

(43) 国際公開日
2007 年 10 月 18 日 (18.10.2007)

PCT

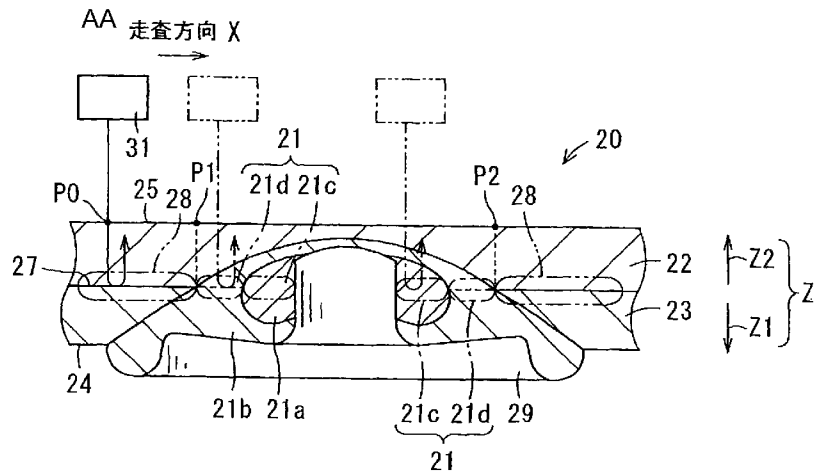
(10) 国際公開番号
WO 2007/116629 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/04 (2006.01) G01N 19/04 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01) B23K 20/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/055496
- (22) 国際出願日: 2007 年 3 月 19 日 (19.03.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2006-109071 2006 年 4 月 11 日 (11.04.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町三丁目 1 番 1 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 岡内 宏憲
- (74) 代理人: 吉武 賢次, 外(YOSHITAKE, Kenji et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR INSPECTING OBJECT FORMED BY FRICTION STIR JOINING

(54) 発明の名称: 摩擦撹拌接合物の検査方法および検査装置



AA SCAN DIRECTION

(57) Abstract: A method for inspecting the joint strength and region of an object formed by spot friction stir joining. An ultrasonic wave is made to enter into the object from a backing surface (25) on the opposite side of a joining tool immersion plane (24), and an ultrasonic wave reflected from the object (20) is taken in. A joint region (21) and joint strength are estimated without using an ultrasonic wave reflected from the bonding tool immersion plane but with the use of an ultrasonic wave reflected from the vicinity of Z position in the reference direction, which z position corresponds to the boundary surface (27) between the two joined members, and then the object is inspected based on the estimation results. Consequently, irregularities of a trace (29) of the joint formed on the joining tool immersion plane (24) is prevented, and joint quality can be inspected by estimating the bonding region (21) with the use of an ultrasonic and without breaking the objects (20).

(57) 要約: 本発明は、スポット摩擦撹拌接合される接合物の接合領域および接合強度を検査する検査方法を提供する。接合ツール没入面 24 と反対側の裏当て面 25 から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物 20 から反射した超音波を取り込む。また接合ツール没入面での超音波の反射波を用いずに、

[続葉有]



WO 2007/116629 A1



PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

- (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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

2つの接合部材の界面27に相当する基準方向Z位置付近での超音波の反射波に注目して接合領域21および接合強度を推定し、推定結果に基づいて接合物を検査する。これによって接合ツール没入面24に形成される接合跡29の凹凸の影響を受けることを防ぎ、超音波を用いて接合領域21を推定することで、接合物20を破壊することなく接合品質を検査することができる。

明 細 書

摩擦攪拌接合物の検査方法および検査装置

関連出願の相互参照

- [0001] 本出願は、日本国特許出願2006-109071号に基づいて優先権を主張するものであり、前記日本国特許出願の全内容を参照してここに組み入れたものとする。

技術分野

- [0002] 本発明は、摩擦攪拌接合法を用いて2つの接合部材が接合された接合物について、非破壊検査によって接合領域および接合強度を検査および推定する方法に関する。

背景技術

- [0003] 図25は、従来技術の抵抗スポット溶接法によって溶接される溶接物1における溶接領域2の推定方法を説明するための図である。図25に示すように、溶接物1は、上板3と下板4とが溶接領域2でスポット的に溶接される。溶接領域2では、上板3と下板4との界面部分5が溶融により消滅することで、上板3と下板4とが溶接される。溶接物1のうち、溶接領域2を除く非溶接領域6では、上板3と下板4との間に界面5が残る。
- [0004] また溶接領域2は、上板3と下板4とを溶融溶接するナゲット部7と、ナゲット部7を覆い上板3と下板4とを僅かに溶融し密着するコロナボンド部8とを含む。また抵抗スポット溶接では、溶接物1の表の面9と、裏の面10とがほぼ平行な面となる。
- [0005] 従来技術として、超音波を用いた溶接物1の溶接領域2の推定方法がある。従来技術では、溶接領域2上を通過するように、超音波を発する超音波探触子11を走査させて、走査変位ごとに溶接物1から反射する超音波の反射波12を取り込む。溶接物1に入射した超音波の反射波12は、非溶接領域6では上板3の底面13からの反射波となり、溶接領域2では下板4の底面14からの反射波となる。従来技術の推定方法では、上板底面13と、下板底面14との反射波を比較することで、溶接領域2と非溶接領域6との境界位置15を推定し、溶接領域2の大きさを推定する。
- [0006] 特許文献1に開示される技術では、溶接物1における溶接領域2の推定として、上板上面16と下板底面14とで多重反射する多重反射波の減衰量に基づいて、ナゲッ

ト部7を求める。特許文献2に開示される技術では、溶接物1における溶接領域2の推定として、下板底面14で超音波が反射する際に、モード変換によって生じる横波超音波のレベルに基づいて、ナゲット部7を求める。

- [0007] また他の従来技術として、超音波を用いた連続摩擦撹拌接合の接合領域の推定方法がある。特許文献3に開示される技術では、接合物の底面から反射する底面エコーの振幅が、理論値よりも小さい場合、接合欠陥である空孔が接合領域に存在することを判断する。また連続摩擦撹拌接合された接合物は、表の面は略平坦となる。

特許文献1:特開平3-233352号公報

特許文献2:特開2000-146928号公報

特許文献3:特開2004-317475号公報 接合方法の1つに摩擦撹拌接合を利用した重ね継手接合がある。摩擦撹拌接合によって接合された重ね継手は、上板と下板との界面部分が撹拌されることにより消滅することで、上板と下板とが接合される。従来では、摩擦撹拌接合された重ね継手接合物の接合領域および接合強度は、破壊検査によって求めている。したがって摩擦撹拌接合された重ね継手接合物においても、非破壊検査によって接合領域および接合強度を求める方法および装置が望まれている。

- [0008] しかしながら摩擦撹拌接合される接合物は、ツール没入面が複雑な凹凸形状を有する非平坦面となる。したがって下板底面14からの反射波を用いた非破壊検査技術では、ツール没入面の凹凸の影響を受けてしまい、スポット摩擦撹拌接合される接合物について、接合領域および接合強度を求めることが困難である。

発明の開示

- [0009] したがって本発明の目的は、スポット摩擦撹拌接合される接合物の接合領域または接合強度を推定する推定方法および推定装置を提供することである。

- [0010] また本発明の他の目的は、破壊検査を行うことなく、スポット摩擦撹拌接合される接合物について、接合領域または接合強度を検査する検査方法および検査装置を提供することである。

- [0011] 本発明は、摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物について、接合領域を推定する推定方法であって、

前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、

反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定する推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合領域の推定方法である。

[0012] 本発明に従えば、反射波測定工程では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物から反射した超音波を取り込む。接合物のうち、非接合領域では、一方の接合部材と他方の接合部材との間の界面が完全に消滅していないので、一方の接合部材から入射した超音波は、一方の接合部材と他方の接合部材との間の界面で反射する。また接合領域では、一方の接合部材と他方の接合部材とが接合されて界面が消滅しているので、一方の接合部材から入射した超音波は、一方の接合部材で反射せずに他方の接合部材に透過し、2つの接合部材の界面に相当する位置付近から反射する反射波が少なくなるか、又は消滅する。

[0013] したがって注目反射波の特徴は、超音波入射位置が、非接合領域上に位置する場合と、接合領域上に位置する場合とで変化する。この注目反射波の特徴値の変化量に基づいて、注目反射波が、予め定める境界条件を満たすか否かを判断することで、超音波入射位置が非接合領域と接合領域とのいずれの上に位置するかを推定することができる。

[0014] また本発明では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させる。これによって接合ツール没入面に形成される凹凸の影響を受けずに、超音波を接合物に入射させることができる。また超音波探触子が、接合物のツール没入跡に接触することを防ぐことができ、超音波探触子の破損を防ぐことができる。また本発明では、推定工程で、接合ツール没入面での超音波の反射波を用いずに、2つの接合部材の界面に相当する位置付近での超音波の反射波に注目して接合領域を推定する。これによって接合ツール没入面の凹凸の影響を受けることなく、接

合領域を推定することができる。

- [0015] このように超音波を用いて接合領域を推定することで、接合物を破壊することなく接合品質を推定することができ、破壊検査を行う場合に比べて、品質検査に費やすコストを低減することができる。また破壊検査を行うことが困難な大型の接合物についても、接合品質を推定することができる。
- [0016] また本発明は、前記反射波測定工程では、接合領域上を通過するように、超音波の入射位置を走査させるとともに、走査変位ごとに接合物に入射させた超音波の反射波を取り込むことを特徴とする。
- [0017] 本発明に従えば、超音波入射位置を、接合領域上を通過するように走査させることによって、走査方向に沿う直線上に位置するであろう、接合領域と非接合領域との境界上の位置を推定することができ、接合領域の大略的な大きさを推定することができる。これによって接合強度を求めたり、接合品質を確認したりする作業に必要な情報を得ることができる。
- [0018] また本発明は、前記境界条件は、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合に、2つの接合部材の界面で反射する反射波に基づいて設定されることを特徴とする。
- [0019] 本発明に従えば、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合の注目反射波に基づいて、境界条件を設定する。これによって接合物ごとに境界条件を設定することができ、接合物ごとに境界条件がばらつく場合であっても、接合領域を精度よく推定することができる。
- [0020] また本発明は、前記推定工程では、前記注目反射波の振幅が、予め定める振幅しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする。
- [0021] 本発明に従えば、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、接合物に入射した超音波は、一方の接合部材から他方の接合部材に透過するので、2つの接合部材の界面に相当する位置で反射する超音波の振幅は小さい。したがって注目反射波の振幅が、予め定める振幅しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することができる。また注目反射波の振幅に基づくことで、反

射波に含まれる波形を周波数分析する必要がなく、接合領域を容易に推定することができる。

- [0022] また本発明は、前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の周波数分布帯域の中心となる中心周波数が、予め定める周波数しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする。
- [0023] 本発明に従えば、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、一方の接合部材から他方の接合部材に超音波が透過しやすい。また反射波に含まれる波形のうちで、低周波域波形に比べて高周波域波形のほうが指向性が高いので、超音波入射面側で摩擦攪拌されていない領域と接合領域との境界面が超音波入射面に対して傾斜することで、高周波域波形のほうが反射波として取り込まれる量が小さい。また高周波域波形のほうが低周波域波形に比べて低下しやすい。このことから、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、注目反射波の中心周波数が低下する。
- [0024] したがって注目反射波の中心周波数が、予め定める周波数しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することができる。また周波数分析することによって、エコー高さが小さい場合や、ノイズが存在する場合であっても、接合領域を精度よく推定することができる。たとえば予め定める周波数しきい値は、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合における注目反射波の中心周波数よりも低く設定される。
- [0025] また本発明は、前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値を示す波形の周波数となるピーク周波数が、予め定める周波数以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする。
- [0026] 本発明に従えば、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、一方の接合部材から他方の接合部材に超音波が透過しやすい。また反射波に含まれる波形のうちで、低周波域波形に比べて高周波

域波形のほうが指向性が高いので、超音波入射面側で摩擦攪拌されていない領域と接合領域との境界面が超音波入射面に対して傾斜することで、高周波域波形のほうが反射波として取り込まれる量が小さい。また高周波域波形のほうが低周波域波形に比べて低下しやすい。このことから、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、注目反射波のピーク周波数が低下する。

[0027] したがって注目反射波のピーク周波数が、予め定める周波数しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することができる。また周波数分析することによって、エコー高さが小さい場合や、ノイズが存在する場合であっても、接合領域を精度よく推定することができる。たとえば予め定める周波数は、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合における注目反射波の中心周波数よりも低く設定される。またピーク周波数から接合領域を推定することで、注目反射波に含まれる各波形の周波数分布が正規分布からずれる場合であっても、接合領域を推定することができる。

[0028] また本発明は、前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の周波数分布帯域幅が、予め定める周波数帯域幅しきい値以上となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする。

[0029] 本発明に従えば、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、一方の接合部材から他方の接合部材に超音波が透過しやすい。また反射波に含まれる波形のうちで、低周波域波形に比べて高周波域波形のほうが指向性が高いので、超音波入射面側で摩擦攪拌されていない領域と接合領域との境界面が超音波入射面に対して傾斜することで、高周波域波形のほうが反射波として取り込まれる量が小さい。また高周波域波形のほうが低周波域波形に比べて低下しやすい。このことから、超音波入射位置が、接合領域上に位置する場合には、非接合領域上に位置する場合に比べて、注目反射波に含まれる波形の周波数分布の分散が大きくなり、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の周波数分布帯域幅が広がる。

[0030] したがって注目反射波の周波数分布帯域幅が、予め定める周波数帯域幅しきい値以上となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することができる。たとえば予め定める周波数帯域幅しきい値は、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合における周波数帯域幅よりも広く設定される。また周波数分析することによって、エコー高さが小さい場合や、ノイズが存在する場合であっても、接合領域を精度よく推定することができる。またピーク周波数から接合領域を推定することで、注目反射波に含まれる各波形の周波数分布が正規分布からずれる場合であっても、接合領域を推定することができる。

[0031] また本発明は、摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、

前記接合物のうちで摩擦撹拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、

反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定する接合領域推定工程と、

接合領域推定工程によって推定した接合領域上の位置に基づいて、接合領域の大きさを推定し、推定した接合領域の大きさに基づいて、接合物の接合強度を求め強度推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法である。

[0032] 本発明に従えば、反射波測定工程では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物から反射した超音波を取り込む。注目反射波の特徴は、超音波入射位置が、非接合領域上に位置する場合と、接合領域上に位置する場合とで変化する。この変化量に基づいて、注目反射波が、予め定める境界条件を満たすか否かを判断することで、超音波入射位置が接合領域上に位置するか否かを推定することができる。

[0033] また本発明では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させる。これによって接合ツール没入面に形成される凹凸の影響を受けずに、超音波を接合物に入射させることができる。また超音波探触子が、接合物のツー

ル没入跡に接触することを防ぐことができ、超音波探触子の破損を防ぐことができる。また本発明では、接合領域推定工程で、接合ツール没入面での超音波の反射波を用いずに、2つの接合部材の界面に相当する位置付近での超音波の反射波に注目して接合領域を推定する。このように接合ツール没入面での超音波の反射波を用いることなく接合領域を推定することで、接合ツール没入面の凹凸の影響を受けることなく、接合領域を推定することができる。

[0034] 強度推定工程では、接合領域推定工程によって推定した推定結果に基づいて、接合領域の大きさを推定する。接合領域の大きさと、接合強度とは、ほぼ一対一の関係となる。したがって接合領域の大きさに基づくことで、接合物の接合強度を推定することができる。

[0035] このように超音波を用いて接合物の接合強度を推定することで、接合物を破壊することなく接合強度を推定することができ、破壊検査を行う場合に比べて、品質検査に費やすコストを低減することができる。また破壊検査を行うことが困難な大型の接合物についても、接合強度を推定することができる。

[0036] また本発明は、摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、

接合物の接合領域上の領域を含む単位範囲について、前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、

反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうち、単位範囲について、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波の総合的な特徴値と、前記総合的な特徴値を接合物の強度に変換するために設定される変換関係とに基づいて、接合物の接合強度を推定する推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法である。

[0037] 本発明に従えば、反射波測定工程では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物から反射した超音波を取り込む。接合領域上の領域を含む単位範囲における、注目反射波の総合的な特徴値は

、単位範囲下における接合領域の大きさによって変化する。接合領域の大きさと、接合物との強度とは、一対一の関係を有するので、単位範囲における注目反射波の総合的な特徴値と、予め定める変換関係とに従うことによって、接合物の接合強度を推定することができる。このように、単位範囲における注目反射波の総合的な特徴に基づいて、接合物の接合強度を推定することで、接合領域の大きさを求める必要がなく、接合物の接合強度を簡単に推定することができる。

[0038] また本発明は、上述した接合領域の推定方法及び接合強度の推定方法において、前記反射波測定工程において複数の異なる屈折角にて接合物に超音波を入射させることを特徴とする。

[0039] 本発明に従えば、摩擦攪拌接合に際してフッキング現象が発生した場合でも、フッキング部からの反射エコーを斜角探傷で捕らえることができるので、接合領域及び接合強度の推定精度を高めることができる。

[0040] また本発明は、摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、

前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、垂直振動子を用いて接合径以上の断面寸法を持つ超音波ビームを接合物に入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、

反射波測定工程によって得られた反射エコー高さに基づいて、接合物の接合強度を推定する強度推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法である。

[0041] 本発明に従えば、簡便且つ安価な方法にて接合物の接合強度を推定することができる。

[0042] また本発明は、摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の検査方法であって、上述する推定方法によって推定した推定結果に基づいて、接合物を検査することを特徴とする接合物の検査方法である。

[0043] 本発明に従えば、上述する推定方法の推定に基づいて接合物を検査する。これによって接合物を破壊することなく、接合領域または接合強度の検査を行うことができ、

検査作業を簡便に行うことができる。

[0044] また本発明は、摩擦撈拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物について、接合領域を推定する推定装置であって、

超音波を接合物に入射可能に構成されるとともに、接合物から反射する反射波を取込み可能に構成される超音波探触子と、

超音波探触子を、前記接合物の接合領域上を通過するように、接合物のうちで接合ツールが没入された没入面と反対側の面について走査移動させる探触子移動手段と、

探触子の走査位置を検出する走査位置検出手段と、超音波探触子に接続され、超音波探触子を取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波を抽出する抽出手段と、

走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する記憶手段と、

記憶手段に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす注目反射波に対応する走査位置を、接合領域上の位置として推定する推定手段と、

推定手段によって推定される推定結果を出力する出力手段とを含むことを特徴とする接合物の接合領域の推定装置である。

[0045] 本発明に従えば、超音波探触子によって、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物から反射した超音波を取り込む。この状態で、探触子移動手段が、超音波探触子を、接合物の接合領域上を通過するように走査駆動させる。抽出手段は、探触子移動手段によって超音波探触子を移動させている間に、走査位置ごとに、注目反射波を抽出する。また記憶手段は、走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する。

[0046] 注目反射波の特徴は、超音波入射位置が、非接合領域上に位置する場合と、接合領域上に位置する場合とで変化する。推定手段は、注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの走査位置を、超音波入射位置が接合領域上の位置であると推定する。出力手段は、推定手段によって推定された推定結果を出力する。

[0047] 本発明では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、2つの接合部材の界面に相当する位置付近での超音波の反射波に注目して接合領域を推定する。これによって、接合ツール没入面の凹凸の影響を受けることなく、接合領域を推定することができる。また超音波探触子が、接合物のツール没入跡に接触することを防ぐことができ、超音波探触子の破損を防ぐことができる。また接合領域の推定結果を出力することで、接合物を破壊することなく接合品質を報知することができ、破壊検査を行う場合に比べて、品質検査に費やすコストを低減させることができる。

