

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-300854
(P2006-300854A)

(43) 公開日 平成18年11月2日(2006.11.2)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 B 17/02 (2006.01) GO 1 B 17/02 B 2 F O 6 8

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2005-126077 (P2005-126077)	(71) 出願人	504174135 国立大学法人九州工業大学 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
(22) 出願日	平成17年4月25日(2005.4.25)	(74) 代理人	100092347 弁理士 尾仲 一宗
		(72) 発明者	大塚 信也 福岡県北九州市戸畑区中原東3丁目13-45-806
		(72) 発明者	匹田 政幸 福岡県北九州市八幡東区高見2丁目10-1-401
		(72) 発明者	和田 晃徳 福岡県北九州市小倉北区井堀1-11-2 コーポ井上101

最終頁に続く

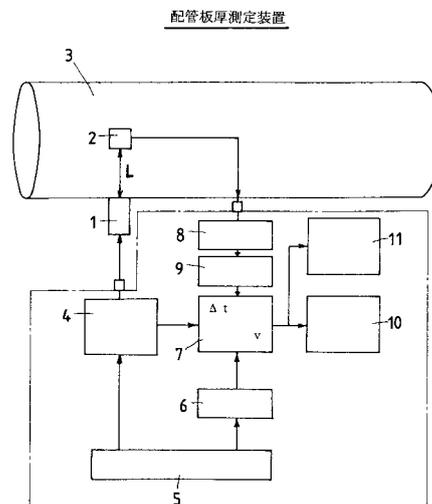
(54) 【発明の名称】 配管板厚測定装置

(57) 【要約】

【課題】 この配管板厚測定装置は、原子力発電所、火力発電所、化学プラント等の配管の板厚を、非破壊によって簡易に、信頼性に富んで精度良く測定する。

【解決手段】 この配管板厚測定装置は、予め任意に設定された超音波による入力信号を配管3に対して入力する信号入力センサ1と、信号入力センサ1の入力信号に応答して発生するラム波を検出する検出センサ2とを有し、信号入力センサ1と検出センサ2との間において特定の周波数機械振動のセンサ間の伝搬速度をラム波の伝搬速度分散に基づき求めることによって配管3の板厚を測定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

予め任意に設定された超音波による入力信号を配管に対して入力するための 1 つの信号入力センサと、前記信号入力センサの前記入力信号に応答して発生するラム波を検出する 1 つ以上の検出センサとを有し、前記信号入力センサと前記検出センサとの間において特定の周波数機械振動のセンサ間の伝搬速度を前記ラム波の伝搬速度分散に基づき求めることにより前記配管の板厚を測定することから成る配管板厚測定装置。

【請求項 2】

前記信号入力センサは、前記入力信号の 1 つ又は 2 つ以上の周波数、前記信号入力センサと前記検出センサとの間のセンサ間距離、配管等の板部材の材料、及び各種の設定条件を入力する機能を有し、前記入力信号の前記周波数に対する前記板厚と、それらの平均値をそれぞれ個別の数値として、或いは前記ラム波の伝搬速度と前記周波数との特性上にプロットして表示する機能を有することから成る請求項 1 に記載の配管板厚測定装置。

10

【請求項 3】

前記入力信号は、前記配管の前記板厚に応じて変化させ、実質的に 100 Hz ~ 20 MHz の範囲内での単一周波数成分で構成される信号であることから成る請求項 1 又は 2 に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 4】

前記入力信号の前記周波数は、前記ラム波の最低次の反対称モードである A1 モード以上を含まない A0 モードの範囲で使用することから成る請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

20

【請求項 5】

前記入力信号の入力は、前記単一周波数成分で構成される信号が 1 つだけ、或いは複数の異なる周波数成分を複数入力するかを選択して入力できる機能を有することから成る請求項 3 又は 4 に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 6】

前記信号入力センサと前記検出センサは、測定対象物である前記配管の前記板部材との接触或いは非接触を問わず、前記測定対象物に A0 モードの前記ラム波を誘起させ、前記検出信号を取得できるものを使用することから成る請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

30

【請求項 7】

前記検出センサによる前記検出信号は、アンプで増幅され、前記入力信号と同じ周波数成分だけを抽出するフィルタ機能を有することから成る請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 8】

前記入力信号と前記検出信号は、複数回をアベレーシングして前記入力信号と前記検出信号の S/N を良くする機能を有することから成る請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 9】

入力信号発振から検出信号到達までの伝搬時間 t を測定することから成る請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

40

【請求項 10】

前記信号入力センサと前記検出センサとの間の距離は、任意に設定できる長さ L であって、前記長さ L として前記信号入力センサに信号が入力されることから成る請求項 9 に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 11】

前記伝搬時間 t と前記長さ L から前記入力信号に対する伝搬速度 v_f を求める機能を有することから成る請求項 10 に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 12】

