に限定されており、これらのシステムを更に進歩させた構成は動的深度焦点を提供するが、動的アパーチャサイズ規定は不可能である。ビームの特性を調整するためには、動的アパーチャサイズ規定を実行することが望ましい。

【特許文献1】米国特許 4 4 7 1 7 8 5 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

従って、動的集束と、動的アパーチャサイズ規定の双方を実行する工業用の検査方法を提供することが望ましいであろう。更に、この方法は、試験部品とスタンドオフ、例えば、水スタンドオフとの間の境界面における屈折を補償することが望ましいであろう。また、試験部品/スタンドオフ境界面における屈折に起因する超音波送信ビームのステアリングを補償する工業用検査方法を提供することが望ましいであろう。加えて、湾曲した試験部品/スタンドオフ境界面により引き起こされる表面幾何学形状効果を修正することが望ましいであろう。生産性を向上させるためには、プローブを移動させるという時間のかかる作業なしに工業部品を検査できるように、シングルターン検査方法を提供することも望ましいであろう。更に、超音波検査技法を採用して、パイプを通過する製品流れの品質を検査する方法を提供することが望ましいであろう。検査時間を短縮するためには、フルアレイインソニフィケーションを採用することが望ましいであろう。また、工業用として適用する場合、医療用として通常採用されている最新の超音波撮影システムに画像と対応するプローブ位置との同期を導入することが望ましいであろう。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

簡単に言うと、本発明の一実施例によれば、部品を検査する方法が提供される。検査方

10

20

30

40

50

法は、アレイを形成している複数の変換器を励起して、アレイから選択された光路に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生することを含む。アレイは、物質速度 v_w を有するスタンドオフにより部品から離間されている。検査方法は、変換器を受信要素として使用して複数のエコー信号を発生することと、複数のチャンネルでエコー信号を処理することを更に含む。処理は、エコー信号を選択された光路に沿って部品の少なくとも1つの焦点Pに動的に集束することを含む。動的集束は、部品とスタンドオフとの境界面における超音波送信ビームの屈折を補償するために遅延プロファイル进行调整することと、それぞれのチャンネルでエコー信号に遅延プロファイルを適用して、複数の遅延エコー信号を発生することから成る。処理は、受信側で動的アパーチャを規定するために、活動受信要素の数を距離 R_s の関数として調整することを更に含む。受信要素の数の調整は、部品とスタンドオフとの境界面における超音波送信ビームの屈折を補償することから成る。処理は、活動受信要素からの遅延エコー信号を加算して、集束エコー信号を発生することを更に含む。

10

【0007】

部品を検査する別の方法の実施例は、アレイ中の各々の変換器に別個の励起パルスを印加して、選択された光路に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生することを含む。先に述べたように、アレイは物質速度 v_w を有するスタンドオフにより部品から離間されている。検査方法は、超音波送信ビームを選択された光路に沿って面垂線に対して角度 θ を成すようにステアリングすることを更に含む。ステアリングは、部品とスタンドオフとの境界面における超音波送信ビームの屈折を補償するために送信遅延プロファイルを調整することと、励起パルスを送信遅延プロファイルによって変調することから成る。検査方法は、変換器を受信要素として使用して複数のエコー信号を発生することと、各々が静的受信ステアリング項を含む複数の受信遅延から成る遅延プロファイルを使用して複数のチャンネルでエコー信号を処理することを更に含む。エコー信号の処理は、部品/スタンドオフ境界面における超音波送信ビームの屈折を補償するために静的受信ステアリング項の各々を調整することと、それぞれのチャンネルでエコー信号の遅延プロファイルを適用して、複数の遅延エコー信号を発生することと、受信要素からの遅延エコー信号を加算して、ステアリング済エコー信号を発生することを含む。

20

【0008】

検査面を有する部品を検査するシングルターン方法の実施例も提供される。シングルターン検査方法は、(a)変換器のアレイを部品の検査平面に面するように位置決めすることと、(b)変換器を励起して、アレイから選択された光路に沿って部品に集束される超音波送信ビームを発生することと、(c)変換器を受信要素として使用して複数のエコー信号を発生することと、(d)軸に関するアレイ及び部品の相対的角度向きを変化させ、過程(b)及び(c)を繰り返すことと、(e)複数のチャンネルでエコー信号を処理して、少なくとも1つの処理済エコー信号を形成することを含む。

30

【0009】

パイプを通過する製品流れを検査する方法の実施例も提供される。この検査方法は、アレイを形成している複数の変換器を励起して、パイプ内へ超音波エネルギーを送信することと、反射された超音波エネルギーから複数の受信信号を発生することと、複数のチャンネルで受信信号を処理することを含む。処理は、反射される超音波エネルギーに与えられた複数の周波数偏移を判定するために、受信信号を周波数基準と比較することから成る。

40

【0010】

本発明の上記の特徴、面及び利点並びにその他の特徴、面及び利点は、添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読むことにより更に良く理解されるであろう。図面中、同じ図中符号は一貫して同じ部分を表す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

A 動的アパーチャ及び動的集束

図1及び図2を参照して、部品10を検査する方法を説明する。この方法は、超音波撮

50

影システム 100 をブロック線図の形で例示する図 1 に示すように、アレイ 14 を形成している複数の変換器 12 を励起して、アレイから選択された光路 16 に沿って部品 10 に集束される超音波送信ビームを発生することを含む。各々の変換器 12 は、例えば、送信器 28 により発生されるパルスにより励起される。図 2 に示すように、アレイ 14 は物質速度 c_w を有するスタンドオフ 18 により部品 10 から離間されている。スタンドオフ 18 の例としては水、油及びグリセリンなどのその他の流体、及び機械仕上げされた楔（シュー）などがある。シュー（図示せず）の例は、一方の側で変換器表面の幾何学的形状に適合し、他方の側では部品の幾何学的形状に適合するように機械仕上げされた中実構造である。シューはプレキシガラス又はルサイトから形成されている場合が多い。方法は、変換器 12 を受信要素 12 として使用して複数のエコー信号を発生することと、エコー信号を複数のチャンネル 20 で処理することを更に含む。例えば、反射されて、アレイ 14 に戻された超音波エネルギーは各々の変換器 12 により電気信号（エコー信号）に変換され、一連のスイッチ 32 を介して受信器 30 に別個に印加される。図 1 に示す例のシステムの場合、送信器 28、受信器 30 及びスイッチ 32 は、オペレータにより入力される指令に応答してデジタルコントローラ 19 により制御される。

【0012】

処理は、エコー信号を選択された光路 16 に沿って部品 10 の少なくとも 1 つの焦点 P に動的に集束することを含む。この動的集束は、部品 10 とスタンドオフ 18 との境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために複数の受信遅延から成る遅延プロファイル进行调整することを含む。受信遅延の例には、図 1 では（ T_k ）により指示されている時間遅延及び / 又は位相遅延がある。直線アレイ 14 の場合、各々の受信遅延は、エコー信号が放出される距離で受信超音波エネルギーの動的集束を実行するためにエコーの受信中に变化するビーム集束時間遅延を含む。本明細書に参考として取り入れられている、本出願と共通の譲受人に譲渡された O'Donnell による名称「Dynamic transmit focusing of a steered ultrasonic beam」の米国特許第 5,235,982 号の中で説明されているように、通常、遅延は次のように表せるであろう。