[0048] また本発明は、摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物を検査する検査装置であって、

超音波を接合物に入射可能に構成されるとともに、接合物から反射する反射波を取込み可能に構成される超音波探触子と、

超音波探触子を、接合領域上を通過するように、接合物のうちで接合ツールが没入された没入面と反対側の面について走査移動させる探触子移動手段と、

探触子の走査位置を検出する走査位置検出手段と、

超音波探触子に接続され、超音波探触子を取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波を抽出する抽出手段と、

走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する記憶手段と、

記憶手段に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす注目反射波に対応する走査位置を、接合領域上の位置として推定する推定手段と、

推定手段によって推定される推定結果に基づいて、接合物が予め定められる品質を満足するか否かを判定する判定手段と、

判定手段による判定結果を出力する出力手段とを含むことを特徴とする接合物の検査装置である。

[0049] 本発明に従えば、超音波探触子によって、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、接合物から反射した超音波を取り込む。この状態で、探触子移動手段が、超音波探触子を、接合物の接合領域上を通

過するように走査駆動させる。抽出手段は、探触子移動手段によって超音波探触子を移動させている間に、走査位置ごとに、注目反射波を抽出する。また記憶手段は、走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する。

[0050] 注目反射波の特徴は、超音波入射位置が、非接合領域上に位置する場合と、接合領域上に位置する場合とで変化する。推定手段は、注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの走査位置を、超音波入射位置が接合領域上の位置であると推定する。判定手段は、推定手段によって推定される推定結果に基づいて、接合物が予め定められる品質を満足するか否かを判定する。出力手段は、判定手段によって判定された判定結果を出力する。

[0051] 本発明では、接合ツールが没入された没入面と反対側の面から超音波を接合物に入射させるとともに、2つの接合部材の界面に相当する位置付近での超音波の反射波に注目して接合領域を推定する。これによって、接合ツール没入面の凹凸の影響を受けることなく、また接合物を破壊することなく、接合物の品質を検査することができる。

図面の簡単な説明

[0052] [図1]本発明の第1実施形態である接合物20の接合領域21の推定方法を説明するための断面図である。

[図2]接合領域21の推定装置30を示すブロック図である。

[図3]探触子移動手段32によって移動される超音波探触子31の移動経路を示す図である。

[図4]接合物20から反射した超音波の反射波波形を示す図である。

[図5]走査位置変化に対応する反射波波形の変化を示す図である。

[図6]走査位置変化に対するエコー高さ変化を説明するための図である。

[図7]推定した接合領域21の直径寸法と、推定後に破断面を観察した接合領域21の直径寸法との分布を比較したグラフである。

[図8]推定した接合領域21の直径寸法と、推定後に破断面を観察した接合領域21の直径寸法との分布を比較したグラフである。

[図9]推定した接合領域21の直径寸法と、破壊試験によって測定した接合物の接合強度との分布を示すグラフである。

[図10]接合強度の推定方法の手順を示すフローチャートである。

[図11]本発明の第2実施形態である接合物の推定方法を説明する推定結果を示す平面図である。

[図12]推定した接合領域21の面積と、破壊試験によって測定した接合物20の接合強度との分布を示すグラフである。

[図13]注目反射波45に含まれる波形を周波数分析したグラフである。

[図14]本発明の第3実施形態の推定装置130を示すブロック図である。

[図15]走査位置変化に対するピーク周波数変化を説明するための図である。

[図16]走査位置変化に対する帯域幅変化を説明するための図である。

[図17]第4実施形態の推定方法を説明するためのグラフである。

[図18]第1～第4実施形態で用いられる超音波探触子31の一例を示す斜視図である。

[図19]本発明の第5実施形態の超音波探触子200を示す斜視図である。

[図20]走査位置とエコー高さとの関係を示す図である。

[図21]相対エコー高さと、接合領域21の面積との関係を示すグラフである。

[図22]上記各実施形態の一変形例として、超音波探触子300を用いた測定方法を説明するための図である。

[図23]本発明の第6実施形態として、超音波探触子400を用いた測定方法を説明するための図である。

[図24]本発明の第6実施形態による測定方法において、接合径とエコー高さとの関係を示すグラフである。

[図25]従来技術の抵抗スポット溶接法によって溶接される溶接物1における溶接領域2の推定方法を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

[0053] 本発明の第1実施形態である接合物の接合領域の推定方法は、図1に示した接合物20の接合領域21を推定する方法である。本実施形態では、接合物20は、摩擦撹

拌接合法によって、予め定める基準方向Zに重ねられる2つの接合部材22, 23が、基準方向Zに互いに接合されたものである。

- [0054] スポット摩擦攪拌接合法では、2つの接合部材22, 23の基準方向一方Z1の接合部材23の基準方向一方Z1表面となるツール没入面24から、接合ツールを回転させた状態で基準方向他方Z2に押圧する。接合ツールと一方の接合部材23とで摩擦熱を発生させ、一方の接合部材23を軟化させて、接合ツールの先端部を、一方の接合部材23から他方の接合部材22に達するまで圧入する。このとき、各接合部材22, 23のうち軟化部分は、接合ツールによって回転軸線まわりに塑性流動する。各接合部材22, 23の軟化部分を十分に塑性流動させた後、接合ツールを、接合部材22, 23から基準方向一方Z1に引抜く。
- [0055] 接合ツールは、略円筒状のピン部と、ピン部の一端部に連なりピン部に同軸に形成される略円筒状のショルダ部とを含んで構成される。ショルダ部の直径は、ピン部の直径に比べて大きく形成される。接合ツールは、先端部となるピン部から一方の接合部材23のツール没入面24に没入する。またピン部が一方の接合部材22を貫通して他方の接合部材22に没入した状態では、ショルダ部が一方の接合部材23に没入し、ショルダ部が一方の接合部材23を押圧する。
- [0056] 各接合部材22, 23のそれぞれの界面部分が塑性流動されることで、界面付近で2つの接合部材22, 23が摩擦攪拌されて混ぜ合わされる。これによって2つの接合部材22, 23の界面27が消滅して、2つの接合部材22, 23が冶金的に一体化する。2つの接合部材22, 23の界面が消滅した部分が、2つの接合部材22, 23を接合する接合領域21となる。
- [0057] 接合後の接合物20は、攪拌部21aと、熱影響部21bとを含んで構成される。攪拌部21aは、摩擦攪拌時にピン部とともに回転して塑性流動する部分である。攪拌部21aは、摩擦攪拌時に接合ツールのピン部に臨む部分となり、接合跡29の軸線に同軸の略リング状に形成される。攪拌部21aは、残余の部分に比べて金属組織における金属結晶粒が微細化した部分である。熱影響部21bは、攪拌部21aを覆う略リング状に形成される部分である。熱影響部21bは、摩擦攪拌時に攪拌部21aおよび接合ツールから与えられる熱の影響で、摩擦攪拌時に軟化する部分である。

- [0058] また接合物20は、接合強度に寄与する接合領域21が形成される。接合領域21は、攪拌接合領域21cと、圧着接合領域21dとを含んで構成される。攪拌接合領域21cは、攪拌部21aの一部の領域であって、塑性流動による攪拌を主要因として、上板22と下板23との界面部分が混ざりあって消滅された領域である。圧着接合領域21dは、熱影響部21bの一部の領域であって、摩擦熱による各板22, 23の軟化の影響と、接合ツールのショルダ部による押圧を主要因として、上板22と下板23との界面部分が圧着されて消滅された領域である。攪拌接合領域21cおよび圧着接合領域21dは、接合前に各板22, 23の界面が存在していた位置に形成され、接合跡29の軸線に同軸のリング状形状を有する。このような接合領域21の大きさは、接合物20の接合強度に影響する。
- [0059] 接合後の接合物20には、基準方向一方Z1の接合部材23の基準方向一方Z1の表面には、接合ツールの接合跡29が凹凸形状として残る。接合跡29は、一方に開放される有底筒状の凹部となる。また接合物20のうちで、接合ツールが没入する没入面24と反対側の裏当て面25は、平坦面に保たれる。以下、基準方向他方Z2の接合部材22を上板22と称し、基準方向一方Z1の接合部材23を下板23と称する。また接合領域21以外の領域を、非接合領域28と称する。非接合領域28では、上板22と下板23とが接合されておらず、上板22と下板23との間に界面27が存在する。
- [0060] 図1に示すように本実施形態では、接合物20のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面24と反対側となる裏当て面25から、超音波探触子31を用いて、接合物20に超音波を入射させるとともに、接合物20に入射させた超音波の反射波を取り込む。超音波探触子31によって発生される超音波は、接合物20の接合領域21上を通過するように、超音波入射位置が予め定める走査方向Xに走査される。
- [0061] 本実施の形態の推定法方法では、超音波探触子31によって取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材22, 23の界面27に相当する位置付近で反射する注目反射波の振幅の変化量に基づいて、接合領域21を推定する。以下、注目反射波の振幅を、エコー高さと称する。エコー高さは、注目反射波の最大振幅であって、注目反射波の強度に相当する。本実施形態では、エコー高さが予め定める高さしきい値以下となるときの走査位置を、接合領域21上の位置として推定する。

- [0062] 図2は、接合領域21の推定装置30を示すブロック図である。本実施の形態では、推定装置30は、接合物20の継手強度となる接合強度を推定する強度推定装置30を兼ねて構成される。本実施形態において接合物20の接合強度は、上板22と下板23とを基準方向Zに引き剥がす方向に引っ張り力を与えた場合の強度か、または上板22と下板23とを基準方向Zに垂直な方向にせん断力を与えた場合の強度である。
- [0063] 推定装置30は、超音波探触子31と、探触子移動手段32と、走査位置検出手段33と、超音波送受信部34と、コンピュータ35とを含んで構成される。超音波探触子31は、電気音響変換素子を含んで構成され、超音波送受信部34からパルス状の電気信号が与えられることによって、振動して超音波を発生する。また超音波探触子31は、超音波を受けて振動することで、振動に応じたパルス状の電気信号を発生して、発生した電気信号を超音波送受信部34に与える。超音波探触子31は、超音波を接合物20に入射可能に構成されるとともに、接合物20の内部から反射する超音波の反射波を取込み可能に構成される。
- [0064] 本実施の形態では、超音波探触子31は、超音波送受可能な一探触子であって、ビーム径が $0.8 \times 0.5\text{mm}$ となり、17MHzの周波数の超音波を発生する探触子である。また超音波探触子31と接合物20との間には、超音波の送受を行うための接触媒体が介在される。接触媒体は、水が充満される水袋、水などの液体またはグリセリンなどのゼリー状物質である。
- [0065] 探触子移動手段32は、超音波探触子31を変位移動する。本実施の形態では、探触子移動手段32は、接合物20の接合領域21上を通過するように、接合物20のうちに裏当て面25について、超音波探触子31を走査移動させる。探触子移動手段32は、基準方向Zに対して垂直な第1方向と、基準方向Zおよび第1方向に垂直な第2方向とについて、超音波探触子31を変位駆動可能に構成される。探触子移動手段32は、超音波の入射方向が裏当て面25に対して垂直な状態を保った状態で、超音波探触子31を走査移動する。走査位置検出手段33は、超音波探触子31の走査位置を検出する。走査位置検出手段33は、超音波探触子31の走査位置を示す走査位置信号を、コンピュータ35に与える。

- [0066] 超音波送受信部34は、超音波探触子31を振動駆動させるためのパルス状の電気信号を超音波探触子31に与える。また超音波送受信部34は、超音波探触子31から与えられる反射波に応じたパルス状の電気信号を増幅して、超音波探触子31が取り込んだ反射波を示す反射波信号に変換して、コンピュータ35に与える。反射波信号は、超音波探触子31が取り込んだ超音波振幅の時間変化を示す。
- [0067] コンピュータ35は、注目反射波抽出部42と、エコー高さ計測部36と、接合領域推定部37と、接合強度推定部38と、記憶部39と、入力部41と、表示部40とを含んで実現される。注目反射波抽出部42は、超音波送受信部34から与えられる反射波信号に基づいて、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波を、超音波探触子31の走査位置変位ごとに抽出する抽出手段となる。エコー高さ計測部36は、注目反射波抽出部42の抽出結果に基づいて、超音波探触子31の走査位置変位ごとに注目反射波の振幅であるエコー高さを計測し、計測したエコー高さを記憶部39に順次記憶させる。
- [0068] 記憶部39は、走査位置検出手段33から走査位置信号が与えられる。記憶部39は、走査位置検出手段33によって検出される超音波探触子31の走査位置と、前記走査位置に対応してエコー高さ計測部36によって計測されるエコー高さとを関連付けて記憶する記憶手段となる。接合領域推定部37は、記憶部39に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす走査位置を、接合領域21上の位置として推定する。また接合強度推定部38は、接合領域推定部37によって推定された接合領域21上の位置に基づいて、接合領域21の大きさを推定し、その大きさに一対一で対応する関係に基づいて、接合強度を推定する推定手段となる。
- [0069] 表示部40は、記憶部39に記憶されるエコー高さと、エコー高さに関連付けて記憶される走査位置とを示す情報を表示する出力手段となる。また表示部40は、接合強度推定部38によって推定された接合強度を表示する。また入力部41は、接合領域21の推定に必要な、予め定める境界条件が入力され、その入力された境界条件を接合領域推定部37に与える。また入力部41は、接合強度の推定に必要な、接合領域21の大きさと、接合強度との関係を示す関係情報が入力され、その入力された関係情報を接合強度推定部38に与える。本実施の形態では、エコー高さ抽出部36、接

合領域推定部37および接合強度推定部38は、CPU(Central Processing Unit)などの演算処理回路43が、予め定められる記憶回路に記憶される演算プログラムを実行することによって実現される。

[0070] 図3は、探触子移動手段32によって移動される超音波探触子31の移動経路を示す図である。図3(1)に示すように、探触子移動手段32は、接合跡29の中心位置43上を通過して基準方向Zに垂直な走査方向に、超音波探触子31を移動させる。具体的には、探触子移動手段32は、接合領域21よりも走査方向他方に十分に離間した位置から、接合領域21よりも走査方向一方に十分に離間した位置まで、走査方向一方に超音波探触子31を移動させる。言い換えると、探触子移動手段32は、接合領域21に対して走査方向一方に隣接する非接合領域28上から、接合領域21上を走査方向に通過して、接合領域21に対して走査方向他方に隣接する非接合領域28に達するまで、超音波探触子31を移動させる。ここで非接合領域28は、2つの接合部材22、23の間に界面27が存在する領域となる。

[0071] また図3(2)に示すように、第1の走査方向Xと、第2の走査方向Yとに超音波探触子31を移動させてもよい。第1および第2の走査方向X、Yは、接合跡29の中心位置43上を通過して基準方向Zに垂直な方向であって、互いに直交して延びる。この場合でも、第1走査方向および第2の走査方向に関して、裏当て面25に沿って、接合領域21を通過するように、超音波探触子31を走査移動させる。

[0072] また図3(3)に示すように、裏当て面25に沿って、接合領域21上の領域を含む予め定められる2次元平面全域を走査するように超音波探触子31を移動させてもよい。たとえば基準方向Zに垂直な主走査方向に超音波探触子31を移動させた後、主走査方向に対して直交する副走査方向に超音波探触子31をずらして、再び主走査方向に移動させる。この動作を繰返して、予め定められる2次元平面全域に超音波探触子31を走査させてもよい。

[0073] 図4は、接合物20から反射した超音波の反射波波形を示す図である。図4は、横軸に時間を示し、縦軸に反射波の振幅を示す。走査位置が非接合領域28上である場合、反射波は、上板22の上面となる裏当て面25で反射した反射波44と、上板22と下板23との界面27で反射した反射波45とを含む。

- [0074] 注目反射波抽出部42は、超音波送受信部34から与えられる反射波信号に基づいて、上板22の上面25からの反射波44が超音波探触子31に到達してから、上板22と下板23との界面27からの反射波45が超音波探触子31に到達する基準時刻T1を求める。注目反射波抽出部42は、基準時刻T1の前後の区間にゲート区間Wを設ける。ゲート区間Wは、基準時刻T1よりも予め前の時刻($T1 - A1$)から、基準時刻T1よりも予め後の時刻($T1 + A2$)までの区間である。注目反射波抽出部42は、ゲート区間Wに超音波探触子31が取り込んだ反射波を、2つの接合部材22, 23の界面27に相当する基準方向Z位置付近で反射する注目反射波45として抽出する。エコー高さ計測部36は、ゲート区間Wにおける注目反射波のうちで、最も高い振幅をエコー高さとして出力する。
- [0075] 図5は、走査位置変化に対応する反射波波形の変化を示す図である。図5(1)は、走査位置が非接合領域28上に位置するときの反射波波形を示す。図5(2)は、走査位置が接合領域21上に位置するときの反射波波形を示す。
- [0076] 非接合領域28では、上面22と下面23との界面27が存在するので、上板22から入射した超音波は、上板22と下板23との界面27で反射する。また接合領域21では、上板22と下板23との界面27が消滅しているので、上板22から入射した超音波は、上板22で反射せずに下板23に透過する。
- [0077] したがって図5(1)に示すように、走査位置が非接合領域28上に位置する場合には、上板22と下板23との界面27から反射する反射波が大きく、注目反射波45のエコー高さが大きい。これに対して、図5(2)に示すように、走査位置が接合領域21上に位置する場合には、上板22と下板23との界面27に相当する基準方向位置から反射する反射波が少なく、注目反射波45のエコー高さが小さい。
- [0078] 図6は、走査位置変化に対するエコー高さ変化を説明するための図である。図6(1)は、走査位置変化に対するエコー高さ変化を示すグラフであり、図6(2)はグラフに対応する接合物20の断面図である。図6(1)には、横軸に走査位置を示し、縦軸にエコー高さを示す。具体的には、図6(1)では、基準エコー高さH0に対する走査位置毎のエコー高さの割合を縦軸に示す。基準エコー高さH0は、非接合領域28上に走査位置が位置するときのエコー高さである。

- [0079] 図3(1)に示すように接合跡29の中心を通過する走査方向に超音波探触子31を走査移動させる場合、図6(1)に示すように、走査位置毎のエコー高さが予め定める高さしきい値C1以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定することができる。
- [0080] また走査位置毎のエコー高さが、高さしきい値C1よりも高い状態から低い状態に切替る走査位置P1と、高さしきい値C1よりも低い状態から高い状態に切替る走査位置P2とを、接合領域21と非接合領域28との境界上の位置として推定する。また境界上の2つの走査位置P1, P2を結ぶ直線の長さを、接合領域21の直径寸法として推定することができる。
- [0081] 走査位置が接合領域21上に位置するか否かを判定する境界条件である高さしきい値C1は、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における、注目反射波に基づいて決定される。高さしきい値C1は、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合におけるエコー高さよりも低く設定される。たとえば高さしきい値C1は、上板22の板厚 t_1 と、下板23の板厚 t_2 と、接合条件に関する因子 L_1 と、ツール形状に関する因子 L_2 と、材料に関する因子 L_3 とを変数とする関数に基づいて決定される($C1=f(t_1, t_2, L_1, L_2, L_3)$)。高さしきい値C1は、基準エコー高さ H_0 よりも小さく、走査位置が、接合領域21と、非接合領域28との境界上に位置するときのエコー高さである。本実施の形態では、高さしきい値C1は、上板22の板厚 t_1 と、基準エコー高さ H_0 とを変数とする関数に基づいて決定される。この場合、高さしきい値C1は、基準エコー高さ H_0 に対して、 $-\alpha - 20\text{Log}(t_2^{1/2})$ デジベル低下した高さに設定される。ここで、 t_2 は、下板23の板厚に設定される。基準エコー高さ H_0 は、上述したように非接合領域28上に走査位置が位置するときのエコー高さである。また α は、定数であって、本実施の形態では、 $\alpha=9$ に設定される。
- [0082] また基準エコー高さを H_0 とすると、高さC1しきい値は、 $H_0 \times \beta$ によって設定されてもよい。ここで β は、定数であって、本実施の形態では、たとえば0.35に設定される。上述した、 α , β は、接合材料、接合条件、接合ツールの形状によって適宜変更され、推定前に予め行われる実験によって求めてもよい。
- [0083] 図7および図8は、推定した接合領域21の直径寸法(実線)と、推定後に破断面を

