

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7720404号
(P7720404)

(45)発行日 令和7年8月7日(2025. 8. 7)

(24)登録日 令和7年7月30日(2025. 7. 30)

(51)Int. Cl.

G 0 1 N 29/07 (2006. 01)

G 0 1 N 29/26 (2006. 01)

F I

G 0 1 N 29/07

G 0 1 N 29/26

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21)出願番号	特願2023-557869(P2023-557869)	(73)特許権者	505204114
(86)(22)出願日	令和3年11月2日(2021. 11. 2)		東芝検査ソリューションズ株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/040438		神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地
(87)国際公開番号	W02023/079601	(73)特許権者	591216473
(87)国際公開日	令和5年5月11日(2023. 5. 11)		一般財団法人首都高速道路技術センター
審査請求日	令和6年10月15日(2024. 10. 15)		東京都港区虎ノ門三丁目 1 0 番 1 1 号
		(73)特許権者	505389695
			首都高速道路株式会社
			東京都千代田区霞が関 1 - 4 - 1
		(73)特許権者	513220562
			首都高技術株式会社
			東京都港区虎ノ門 3 - 1 0 - 1 1
		(74)代理人	110001380
			弁理士法人東京国際特許事務所
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波検査装置、方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波ビームの入射方向及び焦点の距離を設定する設定部と、
前記入射方向及び前記焦点の距離に基づいて、アレイプロープに配列させた複数の振動子の各々の発振タイミングを演算しパルス信号を送信する送信部と、
前記超音波ビームの裏面反射波により欠陥で発生した超音波の回折波を前記振動子の各々で検出した検出信号を受信する受信部と、
前記アレイプロープの座標系の位置情報に基づき検査対象の内部を格子状に分割したメッシュを定義し登録する登録部と、
前記検査対象の形状情報に基づいて、前記振動子から前記メッシュに前記裏面反射波が入射するまでの第 1 路程を計算する第 1 計算部と、
前記メッシュから前記振動子の各々までの前記回折波の第 2 路程を計算する第 2 計算部と、
前記第 1 路程と各々の前記第 2 路程とを超音波の伝搬時間に変換し組み合わせて、対応する前記メッシュにリンクして登録する変換部と、
受信した前記検出信号から前記伝搬時間に対応する信号強度を取得し、対応する前記メッシュ毎に積算させた積算値を出力する積算部と、
それぞれの前記積算値に対応した輝度又は色彩で前記メッシュを表示する表示部と、を備える超音波検査装置。

【請求項 2】

10

請求項 1 に記載の超音波検査装置において、

前記設定部は、前記超音波ビームの前記入射方向を走査するように設定する超音波検査装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の超音波検査装置において、

前記形状情報は、前記検査対象の裏面が非平面形状である情報を含む超音波検査装置。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超音波検査装置において、

前記アレイプロープが当接する前記検査対象の表面とその反対側の裏面に対し、

前記焦点は、前記裏面の外側、前記裏面と表面の内側、前記表面の外側の任意の位置に設定される超音波検査装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の超音波検査装置において、

前記振動子から前記メッシュに前記超音波ビームが直接入射する直接入射波の第 3 路程を計算する第 3 計算部をさらに備え、

前記変換部は、前記第 3 路程と各々の前記第 2 路程とを超音波の前記伝搬時間に変換し組み合わせて、対応する前記メッシュにリンクして登録し、

前記受信部は、前記直接入射波により前記欠陥で発生した前記回折波の前記検出信号も受信し、

前記積算部は、前記裏面反射波及び直接入射波に基づく前記信号強度を、対応する前記メッシュ毎に積算させる超音波検査装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の超音波検査装置において、

前記検出信号は、ヒルベルト変換され、エンベロープ処理を施した前記メッシュの表示が行われる超音波検査装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の超音波検査装置において、

複数で一对の前記アレイプロープのいずれか一つに対してのみ、前記パルス信号を送信し、前記検出信号を受信させる切替器を備える超音波検査装置。

【請求項 8】

30

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の超音波検査装置において、

前記検査対象の表面に前記アレイプロープを機械走査させる走査手段と、

前記走査手段の駆動制御部と、を備える超音波検査装置。

【請求項 9】

超音波ビームの入射方向及び焦点の距離を設定するステップと、

前記入射方向及び前記焦点の距離に基づいて、アレイプロープに配列させた複数の振動子の各々の発振タイミングを演算しパルス信号を送信するステップと、

前記超音波ビームの裏面反射波により欠陥で発生した超音波の回折波を前記振動子の各々で検出した検出信号を受信するステップと、

前記アレイプロープの座標系の位置情報に基づき検査対象の内部を格子状に分割したメッシュを定義し登録するステップと、

40

前記検査対象の形状情報に基づいて、前記振動子から前記メッシュに前記裏面反射波が入射するまでの第 1 路程を計算するステップと、

前記メッシュから前記振動子の各々までの前記回折波の第 2 路程を計算するステップと、

前記第 1 路程と各々の前記第 2 路程とを超音波の伝搬時間に変換し組み合わせて、対応する前記メッシュにリンクして登録するステップと、

受信した前記検出信号から前記伝搬時間に対応する信号強度を取得し、対応する前記メッシュ毎に積算させた積算値を出力するステップと、

それぞれの前記積算値に対応した輝度又は色彩で前記メッシュを表示するステップと、

50

を含む超音波検査方法。

【請求項 10】

コンピュータに、

超音波ビームの入射方向及び焦点の距離を設定させるステップ、

前記入射方向及び前記焦点の距離に基づいて、アレイプロープに配列させた複数の振動子の各々の発振タイミングを演算しパルス信号を送信させるステップ、

前記超音波ビームの裏面反射波により欠陥で発生した超音波の回折波を前記振動子の各々で検出した検出信号を受信させるステップ、

前記アレイプロープの座標系の位置情報に基づき検査対象の内部を格子状に分割したメッシュを定義し登録させるステップ、

前記検査対象の形状情報に基づいて、前記振動子から前記メッシュに前記裏面反射波が入射するまでの第 1 路程を計算させるステップ、

前記メッシュから前記振動子の各々までの前記回折波の第 2 路程を計算させるステップ

、
前記第 1 路程と各々の前記第 2 路程とを超音波の伝搬時間に変換し組み合わせて、対応する前記メッシュにリンクして登録させるステップ、

受信した前記検出信号から前記伝搬時間に対応する信号強度を取得し、対応する前記メッシュ毎に積算させた積算値を出力させるステップ、

それぞれの前記積算値に対応した輝度又は色彩で前記メッシュを表示させるステップ、
を実行させる超音波検査プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明に実施形態は、構造部材や溶接部に発生した内部欠陥を非破壊検査する超音波検査技術に関する。

