(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
2019年3月7日(07.03.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/044018 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 27/90 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/013461

(22) 国際出願日： 2018年3月29日(29.03.2018)

(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 2017-166273 2017年8月30日(30.08.2017) JP

(71) 出願人: 国立大学法人 岡山大学(**NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION OKAYAMA UNIVERSITY**) [JP/JP]; 〒7008530 岡山県岡山市北区津島中一丁目1番1号 Okayama (JP).

(72) 発明者: 塚田 啓二(**TSUKADA Keiji**); 〒7008530 岡山県岡山市北区津島中一丁目1番1号 国立大学法人岡山大学内 Okayama (JP).

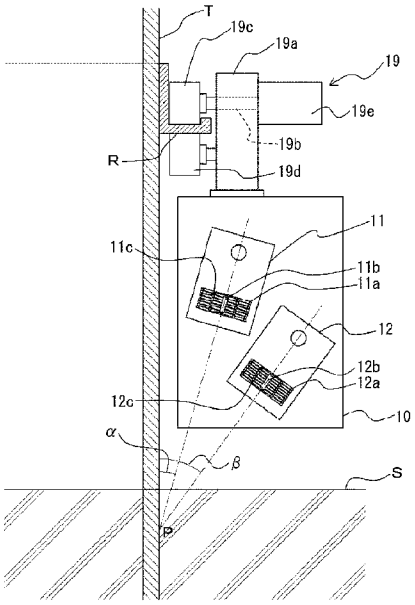
(74) 代理人: 特許業務法人矢野内外国特許事務所(**YANO INTERNATIONAL PATENT ATTORNEYS OFFICE, P.C.**); 〒5406134 大阪府大阪市中央区城見二丁目1番61号 ツイン21 MIDタワー34階 Osaka (JP).

(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, 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,

(54) **Title:** NON-DESTRUCTIVE INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称： 非破壊検査装置



(57) **Abstract:** Provided is a non-destructive inspection device for inspecting thinning produced in the vicinity of the ground of a to-be-inspected body, which is erected on a ground surface by burying the base-end side thereof in the ground. A non-destructive inspection device having: magnetic probes (11, 12) comprising impression coils (11a, 12a) that impress a magnetic field on a to-be-inspected body (T), which is erected on a ground surface by the base-end side thereof being buried in the ground, and magnetic sensors (11b, 12b) that detect a response from the to-be-inspected body (T) with respect to the magnetic field impressed by the impression coils (11a, 12a); a current source (21) for supplying an AC current having a prescribed frequency to the impression coils (11a, 12a); a detector (30) for detecting an output signal from the magnetic sensors (11b, 12b); and an analyzer (40) for performing analysis using an output signal from the detector (30), wherein the non-destructive inspection device detects a response from the to-be-inspected body (T) in a first mode in which the magnetic field generated by the impression coil (11) is impressed toward the vicinity of the ground of the to-be-inspected body (T) and a second mode in which the magnetic field is impressed on the to-be-inspected body (T) by the impression coil (12) at a position different from the position of the impression coil (11) in the first mode.

WO 2019/044018 A1

[続葉有]

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)）

(57) 要約：基端側を地中に埋設することで地面に立設した被検体の地際に生じる減肉を検査する非破壊検査装置を提供する。 基端側を地中に埋設することで地面に立設した被検体(T)に磁場を引加する印加コイル(11a,12a)と、この印加コイル(11a,12a)で引加された磁場に対する被検体(T)からの応答を検出する磁気センサ(11b,12b)とを備えた磁気プローブ(11,12)と、引加コイル(11a,12a)に所定周波数の交流電流を供給する電流源(21)と、磁気センサ(11b,12b)からの出力信号を検波する検波器(30)と、この検波器(30)の出力信号を用いて解析を行う解析器(40)とを有する非破壊検査装置において、被検体(T)の地際に向けて印加コイル(11)で生成した磁場を引加する第１モードと、この第１モードの印加コイル(11)の位置とは異なる位置とした印加コイル(12)で被検体(T)に磁場を引加する第２モードとで被検体(T)からの応答を検出する非破壊検査装置とする。

明　細　書

発明の名称 ： 非破壊検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、金属構造物の腐食を磁気的に検査する非破壊検査装置に関する。

背景技術

[0002] 鉄鋼材料で作られたインフラ構造物では、経年劣化が生じることから、安全確保のための検査の実施が現在大きな社会問題となっている。これらの鉄構構造物のうち、道路の表示灯や照明塔などの鋼製支柱や、トラス橋の斜材や歩道橋などの橋脚など、道路に併設されて設置されているものが多くある。これらの鉄構構造物では、基礎部分を土あるいはコンクリートに埋設した状態としているため、特に地際部分では水が溜まりやすく、鉄鋼材の腐食が発生しやすいことが知られていた。しかも、腐食が生じた状態をそのままにしておいた場合には、台風の強風や地震による揺れによって腐食箇所からの破損が生じるおそれがあり、交通の障害あるいは最悪の場合には交通事故を発生させるおそれがあった。このため、鉄構構造物では、腐食などの劣化が生じていないか、定期的な検査が行われている。特に、埋設部分を検査するために、土やコンクリートを掘り起こして検査することも行われていた。このため、鉄構構造物の検査では、多くの時間と労力が必要とされており、簡単に検査できる方法が望まれていた。

[0003] 鉄構構造物における鉄鋼材の腐食による肉厚の減少を検査する方法としては、以下の方法が知られている。例えば、高周波コイルと電磁石で構成された超音波発生器を用い、地際上部で鉄鋼材に超音波を発生させて肉厚を測定する方法である（例えば非特許文献１）。あるいは、パルス磁場を印加した後に周波数解析して金属に肉厚を計測する方法である（特許文献１）。あるいは、鉄鋼材に複数の周波数を印加して、２つの周波数における磁場ベクトルの位相変化を計測することで、従来の磁気計測において問題になっていた

被検体の鋼板などの磁性体の透磁率や着磁による磁気ノイズの影響を受けずに、厚い鋼板でも計測可能とする方法である（非特許文献２）。しかし、これらの方法では、プローブ直下の鉄鋼材の肉厚を測定することはできるが、地面やコンクリートに隠された地際の箇所の検査はできなかった。

[0004] 地際の地面やコンクリートの中にある腐食を検査する方法はいくつか開発されてきており、例えば、超音波を地表部分の鋼管から引加して地下部分にまで伝搬させてコンクリート表面の部分から検出するものなどがある（特許文献２）。また、超音波を発生させる方法として、先に述べた高周波コイルと電磁石で構成された超音波発生器により地際上部で鋼材に電磁超音波を引加して、地面に埋もれた鋼管部分を通って反射してきた音波を受信することで、その途中部分に生じている腐食を検出する方法がある（非特許文献３）。あるいは、電磁的な方法として、磁力線が従来のコイルよりも広がる渦電流探傷センサを用い、この渦電流探傷センサを鋼管表面に垂直にあてて、地際部分から離れる方向に走査することで生じる減衰信号から腐食の深さを推定する方法がある（特許文献３）。あるいは、鋼管と地面の間に磁性体コアを設けて、この磁性体コアで渦電流計測を行うことで、地中に埋まった部分の鋼管の腐食を計測する方法がある（特許文献４）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第３９２４６２６号公報

特許文献2：特許第５９００６９５号公報

特許文献3：特開２０１４－１９４３８２号公報

特許文献4：特開２０１７－０９６６７８号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：山本敏弘、 溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー、pp10-19 (2016)

非特許文献2：Keiji Tsukada、 Yuta Haga、 Koji Morita、 et al.、 Detection of Inner Corrosion of Steel Construction Using Magnetic Resistan

ce Sensor and Magnetic Spectroscopy Analysis、IEEE Transactions on Magnetics、 vol. 52、 6201504 (2016)

