

(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
2018年12月13日(13.12.2018)



(10) 国際公開番号

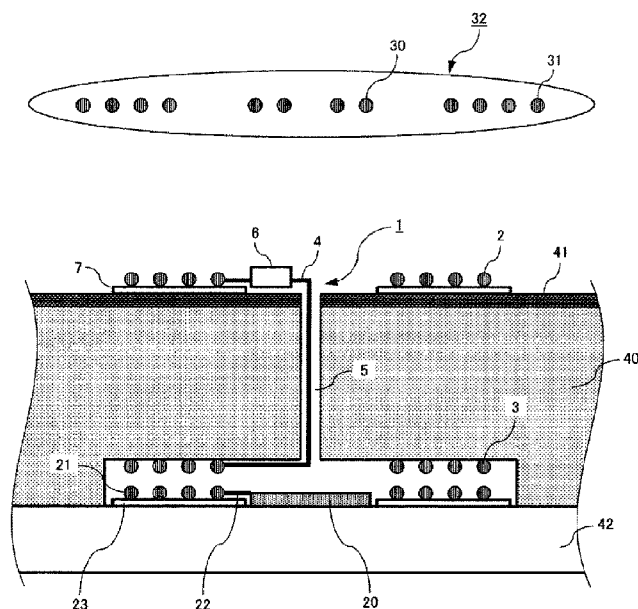
WO 2018/225525 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/04 (2006.01) *G01N 29/22* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/020043
- (22) 国際出願日: 2018年5月24日(24.05.2018)
- (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 2017-113171 2017年6月8日(08.06.2017) JP
- (71) 出願人: 日立 G E ニュークリア・エナジー株式会社(HITACHI-GE NUCLEAR ENERGY, LTD.) [JP/JP]; 〒3170073 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 Ibaraki (JP). インダクトゥセンズ リミテッド(INDUCTOSENSE LIMITED) [GB/GB]; BS16QH ブリストル ステーション アプローチ エンジン シェド Bristol (GB). ユニバーシティ オブ ブリストル(UNIVERSITY OF BRISTOL) [GB/GB]; BS81TH ブリストル ティンドール アベニュー Bristol (GB).
- (72) 発明者: 田 村 明 紀 (TAMURA Akinori); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 菅野 智(KANNO Satoshi); 〒3170073 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立 G E ニュークリア・エナジー株式会社内 Ibaraki (JP). ウィルコックス ポール(WILCOX Paul); BS81TH ブリストル ティンドール アベニュー ユニバーシティ オブ ブリストル内 Bristol (GB). クロックフォード アンソニー(CROXFORD

(54) Title: SENSOR SYSTEM

(54) 発明の名称: センサシステム

図 1



(57) **Abstract:** Provided is a sensor system with which it is possible to perform ultrasonic examination of wall thinning, cracking, etc., of a pipe or container covered by a thick-walled cover member, without removing the cover member. This sensor system (1), which is used in non-destructive examination, has: a sensor (20) attached to the surface of an object to be examined (42); a sensor coil (21) electrically connected to the sensor (20) by a first cable (22); a first electromagnetic-wave-shielding member (23) arranged between the surface of the object to be examined (42) and the sensor coil (21);



Anthony); BS81TH ブリストル ティンドール
アベニュー ユニバーシティー オブ ブリスト
ル内 Bristol (GB). ゾン チェンファン(**ZHONG
Chenghuan**); BS16QH ブリストル ステーショ
ン アプローチ エンジン シェド インダクト
ゥセンス リミテッド内 Bristol (GB).

(74) 代理人: ポ レール 特許 業 務 法 人 (**POLAIRE
I.P.C.**); 〒1030025 東京都中央区日本橋茅場
町二丁目 1 3 番 1 1 号 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, 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,
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))

a sensor-side coil (3) arranged so as to face the sensor coil (21) across a gap, the sensor-side coil (3) being capable of coupling by electromagnetic inductance; and a probe-side coil (2) arranged so as to be set apart from the sensor-side coil (3), the probe-side coil (2) being electrically connected by a second cable (4).

(57) 要約: 仮に厚肉の被覆部材で覆われた配管或いは容器の減肉、き裂等を、被覆部材を着脱することなく超音波検査可能なセンサシステムを提供する。非破壊検査に用いられるセンサシステム(1)は、検査対象(42)の表面に取り付けられたセンサ(20)と、センサ(20)と第1のケーブル(22)により電氣的に接続されるセンサコイル(21)と、検査対象(42)の表面とセンサコイル(21)との間に配される第1の電磁波遮断部材(23)と、センサコイル(21)に空隙を介して対向するよう配され、電磁誘導により結合し得るセンサ側コイル(3)と、センサ側コイル(3)と離間し配され、第2のケーブル(4)により電氣的に接続されるプローブ側コイル(2)と、を有する。

明 細 書

発明の名称： センサシステム

技術分野

[0001] 本発明は超音波を用いた非破壊検査に好適なセンサシステムに関する。

背景技術

[0002] 非破壊検査技術は対象物を破壊することなくその状態を検査できる技術であり、特に超音波を用いた非破壊検査は、低コスト、適用が容易等の理由から幅広い分野で用いられている。

原子力プラントや火力プラントなどでは、配管や容器等の健全性を担保するため、超音波によるき裂検査や肉厚検査が定期的に行われている。大部分の配管や容器は保温材で覆われているため、超音波検査のためには、まず保温材を取り外し、手動で超音波プローブを予め決められた検査点に押しつけて検査し、その後保温材を復旧する必要がある。また、検査箇所が高所であれば検査の前後で足場組み立てが必要となる。

特に原子力プラントでは、多数の配管、容器を定期検査毎に検査することが規定されており、多大な労力と時間を要している。また、上述の手動による検査では、超音波プローブの押しつけ角等により、超音波プローブに受信される信号が変化するため、検査点毎に超音波プローブを注意深く制御する必要がある。

[0003] このような課題を解決するため、例えば、非特許文献1又は非特許文献2に記載されるように、検査点に予めバッテリーと制御用の電波送受信機を備えた超音波センサを取り付けておく方法が知られている。プラント内に制御用のサーバと制御用電波発信機を配置しておくことで、検査時に制御用サーバから各超音波センサを制御し、各検査点における超音波検査を自動的に行うことができる。保温材下に予め超音波センサを取り付けておくことで、保温材の着脱なしに配管、容器を超音波検査することが可能となる。しかしながら本方法では、超音波センサにバッテリーおよび制御用の電波送受信機を取り

付ける必要があり、バッテリー交換などの定期的なメンテナンスが必要となる。また、センサ自身が大型化するといった課題がある。

[0004] 非特許文献3には、電磁超音波発信子と光ファイバセンサを組み合わせた超音波光プローブによる検査方法が記載されている。電磁超音波発信子により励起した超音波の共振波を光ファイバセンサにより検出する。電磁超音波発振子と光ファイバセンサを予め保温材下の検査点に設置しておくことにより、保温材の着脱なしで配管の超音波検査が可能である。しかしながら、各電磁超音波発振子と光ファイバセンサから電源線や信号線を引き出すため、多数の配線が必要となり、断線のリスクが高くなる。また、本センサにより配管にき裂や減肉が検知された場合、保温材を取り外して手動による詳細検査に移行する必要があるが、本センサの電源線や信号線は保温材を通して外側へ引き出されているため、保温材取り外しには電源線や信号線を切断する必要があり、詳細検査が必要ない部分のセンサまで使用できなくなる課題がある。

[0005] また、特許文献1には、検査対象である金属構造の表面に予め設置されたセンサ、センサの外側に配されるトランスデューサコイル、及びセンサと検査対象である金属構造の表面の間に配される電磁干渉（Electromagnetic Interference : EMI）吸収層を備え、プローブコイルを構成する送信コイルと電磁誘導結合によりトランスデューサコイル及び受信コイルを介してセンサと情報の送受信を行うセンサシステムが開示されている。本方法では、センサ部はセンサとトランスデューサコイルのみで構成され、バッテリーが不要であるため、センサ部がメンテナンスフリーとなるため有望な技術である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1 : GB 2 5 2 3 2 6 6 A 公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1 : S. J a n g , e t . a l , S t r u c t u r a l h e

alth monitoring of a cable-stayed bridge using smart sensor technology: Deployment and evaluation, Smart Structures and Systems, Vol. 6, No. 5-6 (2010) pp. 439-459

非特許文献2: F. Cegla, J. Allin, Ultrasonic monitoring of pipeline wall thickness with autonomous, wireless sensor networks, Oil and Gas Pipeline: Integrity and Safety Handbook (2015)

非特許文献3: 山家, 高橋, 阿彦「火力発電プラントにおける配管減肉の測定技術」東芝レビューVol. 63, No. 4 (2008) pp. 41-44

非特許文献4: C. Zhong, A. Croxford, P. Wilcox, Investigation of Inductively Coupled Ultrasonic Transducer System for NDE, IEEE transactions on ultrasonics, Vol. 60, No. 6 (2013) pp. 1115-1125

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 原子力プラントでは多数の配管、容器の定期的な検査が要求されている。特に配管減肉検査では、日本機械学会により推奨される検査方法が定められており、その中で配管表面での計測ピッチが100mm以下であることが要求されている。本規格に従うと、配管表面に多数のセンサが取り付けられる事になるため、センサ自身がメンテナンスフリーであること、コンパクトであることが重要となる。非特許文献1、非特許文献2、及び非特許文献3に

開示される検査方法に比べ、特許文献１に記載のコイル間の電磁誘導を活用する検査方法では、センサ部がメンテナンスフリー、且つ、コンパクトであるため有効であると考えられる。

一方で、プラント配管の保温材は、保温機能を有する非金属製の保温部と、保温部を保持するための金属製外装材で構成されることが一般的である。保温部はケイ酸カルシウム等の非金属部材で構成され、その肉厚（径方向の厚さ）は例えば最大で９０ｍｍを有する。この場合、特許文献１に記載に記載される構成では、センサの外側に配されるトランスデューサコイルの外径を９０ｍｍ～１００ｍｍにする必要があり、上述の計測ピッチが１００ｍｍ以下とする規格には到底対応できない。すなわち、特許文献１の構成では、隣り合うトランスデューサコイルからの信号を受信するという不具合が生じる虞がある。

そこで、本発明は、仮に厚肉の被覆部材で覆われた配管或いは容器の減肉、き裂等を、被覆部材を着脱することなく超音波検査可能なセンサシステムを提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するため、本発明に係るセンサシステムは、非破壊検査に用いられるセンサシステムであって、検査対象の表面に取り付けられたセンサと、前記センサと第１のケーブルにより電氣的に接続されるセンサコイルと、前記検査対象の表面と前記センサコイルとの間に配される第１の電磁波遮断部材と、前記センサコイルに空隙を介して対向するよう配され、電磁誘導により結合し得るセンサ側コイルと、前記センサ側コイルと離間し配され、第２のケーブルにより電氣的に接続されるプローブ側コイルと、を有することを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、仮に厚肉の被覆部材で覆われた配管或いは容器の減肉、き裂等を、被覆部材を着脱することなく超音波検査可能なセンサシステムを提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の一実施例に係る実施例1のセンサシステムの全体概略構成図である。

