

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7105010号
(P7105010)

(45)発行日 令和4年7月22日(2022.7.22)

(24)登録日 令和4年7月13日(2022.7.13)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 L 3/10 (2006.01)

G 0 1 L 3/10 3 1 5

G 0 1 L 3/14 (2006.01)

G 0 1 L 3/14 L

請求項の数 2 (全33頁)

(21)出願番号	特願2021-180293(P2021-180293)	(73)特許権者	511071234
(22)出願日	令和3年11月4日(2021.11.4)		株式会社トライフォース・マネジメント
(62)分割の表示	特願2021-48650(P2021-48650)の 分割		埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地
原出願日	平成29年5月29日(2017.5.29)	(74)代理人	100091487
(65)公開番号	特開2022-10015(P2022-10015A)		弁理士 中村 行孝
(43)公開日	令和4年1月14日(2022.1.14)	(74)代理人	100103263
審査請求日	令和3年11月4日(2021.11.4)		弁理士 川崎 康
		(74)代理人	100152205
			弁理士 吉田 昌司
		(72)発明者	岡田 和廣
			埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地 株式
			会社トライフォース・マネジメント内
		(72)発明者	岡田 美穂
			埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地 株式
			会社トライフォース・マネジメント内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 トルクセンサ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

X Y Z三次元座標系におけるZ軸まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、
X Y Z三次元座標系の原点を中心とする第1の固定／受力体と、
Z軸方向から見て前記第1の固定／受力体を取り囲むように配置された環状の第2の固定／受力体と、
第1端が前記第1の固定／受力体によって支持され、第2端が前記第2の固定／受力体によって支持された第1の弾性変形体と、
第3端が前記第1の固定／受力体によって支持され、第4端が前記第2の固定／受力体によって支持された第2の弾性変形体と、
前記第1の弾性変形体に配置された第1の変位電極と、前記第1の変位電極に対向する第1の固定電極とを有する第1の静電容量素子と、
前記第2の弾性変形体に配置された第2の変位電極と、前記第2の変位電極に対向する第2の固定電極とを有する第2の静電容量素子と、
前記第1および第2の静電容量素子の静電容量値の変動に基づいて、前記Z軸まわりのトルクを示す電気信号を出力する検出回路と、を備え、
前記第1の固定／受力体および前記第2の固定／受力体のうちの一方は、X Y Z三次元座標系に対して固定され、前記第1の固定／受力体および前記第2の固定／受力体のうちの他方は、前記Z軸まわりのトルクの作用によってZ軸回りに回転し、
前記第1の弾性変形体の前記第1端は、前記第1の弾性変形体よりも肉厚が厚い第1接続

部を介して前記第 1 の固定／受力体によって支持され、
前記第 2 の弾性変形体の前記第 3 端は、前記第 2 の弾性変形体よりも肉厚が厚い第 2 接続部を介して前記第 1 の固定／受力体によって支持され、
前記第 1 の弾性変形体および前記第 2 の弾性変形体は、Z 軸方向から見て X Y Z 三次元座標系の原点に関して点対称に配置され、
前記第 1 の変位電極は、前記第 2 の固定／受力体の内周面に対向する前記第 1 の弾性変形体の外側面に設けられ、
前記第 2 の変位電極は、前記第 2 の固定／受力体の内周面に対向する前記第 2 の弾性変形体の外側面に設けられ、
前記第 1 の固定電極は、前記第 1 の変位電極と平行に配置されるように、前記第 2 の固定／受力体の内周面に設けられ前記第 1 の変位電極と平行な面が形成された第 1 の台座の上に配置され、
前記第 2 の固定電極は、前記第 2 の変位電極と平行に配置されるように、前記第 2 の固定／受力体の内周面に設けられ前記第 2 の変位電極と平行な面が形成された第 2 の台座の上に配置されていることを特徴とするトルクセンサ。

10

【請求項 2】

前記第 1 の変位電極は、前記第 2 の固定／受力体に面するように前記第 1 の弾性変形体の平坦部に配置され、前記第 2 の変位電極は、前記第 2 の固定／受力体に面するように前記第 2 の弾性変形体の平坦部に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載のトルクセンサ。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トルクセンサに関し、特に、所定の回転軸まわりに作用したトルク（モーメント）を電気信号として出力する機能をもったセンサに関する。

【背景技術】

【0002】

トルクセンサは、産業用ロボットをはじめ、生活支援ロボット、医療用ロボット等におけるトルク制御の分野において幅広く利用されている。とりわけ、高い安全性が求められるロボットに採用されるトルクセンサにおいては、より高精度且つ高感度でトルクを検出することが重要である。

30

【0003】

従来のトルクセンサの一例としては、下記特許文献 1 に記載されているものが挙げられる。特許文献 1 のトルクセンサは、円環状の起歪体（環状変形体）を有しており、作用したトルクによって起歪体が径方向に弾性変形するようになっている。起歪体には、所定の位置に静電容量素子が配置されていて、トルクセンサは、起歪体の弾性変形に起因した静電容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、作用したトルクを検出するようになっている。

【0004】

しかしながら、従来のトルクセンサを用いて高荷重のトルクを検出するためには、起歪体の剛性を高くする必要がある。もっとも、円環状の起歪体は変形しにくいいため、高荷重のトルクセンサには適している。しかし、その反面、トルクセンサの感度が低下してしまうという問題がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2012-37300 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、以上のような事情に鑑みて創案されたものである。すなわち、本発明の目的は

50

、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、X Y Z 三次元座標系におけるZ軸まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、

トルクの作用によって弾性変形を生じる変形体と、

前記変形体に生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路と、を備え、

前記変形体は、

X Y Z 三次元座標系に対して固定された固定部と、

前記固定部とは異なる部位に設けられ、トルクの作用を受ける受力部と、

前記固定部と前記受力部とを連結し、前記受力部にトルクが作用することによって弾性変形を生じる変形部と、

前記変形部に接続された支持体と、この支持体によって支持された梁と、を有する梁構造体と、を有し、

前記梁には、当該梁の変位を計測するための計測点が規定されており、

前記検出回路は、前記変形体の弾性変形に起因して前記梁の前記計測点に生じる変位に基づいて、前記電気信号を出力するようになっている

ことを特徴とするトルクセンサである。

【0008】

本発明によれば、梁構造体の存在によって、変形体に生じる弾性変形が計測点において増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することができる。

