

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2022-10551
(P2022-10551A)

(43)公開日 令和4年1月17日(2022.1.17)

(51)国際特許分類
G 0 1 L 5/1627(2020.01)

F I
G 0 1 L 5/1627

テーマコード (参考)
2 F 0 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-111197(P2020-111197)	(71)出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地
(22)出願日	令和2年6月29日(2020.6.29)	(71)出願人	000173795 公益財団法人電磁材料研究所 宮城県富谷市成田九丁目 5 番 1
		(74)代理人	100103894 弁理士 家入 健
		(72)発明者	小坂 雄介 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内
		(72)発明者	丹羽 英二 宮城県富谷市成田 9 丁目 5 - 1 公益財団法人電磁材料研究所内
		F ターム (参考)	2F051 AA01 AA10 AB09 DA03 最終頁に続く

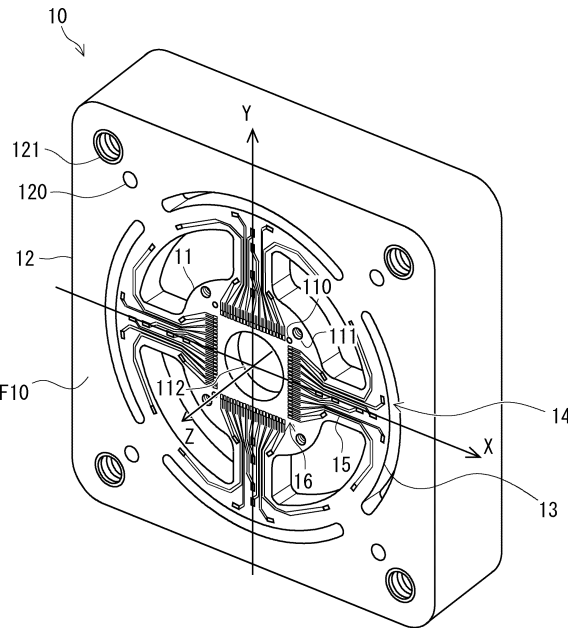
(54)【発明の名称】 力覚センサ

(57)【要約】

【課題】煩雑な演算が不要な力覚センサを提供する。

【解決手段】力覚センサ 1 0 は、第 1 構造体 1 1、4 つの起歪部 1 3 および第 2 構造体 1 2 を有する。第 1 構造体 1 1 は、第 3 軸が貫通するように形成される。4 つの起歪部は、第 1 軸および第 2 軸により形成される基準平面において第 1 軸および第 2 軸に沿って設けられる。第 2 構造体 1 2 は、起歪部 1 3 を介して第 1 構造体 1 1 に接続する。上記起歪部 1 3 は、第 1 軸または第 2 軸に沿って延伸する第 1 梁部 1 3 6 と、第 1 梁部 1 3 6 と直交する方向に延伸するとともに中間部で第 1 梁部 1 3 6 と接続する第 2 梁部 1 3 7 と、を有する。また、起歪部 1 3 は、第 3 軸の方向に投影した場合に、第 1 軸および第 2 軸のいずれに対しても線対称となるように形成されている。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに直交する第 1 軸、第 2 軸および第 3 軸により設定される直交座標系の各軸方向の力および各軸周りのモーメントの内少なくとも 1 つを検出する力覚センサであって、第 3 軸が貫通するように形成される第 1 構造体と、前記第 1 軸および前記第 2 軸により形成される基準平面において前記第 1 軸および前記第 2 軸に沿って設けられる 4 つの起歪部と、前記起歪部を介して前記第 1 構造体に接続する第 2 構造体と、を有し、前記起歪部は、前記第 1 軸または前記第 2 軸に沿って延伸する第 1 梁部と、前記第 1 梁部と直交する方向に延伸するとともに中間部で前記第 1 梁部と接続する第 2 梁部と、を有し前記起歪部を前記第 3 軸の方向に投影した場合に、前記第 1 軸および前記第 2 軸のいずれに対しても線対称となるように形成されている力覚センサ。

10

【請求項 2】

前記起歪部の前記基準平面上に複数の歪センサ対をさらに備え、前記複数の歪センサ対は、前記第 3 軸の方向に投影した場合に、前記第 1 軸および前記第 2 軸のいずれに対しても線対称となるように配置されている請求項 1 に記載の力覚センサ。

【請求項 3】

前記第 1 軸に沿って延出する前記起歪部の前記第 2 梁部に配置されている前記複数の歪センサ対を有する第 1 センサグループと、前記第 2 軸に沿って延出する前記起歪部の前記第 2 梁部に配置されている前記複数の歪センサ対を有する第 2 センサグループと、前記第 1 軸上または前記第 2 軸上の前記第 1 梁部に配置されている前記複数の歪センサを有する第 3 センサグループと、前記第 2 軸上の前記第 1 梁部に配置されている前記複数の歪センサ対を有する第 4 センサグループと、前記第 1 軸上の前記第 1 梁部に配置されている前記複数の歪センサ対を有する第 5 センサグループと、前記第 1 軸上に設けられている前記第 1 梁部と前記第 1 構造体または前記第 2 構造体とが接続する部分において前記第 1 軸を挟んで配置された前記複数の歪センサ対または、前記第 2 軸上に設けられている前記第 1 梁部と前記第 1 構造体または前記第 2 構造体とが接続する部分において前記第 2 軸を挟んで配置された前記複数の歪センサ対の少なくともいずれか一方を有する第 6 センサグループと、の内少なくともいずれか 1 つを有する請求項 2 に記載の力覚センサ。

20

30

【請求項 4】

前記起歪部は、前記第 3 軸に対して 4 回対称に形成され、前記複数の歪センサ対は、前記第 3 軸に対して 4 回対称に配置されている請求項 3 に記載の力覚センサ。

40

【請求項 5】

前記第 1 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前記第 1 軸方向の力を検出する第 1 力検出回路と、前記第 2 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前記第 2 軸方向の力を検出する第 2 力検出回路と、前記第 3 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前記第 3 軸方向の力を検出する第 3 力検出回路と、前記第 4 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前記第 1 軸周りのモーメントを検出する第 1 モーメント検出回路と、前記第 5 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前

50

記第 2 軸周りのモーメントを検出する第 2 モーメント検出回路と、
前記第 6 センサグループに含まれる前記複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、前
記第 3 軸周りのモーメントを検出する第 3 モーメント検出回路と、の内少なくともいずれ
か 1 つをさらに備える

請求項 3 または 4 に記載の力覚センサ。

【請求項 6】

前記第 1 センサグループが、前記第 2 梁部の前記第 1 梁部に接続する側と前記第 1 構造体
または前記第 2 構造体に接続する側のいずれにも前記複数の歪センサ対を有していること
により、2 つのブリッジ回路を有する

請求項 5 に記載の力覚センサ。

10

【請求項 7】

前記第 2 センサグループが、前記第 2 梁部の前記第 1 梁部に接続する側と前記第 1 構造体
または前記第 2 構造体に接続する側のいずれにも前記複数の歪センサ対を有していること
により、2 つのブリッジ回路を有する

請求項 5 に記載の力覚センサ。

【請求項 8】

前記第 3 センサグループが、前記第 1 軸上および前記第 2 軸上の前記第 1 梁部において前
記複数の歪センサ対を有していることにより、2 つのブリッジ回路を有する

請求項 5 に記載の力覚センサ。

【請求項 9】

前記第 6 センサグループが、前記第 1 軸上に設けられている前記第 1 梁部および前記第 2
軸上に設けられている前記第 1 梁部のいずれにも前記複数の歪センサ対を有していること
により、2 つのブリッジ回路を有する

請求項 5 に記載の力覚センサ。

20

【請求項 10】

前記第 1 梁部は、前記第 1 構造体から前記第 1 軸または前記第 2 軸に沿って延出する

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の力覚センサ。

【請求項 11】

前記第 1 梁部は、前記第 2 構造体から前記第 1 軸または前記第 2 軸に沿って延出する

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の力覚センサ。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は力覚センサに関する。

【背景技術】

【0002】

2 つの構造体の間に架け渡された起歪部を介して一方の構造体から他方の構造体へ所定の
力が伝達される場合の力やモーメントを検出する力覚センサが知られている。この力覚セ
ンサは、起歪部に生じる歪を検出することにより、所望の軸方向の力や、所望の軸周り
モーメントを算出する。

