

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4589280号
(P4589280)

(45) 発行日 平成22年12月1日(2010.12.1)

(24) 登録日 平成22年9月17日(2010.9.17)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 N 29/04 (2006.01) GO 1 N 29/10 5 0 2
GO 1 N 29/44 (2006.01) GO 1 N 29/22 5 0 4

請求項の数 11 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2006-241401 (P2006-241401)	(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
(22) 出願日	平成18年9月6日(2006.9.6)	(73) 特許権者	000233044 株式会社日立エンジニアリング・アンド・サービス 茨城県日立市幸町3丁目2番2号
(65) 公開番号	特開2008-64540 (P2008-64540A)	(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
(43) 公開日	平成20年3月21日(2008.3.21)	(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
審査請求日	平成20年4月25日(2008.4.25)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガイド波を用いた配管検査方法及びその配管検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つの超音波探触子群を用い、前記超音波探触子群に含まれる複数の超音波探触子をそれぞれ配管の周囲で前記配管の周方向に配置し、各前記超音波探触子から前記配管にガイド波をそれぞれ送信し、各前記超音波探触子にて受信した前記ガイド波のそれぞれの反射信号に基づいて、前記配管の周方向における、前記ガイド波の複数の周方向モードの波形を求め、0次の前記周方向モードの波形の振幅に基づいて前記配管に生じている減肉部の面積を求め、前記複数の周方向モードの波形の振幅に基づいて、前記減肉部の、前記周方向における長さを求め、前記減肉部の面積及び前記周方向における長さに基づいて、前記減肉部の深さを求めることを特徴とするガイド波を用いた配管検査方法。

10

【請求項2】

使用する前記超音波探触子群は、一つであり、前記超音波探触子として斜角探触子を備えている請求項1に記載のガイド波を用いた配管検査方法。

【請求項3】

複数の第1超音波探触子を有する第1超音波探触子群及び複数の第2超音波探触子を有する第2超音波探触子群を用い、前記第1超音波探触子を配管の軸方向において前記第2超音波探触子から離れた位置に配置し、複数の第1超音波探触子及び複数の第2超音波探触子をそれぞれ前記配管の周囲で前記配管の周方向に配置し、各前記第1超音波探触子及び各前記第2超音波探触子から前記配管にガイド波をそれぞれ送信し、各前記第1超音波探触子にて受信した前記ガイド波のそれぞれの第1反射信号及び各前記第2超音波探触子

20

にて受信した前記ガイド波のそれぞれに基づいて、前記配管の周方向における、前記ガイド波の複数の合成された周方向モードの波形を求め、0次の前記合成周方向モードの波形の振幅に基づいて前記配管に生じている減肉部の面積を求め、前記複数の合成周方向モードの波形の振幅に基づいて、前記減肉部の、前記周方向における長さを求め、前記減肉部の面積及び前記周方向における長さに基づいて、前記減肉部の深さを求めることを特徴とするガイド波を用いた配管検査方法。

【請求項4】

1つの前記超音波探触子群に含まれる前記複数の超音波探触子を実質的に同時に励起する請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載のガイド波を用いた配管検査方法。

【請求項5】

1つの前記超音波探触子群に含まれる前記複数の超音波探触子を個別に励起する請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載のガイド波を用いた配管検査方法。

【請求項6】

前記減肉部の前記周方向における位置を複数の前記周方向モードの振幅比に基づいて求める請求項1または請求項2に記載のガイド波を用いた配管検査方法。

【請求項7】

配管の周囲で前記配管の周方向に配置される複数の超音波探触子を有する少なくとも1つの超音波探触子群と、各前記超音波探触子からガイド波を送信させるために各前記超音波探触子を励起させる励起手段と、信号処理装置とを備え、

前記信号処理装置は、各前記超音波探触子にて受信した前記ガイド波のそれぞれの反射信号に基づいて、前記配管の周方向における、前記ガイド波の複数の周方向モードの波形を求め、0次の前記周方向モードの波形の振幅に基づいて前記配管に生じている減肉部の面積を求め、前記複数の周方向モードの波形の振幅に基づいて、前記減肉部の、前記周方向における長さを求め、前記減肉部の面積及び前記周方向における長さに基づいて、前記減肉部の深さを求めることを特徴とする配管検査装置。

【請求項8】

前記超音波探触子群は、一つであり、前記超音波探触子として斜角探触子を備えている請求項7に記載の配管検査装置。

【請求項9】

前記超音波探触子群に含まれる各前記超音波探触子と前記励起手段とを接続する切替え装置と、前記切替え装置を制御し、各前記超音波探触子と前記励起手段との接続状態を切り替える制御手段とを備えた請求項7または請求項8に記載の配管検査装置。

【請求項10】

配管の周囲で前記配管の周方向に配置される複数の第1超音波探触子を有する第1超音波探触子群と、前記配管の軸方向で前記第1超音波探触子群から離れた位置に配置され、前記周方向に配置される複数の第2超音波探触子を有する第2超音波探触子群と、各前記第1超音波探触子及び各前記第2超音波探触子からそれぞれガイド波を送信させるためにそれぞれの前記超音波探触子を励起させる励起手段と、信号処理装置とを備え、

前記信号処理装置は、各前記第1超音波探触子にて受信した前記ガイド波のそれぞれの第1反射信号及び各前記第2超音波探触子にて受信した前記ガイド波のそれぞれに基づいて、前記配管の周方向における、前記ガイド波の複数の合成された周方向モードの波形を求め、0次の前記合成周方向モードの波形の振幅に基づいて前記配管に生じている減肉部の面積を求め、前記複数の合成周方向モードの波形の振幅に基づいて、前記減肉部の、前記周方向における長さを求め、前記減肉部の面積及び前記周方向における長さに基づいて、前記減肉部の深さを求めることを特徴とする配管検査装置。

【請求項11】

各前記第1超音波探触子と前記励起手段とを接続する第1切替え装置と、各前記第2超音波探触子と前記励起手段とを接続する第2切替え装置と、前記第1及び第2切替え装置をそれぞれ制御し、各前記第1超音波探触子と前記励起手段との接続状態、及び各前記第2超音波探触子と前記励起手段との接続状態を切り替える制御手段とを備えた請求項10

10

20

30

40

50

に記載の配管検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガイド波を用いた配管検査方法及びその配管検査装置に係り、特に、配管の減肉及び傷を超音波を用いて非破壊的に検出するのに好適なガイド波を用いた配管検査方法及びその配管検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

発電プラント及び化学プラント等のプラントの配管、石油を輸送するパイプラインのパイプ、製油所内のパイプ、さらには地中に埋設されている水道管及びガス管等の配管は、施設してから長期間が経過すると、内外面からの腐食または侵食に起因した劣化が進行する。ついには、その腐食または侵食が配管の肉厚を貫通するまでに至る。この場合には、液体及び蒸気といった配管内を流れる流体が外部に漏洩してしまう。このような状態を避けるため、配管の非破壊検査を定期的に行って配管の肉厚を評価し、内部流体の漏洩が生じる前に、配管の交換（または補修）といった対策を施す必要がある。

【0003】

配管の肉厚を検査する非破壊測定手段の代表的なものに、超音波厚み計がある。超音波厚み計は配管の肉厚を測定する装置である。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を有する、配管外面に設置される超音波センサを用いて、検査対象の配管にバルク波（縦波や横波といった弾性波）を励起し、配管内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。

【0004】

この超音波厚み計は、検査範囲が狭く、長尺の配管に対する検査には長い時間を要する。超音波厚み計を用いた検査は、保温材が取り巻いている配管を対象にする場合には肉厚測定箇所ごとで保温材を取り除く必要がある。このため、検査前の保温材の取り外し、検査後の保温材の取り付け作業に要する時間も多大になる。また、コンクリート及び地中に埋設された配管の検査も容易ではない。

【0005】

超音波厚み計のそのような課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性波）を用いた配管の非破壊検査が提案されている（特許文献1～4参照）。ガイド波を用いた非破壊検査は、配管の長距離区間を一括して検査することができる。ガイド波を用いることにより、保温材を取り外す箇所も著しく低減される。

【0006】

特許文献1に記載された、ガイド波を用いた非破壊検査装置は、配管の周方向に複数の超音波探触子を配置した第1探触子群及び第2探触子群を、検査対象の配管の軸方向に並べて配置している（特許文献1の図4参照）。このように、第1探触子群及び第2探触子群を配管の軸方向に並べて配置することによって、特許文献1の図4に示す2つの傷を個々に識別することができる。

【0007】

特許文献2に記載された、非破壊検査装置は、ガイド波を送信する複数の超音波探触子を配管の周囲に配置している。各超音波探触子から、亀裂等で発生する反射波の波形と反対に向きになる波形のガイド波を、各超音波探触子から送信する。このような非破壊検査装置は、分散による超音波の振幅の低下を補償することができる。