観察した接合領域21の直径寸法との分布を比較したグラフである。図7および図8には、横軸に破断面を観察した接合領域21の直径寸法を示し、縦軸に推定した接合領域21を示す。図7は、各板22, 23の板厚がそれぞれ1mmである場合を示し、図8は、各板22, 23の板厚がそれぞれ2mmである場合を示す。図7および図8に示すように、破断面による観察結果と、推定結果とに相関性があることがわかる。したがって上述した推定方法によって、接合物20を破壊することなく、接合領域21の直径寸法Lを推定することができる。

[0084] 図9は、推定した接合領域21の直径寸法と、破壊試験によって測定した接合物の接合強度との分布を示すグラフである。推定した接合領域直径寸法の平均値に基づいて推定した接合強度を実線で示し、推定した接合領域直径寸法の平均値を $\pm 20\%$ した値に基づいて推定した接合強度を破線で示す。図9に示すように、推定した接合領域21の直径寸法Lと、接合強度とには、一対一に対応する相関関係があることがわかる。したがって予め推定した接合領域21の直径寸法Lと、接合強度との関係を表わす演算式またはデータベースを求めておくことで、推定した接合領域21から、関係式またはデータベースに従って、接合強度を求めることができる。たとえば推定した接合領域21の直径寸法をLとすると、接合強度は、大略的には、 $K1 \cdot L^2$ で表わされる。ここで、K1は、予め定める定数であって、実験によって求めることができる。

[0085] 図10は、接合強度の推定方法の手順を示すフローチャートである。まずステップa0で、スポット摩擦攪拌接合された接合物を準備するとともに、推定装置30を準備する。また基準エコー高さから、高さしきい値C1を求めるための関係式と、推定した接合領域21の直径寸法Lから、接合強度を推定するための関係式とを予め実験によって求める。また推定強度を推定するか否かを指定する。このように接合物の推定作業に必要な準備が完了すると、ステップa1に進み、推定作業を開始する。

[0086] ステップa1では、超音波探触子31によって接合物20に超音波を入射したときに発生する反射波を測定する反射波測定工程を行う。探触子移動手段32によって超音波探触子31を走査移動させながら、反射波の取り込みを行う。このように、超音波探触子31を走査移動させて、走査位置毎の反射波を測定すると、ステップa2に進む。

[0087] ステップa2では、注目反射波抽出部42によって、反射波のうちから、注目反射波を

予め定める微小走査位置ごとに抽出する。次にエコー高さ計測部36によって、走査位置ごとに抽出した注目反射波のエコー高さを計測する。注目反射波抽出部42は、入力部41から入力される上板22の板厚に基づいて、注目反射波を捉えるためのゲート区間Wを決定してもよい。このようにして走査位置ごとにエコー高さを計測するエコー高さ計測工程を終えると、ステップa3に進む。

[0088] ステップa3では、接合領域推定部37によって、ステップa2で求めた走査位置毎のエコー高さのうちから、非接合領域28上に走査位置が位置するときの基準エコー高さ H_0 を決定する。たとえば基準エコー高さ H_0 は、非接合領域28を走査移動する間のエコー高さの平均値によって求められる。接合領域推定部37が、基準エコー高さ H_0 を決定すると、ステップa4に進む。

[0089] ステップa4では、接合領域推定部37が、基準エコー高さ H_0 と、上板22の板厚 t_1 とを変数とする関数に基づいて、高さしきい値 C_1 を決定する。高さしきい値 C_1 を決定すると、高さしきい値 C_1 と一致するエコー高さとなる2つの走査位置P1, P2を抽出する。次にこの2つの走査位置P1, P2を結ぶ直線の長さを、接合領域21の直径寸法Lとして推定し、ステップa5に進む。

[0090] ステップa5では、接合強度を推定することが指定されている場合には、ステップa6に進み、接合強度を推定しないことが指定されている場合には、ステップa7に進む。たとえば接合強度を推定する場合、強度推定指令が入力部41によって予め入力される。演算処理回路43は、強度推定指令が入力されていることを判断すると、ステップa6に進み、そうでないとステップa7に進む。

[0091] ステップa6では、接合強度推定部38が、推定した接合領域21の直径寸法Lと、予め与えられる接合強度を求める関係式またはデータベースとに基づいて、接合強度を推定する。図9に示すように、推定した接合領域21の直径寸法Lと、接合強度とには、一対一の関係を有するので、その関係に基づくことによって、接合物20を破壊することなく、接合強度を推定することができる。このように接合強度を推定すると、表示部40に推定結果を表示させ、ステップa7に進む。ステップa7では、接合強度の推定動作を終了する。本実施の形態では、推定手順として、接合強度を推定する工程を含めたが、接合強度を推定せずに、接合領域21の直径寸法Lを推定する工程を終

えると、推定作業を終了してもよい。また接合領域推定部37によって推定される推定結果を表示部40に表示させてもよい。

- [0092] 以上のように本実施の形態によれば、接合ツール没入面24と反対側の裏当て面25から超音波を接合物20に入射させて、超音波の注目反射波に基づいて、接合領域21を推定する。これによって接合ツール没入面24に形成される凹凸の影響を受けることなく、接合物20の厚み寸法が接合跡29によって変化しても、接合領域21および接合強度を推定することができる。
- [0093] このように超音波を用いて接合領域21を推定することで、接合物20を破壊することなく接合品質および接合強度を推定することができ、破壊検査を行う場合に比べて、品質検査に費やすコストを低減することができる。また破壊検査を行うことが困難な大型の接合物についても、接合品質および接合強度を推定することができる。
- [0094] たとえば接合ツールを没入させる時間が短い場合など、接合条件を同じにしても、接合領域21の大きさが安定せず、接合強度がばらつくことがある。このような場合であっても、接合物20を破壊することなく、超音波を用いて接合強度を推定することができる。したがって破壊検査で用いていたテスト用の接合物を製造する手間と、破壊検査を行う手間とを省くことができ、作業効率を向上することができる。また接合物20を含んだ製品として製造した後に、製造物を破壊することなく、接合物20について接合強度を推定する品質検査を行うことができる。
- [0095] また本実施の形態によれば、超音波探触子31を走査させることによって、接合領域21と非接合領域28との境界上の位置を推定できるとともに、接合領域21の大略的な大きさを推定することができる。これによって接合強度を求めたり、接合品質を確認したりする作業に必要な情報を得ることができる。
- [0096] また超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合の注目反射波に基づいて、境界条件である高さしきい値C1を決定する。これによって接合物20ごとに境界条件を決定することができ、接合物20ごとに境界条件がばらつく場合であっても、接合領域21を精度よく推定することができる。さらにエコー高さ、すなわち注目反射波の振幅に基づいて、接合領域21を推定しているので、反射波に含まれる波形を周波数分析する必要がなく、接合領域21を容易に推定することができる。また非接合領

域28を走査するときに、基準エコー高さを求めることができ利便性を向上することができる。

[0097] 本実施の形態では、注目反射波のエコー高さに基づいて接合領域21を推定するとしたが、これに限定されない。注目反射波のエコー高さ以外の特徴が、予め定める境界条件を満たすときの走査位置から、接合領域21を推定してもよい。たとえば後述する第3実施形態のように注目反射波の周波数に関する特徴に基づいて、接合領域21を推定してもよい。

[0098] 本実施の形態では、接合物の接合領域21および接合強度についての推定方法および推定方法を示したが、このような推定方法を用いた検査方法も本発明に含まれる。検査方法は、上述した推定方法によって推定した推定結果に基づいて、接合物を検査する。たとえば推定した接合領域21の大きさまたは接合強度が、予め定める許容値よりも大きい場合、接合物の要求される接合品質を満たすことを検査することができる。このように上述した推定方法を用いて接合物を検査することによって、非破壊で接合物を検査することができ、利便性を向上することができる。たとえば接合物について全品検査を行うことができ、接合不良となる製造物を好適に取除くことができる。

[0099] また上述した接合物の検査を行う検査装置も本発明に含まれる。検査装置は図2に示す推定装置の構成にさらに接合物の合否を判定する判定部である判定手段を備える。判定部は、推定手段によって推定される推定結果が、予め定められる要求値以上か否かを判定する。たとえば接合領域21の大きさまたは接合強度が、要求値以上であると判断すると、検査した接合物の品質が予め定める品質を満足することを判断することができる。この場合、表示部40が判定結果を表示する。判定部は、演算処理回路43が、予め定められる記憶回路に記憶される演算プログラムを実行することによって実現される。判定部は、入力部によって接合領域21の許容直径または許容面積、許容強度が入力されることで、入力された許容値と、推定値を比較することができる。

[0100] 図11は、本発明の第2実施形態である接合物の推定方法を説明する推定結果を示す平面図である。断面図である。本発明の第1実施形態では、接合領域21の大き

さとして、直径寸法Lを推定したが、本発明の第2実施形態では、接合領域21の大きさとして面積を推定する。その他の構成については、第1実施形態と同一であるので、同一の構成については説明を省略し、同一の参照符号を付する。

[0101] 図3(2)に示すように、第1の走査方向Xと、第2の走査方向Yとのそれぞれで超音波探触子31を走査させる場合、接合領域推定部37は、第1の走査方向Xに超音波探触子31を走査させた場合に推定される接合領域21の直径寸法 L_x と、第2の走査方向Yに超音波探触子31を走査させた場合に推定される接合領域21の直径寸法 L_y とをそれぞれ求める。接合領域推定部37は、第1の走査方向Xの接合領域21の直径寸法を L_x とし、第2の走査方向Xの接合領域21の直径寸法を L_y とすると、 $L_x \cdot L_y \cdot \pi / 4$ で求められる値を、接合領域21の面積として推定する。

[0102] また図3(3)に示すように、接合領域21上の領域を含む予め定められる2次元平面全域を走査する場合、前記高さしきい値C1以下となる走査位置を総合した面積を、接合領域21の面積として推定する。図11には、白く描かれている部分が、高さしきい値C1以下となる走査位置が存在する部分である。したがって白く描かれている部分の縁内の面積を、接合領域21の面積として推定する。

[0103] 図12は、推定した接合領域21の面積と、破壊試験によって測定した接合物20の接合強度との分布を示すグラフである。推定した接合領域面積の平均値に基づいて推定した接合強度を実線で示し、推定した接合領域面積の平均値を $\pm 20\%$ した値に基づいて推定した接合強度を破線で示す。図12に示すように、推定した接合領域21の面積と、接合強度とには、一対一に対応する相関関係があることがわかる。したがって予め推定した接合領域21の面積と、接合強度との関係を表わす演算式またはデータベースを求めておくことで、推定した接合領域21から、関係式またはデータベースに従って、接合強度を求めることができる。たとえば推定した接合領域21の面積をAとすると、接合強度は、大略的には、 $K_2 \cdot A$ で表わされる。ここで、 K_2 は、予め定める定数であって、実験によって求めることができる。

[0104] このように接合領域21の大きさとして、面積を求める場合についても、図10と同様の推定方法の手順を用いて、接合強度を推定することができる。この場合、図10に比べて、ステップa4の接合領域21の大きさを推定する工程で、接合領域21の面積

を推定することになる。またステップa5の接合強度を推定する工程で、接合強度推定部38が、推定した接合領域21の面積Aと、予め与えられる接合強度を求める関係式またはデータベースとに基づいて、接合強度を推定する。そのほかの工程については、図10に示す手順と同様であるので、説明を省略する。本実施形態によれば、接合領域21の直径寸法ではなく、接合領域21の面積によって接合強度を求めることで、接合領域21が略楕円形に形成される場合であっても、精度よく接合強度を推定することができる。

[0105] 図13は、注目反射波45に含まれる波形を周波数分析したグラフである。横軸は、注目反射波に含まれる波形の周波数分布である。縦軸は、注目反射波に含まれる波形の周波数毎の振幅を示す。また図13には、走査位置が非接合領域28上に位置するときの注目反射波に含まれる波形の周波数分布を破線で示す。また走査位置が接合領域21上に位置するときの注目反射波に含まれる波形の周波数分布を実線で示す。

[0106] 走査位置が、接合領域21上に位置する場合には、非接合領域28上に位置する場合に比べて、上板22と下板23との界面27が消滅しているので上板22から下板23に超音波が透過しやすい。反射波に含まれる波形のうちで、低周波域波形に比べて高周波域波形のほうが指向性が高いので、接合領域21と残余の領域との境界面が裏当て面25に対して傾斜することで、高周波域波形のほうが反射波として取り込まれる量が小さい。また高周波域波形のほうが低周波域波形に比べて低下しやすい。

[0107] したがって、注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値を示す波形の周波数であるピーク周波数 f_p に関して、接合領域21上に走査位置が位置するときのピーク周波数 f_{p1} は、非接合領域28上に走査位置が位置するときのピーク周波数 f_{p0} よりも小さくなる。また注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する周波数分布帯域の中心となる中心周波数 f_c に関して、接合領域21上に走査位置が位置するときの中心周波数 f_{c1} は、非接合領域28上に走査位置が位置するときの中心周波数 f_{c0} よりも小さくなる。本実施の形態では、最大振幅値から一定量低下する振幅値は、ピーク周波数 f_p の波形の振幅値に対して予め定める割合、たとえば6dB低く設定される振幅値に設定される。

- [0108] また注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の注目周波数帯域幅Bに関して、接合領域21上に走査位置が位置するときの注目周波数帯域幅B1は、非接合領域28上に走査位置が位置するときの注目周波数帯域幅B0よりも大きくなる。本実施の形態では、最大振幅値から一定量低下する振幅値は、ピーク周波数 f_p の波形の振幅値に対して予め定める割合、たとえば6dB低く設定される振幅値に設定される。
- [0109] 図14は、本発明の第3実施形態の推定装置130を示すブロック図である。本発明の第3実施形態の推定装置130は、第1実施形態の推定装置130と類似した構成を示し、同様の構成については、第1実施形態と同一の参照符号を付して、説明を省略する。
- [0110] 第3実施形態の推定装置130は、第1実施形態の推定装置30に比べて、エコー高さを計測部36に代えて、周波数特徴計測部101を備える。また推定装置130は、周波数変換部100を新たに備える。周波数変換部100は、注目反射波抽出部42によって抽出された注目反射波に含まれる波形を周波数分析して、注目反射波に含まれる波形を周波数成分ごとに分解する。周波数変換部100は、周波数分析結果を周波数特徴計測部101に与える。周波数特徴計測部101は、周波数分析結果から、超音波探触子31の走査位置変位ごとに、接合領域21を推定するのに必要な特徴量を計測し、計測結果を記憶部39に順次記憶させる。周波数変換部100および周波数特徴計測部101は、演算処理回路43が、予め定められる記憶回路に記憶される演算プログラムを実行することによって実現される。また接合領域推定部37は、周波数特徴計測部101によって記憶部39に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす周波数特徴に対応する走査位置を、接合領域21上の位置として推定する。この他の構成については、図2に示す第1実施形態の推定装置30と同様である。
- [0111] 図15は、走査位置変化に対するピーク周波数変化を説明するための図である。図15(1)は、走査位置変化に対するピーク周波数変化を示すグラフであり、図15(2)はグラフに対応する接合物の断面図である。図15(1)には、横軸に走査位置を示し、縦軸にピーク周波数を示す。図3(1)に示すように接合跡29の中心を通過する走査方向に超音波探触子31を走査移動させる場合、図15(1)に示すように、走査位

置毎のピーク周波数 f_p が予め定めるピーク周波数しきい値 $C2$ 以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定することができる。ピーク周波数しきい値 $C2$ は、走査位置が接合領域21上に位置するか否かを判定する境界条件の基準となり、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における注目反射波のピーク周波数 f_{p0} よりも低く設定される。

[0112] また走査位置毎のピーク周波数 f_p が、ピーク周波数しきい値 $C2$ よりも高い状態から低い状態に切換る走査位置 $P1$ と、ピーク周波数しきい値 $C2$ よりも低い状態から高い状態に切換る走査位置 $P2$ とを、接合領域21と被接合領域28との境界上の位置として推定することができる。また境界上の2つの走査位置 $P1$, $P2$ を結ぶ直線の長さを、接合領域21の直径寸法として推定することができる。

[0113] 本実施の形態では、境界条件であるピーク周波数しきい値 $C2$ は、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における、注目反射波のピーク周波数 f_{p0} に基づいて決定される。具体的には、ピーク周波数しきい値 $C2$ は、基準ピーク周波数 f_{p0} の平均値 $D2$ から、非接合領域28の基準ピーク周波数 f_{p0} から算出される基準ピーク周波数 f_{p0} の標準偏差 σ を超えて低くなる周波数に設定される。

[0114] ここで基準ピーク周波数 f_{p0} は、非接合領域28上に走査位置が位置する場合に、注目反射波を周波数分布ごとに分析した波形のうちで、振幅が最大となる波形の周波数である。基準ピーク周波数 f_{p0} の平均値 $D2$ および標準偏差 σ は、予め測定しておいてもよく、また周波数特徴計測部43が周波数特徴を計測する前に、周波数変換部100から与えられる情報に基づいて計算してもよい。周波数特徴計測部101は、注目反射波のピーク周波数 f_p を計測する。この場合、接合領域推定部37は、走査位置毎のピーク周波数 f_p が予め定めるピーク周波数しきい値 $C2$ 以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定する。

[0115] 同様に、ピーク周波数 f_p に代えて中心周波数 f_c を用いた場合でも、接合領域21を推定することができる。具体的には、図3(1)に示すように接合跡29の中心を通過する走査方向に超音波探触子31を走査移動させる場合、走査位置毎の中心周波数 f_c が予め定める中心周波数しきい値以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定することができる。中心周波数しきい値は、走査位置が接合領域21上に位置

するか否かを判定する境界条件の基準となり、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における注目反射波の中心周波数 f_{c0} よりも低く設定される。

- [0116] また走査位置毎の中心周波数 f_c が、中心周波数しきい値よりも高い状態から低い状態に切換る走査位置P1と、中心周波数しきい値よりも低い状態から高い状態に切換る走査位置P2とを、接合領域21と非接合領域28との境界上の位置として推定することができる。また境界上の2つの走査位置P1, P2を結ぶ直線の長さを、接合領域21の直径寸法として推定することができる。
- [0117] 本実施の形態では、境界条件である中心周波数しきい値は、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における、注目反射波に基づいて決定される。具体的には、中心周波数しきい値は、基準中心周波数 f_{c0} の平均値から、基準中心周波数 f_{c0} に設定される標準偏差 σ を超えて低くなる周波数に設定される。
- [0118] ここで基準中心周波数 f_{c0} は、非接合領域28上に走査位置が位置する場合に、注目反射波を周波数分布ごとに分析した波形のうちで、予め定める振幅以上の波形のうち、最も高い周波数と最も低い周波数との間の周波数帯域幅の中心となる周波数である。基準中心周波数 f_{c0} の平均値および標準偏差 σ は、予め測定しておいてもよく、また周波数特徴計測部43が周波数特徴を計測する前に、周波数変換部100から与えられる情報に基づいて計算してもよい。周波数特徴計測部101は、注目反射波における中心周波数 f_c を計測する。この場合、接合領域推定部37は、走査位置毎の中心周波数 f_c が予め定める中心周波数しきい値以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定する。
- [0119] 図16は、走査位置変化に対する帯域幅変化を説明するための図である。図16(1)は、走査位置変化に対する帯域幅変化を示すグラフであり、図16(2)はグラフに対応する接合物の断面図である。図16(1)には、横軸に走査位置を示し、縦軸に帯域幅を示す。図3(1)に示すように接合跡29の中心を通過する走査方向に超音波探触子31を走査移動させる場合、図16(1)に示すように、走査位置毎の注目帯域幅Bが予め定める帯域幅しきい値 $C3$ 以下となる走査位置を接合領域21上の位置として推定することができる。帯域幅しきい値 $C3$ は、走査位置が接合領域21上に位置するか否かを判定する境界条件の基準となり、超音波入射位置が非接合領域28上に位置