【背景技術】

【0002】

溶接接合は、橋梁等の土木、建築構造物から、タンク、配管等のプラント機器、更に自動車や電車の車体の構造部材まで幅広く使用されている。このため、構造物又は密閉容器の強度、この強度の維持並びにその安全性確保の観点から、溶接部及び溶接部近傍に発生した欠陥の非破壊検査は重要な技術である。特に、構造物の健全性や寿命予測のために欠陥の定量評価や進展挙動の計測に関する重要度も増している。また、非破壊検査により、欠陥のサイジングや進展挙動計測を、高精度で効率的に実施する要求が高まっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 3 4 5 6 9 5 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

金属母材や溶接部内の欠陥形状を超音波検査装置で非破壊検査する場合、広指向性の小型で単一の振動子から超音波を送信し同様の小型で単一の振動子で受信する方式がある。しかし、この技術では、欠陥の検出感度が不十分で減衰の大きな材料や溶接部の検査が困難であった。

【0005】

他方において、複数の振動子を配列させたアレイプロープで超音波を収束させて送信することで、検出感度を向上させる方式がある。しかしこの方式では、処理対象となる受信波形が膨大となる関係で、超音波が直接入射する領域に存在する欠陥のみ検出可能であり、欠陥が検出不能な領域が存在してしまう課題があった。

【0006】

本発明の実施形態はこのような事情を考慮してなされたもので、広い領域で欠陥を高感度で検出する超音波検査技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

実施形態に係る超音波検査装置において、超音波ビームの入射方向及び焦点の距離を設定する設定部と、前記入射方向及び前記焦点の距離に基づいてアレイプローブに配列させた複数の振動子の各々の発振タイミングを演算しパルス信号を送信する送信部と、前記超音波ビームの裏面反射波により欠陥で発生した超音波の回折波を前記振動子の各々で検出した検出信号を受信する受信部と、前記アレイプローブの座標系の位置情報に基づき検査対象の内部を格子状に分割したメッシュを定義し登録する登録部と、前記検査対象の形状情報に基づいて前記振動子から前記メッシュに前記裏面反射波が入射するまでの第1路程を計算する第1計算部と、前記メッシュから前記振動子の各々までの前記回折波の第2路程を計算する第2計算部と、前記第1路程と各々の前記第2路程とを超音波の伝搬時間に変換し組み合わせて対応する前記メッシュにリンクして登録する変換部と、受信した前記検出信号から前記伝搬時間に対応する信号強度を取得し対応する前記メッシュ毎に積算させた積算値を出力する積算部と、それぞれの前記積算値に対応した輝度又は色彩で前記メッシュを表示する表示部と、を備える。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明の実施形態により、広い領域で欠陥を高感度で検出する超音波検査技術が提供される。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の第1実施形態に係る超音波検査装置の構成図。

【図2】第1実施形態の超音波検査装置におけるデータ処理部のブロック図。

【図3】第1実施形態における超音波ビーム、裏面反射波、超音波の回折波の説明図。

【図4】第1実施形態において検査対象の内部を格子状に分割し定義したメッシュの説明図。

【図5】(A)第2実施形態において、裏面が非平面形状である検査対象に対し、裏面の外側に集束距離を設定した場合の超音波ビーム及び裏面反射波の説明図、(B)メッシュに位置する欠陥で発生する回折波の説明図。

30

【図6】(A)第2実施形態において、裏面が非平面形状である検査対象に対し、表面の外側に集束距離を設定した場合の超音波ビーム及び裏面反射波の説明図、(B)メッシュに位置する欠陥で発生する回折波の説明図。

【図7】(A)第2実施形態において、裏面が非平面形状である検査対象に対し、裏面と表面の内側に集束距離を設定した場合の超音波ビーム及び裏面反射波の説明図、(B)メッシュに位置する欠陥で発生する回折波の説明図。

【図8】第3実施形態の超音波検査装置におけるデータ処理部のブロック図。

【図9】(A)第3実施形態における超音波ビームの説明図、(B)裏面反射波により欠陥で発生する超音波の回折波の説明図、(C)超音波ビームが直接入射波として入射した欠陥で発生した回折波の説明図。

40

【図10】本発明の第4実施形態に係る超音波検査装置の構成図。

【図11】本発明の第5実施形態に係る超音波検査装置の構成図。

【図12】本発明の実施形態に係る超音波検査方法の工程及び超音波検査プログラムのアルゴリズムを説明するフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0010】

(第1実施形態)

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。図1は第1実施形態に係る超音波検査装置10の構成図である。図2は第1実施形態の超音波検査装置10におけるデ

50

ータ処理部 20 のブロック図である。図 3 は第 1 実施形態における超音波ビーム 30_n、裏面反射波 31_n、超音波の回折波 32_n(32₁, 32₂... 32_N)の説明図である。図 4 は第 1 実施形態において検査対象 37 の内部を格子状に分割し定義したメッシュ 42_m(42₁, 42₂... 42_M)の説明図である。

【0011】

図 1 に示すように超音波検査装置 10 は、超音波ビーム 30_n(30₁, 30₂... 30_N)の入射方向 (θ₁, θ₂) 及び焦点 39 の距離 h を設定する設定部 15 と、入射方向 及び焦点距離 h に基づいてアレイプロープ 36 に配列させた複数の振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)の各々の発振タイミングを演算する演算部 16 と、振動子 35_nの各々を発振させるパルス信号 40 を送信する送信部 17 と、超音波ビーム 30_nの裏面反射波 31_n(31₁, 31₂... 31_N)により欠陥 38 で発生した超音波の回折波 32_n(32₁, 32₂... 32_N) (図 3) を振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)の各々で検出した検出信号 41_n(41₁, 41₂... 41_N)を受信する受信部 18 と、検出信号 41_nのデータ処理部 20 と、検査対象 37 における欠陥 38 の検査結果を画像表示する表示部 19 と、を備えている。

【0012】

図 2 (適宜、図 4 参照) に示すようにデータ処理部 20 は、アレイプロープ 36 の x - z 座標系の位置情報に基づき検査対象 37 の内部を格子状に分割したメッシュ 42_m(42₁, 42₂... 42_M)を定義し登録する登録部 25 と、検査対象 37 の形状情報 24 に基づいて振動子 35_nからメッシュ 42_mに裏面反射波 31_nが入射するまでの第 1 路程 21 を計算する第 1 計算部 11 と、メッシュ 42_mから振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)の各々までの回折波 32_n(32₁, 32₂... 32_N)の第 2 路程 22 を計算する第 2 計算部 12 と、第 1 路程 21 と各々の第 2 路程 22 とを超音波の伝搬時間 t^m_n(t^m₁, t^m₂... t^m_N)に変換し組み合わせ対応するメッシュ 42_mにリンクして登録する変換部 26 と、受信した検出信号 41_n(41₁, 41₂... 41_N)から伝搬時間 t^m_n(t^m₁, t^m₂... t^m_N)に対応する信号強度 I^m_n(I^m₁, I^m₂... I^m_N)を取得する取得部 27 と、この信号強度 I^m_nに対応するメッシュ 42_m毎に積算 (G_m = (n = 1 ~ N) I^m_n) させた積算値 G_m(G₁, G₂... G_M)を出力する積算部 28 と、を有している。