40

【0003】

例えば、特許文献 1 には、1 次側構造体と、2 次側構造体と、の間に架け渡された金属製
かつ梁状の起歪部を備え、起歪部を介して一方の構造体から他方の構造体へトルクが伝達
されるトルク計測装置が記載されている。このトルク計測装置は、起歪部におけるトルク
中心軸に垂直な面に配置され、起歪部の歪量を検出する薄膜型歪センサと、薄膜型歪セン
サによって検出された歪量に基づいて直接トルク計算を行う信号処理部とを有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 011567 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に記載のトルク計測装置では、トルク中心軸周りのトルクを計測することに限られており、例えば3軸直交座標におけるその他の力や方向を併せて検出することができない。一方、例えば3軸直交座標系における力やモーメントを検出する6軸力覚センサも開発されている。しかしながら、このような力覚センサでは、複数の歪センサから検出される歪を非干渉化行列に入力して煩雑な演算をすることにより所望の力やモーメントを算出する必要がある。

【0006】

10

本発明は、このような課題を解決するためになされたものであって、煩雑な演算が不要な力覚センサを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第1の態様における力覚センサは、互いに直交する第1軸、第2軸および第3軸により設定される直交座標系の各軸方向の力および各軸周りのモーメントの内少なくとも1つを検出する。上記力覚センサは、第1構造体、4つの起歪部および第2構造体を有する。第1構造体は、第3軸が貫通するように形成される。4つの起歪部は、第1軸および第2軸により形成される基準平面において第1軸および第2軸に沿って設けられる。第2構造体は、起歪部を介して第1構造体に接続する。上記起歪部は、第1軸または第2軸に沿って延伸する第1梁部と、第1梁部と直交する方向に延伸するとともに中間部で第1梁部と接続する第2梁部と、を有する。また、起歪部は、第3軸の方向に投影した場合に、第1軸および第2軸のいずれに対しても線対称となるように形成されている。

20

【0008】

このような構成により、力覚センサが有する起歪部は、各軸方向に力が印加された場合に、印加された力の方向の歪を分離することが容易となる。

【0009】

上記力覚センサは、起歪部の基準平面上に複数の歪センサ対をさらに備え、複数の歪センサ対は、基準平面に対して垂直な方向に投影した場合に、第1軸および第2軸のいずれに対しても線対称となるように配置されていることが好ましい。これにより、力覚センサは、煩雑な非干渉化演算を行うことなく、外力を検出できる。

30

【0010】

上記力覚センサにおいて、複数の歪センサ対は、第1センサグループ、第2センサグループ、第3センサグループ、第4センサグループ、第5センサグループおよび第6センサグループの内少なくともいずれか1つを有していてもよい。第1センサグループは、第1軸に沿って延出する起歪部の第2梁部に配置されている複数の歪センサ対を有する。第2センサグループは、第2軸に沿って延出する起歪部の第2梁部に配置されている複数の歪センサ対を有する。第3センサグループは、第1軸上または第2軸上の第1梁部に配置されている複数の歪センサを有する。第4センサグループは、第2軸上の第1梁部に配置されている複数の歪センサ対を有する。第5センサグループは、第1軸上の第1梁部に配置されている複数の歪センサ対を有する。第6センサグループは、第1軸上に設けられている第1梁部と第1構造体または第2構造体とが接続する部分において第1軸を挟んで配置された複数の歪センサ対または、第2軸上に設けられている第1梁部と第1構造体または第2構造体とが接続する部分において第2軸を挟んで配置された複数の歪センサ対の少なくともいずれか一方を有する。

40

【0011】

このような構成により、力覚センサは、それぞれのセンサグループに対応した外力を好適に検出できる。

【0012】

上記力覚センサにおいて、起歪部は、第3軸に対して4回対称に形成され、複数の歪セン

50

サ対は、第 3 軸に対して 4 回対称に配置されているものであってもよい。これにより力覚センサは、バランスよく 6 軸力を検出できる。

【 0 0 1 3 】

上記力覚センサは、第 1 力検出回路、第 2 力検出回路、第 3 力検出回路、第 1 モーメント検出回路、第 2 モーメント検出回路および第 3 モーメント検出回路の内少なくともいずれか 1 つをさらに備えるものであってもよい。第 1 力検出回路は、第 1 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 1 軸方向の力を検出する。第 2 力検出回路は、第 2 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 2 軸方向の力を検出する。第 3 力検出回路は、第 3 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 3 軸方向の力を検出する。第 1 モーメント検出回路は、第 4 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 1 軸周りのモーメントを検出する。第 2 モーメント検出回路は、第 5 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 2 軸周りのモーメントを検出する。第 3 モーメント検出回路は、第 6 センサグループに含まれる複数の歪センサ対を含むブリッジ回路を有し、第 3 軸周りのモーメントを検出する。

10

【 0 0 1 4 】

これにより、力覚センサは、煩雑な非干渉化演算を行うことなく外力を各軸力に分離して検出できる。

【 0 0 1 5 】

上記力覚センサにおいて、第 1 センサグループが、第 2 梁部の第 1 梁部に接続する側と第 1 構造体または第 2 構造体に接続する側のいずれにも複数の歪センサ対を有していることにより、2 つのブリッジ回路を有するものであってもよい。これにより、力覚センサは第 1 センサグループの信頼性を向上できる。

20

【 0 0 1 6 】

上記力覚センサにおいて、第 2 センサグループが、第 2 梁部の第 1 梁部に接続する側と第 1 構造体または第 2 構造体に接続する側のいずれにも複数の歪センサ対を有していることにより、2 つのブリッジ回路を有するものであってもよい。これにより、力覚センサは第 2 センサグループの信頼性を向上できる。

【 0 0 1 7 】

上記力覚センサにおいて、第 3 センサグループが、第 1 軸上および第 2 軸上の第 1 梁部において複数の歪センサ対を有していることにより、2 つのブリッジ回路を有するものであってもよい。これにより、力覚センサは第 3 センサグループの信頼性を向上できる。

30

【 0 0 1 8 】

上記力覚センサにおいて、第 6 センサグループが、第 1 軸上に設けられている第 1 梁部および第 2 軸上に設けられている第 1 梁部のいずれにも複数の歪センサ対を有していることにより、2 つのブリッジ回路を有するものであってもよい。これにより、力覚センサは第 6 センサグループの信頼性を向上できる。

【 0 0 1 9 】

上記力覚センサにおいて、第 1 梁部は、第 1 構造体から第 1 軸または第 2 軸に沿って延出するものであってもよい。これにより第 1 構造体の設計自由度が向上する。また上記力覚センサにおいて、第 1 梁部は、第 2 構造体から第 1 軸または第 2 軸に沿って延出するものであってもよい。これにより第 2 構造体の設計自由度が向上する。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 2 0 】

本発明により、煩雑な演算が不要な力覚センサを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】実施の形態にかかる力覚センサの斜視図である。

【 図 2 】力覚センサの構造体と起歪部を示した正面図である。

【 図 3 】力覚センサにおける歪センサの配置を示した正面図である。

50

【図 4】第 1 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 5】第 2 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 6】第 3 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 7】第 4 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 8】第 5 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 9】第 6 センサグループが有するブリッジ回路の回路図である。

【図 10】起歪部のバリエーションの例を示した正面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、特許請求の範囲にかかる発明を以下の実施形態に限定するものではない。また、実施形態で説明する構成の全てが課題を解決するための手段として必須であるとは限らない。説明の明確化のため、以下の記載および図面は、適宜、省略、および簡略化がなされている。なお、各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

【0023】

< 実施の形態 >

実施の形態にかかる力覚センサは、2つの構造体の間に介在することにより、これら2つの構造体の間に伝達される力ないしモーメントを検出する。力覚センサは、例えばロボットの手首や足首などの関節、自動車のパワーステアリング、移動装置の駆動モータから移動面に設置する車輪までの動力伝達部または所定のコントローラのジョイスティック部分などに利用可能である。

【0024】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図1は、実施の形態にかかる力覚センサ10の斜視図である。なお、構成要素の位置関係を説明するための便宜的なものとして、図1は、右手系の直交座標系が付されている。また、図2以降において、直交座標系が付されている場合、図1のX軸、Y軸、およびZ軸方向と、これらの直交座標系のX軸、Y軸、およびZ軸方向はそれぞれ一致している。本実施の形態において、X軸を第1軸、Y軸を第2軸およびZ軸を第3軸と称してもよい。