非特許文献3：本間一茂、街路灯地中埋設物部の腐食検査装置、IIC REVIEW、No. 33、 pp36-43 (2005)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、電磁超音波を利用した方法では、探傷子部分の直下が腐食していた場合や、塗装が錆とともに膨れている場合には接触が悪くなるため信号が得られないという不具合が生じやすいことが知られている。このため、電磁超音波を利用した方法では、測定部分の表面の腐食部分や膨れた塗装部分などを、あらかじめきれいにしておく前処理作業が必要であった。また、渦電流法を用いた方法では、地際から深いところは計測できないという問題があった。さらに、渦電流法を用いた方法では、地面を介在した渦電流では地面の水分量や密度などの影響を受けることで十分な制度が得られないという問題もあった。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、上記課題を解決するために提案されたものであって、基端側を地中に埋設することで地面に立設した被検体に磁場を引加する印加コイルと、この印加コイルで引加された磁場に対する被検体からの応答を検出する磁気センサとを備えた磁気プローブと、引加コイルに所定周波数の交流電流を供給する電流源と、磁気センサからの出力信号を検波する検波器と、検波器の出力信号を用いて解析を行う解析器とを有する非破壊検査装置である。

[0009] 特に、本発明の非破壊検査装置では、被検体の地際に向けて印加コイルで生成した磁場を引加する第１モードと、この第１モードの印加コイルの位置とは異なる位置とした印加コイルで被検体に磁場を引加する第２モードとで被検体からの応答を検出しているものである。

[0010] さらに、本発明の非破壊検査装置では、第１モードの磁場を引加する第１の磁気プローブと、第２モードの磁場を引加する第２の磁気プローブとを有

していることにも特徴を有するものである。

発明の効果

[0011] 本発明では、磁気プローブの引加コイルで生成した磁場を被検体の地際に向けて引加することで、被検体の周囲の地面やコンクリート下の部分にも磁場を広げて照射することでき、地面やコンクリートの下となることでそのままでは見えない埋設部分の被検体の板厚の変化を計測することができる。特に、磁場の引加方向あるいは引加目標の異なる第１モードと第２モードで計測を行うことで、板厚が変化している位置を特定することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明に係る非破壊検査装置の構成概略図である。

[図2]本発明に係る非破壊検査装置の要部の構成図である。

[図3]本発明に係る非破壊検査装置の要部の変容例の構成図である。

[図4]１つの磁気プローブによる減肉試験体の計測試験によって得られた磁気スペクトルの腐食深さ依存性を示したグラフである。

[図5]1Hzの引加磁場で得られた磁気ベクトルを基準ベクトルとして20Hzの引加磁場で得られた磁気ベクトルの差ベクトルを用い、磁気信号強度の腐食深さ依存性を示したグラフである。

[図6]試験体の表面と磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を30度とした場合と、45度とした場合であって、磁気信号強度の距離依存性を示したグラフである。

[図7]試験体の表面と磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を30度とした場合と、45度とした場合であって、磁気信号強度の距離依存性を示したグラフである。

[図8]試験体の表面と磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を45度とした場合であって、磁気信号強度の距離依存性を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 本発明の非破壊検査装置は、図１に示すように、基端側を地中に埋設することで地面に立設した被検体Ｔの地際部分における減肉を検出する非破壊検

査装置である。図１中、符号Ｓは地面である。

[0014] 非破壊検査装置は、印加コイルと磁気センサとを備えた磁気プローブ（図２参照）と、磁気プローブの引加コイルに所定周波数の交流電流を供給する電流源21と、磁気プローブの磁気センサからの出力信号を検波する検波器30と、検波器30の出力信号を用いて解析を行う解析器40とで構成している。図１中、符号41は解析器40に接続した表示装置である。本実施形態では、図２に示すように、磁気プローブ11,12は、箱状のプローブホルダ10内に取り付けている。

[0015] プローブホルダ10は、被検体Ｔの周囲を周回可能としている。本実施形態では、図１に示すように、被検体Ｔには、地面Ｓから所定の高さに周回レールＲを着脱自在に装着し、この周回レールＲを走行する走行機構19をプローブホルダ10の上部に設けて、周回レールＲに沿ってプローブホルダ10を移動可能としている。

[0016] 走行機構19は、本実施形態では、プローブホルダ10の上部に突出させた支持フレーム19aと、支持フレーム19aから水平方向に突出させた駆動軸19b（図２参照）と、この駆動軸19bに装着して回転駆動する駆動輪19cと、周回レールＲを挟んで駆動輪19cと対向させて配置した補助輪19dと、駆動軸19bを回転駆動させる駆動モータ19eとで構成している。

[0017] 走行機構19では、駆動輪19cと補助輪19dとで周回レールＲを挟持して、駆動輪19cを回転させることで周回レールＲに沿って磁気プローブ10を移動可能としている。周回レールＲには、所定位置に原点マークをも設けておいて、走行機構19が周回レールＲに沿って一回転したことを検出可能としてもよい。図１では省略しているが、解析器40から走行機構19に制御信号を入力することとしており、解析器40による制御によって走行機構19の走行制御を行っている。

[0018] 電流源21は、周波数発信器22から入力された周波数信号に基づいて所定周波数の交流電流としてプローブホルダ10内の各磁気プローブ11,12に入力している。

[0019] 検波器30は、本実施形態では、磁気プローブ11,12の磁気センサから出力された信号が入力される磁気センサ計測回路31と、この磁気センサ計測回路31から出力された信号に対して、周波数発信器22から出力されている周波数信号に基づいて検波するロックイン検波器32とで構成している。

[0020] ロックイン検波器32から出力された信号は、解析器40に入力して、後述する解析を実行している。

[0021] 後述するように、プローブホルダ10内に２つの磁気プローブ11,12を設ける場合には、電流源21、周波数発信器22、磁気センサ計測回路31及びロックイン検波器32を適宜の切替スイッチを介して磁気プローブ11,12にそれぞれ接続してもよい。あるいは、磁気プローブ11,12ごとに電流源21、周波数発信器22、磁気センサ計測回路31及びロックイン検波器32を設けてもよい。

[0022] 本実施形態では、図２に示すように、プローブホルダ10内には、第１磁気プローブ11と第２磁気プローブ12を取り付けている。

[0023] 第１磁気プローブ11及び第２磁気プローブ12は、それぞれ引加コイル11a,12aと、磁気センサ11b,12bとを内蔵している。引加コイル11a,12aは、それぞれ所定の配線を介して電流源21と接続しているが、配線は省略している。また、磁気センサ11b,12bもそれぞれ所定の配線を介して磁気センサ計測回路31と接続しているが、配線は省略している。

[0024] 引加コイル11a,12aは、それぞれ第１磁気プローブ11及び第２磁気プローブ12の先端側に設けている。引加コイル11a,12aは、交流磁場を生じさせることで、被検体Ｔに渦電流を生じさせることとしている。

[0025] 引加コイル11a,12aの中心位置には磁気センサ11b,12bを設けている。この磁気センサ11b,12bは、被検体Ｔに生じた渦電流によって生じる磁場を検出している。

[0026] 磁気センサ11b,12bは、本実施形態では磁気抵抗素子を用いているが、磁気抵抗素子の代わりとしてトンネル型抵抗素子(TMR)、磁気インピーダンス素子（MI）、超伝導量子干渉素子(SQUID)などの低周波から感度がある適宜のセンサを用いることができる。