[図2]図1に示すセンサシステムを構成する各種コイルの形状を示す図である。

[図3]図1に示すセンサシステムの電気回路構成を示す図である。

[図4]公知技術で得られた受信波形と実施例1によるセンサシステムで得られた受信波形の比較図である。

[図5]本発明の他の実施例に係る実施例2のセンサシステムの全体概略構成図である。

[図6]図5に示すセンサシステムの変形例を示す全体概略構成図である。

[図7]本発明の他の実施例に係る実施例3のセンサシステムの全体概略構成図である。

[図8]図7に示すセンサシステムの保温材（被覆部材）への組み込み方法を示す図である。

[図9]本発明の他の実施例に係る実施例4のセンサシステムの全体概略構成図である。

[図10]図9に示すセンサシステムの金属製外装部材上におけるプローブ側コイルの配置を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本明細書において、「検査対象を覆う被覆部材」とは、例えば、保温材或いはコンクリート製の部材である。保温材としては、ケイ酸カルシウム製、ロックウール製、グラスウール製、無定形水練製、若しくは硬質ウレタンフォーム製等が用いられる。

また、本明細書において「外装部材」とは、検査対象を覆う被覆部材の外表面を覆う部材であって、被覆部材が保温材の場合には、金属製外装部材又

は樹脂製外装部材が用いられる。一方、上記被覆部材がコンクリート製の部材である場合は、必ずしもコンクリート製の部材である被覆部材の外表面を覆う外装部材は要しない。よって、外装部材が金属製外装部材である場合、渦電流による影響を防止するため、金属製外装部材の表面とプローブ側コイルとの間に電磁波遮蔽部材（第２の電磁波遮断部材）を設ける。一方、外装部材が樹脂製外装部材或いは被覆部材がコンクリート製の部材である場合、樹脂製外装部材或いはコンクリート製の被覆部材の表面とプローブ側コイルとの間に電磁波遮蔽部材（第２の電磁波遮断部材）を設ける必要はない。

以下では、一例として、被覆部材が保温材であり、且つ、保温材の外表面を覆う外装部材が金属製外装部材である場合を説明するが、これに限られるものでないことは言うまでもない。

以下、図面を用いて本発明の実施例について説明する。

実施例 1

[0013] 図１は本発明の一実施例に係る実施例１のセンサシステムの全体概略構成図であり、図２は図１に示すセンサシステムを構成する各種コイルの形状を示す図である。

図１に示すように、センサシステム１は、検査対象４２の表面に貼付されたセンサ２０、センサ２０と第１のケーブル２２を介して電氣的に接続されるセンサコイル２１、及び、検査対象４２の表面とセンサコイル２１との間に配される第１の電磁波遮断部材２３を備える。また更に、センサシステム１は、センサコイル２１に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル３、センサ側コイル３と離間し配され第２のケーブル４を介して電氣的に接続されるプローブ側コイル２、及び、外装部材としての金属製外装部材４１の表面とプローブ側コイル２との間に配される第２の電磁波遮断部材７を備え、プローブ側コイル２とセンサ側コイル３の間であって、金属製外装部材４１の表面上に金属製外装部材４１の表面と接触することなく回路素子６が取り付けられている。

センサシステム１は、送信コイル３１及び受信コイル３０で構成されるセ

ンサプローブ32と情報の送受信を行う。なお、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙は、できるだけ狭くすることが好ましい。但し、これに限らず、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙を広くしても良い。換言すれば、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙は適宜任意に設定される。

[0014] 本実施例における検査対象42は、炭素鋼若しくはステンレス鋼製の金属板であり、プラント検査における曲率の大きい配管、容器に対応する。検査対象42はプラント運転中、高温となるため、ケイ酸カルシウム製（若しくは、ロックウール製、グラスウール製、無定形水練製、硬質ウレタンフォーム製等）の被覆部材40である保温材にて覆われている。被覆部材40である保温材の周囲には保温材を保持するためアルミ製（若しくは亜鉛メッキ鋼板製）の金属製外装部材41が取り付けられている。センサプローブ32を構成する送信コイル31及び受信コイル30は、通常の超音波検査に用いられるパルサ・レシーバ（図示せず）及びオシロスコープ機能を備えた図示しないPC（Personal Computer）に接続されている。また、金属製外装部材41及び被覆部材40である保温材には、プローブ側コイル2とセンサ側コイル3とを電氣的に接続する第2のケーブル4を挿通可能とするよう、センサ20側へと貫通する貫通口5が形成されている。また、センサ側コイル3は、被覆部材40である保温材の内表面に配されている。

[0015] 図2に示すように、センサシステム1を構成するプローブ側コイル2及びセンサ側コイル3は、渦巻き状或いは螺旋状に成形され、例えば、それぞれ0.05mmの銅線で形成される平型コイルである。また、センサプローブ32を構成する受信コイル30は、平面視、送信コイル31の内側に配され渦巻き状或いは螺旋状に成形され、受信コイル30及び送信コイル31は、例えば、それぞれ0.05mmの銅線で形成される平型コイルである。

[0016] 図3は、図1に示すセンサシステムの電気回路構成を示す図である。センサシステム1を構成するプローブ側コイル2及びセンサ側コイル3並びにセンサプローブ32を構成する受信コイル30及び送信コイル31のサイズ、

巻き数は図3に示す電気回路モデルにより決定する。本電気回路モデルは、図1に示す構成要素を考慮し、本発明において初めて導出されたものである。各コイルのサイズ、巻き数が変化すると、各コイルのレジスタンス R 、キャパシタンス C 、インダクタンス L が変化する。また、各コイルのサイズ及び相対位置からコイル間の相互インダクタンス M が変化する。センサプローブ32を構成する送信コイル31とセンサシステム1を構成するプローブ側コイル2との間の相互インダクタンス M_{12} 、センサプローブ32を構成する受信コイル30とセンサシステム1を構成するプローブ側コイル2との間の相互インダクタンス M_{23} 、及びセンサシステム1を構成するセンサ側コイル3とセンサコイル21との間の相互インダクタンス M_{45} が変化することになる。従って、これらを考慮した上で、入力電圧 V_1 に対し出力電圧 V_3 が最適となるコイルサイズ、巻き数を決定する。

[0017] コイルの外径が大きくなる程、レシーバで受信される信号の SN 比（Signal to Noise比）が向上するが、上述のように配管減肉検査では100mm以下の計測ピッチが要求されるため、隣り合うセンサコイル21の干渉を考慮し、本実施例では、センサシステム1を構成するプローブ側コイル2、センサ側コイル3、及びセンサコイル21の外径を30mmとする。また、センサプローブ32を構成する送信コイル31及び受信コイル30の外径は、 SN 比及び隣接コイルの干渉を考慮し、それぞれ53mm、46mmとする。これらコイルの外径寸法は本寸法に限定されるものではなく、検査対象42の形状、求められる SN 比等によって適宜設定される。

[0018] 超音波検査で用いる周波数が高くなると、コイルの巻き数が少なくなるため、コイルの巻き数のみで電気回路を設計することが困難になる。この課題を解決するため、プローブ側コイル2とセンサ側コイル3との間に回路素子6を取り付けている。回路素子6は、例えばキャパシタ及び／又はレジスタで構成される。一般的に回路素子6は高温環境での使用が困難であるため、本実施例ではプラント運転中、高温となる検査対象42の温度影響を受けにくい、金属製外装部材41の外側に回路素子6を設置している。換言すれば

、回路素子 6 は、金属製外装部材 4 1 の表面上であって金属製外装部材 4 1 の表面と接触することなく設置されている。

[0019] パルサ（図示せず）で発生した送信波に対応する電気信号は、センサプローブ 3 2 を構成する送信コイル 3 1 での電磁誘導により磁場へと変換され、センサシステム 1 を構成するプローブ側コイル 2 で受信される。送信コイル 3 1 により形成された磁場が金属製外装部材 4 1 の表面で渦電流として失われることを防ぐため、プローブ側コイル 2 と金属製外装部材 4 1 との間に第 2 の電磁波遮断部材 7 を設置している。電磁波遮断部材として、例えば米国 3 M 社製 EMI Absorber AB Series の電磁波遮断シートが用いられる。電磁波遮断シートの厚みは、十分に遮断性能を発揮するため、0.2～0.5 mm とするが、より厚いものを用いても良い。センサシステム 1 を構成するプローブ側コイル 2 で磁場を介して受信された電気信号は、第 2 のケーブル 4 を介してセンサ側コイル 3 に伝達される。本電気信号は、センサ側コイル 3 での電磁誘導により形成される磁場を介してセンサコイル 2 1 に伝達される。上述のプローブ側コイル 2 と同様に、検査対象 4 2 の表面に形成される渦電流を抑制するため、センサコイル 2 1 と検査対象 4 2 との間に第 1 の電磁波遮断部材 2 3 を設置している。材質、厚み等は第 2 の電磁波遮断部材 7 と同様のもので良い。

[0020] 超音波を発生させるため、センサ 2 0 には圧電素子が用いられる。使用する超音波の周波数により圧電素子のサイズが決定されるが、本実施例では、外径 10 mm、厚み 0.6 mm としている。使用する圧電素子の材料としては、例えば、デンマーク N o l i a c 社製の N C E 5 1 が用いられる。本実施例では超音波を発生させるため、センサ 2 0 を圧電素子としているが必ずしもこれに限られるものではない。例えばセンサ 2 0 として、ひずみ計（歪ゲージ或いは歪センサ）、電磁センサ、加速度計、熱センサ等を用いる構成としても良い。センサ 2 0 はセンサコイル 2 1 と第 1 のケーブル 2 2 により電氣的に接続しているため、センサコイル 2 1 で受信された電気信号によりセンサ 2 0 が振動し、検査対象 4 2 の中に超音波が発信される。

[0021] 検査対象４２の中に発信された超音波は、検査対象４２のき裂若しくは底面で反射し、センサ２０で受信された超音波は圧電効果によりセンサ２０に電気信号を発生させる。本電気信号はセンサコイル２１、センサ側コイル３、及び第２のケーブル４を介してプローブ側コイル２に伝達される。プローブ側コイル２で電磁誘導により磁場に変換された電気信号は、センサプローブ３２を構成する受信コイル３０で受信され、図示しないレシーバを介してＰＣ上のオシロスコープに表示される。検査員は、表示された波形から、検査対象４２におけるき裂の有無、減肉量などを判別することができるため、本実施例のセンサシステム１では、被覆部材４０である保温材及び金属製外装部材４１を着脱することなく検査対象４２の超音波検査を行うことができる。

[0022] また、検査対象４２が高所に位置する場合、センサプローブ３２に高所検査用の長棒を取り付けることにより、足場を組み立てることなく超音波検査を行うことができる。センサ２０が予め検査対象４２に貼付された位置に対応して金属製外装部材４１上に第２の電磁波遮断部材７を介してプローブ側コイル２が配されているため、検査員は容易に視認可能であることから、検査点毎に注意深く超音波プローブ（センサプローブ３２）を制御する必要はなく、検査時間の短縮が可能となる。上述のように、センサ２０へはセンサプローブ３２から磁場を通して非接触でエネルギーが供給されるため、センサ２０はバッテリー等のエネルギー源を必要とせず、センサ２０がコンパクトでメンテナンスフリーとなる。

検査対象４２に貼付されているセンサ２０及びセンサコイル２１と、被覆部材４０である保温材に取り付けられているセンサ側コイル３、第２のケーブル４、及びプローブ側コイル２とは、機械的に結合している必要がないため、本センサ２０によりき裂もしくは減肉が検知された際に、被覆部材４０である保温材を取り外して手動による詳細検査に移行する際も、第２のケーブル４を切断することなく保温材を取り外すことができる。なお、センサ側コイル３とセンサコイル２１を近接して配置する、すなわち、センサコイル２

1 とセンサ側コイル 3 との間の空隙を狭くすることにより、配管減肉検査のように計測ピッチが狭い場合においても、隣接するセンサコイル 2 1 からの信号をセンサ側コイル 3 が受信することなく、超音波検査を行うことができる。