【0025】

力覚センサ10は、互いに直交するX軸（第1軸）、Y軸（第2軸）およびZ軸（第3軸）により設定される直交座標系の各軸方向の力および各軸周りのモーメントを検出する。力覚センサ10は、全体の外径は略直方体である。略直方体の力覚センサ10において、XY平面に平行、且つ、Z軸プラス側の面は、平滑に加工された基準平面F10である。図1は、基準平面F10側から観察した力覚センサ10の斜視図を示している。図に示すように、基準平面F10は直交座標系のXY平面と一致している。また、直交座標系の原点は、基準平面F10の中心と一致している。

【0026】

力覚センサ10は、主な構成として、第1構造体11、第2構造体12および起歪部13を有している。第1構造体11、第2構造体12および起歪部13は、1個の金属部材（例えばステンレスやアルミニウム合金）を切削加工することにより形成される。

【0027】

第1構造体11は、Z軸周りに形成された中空円筒状の構造体である。第1構造体11は、Z軸に平行に開けられた、基準孔110、第1位置決め孔111および第1ネジ孔112を有している。基準孔110は、第1構造体11の中心部に設けられた丸孔であって、基準孔110の中心軸は、Z軸と一致している。第1位置決め孔111は、Z軸を中心軸とした径方向において等距離、且つ、Z軸を中心軸とした円周方向において等間隔の位置に、4か所設けられている。第1ネジ孔112は、第1位置決め孔111の外周側（Z軸から離れる側）において、4か所の第1位置決め孔111にそれぞれ対応して設けられている。第1構造体11は、X軸プラス側、X軸マイナス側、Y軸プラス側およびY軸マイナス側で、Z軸を中心として基準平面F10に沿ってそれぞれ放射状に延びる起歪部13

に接続している。

【0028】

第2構造体12は、起歪部13を介して第1構造体11に接続する。第2構造体12は、Z軸を中心として、第1構造体11を囲むように形成されている。第2構造体12は、第2位置決め孔120および第2ネジ孔121を有している。第2位置決め孔120は、Z軸を中心軸とした径方向において等距離、且つ、Z軸を中心軸とした円周方向において等間隔の位置であって、矩形の外形における四隅近傍それぞれに設けられている。第2ネジ孔121は、第2位置決め孔120の外周側において、4か所の第2位置決め孔120にそれぞれ対応して設けられている。第2構造体12は、X軸上およびY軸上において、それぞれ第1構造体11から延びている4つの起歪部13に接続している。

10

【0029】

起歪部13は、基準平面F10においてX軸およびY軸に沿って第1構造体11から放射状にそれぞれ延出する梁状の部分である。力覚センサ10は、起歪部13を4つ有している。力覚センサ10が4個有する起歪部13は、X軸プラス側、X軸マイナス側、Y軸プラス側およびY軸マイナス側で第1構造体11と第2構造体12とをそれぞれ接続する。

【0030】

力覚センサ10は、基準平面F10上において、歪センサ14、配線部15および電極16をさらに有している。歪センサ14は、起歪部13における基準平面F10上に複数配置されている。歪センサ14は、電圧が印加されると所定の抵抗値を示すとともに、歪を検出した場合には抵抗値が変化するように設定される。例えば歪センサ14は、伸ばされることにより抵抗値が増加し、縮められることにより抵抗値が低下するように構成される。

20

【0031】

歪センサ14は、それぞれが生成する電気信号が配線部15を介して電極16に伝送されるように構成されている。配線部15は、歪センサ14が生成する信号が電極16に伝送されるように歪センサ14と電極16とを接続している。電極16は、電気信号の送受信を行うためのインタフェースであって、配線部15を介して歪センサ14に接続し、歪センサ14が生成した信号を外部へ供給する。

【0032】

上述の歪センサ14、配線部15および電極16は、例えば以下のような工程により基準平面F10上に設けることができる。まず、第1構造体11、第2構造体12および起歪部13を構成するステンレスの基材に対して絶縁膜をスパッタリングにより形成する。絶縁膜は例えば二酸化ケイ素(SiO_2)である。次に、形成した絶縁膜上に、歪センサ14、配線部15および電極16の導電部として、例えば窒化クロム(Cr-N)をスパッタリングにより成膜する。続いて、配線部15および電極16に相当する部分に対して金(Au)をスパッタリングにより成膜する。さらに、保護膜として二酸化ケイ素(SiO_2)を歪センサ14および配線部15に相当する部分に成膜する。このような方法により歪センサ14、配線部15および電極16を製造することにより、力覚センサ10は、省スペースで所望の構成を実現できる。なお、上述の製法は、既に当業者に知られたものであり、ここではマスキングプロセス等の詳細な説明を省略している。

30

40

【0033】

歪センサ14、配線部15および電極16は、上述の工程に限らず、他の方法によっても構成可能である。例えば、配線部15や電極16は、ワイヤボンディングや半田付け等を利用して、導通する部材を接続することができる。また、歪センサ14は、半導体歪みゲージやその他の一般的な歪みゲージを接続することによって実現してもよい。また、絶縁膜や保護膜は、上述のスパッタリング工程に代えて、塗装やディップなどにより形成されてもよい。

【0034】

なお、以降の説明において、力覚センサ10に外力が加わる場合には、第1構造体11が受力部であり、第1構造体11が受けた外力は起歪部13を介して第2構造体12に伝達

50

されるものとする。第 1 構造体 1 1 を 1 次側あるいは入力側の構造体と称し、第 2 構造体 1 2 を 2 次側あるいは出力側の構造体と称してもよい。

【 0 0 3 5 】

次に、図 2 を参照して起歪部 1 3 の形状について説明する。図 2 は、力覚センサの構造体と起歪部を示した正面図である。図 2 に示す力覚センサ 1 0 は、起歪部 1 3 の形状を説明するために、適宜構成を省略して模式的に示したものである。

【 0 0 3 6 】

第 1 構造体 1 1 と第 2 構造体 1 2 とは、4 つの起歪部 1 3 により接続されている。起歪部 1 3 は第 1 構造体 1 1 の X 軸プラス側、X 軸マイナス側、Y 軸プラス側および Y 軸マイナス側の 4 か所から各軸に沿って第 2 構造体 1 2 に向かって（放射状に）延出し、Z 軸周りの円周方向に沿って二股に分岐した後に、分岐した部分がそれぞれ第 2 構造体 1 2 に接続している。

10

【 0 0 3 7 】

以降の説明において、4 つの起歪部 1 3 の内、X 軸プラス側に位置するものを起歪部 1 3 A、Y 軸マイナス側に位置するものを起歪部 1 3 B、X 軸マイナス側に位置するものを起歪部 1 3 C そして Y 軸プラス側に位置するものを起歪部 1 3 D と称する。また以降の説明において起歪部 1 3 A ~ 1 3 D を総称して起歪部 1 3 と表現する場合がある。

【 0 0 3 8 】

起歪部 1 3 は、接続部 1 3 5、第 1 梁部 1 3 6、第 2 梁部 1 3 7 を有している。接続部 1 3 5 は、第 1 構造体 1 1 と接続する部分である。接続部 1 3 5 は、X 軸上または Y 軸上に位置している。第 1 梁部 1 3 6 は、接続部 1 3 5 から第 2 構造体 1 2 に向かって延伸する梁状部分である。第 2 梁部 1 3 7 は、第 1 梁部 1 3 6 と直交する方向に延伸するとともに中間部で第 1 梁部 1 3 6 と接続する梁状部分である。第 1 梁部 1 3 6 の一端側が第 2 梁部 1 3 7 の中間部で第 2 梁部と接続することにより、起歪部 1 3 は、T 字状に形成されている。

20

【 0 0 3 9 】

力覚センサ 1 0 は、基準平面 F 1 0 (X Y 平面) に対して垂直な方向すなわち Z 軸方向に投影した場合に、起歪部 1 3 が X 軸および Y 軸のいずれに対しても線対称となるように形成されている。例えば、起歪部 1 3 A と起歪部 1 3 C とは Y 軸に対して線対称であると同時に、起歪部 1 3 A および起歪部 1 3 C は、いずれも X 軸に対して線対称である。

30

【 0 0 4 0 】

また、本実施の形態における起歪部 1 3 は、Z 軸に対して 4 回対称に形成されている。つまり、起歪部 1 3 は、力覚センサ 1 0 を Z 軸周りに 90 度回転させる前と 90 度回転させた後とが同じ形状になるように形成されている。例えば、起歪部 1 3 A を X Y 面に投影した形状は、Z 軸を中心として時計回りに 90 度回転した場合に、起歪部 1 3 B の形状と一致する。

【 0 0 4 1 】

力覚センサ 1 0 は、上述の形状を有していることにより、外力である各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、次に示すような面内歪および面外歪を生じる。

