

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年7月30日(30.07.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/111143 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/04 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/051179
- (22) 国際出願日: 2014年1月22日(22.01.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 三木 将裕(MIKI Masahiro); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 北澤 聡(KITAZAWA Sou); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 小方 雅己(OGATA Masami); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 後藤 紀朗(GOTOU Noriaki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会

社日立製作所内 Tokyo (JP). 相浦 智行(AINOURA Tomoyuki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 小林 善宏(KOBAYASHI Yoshihiro); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

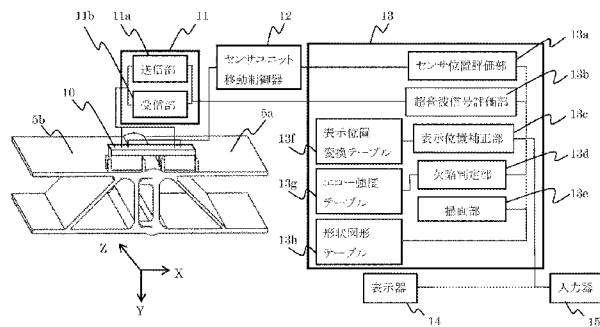
- (74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE Manabu et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ULTRASONIC FLAW DETECTION DEVICE FOR INSPECTING WELDS, ULTRASONIC FLAW DETECTION METHOD FOR INSPECTING WELDS, AND RAILROAD-CAR-STRUCTURE MANUFACTURING METHOD USING SAME

(54) 発明の名称: 溶接部を検査する超音波探傷装置および溶接部を検査する超音波探傷方法、それを用いた鉄道車両構体の製造方法

[図1]



- 11a Transmission unit
- 11b Reception unit
- 12 Sensor-unit movement controller
- 13a Sensor-position evaluation unit
- 13b Ultrasound-signal evaluation unit
- 13c Display-position correction unit
- 13d Flaw identification unit
- 13e Rendering unit
- 13f Display-position conversion table
- 13g Echo-intensity table
- 13h Shape-graphic table
- 14 Display
- 15 Input device

(57) Abstract: This invention provides an inspection device whereby, when performing an ultrasonic inspection on an object that comprises thin plate members and makes it impossible to get close to flaws, reflection sources such as scratches can be displayed in correct positions. This ultrasonic flaw detection device, which is used to inspect welds between members, is provided with an ultrasonic sensor array that transmits and receives ultrasound to and from a weld, an ultrasonic-sensor-array holder that moves said ultrasonic sensor array in the lengthwise direction of the weld, an ultrasonic flaw detector that converts the ultrasound received by the ultrasonic sensor array to echoes, a flaw-detection controller that uses said echoes to detect flaws in the weld, and a display unit that displays measurement results. The flaw-detection controller has the following: a display-position correction unit that corrects distortion in measurement images in accordance with a display-position conversion formula based on ultrasound-echo display refraction angles and display depths recorded in the flaw-detection controller; a reference echo-intensity table obtained from the ultrasound-echo display refraction angles and display depths recorded in the flaw-detection controller; and a flaw identification unit that identifies flaws by comparing the intensities of extracted flaw echoes.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/111143 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

部材板厚が薄く欠陥へ接近できない検査対象に対する超音波検査において、きずなどの反射源を正しい位置に表示できる検査装置を提供する。部材同士の溶接部を検査する超音波探傷装置に、溶接部に超音波を送波しかつ受波する超音波アレイセンサを備え、超音波アレイセンサを前記溶接部の長手方向に沿って移動させる超音波アレイセンサ保持器と、前記超音波アレイセンサで受波した超音波をエコーに変換する超音波探傷器と、当該エコーを用いて前記溶接部の欠陥を検出する探傷制御器と、測定結果を表示する表示部を備える。また、探傷制御器では、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さに基づいた表示位置変換式に従って測定画像の歪みを補正する表示位置補正部と、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さによる基準エコー強度テーブルと、抽出した欠陥エコーのエコー強度を対比して欠陥の判定を行う欠陥判定部を備える。

明 細 書

発明の名称：

溶接部を検査する超音波探傷装置および溶接部を検査する超音波探傷方法
、それを用いた鉄道車両構体の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、板材を接合する溶接部に発生するきず、割れ、溶接欠陥に対する超音波探傷装置および超音波探傷方法に関する。

背景技術

[0002] 大型構造物を製作する上で溶接は不可欠であるが、溶接部では溶接施工に起因して溶接欠陥がまれに発生する。そのため、溶接部に対して、適切な非破壊検査を行うことで、溶接部の品質を保証している。溶接部に対する一般的な非破壊検査方法としては、超音波探傷法あるいは放射線検査法が挙げられる。超音波探傷法は、装置の簡便さと放射線検査で必要な遮蔽などの作業がないため、広く使われている。

[0003] たとえば、特許文献1には、板材同士を接合した溶接部の超音波探傷法が開示されている。特許文献1に開示された発明によれば、溶接部の片側表面に2個の斜角探触子を同一直線とならないように配置し、超音波探触子を溶接部直交方向に前後走査して、溶接線に対する超音波の入射角度と溶接線までの距離を調整し肉厚方向に発生した欠陥を検出する。

[0004] また、特許文献2には、フェーズドアレイによる開口合成処理手法が開示されている。特許文献2に開示された発明によれば、フェーズドアレイの受信素子で得られた波形信号に対して影響関数の逆数を乗じて振幅を補正し、補正後信号に開口合成処理を行い、検査画像を構築することで、欠陥が厚さ方向のどの位置にあっても同一感度で検出できるようにしている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平5-288722号

特許文献2：特開2010-266414号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 長尺部材の溶接部の検査に対しては、従来、超音波探触子を人手で溶接部長手方向いわゆる溶接線の平行方向と交差方向にジグザグに動かして、溶接部の探傷を行っていた。溶接部の表面には、通常、凸型の溶接余盛りが発生するため、グラインダーなどで溶接余盛りを切削し、溶接部表面を平滑に仕上げしてから探傷を行っている。この手法では、検査前に溶接余盛りの除去加工が必要であるため、この処理を実施しないで溶接検査を高速に行う技術が望まれている。

[0007] 特に、鉄道車両の荷客を搭載する構体の検査ではそのニーズが高い。鉄道車両構体は全長20mから25mでありその溶接線長は非常に長い。また鉄道車両構体はアルミ合金製のパネルで構成されているが、このパネルの部材板厚は約3mmと非常に薄い。そこで、当該溶接部で溶接余盛りを残存した状態で検査するためには、超音波の屈折角を大きくして照射する必要がある。フェーズドアレイ法では屈折角を大きくして探傷する場合、きずなどの反射源の信号（以下、エコーと称する）は高屈折角側つまり表面近傍の浅い位置に表示され、実際のきずの深さ位置を正しく評価できなくなり、溶接欠陥の除去や補修作業に影響を及ぼす。

[0008] 特許文献1に開示された発明の場合、溶接部に対する超音波探触子の前進・後進走査が必要となる。板厚が十分大きい溶接余盛りを切除した検査対象部には有効である。しかし、長尺の溶接線に対する検査を行う場合には、溶接部長手方向への平行移動に加えて、上記溶接部直交方向への前進・後進走査を行う必要がある。従って、特許文献1に記載の探傷方法は板材の特定箇所、すなわち狭い範囲に対しては有効であるが、長尺の溶接部材の探傷方法として有効であるとは言えない。また、探触子の移動には溶接余盛りの切削が必要となるため、多大な検査時間を要する。

[0009] 特許文献2に開示された発明は深さ方向に対して同感度で信号評価できる

ものの、部材板厚が薄い検査対象の場合に生じる画像の深さ位置の歪みに対する補正手段については考慮されておらず、欠陥の除去や補修に対する的確な指示ができない恐れがある。

[0010] よって、本発明は、超音波探触子を溶接部直交方向へ前進又は後進走査をすることなく、溶接部長手方向に沿った平行移動のみで溶接部に発生した欠陥の有無を検査できる超音波探傷装置または探傷方法において、きずなどの反射源のエコーを正しい位置に補正表示することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するため、本発明では、部材同士の溶接部を検査する超音波探傷装置において、前記溶接部に超音波を送波しかつ受波する超音波アレイセンサと、前記超音波アレイセンサを前記溶接部の長手方向に沿って移動させる超音波アレイセンサ保持器と、前記超音波アレイセンサで受波した超音波をエコーに変換する超音波探傷器と、当該エコーを用いて前記溶接部の欠陥を検出する探傷制御器と、測定結果を表示する表示器を備え、前記探傷制御器では、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さに基づいた表示位置変換式に従って測定画像の表示位置を補正する表示位置補正部と、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さによる基準エコー強度テーブルと、抽出した欠陥エコーのエコー強度を対比して欠陥の判定を行う欠陥判定部を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、超音波探触子を溶接部直交方向へ前進又は後進走査をすることなく、溶接部長手方向に沿った平行移動のみで溶接部に発生した欠陥の有無を検査できる超音波探傷装置または探傷方法において、きずなどの反射源のエコーを正しい位置に補正表示することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施例の超音波探傷装置のシステム構成図である。

