

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3747921号

(P3747921)

(45) 発行日 平成18年2月22日(2006.2.22)

(24) 登録日 平成17年12月9日(2005.12.9)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 29/04 (2006.01)

GO 1 N 29/04 5 O 1

GO 1 N 29/44 (2006.01)

GO 1 N 29/10 5 O 4

GO 1 N 29/22 5 O 1

請求項の数 18 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-175683 (P2003-175683)
 (22) 出願日 平成15年6月20日(2003.6.20)
 (65) 公開番号 特開2005-10055 (P2005-10055A)
 (43) 公開日 平成17年1月13日(2005.1.13)
 審査請求日 平成16年10月28日(2004.10.28)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100075096
 弁理士 作田 康夫
 (72) 発明者 永島 良昭
 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
 株式会社 日立製作所 電力
 ・電機開発研究所内
 (72) 発明者 小池 正浩
 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
 株式会社 日立製作所 電力
 ・電機開発研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガイド波を用いた非破壊検査装置及び非破壊検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

非破壊検査装置の送信波形に基づいて被検査体内にガイド波を発生させる送信素子と、前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信する受信素子と、
 前記送信波形の基準となる基準波形が、前記被検査体内にガイド波として伝播した後の波形を計算で求め、その計算で求めた計算波形を時間反転させて前記送信波形を作成する波形作成手段と、

前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を出力する解析手段と、

前記検査情報を表示する表示手段とを備えたガイド波を用いた非破壊検査装置。

10

【請求項2】

前記波形作成手段は、前記基準波形が、前記被検査体内に前記送信素子と前記検査領域の間、及び前記検査領域と前記受信素子の間の合計距離を、前記ガイド波として伝播した後の波形を計算で求め、その計算で求めた計算波形を時間反転させて前記送信波形を作成する波形作成手段である請求項1に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項3】

前記送信素子と前記受信素子とは、前記ガイド波の発生時と前記反射波の受信時に用いられる同一の素子である請求項1又は請求項2に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項4】

20

前記基準波形は、受信素子に受信したい波形とした請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 5】

前記表示手段が、基準波形を表示する手段を備える請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 6】

前記表示手段が、前記送信波形を表示する手段を備える請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 7】

前記波形作成手段が、前記被検査体の検査領域を前記ガイド波の伝播方向に複数の検査セグメントに分割したそれら各検査セグメント毎に少なくとも一つの前記送信波形を作成する手段を備えた請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。 10

【請求項 8】

前記解析手段は、前記受信波形から、前記検査セグメントのある距離に相当する時間領域の受信波形部分を抽出し、前記抽出した受信波形部分を連結することで、前記検査領域の全域の受信波形を形成する手段を備えた請求項 7 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 9】

前記被検査体は配管であって、且つ前記送信素子と前記受信素子とが前記配管の周囲に円環状に複数配列され、前記ガイド波送信手段及び前記ガイド波受信手段に対して前記送信素子及び前記受信素子の接続を切り替える素子切替手段を有する請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。 20

【請求項 10】

前記被検査体は配管であって、前記送信素子と前記受信素子を前記配管の円周方向に機械的に走査するスキャナを有する請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 11】

前記被検査体は配管であり、前記解析手段は、前記検査結果を前記配管の周方向を平面に展開した面に表示する検査画像の情報を作成して、前記情報の映像信号を出力する構成を備え、前記表示手段は、前記情報を受信して、前記検査画像を表示する構成を備えている請求項 1 又は請求項 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。 30

【請求項 12】

非破壊検査装置の送信波形の基準となる基準波形が、被検査体内にガイド波として伝播した後の波形を計算で求め、その計算で求めた計算波形を時間反転させて前記送信波形を作成するステップと、

前記送信波形に基づいて被検査体内にガイド波を発生させるステップと、

前記被検査体の前記検査領域から前記ガイド波の反射波を受信素子で受信するステップと、

前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を得るステップと、 40

前記検査情報を表示するステップと、

を備えているガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 13】

前記基準波形が、前記非破壊検査装置の送信素子と前記被検査体の検査領域の間、及び前記検査領域と前記非破壊検査装置の受信素子の間の合計距離を、前記被検査体内にガイド波として伝播した後の波形を計算で求め、その計算で求めた計算波形を時間反転させて前記送信波形を作成するステップを備えている請求項 12 に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 14】

前記被検査体の検査領域を前記ガイド波の伝播方向に複数の検査セグメントに分割する 50

ステップと、

前記検査セグメント毎に、前記検査セグメントを検査領域とする前記送信波形を作成して少なくとも1つの前記検査セグメントに一つの前記送信波形を割り当てるステップと、

前記割り当てられた前記送信波を用いて前記検査セグメント毎に反射波形を受信するステップと、

前記受信した反射波形から、前記検査セグメントに該当する位置からの受信波形部分を抽出するステップを含む請求項12又は請求項13に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項15】

前記抽出した受信波形部分を連結することで連結受信波形を得るステップを含む請求項14に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

10

【請求項16】

前記被検査体は配管であって、前記配管の検査領域を円周方向に複数の円周セグメントに分割するステップと、

前記円周セグメント毎に、前記受信波を得るステップと、

前記円周セグメント毎に、前記連結受信波形を得るステップと、
を含む請求項15に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項17】

前記円周セグメント毎に得た前記連結受信波形を用いた検査結果を、前記配管の平面展開図上に表示するステップを含む請求項16に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

20

【請求項18】

前記送信波形の周波数と前記被検査体の肉厚との関係が、周波数(MHz)×肉厚(mm) 0.5、かつ周波数(MHz)×肉厚(mm) 4.0を満足するようにされている請求項12乃至請求項17のいずれかに記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、配管の劣化をガイド波を用いて長距離区間一括して検査する非破壊検査装置及び非破壊検査方法に関する。

【0002】

30

【従来の技術】

各種プラントに用いられる配管は、建設から長期間が経過すると、その配管の内外面からの劣化、即ち腐食や侵食が顕在化してくる。これらの劣化が進行して配管の肉厚を貫通するまでに至ると、漏洩事故につながる恐れがある。このため、配管の肉厚の状態を、非破壊的な手段により評価し、漏洩に至る以前に、配管の交換や補修といった対策を施す必要がある。

【0003】

音波を用いた非破壊測定手段の代表的なものに、超音波厚み計がある。超音波厚み計は、一般には、電気と音響を相互に変換する圧電素子から成る超音波センサを用いて、対象配管中にバルク波（縦波や横波といった弾性波）を励起して、配管底面で反射した弾性波を同一もしくは別の超音波センサで受信して、配管の肉厚を測定する装置である。

40

【0004】

この装置は、受信波の受信時間を肉厚に換算するという測定原理上、高い精度で配管の肉厚を測定することができる一方で、検査範囲は、センサの大きさとほぼ同等程度に限られる。長尺の配管のように検査要求範囲が広くなると、測定点の増加により、多大な検査時間を要するという欠点がある。また、保温材がある配管や、埋設配管、垂直配管などアクセス性に問題のある配管においては、検査の準備・片付けに要する時間も多大である。

【0005】

このような問題に対する一つの対応策として、ガイド波（配管や板のように境界面を有する物体中を、反射やモード変換しながら進行する縦波・横波の干渉によって形成される弾

50

性波)を用いて配管の長距離区間を一括して検査する方法がある。この方法は、ガイド波が配管の周方向断面積が変化する位置で反射する特徴を利用した方式である。配管の軸方向に、配管の中心軸に対して対称の単一モードのガイド波を伝播させて、その反射波の波高値や出現時間から減肉あるいは欠陥の大きさと軸方向位置を測定する。減肉あるいは欠陥以外に、溶接線からの反射波も得られるが、減肉あるいは欠陥からの反射波が、配管の中心軸に対して非軸対称に振動するのに対して、溶接線からの反射波が軸対称に振動する特徴を捉えて識別する(特に、特許文献1を参照)。

【0006】

また、検出信号と参照信号との相関を求めて、その相関の極大値に基づいて高精度に欠陥の位置等を特定する弾性波を用いた配管の検査装置(特に特許文献2を参照)が公知である。

【0007】

【特許文献1】

特表平10-507530号公報

【特許文献2】

特開2002-236113号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

前記の従来技術は、ガイド波の励振リングにトーンバースト波(4サイクルのトーンバースト波を図26に例示)を印加するとして説明されている。しかしながら、ガイド波は、音速が周波数によって変化する特性(以下、音速が周波数によって変化することを分散すると称し、この特性を分散特性と称する)を示すので、群速度(波束(波の塊)が進む速度)が、一定でない周波数帯域のガイド波を利用すると、遠方にある減肉や欠陥に対しての検出性能が低下する。