40

【 0 0 4 2 】

面内歪とは、力覚センサ 1 0 に外力が印加された場合に、起歪部の歪が基準平面 F 1 0 内で生じる歪である。面内歪は、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y および Z 軸周りのモーメント M_z により生じる。力覚センサ 1 0 に F_x が印加された場合には、起歪部 1 3 A ~ 起歪部 1 3 D に好適に歪が生じ、第 1 構造体 1 1 は X 軸に平行に変位する。力覚センサ 1 0 に F_y が印加された場合には、起歪部 1 3 A ~ 起歪部 1 3 D に好適に歪が生じ、第 1 構造体 1 1 は Y 軸に平行に変位する。力覚センサ 1 0 にモーメント M_z が印加された場合には、起歪部 1 3 A ~ 1 3 D のそれぞれに均等に歪が生じ、第 1 構造体 1 1 が Z 軸周りに回転する。

【 0 0 4 3 】

50

面外歪とは、力覚センサ 10 に外力が印加された場合に、起歪部の歪が基準平面 F 10 外に生じる歪である。面外歪は、Z 軸方向の力 F_z 、X 軸周りのモーメント M_x および Y 軸周りのモーメント M_y により生じる。力覚センサ 10 に F_z が印加された場合には、起歪部 13 A ~ 13 D のそれぞれに均等に歪が生じ、第 1 構造体 11 は、Z 軸に平行に変位する。力覚センサ 10 に M_x が印加された場合には、起歪部 13 A ~ 起歪部 13 D に好適に歪が生じ、第 1 構造体 11 は、X 軸周りに回転する。力覚センサ 10 にモーメント M_y が印加された場合には、起歪部 13 A ~ 起歪部 13 D に好適に歪が生じ、第 1 構造体 11 は、Y 軸周りに回転する。

【0044】

上述のように、起歪部 13 の形状が対称性を有することにより、起歪部 13 の歪量は、外力が印加された場合に対称性を有する。これにより、力覚センサ 10 は、煩雑な非干渉化演算を行うことなく外力を検出するように歪センサを配置することが可能となる。

10

【0045】

なお、第 2 梁部 137 は、Z 軸周りの周方向に沿って延伸している必要はなく、直線上に延伸してもよいし、湾曲していてもよいし、幅や厚さが変化していてもよい。また、接続部 135 と第 1 梁部 136 とは緩やかに変化しており、明確に画定されるものではなく、その境界部分は接続部 135 および第 1 梁部 136 のどちらに属するものであってもよい。第 1 梁部 136 と第 2 梁部 137 との境界も同様である。また第 1 構造体 11 と起歪部 13 との境界および起歪部 13 と第 2 構造体との境界も同様に緩やかに変化しており明確に確定されるものではない。

20

【0046】

次に、図 3 を参照して歪センサ 14 の配置について説明する。図 3 は、力覚センサ 10 における歪センサの配置を示した正面図である。

【0047】

起歪部 13 A ~ 13 D はそれぞれ 10 個ずつの歪センサ 14 を有している。また起歪部 13 A ~ 13 D がそれぞれ有する 10 個の歪センサ 14 は、それぞれの起歪部 13 A ~ 13 D において、Z 軸に対して相対的に 4 回対称となる位置に配置されている。以下に、代表例として、起歪部 13 A が有する歪センサ 14 の配置について説明する。

【0048】

起歪部 13 A は、10 個の歪センサ 14 として、センサ A01 ~ A10 を有している。センサ A01 は、接続部 135 において X 軸上に設けられている。センサ A02 は、第 1 梁部 136 と第 2 梁部 137 とが接続する部分において X 軸上に設けられている。センサ A03 は、接続部 135 において X 軸上のセンサ A01 と重ならない位置に設けられている。センサ A04 は、第 1 梁部 136 と第 2 梁部 137 とが接続する部分において X 軸上のセンサ A02 と重ならない位置に設けられている。センサ A05 およびセンサ A06 は、接続部 135 において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。センサ A07 およびセンサ A08 は、第 2 梁部 137 の第 1 梁部 136 に近い側において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。センサ A09 およびセンサ A10 は、第 2 梁部 137 の第 2 構造体 12 との接続部に近い側において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。

30

40

【0049】

なお、一般的に、外力により片持ち梁が曲げられる場合の歪の量は、中立面から遠い位置ほど大きくなる。したがって、センサ A07 ~ A10 は、起歪部 13 が面内歪を生じた場合の中立面から遠い位置に配置されることが好ましい。これにより力覚センサ 10 は面内歪を感度よく検出できる。

【0050】

起歪部 13 B、13 C および 13 D は、上述の起歪部 13 A と同様に歪センサ 14 を 10 個ずつ有している。図 3 に示すように、それぞれの起歪部が有するセンサには、アルファベットと数字を組み合わせた符号が付されており、アルファベット A ~ D は、起歪部 13 A ~ 13 D に対応し、数字 01 ~ 10 は、センサの配置に対応している。

50

【 0 0 5 1 】

以上、実施の形態にかかる力覚センサ 10 は、このような構成により、第 1 構造体側の構成をシンプルにすることができる。よって、実施の形態にかかる力覚センサ 10 は、第 1 構造体の設計自由度を向上させることができる。

【 0 0 5 2 】

続いて図 4 ~ 図 9 を参照して歪センサ対およびセンサグループについて説明する。力覚センサ 10 が有する歪センサ 14 は、それぞれが歪センサ対を構成している。歪センサ対は、それぞれが 1 組のブリッジ回路を構成するための要素である。センサグループは、複数の歪センサ対を有し、1 つのセンサグループは、対応する軸方向の力または対応する軸周りのモーメントを検出するためのブリッジ回路を有している。力覚センサ 10 は、第 1 センサグループ S G 1 ~ 第 6 センサグループ S G 6 を有している。

10

【 0 0 5 3 】

本実施の形態にかかるブリッジ回路は、2 つの歪センサが並列接続された並列回路の一端に入力電圧 V_i が印加され、他端が接地され、並列回路の中間部の出力電圧 V_o が出力される。起歪部 13 が歪むことにより、ブリッジ回路を構成する歪センサが伸縮すると、伸縮した歪センサ 14 の抵抗値は変化する。そのため、歪センサ 14 が歪を検出すると出力電圧 V_o の値がそれに応じて変化する。

【 0 0 5 4 】

図 4 は、第 1 センサグループ S G 1 の回路図である。力覚センサ 10 は、力 F_x を検出する第 1 センサグループ S G 1 を有している。図に示した回路図において、それぞれの抵抗は、歪センサ 14 を示している。第 1 センサグループ S G 1 は、ブリッジ回路 B F x 1 およびブリッジ回路 B F x 2 を有している。

20

【 0 0 5 5 】

ブリッジ回路 B F x 1 は、4 つの歪センサ 14 として、センサ A 07、A 08、C 07 および C 08 を有している。センサ A 07 と A 08 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。同様に、センサ C 07 と C 08 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。

【 0 0 5 6 】

ブリッジ回路 B F x 2 は、センサ A 09、A 10、C 09 および C 10 を有している。センサ A 09 と A 10 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。同様に、センサ C 09 と C 10 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。

30

【 0 0 5 7 】

第 1 センサグループ S G 1 は、以下に示す式 (1) により力 F_x を検出する。

【 数 1 】

$$F_x = ((RA07 + RA08) - (RC07 + RC08)) + ((RA09 + RA10) - (RC09 + RC10)) \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで、式 (1) の右辺における各項は、それぞれが示すセンサの抵抗値の変化を示すものである。例えば、起歪部 13 が歪むことにより、センサ A 07 の抵抗値が上がった場合には、R A 07 には「 (+) 」が当てはめられる。あるいは、センサ A 07 の抵抗値が下がった場合には、R A 07 には「 (-) 」が当てはめられる。また、センサ A 07 の抵抗値に変化がなかった場合には、「 (0) 」が当てはめられる。なお、以降に示す力またはモーメントの式についても同様である。

40

【 0 0 5 8 】

次に、力覚センサ 10 に対して所定の外力を印加した場合における第 1 センサグループ S G 1 の出力について説明する。第 1 センサグループ S G 1 は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