[0023] 図 4 に、公知技術で得られた受信波形と本実施例によるセンサシステム 1 で得られた受信波形の比較図を示す。図 4 は、被覆部材 4 0 である保温材としてケイ酸カルシウム製保温材を用い、その厚さを 3 0 m m とした場合の実験結果である。

図 4 の上段（図面に向かって最上部）に示されるグラフは、非特許文献 4 に開示されている公知技術（コイル間の電磁誘導を用いて非接触で超音波検査を実施する方法）により得られた受信波形（底面エコー）を示しており、被覆部材 4 0 である保温材を保持するための金属製外装部材を設置しない状態での結果を示している。

また、図 4 の中段（図面に向かって中間部）に示されるグラフは、非特許文献 4 に開示されている公知技術（コイル間の電磁誘導を用いて非接触で超音波検査を実施する方法）により得られた受信波形（底面エコー）を示しており、被覆部材 4 0 である保温材を保持するための金属製外装部材を設置した状態での結果を示している。

更に、図 4 の下段（図面に向かって最下部）に示されるグラフは、本実施例のセンサシステム 1 により得られた受信波形（底面エコー）を示しており、被覆部材 4 0 である保温材を保持するための金属製外装部材 4 1 を設置した状態での結果を示している。

図 4 から分かるように、検査対象を覆う被覆部材である保温材を保持する金属製外装部材を設置しない場合は、公知技術によっても、受信波形が得られている。しかしながら、検査対象を覆う被覆部材である保温材を保持する金属製外装部材を設置した場合においては、公知技術を用いるとコイル間の電磁誘導が金属製外装部材で遮断され、受信波形が得られない。これに対し、図 4 の下段（図面に向かって最下部）に示されるように、本実施例の

センサシステム 1 を用いることで、検査対象を覆う被覆部材である保温材を保持する金属製外装部材を設置した場合においても受信波形が良好に得られることが分かる。

これは、本実施例のセンサシステム 1 では、金属製外装部材 4 1 の表面とプローブ側コイル 2 との間に配される第 2 の電磁波遮断部材 7 を有するため、金属製外装部材 4 1 の表面に生じる渦電流の影響を防止できると共に、センサコイル 2 1 に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル 3 とプローブ側コイル 2 とを第 2 のケーブル 4 を介して電氣的に接続する構成を備えることによる。

[0024] なお、本実施例では、被覆部材 4 0 である保温材の外表面を覆う外装部材として、金属製外装部材 4 1 を用いる場合を示したがこれに限られるものではない。例えば、外装部材として樹脂製外装部材を用いる場合は、樹脂製外装部材の表面とプローブ側コイル 2 との間に配される第 2 の電磁波遮断部材 7 は不要となり、プローブ側コイル 2 を樹脂製外装部材の表面に直接配する構成としても良い。

また、本実施例では、プローブ側コイル 2 とセンサ側コイル 3 の間であって、金属製外装部材 4 1 の表面上に金属製外装部材 4 1 の表面と接触することなく回路素子 6 を取り

付ける構成を示したが必ずしもこれに限られるものではない。例えば、超音波検査で用いる周波数がそれほど高くない場合においては、コイルの巻き数のみで上述の図 3 に示す電気回路を設計することが可能となるため、回路素子 6 を有しない構成としても良い。

[0025] 以上の通り本実施例によれば、仮に厚肉の被覆部材で覆われた配管或いは容器の減肉、き裂等を、被覆部材を着脱することなく超音波検査可能なセンサシステムを提供することが可能となる。

また、本実施例によれば、プローブ側コイル 2 とセンサプローブ 3 2 が電磁誘導現象を介して結合され、機械的な接続部が無い場合、センサプローブ 3 2 に高所検査用の長棒を取り付けることにより、検査対象が高所に位置す

る場合においても、足場を組み立てることなく超音波検査を行うことができる。

更にまた、本実施例によれば、センサ２０が予め検査対象４２に貼付された位置に対応して金属製外装部材４１上に第２の電磁波遮断部材７を介してプローブ側コイル２が配されているため、検査員は容易に視認可能であることから、検査点毎に注意深く超音波プローブ（センサプローブ３２）を制御する必要はなく、検査時間の短縮が可能となる。

また、センサ２０にはセンサプローブ３２から電磁誘導を通してエネルギーが供給されるため、センサ２０にバッテリーを備える必要が無く、センサ２０がコンパクトでメンテナンスフリーとすることができる。

また、本実施例によれば、センサコイル２１とセンサ側コイル３を近接して配置することができるので、隣り合うセンサコイル２１からの干渉を抑制することができる。

実施例 ２

[0026] 図５は、本発明の他の実施例に係る実施例２のセンサシステムの全体概略構成図である。本実施例では、被覆部材である保温材を独立した２層の構造とし、第１の保温材（内層側保温材）、第１の保温材（内層側保温材）を覆う第２の保温材（外層側保温材）より構成し、第２の保温材（外層側保温材）に配される第２の中間コイル及び第１の保温材（内層側保温材）の外表面に配される第１の中間コイルを備え、第１の中間コイルとセンサ側コイルとを第３のケーブルにて電氣的に接続すると共に、第２の中間コイルとプローブ側コイルとを第２のケーブルにて電氣的に接続する構成とした点が実施例１と異なる。実施例１と同様の構成要素に同一符号を付している。

検査対象４２が高温となり被覆部材である保温材の厚さを大きくする必要がある場合、施工性の観点から、それぞれが独立した複数の保温材を組み合わせ使用することがある。このような構成において、詳細検査などで保温材の着脱が必要となった場合、各保温材を別々に取り外すことができることが望ましい。本実施例はこのような対象を想定したものである。

[0027] 図5に示すように、センサシステム1aは、検査対象42の表面に貼付されたセンサ20、センサ20と第1のケーブル22を介して電氣的に接続されるセンサコイル21、及び、検査対象42の表面とセンサコイル21との間に配される第1の電磁波遮断部材23を備える。また更に、センサシステム1aは、センサコイル21に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル3、センサ側コイル3と離間し配され第3のケーブル10を介して電氣的に接続される第1の中間コイル8、第1の中間コイル8に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合される第2の中間コイル9、及び、第2の中間コイル9と離間し配され第2のケーブル4を介して電氣的に接続されるプローブ側コイル2を備える。

センサシステム1aは、送信コイル31及び受信コイル30で構成されるセンサプローブ32と情報の送受信を行う。なお、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙は、できるだけ狭くすることが好ましい。但し、これに限らず、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙を広くしても良い。換言すれば、センサコイル21とセンサ側コイル3との間の空隙は適宜任意に設定される。

[0028] 本実施例において想定する検査対象42は高温となるため、被覆部材である保温材は独立した2層の構造を有し、第1の被覆部材40a（内層側保温材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）を覆う第2の被覆部材40b（外層側保温材）により覆われている。第2の被覆部材40b（外層側保温材）は、その形状を保持するための外装部材としての第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）を有している。また、第1の被覆部材40a（内層側保温材）も同様に、形状保持等の目的のため外装部材としての第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）で覆われている。そして、センサシステム1aは、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）の表面とプローブ側コイル2との間に配される第2の電磁波遮断部材7、及び第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）の表面と第1の中間コイル8との間に配される第3の電磁波遮断部材11を有する。また、第1の金属製外

装部材 4 1 a（外層側外装部材）、第 2 の被覆部材 4 0 b（外層側保温材）、第 2 の金属製外装部材 4 1 b（内層側外装部材）、及び第 1 の被覆部材 4 0 a（内層側保温材）には、プローブ側コイル 2 と第 2 の中間コイル 9 とを電氣的に接続する第 2 のケーブル 4、及び第 1 の中間コイル 8 とセンサ側コイル 3 とを電氣的に接続する第 3 のケーブル 1 0 を挿通可能とするよう、センサ 2 0 側へと貫通する貫通口 5 が形成されている。また、センサ側コイル 3 は、第 1 の被覆部材 4 0 a（内層側保温材）の内表面に配され、第 2 の中間コイル 9 は、第 2 の被覆部材 4 0 b（外層側保温材）の内表面に配されている。

[0029] センサプローブ 3 2 に接続されたパルサ（図示せず）で発生した送信波に対応する電気信号は、センサプローブ 3 2 を構成する送信コイル 3 1 での電磁誘導により磁場へと変換され、センサシステム 1 a を構成するプローブ側コイル 2 で受信される。第 2 のケーブル 4 を介して第 2 の中間コイル 9 に伝達された電気信号は、第 2 の中間コイル 9 での電磁誘導により磁場へと変換され、磁場を介して第 1 の中間コイル 8 へ伝達される。第 3 のケーブル 1 0 を介してセンサ側コイル 3 に伝達された電気信号は、センサ側コイル 3 での電磁誘導により磁場へと変換され、磁場を介してセンサコイル 2 1 で受信される。センサ 2 0 はセンサコイル 2 1 と第 1 のケーブル 2 2 にて電氣的に接続されているため、センサコイル 2 1 で受信された電気信号によりセンサ 2 0 が振動し、検査対象 4 2 の中に超音波が発信される。なお、センサ 2 0 の構造は上述の実施例 1 と同様である。

[0030] 検査対象 4 2 の中に発信された超音波は、検査対象 4 2 のき裂部若しくは底面で反射し、センサ 2 0 で受信された超音波は圧電効果によりセンサ 2 0 に電気信号を発生させる。

この電気信号はセンサコイル 2 1、センサ側コイル 3、及び第 3 のケーブル 1 0 を介して第 1 の中間コイル 8 へ伝達される。第 1 の中間コイル 8 へ伝達された電気信号は、第 2 の中間コイル 9、第 2 のケーブル 4 及びプローブ側コイル 2 を介して、センサプローブ 3 2 を構成する受信コイル 3 0 で受信さ

れる。この電気信号は図示しないレシーバを介してPC上のオシロスコープに表示され、検査員はその波形から、検査対象42におけるき裂の有無、減肉量などを判別することができるため、本実施例のセンサシステム1aでは、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）、第2の被覆部材40b（外層側保温材）、第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）を着脱することなく検査対象42の超音波検査を行うことができる。

[0031] 検査対象42に貼付されたセンサコイル21、第1の被覆部材40a（内層側保温材）に取り付けられているセンサ側コイル3、第3のケーブル10、第1の中間コイル8、第2の中間コイル9、第2のケーブル4、及びローブ側コイル2とは、機械的に結合している必要がないため、減肉の兆候が見られ手動による詳細検査に移行する際も、第2のケーブル4及び第3のケーブル10を切断することなく、第1の被覆部材40a（内層側保温材）及び第2の被覆部材40b（外層側保温材）を独立して取り外すことができる。

本実施例では、被覆部材である保温材が独立した2層の構造を有し、第1の被覆部材40a（内層側保温材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）を覆う第2の被覆部材40b（外層側保温材）により検査対象42が覆われている場合について説明したが、これに限られず被覆部材である保温材が独立した3層以上の構造を有する場合においても、センサシステム1aを適用することができる。この場合、独立した保温材の層数に応じた中間コイルと、コイル間を電氣的に接続するケーブルを設置すれば良い。

[0032] 図6は、図5に示すセンサシステムの変形例を示す全体概略構成図である。図6に示すように、センサシステム1bは、検査対象42の表面に貼付されたセンサ20、センサ20と第1のケーブル22を介して電氣的に接続されるセンサコイル21、及び、検査対象42の表面とセンサコイル21との間に配される第1の電磁波遮断部材23を備える。また更に、センサシステム1bは、センサコイル21に離間し第2の被覆部材40b（外層側保温材