[図2]実施例の超音波探傷装置の適用対象である鉄道車両構体の模式図である。
。

[図3]鉄道車両構体のパネル接合部の模式図である。

[図4]実施例の超音波探傷装置における超音波センサユニットの配置を示す模式図である。

[図5]実施例の超音波探傷装置における超音波アレイセンサの配置を示す模式図である。

[図6]実施例の超音波探傷装置における超音波アレイセンサでの超音波ビーム照射と取得できる探傷画像のイメージ図である。

[図7]校正試験体での基準欠陥を用いた超音波画像の位置歪みに関する測定結果の例である。

[図8]超音波画像の位置歪みを補正するための表示位置変換テーブルデータの例である。

[図9]校正試験体での基準欠陥に対してエコー強度テーブルデータの例である。

[図10]実施例の超音波探傷装置での処理および本装置を用いた鉄道車両構体の製造工程を説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0014] 本発明の実施形態について、図面を参照しつつ説明する。なお、説明のため溶接検査の対象物に対して、溶接部の中心線である溶接線の長手方向をZ方向、溶接線の長手方向に直交した方向をX方向、検査対象の板厚深さ方向をY方向とする。

[0015] 初めに、本実施例の超音波探傷装置のハード構成について説明する。図1は本実施例の超音波探傷装置のシステム構成図である。本実施例の超音波探傷装置は、被検査物に接触させて超音波を送信しかつ受信し、アナログのエコーとして送信又は受信する超音波アレイセンサを有する超音波センサユニット10と、当該超音波アレイセンサを制御する超音波探傷器11と、超音波センサユニット10の移動制御と移動量計測を行うセンサユニット移動制御器12と、超音波検査全体を統括制御しかつ超音波探傷器11およびセンサユニット移動制御器12でのデータを処理して検査画像を作成する探傷制

御器 1 3 と、検査結果である検査画像を表示させる表示器 1 4 と各種情報の入力を受け付ける入力器 1 5 により構成される。なお、超音波探傷器 1 1、センサユニット移動制御器 1 2、探傷制御器 1 3 は、アナログ信号をデジタル化するアナログ／デジタル変換ボード、A D 変換されたデジタル信号を増幅するアンプ、デジタル化されたエコーに対して各種の処理を実行するプロセッサ、当該プロセッサで実行されるソフトウェアが格納されるメモリ、二次記憶装置などにより構成される。

[0016] 図 2 に鉄道車両構体の模式図を示す。鉄道車両構体は、屋根構体 5 1、側構体 5 2、妻構体 5 3 を台枠 5 4 上に設置して、各構体間を溶接接合して制作される。これらの溶接線は図 2 中に一点鎖線で示す通りに多数存在する。鉄道車両構体の場合、パネル長さは 2 0 m から 2 5 m であり、溶接線も最長 2 5 m に達するため、鉄道車両構体検査では長尺に対応した測定方法でなければならず、超音波アレイセンサの移動が必要不可欠である。

[0017] 図 3 に示す構体を構成するパネルは、型材 5 a および 5 b を勘合した構成であり、その勘合部 6 a (図 3 中の破線内) を溶接接合して制作する。型材の材質はアルミ合金材が一般的であり、その板厚は約 3 m m と非常に薄いことが特徴である。ここで、図 3 のような構造をダブルスキン構造といい、鉄道車両の軽量化に貢献している。

[0018] 本発明では、当該溶接部で溶接余盛りを残存した状態で検査することが目的である。そのため、超音波アレイセンサの溶接部での配置は図 4 のようにする。図 4 には、型材 5 a および 5 b が溶接部 6 により接合された構造物上に配置した超音波センサユニット 1 0 の構成である。超音波センサユニット 1 0 は、超音波アレイセンサ、モータ、移動量計測器を格納するケーシング 1 0 a および 1 0 b、超音波アレイセンサを保持する超音波アレイセンサ保持器 1 0 c、超音波センサユニット 1 0 が溶接部に沿って移動するためのタイヤ 1 0 d、タイヤを回転動作させるモータ 1 0 e、超音波センサユニットの移動量を計測する移動量計測器 1 0 f などによって構成される。

[0019] ケーシング 1 0 a および 1 0 b には、一対の超音波アレイセンサ 1 a、1

bが格納され、型材5 aあるいは5 bの上面に溶接部6を跨ぐように設置され、超音波を型材から入射して溶接部6を検査する。超音波アレイセンサを型材に設置する際には、水、油、グリセリンペーストなどの接触媒質を超音波アレイセンサ設置面に塗布する。超音波アレイセンサ保持器10 cは、ケーシング10 aおよび10 bをネジなどで固定し、一对の超音波アレイセンサ1 aおよび1 bを一定の距離を保持した状態で測定する。

[0020] 超音波センサユニット10は自走可能であり、被検査物の溶接部長手方向に沿って移動するための探触子移動機構が備えられている。本実施例の超音波センサユニット10においては、タイヤ10 dとタイヤを駆動させるモータ10 eとが設置され、溶接部6の長手方向（図4中のZ方向）に対して平行移動できる。モータ10 eは、4つのタイヤ10 dのうち少なくとも1つのタイヤについて設置すれば、超音波アレイセンサ保持器10 cを移動できる。4つのタイヤ10 dのうち少なくとも1つのタイヤには移動量計測器10 fを接続し、タイヤの回転量から超音波センサユニット10が移動した距離を計測する。

[0021] 超音波探傷器11は超音波アレイセンサ1 a、1 bに接続され、超音波の送波および欠陥などからの反射エコーの受波を制御する。また、受波したエコーを電気信号に変換し、デジタル化して記録し、さらに画像情報に変換して探傷制御器13に送る。また超音波探傷器11の送信部11 a及び受信部11 bでは超音波アレイセンサ1 a、1 bの各超音波アレイ振動子の送波及び受波に遅延時間を与え超音波の送波方向や焦点位置を調整する。

[0022] センサユニット移動制御器12は、移動量計測器10 fの移動距離計算とモータ10 eの駆動制御により、超音波センサユニット10の移動を制御して、超音波アレイセンサ1 a、1 bの位置を制御する。移動距離の計算結果は探傷制御器13に伝達し、探傷制御器13における探傷結果表示や欠陥発生範囲の記録に用いられる。センサユニット移動制御器12からの指令によって超音波センサユニット10は自走可能となる。

[0023] 探傷制御器13は、超音波探傷器11およびセンサユニット移動制御器1

2を制御する。構成要素として、センサ位置評価部13a、超音波信号評価部13b、表示位置補正部13c、欠陥判定部13d、描画部13e、表示位置変換テーブル13f、エコー強度テーブル13g、形状図形テーブル13hが必要である。センサ位置評価部13aは、センサユニット移動制御器12での移動指示を行い、移動距離情報を受信し、超音波アレイセンサ1a、1bの位置情報の記録を行う。超音波信号評価部13bは、超音波探傷器11での超音波の送波指示を送り、受信波およびそのときの測定条件などの情報と記録を行う。表示位置補正部13cは、超音波信号評価部13bでの超音波信号および測定条件に基づいて検査画像のエコー表示位置の歪みがある場合、エコー位置を実体にあった位置に座標補正して画像の再構成を行う。欠陥判定部13dは、表示位置補正部13cでの位置補正した再構成画像情報から欠陥信号を抽出し、その検出信号の実体の欠陥位置とエコー強度に基づいて欠陥判定を行う。描画部13eでは、センサ位置評価部13a、表示位置補正部13cおよび欠陥判定部13dに基づいて検査結果画像を作成し、表示器14に送る。表示位置変換テーブル13fは表示位置補正部13cが行う画像の位置補正処理を行うときの参照データを記憶する。エコー強度テーブル13gは欠陥判定部13dが行う欠陥判定処理を行うときの参照データを記憶する。形状図形テーブル13hは、被検査対象の形状情報であるCAD情報等を持つ。形状情報はCAD等に限らず任意の形式の情報で構わない。また、形状情報は表示器14に探傷結果とともに表示し、検査評価領域を設定する際に参照データとして使用する。

[0024] 表示器14は、探傷制御器13からの検査結果出力情報に基づき、超音波アレイセンサ1a、1bの位置や探傷結果等を表示する。

[0025] 次に、超音波の送信および受信について説明する。本実施例では、超音波アレイセンサとして一振動子型の超音波アレイセンサを用い、型材同士の溶接部検査に対して適用した例について説明する。検査対象としては、型材同士が溶接により接合された構造物を想定し、溶接部内に欠陥が存在しているものとする。

