

(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
2017 年 2 月 2 日(02.02.2017)



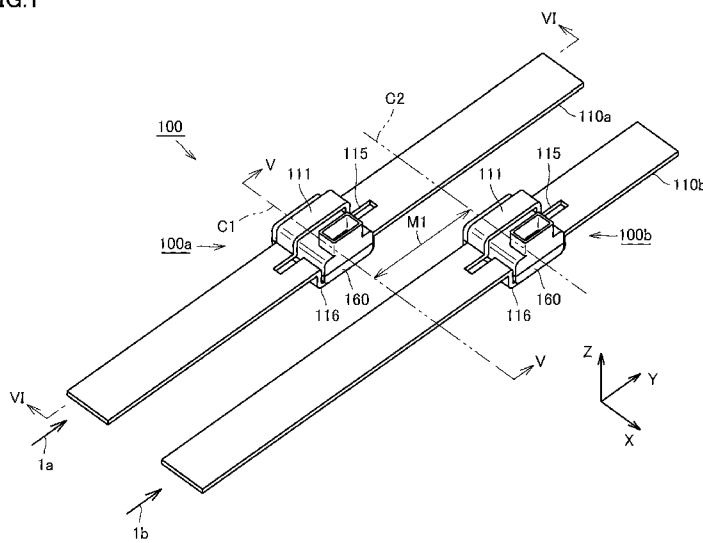
(10) 国際公開番号
WO 2017/018306 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 15/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/071347
- (22) 国際出願日: 2016 年 7 月 21 日(21.07.2016)
- (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 2015-146574 2015 年 7 月 24 日(24.07.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 清水 康弘(SHIMIZU, Yasuhiro); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目 2 番 7 号 中之島セントラルタワー 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: ELECTRIC CURRENT SENSOR

(54) 発明の名称: 電流センサ

[図1]
FIG.1



(57) Abstract: Conductors (110a, 110b) of a first electric current sensor unit (100a) and a second electric current sensor unit (100b) are disposed parallel to and spaced apart from one another, and extend in the length direction of the conductors (110a, 110b). An arch-shaped portion (111) and an inverse arch-shaped portion (116) of the first electric current sensor unit (100a) are positioned offset, in the length direction, from the arch-shaped portion (111) and the inverse arch-shaped portion (116) of the second electric current sensor unit (100b), and thus, as viewed in the width direction, a first magnetic sensor element and a second magnetic sensor element of the first electric current sensor unit (100a) are each positioned to the outside of an opening portion of the second electric current sensor unit (100b), and a first magnetic sensor element and a second magnetic sensor element of the second electric current sensor unit (100b) are each positioned to the outside of an opening portion of the first electric current sensor unit (100a).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/018306 A1



第1電流センサユニット(100a)および第2電流センサユニット(100b)の各々の導体(110a, 110b)は、互いに間隔をあけて並行に配置されて導体(110a, 110b)の長さ方向に延在している。第1電流センサユニット(100a)のアーチ状部(111)および逆アーチ状部(116)が、上記長さ方向において、第2電流センサユニット(100b)のアーチ状部(111)および逆アーチ状部(116)とずれて位置していることにより、上記幅方向から見て、第1電流センサユニット(100a)の第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、第2電流センサユニット(100b)の開口部の外側に位置し、かつ、第2電流センサユニット(100b)の第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、第1電流センサユニット(100a)の開口部の外側に位置している。

明 細 書

発明の名称 : 電流センサ

技術分野

[0001] 本発明は、電流センサに関し、被測定電流に応じて発生する磁界を測定することで被測定電流の値を検出する電流センサに関する。

背景技術

[0002] 電流センサの構成を開示した先行文献として、特開 2013-170878 号公報(特許文献 1)がある。特許文献 1 に記載された電流センサにおいては、同一平面に配置された複数の電流路が、第 1 導体部と、第 1 導体部の一端に接続された第 2 導体部と、第 1 導体部の他端に接続された第 3 導体部とを有する。第 1 導体部の一端から第 1 導体部の長さ方向に延びる延長線上に隣の第 2 導体部が配置され、第 1 導体部の他端から第 1 導体部の長さ方向に延びる延長線上に隣の第 3 導体部が配置され、一对の磁電変換素子が第 1 導体部を対称に挟むとともに上記平面に垂直な位置に配設されて、第 1 導体部が形成する磁界を検出する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1 : 特開 2013-170878 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献 1 に記載された電流センサにおいては、複数の電流路の各々の導体部を同一平面内にて曲折させて電流の流れる方向を変化させることにより、対応する電流路の磁界を検出する磁電変換素子に、対応する電流路に隣り合う電流路の影響が及ぶことを抑制している。

[0005] 複数の電流路の各々の導体部を同一平面内にて曲折させた場合、電流路の占める平面スペースが大きくなるため、電流センサの小形化を阻害する。電流センサを小型化するために互いに隣り合う電流路同士を近接させた場合、

対応する電流路に隣り合う電流路の第1導体部を周回する磁界が磁電変換素子に及び電流センサの測定誤差が大きくなる。

[0006] 本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであって、対応する導体に隣り合う導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差が低減された小型の電流センサを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明に基づく電流センサは、第1電流センサユニットと、第2電流センサユニットとを備える。第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々は、測定対象の電流が流れ、表面および裏面を含み、長さ方向、上記長さ方向と直交する幅方向、および、上記長さ方向と上記幅方向とに直交する厚さ方向を有する板状の導体と、上記電流により発生する磁界の強さを検出する、第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子とを含む。第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、導体は、長さ方向における途中で、上記電流が分流されて流れる第1流路部および第2流路部を含み、上記幅方向から見て、第1流路部と第2流路部とによって囲まれた領域が形成されており、第1磁気センサ素子は、上記幅方向から見て、上記領域の内部に位置し、かつ、第1流路部の裏面側に位置し、第2磁気センサ素子は、上記幅方向から見て、上記領域の内部に位置し、かつ、第2流路部の表面側に位置している。第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々の導体は、互いに間隔をあけて並行に配置されて上記長さ方向に延在している。第1電流センサユニットの上記領域が、上記長さ方向において、第2電流センサユニットの上記領域とずれて位置していることにより、第1電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記幅方向から見て、第2電流センサユニットの上記領域の外側に位置し、かつ、第2電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記幅方向から見て、第1電流センサユニットの上記領域の外側に位置している。

[0008] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流セン

サユニットの各々の導体は、上記幅方向にて間隔をあけて互いに並んでいる。第1電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記幅方向から見て、第2電流センサユニットの導体と重なっており、かつ、第2電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記幅方向から見て、第1電流センサユニットの導体と重なっている。

[0009] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々の導体は、上記厚さ方向にて間隔をあけて互いに並んでいる。第1電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記厚さ方向から見て、第2電流センサユニットの導体と重なっており、かつ、第2電流センサユニットの第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記厚さ方向から見て、第1電流センサユニットの導体と重なっている。

[0010] 本発明の一形態においては、導体は、上記厚さ方向の一方に突出するように曲がって上記長さ方向に延在し、第1流路部を構成するアーチ状部を含む。

[0011] 本発明の一形態においては、導体は、上記厚さ方向の他方に突出するように曲がって上記長さ方向に延在し、第2流路部を構成する逆アーチ状部をさらに含む。

[0012] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、アーチ状部と逆アーチ状部とが、互いに同一形状を有する。

[0013] 本発明の一形態においては、第1流路部は、上記幅方向から見て、導体の表面側に膨出している。

[0014] 本発明の一形態においては、第2流路部は、上記幅方向から見て、導体の裏面側に膨出している。

[0015] 本発明の一形態においては、第1流路部および第2流路部の各々は、上記長さ方向における一端と他端とを有している。上記長さ方向における第1流

路部の一端と第1流路部の他端とは、上記厚さ方向における位置が互いに異なっている。上記長さ方向における第2流路部の一端と第2流路部の他端とは、上記厚さ方向における位置が互いに異なっている。上記長さ方向における第1流路部の一端と第2流路部の一端とは、上記厚さ方向における位置が互いに等しい。上記長さ方向における第1流路部の他端と第2流路部の他端とは、上記厚さ方向における位置が互いに等しい。第1流路部は、上記厚さ方向における第1流路部の一端の位置と第1流路部の他端の位置とを繋ぐ曲折部を含む。第2流路部は、上記厚さ方向における第2流路部の一端の位置と第2流路部の他端の位置とを繋ぐ曲折部を含む。第1流路部の曲折部と、第2流路部の曲折部とは、上記長さ方向において互いに間隔を置いて位置している。

[0016] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、導体に、上記長さ方向に延在するスリットが設けられていることにより、第1流路部と第2流路部とが、上記幅方向において互いに間隔をあけて位置している。

[0017] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、スリットは、上記幅方向にて導体の中央に位置している。

[0018] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子が、1つの基板に実装されている。

[0019] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々は、第1磁気センサ素子の検出値と第2磁気センサ素子の検出値とを演算することにより上記電流の値を算出する算出部をさらに備える。第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、導体を流れる上記電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサ素子の検出値の位相と第2磁気センサ素子の検出値の位相とが逆相であり、算出部が減算器または差動増幅器である。

[0020] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々は、第1磁気センサ素子の検出値と第2磁気センサ素子の検出値とを演算することにより上記電流の値を算出する算出部をさらに備える。第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、導体を流れる上記電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサ素子の検出値の位相と第2磁気センサ素子の検出値の位相とが同相であり、算出部が加算器または加算増幅器である。

[0021] 本発明の一形態においては、第1電流センサユニットおよび第2電流センサユニットの各々において、第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、検出軸を有し、この検出軸が上記幅方向に向くように配置されている。第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子の各々は、上記長さ方向のバイアス磁界の強さに応じて検出感度変化するように構成されている。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、電流センサにおいて、対応する導体に隣り合う導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減しつつ小型化を図れる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本発明の実施形態1に係る電流センサの外観を示す斜視図である。

[図2]本発明の実施形態1に係る電流センサが備える1次導体の外観を示す斜視図である。

[図3]本発明の実施形態1に係る電流センサが備える磁気センサユニットの構成を示す分解斜視図である。

[図4]本発明の実施形態1に係る電流センサが備える磁気センサユニットの筐体の外観を示す斜視図である。

[図5]本発明の実施形態1に係る電流センサの断面図であり、図1のV-V線矢印方向から見た図である。

[図6]本発明の実施形態1に係る電流センサの断面図であり、図1のVⅠ-V

Ⅰ線矢印方向から見た図である。

[図7]本発明の実施形態１に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。

[図8]比較例に係る電流センサの外観を示す斜視図である。

[図9]図８のⅠⅩ－ⅠⅩ線矢印方向から見た断面図である。

[図10]本発明の実施形態２に係る電流センサの外観を示す斜視図である。

[図11]図１０のⅩⅠ－ⅩⅠ線矢印方向から見た断面図である。

[図12]比較例に係る電流センサの２つの１次導体に測定対象外の電流を流した際に発生する磁界の磁束密度をシミュレーション解析した結果を、図９と同一の断面視にて示した等高線図である。

[図13]図１２の中心線Ⅰc上の始点から終点までのⅩ軸方向成分の磁束密度の変位を示すグラフである。

[図14]本発明の実施形態２に係る電流センサの２つの１次導体に測定対象外の電流を流した際に発生する磁界の磁束密度をシミュレーション解析した結果を、図１１と同一の断面視にて示した等高線図である。

[図15]図１４の中心線Ⅰc上の始点から終点までのⅩ軸方向成分の磁束密度の変位を示すグラフである。

[図16]本発明の実施形態３に係る電流センサの外観を示す斜視図である。

[図17]本発明の実施形態４に係る電流センサが備える１次導体の外観を示す斜視図である。

[図18]本発明の実施形態５に係る電流センサが備える１次導体の外観を示す斜視図である。

[図19]図１８の１次導体を矢印ⅩⅠⅩ方向から見た側面図である。

[図20]本発明の実施形態６に係る電流センサが備える１次導体の外観を示す斜視図である。

[図21]図２０の１次導体を矢印ⅩⅩⅠ方向から見た側面図である。

[図22]図２０の１次導体を矢印ⅩⅩⅠⅠ方向から見た上面図である。

[図23]図２０の１次導体を矢印ⅩⅩⅠⅠⅠ方向から見た正面図である。

[図24]本発明の実施形態７に係る電流センサの外観を示す斜視図である。

[図25]図24の電流センサをXXV方向から見た側面図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、本発明の各実施形態に係る電流センサについて図を参照して説明する。以下の実施形態の説明においては、図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰り返さない。

[0025] (実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1に係る電流センサの外観を示す斜視図である。図2は、本発明の実施形態1に係る電流センサが備える1次導体の外観を示す斜視図である。図3は、本発明の実施形態1に係る電流センサが備える磁気センサユニットの構成を示す分解斜視図である。図4は、本発明の実施形態1に係る電流センサが備える磁気センサユニットの筐体の外観を示す斜視図である。図5は、本発明の実施形態1に係る電流センサの断面図であり、図1のV-V線矢印方向から見た図である。図6は、本発明の実施形態1に係る電流センサの断面図であり、図1のVⅠ-VⅠ線矢印方向から見た図である。図7は、本発明の実施形態1に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。

[0026] 図1, 2, 5, 6においては、後述する導体である1次導体110a, 110bの幅方向をX軸方向、1次導体110a, 110bの長さ方向をY軸方向、1次導体110a, 110bの厚さ方向をZ軸方向として、図示している。図5, 6においては、筐体150を図示していない。図5においては、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)において、後述する第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々の中心を通過する中心線をLcで示している。図7においては、1つの1次導体110a, 110bに対応する部分の回路構成を示している。

[0027] 図1～7に示すように、本発明の実施形態1に係る電流センサ100は、第1電流センサユニット100aと、第2電流センサユニット100bとを備える。本実施形態においては、電流センサ100が2つの電流センサユニットを備えているが、電流センサが備える電流センサユニットの数は、2つ

に限られず、複数であればよい。たとえば、電流センサ１００が３相３線式の配線に適用された場合、電流センサ１００は３つの電流センサユニットを備える。

[0028] 第１電流センサユニット１００ａおよび第２電流センサユニット１００ｂの各々は、測定対象の電流が流れる導体である１次導体１１０ａ，１１０ｂと、１次導体１１０ａ，１１０ｂを流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さを検出する、第１磁気センサ素子１２０ａおよび第２磁気センサ素子１２０ｂとを備える。具体的には、１次導体１１０ａ，１１０ｂは、表面および裏面を含み、長さ方向（Ｙ軸方向）、長さ方向（Ｙ軸方向）と直交する幅方向（Ｘ軸方向）、および、長さ方向（Ｙ軸方向）と幅方向（Ｘ軸方向）とに直交する厚さ方向（Ｚ軸方向）を有する板状である。

[0029] 第１電流センサユニット１００ａおよび第２電流センサユニット１００ｂの各々において、測定対象の電流は、後述するように２つの流路に分流されて１次導体１１０ａ，１１０ｂを矢印１ａ，１ｂで示すように１次導体１１０ａ，１１０ｂの長さ方向（Ｙ軸方向）に流れる。１次導体１１０ａ，１１０ｂは、長さ方向（Ｙ軸方向）における途中で、測定対象の電流が分流されて流れる第１流路部および第２流路部を含む。

[0030] １次導体１１０ａ，１１０ｂは、１次導体１１０ａ，１１０ｂの厚さ方向（Ｚ軸方向）の一方に突出するように曲がって長さ方向（Ｙ軸方向）に延在し、２つの流路のうちの１つの流路を構成する第１流路部であるアーチ状部１１１、および、厚さ方向（Ｚ軸方向）の他方に突出するように曲がって長さ方向（Ｙ軸方向）に延在し、２つの流路のうちの他の１つの流路を構成する第２流路部である逆アーチ状部１１６を含む。すなわち、第１流路部は、１次導体１１０ａ，１１０ｂの幅方向（Ｘ軸方向）から見て、１次導体１１０ａ，１１０ｂの表面側に膨出している。第２流路部は、１次導体１１０ａ，１１０ｂの幅方向（Ｘ軸方向）から見て、１次導体１１０ａ，１１０ｂの裏面側に膨出している。

[0031] アーチ状部１１１および逆アーチ状部１１６は、１次導体１１０ａ，１１

0 bの幅方向(X軸方向)に並んで位置し、アーチ状部111および逆アーチ状部116の内側に開口部10が形成されている。すなわち、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)から見て、第1流路部と第2流路部とによって囲まれた領域である開口部10が形成されている。