【 数 2 】

50

$$\begin{aligned}
 Fx+ &= (((+)+(+)) - ((-)+(-))) + (((+)+(+)) - ((-)+(-))) = 8(+) \\
 Fy+ &= (((+)+(-)) - ((-)+(+))) + (((+)+(-)) - ((-)+(+))) = 0 \\
 Fz+ &= (((0)+(0)) - ((0)+(0))) + (((0)+(0)) - ((0)+(0))) = 0 \\
 Mx+ &= (((-)+(+)) - ((+)+(-))) + (((-)+(+)) - ((+)+(-))) = 0 \\
 My+ &= (((0)+(0)) - ((0)+(0))) + (((0)+(0)) - ((0)+(0))) = 0 \\
 Mz+ &= (((+)+(-)) - ((+)+(-))) + (((-)+(+)) - ((-)+(+))) = 0
 \end{aligned}$$

10

ここで、 $Fx+$ は X 軸 プラス 方向 の 力、 $Fy+$ は Y 軸 プラス 方向 の 力、 $Fz+$ は Z 軸 プラス 方向 の 力、 $Mx+$ は X 軸 周 り の プラス 方向 の モーメント、 $My+$ は Y 軸 周 り の プラス 方向 の モーメント して $Mz+$ は Z 軸 周 り の プラス 方向 の モーメント である。なお 本 実施 の 形態 におい て、モーメント の プラス 方向 は、対応 する 軸 の マイナス 側 から プラス 側 を 見た 時 に 時計 回 り に 回転 する 方向 である。

【0059】

このように、第1センサグループSG1は、X軸プラス方向の力 $Fx+$ が印加された場合に、 $8(+)$ となる。したがって、 Fx 検出回路は、高い感度により Fx を検出する。一方、第1センサグループSG1は、例えばY軸方向の力 $Fy+$ が印加された場合には、センサグループの歪センサ14の抵抗値の変化はそれぞれが伸縮することにより $(+)$ や $(-)$ にはなるものの、それぞれのセンサの伸縮が対称性を有しているため、結果的にゼロになる。またZ軸方向の力 $Fz+$ が印加された場合には、ひずみを生じない(不感である)ため全ての項が (0) になる。このように、その他の方向の外力が印加された場合には、センサグループの歪センサ14の抵抗値の変化は、結果的にゼロになる。換言すると、第1センサグループSG1の出力は、力 Fx ではない外力に対しては、平衡状態となっている。

20

【0060】

図5は、第2センサグループSG2の回路図である。力覚センサ10は、力 Fy を検出する第2センサグループSG2を有している。第2センサグループSG2は、ブリッジ回路BFy1およびブリッジ回路BFy2を有している。

30

【0061】

ブリッジ回路BFy1は、センサD07、D08、B07およびB08を有している。センサD07とD08とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。同様に、センサB07とB08とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。

【0062】

センサD09とD10とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。同様に、センサB09とB10とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。

【0063】

第2センサグループSG2は、以下に示す式(2)により力 Fy を検出する。

40

【数3】

$$Fy = ((RD07 + RD08) - (RB07 + RB08)) + ((RD09 + RD10) - (RB09 + RB10)) \cdots (2)$$

【0064】

次に、力覚センサ10に対して所定の外力を印加した場合における第2センサグループSG2の出力について説明する。第2センサグループSG2は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

【数4】

50

$$\begin{aligned}
F_{x+} &= (((+) + (-)) - ((-) + (+))) + (((+) + (-)) - ((-) + (+))) = 0 \\
F_{y+} &= (((+) + (+)) - ((-) + (-))) + (((+) + (+)) - ((-) + (-))) = 8(+) \\
F_{z+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0 \\
M_{x+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0 \\
M_{y+} &= (((-) + (-)) - ((+) + (+))) + (((+) + (+)) - ((-) + (-))) = 0 \\
M_{z+} &= (((+) + (-)) - ((+) + (-))) + (((-) + (+)) - ((-) + (+))) = 0
\end{aligned}$$

10

【 0 0 6 5 】

このように、第2センサグループSG2は、Y軸プラス方向の力 F_{y+} が印加された場合に、 $8(+)$ となる。したがって、 F_y 検出回路は、高い感度により F_y を検出する。一方、第2センサグループSG2は、その他の方向の外力が印加された場合には、センサグループの歪センサ14の抵抗値の変化はそれぞれが伸縮するものの対称性を有しているため結果的にゼロになるか、あるいは不感であるためにゼロになる。

【 0 0 6 6 】

図6は、第3センサグループSG3の回路図である。力覚センサ10は、力 F_z を検出する第3センサグループSG3を有している。第3センサグループSG3は、ブリッジ回路BFz1およびブリッジ回路BFz2を有している。

20

【 0 0 6 7 】

ブリッジ回路BFz1は、センサA01、C01、A02およびC02を有している。センサA01とセンサC01とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。同様に、センサA02とセンサC02とはY軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。

【 0 0 6 8 】

ブリッジ回路BFz2は、センサB01、D01、B02およびD02を有している。センサB01とセンサD01とはX軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。同様に、センサB02とセンサD02とはX軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。

30

【 0 0 6 9 】

第3センサグループSG3は、以下に示す式(3)により力 F_z を検出する。

【 数 5 】

$$F_z = ((RA01 + RC01) - (RA02 + RC02)) + ((RB01 + RD01) - (RB02 + RD02)) \cdots (3)$$

【 0 0 7 0 】

次に、力覚センサ10に対して所定の外力を印加した場合における第3センサグループSG3の出力について説明する。第3センサグループSG3は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

40

【 数 6 】

$$\begin{aligned}
F_{x+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0 \\
F_{y+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0 \\
F_{z+} &= (((+) + (+)) - ((-) + (-))) + (((+) + (+)) - ((-) + (-))) = 8(+) \\
M_{x+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((-) + (+)) - ((+) + (-))) = 0 \\
M_{y+} &= (((-) + (+)) - ((+) + (-))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0 \\
M_{z+} &= (((0) + (0)) - ((0) + (0))) + (((0) + (0)) - ((0) + (0))) = 0
\end{aligned}$$

50

このように、第3センサグループSG3は、Z軸プラス方向の力 F_{z+} が印加された場合に、8(+)となる。したがって、 F_z 検出回路は、高い感度により F_z を検出する。一方、第3センサグループSG3は、その他の方向の外力が印加された場合には、センサグループの歪センサ14の抵抗値は殆どの場合に変化せず(0)である。 M_{x+} および M_{y+} が印加された場合に、一部の歪センサ14がそれぞれが伸縮することにより(+)や(-)にはなるものの、それぞれのセンサの伸縮が対称性を有しているため、結果的に第3センサグループSG3の出力はゼロになる。

【0071】

図7は、第4センサグループSG4の回路図である。力覚センサ10は、モーメント M_x を検出する第4センサグループSG4を有している。第4センサグループSG4は、ブリ

10

【0072】

ブリッジ回路 BM_x1 は、センサB03、D03、B04およびD04を有している。センサB03とセンサD03とはX軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。センサB04とセンサD04とはX軸に対して対称となる位置に配置されており、1組の歪センサ対を構成する。

【0073】

第4センサグループSG4は、以下に示す式(4)によりモーメント M_x を検出する。

【数7】

$$M_x = (RD03 - RB03) + (RB04 - RD04) \cdot \cdot \cdot (4)$$

20

【0074】

次に、力覚センサ10に対して所定の外力を印加した場合における第4センサグループSG4の出力について説明する。第4センサグループSG4は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

【数8】

$$F_{x+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$F_{y+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$F_{z+} = (((+) - (+)) + ((-) - (-))) = 0$$

$$M_{x+} = (((+) - (-)) + ((+) - (-))) = 4(+)$$

$$M_{y+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$M_{z+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

30

40

このように、第4センサグループSG4は、X軸周りのプラス方向のモーメント M_{x+} が印加された場合に、4(+)となる。したがって、 M_x 検出回路は、高い感度により M_x を検出する。一方、第4センサグループSG4は、その他の方向の外力が印加された場合には、センサグループの歪センサ14の抵抗値は殆どの場合に変化せず(0)である。 F_{z+} が印加された場合に、一部の歪センサ14がそれぞれが伸縮することにより(+)や(-)にはなるものの、それぞれのセンサの伸縮が対称性を有しているため、結果的に第4センサグループSG4の出力はゼロになる。

【0075】

図8は、第5センサグループSG5の回路図である。力覚センサ10は、モーメント M_y

50

を検出する第 5 センサグループ S G 5 を有している。第 5 センサグループ S G 5 は、ブリッジ回路 B M y 1 を有している。

【 0 0 7 6 】

ブリッジ回路 B M y 1 は、センサ A 0 3、C 0 3、A 0 4 および C 0 4 を有している。センサ A 0 3 とセンサ C 0 3 とは Y 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。センサ A 0 4 センサ C 0 4 とは Y 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。