- [0026] 図5に、本実施例の超音波アレイセンサの構成を示す。超音波検査で用いる超音波アレイセンサには、一振動子型の超音波アレイセンサを用い、図5に示すように溶接部6を挟んで対向するように板材表面に配置する。
- [0027] 図5(a)には溶接線と交差する方向に対する超音波アレイセンサ1a、1bの上観配置図、図5(b)には溶接線との交差方向に対する超音波アレイセンサの断面図(図5(a)におけるB-B'断面)を示す。型材5a、5bが溶接部6で接合されており、溶接部6の断面は、溶接余盛りを上側(超音波アレイセンサの載置面側)にした扇形に類似する形状を有している。溶接部6の下側(開先と逆側)先端部の紙面左側には、溶接の未着部である欠陥7が存在する場合がある。本実施例の超音波検査では溶接部に発生する欠陥を検出することが目的であり、そのために欠陥に対して超音波が斜め方向から入射するように超音波アレイセンサを配置する。超音波アレイセンサ1a、1bの内部には超音波の送波および受波を行う素子の集合体である超音波アレイ振動子3a、3bが設置されている。超音波アレイ振動子3a、3bは、配列された複数の振動子から成り、振動子への印加電圧時間を調整する電子的走査により、超音波の送波方向や焦点位置を調整できる。従って、超音波アレイ振動子3a、3bを型材5a、5bの表面に対して平行に設置しても、溶接部6に対して斜めに超音波を入射することはできる。本実施例では、型材および溶接部への超音波2の入射強度を高めるために、振動子下部に樹脂製のくさび4を設置して超音波アレイ振動子を傾けている。本実施例では、くさび4を超音波アレイセンサに内蔵して小型化を図っている。
- [0028] 本実施例によれば、これにより、探触子の走査範囲の一方向のみとして検査時間の短縮、機構構成と制御の簡素化が図れる。
- [0029] 一方、上記の欠陥あるいは被検査対象の形状角部などの特徴点で反射された送波超音波を超音波アレイ振動子で受波すると、振動子毎の受信時間差と被検材内の音速から反射源の位置を特定することができる。このような超音波の送波および受波手法をフェーズドアレイ法という。
- [0030] 前述の印加電圧時間をプログラム化して順次変えることで、超音波を走査

することができる。これにより、超音波アレイセンサの移動範囲を最小限にして、広範囲を検査できるため、検査時間の短縮が可能である。本実施例の場合、超音波アレイセンサの電子的な走査条件を適正化して、溶接部で想定している欠陥を検査できる最適な走査条件を決定できるため、検査時間の短縮を図ることができる。また、超音波アレイセンサの前進及び後進（X方向）走査をせずに広範囲を検査するため、超音波アレイセンサの位置を中心として超音波ビームを扇状に走査するセクタスキャン法による評価が望ましい。

[0031] なお、図5において、点 O_1 、 O_2 は、超音波を送波した振動子から被検査物表面に下ろした垂線と被検査物表面との交点であり、セクタスキャン法により得られる扇形の超音波画像の基準位置である。

[0032] 続いて、本実施例の特徴である測定画像と位置歪みの補正について、図6を用いて説明する。本実施例では、超音波アレイセンサ1 aおよび1 bは独立して測定を行う。このため、超音波アレイセンサ1 aの動作のみを記すが、超音波アレイセンサ1 bの動作も下記記述と同様である。図6（a）における超音波アレイセンサの配置において、超音波アレイ振動子3 aから超音波2を送波し、欠陥 D_1 での反射超音波（反射エコー）を超音波アレイ振動子3 aで受波し、受波した超音波から得られる反射エコーを解析、映像化することにより欠陥の有無を判断する。ここで、型材の部材板厚を t とする。溶接欠陥は溶接部根元に発生しやすいため、ここでは欠陥 D_1 を溶接部根元に発生した場合を想定した図とした。

[0033] このときの測定画像を図6（b）に示す。上記の探傷方法でのセクタスキャン画像であり、超音波アレイセンサ1 aを用いた測定において、超音波アレイ振動子3 aから超音波を送波し、欠陥 D_1 での反射超音波を超音波アレイ振動子3 aで受波した超音波による探傷結果を表示する。ここで、セクタスキャン画像の見方を説明する。扇型で示す測定画像において、左上の頂点部 O_1 が受波する超音波アレイ探触子の位置を示し、X方向は超音波アレイセンサからの反射源までの水平距離を表し、Y方向で示す鉛直方向は超音波アレイ

イセンサからの反射源までの深さを示す。そのため、セクタスキャン画像では、超音波アレイセンサと反射源の位置関係が明確に分かる。Sの画像には図6(a)に示す体系で受波されるエコーを表示したが、 E_1 は欠陥に起因した超音波エコーであり、欠陥がない部分では E_1 のエコーは出現しない。また、点線で示す領域Bは欠陥評価範囲である。この領域の設定は、X方向位置は溶接余盛りの両止端位置に相当し、Y方向位置は表面から型材の部材板厚 t より少し大きく設定する。

[0034] 図6(b)では欠陥エコー E_1 が本来の欠陥深さより浅く表示される。つまり、実体での欠陥位置を t とした場合、セクタスキャン画像で表示される欠陥エコーの深さは t_1 ($t_1 < t$)となる。これは、超音波探傷器11で映像を形成する際に、屈折角 θ が大きい角度では超音波アレイ振動子が受波信号の合成波面を生成する際の超音波到達時間の差が小さくなるため、屈折角領域における空間分解能の誤差が大きくなることに起因する。その特性を測定した結果を図7に示す。これは直径0.5mmの横穴を基準欠陥として、センサ設置面からの等間隔の深さで設置した基準欠陥のエコー表示深さをまとめたものである。縦軸は表示欠陥深さ t_1 、横軸は屈折角 θ である。図中の4本の線は深さ2mmから5mmまでの基準欠陥の表示位置の測定データである。図から屈折角 θ が大きくなるに従って、表示欠陥深さ t_1 が小さくなることが確認できる。例えば、深さ5mmの基準欠陥を屈折角 82° で計測すると、深さ2.5mmに表示される。つまり、測定データに基づいた無加工画像を実際の欠陥位置より浅く表示されるため、画像構成時に欠陥位置が実際の欠陥深さ位置に表示されるように、検査画像の歪みを補正する手段を設定することが重要になる。そこで、図7の測定データの逆変換テーブルを作成し、画像の歪み補正を行う。

[0035] そこで、上記の画像歪み補正には、屈折角と深さ位置の座標変換補正テーブルを事前に作成し、取得したエコーあるいは画像全体に対して座標変換を行い補正画像として表示する。例えば、図8に示すように実体欠陥深さ t を屈折角 θ と欠陥表示深さ位置 t_1 の座標変換補正式(数式(1))として作成

する。ここで、 a 、 b 、 c 、 d は事前に測定したデータに基づいた定数、 f と g は関数である。

[0036] [数1]

$$t = \{a \cdot f(\theta) + b\} \cdot \{c \cdot g(t_1) + d\} \quad \dots \text{数式 (1)}$$

[0037] この屈折角と深さ位置の座標変換補正式データは、実験による測定や数値解析による予測などで事前作成し、表示位置変換テーブル13fに記録しておく。なお、図8は、実体欠陥深さ t が2mmから5mmのデータに関しては図7の測定データに基づいて作成したが、実体欠陥深さ t が1mmの場合のデータに関しては前記測定データと数値解析による予測値である。

[0038] 今回測定する体系では、溶接余盛りを残存した状態で測定するため、超音波アレイセンサが欠陥に対して十分に接近できないために、高屈折角、例えば 65° から 80° の範囲で測定せざるを得ない場合が多い。そのため、本実施例に示す高屈折角かつ浅部の欠陥エコー画像の歪み補正が非常に有益である。この座標変換による深さ位置補正を行うことで、欠陥エコーは図6(b)のエコー位置Eに表示でき、欠陥の位置を正しく判定できるようになる。

[0039] 続いて、欠陥判定方法について説明する。

[0040] 欠陥がある場合には、供用期間中に欠陥が進展し車両に不具合が発生するか否かを判定する。車両に不具合が発生すると考えられる場合に補修必要と判断し、欠陥除去と溶接再施工などの補修を行う。そのために、検出した欠陥の位置と大きさを的確に把握する必要がある。欠陥位置については、上記の座標変換による深さ位置補正により、正しく評価できる。そこで、欠陥の大きさを的確に把握する方法が必要である。そこで、車両設計時に検査対象部位の荷重状況に応じた負荷応力と部材の重要度に基づいた許容可能欠陥寸法を設定する。許容可能欠陥寸法より小さい欠陥でも十分に検出できることを標準試験体の基準欠陥で事前測定すると共に、基準欠陥の反射超音波の強度であるエコー強度を測定し、そのエコー強度との対比で欠陥判定、つまり補修要否の判定を行う。

[0041] そこで、図9に示すような基準欠陥に対するエコー強度テーブルを判定基準として作成する。このテーブルは、探傷制御器13内のエコー強度テーブル13gに格納する。図9について説明する。縦軸は実験により測定した基準欠陥のエコー強度 A_0 であり、横軸は表示画像の屈折角 θ である。基準欠陥は測定する深さ範囲を包括するように深さの異なる複数個の基準欠陥に対して測定する。ここでは深さ2mmから5mmまでの基準欠陥の測定データを示している。このテーブルの活用法を記す。上述の座標変換による深さ位置補正を行った画像の欠陥エコーに対して、実体の欠陥深さ t 、屈折角 θ 、エコー強度 A を抽出する。この欠陥エコーの情報に対して、欠陥深さ t 、屈折角 θ に対する基準欠陥のエコー強度 A_0 をエコー強度テーブルから求める。ここで $A \geq A_0$ ならば、欠陥は有害であると判断でき、補修が必要と判定する。本実施例では、判定情報を表示器の検査画像と共に表示する。これにより、溶接余盛りを切削しなくても溶接欠陥を検出できる。また、欠陥位置と補修の必要性をその場で確認できるため、的確に補修施工ができ、高信頼製品を製造できる。