【0013】

図 1 に戻って説明を続ける。

アレイプロープ 36 は、リニアまたはマトリックス状に配列した複数の振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)を内蔵しており、楔型のシュー 45 と、液体音響媒体である音響カップラント (図示略) を介して検査対象 37 に密着させて配置されている。これら隣接する振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)において発振タイミングの遅延時間を調節することで、超音波ビーム 30_n(30₁, 30₂... 30_N)の入射方向 及び焦点 39 の距離 h を任意に設定することができる。

【0014】

設定部 15 は、検査対象 37 の X - Z 座標系におけるアレイプロープ 36 を固定して入射方向 又は焦点 39 の距離 h を走査し、検査対象 37 の Y 軸方向にアレイプロープ 36 を走査させる検査方式を設定する。もしくは、入射方向 及び焦点距離 h を固定し、検査対象 37 の X - Y 座標系においてアレイプロープ 36 を走査させる検査方式を設定することもできる。

【0015】

演算部 16 は、設定部 15 で入力された入射方向 及び焦点距離 h に基づいて、振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)の各々の発振タイミングの遅延時間を演算する。送信部 17 は、演算部 16 で演算された遅延時間に基づいて、パルス信号 40 をそれぞれの振動子 35_n(35₁, 35₂... 35_N)に送信し発振させる。

【0016】

図 3 に示すように、アレイプロープ 36 から超音波ビーム 30_nが照射されると、シュー 45 を介して検査対象 37 の表面から入射し、その裏面において反射して裏面反射波 31_nとなる。ここで超音波ビーム 30_nの入射角に対し、反射角が等しくなる方向に裏面反

10

20

30

40

50

射波 3 1_nは反射する。

【 0 0 1 7 】

この裏面反射波 3 1_nは、その経路に欠陥 3 8 が存在しなければ、検査対象 3 7 の表面に到達して反射が繰返され減衰していく。そして裏面反射波 3 1_nの経路に欠陥 3 8 が存在するとそこで回折し、一部が回折波 3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)として振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)に入射する。なお、裏面反射波 3 1_nが欠陥 3 8 に入射すると、その先端及び本体部において回折又は反射する。このように欠陥 3 8 で発生し振動子 3 5_nに入射する超音波を回折波 3 2_nとここでは呼ぶ。

【 0 0 1 8 】

受信部 1 8 (図 1)では、そのような回折波 3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)が入射した振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)が出力した検出信号 4 1_n(4 1₁, 4 1₂... 4 1_N)を受信する。これら振動子 3 5_nから出力される検出信号 4 1_nは、切替器 1 4 により受信部 1 8 に案内される。なお受信部 1 8 には、検出信号 4 1_nを増幅する増幅器 (図示略) 及びアナログ信号をデジタル信号に変換する A / D 変換器 (図示略) が設けられている。

10

【 0 0 1 9 】

図 2 に示すデータ処理部 2 0 において、登録部 2 5、第 1 計算部 1 1、第 2 計算部 1 2、変換部 2 6 における処理は、送信部 1 7 及び受信部 1 8 を動作させるよりも前に予め行われるものである。

【 0 0 2 0 】

登録部 2 5 は、検査対象 3 7 の内部を格子状に分割したメッシュ 4 2_m(4 2₁, 4 2₂... 4 2_m) (図 4) を定義するものである。これらメッシュ 4 2_mは、表示部 1 9 で表示される画像の画素 (ピクセル) を構成する。なおこれらメッシュ 4 2_mの位置情報は、実施形態において平面座標系で定義されているが、立体座標系で定義される場合もある。

20

【 0 0 2 1 】

第 1 計算部 1 1 は、検査対象 3 7 の形状情報 2 4 に基づいて振動子 3 5_nからメッシュ 4 2_mに裏面反射波 3 1_nが入射するまでの第 1 路程 2 1 を計算する。検査対象 3 7 が図 3 又は図 4 で示されるような、表面と裏面がフラットで平行な平行平板であれば、形状情報 2 4 として重要なのは検査対象 3 7 の厚み値である。

【 0 0 2 2 】

変換部 2 6 における第 1 路程 2 1 の伝搬時間 P の計算は、振動子 3 5_nの中心から焦点 3 9 までの路程の伝搬時間 P_f、焦点 3 9 から反射点までの路程の伝搬時間 P_r、反射点からメッシュ 4 2_mまでの路程の伝搬時間 P_mとした場合、 $P = P_f - P_r + P_m$ のように表される。これら伝搬時間 P_f, P_r, P_mは、アレイプロープ 3 6 の座標系の位置情報及び超音波の伝搬速度から計算される。

30

【 0 0 2 3 】

第 2 計算部 1 2 は、メッシュ 4 2_mから振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)の各々までの回折波 3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)の第 2 路程 2 2 を計算する。変換部 2 6 における第 2 路程 2 2 の伝搬時間 Q_n(Q₁, Q₂... Q_N)の計算は、メッシュ 4 2_mからそれぞれの振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)までの路程の伝搬時間として、アレイプロープ 3 6 の座標系の位置情報及び超音波の伝搬速度から計算される。

40

【 0 0 2 4 】

変換部 2 6 は、このように第 1 路程 2 1 と各々の第 2 路程 2 2 とを超音波の伝搬時間 P, Q_nに変換し、さらに組み合わせて (P + Q_n)、伝搬時間 t^m_n(t^m₁, t^m₂... t^m_N)とする。これら伝搬時間 t^m_n(t^m₁, t^m₂... t^m_N)は、登録部 2 5 において、対応するメッシュ 4 2_mの位置情報にリンクして共に登録させる。ここまでが、アレイプロープ 3 6 を検査対象 3 7 の表面に当接させて検査を実際に開始するまでの事前作業である。この事前作業は、走査する全ての について、第 1 路程 2 1 及び各々の第 2 路程 2 2 の計算をする必要があり、それに対応した伝搬時間 t^m_nを登録部 2 5 に事前登録する。

【 0 0 2 5 】

検査開始後、振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)を発振させて受信部 1 8 で受信した検

50

出信号 $4\ 1_n(4\ 1_1, 4\ 1_2 \dots 4\ 1_N)$ の各々は、所定の時間間隔でサンプリングされた信号強度 I の離散データである。取得部 27 は、登録部 25 に登録されている伝搬時間 $t^m_n(t^m_1, t^m_2 \dots t^m_N)$ に照らし、検出信号 $4\ 1_n(4\ 1_1, 4\ 1_2 \dots 4\ 1_N)$ から対応する信号強度 $I^m_n(I^m_1, I^m_2 \dots I^m_N)$ を取得する。

