

(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
2021年5月14日(14.05.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/090468 A1

(51) 国際特許分類:

G01N 22/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2019/043797

(22) 国際出願日:

2019年11月8日(08.11.2019)

(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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 松永恵里 (MATSUNAGA Eri); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 美濃谷直志 (MINOTANI Tadashi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 中村昌人 (NAKAMURA

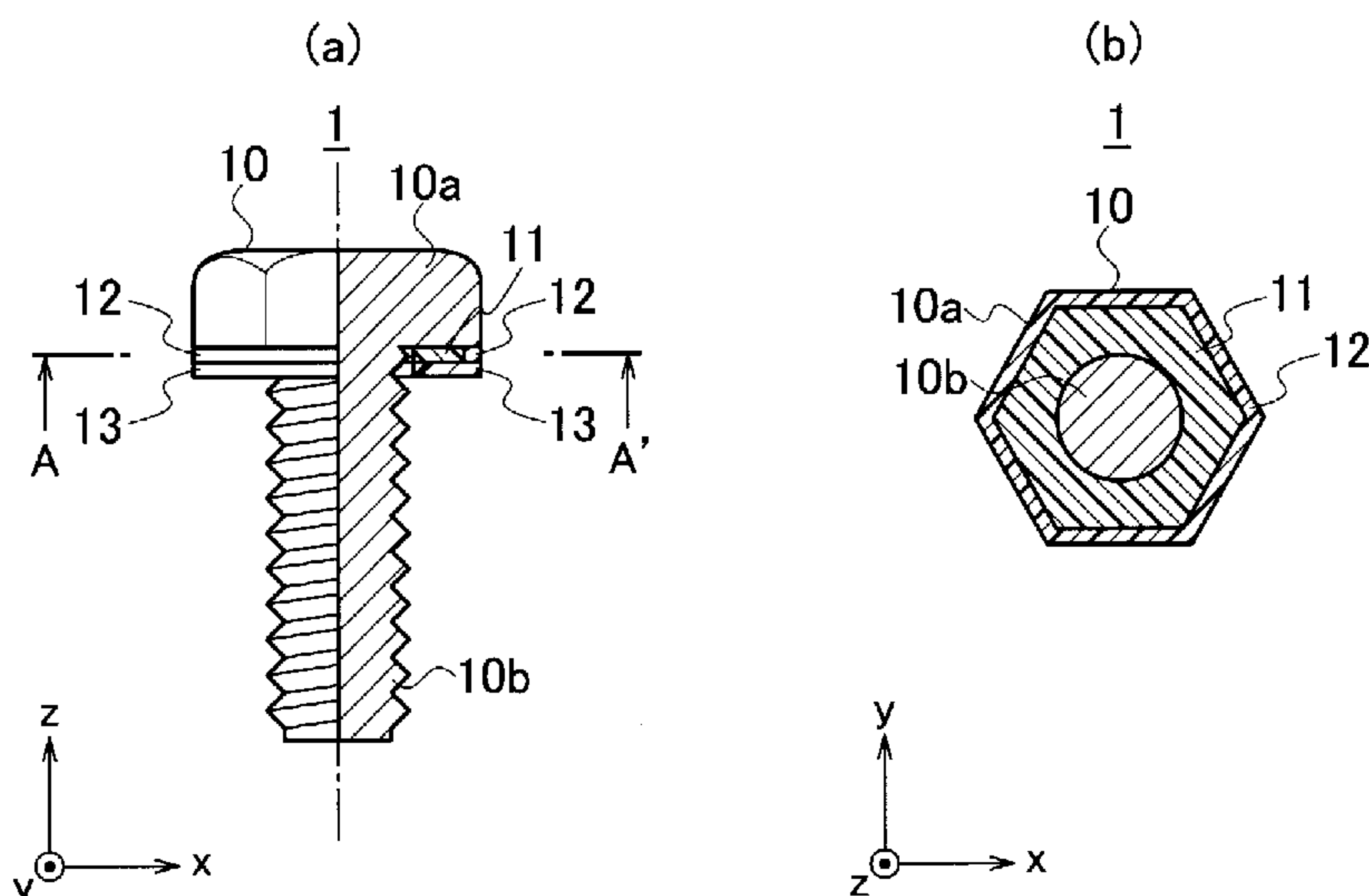
Masahito); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 津田昌幸 (TSUDA Masayuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三好秀和, 外 (MIYOSHI Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目2番8号 虎ノ門琴平タワー 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: LOOSENESS DETECTION STRUCTURE, LOOSENESS DETECTION SYSTEM, AND LOOSENESS DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 緩み検出構造、緩み検出システム、および、緩み検出方法



(57) Abstract: This looseness detection structure used to detect the looseness of a bolt comprises a material 11 that: is disposed between a steel plate 3 to be fixed and a head part 10a of a metallic bolt 10 for fixing the steel plate 3, is attached to a bearing surface of the head part 10a of the bolt 10 or to a metal washer 51 disposed between the steel plate 3 and the head part 10a of the bolt 10, and has an electrical characteristic that changes according to variation in the force with which the bolt 10 is fastened to the steel plate 3.

(57) 要約: ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造において、固定対象の鋼板3と鋼板3を固定する金属性のボルト10の頭部10aとの間に配置され、ボルト10の頭部10aの座面に取り付けられ又は鋼板3とボルト10の頭部10aとの間に配置される座金51に取り付けられ、鋼板3に対するボルト10を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料11を備える。

[続葉有]

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.

(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, ST, 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：
一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：

緩み検出構造、緩み検出システム、および、緩み検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、緩み検出構造、緩み検出システム、および、緩み検出方法に関する。

背景技術

[0002] 非特許文献 1 は、超音波を利用してボルトの緩みを検出する方法を開示する。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：酒井、外 2 名、“超音波を利用したボルト軸力の測定”、日本機械学会論文集（第3部）、43巻、366号、1997年、p. 723-p. 729

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、非特許文献 1 では検査対象のボルトを特定してボルトの緩みを検出するため、見え難い場所に位置するボルト等、検査対象のボルトを特定することが困難である場合、非特許文献 1 の方法を利用できないという課題があった。また、非特許文献 1 では超音波を利用するため、未熟練者による検査は難しいという課題もあった。

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様の緩み検出構造は、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造において、固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前

記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備える。

[0007] 本発明の一態様の緩み検出構造は、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造において、前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備える。

[0008] 本発明の一態様の緩み検出システムは、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造と、前記ボルトの緩みを検出する緩み検出装置と、を備えた緩み検出システムにおいて、前記緩み検出構造は、固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料、又は、前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備え、前記緩み検出装置は、前記ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を出力する出力部と、前記材料を介して帰還した電磁波を入力する入力部と、前記入力した電磁波の測定値を前記ボルトの締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、前記ボルトの緩みを判定する判定部と、を備える。

[0009] 本発明の一態様の緩み検出方法は、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造を用いて、前記ボルトの緩みを検出する緩み検出方法において、前記緩み検出構造は、固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼

板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料、又は、前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備え、緩み検出装置が、前記ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を出力するステップと、前記材料を介して帰還した電磁波を入力するステップと、前記入力した電磁波の測定値を前記ボルトの締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、前記ボルトの緩みを判定するステップと、を行う。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、第1実施形態に係る緩み検出構造の構成を示す図である。

[図2]図2は、第1実施形態に係る緩み検出装置の構成を示す図である。

[図3]図3は、第1実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[図4]図4は、第1実施形態で形成される電気回路を示す図である。

[図5]図5は、第1実施形態に係る緩み検出方法の動作フローを示す図である。

[図6]図6は、時間の経過に伴うボルトの状態遷移を示す図である。

[図7]図7は、ボルトの緩みの判定方法の例を示す図である。

[図8]図8は、ボルトの緩みの判定方法の例を示す図である。

[図9]図9は、第2実施形態に係る緩み検出構造の構成を示す図である。

[図10]図10は、第2実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[図11]図11は、第3実施形態に係る緩み検出構造の構成を示す図である。

[図12]図12は、第3実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[図13]図13は、第3実施形態で形成される電気回路を示す図である。

[図14]図14は、第4実施形態に係る緩み検出構造の構成を示す図である。

[図15]図15は、第5実施形態に係る緩み検出構造の構成を示す図である。

[図16]図16は、第5実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[図17]図17は、緩み検出装置の構築例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態を説明する。図面の記載において同一部分には同一符号を付し説明を省略する。

[0013] [発明の概要]

本発明は、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供するため、ボルトの頭部の座面等に吸湿性の樹脂材料等を細工する。ボルトが緩んだ場合、その吸湿性の樹脂材料等は空気中の水分を取り込み続ける。そこで、これにより吸湿性の樹脂材料等の誘電率が変化したことをマイクロ波等の電磁波で検出してボルトの緩みを判定する。

[0014] [第1実施形態]

[緩み検出構造の構成]

図1は、第1実施形態に係る緩み検出構造1の構成を示す図である。図1(a)は、緩み検出構造1の側面図及び一部断面図である。図1(b)は、図1(a)のA-A'における緩み検出構造1の断面図である。

[0015] 緩み検出構造1は、固定対象の鋼板を固定したボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造を備える。例えば、緩み検出構造1は、金属性のボルト10と、吸湿性の樹脂材料11と、第1のシーリング材12と、第2のシーリング材13と、を備える。

[0016] 金属性のボルト10は、胴部10bを中心軸としてボルト10を回転させるための頭部10aと、ねじ山が形成された胴部10bと、を備える。ボルト10は、例えば、市中に流通している汎用のボルトで実現可能である。

[0017] 吸湿性の樹脂材料（以下、吸湿性材料）11は、固定対象の鋼板と当該鋼

板を固定するボルト 10 の頭部 10 a との間に配置される。吸湿性材料 11 は、ボルト 10 の頭部 10 a の座面（胴部 10 b を有する側の表面）の略全体に粘着剤等に取り付けられており、ボルト 10 の一部として一体的にボルト 10 に組み込まれている。吸湿性材料 11 は、鋼板に対するボルト 10 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料である。例えば、吸湿性材料 11 は、ボルト 10 を締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性の樹脂材料である。吸湿性材料 11 は、例えば、ポリアクリル酸塩系、ポリスルホン酸塩系、無水マレイン酸塩系、ポリアクリルアミド系、ポリビニルアルコール系、ポリエチレンオキシド系、ポリアミン系等の材料を用いて実現可能である。

[0018] 第 1 のシーリング材 12 は、吸湿性材料 11 の側面が露出しないように、図 1（b）に示したように、吸湿性材料 11 の全ての側面を取り囲むように、吸湿性材料 11 の全ての側面を覆うように、吸湿性材料 11 の側面に配置（取り付け・充填）されている。第 1 のシーリング材 12 は、例えば、市中に流通している汎用のシーリング材で実現可能である。

[0019] 第 2 のシーリング材 13 は、吸湿性材料 11 の下面（ボルト 10 の頭部 10 a の座面に接触していない側の表面）が露出しないように、図 1（a）に示したように、吸湿性材料 11 の全ての下面を取り囲むように、吸湿性材料 11 の全ての下面を覆うように、吸湿性材料 11 の下面に配置（取り付け・充填）されている。第 2 のシーリング材 13 は、例えば、市中に流通している汎用のシーリング材で実現可能である。尚、第 2 のシーリング材 13 は、緩み検出構造 1 の未使用時（ボルト 10 を締め付ける前、施工前）に吸湿性材料 11 が下面の表面から空気中の水分を取り込むことを防止するためのものであり、緩み検出構造 1 の使用開始時（ボルト 10 を締め付けた時、施工時）に、剥がして吸湿性材料 11 の下面を露出させる。

[0020] [緩み検出装置の構成]

図 2 は、第 1 実施形態に係る緩み検出装置 2 の構成を示す図である。緩み検出装置 2 は、ボルトの緩みを検出する緩み検出装置である。緩み検出装置

2 は、掃引部 2 0 と、出力部 2 1 と、入力部 2 2 と、判定部 2 3 と、結果出力部 2 4 と、記憶部 2 5 と、を備える。

[0021] 掃引部 2 0 は、所定の範囲の周波数を掃引する機能部である。

[0022] 出力部 2 1 は、掃引部 2 0 で掃引された周波数を有する電磁波であって、ボルト 1 0 の緩みを検出するために用いる電磁波を生成して、その電磁波を緩み検出構造 1 へ出力する機能部である。例えば、出力部 2 1 は、マイクロ波等の高周波数帯の電磁波（高周波信号）を生成し、その電磁波をボルト 1 0 の頭部 1 0 a に伝搬させる。

[0023] 入力部 2 2 は、出力部 2 1 から緩み検出構造 1 へ出力され、その緩み検出構造 1 から帰還した電磁波を入力する機能を備える。例えば、入力部 2 2 は、吸湿性材料 1 1 を介して固定対象の鋼板を通じて帰還した電磁波を入力する。

[0024] 判定部 2 3 は、緩み検出構造 1 の使用開始時（ボルト 1 0 を締め付けた時、施工時）に測定した電磁波の測定値を記憶部 2 5 から読み出して、入力部 2 2 から入力した電磁波の測定値を当該使用開始時の電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、ボルト 1 0 の緩みを判定する機能部である。