[0042] 最後に、超音波探傷装置の駆動系と制御系の連携動作について説明する。上述した超音波探傷装置の動作と制御手順について図10を用いて説明する。図10は、本実施例における超音波探傷装置での制御処理内容を表すフローチャートである。なお、この制御処理は、超音波探傷器11、センサユニット移動制御器12および探傷制御器13の内部メモリに予め記憶されたプログラムに基づいて実施されるものである。

[0043] 鉄道車両構体の製造に当たっては、ステップ500の型材パネル仮組み、ステップ600の型材パネルの溶接の後に検査を実施する。ステップ100の検査開始に当たっては、当該検査部の状況（例えば、板材材質、板厚、溶接開先形状など）を考慮した適切な検査条件を、超音波探傷器11、センサユニット移動制御器12および探傷制御器13に設定する。また、探傷制御器13のメモリ内に格納されたプログラムの動作により、座標変換補正式データを表示位置変換テーブルに設定する。また、検査対象部位に応じた基準

欠陥の欠陥判定レベルをエコー強度テーブルに設定する。また、超音波アレイセンサの探傷ステップ毎の移動量を設定する。

- [0044] ステップ110では、探傷制御器13における検査評価領域を設定する。型材5a、5bの形状と溶接部6の幅（X方向距離）の寸法情報から溶接部の測定領域を設定する。具体的には、溶接余盛りの幅と型材の部材板厚tに基づいた欠陥評価範囲（図6（b）のS）を設定し、この欠陥評価範囲内に出現するエコーに対してステップ140の処理を行い欠陥エコーの候補を抽出する。
- [0045] ステップ120では、超音波センサユニット10を検査測定位置に移動する。検査開始時は超音波センサユニット10を検査対象の開始位置に合わせる。超音波アレイセンサ1aおよび1bは溶接部を挟むように対向して配置する。また、検査進行時はセンサユニット移動制御器12の指示に対して、ステップ100で設定した探傷ステップ毎の移動量だけ溶接線長手方向（Z方向）に平行移動させる。測定位置はセンサユニット移動制御器12での位置情報を探傷制御器13のセンサ位置評価部13aで記録する。
- [0046] ステップ130では、超音波アレイセンサを用いた超音波ビームの照射および受信を行う。探傷制御器13は超音波探傷器11に対して測定トリガ信号を送信する。それを受けて、超音波探傷器11の送信部11aおよび受信部11bにより超音波アレイセンサ1aで超音波信号の送信および受信処理を行う。同様に超音波アレイセンサ1bでも送信および受信処理を行う。受信信号は探傷制御器13の超音波信号評価部13bに伝達される。
- [0047] ステップ140では、欠陥信号検出処理を行う。ステップ130の測定結果から超音波信号評価部13bでは、ステップ110で設定した評価領域内に出現するエコーがあるかないかを検査データに基づいて判別する。領域内にエコーが存在した場合、欠陥エコーEとして検知し、ステップ150の処理を行う。領域内にエコーが存在しない場合、欠陥なしのため補修不要と判定し、ステップ200の処理を行う。描画部13eで検査画像とともに欠陥判定結果である”欠陥なし”の情報を集積して、表示器14で表示する。

- [0048] ステップ150では、画像の位置補正を行う。超音波信号評価部13bで処理した検査測定データは表示位置補正部13cに送られる。表示位置変換テーブル13fから座標変換補正式データを読み込み、検査測定データは画像の位置補正処理が行われ、高屈折角で歪んで表示された欠陥エコーEは実体の欠陥深さに描画する。
- [0049] ステップ160では、反射波の信号振幅に基づいた欠陥判定を行う。ここでは、ステップ150で抽出したエコーEの近傍での受信波信号強度の最大値Aと、受信信号強度判定のしきい値 A_0 を比較する。エコーの信号強度がしきい値 A_0 を超えた場合には、構造強度上で有害な欠陥であると判断し、探傷制御器13の欠陥判定部13dが欠陥有として処理する。従って、この判定で受信波振幅が $A < A_0$ ならば“補修必要なし”と判断し、ステップ200の処理を行う。なお、探傷終了点に到達した場合には終了する。また、受信波振幅が $A \geq A_0$ ならば、欠陥と判断しステップ170の処理を行う。
- [0050] ステップ170では、補修必要の判定をする。ステップ160の判定に基づいて、描画部13eで検査画像とともに欠陥判定結果である”補修必要”の情報を集積して、表示器14で表示する。その後、ステップ180の処理を行う。
- [0051] ステップ180では、超音波アレイセンサ位置の判定を行う。探傷制御器13の処理により、超音波アレイセンサが検査対象の部材端に到達していれば、検査は終了とし、ステップ190の処理、つまり検査終了になる。しかし、超音波アレイセンサが検査対象の部材端に到達していなければ、ステップ120の処理に移り規定量だけ移動した後、新規地点での探傷を繰り返す。一連の検査作業が完了しステップ200の検査終了後に、欠陥部の補修作業を行う。補修箇所は再度検査を行い、欠陥がないことを確認した上でステップ700の構体パネルの組立を行い、6面体上の鉄道車両構体を成形する。
- [0052] 以上、本実施例の超音波探傷装置あるいは探傷方法により、超音波探触子を溶接線の長手方向と直交する方向へ超音波アレイセンサを前進又は後進走

査をすることなく、溶接線方向に沿った平行移動のみで溶接部に発生した欠陥の有無を検査できる超音波探傷装置または探傷方法において、溶接余盛りがあっても迅速に溶接欠陥を測定可能な装置・方法が実現される。特に、部材板厚が薄い検査対象に対する超音波検査においては、画像歪みに対する補正手段により、きずなどの反射源の映像（エコー）を正しい位置に補正表示し、きずの除去あるいは補修を的確に指示および施工することができ、検査・補修施工の高速化と製品の信頼性を向上できる。また、溶接部の余盛り除去という前処理が不要なため、長尺部材の溶接検査に要する作業時間を大幅に低減でき、鉄道車両構体の製造時間短縮と高信頼性を両立できる効果がある。

符号の説明

[0053]	1 a、1 b	超音波アレイセンサ
	2	超音波
	3 a、3 b	超音波アレイ振動子
	4	くさび
	5 a、5 b	型材
	6	溶接部
	6 a	勘合部
	7	欠陥
	10	超音波センサユニット
	10 a、10 b	ケーシング
	10 c	超音波アレイセンサ保持器
	10 d	タイヤ
	10 e	モータ
	10 f	移動量計測器
	11	超音波探傷器
	11 a	送信部
	11 b	受信部

1 2	センサユニット移動制御器
1 3	探傷制御器
1 3 a	センサ位置評価部
1 3 b	超音波信号評価部
1 3 c	表示位置補正部
1 3 d	欠陥判定部
1 3 e	描画部
1 3 f	表示位置変換テーブル
1 3 g	エコー強度テーブル
1 3 h	形状図形テーブル
1 4	表示器
1 5	入力器
1 0 0 ~ 7 0 0	作業ステップ
5 1	屋根構体
5 2	側構体
5 3	妻構体
5 4	台枠
A	セクタ走査表示範囲
B	欠陥評価範囲
D ₁	欠陥
E、E ₁	欠陥に起因した超音波エコー
S	欠陥評価範囲
t	型材の部材板厚
t ₁	欠陥エコーの表示深さ

請求の範囲

- [請求項1] 部材同士の溶接部を検査する超音波探傷装置において、
前記溶接部に超音波を送波しかつ受波する超音波アレイセンサと、
前記超音波アレイセンサを前記溶接部の長手方向に沿って移動させる超音波アレイセンサ保持器と、
前記超音波アレイ振動子で受波した超音波をエコーに変換する超音波探傷器と、
当該エコーを用いて前記溶接部の欠陥を検出する探傷制御器と、
測定結果を表示する表示器を備え、
前記探傷制御器は、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さに基づいた表示位置変換式に従って測定画像の表示位置を補正する表示位置補正部を備えることを特徴とする超音波探傷装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の超音波探傷装置において、
前記探傷制御器は、探傷制御器に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さによる基準エコー強度テーブルと、抽出した欠陥エコーのエコー強度を対比して欠陥の判定を行う欠陥判定部を備えることを特徴とする超音波探傷装置。
- [請求項3] 請求項1あるいは2に記載の超音波探傷装置において、
前記被検査溶接部に対して1対の超音波アレイセンサを対向して配置して測定することを特徴とする超音波探傷装置。
- [請求項4] 請求項1から請求項3に記載の超音波探傷装置において、
前記表示器に検査対象部の形状図を重畳して表示することを特徴とする超音波探傷装置。
- [請求項5] 部材同士の溶接部を検査する超音波探傷方法において、
前記溶接部に超音波を送波しかつ受波する超音波アレイセンサと、
超音波アレイセンサを前記溶接部の長手方向に沿って移動させる超音波アレイセンサ保持手段と、前記超音波アレイ振動子で受波した超音