【0009】

前記変形体の前記変形部は、Z軸方向から見て、原点を中心とする円弧に沿った形状を有して良い。この場合、変形部に効果的に弾性変形を生じさせることができる。

【0010】

前記変形体の前記固定部は、Z軸方向から見て、X軸及びY軸のうちの一方と重なるように位置付けられており、

前記変形体の前記受力部は、Z軸方向から見て、X軸及びY軸のうちの他方と重なるように位置付けられていて良い。

【0011】

この場合、梁の計測点において、変形部に生じる弾性変形を効率的に増幅させることができる。

【0012】

更に、X Y 平面上に、原点を通りX軸およびY軸に対して所定の角度をなすV軸およびW軸を定義した場合に、前記梁の前記計測点は、V軸上またはW軸上に位置付けられていて良い。この場合、変形部に生じる弾性変形を、梁の計測点に生じる変位として効率的に検出することができる。なお、所定の角度とは、例えば45°である。

【0013】

以上のトルクセンサは、X Y Z 三次元座標系に対して固定された固定体と、

トルクの作用によってZ軸回りに回転する受力体と、を更に備え、

前記固定体は、前記変形体の前記固定部に接続され、

前記受力体は、前記変形体の前記受力部に接続されていて良い。

【0014】

この場合、安定的にトルクの検出を行うことができる。

【0015】

前記検出回路は、前記梁の前記計測点に配置された変位電極と、この変位電極に対向配置され、前記受力体または前記固定体に接続された固定電極と、を有し、

前記変位電極と前記固定電極とは、静電容量素子を構成し、
前記検出回路は、前記静電容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、前記電気信号を出力するようになっていて良い。

【0016】

この場合、作用したトルクを静電容量値の変動量に基づいて容易に検出することができる。

【0017】

あるいは、本発明は、XYZ三次元座標系におけるZ軸まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、

Z軸方向から見て原点を取り囲むように配置され、トルクの作用によって弾性変形を生じる環状の変形体と、

前記変形体に生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路と、を備え、

前記変形体は、

XYZ三次元座標系に対して固定された2つの固定部と、

当該変形体の周方向において前記固定部と交互に位置付けられ、トルクの作用を受ける、2つの受力部と、

当該変形体の周方向において隣接する前記固定部と前記受力部とを連結し、前記受力部にトルクが作用することによって弾性変形を生じる4つの変形部と、

各変形部に1つずつ接続された4つの梁構造体と、を有し、

各梁構造体は、前記変形部に接続された支持体と、この支持体によって支持された梁と、を有し、

各梁には、当該各梁の変位を計測するための計測点が規定されており、

前記検出回路は、前記変形体の弾性変形に起因して各梁の前記計測点に生じる変位に基づいて、前記電気信号を出力するようになっている

ことを特徴とするトルクセンサである。

【0018】

本発明によれば、梁構造体の存在によって、変形体に生じる弾性変形が計測点において増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することができる。

【0019】

前記2つの固定部は、Z軸方向から見て、前記変形体とY軸とが重なる部位にX軸対称に位置付けられ、

前記2つの受力部は、Z軸方向から見て、前記変形体とX軸とが重なる部位にY軸対称に位置付けられていて良い。

【0020】

この場合、各変形部に対称的に弾性変形を生じさせることができるため、作用したトルクの計測が容易である。

【0021】

更に、XY平面上に、原点を通りX軸およびY軸に対して45°をなすV軸およびW軸を定義した場合に、各梁の前記計測点は、正のV軸上、正のW軸上、負のV軸上及び負のW軸上にそれぞれ位置付けられていて良い。

【0022】

特に、V軸は、原点を通りX軸に対して45°の角度をなしており、

W軸は、原点を通りY軸に対して45°の角度をなして良い。

【0023】

これらの場合、梁の計測点において、変形部に生じる弾性変形を効率的に増幅させることができる。

【0024】

以上のトルクセンサにおいて、XYZ三次元座標系に対して固定された固定体と、

トルクの作用によってZ軸回りに回転する受力体と、を更に備え、

10

20

30

40

50

前記固定体は、前記変形体の前記固定部に接続され、
前記受力体は、前記変形体の前記受力部に接続されていて良い。

【0025】

この場合、安定的にトルクの検出を行うことができる。

【0026】

前記検出回路は、前記梁の各計測点に配置された4つの変位電極と、これらの変位電極に対向配置され、前記受力体または前記固定体に接続された固定電極と、を有し、
各変位電極と前記固定電極とは、4組の静電容量素子を構成し、
前記検出回路は、前記4組の静電容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、前記電気信号を出力するようになっていて良い。

10

【0027】

より具体的には、前記4組の静電容量素子は、Z軸方向から見て、XY平面の第1象限に配置された第1静電容量素子と、XY平面の第2象限に配置された第2静電容量素子と、XY平面の第3象限に配置された第3静電容量素子と、XY平面の第4象限に配置された第4静電容量素子と、を有し、
前記検出回路は、前記第1静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第3静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、前記第2静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第4静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、の差、に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっていて良い。

20

【0028】

この場合、作用したトルクを容易に検出できると共に、Z軸まわりのトルク以外の力(X, Y, Z軸方向の力やX, Z軸回りのトルク)による影響や、使用環境の温度変化による影響を受けることなく、所望のトルクを検出することができる。

【0029】

前記固定電極は、それぞれの静電容量素子ごとに個別の電極として構成されていて良い。
この場合、高い自由度で固定電極を配置することができる。

【0030】

あるいは、本発明は、XYZ三次元座標系におけるZ軸まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、
Z軸方向から見て原点を取り囲むように配置され、トルクの作用によって弾性変形を生じる環状の変形体と、
前記変形体に生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路と、を備え、
前記変形体は、
XYZ三次元座標系に対して固定された2つの固定部と、
当該変形体の周方向において前記固定部と交互に位置付けられ、トルクの作用を受ける、2つの受力部と、
当該変形体の周方向において隣接する前記固定部と前記受力部とを連結し、前記受力部にトルクが作用することによって弾性変形を生じる4つの変形部と、
各変形部の外周面に1つずつ接続された4つの外側梁構造体と、
各変形部の内周面に1つずつ接続された4つの内側梁構造体と、を有し、
各外側梁構造体は、前記変形部に接続された外側支持体と、この外側支持体によって支持された外側梁と、を有し、
各内側梁構造体は、前記変形部に接続された内側支持体と、この内側支持体によって支持された内側梁と、を有し、
各内側梁及び各外側梁には、各梁の変位を計測するための計測点が規定されており、
前記検出回路は、前記変形体の弾性変形に起因して各内側梁に生じる変位、及び、当該弾性変形に起因して各外側梁に生じる変位、の少なくとも一方に基づいて、前記電気信号を出力するようになっている
ことを特徴とするトルクセンサである。