[0025] 結果出力部 2 4 は、判定部 2 3 で行われたボルト 1 0 の緩みの判定結果をディスプレイ、印刷装置等へ出力する機能部である。

[0026] 記憶部 2 5 は、緩み検出構造 1 の使用開始時（ボルト 1 0 を締め付けた時、施工時）に測定していた電磁波の測定値を測定時刻に関連付けて読み出し可能に記憶する機能を備える。記憶部 2 5 は、入力部 2 2 から入力した電磁波の測定値を測定時刻に関連付けて読み出し可能に記憶する機能を備える。

[0027] このような、掃引部 2 0、出力部 2 1、入力部 2 2 は、例えば、電磁波を生成して入出力させる電磁波制御装置、電磁波制御回路等で実現可能である。判定部 2 3、結果出力部 2 4、記憶部 2 5 は、CPU、メモリ等を備えたコンピュータで実現可能である。

[0028] [緩み検出システムの構成]

図3は、第1実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。緩み検出システムは、図1に示した緩み検出構造1と、図2に示した緩み検出装置2と、を組み合わせで構成される。

[0029] ユーザは、ボルト10で固定対象の鋼板を固定する施工時、第2のシーリング材13を剥がして吸湿性材料11の下面を露出させる。そして、ユーザは、固定対象である第1の鋼板3と第2の鋼板4とを重ね、ボルト10の胴部10bをそれらの固定用の孔H1と孔H2とに貫通させ、ボルト10の頭部10a又はナット5を回転させて第1の鋼板3と第2の鋼板4とを固定する。これにより、吸湿性材料11の下面は、施工時に再び非露出状態となる。また、吸湿性材料11の側面も、第1のシーリング材12により非露出状態である。

[0030] その後、ユーザは、緩み検出装置2とボルト10の頭部10aとを第1の伝送線6Aで接続し、緩み検出装置2と第1の鋼板3とを第2の伝送線6Bで接続する。これにより、図4に示すように、緩み検出装置2と、第1の伝送線6Aと、ボルト10の頭部10aと、吸湿性材料11と、第1の鋼板3と、第2の伝送線6Bとにより、電磁波が伝搬可能な一の電気回路が形成される。

[0031] [緩み検出装置の動作]

図5は、第1実施形態に係る緩み検出装置2で行う緩み検出方法の動作フローを示す図である。

[0032] ステップS1；

まず、掃引部20は、所定の範囲の周波数を掃引する。

[0033] ステップS2；

次に、出力部21は、掃引部20で掃引された周波数の電磁波（マイクロ波等）を生成し、第1の伝送線6Aを介して、その電磁波をボルト10の頭部10aに伝搬させる。これにより、その電磁波は、ボルト10の頭部10aと、吸湿性材料11と、第1の鋼板3とを、その順に順次伝搬する。

[0034] ステップS3；

次に、入力部 2 2 は、第 2 の伝送線 6 B を介して、第 1 の鋼板 3 から帰還した電磁波を入力する。

[0035] ステップ S 4 ；

次に、判定部 2 3 は、施工時に測定していた電磁波の測定値を記憶部 2 5 から読み出して、ステップ S 3 で入力した電磁波の測定値を当該施工時の電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、ボルト 1 0 の緩みを判定する。

[0036] ステップ S 5 ；

最後に、結果出力部 2 4 は、ステップ S 4 の判定結果をディスプレイの画面に出力する。

[0037] 図 6 の上側に示すように、ボルト 1 0 を締め付けた施工時には、吸湿性材料 1 1 の下面は、第 1 の鋼板 3 の表面に接触しており、第 1 の鋼板 3 により覆われているので、非露出状態である。一方、時間の経過に伴いボルト 1 0 に緩みが生じた場合、図 6 の下側に示すように、吸湿性材料 1 1 の下面は、第 1 の鋼板 3 と離間するので、露出状態に変化する。

[0038] それ故、吸湿性材料 1 1 の下面は空気と接するようになり、吸湿性材料 1 1 は、露出した下面の表面から空気中の水分や雨を吸湿する。その結果、吸湿性材料 1 1 の誘電率変動し、又は吸湿性材料 1 1 が膨張する。そこで、マイクロ波等の電磁波を吸湿性材料 1 1 に伝搬させ、吸湿性材料 1 1 の誘電率の違いによる共振周波数のシフト（ピークシフト）の有無を検出する。つまり、吸湿性材料 1 1 が水分を吸収すると自身の誘電率が上昇するため、伝搬させる電磁波の実効波長が短くなり、短波長側に共振周波数がシフトする。この共振周波数のシフトの有無を検出する。

[0039] 例えば、図 7 に示すように、施工時における電磁波の共振周波数 α が施工後の所定のタイミングにおいて β のようにシフトしているか否かで検出する。又は、図 8 に示すように、予め定めた観測周波数範囲である W の範囲内に共振周波数があるか否かを観測することでボルト 1 0 の緩みを検出する。これら 2 つの方法を組み合わせてもよい。

[0040] [第1のシーリング材12の変形例]

本実施形態では、吸湿性材料11の側面に第1のシーリング材12を配置した場合について説明した。一方、ボルト10を締め付けると吸湿性材料11の厚さは非常に薄くなるので、吸湿性材料11の側面から取り込まれる水分量は、吸湿性材料11の下面から取り込まれる水分量に比べて極めて小さい。そこで、吸湿性材料11の側面から微量な水分量を取り込んだ時の測定値を施工時の測定値と定義すれば、第1のシーリング材12は、必ずしも使用しなくてもよい。

[0041] [吸湿性材料11の変形例1]

本実施形態では、吸湿性材料11を例に用いて説明した。一方、鋼板に対するボルト10を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料であれば、吸湿性材料11以外でもよい。例えば、吸湿性材料11に代えて、ボルト10の頭部10aの座面に、例えば、圧電体、強誘電体等、圧力を加えると電気を通す絶縁体を配置する。強誘電体は、例えば、リラクサ強誘電体を材料に用いて実現可能である。

[0042] ボルト10が締め付けられている場合、ボルト10の頭部10aと第1の鋼板3との間に圧力がかかっているので、当該絶縁体の誘電率は低い。一方、ボルト10が緩んだ場合、そのかかっていた圧力は低下するので、当該絶縁体の誘電率は高くなる。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。

[0043] [吸湿性材料11の変形例2]

本実施形態では、吸湿性材料11を例に用いて説明した。一方、鋼板に対するボルト10を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料であれば、吸湿性材料11以外でもよい。例えば、吸湿性材料11に代えて、ボルト10の頭部10aの座面に、例えば、Mott絶縁体（モット絶縁体）等、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体を配置する。Mott絶縁体は、例えば、 ReNiO_3 等の材料を用いて実現可能である。

[0044] ボルト10が締め付けられている場合、ボルト10の頭部10aと第1の

鋼板 3 との間に圧力がかかっているので、当該絶縁体の電気抵抗は小さく、ショート状態（短絡状態）になる。一方、ボルト 10 が緩んだ場合、そのかかっていた圧力は低下するので、当該絶縁体の電気抵抗が増加し、オープン状態（非短絡状態）になる。つまり、当該絶縁体の誘電率が変化する。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。

[0045] [第 2 実施形態]

 [緩み検出構造の構成]

図 9 は、第 2 実施形態に係る緩み検出構造 1 の構成を示す図である。第 2 実施形態に係る緩み検出構造 1 では、第 1 実施形態で説明した緩み検出構造 1 に、アンテナ 7 を追加する。アンテナ 7 は、第 1 の伝送線 6 A を用いて、ボルト 10 の頭部 10 a に接続される。アンテナ 7 は、ボルト 10 の緩みを検出するために用いる電磁波を無線で受信し、吸湿性材料 11 を通過した電磁波を無線で送信する機能を備える。アンテナ 7 は、例えば、市中に流通している汎用のアンテナロッドで実現可能である。必要に応じて、電磁波を無線で送受信する送受信回路を更に備えてもよい。アンテナ 7 及び送受信回路以外の緩み検出構造 1 の構成は、第 1 実施形態で説明した緩み検出構造 1 の構成と同様である。

[0046] [緩み検出装置及び緩み検出システムの構成]

図 10 は、第 2 実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。第 2 実施形態に係る緩み検出装置 2 は、無人航空機、無人飛行体であるドローン 30 の内部に配置される。第 2 実施形態に係る緩み検出装置 2 では、ボルト 10 の緩みを検出するために用いる電磁波を無線で緩み検出構造 1 へ送信し、その緩み検出構造 1 から帰還した電磁波を無線で受信するアンテナを追加する。必要に応じて、電磁波を無線で送受信する送受信回路を更に備えてもよい。このアンテナ及び送受信回路も、例えば、市中に流通している汎用のアンテナロッド及び無線の送受信回路で実現可能である。アンテナ及び送受信回路以外の緩み検出装置 2 の構成は、第 1 実施形態で説明した緩み検

出装置 2 の構成と同様である。尚、緩み検出構造 1 に追加されたアンテナ 7 は、第 1 の伝送線 6 A を用いてボルト 10 の頭部 10 a に接続されるとともに、第 2 の伝送線 6 B を用いて第 1 の鋼板 3 に接続される。

[0047] [緩み検出装置の動作]

第 2 実施形態に係る緩み検出装置 2 の動作は、緩み検出装置 2 と緩み検出構造 1 とが互いに電磁波を無線で送受信する。それ以外の動作は、第 1 実施形態で説明した動作と同様である。

[0048] [ドローン 30 の変形例]

本実施形態では、緩み検出装置 2 をドローン 30 の内部に配置した場合について説明した。ドローン 30 に代えて、例えば、移動点検車等の外部媒体に緩み検出装置 2 を搭載してもよい。

[0049] [第 3 実施形態]

 [緩み検出構造の構成]

図 11 は、第 3 実施形態に係る緩み検出構造 1 の構成を示す図である。図 11 (a) は、緩み検出構造 1 の側面図及び断面図である。図 1 (b) は、図 1 (a) の下面図である。

[0050] 緩み検出構造 1 は、固定対象の鋼板を固定したボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造を備える。例えば、緩み検出構造 1 は、金属性のボルト 10 を備える。

[0051] 金属性のボルト 10 は、第 1 実施形態と同様に、胴部 10 b を中心軸としてボルト 10 を回転させるための頭部 10 a と、ねじ山が形成された胴部 10 b と、を備える。ボルト 10 は、例えば、市中に流通している汎用のボルトで実現可能である。

[0052] 第 3 実施形態では、ボルト 10 は、金属性の内層 14 と、吸湿性材料 11 と、金属性の外層 15 と、第 2 のシーリング材 13 と、で構成される。

[0053] 内層 14 は、ボルト 10 の内部に形成される。内層 14 は、例えば、T 形状の金型に金属材料を流し込むことで実現可能である。

[0054] 吸湿性材料 11 は、ボルト 10 の内層 14 とボルト 10 の外層 15 との間

の中空領域内に配置される。吸湿性材料 11 は、ボルト 10 の内層 14 とボルト 10 の外層 15 とにより当該中空領域内に密閉され、ボルト 10 の一部として一体的にボルト 10 に組み込まれている。吸湿性材料 11 は、鋼板に対するボルト 10 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料である。例えば、吸湿性材料 11 は、第 1 実施形態と同様に、ボルト 10 を締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性の樹脂材料である。吸湿性材料 11 は、例えば、ポリアクリル酸塩系、ポリスルホン酸塩系、無水マレイン酸塩系、ポリアクリルアミド系、ポリビニルアルコール系、ポリエチレンオキシド系、ポリアミン系等の材料を用いて実現可能である。

[0055] 外層 15 は、ボルト 10 の外部を形成する。外層 15 は、ボルト 10 の頭部 10a の座面を構成する箇所に、空気を通過させ入力するための複数の空気孔 H3 が形成されている。外層 15 は、ボルト形状の金型に金属材料を流し込むことで実現可能である。

[0056] 第 2 のシーリング材 13 は、ボルト 10 の内部に配置された吸湿性材料 11 が露出しないように、複数の空気孔 H3 の内部に配置（取り付け・充填）されている。第 2 のシーリング材 13 は、例えば、市中に流通している汎用のシーリング材で実現可能である。尚、第 2 のシーリング材 13 は、緩み検出構造 1 の未使用時（ボルト 10 を締め付ける前、施工前）に吸湿性材料 11 が空気孔 H3 を介して空気中の水分を取り込むことを防止するためのものであり、緩み検出構造 1 の使用開始時（ボルト 10 を締め付けた時、施工時）に、取り除いてボルト 10 内の吸湿性材料 11 を露出させる。

[0057] [緩み検出装置の構成]

第 3 実施形態に係る緩み検出装置 2 の構成は、第 1 実施形態に係る緩み検出装置 2 の構成と同様である。

[0058] [緩み検出システムの構成]

図 12 は、第 3 実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[0059] ユーザは、ボルト 10 で固定対象の鋼板を固定する施工時、第 2 のシーリ

ング材 13 を取り除いてボルト 10 内の吸湿性材料 11 を露出させる。そして、ユーザは、固定対象である第 1 の鋼板 3 と第 2 の鋼板 4 とを重ね、ボルト 10 の胴部 10b をそれらの固定用の孔 H1 と孔 H2 とに貫通させ、ボルト 10 の頭部 10a 又はナット 5 を回転させて第 1 の鋼板 3 と第 2 の鋼板 4 とを固定する。これにより、吸湿性材料 11 は、施工時に再び非露出状態となる。