波をエコーに変換する超音波制御手段と、当該エコーを用いて前記溶接部の欠陥を検出する探傷制御手段を用い、

探傷制御手段では、探傷制御手段に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さに基づいた表示位置変換式に従って測定画像の表示位置の歪みを補正する表示位置補正手段と、探傷制御手段に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さによる基準エコー強度テーブルと、抽出した欠陥エコーのエコー強度を対比して欠陥の判定を行う欠陥判定手段と、前記測定画像と欠陥判定結果を表示する表示手段を備えることを特徴とする超音波探傷方法。

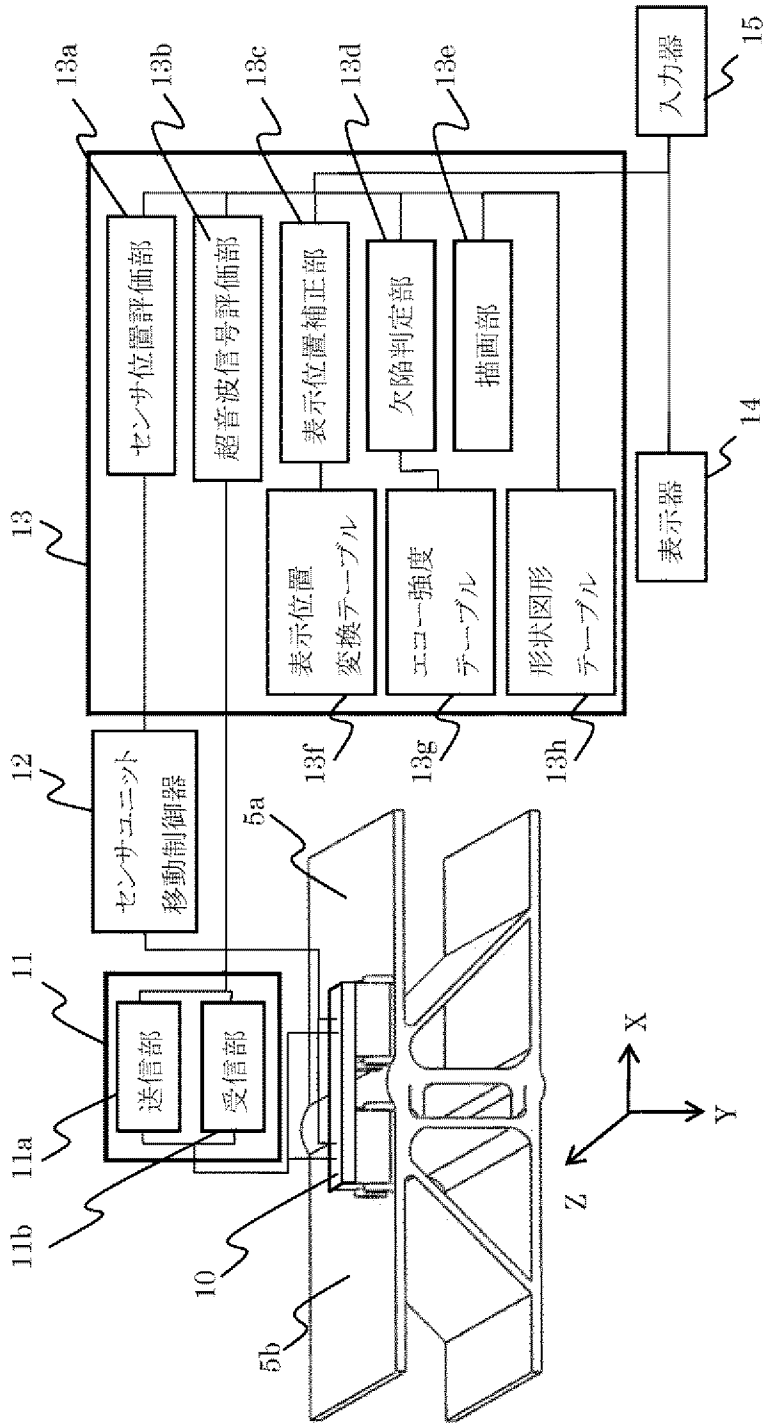
[請求項6]

鉄道車両構体の製造方法において、

構体を形成するパネル溶接部の健全性検査を実施する際に、前記検査において前記溶接部に超音波を送波しかつ受波する超音波アレイセンサと、超音波アレイセンサを前記溶接部の長手方向に沿って移動させる超音波アレイセンサ保持手段と、前記超音波アレイ振動子で受波した超音波をエコーに変換する超音波制御手段と、当該エコーを用いて前記溶接部の欠陥を検出する探傷制御手段を用い、

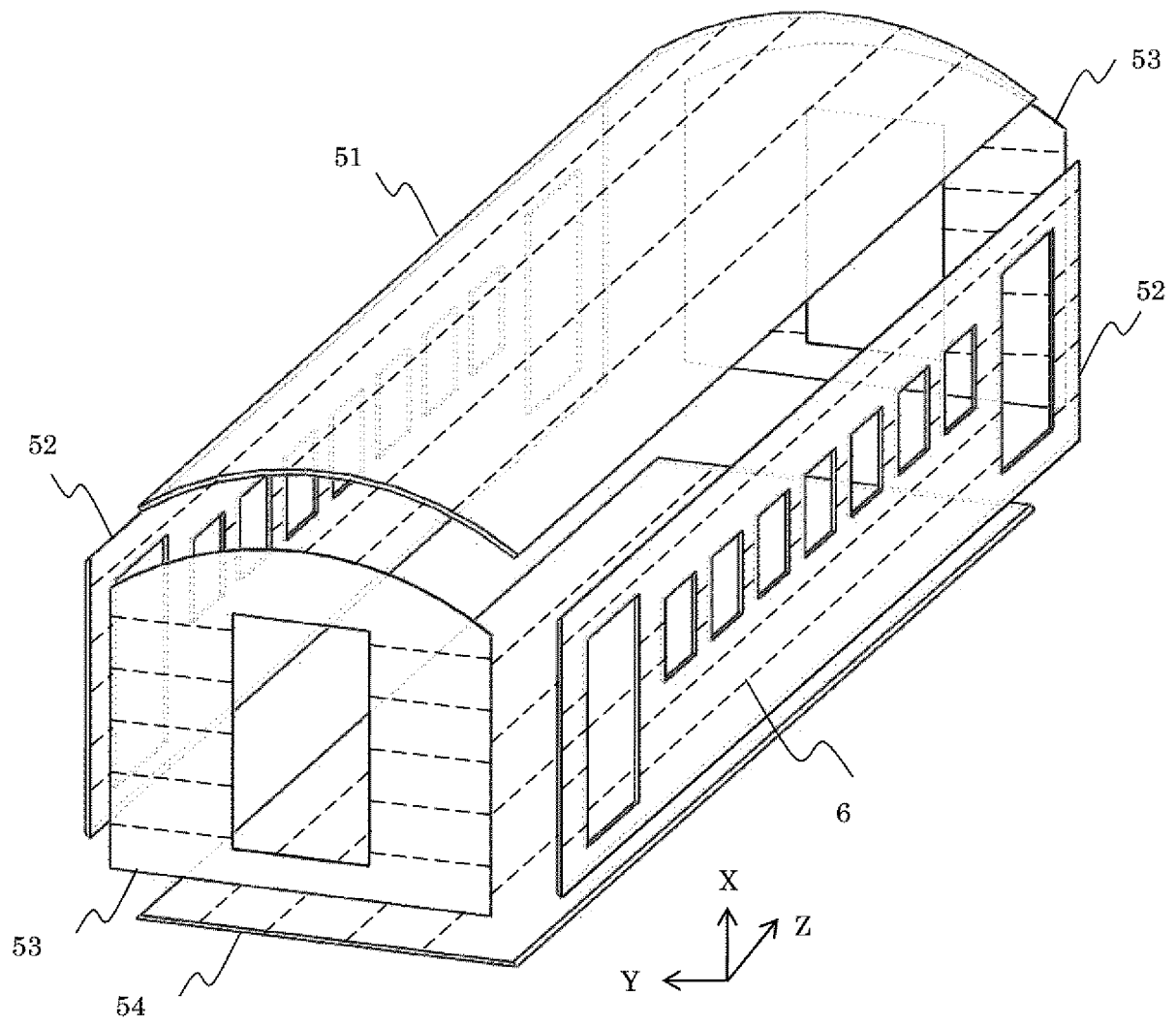
前記探傷制御手段では、探傷制御手段に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さに基づいた表示位置変換式に従って測定画像の表示位置の歪みを補正する表示位置補正手段と、探傷制御手段に記録された超音波エコーの表示屈折角と表示深さによる基準エコー強度テーブルと、抽出した欠陥エコーのエコー強度を対比して補修要否の判断を行う欠陥判定手段と、前記測定画像と欠陥判定結果を表示する表示手段を備えた超音波検査手段を用いることを特徴とする鉄道車両構体の製造方法。