【0008】

ガイド波を用いた透過法によって、腐食部位での肉厚の減少に起因したガイド波の音速変化を伝播時間の差として検出し、減肉の深さを測定する方法が、特許文献3に説明されている。透過法により得られたAスコープ情報をデジタル量に変換し、変換された超音波情報の振幅を用いて、時間情報（縦軸）及び超音波探触子の位置情報（横軸）で表す画

10

20

30

40

50

像処理を行う。ガイド波は、音速が異なる各モードの波が混在して伝播する。得られた画像情報には、各モードの音速変化（時間）が不連続な縞模様として現れている。減肉部の深さは、画像情報における不連続部の伝播時間差、及び予め求めている特性曲線に基づいて求められる。透過法は、送信用の超音波探触子と受信用の超音波探触子を用いる方法である。

【 0 0 0 9 】

ガイド波を用いた非破壊検査を、少なくとも一部分が埋設されている配管に対して行うことが、特許文献 4 に記述されている。この非破壊検査は、検査対象の配管が接触する物体（例えば、コンクリート）を伝播する横波の音速よりも位相速度の遅いガイド波を用いて行われる。配管を伝播させたガイド波を受信し、受信したガイド波を解析して配管の割れ及び減肉を検出する。

10

【 0 0 1 0 】

特許文献 5 は、ガイド波を用いていないが、検査対象物（例えば、アンカーボルト）の減肉量を求める超音波探傷法を記載している。この超音波探傷法は、検査対象物の側面で縦波から横波に変換するモード変換を発生させ、モード変換後の超音波（遅れエコー）の減衰状況に基づいて減肉量を求めている。

【 0 0 1 1 】

特許文献 6 は、超音波探触子から送信される S H 波（振動方向が伝播方向に直角で且つ超音波の入射面に平行な横波）の反射波に基づいて、反射信号発生位置での応力腐食割れを検出することを説明している。この応力腐食割れの検出はその反射波の振幅及び超音波探触子の配管周方向の位置に基づいて行われ、応力腐食割れの深さ及び配管周方向での応力腐食割れ発生位置が求められる。S H 波の替りに、超音波の縦波を配管表面から入射して表面波を伝播させることも記載している。

20

【 0 0 1 2 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 5 7 2 1 2 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 5 - 1 0 0 5 5 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 4 - 3 0 1 5 4 0 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 6 - 2 3 2 1 5 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 1 - 3 0 5 1 1 2 号公報

【特許文献 6】特開 2 0 0 4 - 7 7 2 9 2 号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

配管に減肉が生じている場合には、減肉部の位置だけでなく、減肉部の深さ（配管内面からの減肉部の深さ）を知ることが重要である。減肉部の深さに応じて、配管の減肉部が生じている部分の取替え、及び減肉部の補修等の対応策を適切に選択することができる。

【 0 0 1 4 】

上記の特許文献 1 ~ 2 及び 4 に記載された各非破壊検査装置は、ガイド波を用いることによって長い配管に発生している減肉部を短時間で検出することができる。しかしながら、特許文献 1 ~ 2 及び 4 に記載された各非破壊検査装置は、減肉部の深さを求めることには言及してなく、また、それぞれに記載された構成によって減肉部の深さを求めることができない。

40

【 0 0 1 5 】

特許文献 3 に記載された非破壊検査方法は、ガイド波を用いており、配管における減肉部の深さを求めることができる。しかしながら、その非破壊検査方法は、透過法であって送信用及び受信用の各超音波探触子を用いているため、両方の超音波探触子の間隔を広くすると検出精度が低下する。このため、超音波探触子相互の間隔を狭く設定する必要がある。また、これらの超音波探触子を配管の軸方向に移動させる必要がある。このような引用文献 3 記載の非破壊検査方法は、ガイド波を用いているが透過法を適用している関係上、配管の軸方向において広い範囲を対象に検査する場合には検査に要する時間が長くなる

50

。また、保温材を取り外す箇所も多くなり、一箇所でも保温材を取り外す場合でも配管の軸方向において保温材を取り外す幅が大きくなる。

【0016】

特許文献5は、通常の超音波を用いており、検査対象物の側面で縦波から横波に変換するモード変換を利用して減肉量を求めている。このような特許文献5の超音波探傷方法は、配管の長い距離を対象とする検査に適用した場合、超音波厚み計と同様に、検査箇所ごとで保温材を取り除く必要がある。このため、検査前の保温材の取り外し、検査後の保温材の取り付け作業に要する時間も多大になる。ガイド波は、検査対象物の側面において縦波から横波に変換するモード変換が生じない。

【0017】

特許文献6は、SH波（または表面波）を配管に伝播させ、応力腐食割れの深さを求めている。しかしながら、特許文献6に記載された応力腐食割れ検査方法は、配管周方向における応力腐食割れの広がり求めている。配管周方向における減肉部の広がり求めることは、特許文献1～5においても行われていない。

【0018】

本発明の目的は、検査に要する時間をより短縮でき、減肉部の深さ及び減肉部の配管周方向長さを検出できるガイド波を用いた配管検査方法及びその配管検査装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記した目的を達成する本発明の特徴は、少なくとも1つの超音波探触子群を用い、その超音波探触子群に含まれる複数の超音波探触子をそれぞれ配管の周囲でこの配管の周方向に配置し、各超音波探触子から配管にガイド波をそれぞれ送信し、各超音波探触子にて受信したガイド波のそれぞれの反射信号に基づいて、配管の周方向における、ガイド波の複数の周方向モードの波形を求め、0次の周方向モードの波形の振幅に基づいて配管に生じている減肉部の面積を求め、複数の周方向モードの波形の振幅に基づいて、減肉部の、周方向における長さを求め、減肉部の面積及びその周方向における長さに基づいて、減肉部の深さを求めることにある。

【0020】

本発明は、ガイド波を送信しこのガイド波の反射信号を受信する超音波探触子を用いているので、配管の長距離における検査が可能となり、検査時間を短縮することができる。本発明は、また、複数の周方向モードの波形の振幅に基づいて、減肉部の周方向における長さを求めているので、配管に生じている減肉部の周方向における長さを検出することができる。減肉部の面積及びその周方向における長さを求めるため、これらの面積及び長さをを用いて減肉部の深さを検出することができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、検査に要する時間をより短縮でき、減肉部の深さ及び減肉部の配管周方向長さを検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

【実施例1】

【0023】

本発明の好適な一実施例である実施例1の配管検査方法を、以下に説明する。まず、その配管検査方法に用いられる配管検査装置を、図1及び図2を用いて説明する。配管検査装置10は、超音波探触子群1、2、ガイド波送受信器3、アナログ/デジタル変換器(A/D変換器)4、コンピュータ5及び表示装置8を備える。超音波探触子群1は、複数の超音波探触子(以下、単に探触子という)、例えば、4個の探触子1a、1b、1c、1dを有する。探触子1a～1dは、ヒンジにて回転可能に結合されている一対の半円

10

20

30

40

50

状の支持部材（図示せず）に周方向において等間隔に並んだ状態に取り付けられている。超音波探触子群 2 も、複数の探触子、例えば、4 個の探触子 2 a , 2 b , 2 c , 2 d を有する。探触子 2 a ~ 2 d も、探触子 1 a ~ 1 d と同様に、そのような別の一对の支持部材（図示せず）に取り付けられる。各探触子は、送受信機能を有しており、単独の探触子で構成される。各探触子は、複数の探触子を並列接続して（または送信用の探触子及び受信用の探触子を並列接続）構成することも可能である。探触子 1 a ~ 1 d 及び 2 a ~ 2 d は、同じ数の探触子を有することが望ましい。超音波探触子群 1 , 2 にそれぞれ含まれる各探触子は、配管 7 にガイド波を発生させるもので、例えば圧電素子によって構成されている。

【 0 0 2 4 】

ガイド波送受信器 3 は、ガイド波を送信するために各探触子に送信波形（送信信号）を印加し、さらに各探触子からの受信波形（受信信号）を増幅する手段である。ガイド波送受信器 3 の詳細な構成を、図 2 を用いて以下に説明する。

【 0 0 2 5 】

ガイド波送受信器 3 は、図 2 に示すように、制御器 1 1、超音波探触子群 1 用の信号発生器 1 2 a、パワーアンプ 1 3 a 及び素子切替器 1 4 a、及び超音波探触子群 2 用の信号発生器 1 2 b、パワーアンプ 1 3 b 及び素子切替器 1 4 b を備えている。信号発生器 1 2 a、1 2 b、パワーアンプ 1 3 a、1 3 b 及び素子切替器 1 4 a、1 4 b は、超音波探触子群 1、2 の該当する各探触子からガイド波を送信させるための機構である。ガイド波送受信器 3 は、さらに、超音波探触子群 1、2 の各探触子によって受信した各受信信号（ガイド波の反射信号）を入力する素子切替器 1 5 及び受信アンプ 1 6 を備えている。