[0027] さらに、引加コイル11a,12aの内側には、キャンセルコイル11c,12cを同軸状に設けている。特に、キャンセルコイル11c,12cの中心位置に磁気センサ11b,12bを配置することが望ましい。キャンセルコイル11c,12cでは、引加コイル11a,12aによって生じた磁場であって、引加コイル11a,12a内の磁気センサ11b,12bに作用する磁場をキャンセルする磁場を生じさせることで、磁気センサ11b,12bへの引加コイル11a,12aの影響を軽減することとしている。なお、磁気センサ11b,12bの配置は、引加コイル11a,12aによって生じさせた交流磁場によって被検体Ｔに誘導された磁場を検出できれば、どこに配置してもよい。

[0028] 本実施形態では、第１磁気プローブ11は、引加コイル11aの中心軸を被検体Ｔの地際近傍に向けて、印加コイル11aで生成した磁場を引加することとしている。すなわち、引加コイル11aの中心軸と被検体Ｔの外側面とが所定の角度αで交差することとなっている。ここで、説明の便宜上、引加コイル11aの中心軸と、被検体Ｔの外側面との交点をＰとする。被検体Ｔに生じる減肉は、地際部分よりも若干下側に生じることが多いため、図２に示すように、交点Ｐは地面Ｓよりも下側、すなわち地中側とすることが望ましい。

[0029] また、本実施形態では、引加コイル11aの中心軸と被検体Ｔの外側面とのなす角度αを約３０度としているが、磁気プローブの形状や被検体Ｔの鋼材の形状に合わせて、角度は任意とすることができる。また、角度調整機構を設けて、引加コイル11aの中心軸の向きを調整可能としてもよい。

[0030] 第２磁気プローブ12は、図２に示すように、引加コイル12aの中心軸と被検体Ｔの外側面とが角度αより大きい角度βを有するように引加コイル12aの中心軸を調整している。すなわち、第２磁気プローブ12は、第１磁気プローブ11の印加コイル11aによる磁場の引加方向と異なる方向に向けて、印加コイル12aで被検体Ｔに磁場を引加している。ここで、図２では、第２磁気プローブ12の中心軸も点Ｐで被検体Ｔの外側面と交差するように描いているが、できる限り同一点Ｐで交差する状態とすることが望ましい。また、この場合において、第１磁気プローブ11の印加コイル11aから被検体Ｔまでの距離と、第２磁気

プローブ12の印加コイル12aから被検体Ｔまでの距離が異なっていてもよい。

[0031] 図２では、第１磁気プローブ11と第２磁気プローブ12の２つの磁気プローブを用いているが、１つの磁気プローブで、位置調整機構を設けて、第１磁気プローブ11の位置と、第２磁気プローブ12の位置とにそれぞれ磁気プローブを移動させてもよい。

[0032] 他の実施形態として、図３のように、プローブホルダ10'内で、第１磁気プローブ11'と第２磁気プローブ12'とをそれぞれ上下に配設してもよい。

[0033] 本実施形態でも、第１磁気プローブ11'は、引加コイル11a'の中心軸を被検体Ｔの地際近傍に向けて、印加コイル11a'で生成した磁場を引加することとしている。すなわち、引加コイル11a'の中心軸と、被検体Ｔの外側面とが所定の角度α¥och'を有することとなっている。ここで、説明の便宜上、引加コイル11a'の中心軸と、被検体Ｔの外側面との交点をＰ'とする。図３中、符号11b'は第１磁気プローブ11'の磁気センサ、符号11c'は第１磁気プローブ11'のキャンセルコイルである。

[0034] 第２磁気プローブ12'は、図３に示すように、引加コイル12a'の中心軸が、被検体Ｔの外側面と所定の角度α¥och'で交差する状態で、地面Ｓから所定の高さとしている。この場合、引加コイル12a'の中心軸が被検体Ｔの外側面と交差する交点Ｐ"は、被検体Ｔの地際から離れていいるが、計測において問題となることはない。図３中、符号12b'は第２磁気プローブ12'の磁気センサ、符号12c'は第２磁気プローブ12'のキャンセルコイルである。なお、第１磁気プローブ11'と第２磁気プローブ12'とで、それぞれの引加コイル11a',12a'の中心軸と被検体Ｔの外側面と交差角度は必ずしも同一である必要はなく、可能であれば同一とすることが望ましい。

[0035] 図３では、第１磁気プローブ11'と第２磁気プローブ12'の２つの磁気プローブを用いているが、１つの磁気プローブで、昇降機構を設けて、第１磁気プローブ11'の位置と、第２磁気プローブ12'の位置とにそれぞれ磁気プローブを昇降移動させてもよい。

[0036] 以下において、本発明の非破壊検査装置を用いた検査方法について説明す

る。

[0037] 本発明の非破壊検査装置では、磁気プローブの印加コイルから交流磁場を被検体Ｔに引加することで被検体Ｔに渦電流を発生させている。なお、引加する交流磁場は、２つ以上の交流周波数が合成された交流磁場や、あるいは時間で周波数を切り替えた交流磁場等、検査に合わせて適宜の交流磁場を生成可能としている。

[0038] 引加された交流磁場に基づいて被検体Ｔには渦電流が生じる。この渦電流が生成する磁場を磁気センサで検出し、磁気センサ計測回路から検出信号として出力している。

[0039] 磁気センサ計測回路から出力された検出信号はロックイン検波器に入力し、ロックイン検波器では、周波数発信器から入力された周波数情報の信号に基づいて、印加コイルによる印加磁場の周波数と同じ周波数であって、同位相となっている検出信号の実数成分信号と、90°位相がずれた虚数成分信号を検波して出力している。なお、ロックイン検波器の代わりに、検出信号の時間波形をＡＤ変換して、パソコン等によりデジタル的に同相成分と90°位相成分を解析することで、実数成分信号と虚数成分信号とを生成することもできる。

[0040] 実数成分信号と虚数成分信号は解析器に入力している。解析器では、実数成分信号を実数成分、虚数成分信号を虚数成分とする磁場ベクトルとして扱っている。さらに、解析器では、いずれかの周波数での磁場ベクトルを基準ベクトルとして、この基準ベクトルとの差ベクトルデータを生成することとしている。

[0041] ここで、減肉サンプル体として、板厚４ｍｍの鋼板であって、この鋼板の裏面を幅60ｍｍで、深さを0.5ｍｍ、１ｍｍ、２ｍｍ、３ｍｍとそれぞれ研削することで減肉した試験体を用いた。これらの各試験体に対して、１つの磁気プローブを用いて、印加磁場の周波数を１Hzから100Hzの間で走査して得られた差ベクトルの結果を図４に示す。ここで、基準ベクトルは、１Hzの場合の磁場ベクトルとしている。また、磁気プローブの引加コイルの中心軸は、

試験体の表面と直交させている。

[0042] 図４は、各周波数における磁場ベクトルを実軸と虚軸の２次元平面に描いた磁気スペクトルとなっている。図４に示すように、試験体の板厚の変化に応じて磁気スペクトルの大きさが変化しており、試験体の板厚が薄い、つまり腐食による減肉が大きいほど信号が減衰していることが分かる。

[0043] なお、印加磁場の周波数を１Hzから100Hzの間で走査して測定を行う場合には、測定時間が比較的長時間となる。そこで、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、例えば印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量を比較した結果を図５に示す。図５に示すように、この場合でも、図４と同様に、試験体の板厚による信号変化を抽出することができた。しかも、２つの周波数でも板厚変化を測定することができており、より短い時間で測定することができることを示している。

[0044] ここで、磁気プローブの引加コイルの中心軸は、試験体の表面と直交させているが、上述したように、本発明の非破壊検査装置では、磁気プローブの引加コイルの中心軸は、被検体の外表面と所定の角度を有することとなっている。

[0045] そこで、２ｍｍの研削を行った試験体を用いて、この試験体の表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸とが30度で交差する場合と、45度で交差する場合として計測を行った。ここで、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量を計測した。さらに、磁気プローブの試験体からの距離を０ｍｍ、10ｍｍ、20ｍｍ、30ｍｍ、40ｍｍとして距離依存性を確認した。結果を図６に示す。