[0032] 図2に示すように、本実施形態においては、アーチ状部111は、互いに間隔を置いて、1次導体110a, 110bの主面に直交するように突出する第1突出部112および第2突出部113と、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)に延在し、第1突出部112と第2突出部113とを繋ぐ延在部114とから構成されている。ただし、アーチ状部111の形状はこれに限られず、たとえば、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)から見て、C字状または半円状の形状を有していてもよい。

[0033] 逆アーチ状部116は、互いに間隔を置いて、1次導体110a, 110bの主面に直交するように突出する第3突出部117および第4突出部118と、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)に延在し、第3突出部117と第4突出部118とを繋ぐ延在部119とから構成されている。ただし、逆アーチ状部116の形状はこれに限られず、たとえば、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)から見て、C字状または半円状の形状を有していてもよい。本実施形態においては、アーチ状部111と逆アーチ状部116とは、互いに同一形状を有しているが、互いに異なる形状を有していてもよい。1次導体110a, 110bの厚さ方向(Z軸方向)における延在部114と延在部119との間の距離はHbである。

[0034] 1次導体110a, 110bに、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)に延在するスリット115が設けられている。スリット115は、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)にてアーチ状部111に隣接している。なお、スリット115は必ずしも設けられていなくてもよい。スリット115は、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)にて1次導体110a, 110bの中央に位置している。スリット115は、アーチ状部111と逆アーチ状部116とに挟まれて位置している。すなわち、

スリット 115 が設けられていることにより、第 1 流路部と第 2 流路部とが、1 次導体 110 a, 110 b の幅方向(X 軸方向)にて互いに間隔をあけて位置している。

[0035] 本実施形態においては、スリット 115 は、1 次導体 110 a, 110 b の長さ方向 Y 軸方向)において、アーチ状部 111 の全体と接しているが、スリット 115 の設けられる範囲はこれに限られず、アーチ状部 111 の一部とのみ接するようにスリット 115 が設けられていてもよい。また、1 次導体 110 a, 110 b の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、スリット 115 は矩形状であるが、スリット 115 の形状は、これに限られず、楕円形などであってもよい。

[0036] 第 1 電流センサユニット 100 a および第 2 電流センサユニット 100 b の各々の 1 次導体 110 a, 110 b は、互いに間隔をあけて並行に配置されて長さ方向(Y 軸方向)に延在している。本実施形態においては、1 次導体 110 a, 110 b は、幅方向(X 軸方向)にて間隔をあけて互いに並んでいる。ただし、1 次導体の並ぶ方向は、幅方向(X 軸方向)に限られず、任意の方向でよい。第 1 電流センサユニット 100 a のアーチ状部 111 および逆アーチ状部 116 が、長さ方向(Y 軸方向)において、第 2 電流センサユニット 100 b のアーチ状部 111 および逆アーチ状部 116 とずれて位置している。

[0037] 具体的には、図 1 に示すように、1 次導体 110 a の開口部 10 の中心を通過して幅方向(X 軸方向)に延在する中心線 C1 と、1 次導体 110 b の開口部 10 の中心を通過して幅方向(X 軸方向)に延在する中心線 C2 とは、長さ方向(Y 軸方向)において距離 M1 だけずれている。

[0038] 本実施形態においては、1 次導体 110 a, 110 b は、銅で構成されている。ただし、1 次導体 110 a, 110 b の材料はこれに限られず、銀、アルミニウム若しくは鉄などの金属、またはこれらの金属を含む合金でもよい。

[0039] 1 次導体 110 a, 110 b は、表面処理が施されていてもよい。たとえ

ば、ニッケル、錫、銀若しくは銅などの金属、またはこれらの金属を含む合金からなる、少なくとも1層のめっき層が、1次導体110a, 110bの表面に設けられていてもよい。

[0040] 本実施形態においては、プレス加工により1次導体110a, 110bを形成している。ただし、1次導体110a, 110bの形成方法はこれに限られず、切削加工または鋳造などにより1次導体110a, 110bを形成してもよい。

[0041] 図3に示すように、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、アンプおよび受動素子などの電子部品140a, 140bと共に基板130に実装されている。本実施形態においては、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bは、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)において互いにずれつつ、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)に並んで位置している。基板130が電気絶縁性を有する筐体150内に固定されることにより、磁気センサユニット160が構成されている。すなわち、第1磁気センサ素子120a、第2磁気センサ素子120b、電子部品140a, 140bおよび基板130の各々は、筐体150に収容されている。

[0042] 基板130は、プリント配線板であり、ガラスエポキシまたはアルミナなどの基材と、基材の表面上に設けられた銅などの金属箔がパターンニングされて形成された配線とから構成されている。

[0043] 図3, 4に示すように、筐体150は、略直方体状の外形を有し、下部筐体151と上部筐体152とから構成されている。上部筐体152には、基板130と接続されるワイヤーハーネスの取出し口152pが設けられている。

[0044] 筐体150は、PPS(ポリフェニレンスルファイド)などのエンジニアリングプラスチックで形成されている。PPSは、耐熱性が高いため、1次導体110a, 110bの発熱を考慮した場合、筐体150の材料として好ましい。

- [0045] 基板 130 を筐体 150 に固定する方法としては、螺子による締結、樹脂による熱溶着、または、接着剤による接合などを用いることができる。螺子を用いて基板 130 と筐体 150 とを締結する場合には、磁界の乱れが生じないように、非磁性の螺子を用いることが好ましい。
- [0046] アーチ状部 111 と逆アーチ状部 116 とによって形成される開口部 10 に、磁気センサユニット 160 が挿入されている。これにより、第 1 磁気センサ素子 120 a は、アーチ状部 111 の内側に配置されて延在部 114 の裏面側に位置し、第 2 磁気センサ素子 120 b は、逆アーチ状部 116 の内側に配置されて延在部 119 の表面側に位置している。すなわち、第 1 磁気センサ素子 120 a は、1 次導体 110 a, 110 b の幅方向(X 軸方向)から見て、上記領域の内部に位置し、かつ、一方の流路部の裏面側に位置している。第 2 磁気センサ素子 120 b は、1 次導体 110 a, 110 b の幅方向(X 軸方向)から見て、上記領域の内部に位置し、かつ、他方の流路部の表面側に位置している。
- [0047] 1 次導体 110 a, 110 b の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、第 1 磁気センサ素子 120 a と第 2 磁気センサ素子 120 b との間にスリット 115 が位置している。第 1 電流センサユニット 100 a および第 2 電流センサユニット 100 b の各々において 1 次導体 110 a, 110 b の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、1 次導体 110 a, 110 b の幅方向(X 軸方向)にて、第 1 磁気センサ素子 120 a と第 2 磁気センサ素子 120 b との中間にスリット 115 が位置している。
- [0048] 上記の状態において、筐体 150 は、アーチ状部 111 の内側の面の少なくとも一部と接している。たとえば、上部筐体 152 が、延在部 114 の裏面の少なくとも一部と接している。さらに、筐体 150 は、逆アーチ状部 116 の内側の面の少なくとも一部と接している。たとえば、下部筐体 151 が、延在部 119 の表面の少なくとも一部と接している。
- [0049] 図 1, 5 に示すように、第 1 電流センサユニット 100 a の第 1 磁気センサ素子 120 a および第 2 磁気センサ素子 120 b の各々は、1 次導体 11

0 a, 1 1 0 bの幅方向(X軸方向)から見て、第2電流センサユニット1 0 0 bの開口部1 0の外側に位置し、かつ、第2電流センサユニット1 0 0 bの第1磁気センサ素子1 2 0 aおよび第2磁気センサ素子1 2 0 bの各々は、1次導体1 1 0 a, 1 1 0 bの幅方向(X軸方向)から見て、第1電流センサユニット1 0 0 aの開口部1 0の外側に位置している。

[0050] 第1電流センサユニット1 0 0 aの第1磁気センサ素子1 2 0 aおよび第2磁気センサ素子1 2 0 bの各々は、1次導体1 1 0 a, 1 1 0 bの幅方向(X軸方向)から見て、第2電流センサユニット1 0 0 bの1次導体1 1 0 bと重なっており、かつ、第2電流センサユニット1 0 0 bの第1磁気センサ素子1 2 0 aおよび第2磁気センサ素子1 2 0 bの各々は、1次導体1 1 0 a, 1 1 0 bの幅方向(X軸方向)から見て、第1電流センサユニット1 0 0 aの1次導体1 1 0 aと重なっている。

[0051] 好ましくは、第1電流センサユニット1 0 0 aの第1磁気センサ素子1 2 0 aおよび第2磁気センサ素子1 2 0 bの各々の中心を通過する中心線L cは、1次導体1 1 0 aの延在部1 1 4と延在部1 1 9との中間に位置している。すなわち、1次導体1 1 0 aの厚さ方向(Z軸方向)において、延在部1 1 4の下面と中心線L cとの距離、および、延在部1 1 9の上面と中心線L cとの距離の各々は、 $H b / 2$ である。

[0052] 好ましくは、第2電流センサユニット1 0 0 bの第1磁気センサ素子1 2 0 aおよび第2磁気センサ素子1 2 0 bの各々の感磁面を通過する中心線L cは、1次導体1 1 0 bの延在部1 1 4と延在部1 1 9との中間に位置している。すなわち、1次導体1 1 0 bの厚さ方向(Z軸方向)において、延在部1 1 4の下面と中心線L cとの距離、および、延在部1 1 9の上面と中心線L cとの距離の各々は、 $H b / 2$ である。

[0053] 第1電流センサユニット1 0 0 aにおける中心線L c上に、1次導体1 1 0 bのアーチ状部1 1 1以外の部分および逆アーチ状部1 1 6以外の部分が位置し、第2電流センサユニット1 0 0 bにおける中心線L c上に、1次導体1 1 0 aのアーチ状部1 1 1以外の部分および逆アーチ状部1 1 6以外の

部分が位置するように、中心線C 1と中心線C 2との間の距離M 1が設定されている。

[0054] 本実施形態においては、基板130の実装面と1次導体110a, 110bの主面とが平行になるように基板130が配置されているが、基板130の実装面と1次導体110a, 110bの主面とが垂直になるように基板130が配置されていてもよい。

[0055] 第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)の磁界を検出する。具体的には、図5に示すように、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)に向いた検出軸2を有している。すなわち、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、検出軸2を有し、検出軸2が1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)に向くように配置されている。

[0056] 第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、検出軸2の一方向に向いた磁界を検出した場合に正の値で出力し、かつ、検出軸2の一方向とは反対方向に向いた磁界を検出した場合に負の値で出力する、奇関数入出力特性を有している。

[0057] 図7に示すように、本実施形態に係る電流センサ100において、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、4つのAMR(Anisotropic Magneto Resistance)素子からなるホイートストンブリッジ型のブリッジ回路を有する。なお、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々が、AMR素子に代えて、GMR(Giant Magneto Resistance)、TMR(Tunnel Magneto Resistance)、BMR(Ballistic Magneto Resistance)、CMR(Colossal Magneto Resistance)などの磁気抵抗素子を有していてもよい。

[0058] また、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々が、2つの磁気抵抗素子からなるハーフブリッジ回路を有していてもよ

い。その他にも、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bとして、ホール素子を有する磁気センサ素子、磁気インピーダンス効果を利用するMI (Magneto Impedance)素子を有する磁気センサ素子またはフラックスゲート型磁気センサ素子などを用いることができる。磁気抵抗素子およびホール素子などの磁気素子は、樹脂パッケージされていてもよく、または、シリコン樹脂若しくはエポキシ樹脂などでポッティングされていてもよい。

[0059] 複数の磁気素子がパッケージされている場合、複数の磁気素子が1つにパッケージされていてもよいし、複数の磁気素子の各々が別々にパッケージされていてもよい。また、複数の磁気素子と電子部品とが集積された状態で、1つにパッケージされていてもよい。

[0060] 本実施形態においては、AMR素子は、バーバーポール型電極を含むことによって、奇関数入出力特性を有している。具体的には、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々の磁気抵抗素子は、バーバーポール型電極を含むことにより、磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向に対して所定の角度をなす方向に電流が流れるようにバイアスされている。

[0061] 磁気抵抗膜の磁化方向は、磁気抵抗膜の形状異方性およびバイアス磁界の少なくとも一方によって決まる。なお、AMR素子の磁化方向を決める方法として、AMR素子を構成する磁気抵抗膜の近傍に永久磁石またはコイルを配置してバイアス磁界を印加する方法、または、AMR素子を構成する磁気抵抗膜において交換結合を設ける方法などを用いてもよい。永久磁石は、焼結磁石、ボンド磁石または薄膜で構成されていてもよい。永久磁石の種類は、特に限定されず、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石、アルニコ磁石またはネオジム磁石などを用いることができる。

[0062] 第1磁気センサ素子120aの磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向と、第2磁気センサ素子120bの磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向とは、同一方向である。これにより、外部磁界の影響による出力精度

の低下を小さくすることができる。

[0063] 第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)のバイアス磁界の強さに応じて検出感度が変化するように構成されている。具体的には、図3に示すように、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、検出軸2に直交する感度変化軸3を有している。図3, 6に示すように、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、感度変化軸3が1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)に沿うように配置されている。すなわち、感度変化軸3は、1次導体110a, 110bの長さ方向(Y軸方向)に向いている。

[0064] 第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、感度変化軸3に沿う方向の磁界が印加されている時に出力感度が変化している。具体的には、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、感度変化軸3に沿う方向においてバイアス磁界の印加方向とは反対向きの磁界を印加されている時に出力感度が高くなっており、かつ、感度変化軸3に沿う方向においてバイアス磁界の印加方向と同じ向きの磁界を印加されている時に出力感度が低くなっている。なお、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、感度変化軸3に沿う方向の磁界のみが印加されている時には、出力が0である。

[0065] 図7に示すように、電流センサ100は、第1磁気センサ素子120aの検出値と第2磁気センサ素子120bの検出値とを演算することにより1次導体110a, 110bを流れる測定対象の電流の値を算出する算出部190をさらに備える。本実施形態においては、算出部190は、差動増幅器である。ただし、算出部190が減算器であってもよい。

[0066] 図5に示すように、1次導体110a, 110bを流れる測定対象の電流は、アーチ状部111を通過する第1流路部と、逆アーチ状部116を通過する第2流路部との、2つの流路に分かれて流れる。1次導体110a, 110bにおいて2つの流路に分かれて電流が流れることにより、いわゆる右

ねじの法則によって、各流路を周回する磁界が発生する。

[0067] 図5, 6に示すように、第1磁気センサ素子120aはアーチ状部111の内側に配置されているため、第1磁気センサ素子120aには、第1突出部112を周回する磁界112eと、第2突出部113を周回する磁界113eと、延在部114を周回する磁界114eとが印加される。これにより、第1磁気センサ素子120aの磁気抵抗素子に印加される磁界が強くなるため、1次導体110a, 110bを流れる測定電流に対する第1磁気センサ素子120aの感度が高くなる。

[0068] 第2磁気センサ素子120bは逆アーチ状部116の内側に配置されているため、第2磁気センサ素子120bには、第3突出部117を周回する磁界と、第4突出部118を周回する磁界と、延在部119を周回する磁界119eとが印加される。これにより、第2磁気センサ素子120bの磁気抵抗素子に印加される磁界が強くなるため、1次導体110a, 110bを流れる測定電流に対する第2磁気センサ素子120bの感度が高くなる。

[0069] 図5に示すように、延在部114の裏面側の位置と、延在部119の表面側の位置とでは、X軸方向の磁束の向きが互いに反対方向となる。すなわち、第1磁気センサ素子120aに作用する磁束の向きと、第2磁気センサ素子120bに作用する磁束の向きとが反対であるため、1次導体110a, 110bを流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサ素子120aの検出値の位相と、第2磁気センサ素子120bの検出値の位相とは、逆相である。よって、第1磁気センサ素子120aの検出した磁界の強さを正の値とすると、第2磁気センサ素子120bの検出した磁界の強さは負の値となる。

[0070] 第1磁気センサ素子120aの検出値と第2磁気センサ素子120bの検出値とは、算出部190にて演算される。具体的には、算出部190は、第1磁気センサ素子120aの検出値から第2磁気センサ素子120bの検出値を減算する。この結果から、1次導体110a, 110bを流れた測定対象の電流の値が算出される。