【0026】

積算部 28 は、この信号強度 I^m_n を対応するメッシュ $4\ 2_m$ 毎に積算 ($G_m = (n=1 \sim N) I^m_n$) し積算値 $G_m(G_1, G_2 \dots G_M)$ を出力する。なお積算部 28 における演算は、詳細な説明を省略するが、設定部 15 において設定されている入射方向 及び焦点距離 h 並びにアレイプローブ 36 の走査情報 46 が反映される。

【0027】

表示部 19 は、それぞれの積算値 $G_m(G_1, G_2 \dots G_M)$ に対応した輝度又は色彩でメッシュ $4\ 2_m(4\ 2_1, 4\ 2_2 \dots 4\ 2_M)$ を表示する。これにより表示部 19 は、検査対象 37 の内部に存在が懸念される欠陥 38 を広い領域で高感度に検出し、画像化して検査結果とすることができる。

【0028】

なお取得部 27 においてヒルベルト変換器 (図示略) が設けられる場合がある。この場合、表示部 19 は、ヒルベルト変換の処理をした検出信号 $4\ 1_n$ に基づく画像と、未処理の検出信号 $4\ 1_n$ に基づく画像と、を加算合成することで、エンベロープ処理を施した画像を表示することができる。このようなエンベロープ処理を施すことで、よりクリアな画像を得ることができる。

【0029】

(第2実施形態)

次に図5から図7を参照して本発明における第2実施形態について説明する。第2実施形態に係る超音波検査装置 10 の構成は、第1実施形態を説明した図1と図2と共通である。第2実施形態では、裏面が非平面形状を持つものを検査対象 37 としている。

【0030】

このために、形状情報 24 (図2) は、非平面形状である裏面の微小領域毎に法線情報を持つ。この法線情報に基づいて、裏面の微小領域に入射した超音波ビーム $3\ 0_n$ の入射角に対して反射角が等しくなる方向に裏面反射波 $3\ 1_n$ を反射させる。さらに第2実施形態では、焦点 39 が検査対象 37 の裏面の外側に設定されるだけでなく、裏面と表面の内側、表面の外側の任意の位置に設定することができる。

【0031】

図5(A) は裏面が非平面形状である検査対象 37 において、裏面の外側に焦点 39 を設定した場合の超音波ビーム $3\ 0_n$ 及び裏面反射波 $3\ 1_n$ の説明図である。図5(B) はメッシュ $4\ 2_m$ に位置する欠陥 38 で発生する回折波 $3\ 2_n$ の説明図である。

【0032】

図6(A) は裏面が非平面形状である検査対象 37 において、表面の外側に焦点 39 を設定した場合の超音波ビーム $3\ 0_n$ 及び裏面反射波 $3\ 1_n$ の説明図である。図6(B) はメッシュ $4\ 2_m$ に位置する欠陥 38 で発生する回折波 $3\ 2_n$ の説明図である。

【0033】

図7(A) は裏面が非平面形状である検査対象 37 において、裏面と表面の内側に焦点 39 を設定した場合の超音波ビーム $3\ 0_n$ 及び裏面反射波 $3\ 1_n$ 波の説明図である、図7(B) はメッシュ $4\ 2_m$ に位置する欠陥 38 で発生する回折波 $3\ 2_n$ の説明図である。

【0034】

(第3実施形態)

次に図8及び図9を参照して本発明における第3実施形態について説明する。図8は第3実施形態の超音波検査装置におけるデータ処理部 20 のブロック図である。図9(A) は第3実施形態における超音波ビーム $3\ 0_n(3\ 0_1, 3\ 0_2 \dots 3\ 0_N)$ の説明図である。図9(B) は裏面反射波 $3\ 1_n(3\ 1_1, 3\ 1_2 \dots 3\ 1_N)$ により欠陥 38 で発生する超音波の回折波 $3\ 2_n(3\ 2_1, 3\ 2_2 \dots 3\ 2_N)$ の説明図である。図9(C) は超音波ビーム $3\ 0_n$ が直接入

10

20

30

40

50

射波 33_n として入射した欠陥 38 で発生した回折波 $32_n(32_1, 32_2 \dots 32_N)$ の説明図である。なお、図 8 において図 2 と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【0035】

第 3 実施形態の超音波検査装置の全体構成は、図 1 に示される第 1 実施形態の超音波検査装置 10 と共通しているが、相違点は、データ処理部 20 (図 8) において、第 3 計算部 13 が追加された点にある。この第 3 計算部 13 は、振動子 35_n の中心からメッシュ 42_m に超音波ビーム 30_n が直接入射する直接入射波 33_n の第 3 路程 23 を計算する。なお、第 2 路程 22 及び第 3 路程 23 は一致するものであるので、第 3 計算部 13 及び第 2 計算部 12 は、実質的に同じ計算をする。このため説明の都合上、第 2 計算部 12 とは区別して第 3 計算部 13 を設けているが、第 3 計算部 13 を設けずに第 3 路程 23 を第 2 路程 22 に置き換えてデータ処理することができる。

10

【0036】

第 3 実施形態における受信部 18 で検出される検出信号 $41_n(41_1, 41_2 \dots 41_N)$ には、第 1 実施形態のように裏面反射波 $31_n(31_1, 31_2 \dots 31_N)$ に由来する回折波 $32_n(32_1, 32_2 \dots 32_N)$ (図 9 (B)) だけでなく、超音波ビーム 30_n が直接入射波 33 として入射した欠陥 38 で発生した回折波 $32_n(32_1, 32_2 \dots 32_N)$ (図 9 (C)) も同時に含まれる。そして第 3 実施形態の変換部 26b は、第 3 路程 23 と第 2 路程 22 からその往復にかかる超音波の伝搬時間 $t^m_n(t^m_1, t^m_2 \dots t^m_N)$ に変換し組み合わせて、対応するメッシュ 42_m にリンクして登録部 25 に登録させる。

20

【0037】

そして積算部 28 は、裏面反射波 31_n 及び直接入射波 33_n に基づく信号強度 I^m_n を、対応するメッシュ 42_m 毎に積算させる。これにより超音波ビーム 30_n の送信範囲内において、高解像度の画像化を行うことができる。以上の説明は、入射方向を固定した場合の説明であるが、より広範囲で画像合成を行う場合は、次のようにしてもよい。すなわち設定部 15 (図 1) において、超音波ビーム 30_n の入射方向 (θ_1, θ_2) を走査するように設定して、それぞれのメッシュ 42_m に対応する信号強度 I^m_n を積算させる。

【0038】

第 3 実施形態では、第 1 実施形態で用いた裏面反射波 31_n だけでなく、欠陥 38 に直接入射する直接入射波 33_n も考慮し重ね合わせ画像を表示させることができる。これにより、解像度が高く精細密でクリアな画像が得られ欠陥を高感度で検出する効果をさらに向上させることができる。なお、詳細な説明を省略するが、超音波ビーム 30_n の複数回の反射波を考慮することで、上記した効果をさらに向上させることができる。