【0013】

$$T_k = (k - (N-1)/2)^2 d^2 \cos^2 \theta / 2Rv$$

式中、R はアレイ 14 の中心から焦点 P までの距離であり、v は部品 10 の物質速度であり、 θ は面垂線 21 に対するビーム 16 の入射角である。しかし、この式は部品 / スタンドオフ境界面 22 における屈折を補償しない。境界面 22 における屈折を補償するためのこの式の調整の一例は次の通りである。

【0014】

$$T_k = [k - (N-1)/2]^2 d^2 \cos^2 \theta / [2(R_w v_w + R_s v_s)]$$

式中、 R_w はスタンドオフ 18 において中心ビーム軸 16 に沿って走るビームの長さであり、 v_w はスタンドオフ 18 における物質速度であり、 R_s は部品 10 において中心ビーム軸 16 に沿って走るビームの長さであり、 v_s は部品 10 における物質速度である。それぞれのチャンネル 20 でエコー信号に遅延プロファイルが適用されて、複数の遅延エコー信号が発生される。例えば、受信器 30 は一連の距離 R_s でエコー信号をサンプリングし（ R_w は所定の角度 θ に対して一定である）、サンプリングされたビームに沿って点 P で動的に集束するために適正な受信遅延を提供する。従って、超音波パルスが放出されるたびに、超音波受信ビームに沿って配置された対応する一連の点 P から反射される音の量を表現する一連のエコー信号サンプルが収集される。

【0015】

受信側で動的アパーチャ 24 を規定するために、処理は、活動受信要素の数を距離 R_s の関数として調整することを更に含む（ R_w は所定の入射角 θ に対して一定である）。ここで使用される語句「活動受信要素」12 は、集束エコー信号全体にエコー受信信号が含まれるような変換器を示す。活動受信要素の例は図 2 に陰影を付けて指示されている。これに対し、非活動受信要素 12 からのエコー信号は、集束エコー信号を計算するときに見視される。受信要素 12 の数の調整は、部品 10 とスタンドオフ 18 との間の境界面 22

10

20

30

40

50

における超音波送信ビームの屈折を補償することを含む。例えば、部品の表面で物質速度が大きく変化することのない部品に超音波ビーム 16 が入射する場合、一定の焦点数 F を維持するために、式 $F = R/A$ に従ってアパーチャ幅 A が調整される。従って、この従来の例においては、距離 R が長くなるにつれて、一定の焦点数 F を維持するために A も増加されなければならない。言い換えれば、より多くの活動受信要素 12 の遅延エコー信号が集束エコー信号に寄与することになる。先に述べた通り、超音波送信ビーム 16 は、物質速度 v_w 及び v_s の不一致によって、部品 10 とスタンドオフ 18 の鏡界面 22 で屈折する。この屈折を補償するために、式 $F = [R_w + R_s(v_s/v_w)]/A$ に従ってアパーチャ幅 A の調整が実行される。

【0016】

以上説明した動的集束及び動的アパーチャサイズ規定に加えて、処理は、全ての活動受信要素からの遅延エコー信号を加算して、集束エコー信号を発生することを更に含む。例えば、集束エコー信号を形成するために、遅延エコー信号は受信器 30 において加算され、集束エコー信号は、例えば、表示装置 17 で画像の 1 つの画素又は 1 本の走査線を生成するために使用されるであろう。

【0017】

動的アパーチャサイズ規定及び動的集束の実行を物質速度の不一致を伴うスタンドオフ 18 により離間された部品 10 とアレイ 14 に関して説明したが、この組み合わせは、例えば、工業用として適用される部品 10 の接触超音波検査にも適用可能である。「接触」とは、アレイ 14 が部品 10 と直接に接触する状態で配置されていること（図 1 及び図 2 には図示せず）を意味する。しかし、スタンドオフ 18 が存在しない場合、部品 10 の表面 22 に物質速度の不一致はないため、部品 10 の表面 22 で屈折は起こらない。従って、スタンドオフ 18 を伴わない場合の部品 10 の超音波検査に際して部品の表面 22 における屈折を補償するために、動的アパーチャ及び動的集束は修正されない。スタンドオフ 18 が存在しない場合の動的アパーチャサイズ規定及び動的集束は、例えば、本明細書に参考として取り入れられている、本出願人の特開昭 54-100178 号に記載されている。

【0018】

動的アパーチャを動的集束と組み合わせると、検査深度全体にわたり所望の焦点特性を制御することが可能になるので好都合である。

【0019】

広い検査領域を形成するために、アレイ 14 は多数の変換器 12、例えば、128 個又は 1024 個の変換器 12 を含んでいることが望ましい。変換器の数に対応してチャンネル 20 の数を増やさずに多数の変換器を使用できるようにし、必要とされるスイッチ 32 の数を減らすために、例えば、本明細書に参考として取り入れられている、本出願と共通の譲受人に譲渡された Thomas 他による名称「Phased Array Sector Scanner with Multiplexed Acoustic Transducer Elements」の米国特許第 5,329,930 号に記載されているように、変換器 12 を多重化しても良い。128 個の変換器 12 を互いに独立して使用することにより、又は 1024 個の変換器 12 を多重化して使用することにより、従来の工業用超音波検査方法と比較して生産性及び検査の融通性を容易に改善できるので好都合である。

【0020】

部品 10 を走査するように超音波ビームを一連の角度 θ を経て移動させるために、ビームを誘導又はステアリングすることが望ましい。更に特定された実施例によれば、各々の変換器 12 を別個の電圧で駆動する（アポダイジング）ために、各々の変換器に別個の励起信号パルスが印加される。図 2 に示されるこの実施例では、検査方法は、選択された光路 16 に沿って面垂線 21 に対して角度 θ を成すように超音波送信ビームをステアリングすることを更に含む。ステアリングは、境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために送信遅延プロファイルを調整することを含む。送信遅延プロファイルは 1 組の送信遅延から成り、各送信遅延は静的ステアリング項を含む。送信遅延の例としては、

10

20

30

40

50

図 1 にも (T_k) により指示されている時間遅延及び / 又は位相遅延がある。ステアリングは、励起信号パルスを送信遅延プロファイルによって変調することを更に含む。例えば、送信器 28 は連続する変換器要素 12 に印加される信号パルスの各々に送信遅延を与える。送信遅延が 0 である場合 ($T_k = 0$)、全ての変換器要素 12 は同時に励起され、その結果、超音波ビームはスタンドオフ 18 と部品 10 との間の境界面 22 に対して垂直に誘導される。超音波ビームをステアリングするために、アレイ 14 の一方の端部 ($k = 1$) から他方の端部 ($k = N$) に向かってそれぞれ k 番目の信号パルスに加えられる送信遅延 T_k を次のように表すことができる。

【 0 0 2 1 】

$$T_k(\theta) = (d/v_w) \sin(k-1)\theta$$

10

式中、 d は図 1 に示すように変換器要素 12 の間の距離である。この送信遅延プロファイル (T_k) は境界面 22 におけるステアリング済超音波ビームの屈折を補償する。