【 0 0 2 6 】

信号発生器 1 2 a、1 2 b は制御器 1 1 にそれぞれ接続される。信号発生器 1 2 a はパワーアンプ 1 3 a を介して素子切替器 1 4 a に接続される。制御器 1 1 は素子切替器 1 4 a にも接続されている。探触子 1 a、1 b、1 c、1 d のそれぞれは素子切替器 1 4 a に接続される。素子切替器 1 4 a は、制御器 1 1 からの切替指令に基づいて、パワーアンプ 1 3 a と各探触子 1 a ~ 1 d のそれぞれとの接続を切り替える。信号発生器 1 2 b はパワーアンプ 1 3 b を介して素子切替器 1 4 b に接続される。制御器 1 1 は素子切替器 1 4 b にも接続される。探触子 2 a、2 b、2 c、2 d のそれぞれは素子切替器 1 4 b に接続される。素子切替器 1 4 b は、制御器 1 1 からの切替指令に基づいて、パワーアンプ 1 3 b と各探触子 2 a ~ 2 d のそれぞれとの接続を切り替える。探触子 1 a、1 b、1 c、1 d、2 a、2 b、2 c、2 d の素子切替器 1 4 a、1 4 b への接続は、同軸ケーブルを介して行われる。受信アンプ 1 6 に接続された素子切替器 1 5 は、各探触子 1 a ~ 1 d 及び 2 a ~ 2 d に接続される。各探触子 1 a ~ 1 d 及び 2 a ~ 2 d の素子切替器 1 5 への接続も、同軸ケーブルを介して行われる。制御器 1 1 も素子切替器 1 5 に接続されている。素子切替器 1 5 は、制御器 1 1 からの切替指令に基づいて、受信アンプ 1 6 と探触子 1 a、1 b、1 c、1 d、2 a、2 b、2 c、2 d のそれぞれとの接続を切り替える。受信アンプ 1 6 は同軸ケーブルにより A / D 変換器 4 に接続されている。

【 0 0 2 7 】

A / D 変換器 4 は、アナログ信号であるガイド波の受信波形をデジタル信号であるデジタル波形に変換する機能を有する。A / D 変換器 4 は、例えば、市販の外付け A / D 変換器、またはコンピュータ組み込み式のボードタイプの A / D 変換器が利用される。コンピュータ 5 は、中央制御装置 5 A 及び信号処理装置 5 B として機能する。A / D 変換器 4 は、受信アンプ 1 6 から出力された各受信信号（受信波形）をデジタル信号に変換してコンピュータ 5 に含まれる信号処理装置 5 B に入力する。中央制御装置 5 A は、ガイド波送信指令等の制御指令を制御器 1 1 に出力する。表示装置 8 は、信号処理装置 5 B で生成された画像情報等の表示情報を、さらに、必要に応じて、信号処理装置 5 B が A / D 変換器 4 から入力するデジタル信号（受信アンプ 1 6 からの出力信号に対応）をそのまま表示する。

【 0 0 2 8 】

配管検査装置10を用いた配管の検査方法を、以下に説明する。まず、各超音波探触子群の各探触子を、配管7の検査箇所配置する。すなわち、超音波探触子群1は、検査対象である配管7の軸方向のある検査位置に配置される。この超音波探触子群1に含まれた各探触子1a~1dは、一对の半円状の支持部材を配管7の周囲に配置して相互に連結することにより、配管7の周方向に所定間隔(例えば、90°置き)を置いて配管7の外面に接触した状態で配置される。超音波探触子群2は、配管7の軸方向において、超音波探触子群1から所定間隔だけ離れた位置に配置される。超音波探触子群2に含まれた各探触子2a~2dも、一对の半円状の支持部材を配管7の周囲に配置して相互に連結することにより、配管7の周方向に所定間隔(例えば、90°置き)を置いて配管7の外面に接触した状態で配置される。探触子1a~1dが取り付けられる一对の支持部材に、配管7の軸方向において超音波探触子群1から所定間隔だけ離れた状態で、探触子2a~2dを取り付けてもよい。超音波探触子群1,2の各探触子を配管7の周囲に配置する際には、配管7を取り巻いている保温材の一部を予め取り外す。

10

【0029】

各探触子の配管7の周囲への配置が完了した後、オペレータは、入力装置(図示せず)から中央制御装置5Aに検査開始信号を入力する。検査開始信号を入力した中央制御装置5Aは、図3に示すステップ21、23の各処理を実行する。なお、信号処理装置5Bは、図3に示すステップ22及び24~28の各処理を実行する。中央制御装置5Aは、探触子に対する各ガイド波送信指令(送信制御信号)を出力する(ステップ21)。これらのガイド波送信指令は、各探触子1a~1d及び2a~2dに対するものである。

20

【0030】

これらのガイド波送信指令を入力した制御器11は、素子切替器14a,14bにそれぞれ切替指令(切替制御信号)を出力する。素子切替器14aは、切替指令に基づいて、探触子1a,1b,1c,1dを実質的に同時にパワーアンプ13aに接続する。ガイド波送信指令を入力した制御器11は、信号発生器12aに、それぞれ、探触子1a~1dに対する第1励起指令(第1励起制御信号)を出力する。信号発生器12aは、それらの第1励起指令に基づいて探触子1a~1dに対する第1励起信号をそれぞれ出力する。パワーアンプ13aは、それらの第1励起信号を増幅する。増幅された各第1励起信号は、上記したように切り替えられる素子切替器14aを介して該当する探触子1a~1dに実質的に同時に印加される。探触子1a~1dは、図4(a)に示す第1励起信号をそれぞれ入力する。

30

【0031】

また、素子切替器14bは、入力した切替指令に基づいて、探触子2a,2b,2c,2dを実質的に同時にパワーアンプ13bに接続する。ガイド波送信指令を入力した制御器11は、信号発生器12bに、それぞれ、探触子2a~2dに対する第2励起指令(第2励起制御信号)を出力する。信号発生器12bは、それらの第2励起指令に基づいて探触子2a~2dに対する第2励起信号をそれぞれ出力する。パワーアンプ13bは、それらの第2励起信号を増幅する。増幅された各第2励起信号は、上記したように切り替えられる素子切替器14bを介して該当する探触子2a~2dに実質的に同時に印加される。探触子2a~2dは、図4(b)に示す第2励起信号をそれぞれ入力する。探触子2a~2dに入力される第2励起信号は、図4に示すように、探触子1a~1dに入力される第1励起信号よりも、ガイド波が配管7において超音波探触子群1と超音波探触子群2の間の距離を伝播するのに要する時間(以下、遅延時間という)だけ遅延されている。この遅延は、制御器11から信号発生器12bに第2励起指令を出力する時点と、制御器11から信号発生器12aに第1励起指令を出力した時点から上記した遅延時間だけ遅らせることによって達成できる。

40

【0032】

探触子2a~2dに入力される第2励起信号を、探触子1a~1dに入力される第1励起信号よりも、上記の遅延時間だけ遅延させているため、図1において、超音波探触子群1,2よりも右側に進行するガイド波の振幅を同位相で増大させることが可能になり、超

50

音波探触子群 1, 2 よりも左側に進行するガイド波の振幅を逆位相で減少させることが可能になる。図 5 に示すように、探触子 2 a ~ 2 d に入力される第 2 励起信号は、図 5 に示すように、探触子 1 a ~ 1 d に入力される第 1 励起信号と絶対値が同じで ± の符号が第 1 励起信号と異なっており、探触子 1 a ~ 1 d に入力される第 1 励起信号よりも上記の遅延時間だけ逆に進ませてもよい。図 5 に示す第 1 及び第 2 励起信号を印加する方法は、図 4 に示す第 1 及び第 2 励起信号を印加する方法に比べて、超音波探触子群 1, 2 よりも右方に進行するガイド波の振幅を増大させる効果が相対的に低くなるが、超音波探触子群 1, 2 よりも左方に進行するガイド波の振幅を減少させる効果が相対的に大きくなる。

【 0 0 3 3 】

図 4 及び図 5 に示す第 1 及び第 2 励起信号を印加する方法のいずれの場合でも、第 1 励起信号が実質的に同時に印加された探触子 1 a ~ 1 d 及び第 2 励起信号が実質的に同時に印加された探触子 2 a ~ 2 d は、振動することによって配管 7 にガイド波をそれぞれ発生させる。これらのガイド波 6 は配管 7 を軸方向に伝播する。配管 7 に止端部 7 a、減肉部 7 b またはき裂が存在する場合には、ガイド波 6 はそこで反射されて反射波（反射信号）となって逆方向に進行する。この反射波は、超音波探触子群 1, 2 の探触子によって受信される。例えば、反射波が探触子 1 a, 2 a によって受信されたとする。