- [0071] 本実施形態に係る電流センサ１００においては、磁気センサユニット１６０が開口部１０に挿入されているため、外部磁界源は、物理的に第１磁気センサ素子１２０ａと第２磁気センサ素子１２０ｂとの間に位置することができない。
- [0072] そのため、外部磁界源から第１磁気センサ素子１２０ａに印加される磁界のうちの検出軸の方向における磁界成分の向きと、外部磁界源から第２磁気センサ素子１２０ｂに印加される磁界のうちの検出軸の方向における磁界成分の向きとは、同じ向きとなる。よって、第１磁気センサ素子１２０ａの検出した外部磁界の強さを正の値とすると、第２磁気センサ素子１２０ｂの検出した外部磁界の強さも正の値となる。
- [0073] その結果、算出部１９０が第１磁気センサ素子１２０ａの検出値から第２磁気センサ素子１２０ｂの検出値を減算することにより、外部磁界源からの磁界は、ほとんど検出されなくなる。すなわち、外部磁界の影響が低減される。
- [0074] 本実施形態の変形例として、第１磁気センサ素子１２０ａおよび第２磁気センサ素子１２０ｂにおいて、検出値が正となる検出軸の方向を互いに反対方向（１８０° 反対）にしてもよい。この場合、第１磁気センサ素子１２０ａの検出する外部磁界の強さを正の値とすると、第２磁気センサ素子１２０ｂの検出する外部磁界の強さは負の値となる。
- [0075] 一方、１次導体１１０ａ、１１０ｂを流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さについて、第１磁気センサ素子１２０ａの検出値の位相と、第２磁気センサ素子１２０ｂの検出値の位相とは同相となる。
- [0076] 本変形例においては、算出部１９０として差動増幅器に代えて加算器または加算増幅器を用いる。外部磁界の強さについては、第１磁気センサ素子１２０ａの検出値と第２磁気センサ素子１２０ｂの検出値とを加算器または加算増幅器によって加算することにより、第１磁気センサ素子１２０ａの検出値の絶対値と、第２磁気センサ素子１２０ｂの検出値の絶対値とが減算される。これにより、外部磁界源からの磁界は、ほとんど検出されなくなる。す

なわち、外部磁界の影響が低減される。

[0077] 一方、1次導体110a, 110bを流れる電流により発生する磁界の強さについては、第1磁気センサ素子120aの検出値と第2磁気センサ素子120bの検出値とを加算器または加算増幅器によって加算することにより、1次導体110a, 110bを流れた測定対象の電流の値が算出される。

[0078] このように、第1磁気センサ素子120aと第2磁気センサ素子120bとの入出力特性を互いに逆の極性にしつつ、差動増幅器に代えて加算器または加算増幅器を算出部として用いてもよい。

[0079] 上記のように、本実施形態に係る電流センサ100は、1次導体110a, 110bを流れる測定電流に対する第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々の感度を高めることによって電流センサ100の感度を高めつつ、外部磁界の影響を低減することができる。

[0080] 図5に示すように、1次導体110bを周回する磁界110beは、第1電流センサユニット100aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、検出軸2と直交する方向である1次導体110aの厚さ方向(Z軸方向)に作用する。そのため、1次導体110bを周回する磁界110beによる第1電流センサユニット100aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々の出力は、ほとんど0である。これにより、第1電流センサユニット100aの測定値に、第2電流センサユニット100bが発生する磁界が影響することを抑制して、第1電流センサユニット100aの測定誤差を低減できる。

[0081] 同様に、1次導体110aを周回する磁界は、第2電流センサユニット100bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、検出軸2と直交する方向である1次導体110bの厚さ方向(Z軸方向)に作用する。そのため、1次導体110aを周回する磁界による第2電流センサユニット100bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々の出力は、ほとんど0である。これにより、第2電流センサユニット100bの測定値に、第1電流センサユニット100

aが発生する磁界が影響することを抑制して、第2電流センサユニット100bの測定誤差を低減できる。

[0082] 上記のように、本実施形態に係る電流センサ100においては、対応する1次導体に隣り合う1次導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減できる。

[0083] また、第1電流センサユニット100aのアーチ状部111および逆アーチ状部116が、長さ方向(Y軸方向)において、第2電流センサユニット100bのアーチ状部111および逆アーチ状部116とずれて位置していることにより、対応する1次導体に隣り合う1次導体を周回する磁界の影響を抑制しているため、1次導体を同一平面内にて曲折させる必要がなく、1次導体110a、110bの占める平面スペースを削減して、電流センサ100を小型化できる。

[0084] また、電流センサ100においては、第1電流センサユニット100aおよび第2電流センサユニット100bの各々は、磁気センサユニット160を開口部10に挿入して1次導体110a、110bに組み付ける構造である。この構造により、電流センサ100の組み立てが容易となり、アーチ状部111および逆アーチ状部116によって、磁気センサユニット160の構成部品を外力から保護することができる。また、電流センサ100の低背化、集積化および小型化を図ることができる。

[0085] さらに、1次導体110a、110bが1つの導体で構成されているため、1次導体110a、110bが複数の導体で構成されている場合に比較して、部品点数を削減して低コスト化を図ることができる。

[0086] 本実施形態に係る電流センサ100においては、アーチ状部111の電気抵抗値と逆アーチ状部116の電気抵抗値とが略同一であるため、1次導体110a、110bを測定電流が流れることによるアーチ状部111の発熱量と逆アーチ状部116の発熱量とを同等にすることができる。その結果、第1磁気センサ素子120aの磁気抵抗素子の周囲の温度と、第2磁気センサ素子120bの磁気抵抗素子の周囲の温度とを略同じにすることができる。

ため、磁気抵抗素子の温度特性による電流センサ 100 の測定値の誤差を低減することができる。

[0087] (実施形態 2)

以下、本発明の実施形態 2 に係る電流センサについて、比較例に係る電流センサと比較しつつ説明する。なお、実施形態 2 および比較例の電流センサの各々が備える電流センサユニットの構成は、実施形態 1 に係る電流センサ 100 と同様であるため、電流センサユニットの構成については説明を繰り返さない。実施形態 2 および比較例の電流センサは、たとえばインバータなどの 3 相 3 線式の配線に適用され、3 つの電流センサユニットを備えている。

[0088] 図 8 は、比較例に係る電流センサの外観を示す斜視図である。図 9 は、図 8 の I X - I X 線矢印方向から見た断面図である。図 10 は、本発明の実施形態 2 に係る電流センサの外観を示す斜視図である。図 11 は、図 10 の X I - X I 線矢印方向から見た断面図である。なお、図 8 ~ 11 においては、磁気センサユニット 160 を図示していない。

[0089] 図 8, 9 に示すように、比較例に係る電流センサ 900 は、第 1 電流センサユニット 900 a と、第 2 電流センサユニット 900 b と、第 3 電流センサユニット 900 c とを備える。

[0090] 第 1 電流センサユニット 900 a、第 2 電流センサユニット 900 b および第 3 電流センサユニット 900 c の各々は、測定対象の電流が流れる 1 次導体 110 a と、1 次導体 110 a を流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さを検出する、第 1 磁気センサ素子 120 a および第 2 磁気センサ素子 120 b とを備える。具体的には、第 1 電流センサユニット 900 a、第 2 電流センサユニット 900 b および第 3 電流センサユニット 900 c の各々において、1 次導体 110 a の開口部 10 に磁気センサユニット 160 が挿入されている。

[0091] 第 1 電流センサユニット 900 a、第 2 電流センサユニット 900 b および第 3 電流センサユニット 900 c の各々において、測定対象の電流は、2

つの流路に分流されて１次導体１１０aを矢印１a，１b，１cで示すように１次導体１１０aの長さ方向（Ｙ軸方向）に流れる。

[0092] 第１電流センサユニット９００a、第２電流センサユニット９００bおよび第３電流センサユニット９００cの各々の１次導体１１０aは、幅方向（Ｘ軸方向）にて間隔をあけて互いに長さ方向（Ｙ軸方向）に延在している。第１電流センサユニット９００aのアーチ状部１１１および逆アーチ状部１１６と、第２電流センサユニット９００bのアーチ状部１１１および逆アーチ状部１１６と、第３電流センサユニット９００cのアーチ状部１１１および逆アーチ状部１１６とは、１次導体１１０aの幅方向（Ｘ軸方向）に延びる仮想直線上に位置している。すなわち、第１電流センサユニット９００a、第２電流センサユニット９００bおよび第３電流センサユニット９００cの各々における、１次導体１１０aの開口部１０の中心を通過して幅方向（Ｘ軸方向）に延在する中心線Ｃ１が、同一直線上に位置している。

[0093] 図１０，１１に示すように、本発明の実施形態２に係る電流センサ２００は、第１電流センサユニット２００aと、第２電流センサユニット２００bと、第３電流センサユニット２００cとを備える。

[0094] 第１電流センサユニット２００a、第２電流センサユニット２００bおよび第３電流センサユニット２００cの各々は、測定対象の電流が流れる１次導体１１０a，１１０b，１１０cと、１次導体１１０a，１１０b，１１０cを流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さを検出する、第１磁気センサ素子１２０aおよび第２磁気センサ素子１２０bとを備える。具体的には、第１電流センサユニット２００a、第２電流センサユニット２００bおよび第３電流センサユニット２００cの各々において、１次導体１１０a，１１０b，１１０cの開口部１０に磁気センサユニット１６０が挿入されている。

[0095] 第１電流センサユニット２００a、第２電流センサユニット２００bおよび第３電流センサユニット２００cの各々において、測定対象の電流は、２つの流路に分流されて１次導体１１０a，１１０b，１１０cを矢印１a，

1 b, 1 c で示すように 1 次導体 1 1 0 a, 1 1 0 b, 1 1 0 c の長さ方向 (Y 軸方向) に流れる。

[0096] 第 1 電流センサユニット 2 0 0 a、第 2 電流センサユニット 2 0 0 b および第 3 電流センサユニット 2 0 0 c の各々の 1 次導体 1 1 0 a, 1 1 0 b, 1 1 0 c は、幅方向 (X 軸方向) にて間隔をあけて互いに長さ方向 (Y 軸方向) に延在している。第 1 電流センサユニット 2 0 0 a のアーチ状部 1 1 1 および逆アーチ状部 1 1 6 と、第 2 電流センサユニット 2 0 0 b のアーチ状部 1 1 1 および逆アーチ状部 1 1 6 と、第 3 電流センサユニット 2 0 0 c のアーチ状部 1 1 1 および逆アーチ状部 1 1 6 とは、長さ方向 (Y 軸方向) において、互いにずれて位置している。

[0097] 具体的には、図 1 0 に示すように、1 次導体 1 1 0 a の開口部 1 0 の中心を通過して幅方向 (X 軸方向) に延在する中心線 C 1 と、1 次導体 1 1 0 b の開口部 1 0 の中心を通過して幅方向 (X 軸方向) に延在する中心線 C 2 とは、長さ方向 (Y 軸方向) において距離 M 1 だけずれている。1 次導体 1 1 0 c の開口部 1 0 の中心を通過して幅方向 (X 軸方向) に延在する中心線 C 3 と中心線 C 2 とは、長さ方向 (Y 軸方向) において距離 M 2 だけずれている。

[0098] 第 1 電流センサユニット 2 0 0 a における中心線 L c 上に、1 次導体 1 1 0 b のアーチ状部 1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部 1 1 6 以外の部分が位置し、第 2 電流センサユニット 2 0 0 b における中心線 L c 上に、1 次導体 1 1 0 a のアーチ状部 1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部 1 1 6 以外の部分が位置するように、中心線 C 1 と中心線 C 2 との間の距離 M 1 が設定されている。

[0099] 第 2 電流センサユニット 2 0 0 b における中心線 L c 上に、1 次導体 1 1 0 c のアーチ状部 1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部 1 1 6 以外の部分が位置し、第 3 電流センサユニット 2 0 0 c における中心線 L c 上に、1 次導体 1 1 0 b のアーチ状部 1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部 1 1 6 以外の部分が位置するように、中心線 C 2 と中心線 C 3 との間の距離 M 2 が設定されている。

[0100] ここで、比較例に係る電流センサ900において、第1電流センサユニット900aおよび第2電流センサユニット900bの各々が発生する磁界が、第3電流センサユニット900cの測定値に及ぼす影響と、実施形態2に係る電流センサ200において、第1電流センサユニット200aおよび第2電流センサユニット200bの各々が発生する磁界が、第3電流センサユニット200cの測定値に及ぼす影響とを検証したシミュレーション解析結果について説明する。

[0101] シミュレーション解析の条件としては、1次導体110a, 110b, 110cの各々の、幅を13mm、厚さを1.5mmとし、 $M1=M2=18.0\text{mm}$ 、 $Hb=7.0\text{mm}$ とした。1次導体110a, 110b, 110cの各々に、600Aの電流(第1流路部に300A、第2流路部に300A)を流した。この条件で、中心線Lc上における被測定磁界の磁束密度分布をシミュレーション解析した。1次導体の幅方向(X軸方向)において、中心線Lcの始点は、1次導体の一端であり、中心線Lcの終点は、1次導体の他端である。

[0102] 図12は、比較例に係る電流センサの2つの1次導体に測定対象外の電流を流した際に発生する磁界の磁束密度をシミュレーション解析した結果を、図9と同一の断面視にて示した等高線図である。図12においては、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の一方に向いた磁界の磁束密度が高い順にE1～E5、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界の磁束密度が高い順にE11～E16を示している。

[0103] 図13は、図12の中心線Lc上の始点から終点までのX軸方向成分の磁束密度の変位を示すグラフである。図13においては、縦軸にX軸方向成分の磁束密度(T)、横軸にX軸方向における始点からの距離(mm)を示している。

[0104] 図14は、本発明の実施形態2に係る電流センサの2つの1次導体に測定対象外の電流を流した際に発生する磁界の磁束密度をシミュレーション解析した結果を、図11と同一の断面視にて示した等高線図である。図14にお

いては、1次導体110a, 110b, 110cの幅方向(X軸方向)の一方に向いた磁界の磁束密度が高い順にE1～E5、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界の磁束密度が高い順にE11～E16を示している。

[0105] 図15は、図14の中心線Lc上の始点から終点までのX軸方向成分の磁束密度の変位を示すグラフである。図15においては、縦軸にX軸方向成分の磁束密度(T)、横軸にX軸方向における始点からの距離(mm)を示している。

[0106] 図12に示すように、比較例に係る電流センサ900においては、延在部114の下方および延在部119の下方に、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の一方に向いた磁界が発生していた。延在部114の上方および延在部119の上方に、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界が発生していた。

[0107] 図13に示すように、比較例に係る電流センサ900においては、第2電流センサユニット900bに最も近接している始点の位置にて、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界の磁束密度の絶対値がもっとも大きくなり、X軸方向における始点からの距離が大きくなるに従って、1次導体110aの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界の磁束密度の絶対値が低下していた。その結果、第3電流センサユニット900cの測定値に、第1電流センサユニット900aおよび第2電流センサユニット900bの各々が発生する磁界が影響していた。

[0108] 図14に示すように、本発明の実施形態2に係る電流センサ200においては、1次導体110a, 110bの下方に、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)の一方に向いた磁界が発生している。1次導体110a, 110bの上方に、1次導体110a, 110bの幅方向(X軸方向)の他方に向いた磁界が発生していた。

[0109] 図15に示すように、本発明の実施形態2に係る電流センサ200においては、中心線Lc上の全体にて、1次導体110aの幅方向(X軸方向)に向

いた磁界の磁束密度は、ほとんど0 Tであった。

[0110] 上記のシミュレーション解析結果から、本発明の実施形態2に係る電流センサ200においては、第3電流センサユニット200cの測定値に、第1電流センサユニット200aおよび第2電流センサユニット200bの各々が発生する磁界が影響することを抑制して、第3電流センサユニット200cの測定誤差を低減できることが確認できた。

[0111] 第1電流センサユニット200aおよび第2電流センサユニット200bについても、同様の効果を得ることができる。上記のように、本実施形態に係る電流センサ200においては、対応する1次導体に隣り合う1次導体を周回する磁界の影響を抑制して測定誤差を低減できる。

[0112] (実施形態3)

以下、本発明の実施形態3に係る電流センサについて説明する。なお、実施形態3に係る電流センサ300は、第3電流センサユニットの配置のみ実施形態2に係る電流センサ200と異なるため、実施形態2に係る電流センサ200と同様である構成については同じ参照符号を付してその説明を繰り返さない。

[0113] 図16は、本発明の実施形態3に係る電流センサの外観を示す斜視図である。図16においては、磁気センサユニット160を図示していない。

[0114] 図16に示すように、本発明の実施形態3に係る電流センサ300は、第1電流センサユニット300aと、第2電流センサユニット300bと、第3電流センサユニット300cとを備える。

[0115] 第1電流センサユニット300a、第2電流センサユニット300bおよび第3電流センサユニット300cの各々は、測定対象の電流が流れる1次導体110a、110bと、1次導体110a、110bを流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さを検出する、第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bとを備える。具体的には、第1電流センサユニット300a、第2電流センサユニット300bおよび第3電流センサユニット300cの各々において、1次導体110a、110bの開口部