[0046] 図６に示すように、磁気プローブが試験体から離れるにつれて信号強度変化量が変化していることから、磁気プローブから減肉箇所までの距離情報が得られることがわかる。また、磁気プローブの引加コイルの中心軸と被検体とのなす角で違いがあることが確認できた。

[0047] 上述した試験は、２ｍｍの研削を行った試験体を用いた場合であるが、他の試験体についても同様に試験した結果を図７に示す。すなわち、各試験体

の表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸とが30度で交差する場合と、45度で交差する場合としている。また、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量を計測している。さらに、磁気プローブの試験体からの距離を０ｍｍ、10ｍｍ、20ｍｍ、30ｍｍ、40ｍｍとしている。

[0048] 図７において、ある被検体に対して被検体の外表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を45度とし、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量が約$1.3\times10^{5}\mu$Ｖ（図７のラインＡ）であったとする。なお、被検体Ｔと試験体とは同一材質である。

[0049] この場合には、磁気プローブから減肉箇所までの距離と、減肉量との関係として、以下の３つのケースが考えられることになる。

１）距離30ｍｍで、減肉量３ｍｍ（図７のラインＡで右端の矢印）

２）距離12ｍｍで、減肉量２ｍｍ（図７のラインＡで真ん中の矢印）

３）距離８ｍｍで、減肉量１ｍｍ（図７のラインＡで左端の矢印）

[0050] ここで、被検体に対して被検体の外表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を30度とし、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量が約5.2×10^{4} μＶ（図７のラインＢ）であった場合には、磁気プローブから減肉箇所までの距離と、減肉量との関係として、以下の３つのケースが考えられることになる。

１）距離33ｍｍで、減肉量３ｍｍ（図７のラインＢで右端の矢印）

２）距離12ｍｍで、減肉量２ｍｍ（図７のラインＢで真ん中の矢印）

３）距離５ｍｍで、減肉量１ｍｍ（図７のラインＢで左端の矢印）

[0051] この２つのデータから、減肉箇所は、磁気プローブから距離12ｍｍで、減肉量２ｍｍであると判定できることになる。

[0052] 本発明の非破壊検査装置では、このことを利用しており、例えば、磁気プローブの引加コイルの中心軸とが30度で交差する場合を第１モード、磁気プ

ローブの引加コイルの中心軸とが45度で交差する場合を第２モードとしてそれぞれ計測を行うことで、被検体に生じている減肉箇所までの距離と減肉量を判定することが可能となっている。

[0053] 特に、図２に示すように、第１モード用の第１磁気プローブ11と、第２モード用の第２磁気プローブ12を設けて検査を行うことで、より短時間で検査を実行することができる。なお、第１磁気プローブ11と第２磁気プローブ12との精度差が気になる場合には、１つの磁気プローブとプローブ位置の調整機構とで、磁気プローブの位置を第１モードと第２モードで異ならせながら計測を行ってもよい。

[0054] また、第１モードと第２モードで引加コイルの中心軸の方向を異ならせることで印加コイルの位置を異ならせる場合だけでなく、図３に示すように、印加コイルの位置そのものを異ならせても同様に、被検体に生じている減肉箇所までの距離と減肉量を判定することができる。

[0055] 図８は、図７のグラフと同様に、各試験体の表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸とが45度で交差する場合として、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量を計測し、さらに、磁気プローブの試験体からの距離を０ｍｍ、10ｍｍ、20ｍｍ、30ｍｍ、40ｍｍとして計測した結果のグラフである。

[0056] ある被検体に対して被検体の外表面と、磁気プローブの引加コイルの中心軸との交差角度を45度とし、印加磁場の周波数を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量が約$1.2\times10^{5}\mu$Ｖ（図８のラインＣ）であったとする。

[0057] この場合には、磁気プローブから減肉箇所までの距離と、減肉量との関係として、以下の２つのケースが考えられることになる。

１）距離22ｍｍで、減肉量３ｍｍ（図８のラインＣで右側の矢印）

２）距離５ｍｍで、減肉量２ｍｍ（図８のラインＣで左側の矢印）

[0058] ここで、磁気プローブの位置を地面Ｓの位置から離隔させた位置、例えば、磁気プローブの位置を約20ｍｍだけ上方に移動させて、印加磁場の周波数

を１Hzとした場合を基準として、印加磁場の周波数を20Hzとした場合の信号強度の変化量を計測した値が約1.42×10^{5}μＶ（図８のラインＤ）であったとする。

[0059] ここで、上記のケース１）では、距離22ｍｍに磁気プローブの移動量の約20ｍｍを加えた距離約42ｍｍで、ラインＤで交差するデータがないの対して、上記ケース２）では、距離約５ｍｍに磁気プローブの移動量の約20ｍｍを加えた距離約25ｍｍ近傍で、ラインＤが減肉量２ｍｍのデータと交差していることから、減肉箇所は、ケース２）であると判定できることになる。

[0060] 図３に示す非破壊検査装置では、このことを利用しており、例えば、磁気プローブの引加コイルを地面Ｓに最近接させた場合を第１モード、この第１モードにおける磁気プローブの位置よりも上方に移動させた位置とする場合を第２モードとしてそれぞれ計測を行うことで、被検体に生じている減肉箇所までの距離と減肉量を判定することが可能となっている。

[0061] 特に、図３に示すように、第１モード用の第１磁気プローブ11’と、第２モード用の第２磁気プローブ12’を設けて検査を行うことで、より短時間で検査を実行することができる。なお、第１磁気プローブ11’と第２磁気プローブ12’との精度差が気になる場合には、１つの磁気プローブとプローブ位置の調整機構とで、磁気プローブの位置を第１モードと第２モードで異ならせながら計測を行ってもよい。

[0062] 以上のように、本発明の非破壊検査装置では、磁気プローブの角度を変えて、それぞれの角度における２つ以上の周波数で得られた磁気センサの出力を検波あるいは解析して得られたそれぞれの磁気成分の強度と位相を用いて解析することによって、腐食によって減肉が生じている箇所の減肉量と深さ位置を判定できる。あるいは、測定対象箇所からの磁気プローブの距離を変えて、２つ以上の周波数で得られた磁気センサの出力を検波あるいは解析して得られたそれぞれの磁気成分の強度と位相を用いて解析することによって、腐食によって減肉が生じている箇所の減肉量と深さ位置を判定できる。

[0063] なお、被検体となる鉄鋼には様々な種類がありこれらの材料に各腐食の減

肉量と深さの位置をあらかじめデータベース化して、角度あるいは距離による磁気信号の変化の校正曲線をあらかじめ準備しておくことで、腐食による減肉量と派生している深さ位置をより正確に判定することができる。

[0064] 本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例・設計変更などをその技術的範囲内に包含することは云うまでもない。例えば、本実施例では鋼材を例に示したが、非磁性であるステンレス、銅、アルミ、チタンなど金属であればすべて適用することができる。また、対象として地中に埋まっているものでなく、壁や保護材などに隠れた部分でも適用することができる。

産業上の利用可能性

[0065] 本発明は、金属性の構造物の地際などの隠れた部分の腐食などの欠陥検出に広く用いることができるので、従来困難であった橋梁等の鉛直材、斜材や照明塔の支柱などの社会インフラ分野だけでなく、化学プラントの配管、貯蔵タンクなど工業分野での応用もできる。

符号の説明

[0066]

10	プローブホルダ
11,11'	磁気プローブ
11a,11a'	引加コイル
11b,11b'	磁気センサ
11c,11c'	キャンセルコイル
12,12'	磁気プローブ
12a,12a'	引加コイル
12b,12b'	磁気センサ
12c,12c'	キャンセルコイル
19	走行機構
21	電流源
22	周波数発信器
30	検波器