【0009】

この現象について詳細に説明する。例えば、材質が炭素鋼(縦波音速=5940m/s,横波音速=3260m/s)で、外径114.3mm,肉厚6mm(肉厚と外径の比が0.052)の配管の場合、周波数と肉厚の積とガイド波の音速の関係は、図27に示すようになることが理論的にわかっている。同図(a)は位相速度を示しており、51aはL(0,1)モード、52aはL(0,2)モード、53aはL(0,3)モード、54aはL(0,4)モードと呼ばれ、L(n,m)で表すmの数字が大きいほど板厚方向の変位分布が複雑になる。モードによる変位の特徴を模式的に示したのが図28であり、上から順にL(0,1)モード、L(0,2)モード、L(0,3)モードを示している。

【0010】

図27(b)は群速度を示しており、51bはL(0,1)モード、52bはL(0,2)モード、53bはL(0,3)モード、54bはL(0,4)モードである。L(0,2)モードの場合、約150kHz以下の帯域(周波数×肉厚=0.9MHzmm以下)で群速度52bがほぼ一定になるが、300kHzから500kHzの付近(周波数×肉厚が1.8~3.0MHzmm)は、群速度52bが周波数によって大きく変化する。

【0011】

この理論を検証するために、外径114.3mm,肉厚6mm,長さ5500mmの配管に、端部から1500mmの位置に欠陥を施し、中心周波数500kHzのL(0,2)モードガイド波を送信して、欠陥からの反射波形を検出した。その結果を図29の説明図に示す。図29(a)は、センサを欠陥から200mm離して(配管端部から1700mmの位置に)設置した場合での反射波形であり、61は欠陥からの反射波形、62は配管端部からの反射波形である。図29(b)は、センサを欠陥から1000mm離して(配管端部から2500mmの位置に)設置した場合での反射波形であり、63は欠陥からの反射波形、64は配管端部からの反射波形である。欠陥からの反射波形である61と63を比較すると、センサと欠陥の距離が遠い反射波形63の方が、明らかに波動の持続時間が長くなっている。これは、前述したように音速が周波数によって異なる分散特性を示すためであり、このよ

10

20

30

40

50

うな周波数帯域を使うと、ガイド波のエネルギーが、伝播距離が長くなるにしたがって時間軸上で広がって振幅が低下し、特に微小な割れや減肉の検出に支障をきたすこととなる。

【0012】

音速が分散する帯域は、一般に周波数が高い帯域に良く現れるので、周波数を下げるのが一つの対応策であるが、同時に波長が長くなるので、微小な欠陥に対する感度が悪化することになる。

【0013】

本発明は、周波数で音速が分散する比較的周波数が高い帯域を利用しながらも、分散による振幅の低下を補償して、長距離区間を一括して検査可能な非破壊検査装置及びその方法を提供することを目的としている。

10

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の目的を達成するために、本発明の非破壊検査装置は、基準波形を用いて送信波形を作成する波形作成手段と、前記送信波形が印加されて被検査体内にガイド波を発生させる送信素子と、前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信する受信素子と、前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を出力する解析手段と、前記検査情報を表示する表示手段とを備えている。

【0015】

同じく、本発明の非破壊検査方法は、基準波形を用いて送信波形を作成するステップと、前記送信波形を送信素子に印加して被検査体内にガイド波を発生させるステップと、前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信素子で受信するステップと、前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を得るステップと、前記検査情報を表示するステップとを備えている。

20

【0016】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の第1の実施形態における装置の構成を、図1から図3を用いて説明する。図1は、本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図であり、同図において、1はガイド波送受信素子であって送信素子と受信素子とにガイド波の発生時とそのガイド波の反射波の受信時に用いられる送受信共通の素子、2は送受信素子リング、3はガイド波送受信手段、4はA/D変換器、5は波形作成・解析手段、6は入力手段、7は表示手段である。ガイド波とは、超音波であって、配管や板のように境界面を有する物体中を、反射やモード変換しながら進行する縦波や横波の干渉によって形成される弾性波と定義される。ガイド波送受信素子1は、共通の圧電素子を、送信時には送信素子として、受信時には受信素子として用いられる。尚、送信素子専用の圧電素子と、受信素子専用の圧電素子を近接して備えるようにして、送受信の用途別に専用化してもかまわない。

30

【0017】

ガイド波送受信素子1は、配管9にガイド波を発生させる素子で、例えば圧電素子で構成されており、配管9に接触して配置され、ガイド波送受信手段3と同軸ケーブルを介して電氣的に接続されている。送受信素子リング2は、複数のガイド波送受信素子1を配管の周囲に円環状に把持する治具で、好ましくは、ガイド波送受信素子1を円周方向に等間隔に格納する構造を持ち、配管に対して着脱可能な構造とする。送受信素子リング2は、リング状のフレームをリングの直径に沿って切断した2分割の構造を有し、その分割端はネジで結合されてリング状に組み立てられている。したがって、配管9の外周囲にリング状のフレームを組み立てると送受信素子リング2は配管の外周に装着される。その送受信素子リング2のリング状のフレームの内側には、複数のガイド波送受信素子1が格納されるとともに、送受信素子リング2のリング状のフレームから配管9の外周面に向けて伸縮するバネで支持されている。そのため、その送受信素子リング2が配管9の外周面に装着されると、複数のガイド波送受信素子1がバネで配管9の外周面に押し当てられてガイド波送受信素子1から配管9に対してガイド波を発生させやすいようにされる。

40

50

【 0 0 1 8 】

ガイド波送受信手段 3 は、ガイド波を送信するためにガイド波送受信素子 1 に送信波形を印加して、さらにガイド波送受信素子 1 からの受信波形を増幅する手段で、波形作成・解析手段 5 とデジタルデータを通信できるように接続され、また、受信波形を、A / D 変換器 4 に送るように同軸ケーブルを介して接続されている。このガイド波送受信手段 3 は、例えば、送信波形の周波数を任意に設定できるシンセサイザ、もしくは任意波形発生器と、それらの信号を増幅するパワーアンプと、市販の超音波レシーバ、もしくは広帯域アンプで構成することができる。

【 0 0 1 9 】

A / D 変換器 4 は、アナログ信号をデジタル信号に変換する機能を有し、ガイド波送受信手段 3 から出力されるガイド波の受信波形をデジタル波形として波形作成・解析手段 5 に通信するように接続される。この A / D 変換器 4 は、例えば、市販のオシロスコープやコンピュータ組み込み式のボードタイプが利用される。

10

【 0 0 2 0 】

波形作成・解析手段 5 は、送信波形の作成や受信波形の解析を行うとともに、配管検査装置の全体の動作を統括する手段であって、コンピュータなどで構成でき、操作者の指示を受け付けるキーボードなどの入力手段 6 及び C R T などの表示手段 7 に接続される。

【 0 0 2 1 】

次に、ガイド波送受信素子 1 の構成例を、図 2 を用いて説明する。同図において、1 0 1 はアクリル、1 0 2 は厚み振動子、1 0 3 は厚み振動子 1 0 2 から送信された縦波、9 は配管、8 は配管 9 を伝播するガイド波である。厚み振動子 1 0 2 は、配管 9 に対して縦波 1 0 3 を入射角度 θ で入射するように斜角に配置され、入射角度 θ は、屈折角度を 90° としたスネルの法則 $\sin \theta = \sin^{-1}(C_w / c(\theta))$ で算定される。ここで、 C_w はアクリルの縦波音速、 $c(\theta)$ (θ はガイド波の中心角周波数) は、発生させたいモードの位相速度である。

20

【 0 0 2 2 】

例えば、アクリルの縦波音速を 2720 m/s とすると、 $L(0, 2)$ モードの周波数 \times 肉厚 = $3 \text{ MHz} \times \text{mm}$ では、位相速度が 3480 m/s (図 27 (a) 参照) なので、入射角度 θ は 51° に決定される。なお、1 0 1 の材質はアクリルに限らず、ポリスチレンやその他の樹脂系材質を用いることができる。

30

【 0 0 2 3 】

図 3 は、ガイド波送受信手段 3 とガイド波送受信素子 1 との接続図である。同図において、1 a, 1 b, 1 c はガイド波送受信素子であり、すべてガイド波送受信手段 3 に並列に接続されている。このため、ガイド波送受信手段 3 から印加された送信波形は、ガイド波送受信素子 1 a, 1 b, 1 c を同時に振動させることができる。

【 0 0 2 4 】

次に、本発明の第 1 の実施形態における配管検査装置の動作を、図 1, 図 4, 図 5, 図 7、および波形作成・解析手段 5 の内部処理を示す図 6 のフローチャートを用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段 5 は、検査条件の入力を求める (ステップ S 1)。このとき、表示手段 7 に、図 4 (a) に示す検査条件設定ウインドウを表示し、配管の肉厚、材質もしくは音速 (縦波と横波の音速)、および検査領域 (ガイド波送受信素子 1 を原点 (0 mm) とする距離) の入力を求める。図 4 には記載していないが、さらに、配管の外径の入力を求めるようにしておいても良い。