10に磁気センサユニット160が挿入されている。

- [0116] 第1電流センサユニット300a、第2電流センサユニット300bおよび第3電流センサユニット300cの各々において、測定対象の電流は、2つの流路に分流されて1次導体110a、110bを矢印1a、1b、1cで示すように1次導体110a、110bの長さ方向(Y軸方向)に流れる。
- [0117] 第1電流センサユニット300a、第2電流センサユニット300bおよび第3電流センサユニット300cの各々の1次導体110a、110bは、幅方向(X軸方向)にて間隔をあけて互いに長さ方向(Y軸方向)に延在している。第1電流センサユニット300aのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第2電流センサユニット300bのアーチ状部111および逆アーチ状部116とは、長さ方向(Y軸方向)において、互いにずれて位置している。第2電流センサユニット300bのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第3電流センサユニット300cのアーチ状部111および逆アーチ状部116とは、長さ方向(Y軸方向)において、互いにずれて位置している。第1電流センサユニット300aのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第3電流センサユニット300cのアーチ状部111および逆アーチ状部116とは、長さ方向(Y軸方向)において、互いにずれずに位置している。
- [0118] 第1電流センサユニット300aのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第3電流センサユニット300cのアーチ状部111および逆アーチ状部116とは、1次導体110aの幅方向(X軸方向)に延びる仮想直線上に位置している。すなわち、第1電流センサユニット300aおよび第3電流センサユニット300cの各々における、1次導体110aの開口部10の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C1が、同一直線上に位置している。
- [0119] 図16に示すように、1次導体110aの開口部10の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C1と、1次導体110bの開口部10の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C2とは、長さ方向(Y軸

方向)において距離M 1 だけずれている。

[0120] 第1 電流センサユニット3 0 0 aおよび第3 電流センサユニット3 0 0 cの各々における中心線L c上に、1 次導体1 1 0 bのアーチ状部1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部1 1 6 以外の部分が位置し、第2 電流センサユニット3 0 0 bにおける中心線L c上に、1 次導体1 1 0 aのアーチ状部1 1 1 以外の部分および逆アーチ状部1 1 6 以外の部分が位置するように、中心線C 1 と中心線C 2 との間の距離M 1 が設定されている。

[0121] 本実施形態に係る電流センサ3 0 0 のように、互いに隣り合う1 次導体同士のアーチ状部1 1 1 および逆アーチ状部1 1 6 が1 次導体の長さ方向(Y 軸方向)にずれて位置していれば、対応する1 次導体に隣り合う1 次導体を周回する磁界の影響を抑制して測定誤差を低減でき、実施形態2 に係る電流センサ2 0 0 のように、全ての1 次導体1 1 0 a, 1 1 0 b, 1 1 0 cのアーチ状部1 1 1 および逆アーチ状部1 1 6 が互いに1 次導体の長さ方向(Y 軸方向)にずれて位置している必要はない。

[0122] (実施形態4)

以下、本発明の実施形態4 に係る電流センサについて説明する。なお、実施形態4 に係る電流センサは、1 次導体の形状のみ実施形態1 に係る電流センサ1 0 0 と異なるため、実施形態1 に係る電流センサ1 0 0 と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0123] 図1 7 は、本発明の実施形態4 に係る電流センサが備える1 次導体の外観を示す斜視図である。図1 7 に示すように、本発明の実施形態4 に係る電流センサが備える1 次導体4 1 0 aは、1 次導体4 1 0 aの幅方向(X 軸方向)から見て半円状の形状をそれぞれ有する、アーチ状部4 1 1 および逆アーチ状部4 1 6 を含む。アーチ状部4 1 1 および逆アーチ状部4 1 6 の内側に開口部4 0 が形成されている。1 次導体4 1 0 aの開口部4 0 に磁気センサユニットが挿入される。本実施形態に係る電流センサにおいては、磁気センサユニットの筐体は、略円柱状の外形を有している。

[0124] 本実施形態に係る電流センサにおいても、対応する1 次導体に隣り合う1

次導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減しつつ小型化を図れる。

[0125] (実施形態5)

以下、本発明の実施形態5に係る電流センサについて説明する。なお、実施形態5に係る電流センサは、1次導体の形状のみ実施形態1に係る電流センサ100と異なるため、実施形態1に係る電流センサ100と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0126] 図18は、本発明の実施形態5に係る電流センサが備える1次導体の外観を示す斜視図である。図19は、図18の1次導体を矢印X1X方向から見た側面図である。

[0127] 図18、19に示すように、本発明の実施形態5に係る電流センサが備える板状の1次導体510aは、表面および裏面を含み、長さ方向(Y軸方向)、長さ方向(Y軸方向)と直交する幅方向(X軸方向)、および、長さ方向(Y軸方向)と幅方向(X軸方向)とに直交する厚さ方向(Z軸方向)を有する。

[0128] 本実施形態においては、第1流路部511は、1次導体510aの幅方向(X軸方向)から見て、1次導体510aの表面側に膨出している。第2流路部516は、1次導体510aの幅方向(X軸方向)から見て、1次導体510aの裏面側に膨出している。第2流路部516は、1次導体510aの幅方向(X軸方向)にて第1流路部511と並んでいる。1次導体510aの幅方向(X軸方向)から見て、第1流路部511と第2流路部516とによって囲まれた領域50が形成されている。スリット515は、1次導体510aの幅方向(X軸方向)にて1次導体510aの中央に位置している。

[0129] 第1流路部511および第2流路部516の各々は、1次導体510aの幅方向(X軸方向)から見て、半長円状の形状を有している。第1流路部511は、互いに間隔を置いて、1次導体510aの表面から円弧状に突出する第1突出部512および第2突出部513と、1次導体510aの長さ方向(Y軸方向)に延在し、第1突出部512と第2突出部513とを繋ぐ延在部514とから構成されている。第2流路部516は、互いに間隔を置いて、1

次導体 510a の裏面から円弧状に突出する第 3 突出部 517 および第 4 突出部 518 と、1 次導体 510a の長さ方向(Y 軸方向)に延在し、第 3 突出部 517 と第 4 突出部 518 とを繋ぐ延在部 519 とから構成されている。

[0130] 第 1 流路部 511 と第 2 流路部 516 とによって形成される空間に、磁気センサユニットが挿入されている。これにより、第 1 磁気センサ素子 120a は、1 次導体 510a の幅方向(X 軸方向)から見て、領域 50 の内部に位置し、かつ、第 1 磁気センサ素子 120a は、1 次導体 510a の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、第 1 流路部 511 の裏面側に位置している。第 2 磁気センサ素子 120b は、1 次導体 510a の幅方向(X 軸方向)から見て、領域 50 の内部に位置し、かつ、第 2 磁気センサ素子 120b は、1 次導体 510a の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、第 2 流路部 516 の表面側に位置している。

[0131] 本実施形態に係る電流センサにおいても、対応する 1 次導体に隣り合う 1 次導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減しつつ小型化を図れる。

[0132] (実施形態 6)

以下、本発明の実施形態 6 に係る電流センサについて説明する。なお、実施形態 6 に係る電流センサは、1 次導体の形状のみ実施形態 1 に係る電流センサ 100 と異なるため、実施形態 1 に係る電流センサ 100 と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0133] 図 20 は、本発明の実施形態 6 に係る電流センサが備える 1 次導体の外観を示す斜視図である。図 21 は、図 20 の 1 次導体を矢印 XX1 方向から見た側面図である。図 22 は、図 20 の 1 次導体を矢印 XX11 方向から見た上面図である。図 23 は、図 20 の 1 次導体を矢印 XX111 方向から見た正面図である。

[0134] 図 20～23 に示すように、本発明の実施形態 6 に係る電流センサが備える板状の 1 次導体 610a は、表面および裏面を含み、長さ方向(Y 軸方向)、長さ方向(Y 軸方向)と直交する幅方向(X 軸方向)、および、長さ方向(Y 軸

方向)と幅方向(X軸方向)とに直交する厚さ方向(Z軸方向)を有する。

[0135] 本実施形態においては、第2流路部616は、1次導体610aの幅方向(X軸方向)にて第1流路部611と並んでいる。1次導体610aの幅方向(X軸方向)から見て、第1流路部611と第2流路部616とによって囲まれた領域60が形成されている。スリット615は、1次導体610aの幅方向(X軸方向)にて1次導体610aの中央に位置している。

[0136] 第1流路部611は、長さ方向(Y軸方向)における一端611aと他端611bとを有する。第2流路部616は、長さ方向(Y軸方向)における一端616aと他端616bとを有する。第1流路部611の一端611aと第2流路部616の一端616aとは、スリット615を間に挟んで、幅方向(X軸方向)に並んでいる。第1流路部611の他端611bと第2流路部616の他端616bとは、スリット615を間に挟んで、1次導体610aの幅方向(X軸方向)に並んでいる。

[0137] 1次導体610aの長さ方向(Y軸方向)における第1流路部611の一端611aと第1流路部611の他端611bとは、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における位置が互いに異なっている。長さ方向(Y軸方向)における第2流路部616の一端616aと第2流路部616の他端616bとは、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における位置が互いに異なっている。1次導体610aの長さ方向(Y軸方向)における第1流路部611の一端611aと第2流路部616の一端616aとは、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における位置が互いに等しい。1次導体610aの長さ方向(Y軸方向)における第1流路部611の他端611bと第2流路部616の他端616bとは、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における位置が互いに等しい。

[0138] 第1流路部611は、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における第1流路部611の一端611aの位置と第1流路部611の他端611bの位置とを繋ぐ曲折部613を含む。第2流路部616は、1次導体610aの厚さ方向(Z軸方向)における第2流路部616の一端616aの位置と第

2 流路部 6 1 6 の他端 6 1 6 b の位置とを繋ぐ曲折部 6 1 7 を含む。第 1 流路部 6 1 1 の曲折部 6 1 3 と、第 2 流路部 6 1 6 の曲折部 6 1 7 とは、1 次導体 6 1 0 a の長さ方向(Y 軸方向)において互いに間隔を置いて位置している。

[0139] 本実施形態においては、第 1 流路部 6 1 1 は、一端 6 1 1 a から長さ方向(Y 軸方向)に延在する延在部 6 1 4 と、延在部 6 1 4 の長さ方向(Y 軸方向)の端部から厚さ方向(Z 軸方向)に直線状に延在して他端 6 1 1 b に向かう曲折部 6 1 3 とを含む。すなわち、第 1 流路部 6 1 1 は、段状に形成されている。延在部 6 1 4 は、第 1 流路部 6 1 1 の一端 6 1 1 a と接している。曲折部 6 1 3 は、第 1 流路部 6 1 1 の他端 6 1 1 b と接している。なお、曲折部 6 1 3 の形状は、上記に限られず、1 次導体 6 1 0 a の幅方向(X 軸方向)から見て、1 次導体 6 1 0 a の長さ方向(Y 軸方向)および厚さ方向(Z 軸方向)の各々に対して交差する方向に直線状に延在していてもよいし、湾曲していてもよい。

[0140] 第 2 流路部 6 1 6 は、一端 6 1 6 a から厚さ方向(Z 軸方向)に直線状に延在する曲折部 6 1 7 と、曲折部 6 1 7 の厚さ方向(Z 軸方向)の端部から長さ方向(Y 軸方向)に延在して他端 6 1 6 b に向かう延在部 6 1 9 とを含む。すなわち、第 2 流路部 6 1 6 は、段状に形成されている。延在部 6 1 9 は、第 2 流路部 6 1 6 の他端 6 1 6 b と接している。曲折部 6 1 7 は、第 2 流路部 6 1 6 の一端 6 1 6 a と接している。なお、曲折部 6 1 7 の形状は、上記に限られず、1 次導体 6 1 0 a の幅方向(X 軸方向)から見て、1 次導体 6 1 0 a の長さ方向(Y 軸方向)および厚さ方向(Z 軸方向)の各々に対して交差する方向に直線状に延在していてもよいし、湾曲していてもよい。

[0141] 第 1 流路部 6 1 1 と第 2 流路部 6 1 6 とによって形成される空間に、磁気センサユニットが挿入されている。これにより、第 1 磁気センサ素子 1 2 0 a は、1 次導体 6 1 0 a の幅方向(X 軸方向)から見て、領域 6 0 の内部に位置し、かつ、第 1 磁気センサ素子 1 2 0 a は、1 次導体 6 1 0 a の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、第 1 流路部 6 1 1 の裏面側に位置している。第 2 磁気セ

ンサ素子 120b は、1 次導体 610a の幅方向(X 軸方向)から見て、領域 60 の内部に位置し、かつ、第 2 磁気センサ素子 120b は、1 次導体 610a の厚さ方向(Z 軸方向)から見て、第 2 流路部 616 の表面側に位置している。

[0142] 本実施形態に係る電流センサにおいても、対応する 1 次導体に隣り合う 1 次導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減しつつ小型化を図れる。

[0143] (実施形態 7)

以下、本発明の実施形態 7 に係る電流センサについて説明する。なお、実施形態 7 に係る電流センサは、電流センサユニットが 1 次導体の厚さ方向に並んでいる点が主に、実施形態 2 に係る電流センサ 200 と異なるため、実施形態 2 に係る電流センサ 200 と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0144] 図 24 は、本発明の実施形態 7 に係る電流センサの外観を示す斜視図である。図 25 は、図 24 の電流センサを XXV 方向から見た側面図である。図 24, 25 に示すように、本発明の実施形態 7 に係る電流センサ 700 は、第 1 電流センサユニット 700a と、第 2 電流センサユニット 700b と、第 3 電流センサユニット 700c とを備える。

[0145] 第 1 電流センサユニット 700a、第 2 電流センサユニット 700b および第 3 電流センサユニット 700c の各々は、測定対象の電流が流れる 1 次導体 710a, 710b, 710c と、1 次導体 710a, 710b, 710c を流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さを検出する、第 1 磁気センサ素子 120a および第 2 磁気センサ素子 120b とを備える。具体的には、第 1 電流センサユニット 200a、第 2 電流センサユニット 200b および第 3 電流センサユニット 200c の各々において、1 次導体 710a, 710b, 710c の開口部 70 に磁気センサユニット 160 が挿入されている。

[0146] 第 1 電流センサユニット 700a、第 2 電流センサユニット 700b およ

び第3電流センサユニット700cの各々において、測定対象の電流は、2つの流路に分流されて1次導体710a, 710b, 710cを矢印1a, 1b, 1cで示すように1次導体710a, 710b, 710cの長さ方向(Y軸方向)に流れる。

[0147] 第1電流センサユニット700a、第2電流センサユニット700bおよび第3電流センサユニット700cの各々の1次導体710a, 710b, 710cは、互いに間隔をあけて並行に配置されて長さ方向(Y軸方向)に延在している。本実施形態においては、1次導体710a, 710b, 710cは、厚さ方向(Z軸方向)にて間隔をあけて互いに並んでいる。第1電流センサユニット700aのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第2電流センサユニット700bのアーチ状部111および逆アーチ状部116と、第3電流センサユニット700cのアーチ状部111および逆アーチ状部116とは、長さ方向(Y軸方向)において、互いにずれて位置している。

[0148] 具体的には、図24, 25に示すように、1次導体710aの開口部70の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C1と、1次導体710bの開口部70の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C2とは、長さ方向(Y軸方向)において距離M1だけずれている。1次導体710cの開口部70の中心を通過して幅方向(X軸方向)に延在する中心線C3と中心線C2とは、長さ方向(Y軸方向)において距離M2だけずれている。

[0149] その結果、第1電流センサユニット700aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの幅方向(X軸方向)から見て、第2電流センサユニット700bおよび第3電流センサユニット700cの各々の開口部70の外側に位置している。第2電流センサユニット700bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの幅方向(X軸方向)から見て、第1電流センサユニット700aおよび第3電流センサユニット700cの各々の開口部70の外側に位置し

ている。第3電流センサユニット700cの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの幅方向(X軸方向)から見て、第1電流センサユニット700aおよび第2電流センサユニット700bの各々の開口部70の外側に位置している。

[0150] 第1電流センサユニット700aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの厚さ方向(Z軸方向)から見て、第2電流センサユニット700bの1次導体710bおよび第3電流センサユニット700cの1次導体710cと重なっている。第2電流センサユニット700bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの厚さ方向(Z軸方向)から見て、第1電流センサユニット700aの1次導体710aおよび第3電流センサユニット700cの1次導体710cと重なっている。第3電流センサユニット700cの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々は、1次導体710a, 710b, 710cの厚さ方向(Z軸方向)から見て、第1電流センサユニット700aの1次導体710aおよび第2電流センサユニット700bの1次導体710bと重なっている。