）の内表面に配され電磁誘導により結合される第2の中間コイル9、及び、第2の中間コイル9と離間し配され第2のケーブル4を介して電氣的に接続されるプローブ側コイル2、及び、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）の表面とプローブ側コイル2との間に配される第2の電磁波遮断部材7を備える。

センサシステム1bは、送信コイル31及び受信コイル30で構成されるセンサプローブ32と情報の送受信を行う。

[0033] なお、図6に示す変形例においては、想定する検査対象42は高温となるため、被覆部材である保温材は独立した2層の構造を有し、第1の被覆部材40a（内層側保温材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）を覆う第2の被覆部材40b（外層側保温材）により覆われている。第1の被覆部材40a（内層側保温材）の厚さは、第2の被覆部材40b（外層側保温材）の厚さよりも小さい。そして、図5に示した構成と異なり、第1の被覆部材40a（内層側保温材）の形状を保持するための第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）を有さず、第1の被覆部材40a（内層側保温材）の外表面と第2の被覆部材40b（外層側保温材）の内表面とが直接接触する構成となっている。また、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）、第2の被覆部材40b（外層側保温材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）には、プローブ側コイル2と第2の中間コイル9とを電氣的に接続する第2のケーブル4を挿通可能とするよう、センサ20側へと貫通する貫通口5が形成されている。

[0034] 図5に示したセンサシステム1aと異なり、センサシステム1bは、センサ側コイル3、第1の中間コイル8、センサ側コイル3と第1の中間コイル8とを電氣的に接続する第3のケーブル10、及び第3の電磁波遮断部材11を有しない。そのため、センサプローブ32に接続されたパルサ（図示せず）で発生した送信波に対応する電気信号は、センサプローブ32を構成する送信コイル31での電磁誘導により磁場へと変換され、センサシステム1bを構成するプローブ側コイル2で受信される。第2のケーブル4を介して

第2の中間コイル9に伝達された電気信号は、第2の中間コイル9での電磁誘導により磁場へと変換され、磁場を介してセンサコイル21で受信される。センサ20はセンサコイル21と第1のケーブル22にて電氣的に接続されているため、センサコイル21で受信された電気信号によりセンサ20が振動し、検査対象42の中に超音波が発信される。なお、センサ20の構造は上述の実施例1と同様である。

検査対象42の中に発信された超音波は、検査対象42のき裂部若しくは底面で反射し、センサ20で受信された超音波は圧電効果によりセンサ20に電気信号を発生させる。

この電気信号はセンサコイル21、第2の中間コイル9、及び第2のケーブル4を介してプローブ側コイル2へ伝達される。プローブ側コイル2へ伝達された電気信号は、電磁誘導によりセンサプローブ32を構成する受信コイル30で受信される。この電気信号は図示しないレシーバを介してPC上のオシロスコープに表示され、検査員はその波形から、検査対象42におけるき裂の有無、減肉量などを判別することができるため、センサシステム1bでは、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）、第2の被覆部材40b（外層側保温材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）を着脱することなく検査対象42の超音波検査を行うことができる。なお、センサコイル21の電磁誘導により、センサ20にて発生された電気信号を、介在する第1の被覆部材40a（内層側保温材）を経て第2の中間コイル9へ伝達する構成であるため、第1の被覆部材40a（内層側保温材）の厚さは薄いほど好ましい。例えば、被覆部材全体としての厚さが90mm必要となる場合、内側の被覆部材である第1の被覆部材40a（内層側保温材）を薄くし、外側の被覆部材である第2の被覆部材40b（外層側保温材）を厚くすることで施工性が向上される。

[0035] なお、図5に示した本実施例では、第2の被覆部材40b（外層側保温材）の外表面を覆う外装部材としての第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）、及び第1の被覆部材40a（内層側保温材）の外表面を覆う外装

部材としての第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）を用いる場合を示したがこれに限られるものではない。例えば、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）及び第2の金属製外装部材41b（内層側外装部材）に代えて、それぞれ樹脂製外装部材を用いる場合は、樹脂製外装部材の表面とプローブ側コイル2との間に配される第2の電磁波遮断部材7、及び樹脂製外装部材の表面とプローブ側コイル2との間に配される第2の電磁波遮断部材7の表面と第1の中間コイル8との間に配される第3の電磁波遮断部材11は不要となり、プローブ側コイル2を樹脂製外装部材の表面に直接配すると共に、第1の中間コイル8を樹脂製外装部材の表面に直接配する構成としても良い。

[0036] 同様に、図6に示した変形例にでは、第2の被覆部材40b（外層側保温材）の外表面を覆う外装部材としての第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）を用いる場合を示したがこれに限られるものではない。例えば、第1の金属製外装部材41a（外層側外装部材）に代えて、樹脂製外装部材を用いる場合は、樹脂製外装部材の表面とプローブ側コイル2との間に配される第2の電磁波遮断部材7は不要となり、プローブ側コイル2を樹脂製外装部材の表面に直接配する構成としても良い。

[0037] 以上の通り、本実施例によれば、実施例1の効果に加え、検査対象が高温となり被覆部材である保温材の厚さを大きくする必要がある場合においても被覆部材を着脱することなく超音波検査を行うことが可能となる。

また、図6の変形例によれば、内側の被覆部材である第1の被覆部材40a（内層側保温材）を薄くし、外側の被覆部材である第2の被覆部材40b（外層側保温材）を厚くすることで施工性を向上することが可能となる。

実施例 3

[0038] 図7は、本発明の他の実施例に係る実施例3のセンサシステムの全体概略構成図である。本実施例では、検査対象が金属製の円筒状配管であって、円筒状配管の表面に周方向に所定の間隔にて離間するよう上述の実施例1にて説明したセンサシステムを複数配する構成とした点が実施例1と異なる。実

施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付している。原子力プラント或いは火力プラントでは、円筒状の配管内を流れる流体（水或いは蒸気等）により、配管の構成材が摩耗し減肉が生じることがある。日本機械学会では推奨される配管減肉検査方法が定められており、その中で計測ピッチが 100 mm 以下であることが要求されている。本実施例はそのような検査対象を想定している。

[0039] 本実施例のセンサシステムは、検査対象である円筒状の配管 43 の表面に貼付されたセンサ 20、センサ 20 と第 1 のケーブル 22（図 1 参照）にて電氣的に接続されるセンサコイル 22、検査対象である配管 43 の表面とセンサコイル 21 との間に配される第 1 の電磁波遮断部材 23（図 1 参照）、センサコイル 21 に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル 3、センサ側コイル 3 と離間し配され第 2 のケーブル 4 を介して電氣的に接続されるプローブ側コイル 2、及び、外装部材としての金属製外装部材 41 の表面とプローブ側コイル 2 との間に配される第 2 の電磁波遮断部材 7 を備えるセンサシステム 1 を、検査対象である配管 43 の周方向に沿って所定の間隔（配管 43 の軸心を中心とし 45° の間隔）にて離間し 8 個備える。これら 8 個のセンサシステム 1 は、それぞれ送信コイル 31 及び受信コイル 30 で構成されるセンサプローブ 32（図 1 参照）と情報の送受信を行う。なお、センサコイル 21 とセンサ側コイル 3 との間の空隙は、できるだけ狭くすることが好ましい。但し、これに限らず、センサコイル 21 とセンサ側コイル 3 との間の空隙を広くしても良い。換言すれば、センサコイル 21 とセンサ側コイル 3 との間の空隙は適宜任意に設定される。

[0040] 検査対象である配管 43 はプラント運転中、高温となるため、ケイ酸カルシウム製（若しくはロックウール製、グラスウール製、無定形水練製、硬質ウレタンフォーム製など）の保温材 44（被覆部材）にて、その外周面が覆われている。保温材 44（被覆部材）の外周面は、アルミ製（もしくは亜鉛メッキ鋼板製）の金属製外装部材 41 にて覆われている。センサ側コイル 3 は保温材 44（被覆部材）の内表面に取り付けられており、プローブ側コイ

ル 2 は金属製外装部材 4 1 の外周面に取り付けられた第 2 の電磁波遮断部材 7 上に貼付されている。その構成は上述の実施例 1 に記載のものと同様である。また、金属製外装部材 4 1 及び保温材 4 4 （被覆部材）には、プローブ側コイル 2 とセンサ側コイル 3 とを電氣的に接続する第 2 のケーブル 4 を挿通可能とするよう、センサ 2 0 側へと貫通する貫通口 5 が形成されている。なお、上述の実施例 1 と同様に、電気回路設計を容易にするため、第 2 のケーブル 4 には回路素子 6 （図 1 参照）が設置されている。

[0041] 図 8 は図 7 に示すセンサシステムの保温材（被覆部材）への組み込み方法を示す図である。上述のように、センサ側コイル 3 は保温材 4 4 （被覆部材）の内表面に取り付けられており、プローブ側コイル 2 は金属製外装部材 4 1 の外周面に取り付けられた第 2 の電磁波遮断部材 7 上に貼付されている。そして、貫通口 5 に挿通される第 2 のケーブル 4 にてプローブ側コイル 2 とセンサ側コイル 3 とが電氣的に接続されており、検査対象である配管 4 3 上のセンサ 2 0、センサコイル 2 2 と機械的に結合している必要がない。そのため、図 8 に示すように、保温材 4 4 （被覆部材）、金属製外装部材 4 1、センサ側コイル 3、プローブ側コイル 2、及びプローブ側コイル 2 とセンサ側コイル 3 とを電氣的に接続する第 2 のケーブル 4 とを一体構造で製作することができる。これにより、現地での設置に伴う配線引き回し等が不要になり、作業性が向上する。配管減肉検査では、減肉の兆候が見られた箇所は、保温材 4 4 （被覆部材）を取り外し、より密度の高い計測ピッチで計測する詳細計測に移行する必要があるが、そのような場合においても、本実施例であれば図 8 に示すように、必要箇所のみ保温材 4 4 （被覆部材）を取り外すことができる。

[0042] なお、本実施例では、センサシステム 1 を、検査対象である配管 4 3 の周方向に沿って所定の間隔（配管 4 3 の軸心を中心とし 4 5° の間隔）にて離間し 8 個備える構成を示したが、配管 4 3 の周方向に配されるセンサシステム 1 の個数はこれに限られるものではなく、要求される計測ピッチを満たす範囲内において適宜所望数のセンサシステム 1 が配される。

[0043] 以上の通り本実施例によれば、実施例 1 の効果に加え、原子力プラント或いは火力プラントの金属製の円筒状の配管へ複数のセンサシステム 1 を設置する際における作業性を向上することが可能となる。

また、本実施例によれば、減肉の兆候が見られた箇所に対する詳細計測への移行時において、必要箇所のみ保温材（被覆部材）を取り外すことが可能となる。

実施例 4

[0044] 図 9 は、本発明の他の実施例に係る実施例 4 のセンサシステムの全体概略構成図であり、図 10 は、図 9 に示すセンサシステムの金属製外装部材上におけるプローブ側コイルの配置を示す図である。本実施例では、検査対象が金属製の円筒状配管であって、円筒状配管の表面に周方向に所定の間隔にて離間するよう、センサ、センサと第 1 のケーブルにて電氣的に接続されるセンサコイル、及びセンサコイルに空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイルのペア（組）を複数配すると共に、各センサ側コイルに一端が接続される複数本の第 4 のケーブルを周方向に引き回し、複数の第 4 のケーブルと 1 本の第 2 のケーブルを介してプローブ側コイルに接続される構成とした点が実施例 1 と異なる。実施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付している。