40

【 0 0 2 5 】

配管の材質が入力された場合、予め格納された材質と音速とを対応させるデータベースを参照し、入力された材質の縦波と横波の音速を求める。また、必要に応じて、図 4 (b) に示す基準波形選択 / 表示ウインドウを表示し、後述する送信波形の基準となる基準波形の候補を複数表示して、選択を求める。また、サイクル数、中心周波数の入力を求め、入力された条件の基準波形を基準波形プレビューに表示して、入力を補助する。

【 0 0 2 6 】

50

また、表示手段 7 に、図 5 に示す送信波形表示ウインドウを表示し、検査領域を複数のセグメントに分割をするか否かを選択させるが、本実施形態は、セグメントを分割しない場合 (No にチェックマーク) についての説明である。

【0027】

すべての条件が入力されると、波形作成・解析手段 5 は、送信波形を自動作成する (ステップ S 2)。送信波形の自動作成は、次に示す数式を波形作成・解析手段 5 中にソフトウェアとして実装することで実現されるが、この内容を図 7 を参照して説明する。

【0028】

初めに、基準波形 $u(t)$ (図 7 (a)) に、式 (1) に基づくフーリエ変換を施して、複素フーリエ成分 $U(\omega)$ を求める。図 7 (d) に示した波形が受信素子に受信したい波形であり、これが基準波形 $u(t)$ と同等の波形となる。

10

【0029】

【数 1】

$$U(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-i\omega t} dt \quad \cdots \text{式 (1)}$$

【0030】

次に、 $U(\omega)$ に、距離 d (ガイド波送受信素子 1 から検査領域 R の中心までの距離) を往復伝播したとき、すなわち距離 $2d$ を伝播したときに相当する位相遅延を与え、逆フーリエ変換を施して、距離 $2d$ 伝播後の計算波形 $u(2d, t)$ (図 7 (b)) を算出する (式 (2))。最後に、式 (4) により計算波形 $u(2d, t)$ を時間反転させて、送信波形 $u'(t)$ (図 7 (c)) を得る。

20

【0031】

【数 2】

$$u(2d, t) = 2 \operatorname{Re} \int_0^{\infty} U(\omega) e^{i(k(\omega)2d - \omega t)} d\omega \quad \cdots \text{式 (2)}$$

$$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)} \quad \cdots \text{式 (3)}$$

30

$$u'(t) = u(2d, t_{\max} - t) \quad \cdots \text{式 (4)}$$

【0032】

ここで、 ω は角周波数、 $c(\omega)$ はガイド波の位相速度、 t_{\max} は、群速度の最小値を c_{\min} とするとき $t_{\max} = 2d / c_{\min}$ で決定される時間である。なお、ガイド波の位相速度 $c(\omega)$ は、J.L. Rose 著の "Ultrasonic Waves in Solid Media" の p p. 159 - 162 に述べられている特性方程式の数値解を解くことで求められることが知られているが、詳細は省略する。

40

【0033】

作成された送信波形 $u'(t)$ は、ガイド波送受信手段 3 に転送されるとともに、送信波形表示ウインドウ (図 5) に表示される。一例を挙げれば、検査領域 R が $500 \text{ mm} \sim 1500 \text{ mm}$ であると、検査領域の中心は、 1000 mm であるので、距離 $d = 1000 \text{ mm}$ として、送信波形が計算され、送信波形プレビューに表示される。

【0034】

次に、ガイド波の送受信を行う (ステップ S 3)。ガイド波の送受信は、波形作成・解析手段 5 が、ガイド波送受信手段 3 へトリガ信号を送出することで開始される。トリガ信号を検出したガイド波送受信手段 3 は、ガイド波送受信素子 1 に送信波形を印加すると同時

50

に、A/D変換器4に対してトリガ信号を送信する。

【0035】

送信波形を印加されたガイド波送受信素子1は、機械的に振動することによって、配管9に対してガイド波8を励起する。ガイド波8は、配管9を軸方向に伝播するが、このうち、割れや減肉などの不連続な点(D0)で反射した成分は、ガイド波送受信素子1で受信され、受信波形としてガイド波送受信手段3に入力される。ガイド波送受信手段3は、受信波形を増幅して、増幅した受信波形をA/D変換器4に送る。

【0036】

A/D変換器4は、ガイド波送受信手段3がガイド波送受信素子1に送信波形を印加すると同時に発生させたトリガ信号に同期して、信号のデジタル化を開始しており、増幅した受信波形は、A/D変換器4でデジタル信号に変換され、波形作成・解析手段5に転送される。次に、検査情報として検査結果を表示する(ステップS4)。この場合の検査結果は、時間もしくは距離を横軸として波形で表示される。以上で、動作を終了する。

10

【0037】

次に、本発明の第1の実施形態により、欠陥のある配管を実際に検査した試験結果の例を、図8と図9を用いて説明する。試験に用いた配管は、発明が解決しようとする課題の中で述べたものと同じく、外径114.3mm、肉厚6mm、長さ5500mmの炭素鋼管であり、端部から1500mmの位置に欠陥を施してある。

【0038】

ガイド波送受信素子1を欠陥から1000mmの位置(端部からは2500mm)に配置し、本実施形態により検査を実施した。検査条件設定ウィンドウで、配管の肉厚を6mm、材質を炭素鋼、検査領域を500mm~1500mmと入力し、基準波形選択/表示ウィンドウで、トーンバースト波を選択し、サイクル数を4、中心周波数を500kHzと入力した。このとき送信波形表示ウィンドウに表示される送信波形は図8のようになる。また、検査情報としての検査結果は、図9(b)の通りであり、通常を送信波形を用いた場合である図9(a)と比較すると、時間軸上での波の広がりが抑制されることが確認された。

20

【0039】

なお、L(0,1)モードやL(0,2)モードの群速度(図27の51bや52b)が大きく変わる領域では、通常を送信波形を用いた波形(図9(a)の63に相当)の時間軸上の広がりが元々大きいので、本実施形態を適用することでW24のような波形になり、波形の時間軸上の広がりを抑制する効果が非常に高い。具体的には、周波数(MHz)×肉厚(mm)が0.5から4.0の領域で用いるのが良い。

30

【0040】

前述した本発明の第1の実施形態によれば、周波数で音速が分散する比較的周波数が高い帯域を利用しながらも、配管の特定の位置において、分散による振幅の低下を補償することができるので、配管の特定の位置における欠陥の検出感度を向上することができる。

【0041】

次に、本発明の第2の実施形態として、検査領域を軸方向に複数のセグメントに分割して各セグメント毎に送信波形を割り当てて検査する実施形態を説明する。本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図は、第1の実施形態のブロック図である図1と同じであるので、説明は省略する。

40

【0042】

本発明の第2の実施形態における配管検査装置の動作を、図10、図13、および波形作成・解析手段5の内部処理を示す図6、図11、図12のフローチャートを用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段5は、検査条件の入力を求める(ステップS1)。このときの動作は、本発明の第1の実施形態に準じるが、本実施の形態では、図10(a)に示す例のように送信波形表示ウィンドウにおいて、セグメント分割でYesを選択する。このとき、検査セグメントの分割条件はセグメント数で入力され、波形作成・解析手段5は、各検査セグメント長さが同じになるように検査セグメントを決定し、ガイド波送受信素子1に近い順にセグメントに番号を割り当てる。

50

【 0 0 4 3 】

また、図 1 0 (b) に示すように、検査セグメントの区間が個別に入力されるようにもできる。すべての条件が入力されると、波形作成・解析手段 5 は、送信波形を自動作成する (ステップ S 2) 。この内容を図 1 1 のフローチャートを用いて説明する。はじめに、検査セグメントを示す変数 j に 1 を代入する (ステップ S 2 0 1) 。次に、変数 j がセグメント数以下かどうか判定を行う (ステップ S 2 0 2) 。 $j = 1$ のときは Yes の判定となるので、ステップ S 2 0 3 に進むが、このとき No の判定であればステップ S 2 0 6 に進む。次に、基準波形 $u(t)$ と、ガイド波送受信素子 1 から第 j の検査セグメントの中心までの距離 d をもとに、送信波形 $u(t)$ を演算する (ステップ S 2 0 3) 。このときの演算内容は、本発明の第 1 の実施形態と同じであるので、説明は省略する。