[0151] その結果、1次導体710bを周回する磁界は、第1電流センサユニット700aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、同様に作用する。1次導体710cを周回する磁界は、第1電流センサユニット700aの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、同様に作用する。よって、外部磁界と同様に、1次導体710bを周回する磁界および1次導体710cを周回する磁界が、第1電流センサユニット700aの測定値に影響することを抑制することができる。

[0152] 同様に、1次導体710aを周回する磁界は、第2電流センサユニット700bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの

各々に対して、同様に作用する。1次導体710cを周回する磁界は、第2電流センサユニット700bの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、同様に作用する。よって、外部磁界と同様に、1次導体710aを周回する磁界および1次導体710cを周回する磁界が、第2電流センサユニット700bの測定値に影響することを抑制することができる。

[0153] 同様に、1次導体710aを周回する磁界は、第3電流センサユニット700cの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、同様に作用する。1次導体710bを周回する磁界は、第3電流センサユニット700cの第1磁気センサ素子120aおよび第2磁気センサ素子120bの各々に対して、同様に作用する。よって、外部磁界と同様に、1次導体710aを周回する磁界および1次導体710bを周回する磁界が、第3電流センサユニット700cの測定値に影響することを抑制することができる。

[0154] 上記のように、本実施形態に係る電流センサ700においても、対応する1次導体に隣り合う1次導体を周回する磁界および外部磁界の影響を抑制して測定誤差を低減できる。

[0155] 上述した実施形態の説明において、組み合わせ可能な構成を相互に組み合わせてもよい。電流センサにおいて、筐体が、1次導体と一体に構成されていてもよいし、1次導体に対して付け外し可能に構成されていてもよい。

[0156] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0157] 2 検出軸、3 感度変化軸、10, 40, 70 開口部、50, 60 囲まれた領域、100, 200, 300, 700, 900 電流センサ、100a, 200a, 300a, 700a, 900a 第1電流センサユニッ

ト、100b, 200b, 300b, 700b, 900b 第2電流センサ
ユニット、110, 110a, 110b, 110c, 410a, 510a,
610a, 710a, 710b, 710c 1次導体、110be, 112
e, 113e, 114e, 119e 磁界、111, 411 アーチ状部、
112, 512 第1突出部、113, 513 第2突出部、114, 11
9, 514, 519, 614, 619 延在部、115, 515, 615
スリット、116, 416 逆アーチ状部、117, 517 第3突出部、
118, 518 第4突出部、120a 第1磁気センサ素子、120b
第2磁気センサ素子、130 基板、140a, 140b 電子部品、15
0 筐体、151 下部筐体、152 上部筐体、152p 取出し口、1
60 磁気センサユニット、190 算出部、200c, 300c, 700
c, 900c 第3電流センサユニット、511, 611 第1流路部、5
16, 616 第2流路部、611a, 616a 一端、611b, 616
b 他端、613, 617 曲折部。

請求の範囲

[請求項1]

第1電流センサユニットと、

第2電流センサユニットとを備え、

前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々は、

測定対象の電流が流れ、表面および裏面を含み、長さ方向、該長さ方向と直交する幅方向、および、前記長さ方向と前記幅方向とに直交する厚さ方向を有する板状の導体と、

前記電流により発生する磁界の強さを検出する、第1磁気センサ素子および第2磁気センサ素子とを含み、

前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々において、

前記導体は、前記長さ方向における途中で、前記電流が分流されて流れる第1流路部および第2流路部を含み、

前記幅方向から見て、前記第1流路部と前記第2流路部とによって囲まれた領域が形成されており、

前記第1磁気センサ素子は、前記幅方向から見て、前記領域の内部に位置し、かつ、前記第1流路部の裏面側に位置し、

前記第2磁気センサ素子は、前記幅方向から見て、前記領域の内部に位置し、かつ、前記第2流路部の表面側に位置し、

前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々の前記導体は、互いに間隔をあけて並行に配置されて前記長さ方向に延在し、

前記第1電流センサユニットの前記領域が、前記長さ方向において、前記第2電流センサユニットの前記領域とずれて位置していることにより、前記第1電流センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記幅方向から見て、前記第2電流センサユニットの前記領域の外側に位置し、かつ、前記第2電流

センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記幅方向から見て、前記第1電流センサユニットの前記領域の外側に位置している、電流センサ。

[請求項2] 前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々の前記導体は、前記幅方向にて間隔をあけて互いに並んでおり、

前記第1電流センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記幅方向から見て、前記第2電流センサユニットの前記導体と重なっており、かつ、前記第2電流センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記幅方向から見て、前記第1電流センサユニットの前記導体と重なっている、請求項1に記載の電流センサ。

[請求項3] 前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々の前記導体は、前記厚さ方向にて間隔をあけて互いに並んでおり、

前記第1電流センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記厚さ方向から見て、前記第2電流センサユニットの前記導体と重なっており、かつ、前記第2電流センサユニットの前記第1磁気センサ素子および前記第2磁気センサ素子の各々は、前記厚さ方向から見て、前記第1電流センサユニットの前記導体と重なっている、請求項1に記載の電流センサ。

[請求項4] 前記導体は、前記厚さ方向の一方に突出するように曲がって前記長さ方向に延在し、前記第1流路部を構成するアーチ状部を含む、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の電流センサ。

[請求項5] 前記導体は、前記厚さ方向の他方に突出するように曲がって前記長さ方向に延在し、前記第2流路部を構成する逆アーチ状部をさらに含む、請求項4に記載の電流センサ。

[請求項6] 前記第1電流センサユニットおよび前記第2電流センサユニットの各々において、前記アーチ状部と前記逆アーチ状部とが、互いに同一

形状を有する、請求項 5 に記載の電流センサ。

[請求項7] 前記第 1 流路部は、前記幅方向から見て、前記導体の表面側に膨出している、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[請求項8] 前記第 2 流路部は、前記幅方向から見て、前記導体の裏面側に膨出している、請求項 7 項に記載の電流センサ。

[請求項9] 前記第 1 流路部および前記第 2 流路部の各々は、前記長さ方向における一端と他端とを有し、

前記長さ方向における前記第 1 流路部の一端と前記第 1 流路部の他端とは、前記厚さ方向における位置が互いに異なり、

前記長さ方向における前記第 2 流路部の一端と前記第 2 流路部の他端とは、前記厚さ方向における位置が互いに異なり、

前記長さ方向における前記第 1 流路部の一端と前記第 2 流路部の一端とは、前記厚さ方向における位置が互いに等しく、

前記長さ方向における前記第 1 流路部の他端と前記第 2 流路部の他端とは、前記厚さ方向における位置が互いに等しく、

前記第 1 流路部は、前記厚さ方向における前記第 1 流路部の前記一端の位置と前記第 1 流路部の前記他端の位置とを繋ぐ曲折部を含み、

前記第 2 流路部は、前記厚さ方向における前記第 2 流路部の前記一端の位置と前記第 2 流路部の前記他端の位置とを繋ぐ曲折部を含み、

前記第 1 流路部の前記曲折部と、前記第 2 流路部の前記曲折部とは、前記長さ方向において互いに間隔を置いて位置している、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[請求項10] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、

前記導体に、前記長さ方向に延在するスリットが設けられていることにより、前記第 1 流路部と前記第 2 流路部とが、前記幅方向において互いに間隔をあけて位置している、請求項 1 から請求項 9 のいずれ

か 1 項に記載の電流センサ。

[請求項11] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、前記スリットは、前記幅方向にて前記導体の中央に位置している、請求項 10 に記載の電流センサ。

[請求項12] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、前記第 1 磁気センサ素子および前記第 2 磁気センサ素子が、1 つの基板に実装されている、請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[請求項13] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々は、前記第 1 磁気センサ素子の検出値と前記第 2 磁気センサ素子の検出値とを演算することにより前記電流の値を算出する算出部をさらに備え、

前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、

前記導体を流れる前記電流により発生する磁界の強さについて、前記第 1 磁気センサ素子の検出値の位相と前記第 2 磁気センサ素子の検出値の位相とが逆相であり、

前記算出部が減算器または差動増幅器である、請求項 1 から請求項 12 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[請求項14] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々は、前記第 1 磁気センサ素子の検出値と前記第 2 磁気センサ素子の検出値とを演算することにより前記電流の値を算出する算出部をさらに備え、

前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、

前記導体を流れる前記電流により発生する磁界の強さについて、前記第 1 磁気センサ素子の検出値の位相と前記第 2 磁気センサ素子の検出値の位相とが同相であり、

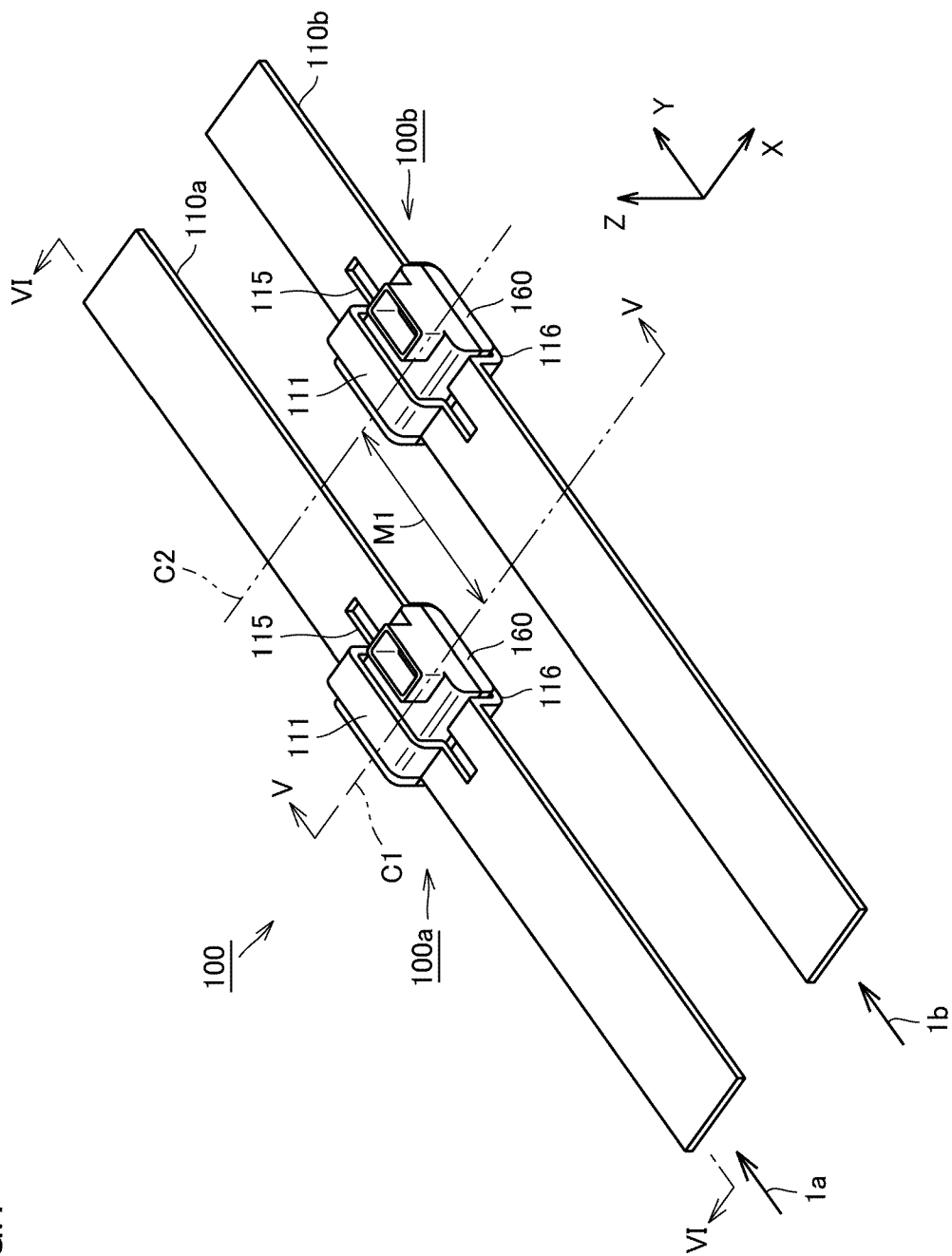
前記算出部が加算器または加算増幅器である、請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[請求項15] 前記第 1 電流センサユニットおよび前記第 2 電流センサユニットの各々において、

前記第 1 磁気センサ素子および前記第 2 磁気センサ素子の各々は、検出軸を有し、該検出軸が前記幅方向に向くように配置されており、

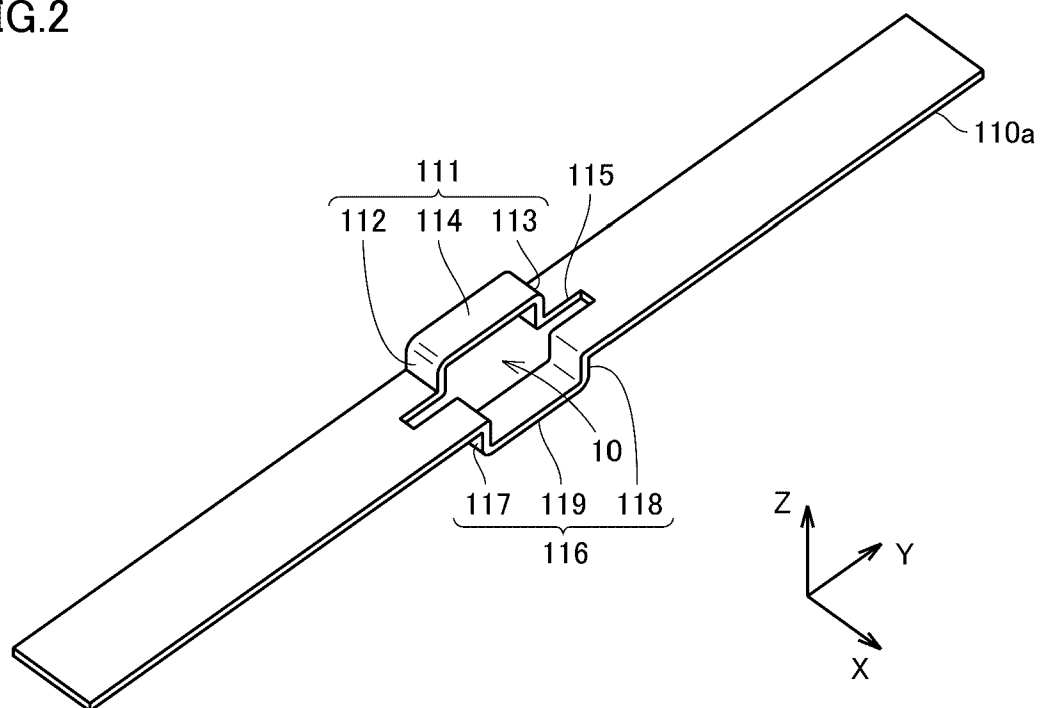
前記第 1 磁気センサ素子および前記第 2 磁気センサ素子の各々は、前記長さ方向のバイアス磁界の強さに応じて検出感度が変わるように構成されている、請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

[図1]



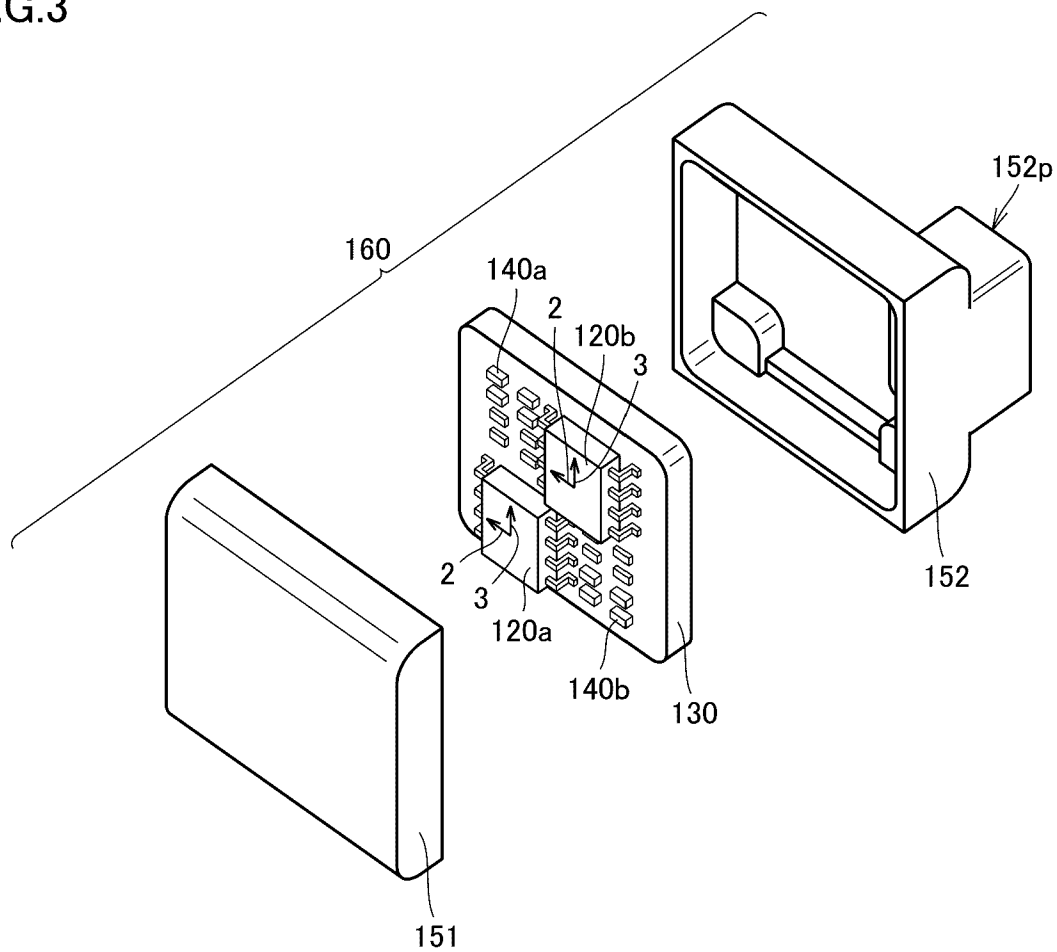
[図2]