する場合における注目反射波の注目帯域幅 B_0 よりも広く設定される。

- [0120] また走査位置毎の注目帯域幅 B が、帯域幅しきい値 C_3 よりも狭い状態から広い状態に切換る走査位置 P_1 と、帯域幅しきい値 C_3 よりも低い状態から高い状態に切換る走査位置 P_2 とを、接合領域21と非接合領域28との境界上の位置として推定することができる。また境界上の2つの走査位置 P_1 , P_2 を結ぶ直線の長さを、接合領域21の直径寸法として推定することができる。
- [0121] 本実施の形態では、境界条件である帯域幅しきい値 C_3 は、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における、注目反射波に基づいて決定される。たとえば帯域幅しきい値 C_3 は、基準帯域幅 B_0 の平均値 D_3 から、非接合領域28の帯域幅から算出される帯域幅の標準偏差 σ を超えて大きくなる帯域幅に設定される。またたとえば帯域幅しきい値 C_3 は、基準帯域幅 B_0 に対して予め定める設定量広くなる帯域幅に設定され、一例として基準帯域幅 B_0 に対して約1.2MHz広くなる帯域に設定される。ここで基準帯域幅 B_0 は、基準ピーク周波数 f_{p0} の波形の振幅から予め設定する一定量、たとえば6dB低下した振幅以上となる波形における周波数帯域である。
- [0122] また注目帯域幅 B は、対応するピーク周波数 f_{p1} となる波形の振幅から前記一定量、たとえば6dB低下した振幅以上となる波形における周波数帯域である。基準帯域幅 B_0 は、予め測定しておいてもよく、また周波数特徴計測部43が周波数特徴を計測する前に、周波数変換部100から与えられる情報に基づいて計算してもよい。
- [0123] たとえば周波数特徴計測部101は、注目反射波における注目帯域幅 B を計測する。この場合、接合領域推定部37は、走査位置毎の注目帯域幅 B が予め定める帯域幅しきい値 C_3 よりも広くなる走査位置を接合領域21上の位置として推定することができる。
- [0124] 以上のように、第3実施形態では、エコー高さ H に代えて、注目反射波の周波数特徴に基づいて接合領域21を推定する。上述したように周波数特徴は、ピーク周波数 f_p 、中心周波数 f_c および注目帯域幅 B のいずれかであってもよい。また、その他の注目反射波の周波数特徴に基づいて、接合領域21を推定してもよい。また第3実施形態では、接合領域21を推定するための境界条件が異なるだけで、推定強度を求め

る方法については、第1実施形態と同様にして推定することができる。また第2実施形態のように接合領域21の直径寸法を推定するほかに、接合領域21の面積を求めて、接合強度を推定してもよい。第3実施形態であっても、第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0125] また周波数分析することによって、エコー高さが小さい場合や、ノイズが大きい場合などであっても、接合領域21および接合強度を精度よく推定することができる。また接合領域21と非接合領域28とで変化が大きく、これによっても接合領域21および接合強度を精度よく推定することができる。さらに不所望な周波数をカットするフィルタを介することによってノイズの影響をさらに小さくすることができる。

[0126] またピーク周波数 f_p または周波数帯域幅 B から接合領域21を推定することで、注目反射波に含まれる各波形の周波数分布が正規分布からずれる場合であっても、接合領域21を推定することができる。さらにピーク周波数 f_p および中心周波数 f_c の標準偏差 σ に基づいて、接合領域21を推定するための境界条件を決定することで、接合物20ごとにパラメータ、たとえば上板22の板厚寸法を設定する必要がなく、容易に境界条件を決定することができる。

[0127] 図17は、第4実施形態の推定方法を説明するためのグラフである。図17は、横軸に走査位置を示し、縦軸にエコー高さを示す。具体的には、図17では、基準エコー高さ H_0 に対する走査位置毎のエコー高さの割合を縦軸に示す。

[0128] 本発明の第1実施形態および第2実施形態では、接合領域21の大きさを求め、その大きさに基づいて、接合強度を求めた。本発明の第4実施形態として、接合領域21の大きさを求めずに、注目反射波から抽出されるエコー高さに基づいて、接合強度を直接推測する。第4実施形態では、第1実施形態に対して接合領域推定部37の演算手順が異なり、残余の構成については、同一であるので、説明を省略する。

[0129] 第4実施形態では、走査位置毎のエコー高さ110から予め定める設定エコー高さ C_4 までの距離(差)を、ピン部が没入する走査位置111を除いた走査位置範囲112にわたって積分した面積113を求める。本実施の形態では基準エコー高さ H_0 が、設定エコー高さ C_4 として設定される。

[0130] 上板22と下板23との界面27で反射する反射波が小さくなることで、エコー高さが

小さくなる。前記面積113が大きくなることは、界面27の消滅度合いが大きく、接合強度が大きくなることを意味する。したがって前記面積113と、接合強度とが一对一の関係性を有する。この関係に基づいて、接合強度推定部38が接合強度を求めることができる。本実施形態では、エコー高さの変化を積分したが、そのほか上述したピーク周波数 f_p 、中心周波数 f_c 、設定帯域幅 B などの、注目反射波の特徴値変化の積分値に基づいて、接合強度を直接決定してもよい。この場合も特徴値の変化量を、ピン部が没入する走査位置111を除いた走査位置範囲112にわたって積分した積分値に基づいて、接合強度を直接決定することができる。

[0131] また接合強度推定部38は、走査位置変化に対する注目反射波の変化量に基づいて、接合領域21の位置を求めてもよい。たとえば走査位置変化に対する注目反射波の特徴値の変化量が急な場合には、その急となる走査位置が、攪拌接合領域21cと圧着接合領域21dとの境界位置上に位置することを推定してもよい。たとえば注目反射波の特徴値変化の傾き、言い換えると特徴値変化を微分した値が予め定める値を超えた走査位置が、攪拌接合領域21cと圧着接合領域21dとの境界位置上に位置することを推定してもよい。このように攪拌接合領域21cと圧着接合領域21dとの形状を求め、接合強度の推定に追加することで、さらに正確な接合強度を求めることができる。

[0132] このように接合領域21上の領域を含む単位範囲について、超音波の反射波を取り込み、単位範囲について注目反射波の総合的な特徴値と、前記特徴値を接合物の強度に変換するために設定される変換関係とに基づいて、接合物の接合強度を推定してもよい。総合的な特徴値は、超音波入射領域が単位範囲となる場合には、その単位範囲内における注目反射波の特徴値となる。

[0133] 図18は、第1～第4実施形態で用いられる超音波探触子31の一例を示す斜視図である。本実施形態では、一次元配列アレイ振動子型のフェイズドアレイ超音波探触子31が用いられる。フェイズドアレイ超音波探触子31は、微小な振動子を多数配列したアレイ探触子で、各振動子に印加するパルスのタイミングを変えることで、各振動子から発生させる超音波のタイミングをずらすことができ、超音波の集束位置を任意に変えることができる。これによってアレイ配列方向に超音波探触子を走査させる必

要がなく、利便性を向上することができる。

- [0134] また二次元配列アレイ振動子型のフェイズドアレイ超音波探触子についても用いることができる。そのほか、一探触子型の超音波探触子31を用いることも可能である。また超音波発生用の探触子と、超音波取り込み用の探触子とによって構成される二探触子型の超音波探触子を用いてもよい。また点集束探触子のほか、非集束探触子を用いることもできる。また超音波を裏当て面25に対して垂直に入射させるほか、裏当て面25に対して傾斜するように超音波を入射させてもよい。
- [0135] 図19は、本発明の第5実施形態の超音波探触子200を示す斜視図である。図20は、走査位置とエコー高さとの関係を示す図である。図20(2)は、走査位置変化に対するエコー高さ変化を示すグラフであり、図20(1)はグラフに対応する接合物20の断面図である。本発明の第5実施形態では、第1実施形態に比べて超音波探触子200の構成が異なる。また接合領域推定部37がなく、接合強度推定部38が、エコー高さに基づいて接合強度を直接推定可能に構成される。残余の構成については同一であるので、同一な構成については説明を省略する。
- [0136] 超音波探触子200は、線集束探触子によって実現される。超音波探触子200は、接合領域21の直径寸法よりも大きい長さを有する帯状の超音波入射領域201が形成され、送信振動子202と、受信振動子203とが別体に構成される。本実施の形態の超音波探触子200は、振動子寸法が $10 \times 2\text{mm}$ となり、10MHzの周波数の超音波を発生する。またエコー高さ計測部36は、帯状の入射領域201について、上板22と下板23との界面27に相当する基準方向位置付近で反射する注目反射波の総合的なエコー高さを計測する。
- [0137] このような超音波探触子200を用いて、図19に示すように、超音波入射領域201が接合跡29の中心を通過するように配置したときの総合的なエコー高さを求める。言い換えると、図20に示すように、超音波探触子200を走査移動させて、総合的なエコー高さが最小となる超音波走査位置を調べる。
- [0138] 図21は、引張せん断せん断強度と相対エコー高さの低下量との関係を示すグラフである。図21には、相対エコー高さの低下量として、非接合領域28に超音波を入射した場合の総合的な基準エコー高さに対する、エコー高さが最小となる総合的な最

小エコー高さの割合を示す。図21には、横軸に相対エコー高さの低下量を示し、縦軸に破壊検査による接合物の引張せん断強度を示す。図21に示すように、相対エコー高さの低下量と、接合強度とは、略一对一の関係を有する。したがって総合的な最小エコー高さを求めることで、総合的な最小エコー高さを、接合強度を演算する関係式に代入することで接合強度を直接推定することができる。この関係式は、予め実験等によって求めることができる。

[0139] このようにして、接合強度推定部38は、総合的な最小エコー高さから、接合強度を直接推定することができる。また本実施の形態では、線集束探触子によって探触子の実現されるとしたが、非集束超音波探触子を用いても同様の効果を得ることができる。この場合、非集束超音波探触子の超音波入射領域の面積は、接合領域21の面積よりも充分大きいことが好ましい。

[0140] 本実施の形態では、接合物20の接合領域21上の領域を含む単位範囲について、接合物20の裏当て面25から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込み、単位範囲について、注目反射波の総合的な特徴値と、前記特徴値を接合物の強度に変換するために設定される変換関係とに基づいて、接合物の接合強度を推定する。これによって接合領域21の大きさを推定する必要がなく、接合物20の接合強度を簡単に推定することができる。

[0141] また線集束探触子である場合には、超音波探触子を一方向に走査するだけでよい。さらに非集束探触子である場合には、超音波探触子を走査しなくてもよい。これによって推定装置を簡単化することができ、容易に接合強度の推定を行うことができる。また上述する単位範囲について集束探触子を走査移動させて、単位範囲内の注目反射波の総合的な特徴値を求めてもよい。この場合、総合的な特徴値とは、単位範囲内における走査位置ごとの注目反射波の特徴値をたし合わせた値または、単位範囲内における走査位置ごとの注目反射波の特徴値の平均値となる。また本実施形態では、単位範囲にわたるエコー高さの総合的な変化量に基づいて、接合強度を求めたが、そのほか上述したピーク周波数 f_p 、中心周波数 f_c 、設定帯域幅 B などの、注目反射波の特徴値変化に基づいて、接合強度を直接決定してもよい。

[0142] 以上のように、上述した接合領域21または接合強度の推定方法は、本発明の一例

示であって発明の範囲内で構成を変更することができる。たとえば各実施の形態では、注目反射波のうち上述した特徴以外を用いて、接合領域21を推定してもよい。また上述した注目反射波の特徴を組合せて接合領域21を推定してもよい。たとえば安全率を高めるために、上述した2つ以上の推定方法で推定される接合強度が最も小さい値を、推定される接合強度として採用してもよい。また本実施形態では、超音波探触子を走査させていたが、これに限定しない。たとえば超音波入射位置が、接合領域21上であるか否かを推定する場合には、超音波探触子をスポット的に配置すればよい。

[0143] また本実施の形態では、接合領域21を推定するための注目反射波の境界条件が、超音波入射位置が非接合領域28上に位置する場合における注目反射波に基づいて決定されとしたが、これに限定しない。たとえば境界条件は、一定値に設定されてもよい。また本実施の形態では、演算式に従って、接合領域21および接合強度を推定するとしたが、演算式に代えてデータベースを用いて、接合領域21および接合強度を推定してもよい。

[0144] また、変形例としては、上述した各実施の形態における反射波測定工程においては、図22(1)～(4)に示したように、超音波探触子300から複数の異なる屈折角にて接合物に超音波を入射させることもできる。この方法は、摩擦撹拌接合の際に接合部においてフッキング現象が発生するような場合に特に有効である。ここでフッキング現象とは、摩擦撹拌接合の際に接合部材22、23が軟化して、接合部材22と接合部材23との界面がツール没入面24の方向に引き寄せられ、図22(1)に示したような湾曲部(フッキング部)50が生じる現象である。

[0145] このフッキング部50は、接合部材22と接合部材23との間の接合強度に実質的に寄与していない。なお、このフッキング現象は、接合部材の材質等、摩擦撹拌接合の条件によってその発生の程度が異なるものである。

[0146] そして、反射波測定工程において、超音波探触子300から複数の異なる屈折角にて接合物20に超音波を入射させることにより、接合物20の内部にフッキング部50が存在する場合でも、フッキング部50からの反射エコーを斜角探傷で捕らえることができる。即ち、屈折角が0°（垂直入射）だけでは、湾曲したフッキング部50からの反射

エコーを捕らえることができない。このため、実質的に接合強度に寄与しないフッキング部50を、接合強度に寄与する部分から区別することができず、その結果、接合物20の接合強度を実際よりも高めに評価してしまうという問題が生じる。

- [0147] これに対して本例においては、例えば屈折角 20° 若しくは 30° の斜角探傷を行うことにより、フッキング部50からの反射波を捕らえることができるので、接合物20内にフッキング部50が存在する場合でも接合強度を精度良く推定することができる。
- [0148] 図23は、本発明の第6実施形態による接合強度の推定方法として、垂直振動子から成る超音波探触子400を用いた測定方法を説明するための図である。図24は、同測定方法において、接合径とエコー高さとの関係を示すグラフである。
- [0149] 本実施形態においては、垂直振動子から成る超音波探触子400を用いて、接合径以上の断面寸法を持つ超音波ビームを接合部材22に入射させるとともに、接合部材22に入射させた超音波の反射波を取り込む(反射波測定工程)。なお、超音波探触子400から放射された超音波ビームは、超音波探触子400と接合部材22との間に配置された超音波伝播部材401を通して接合部材22に入射する。
- [0150] そして、本実施形態においては、反射波測定工程によって得られた反射エコー高さに基づいて、接合物20の接合強度を推定する(強度推定工程)。即ち、図24に示したように接合物の接合径とエコー高さとの関係を予め測定しておくことにより、未知の接合径を有する接合物20に対しても、エコー高さを測定することによってその接合径を推定することができる。
- [0151] このように本実施形態によれば、接合領域の面積を推定することなく、接合強度を直接的に推定することが可能であり、簡便且つ安価な方法にて接合物20の接合強度を推定することができる。
- [0152] また第1実施形態の推定方法を用いた検査方法および検査装置について、本発明に含まれるとともに、第2～第6実施形態の推定方法を用いた検査方法および検査装置についても本発明に含まれる。第2～第6実施形態においても、推定した推定結果に基づいて、接合物が予め定められる品質を満足するか否かを判定することで、接合物を破壊することなく、接合物の品質を検査することができる。
- [0153] また本実施の形態では、接合強度を推定せずに、接合領域21を推定した推定結

果を表示部40によって表示する場合も含む。2次元平面上に接合領域21の形状を示す画像を表示することによって、検査者が接合強度などの接合品質を判断してもよい。また本実施の形態では、接合領域21および接合強度の推定は、推定装置30, 130が行うとしたが、これに限らず、上述した工程を人間が行う場合の推定方法も本発明の範囲内である。また本実施の形態では、接合領域21を推定したが、同様の手順によって、攪拌接合領域21cと圧着接合領域21dとのそれぞれを個別に推定してもよい。本実施の形態では、上板22および下板23は、アルミ合金からなるが、摩擦攪拌接合が可能であれば、他の材料によって接合物20が形成されてもよい。また超音波探触子については汎用品を用いることができる。

- [0154] 以上、本発明の好ましい例についてある程度特定の的に説明したが、それらについて種々の変更をなし得ることはあきらかである。従って、本発明の範囲及び精神から逸脱することなく、本明細書中で特定の的に記載された態様とは異なる態様で本発明を実施できることが理解されるべきである。

請求の範囲

- [1] 摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物について、接合領域を推定する推定方法であって、
- 前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、
- 反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定する推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合領域の推定方法。
- [2] 前記反射波測定工程では、接合領域上を通過するように、超音波の入射位置を走査させるとともに、走査変位ごとに接合物に入射させた超音波の反射波を取り込むことを特徴とすることを特徴とする請求項1記載の接合物の接合領域の推定方法。
- [3] 前記境界条件は、超音波入射位置が非接合領域上に位置する場合に、2つの接合部材の界面で反射する反射波に基づいて設定されることを特徴とする請求項1または2記載の接合物の接合領域の推定方法。
- [4] 前記推定工程では、前記注目反射波の振幅が、予め定める振幅しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の接合物の接合領域の推定方法。
- [5] 前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の周波数分布帯域の中心となる中心周波数が、予め定める周波数しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の接合物の接合領域の推定方法。
- [6] 前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値を示す波形の周波数となるピーク周波数が、予め定める周波数しきい値以下となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の接合物の接合領域の推定方法。

- [7] 前記推定工程では、前記注目反射波に含まれる波形の周波数分布帯域において、最大振幅値から一定量低下する振幅値を超える波形の周波数分布帯域幅が、予め定める周波数帯域幅しきい値以上となる超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定することを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の接合物の接合領域の推定方法。
- [8] 摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、
前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、
反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波が予め定める境界条件を満たすときの超音波入射位置を、接合領域上の位置として推定する接合領域推定工程と、
接合領域推定工程によって推定した接合領域上の位置に基づいて、接合領域の大きさを推定し、推定した接合領域の大きさに基づいて、接合物の接合強度を推定する強度推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法。
- [9] 摩擦攪拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、
接合物の接合領域上の領域を含む単位範囲について、前記接合物のうちで摩擦攪拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、接合物に超音波を入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、
反射波測定工程によって取り込んだ反射波のうち、単位範囲について、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波の総合的な特徴値と、前記総合的な特徴値を接合物の強度に変換するために設定される変換関係とに基づいて、接合物の接合強度を推定する推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法。
- [10] 前記反射波測定工程において、複数の異なる屈折角にて接合物に超音波を入射

させることを特徴とする請求項1～9のいずれか1つに記載の推定方法。

- [11] 摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の接合強度を推定する推定方法であって、

前記接合物のうちで摩擦撹拌時に接合ツールが没入された没入面と反対側の面から、垂直振動子を用いて接合径以上の断面寸法を持つ超音波ビームを接合物に入射させるとともに、接合物に入射させた超音波の反射波を取り込む反射波測定工程と、