[0060] その後、ユーザは、緩み検出装置 2 とボルト 10 の内層 14 とを第 1 の伝送線 6A で接続し、緩み検出装置 2 とボルト 10 の外層 15 とを第 2 の伝送線 6B で接続する。これにより、図 13 に示すように、緩み検出装置 2 と、第 1 の伝送線 6A と、ボルト 10 の内層 14 と、吸湿性材料 11 と、ボルト 10 の外層 15 と、第 2 の伝送線 6B とにより、電磁波が伝搬可能な一の電気回路が形成される。

[0061] [緩み検出装置の動作]

ボルト 10 を締め付けた施工時には、ボルト 10 内の吸湿性材料 11 は、空気孔 H3 が第 1 の鋼板 3 により塞がれているので、非露出状態である。一方、時間の経過に伴いボルト 10 に緩みが生じた場合、吸湿性材料 11 は、空気孔 H3 が第 1 の鋼板 3 と離間するので、空気孔 H3 を通じて露出状態に変化する。

[0062] それ故、吸湿性材料 11 は空気と接するようになり、吸湿性材料 11 は、露出した表面から空気中の水分や雨を吸湿する。その結果、吸湿性材料 11 が膨張し、吸湿性材料 11 の誘電率が変動する。そこで、ボルト 10 の頭部 10a の表面に接地をとり、ボルト 10 内に埋め込んだ吸湿性材料 11 との間に電圧を誘起し、吸湿性材料 11 に伝搬する電磁波の周波数特性を観測する。そして、ボルト 10 が緩んで吸湿性材料 11 の誘電率が変化することを共振周波数のシフト又は観測周波数範囲における共振周波数の有無で判定する。

[0063] 尚、第 3 実施形態に係る緩み検出装置 2 の具体的動作は、第 1 実施形態で説明した動作と同様である。

[0064] [吸湿性材料 11 の変形例 1]

第 1 実施形態と同様に、吸湿性材料 11 に代えて、ボルト 10 内に、例えば、圧電体、強誘電体等、圧力を加えると電気を通す絶縁体を配置（埋め込み）してもよい。ボルト 10 が緩むと当該絶縁体に対する圧力も変動するので、当該絶縁体の誘電率は変化する。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。尚、当該絶縁体の場合、絶縁体に対する圧力の有無に基づき判定し、吸湿性材料 11 のような空気中の水分の取り込みを判定の要素とはしないので、空気孔 H3 を設ける必要はない。

[0065] [吸湿性材料 11 の変形例 2]

第 1 実施形態と同様に、吸湿性材料 11 に代えて、ボルト 10 内に、例えば、Mott 絶縁体（モット絶縁体）等、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体を配置（埋め込み）してもよい。ボルト 10 が緩むと当該絶縁体に対する圧力も変動するので、当該絶縁体の誘電率は変化する。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。尚、当該絶縁体の場合、絶縁体に対する圧力の有無に基づき判定し、吸湿性材料 11 のような空気中の水分の取り込みを判定の要素とはしないので、空気孔 H3 を設ける必要はない。

[0066] [第 4 実施形態]

[緩み検出構造の構成]

図 14 は、第 4 実施形態に係る緩み検出構造 1 の構成を示す図である。第 4 実施形態に係る緩み検出構造 1 では、第 3 実施形態で説明した緩み検出構造 1 に、第 2 実施形態と同様に、アンテナ 7 を追加する。アンテナ 7 は、第 1 の伝送線 6A を用いてボルト 10 の内層 14 に接続されるとともに、第 2 の伝送線 6B を用いてボルト 10 の外層 15 に接続される。アンテナ 7 は、例えば、市中に流通している汎用のアンテナロッドで実現可能である。必要に応じて、電磁波を無線で送受信する送受信回路を更に備えてもよい。アンテナ 7 及び送受信回路以外の緩み検出構造 1 の構成は、第 1 実施形態で説明

した緩み検出構造 1 の構成と同様である。

[0067] [緩み検出装置及び緩み検出システムの構成]

第 4 実施形態に係る緩み検出装置 2 は、第 2 実施形態と同様に、無人航空機、無人飛行体であるドローン 30 の内部に配置される。第 4 実施形態に係る緩み検出装置 2 では、ボルト 10 の緩みを検出するために用いる電磁波を無線で緩み検出構造 1 へ送信し、その緩み検出構造 1 から帰還した電磁波を無線で受信するアンテナを追加する。必要に応じて、電磁波を無線で送受信する送受信回路を更に備えてもよい。このアンテナ及び送受信回路も、例えば、市中に流通している汎用のアンテナロッド及び無線の送受信回路で実現可能である。アンテナ及び送受信回路以外の緩み検出装置 2 の構成は、第 1 実施形態で説明した緩み検出装置 2 の構成と同様である。

[0068] [緩み検出装置の動作]

第 4 実施形態に係る緩み検出装置 2 の動作は、第 2 実施形態と同様に、緩み検出装置 2 と緩み検出構造 1 とが互いに電磁波を無線で送受信する。それ以外の動作は、第 1 実施形態で説明した動作と同様である。

[0069] [ドローン 30 の変形例]

第 2 実施形態と同様に、ドローン 30 に代えて、例えば、移動点検車等の外部媒体に緩み検出装置 2 を搭載してもよい。

[0070] [第 5 実施形態]

 [緩み検出構造の構成]

第 1 実施形態～第 4 実施形態では、ボルトの緩みを検出するために用いる吸湿性材料 11 を、ボルト 10 の一部として一体的にボルト 10 に組み込んだ場合について説明した。一方、第 5 実施形態では、吸湿性材料 11 を、座金（ワッシャー）の一部として一体的に座金に組み込む場合について説明する。座金は、被構造物の陥没や塑性変形を防止するために、ボルトの頭部と鋼板との間に挟んで用いられる。座金はボルトの頭部と鋼板との間に配置されるので、吸湿性材料 11 がボルトの頭部と鋼板との間に配置されていることと位置的に同じである。そのため、吸湿性材料 11 を座金の一部として組

み込んだ場合でも、第1実施形態～第4実施形態の効果と同様の効果が得られる。

[0071] 図15は、第5実施形態に係る緩み検出構造1の構成を示す図である。図15(a)は、緩み検出構造1の側面図及び一部断面図である。図15(b)は、図15(a)のB-B'における緩み検出構造1の断面図である。

[0072] 緩み検出構造1は、固定対象の鋼板を固定したボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造を備える。例えば、緩み検出構造1は、金属性の座金51と、吸湿性材料11と、第2のシーリング材13と、を備える。

[0073] 座金51は、図1(b)に示したように、ドーナツ型の形状を備える。座金51の外側の直径は、ボルト10の頭部10aの直径よりも大きい。座金51の内側の直径は、ボルト10の頭部10aの直径よりも小さい。座金51は、例えば、市中に流通している汎用の座金で実現可能である。

[0074] 吸湿性材料11は、図1(b)に示したように、ドーナツ型の形状を備え、座金51の内側に配置される。吸湿性材料11は、座金51の内側の表面に粘着剤等に取り付けられており、座金の一部として一体的に座金に組み込まれている。吸湿性材料11は、鋼板に対するボルト10を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料である。例えば、吸湿性材料11は、ボルト10を締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性の樹脂材料である。吸湿性材料11は、例えば、ポリアクリル酸塩系、ポリスルホン酸塩系、無水マレイン酸塩系、ポリアクリルアミド系、ポリビニルアルコール系、ポリエチレンオキシド系、ポリアミン系等の材料を用いて実現可能である。

[0075] 第2のシーリング材13と、吸湿性材料11の上面及び下面が露出しないように、図1(a)に示したように、吸湿性材料11の全ての上面及び全ての下面を取り囲むように、吸湿性材料11の全ての上面及び全ての下面を覆うように、吸湿性材料11の上面と下面とにそれぞれ配置（取り付け・充填）されている。第2のシーリング材13は、例えば、市中に流通している汎用のシーリング材で実現可能である。尚、第2のシーリング材13は、緩み

検出構造 1 の未使用時（ボルト 10 を締め付ける前、施工前）に吸湿性材料 11 が上面の表面又は下面の表面から空気中の水分を取り込むことを防止するためのものであり、緩み検出構造 1 の使用開始時（ボルト 10 を締め付けた時、施工時）に、剥がして吸湿性材料 11 の上面及び下面を露出させる。

[0076] [緩み検出装置の構成]

第 5 実施形態に係る緩み検出装置 2 の構成は、第 1 実施形態に係る緩み検出装置 2 の構成と同様である。

[0077] [緩み検出システムの構成]

図 16 は、第 5 実施形態に係る緩み検出システムの構成を示す図である。

[0078] ユーザは、ボルト 10 で固定対象の鋼板を固定する施工時、第 2 のシーリング材 13 を取り除いて座金 51 内の吸湿性材料 11 の上面及び下面を露出させる。そして、ユーザは、固定対象である第 1 の鋼板 3 と第 2 の鋼板 4 とを重ね、ボルト 10 の胴部 10b を座金 51 とそれらの固定用の孔 H1 及び孔 H2 とに貫通させ、ボルト 10 の頭部 10a 又はナット 5 を回転させて第 1 の鋼板 3 と第 2 の鋼板 4 とを固定する。これにより、座金 51 内の吸湿性材料 11 は、施工時に再び非露出状態となる。

[0079] その後、ユーザは、緩み検出装置 2 とボルト 10 の頭部 10a とを第 1 の伝送線 6A で接続し、緩み検出装置 2 と第 1 の鋼板 3 とを第 2 の伝送線 6B で接続する。これにより、緩み検出装置 2 と、第 1 の伝送線 6A と、ボルト 10 の頭部 10a、吸湿性材料 11 と、第 1 の鋼板 3 と、第 2 の伝送線 6B とにより、電磁波が伝搬可能な一の電気回路が形成される。

[0080] [緩み検出装置の動作]

ボルト 10 を締め付けた施工時には、座金 51 内の吸湿性材料 11 は、非露出状態である。一方、時間の経過に伴いボルト 10 に緩みが生じた場合、吸湿性材料 11 は、露出状態に変化する。

[0081] それ故、吸湿性材料 11 は空気と接するようになり、吸湿性材料 11 は、露出した表面から空気中の水分や雨を吸湿する。その結果、吸湿性材料 11 の誘電率変動し、又は吸湿性材料 11 が膨張する。そこで、マイクロ波等

の電磁波を吸湿性材料 11 に伝搬させ、吸湿性材料 11 の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無を検出する。つまり、吸湿性材料 11 が水分を吸収すると自身の誘電率が上昇するため、伝搬させる電磁波の実効波長が短くなり、短波長側に共振周波数がシフトする。この共振周波数のシフトの有無を検出する。

[0082] 尚、第 5 実施形態に係る緩み検出装置 2 の具体的動作は、第 1 実施形態で説明した動作と同様である。

[0083] [吸湿性材料 11 の変形例 1]

第 1 実施形態と同様に、吸湿性材料 11 に代えて、座金 51 内に、例えば、圧電体、強誘電体等、圧力を加えると電気を通す絶縁体を配置（埋め込み）してもよい。この場合、当該絶縁体の厚さを座金 51 の厚さよりも大きくし、ボルト 10 を締め付けた際に、当該絶縁体に対して圧力が加えられるようにする。ボルト 10 が緩むと当該絶縁体に対する圧力も変動するので、当該絶縁体の誘電率は変化する。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。

[0084] [吸湿性材料 11 の変形例 2]

第 1 実施形態と同様に、吸湿性材料 11 に代えて、ボルト 10 内に、例えば、Mott 絶縁体（モット絶縁体）等、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体を配置（埋め込み）してもよい。この場合、当該絶縁体の厚さを座金 51 の厚さよりも大きくし、ボルト 10 を締め付けた際に、当該絶縁体に対して圧力が加えられるようにする。ボルト 10 が緩むと当該絶縁体に対する圧力も変動するので、当該絶縁体の誘電率は変化する。そこで、マイクロ波等の電磁波を伝播させ、当該絶縁体の誘電率の違いによる共振周波数のシフトの有無等を検出する。

[0085] [緩み検出構造 1 及び緩み検出装置 2 の変形例]

第 2 実施形態と同様に、緩み検出構造 1 及び緩み検出装置 2 に、それぞれ、電磁波を無線で送受信するアンテナ、電磁波を無線で送受信するために用いる送受信回路を追加してもよい。

[0086] [その他の実施形態]

ボルト 10 自体を、圧力を加えると電気を通す絶縁体、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体等の材料で構成してもよい。その他、第 1 実施形態～第 5 実施形態の全ての構成を組み合わせてもよい。

[0087] [実施形態の効果]