FIG.2



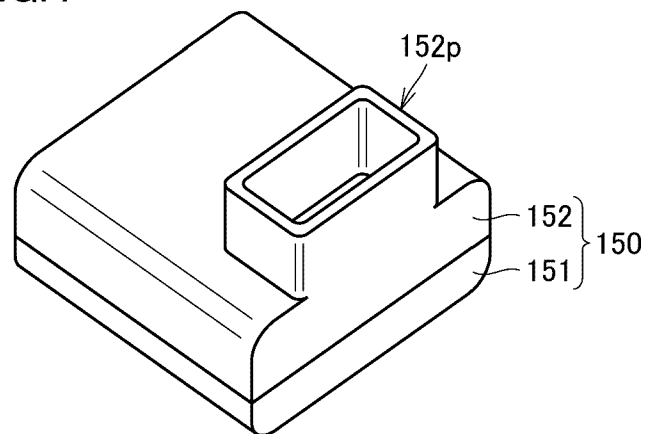
[図3]

FIG.3



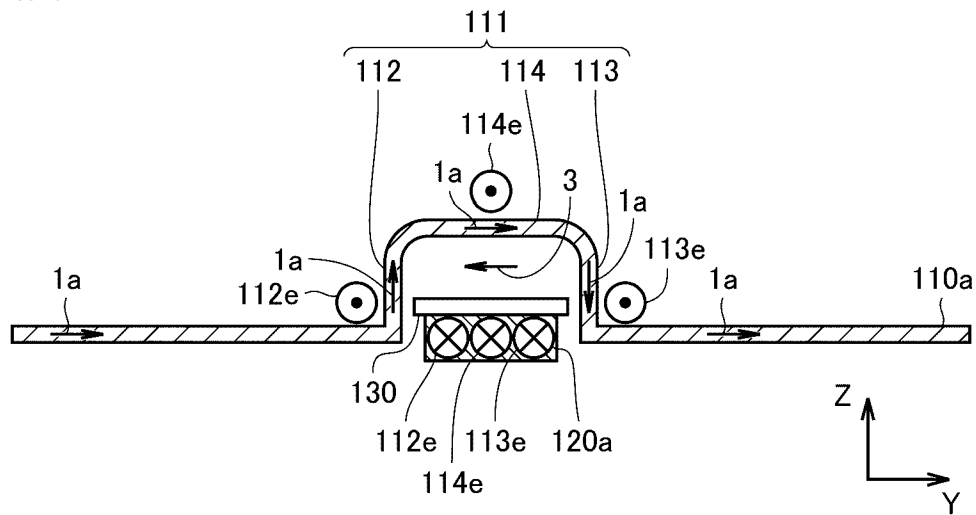
[図4]

FIG.4



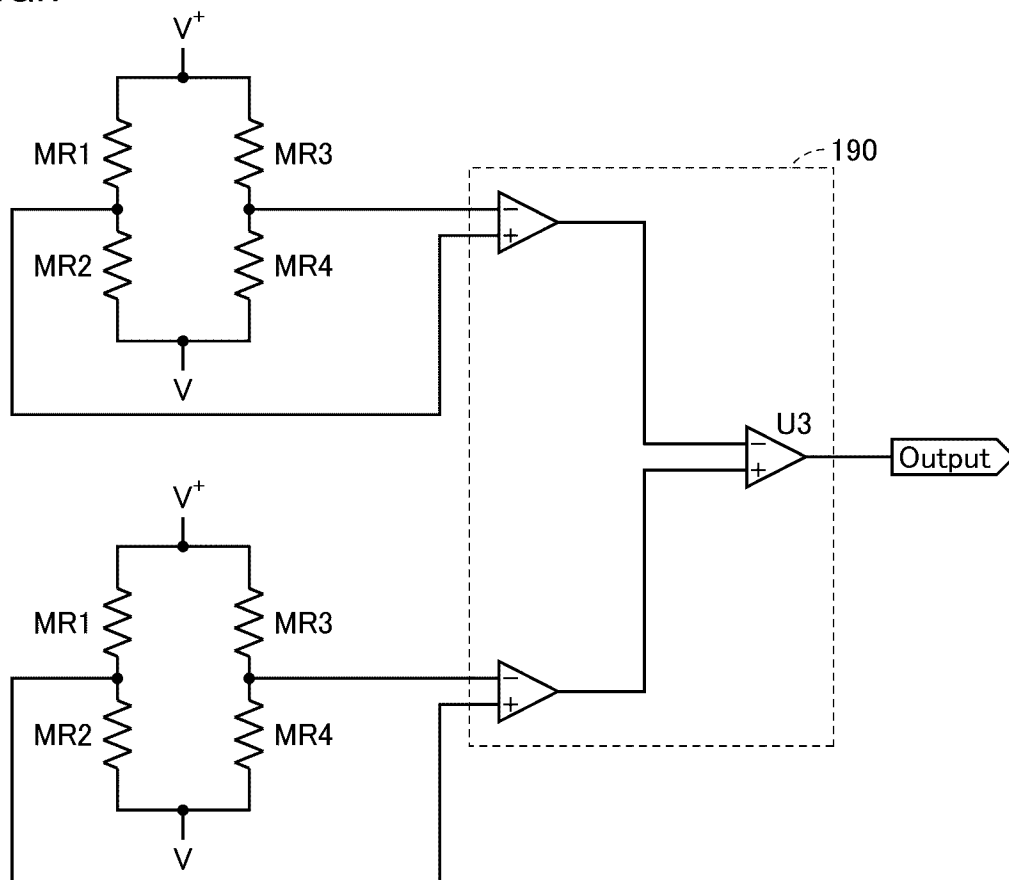
[図6]

FIG.6



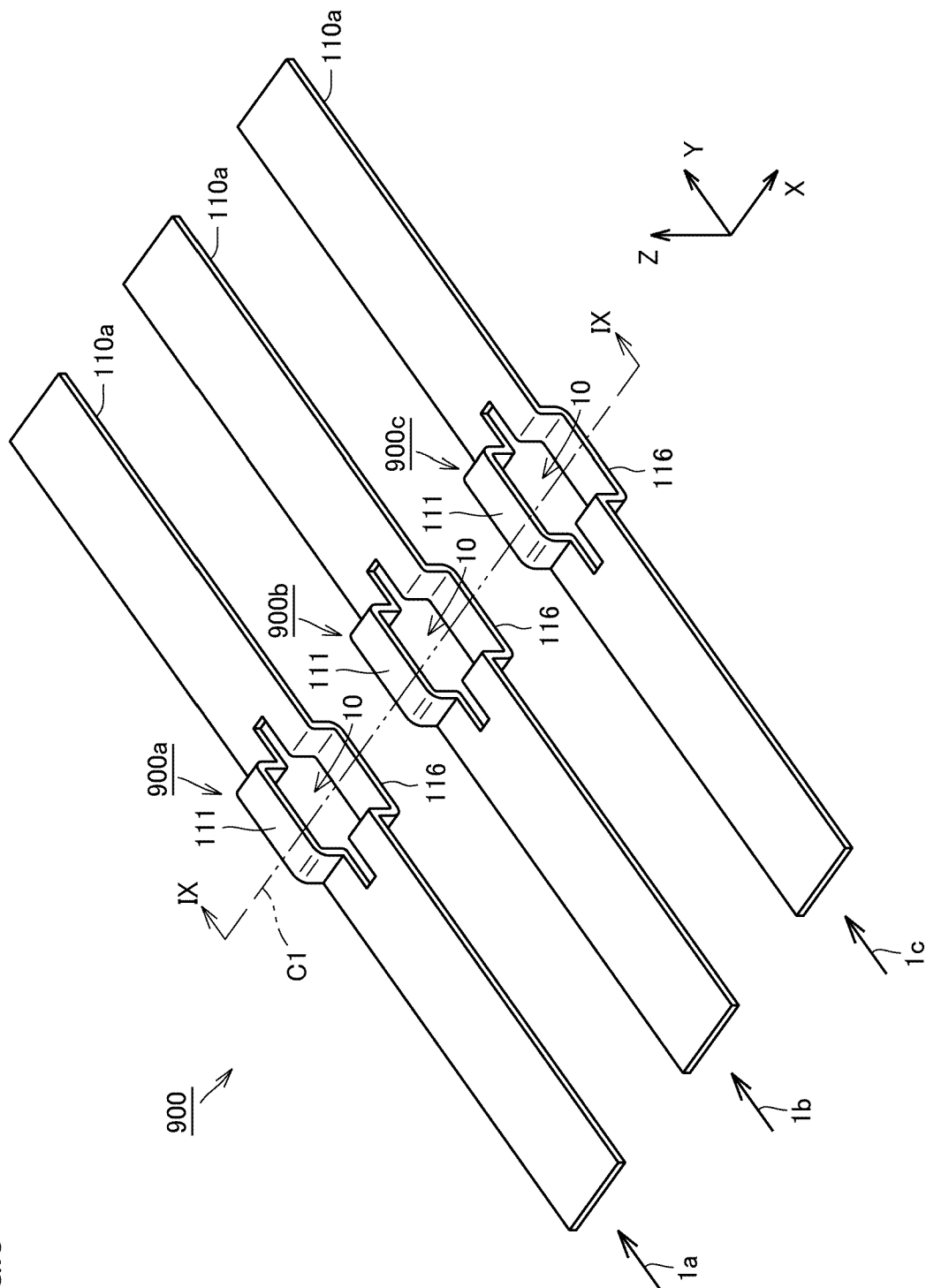
[図7]

FIG.7



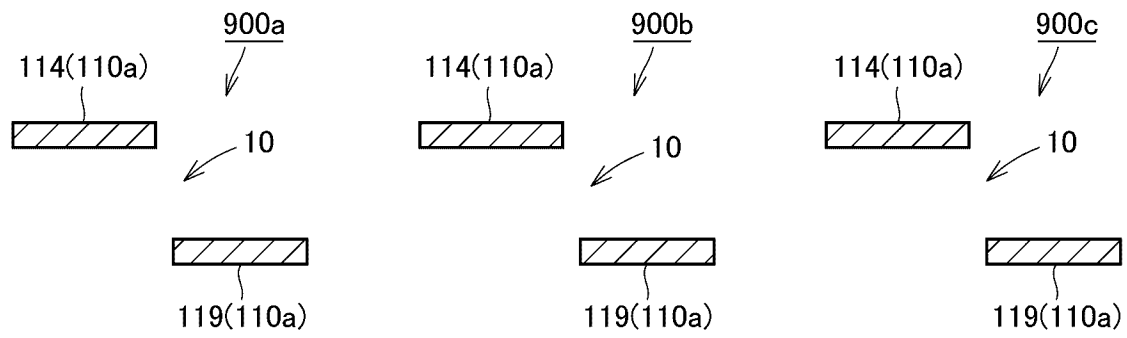
[図8]

FIG.8



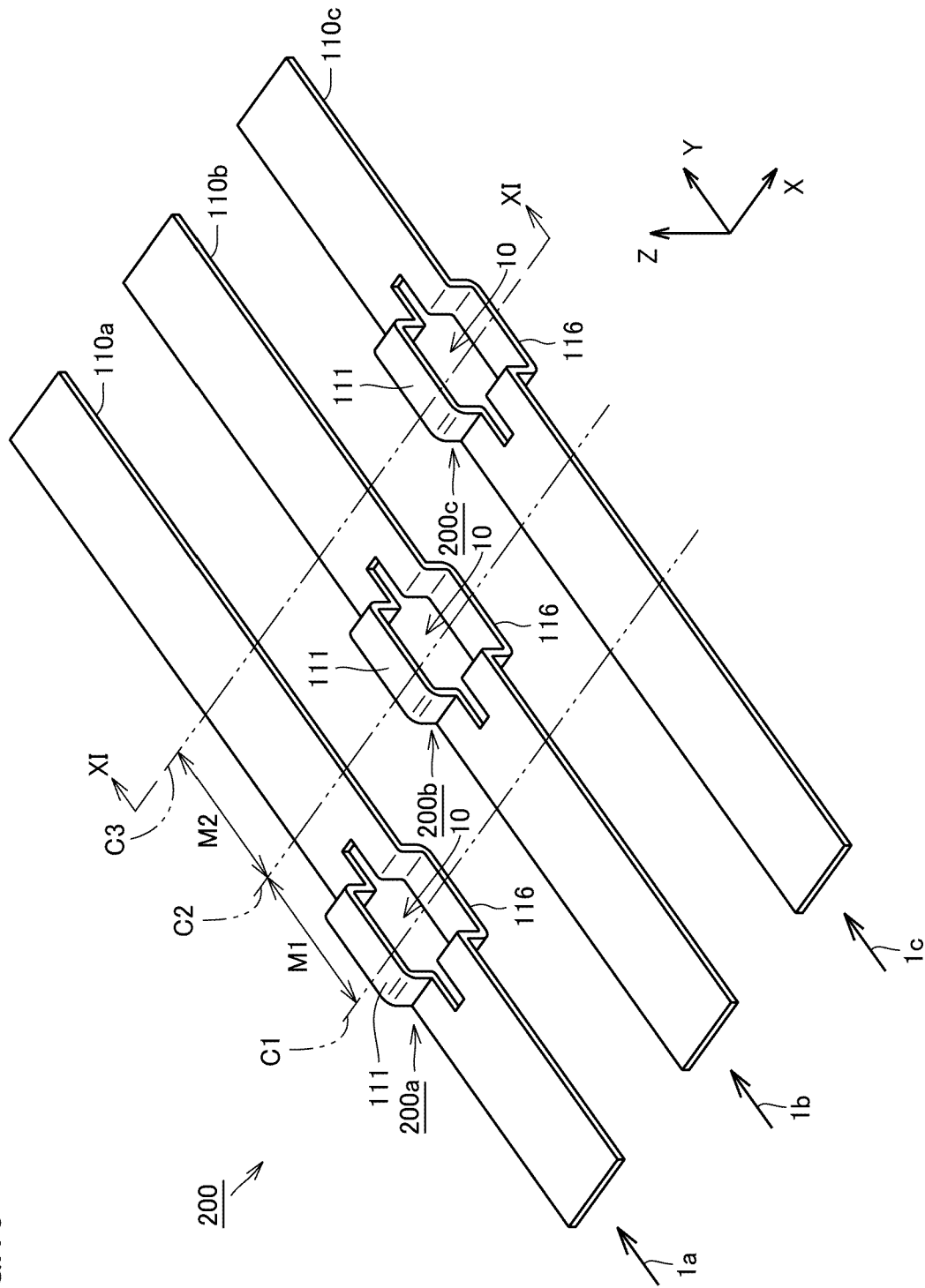
[図9]