30

40

50

【0031】

本発明によれば、内側梁構造体及び外側梁構造体の存在によって、変形体に生じる弾性変形が計測点において増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することができる。

【0032】

前記2つの固定部は、Z軸方向から見て、前記変形体とY軸とが重なる部位にX軸対称に位置付けられており、

前記2つの受力部は、Z軸方向から見て、前記変形体とX軸とが重なる部位にY軸対称に位置付けられていて良い。

【0033】

この場合、各変形部に効果的に弾性変形を生じさせることができる。

【0034】

XY平面上に、原点を通りX軸およびY軸に対して所定の角度をなすV軸およびW軸を定義した場合に、

前記4つの外側梁構造体の各計測点は、正のV軸上、正のW軸上、負のV軸上及び負のW軸上にそれぞれ位置付けられており、

前記4つの内側梁構造体の各計測点は、正のV軸上、正のW軸上、負のV軸上及び負のW軸上にそれぞれ位置付けられていて良い。

【0035】

特には、V軸は、原点を通りX軸に対して45°の角度をなしており、

W軸は、原点を通りY軸に対して45°の角度をなして良い。

【0036】

これらの場合、内側梁及び外側梁の各計測点において、変形部に生じる弾性変形を効率的に増幅させることができる。

【0037】

以上のトルクセンサは、XYZ三次元座標系に対して固定された固定体と、

トルクの作用によってZ軸回りに回転する受力体と、を更に備え、

前記固定体は、前記変形体の前記固定部に接続され、

前記受力体は、前記変形体の前記受力部に接続されていて良い。

【0038】

この場合、安定的にトルクの検出を行うことができる。

【0039】

前記検出回路は、

前記内側梁の各計測点に1つずつ配置された4つの内側変位電極と、これらの内側変位電極に対向配置され、前記受力体または前記固定体に接続された内側固定電極と、

前記外側梁の各計測点に1つずつ配置された4つの外側変位電極と、これらの外側変位電極に対向配置され、前記受力体または前記固定体に接続された外側固定電極と、を有し、

各内側変位電極と前記内側固定電極とは、4組の内側静電容量素子を構成しており、

各外側変位電極と前記外側固定電極とは、4組の外側静電容量素子を構成しており、

前記検出回路は、前記4組の内側静電容量素子の静電容量値の変動量、及び、前記4組の外側静電容量素子の静電容量値の変動量、の少なくとも一方に基づいて、前記電気信号を出力するようになっていて良い。

【0040】

より具体的には、前記4組の内側静電容量素子は、Z軸方向から見て、XY平面の第1象限に配置された第1内側静電容量素子と、XY平面の第2象限に配置された第2内側静電容量素子と、XY平面の第3象限に配置された第3内側静電容量素子と、XY平面の第4象限に配置された第4内側静電容量素子と、を有し、

前記4組の外側静電容量素子は、Z軸方向から見て、XY平面の第1象限に配置された第1外側静電容量素子と、XY平面の第2象限に配置された第2外側静電容量素子と、XY平面の第3象限に配置された第3外側静電容量素子と、XY平面の第4象限に配置された

10

20

30

40

50

第4外側静電容量素子と、を有し、

前記検出回路は、「前記第1内側静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第3内側静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、前記第2内側静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第4内側静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、の差」、及び、「前記第1外側静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第3外側静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、前記第2外側静電容量素子の静電容量値の変動量と前記第4外側静電容量素子の静電容量値の変動量との和と、の差」、の少なくとも一方に基づいて、前記電気信号を出力するようになっていて良い。

【0041】

この場合、作用したトルクを容易に検出することができると共に、Z軸まわりのトルク以外の力(X, Y, Z軸方向の力やX, Z軸回りのトルク)による影響や、使用環境の温度変化による影響を受けることなく、所望のトルクを検出することができる。

【0042】

前記内側固定電極及び前記外側固定電極は、それぞれの内側静電容量素子及び外側静電容量素子ごとに個別の電極として構成されていて良い。この場合、高い自由度で各固定電極を配置することができる。

【0043】

前記検出回路は、前記4組の外側静電容量素子の静電容量値の変動量に基づいて計測されたトルクと、前記4組の内側静電容量素子の静電容量値の変動量に基づいて計測されたトルクと、を比較することによって、前記トルクセンサが正常に機能しているか否かを判定するようになっていて良い。

【0044】

この場合、作用したトルクを検出することに加え、単一のトルクセンサによって、その故障診断をも行うことができる。

【0045】

また、前記変形体は、Z軸方向から見て、X軸及びY軸に関して対称的な形状を有していて良い。

【0046】

特には、前記変形体は、Z軸方向から見て、原点を中心とする円環の形状を有していて良い。

【0047】

これらの場合、作用したトルクを検出するための演算が容易である。

【0048】

以上のトルクセンサにおいて、前記梁構造体は、前記梁と前記固定体または前記受力体とを連結する連結体を有していて良い。

【0049】

あるいは、前記外側梁構造体は、前記外側梁と前記受力体とを連結する外側連結体を有しており、

前記内側梁構造体は、前記内側梁と前記固定体とを連結する内側連結体を有していて良い。

【0050】

これらの場合、連結体(あるいは外側連結体及び内側連結体)の存在によって、外部環境において生じる振動が減衰されて梁構造体に伝達されることになる。このため、トルクセンサから出力される電気信号に含まれるノイズが低減または除去され、トルクの計測をより高精度で行うことができる。

【発明の効果】

【0051】

本発明によれば、梁構造体の存在によって、変形体に生じる弾性変形が計測点において増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することができる。

【0052】

10

20

30

40

50

あるいは、本発明によれば、内側梁構造体及び外側梁構造体の存在によって、変形体に生じる弾性変形が計測点において増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】本発明の一実施の形態によるトルクセンサの基本構造部を示す概略平面図である。