【 0 0 3 4 】

素子切替器 1 5 は、制御器 1 1 からの切替指令に基づいた切替え操作により、探触子 1 a ~ 1 d 及び 2 a ~ 2 d のそれぞれと受信アンプ 1 6 を個々に接続する。例えば、探触子 1 a, 2 a で受信された各受信信号（受信波形）は、素子切替器 1 5 を経て受信アンプ 1 6 に入力され、受信アンプ 1 6 によって増幅される。増幅された各受信信号は、A / D 変換器 4 に伝えられる。A / D 変換器 4 は、入力した各受信信号をそれぞれデジタル信号に変換する。制御器 1 1 は、入力したガイド波送信指令に基づいて A / D 変換器 4 に対してトリガ信号を出力している。A / D 変換器 4 は、このトリガ信号を入力した後、アナログ信号である受信信号のデジタル信号への変換を開始する。

【 0 0 3 5 】

ガイド波の受信信号を入力する（ステップ 2 2）。コンピュータ 5 の信号処理装置 5 B は、A / D 変換器 4 から出力されたデジタル信号（デジタル化された受信信号）を入力する。これらのデジタル信号はコンピュータ 5 の記憶装置（図示せず）に記憶される。次に、全探触子で受信信号を入力したかを判定する（ステップ 2 3）。中央制御装置 5 A は、信号処理装置 5 B で入力した各デジタル信号の入力情報を信号処理装置 5 B から入力する。これらのデジタル信号は個々の探触子に対応している。中央制御装置 5 A は、各デジタル信号の入力情報に基づいて、全探触子で受信信号を入力したかを判定する。この判定結果が「YES」であればステップ 2 4 の処理を実行し、その判定結果が「NO」であればステップ 2 1 の処理を実行する。ステップ 2 1 ~ 2 3 の処理の繰り返しにより、信号処理装置 5 B は、全ての探触子、すなわち探触子 1 a ~ 1 d 及び 2 a ~ 2 d の全てから出力された各受信信号に対する各デジタル信号を入力する。それらの受信信号は、同じ反射源（例えば、配管 7 の止端部 7 a 及び減肉部 7 b）からの反射信号である。

【 0 0 3 6 】

例えば、ステップ 2 1 において、まず、各探触子 1 a ~ 1 d に対するそれぞれのガイド波送信指令が中央制御装置 5 A から出力された場合には、ステップ 2 3 の判定が「NO」になる。このため、再度実行されるステップ 2 1 の処理によって、中央制御装置 5 A は、各探触子 2 a ~ 2 d に対するそれぞれのガイド波送信指令を出力する。これにより、信号発生器 1 2 b は、第 1 励起指令よりも上記の遅延時間だけ遅らせた第 2 励起指令を出力する。各探触子 2 a ~ 2 d が受信した反射信号は、A / D 変換器 4 でデジタル化されて信号処理装置 5 B に入力される。その後、ステップ 2 3 の判定が「YES」になる。なお、ステップ 2 1 において、個々の探触子に対するガイド波送信指令を、一つずつ、反射信号の受信を待って順番に出力することも可能である。

【 0 0 3 7 】

信号処理装置 5 B は、上記した「YES」の判定情報を中央制御装置 5 A から入力した

10

20

30

40

50

とき、各受信信号を合成する（ステップ24）。このステップ24における各受信信号の合成処理は、配管7の周方向における、ガイド波の複数の周方向モードの各波形をそれぞれ求める処理である。これらの周方向モードは、受信0次モード、受信1次モード、受信2次モード、合成0次モード、合成1次モード及び合成2次モード等を含んでいる。本実施例においては、超音波探触子群1, 2はそれぞれ4つの探触子を含んでいるので、この時点で、コンピュータ5の記憶装置は、全ての探触子でそれぞれ受信した8通りの受信信号を対応するデジタル信号として記憶している。探触子1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c, 2dのそれぞれで受信した各受信信号に対応する各デジタル信号のデータ（デジタルデータ）を、それぞれ、S1a, S1b, S1c, S1d, S2a, S2b, S2c, S2dとする。このとき、超音波探触子群1の探触子によって受信されるガイド波の受信信号の受信0次モードS10は（1）式で算出される。さらに、例えば、その受信信号の受信1次モードS11は（2）式で、例えば、その受信信号の受信2次モードS12は（3）式でそれぞれ算出される。

10

【0038】

$$S10 = (S1a + S1b + S1c + S1d) / 4 \quad \dots\dots (1)$$

$$S11 = (S1a - S1c) / 2 \quad \dots\dots (2)$$

$$S12 = (S1a - S1b + S1c - S1d) / 4 \quad \dots\dots (3)$$

同様に、超音波探触子群2の探触子によって受信されるガイド波の受信信号受信0次モードS20は（4）式で算出される。例えば、その受信信号の受信1次モードS21は（5）式で、例えば、その受信信号の受信2次モードS22は（6）式でそれぞれ算出される。

20

【0039】

$$S20 = (S2a + S2b + S2c + S2d) / 4 \quad \dots\dots (4)$$

$$S21 = (S2a - S2c) / 2 \quad \dots\dots (5)$$

$$S22 = (S2a - S2b + S2c - S2d) / 4 \quad \dots\dots (6)$$

ステップ24で行われる受信信号の合成処理の一例を、超音波探触子群1, 2の各受信0次モードの合成を例に挙げて図6を用いて説明する。超音波探触子群1の探触子によって受信された受信信号の受信0次モードS10の波形データを図6(a)に示す。また、超音波探触子群2の探触子によって受信された受信信号の受信0次モードS20の波形データを図6(b)に示す。信号処理装置5Bは、受信0次モードS20を前述の遅延時間だけ遅らせる補正処理を行う。この補正処理によって図6(c)に示す受信0次モードS20pの波形データが得られる。信号処理装置5Bは、受信0次モードS10の波形データ（図6(a））と受信0次モードS20pの波形データ（図6(c））を加算して合成0次モードS0pの波形データ（図6(e））を生成する。なお、合成1次モード以上のモードの波形データについては、合成1次モードの波形データは例えば受信1次モードS11, S21の各波形データを用いて、さらには合成2次モードの波形データは例えば受信2次モードS12, S22の各波形データを用いて、合成0次モードS0pの波形データと同様に合成して得ることができる。

30

【0040】

ステップ24の合成処理は、以下のように行うことも可能である。信号処理装置5Bは、受信0次モードS20を前述の遅延時間だけ進ませる補正処理を行う。この補正処理によって図6(d)に示す受信0次モードS20mの波形データが得られる。信号処理装置5Bは、受信0次モードS10の波形（図6(a））から受信0次モードS20mの波形データ（図6(d））を減算して合成0次モードS0mの波形データ（図6(f））を生成する。この合成処理を適用することにより、合成1次モード以上の各合成モードの波形データを得ることができる。

40

【0041】

合成0次モードS0mは、合成0次モードS0pに比べて、図1において超音波探触子群1, 2よりも右側から超音波探触子群1, 2に向かって伝播してくるガイド波の振幅を増大させる効果が相対的に小さい。しかしながら、合成0次モードS0mは、合成0次モ

50

ード S_{0p} に比べて、図 1 において超音波探触子群 1, 2 よりも左側から超音波探触子群 1, 2 に向かって進行してくるガイド波の振幅を減少させる効果が相対的に大きくなる（理想的にはゼロにできる）。これは、図 4、図 5 を用いて説明したガイド波の送信原理と同様の現象である。超音波探触子群 1, 2 よりも左側に管端などの反射源がある場合には、 S/N 比の観点から合成 0 次モード S_{0m} の利用が有利である場合が多い。

【 0 0 4 2 】

配管の周方向における減肉部の位置を求める（ステップ 2 5）。受信 1 次モード以上では、配管 7 を伝播するガイド波が配管 7 の中心軸に対して対称に振動しないため、そのガイド波の振動は方向性を持っている。上記した受信信号の受信モードの例では、受信 1 次モードとして、受信 1 次モード S_{11} 以外に受信 1 次モード S_{11}' が存在する。この受信 1 次モード S_{11}' は (7) 式で算出される。

【 0 0 4 3 】

$$S_{11}' = (S_{1b} - S_{1d}) / 2 \quad \dots \dots (7)$$

受信 1 次モード S_{11} の波形と受信 1 次モード S_{11}' の波形の振幅比を用いることによって、配管 7 の周方向における減肉部 7 b の位置を求めることができる。仮に、受信 1 次モード S_{11} の波形の振幅が 1 であり、受信 1 次モード S_{11}' の波形の振幅が 0 であれば、配管 7 の周方向における減肉部 7 b の位置は、探触子 1 a もしくは探触子 1 c が配置されているその周方向での位置となる。逆に、受信 1 次モード S_{11} の波形の振幅が 0 であり、受信 1 次モード S_{11}' の波形の振幅が 1 であれば、その周方向における減肉部 7 b の位置は、探触子 1 b もしくは探触子 1 d が配置されているその周方向での位置となる。また、受信 1 次モード S_{11} 、 S_{11}' の各波形の振幅が共に 0.7 で同位相であれば、その周方向における減肉部 7 b の位置は、その周方向において探触子 1 a と探触子 1 b の中間（もしくは探触子 1 c と探触子 1 d の中間）に位置している。