31	磁気センサ計測回路
32	ロックイン検波器
40	解析器
41	表示装置
T	被検体
S	地面
R	周回レール

請求の範囲

[請求項1] 基端側を地中に埋設することで地面に立設した被検体に磁場を引加する印加コイルと、この印加コイルで引加された磁場に対する前記被検体からの応答を検出する磁気センサとを備えた磁気プローブと、

前記引加コイルに所定周波数の交流電流を供給する電流源と、

前記磁気センサからの出力信号を検波する検波器と、

この検波器の出力信号を用いて解析を行う解析器と

を有する非破壊検査装置において、

前記被検体の地際に向けて前記印加コイルで生成した磁場を引加する第１モードと、

この第１モードの前記印加コイルの位置とは異なる位置とした印加コイルで前記被検体に磁場を引加する第２モードと

で前記被検体からの応答を検出する非破壊検査装置。

[請求項2] 前記第２のモードの前記引加コイルの中心軸の方向を、前記第１モードの前記印加コイルの中心軸方向と異ならせている請求項１に記載の非破壊検査装置。

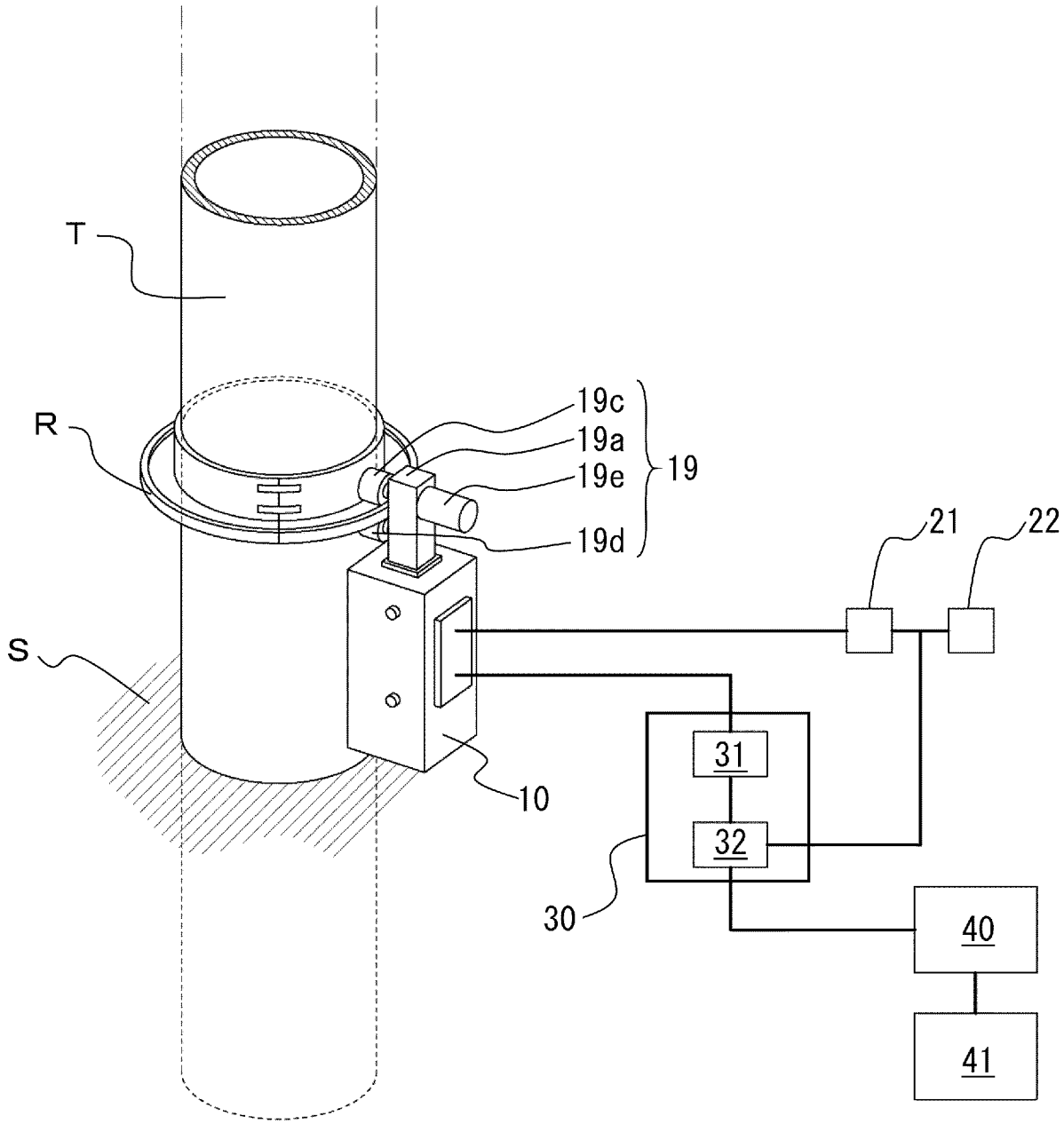
[請求項3] 前記第２のモードの前記引加コイルの前記地面からの高さを、前記第１モードの前記印加コイルの前記地面からの高さと異ならせている請求項１に記載の非破壊検査装置。