前記伝搬速度 v_f の表示として、前記伝搬速度と前記周波数との関係の特性をプロットす

50

る機能を有することから成る請求項 1 1 に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 1 3】

前記配管の材料を入力する機能を有し、前記材料の前記ラム波の非対象モードである A 0 モードの理論的な速度分散特性のデータベースを有することから成る請求項 1 ~ 1 2 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 1 4】

前記配管の前記板厚のデータは、表示部に表示すると共に、無線又は有線で前記データを遠隔地に送信して表示する機能を有することから成る請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

【請求項 1 5】

前記配管の前記板厚のデータを保存するメモリを有し、異なるセンサ位置で測定した結果を併せて表示できる機能を有することから成る請求項 1 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の配管板厚測定装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、例えば、原子力発電所、火力発電所等における蒸気配管、天然ガス、水素ガス等のガスを輸送するガス配管等の配管の板厚を測定する配管板厚測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、配管板厚測定装置は、各種の配管の板厚を測定するのに超音波を用いており、本格的には底面での反射に基づいており、その点からは配管の板厚を局所的に測定するスポット測定といえる。

20

【0003】

また、従来知られている管厚測定装置は、超音波反射エコーを用いて鋼管の厚さを連続的に測定する手段と、異常データ処理手段を備えた超音波管厚測定装置である。該管厚測定装置は、エコーをあらかじめ設定した強度に増幅する増幅器と、エコーをあらかじめ定めた強度範囲にあるか否かを判定する判定回路を備え、異常データ処理手段を通過したデータを前回値と比較し、順次トラッキングする複数の前回値トラッキング手段を備えたものである（例えば、特許文献 1 参照）。

30

【0004】

また、材料厚さ測定方法及び装置として、材料温度が変動しても、材料厚さを簡易な構成で高精度に測定できるものが知られている。該材料厚さ測定装置は、材料の表面にレーザを照射して材料内部に超音波を発生させ、材料中の縦波及びモード変換波の伝搬時間に基づいて材料厚さを算出するものである（例えば、特許文献 2 参照）。

【0005】

また、配管の非破壊検査方法が知られている。該配管の非破壊検査方法は、容易に短時間で配管内表面の広い範囲にわたる水蒸気酸化スケールの付着形態を検査することができるものであり、電磁超音波検査装置により、ボイラ鋼管等の配管の外側から配管と非接触で配管を配管周方向及び配管長手方向に走査して、配管の内表面に付着している水蒸気酸化スケールの厚さ、剥離及び浮き上がりを検査する。また、電磁超音波検査装置による検査結果に基づき、配管内表面を周方向に展開した状態で水蒸気酸化スケールの付着形態を色分けして表示する。また、水蒸気酸化スケールの厚さも、厚さに応じて色の階調を変えて表示してもよいものである（例えば、特許文献 3 参照）。

40

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 2 7 5 0 3 5 公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 1 5 7 1 1 4 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 4 - 4 5 1 2 4 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

50

しかしながら、配管板厚測定装置としては、原子力発電所、火力発電所等の蒸気配管、化学プラント等の配管、ガス管、水道管等の配管について、配管の板厚を全領域にわたって測定できることが望まれており、例えば、配管の所定の区間での板厚の平均厚さを測定することによってその領域に板厚の薄くなった領域が無いか否かを判断することができ、その時、配管を損傷させることなく、配管に対して非破壊によって簡易に且つ精度良く測定できることが望まれていた。

【0007】

この発明の目的は、上記の問題を解決するため、原子力発電所、火力発電所、化学プラント等の配管の板厚を測定するのに、配管中を伝わる超音波が板厚と周波数に依存した速度分散性を有するラム波という波で伝搬することに着目し、この速度分散特性を利用して、配管の板厚を非破壊で簡易に精度良く測定すると共に、その測定結果の正確さを容易に判断でき、測定結果を表示できるものであり、具体的には、複数のセンサを離して配管に設置してセンサ間の平均板厚を測定可能としたものであり、その面の平均板厚も測定できる配管板厚測定装置を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明は、予め任意に設定された超音波による入力信号を配管に対して入力するための1つの信号入力センサと、前記信号入力センサの前記入力信号に応答して発生するラム波を検出する1つ以上の検出センサとを有し、前記信号入力センサと前記検出センサとの間において特定の周波数機械振動のセンサ間の伝搬速度を前記ラム波の伝搬速度分散に基づき求めることによって前記配管の板厚を測定することを特徴とする配管板厚測定装置に関する。