【 0 0 4 4 】

以上に述べた受信 1 次モード S_{11} 、 S_{11}' の各波形の振幅の比率と、各探触子の、配管の周方向における位置との関係を予めデータベース化することによって、ステップ 2 5 において、配管の周方向における減肉部 7 b の位置を求めることができる。この第 1 データベースの情報は、コンピュータ 5 の前述の記憶装置に記憶されている。信号処理装置 5 B は、入力した各デジタル信号のデータを用いて (2) 及び (7) 式により受信 1 次モード S_{11} 、 S_{11}' の各波形データを算出し、それぞれの波形の振幅を求める。信号処理装置 5 B は、さらに、振幅比を算出し、これらの振幅の比率と第 1 データベースの情報を用いて配管の周方向における減肉部 7 b の位置を求める。

【 0 0 4 5 】

なお、図 7 に示すように、大きさが受信 1 次モード S_{11} の振幅で、配管 7 の中心から、受信 1 次モード S_{11} を検出する探触子 1 a と探触子 1 c の配置方向を向いているベクトルをベクトル A とする。また、大きさが受信 1 次モード S_{11}' の振幅（位相を考慮）で、配管 7 の中心から、受信 1 次モード S_{11}' を検出する探触子 1 b と探触子 1 d の配置方向を向いているベクトルをベクトル A' とする。このとき、配管の周方向における減肉部 7 b の位置は、ベクトル (A + A') の方向、もしくは、ベクトル (-A - A') の方向になる。

【 0 0 4 6 】

減肉部の面積を算出する（ステップ 2 6）。合成 0 次モード S_{0m} （または合成 0 次モード S_{0p} ）の波形の振幅は、配管の断面積に対する減肉部（反射源）7 b の面積の比率にほぼ比例する。このため、その比率に関して予め定めておいた係数を合成 0 次モード S_{0m} （または合成 0 次モード S_{0p} ）の波形の振幅値に積算することによって、配管 7 に存在する減肉部 7 b の面積を算出できる。減肉部は、配管の内面から外側に向かってえぐられた部分であり、配管の内面に形成された窪みである。減肉部の面積（図 8 の 2 9）は、配管の横断面（配管の軸心に直交する断面）におけるその窪み部分の面積を意味している。

【 0 0 4 7 】

上記の係数について具体的に説明する。配管の断面積が s_0 、配管の管端からの反射信号の合成 0 次モード $S_0 m$ の振幅が a_0 、減肉部 7 b の面積が s 、減肉部 7 b からの反射信号の合成 0 次モード $S_0 m$ の振幅が a であるとき、 $s/a = s_0/a_0$ の関係がある。したがって、振幅 a を減肉部 7 b の面積 s に変換する係数は s_0/a_0 となり、減肉部 7 b の面積 s は $s = a \times (s_0/a_0)$ で求められる。

【0048】

配管検査装置 10 を用いた、減肉部の有無を確認する配管の検査において、上記の係数 (s_0/a_0) は、配管の管端からの、ガイド波の反射信号が測定可能な場合には、配管に探触子 1 a 等の各探触子を取り付けるたびに算出するとよい。すなわち、各探触子を配管に取り付けたとき、探触子から配管にガイド波を送信し、管端からの反射信号を受信する。この反射信号に基づいて算出した合成 0 次モード $S_0 m$ の振幅 a_0 を用いて、係数 (s_0/a_0) を求める。この係数を上記した記憶装置に予め記憶させ、面積 s の算出に用いる。このように、探触子を配管に取り付けるたびに係数 (s_0/a_0) を算出することによって、算出された面積 s の精度が向上する。これは、探触子を配管に取り付けるたびに变化する、探触子と配管との接触状態及びガイド波の減衰度合いの各影響が小さくなるからである。なお、配管の管端が存在しない場合には、例えば、試験データを用いて予め算出した係数 (s_0/a_0) を用いて面積 s を求める。

【0049】

ステップ 26 の処理が終了した後、配管周方向における減肉部の長さ (減肉部の周方向長さ) を求める (ステップ 27)。信号処理装置 5 B は、合成モード毎にそれぞれの波形の振幅を計算し、減肉部 7 b の周方向長さを求める。

【0050】

この周方向長さの算出は、発明者らが見出した新たな知見を反映して行われる。この新たな知見は図 8 に示す特性である。すなわち、発明者らは、減肉部に関する種々の検討から、減肉部の周方向長さが複数の合成モードの振幅で示されるパターン (以下、振幅パターンという) に関係しているという新たな知見を得た (図 8 参照)。この知見について詳細に説明する。減肉部 7 b の周方向長さが長い場合、具体的には、減肉部 7 b の周方向長さが配管内面での円周の長さの約 2 分の 1 である場合 (図 8 (a) 参照) には、合成モードの波形の振幅は、周方向における合成モードの次数が 2 次モード以上になると急激に減少する。減肉部 7 b の周方向長さが短い場合、具体的には、減肉部 7 b の周方向長さが配管内面での円周の長さの約 4 分の 1 である場合 (図 8 (b) 参照) には、合成モードの波形の振幅は、周方向における合成モードの次数が 2 次モードで大きく減少することはない。減肉部 7 b の周方向長さが配管内面の円周の約 4 分の 1 である場合には、0 次、1 次及び 2 次の各合成モードにおけるそれぞれの振幅は、同じである。しかも、それらの振幅は、図 8 (a) に示す 0 次、及び 1 次の各合成モードにおけるそれぞれの振幅よりも小さくなっている。さらに、減肉部 7 b の周方向長さが配管内面での円周の長さに等しい (減肉部が配管内面で周方向の全体に広がっている) 場合には、1 次及び 2 次の各合成モードの各振幅が 0 となり、0 次の合成モードの振幅が 0 より大きな値を有する。以上のことから、発明者らは、減肉部 7 b の周方向長さが複数の合成モードの振幅 (振幅値) のパターンと関係していることを発見し、減肉部 7 b の周方向長さが振幅パターンに基づいて求められることを見出した。

【0051】

振幅パターンの情報と減肉部 7 b の周方向長さの関係をデータベース化し、この第 2 データベースの情報を上記した記憶装置に予め記憶しておく。信号処理装置 5 B は、入力したデジタル信号のデータに基づいて各次数の合成モードの波形を算出し、それぞれの波形の振幅値を求める。0 次、1 次及び 2 次の各合成モードにおける波形の算出を、図 9 を用いて具体的に説明する。超音波探触子群 1 の各探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d のそれぞれで受信した各受信信号に対応する各デジタルデータ S_{1a} , S_{1b} , S_{1c} , S_{1d} を、図 9 (a) ~ (d) に例示する。これらのデジタルデータは、探触子 1 a の設置された位置を通過して軸方向に伸びる線を中心に、減肉部 7 b が配管 7 の周方向に

10

20

30

40

50

180°の範囲に亘って分布しているときの例である。図9(a)~(d)に示す各受信信号のデジタルデータ、及び(1)~(3)式を用いて算出された、周方向モードである0次、1次及び2次の各モードの波形データ S_{10} 、 S_{11} 、 S_{12} は、図9(e)~(g)のようになる。受信0次モードと受信1次モードの振幅が同等になり、また、受信2次モードの振幅がほぼゼロになる。

【0052】

超音波探触子群2の各探触子2a、2b、2c、2dのそれぞれで受信した各受信信号に対応する各デジタルデータ S_{1a} 、 S_{1b} 、 S_{1c} 、 S_{1d} 、及び(4)~(6)式を用いて、探触子2a~2dの各受信信号に対する、周方向モードである0次、1次及び2次の各モードの波形データ S_{20} 、 S_{21} 、 S_{22} を同様に算出する。ステップ24で述べた合成0次モード S_{0m} の波形データの求め方と同様にして、波形データ S_{11} 、 S_{21} を用いて、合成1次モード S_{1m} の波形データを求める。同様に、波形データ S_{12} 、 S_{22} を用いて、合成2次モード S_{2m} の波形データを求める。合成0次モード S_{0m} と合成1次モード S_{1m} の振幅が同等になり、また、合成2次モード S_{2m} の振幅がほぼゼロになる。