[請求項4] 前記第１モードの磁場を引加する第１の磁気プローブと、

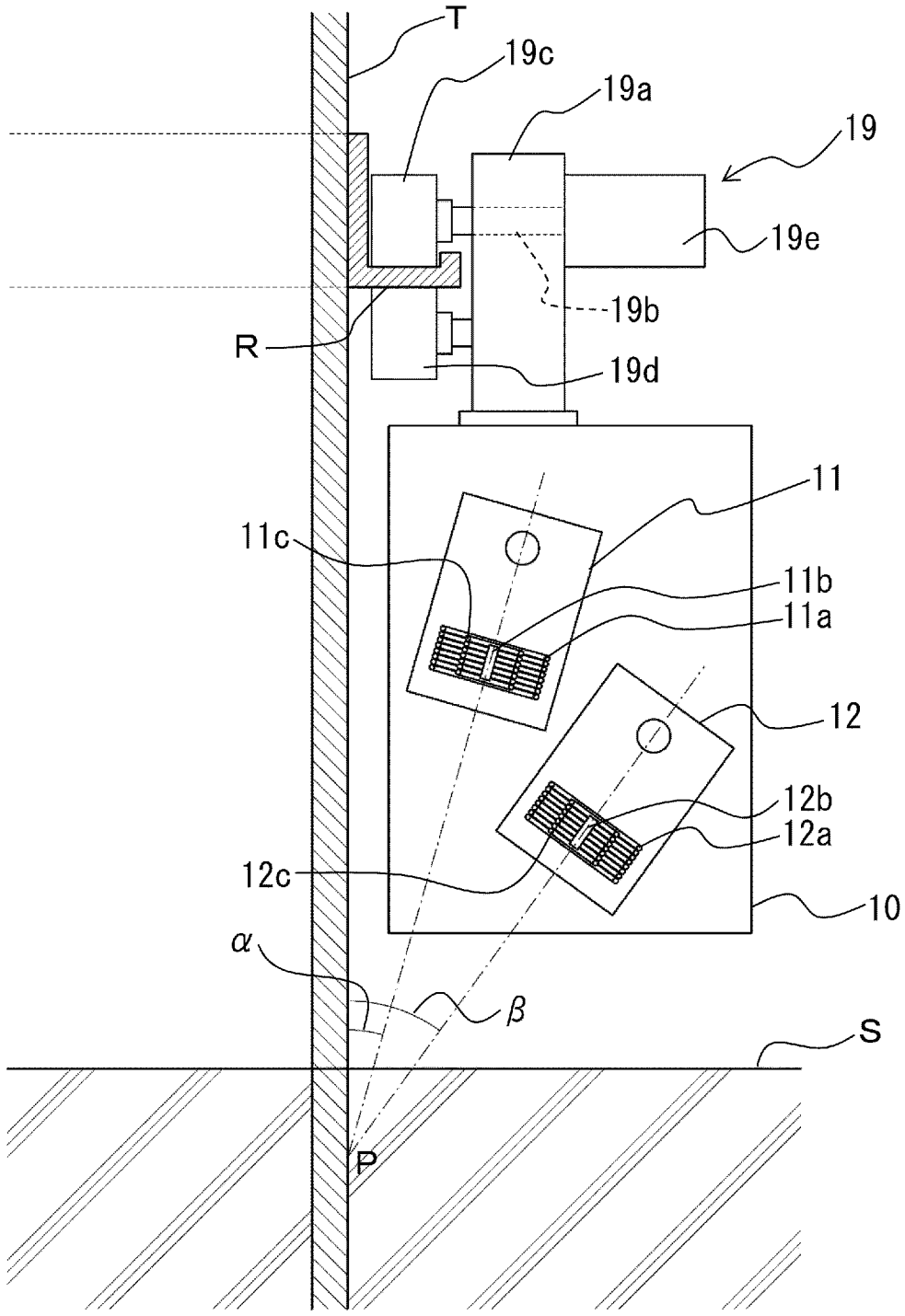
前記第２モードの磁場を引加する第２の磁気プローブと

を有する請求項１～３のいずれか１項に記載の非破壊検査装置。

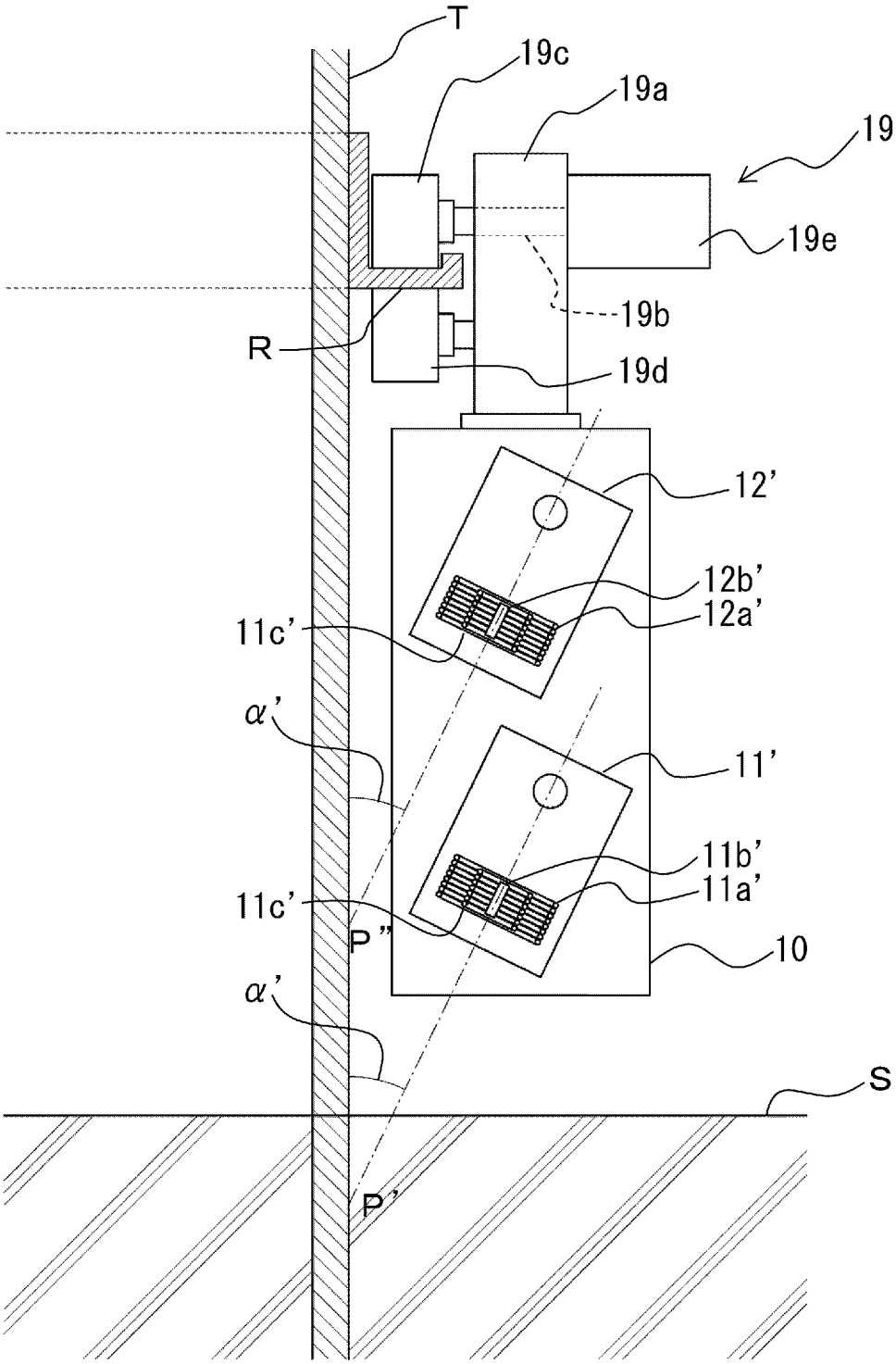
[図1]



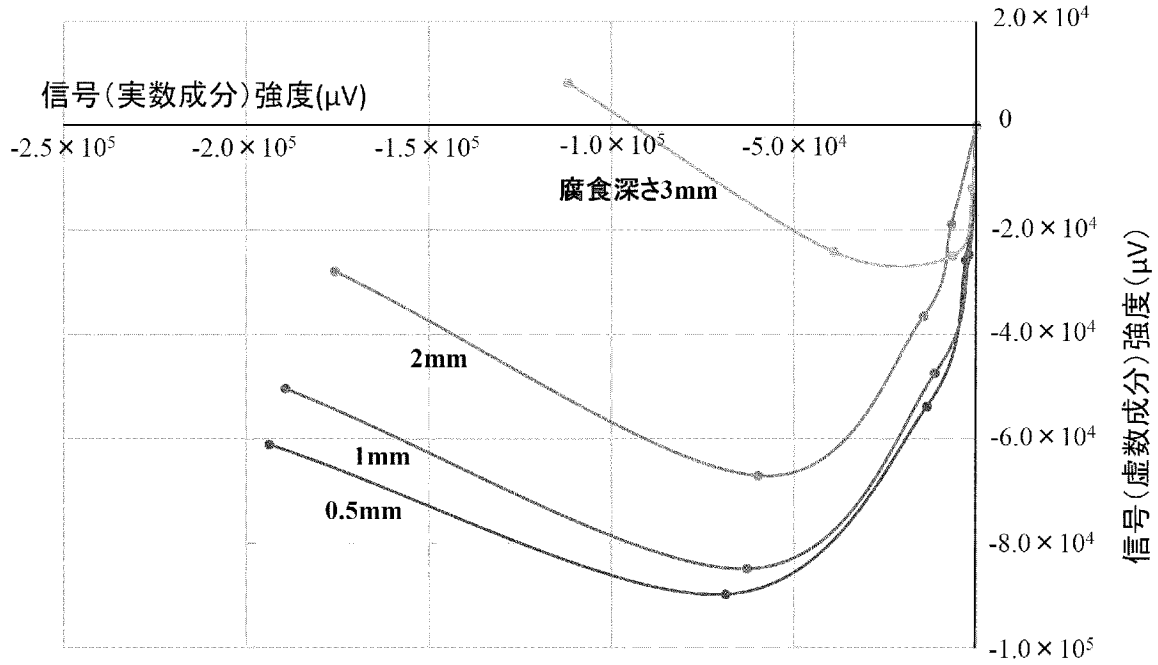
[図2]