【 0 0 2 2 】

送信時に超音波ビームをステアリングにするのに加えて、検査方法は、遅延エコー信号を発生するためにそれぞれのチャンネルでエコー信号に遅延プロファイルを適用することによりステアリング済集束エコー信号を形成すること（受信時ステアリング）を更に含む。このステアリングの実施例では、遅延プロファイルは 1 組の受信遅延を含み、各受信遅延は静的受信ステアリング項を含む。各々の静的受信ステアリング項は、境界面における屈折を補償するために調整される。受信の場合の静的受信ステアリング項は、それぞれ、先に説明した送信遅延と同じ遅延 $T_k(\theta)$ である。唯一つの角度 (θ) しか指示されていないが、共通の軸 21 に関して複数の角度 ($\theta_1, \theta_2, \dots$) に沿って超音波ビームをステアリングできることは当業者には認識されるであろう。この実施例は単一角度 (θ) ステアリングと、多重角度 ($\theta_1, \theta_2, \dots$) ステアリングの双方を含む。

20

【 0 0 2 3 】

様々な深度 R_i で部品 10 を走査するために、複数回の送信が使用される。この特定の検査方法の実施例では、複数の連続する励起時間間隔 t_i の各々でそれぞれの変換器 12 に別個の信号パルスが印加され、連続する励起時間間隔 t_i の各々についてエコー信号の発生が実行される。例えば、第 1 の時間間隔 t_1 で、各々の変換器 12 は別個に駆動され、第 1 の組のエコー信号が発生される。第 2 の時間間隔 t_2 で、各々の変換器 12 は別個に駆動され、第 2 の組のエコー信号が発生される。この後の時間間隔についても同様である。この実施例の場合、エコー信号は、励起時間間隔 t_i のそれぞれ連続する i 番目の時間間隔の間に選択された光路 16 に沿って様々な距離 R_i で複数の焦点 P_i に動的に集束される。焦点 P_i への動的集束は、部品 10 とスタンドオフ 18 との間の境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために複数の受信遅延 T_{ki} から成るそれぞれ対応する遅延プロファイル (T_{ki}) を調整することを含む。これらの調整は先に説明したように実行される。この特定の実施例の検査方法では、時間間隔 t_i ごとに動的集束を実行するのに加えて、時間間隔 t_i ごとに動的アパーチャサイズ規定が実行される。特に、部品 10 とスタンドオフ 18 との間の境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために、連続する励起時間間隔 t_i の各々について、活動受信要素の数が距離 R_i の関数として調整される。距離 R_i ごとの集束エコー信号を発生するために、連続する励起時間間隔

30

40

【 0 0 2 4 】

その結果生成される画像データを表示するために、複数の深度からの画像データを単一のフレーム（画像）としてアセンブル（スティッチ）することが有用である。この単一フレームは表示システム 17 を使用して表示される。画像スティッチングは当該技術において知られており、従って、ここでは詳細な説明を省略する。しかし、スタンドオフ 18 を経て撮影を実行した場合、従来の医療用超音波撮影システムでは、スタンドオフ 18 の物質速度 (v_w) と部品 10 の物質速度 (v_s) に相違があるために画像に歪みが生じることに注意すべきである。この歪みを図 5 に示す。図示されているように、補償前の画像はス

50

スタンドオフ 18 に対応する画像の部分の比 v_s / v_w だけ歪ませる。境界面 22 における物質速度の不一致を補償するために、特定の一実施例に従ってスタンドオフ 18 に相当する画像の部分の比 v_s / v_w の分だけ縮小する。補償後の画像も図 5 に示す。もう 1 つの修正方法では、スタンドオフ 18 に相当する画像の部分を除去する。これらの修正は、いずれも、例えば、表示システム 17 に適用される撮影ソフトウェアを使用して実行できるであろう。

【 0 0 2 5 】

B . ステアリング

図 1 及び図 2 を参照して、本発明の方法の別の実施例を更に説明する。部品 10 を検査する方法は、アレイ 14 を形成している各変換器 12 に別個の励起パルスを印加して、アレイ 14 から選択された光路 16 に沿って部品 10 に集束される超音波送信ビームを発生することを含む。図 2 に示すように、アレイ 14 は物質速度 c_w を有するスタンドオフ 18 により部品 10 から離間されている。方法は、超音波送信ビームを選択された光路に沿って面垂線 21 に対して角度 θ を成すようにステアリングすることを更に含む。ステアリングは、先に述べたように、境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために送信遅延プロファイル (T_k) を調整することを含む。ステアリングは、先に述べたように、励起パルスを送信遅延プロファイル (T_k) によって変調することを更に含む。検査方法は、変換器 12 を受信要素 12 として使用して複数のエコー信号を発生することと、複数のチャンネル 20 で遅延プロファイルを使用してエコー信号を処理することを更に含む。遅延プロファイルは 1 組の受信遅延から成り、各受信遅延は、先に述べたように、静的受信ステアリング項を有する。処理は、部品 10 とスタンドオフ 18 との境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償するために静的受信ステアリング項の各々を調整することと、それぞれのチャンネル 20 でエコー信号に遅延プロファイル (T_k) を適用して、複数の遅延エコー信号を発生することと、受信要素 12 からの遅延エコー信号を加算して、ステアリング済エコー信号を発生することを含む。第 1 の実施例に関して先に述べたように、エコー信号は各々の変換器 12 により発生され、1 組のスイッチ 32 を介して受信器 30 に別個に印加される。それぞれ k 番目の変換器 12 のエコー信号に受信遅延 T_k () の各々が適用され、対応する遅延エコー信号が形成される。遅延エコー信号は受信器 30 において加算される。

【 0 0 2 6 】

超音波ビームをステアリングすることに加えて、工業部品の検査には動的アパーチャサイズ規定を実行することも有用である。従って、より特定された実施例によれば、処理過程は、受信側で動的アパーチャ 24 を規定するために活動受信要素 12 を距離 R の関数として調整することを更に含む。先に述べた通り、活動受信要素 12 は、ステアリング済エコー信号全体にエコー受信信号が含まれる変換器 12 である。これに対し、非活動受信要素 12 からのエコー信号は、ステアリング済エコー信号を計算するときに無視される。境界面 22 の両側で物質速度に不一致があるため、受信要素 12 の数の調整は境界面 22 における超音波送信ビームの屈折を補償することを含む。例えば、アパーチャ幅 A の調整は、先に述べた通り、式 $F = [R_w + R_s(v_s/v_w)]/A$ に従って実行される。先に述べた通り、 R_w はスタンドオフ 18 において中心ビーム軸 16 に沿って走るビームの長さであり、 c_w はスタンドオフ 18 における物質速度であり、 R_s は部品 10 において中心ビーム軸 16 に沿って走るビームの長さであり、 v_s は部品 10 における物質速度である。 R_w 及び R_s は図 2 に例示されている。このステアリングに動的アパーチャを加えた実施例の場合、加算過程は、全ての活動受信要素 12 からの遅延エコー信号を加算して、ステアリング済エコー信号を発生することを含む。