10

【 0 0 4 4 】

次に、送信波形 $u(t)$ をメモリに格納する (ステップ S 2 0 4) 。次に、変数 j に 1 を加算する (ステップ S 2 0 5) 。次に、ステップ S 2 0 2 に戻るが、変数 j がセグメント数以下の間は、S 2 0 2 S 2 0 3 S 2 0 4 S 2 0 5 を繰り返し、全ての検査セグメントに対して送信波形 $u(t)$ を算出する。変数 j がセグメント数を越えた場合、波形作成・解析手段 5 はガイド波送受信手段 3 に一連の送信波形 $u(t)$ を転送する (ステップ S 2 0 6) 。

【 0 0 4 5 】

以上のステップで、送信波形の作成処理を終了する。作成されたすべての送信波形は、送信波形表示ウインドウ (図 1 0) に表示され、確認できるようになっている。次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波を送受信する (ステップ S 3) 。このときの動作は、本発明の第 1 の実施形態と同じであるが、波形作成・解析手段 5 が、ガイド波送受信手段 3 へトリガ信号を送出する前に、送信波形選択信号を送出し、送信信号を選択するステップが追加される。

20

【 0 0 4 6 】

次に、検査情報である検査結果を解析・表示する (ステップ S 4) 。この内容を、図 1 2 のフローチャートと図 1 3 を用いて説明する。はじめに、波形作成・解析手段 5 は、検査セグメントを示す変数 j に 1 を代入する (ステップ S 4 0 1) 。次に、変数 j がセグメント数以下かどうか判定を行う (ステップ S 4 0 2) 。 $j = 1$ のときは Yes の判定となるので、ステップ S 4 0 3 に進むが、このとき No の判定であればステップ S 4 0 5 に進む。次に、検査セグメント j の受信波形を読み出す (ステップ S 4 0 3) 。

30

【 0 0 4 7 】

次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し (ステップ S 4 0 4) 、ステップ S 4 0 2 に進む。変数 j がセグメント数以下の間は、S 4 0 2 S 4 0 3 S 4 0 4 を繰り返し、全ての検査セグメントに対して受信波形を読み出す。変数 j がセグメント数を越えた場合、読み出した受信波形に対して、検査セグメントの位置に相当する時間ゲートを設け、各ゲート内の信号を抜き出して、時間軸上で連結する (ステップ S 4 0 5) 。

【 0 0 4 8 】

次に、波形作成・解析手段 5 は、時間もしくは距離を横軸とした波形を映像信号として表示手段 7 に出力し、表示手段 7 は映像信号を受信して波形を表示する (ステップ S 4 0 6) 。表示の一例を図 1 3 に示す。同図において、(a) は第 2 の検査セグメント R 2 に対して高感度になる送信波形をガイド波送受信素子 1 に印加したときの受信波形であり、2 1 は送信波形、2 2 は R 2 にある欠陥からの反射波形、2 3 は R 3 にある欠陥からの反射波形、G 2 は R 2 に相当するゲートである。

40

【 0 0 4 9 】

また、図 1 3 (b) は第 3 の検査セグメント R 3 に対して高感度になる送信波形をガイド波送受信素子 1 に印加したときの受信波形であり、2 4 は送信波形、2 5 は R 2 にある欠陥からの反射波形、2 6 は R 3 にある欠陥からの反射波形、G 3 は R 3 に相当するゲートである。各ゲート内の波形を連結したのが、図 1 3 (c) で示した連結波形である。感度

50

が良いゲート内の波形を連結することで、すべての検査セグメントに対して、高感度な波形を得ることができる。

【 0 0 5 0 】

図 1 4 は、本発明の第 2 の実施形態により作成した送信波形の例である。このときの基準波形は、式 (5) で与えるトーンバースト波 (周波数 5 0 0 k H z) である (形状は図 2 6 と同じ) 。

【 0 0 5 1 】

【 数 3 】

$$u(t) = \begin{cases} \sin(\omega t) & 0 \leq t \leq 8(\mu s) \\ 0 & t < 0, t > 8(\mu s) \end{cases} \quad \dots \text{式 (5)}$$

10

【 0 0 5 2 】

図 1 4 (a) の送信波形 W 2 0 は、 $d = 5 0 0 \text{ mm}$ として式 (4) に基づき計算した送信波形である。すなわちガイド波送受信素子 1 から送信されたガイド波が、 $5 0 0 \text{ mm}$ 離れた位置にある欠陥から反射して、再びガイド波送受信素子 1 で受信される際に、ガイド波の持続時間が短時間となるように、位相速度のデータ (図 2 7 (a) の 5 2 a) を参照して計算した波形である。 $d = 1 0 0 0 \text{ mm}$ 、 $d = 2 0 0 0 \text{ mm}$ で計算した送信波形は、各々図 1 4 (b) の W 2 1、図 1 4 (c) の W 2 2 のようになる。

20

【 0 0 5 3 】

次に、本発明の第 2 の実施形態により作成した送信波形により、ガイド波を励起した場合の効果を図 1 5 を用いて説明する。ガイド波送受信素子 1 と欠陥の距離 d を変えて反射波を収録した。図 1 5 はその結果で、図 1 5 (a) は、基準波形を $5 0 0 \text{ k H z}$ のトーンバースト 4 サイクルとして $d = 5 0 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形 $u(t)$ を用いて $5 0 0 \text{ mm}$ 先にある欠陥からの反射波形を収録した結果である。

【 0 0 5 4 】

図 1 5 (b) は、 $d = 1 0 0 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形 $u(t)$ を用いて $1 0 0 0 \text{ mm}$ 先にある欠陥からの反射波形を収録した結果、図 1 5 (c) は、 $d = 2 0 0 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形 $u(t)$ を用いて $2 0 0 0 \text{ mm}$ 先にある欠陥からの反射波形を収録した結果である。W 2 3、W 2 4、W 2 5 は欠陥からの反射波形であるが、いずれの信号も図 2 9 の反射波形 6 1 や 6 3 と比べると、持続時間が短くなっている。なお、W 2 6、W 2 7、W 2 8 は送信波形である。

30

【 0 0 5 5 】

図 1 6 は、ガイド波送受信素子 1 から欠陥までの距離と受信波形の振幅の関係を測定した試験結果を示している。同図において、3 1 は $d = 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形 (基準波形と同じ) を用いた場合、3 2 は $d = 2 5 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形を用いた場合、3 3 は $d = 5 0 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形を用いた場合、3 4 は $d = 1 5 0 0 \text{ mm}$ として計算した送信波形を用いた場合である。いずれの結果も、ガイド波の持続時間が短時間となる距離において、相対振幅が極大値を示しており、結果に対する感度が高くなっていることがわかる。測定結果 3 1 との差が、本実施形態に基づく送信方法を採用したことによる改善分である。

40

【 0 0 5 6 】

前述した本発明の第 2 の実施形態によれば、本発明の第 2 の実施形態で説明した配管の軸方向を複数の検査セグメントに分割して、各検査セグメント毎に異なる送信信号で送受信した受信信号を連結するので、配管のすべての位置を高い感度で検査することが可能になる。

【 0 0 5 7 】

次に、本発明の第 3 の実施形態を図 1 7 を用いて説明する。第 3 の実施形態における装置

50

構成は、第1及び第2の実施形態と同じであるので、説明は省略する。本実施形態における配管検査装置の動作は、本発明の第2の実施形態に準じるが、検査結果の解析・表示処理(図12)において、ステップS405の後に、次の機能が追加される。すなわち、波形作成・解析手段5は、受信波形を図17(a)に示す分散振幅補正曲線41が、その包絡線42に対して低下する分を補正し、補正した波形を、新たに受信波形とする。

【0058】

例えば、図17(b)が受信波形の連結波形であるとする、波形22に対しては振幅差43を補正する。補正したことによって、分散振幅補正後の連結波形は、図17(c)のようになり、波形22は波形22aのように振幅が補正して示される。なお、この分散振幅補正曲線41は、図16の試験に基づくデータから作成される。

10

【0059】

前述した本発明の第3の実施形態によれば、検査セグメントの中心から外れた位置において、信号レベルが低下するのを補正することで、特定の位置で検出性能が悪化するのを抑える効果がある。

【0060】

次に、本発明の第4の実施形態を図18から図24を用いて説明する。

【0061】

図18は、本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図であり、同図において、1はガイド波送受信素子、2は送受信素子リング、3はガイド波送受信手段、4はA/D変換器、5は波形作成・解析手段、6は入力手段、7は表示手段、10は素子切替手段である。

20

【0062】

素子切替手段10は、波形作成・解析手段5からの制御信号によって制御され、ガイド波送受信手段3と接続するガイド波送受信素子1を選択する手段で、例えば、市販のマルチプレクサで構成される。その他の構成は、本発明の第1の実施形態と同様であるので、説明は省略する。