上記実施形態によれば、ボルト 10 の緩みを検出するために用いる緩み検出構造 1 において、固定対象の鋼板 3 と鋼板 3 を固定する金属性のボルト 10 の頭部 10a との間に配置され、ボルト 10 の頭部 10a の座面に取り付けられ又は鋼板 3 とボルト 10 の頭部 10a との間に配置される座金 51 に取り付けられ、鋼板 3 に対するボルト 10 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 11 を備えるので、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供できる。即ち、材料 11 は、ボルト 10 の頭部 10a の座面に取り付けられ又は鋼板 3 とボルト 10 の頭部 10a との間に配置される座金 51 に取り付けられているので、ボルト 10 又は座金 51 の一部として一体的に組み込まれていることから、つまり、ボルト 10 本体又は座金 51 本体が緩み検出構造を備えているので、ボルトを締め付けて鋼板を固定する施工時に、ボルトの緩みを検出するために用いる材料 11 をわざわざ取り付ける手間を不要とし、ボルトを交換するだけで足りるので、簡便な作業でボルトの緩みを検査可能となる。また、材料 11 の膨張により緩んだ隙間部分が膨張するため、ある程度の弱い力で締め付け力を戻すことができる。また、点検時には材料 11 を乾燥させ、材料 11 の樹脂を除湿することで再度締め付けを行う再利用も可能となる。

[0088] 上記実施形態によれば、緩み検出構造 1 において、材料 11 は、ボルト 10 を締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性樹脂材料、圧力を加えると電気を通す絶縁体、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体のうちいずれかであるので、ボルトの緩みを簡便かつ確実に検出可能な技術を提供できる。

[0089] 上記実施形態によれば、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構

造 1 において、ボルト 10 の内部に形成された金属性の内層 14 とボルト 10 の外部を形成する金属性の外層 15 との間に配置され、固定対象の鋼板に対するボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 11 を備えるので、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供できる。

[0090] 上記実施形態によれば、緩み検出構造 1 において、材料 11 は、ボルト 10 を締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性樹脂材料、圧力を加えると電気を通す絶縁体、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体のうちいずれかであり、吸湿性樹脂材料である場合、ボルト 10 の頭部 10a の座面を構成する外層 15 に空気を通過させる空気孔 H3 が形成されているので、ボルトの緩みを簡便かつ確実に検出可能な技術を提供できる。

[0091] 上記実施形態によれば、緩み検出構造 1 において、ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を無線で受信し、材料 11 を通過した電磁波を無線で送信するアンテナ 7 を更に備えるので、ボルトの緩みを簡便かつ利便に検出可能な技術を提供できる。即ち、ボルトの緩みをリモートの遠隔地から簡便に検査可能となる。このとき、アンテナ 7 をボルト 10 のみに接続することで足りることから、緩み検出装置 2 を固定対象の鋼板 3 に接続する手間を排除できる。ボルト 10 を締め付けるのみでよく、膨大な数のボルトに対する緩みの検査を一度に遠隔地から簡便に検査可能となる。

[0092] 上記実施形態によれば、ボルト 10 の緩みを検出するために用いる緩み検出構造 1 と、ボルト 10 の緩みを検出する緩み検出装置 2 と、を備えた緩み検出システムにおいて、緩み検出構造 1 は、固定対象の鋼板 3 と鋼板 3 を固定する金属性のボルト 10 の頭部 10a との間に配置され、ボルト 10 の頭部 10a の座面に取り付けられ又は鋼板 3 とボルト 10 の頭部 10a との間に配置される座金 51 に取り付けられ、鋼板 3 に対するボルト 10 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 11、又は、ボルト 10 の内部に形成された金属性の内層 14 とボルト 10 の外部を形成する金属性の外層 15 との間に配置され、固定対象の鋼板 3 に対するボルト 10 を締め付

ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 1 1 を備え、緩み検出装置 2 は、ボルト 1 0 の緩みを検出するために用いる電磁波を出力する出力部 2 1 と、材料 1 1 を介して帰還した電磁波を入力する入力部 2 2 と、入力した電磁波の測定値をボルト 1 0 の締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、ボルト 1 0 の緩みを判定する判定部 2 3 と、を備えるので、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供できる。

[0093] 上記実施形態によれば、ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造 1 を用いて、前記ボルトの緩みを検出する緩み検出方法において、緩み検出構造 1 は、固定対象の鋼板 3 と鋼板 3 を固定する金属性のボルト 1 0 の頭部 1 0 a との間に配置され、ボルト 1 0 の頭部 1 0 a の座面に取り付けられ又は鋼板 3 とボルト 1 0 の頭部 1 0 a との間に配置される座金 5 1 に取り付けられ、鋼板 3 に対するボルト 1 0 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 1 1、又は、ボルト 1 0 の内部に形成された金属性の内層 1 4 とボルト 1 0 の外部を形成する金属性の外層 1 5 との間に配置され、固定対象の鋼板 3 に対するボルト 1 0 を締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料 1 1 を備え、緩み検出装置 2 が、ボルト 1 0 の緩みを検出するために用いる電磁波を出力するステップと、材料 1 1 を介して帰還した電磁波を入力するステップと、入力した電磁波の測定値をボルト 1 0 の締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、前記ボルトの緩みを判定するステップと、を行うので、ボルトの緩みを簡便に検出可能な技術を提供できる。

[0094] [その他]

尚、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨の範囲内で数々の変形が可能である。上記説明した本実施形態の緩み検出装置 2 は、例えば、図 1 7 に示すように、CPU (Central Processing Unit) 9 0 1 と、メモリ 9 0 2 と、ストレージ 9 0 3 (HDD ; Hard Disk Drive、SSD ;

Solid State Drive) と、通信装置 904 と、入力装置 905 と、出力装置 906 と、を備える汎用的なコンピュータシステムを用いることができる。メモリ 902 及びストレージ 903 は、記憶装置である。このコンピュータシステムにおいて、CPU 901 がメモリ 902 上にロードされた所定のプログラムを実行することにより、緩み検出装置 2 の各機能が実現される。

[0095] 尚、緩み検出装置 2 は、1 つのコンピュータで実装されてもよく、複数のコンピュータで実装されてもよい。また、緩み検出装置 2 は、コンピュータに実装される仮想マシンであってもよい。

緩み検出装置 2 用のプログラムは、HDD、SSD、USB (Universal Serial Bus) メモリ、CD (Compact Disc)、DVD (Digital Versatile Disc) 等のコンピュータ読取り可能な記録媒体に記憶することも、ネットワークを介して配信することもできる。

符号の説明

[0096] 1 : 緩み検出構造
10 : ボルト
10a : ボルトの頭部
10b : ボルトの胴部
11 : 吸湿性材料
12 : 第 1 のシーリング材
13 : 第 2 のシーリング材
14 : ボルトの内層
15 : ボルトの外層
2 : 緩み検出装置
20 : 掃引部
21 : 出力部
22 : 入力部
23 : 判定部
24 : 結果出力部

2 5 : 記憶部

3 : 第 1 の鋼板

4 : 第 2 の鋼板

5 : ナット

6 A : 第 1 の伝送線

6 B : 第 2 の伝送線

7 : アンテナ

3 0 : ドローン

5 1 : 座金

9 0 1 : C P U

9 0 2 : メモリ

9 0 3 : ストレージ

9 0 4 : 通信装置

9 0 5 : 入力装置

9 0 6 : 出力装置

H 1 : 第 1 の鋼板の固定用の孔

H 2 : 第 2 の鋼板の固定用の孔

H 3 : ボルトの外層の空気孔

請求の範囲

- [請求項1] ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造において、
- 固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備える緩み検出構造。
- [請求項2] 前記材料は、
- 前記ボルトを締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性樹脂材料、圧力を加えると電気を通す絶縁体、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体のうちいずれかである請求項1に記載の緩み検出構造。
- [請求項3] ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造において、
- 前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備える緩み検出構造。
- [請求項4] 前記材料は、
- 前記ボルトを締め付ける力の低下に伴い露出した表面から空気中の水分を取り込む吸湿性樹脂材料、圧力を加えると電気を通す絶縁体、加圧によって電気抵抗が小さくなる絶縁体のうちいずれかであり、前記吸湿性樹脂材料である場合、前記ボルトの頭部の座面を構成する前記外層に空気を通過させる空気孔が形成されている請求項3に記載の緩み検出構造。
- [請求項5] 前記ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を無線で受信し、前記材料を通過した電磁波を無線で送信するアンテナを更に備える請求項1乃至4のいずれかに記載の緩み検出構造。
- [請求項6] ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造と、前記ボルト

の緩みを検出する緩み検出装置と、を備えた緩み検出システムにおいて、

前記緩み検出構造は、

固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料、又は、前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備え、

前記緩み検出装置は、

前記ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を出力する出力部と、

前記材料を介して帰還した電磁波を入力する入力部と、

前記入力した電磁波の測定値を前記ボルトの締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、前記ボルトの緩みを判定する判定部と、

を備える緩み検出システム。

[請求項7]

ボルトの緩みを検出するために用いる緩み検出構造を用いて、前記ボルトの緩みを検出する緩み検出方法において、

前記緩み検出構造は、

固定対象の鋼板と前記鋼板を固定する金属性のボルトの頭部との間に配置され、前記ボルトの頭部の座面に取り付けられ又は前記鋼板と前記ボルトの頭部との間に配置される座金に取り付けられ、前記鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料、又は、前記ボルトの内部に形成された金属性の内層と前記