【 0 0 2 7 】

唯一つの角度 () しか示されていないが、超音波ビームを複数の角度 (、) に関してステアリングしても良いことは当業者には認識されるであろう。この実施例は単一角度 () のステアリングと、多重角度 (、) のステアリングの双方を含む。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

縦波をステアリングするのに加えて、他の波モードをステアリングすることにより工業部品を検査することも望ましいであろう。鍛造物、ピレット、溶接品（溶接物）及びその他の固形物などの工業部品 10 はせん断波及び表面波の伝搬を支援する。簡単に言えば、音波は縦波、せん断波及び表面波の 3 つの主要伝搬モードを有する。その他の伝搬モードにはラム波、ストーンリー波及び拡張波がある。せん断波の速度 v_{sh} は縦波の速度 v_L の約二分の一であり（ $v_{sh} \sim 0.5 v_L$ ）、表面波の速度 v_{su} はせん断波の速度の約 0.9 倍である（ $v_{su} \sim 0.9 v_{sh}$ ）。先に図 2 に関して述べたように、スタンドオフ 18 / 部品 10 の境界面 22（例えば、水 / 鋼の境界面 22）に角度 θ_i で入射する超音波ビームは部品において屈折角 θ_r で屈折し、入射角と屈折角の関係はスネルの法則 $\sin \theta_i / \sin \theta_r = v_w / v_s$ により決定される。特に、3 つのモードの各々は明確に異なる屈折角 θ_r を有する。すなわち、縦波は $\sin \theta_i / \sin \theta_{rL} = v_w / v_L$ により決定される角度 θ_{rL} で屈折し、せん断波は $\sin \theta_i / \sin \theta_{rsh} = v_w / v_{sh}$ により決定される角度 θ_{rsh} で屈折し、表面波は $\sin \theta_i / \sin \theta_{rsu} = v_w / v_{su}$ により決定される角度 θ_{rsu} で屈折する。入射角 θ_i が増すにつれて、それぞれ対応する臨界角 $\theta_{rL} = 90^\circ$ 及び $\theta_{rsh} = 90^\circ$ に達するまで屈折角 θ_{rL} 及び θ_{rsh} は増加し、臨界角に達した時点で縦モード及びせん断モードは部品 10 内でそれ以上伝搬しなくなる。入射角 θ_i の対応する臨界値はスネルの法則により決定され、縦モードとせん断モードでは、2 つのモードの速度 v_L 及び v_{sh} に相違があるために異なる。

【0029】

先に述べた通り、工業部品 10 はせん断波及び表面波の伝搬を支援する。従って、検査方法の別の特定の実施例では、部品 10 に集束されるせん断波超音波送信ビームを発生するために、各々の変換器 12 に別個の励起パルスが印加される。せん断波は同じ周波数で縦波の波長 λ_L の約二分の一に等しい波長 λ_{sh} を有するため、より高い分解能で欠陥を検出できる。更に、入射角 θ_i が第 1 の臨界角 θ_{rL} を超えると、縦波は部品 10 内を伝搬せず、せん断波を使用すると、誤った縦波信号が超音波検査を妨害することなく所望の角度で部品を検査できる。同様に、検査方法の別の特定の実施例の場合には、部品の表面 22 に沿って表面波超音波送信ビームを発生するために、各々の変換器 12 に別個の励起パルスが印加される。表面波を使用して工業部品を超音波検査すると、部品 10 の表面に位置するきず（表面きず）の検出を含めて、部品の表面 22 の検査が容易になる。従来の超音波検査は縦波を採用しており、従って、ボリューム検査ツールである。表面波モードは表面きずの検査及び検査能力を改善する。

【0030】

ここで説明した他の検査技法も同様に上記のせん断波モード検査及び表面波モード検査と有利に組み合わせられることは当業者には認識されるであろう。

【0031】

C. 幾何学的表面形状

例えば、円錐形、円筒形又は複合湾曲形状の表面 22 などの部品 10 の湾曲面 22 に沿って、物質速度 c_w を有するスタンドオフ 18 を経て部品 10 を検査する方法を図 1 及び図 3 を参照しながら説明する。スタンドオフ 18 における物質速度 v_w と部品 10 における物質速度 v_s に不一致があるため、湾曲面 22 は屈折を経て二次レンズ効果を生じ、スタンドオフ 18 はレンズのように機能して、超音波ビームの特性を変化させる。この二次レンズ効果は図 3 に示されており、得られる画像を劣化させる。この検査方法の実施例は二次レンズ効果を修正するもので、少なくとも 1 つの幾何学的表面効果を補償するために送信遅延プロファイル进行调整することを含む。送信遅延プロファイルは 1 組の送信遅延 T_k から成り、各々の送信遅延は静的表面形状項を有する。静的表面形状項は、各要素 12 からのエネルギーを同相で所望の焦点 P に到達させるために要求される遅延を計算するためにフェルマの方程式を使用して判定される。方法は、複数の励起信号パルスを送信遅延プロファイル（ T_k ）で変調することを更に含む。より具体的には、送信器 28 はアレイ 14 の一方の端部（ $k = 1$ ）から他方の端部（ $k = N$ ）までそれぞれ k 番目の励起信号パルスに各々の送信遅延 T_k を与える。方法は、アレイ 14 を形成している変換器 12 の各々に変調済励起信号パルスのうちのそれぞれ別個の 1 つのパルスを印加することを更に

含む。アレイ 14 は部品 10 から距離 R_w をおいて離間されている。このようにして、アレイ 14 から選択された光路 16 に沿って部品 10 に集束される超音波送信ビームが発生される。静的表面形状項を経て、送信遅延 T_k の適用によって送信時の二次レンズ効果は修正される。検査方法は、変換器 12 を受信要素 12 として使用して複数のエコー信号を発生することと、複数のチャンネル 20 でエコー信号を処理することを更に含む。

【0032】

送信時の二次レンズ効果を修正するのに加えて、検査方法は受信時の二次レンズ効果も修正する。従って、エコー信号の処理は、それぞれのチャンネル 20 でエコー信号に遅延プロファイルを適用して、少なくとも 1 つの幾何学的表面効果を補償する複数の遅延エコー信号を発生することを含む。送信遅延プロファイルと同様に、遅延プロファイルは 1 組の受信遅延 (T_k) から成り、各々の受信遅延は静的表面形状項を含む。静的表面形状項も、同様に、各要素 12 からのエネルギーを同相で所望の焦点 P に到達させるために要求される遅延を計算するためにフェルマの方程式を使用して判定される。具体的には、静的表面形状項は送信と受信の双方に対して同一である。より具体的には、受信遅延 T_k は、デジタルコントローラ 19 の制御の下で受信器 30 によりそれぞれ k 番目の受信要素 12 からのエコー信号に適用される。

【0033】

エコー信号の処理は、受信要素 12 からの遅延エコー信号を加算して、幾何学的表面効果補償済エコー信号を発生することを更に含む。エコー信号は、例えば、デジタルコントローラ 19 の制御の下で受信器 30 において加算される。