【図1】

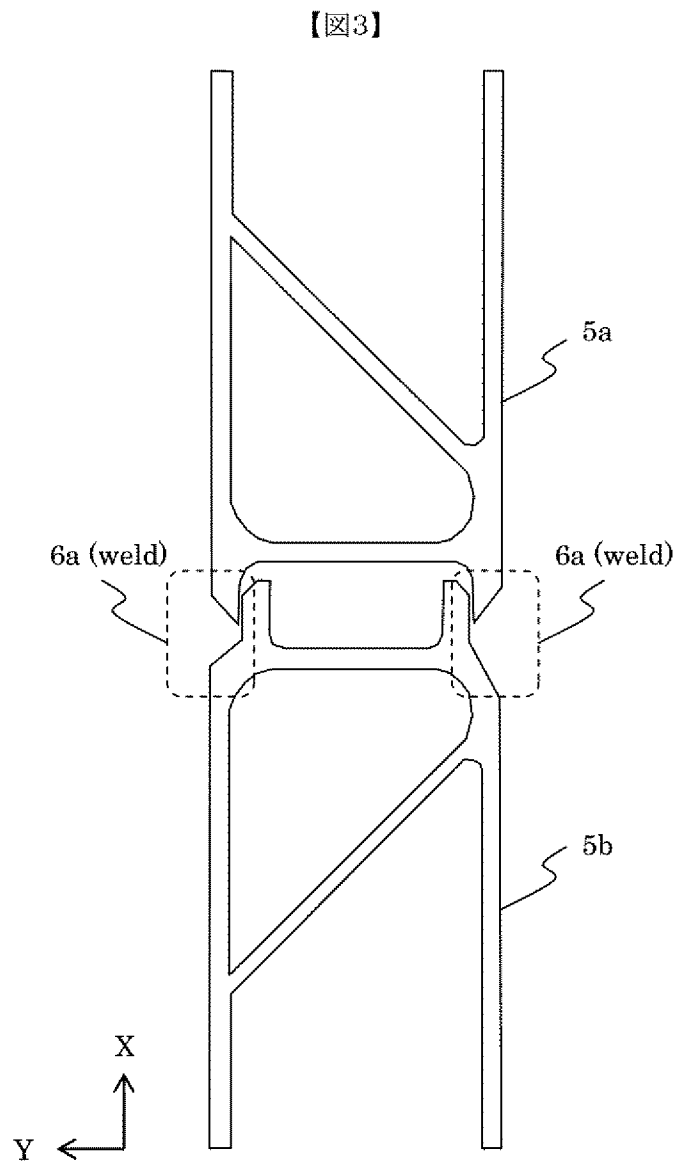


[図2]

【図2】



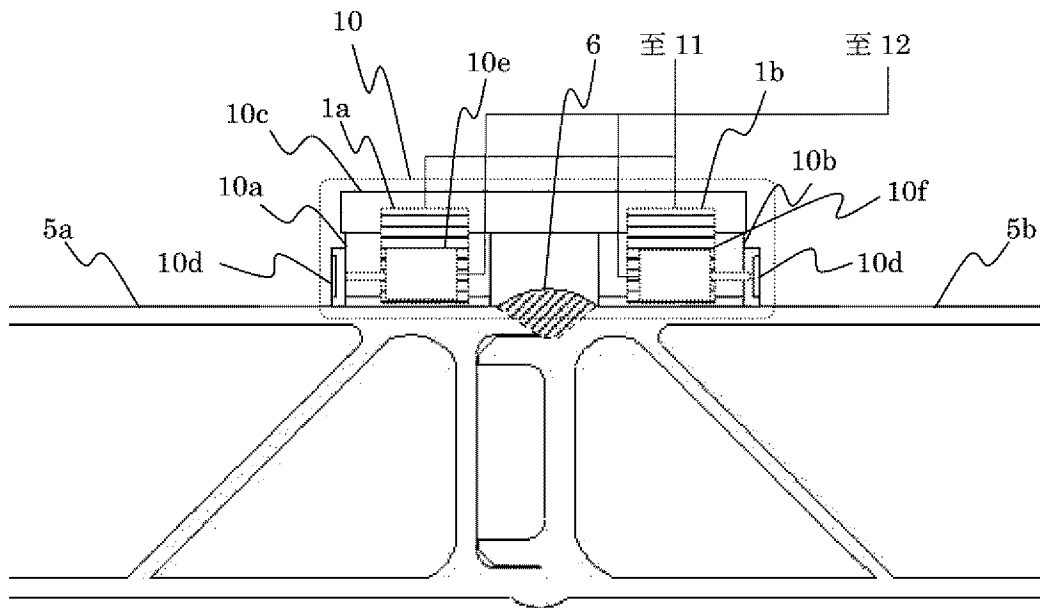
[図3]



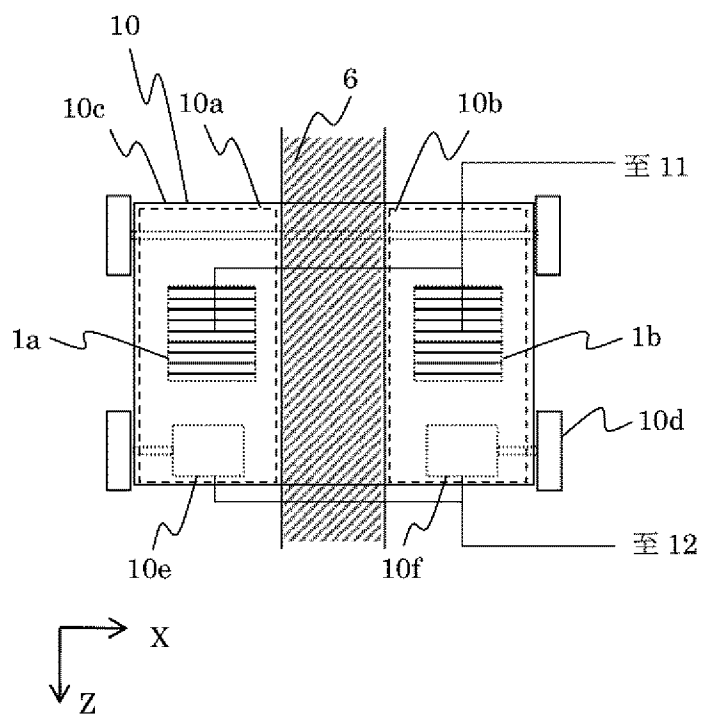
[図4]

【図4】

(a)



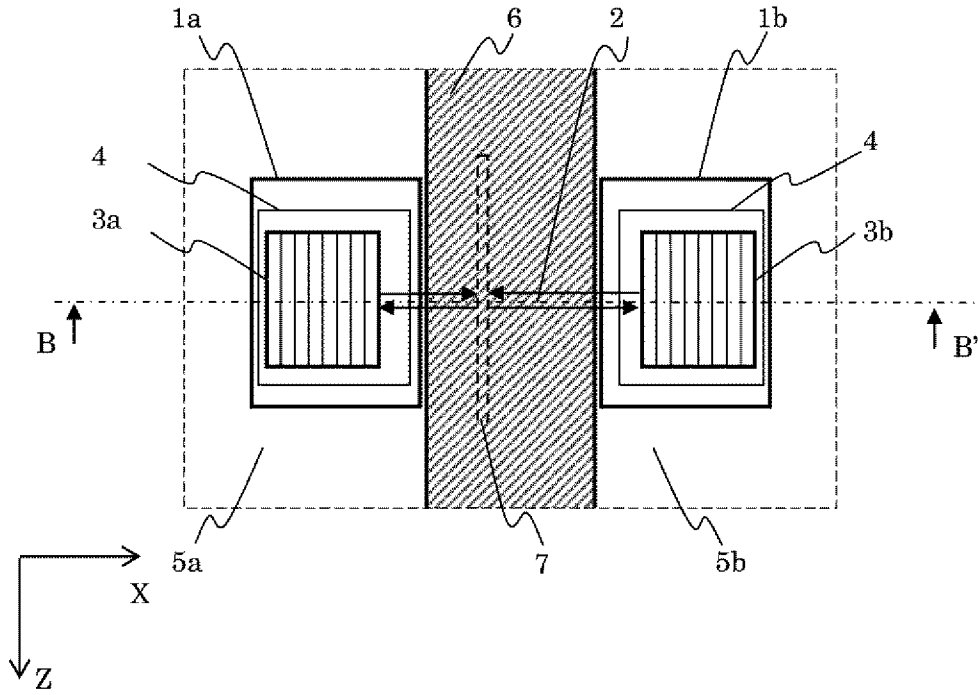
(b)