20

【0009】

前記信号入力センサは、前記入力信号の1つ又は2つ以上の周波数、前記信号入力センサと前記検出センサとの間のセンサ間距離、配管等の板部材の材料、及び各種の設定条件を入力する機能を有し、前記入力信号の前記周波数に対する前記板厚と、それらの平均値をそれぞれ個別の数値として、或いは前記ラム波の伝搬速度と前記周波数との特性上にプロットして表示する機能を有するものである。

【0010】

前記入力信号は、前記配管の前記板厚に応じて変化させ、実質的に100Hz～20MHzの範囲内の単一周波数成分で構成される信号である。また、前記入力信号の前記周波数は、前記ラム波の最低次の反対称モードであるA1モード以上を含まないA0モードの範囲で使用されるものである。例えば、配管がアルミニウム板の場合に、A1モードを含まないA0モードの周波数(f)と板厚(w)との積(fw)は、およそ $fw < 1.5 \text{ MHz mm}$ である。板厚 w が10mmであるなら、周波数 f は、 $f < 150 \text{ kHz}$ となり、この値以下の周波数成分を用いて測定を行うものである。

30

【0011】

更に、前記入力信号の入力は、前記単一周波数成分で構成される信号が1つだけ、或いは複数の異なる周波数成分を複数入力するかを選択して入力できる機能を有するものである。例えば、150kHz以下で、20、50、80、100kHz等の複数の単一周波数成分で測定を行うということであり、これにより伝搬速度-周波数特性のカーブ上に複数の点がプロットされることになる。

40

【0012】

前記信号入力センサと前記検出センサは、測定対象物である前記配管の前記板部材との接触或いは非接触を問わず、前記測定対象物にA0モードの前記ラム波を誘起させ、前記検出信号を取得できるものを使用するものである。また、前記検出センサによる前記検出信号は、アンプで増幅され、前記入力信号と同じ周波数成分だけを抽出するフィルタ機能を有するものである。

【0013】

また、この配管板厚測定装置は、前記入力信号と前記検出信号を複数回アベレーシング

50

して前記入力信号と前記検出信号の S / N を良くする機能を有するものである。

前記アベレーシングについては、1つの周波数を1回、周波数 f を変化させて1回、同一の周波数 f で複数回、異なった各周波数 f で複数回、或いはこれらの各平均、又は全ての平均を指している。即ち、アベレーシングについては、例えば、周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 、及び f_4 に対して、1つ目のアベレーシングは、 f_1 による複数回の測定によるアベレージが a_1 、 f_2 による複数回の測定によるアベレージが a_2 、 f_3 による複数回の測定によるアベレージが a_3 、及び f_4 による複数回の測定によるアベレージが a_4 である。2つ目のアベレーシングは、 a_1 、 a_2 、 a_3 、及び a_4 のアベレージが a である。3つ目のアベレーシングは、 f_1 、 f_2 、 f_3 、及び f_4 の各周波数による1回の測定によるアベレージが A であり、これらのアベレージが含まれている。

10

【0014】

また、この配管板厚測定装置は、入力信号発振から検出信号到達までの伝搬時間 t を測定するものである。更に、前記信号入力センサと前記検出センサとの間の距離は、任意に設定できる長さ L であって、前記長さ L として前記信号入力センサに信号が入力されるものである。又は、事前に複数のセンサ距離を記憶しておき、その距離に対応して即座にセンサ取付け位置を設定できる治具を付属してもよいものである。更に、この配管板厚測定装置は、前記伝搬時間 t と前記長さ L から前記入力信号に対する伝搬速度 v_f を求める機能を有するものである。また、この配管板厚測定装置は、前記配管の材料を入力する機能を有し、前記材料の前記ラム波の非対象モードである A_0 モードの理論的な速度分散特性のデータベースを有するものである。

20

【0015】

また、この配管板厚測定装置は、前記伝搬速度 v_f の表示として、前記伝搬速度と前記周波数との関係の特性をプロットする機能を有するものである。なお、伝搬速度 - 周波数特性上には、各配管厚に対する板厚、例えば、0.1 mm、0.5 mm、1 mm、2 mm、3 mm、5 mm、10 mm 等の厚さに対する理論的な曲線を表示できる機能を有することである。この理論的な厚み曲線と求めたプロットの相関を一目するだけで、容易に、はっきり且つ信頼性に富んで板厚を読み取ることができる。

【0016】

また、この配管板厚測定装置は、前記配管の前記板厚のデータは、表示部に表示すると共に、無線又は有線で前記データを遠隔地に送信して表示する機能を有するものである。また、この配管板厚測定装置は、前記配管の前記板厚のデータを保存するメモリを有し、異なるセンサ位置で測定した結果を併せて表示できる機能を有するものである。これにより、同一配管で位置を変えて板厚を測定することによって、配管の板厚が同一であれば、同一結果が表示され、板厚の測定結果が信頼性を有して即座に確認できる。また、板厚の測定結果が異なれば、細分化してセンサ距離を変化させてその周辺の板厚を測定することによって、面的な板厚の分布を測定することができる。