【 0 0 7 7 】

第 5 センサグループ S G 5 は、以下に示す式 (5) によりモーメント M y を検出する。

【 数 9 】

$$M_y = (RC03 - RA03) + (RA04 - RC04) \cdot \cdot \cdot (5)$$

10

【 0 0 7 8 】

次に、力覚センサ 1 0 に対して所定の外力を印加した場合における第 5 センサグループ S G 5 の出力について説明する。第 5 センサグループ S G 5 は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

【 数 1 0 】

$$F_{x+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$F_{y+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$F_{z+} = (((+) - (+)) + ((-) - (-))) = 0$$

$$M_{x+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

$$M_{y+} = (((+) - (-)) + ((+) - (-))) = 4(+)$$

$$M_{z+} = (((0) - (0)) + ((0) - (0))) = 0$$

20

30

このように、第 5 センサグループ S G 5 は、Y 軸周りのプラス方向のモーメント M y + が印加された場合に、4 (+) となる。したがって、M y 検出回路は、高い感度により M y を検出する。一方、第 5 センサグループ S G 5 は、その他の方向の外力が印加された場合には、センサグループの歪センサ 1 4 の抵抗値は殆どの場合に変化せず (0) である。F z + が印加された場合に、一部の歪センサ 1 4 がそれぞれが伸縮することにより (+) や (-) にはなるものの、それぞれのセンサの伸縮が対称性を有しているため、結果的に第 5 センサグループ S G 5 の出力はゼロになる。

【 0 0 7 9 】

図 9 は、第 6 センサグループ S G 6 の回路図である。力覚センサ 1 0 は、モーメント M z を検出する第 6 センサグループ S G 6 を有している。第 6 センサグループ S G 6 は、ブリッジ回路 B M z 1 およびブリッジ回路 B M z 2 を有している。

【 0 0 8 0 】

ブリッジ回路 B M z 1 は、センサ A 0 5、C 0 6、C 0 5 および A 0 6 を有している。センサ A 0 5 と C 0 6 とは Y 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。同様に、センサ C 0 5 と A 0 6 とは Y 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。

【 0 0 8 1 】

ブリッジ回路 B M z 2 は、センサ B 0 5、D 0 6、D 0 5 および B 0 6 を有している。セ

40

50

ンサ B 0 5 と D 0 6 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。同様に、センサ D 0 5 と B 0 6 とは X 軸に対して対称となる位置に配置されており、1 組の歪センサ対を構成する。

【 0 0 8 2 】

第 6 センサグループ S G 6 は、以下に示す式 (6) によりモーメント M_z を検出する。

【 数 1 1 】

$$M_z = ((RA05 + RC05) - (RA06 + RC06)) + ((RB05 + RD05) - (RB06 + RD06)) \cdot \cdot \cdot (6)$$

【 0 0 8 3 】

次に、力覚センサ 1 0 に対して所定の外力を印加した場合における第 6 センサグループ S G 6 の出力について説明する。第 6 センサグループ S G 6 は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントが印加された場合に、以下のように表される。

【 数 1 2 】

$$\begin{aligned} F_{x+} &= (((-)+(+)) - ((-)+(+))) + (((+)+(-)) - ((-)+(+))) = 0 \\ F_{y+} &= (((+)+(-)) - ((-)+(+))) + (((+)+(-)) - ((+)+(-))) = 0 \\ F_{z+} &= (((+)+(+)) - ((+)+(+))) + (((+)+(+)) - ((+)+(+))) = 0 \\ M_{x+} &= (((+)+(-)) - ((-)+(+))) + (((-)+(+)) - ((-)+(+))) = 0 \\ M_{y+} &= (((-)+(+)) - ((-)+(+))) + (((-)+(+)) - ((+)+(-))) = 0 \\ M_{z+} &= (((+)+(+)) - ((-)+(-))) + (((+)+(+)) - ((-)+(-))) = 8(+)\end{aligned}$$

このように、第 6 センサグループ S G 6 は、Z 軸周りのプラス方向のモーメント M_{z+} が印加された場合に、8 (+) となる。したがって、 M_z 検出回路は、高い感度により M_z を検出する。一方、第 6 センサグループ S G 6 は、その他の方向の外力が印加された場合には、歪センサ 1 4 がそれぞれが伸縮することにより (+) や (-) にはなるものの、それぞれのセンサの伸縮が対称性を有しているため、結果的に第 6 センサグループ S G 6 の出力はゼロになる。

【 0 0 8 4 】

上述の通り、力覚センサ 1 0 は、起歪部 1 3 の形状が X 軸および Y 軸に対して対称であり、且つ、Z 軸に対して 4 回対称となっており、歪センサが X 軸および Y 軸に対して対称であり、且つ、Z 軸に対して 4 回対称となる位置に配置されている。そのため、力覚センサ 1 0 は、各軸方向の力および各軸周りのモーメントを検出する場合に、煩雑な非干渉化演算を行うことなく、それぞれの方向の外力を分離して検出できる。

【 0 0 8 5 】

次に、実施の形態にかかる力覚センサ 1 0 が採用している多重化構成について説明する。種々のアクチュエータに搭載される力覚センサは、高い信頼性が期待される場合がある。そこで、実施の形態にかかる力覚センサ 1 0 は、所定の方向の外力を検出する場合に、複数の歪センサを利用している。

【 0 0 8 6 】

より具体的には、図 4 に示すように、力覚センサ 1 0 は、 F_x を検出する際にブリッジ回路 B F x 1 およびブリッジ回路 B F x 2 を利用している。このように、力覚センサ 1 0 は、1 方向の外力を検出する場合に、2 つのブリッジ回路からの出力を検出している。このような構成により、力覚センサ 1 0 は、信頼性の低下を抑制している。

【 0 0 8 7 】

図 5 に示す F_y 検出回路、図 6 に示す F_z 検出回路および図 9 に示す M_z 検出回路についても、同様に、2 つのブリッジ回路からの信号を検出することにより、実施の形態にかかる力覚センサ 1 0 は、検出回路の多重化を実現している。

【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

なお、図 7 に示すモーメント M_x および図 8 に示すモーメント M_y は、多重化されていない例を示しているが、これらを多重化することは可能である。具体的には、例えば M_x 検出回路を多重化する場合、起歪部 13B の Y 軸上に、1 組の歪センサ対を配置するとともに、起歪部 13D の Y 軸上に、もう 1 組の歪センサ対を、X 軸に対して対称な位置に配置すればよい。

【0089】

実施の形態にかかる力覚センサ 10 は、複数のブリッジ回路を利用した多重化を採用した例を示したが、実施の形態にかかる力覚センサ 10 は、これに限られず、多重化を採用しない構成としてもよい。その場合、力覚センサ 10 は、例えば、第 1 センサグループ SG1 において、ブリッジ回路 B_{Fx1} を有し、ブリッジ回路 B_{Fx2} を有さない構成であってもよい。このように、多重化を行う場合であっても多重化を行わない場合であっても、力覚センサ 10 は、X 軸および Y 軸に対して対称形状となるように歪センサ対を配置することにより、非干渉化演算を行うことなく、外力を検出できる。

10

【0090】

また、力覚センサ 10 は、6 軸力覚センサの例を示したが、力覚センサ 10 は、6 軸のうち、1 以上の外力を検出するものであってもよい。例えば、力覚センサ 10 は、第 1 センサグループ SG1 のみを有している場合、 F_x のみを検出することができる。

【0091】

また、上述の力覚センサ 10 において、起歪部 13 の形状は、4 回対称の例を示したが、力覚センサ 10 は、X 軸および Y 軸に対して対称形状であって、4 回対称ではない形状であってもよい。同様に、歪センサ 14 の配置は、X 軸および Y 軸に対して対称であって、4 回対称ではないものであってもよい。すなわち、例えば、力覚センサは楕円形であって、同じ軸上に延出する起歪部は、対称形状であり、4 回対称でないものであってもよい。

20

【0092】

< 実施の形態の変形例 >

次に、図 10 を参照して実施の形態の変形例についてさらに説明する。図 10 は、起歪部のバリエーションの例を示した正面図である。図 10 に示す力覚センサ 10 は、起歪部 13 に代えて起歪部 23 を有している点において、上述の力覚センサと異なる。