【図2】従来のトルクセンサの基本構造部を示す概略平面図である。

【図3】図1の基本構造部の変形体のうち第1象限に位置する部分を示す模式図である。

図3(a)は、図1の基本構造部の初期状態に対応する図であり、図3(b)は、図1の基本構造部に負のトルクが作用したときに対応する図であり、図3(c)は、図1の基本構造部に正のトルクが作用したときに対応する図である。

10

【図4】図2の基本構造部の変形体のうち第1象限に位置する部分を示す模式図である。

図4(a)は、図2の基本構造部の初期状態に対応する図であり、図4(b)は、図2の基本構造部に負のトルクが作用したときに対応する図であり、図4(c)は、図2の基本構造部に正のトルクが作用したときに対応する図である。

【図5】図1及び図2に示す基本構造部に対してトルクが作用したときの、所定部位に生じる変位を纏めて示す図表である。

【図6】図1の基本構造部を採用したトルクセンサの一例を示す概略平面図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態によるトルクセンサの基本構造部を示す概略平面図である。

20

【図8】図7の基本構造部に対して負のトルクが作用したときの変形体を示す模式図である。

【図9】図7の基本構造部に対して正のトルクが作用したときの変形体を示す模式図である。

【図10】図7の基本構造部を採用したトルクセンサの一例を示す概略平面図である。

【図11】本発明の第3の実施の形態によるトルクセンサの基本構造部を示す概略平面図である。

【図12】図11の基本構造部に対して負のトルクが作用したときの変形体を示す模式図である。

【図13】図11の基本構造部に対して正のトルクが作用したときの変形体を示す模式図である。

30

【図14】図11の基本構造部を採用したトルクセンサの一例を示す概略平面図である。

【図15】図10の変形例を示す概略平面図である。

【図16】図10の他の変形例を示す概略平面図である。

【図17】図10の更に他の変形例を示す概略平面図である。

【図18】基本構造部の変形例を示す概略斜視図である。

【図19】絶縁体を介して電極を配置した状態を示す概略側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0054】

<<< §1. 本発明の第1の実施の形態によるトルクセンサ >>>

40

以下に、添付の図面を参照して、本発明の第1の実施の形態によるトルクセンサについて詳細に説明する。

【0055】

< 1-1. 基本構造部の構成 >

図1は、本発明の第1の実施の形態によるトルクセンサの基本構造部100を示す概略平面図である。また、図2は、従来のトルクセンサの基本構造部100aであり、図1との差異を説明するための参考図である。

【0056】

図1及び図2では、XYZ三次元座標系が定められており、X軸が左右方向に、Y軸が上下方向に、Z軸（不図示）が奥行き方向に、それぞれ延びている。ここでは、X軸が左方

50

から右方に向かって延びている点に注意を要する。更に、X Y 平面上に、原点 O を通り正の X 軸に対して時計回りに 45° をなす V 軸と、原点 O を通り正の Y 軸に対して時計回りに 45° をなす W 軸と、がそれぞれ定められている。なお、このような座標軸は、他の図面においても同様に規定されている。また、本明細書では、正のトルクとは、右ねじを Z 軸方向（手前側から奥側に向かう方向）に前進させるために当該右ねじを回転させる方向（図 1 及び図 2 における時計回りの方向）に作用するトルクを意味し、負のトルクとは、その逆の方向に作用するトルクを意味することとする。

【0057】

図 1 に示すように、基本構造部 100 は、原点 O を中心として X Y 平面上に固定された円盤状の固定体 10 と、固定体 10 を取り囲み、トルクの作用を受けることによって固定体 10 に対して相対回転する受力体 20 と、固定体 10 と受力体 20 との間隙において当該固定体 10 及び受力体 20 に接続され、受力体 20 から伝達されるトルクの作用によって弾性変形を生じる円環状の変形体 30 と、を有している。

10

【0058】

図 1 に示すように、固定体 10 は、原点 O を中心とする円盤状の部材であり、受力体 20 及び変形体 30 は、原点を中心とする円環状の部材である。固定体 10 は、外周面のうち Y 軸と重なる 2 つの部位に、当該固定体 10 の径方向外方に突出した固定体接続部 11、12 を有している。更に、変形体 30 は、Y 軸と重なる部位に固定部 33、35 を有しており、これらの固定部 33、35 と固定体接続部 11、12 とが互いに接続されている。更に、図 1 に示すように、受力体 20 は、内周面のうち X 軸と重なる 2 つの部位に、当該受力体 20 の径方向内方に突出した受力体接続部 21、22 を有している。変形体 30 は、X 軸と重なる部位に受力部 32、34 を有しており、これらの受力部 32、34 と受力体接続部 21、22 とが互いに接続されている。そして、変形体 30 のうち、正の Y 軸上に位置する固定部 33 と負の X 軸上に位置する受力部 34 とを連結する変形部 36 に、トルクの作用による弾性変形が生じるようになっている。

20

【0059】

もちろん、図 1 に示す基本構造部 100 では、変形体 30 のうち、周方向において隣接する固定部 33、35 と受力部 32、34 とを連結する全ての部位（第 1 象限～第 4 象限に位置する部位）において、トルクの作用による弾性変形が生じる。ただし、ここでは、後述される梁構造体 31 が変形部 36 にのみ配置されていることから、当該変形部 36 に生じる弾性変形にのみ着目する。

30

【0060】

なお、従来のトルクセンサ（図 2 参照）は、以上に説明した構造と同じ構成を有している。このため、図 2 において、図 1 と共通する構成部分には略同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0061】

本実施の形態による基本構造部 100 は、変形体 30 が梁構造体 31 を有している点で、従来の基本構造部（図 2 参照）とは異なっている。すなわち、基本構造部 100 は、図 1 に示すように、変形体 30 は、変形部 36 の外周面に接続された支持体 31 f と、この支持体 31 f によって一端が支持された梁 31 b と、を有する梁構造体 31 を備えている。梁 31 b には、当該梁 31 b の変位を計測するための計測点 P が規定されている。図 1 に示すように、計測点 P は、梁 31 b のうち支持体 31 f に接続されている側の端部とは反対側の端部の近傍に規定されている。より具体的には、支持体 31 f は、正の V 軸と正の X 軸とによって挟まれた領域において変形部 36 に接続されており、梁 31 b は、支持体 31 f の先端から、V 軸を横切るように延び出ている。図 1 に示す例では、計測点 P は、梁 31 b と V 軸とが重なる部位に、規定されている。