【0034】

D. シングルターン検査

工業用として適用される場合、通常はピレット及び鍛造物などの多数の部品 10 が検査される。従って、検査時間を短縮し、検査費用を低減するためには検査プロセスの効率を良くすることが重要である。検査効率を向上させるために、検査面 22 を有する部品 10 を検査するシングルターン検査方法の実施例が提供される。図 4 を参照して、シングルターン検査方法を説明する。シングルターン検査方法は、例えば、図 4 に示すように、変換器 12 のアレイ 14 を部品 10 の検査面 22 に面するように位置決めすることを含む。アレイ 14 は検査面 22 に直接に面していても良いし、あるいはスタンドオフ 18 を挟んで面していても良い。また、アレイ 14 は部品 10 と半径方向又は軸方向に整列されても良い。図 4 において、「R」及び「A」とマークされたアレイ 14 は、それぞれ、部品 10 と半径方向に整列されたアレイ及び軸方向に整列されたアレイである。更に、アレイ 14 は部品 10 に沿って半径方向と軸方向の双方に延出するように、例えば、直角を成して配列されるように（図示せず）形成されても良い。シングルターン検査方法は、変換器 12 を励起して、アレイ 14 から選択された光路 16 に沿って部品 10 に集束される超音波送信ビームを発生することを更に含む。変換器 12 を受信要素 12 として使用して複数のエコー信号が発生される。シングルターン検査方法は、軸 26 に関するアレイと部品の相対的角度向きを変化させることと、変換器 12 を励起する過程及び複数のエコー信号を発生する過程を繰り返すことを更に含む。アレイ 14 と部品 10 の相対的角度向きは軸 26 に関してアレイ 14 を回転させるか、又は部品 10 を回転させることにより変化される。複数のチャンネル 20 でエコー信号は処理され、少なくとも 1 つの処理済エコー信号が形成される。ここでは、処理過程は軸 26 に関してアレイ 14 を回転させた後に実行されているが、この順序は順次処理と一斉処理の双方を含むことを理解すべきである。順次処理の場合、アレイ 14 を申し分のない位置に配置し、変換器 12 を起動し、1 組のエコー信号を発生し、処理する。その後、アレイ 14 を回転させ、第 2 の組のエコー信号に対して起動、発生及び処理の各過程を繰り返す。これ以降も同様である。同様に、一斉処理の場合には、軸 26 に関してアレイ 14 をある角度ずつ増分回転するたびに、いくつかの組のエコー信号を発生し、その後、それらの組のエコー信号を処理する。その結果得られた処理済エコー信号は別個のフレームとして表示されるか、又は部品の単一の画像を形成するために互いにステッチされた状態で表示される。

【 0 0 3 5 】

軸 2 6 に関して複数の角度増分ごとに部品 1 0 を検査することにより、部品表面 2 2 に沿ってアレイ 1 4 を並進移動することが回避され、そのため、検査プロセスの総体的効率を向上でき、好都合である。シングルターン方法の特定の一実施例によれば、アレイ 1 4 と部品 1 0 の相対的な向きを軸 2 6 に関する回転に限定した上で、部品 1 0 の最終画像に対応する処理済エコー信号を得る。「限定する」とは、最終画像が軸 2 6 に関するアレイ 1 4 (又は部品 1 0) の 1 つ以上の回転向きで得られ、部品 1 0 に対してアレイ 1 4 をその他の方法で再度位置決めしないことを意味している。例えば、この実施例では、部品 1 0 に対してアレイ 1 4 を並進移動させないことが必要である。この実施例の場合、軸 2 6 に関してアレイ 1 4 を回転させることにより部品 1 0 の関心領域全体が走査されるように、アレイ 1 4 は関心領域全体にわたって延在するほど十分に大きいことが望ましい。例えば、単一の大型アレイ又は一体に結合されたいくつかの小型アレイのいずれかが使用される。この実施例は、アレイ 1 4 又は部品 1 0 を位置決めし直すという時間のかかる煩雑な作業を回避するという点で好都合である。

10

【 0 0 3 6 】

湾曲した検査面 2 2 を有する部品 1 0 (図 4 には図示せず) に適用可能である更に特定された実施例によれば、位置決め過程は、アレイ 1 4 を湾曲した検査面 2 2 の輪郭形状に直接に合わせて配置するか、又はスタンドオフ 1 8 を挟んで配置することを更に含む。

【 0 0 3 7 】

E . スルートルランスミッション

シングルアレイ検査に加えて、部品 1 0 は、図 6 に示すように、送信アレイ 1 4 と受信アレイ 1 4 との間に部品 1 0 を位置決めすることにより検査されても良い。従来、スルートルランスミッション超音波検査によって部品 1 0 を検査するときには単独の超音波プローブ (図示せず) が使用されている。部品を走査するために、それらのプローブは数回移動される。送信と受信にアレイ 1 4 を使用することにより、部品 1 0 を電子的に走査することが容易になり、そのため、部品 1 0 に沿って検査機器を機械的に移動させるという時間のかかる作業が回避されるので好都合である。

20

【 0 0 3 8 】

F . ピッチアンドキャッチ

別の従来の検査技法を図 7 に示す。図示されているように、超音波送信ビームは第 1 のプローブ 4 2 により検査部品 1 0 に向かって「投げられ」(ピッチ)、第 2 のプローブ 4 2 により「受け止められる」(キャッチ)。この技法は亀裂先端回折検出に採用されている。図示されている構成は部品 1 0 にある亀裂 4 0 の底と先端を検出し、その情報から亀裂 4 0 の大きさを判定するために使用される。しかし、この技法ではプローブ 4 2 を機械的に操作することが必要であるので、その作業は相対的に遅く、煩雑である。個別のプローブ 4 2 を変換器 1 2 のアレイ 1 4 と置き換えることにより、図 7 に関連して説明した技法は改善される。図 8 及び図 1 1 は、ピッチングとキャッチングの双方に対して単一のアレイ 1 4 を使用する改善された「ピッチアンドキャッチ」検査方法を示す。具体的には、超音波ビームを送信するために、アレイ 1 4 中の変換器 1 2 のうちの少なくとも一部の変換器が励起され、変換器 1 2 のうちの少なくとも一部の変換器が反射される超音波エネルギーを受け取る。図 8 及び図 1 1 では、変換器 1 2 の中で送信に使用される変換器を「T」、受信に使用される変換器を「R」で示している。図 8 に示すように、1 組の変換器 1 2 を送信に使用し、1 組の変換器を受信に使用しても良い。図 1 1 の実施例の場合、送信には 1 組の変換器 1 2 が使用され、受信には 2 組の変換器が使用されている。このシングルアレイピッチアンドキャッチの実施例は図 8 及び図 1 1 に示す特定の構成に限定されず、変換器のうちの少なくとも一部が送信時にビームを形成し、変換器 1 2 のうちの別の少なくとも一部の変換器が部品 1 0 からの反射ビームを受け取るような単一のアレイ 1 4 の配列を全て含む。