ボルトの外部を形成する金属性の外層との間に配置され、固定対象の鋼板に対する前記ボルトを締め付ける力の変動に応じて電気的特性が変化する材料を備え、

緩み検出装置が、

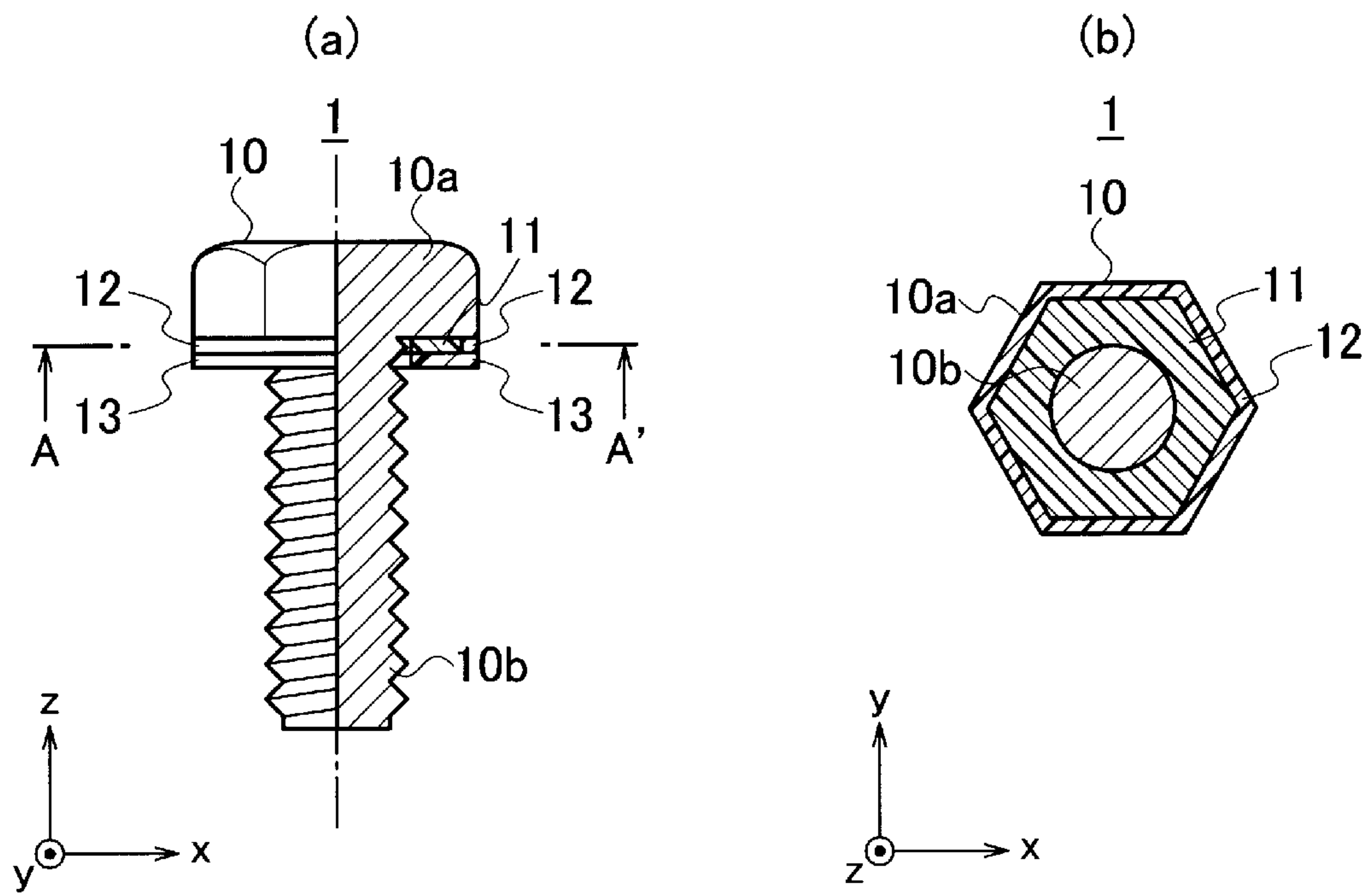
前記ボルトの緩みを検出するために用いる電磁波を出力するステップと、

前記材料を介して帰還した電磁波を入力するステップと、

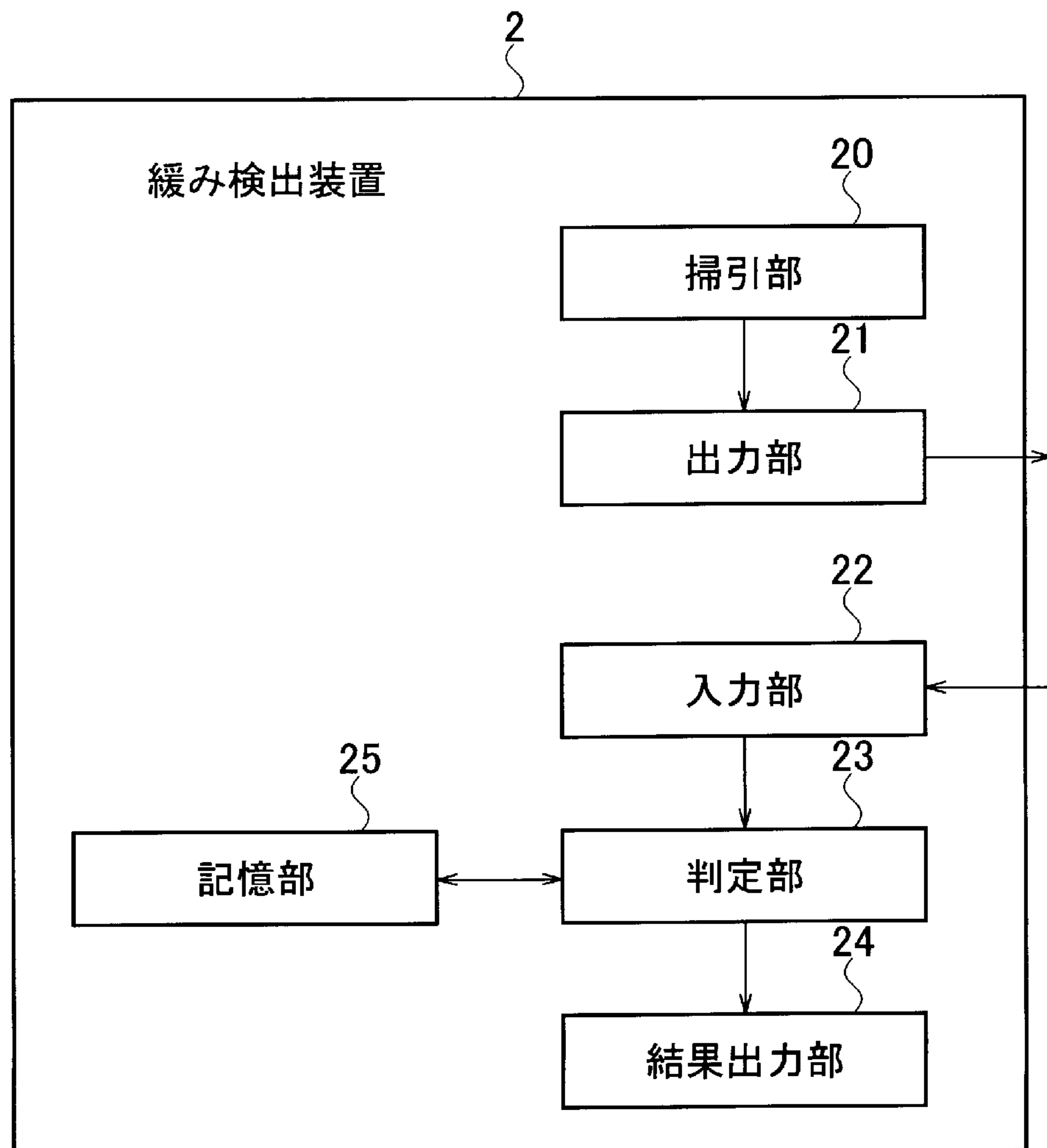
前記入力した電磁波の測定値を前記ボルトの締め付け時に測定した電磁波の測定値と比較し、共振周波数がシフトしたか否か又は所定の周波数範囲内に共振周波数があるか否かに基づき、前記ボルトの緩みを判定するステップと、

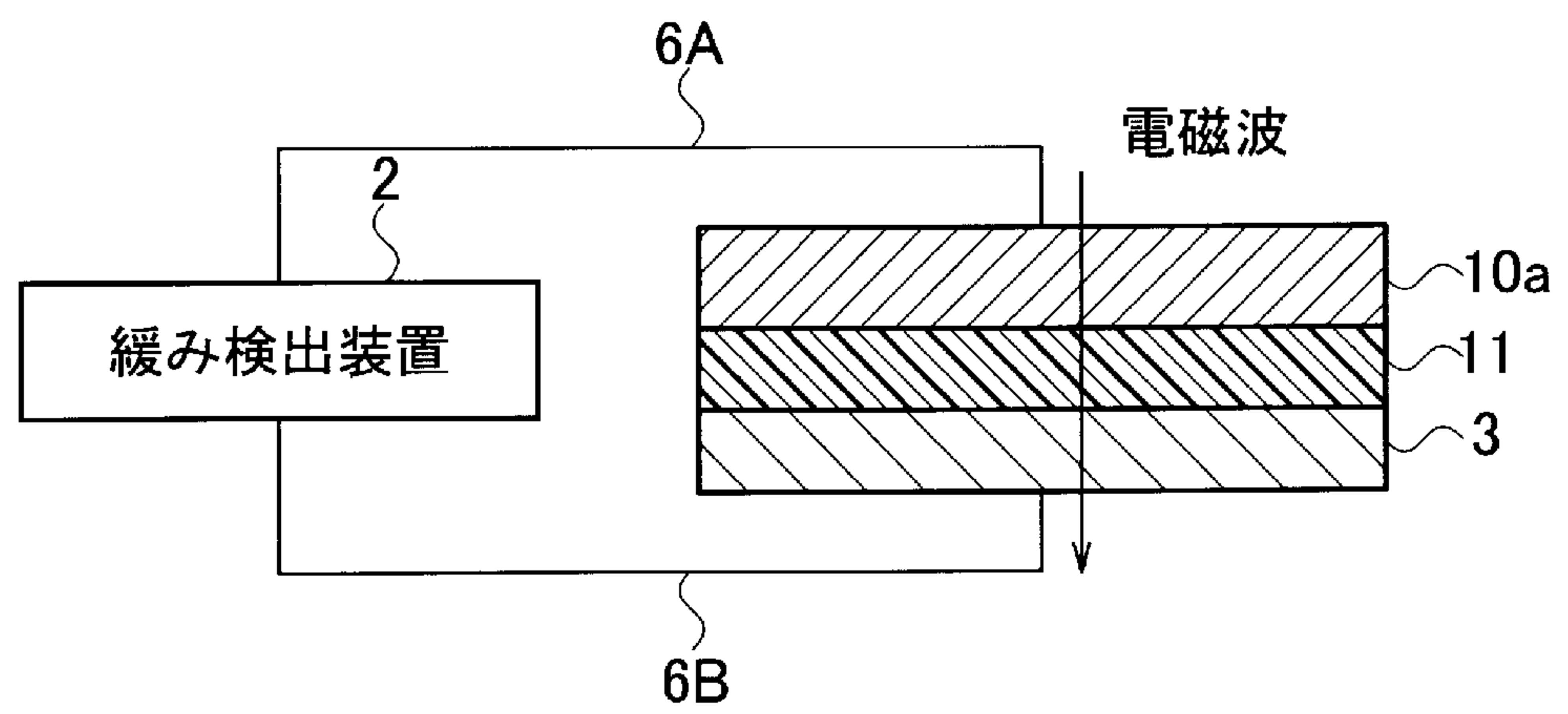
を行う緩み検出方法。

[図1]

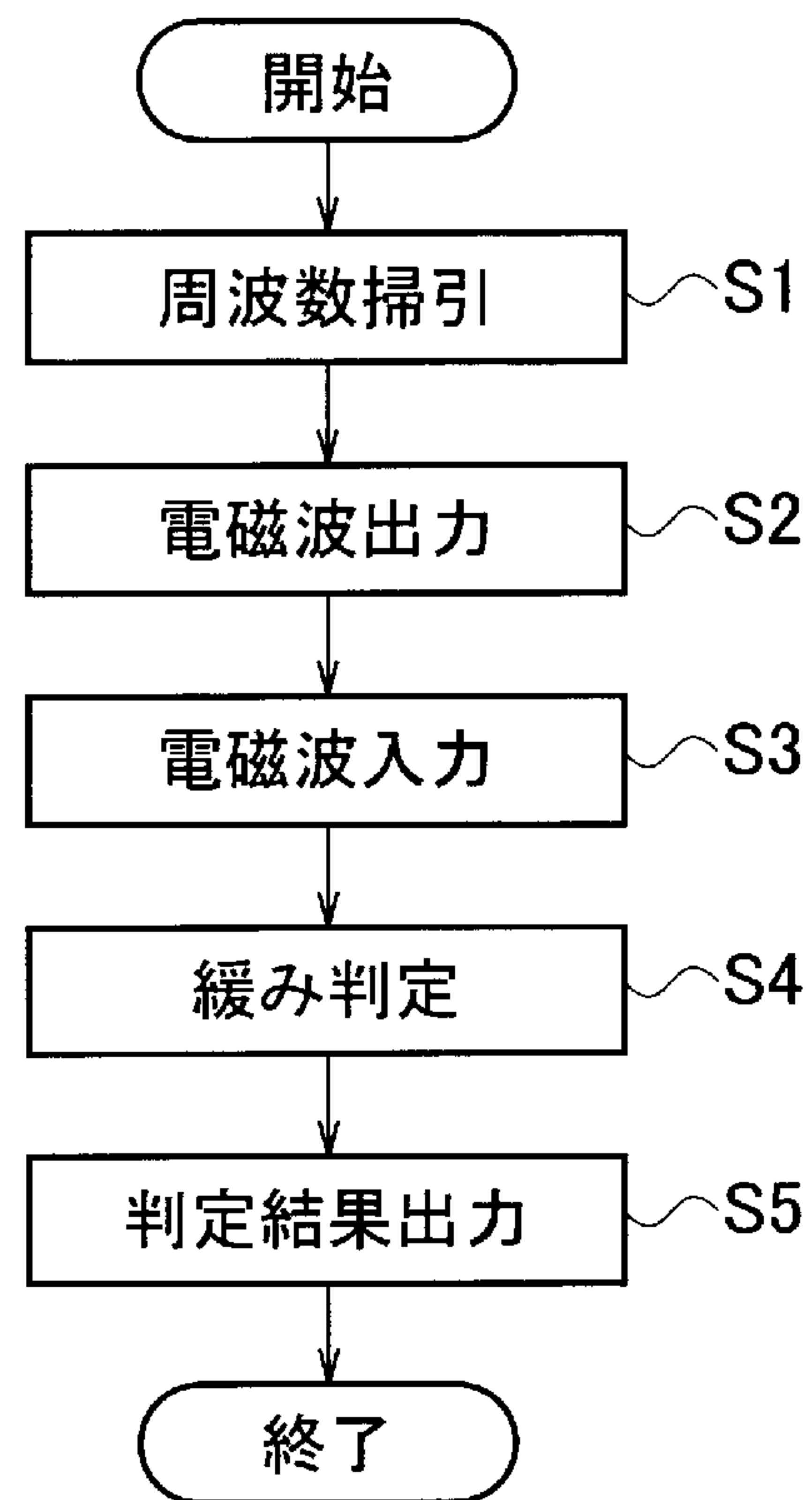


[図2]