【0063】

図19は、素子切替手段10とガイド波送受信素子との接続図である。同図において、1a, 1b, 1cはガイド波送受信素子であり、各々素子切替手段10のチャンネル1, チャンネル2, チャンネル3と接続されている。チャンネル4以降は、図中に接続線を省略しているが、同様に他のガイド波送受信素子と一対一に接続されている。

30

【0064】

次に、本発明の第4の実施形態における配管検査装置の動作を、図6, 図20と図21のフローチャート、及び図22を用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段5は、検査条件の入力を求める(ステップS1)。ここでの動作は、本発明の第2の実施形態と同じであるので、説明は省略する。次に、送信波形を自動作成する(ステップS2)。ここでの動作も、本発明の第2の実施形態と同じであるので、説明は省略する。

【0065】

次に、ガイド波を送受信する(ステップ3)。この内容を図20を参照して説明する。はじめに、メモリ中に格納されたチャンネルを示す変数iに1を代入する(ステップS301)。次に、変数iがチャンネル数以下かどうか判定を行う(ステップS302)。i=1のときはYesの判定となるので、ステップS303に進むが、このときNoの判定であれば動作を終了する。ステップS303では、波形作成・解析手段5は、素子切替手段10に素子選択信号を送出する(ステップS303)。

40

【0066】

素子選択信号を受けた素子切替手段10は、スイッチ10aを切り替えて、ガイド波送受信手段3とチャンネル1を電氣的に接続する。これによって、ガイド波送受信手段3とガイド波送受信素子1aが接続される。次に、メモリ中に格納された検査セグメントを示す変数jに1を代入する(ステップS304)。次に、変数jが検査セグメント数以下かどうか判定を行う。j=1のときはYesの判定であるので、ステップS306に進むが、Noの判定であればステップS310に進む(ステップS305)。

50

【 0 0 6 7 】

次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波送受信手段 3 が第 1 の検査セグメント R 1 に対して作成した送信波形を準備するように、ガイド波送受信手段 3 に送信波形選択信号を送る（ステップ S 3 0 6）。次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波送受信手段 3 に対して、送信のトリガ信号を送る（ステップ S 3 0 7）。トリガ信号を検出したガイド波送受信手段 3 は、素子切替手段 1 0 を介してガイド波送受信素子 1 a に送信波形を印加すると同時に、A / D 変換器 4 に対してトリガ信号を送信する。送信波形を印加されたガイド波送受信素子 1 a は、機械的に振動することによって、配管 9 に対してガイド波 8 a を励起する。

【 0 0 6 8 】

ガイド波 8 a は、配管 9 を軸方向に伝播するが、このうち、割れや減肉などの不連続な点で反射したガイド波は、ガイド波送受信素子 1 a で受信され、受信波形としてガイド波送受信手段 3 に入力される。ガイド波送受信手段 3 は、受信波形を増幅して、増幅した受信波形を A / D 変換器 4 に送る。A / D 変換器 4 は、ガイド波送受信手段 3 がガイド波送受信素子 1 a に送信波形を印加すると同時に発生させたトリガ信号に同期して、信号のデジタル化を開始しており、増幅した受信波形は、A / D 変換器 4 でデジタル信号に変換され、波形作成・解析手段 5 に転送される。

【 0 0 6 9 】

次に、波形作成・解析手段 5 は、デジタル信号をメモリに格納する（ステップ S 3 0 8）。次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し（ステップ S 3 0 9）、ステップ S 3 0 5 に進む。変数 j が検査セグメント数以下の間は、S 3 0 5 S 3 0 6 S 3 0 7 S 3 0 8 S 3 0 9 が繰り返し実行され、配管 9 の軸方向の複数の検査セグメントに対して、各検査セグメント毎に作成した送信波形によるガイド波を送信して、全ての受信波形をデジタル信号としてメモリに格納していく。変数 j が検査セグメント数を超えたときに、変数 i に 1 を加算する（ステップ S 3 1 0）。

【 0 0 7 0 】

次に、変数 i がチャンネル数以下かどうか判定を行うが、変数 i がチャンネル数以下の間は、S 3 0 2 S 3 0 3 S 3 0 4（S 3 0 5 ~ S 3 0 9 の繰り返しループ）S 3 1 0 が繰り返し実行され、配管 9 の周方向に配列されたすべてのガイド波送受信素子に対して、S 3 0 5 ~ S 3 0 9 の繰り返しループを実行する。変数 i が検査セグメント数を超えた場合、動作を終了する。

【 0 0 7 1 】

次に、検査情報である検査結果を解析・表示する（ステップ S 4）。この内容を図 2 1 を用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段 5 は、メモリ中に格納されたチャンネルを示す変数 i に 1 を代入する（ステップ S 4 1 1）。次に、変数 i がチャンネル数以下かどうか判定を行う（ステップ S 4 1 2）。i = 1 のときは Y e s の判定となるので、ステップ S 4 1 3 に進むが、このとき N o の判定であればステップ S 4 1 5 に進む。

【 0 0 7 2 】

次に、波形作成・解析手段 5 は、チャンネル i で収録した全検査セグメントの受信波形を読み出して連結する（ステップ S 4 1 3）。この処理の内容は、本発明の第 2 の実施における検査情報である検査結果の解析・表示処理（図 1 2）からステップ S 4 0 6 を除いた処理に等しいので、説明は省略する。

【 0 0 7 3 】

次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し、ステップ S 4 1 2 に進む（ステップ S 4 1 4）。変数 j が検査セグメント数以下の間は、S 4 1 2 S 4 1 3 S 4 1 4 が繰り返し実行されることで、すべてのチャンネルの全セグメントの受信波形を読み出して連結する。ステップ S 4 1 2 で、変数 i がチャンネル数を超えた場合、波形作成・解析手段 5 は、全てのチャンネルの連結波形を用いて、配管の周方向を平面に展開した検査画像の情報を作成する（ステップ S 4 1 5）。この検査画像の情報の作成過程は、通常の超音波探傷における B スコープの映像化処理と同じであるので詳細は省略する。

10

20

30

40

50

【0074】

次に、波形作成・解析手段5は、検査画像の情報の映像信号を表示手段7に出力し、表示手段7は、映像信号を受信し、図22(d)に示すような検査画像を表示する(ステップS416)。

【0075】

次に、本発明の第4の実施形態により、欠陥のある配管を検査した結果の例を、図23と図24を用いて説明する。図23(a)は、検査体系を模式的に示したもので、外径114mm、厚さ6mm、長さ5500mmの配管9に、ガイド波送受信素子1が端部から100mmの位置に円周方向に32個配置され、送受信素子リング2によって把持されている。

【0076】

D1, D2, D4, D5はすり鉢状の減肉欠陥であり、D1は最大で80%(4.8mm)が減肉した欠陥、D2は最大で50%(3.0mm)が減肉した欠陥、D4は最大で40%(2.4mm)が減肉した欠陥、D5は最大で20%(1.2mm)が減肉した欠陥である。D3は直径4mmの貫通ドリルホールである。

【0077】

各欠陥の周方向位置は、D1が0°、D2が180°、D3が0°、D4が90°、D5が-90°である。R1, R2, R3, R4, R5, R6は、いずれも検査セグメントで、R1が0から250mm、R2が250mmから750mm、R3が750mmから1250mm、R4が1250mmから1750mm、R5が1750mmから2250mm、R6が2250mmから5500mmである。送信波形を生成するための基準波形は、500kHzのトーンバースト波4サイクルである。図23(b)は、検査結果(全チャンネルの合成映像)である。信号W1, W2, W3, W4, W5が示すように、すべての模擬欠陥を検出できている。

【0078】

図24は、比較のために測定した従来の送信方法を用いた試験結果であり、送信波形を500kHzのトーンバースト4サイクルとした場合である。信号W6, W7, W8, W9は、各々欠陥D1, D2, D3, D4からの反射波形であり、比較的大きな欠陥は検出できているが、最も小さい欠陥D5を検出するまでには至っていない。

【0079】

前述した本発明の第4の実施形態によれば、本発明の第2の実施形態で説明した配管の軸方向を複数の検査セグメントに分割して、各検査セグメント毎に異なる送信信号で送受信した受信信号を連結する機能に加え、さらに周方向に複数のガイド波送受信素子を配置して、切り替えて送受信して、各信号を合成して検査画像とするので、欠陥の周方向の位置が測定できるとともに、視覚的に容易に認識しやすい検査結果を得ることができる。

【0080】

次に、本発明の第5の実施形態を図25を用いて説明する。図25は、本発明の第5の実施形態による配管検査装置のブロック図であり、同図において、11は走査機構、12はスキャナ制御手段であり、その他の構成は本発明の第1の実施形態と同じである。本実施形態により、配管に発生した減肉を検出する手順は、本発明の第3の実施形態に準じるので説明は省略する。第3の実施形態との違いは、ガイド波送受信素子1が単一である代わりに、ガイド波送受信素子1を把持した走査機構11を有することで、走査機構が配管の周方向に走査することで、円周方向の複数セグメントを測定できる点にある。