【0053】

信号処理装置5Bは、得られた振幅値に基づいた振幅パターンを用いて、記憶されている第2データベースの情報より該当する減肉部の周方向長さを求める。

【0054】

本実施例において用いられる超音波探触子群1、2は、それぞれ、周方向に配置される4つの探触子を有している。これらの超音波探触子群のそれぞれにおいて探触子の個数を増加させれば、配管の周方向により多くの探触子を配置することができ、計算可能な合成モードの次数が増加する。このため、減肉部の周方向長さをより精度良く求めることができる。配管の周方向に配置する探触子の個数を増加することによって、ステップ25で求められる、周方向における減肉部の位置の精度も向上する。

【0055】

減肉部の深さを算出する(ステップ28)。信号処理装置5Bは、ステップ26で求めた減肉部の面積29(図8参照)をステップ27で求めた減肉部の周方向長さで割ることによって減肉部7bの深さを算出する。減肉部の深さは、窪みの底面から減肉部が発生しない状態での配管の内面までの距離である。

【0056】

図3に示す処理には含まれていないが、配管軸方向における減肉部の位置は、信号処理装置5Bで求められる。信号処理装置5Bは、超音波探触子群1(または超音波探触子群2)の探触子からガイド波が送信されてからこの探触子が反射波を受信するまでに要した時間を良く知られている方法により求める。配管内を伝播するガイド波の音速にその時間を掛けて、さらに1/2を掛けることによって、探触子の位置を基点にした、配管軸方向における減肉部の位置を求めることができる。

【0057】

本実施例によって得られる効果を、図10及び図11を用いて説明する。簡単のために、配管ではなく板の測定結果(配管の内径が無限大と等価)に基づいて説明をする。高さ h が1mmで長さ w の複数のスリットを加工した板厚4mmの鋼板(試験体)を用い、この試験体表面に置いた探触子からスリットまでの距離を変えて反射波の振幅を測定した結果を、図10に示す。この測定結果から、探触子から1m離れた位置よりも先においては、距離に依存はするものの、スリットの面積($h \times w$)と反射波の振幅が比例関係にあることが分かった。一方、図11は、同じ試験体に対して、探触子をスリットの長さ方向に走査して得られた反射波の振幅の測定結果を示している。 $w = 100$ のようにスリットの長さが長いものと、 $w = 10$ のようにスリットの長さが短いものでは、反射波の振幅の変化に違いが生じている。この結果に基づけば、スリットの長さを反射波の振幅のパターンの違いによって求めることができる。これは、配管で言えば複数の合成モードの波形の振幅のパターンに違いが生じることと同じ現象であり、本試験結果と同じ効果が配管にお

いても得られるといえる。

【0058】

本実施例は、配管の周方向に配置された複数の探触子が受信した各反射信号に基づいて複数のモードを抽出し、これらのモードの波形の振幅のパターンから減肉部の周方向長さを求めることができる。このため、配管の周方向において減肉部がどの程度広がっているかを知ることができる。この情報は、減肉部に対する対策（交換または補修）を決定する際の重要な一つの情報となる。特に、周方向における減肉部の広がりを知ることは、配管の補修作業を適切に行うことができる。

【0059】

本実施例は、反射信号に基づいて得られた各モードの振幅に基づいて減肉部の面積を求め、この面積及び減肉部の周方向長さに基づいて減肉部の深さ（減肉部における配管の肉厚）を求めることができる。配管の管理上クリティカルな減肉部の深さが分かるので、減肉部に対する対策を適切に選択することができる。

【0060】

本実施例は、送受信用の探触子を用い、ガイド波による配管の検査を行っているため、配管の長距離に亘っての検査が可能になり、検査時間を短縮できる。検査を行うに際して、配管から保温材を取り外す範囲も狭くまたそれを取り外す箇所も少なくなる。検査前の保温材の取り外し及び検査後の保温材の取り付けに要する作業時間が著しく短縮される。以上のことから、本実施例は、配管の検査に要する期間を著しく短縮できる。本実施例は、配管の検査に要する期間を著しく短縮できる上に、減肉部の周方向長及び深さをそれぞれ求めることができる。

【0061】

本実施例は、2つの超音波探触子群を配管の軸方向に配置している。このため、配管の軸方向において、これらの超音波探触子群から離れる一つの方向、及びこの方向とは逆方向でそれらの超音波探触子群から離れる他の方向にそれぞれ減肉部が存在する場合、それぞれの減肉部を個々に検出することができる。

【0062】

本実施例は、素子切替器14aの切替え操作によって超音波探触子群1の各探触子を同時に励起し、素子切替器15の切替え操作によって超音波探触子群1の各探触子で個別に受信している。各探触子からのガイド波の送信を同時に行っているため、各探触子から配管に伝えられるガイド波の強度が大きくなり、ガイド波を用いる検査時間が短くなる。しかしながら、各探触子を個別に励起する場合に比べてガイド波の強度を個々に調節することができなくなる。ガイド波の受信は、素子切替器15の切替え操作によって超音波探触子群1の各探触子で個別に行っているため、検査対象物である配管に対する各探触子の接触状態が異なっている場合、各探触子で受信されるガイド波の強度を個々に補正することができる。このため、配管から各探触子に伝えられた各ガイド波の強度を均一化することができる。超音波探触子群2の各探触子も個別に受信されているため、同様な効果を生じる。

【0063】

本実施例においてコンピュータ5の中央制御装置5Aで実行される機能を、制御器11で実行させることも可能である。この場合には、コンピュータ5は信号処理装置5Bとして機能する。制御器11は、中央制御装置5Aからの制御指令（ガイド波送信指令等）を入力したときに実行する機能、及び中央制御装置5Aで実行する機能の両方を実行する。

【実施例2】

【0064】

本発明の他の実施例である実施例2の配管検査方法を、以下に説明する。本実施例も、図1及び図2に示す配管検査装置10を用いる。中央制御装置5Aも、図3に示す処理を実行する。本実施例において実施例1と異なるところは、超音波探触子群1、2の各探触子と、パワーアンプ13a、13bとの接続の仕方である。実施例1は、超音波探触子群1の探触子1a～1dを同時にパワーアンプ13aに接続し、超音波探触子群2の探触子

10

20

30

40

50

2 a ~ 2 dを同時にパワーアンプ1 3 bに接続している。これに対して、本実施例では、対となる、超音波探触子群1の1つの探触子及び超音波探触子群2の1つの探触子がパワーアンプ1 3 a, 1 3 bに実質的に同時にそれぞれ接続されるように、制御器1 1からの切替指令を入力した素子切替器1 4 a, 1 4 bが機能する。例えば、素子切替器1 4 aによる探触子1 aのパワーアンプ1 3 aへの接続、及び素子切替器1 4 bによる探触子2 aのパワーアンプ1 3 bへの接続が実質的に同時に行われる。その後、対となる探触子1 b、2 bのパワーアンプ1 3 a, 1 3 bへの接続、及び対となる探触子1 c、2 cのパワーアンプ1 3 a, 1 3 bへの接続等が、素子切替器1 4 a, 1 4 bによって順次行われる。図3に示す処理のうち、ステップ2 1 ~ 2 3の各処理では、対となる探触子1 aと探触子2 aの組で遅延送信して受信し、次に、対となる探触子1 bと探触子2 bの組でガイド波を遅延送信して反射信号を受信するというように信号の送受信を繰り返すので、送受信回数が実施例1の4倍になる。

10

【0065】

本実施例では、素子切替器1 4 aと素子切替器1 4 bの切替え操作によって超音波探触子群1, 2の各探触子を個別に励起しているため、配管に対する各探触子の接触状態が異なっても、各探触子から送信されるガイド波の強度を個々に調節することができる。このため、各探触子から配管に伝えられた各ガイド波の強度を均一化することができる。一方で、各探触子を個別に励起する場合は、各探触子を一度に励起する場合ほどにはガイド波の強度を大きくすることができない。また、上述のように送受信回数が増えるため、検査時間が長くなる。

20

【0066】

本実施例は、実施例1で生じる効果のうち、各超音波探触子群に含まれるそれぞれの探触子を同時に励起する場合に生じる効果を除いた他の効果を得ることができる。

【実施例3】**【0067】**

本発明の他の実施例である実施例3の配管検査方法を、以下に説明する。本実施例も、図1及び図2に示す配管検査装置10を用いる。中央制御装置5 Aも、図3に示す処理を実行する。本実施例において実施例1と異なるところは、超音波探触子群1, 2の各探触子と、パワーアンプ1 3 a, 1 3 bとの接続の仕方である。本実施例は、制御器1 1から切替指令を入力した素子切替器1 4 aによって、超音波探触子群1の探触子1 a, 1 b, 1 c, 1 dが1つずつ順番にパワーアンプ1 3 aに接続される。また、超音波探触子群2の探触子2 a, 2 b, 2 c, 2 dも、制御器1 1からの切替指令を入力した素子切替器1 4 bによって、パワーアンプ1 3 bに1つずつ順番に接続される。図3に示す処理のうち、ステップ2 1 ~ 2 3の各処理では、探触子1 aで送信して受信し、次に、探触子2 aで送信して受信し、その後、探触子1 bで送信して受信するというようにガイド波の送信及び反射信号の受信が繰り返される。このため、信号の送受信回数が実施例1の16倍(実施例2の4倍)になる。