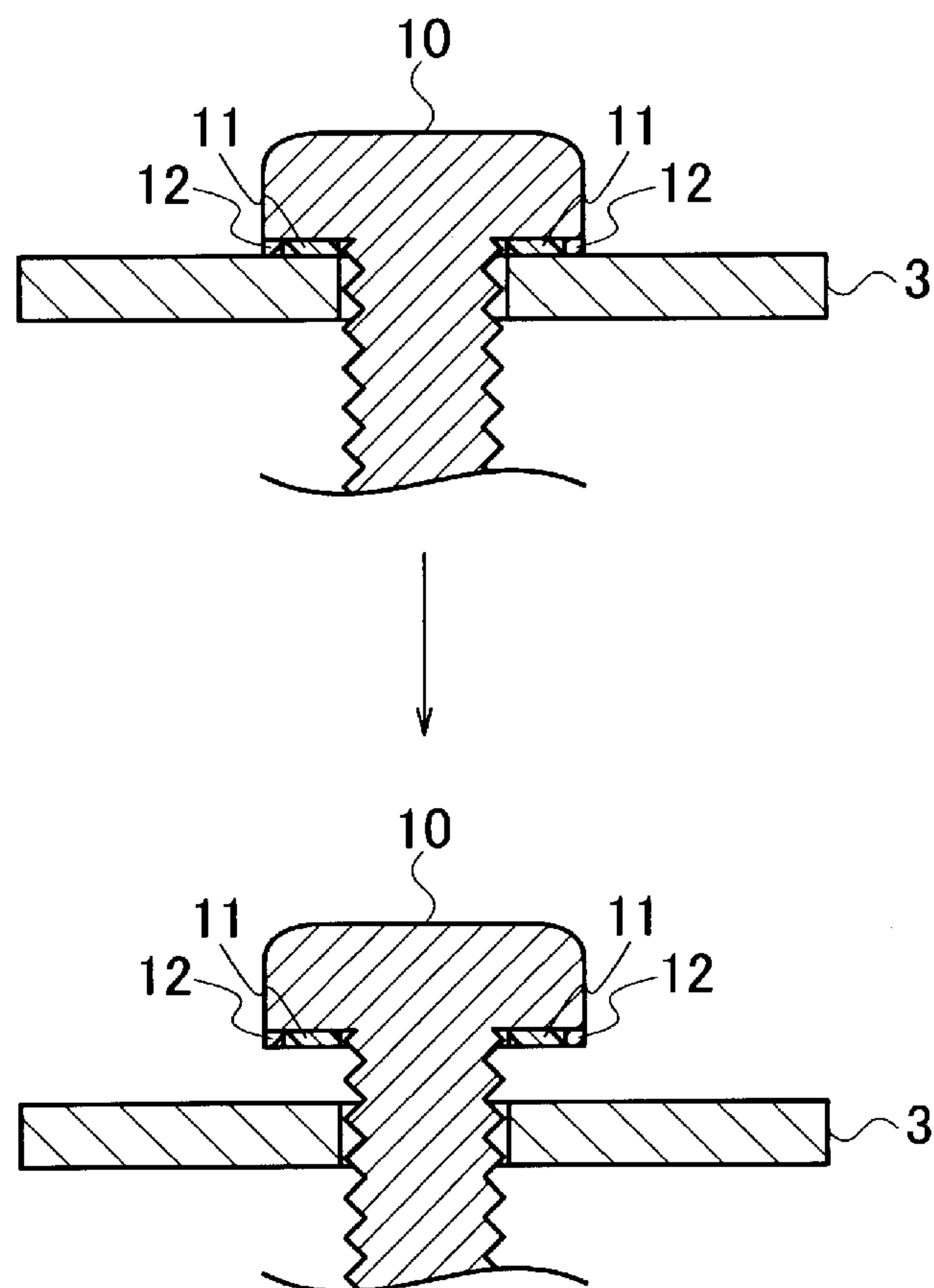




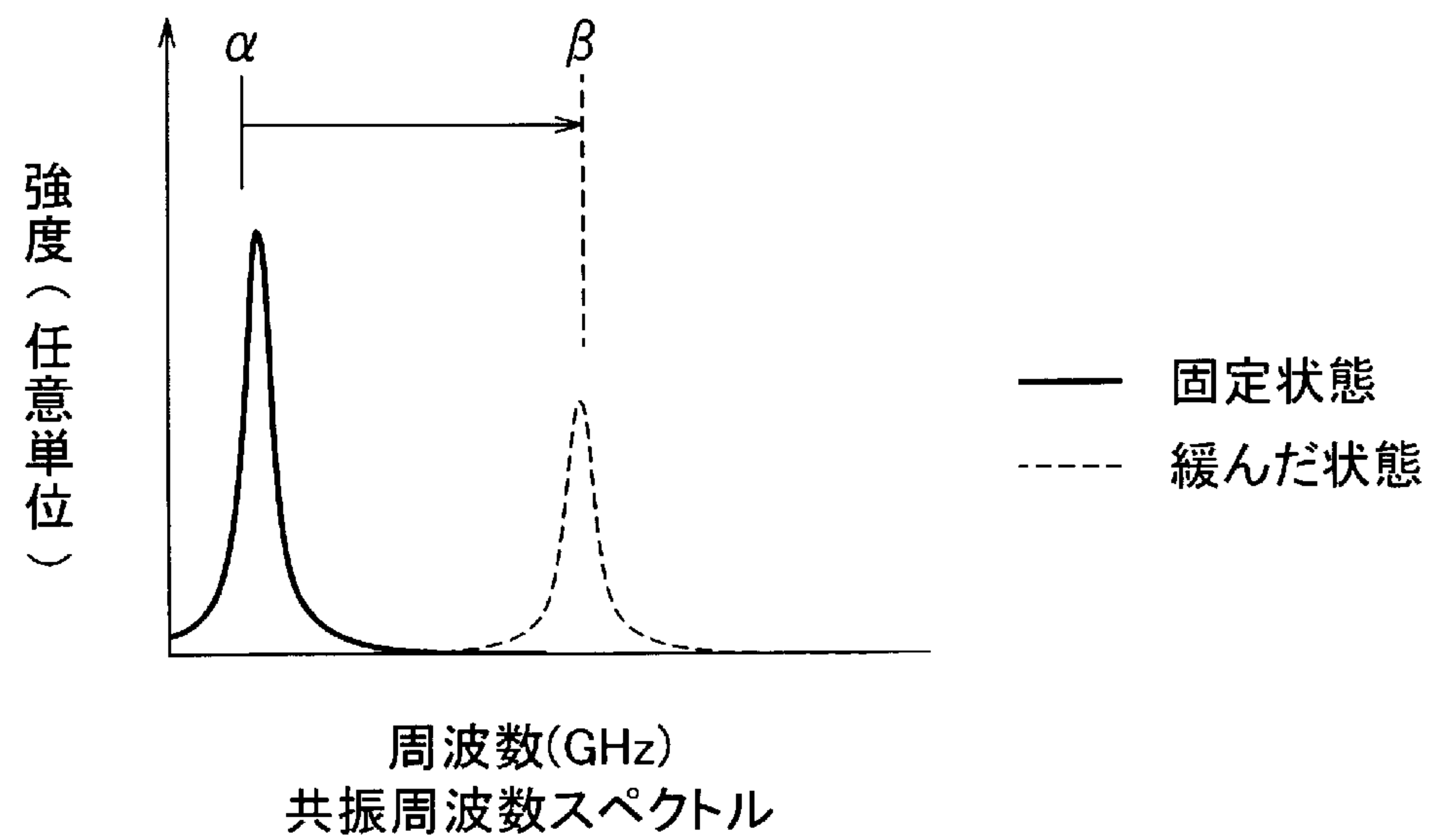
[図5]



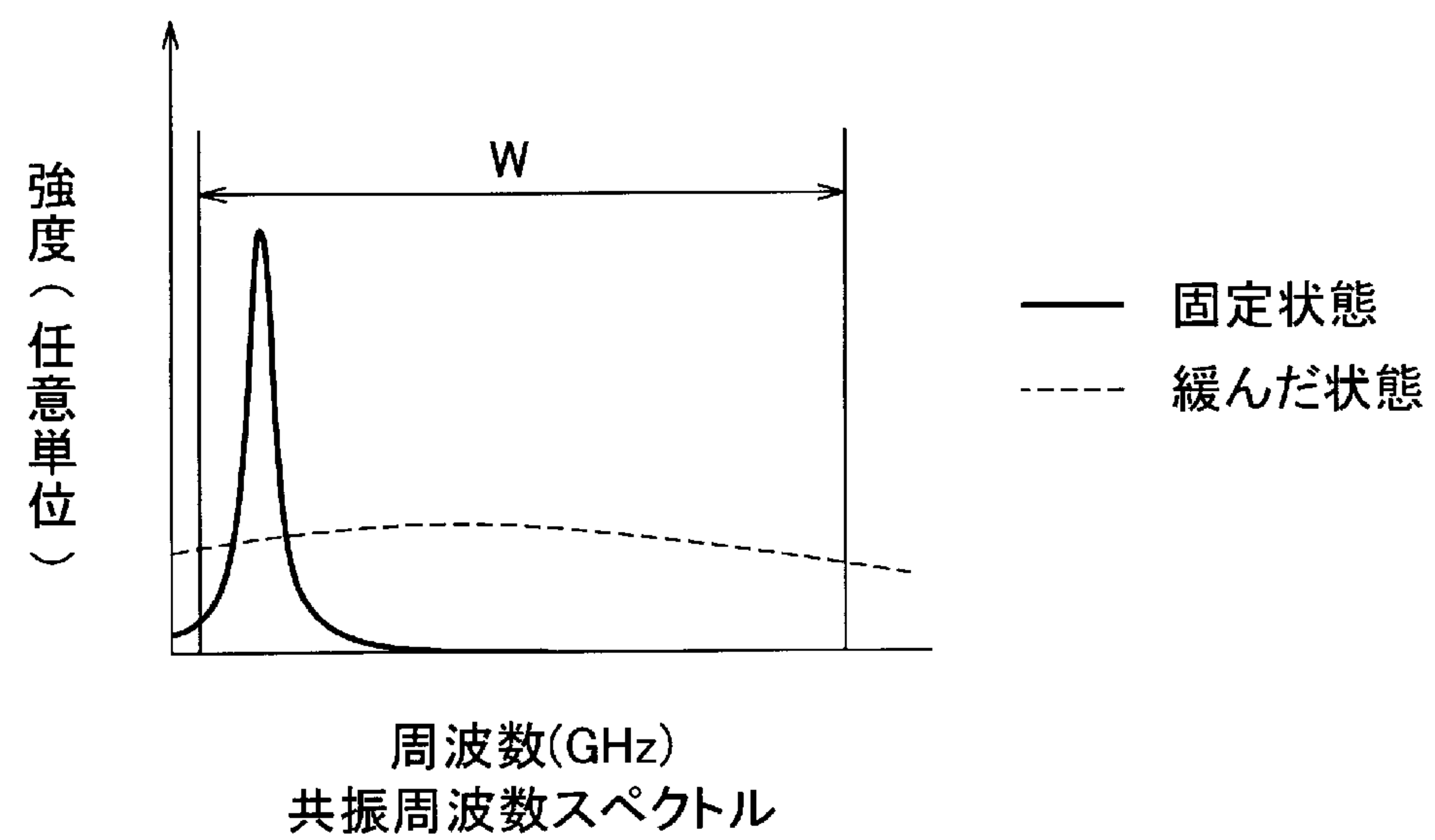
[図6]



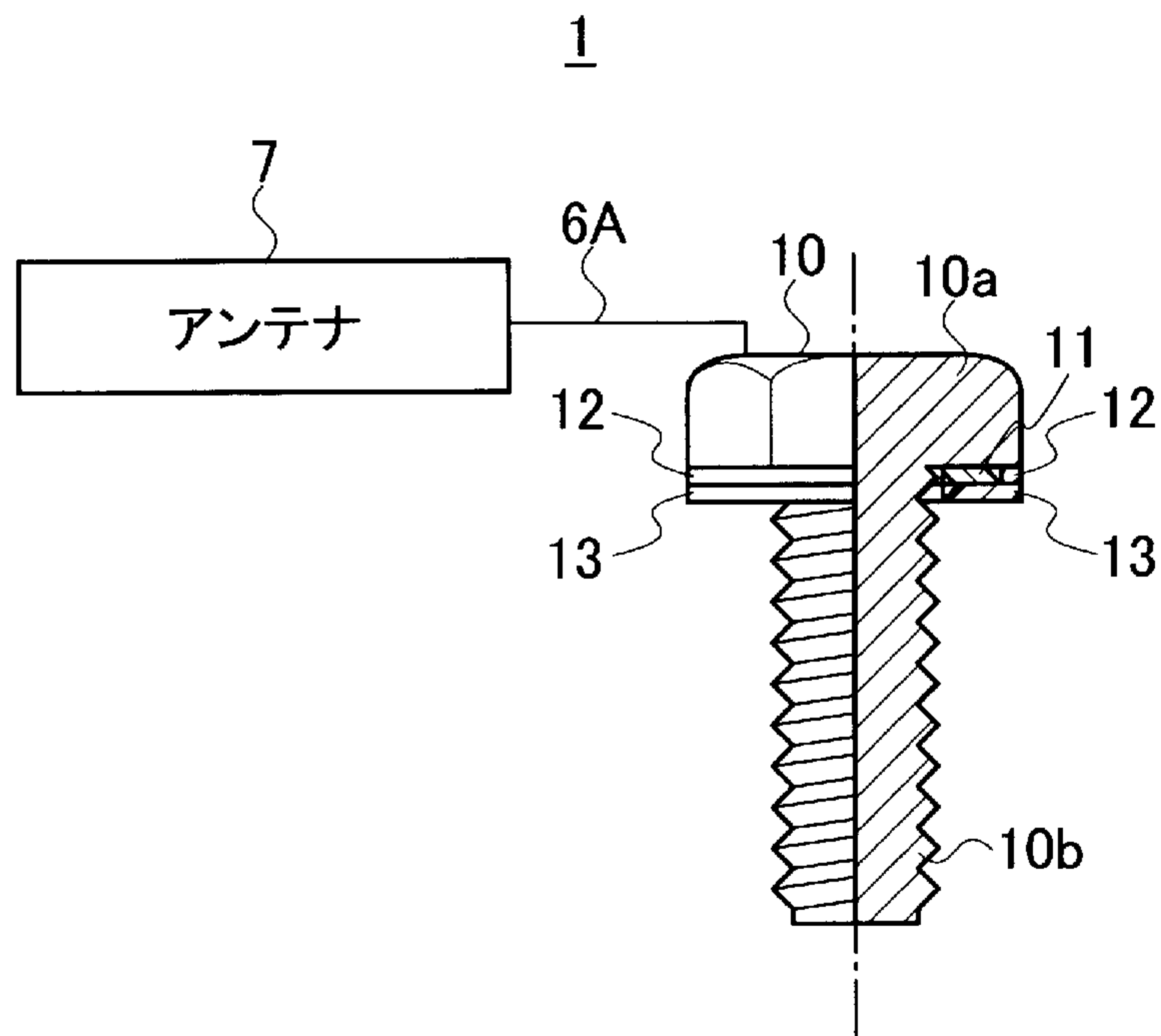
[図7]