FIG.9



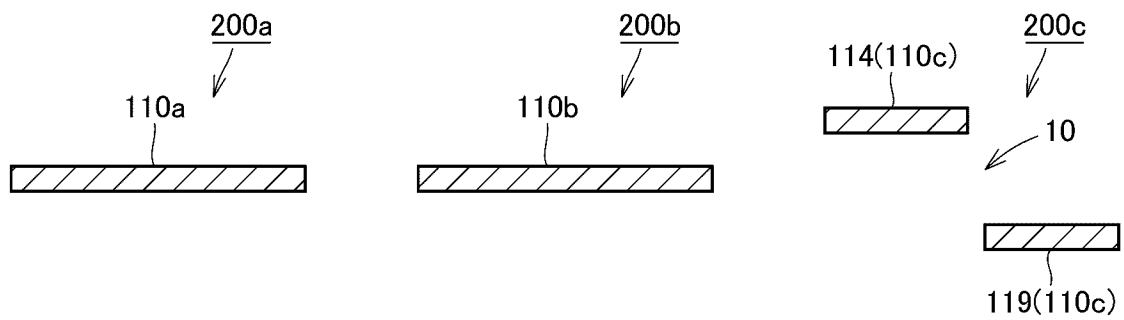
[図10]

FIG.10



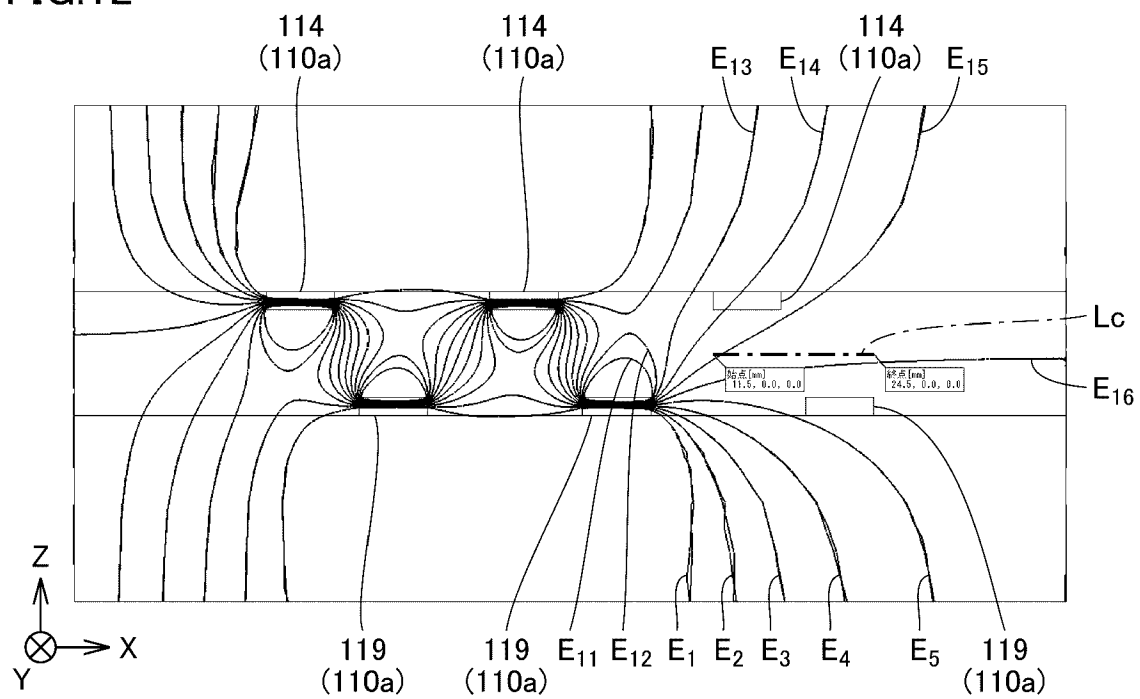
[図11]

FIG.11



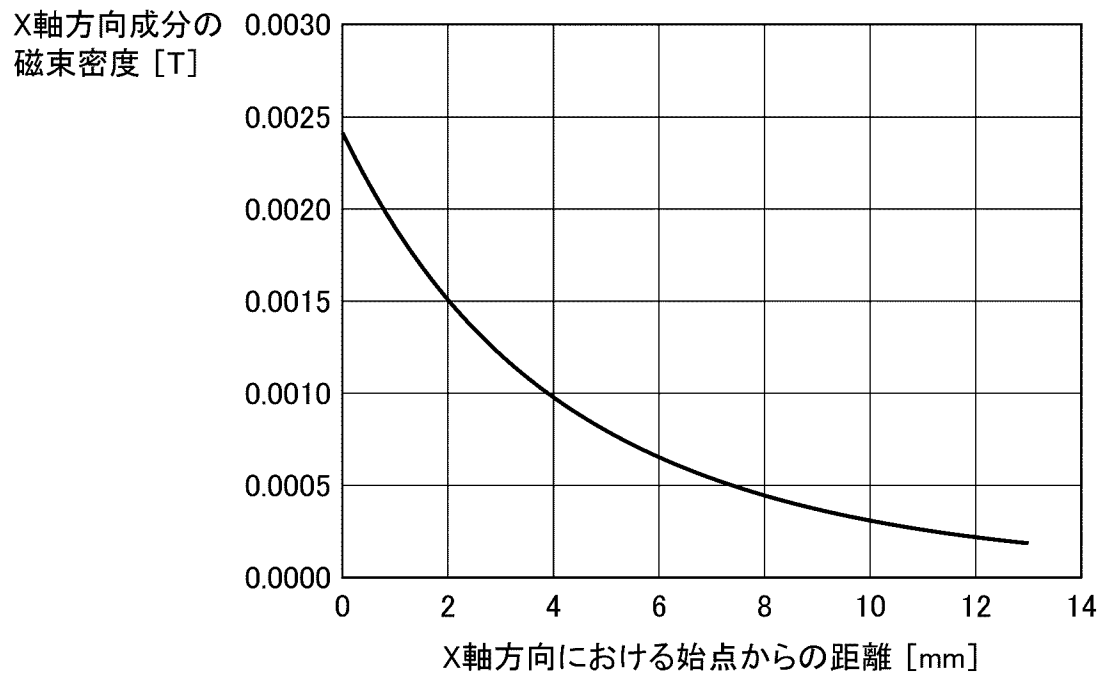
[図12]

FIG.12



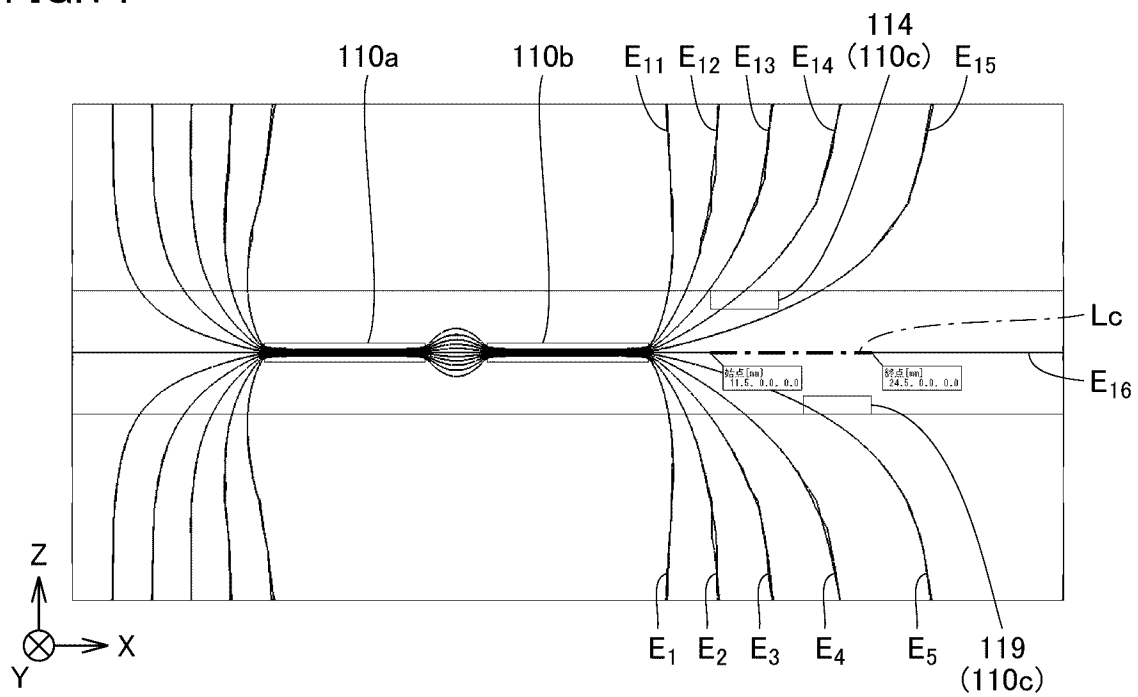
[図13]

FIG.13



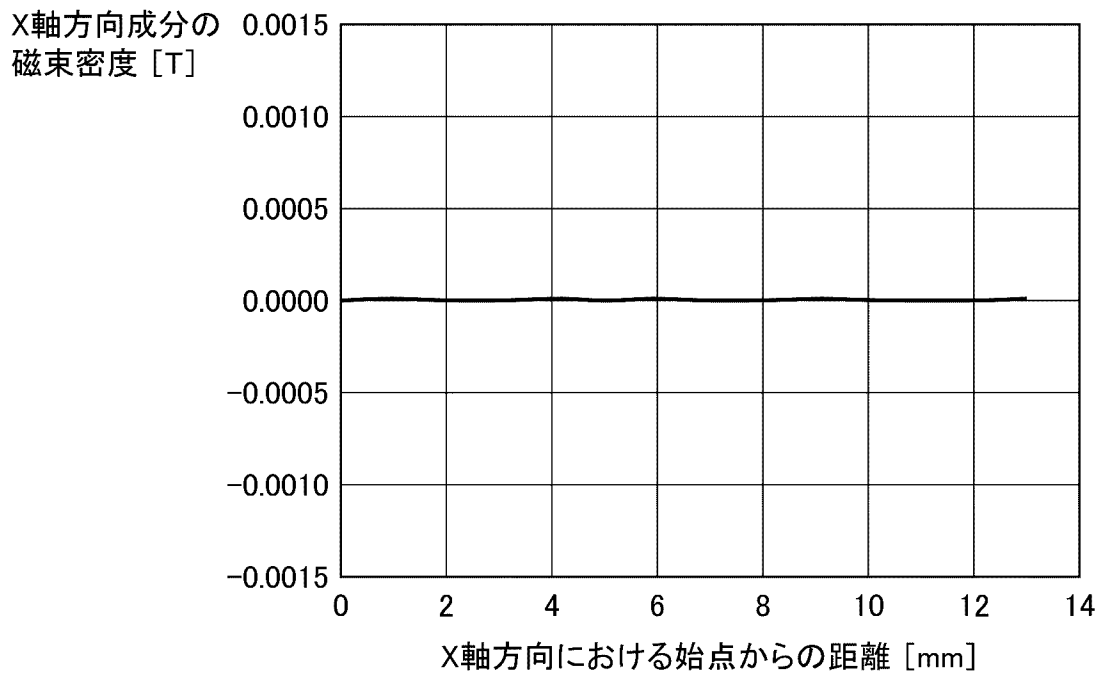
[図14]

FIG.14



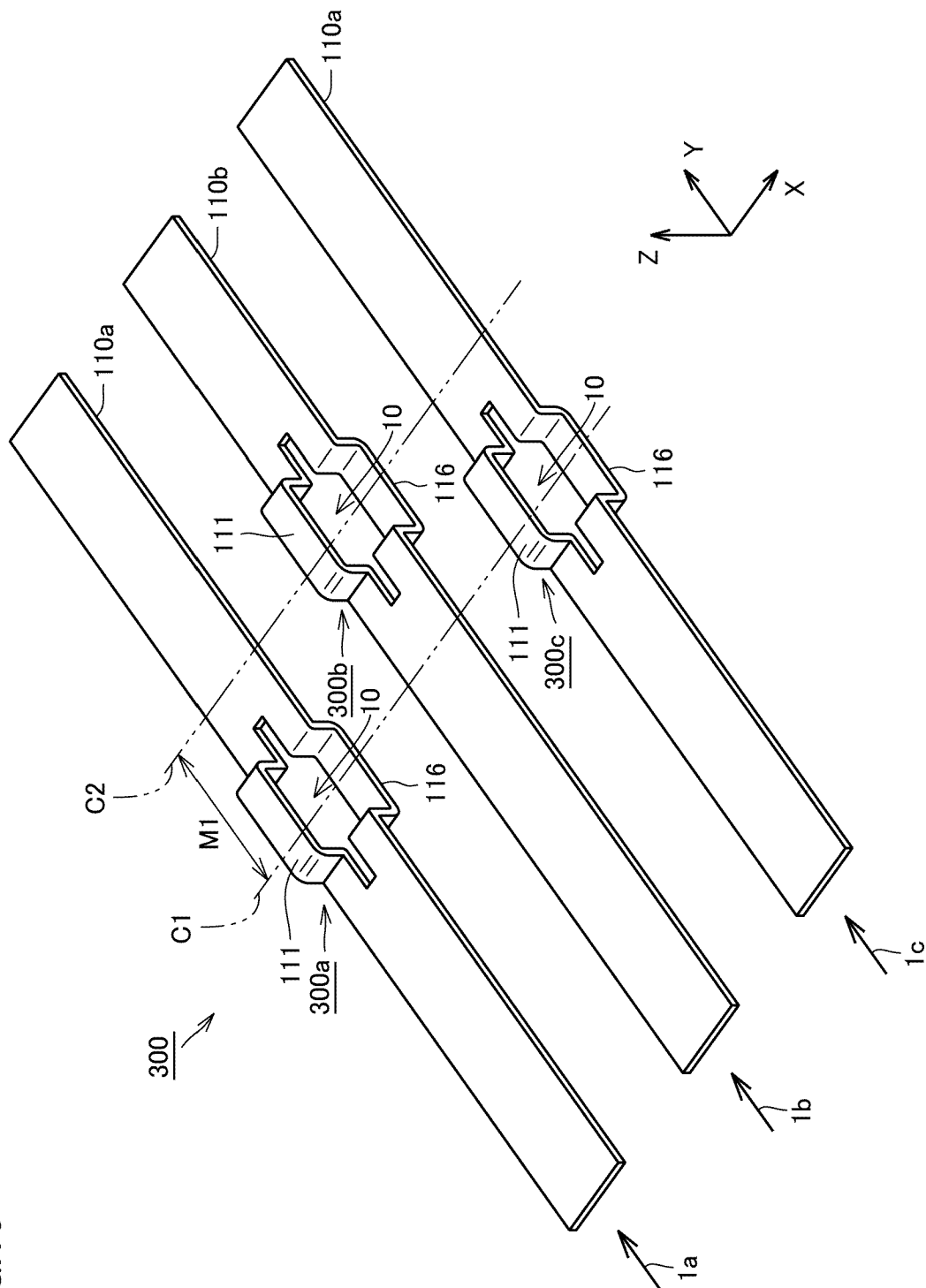
[図15]

FIG.15



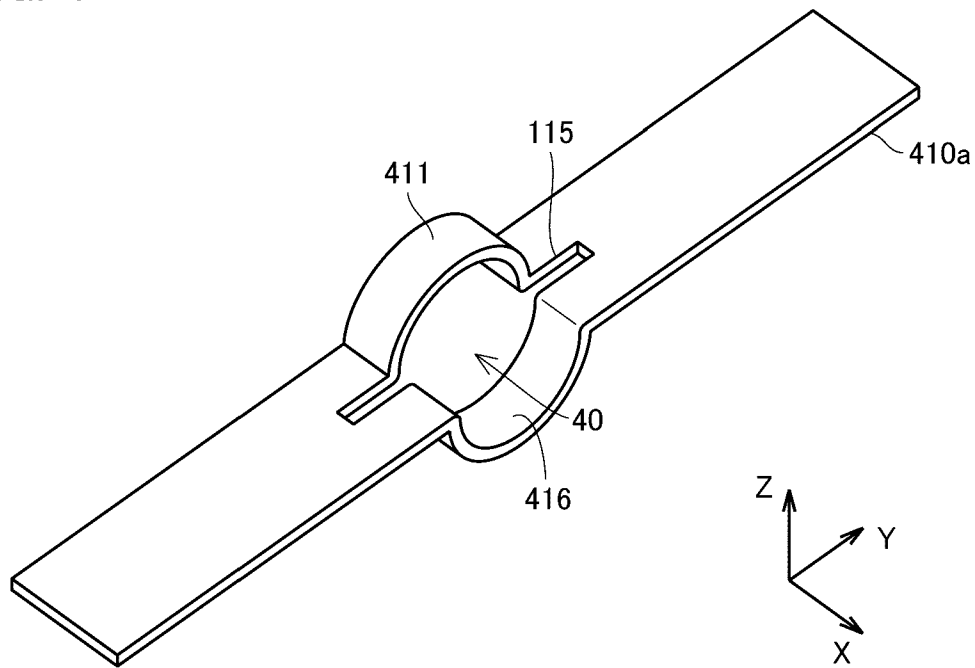
[図16]