30

【0039】

(第 4 実施形態)

次に図 10 を参照して本発明における第 4 実施形態について説明する。図 10 は第 4 実施形態に係る超音波検査装置 10 の構成図である。なお、図 10 において図 1 と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【0040】

第 4 実施形態の超音波検査装置では、複数で一对のアレイプロープ $36(36a, 36b)$ で検査が実施される。そして、切替器 53 を動作させることで、いずれか一つのアレイプロープ 36 のみに、パルス信号 40 及び検出信号 41_n が送受信される。

40

【0041】

切替器 53 を第 1 端子 51 に設定することで、一方のアレイプロープ $36a$ に対し、パルス信号 40 及び検出信号 41_n の送受信がなされる。そして、切替器 53 を第 2 端子 52 に設定することで、他方のアレイプロープ $36b$ に対し、パルス信号 40 及び検出信号 41_n の送受信がなされる。これにより、切替器 53 の設定を切り替えることで、広い領域で欠陥を高感度で検出する効果をさらに向上させることができる。

【0042】

(第 5 実施形態)

50

次に図 1 1 を参照して本発明における第 5 実施形態について説明する。図 1 1 は第 5 実施形態に係る超音波検査装置 1 0 の構成図である。なお、図 1 1 において図 1 及び図 1 0 と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【 0 0 4 3 】

第 5 実施形態の超音波検査装置は、検査対象 3 7 (3 7 a , 3 7 b) の表面にアレイプロープ 3 6 (3 6 a , 3 6 b) を走査させる走査手段 5 0 と、この走査手段 5 0 の駆動制御部 5 5 と、を備えている。第 5 実施形態では、二つの平板状の検査対象 3 7 (3 7 a , 3 7 b) のうち、一方の検査対象 3 7 a の上面に、他方の検査対象 3 7 b がその下端が接続している溶接部 3 4 を検査する。

【 0 0 4 4 】

走査手段 5 0 は、二つで一对のアレイプロープ 3 6 (3 6 a , 3 6 b) を支持構造体 5 4 に搭載させた自走式のものである。支持構造体 5 4 には、一方の検査対象 3 7 a の上面に接地する一对の駆動車輪 5 9 a と、他方の検査対象 3 7 b の上面に接地する従動車輪 5 9 b を備えている。そして、それぞれの検査対象 3 7 a , 3 7 b の上面に車輪 5 9 a , 5 9 b を押し付けるためのマグネット 5 7 (5 7 a , 5 7 b) が設けられている。

【 0 0 4 5 】

さらに支持構造体 5 4 には、駆動車輪 5 9 a を回転駆動させるモータ 5 6 と、移動した支持構造体 5 4 位置情報を検出する位置検出器 5 8 と、が設けられている。駆動制御部 5 5 は、モータ 5 6 に電力と駆動信号とを送るとともに、位置検出器 5 8 の信号をアレイプロープ 3 6 (3 6 a , 3 6 b) の位置情報として受信する。

【 0 0 4 6 】

このアレイプロープ 3 6 の位置情報は、設定部 1 5 から取得される超音波ビーム 3 0_n の入射方向 及び焦点 3 9 と併せて、走査情報 4 6 としてデータ処理部 2 0 に送られる。さらに図示を省略するが、アレイプロープ 3 6 (3 6 a , 3 6 b) が検査対象 3 7 (3 7 a , 3 7 b) に当接する部分に、液体音響媒体である音響カップラント (水) を連続的に供給する供給部が設けられている。

【 0 0 4 7 】

図 1 2 の本発明のフローチャートに基づいて実施形態に係る超音波検査方法の工程及び超音波検査プログラムのアルゴリズムを説明する (適宜、図 1 及び図 2 参照) 。最初に超音波ビーム 3 0_n (3 0₁ , 3 0₂ ... 3 0_N) の入射方向 及び焦点 3 9 の距離 h が設定される (S 1 1) 。これにより、入射方向 及び焦点距離 h 並びにアレイプロープ 3 6 の走査情報 4 6 が設定される。

【 0 0 4 8 】

またアレイプロープ 3 6 の x - z 座標系の位置情報に基づき定義されたメッシュ 4 2_m (4 2₁ , 4 2₂ ... 4 2_M) が登録される (S 1 2) 。そして、検査対象 3 7 の形状情報 2 4 に基づいて振動子 3 5_n からメッシュ 4 2_m に裏面反射波 3 1_n が入射するまでの第 1 路程 2 1 が計算される (S 1 3) 。さらに必要に応じて、振動子 3 5_n からメッシュ 4 2_m に超音波ビーム 3 0_n が直接入射する直接入射波 3 3_n の第 3 路程 2 3 も計算する。

【 0 0 4 9 】

さらにメッシュ 4 2_m から振動子 3 5_n (3 5₁ , 3 5₂ ... 3 5_N) の各々までの回折波 3 2_n (3 2₁ , 3 2₂ ... 3 2_N) の第 2 路程 2 2 が計算される (S 1 4) 。そして第 1 路程 2 1 と各々の第 2 路程 2 2 とを超音波の伝搬時間 t^m_n (t^m_1 , t^m_2 ... t^m_N) に変換し組み合わせて (S 1 5) 、対応するメッシュ 4 2_m (4 2₁ , 4 2₂ ... 4 2_M) にリンクして登録させる (S 1 6) 。

【 0 0 5 0 】

さらに必要に応じて、第 3 路程 2 3 と各々の第 2 路程 2 2 とを超音波の伝搬時間 t^m_n (t^m_1 , t^m_2 ... t^m_N) に変換し組み合わせて、対応するメッシュ 4 2_m (4 2₁ , 4 2₂ ... 4 2_M) にリンクして登録させる。なお、この登録情報は、入射方向 の走査 (扇状走査) の全ての (例えば、5 ° ピッチで 2 0 ° ~ 8 0 ° の ₁ から ₁₃) 及び焦点距離 h に対して設定され、その伝播時間が事前登録される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

次に、アレイプローブ 3 6 を検査対象 3 7 の表面に当接させ機械又は電子走査する (S 1 7)。そして、複数の振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)を発振させ、アレイプローブ 3 6 から検査対象 3 7 の表面に超音波ビーム 3 0_n(3 0₁, 3 0₂... 3 0_N)を入射させる (S 1 8)。

【 0 0 5 2 】

さらに、裏面反射波 3 1_n(3 1₁, 3 1₂... 3 1_N)により欠陥 3 8 で発生した超音波の回折波 3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)を振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)の各々で検出する (S 1 9)。振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)から検出信号 4 1_n(4 1₁, 4 1₂... 4 1_N)を受信し (S 2 0)、登録されている伝搬時間 $t^m_n(t^m_1, t^m_2 \dots t^m_N)$ における信号強度 $I^m_n(I^m_1, I^m_2 \dots I^m_N)$ を取得する (S 2 1)。また、直接入射波 3 3_n(3 3₁, 3 3₂... 3 3_N)により欠陥 3 8 で発生した超音波の回折波 3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)も振動子 3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)の各々で検出する。そして、登録されている信号強度 $I^m_n(I^m_1, I^m_2 \dots I^m_N)$ を同様にして取得する。