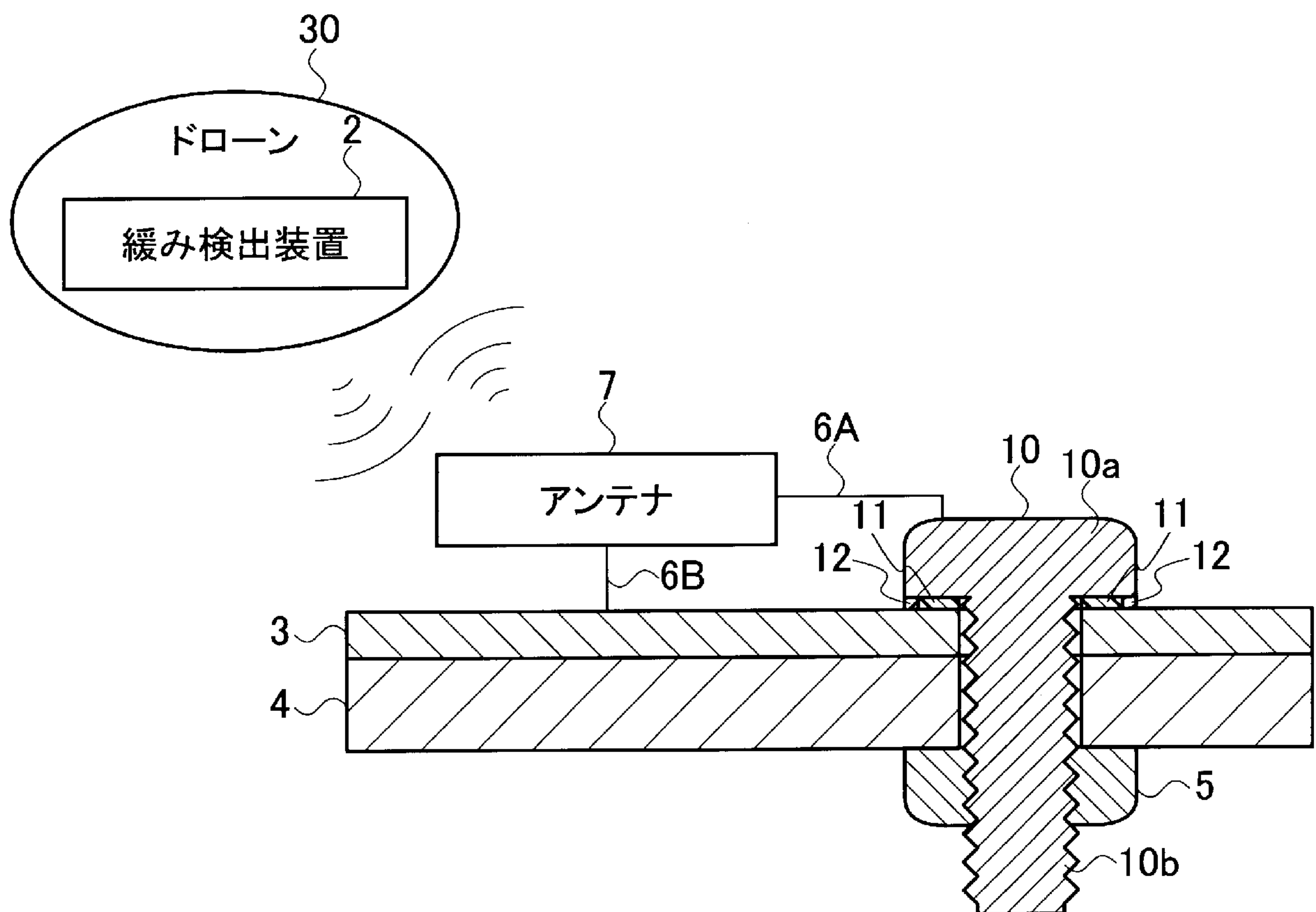
[図8]



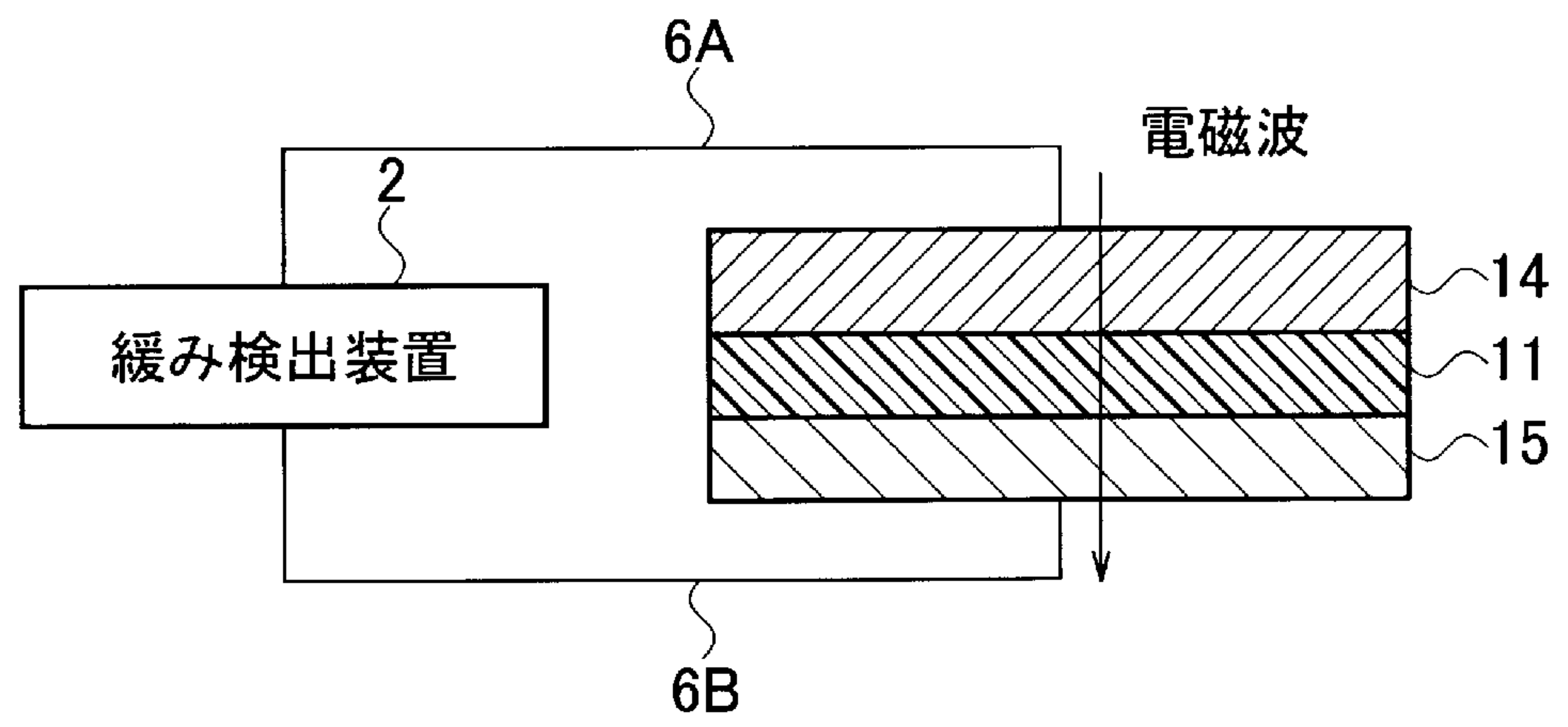
[図9]



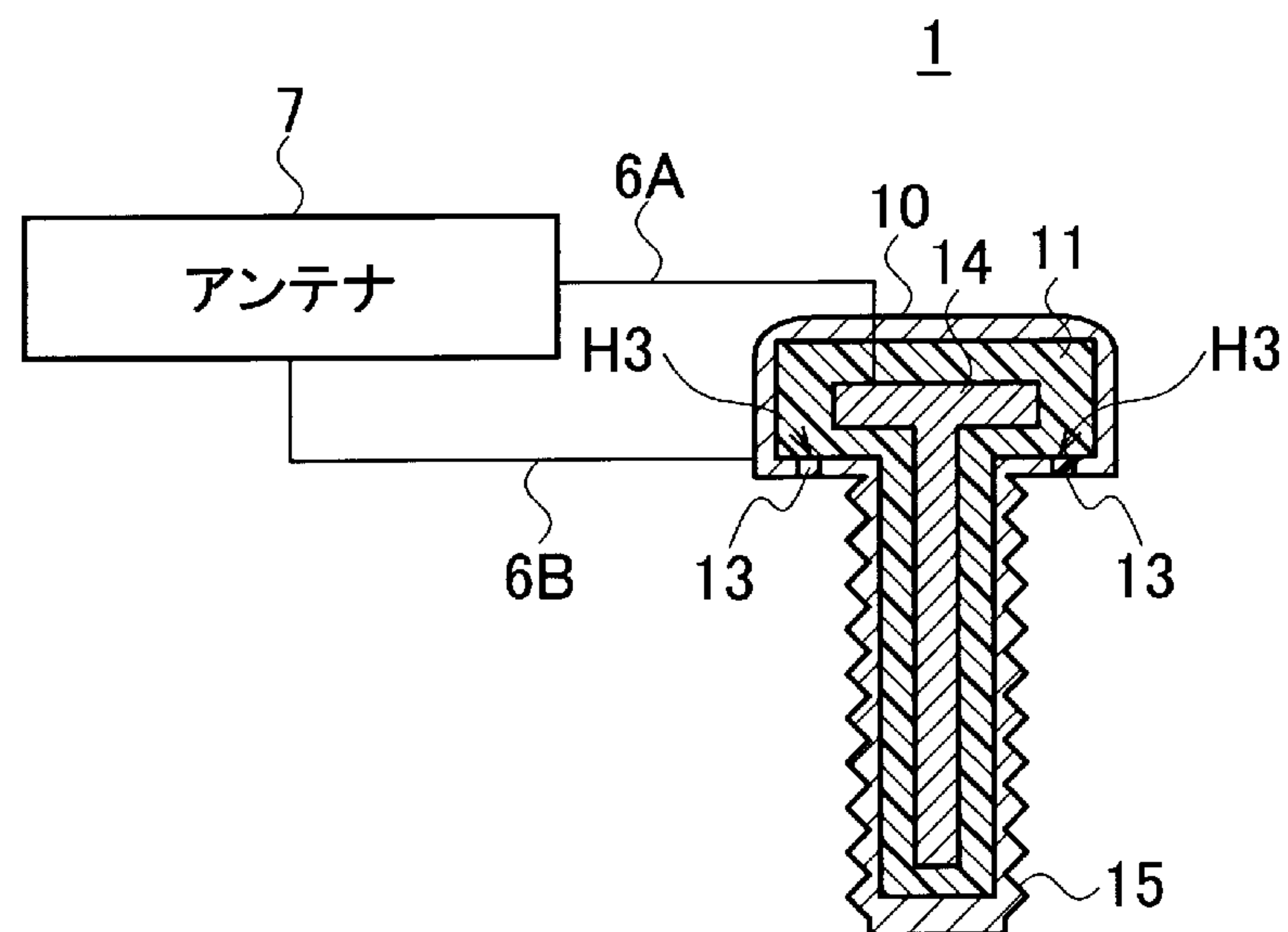
[図10]