40

【0062】

< 1-2. 基本構造部の作用 >

次に、上述した基本構造部 100 の作用について、図 3 及び図 4 を参照して説明する。

【0063】

50

図3は、図1の基本構造部100の変形体30のうち第1象限に位置する部分を示す模式図である。図3(a)は、図1の基本構造部100の初期状態に対応する図であり、図3(b)は、図1の基本構造部100に負のトルクが作用したときに対応する図であり、図3(c)は、図1の基本構造部100に正のトルクが作用したときに対応する図である。また、図4は、図2の基本構造部100aの変形体30aのうち第1象限に位置する部分を示す模式図である。図4(a)は、図2の基本構造部100aの初期状態に対応する図であり、図4(b)は、図2の基本構造部100aに負のトルクが作用したときに対応する図であり、図4(c)は、図2の基本構造部100aに正のトルクが作用したときに対応する図である。図3及び図4において、各構成要素の厚みや幅は、無視してある。

【0064】

図3(b)に示すように、図1の基本構造部100に負のトルクが作用すると、変形体30のうち正のX軸上に位置していた受力部34は、下方に移動される。一方、変形体30のうち正のY軸上に位置していた固定部33は、移動しない。このため、変形体30には引張力が作用し、これによって、変形体30は、曲率半径が大きくなるように弾性変形する。図3(b)において、実線は、弾性変形を生じている状態の変形体30を示しており、破線は、初期状態の変形体30(図3(a)参照)を示している。なお、このような図示については、図3及び図4の各図において共通である。

【0065】

ここで、梁構造体31の支持体31fと変形体30との接続点Qにおける当該変形体30の接線に着目する。初期状態の接線は、図3(a)において符号L_oで示されており、負のトルクが作用したときの当該接線は、図3(b)において符号L_tで示されている。上述したように、変形体30に負のトルクが作用すると、変形体30は、固定部33が変位しないままで変形体30の曲率半径が大きくなるように弾性変形する。このため、接線L_tは、接線L_oよりもより水平に寝た状態に変化する。

【0066】

梁構造体31の支持体31fは、梁31b及び接線L_o、L_tと直交する関係にある。このため、梁31bと接線L_o、L_tとは常に平行な状態を維持している。このことを考慮すれば、変形体30に負のトルクが作用したときに梁31bの計測点Pに生じる変位は、接続点Qに生じる変位と接線L_tの傾きの変化に起因する変位とを合算した量となる。すなわち、梁構造体31によって、接続点Qに生じる変位が増幅されて、計測点Pに現れることになる。図3(b)において、計測点Pに生じる変位(初期位置P_oから変位後の位置P_tまでの変位量)は、記号d_tで示されている。実際のトルクセンサにおいて、トルクの作用によって点Qに生じる変位は数10～数100μm程度であるため、図3(b)では、点PがV軸に沿って変位するものとして、図示してある。

【0067】

次に、図3(c)に示すように、図1の基本構造部100に正のトルクが作用すると、変形体30のうち負のX軸上に位置していた受力部34は、上方に移動される。一方、変形体30のうち正のY軸上に位置していた固定部33は、移動しない。このため、変形体30には、作用するトルクの向きに沿って圧縮力が作用し、これによって、変形体30は、曲率半径が小さくなるように弾性変形する。

【0068】

ここでも、梁構造体31の支持体31fと変形体30との接続点Qにおける当該変形体30の接線に着目する。接線は、図3(b)において符号L_cで示されている。上述したように、変形体30に正のトルクが作用すると、変形体30は、固定部33が変位しないままで変形体30の曲率半径が小さくなるように弾性変形するため、接線L_cは、初期状態の接線L_o(図3(a)参照)よりもより垂直に立った状態に変化する。

【0069】

変形体30に正のトルクが作用したときに梁31bの計測点Pに生じる変位は、先の場合と同様に、接続点Qに生じる変位と接線L_cの傾きの変化に起因する変位とを合算した量となる。すなわち、梁構造体31によって、接続点Qに生じる変位が増幅されて、計測点

10

20

30

40

50

Pに現れることになる。図3(c)において、計測点Pに生じる変位(初期位置P_oから変位後の位置P_cまでの変位量)は、記号d_cで示されている。ここでも、実際のトルクセンサにおいて生じる変位の大きさを考慮し、図3(c)では、点PがV軸に沿って変位するものとして、図示してある。

【0070】

比較のため、従来のトルクセンサにおいて変形体30aに生じる弾性変形について、図4を参照して簡単に説明する。従来のトルクセンサに対して負のトルクが作用すると、図4(b)に示すように、変形部36aには、図3(b)に示す変形部36と同様の弾性変形が生じる。一方、従来のトルクセンサに対して正のトルクが作用すると、図4(c)に示すように変形部36aには、図3(c)に示す変形部36と同様の弾性変形が生じる。

10

【0071】

変形部36aのうち、径方向の変位が最大の位置は、V軸と交差する位置である。このため、従来のトルクセンサでは、このV軸と交差する位置に計測点Rが規定され、この計測点RのV軸方向における変位に基づいて、作用したトルクが検出されていた。図4(b)では、計測点RのV軸方向における変位が符号d_{ta}で示されており、図4(c)では、計測点RのV軸方向における変位が符号d_{ca}で示されている。

【0072】

次に、図5は、図1に示す本実施の形態による基本構造部100(モデル1)及び図2に示す従来の基本構造部100a(モデル2)に対してトルクが作用したときの所定部位に生じる変位をFEM解析(有限要素解析)した結果を纏めて示す図表である。所定部位とは、図1に示す基本構造部100においては、梁構造体31の梁31bに規定された計測点P、及び、変形部36が正のV軸と交差する部位に規定された参照点Rであり、図2に示す基本構造部100aにおいては、変形体30aが正のV軸と交差する位置に規定された計測点Raである。

20

【0073】

図5では、本実施の形態による基本構造部100(モデル1)の参照点Rに生じるV軸方向の変位と、従来の基本構造部100a(モデル2)の計測点Raに生じるV軸方向の変位と、が共に同じ253μm(=d_{t2})であるように、各基本構造部100、100aに対してトルクを作用させている。このとき、本実施の形態による基本構造部100(モデル1)の計測点Pに生じるV軸方向の変位は、320μm(=d_{t1})となっている。このことから、本実施の形態による基本構造部(モデル1)は、従来の基本構造部100a(モデル2)と比較して、感度が1.26倍高まっていることが分かる。