【0081】

前述した本発明の第5の実施形態によれば、複数の円周セグメントで同じガイド波送受信素子1を利用するので、検査結果のばらつきを抑えることが可能で、さらに、ガイド波送受信素子のコストを抑える効果がある。特に、円周セグメントの数を多くしたいときに有用である。

【0082】

【発明の効果】

以上のように、本発明の非破壊検査装置及び非破壊検査方法によれば、ガイド波の群速度

10

20

30

40

50

が一定にならない高い周波数域を利用する場合においても、長距離区間を一括して感度良く検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図 2】ガイド波送受信素子の構造の例を説明する図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態におけるガイド波送受信手段とガイド波送受信素子の接続図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態における検査条件設定ウィンドウと基準波形選択 / 表示ウィンドウの表示例である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態における送信波形表示ウィンドウの表示例である。

10

【図 6】本発明の第 1 の実施形態により、配管を検査するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 7】送信波形を演算する過程を説明する図である。

【図 8】特定の検査領域からの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起する場合の送信波形の例を示す図である。

【図 9】特定の検査領域からの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起した場合に、特定の検査領域にある欠陥に対する感度が向上する試験結果を示す図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施形態における送信波形表示ウィンドウの表示例である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態により、送信波形を自動作成するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

20

【図 12】本発明の第 2 の実施形態により、検査結果を解析・表示するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 13】受信波形を連結して検査結果を得る過程を説明する図である。

【図 14】特定の検査セグメントからの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起する場合の送信波形の例を示す図である。

【図 15】特定の検査セグメントからの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起した場合に、特定の検査セグメントにある欠陥に対する感度が向上する試験結果を示す図である。

【図 16】特定の距離で分散による振幅低下を補償するようにガイド波を励起した場合に、特定の距離にある反射源で反射したガイド波を受信した信号の例を示す図である。

30

【図 17】本発明の第 3 の実施形態により、ガイド波送受信素子からの距離によって、受信波形の振幅を補正する方法を説明する図である。

【図 18】本発明の第 4 の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図 19】本発明の第 4 の実施形態における素子切替手段とガイド波送受信素子の接続図である。

【図 20】本発明の第 4 の実施形態により、ガイド波を送受信するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 21】本発明の第 4 の実施形態により、検査結果を解析・表示するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

40

【図 22】本発明の第 4 の実施形態において、受信波形を合成して合成映像を得る過程を説明する図である。

【図 23】本発明の第 4 の実施形態を用いて、中心周波数 500 kHz の L (0 , 2) モードのガイド波で、欠陥を付与した外径 114.3 mm、肉厚 6 mm の配管を検査したときの反射波形位置を、配管を展開した平面上に表示した結果を説明する図である。

【図 24】従来の技術を用いて、中心周波数 500 kHz の L (0 , 2) モードのガイド波で、欠陥を付与した外径 114.3 mm、肉厚 6 mm の配管を検査したときの反射波形の位置を、配管を展開した平面上に表示した結果を説明する図である。

【図 25】本発明の第 5 の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図 26】ガイド波送受信素子に印加する波形の一例であるトーンバースト波を説明する

50

図である。

【図27】ガイド波の複数の振動モードでのガイド波の速度（群速度）が周波数に依存して変化する分散特性を有し、かつ、各モードの群速度が肉厚と周波数との積によって一意に決まることを説明する図である。

【図28】ガイド波が伝播するときの弾性変形の様子を、振動モード毎に模式的に説明する図である。

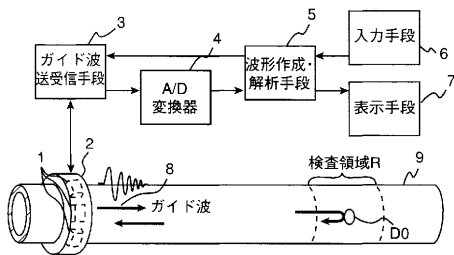
【図29】欠陥を施した外径114.3mm、肉厚6mmの配管を、500kHzのトーンバースト波4サイクルで駆動したL(0,2)モードのガイド波で検査したときに、反射波形の振幅と持続時間が距離によって変化することを説明する図である。

【符号の説明】

1...ガイド波送受信素子、2...送受信素子リング、3...ガイド波送受信手段、4...A/D変換器、5...波形作成・解析手段、6...入力手段、7...表示手段、8...ガイド波、9...配管、10...素子切替手段。