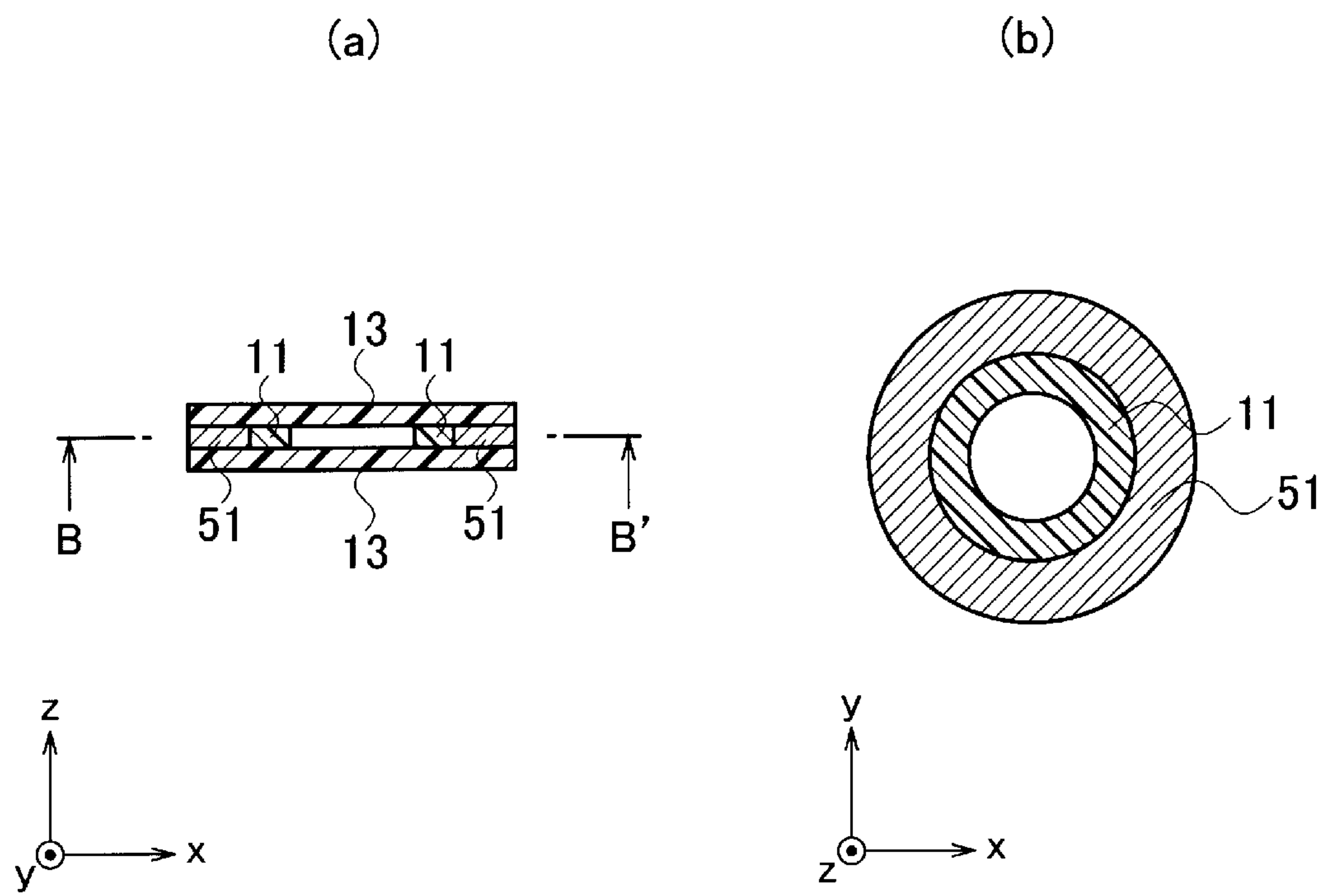
[図13]



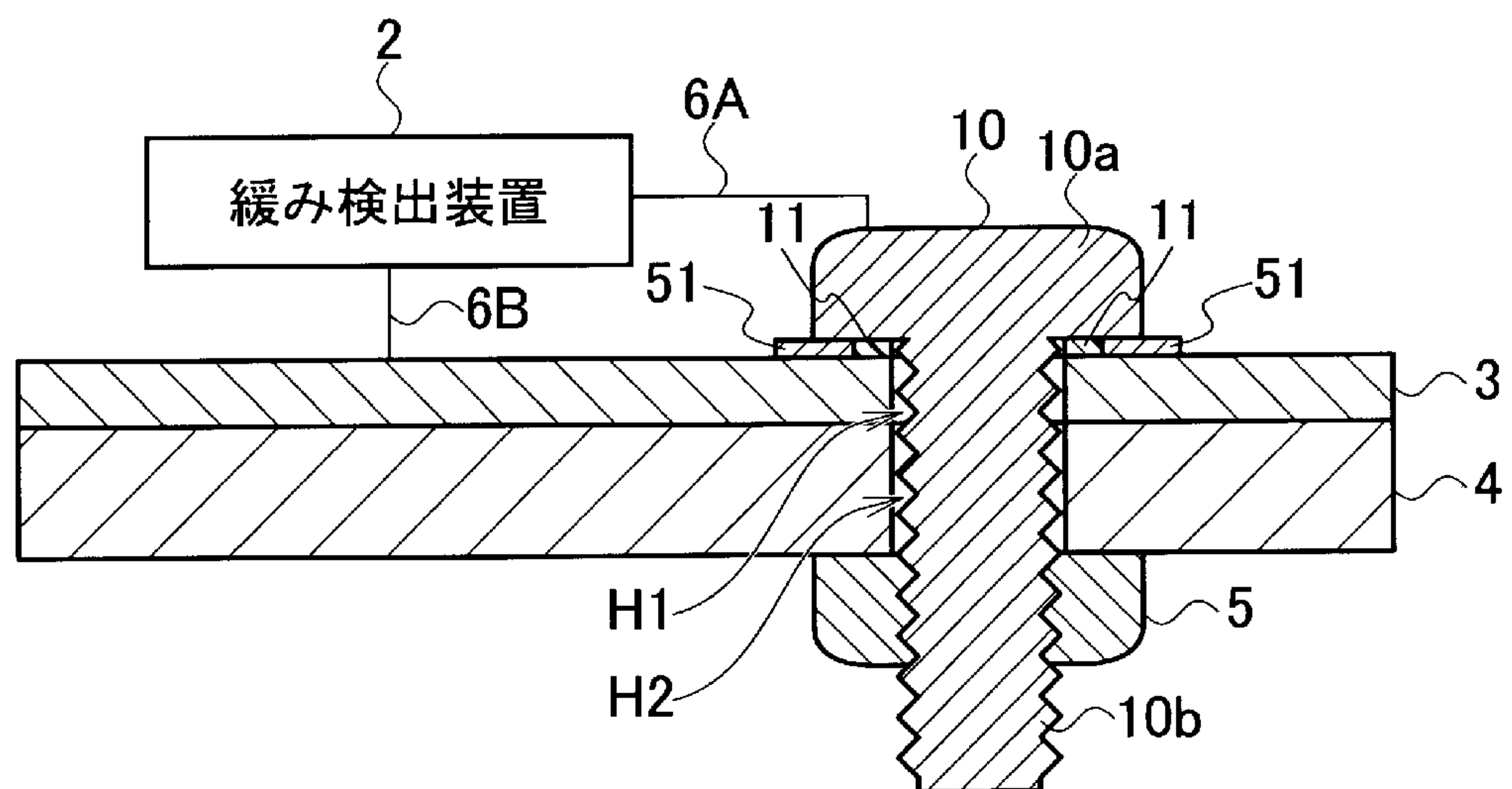
[図14]



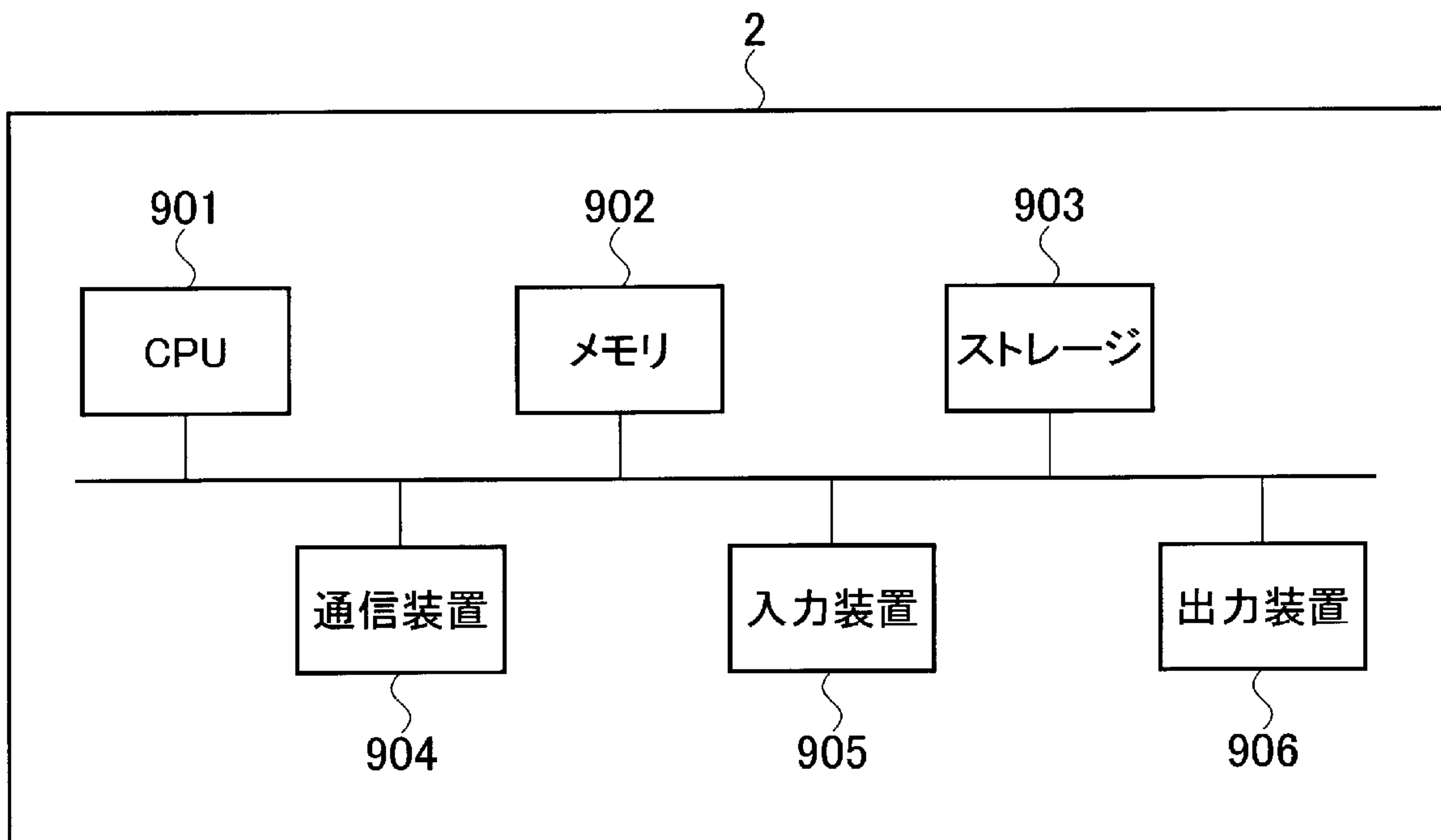
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/043797

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G01N22/00 (2006.01) i FI: G01N22/00V 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) Int.Cl. G01N22/00-22/04, G01N27/00-27/24, G01L5/00-5/28 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020 Registered utility model specifications of Japan 1996-2020 Published registered utility model applications of Japan 1994-2020 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.
X Y	JP 60-39523 A (YAHATA TEKKO KK) 01.03.1985 (1985-03-01), claim 1, fig. 1, 3, 7	1-2 5-7
X Y	US 2014/0190267 A1 (MEKID, S.) 10.07.2014 (2014-07-10), paragraphs [0017]-[0021], fig. 1, 2	1-5 5-7
X Y	JP 2014-228465 A (INABA RUBBER KK) 08.12.2014 (2014-12-08), paragraphs [0019], [0024]-[0028], fig. 1	1-2 5-7
Y	JP 2013-210234 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 10.10.2013 (2013-10-10), paragraphs [0001]-[0004], [0166]-[0188], fig. 16	6-7
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 02.06.2020		Date of mailing of the international search report 16.06.2020
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/043797

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 23615/1990 (Laid-open No. 114031/1991) (KABUSHIKI KAISHA RIKEN) 22.11.1991 (1991-11-22), entire text	1-7
A	JP 2015-25477 A (HITOMI, Nobuhiro) 05.02.2015 (2015-02-05), entire text	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/043797

JP 60-39523 A 01.03.1985 (Family: none)

US 2014/0190267 A1 10.07.2014 (Family: none)

JP 2014-228465 A 08.12.2014 (Family: none)

JP 2013-210234 A 10.10.2013 (Family: none)

JP 3-114031 U1 22.11.1991 (Family: none)

JP 2015-25477 A 05.02.2015 (Family: none)

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2019/043797
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） G01N 22/00(2006.01)i FI: G01N22/00 V		
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）） G01N22/00-22/04, G01N27/00-27/24, G01L5/00-5/28		
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 2 0 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 2 0 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 2 0 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
X	JP 60-39523 A（八幡鐵工株式会社）01.03.1985（1985 - 03 - 01） 請求項 1、図 1， 3， 7	1-2
Y		5-7
X	US 2014/0190267 A1 (MEKID, Samir) 10.07.2014（2014 - 07 - 10） pars.[0017]-[0021], figs.1-2	1-5
Y		5-7
X	JP 2014-228465 A（イナバゴム株式会社）08.12.2014（2014 - 12 - 08） 段落 [0 0 1 9]， [0 0 2 4] - [0 0 2 8]、図 1	1-2
Y		5-7
Y	JP 2013-210234 A（セイコーエプソン株式会社）10.10.2013（2013 - 10 - 10） 段落 [0 0 0 1] - [0 0 0 4]， [0 1 6 6] - [0 1 8 8]、図 1 6	6-7
A	日本国実用新案登録出願2-23615号(日本国実用新案登録出願公開3-114031号)の願書 に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（株式会社リケン） 22.11.1991（1991-11-22）全文	1-7
☒ 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の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抵触するものではなく、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 02.06.2020	国際調査報告の発送日 16.06.2020	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 田中 洋介 2W 3009 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	

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 2015-25477 A (人見信弘) 05.02.2015 (2015 - 02 - 05) 全文	1-7

PCT/JP2019/043797

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	60-39523	A	01.03.1985	(ファミリーなし)	
US	2014/0190267	A1	10.07.2014	(ファミリーなし)	
JP	2014-228465	A	08.12.2014	(ファミリーなし)	
JP	2013-210234	A	10.10.2013	(ファミリーなし)	
JP	3-114031	U1	22.11.1991	(ファミリーなし)	
JP	2015-25477	A	05.02.2015	(ファミリーなし)	