本実施例では、上述の実施例 3 と同様に、原子力プラント或いは火力プラントにおける配管減肉検査を想定している。

検査対象である配管 43 の敷設位置によっては、図 9 に示すように、検査対象である配管 43 の一部が壁面 45 に接するよう配される場合、或いは、配管サポート等（図示せず）の位置により、検査対象である配管 43 の外部に十分な空間を確保できず、センサプローブ 32（図 1 参照）の取り回しが困難になる場合がある。本実施例では、図 7 に示した上述の実施例 3 のようにセンサコイル 21 の直上にプローブ側コイル 2 を配置する構成に代えて、図 9 に示すように第 4 のケーブル 12 を周方向に引き回し、検査対象である配管 43 の外部に十分な空間を確保できる位置（図 9 では配管 43 の右側）

にプローブ側コイル 2 を配置する構成としている。なお便宜上、図 9 においては、第 4 のケーブル 1 2 があたかも 1 本のように表記しているが、実際には、第 4 のケーブル 1 2 は、プローブ側コイル 2 に対応する位置に配されるセンサ 2 0 以外の他の 7 か所に配されるセンサ 2 0 に対応して 7 本存在する。

[0045] 図 9 に示すように、本実施例のセンサシステム 1 c は、検査対象である金属製の円筒状の配管 4 3 の表面に、周方向に沿って所定の間隔（配管 4 3 の軸心を中心とし 45° の間隔）にて離間し徴される 8 個のセンサ 2 0 を有する。プローブ側コイル 2 に対応する位置に配されるセンサ 2 0 以外の他の 7 か所に配されるセンサ 2 0 は、それぞれ、センサ 2 0 と第 1 のケーブル 2 2（図 1 参照）にて電氣的に接続されるセンサコイル 2 2、検査対象である配管 4 3 の表面とセンサコイル 2 1 との間に配される第 1 の電磁波遮断部材 2 3（図 1 参照）、及びセンサコイル 2 1 に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル 3 を備え、各第 4 のケーブル 1 2 の一端がセンサ側コイル 3 に接続され他端がプローブ側コイル 2 に接続されている。一方、プローブ側コイル 2 に対応する位置に配されるセンサ 2 0（図 9 では配管 4 3 の右側）は、センサ 2 0 と第 1 のケーブル 2 2（図 1 参照）にて電氣的に接続されるセンサコイル 2 2、検査対象である配管 4 3 の表面とセンサコイル 2 1 との間に配される第 1 の電磁波遮断部材 2 3（図 1 参照）、センサコイル 2 1 に空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイル 3、センサ側コイル 3 と離間し配され第 2 のケーブル 4 を介して電氣的に接続されるプローブ側コイル 2、及び、外装部材としての金属製外装部材 4 1 の表面とプローブ側コイル 2 との間に配される第 2 の電磁波遮断部材 7 を備える。

[0046] 検査対象である配管 4 3 はプラント運転中、高温となるため、ケイ酸カルシウム製（若しくはロックウール製、グラスウール製、無定形水練製、硬質ウレタンフォーム製など）の保温材 4 4（被覆部材）にて、その外周面が覆われている。保温材 4 4（被覆部材）の外周面は、アルミ製（もしくは亜鉛

メッキ鋼板製)の金属製外装部材41にて覆われている。8か所に配されるセンサ側コイル3は保温材44(被覆部材)の内表面に取り付けられており、1か所に配されるプローブ側コイル2は金属製外装部材41の外周面に取り付けられた第2の電磁波遮断部材7上に貼付されている。金属製外装部材41及び保温材44(被覆部材)には、プローブ側コイル2とセンサ側コイル3とを電氣的に接続する第2のケーブル4及び7本の第4のケーブル12を挿通可能とするよう、センサ20側へと貫通する貫通口5が形成されている。

[0047] 次に1か所に配されるプローブ側コイル2について説明する。図10は、図9におけるプローブ側コイル2を側面から眺めた図である。図10に示すように、検査対象である配管43の金属製外装部材41上に第2の電磁波遮断部材7(図示せず)に8個のプローブ側コイル2が貼付されている。8個のプローブ側コイル2は渦巻き状或いは螺旋状に成形され、それぞれが7本の第4のケーブル12及び1本の第2のケーブル4にて、8か所に配されたセンサ側コイル3と電氣的に接続されている。図10に示す8個のプローブ側コイル2の配置ピッチは、それぞれ隣り合うプローブ側コイル2からの影響を避けるため、プローブ側コイル2の外径の1.5倍以上とすることが望ましい。このような8個のプローブ側コイル2の配置とすることで、実施例3に比べて容易に各プローブ側コイル2にアクセスできるため、検査時間を短縮することができる。例えば、ドローン等にセンサプローブを搭載してプローブ側コイル2にアクセスする際にも、検査対象である配管43の全周を移動する必要がないため、容易に検査が可能である。また、高所検査のために、センサプローブ32(図1参照)に高所検査用の長棒を取り付けた場合においても、プローブ側コイル2が1か所に集約されているため、容易に検査が可能となる。

[0048] 以上の通り本実施例によれば、実施例1の効果に加え、原子力プラント或いは火力プラントの金属製の円筒状の配管が如何なる敷設形態であっても、容易に検査することが可能となる。

[0049] なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。

例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。

符号の説明

[0050] 1, 1 a, 1 b, 1 c . . . センサシステム、2 . . . プローブ側コイル、3 . . . センサ側コイル、4 . . . 第2のケーブル、5 . . . 貫通口、6 . . . 回路素子、7 . . . 第2の電磁波遮断部材、8 . . . 第1の中間コイル、9 . . . 第2の中間コイル、10 . . . 第3のケーブル、11 . . . 第3の電磁波遮断部材、12 . . . 第4のケーブル、20 . . . センサ、21 . . . センサコイル、22 . . . 第1のケーブル、23 . . . 第1の電磁波遮断部材、30 . . . 受信コイル、31 . . . 送信コイル、32 . . . センサプローブ、40 . . . 被覆部材、40 a . . . 第1の被覆部材、40 b . . . 第2の被覆部材、41 . . . 金属製外装部材、41 a . . . 第1の金属製外装部材、41 b . . . 第2の金属製外装部材、42 . . . 検査対象、43 . . . 配管、44 . . . 保温材、45 . . . 壁面

請求の範囲

- [請求項1] 非破壊検査に用いられるセンサシステムであって、
検査対象の表面に取り付けられたセンサと、
前記センサと第1のケーブルにより電氣的に接続されるセンサコイルと、
前記検査対象の表面と前記センサコイルとの間に配される第1の電磁波遮断部材と、
前記センサコイルに空隙を介して対向するよう配され、電磁誘導により結合し得るセンサ側コイルと、
前記センサ側コイルと離間し配され、第2のケーブルにより電氣的に接続されるプローブ側コイルと、を有することを特徴とするセンサシステム。
- [請求項2] 請求項1に記載のセンサシステムにおいて、
前記センサ側コイルは、前記センサコイルに空隙を介して対向するよう配され、前記検査対象を覆う被覆部材の内表面に配され、電磁誘導により前記センサコイルと結合し得ることを特徴とするセンサシステム。
- [請求項3] 請求項2に記載のセンサシステムにおいて、
前記プローブ側コイルは、前記被覆部材を前記センサ側へ貫通する貫通口に挿通される前記第2のケーブルにより電氣的に前記センサ側コイルに接続されることを特徴とするセンサシステム。
- [請求項4] 請求項1に記載のセンサシステムにおいて、
前記プローブ側コイルは、前記検査対象を覆う被覆部材を前記センサ側へ貫通する貫通口に挿通される前記第2のケーブルにより電氣的に前記センサ側コイルに接続されることを特徴とするセンサシステム。
- [請求項5] 請求項3に記載のセンサシステムにおいて、
前記被覆部材の外表面を覆う第1の金属製外装部材を備え、前記第

1の金属製外装部材の表面と前記プローブ側コイルとの間に配される第2の電磁波遮断部材を有することを特徴とするセンサシステム。

[請求項6]

請求項4に記載のセンサシステムにおいて、

前記被覆部材の外表面を覆う第1の金属製外装部材を備え、前記第1の金属製外装部材の表面と前記プローブ側コイルとの間に配される第2の電磁波遮断部材を有することを特徴とするセンサシステム。

[請求項7]

請求項5に記載のセンサシステムにおいて、

前記被覆部材は、2層の独立する第1の被覆部材と前記第1の被覆部材の外側を覆う第2の被覆部材を有し、前記第2の被覆部材の外表面を覆う第1の金属製外装部材と、前記第1の被覆部材の外表面を覆う第2の金属製外装部材と、前記第2の金属製外装部材の表面に第3の電磁波遮断部材を介して配される第1の中間コイルと、前記第1の中間コイルに空隙を介して対向するよう配され前記第2の被覆部材の内表面に電磁誘導により結合し得る第2の中間コイルと、を備え、

前記プローブ側コイルは前記第2のケーブルにより前記第2の中間コイルに電氣的に接続され、且つ、前記第1の被覆部材の内表面に配される前記センサ側コイルと前記第1の中間コイルとが第3のケーブルにて電氣的に接続されることを特徴とするセンサシステム。

[請求項8]

請求項6に記載のセンサシステムにおいて、

前記被覆部材は、2層の独立する第1の被覆部材と前記第1の被覆部材の外側を覆う第2の被覆部材を有し、前記第2の被覆部材の外表面を覆う第1の金属製外装部材と、を備え、

前記プローブ側コイルは前記第2のケーブルにより前記第2の被覆部材の内表面に配される前記センサ側コイルと電氣的に接続され、且つ、前記センサ側コイルと前記センサコイルとが電磁誘導により結合されることを特徴とするセンサシステム。

[請求項9]

請求項5に記載のセンサシステムにおいて、

前記プローブ側コイルと前記センサ側コイルとを電氣的に接続する

第2のケーブルに設置される、キャパシタ及び／又はレジスタを含む回路素子を有することを特徴とするセンサシステム。

[請求項10] 請求項7乃至請求項9のうちいずれか1項に記載のセンサシステムにおいて、

前記センサは超音波発生用の圧電素子であることを特徴とするセンサシステム。

[請求項11] 請求項7乃至請求項9のうちいずれか1項に記載のセンサシステムにおいて、

前記センサは、歪ゲージ、歪センサ、電磁センサ、角速度計、及び熱センサのうちいずれか1つであることを特徴とするセンサシステム。

[請求項12] 請求項7乃至請求項9のうちいずれか1項に記載のセンサシステムにおいて、

前記被覆部材、前記第1の被覆部材、及び前記第2の被覆部材は、ケイ酸カルシウム製保温材、ロックウール製保温材、グラスウール製保温材、無定形水練製保温材、及び硬質ウレタンフォーム製保温材のうちのいずれか1つであることを特徴とするセンサシステム。

[請求項13] 請求項4に記載のセンサシステムにおいて、

前記検査対象は、金属製の円筒状の配管であって、

前記配管の表面に、周方向に沿って所定の間隔にて相互に離間するよう前記センサが複数取り付けられることを特徴とするセンサシステム。

[請求項14] 請求項4に記載のセンサシステムにおいて、

前記検査対象は、金属製の円筒状の配管であって、

前記配管の表面に、

前記センサ、前記センサと前記第1のケーブルにて電氣的に接続されるセンサコイル、及び前記センサコイルに空隙を介して対向するよう配され電磁誘導により結合されるセンサ側コイルよりなる組を、周

方向に沿って所定の間隔にて相互に離間するよう複数組配すると共に、前記複数組のうち一の組は前記第2のケーブルにより前記センサ側コイルと前記プローブ側コイルとが電氣的に接続され、前記一の組以外の組はセンサ側コイルに一端が接続され周方向に引き回される第4のケーブルにより前記プローブ側コイルと電氣的に接続されることを特徴とするセンサシステム。