反射波測定工程によって得られた反射エコー高さに基づいて、接合物の接合強度を推定する強度推定工程とを含むことを特徴とする接合物の接合強度の推定方法。

- [12] 摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物の検査方法であって、請求項1～11のいずれか1つに記載の推定方法によって推定した推定結果に基づいて、接合物を検査することを特徴とする接合物の検査方法。

- [13] 摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物について、接合領域を推定する推定装置であって、

超音波を接合物に入射可能に構成されるとともに、接合物から反射する反射波を取込み可能に構成される超音波探触子と、

超音波探触子を、前記接合物の接合領域上を通過するように、接合物のうちで接合ツールが没入された没入面と反対側の面について走査移動させる探触子移動手段と、

探触子の走査位置を検出する走査位置検出手段と、

超音波探触子に接続され、超音波探触子を取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波を抽出する抽出手段と、

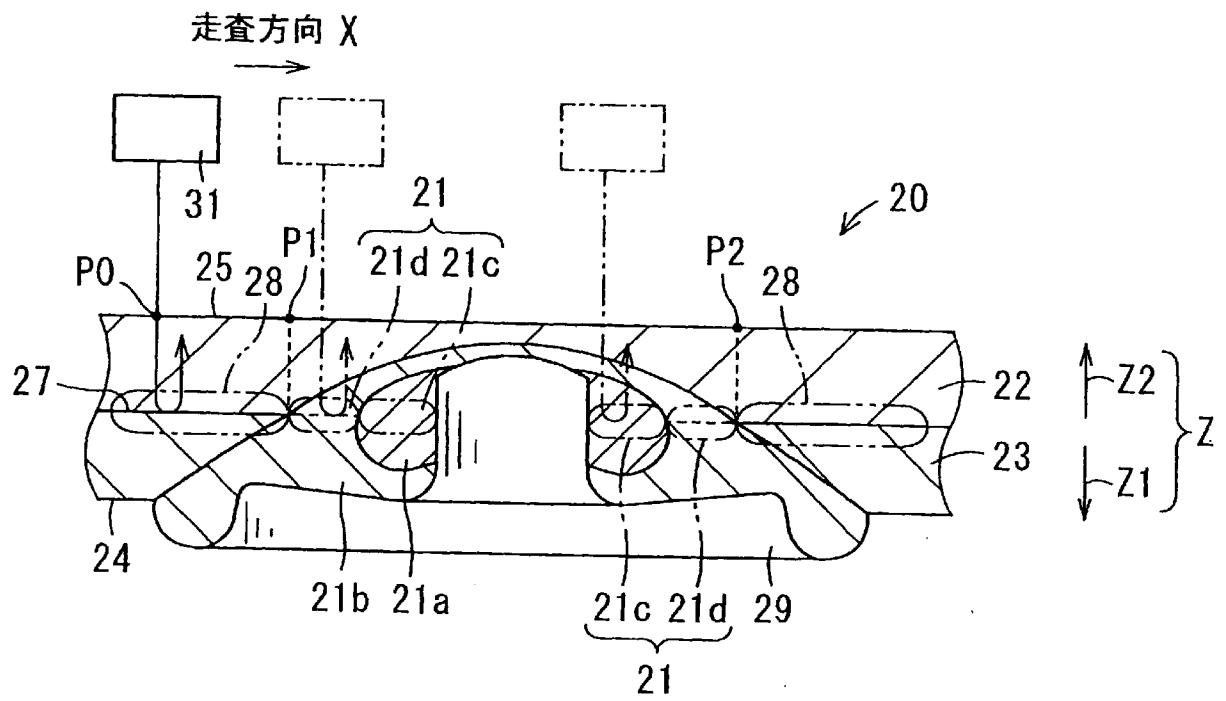
走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する記憶手段と、

記憶手段に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす注目反射波に対応する走査位置を、接合領域上の位置として推定する推定手段と、

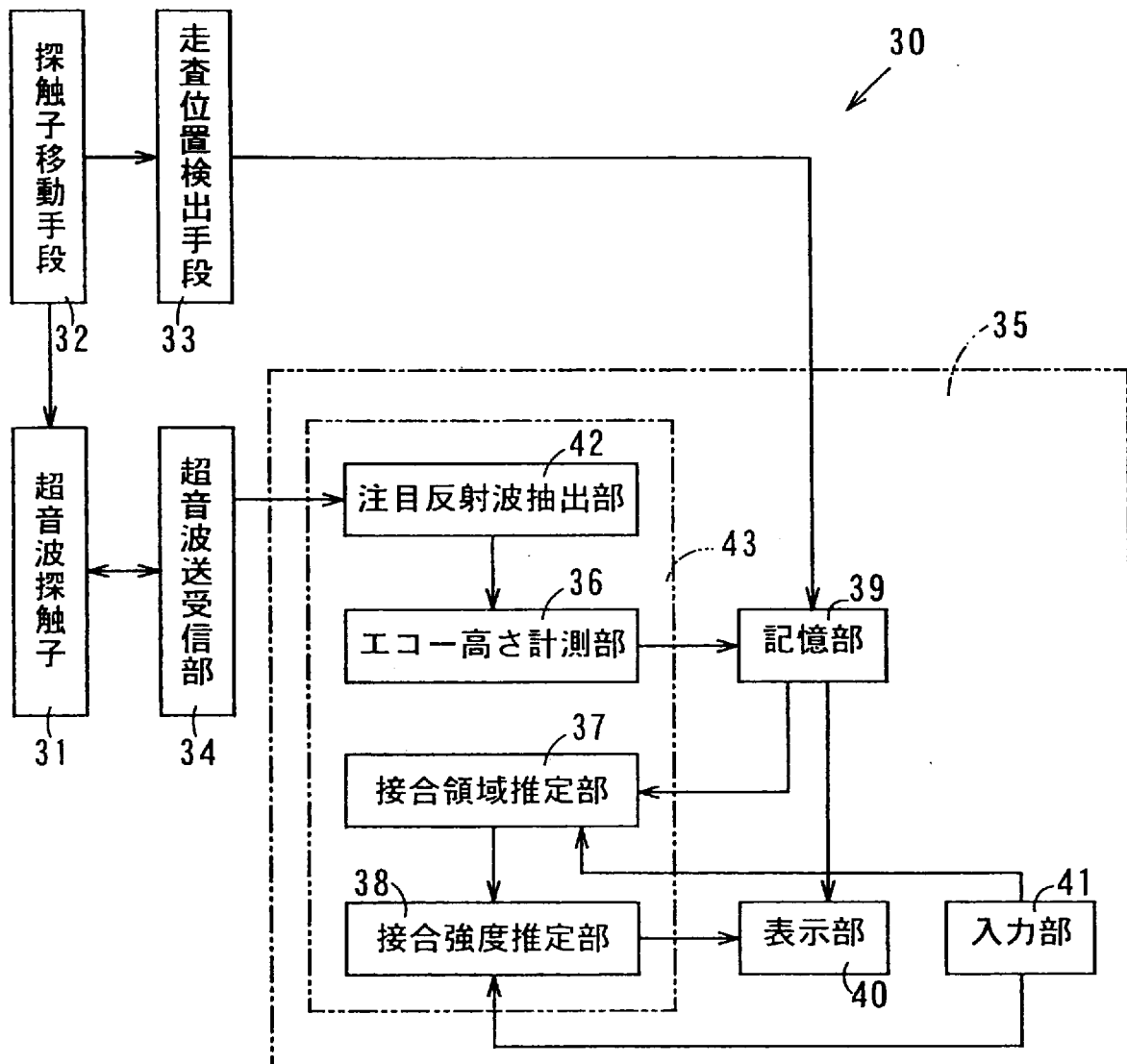
推定手段によって推定される推定結果を出力する出力手段とを含むことを特徴とする接合物の接合領域の推定装置。

- [14] 摩擦撹拌接合法によって、重ねられた2つの接合部材が互いに接合された接合物を検査する検査装置であって、
- 超音波を接合物に入射可能に構成されるとともに、接合物から反射する反射波を取込み可能に構成される超音波探触子と、
- 超音波探触子を、接合物の接合領域上を通過するように、接合物のうちで接合ツールが没入された没入面と反対側の面について走査移動させる探触子移動手段と、
- 探触子の走査位置を検出する走査位置検出手段と、
- 超音波探触子に接続され、超音波探触子を取り込んだ反射波のうちで、2つの接合部材の界面に相当する位置付近で反射する注目反射波を抽出する抽出手段と、
- 走査位置検出手段によって検出される走査位置と、前記走査位置に対応して抽出手段によって抽出される注目反射波とを関連付けて記憶する記憶手段と、
- 記憶手段に記憶される情報を読み取り、予め定める境界条件を満たす注目反射波に対応する走査位置を、接合領域上の位置として推定する推定手段と、
- 推定手段によって推定される推定結果に基づいて、接合物が予め定められる品質を満足するか否かを判定する判定手段と、
- 判定手段による判定結果を出力する出力手段とを含むことを特徴とする接合物の検査装置。

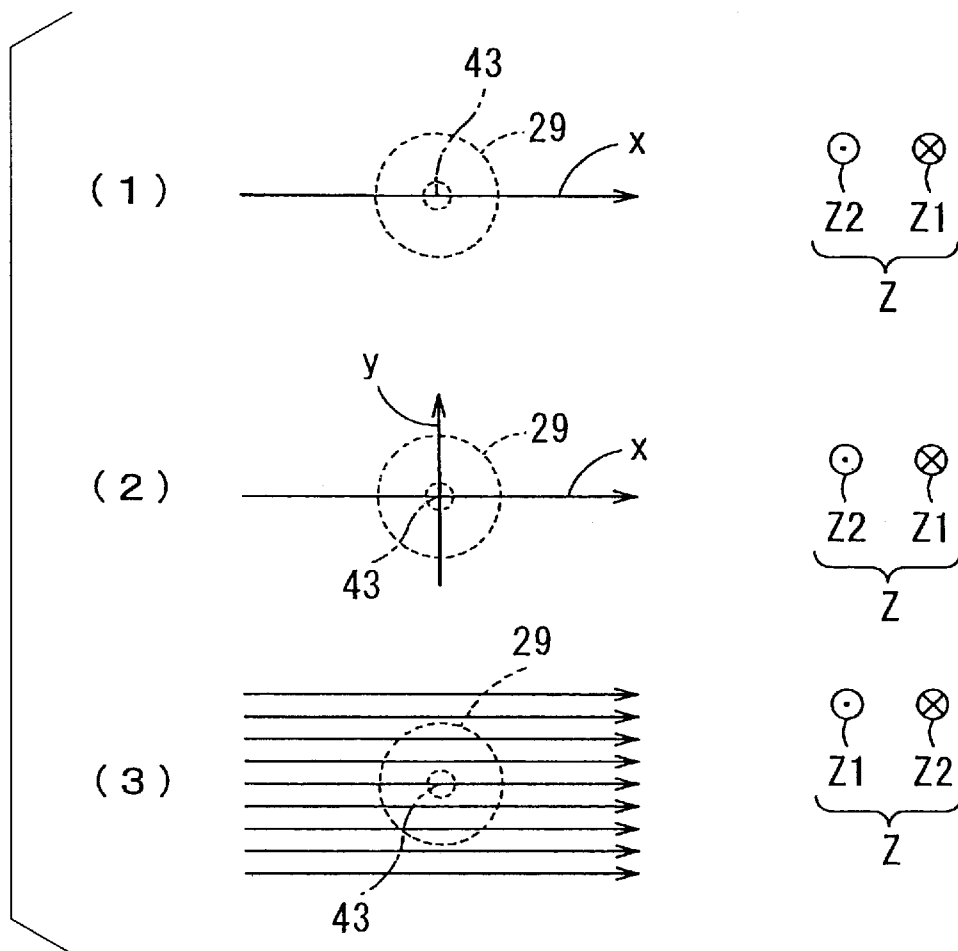
[図1]



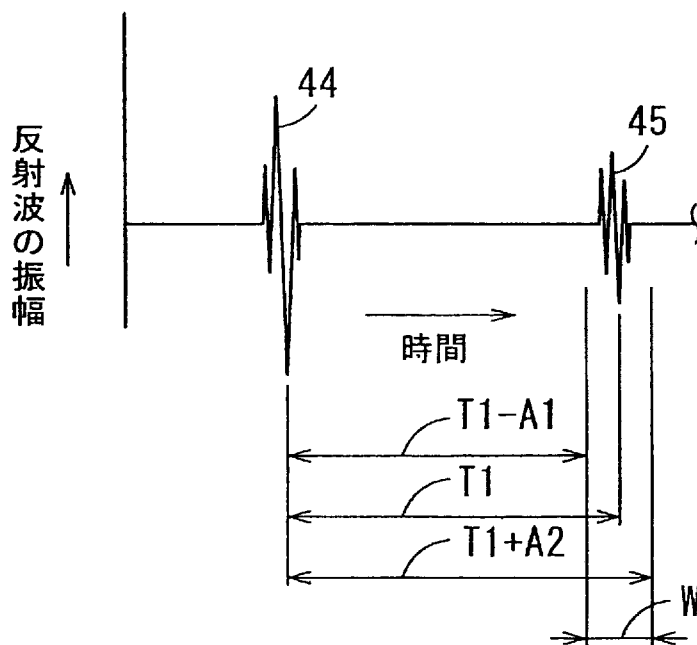
[図2]



[図3]

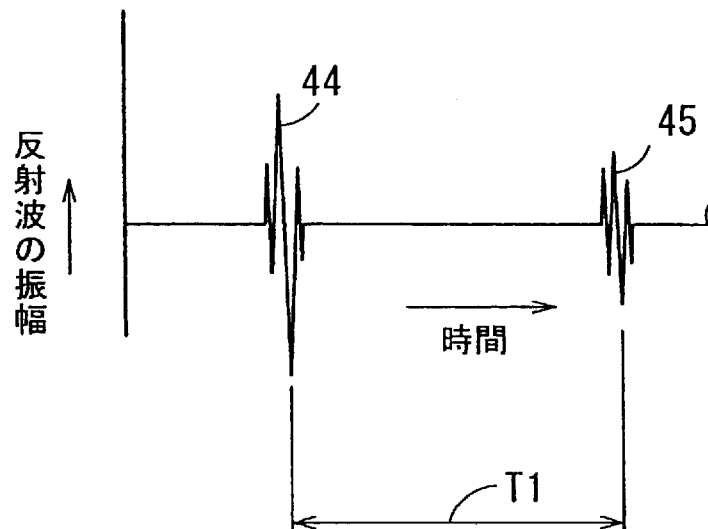


[図4]

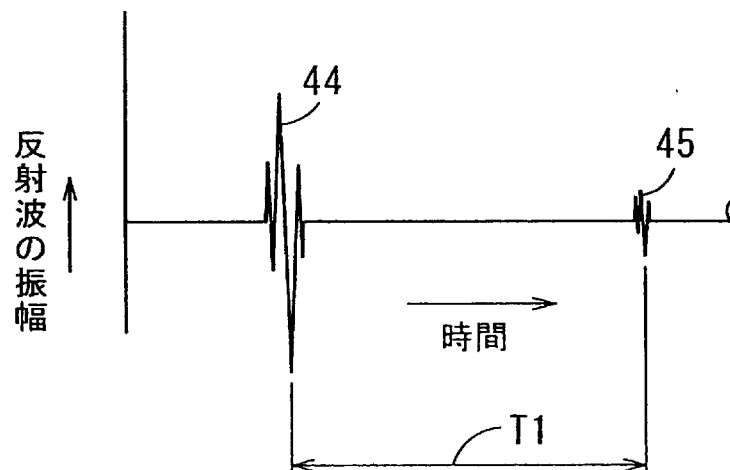


[図5]

(1)

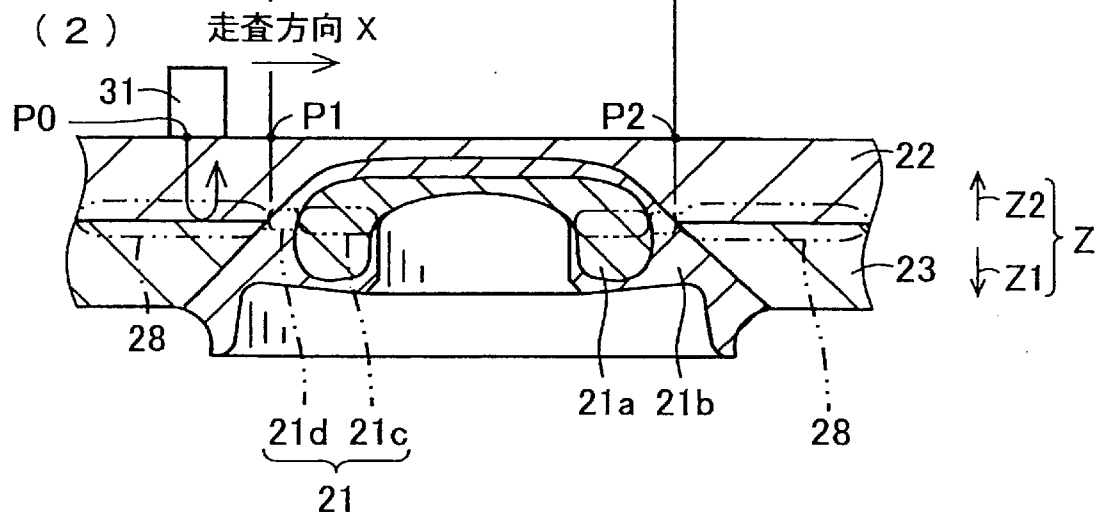
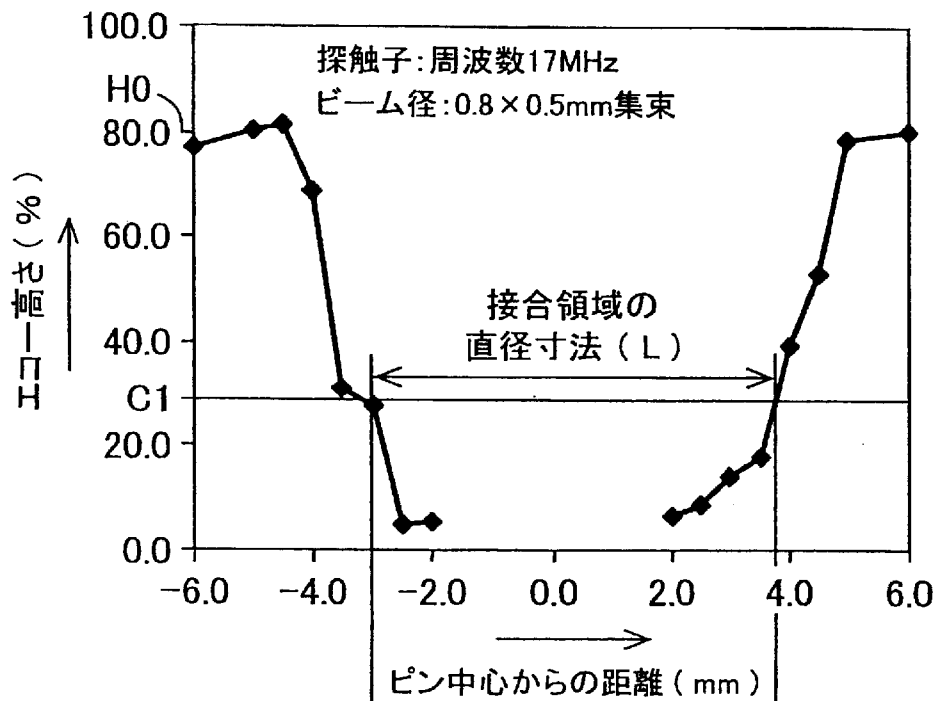


(2)