FIG.16



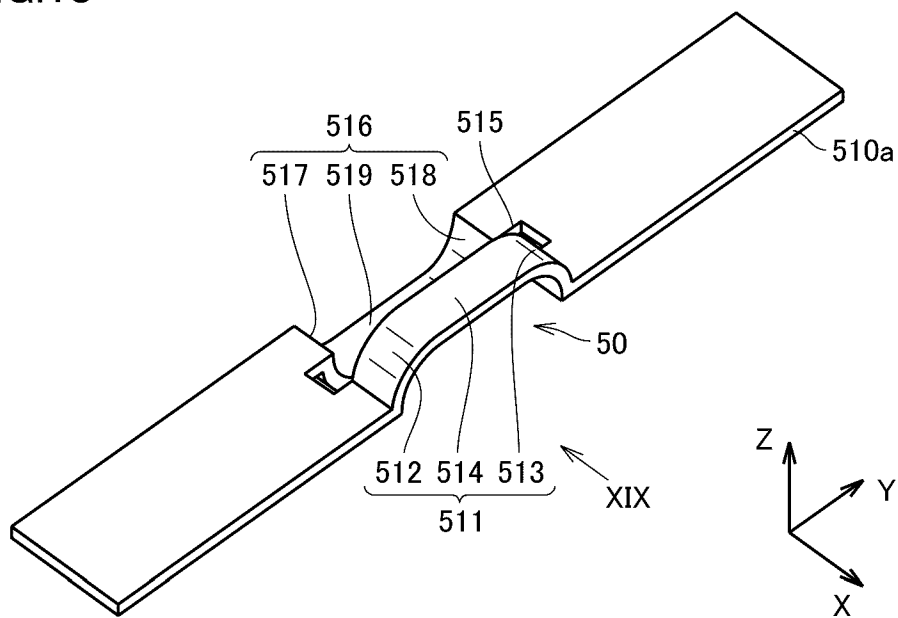
[図17]

FIG.17



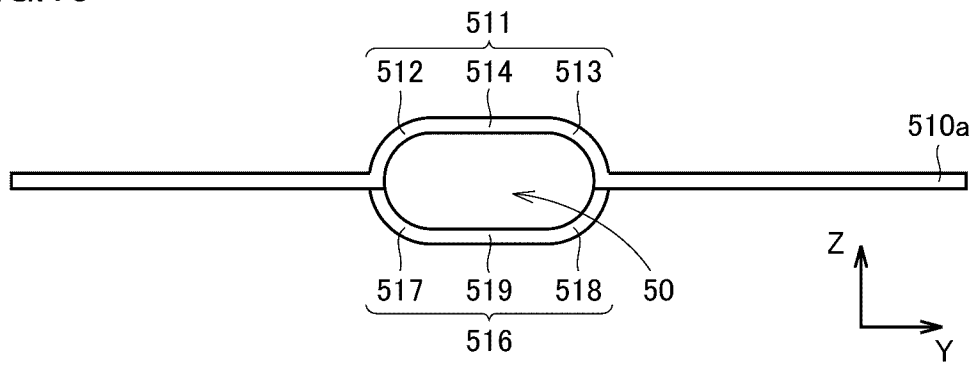
[図18]

FIG.18



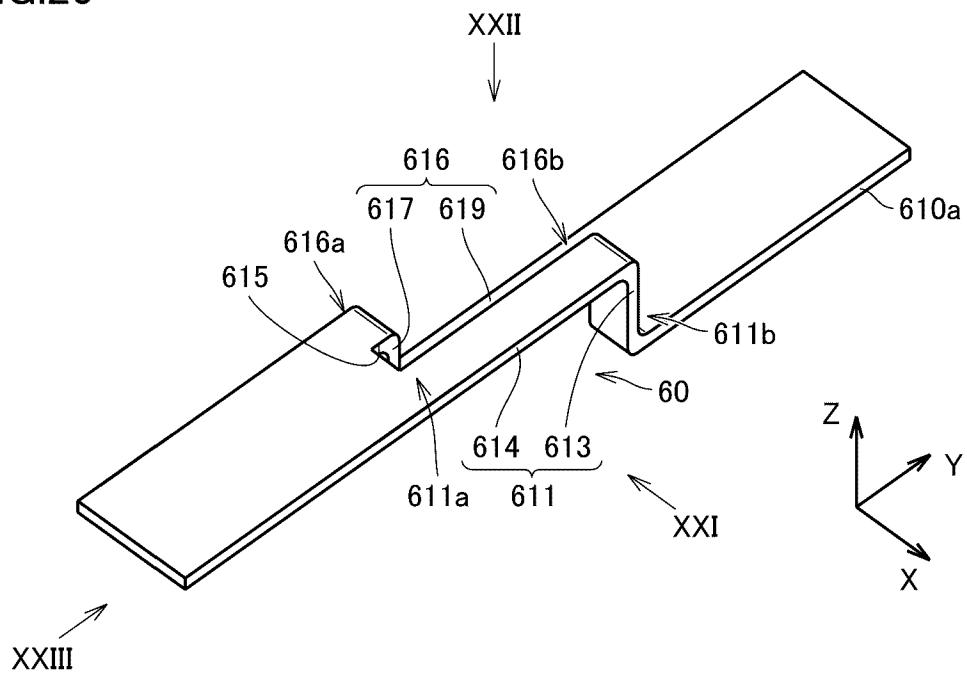
[図19]

FIG.19



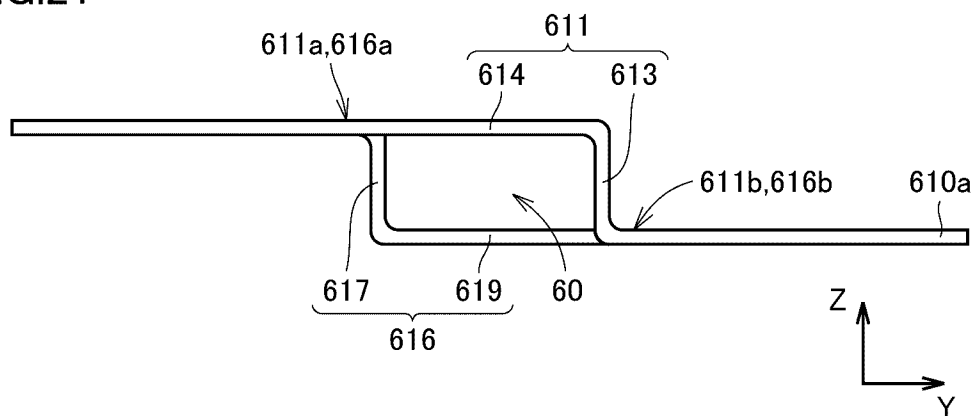
[図20]

FIG.20



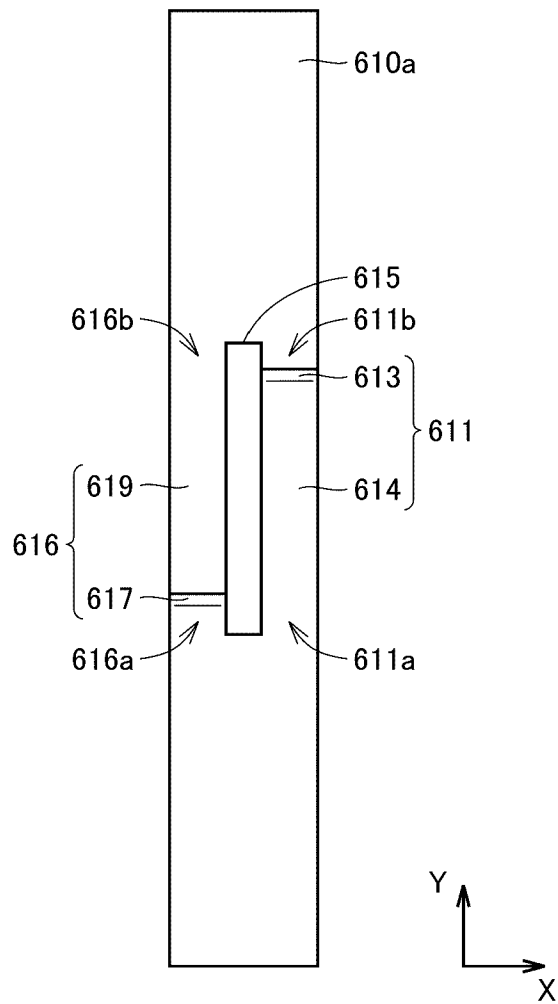
[図21]

FIG.21



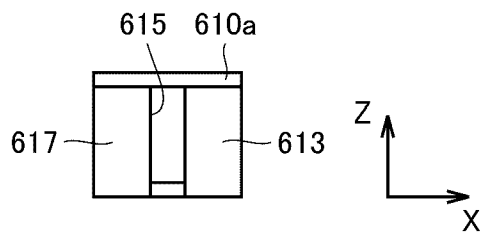
[図22]

FIG.22



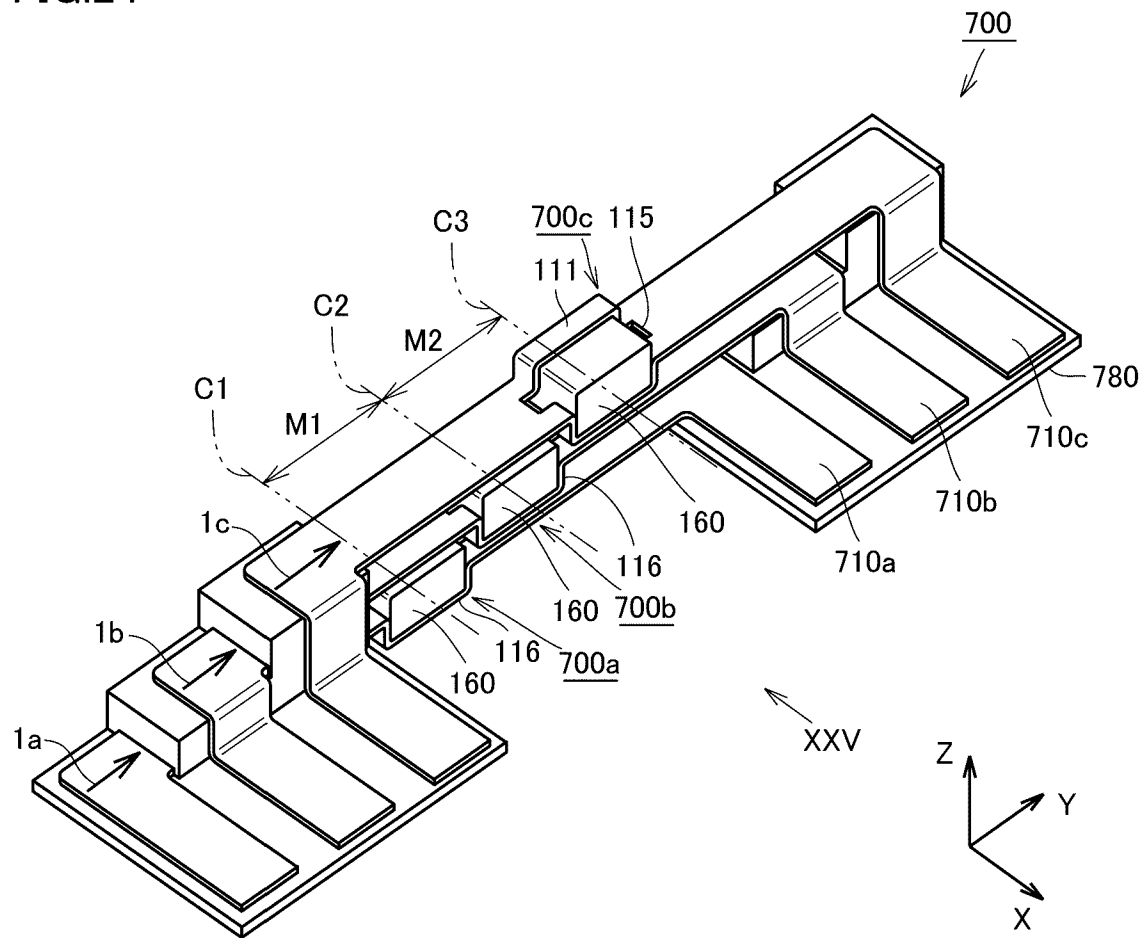
[図23]

FIG.23



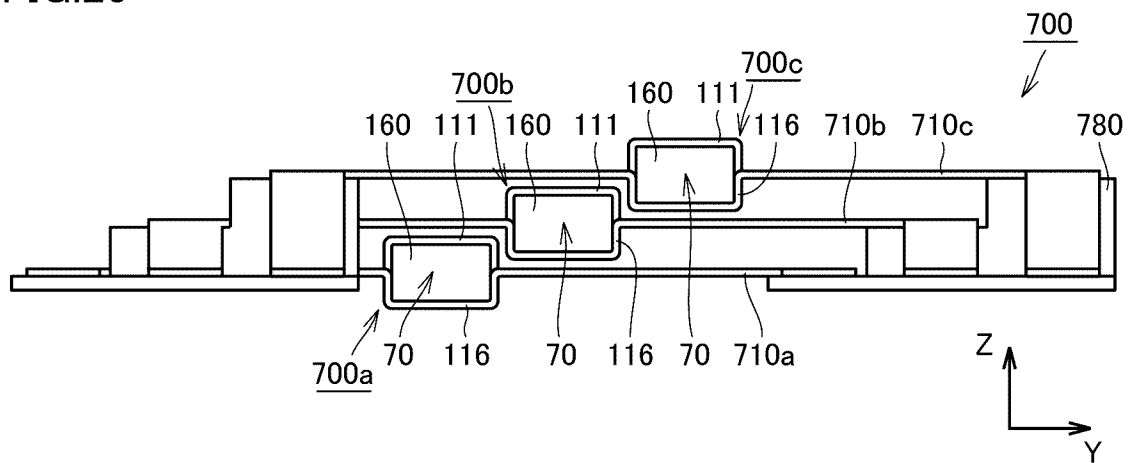
[図24]

FIG.24



[図25]

FIG.25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/071347

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R15/20(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)

G01R15/20

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y	JP 2006-112968 A (Toyota Motor Corp.), 27 April 2006 (27.04.2006), paragraphs [0032] to [0047], [0065] to [0080]; fig. 2 to 5, 11 to 14 & US 2006/0082357 A1 paragraphs [0057] to [0072], [0090] to [0105]; fig. 2 to 5, 11 to 14 & CN 1761114 A	1-15
Y	JP 2008-39734 A (Kohshin Electric Corp.), 21 February 2008 (21.02.2008), paragraphs [0022] to [0025]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-15

☒ 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
04 October 2016 (04.10.16)

Date of mailing of the international search report
18 October 2016 (18.10.16)

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/JP2016/071347

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-78418 A (Denso Corp.), 29 March 2007 (29.03.2007), paragraphs [0022] to [0024]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-15
Y	EP 1028321 A2 (HEILMANN, Michael), 16 August 2000 (16.08.2000), paragraphs [0036] to [0037]; fig. 25 & DE 19905118 A1	9-15
Y	JP 2013-108787 A (Alps Green Device Co., Ltd.), 06 June 2013 (06.06.2013), paragraph [0035] (Family: none)	15
Y	JP 2013-142569 A (Alps Green Device Co., Ltd.), 22 July 2013 (22.07.2013), paragraphs [0021] to [0032]; fig. 1 to 2 (Family: none)	15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01R15/20(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. G01R15/20

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y	JP 2006-112968 A（トヨタ自動車株式会社）2006.04.27, [0032]～[0047], [0065]～[0080], 図2～5, 11～14 & US 2006/0082357 A1, [0057]-[0072], [0090]-[0105], Figs.2-5, 11-14 & CN 1761114 A	1-15
Y	JP 2008-39734 A（甲神電機株式会社）2008.02.21, [0022]～[0025], 図1～4（ファミリーなし）	1-15

☒ 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

04.10.2016

国際調査報告の発送日

18.10.2016

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）

小川 浩史

2 S

9114

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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
Y	JP 2007-78418 A (株式会社デンソー) 2007.03.29, [0022] ~ [0024], 図1~5 (ファミリーなし)	1-15
Y	EP 1028321 A2 (HEILMANN, Michael) 2000.08.16, [0036]-[0037], Fig.25 & DE 19905118 A1	9-15
Y	JP 2013-108787 A (アルプス・グリーンデバイス株式会社) 2013.06.06, [0035] (ファミリーなし)	15
Y	JP 2013-142569 A (アルプス・グリーンデバイス株式会社) 2013.07.22, [0021] ~ [0032], 図1~2 (ファミリーなし)	15