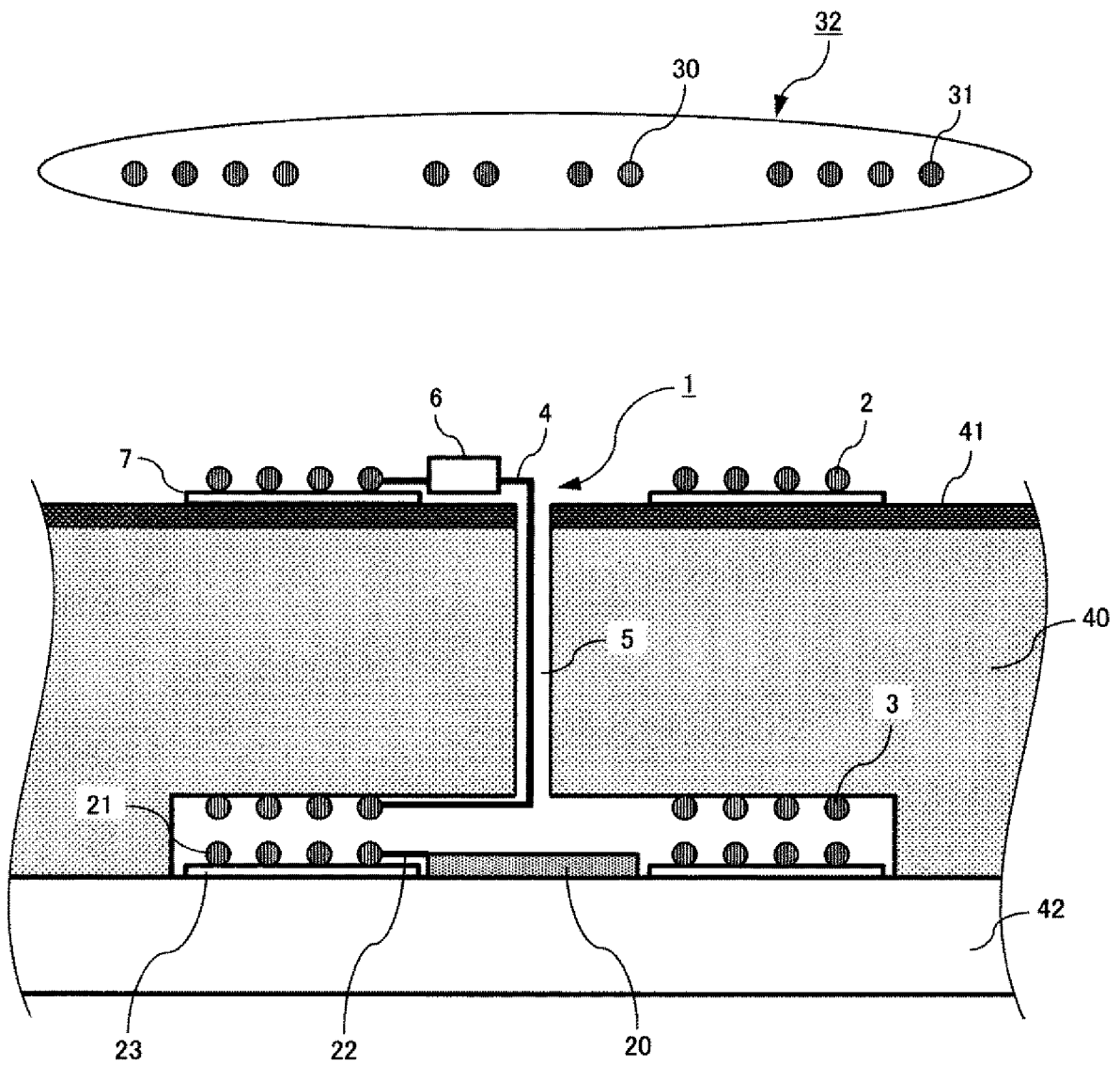
[請求項15]

請求項14に記載のセンサシステムにおいて、

前記配管の表面の1か所に、前記複数組に対応する数の前記プローブ側コイルが配され、相互に離接するプローブ側コイルの配置ピッチが前記プローブ側コイルの外径の1.5倍以上であることを特徴とするセンサシステム。

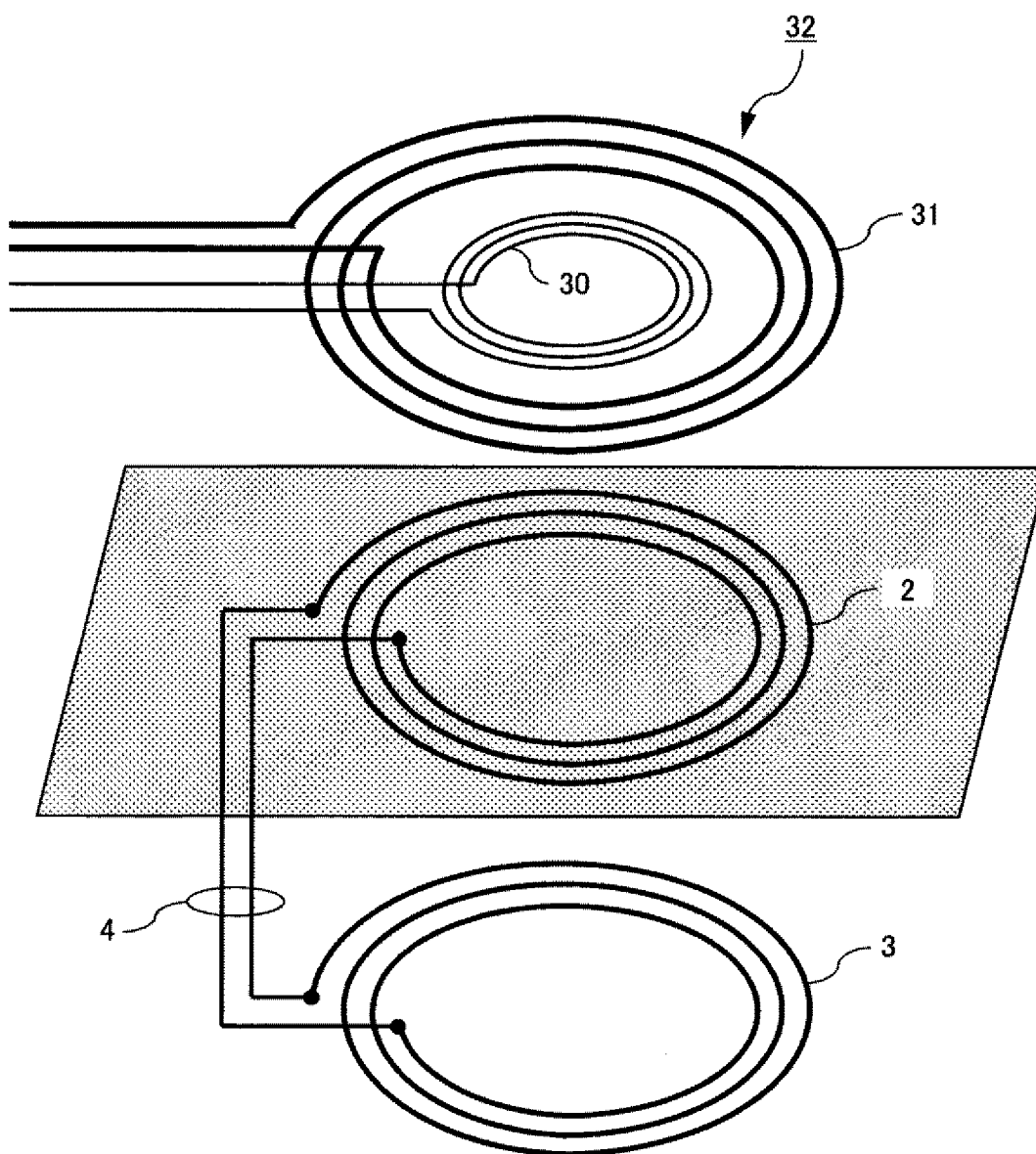
[図1]

図 1



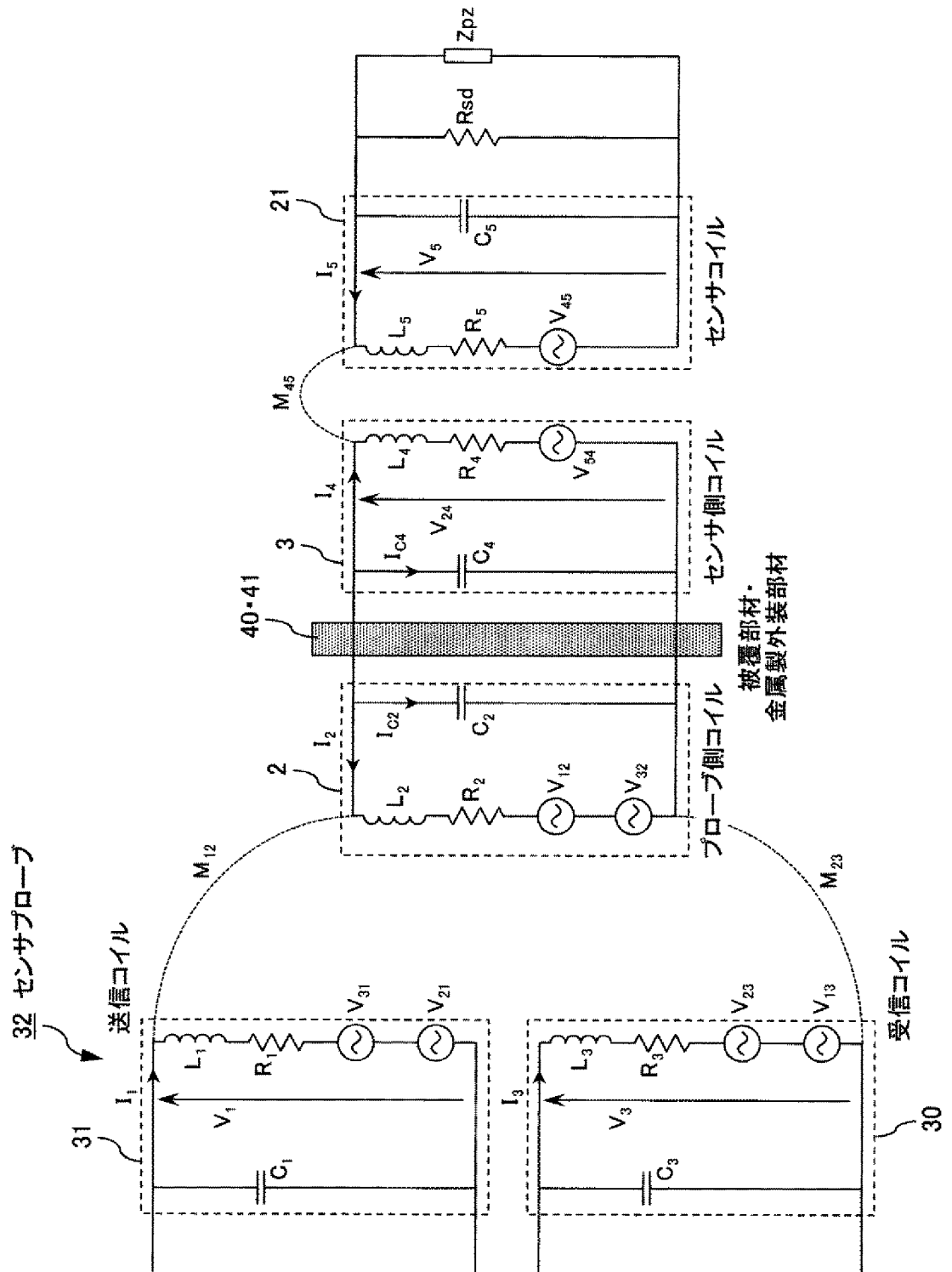
[図2]