30

40

【 0 0 3 9 】

G . ドブブラー

50

血流を測定するために超音波を使用することは知られており、血流を監視するために開発された超音波技法を配管類又はパイプ（例えば、化学薬品供給パイプ）を通過する製品の流れ、又は計装パイプ（例えば、熱交換器流れに使用される）を通過する製品の流れを監視するなどの工業用としての用途に拡張することが望ましいであろう。工業用途において製品が流れるパイプ、配管類及びその他の容器をここではまとめて「パイプ」と呼ぶ。パイプの壁に堆積物（又はビルドアップ）が付着すると、パイプを通る製品流れが制限され且つ／又は混乱するため、パイプを通過する製品流れの検査を行うことが望ましい。更に、熱交換器は詰まり又はファウリングを起こして、流れを制限することもある。超音波は、そのような問題を検出し、監視するための非破壊、非侵入検査方法を提供するので望ましい。

10

【 0 0 4 0 】

図 9 を参照して、パイプ 5 0 を通過する製品流れを検査する方法を説明する。方法は、アレイ 1 4 を形成している複数の変換器 1 2 を励起して、パイプ 5 0 内へ超音波エネルギーを送信することを含む。例えば、変換器 1 2 はコントローラ 1 9 の制御の下で T / R（送受信）スイッチ 3 2 を介して送信器 2 8 により励起される。図 9 では、アレイ 1 4 はパイプ 5 0 と接触している状態で示されているが、アレイ 1 4 とパイプ 5 0 は水、超音波エネルギーをパイプ 5 0 及びアレイ 1 4 に結合するのに適する別の液体、又はシュー（図示せず）などのスタンドオフにより離間されていても良いことに注意すべきである。方法は、反射される超音波エネルギーから複数の受信信号を発生することと、複数のチャンネル 2 0 で受信信号を処理することを更に含む。図 9 に示す実施例の場合、受信信号は受信要素 1 2 として動作する変換器 1 2 により発生される。処理は、反射される超音波エネルギーに与えられた複数の周波数偏移を判定するために受信信号を周波数基準と比較することを含む。処理は、例えば、デジタルコントローラ 1 9 により制御される受信器 3 0 により実行される。更に特定された実施例によれば、処理は、パイプ 5 0 を通過する製品流れの画像を生成することを更に含む。図 9 の実施例では、画像は周知の撮影ソフトウェア（図示せず）を使用して表示装置 1 7 に表示される。パイプを通過する製品流れの画像を生成することにより、パイプの壁の堆積物によって起こる流れ制限を検出し、監視することができる。

20

【 0 0 4 1 】

別の実施例においては、検査方法は、周波数偏移を可聴出力に変換することを更に含む。例えば、周波数偏移は可聴出力に変換され、その可聴出力は、GE LOGIQ 9 で提供されるような周知のオーディオソフトウェア（図示せず）を使用して少なくとも 1 つのスピーカ 4 4 を介して送信される。周波数偏移を可聴出力に変換することにより、オペレータがパイプを通過する製品流れに伴う問題を迅速に検出するための手段が提供される。

30

【 0 0 4 2 】

H . フルアレイインソニフィケーション

工業部品の超音波検査の信号対雑音比を向上させるために、別の工業用超音波検査方法はフルアレイインソニフィケーションを含む。図 1 0 を参照して、部品 1 0 を検査する方法を説明する。検査方法は、図 1 0 に例示するように、アレイ 1 4 中の第 1 の組の変換器 1 2 を同時に励起することを含む。この例の第 1 の組の変換器 1 2 は、変換器 1 2 に陰影を付けることにより示されている。この第 1 の組に含まれる変換器 1 2 の数と共に、信号対雑音比は大きくなる。特定の一実施例によれば、第 1 の組の変換器 1 2 はアレイ 1 4 を形成している全ての変換器を含む。言い換えれば、この特定の実施例では、アレイ 1 4 を形成している各々の変換器 1 2 は同時に励起され、それにより、フルアレイインソニフィケーションを実行するということになる。第 1 の組の変換器は、例えば、デジタルコントローラ 1 9 の制御の下で送信器 2 8 により励起される。

40

【 0 0 4 3 】

検査方法は、アレイ中の第 2 の組の変換器 1 2 を受信要素 1 2 として使用して部品 1 0 からの 1 組の後方散乱超音波信号を受信することと、受信要素 1 2 を使用して後方散乱超音波信号から複数の受信信号を発生することを更に含む。特定の一実施例によれば、第 2

50

の組の変換器 1 2 はアレイ 1 4 を形成している全ての変換器 1 2 を含む。方法は、受信信号を処理して、1 組のビーム形態画像データを形成することを更に含む。受信信号は、例えば、デジタルコントローラ 1 9 の制御の下で受信器 3 0 により処理される。これらの処理過程は知られており、処理過程の例は、本明細書に参考として取り入れられ、本出願と共通の譲受人に譲渡された Chiao 他による名称「Method and Apparatus for Ultrasonic Synthetic transmit Aperture Imaging Using Orthogonal Complementary Codes」の米国特許第 6, 0 4 8, 3 1 5 号に記載されている。

【 0 0 4 4 】

第 1 の組の変換器 1 2 を同時に励起することにより、部品 1 0 内部の関心領域全体がインソニファイされるので、アレイ 1 4 を形成している変換器 1 2 を連続して励起することを経て部品 1 0 を電子的に走査する必要はなくなる。このように、図 1 0 に示す方法においては、検査アレイ 1 4 を形成する変換器 1 2 を連続して駆動する場合と比較して、検査データを獲得できる速度が増加する。それに対応して、撮影（従って、検査）時間が短縮されるために、生産性が向上するが、これは工業設備においては特に好都合である。ビレット 1 0 を検査する場合にこの方法の実施例を適用すると、ビレット 1 0 は第 1 の組の変換器 1 2 を一度駆動することにより完全にインソニファイされ、それにより、変換器 1 2 を連続して励起するときと比較して検査時間が短縮されるので好都合である。

【 0 0 4 5 】

I . 画像位置

医療用として適用するための超音波検査システムは進歩しており、動的集束、動的アパーチャ、ステアリング及びドップラー周波数偏移などの、工業用として適用する場合に望ましいいくつかの特徴を提供する。医療用に使用される最新の超音波検査システムの例としては、GE LOGIQ 9 及び GE LOGIQ Book がある。しかし、医療用に使用される超音波検査システムは、通常、新たな画像形成シーケンスをトリガする任意のタイミング基準に基づいた事前定義済走査速度を採用している。「任意」とは、タイミング基準がアレイの位置にリンクされていないという意味である。しかし、工業用として適用する場合には、検査後に部品 1 0 の特徴を完全に判定するために、所定のフレーム（画像）が収集された位置を識別することが望ましい。従って、先に説明した検査方法は、アレイ 1 4 と検査すべき部品との相対位置に同期して画像（フレーム）を収集するのが好ましい。特に、採用されるタイミング基準はアレイ 1 4 と部品 1 0 との相対位置と同期するように選択される。例えば、運動の軸の位置を追跡するために符号器を使用しても良い。一般的なパルス / 位置同期技法は「パルスオンポジション」（略して「POP」）と呼ばれ、機械的システム（この場合にはアレイ 1 4）が次のデータ収集位置に到達したときに 1 つの TTL レベルパルスを印加する。