30

【0068】

本実施例も、実施例2と同様に、配管に対する各探触子の接触状態が異なっても、各探触子から送信されるガイド波の強度を個々に調節することができる。このため、各探触子から配管に伝えられた各ガイド波の強度を均一化することができる。また、上述のように、ガイド波送受信器3の構成機器を削減できるので、装置を安価で小型に構成できるという利点がある。一方で、実施例2に比べて、ガイド波の強度がさらに低下する。また、送信に用いる探触子と受信に用いる探触子の組み合わせ数が増えるため、実施例2よりも検査時間が相対的に長くなる。

40

【0069】

本実施例は、実施例1で生じる効果のうち、各超音波探触子群に含まれるそれぞれの探触子を同時に励起する場合に生じる効果を除いた残りの効果を得ることができる。

【0070】

本実施例において、ガイド波送受信器3の構成を以下のようにすることも可能である。

50

すなわち、ガイド波送受信器 3 の構成から、信号発生器 1 2 b、パワーアンプ 1 3 b 及び素子切替器 1 4 b を取り除き、素子切替器 1 4 a を探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d, 2 a, 2 b, 2 c, 2 d のそれぞれに接続する。信号発生器 1 2 a は信号発生器 1 2 b の機能も実行し、パワーアンプ 1 3 a はパワーアンプ 1 3 b の機能も実行する。素子切替器 1 4 a は、探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d, 2 a, 2 b, 2 c, 2 d を上記した順番でパワーアンプ 1 3 a に接続する。

【実施例 4】

【0071】

本発明の他の実施例である実施例 4 の配管検査方法を、以下に説明する。本実施例で用いる配管検査装置は、図 1 及び図 2 に示す配管検査装置 10 の構成から、超音波探触子群 2、信号発生器 1 2 b、パワーアンプ 1 3 b 及び素子切替器 1 4 b を取り除いた構成となっている。超音波探触子群 1 に含まれる探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d は、それぞれ、配管の一方向に超音波を送受信できる斜角探触子である。斜角探触子を用いることによって、超音波探触子群 2 を削除することができる。

10

【0072】

本実施例においては、図 3 に示すステップ 2 1 ~ 2 8 の各処理が、コンピュータ 5 の中央制御装置 5 A 及び信号処理装置 5 B で探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d の各受信信号を用いて実行される。ただし、本実施例では、実施例 1 で実行される以下の機能は実行されない。実行されない処理は、制御器 1 1 からの図 4 (または図 5) に示す第 2 励起信号の出力、及びステップ 2 4 で行われる (4) ~ (6) 式の演算及び図 6 に示す (b) ~ (f) の各波形データを求める処理である。

20

【0073】

本実施例で行われるステップ 2 1 ~ 2 8 の各処理のうち、実施例 1 と異なる部分のみを以下に説明する。ステップ 2 4 においては、超音波探触子群 1 の各探触子の各受信信号と超音波探触子群 2 の各探触子の各受信信号の合成処理は行われず、超音波探触子群 1 の各探触子の各受信信号を用いた (1) ~ (3) 式による合成処理が行われる。これらの演算によって、受信 0 次モード S 1 0、受信 1 次モード S 1 1 及び受信 2 次モード S 1 2 の各波形データ (例えば図 8 (e) ~ (g) 参照) が求められる。ステップ 2 6 での減肉部の面積の算出は、受信 0 次モード S 1 0 の波形の振幅値に予め定めておいた係数を掛けることによって行う。これは、受信 0 次モード S 1 0 の波形の振幅が、配管の断面積に対する減肉部 7 b の面積の比率にほぼ比例するからである。ステップ 2 7 で用いる第 2 データベース情報の振幅パターン情報は、複数の受信モード (例えば、受信 0 次モード S 1 0, S 1 1, S 1 2) の各波形データの振幅に基づいて作成される。これらの受信モードの振幅に基づいた第 2 振幅パターンも、複数の合成モードの振幅に基づいた第 1 振幅パターンと減肉部の周方向長さの関係と同様に、その周方向長さに関係している。ステップ 2 7 では、探触子 1 a ~ 1 d の各受信信号に基づいて算出した受信 0 次モード S 1 0, S 1 1, S 1 2 の各波形の振幅値による振幅パターンを用いて、その周方向長さを求める。

30

【0074】

本実施例では、実施例 1 と同様に、素子切替器 1 4 a は、切替指令に基づいて、探触子 1 a, 1 b, 1 c, 1 d を実質的に同時にパワーアンプ 1 3 a に接続している。

40

【0075】

本実施例は、実施例 1 で生じる効果のうち、2 つの超音波探触子群の配置によって生じる効果を除いた残りの効果を得ることができる。本実施例は、斜角探触子を用いることによって超音波探触子群 2 を削除できるので、本実施例で用いる配管検査装置を配管検査装置 10 よりも小型化することができる。本実施例で用いる配管検査装置のガイド波送受信器は、信号発生器 1 2 b、パワーアンプ 1 3 b 及び素子切替器 1 4 b が不要になるので、実施例 1 で用いるガイド波送受信器よりも小型化できる。

【0076】

斜角探触子は、送信する超音波が低い周波数の領域 (約数十キロヘルツ以下) になると、配管の一方向に超音波を送受信する性能が低下する。しかしながら、斜角探触子は、高

50

い周波数の領域では、超音波の送受信効率が高いという利点がある。このため、1つの超音波探触子群1を用いた配管検査装置は、高い周波数のガイド波を探触子1a, 1b, 1c, 1dより送信する。なお、実施例1で用いる、2つの超音波探触子群を有する配管検査装置10は、各探触子から低い中端数のガイド波を送信する場合に適する。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】本発明の好適な一実施例である実施例1における配管検査装置の構成図である。

【図2】図1に示すガイド波送受信器の詳細構成図である。

【図3】図1に示す中央制御装置及び信号処理装置で実行される処理の内容を示すフローチャートである。

10

【図4】超音波探触子に印加する励起信号の例を示す説明図である。

【図5】超音波探触子に印加する励起信号の別の例を示す説明図である。

【図6】超音波探触子で受信した受信信号の処理前及び処理後における0次モードの各波形の例を示す説明図である。

【図7】配管の周方向における減肉部の位置を求める考え方を示す説明図である。

【図8】次数の異なる合成モードの振幅のパターンを示す説明図である。

【図9】超音波探触子で受信した各受信信号のデジタルデータ、及びこれらのデジタルデータを用いて得られる0次～2次の各モードでの波形の例を示す説明図である。

【図10】超音波探触子から試験体に形成されたスリットまでの距離と反射波の振幅との関係を示した特性図である。

20

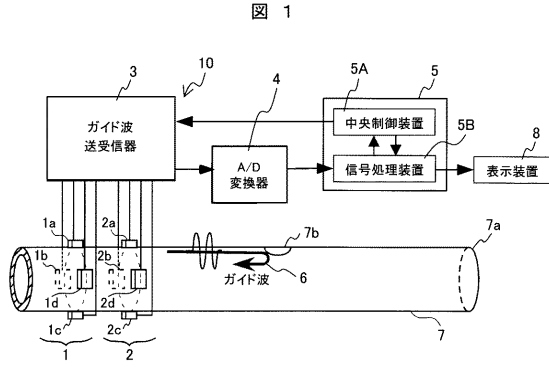
【図11】超音波探触子のスリット長手方向における走査距離と規格化された、反射波の振幅との関係を示す特性図である。

【符号の説明】

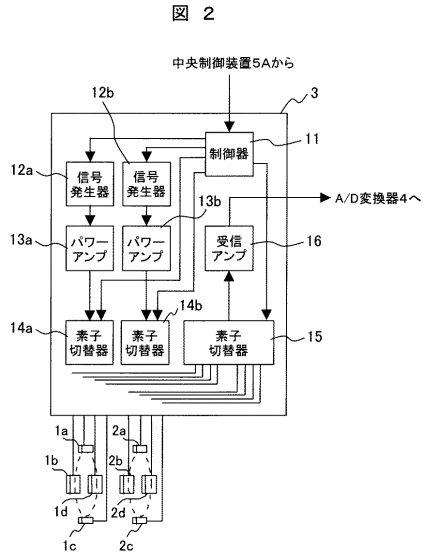
【0078】

1, 2...超音波探触子群、1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c, 2d...超音波探触子、3...ガイド波送受信器、4...A/D変換器、5...コンピュータ、5A...中央制御装置、5B...信号処理装置、6...ガイド波、7...配管、8...表示装置、11...制御器、12a, 12b...信号発生器、14a, 14b, 15...素子切替器。