【0093】

以降の説明において、4 つの起歪部 23 の内、X 軸プラス側に位置するものを起歪部 23A、Y 軸マイナス側に位置するものを起歪部 23B、X 軸マイナス側に位置するものを起歪部 23C そして Y 軸プラス側に位置するものを起歪部 23D と称する。また以降の説明において起歪部 23A ~ 23D を総称して起歪部 13 と表現する場合がある。

30

【0094】

第 1 構造体 11 と第 2 構造体 12 とは、4 つの起歪部 23 により接続されている。起歪部 23 は第 2 構造体 12 の X 軸プラス側、X 軸マイナス側、Y 軸プラス側および Y 軸マイナス側の 4 か所から各軸に沿って第 1 構造体に向かって延伸し、Z 軸周りの円周方向に沿って二股に分岐した後に、分岐した部分がそれぞれ第 1 構造体 11 に接続している。

【0095】

起歪部 23 は、接続部 235、第 1 梁部 236、第 2 梁部 237 を有している。接続部 235 は、第 2 構造体 12 と接続する部分である。接続部 235 は、X 軸上または Y 軸上に位置している。第 1 梁部 236 は、接続部 235 から第 1 構造体 11 に向かって延伸する梁状部分である。第 2 梁部 237 は、第 1 梁部 236 と直交する方向に延伸するとともに中間部で第 1 梁部 236 と接続する梁状部分である。第 1 梁部 236 の一端側が第 2 梁部 237 の中間部で第 2 梁部と接続することにより、起歪部 13 は、T 字状または Y 字状に形成されている。

40

【0096】

次に、歪センサ 14 の配置について説明する。以下に、代表例として、起歪部 23A が有する 10 個の歪センサ 14 の配置について説明する。

【0097】

50

起歪部 2 3 A は、1 0 個の歪センサ 1 4 として、センサ A 0 1 ~ A 1 0 を有している。センサ A 0 1 は、接続部 2 3 5 において X 軸上に設けられている。センサ A 0 2 は、第 1 梁部 2 3 6 と第 2 梁部 2 3 7 とが接続する部分において X 軸上に設けられている。センサ A 0 3 は、接続部 2 3 5 において X 軸上のセンサ A 0 1 と重ならない位置に設けられている。センサ A 0 4 は、第 1 梁部 2 3 6 と第 2 梁部 2 3 7 とが接続する部分において X 軸上のセンサ A 0 2 と重ならない位置に設けられている。センサ A 0 5 およびセンサ A 0 6 は、接続部 2 3 5 において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。センサ A 0 7 およびセンサ A 0 8 は、第 2 梁部 2 3 7 の第 1 梁部 2 3 6 に近い側において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。センサ A 0 9 およびセンサ A 1 0 は、第 2 梁部 2 3 7 の第 1 構造体 1 1 との接続部に近い側において、X 軸を跨いで X 軸に対して対称となる位置にそれぞれ設けられている。

10

【0 0 9 8】

なお、一般的に、外力により片持ち梁が曲げられる場合の歪の量は、中立面から遠い位置ほど大きくなる。したがって、センサ A 0 7 ~ A 1 0 は、起歪部 1 3 が面内歪を生じた場合の中立面から遠い位置に配置されることが好ましい。これにより力覚センサ 1 0 は面内歪を感度よく検出できる。

【0 0 9 9】

以上、実施の形態の変形例にかかる力覚センサ 1 0 は、このような構成により、第 2 構造体側の構成をシンプルにすることができる。よって、実施の形態の変形例にかかる力覚センサ 1 0 は、第 2 構造体の設計自由度を向上させることができる。

20

【0 1 0 0】

以上、実施の形態について説明した。実施の形態によれば、煩雑な演算が不要な力覚センサを提供することができる。

【0 1 0 1】

なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。

【符号の説明】

【0 1 0 2】

1 0 力覚センサ
 1 1 第 1 構造体
 1 2 第 2 構造体
 1 3 起歪部
 1 4 歪センサ
 1 5 配線部
 1 6 電極
 1 1 0 基準孔
 1 3 5、2 3 5 接続部
 1 3 6、2 3 6 第 1 梁部
 1 3 7、2 3 7 第 2 梁部
 A 0 1 ~ A 1 0 センサ
 B 0 1 ~ B 1 0 センサ
 C 0 1 ~ C 1 0 センサ
 D 0 1 ~ D 1 0 センサ
 B F x 1、B F x 2、ブリッジ回路
 B F y 1、B F y 2 ブリッジ回路
 B F z 1、B F z 2 ブリッジ回路
 B M x 1 ブリッジ回路
 B M y 1 ブリッジ回路
 B M z 1、B M z 2 ブリッジ回路
 F 1 0 基準平面

30

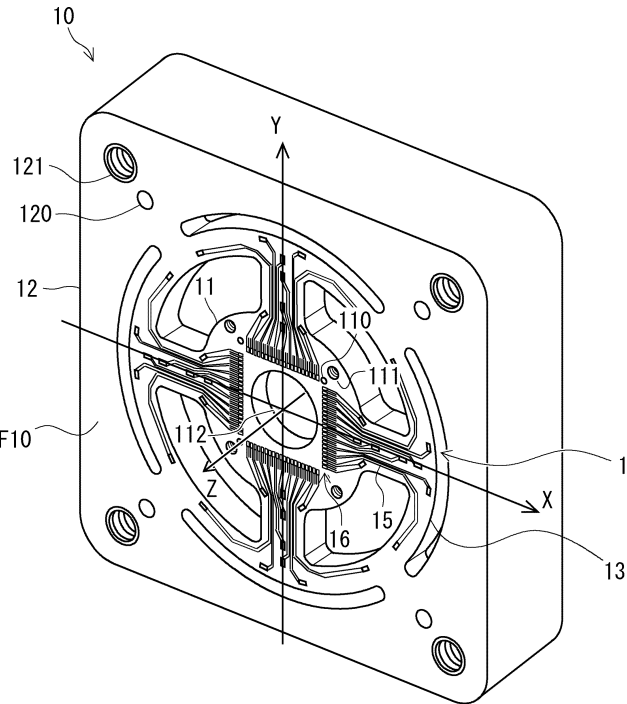
40

50

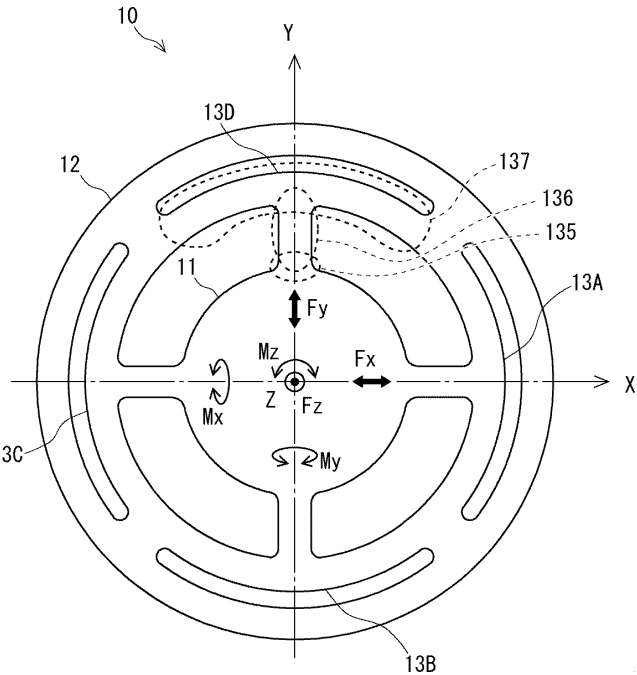
F_x 、 F_y 、 F_z 力
 M_x 、 M_y 、 M_z モーメント
 V_i 入力電圧
 V_o 出力電圧