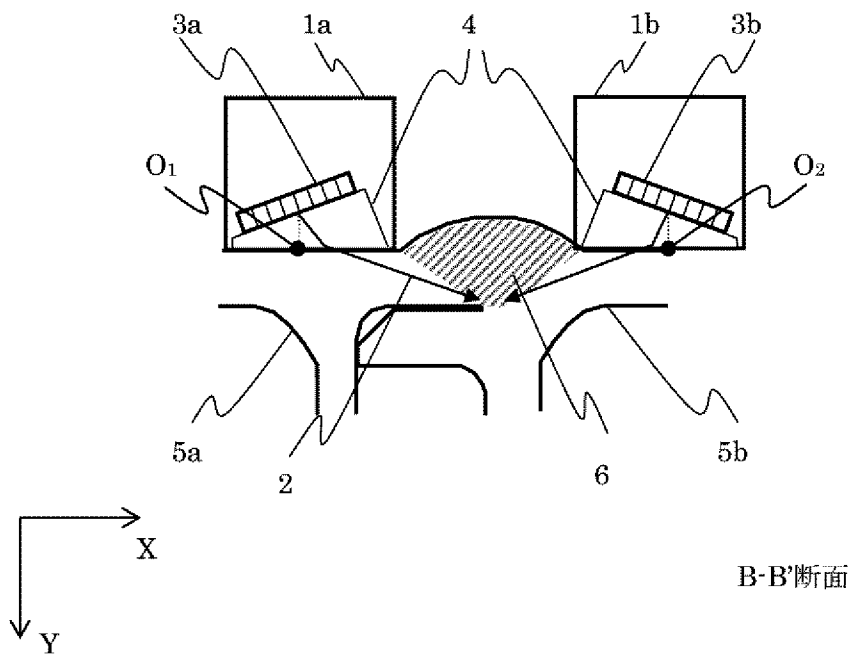
[図5]

【図5】

(a)



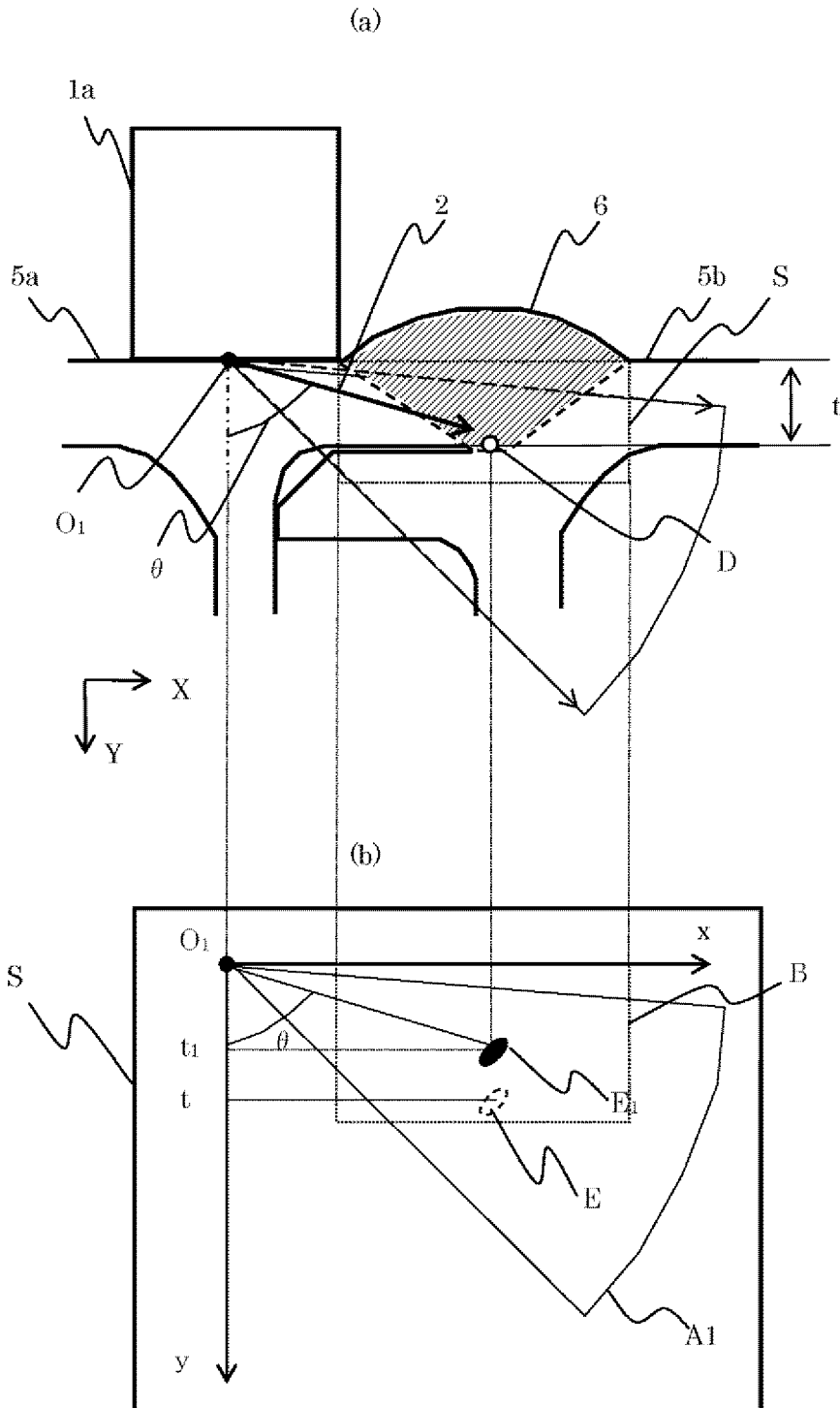
(b)



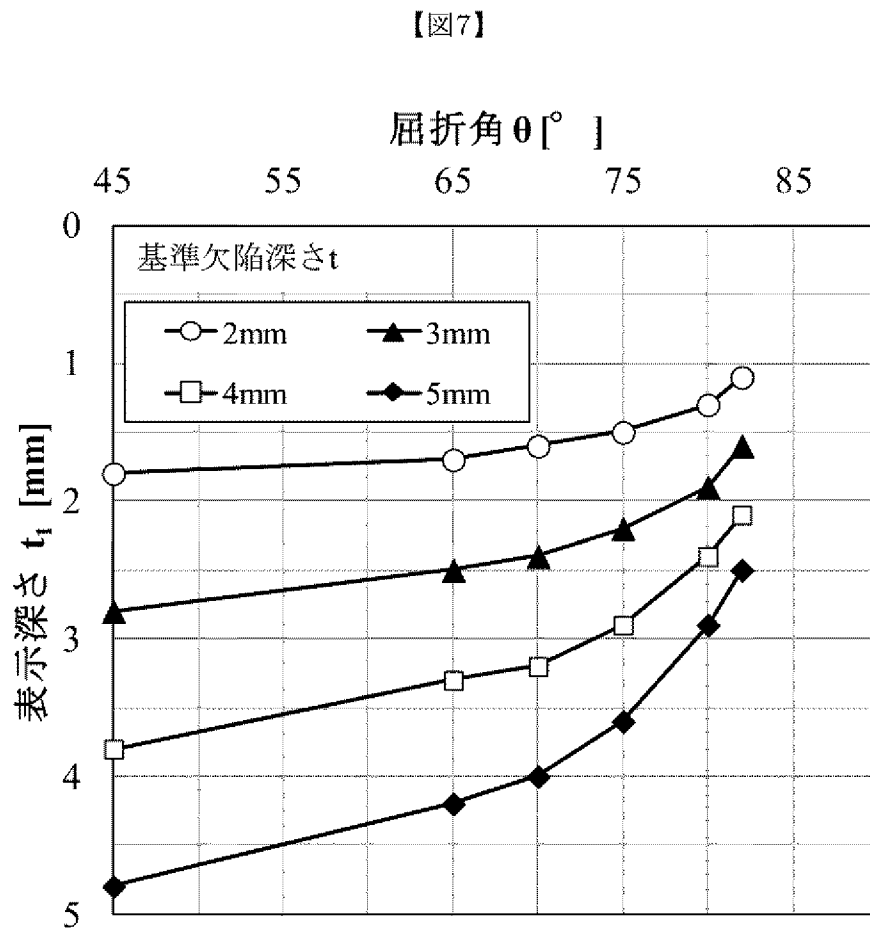
B-B'断面

[図6]

【図6】

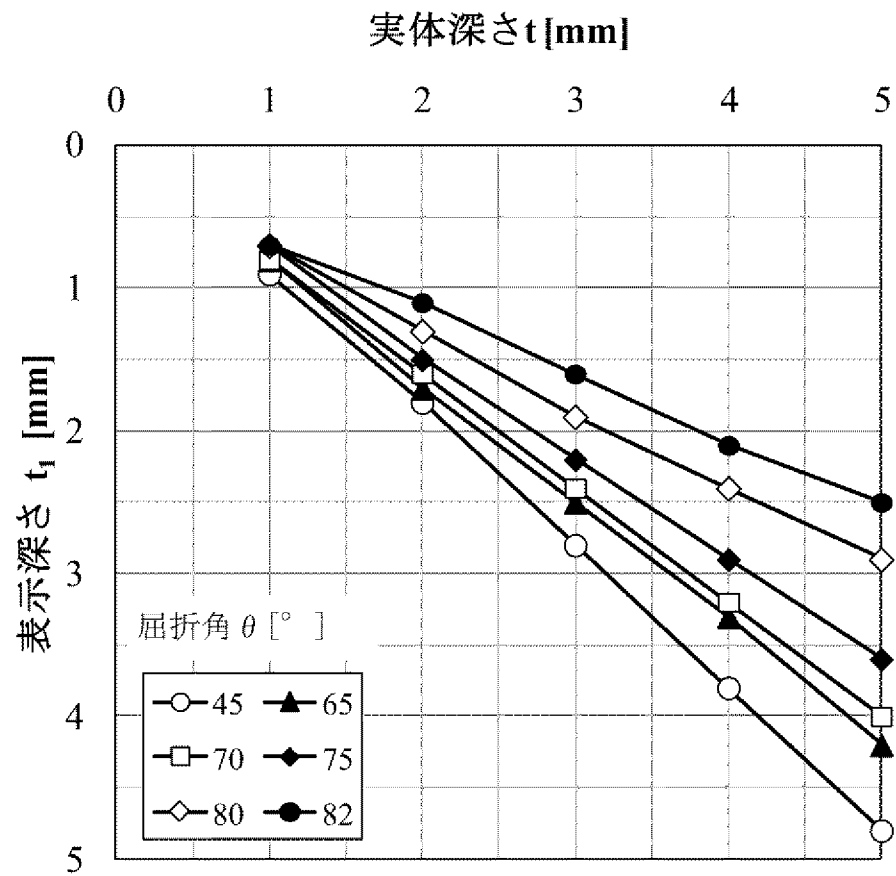


[図7]