30

【発明の効果】

【0017】

この配管板厚測定装置は、上記のように構成されているので、原子力発電所、火力発電所、化学プラント等の配管に機械振動、例えば、超音波信号を入力すると、配管の板厚とその信号の周波数に依存する速度分散を有するラム波という波が配管中を伝搬する。そのため、入力信号の周波数を設定して、その既知の周波数成分の伝搬速度を測定することによって、ラム波の速度分散特性の理論に基づき配管の板厚を測定できる。また、入力信号の周波数を変化させて複数の信号を入力すること、及び測定結果を速度 - 周波数特性におよび直感的に配管の板厚を読み取れるように表示することによって、測定の信頼性を向上させることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

この発明による配管板厚測定装置は、概して、原子力発電所、火力発電所、化学プラント、ガス、水道、水素システム等の配管の板厚を測定するのに、配管中を伝わる超音波が

50

板厚と周波数に依存した速度分散性を有するラム波という波で伝搬することに着目し、この速度分散特性を利用して、配管の板厚を測定するものである。この配管板厚測定装置は、具体的には、入力用センサと出力用センサとの少なくとも2つの超音波センサを用いて、既知である伝搬信号の周波数成分とセンサ距離及び測定された伝搬速度が求められ、その値から板厚を算出するものである。この時、周波数を変化させて複数の速度を求め、「速度 - 周波数特性」をプロットすることで直感的に配管の板厚を読み取れるようにすると共に、その特性が有る板厚の理論曲線に一致しない場合には、局所的に板厚が異なっている場所が存在するか、測定に誤りがあるかが一目で確認でき、信頼性の高い板厚の測定が可能になる。また、センサの取付け位置とセンサの間隔を変えることによって三次元的な配管の板厚の分布を求めることができる。この配管板厚測定装置は、円筒の配管に適用して好ましいものであり、角形等の配管では、反射等の諸条件を補正する必要があることは勿論である。

10

【0019】

以下、図面を参照して、この発明による配管板厚測定装置の実施例を説明する。この配管板厚測定装置は、原子力発電所、火力発電所、化学プラント等の配管の板厚の厳密な管理が必要な箇所の板厚の検査を非破壊で簡易に精度良く実施できるものであり、従来の装置のように、配管の板厚の数値を表示するだけでなく、可視的に即ちビジュアル的に配管の板厚を表示するため、詳しくは、速度 - 周波数特性曲線で表示するため、配管の板厚の測定値が直感的に正しいか否かの判断ができ、板厚について信頼性に富んだ測定が可能になった。

20

【0020】

図1には、この発明による配管板厚測定装置の一実施例が示されている。この配管板厚測定装置は、予め任意に設定された超音波による入力信号を配管3に対して入力するための1つの信号入力センサ1と、信号入力センサ1の入力信号に応答して発生するラム波を検出する1つ以上の検出センサ2とを有しており、信号入力センサ1と検出センサ2との間において特定の周波数機械振動のセンサ間の伝搬速度を、ラム波の伝搬速度分散に基づき求めることによって配管3の板厚を測定するものである。

【0021】

この配管板厚測定装置は、具体的には、配管3には、配管3の板厚を測定する場所に信号入力センサ1と、信号入力センサ1から距離Lだけ隔置した位置に検出センサ2とがセットされている。検出センサ2は、配管3に対して複数箇所に設けることができるものである。信号入力センサ1には、信号発生回路4からの入力信号が入力される。信号発生回路4は、入力部5からの信号発生の処理によって作動し、予め決められた超音波による入力信号を発生させる。また、入力部5は、周波数、配管3の板部材の材料、及び信号入力センサ1と検出センサ2との距離Lの情報が予めセットされており、それらの情報に応じて決められた入力信号が信号発生回路4から発せられる。また、信号発生回路4で発生した入力信号は、測定解析部7に送り込まれる。また、入力部5からの情報は、配管材料物性データベース6に入力され、配管材料物性データベース6において、配管材料と周波数により求まる理論的な板厚と伝搬速度の情報は、測定解析部7に送り込まれる。

30

【0022】

一方、検出センサ2で測定された信号は、配管3の板厚とその信号の周波数に依存する速度分散を有するラム波の情報についての検出信号であり、アンプ8に送り込まれて増幅される。増幅された信号は、アンプ8から入力周波数成分抽出フィルタ9に送られて入力周波数成分が取り出される。フィルタ9で取り出された入力周波数成分は、測定解析部7に入力される。また、この配管板厚測定装置における測定解析部7は、入力検出信号の時間差即ち伝搬時間 t と長さLから入力信号周波数に対する伝搬速度 $v f$ を求め、これと配管材料の物性データベース6からの理論的な伝搬速度とを比較し解析することで板厚を導出する機能を有するものである。測定解析部7では、検出された入力周波数成分が、配管材料物性データベース6と信号発生回路4との情報を考慮して解析される。測定解析部7で解析導出された板厚とラム波の伝搬時間 t と伝搬速度 $v f$ との検出結果は、表示部