30

【0074】

基本構造部100(モデル1)は、変形部36に梁構造体31が設けられている影響により、当該変形体に発生する応力について、モデル1(190MPa)とモデル2(185MPa)とで異なっているが、これは大きな差ではない。また、図5は、本実施の形態による基本構造部100が従来の基本構造部100aよりも感度が相対的に優れていることを示すものであり、図中に示されている数値の絶対値に意味があるものではない。なお、変形部36に190MPaの応力が生じるような構造設計は、機械的信頼性に欠けるため、好ましいものではないことに注意が必要である。

40

【0075】

このように、梁構造体31の存在によって、同じ大きさのトルクが作用した場合に、計測点Pに生じる変位は、参照点Rに生じる変位及び従来の基本構造部100の計測点Raに生じる変位よりも大きい。換言すれば、梁構造体31の存在によって、計測点Pにおいて、変形部36に生じる弾性変形が増幅されることになる。

【0076】

< 1-3. 本実施の形態による基本構造部を採用したトルクセンサ >

次に、図6は、図1の基本構造部100を採用したトルクセンサ100cの一例を示す概略平面図である。

【0077】

50

図 6 に示すように、トルクセンサ 100c は、図 1 に示す基本構造部 100 と、基本構造部 100 の梁構造体 31 に配置された静電容量素子 C と、静電容量素子 C に接続され、変形体 30 の変形部 36 に生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路 40 と、を備えている。

【0078】

図 6 に示すように、静電容量素子 C は、梁 31b の計測点 P に受力体 20 に面するように配置された変位電極 Em と、この変位電極 Em に対向配置された固定電極 Ef と、によって構成されている。本実施の形態では、固定電極 Ef は、受力体 20 の内周面に設けられた台座 23 上に配置されている。台座 23 は、固定電極 Ef を変位電極 Em と平行に所定の間隔で配置するためのものである。図 6 に示すように、台座 23 には、梁 31b に面する領域に変位電極 Em と平行な面が形成されているため、固定電極 Ef と変位電極 Em とは、互いに平行に（極板間距離が一定であるように）配置されている。以上のような電極の配置によって、静電容量素子 C は、正の V 軸上に形成されている。

【0079】

検出回路 40 は、変形体 30 の弾性変形に起因して梁 31b の計測点 P に生じる変位に基づいて、電作用したトルクを示す気信号を出力するようになっている。具体的には、検出回路 40 は、所定の電気配線（不図示）によって静電容量素子 C に接続されている。更に、検出回路 40 には、例えば、静電容量素子 C の静電容量値の変動量と作用したトルクの値とが対応付けられたテーブル（不図示）が格納されている。そして、検出回路 40 は、計測点 P の変位に起因して生じる静電容量素子 C の静電容量値の変動を検知すると、前記テーブルを参照してその変動量に対応するトルクを特定し、当該トルクを示す電気信号を出力するようになっている。

【0080】

次に、以上のようなトルクセンサ 100c を用いてトルクを計測する原理について説明する。

【0081】

トルクセンサ 100c の受力体 20 に負のトルク（図 6 における反時計回りのトルク）が作用すると、受力体 20 は、Z 軸回りに、固定体 10 に対して反時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ 100c の変形部 36 は、図 3（b）に示すように弾性変形する。すなわち、梁 31b の計測点 P が V 軸方向において径方向内方に d_{t1} だけ変位する。前述したように、この変位 d_{t1} は、参照点 R の変位（図 4（b）における計測点 R0 の変位に相当）よりも大きい。このような計測点 P の変位によって、静電容量素子 C を構成する変位電極 Em が径方向内方に移動する。一方、固定電極 Ef は、受力体 20 の内周面に対して固定されていることから、径方向へは移動しない。以上から、トルクセンサ 100c に負のトルクが作用すると、静電容量素子 C を構成する各電極 Ef、Em 間の離間距離が増大するため、静電容量値が減少する。

【0082】

一方、トルクセンサ 100c の受力体 20 に正のトルク（図 6 における時計回りのトルク）が作用すると、受力体 20 は、Z 軸回りに、固定体 10 に対して時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ 100c の変形部 36 は、図 3（c）に示すように弾性変形する。すなわち、梁 31b の計測点 P が V 軸方向において径方向外方に d_{c1} だけ変位する。前述したように、この変位 d_{c1} は、参照点 R の変位（図 4（c）における計測点 R0 の変位に相当）よりも大きい。このような計測点 P の変位によって、静電容量素子 C を構成する変位電極 Em が径方向外方に移動する。このため、トルクセンサ 100c に正のトルクが作用すると、静電容量素子 C を構成する各電極 Ef、Em 間の離間距離が減少するため、静電容量値が増大する。

【0083】

そして、検出回路 40 は、これらの静電容量値の変動量を検知し、予め格納されたテーブルを参照して作用したトルクを特定する。そして、特定されたトルクに対応する電気信号が、所定の出力端子（不図示）から出力される。

【0084】

以上のような本実施の形態によれば、梁構造体31の存在によって、計測点Pにおいて変形部36に生じる弾性変形が増幅されるため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサ100cを提供することができる。

【0085】

変形体30の変形部36は、Z軸方向から見て、原点Oを取り囲む円環状の形状を有している。更に、変形体30の固定部33は、Z軸方向から見て、Y軸と重なるように位置付けられており、変形体30の受力部34は、Z軸方向から見て、X軸と重なるように位置付けられている。これらのことにより、変形部36において、より効果的に弾性変形が生じることになる。

【0086】

また、梁31bの計測点Pは、正のX軸に対して45°をなすV軸上（固定部33と受力部34との中間位置）に位置付けられているため、変形部36に生じる弾性変形を、梁31bの計測点Pに生じる変位として効率的に検出することができる。

【0087】

更には、検出回路40は、梁31bの計測点Pに配置された変位電極Emと、この変位電極Emに対向するように受力体20の内周面に配置された固定電極Efと、によって構成される静電容量素子Cを有しており、この静電容量素子Cの静電容量値の変動量に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっている。このため、作用したトルクを容易に検出することができる。