10

【 0 0 5 3 】

次に、必要に応じてアレイプローブ 3 6 の x - z 座標系で表されたメッシュ 4 2_m(4 2₁, 4 2₂... 4 2_M)の位置情報を、検査対象 3 7 の X - Z 座標系に展開する (S 2 2)。そして、メッシュ 4 2_n(4 2₁, 4 2₂... 4 2_N)において対応する信号強度 $I^m_n(I^m_1, I^m_2 \dots I^m_N)$ を積算した積算値 $G_m(G_1, G_2 \dots G_M)$ を出力する (S 2 3)。この積算値 $G_m(G_1, G_2 \dots G_M)$ に対応した輝度又は色彩でメッシュ 4 2_n(4 2₁, 4 2₂... 4 2_N)を発光させることで、検査対象 3 7 における欠陥 3 8 の検査結果が画像表示される (S 2 4)。そして検査が終了するまで (S 1 8) から (S 2 4) のフローが繰り返される (S 2 5 , N o , Y e s , E N D)。

20

【 0 0 5 4 】

また実施形態は、橋梁等の土木、建築構造物から、タンク、配管等のプラント機器、更に自動車や電車の車体の構造部材まで幅広く使用されている溶接部の非破壊検査の検査性能を向上させることができる。特に、構造物の健全性や寿命予測のために欠陥の定量評価や進展挙動の計測に関する重要度も増しており、非破壊検査による欠陥のサイジングや進展挙動計測に適用できる。

【 0 0 5 5 】

以上述べた少なくともひとつの実施形態の超音波検査装置によれば、複数の振動子からなるアレイプローブで超音波ビームを集束させ裏面反射させてから欠陥に入射させ、発生した回折波を振動子の各々に検出させることで、広い領域で欠陥を高感度で検出ことが可能となる。

30

【 0 0 5 6 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

40

【 0 0 5 7 】

以上説明した超音波検査装置は、専用のチップ、F P G A (Field Programmable Gate Array)、G P U (Graphics Processing Unit)、又は C P U (Central Processing Unit) などのプロセッサを高集積化させた制御装置と、R O M (Read Only Memory) や R A M (Random Access Memory) などの記憶装置と、H D D (Hard Disk Drive) や S S D (Solid State Drive) などの外部記憶装置と、ディスプレイなどの表示装置と、マウスやキーボードなどの入力装置と、通信 I / F とを、備えており、通常のコンピュータを利用したハードウェア構成で実現できる。このため超音波検査装置の構成要素は、コンピュータのプロセッサで実現することも可能であり、超音波検査プログラムにより動作させることが

50

可能である

【 0 0 5 8 】

また超音波検査プログラムは、ROM等に予め組み込んで提供される。もしくは、このプログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、CD-R、メモリカード、DVD、フレキシブルディスク(FD)等のコンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶されて提供するようにしてもよい。

【 0 0 5 9 】

また、本実施形態に係る超音波検査プログラムは、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせて提供するようにしてもよい。また、超音波検査装置は、構成要素の各機能を独立して発揮する別々のモジュールを、ネットワーク又は専用線で相互に接続し、組み合わせて構成することもできる。