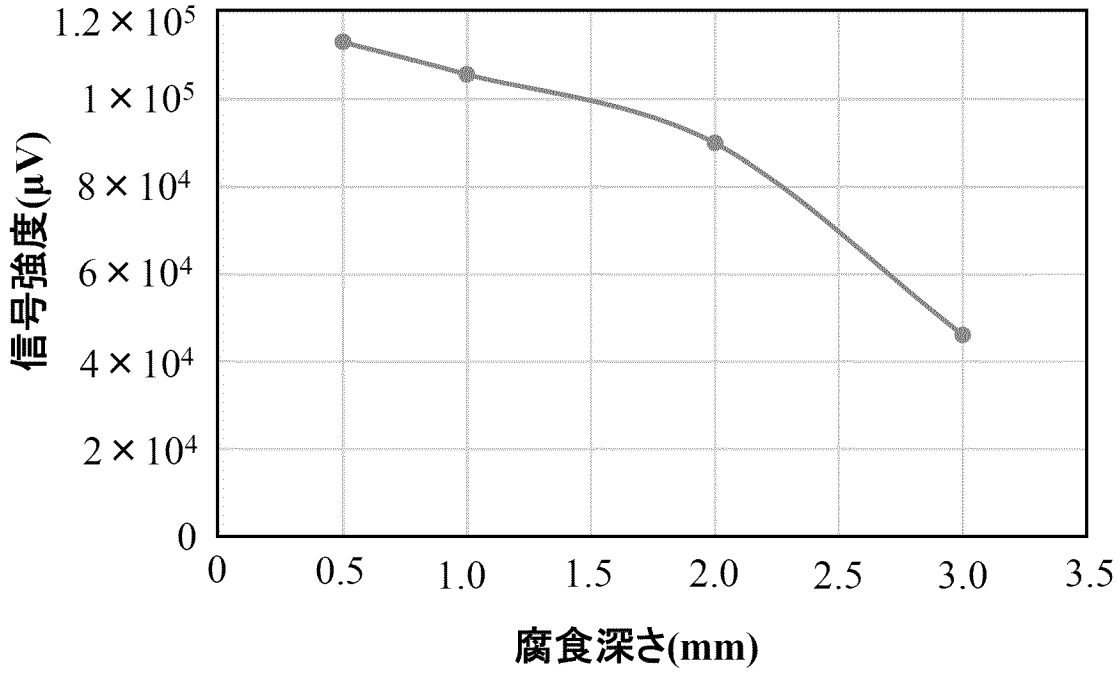
[図3]



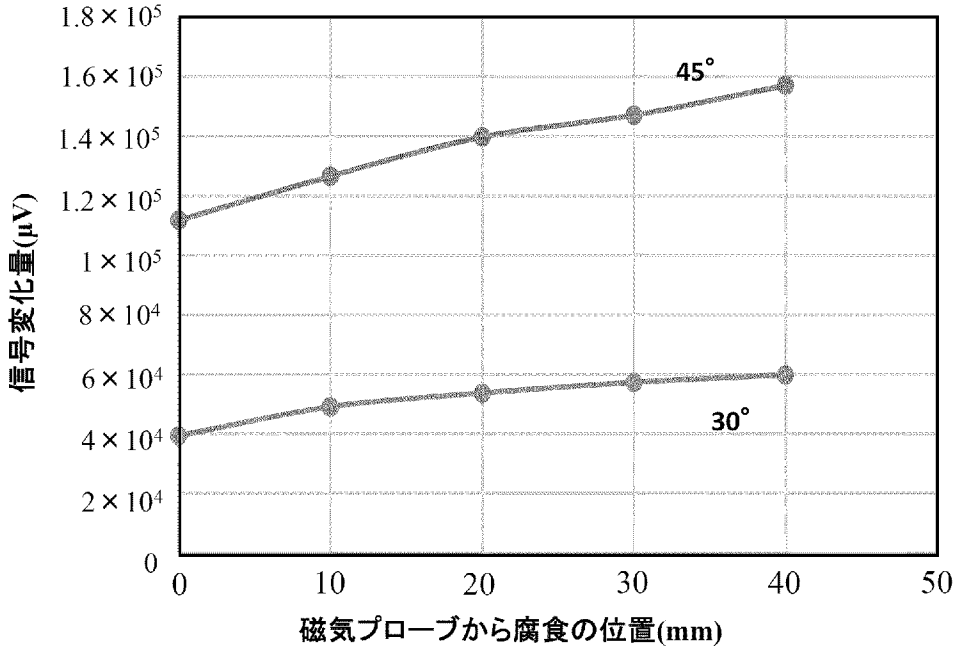
[図4]


信号（実数成分）強度(μV)
-2.5×10^5
-2.0×10^5
-1.5×10^5
-1.0×10^5
-5.0×10^4
0
腐食深さ3mm
2mm
1mm
0.5mm
2.0×10^4
-2.0×10^4
-4.0×10^4
-6.0×10^4
-8.0×10^4
-1.0×10^5
信号（虚数成分）強度（μV）

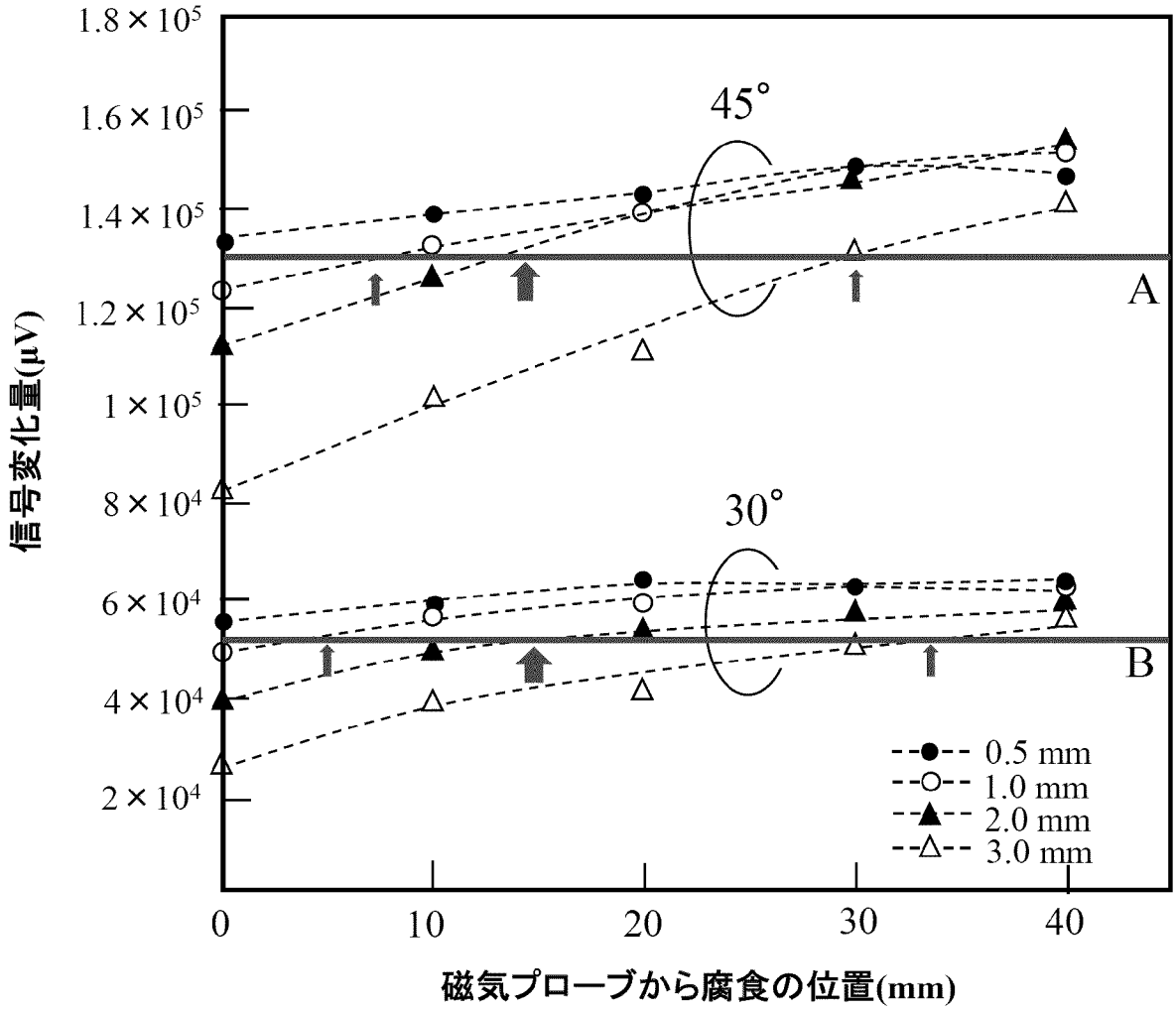
[図5]