【図面】

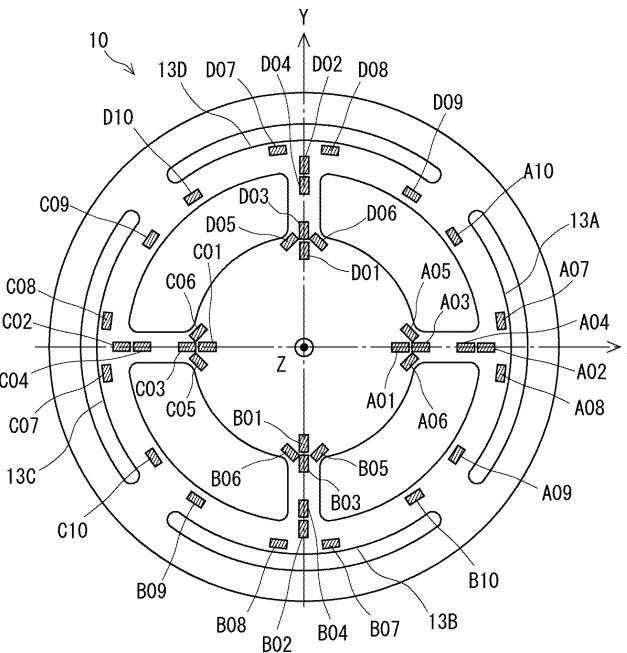
【図 1】



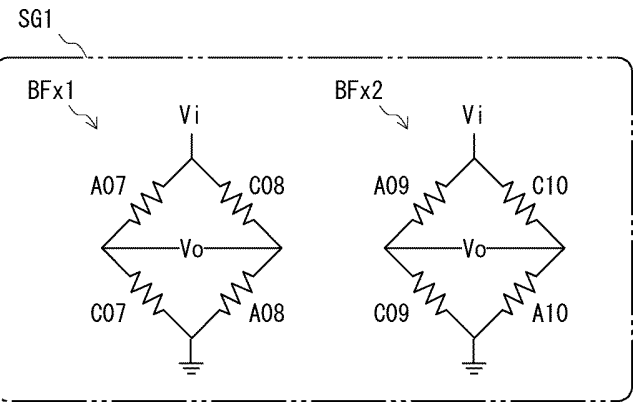
【図 2】



【図 3】



【図 4】



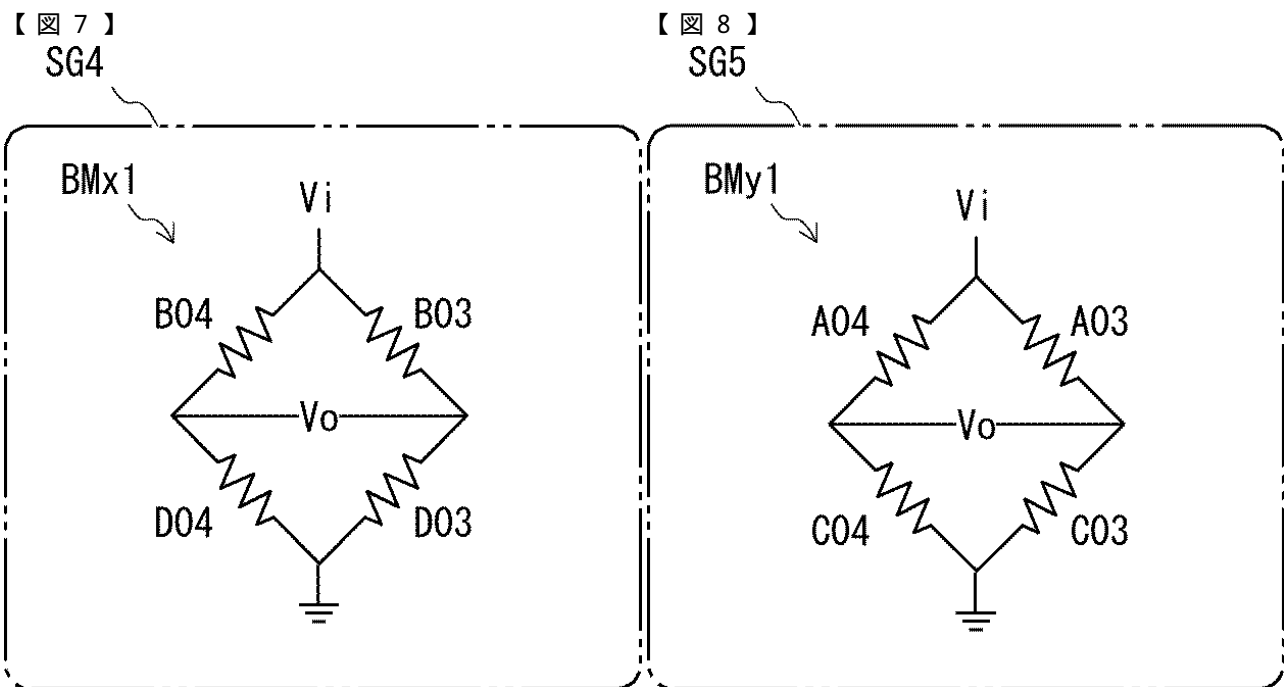
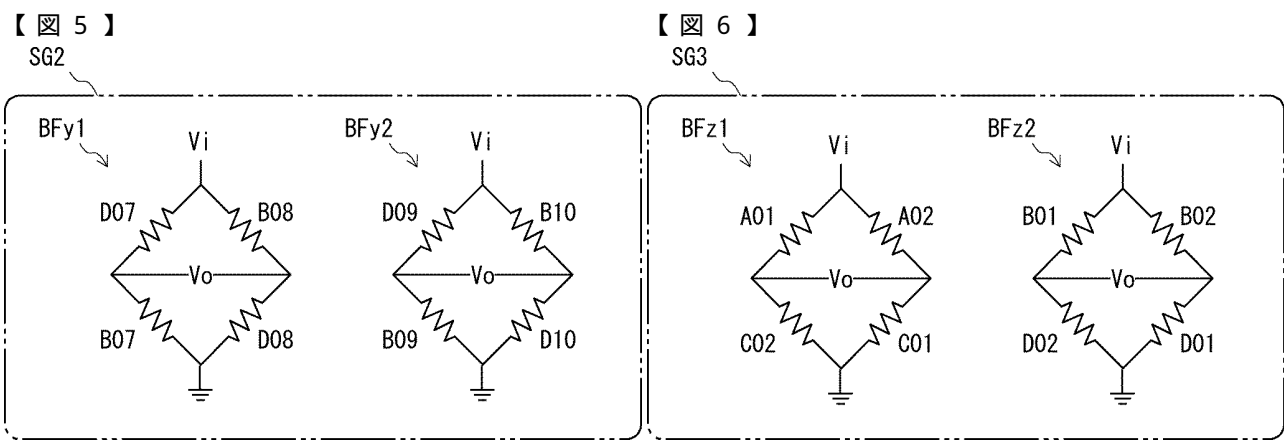
10

20

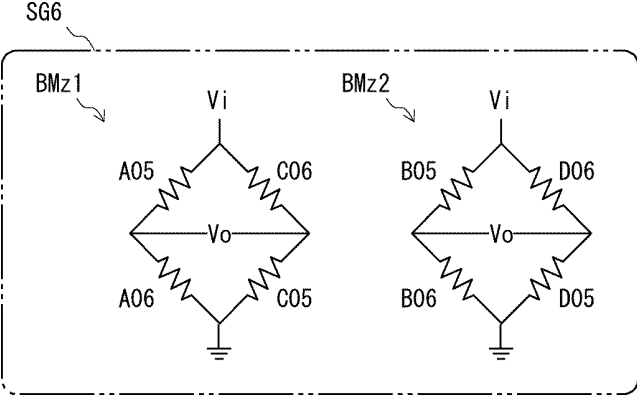
30

40

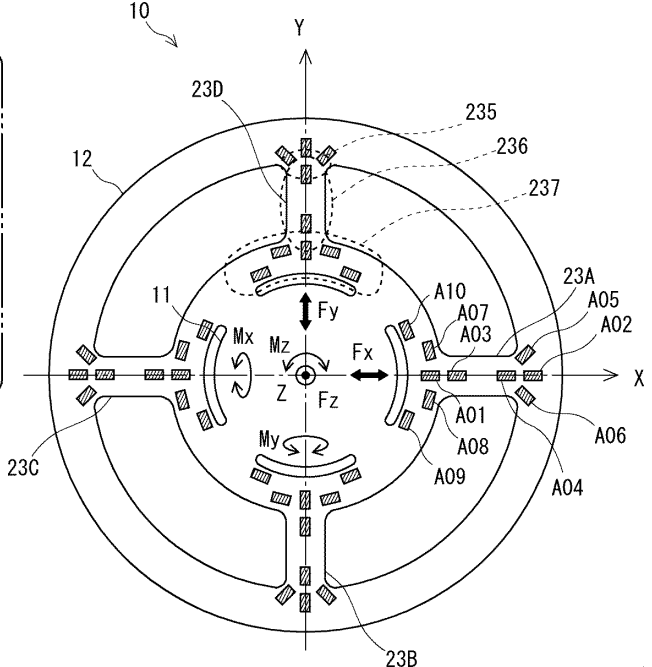
50



【 図 9 】



【 図 10 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

F ターム (参考) DB03