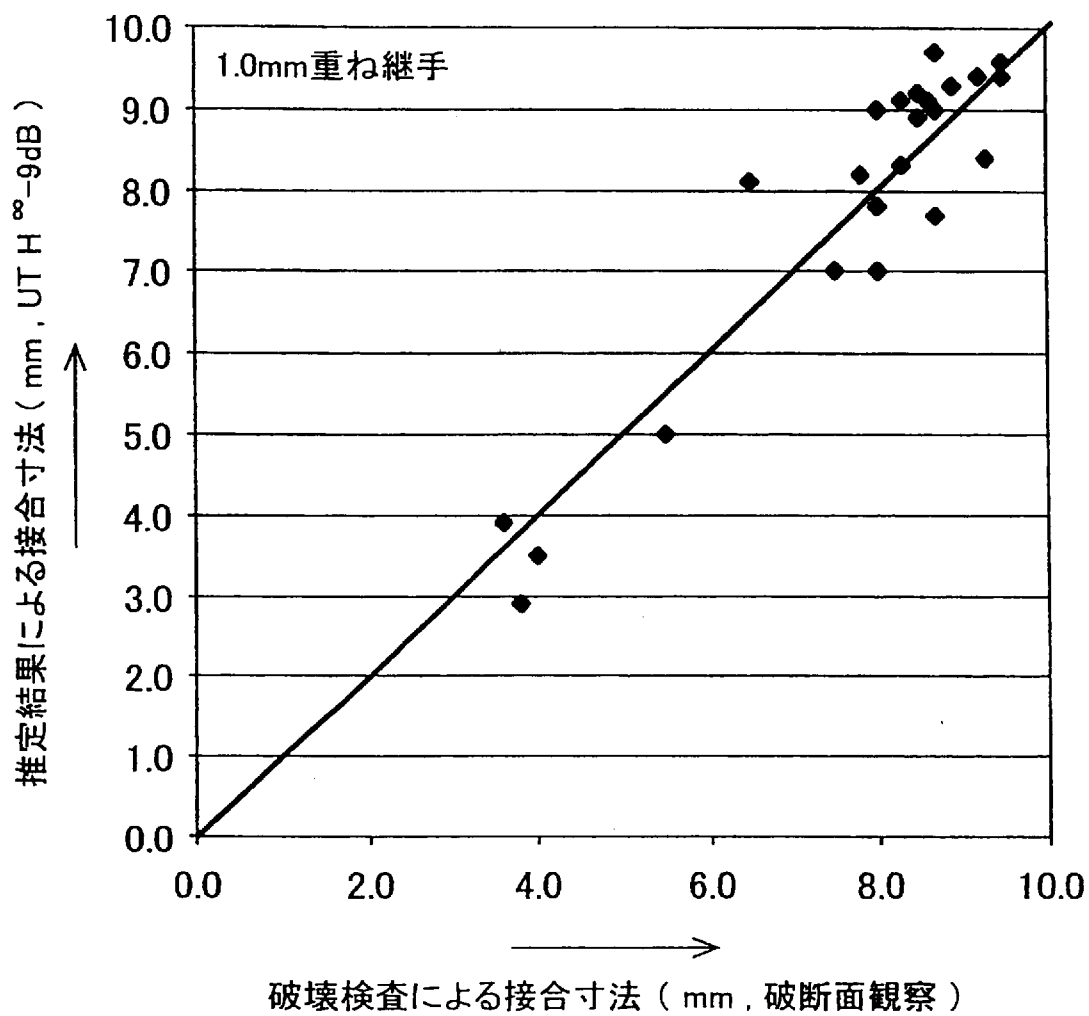


[図6]

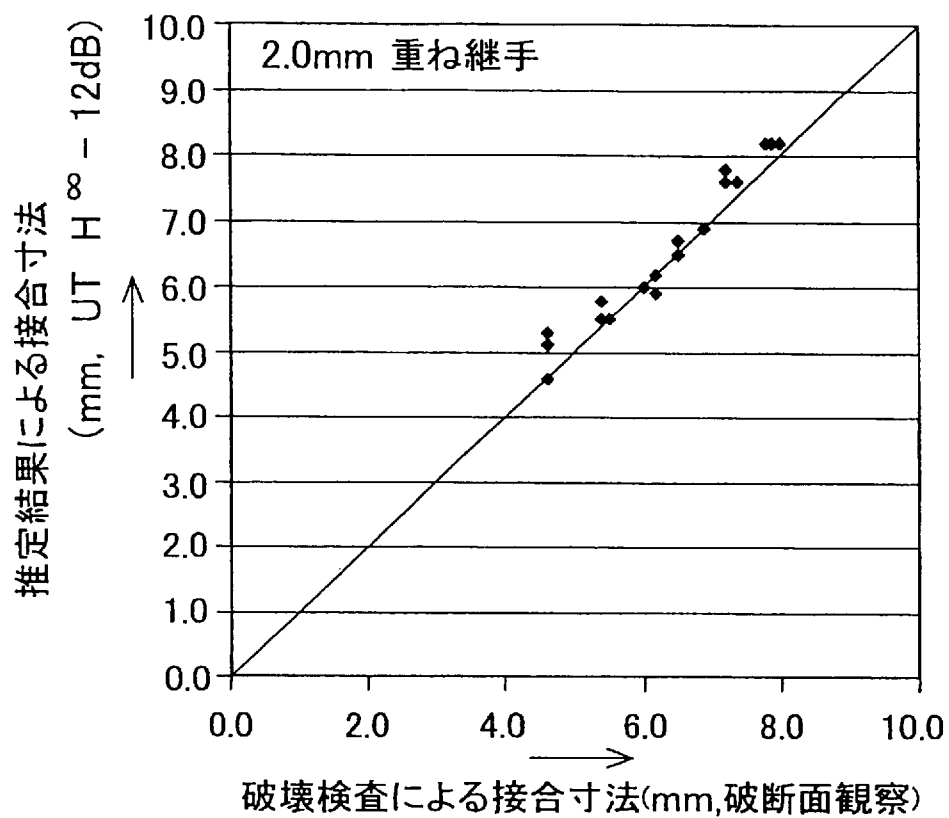
(1)



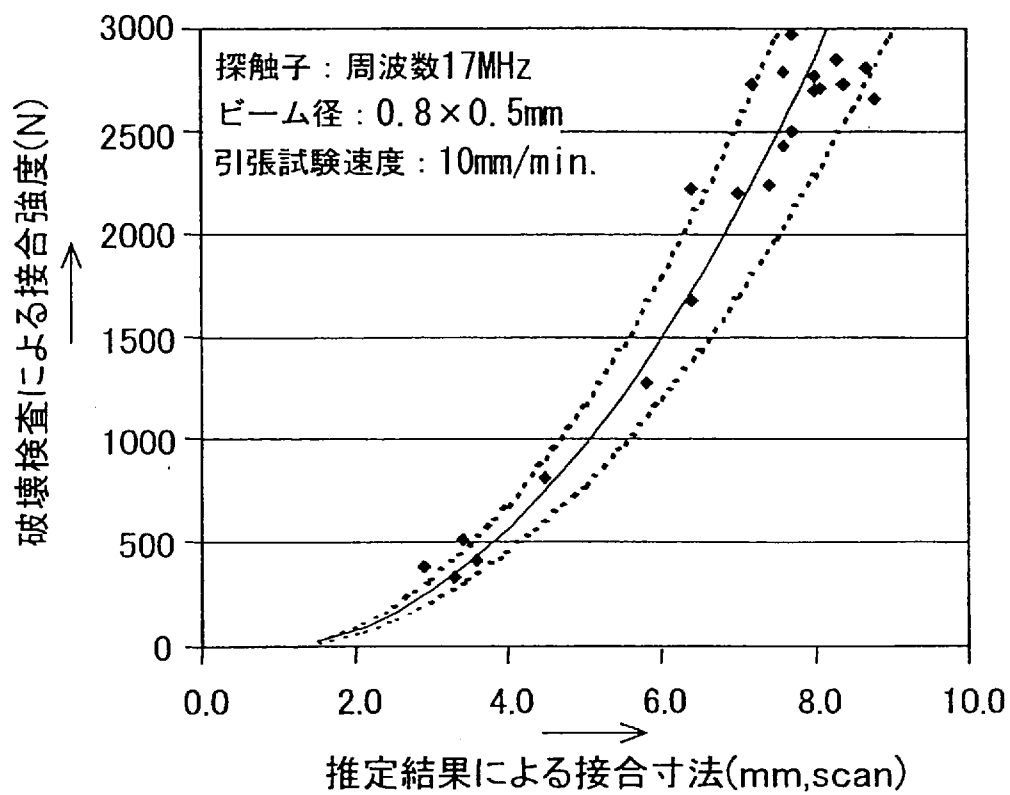
[図7]



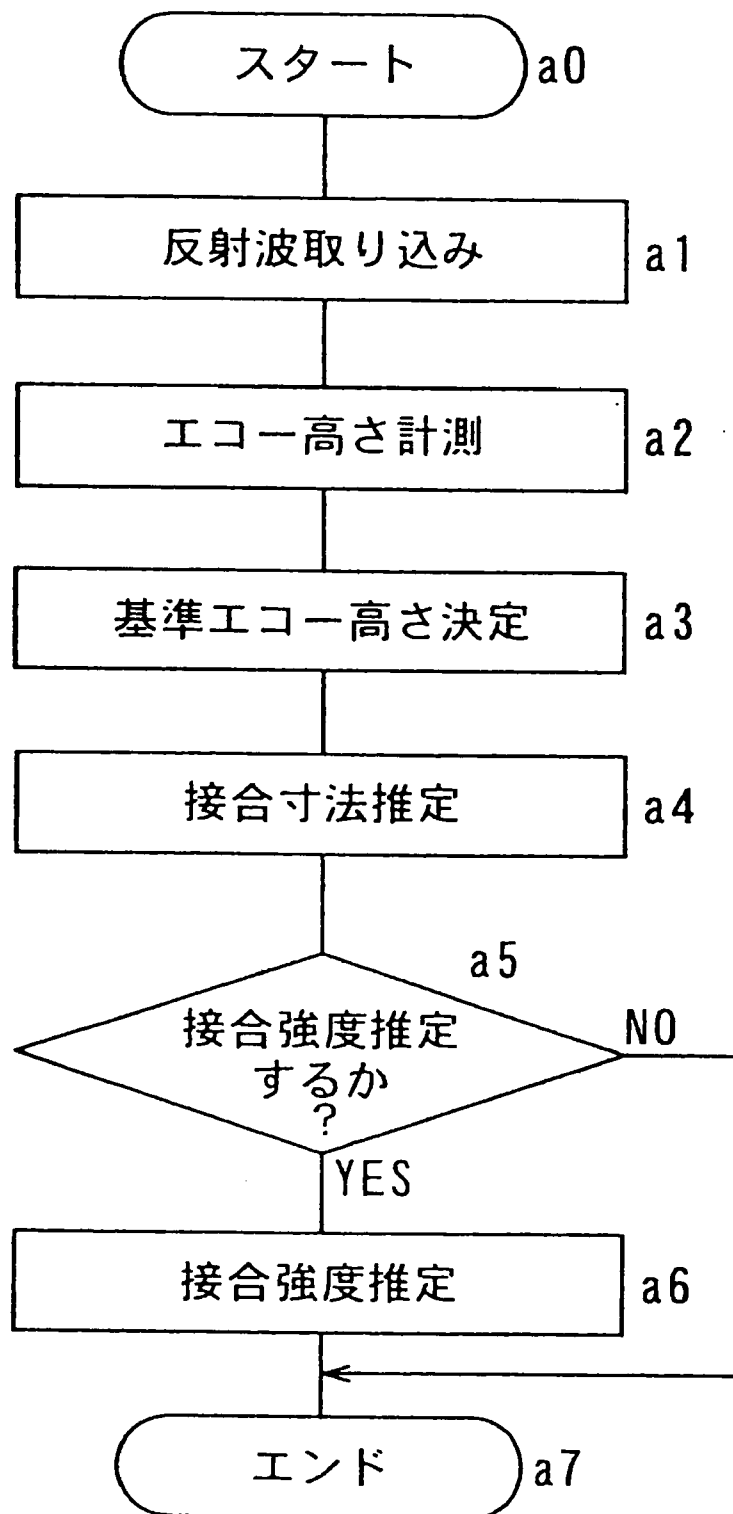
[図8]



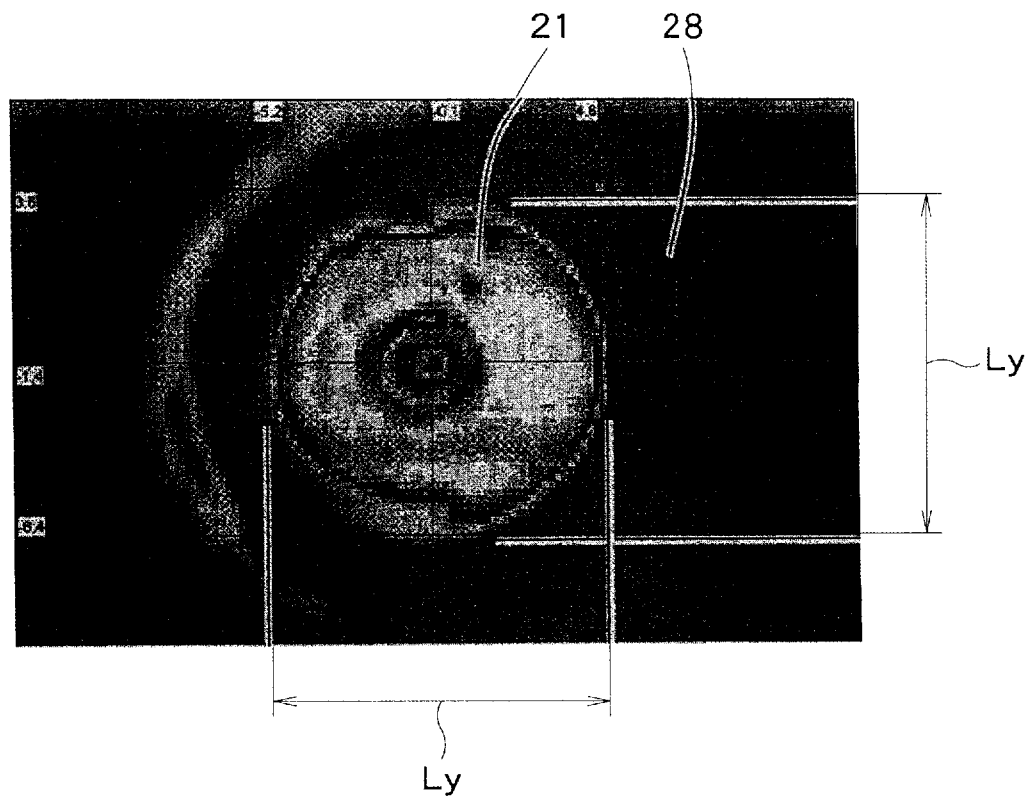
[図9]



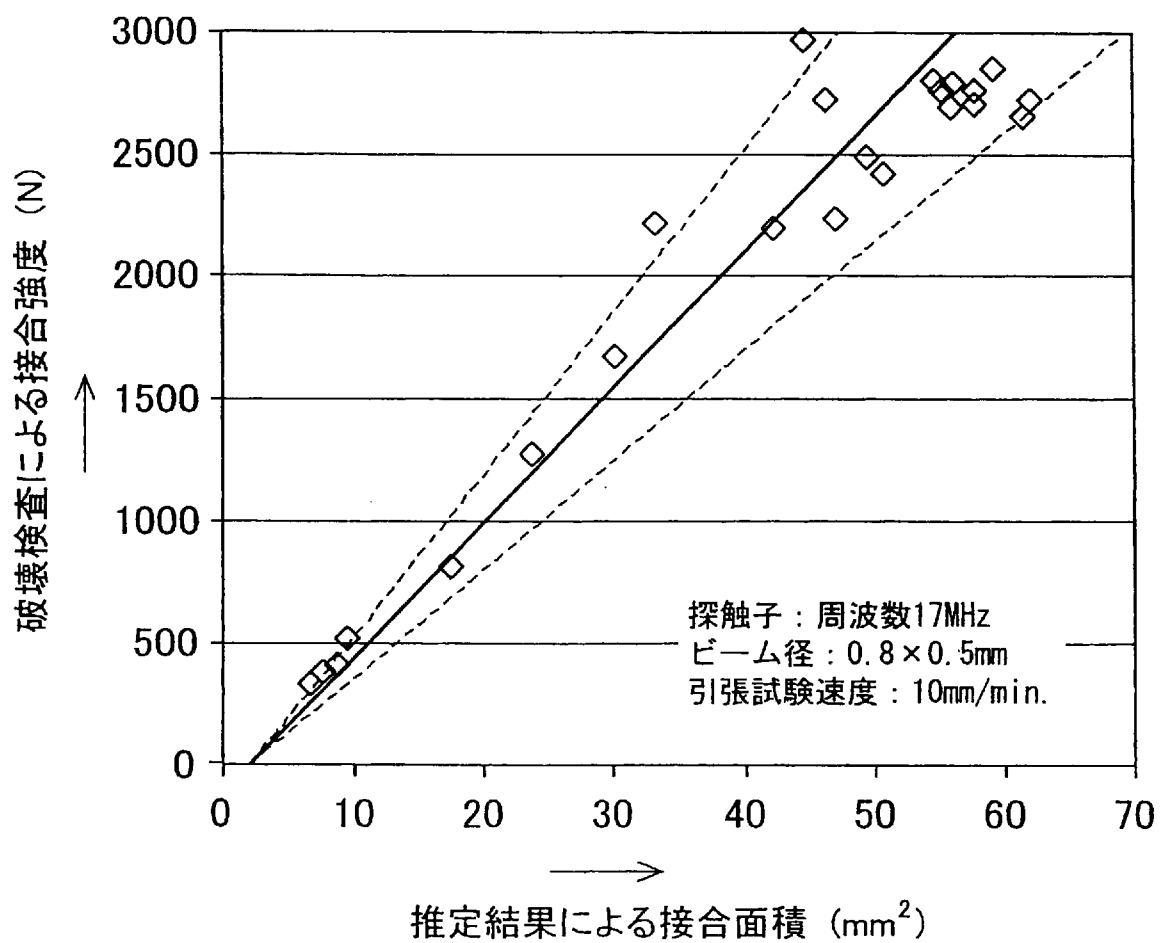
[図10]