図 2



[図3]

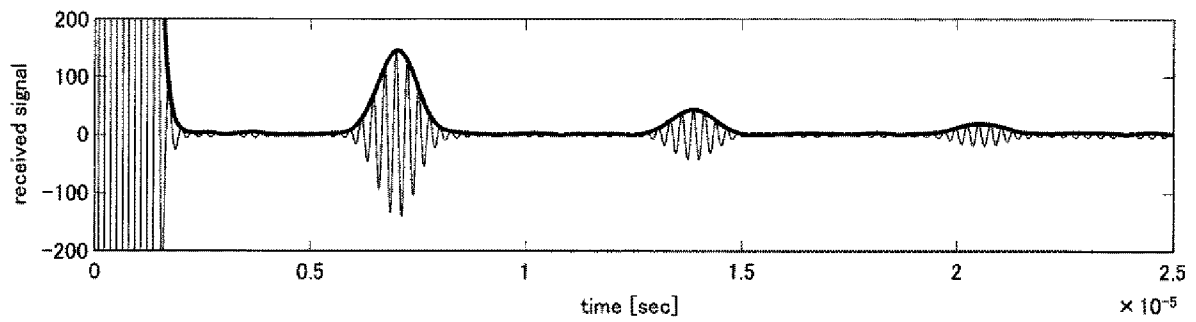
図 3



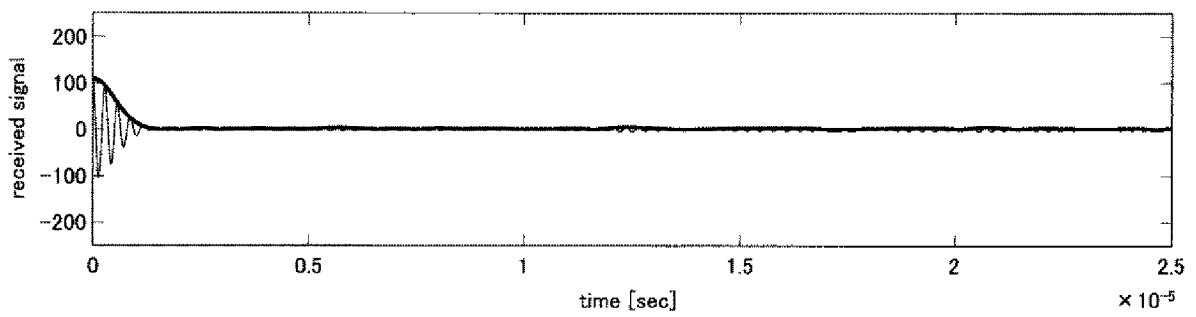
[図4]

図 4

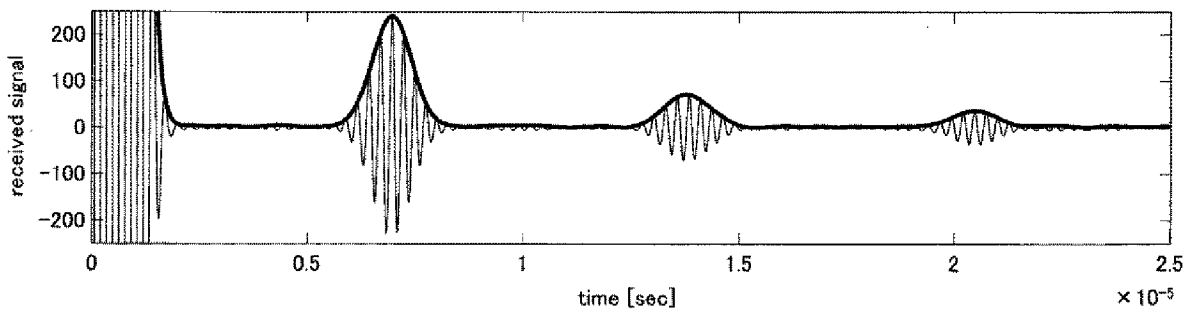
公知技術で得られた受信波形(金属製外装部材無し)



公知技術で得られた受信波形(金属製外装部材有り)

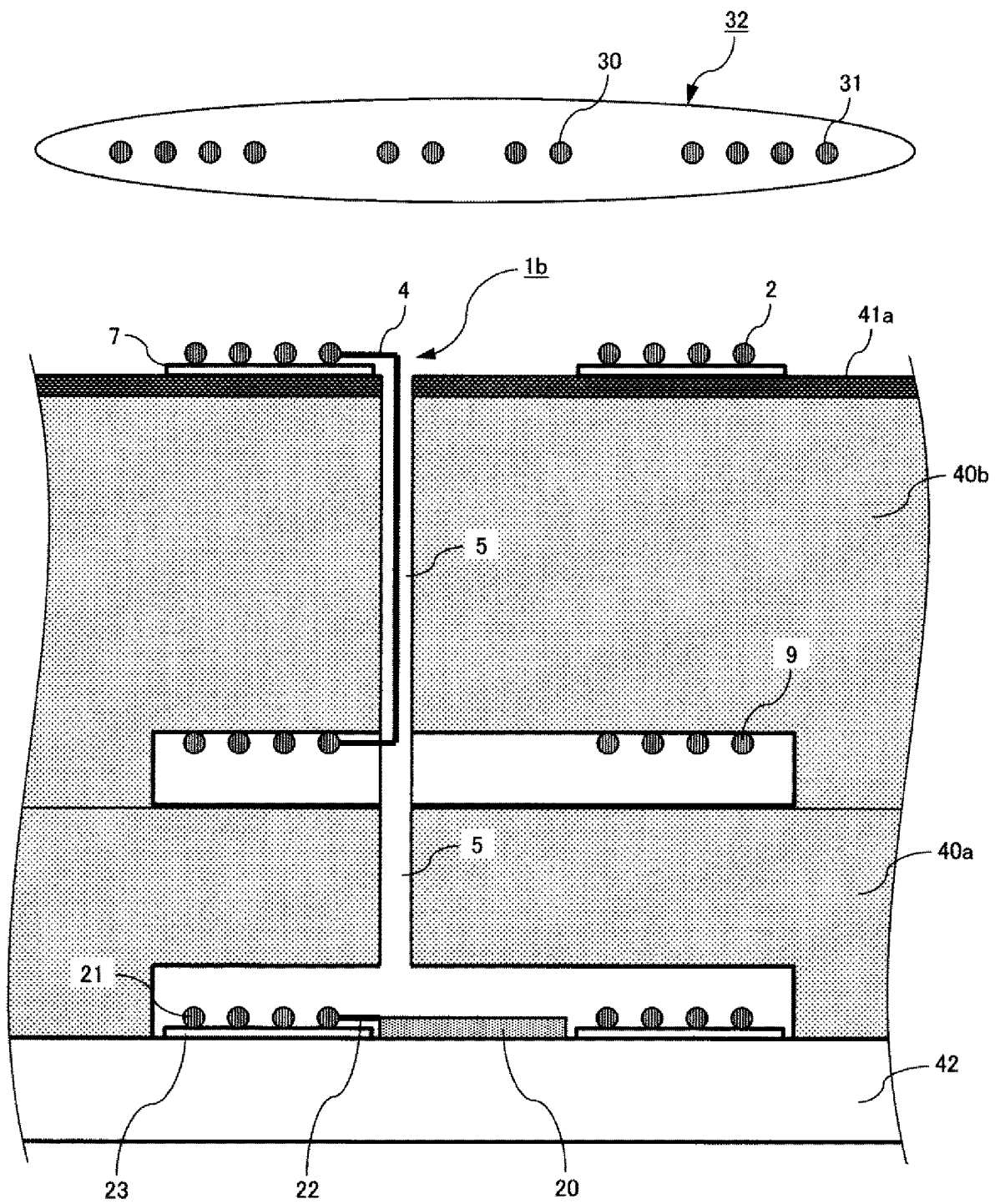


実施例1によるセンサシステムで得られた受信波形(金属製外装部材有り)



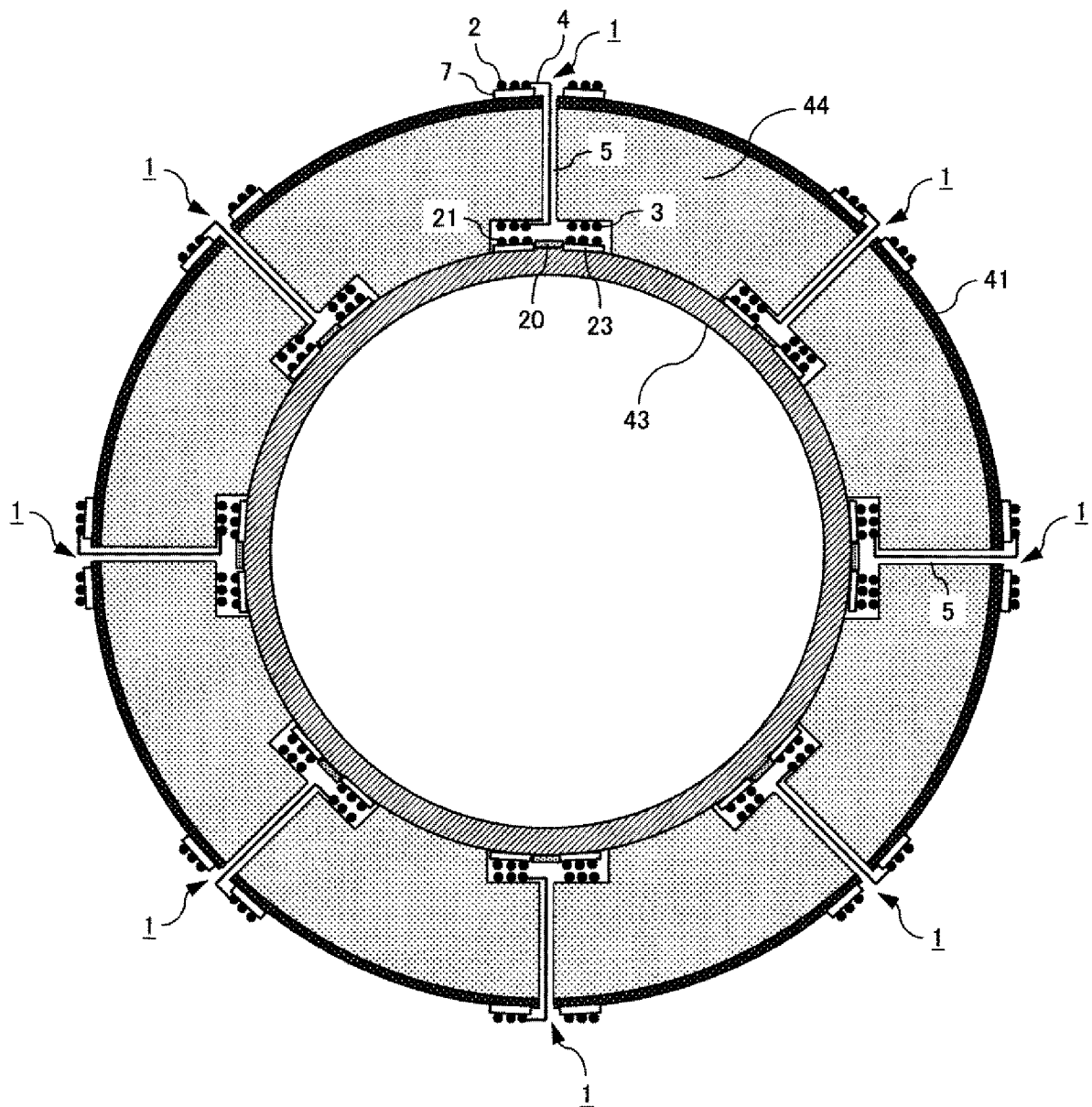
[図6]