1.2×10^5
1×10^5
8×10^4
6×10^4
4×10^4
2×10^4
0
信号強度(μV)
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
腐食深さ(mm)

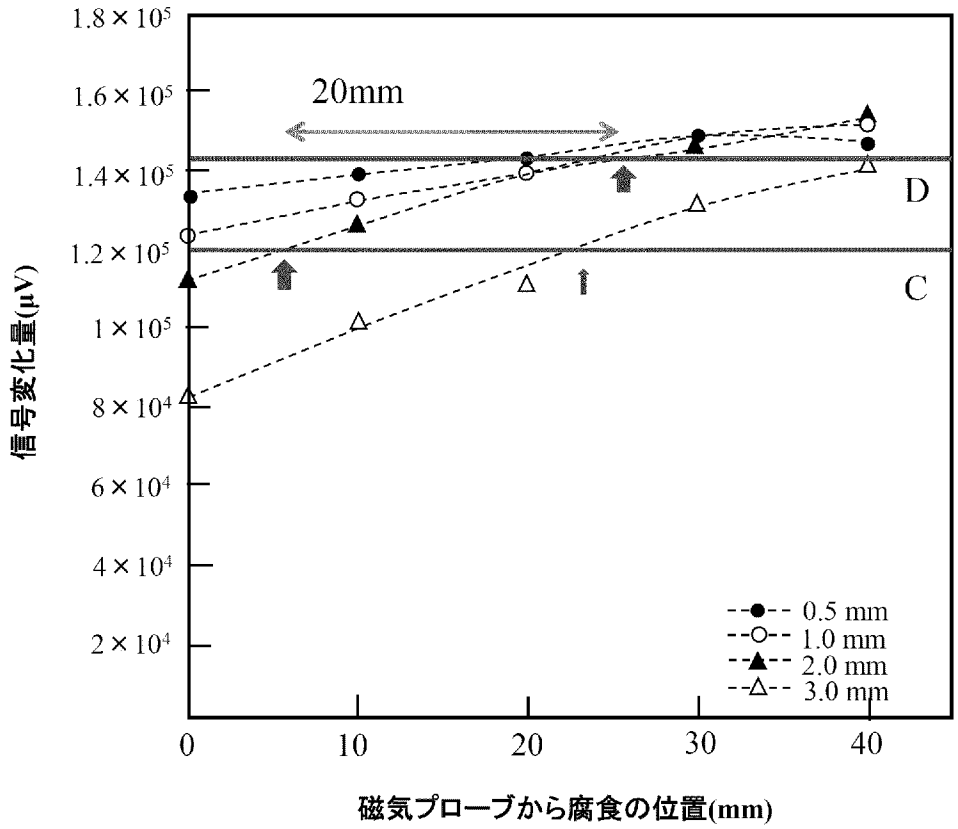
[図6]


1.8×10^5
1.6×10^5
1.4×10^5
1.2×10^5
1×10^5
8×10^4
6×10^4
4×10^4
2×10^4
0
45°
30°
信号変化量(μV)
0
10
20
30
40
50
磁気プローブから腐食の位置(mm)

[図7]


1.8×10^5
1.6×10^5
1.4×10^5
1.2×10^5
1×10^5
8×10^4
6×10^4
4×10^4
2×10^4
45°
30°
A
B
0.5 mm
1.0 mm
2.0 mm
3.0 mm
信号変化量(μV)
0
10
20
30
40
磁気プローブから腐食の位置(mm)

[図8]


1.8×10^5
1.6×10^5
1.4×10^5
1.2×10^5
1×10^5
8×10^4
6×10^4
4×10^4
2×10^4
信号変化量(μV)
20mm
D
C
0.5 mm
1.0 mm
2.0 mm
3.0 mm
0
10
20
30
40
磁気プローブから腐食の位置(mm)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/013461

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01N27/90(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)
Int.Cl. G01N27/72-27/90

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 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016-3995 A (KOBELCO KAKEN KK) 12 January 2016, paragraphs [0022]-[0049], fig. 1-5 (Family: none)	1-4
Y	JP 6-242076 A (TOSHIBA CORPORATION) 02 September 1994, paragraphs [0009]-[0018], fig. 1-3 (Family: none)	1-4

☒ 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	Date of mailing of the international search report
07.06.2018	19.06.2018
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/JP2018/013461

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-153791 A (MAHLE INTERNATIONAL GMBH) 25 August 2016 & US 2016/0245720 A1 & EP 3059584 A1 & DE 102015203119 A1	1-4
A	JP 2012-529024 A (NUOVO PIGNONE S.P.A) 15 November 2012 & US 2010/0308818 A1 & WO 2010/139795 A1 & CA 2762476 A1 & CN 102460142 A	1-4
A	JP 63-298053 A (ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED) 05 December 1988 & US 4808924 A & GB 2203840 A & DE 3802073 A1 & FR 2611277 A1	1-4
A	JP 61-219857 A (NICHIZOU TEC KK) 30 September 1986 (Family: none)	1-4
A	US 2009/0115410 A1 (MCKNIGHT et al.) 07 May 2009 & EP 2056102 A2	1-4

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０１３４６１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N27/90(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.　G01N27/72-27/90

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	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８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/JMEDPlus/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
Y	JP 2016-3995 A（株式会社コベルコ科研） 2016.01.12, 段落[0022]-[0049]、図 1-5 （ファミリーなし）	1-4
Y	JP 6-242076 A（株式会社東芝） 1994.09.02, 段落[0009]-[0018]、図 1-3 （ファミリーなし）	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	国際調査報告の発送日
０７．０６．２０１８	１９．０６．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　2W　６００３
小澤　瞬
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８

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	JP 2016-153791 A (マーレ　インターナショナル　ゲゼルシャフト ミット　ベシュレンクテル　ハフツング) 2016.08.25, & US 2016/0245720 A1 & EP 3059584 A1 & DE 102015203119 A1	1-4
A	JP 2012-529024 A (ヌオーヴォ　ピニォーネ　ソシエタ　ペル　アチオニ) 2012.11.15, & US 2010/0308818 A1 & WO 2010/139795 A1 & CA 2762476 A1 & CN 102460142 A	1-4
A	JP 63-298053 A (アトミック　エナジー　オブ　カナダ　リミテツド) 1988.12.05, & US 4808924 A & GB 2203840 A & DE 3802073 A1 & FR 2611277 A1	1-4
A	JP 61-219857 A (株式会社ニチゾウテツク) 1986.09.30, (ファミリーなし)	1-4
A	US 2009/0115410 A1 (MCKNIGHT et al.) 2009.05.07, & EP 2056102 A2	1-4