40

50

10で表示されると共に、メモリ11に記録される。

【0023】

この配管板厚測定装置は、入力信号の1つ又は2つ以上の周波数、信号入力センサ1と検出センサ2との間のセンサ間距離 L 、配管3の板部材の材料、及び各種の設定条件を入力する機能を有し、入力信号の周波数に対する板厚と、それらの平均値をそれぞれ個別の数値として、或いはラム波の伝搬速度と周波数との特性上にプロットして表示する機能を有するものである。ここで、入力信号は、配管3の板厚に応じて変化させ、実質的に100Hz～20MHzの範囲内の単一周波数成分で構成される信号である。また、入力信号の周波数は、最低次の反対称モードであるA1モード以上を含まない範囲で使用するものである。非対称モードは、位相速度に低い方からA0、A1、A2・・・で示され、また、対称モードは、位相速度に低い方からS0、S1、S2・・・で示される。ラム波のそれぞれの固有振動モードは、周波数によって伝搬速度 v が異なる強い分散性を示す。例えば、配管3がアルミニウム板の場合に、A1モードを含まないA0モードの範囲の周波数(f)と板厚(w)との積(fw)は、およそ $fw < 1.5 \text{ MHz mm}$ である。配管3の板厚 w が10mmであるなら周波数 f は、 $f < 150 \text{ kHz mm}$ となり、この値以下の周波数成分を用いて測定を行うものである。

10

【0024】

また、入力信号の入力は、単一周波数成分で構成される信号が1つだけ、或いは複数の異なる周波数成分を複数入力するかを選択して入力できる機能を有するものである。例えば、配管3の板厚 w は、150kHz以下で、20kHz、50kHz、80kHz、100kHz等の複数の単一周波数成分で測定を行うということであり、これにより伝搬速度-周波数特性のカーブ上に複数の点がプロットされることになる。また、配管3の板厚 w は、同一の周波数 f 又は複数の異なる周波数 f で、何回も入力し、これらの値の平均を出すことによって測定できる。

20

【0025】

この配管板厚測定装置において、信号入力センサ1と検出センサ2は、測定対象物である配管3の板部材との接触或いは非接触を問わず、測定対象物にA0モードのラム波を誘起させ、検出信号を取得できるものを使用するものである。また、検出センサ2による検出信号は、アンプ8で増幅され、フィルタ機能を持つ入力周波数成分抽出フィルタ9によって入力信号と同じ周波数成分だけを抽出される。

30

【0026】

また、この配管板厚測定装置は、信号入力センサ1による入力信号と検出センサ2による検出信号は、1回だけの測定、又は複数回をアベレージングして入力信号と検出信号とのシグナル/ノイズ(S/N)を良くする機能を有するものである。また、この配管板厚測定装置は、入力信号発振から検出信号到達までの伝搬時間 t を測定するものであり、これらの情報は測定解析部7で解析して得られる情報である。また、信号入力センサ1と検出センサ2との間の距離即ち長さ L は、任意に設定できるものであり、入力部5から配管材料物性データベース6を通じて測定解析部7に長さ L の信号が入力されるものである。この配管板厚測定装置は、伝搬時間 t と長さ L から伝搬速度 v を求め、材料、周波数 f 及び伝搬速度 v から配管3の板厚 w が求められる。或いは、CPUが事前に複数のセンサ距離を記憶しておき、その距離に対応して即座にセンサ距離を設定できる治具を付属してもよいものである。

40

【0027】

また、この配管板厚測定装置は、配管3の板部材の材料を入力する機能を有し、前記材料の前記ラム波の非対象モードであるA0モードの理論的な速度分散特性のデータベースを有するものである。また、この配管板厚測定装置は、伝搬速度 v の表示として、伝搬速度と周波数との関係の特性をプロットする機能を有するものである。なお、伝搬速度-周波数特性上には、各配管厚に対する厚さ、例えば、0.1mm、0.5mm、1mm、2mm、3mm、5mm、10mm等の厚さに対する理論的な曲線を表示できる機能を有することである。この理論的な厚み曲線と求めたプロットの相関を一目するだけで、容易