図 6



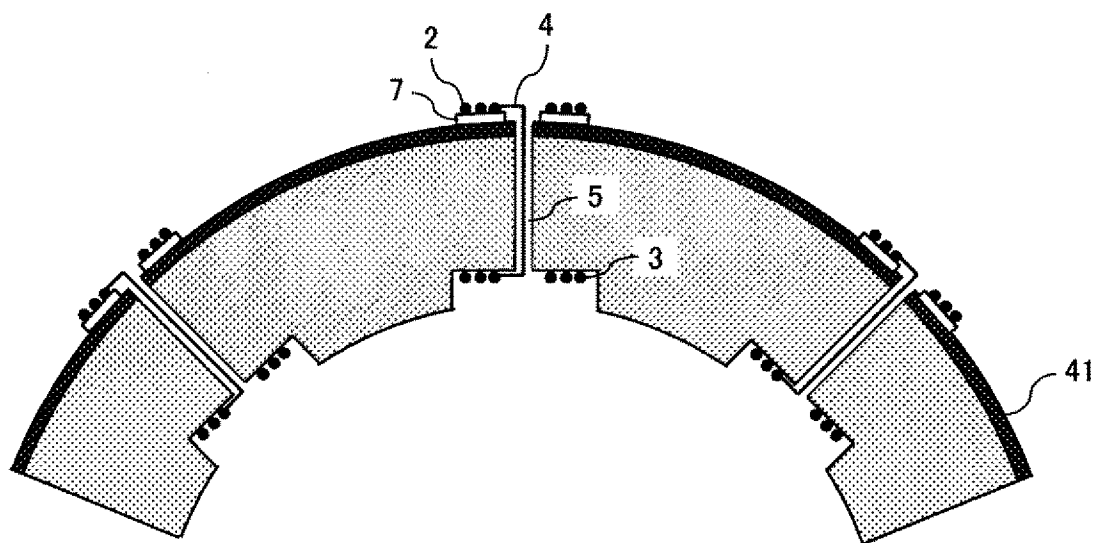
[図7]

図 7



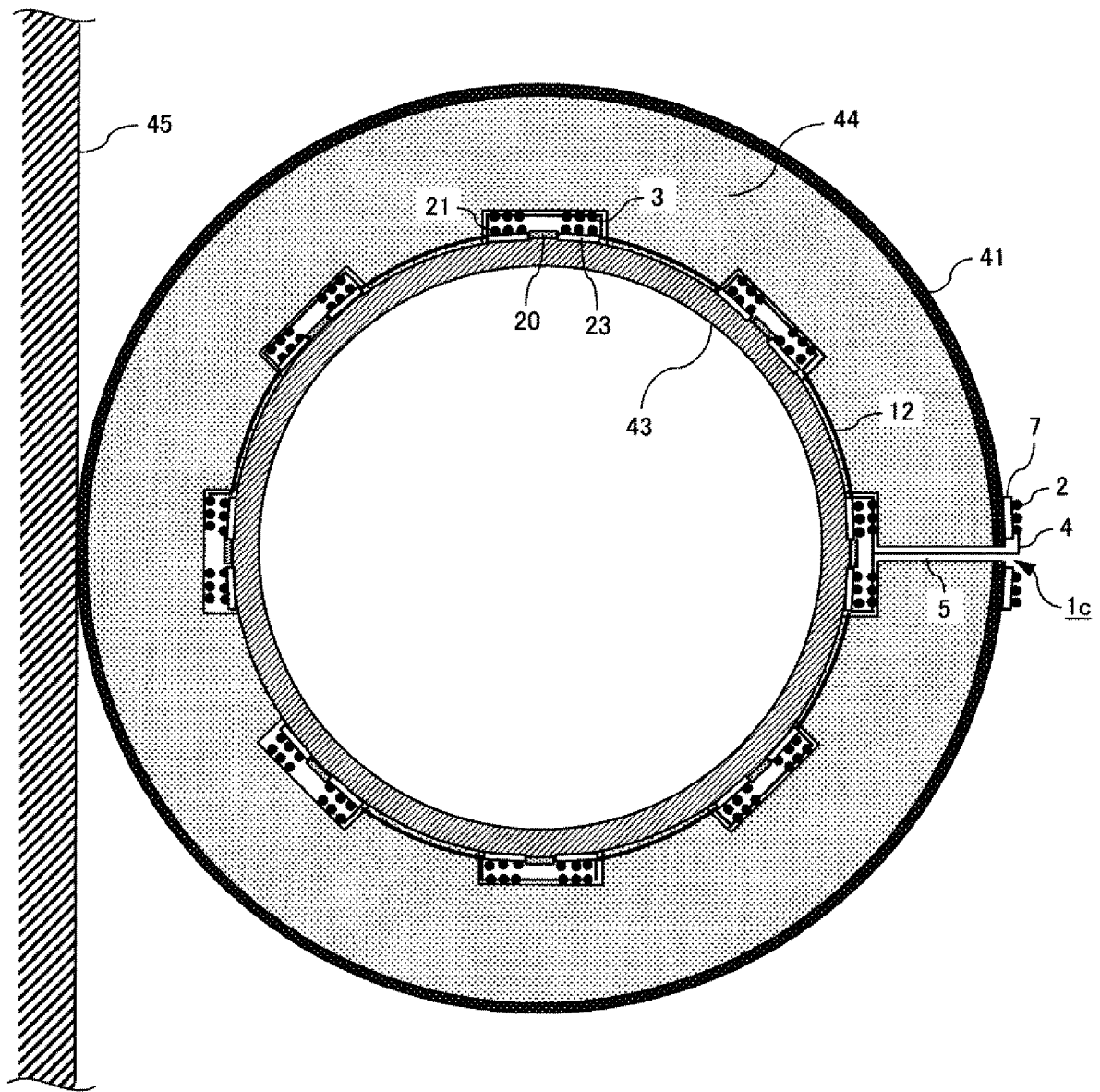
[図8]

図 8



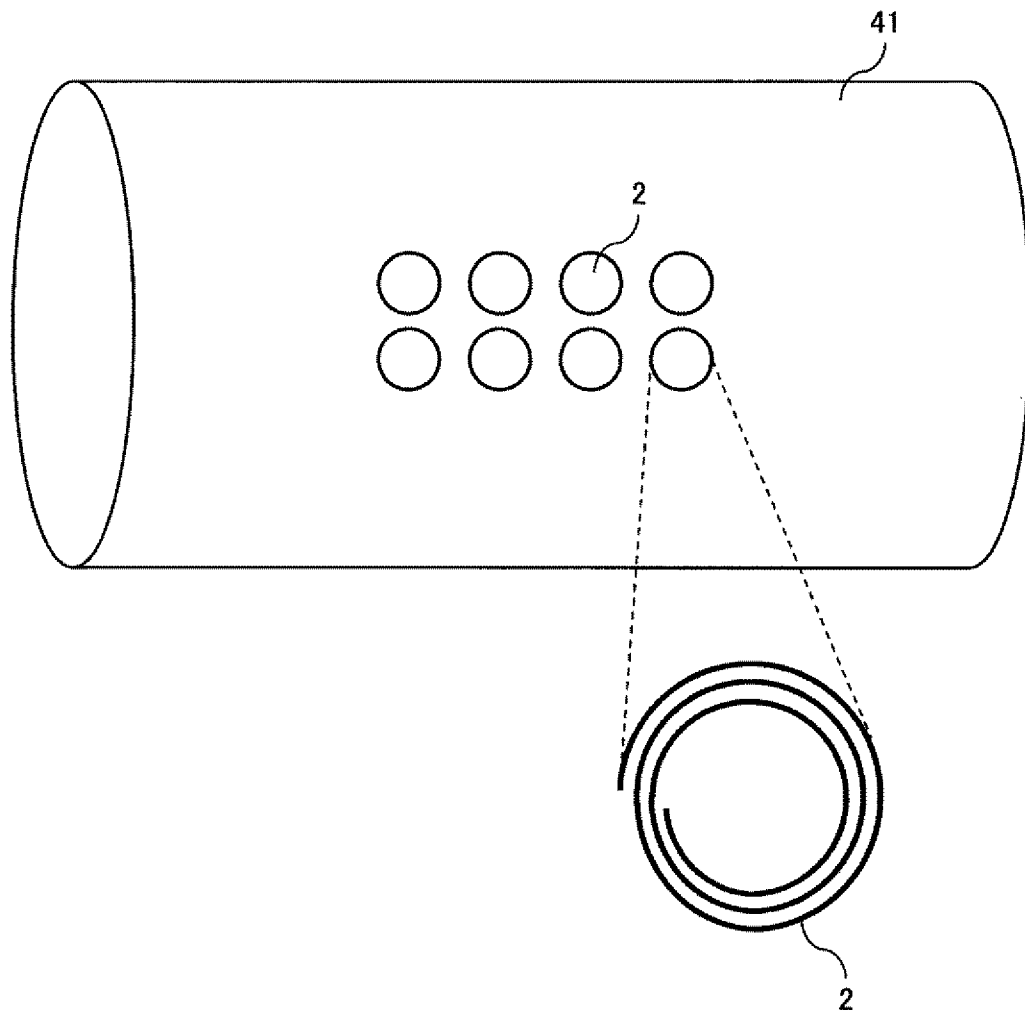
[図9]

図 9



[図10]

図 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/020043

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01N29/04 (2006.01) i, G01N29/22 (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. G01N29/04, G01N29/22

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2523266 A (THE UNIVERSITY OF BRISTOL) 19 August 2015, entire text, all drawings & JP 2017-524908 A & US 2017/0214274 A1 & WO 2016/009174 A1 & EP 3169997 A1	1-14
A	WO 2016/207604 A1 (THE UNIVERSITY OF BRISTOL) 29 December 2016, entire text, all drawings & JP 2018-518671 A & GB 2533833 A & CN 107771282 A	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 13.07.2018	Date of mailing of the international search report 31.07.2018
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/JP2018/020043

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 2017-96857 A (HITACHI GE NUCLEAR ENERGY LTD.) 01 June 2017, entire text, all drawings & US 2017/0153108 A1 & EP 3173733 A1	1-14
A	JP 2016-1136 A (HITACHI GE NUCLEAR ENERGY LTD.) 07 January 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N29/04(2006.01)i, G01N29/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N29/04, G01N29/22

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）

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	GB 2523266 A (THE UNIVERSITY OF BRISTOL) 2015.08.19, 全文、全図 & JP 2017-524908 A & US 2017/0214274 A1 & WO 2016/009174 A1 & EP 3169997 A1	1-14
A	WO 2016/207604 A1 (THE UNIVERSITY OF BRISTOL) 2016.12.29, 全文、全図 & JP 2018-518671 A & GB 2533833 A & CN 107771282 A	1-14

☒ 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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

13.07.2018

国際調査報告の発送日

31.07.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 仁美

2W

4073

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 2017-96857 A (日立GEニュークリア・エナジー株式会社) 2017.06.01, 全文、全図 & US 2017/0153108 A1 & EP 3173733 A1	1-14
A	JP 2016-1136 A (日立GEニュークリア・エナジー株式会社) 2016.01.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-14