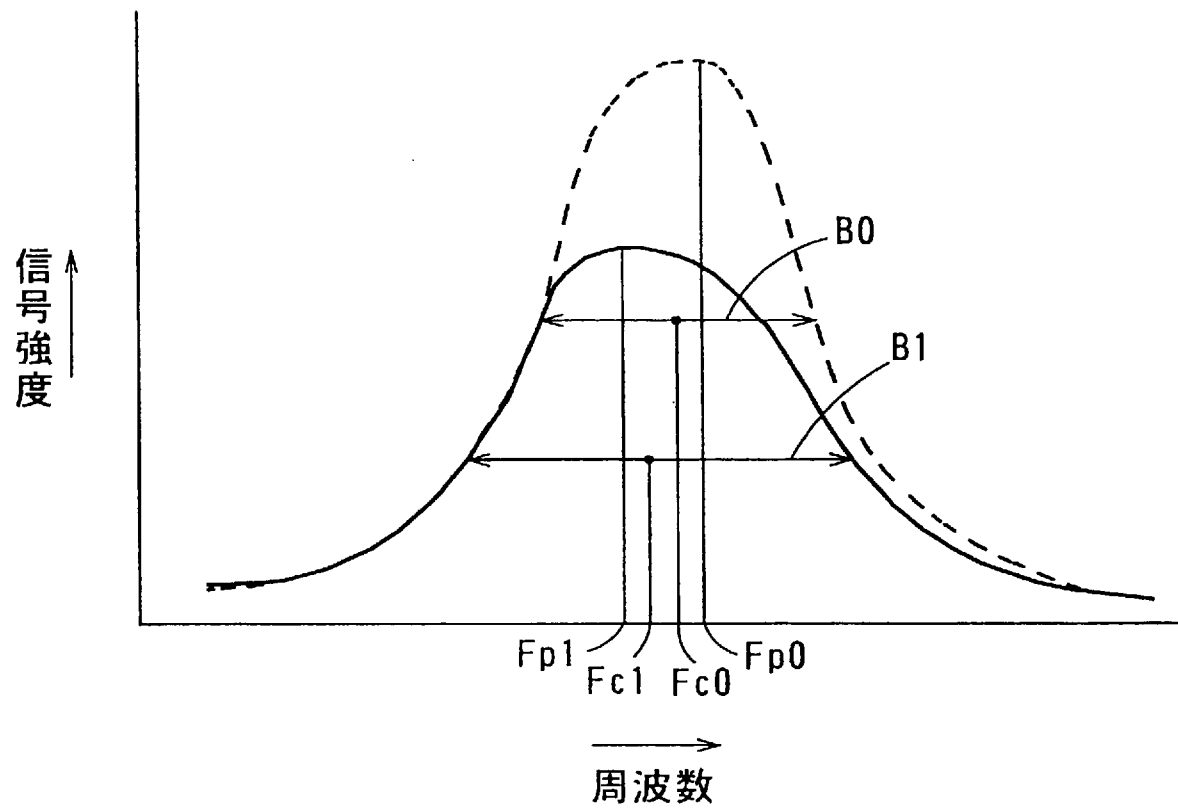
[図11]



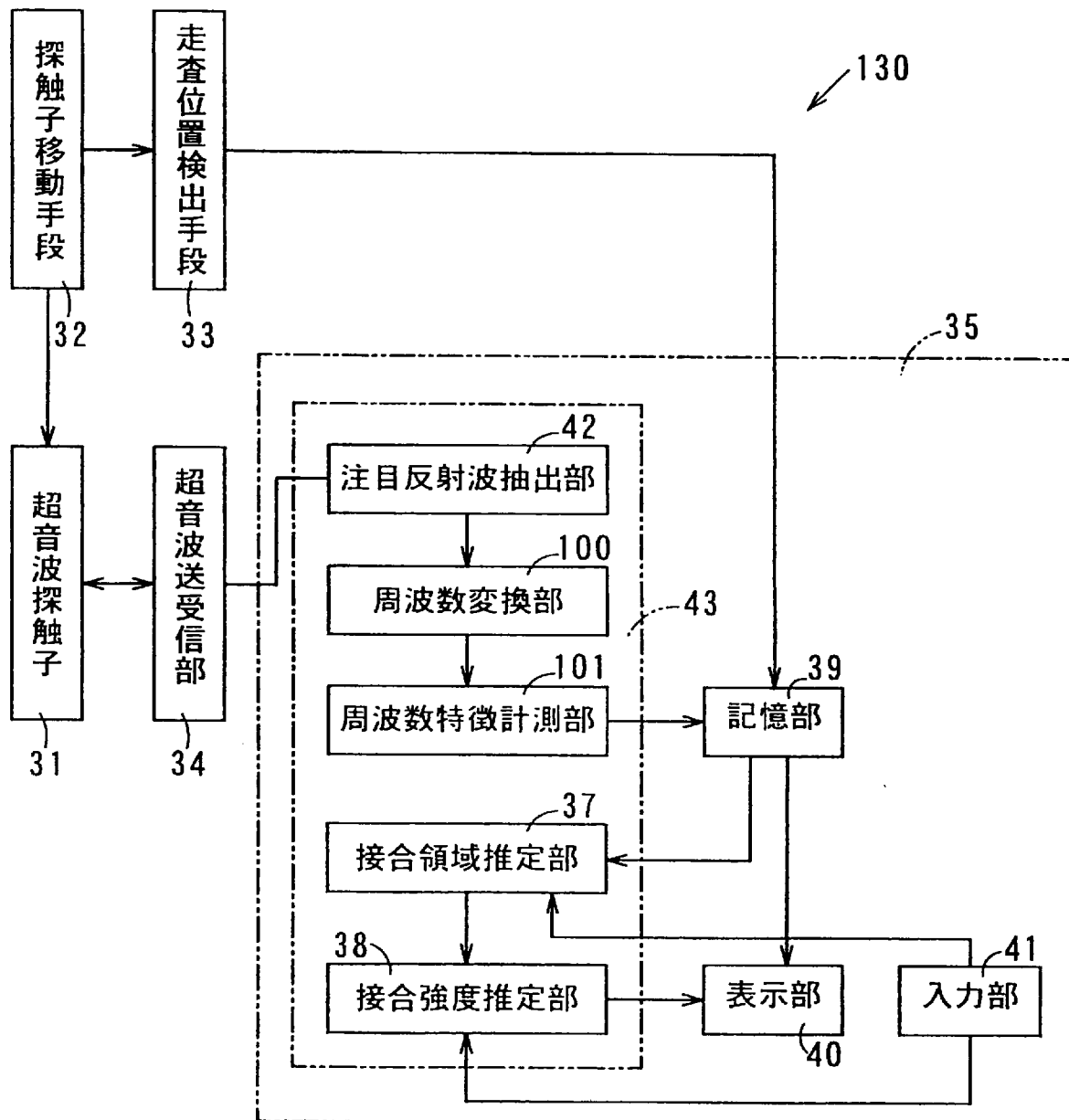
[図12]



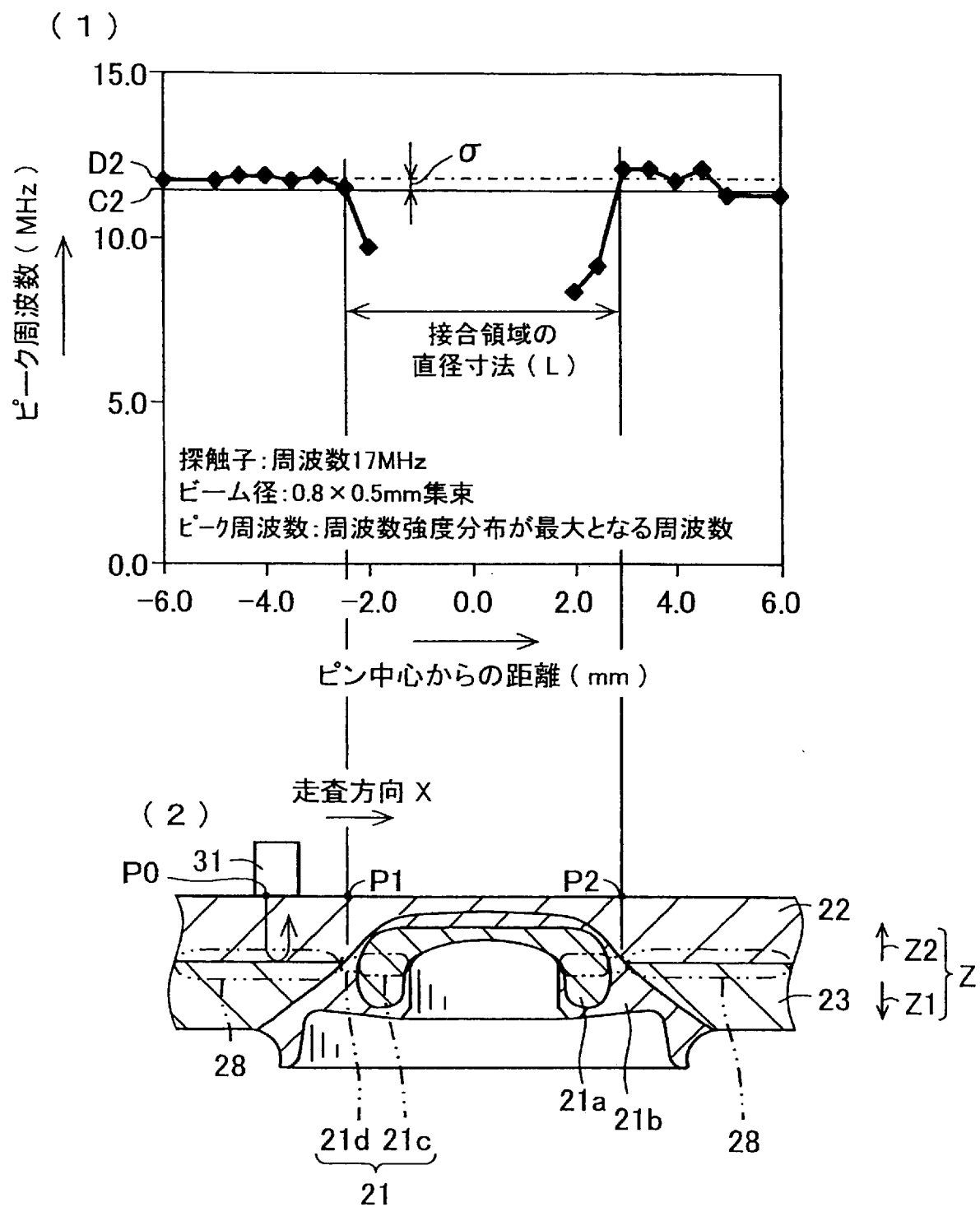
[図13]



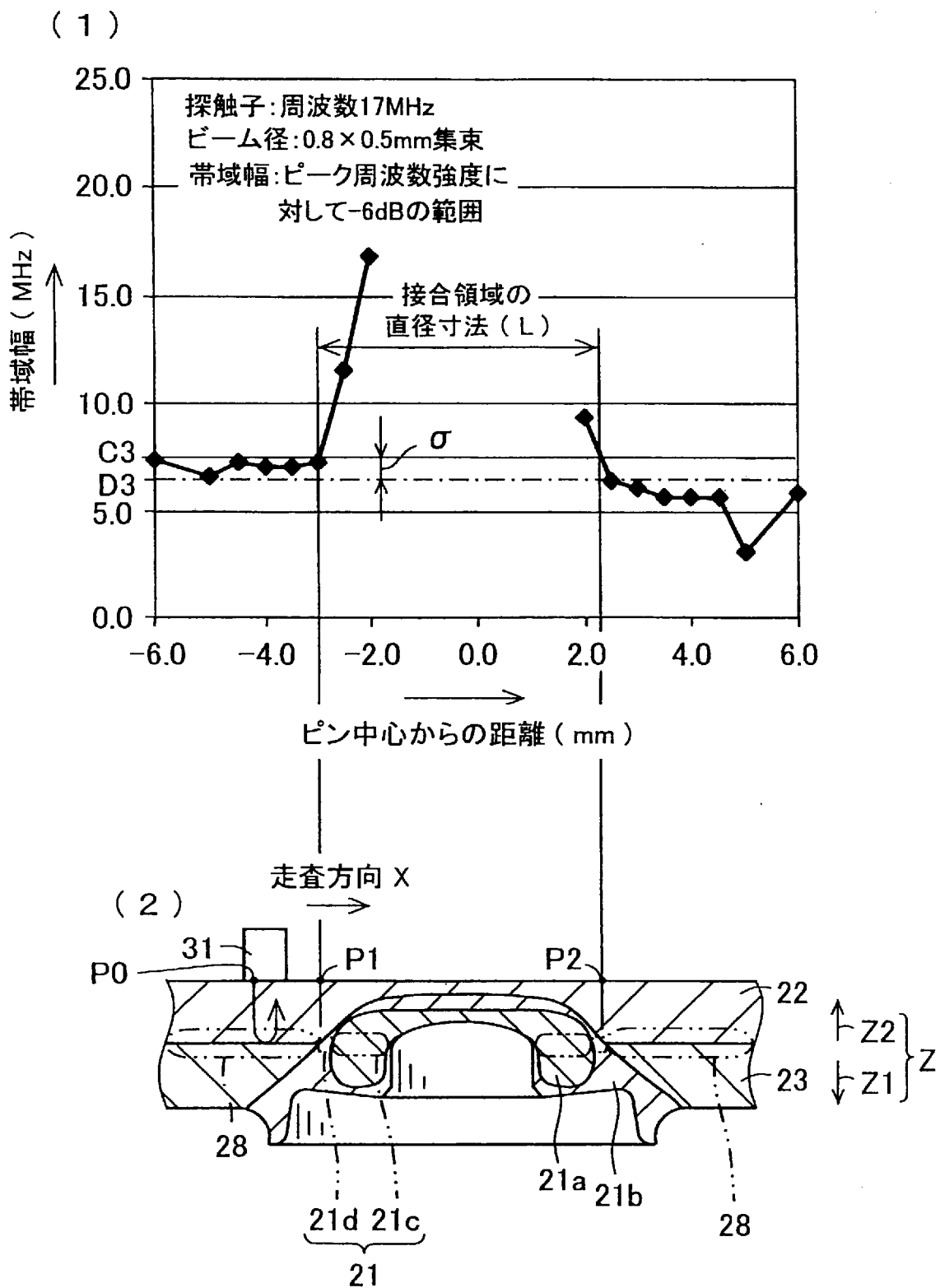
[図14]



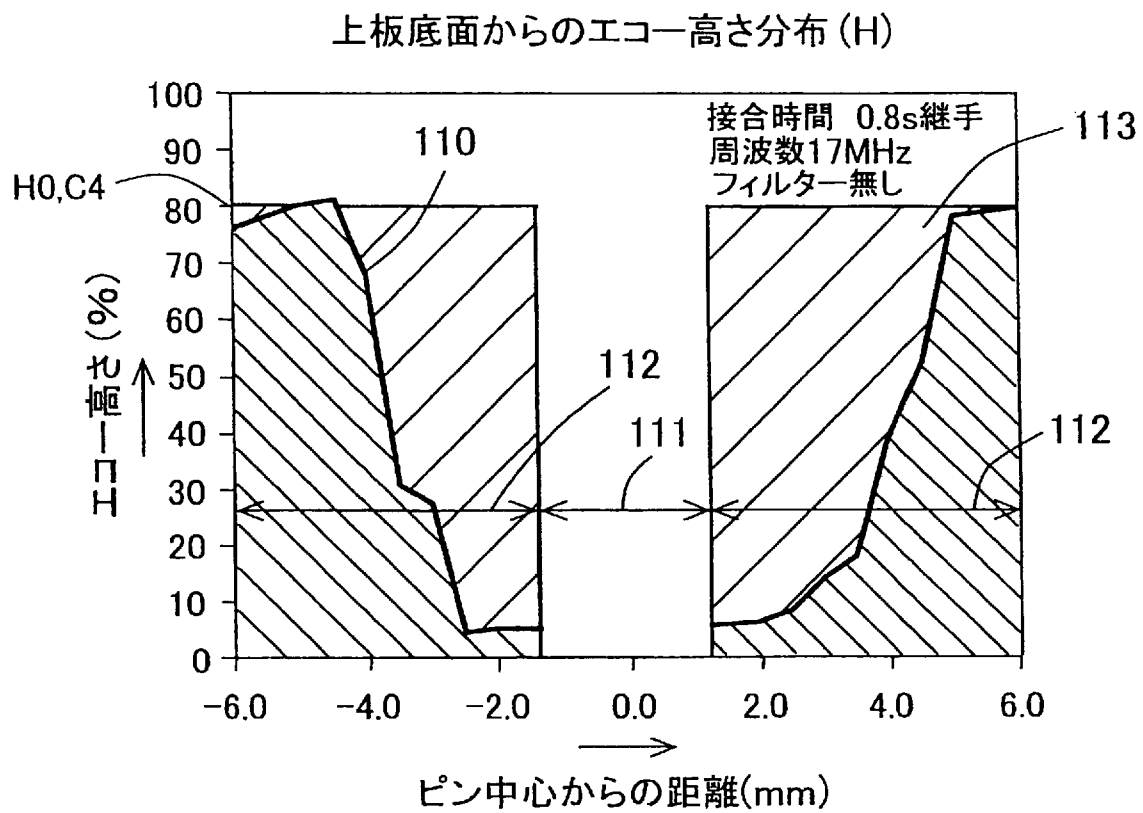
[図15]



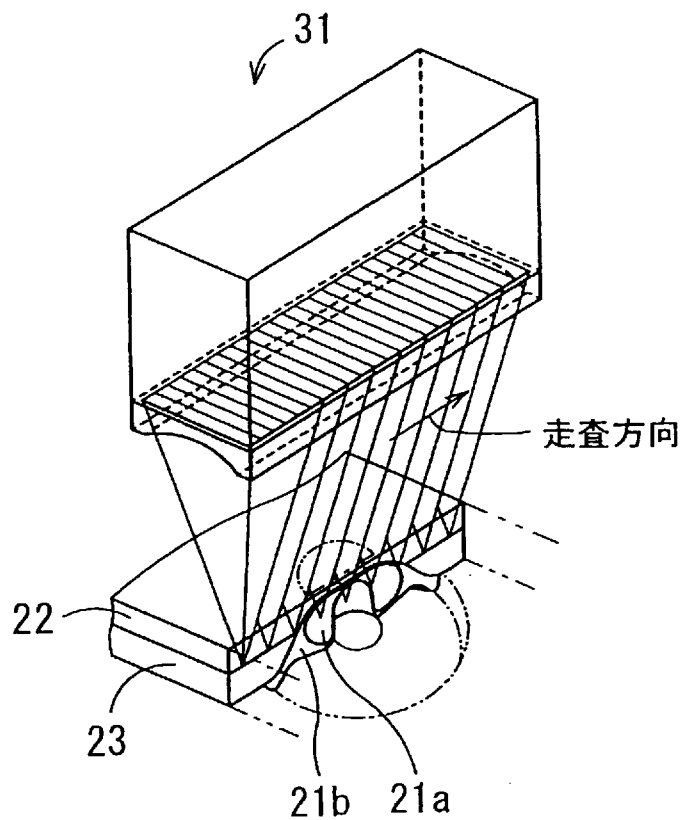
[図16]



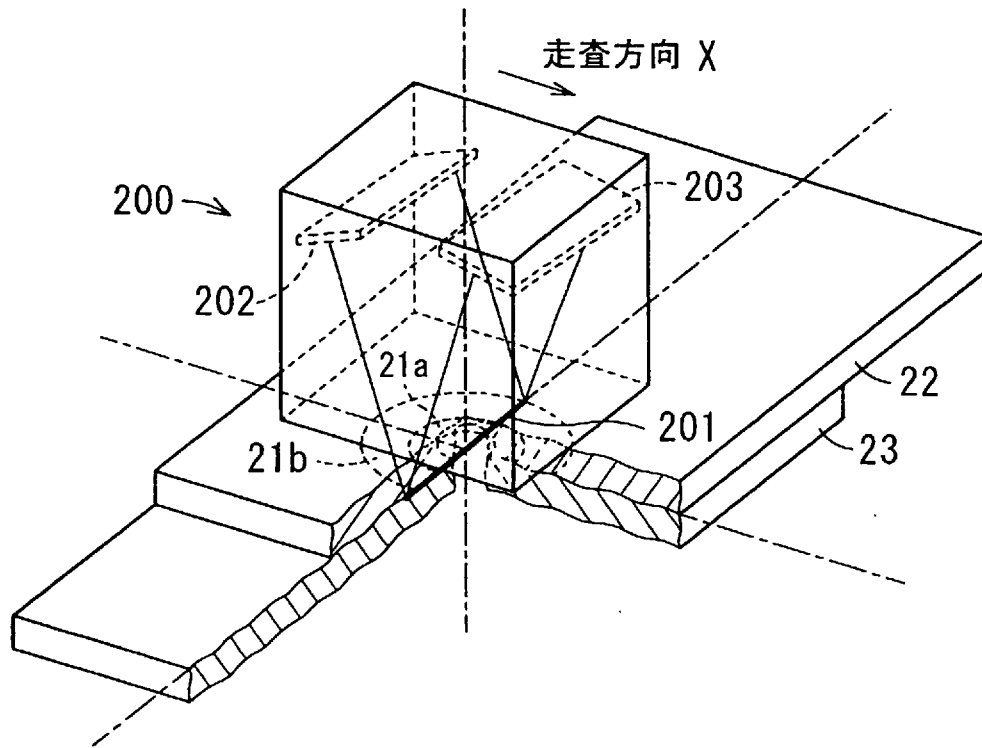
[図17]