50

に、信頼性に富んだはつきりとの確に板厚を読み取ることができる。

【0028】

また、この配管板厚測定装置は、配管3の板厚のデータは、表示部10に表示すると共に、無線又は有線でデータを遠隔地に送信して表示する機能を有するものである。また、この配管板厚測定装置は、配管3の板厚のデータを保存するメモリ11を有し、異なるセンサ位置で測定した結果を併せて表示できる機能を有するものである。これにより、同一配管で位置を変えて板厚を測定することによって、配管の板厚が同一であれば、同一結果が表示され、板厚の測定結果が信頼性を有して即座に確認できる。また、この配管板厚測定装置は、細分化してセンサ距離を変化させてその周辺の板厚を測定することによって、面的な板厚の分布を詳細に測定することができる。

10

【0029】

図2には、表示部10に表示される伝搬速度 - 周波数特性が曲線として示されている。配管3の板厚 w (mm) について、横軸の周波数： f (kHz) に対する縦軸の伝搬装置 (m/s) の関係が示されている。図2における配管3の板厚は、0.1mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 5.0mm, 及び10.0mmである。また、表示部10では、図示していないが、配管3の板厚 w , 周波数 f 及び伝搬速度 v_f をデジタル表示にすることもできるように構成されている。この配管板厚測定装置は、板厚 w を各周波数 f 又は同一周波数 f での値、又は全ての周波数 f での平均値と各値をデジタル表示することができる。

【0030】

図3及び図4には、配管3の板材料が鉄 (Fe) からなる場合の伝搬速度 - 周波数特性の曲線が示されている。配管3の板厚 w により横軸の周波数 f の数値が異なっている。伝搬速度は、 m/s であり、周波数 f は、単位がkHz又はMHzである。

20

図3の(A)における曲線は、配管3の板厚 w が0.1mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 5.0mm, 及び10.0mmであり、周波数 f の数値は、0~200kHzである。また、図3の(B)における曲線は、配管3の板厚 w が5.0mm, 10.0mm, 15.0mm, 20.0mm, 30.0mm, 及び50.0mmであり、周波数 f の数値は、0~40kHzである。

また、図4における曲線は、配管3の板厚 w が30.0mm, 50.0mm, 80.0mm, 及び100.0mmであり、周波数 f の数値は、0~20kHzである。

30

図3及び図4から分かるように、配管3の板厚が厚くなるほど低い周波数になる。

【0031】

図5及び図6には、配管3の板材料がアルミニウム (Al) からなる場合の伝搬速度 - 周波数特性の曲線が示されている。配管3の板厚 w により横軸の周波数 f の数値が異なっている。伝搬速度は、 m/s であり、周波数 f は、単位がkHz又はMHzである。

図5の(A)における曲線は、配管3の板厚 w が0.1mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 5.0mm, 及び10.0mmであり、周波数 f の数値は、0~20kHzである。また、図5の(B)における曲線は、配管3の板厚 w が5.0mm, 10.0mm, 15.0mm, 20.0mm, 30.0mm, 及び50.0mmであり、周波数 f の単位は、0~40kHzである。

40

また、図6の(A)における曲線は、配管3の板厚 w が30.0mm, 50.0mm, 80.0mm, 及び100.0mmであり、周波数 f の数値は、0~20kHzである。

また、図6の(B)における曲線は、配管3の板厚 w が0.01mm, 0.02mm, 0.03mm, 0.04mm, 0.05mm, 及び0.1mmであり、周波数 f の数値は、0~20MHzである。

図5及び図6から分かるように、配管3の板厚が厚くなるほど低い周波数になる。

【0032】

図7には、配管3が鉄管の場合の伝搬速度 - 周波数特性の曲線が示されている。配管3の板厚 w により横軸の周波数 f の数値が異なっている。伝搬速度は、 m/s であり、周波数 f は、単位がkHz又はMHzである。

50

曲線は、配管3の板厚 w が3.0mm、及び5.8mmであり、周波数 f の数値が、0～300kHzの場合で示されている。図7から分かるように、配管3の板厚が厚くなるほど低い周波数になる。

【0033】

次に、図8を参照して、ラム波の速度分散特性を説明する。

有限の厚さの板を伝わる波は、板波又はラム波と呼ばれる。ラム波は、対称モードと反対称モード（非対称モード）とがあり、単にSモード、Aモードともいう。ラム波は、分散性の波であり、周波数 f と板厚 w の積 fw によってその位相速度 c が変化する。そこで、ラム波の1例として、アルミニウム板におけるラム波の位相速度を図8に示す。図8において、横軸は周波数 f と配管3の板厚 w との積の値（MHz・mm）であり、縦軸がラム波の位相速度 c （m/s）である。図中、 C_L はアルミニウム中の縦波音速、 C_S はアルミニウム中の横波音速、及び C_R はアルミニウムの表面波音速を示す。図8から分かるように、 $f \cdot w$ の値が大きくなるにつれて、多くのモードが伝搬し得るようになるが、 A_0 モード、 S_0 モードの位相速度 c は、表面波音速 C_R に近づき、他のモードは横波音速 C_S に近づくことが分かる。