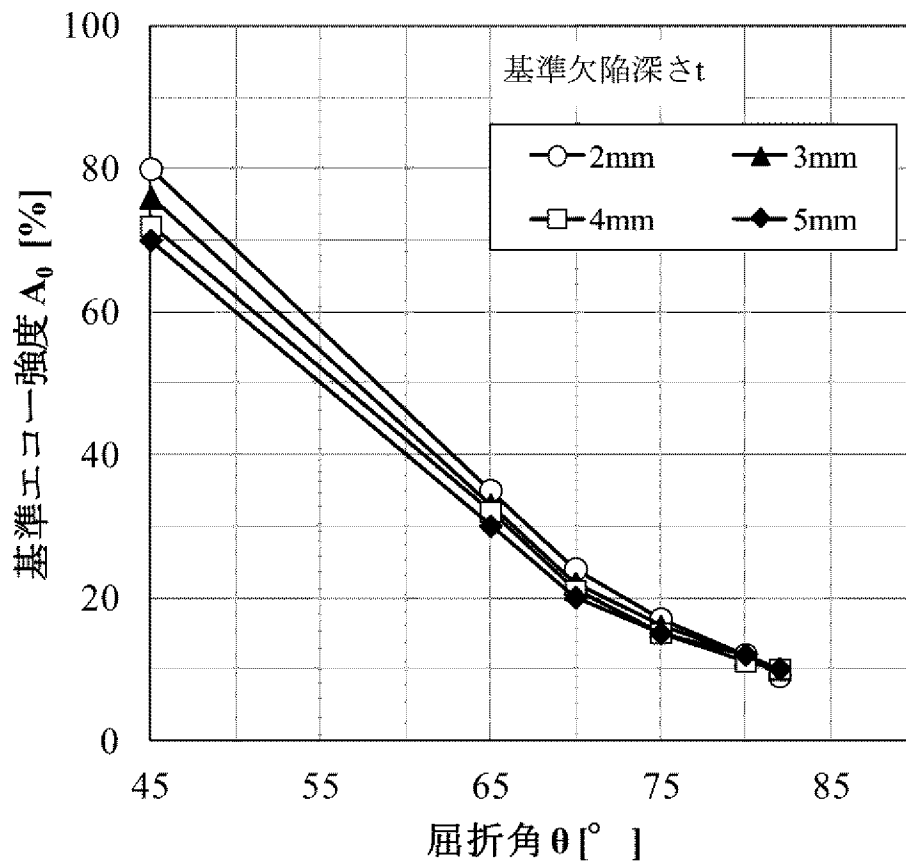
[図8]

【図8】



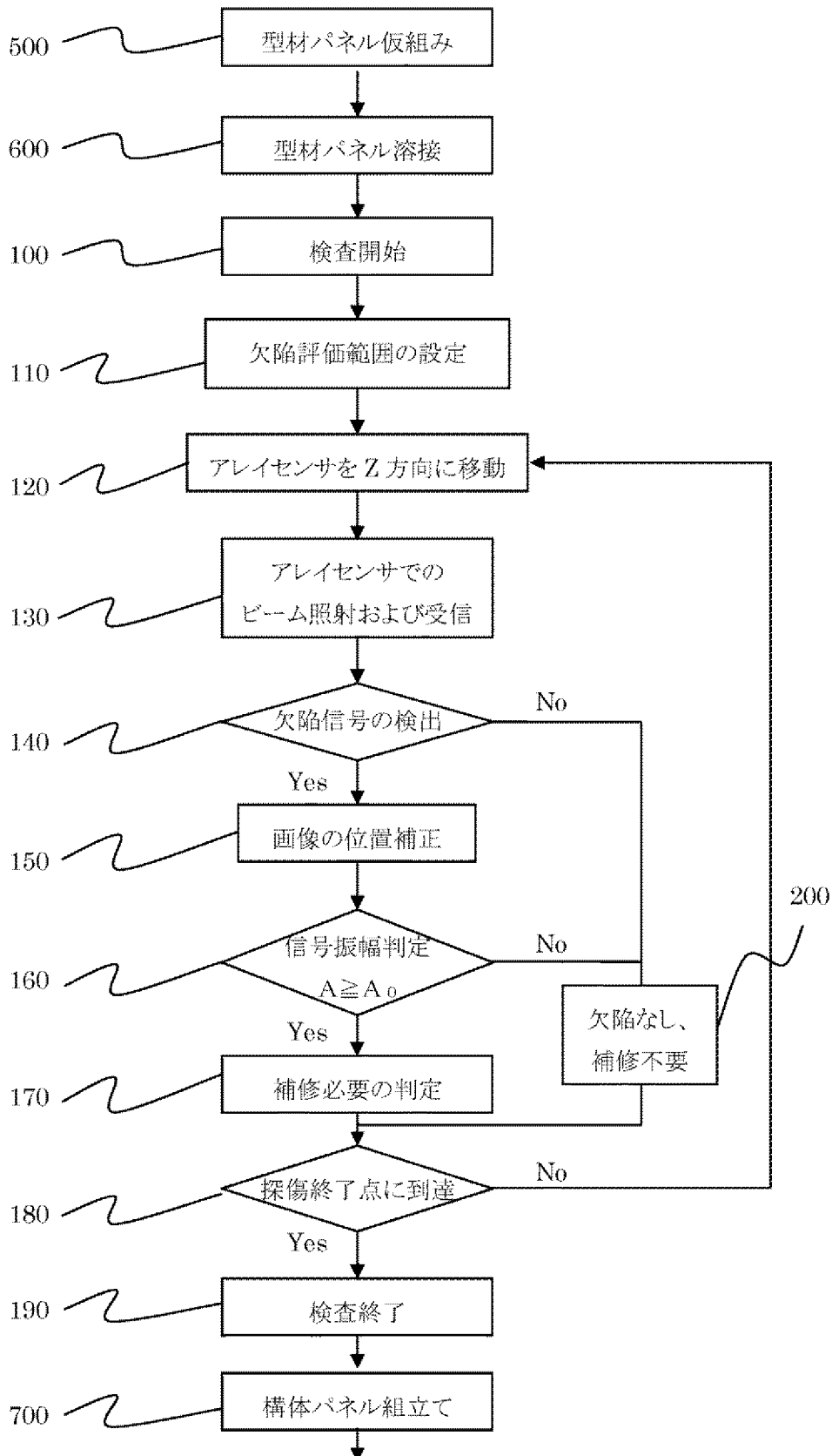
[図9]

【図9】



【図10】

【図10】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/051179

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N29/04(2006.01) i, G01N29/44(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N29/00-29/52, G01B17/00-17/08, A61B8/00-8/15, G01S15/00-15/96

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-44582 A (Hitachi, Ltd.), 04 March 2013 (04.03.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	EP 2120045 A1 (BAM Bundesanstalt fuer Materialforschung und-Prufung), 18 November 2009 (18.11.2009), entire text; all drawings & DE 102008023862 A	1-6
A	JP 2011-141123 A (Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.), 21 July 2011 (21.07.2011), entire text; all drawings & US 2011/0166807 A1	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 April, 2014 (10.04.14)	Date of mailing of the international search report 22 April, 2014 (22.04.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/051179

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2249152 A2 (Olympus NDT), 10 November 2010 (10.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N29/04(2006.01)i, G01N29/44(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N29/00-29/52, G01B17/00-17/08, A61B8/00-8/15, G01S15/00-15/96		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JST7580(JDreamIII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-44582 A (株式会社日立製作所) 2013.03.04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	EP 2120045 A1 (BAM Bundesanstalt fuer Materialforschung und-Prufung) 2009.11.18, 全文、全図 & DE 102008023862 A	1-6
A	JP 2011-141123 A (日立GEニュークリア・エナジー株式会社) 2011.07.21, 全 文、全図 & US 2011/0166807 A1	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 10.04.2014	国際調査報告の発送日 22.04.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 田中 洋介 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2W 3009

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	EP 2249152 A2 (Olympus NDT) 2010.11.10, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6