【 0 0 4 6 】

先に述べたように、GE LOGIQ 9 及び GE LOGIQ Book などの、医療用に使用される多くの超音波検査システムは、通常、画像をそれが収集される位置と同期させない。従って、本発明の別の実施例では、GE LOGIQ 9 及び GE LOGIQ Book などの超音波検査システムは、アレイ 1 4 の機械的位置に同期したデータを収集するように変形されている。特に、タイミング入力及びタイミング出力は位置と相関するように適合される。医療用として使用される超音波検査システムに対するタイミング入力の例には、EKG 入力又はフットペダルスイッチ（図示せず）に対応する回路がある。

【 0 0 4 7 】

本発明のいくつかの特徴のみを図示し、説明したが、当業者は数多くの変形及び変更が想定できるであろう。なお、特許請求の範囲に記載された符号は、理解容易のためであってなんら発明の技術的範囲を実施例に限縮するものではない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 8 】

【図 1】超音波撮影システムのブロック線図。

【図 2】部品とスタンドオフがそれぞれ異なる物質速度 v_s 及び v_w を有する場合にスタン

10

20

30

40

50

ドオフにより分離されたアレイと部品を示す図。

【図 3】変換器のアレイと湾曲面を有する部品との間でスタンドオフにより引き起こされる二次レンズ効果を示す図。

【図 4】シングルターン検査方法を示す図。

【図 5】部品の物質速度とは異なる物質速度を有するスタンドオフに関する補償を伴う場合と、伴わない場合における部品の「スティッチ」画像を示す図。

【図6】スルードランスミッション検査方法を示す図。

【図 7】従来の「ピッチアンドキャッチ」検査技法を示す図。

【図 8】ピッチングとキャッチングの双方に変換器のアレイを使用する改善されたピッチアンドキャッチ検査技法を示す図。

【図 9】パイプを通過する製品流れを検査する方法を示す図。

【図 10】アレイにおける第 1 組の変換器の各々の同時励起を示す図。

【図 1 1】ピッチングとキャッチングの双方に単一の変換器アレイを使用する別の改善されたピッチアンドキャッチ検査技法を示す図。

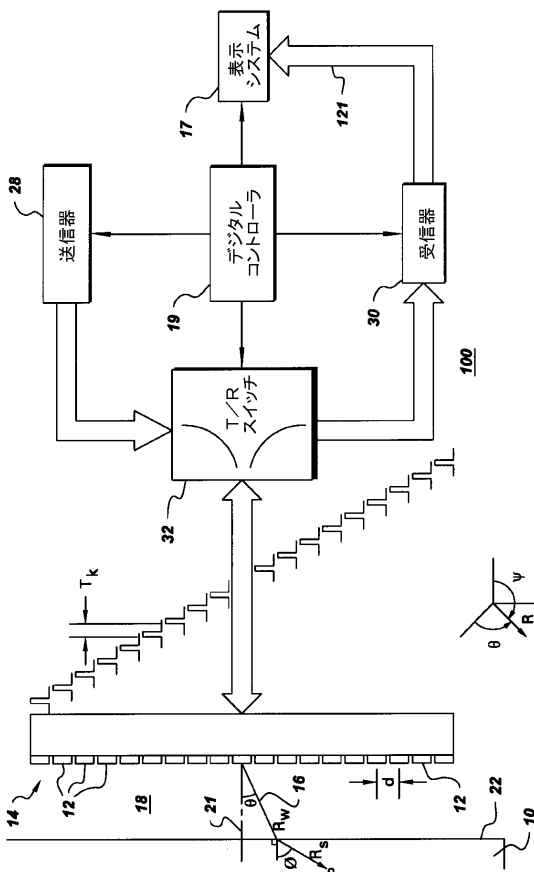
【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

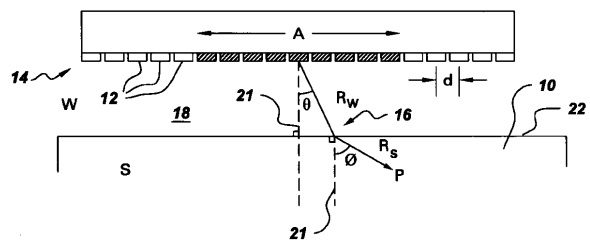
10...部品、12...変換器、14...アレイ、16...光路、18...スタンドオフ、20...
チャンネル、22...境界面(検査面)、24...動的上パーチャ、26...軸、50...パイプ