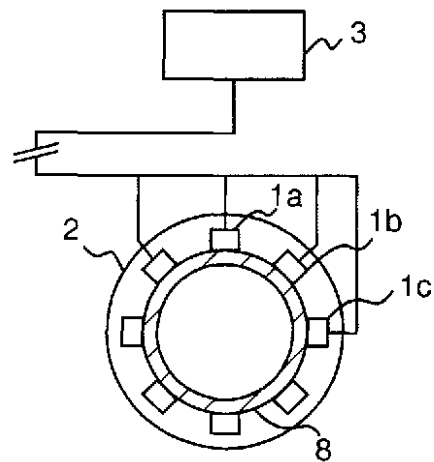
【図1】

図1



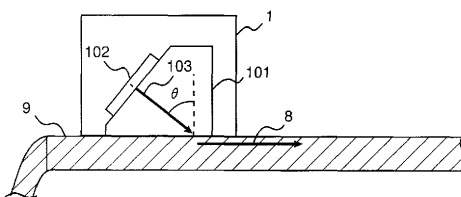
【図3】

図3

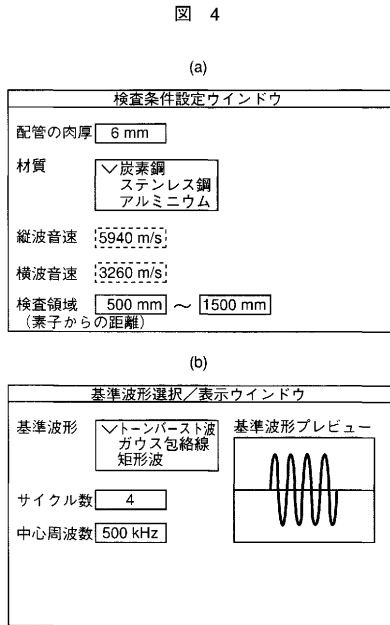


【図2】

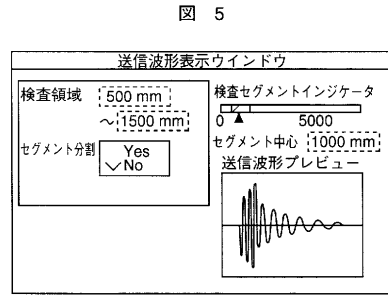
図2



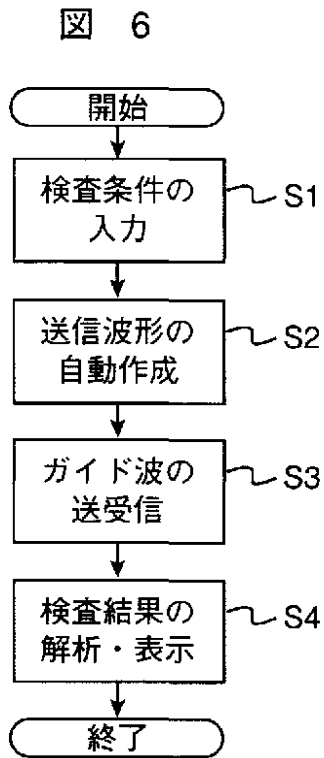
【 図 4 】



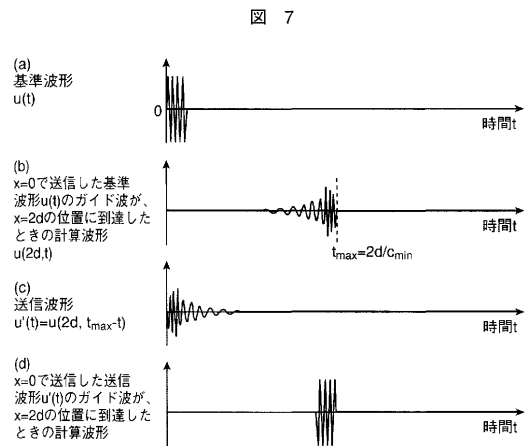
【 図 5 】



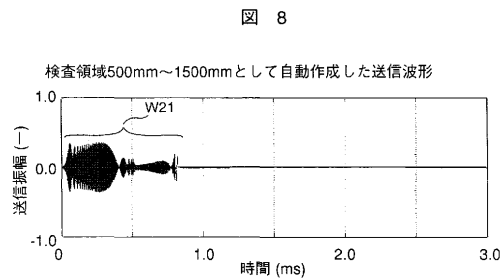
【 図 6 】



【 図 7 】

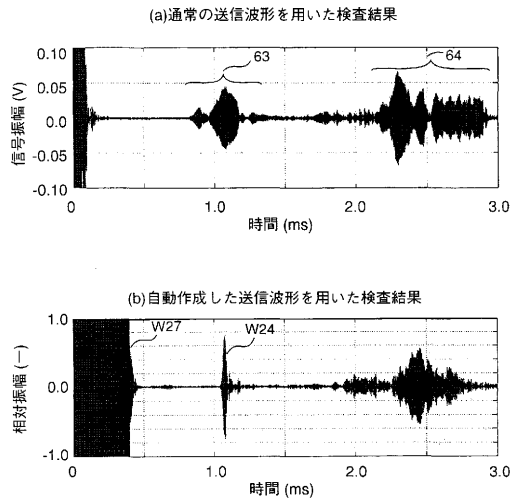


【 図 8 】



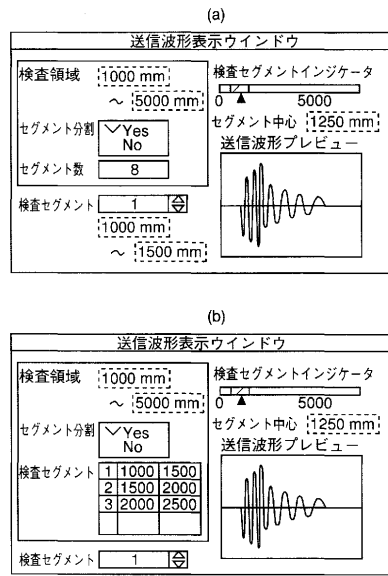
【 図 9 】

図 9



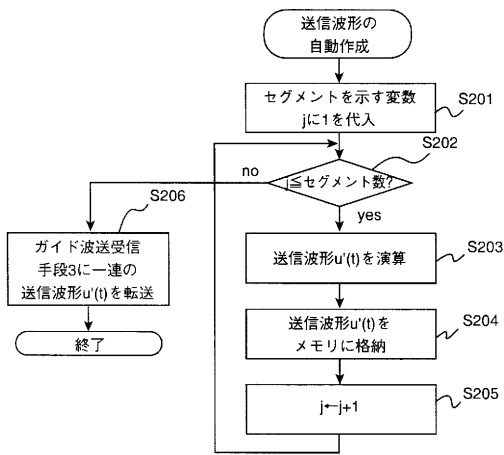
【 図 1 0 】

図 10



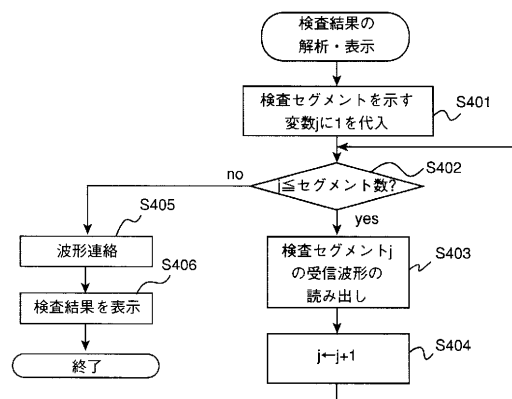
【 図 1 1 】

図 11

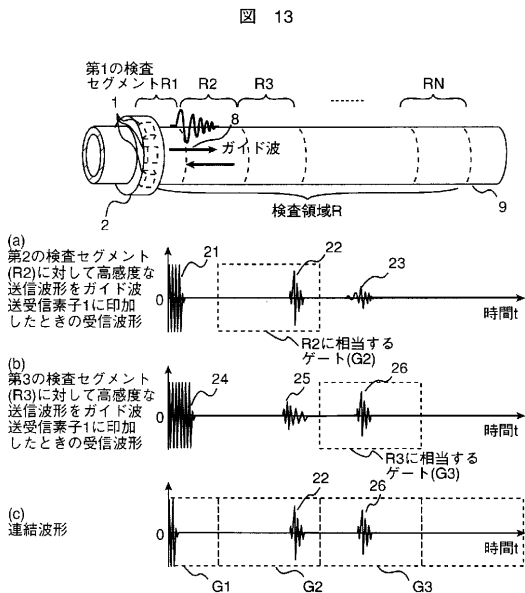


【 図 1 2 】

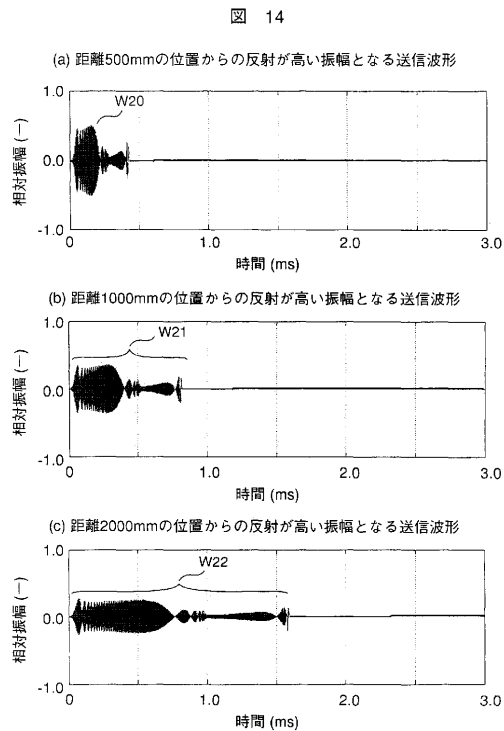
図 12



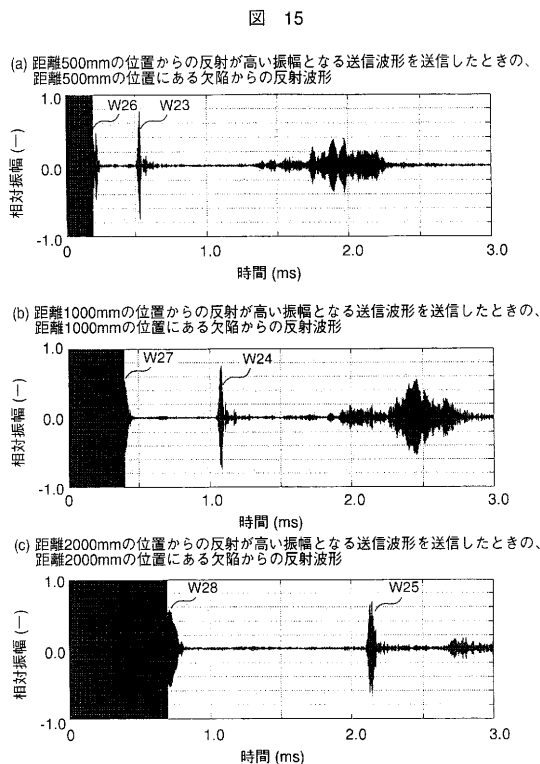
【 図 1 3 】



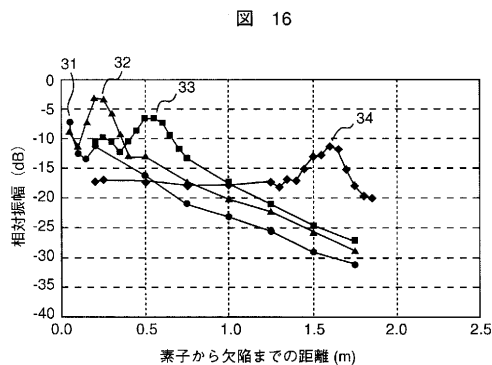
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