10

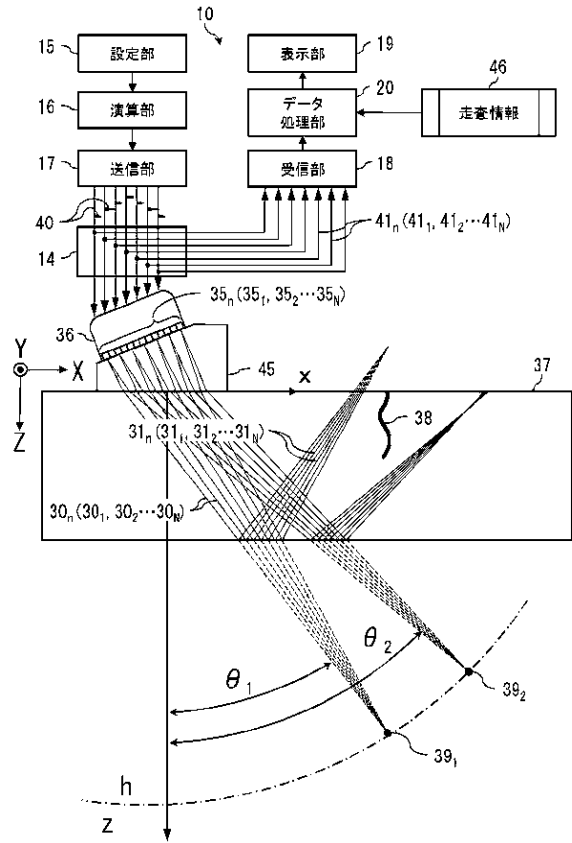
【符号の説明】

【 0 0 6 0 】

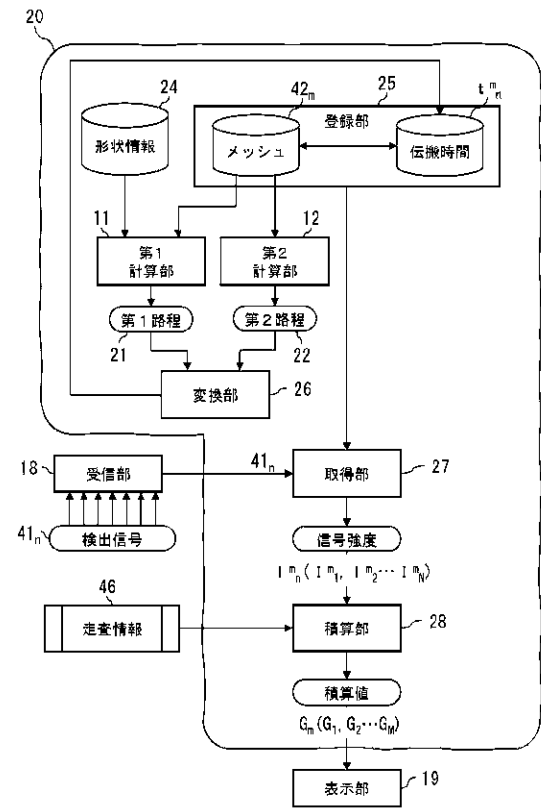
1 0 ... 超音波検査装置、1 1 ... 第1計算部、1 2 ... 第2計算部、1 3 ... 第3計算部、1 4 ... 切替器、1 5 ... 設定部、1 6 ... 演算部、1 7 ... 送信部、1 8 ... 受信部、1 9 ... 表示部、2 0 ... データ処理部、2 1 ... 第1路程、2 2 ... 第2路程、2 3 ... 第3路程、2 4 ... 形状情報、2 5 ... 登録部、2 6 (2 6 a , 2 6 b) ... 変換部、2 7 ... 取得部、2 8 ... 積算部、3 0_n(3 0₁, 3 0₂... 3 0_N)... 超音波ビーム、3 1_n(3 1₁, 3 1₂... 3 1_N)... 裏面反射波、3 2_n(3 2₁, 3 2₂... 3 2_N)... 回折波、3 3 ... 直接入射波、3 4 ... 溶接部、3 5_n(3 5₁, 3 5₂... 3 5_N)... 振動子、3 6 (3 6 a , 3 6 b) ... アレイプローブ、3 7 (3 7 a , 3 7 b) ... 検査対象、3 8 ... 欠陥、3 9 ... 焦点、4 0 ... パルス信号、4 1_n(4 1₁, 4 1₂... 4 1_N)... 検出信号、4 2_m(4 2₁, 4 2₂... 4 2_M)... メッシュ、4 5 ... シュー、4 6 ... 走査情報、5 0 ... 走査手段、5 1 ... 第1端子、5 2 ... 第2端子、5 3 ... 切替器、5 4 ... 支持構造体、5 5 ... 駆動制御部、5 6 ... モータ、5 7 (5 7 a , 5 7 b) ... マグネット、5 8 ... 位置検出器、5 9 (5 9 a , 5 9 b) ... 車輪、5 9 a ... 駆動車輪、5 9 b ... 従動車輪、... 入射方向、h ... 焦点距離、 $I^m_n(I^m_1, I^m_2 \dots I^m_N)$... 信号強度、 $G_m(G_1, G_2 \dots G_M)$... 積算値、 $t^m_n(t^m_1, t^m_2 \dots t^m_N)$... 伝搬時間。