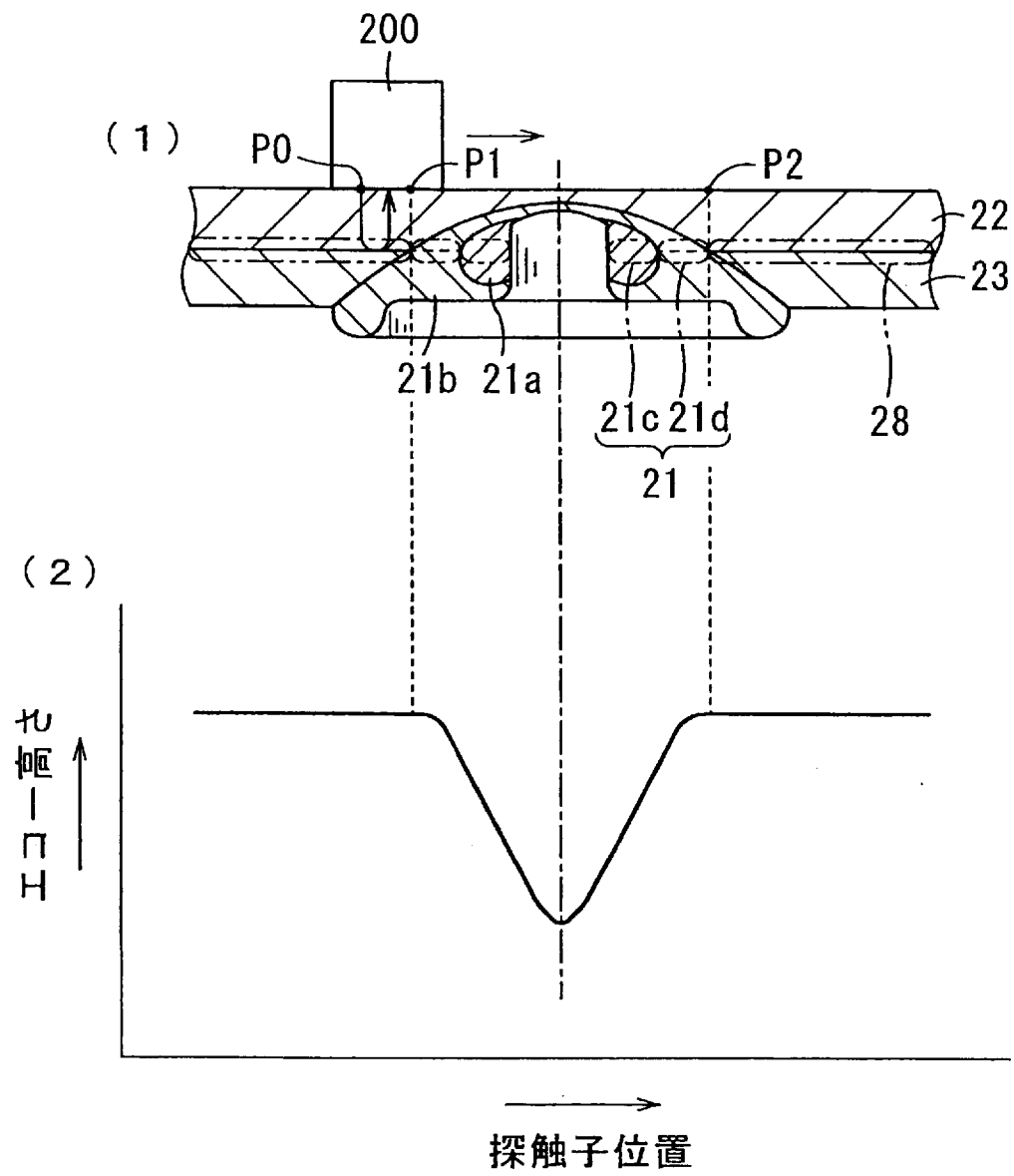
[図18]



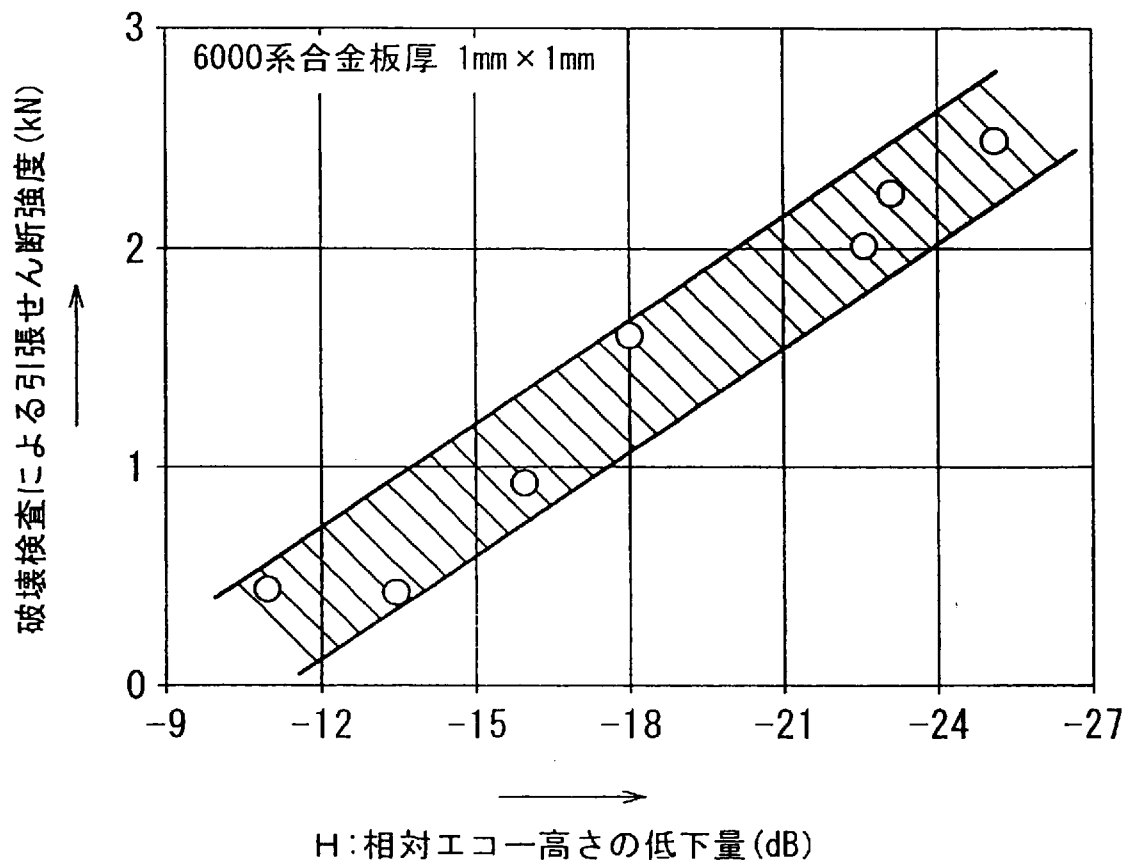
[図19]



[図20]

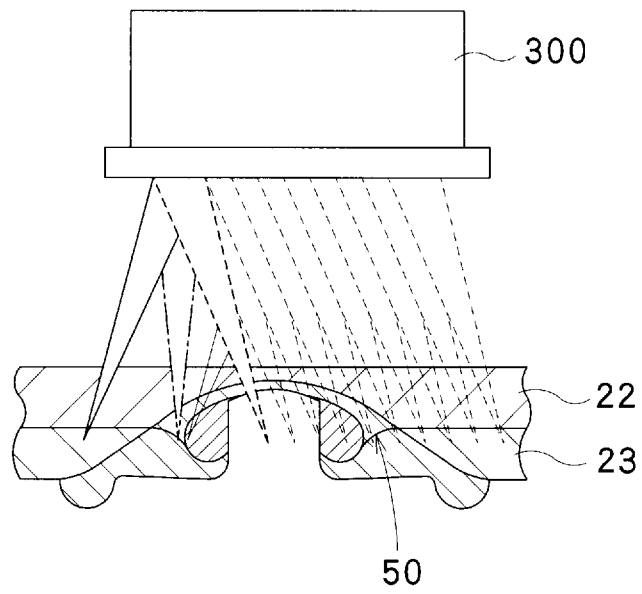


[図21]

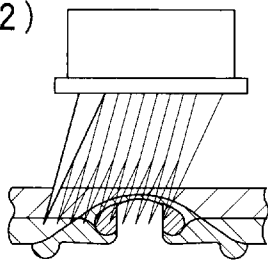


[図22]

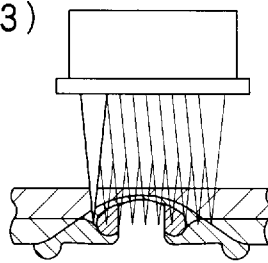
(1)



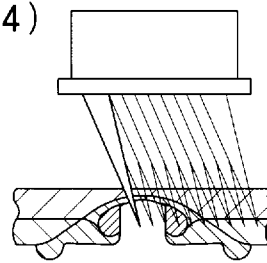
(2)



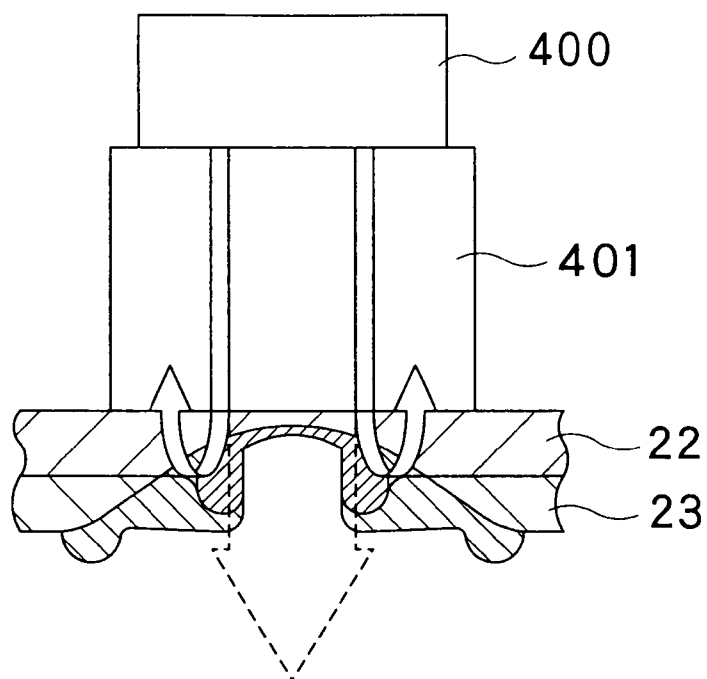
(3)



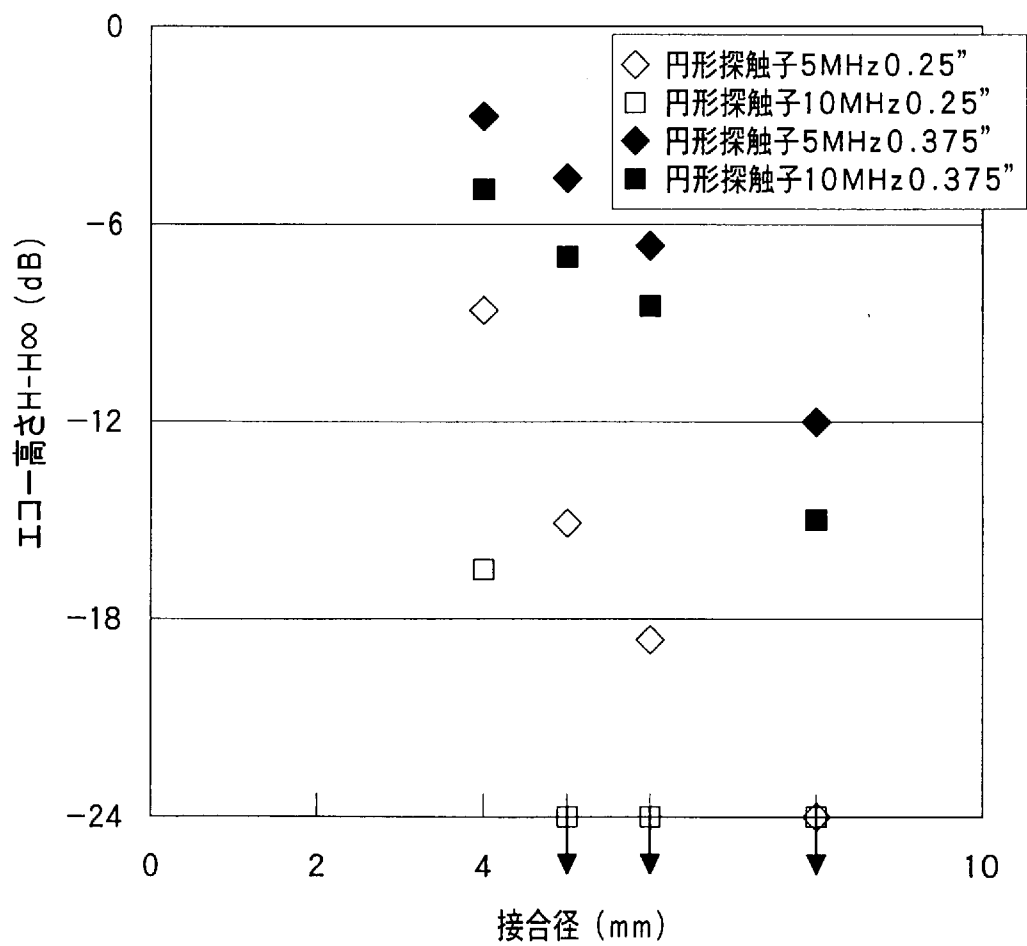
(4)



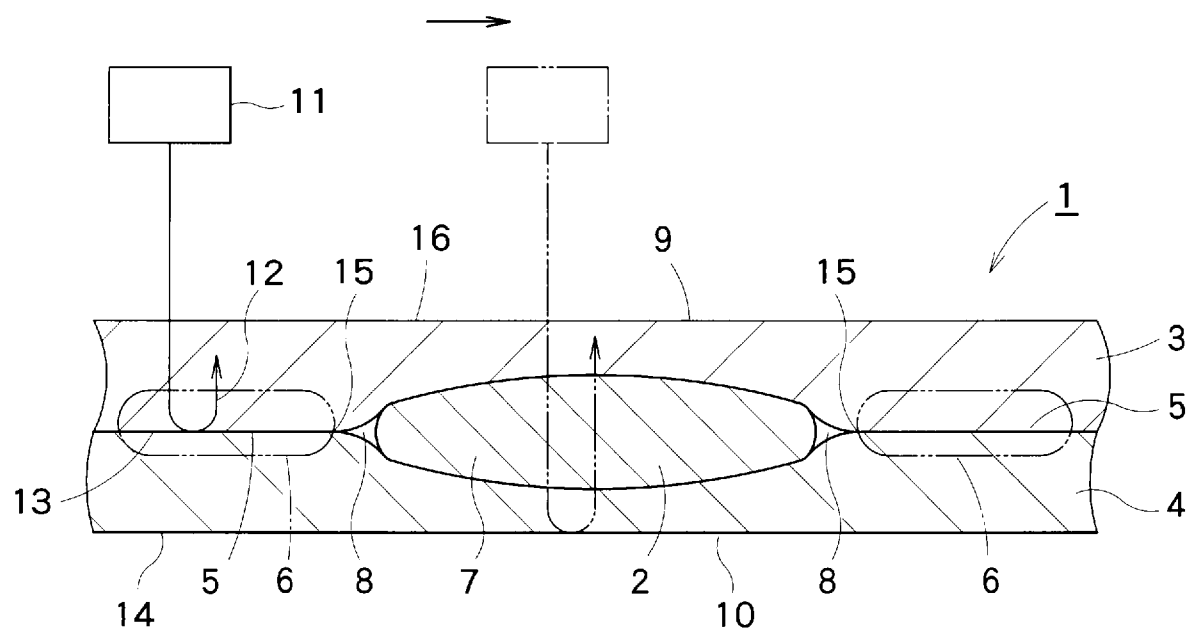
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055496

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N29/04(2006.01)i, G01N29/44(2006.01)i, G01N19/04(2006.01)i, B23K20/12(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, G01N19/00-19/10, B23K20/00-20/26

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 1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007

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

JST7580 (JDream2), JSTPlus (JDream2)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2004/112985 A1 (Honda Motor Co., Ltd.), 29 December, 2004 (29.12.04), Full text; all drawings & JP 2004-317475 A & JP 2005-7407 A & JP 2005-7418 A & JP 2005-7994 A & JP 2005-22070 A & JP 2005-52884 A	1-14
Y	JP 56-35057 A (Nippon Steel Corp.), 07 April, 1981 (07.04.81), Full text; all drawings (Family: none)	1-14
Y	Ping Wu, "Nonlinear Interaction of Ultrasound with an Unbounded Rough Interface", 2005 IEEE Ultrasonics Symposium, Volume 1, 2005, p. 289- 292	1-14

☒ 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
24 April, 2007 (24.04.07)

Date of mailing of the international search report
15 May, 2007 (15.05.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055496

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 3-233352 A (Toyota Motor Corp.), 17 October, 1991 (17.10.91), Full text; all drawings (Family: none)	2-7
Y	JP 2000-146928 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 26 May, 2000 (26.05.00), Full text; all drawings (Family: none)	2-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
 Int.Cl. G01N29/04(2006.01)i, G01N29/44(2006.01)i, G01N19/04(2006.01)i, B23K20/12(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（I P C））
 Int.Cl. G01N29/00-29/52, G01N19/00-19/10, B23K20/00-20/26

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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 0 7 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）
 JST7580(JDream2), JSTPlus(JDream2)

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 請求の範囲の番号
Y	WO 2 0 0 4 / 1 1 2 9 8 5 A 1 (本田技研工業株式会社) 2 0 0 4 . 1 2 . 2 9 , 全文, 全図 & J P 2 0 0 4 - 3 1 7 4 7 5 A & J P 2 0 0 5 - 7 4 0 7 A & J P 2 0 0 5 - 7 4 1 8 A & J P 2 0 0 5 - 7 9 9 4 A & J P 2 0 0 5 - 2 2 0 7 0 A & J P 2 0 0 5 - 5 2 8 8 4 A	1 - 1 4
Y	J P 5 6 - 3 5 0 5 7 A (新日本製鐵株式会社) 1 9 8 1 . 0 4 . 0 7 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 1 4

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ 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 2 4 . 0 4 . 2 0 0 7	国際調査報告の発送日 1 5 . 0 5 . 2 0 0 7
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 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） 遠藤 孝徳 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

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 請求の範囲の番号
Y	Ping Wu, “Nonlinear Interaction of Ultrasound with an Unbounded Rough Interface” , 2005 IEEE Ultrasonics Symposium, Volume 1, 2005, p. 289-292	1 - 1 4
Y	J P 3 - 2 3 3 3 5 2 A (トヨタ自動車株式会社) 1 9 9 1 . 1 0 . 1 7 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	2 - 7
Y	J P 2 0 0 0 - 1 4 6 9 2 8 A (日産自動車株式会社) 2 0 0 0 . 0 5 . 2 6 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	2 - 7