【0088】

<<< §2. 本発明の第2の実施の形態によるトルクセンサ >>>

次に、本発明の第2の実施の形態によるトルクセンサ200cについて説明する。

【0089】

< 2-1. 基本構造部の構成 >

図7は、本発明の第2の実施の形態によるトルクセンサの基本構造部200を示す概略平面図である。

【0090】

図7に示すように、基本構造部200は、梁構造体231A~231Dが4つ設けられている点を除いて、図1に示す第1の実施の形態による基本構造部100と同じ構造を有している。本実施の形態では、変形体230は、Z軸方向から見て、第1象限~第4象限のそれぞれに位置する部位に生じる弾性変形が利用される。このため、図7に示すように、変形体30のうち、正のY軸上に位置する固定部233と正のX軸上に位置する受力部234とを連結する第1象限の部分を第1変形部236Aとし、負のX軸上に位置する受力部232と正のY軸上に位置する固定部233とを連結する第2象限の部分を第2変形部236Bとし、負のY軸上に位置する固定部235と負のX軸上に位置する受力部232とを連結する第3象限の部分を第3変形部236Cとし、正のX軸上に位置する受力部234と負のY軸上に位置する固定部235とを連結する第4象限の部分を第4変形部236Dとして、以下の説明を行うこととする。なお、図7に示す基本構造部200において、第1の実施の形態による基本構造部100（図1参照）と共通する構成要素には同様の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0091】

本実施の形態による基本構造部200において、4つの梁構造体は、いずれも変形体230の外周面上に配置されている。具体的には、4つの梁構造体は、第1変形部236Aに配置された第1梁構造体231Aと、第2変形部236Bに配置された第2梁構造体231Bと、第3変形部236Cに配置された第3梁構造体231Cと、第4梁構造体231Dに配置された第4梁構造体231Dと、を有している。

【0092】

第1梁構造体231Aは、第1の実施の形態による基本構造部100の梁構造体31と同じ構造で同じ位置に、配置されている。すなわち、第1梁構造体231Aは、第1変形部

10

20

30

40

50

236Aの外周面に接続された第1支持体231Afと、この第1支持体231Afによって一端が支持された第1梁231Abと、を有している。第1梁231Abには、Z軸方向から見て正のV軸と重なる位置に、当該第1梁231Abの変位を計測するための第1計測点P1が規定されている。

【0093】

残りの第2～第4梁構造体231B～231Dは、第1梁構造体231Aと同じ構造を有しており、配置されている位置のみが異なっている。すなわち、第2梁構造体231Bは、第1梁構造体231Aを時計回りに90°回転させた位置に配置されており、第1変形部236Bの外周面に接続された第2支持体231Bfと、この第2支持体231Bfによって一端が支持された第2梁231Bbと、を有している。第2梁231Bbには、Z軸方向から見て正のW軸と重なる位置に、当該第2梁231Bbの変位を計測するための第2計測点P2が規定されている。

10

【0094】

第3梁構造体231Cは、第2梁構造体231Bを時計回りに90°回転させた位置に配置されており、第3変形部236Cの外周面に接続された第3支持体231Cfと、この第3支持体231Cfによって一端が支持された第3梁231Cbと、を有している。第3梁231Cbには、Z軸方向から見て負のV軸と重なる位置に、当該第3梁231Cbの変位を計測するための第3計測点P3が規定されている。

【0095】

第4梁構造体231Dは、第3梁構造体231Cを時計回りに90°回転させた位置に配置されており、第4変形部236Dの外周面に接続された第4支持体231Dfと、この第4支持体231Dfによって一端が支持された第4梁231Dbと、を有している。第4梁231Dbには、Z軸方向から見て負のW軸と重なる位置に、当該第4梁231Dbの変位を計測するための第4計測点P4が規定されている。

20

【0096】

< 2-2. 基本構造部の作用 >

次に、上述した基本構造部200の作用について、図8及び図9を参照して説明する。

【0097】

図8は、図7の基本構造部200に負のトルクT-が作用したときの変形体230を示す模式図であり、図9は、図7の基本構造部200に正のトルクT+が作用したときの変形体230を示す模式図である。図8及び図9において、各構成要素の厚みや幅は、無視してある。

30

【0098】

基本構造部200の受力体20に負のトルクT-が作用すると、当該トルクT-は、受力体接続部21、22を介して、受力部232、234に伝達される。この結果、図8に示すように、受力部232、234は、共に反時計回りに変位する。このことにより、第1及び第3変形部236A、236Cには引張力が作用するため、各変形部236A、236Cは、曲率半径が大きくなるように弾性変形する。一方、受力部232、234の変位に伴って、第2及び第4変形部236B、236Dには圧縮力が作用するため、各変形部236B、236Dは、曲率半径が小さくなるように弾性変形する。

40

【0099】

以上のような変形体230の弾性変形によって、図8に示すように、第1梁構造体231Aの計測点P1及び第3梁構造体231Cの計測点P3は、共に変形体230の径方向内方に変位する。一方、第2梁構造体231Bの計測点P2及び第4梁構造体231Dの計測点P4は、共に変形体230の径方向外方に変位する。各計測点P1～P4に生じる変位の大きさは、各変形部236A～236Dに生じる径方向（V軸方向またはW軸方向）の変位の大きさよりも、大きい（変形体230に生じる変位が増幅される）。

【0100】

各変形部236A～236Dに生じる径方向の変位が増幅されて各計測点P1～P4に現れる原理については、上記1-2.に記載した説明によって理解され得る。というのは、

50

図 8 の第 1 変形部 2 3 6 A 及び第 1 梁構造体 2 3 1 A は、図 3 (b) に示す変形部 3 6 及び梁構造体 3 1 と同一であり、第 2 梁構造体 2 3 1 B は、図 3 (c) を Y 軸に関して対称移動させた上で梁構造体 3 1 を W 軸に関して対称移動させた構造であり、第 4 梁構造体 2 3 1 D は、図 3 (c) を X 軸に関して対称移動させた上で梁構造体 3 1 を W 軸に関して対称移動させた構造であり、第 3 梁構造体 2 3 1 C は、図 3 (b) を原点回りに 180° 回転移動した構造となっているからである。

【0101】

次に、基本構造部 2 0 0 の受力体 2 0 に正のトルク $T+$ が作用すると、図 9 に示すように、受力部 2 3 2、2 3 4 は、共に時計回りに変位する。このことにより、第 1 及び第 3 変形部 2 3 6 A、2 3 6 C には圧縮力が作用するため、各変形部 2 3 6 A、2 3 6 C は、曲率半径が小さくなるように弾性変形する。一方、受力部 2 3 2、2 3 4 の変位に伴って、第 2 及び第 4 変形部 2 3 6 B、2 3 6 D には引張力が作用するため、各変形部 2 3 6 B、2 3 6 D は、曲率半径が大きくなるように弾性変形する。