10

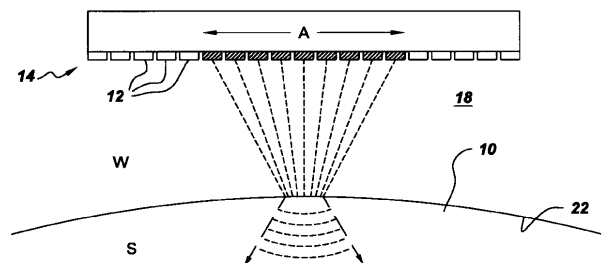
【圖 1】



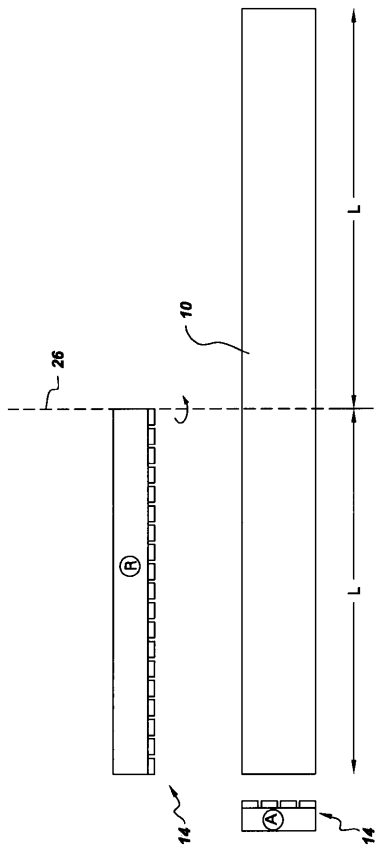
【圖 2】



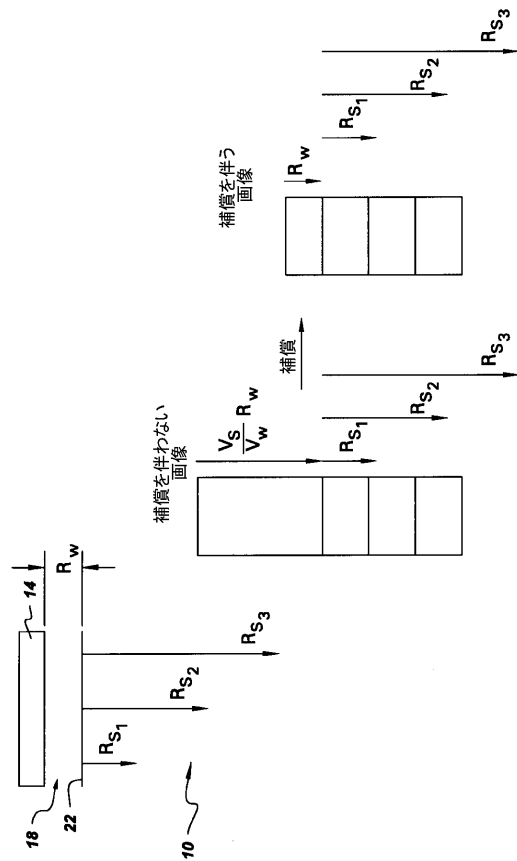
【 図 3 】



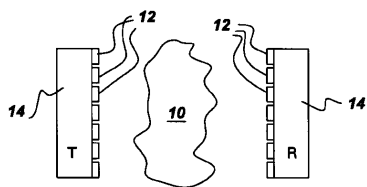
【図 4】



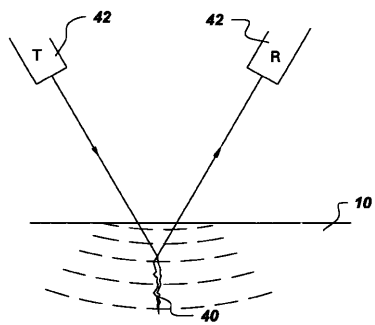
【図 5】



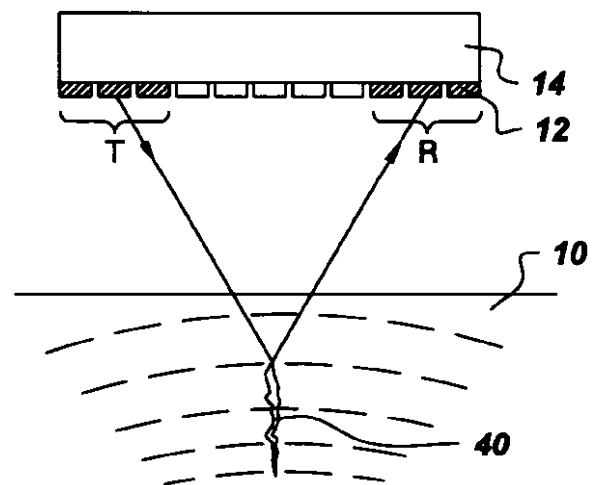
【図 6】



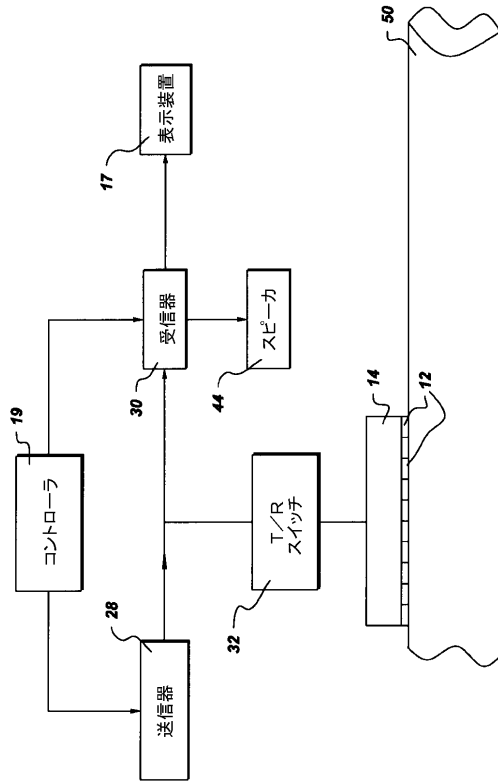
【図 7】



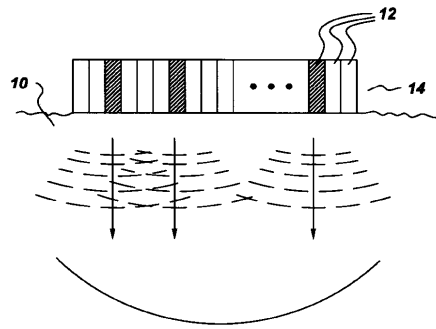
【図 8】



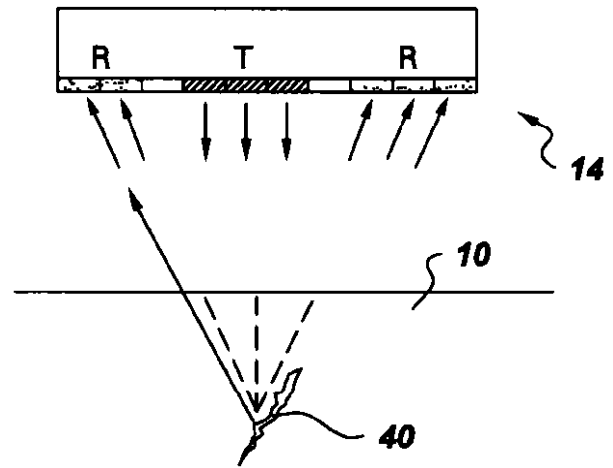
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
A 6 1 B 8/00 (2006.01) A 6 1 B 8/00

- (72)発明者 トマス・ジェームズ・バツィンゲル
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、バート・ヒルズ、ケリー・メドウ・ロード、12番
- (72)発明者 ウェイ・リー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ピー36、ヒルサイド・アベニュー、1197番
- (72)発明者 ロバート・スニー・ギルモア
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、バート・ヒルズ、ピーオー・ボックス・567、イースタン・アベニュー、1111番
- (72)発明者 エドワード・ジェームズ・ニーターズ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、バート・ヒルズ、ケリー・メドウ・ロード、18番
- (72)発明者 ウィリアム・トマス・ハットフィールド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、キース・アベニュー、1305番
- (72)発明者 リチャード・ユージーン・クラッセン
アメリカ合衆国、オハイオ州、ウエスト・チェスター、パインミル・ドライブ、7156番
- (72)発明者 ジェームズ・ノーマン・パーシンジャー
アメリカ合衆国、ペンシルベニア州、アーロンズバーグ、ウエスト・アーロン・スクウェア、348番
- (72)発明者 ブルーノ・ハンス・ハイダー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストン・レイク、ウエストサイド・ドライブ、64番
- (72)発明者 カール・ローレンス・チャレク
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、グレンビル、サラトガ・ドライブ、36番
- (72)発明者 ロバート・ジョン・マクエリゴット
アメリカ合衆国、オハイオ州、ラブランド、パイン・コウブ・レーン、6327番
- (72)発明者 デビッド・チャールズ・フランクリン
アメリカ合衆国、オハイオ州、シンシナティ、ティファニー・リッジ、3501番

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特許第2501488(JP, B2)
特表平08-507951(JP, A)
特開昭61-140860(JP, A)
特開昭61-210947(JP, A)
特許第2943438(JP, B2)
実開昭59-190209(JP, U)
特開昭59-051345(JP, A)
国際公開第00/040996(WO, A1)
特公平06-064027(JP, B2)
特開平11-051912(JP, A)
米国特許第06048315(US, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 1 N 2 9 / 0 0 - 2 9 / 5 2
A 6 1 B 8 / 0 0 - 8 / 1 5