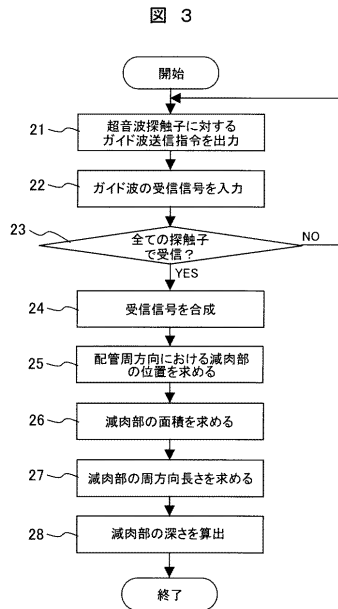
【図1】



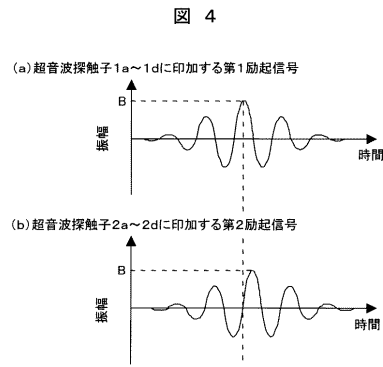
【図2】



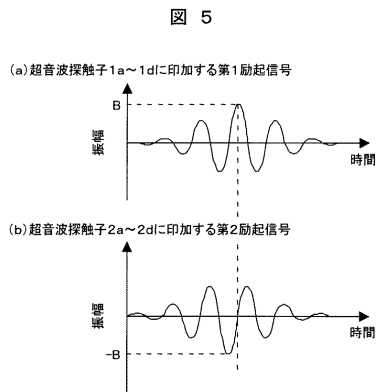
【図3】



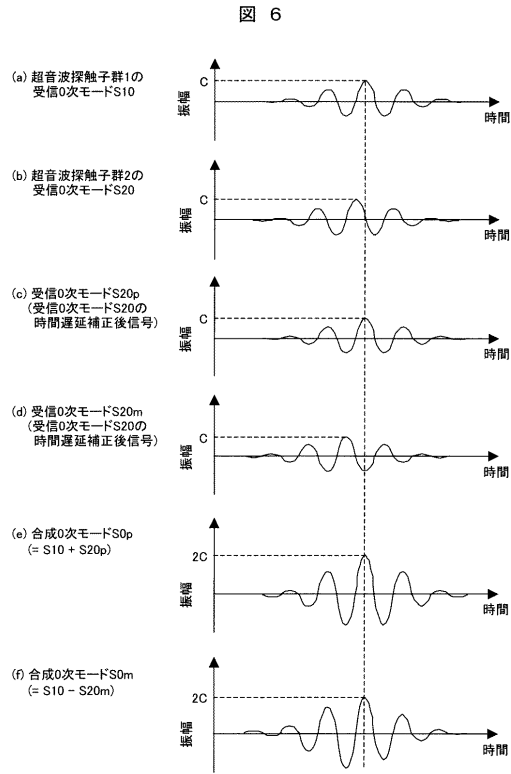
【図4】



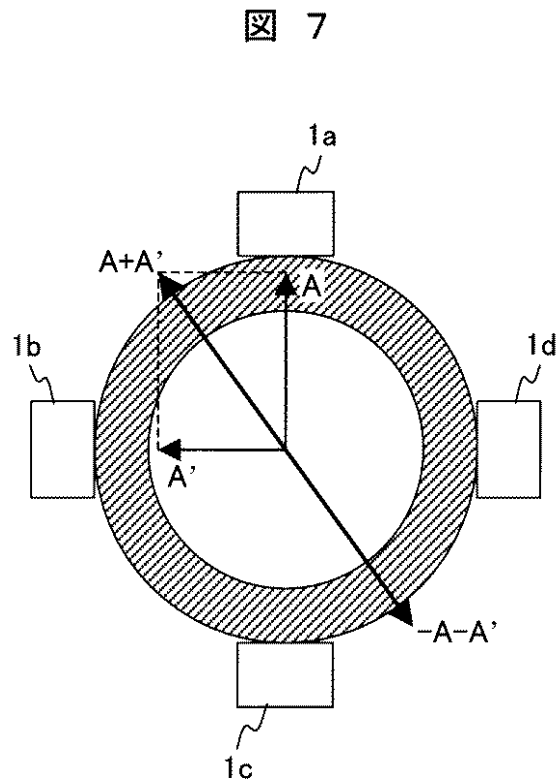
【図5】



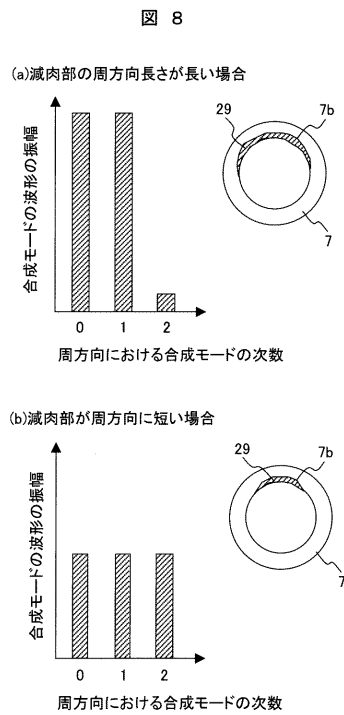
【図6】



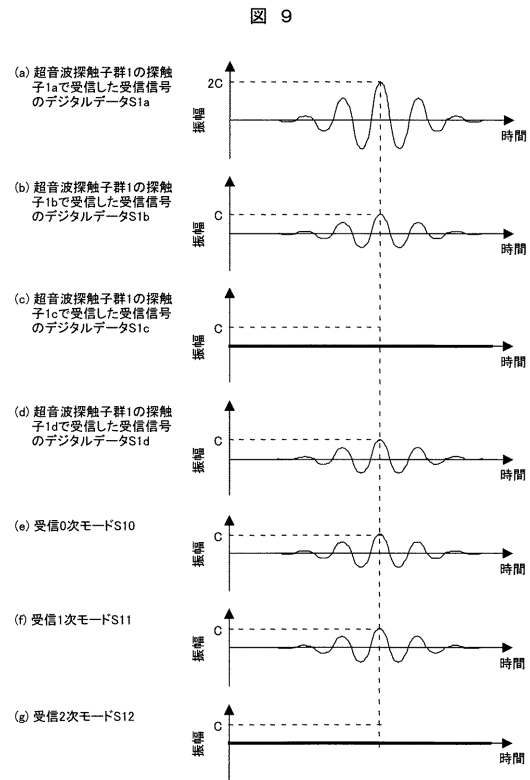
【図7】



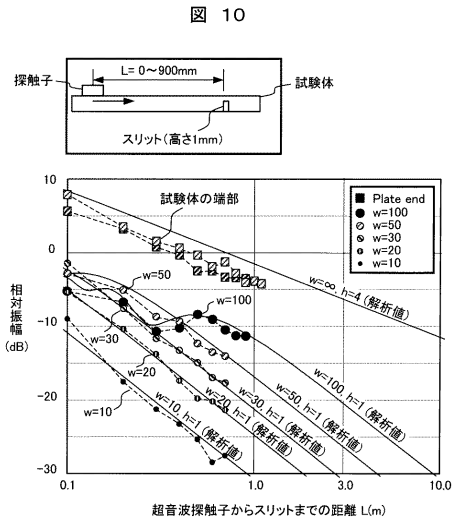
【図8】



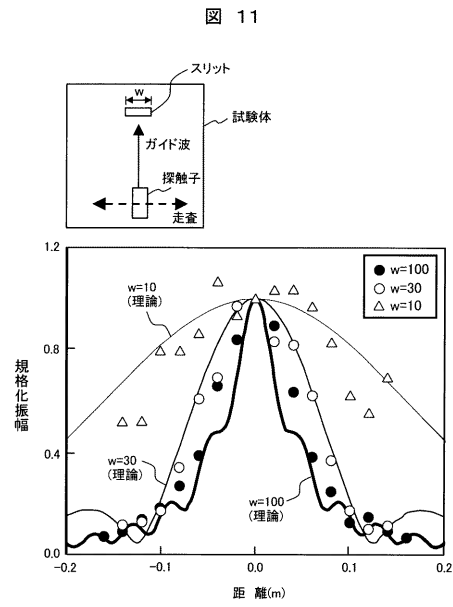
【図9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 遠藤 正男

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

審査官 鹿戸 俊介

(56)参考文献 特開2006-53134(JP,A)

特開2006-170754(JP,A)

特開2004-85370(JP,A)

特開2004-301540(JP,A)

特開2003-57212(JP,A)

特開2005-10055(JP,A)

林高弘,他2名,ガイド波非軸対象モードの抽出,非破壊検査,2004年 4月 1日,Vo
l.53, No.4, P.223-229

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00-29/52

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)