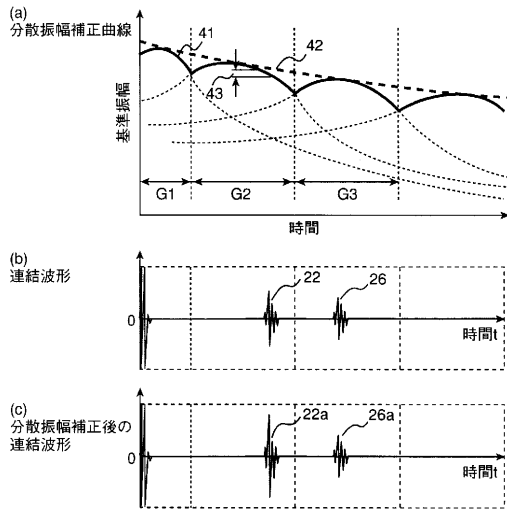


【 図 1 6 】



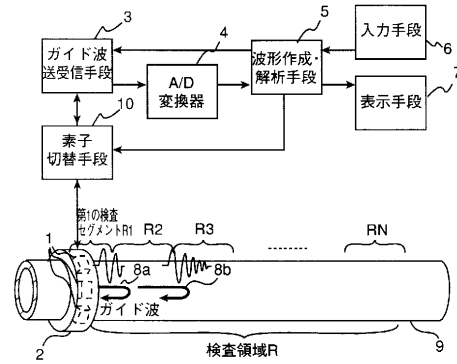
【 図 1 7 】

図 17



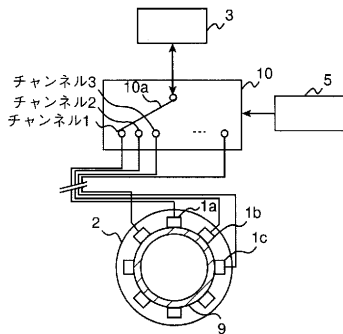
【 図 1 8 】

図 18



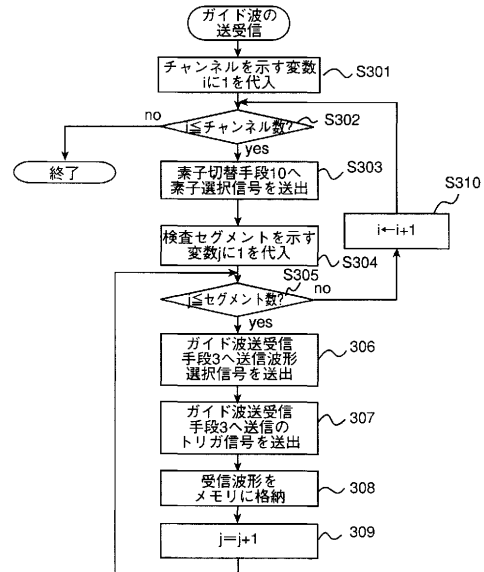
【 図 1 9 】

図 19



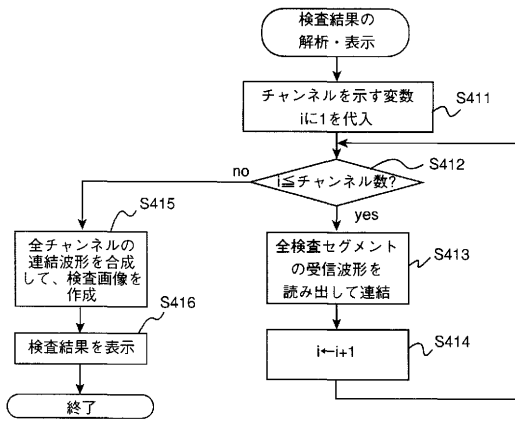
【 図 2 0 】

図 20



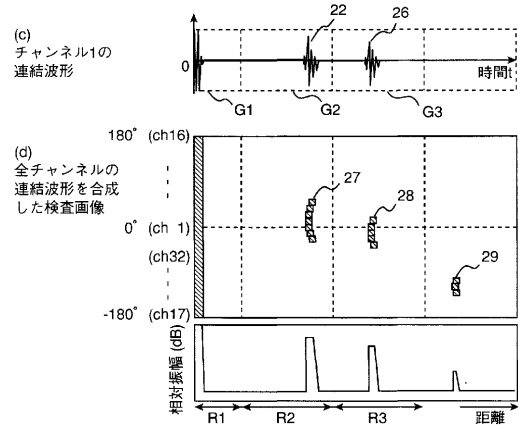
【 図 2 1 】

図 21



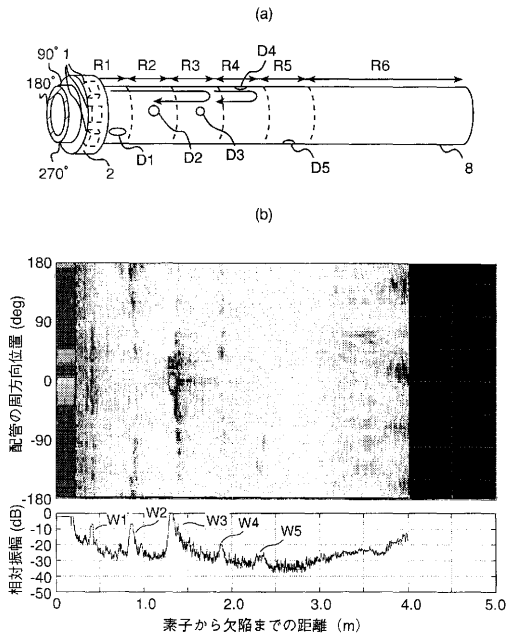
【 図 2 2 】

図 22



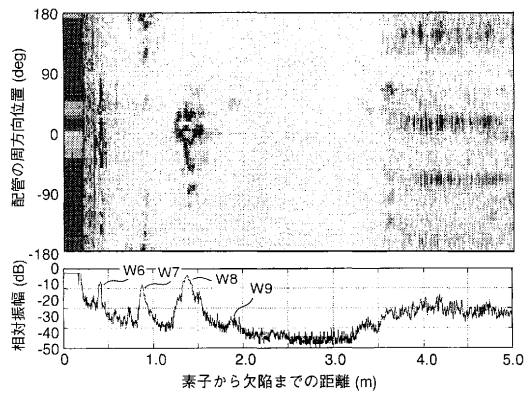
【 図 2 3 】

図 23



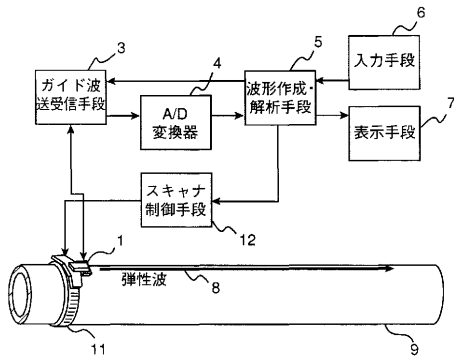
【 図 2 4 】

図 24



【 図 2 5 】

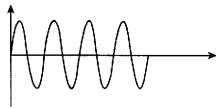
図 25



【 図 2 6 】

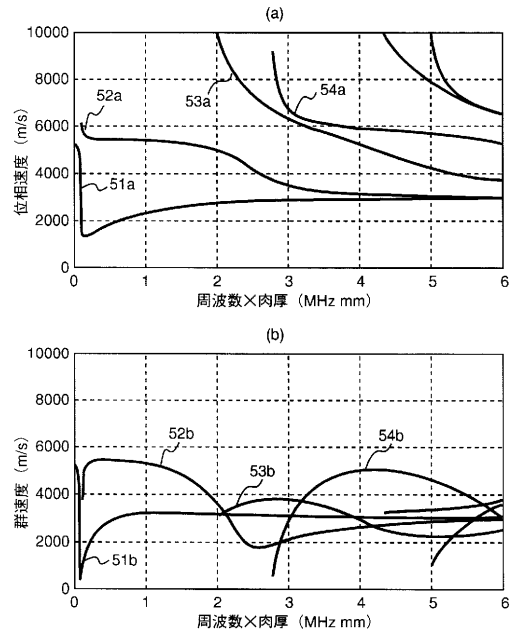
図 26

トーンバースト波 (4サイクルの例)



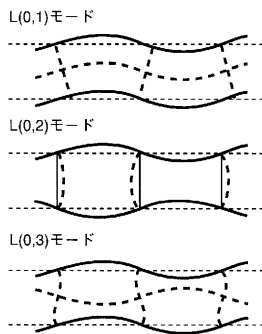
【 図 2 7 】

図 27



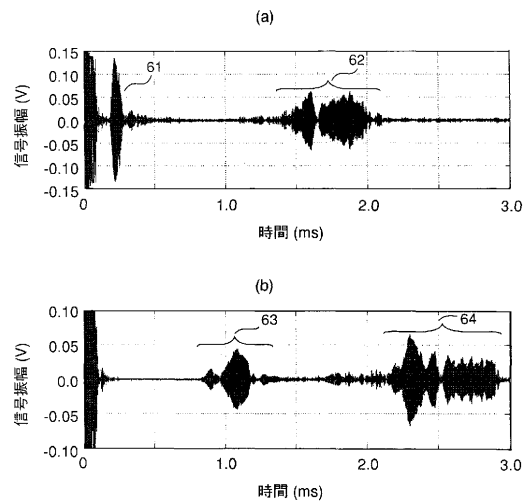
【 図 2 8 】

図 28



【 図 2 9 】

図 29



フロントページの続き

(72)発明者 松井 哲也

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
研究所内

株式会社 日立製作所 電力・電機開発研

審査官 横井 亜矢子

(56)参考文献 特開2003-057213(JP,A)

特開平10-185884(JP,A)

特表平10-507530(JP,A)

特開平11-223622(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00-29/28