20

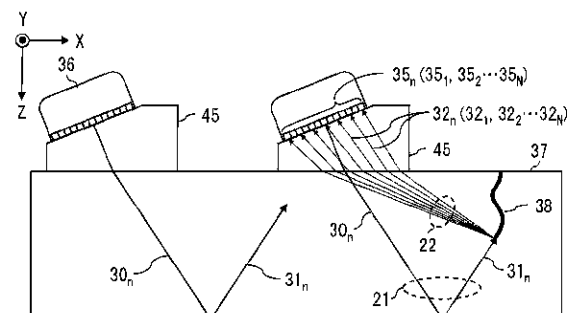
【図 1】



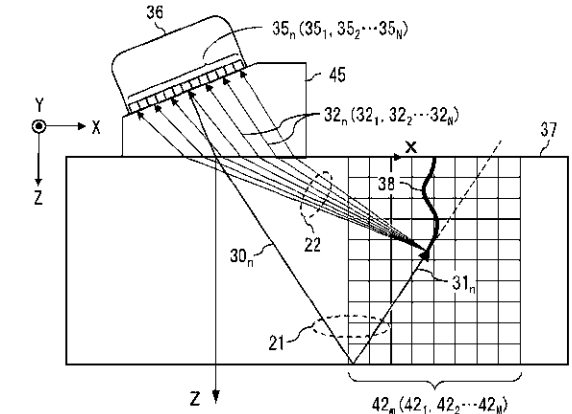
【図 2】



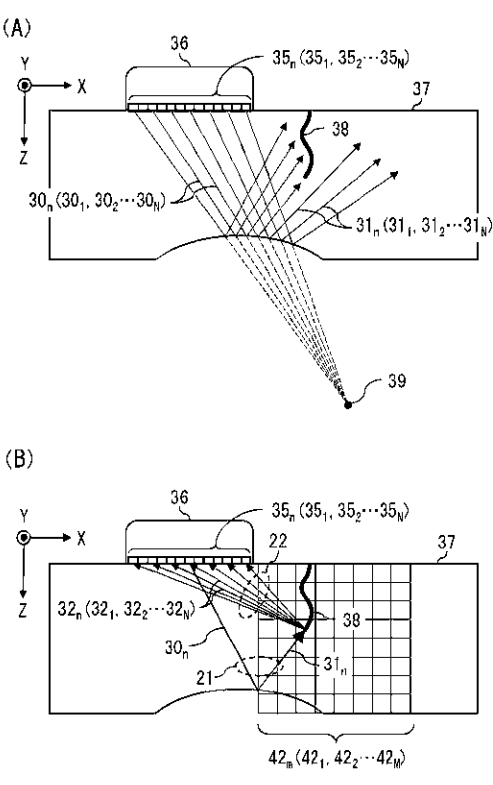
【図 3】



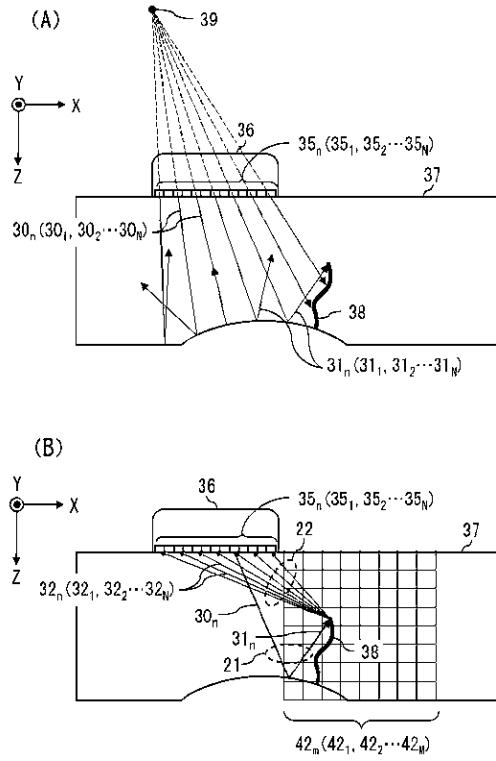
【図 4】



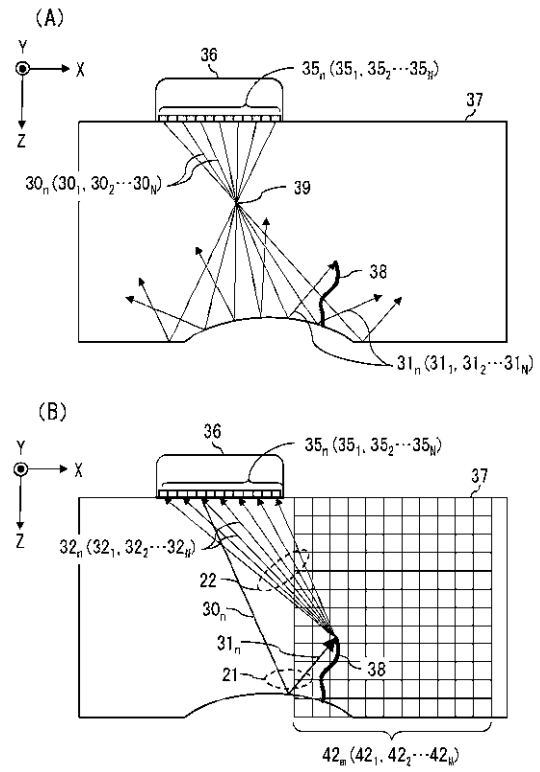
【図 5】



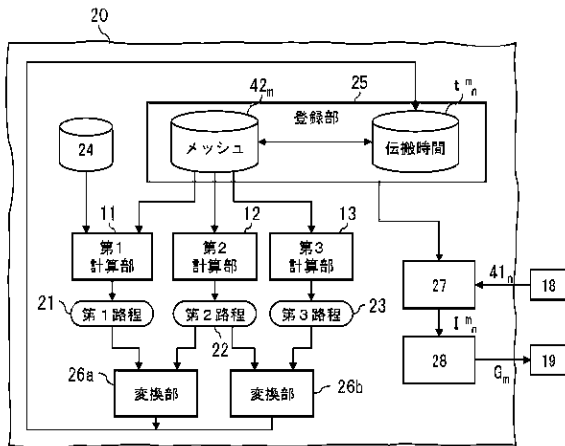
【図 6】



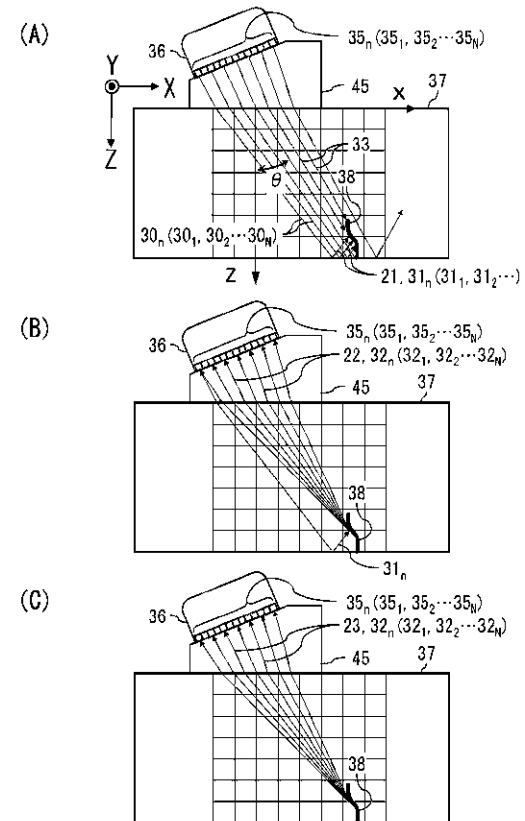
【図 7】



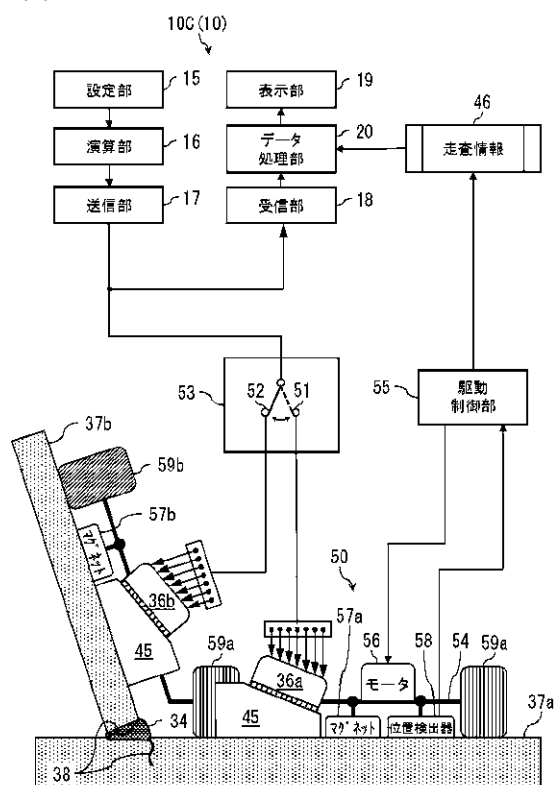
【図 8】



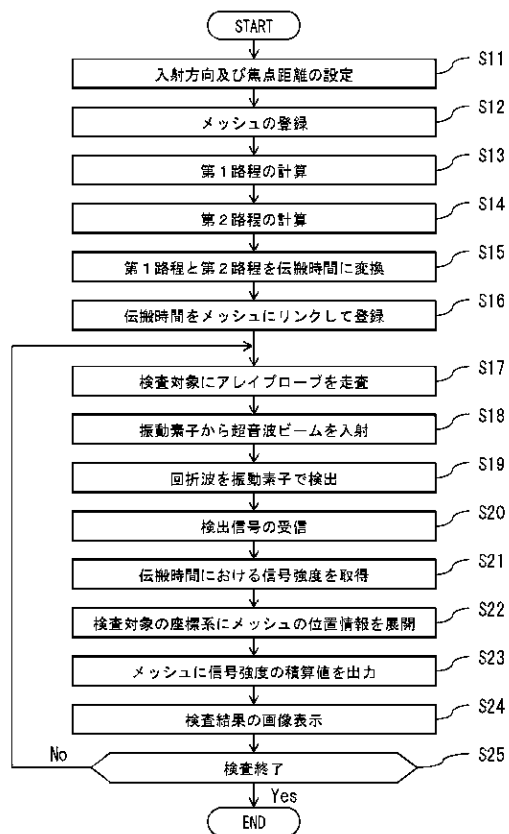
【図 9】



【 图 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

- (72)発明者 唐沢 博一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 東芝検査ソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 磯部 英夫
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 東芝検査ソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 児玉 智也
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 東芝検査ソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 村野 益巳
東京都港区虎ノ門三丁目 10 番 11 号 虎ノ門 P F ビル 一般財団法人首都高速道路技術センター内
- (72)発明者 平山 繁幸
東京都港区虎ノ門三丁目 10 番 11 号 虎ノ門 P F ビル 一般財団法人首都高速道路技術センター内
- (72)発明者 白旗 弘実
東京都世田谷区玉堤一丁目 28 番 1 号 東京都市大学内
- (72)発明者 永井 政伸
東京都千代田区霞が関 1 丁目 4 番地 1 号 首都高速道路株式会社内

審査官 小澤 瞬

- (56)参考文献 特開 2005 - 274557 (JP, A)
特開 2000 - 321251 (JP, A)
特開 2008 - 209364 (JP, A)
国際公開第 97 / 36175 (WO, A1)
特開 2012 - 215520 (JP, A)
米国特許出願公開第 2006 / 0230831 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB 名)

G 01 N 29 / 00 - G 01 N 29 / 52