10

【産業上の利用可能性】

【0034】

この発明による配管板厚測定装置は、例えば、原子力発電所、火力発電所等の蒸気配管、化学プラントの配管、ガス管、水道管等の配管について、配管の板厚を全領域にわたって測定することに適している。

20

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】この発明による配管板厚測定装置の一実施例を概略的に示すブロック図である。

【図2】この配管板厚測定装置の表示部における伝搬速度-周波数特性を示すグラフである。

【図3】この配管板厚測定装置に用いる配管材料物性データベースの一例であって、配管の板材料が鉄の場合の伝搬速度-周波数特性を示すグラフである。

【図4】この配管板厚測定装置に用いる配管材料物性データベースの別の例であって、配管の板材料が鉄の場合の伝搬速度-周波数特性を示し、図3とは板厚の値が異なっている場合のグラフである。

30

【図5】この配管板厚測定装置に用いる配管材料物性データベースの更に別の例であって、配管の板材料がアルミニウムの場合の伝搬速度-周波数特性を示すグラフである。

【図6】この配管板厚測定装置に用いる配管材料物性データベースの他の例であって、配管の板材料がアルミニウムの場合の伝搬速度-周波数特性を示し、図5とは板厚の値が異なっている場合のグラフである。

【図7】この配管板厚測定装置に用いる配管材料物性データベースの更に他の例であって、配管の板材料が鉄管の場合の伝搬速度-周波数特性を示すグラフである。

【図8】この配管板厚測定装置について、アルミニウム板におけるラム波の周波数と板厚との積に対する位相速度を示している速度分散特性を示すグラフである。

【符号の説明】

40

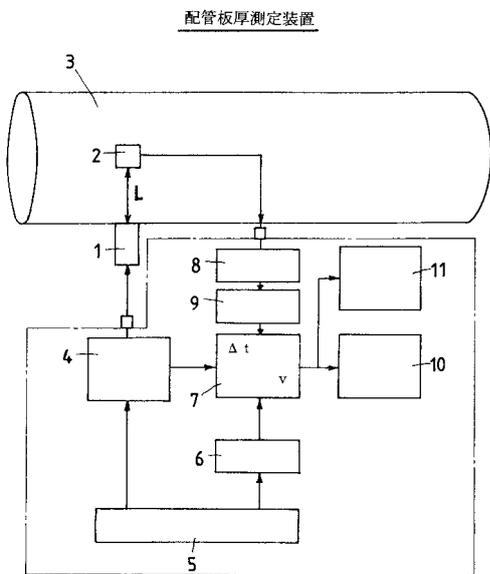
【0036】

- 1 信号入力センサ
- 2 検出センサ
- 3 配管
- 4 信号発生回路
- 5 入力部
- 6 配管材料物性データベース
- 7 測定解析部
- 8 アンプ
- 9 入力周波数成分抽出フィルタ

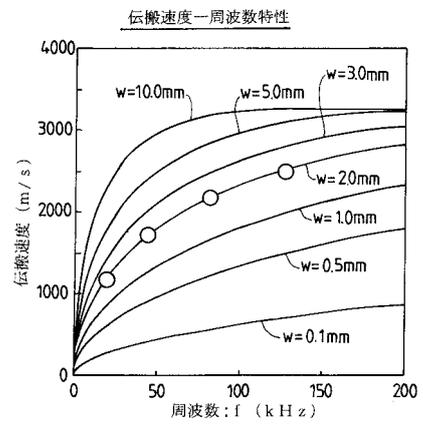
50

- 1 0 表示部
- 1 1 メモリ

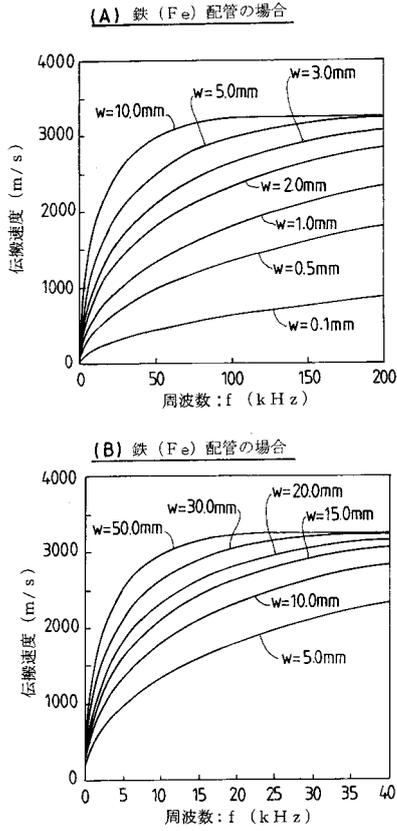
【 図 1 】



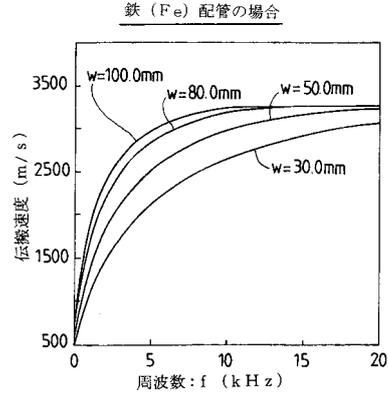
【 図 2 】



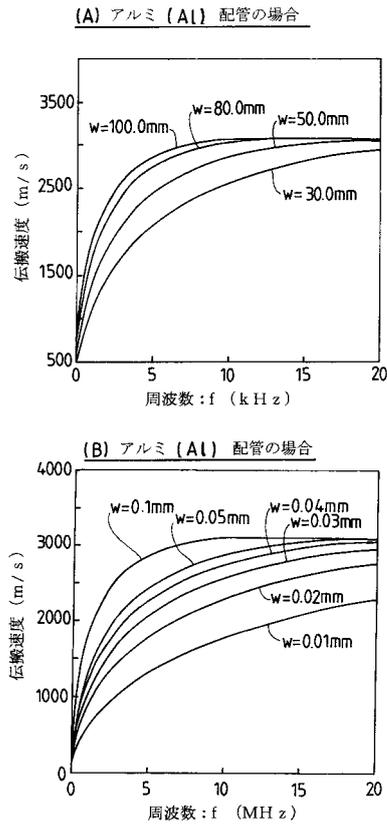
【 図 3 】



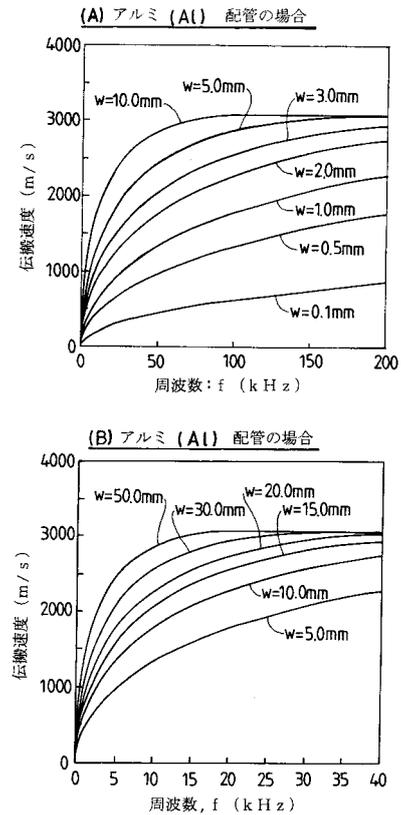
【 図 4 】



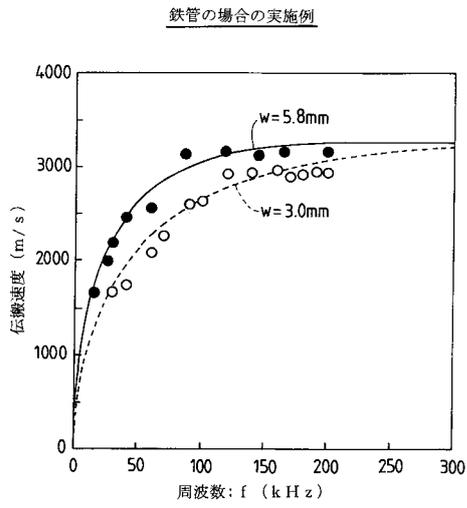
【 図 5 】



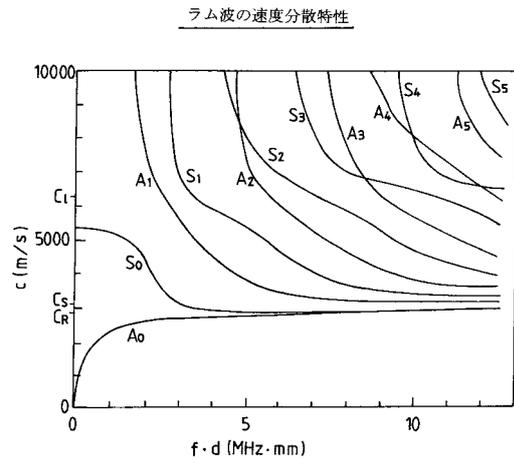
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



c : 位相速度 C_L : Al 中の縦波音速
 d : 板厚 C_S : 横波音速
 f : 周波数 C_R : 表面波音速

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F068 AA28 BB09 CC01 DD03 DD12 DD13 FF11 FF25 HH04 KK15
KK18 PP11 QQ14 QQ29 RR11