【0102】

以上のような変形体 2 3 0 の弾性変形によって、図 9 に示すように、第 1 梁構造体 2 3 1 A の計測点 P 1 及び第 3 梁構造体 2 3 1 C の計測点 P 3 は、共に変形体 3 0 の径方向外方に変位する。一方、第 2 梁構造体 2 3 1 B の計測点 P 2 及び第 4 梁構造体 2 3 1 D の計測点 P 4 は、共に変形体 2 3 0 の径方向内方に変位する。各計測点 P 1 ~ P 4 に現れる変位の大きさは、各変形部 2 3 6 A ~ 2 3 6 D に生じる径方向 (V 軸方向または W 軸方向) の変位の大きさよりも、大きい (増幅される)。

【0103】

この場合も、各変形部 2 3 6 A ~ 2 3 6 D に生じる径方向の変位が増幅されて各計測点 P 1 ~ P 4 に生じる原理については、上記 1 - 2. に記載した説明によって理解され得る。というのは、図 9 の変形体 2 3 0 は、図 8 の変形体 2 3 0 を X 軸に関して対称移動 (反転) させ、各梁構造体 2 3 1 A ~ 2 3 1 D を V 軸または W 軸に関して対称移動させた構造と同じだからである。

【0104】

< 2 - 3. 本実施の形態による基本構造部を採用したトルクセンサ >

次に、図 10 は、図 7 の基本構造部 2 0 0 を採用したトルクセンサ 2 0 0 c の一例を示す概略平面図である。

【0105】

図 10 に示すように、トルクセンサ 2 0 0 c は、図 7 に示す基本構造部 2 0 0 と、基本構造部 2 0 0 の各梁構造体 2 3 1 A ~ 2 3 1 D の梁 2 3 1 A b ~ 2 3 1 D b に 1 つずつ配置された 4 つの静電容量素子 C 1 ~ C 4 と、これらの静電容量素子 C 1 ~ C 4 に接続され、変形体 2 3 0 の各変形部 2 3 6 A ~ 2 3 6 D に生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路 2 4 0 と、を備えている。

【0106】

図 10 に示すように、4 つの静電容量素子とは、第 1 梁構造体 2 3 1 A に配置された第 1 静電容量素子 C 1 と、第 2 梁構造体 2 3 1 B に配置された第 2 静電容量素子 C 2 と、第 3 梁構造体 2 3 1 C に配置された第 3 静電容量素子 C 3 と、第 4 梁構造体 2 3 1 D に配置された第 4 静電容量素子 C 4 と、である。

【0107】

第 1 静電容量素子 C 1 は、第 1 梁 2 3 1 A b の第 1 計測点 P 1 に受力体 2 0 に面するように配置された第 1 変位電極 E m 1 と、この第 1 変位電極 E m 1 に対向配置された第 1 固定電極 E f 1 と、によって構成されている。同様に、第 2 静電容量素子 C 2 は、第 2 梁 2 3 1 B b の第 2 計測点 P 2 に受力体 2 0 に面するように配置された第 2 変位電極 E m 2 と、この第 2 変位電極 E m 2 に対向配置された第 2 固定電極 E f 2 と、によって構成されている。第 3 静電容量素子 C 3 は、第 3 梁 2 3 1 C b の第 3 計測点 P 3 に受力体 2 0 に面するように配置された第 3 変位電極 E m 3 と、この第 3 変位電極 E m 3 に対向配置された第 3 固定電極 E f 3 と、によって構成されている。第 4 静電容量素子 C 4 は、第 4 梁 2 3 1 D

bの第4計測点P4に受力体20に面するように配置された第4変位電極Em4と、この第4変位電極Em4に対向配置された第4固定電極Ef4と、によって構成されている。

【0108】

なお、第1～第4静電容量素子C1～C4は、各静電容量素子C1～C4を構成する電極の実効対向面積が全て同一であり、電極間の離間距離も全て等しく構成されている。

【0109】

図10に示すように、第1固定電極Ef1は、受力体20の内周面に設けられた第1台座23A上に配置されており、第2固定電極Ef2は、受力体20の内周面に設けられた第2台座23B上に配置されており、第3固定電極Ef3は、受力体20の内周面に設けられた第3台座23C上に配置されており、第4固定電極Ef4は、受力体20の内周面に設けられた第4台座23D上に配置されている。各台座23A～23Dには、梁231Ab～231Dbに面する領域に各変位電極Em1～Em4と平行な面が形成されているため、各固定電極Ef1～Ef4と対応する変位電極Em1～Em4とは、互いに平行に（極板間距離が一定であるように）配置されている。以上のような電極の配置によって、第1静電容量素子C1は、正のV軸上に形成されており、第2静電容量素子C2は正のW軸上に形成されており、第3静電容量素子C3は、負のV軸上に形成されており、第4静電容量素子C4は、負のW軸上に形成されている。

【0110】

検出回路240は、所定の電気配線（不図示）によって第1～第4静電容量素子C1～C4に接続されており、変形体230の弾性変形に起因して第1～第4梁231Ab～231Dbの各計測点P1～P4に生じる変位に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっている。第1の実施の形態と同様に、検出回路240には、例えば、第1～第4静電容量素子C1～C4の静電容量値の各変動量を用いて所定の演算を行うことによって得られる値と作用したトルクの値とが対応付けられたテーブル（不図示）が格納されている。検出回路240は、静電容量素子Cの静電容量値の変動を検知すると、このテーブルを参照することによって、作用したトルクを特定するようになっている。トルクの具体的な測定の詳細については、後述される。

【0111】

次に、以上のようなトルクセンサ200cを用いてトルクを計測する原理について説明する。

【0112】

トルクセンサ200cの受力体20に負のトルク（図10における反時計回りのトルク）が作用すると、受力体20は、Z軸回りに、固定体10に対して反時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ200cの第1～第4変形部236A～236Dは、図8に示すように弾性変形する。このことによって、第1静電容量素子C1及び第3静電容量素子C3においては、各静電容量素子C1、C3を構成する電極間の離間距離が増大するため、静電容量値は減少する。一方、第2静電容量素子C2及び第4静電容量素子C4においては、各静電容量素子C2、C4を構成する電極間の離間距離が減少するため、静電容量値は増大する。

【0113】

一方、トルクセンサ200cの受力体20に正のトルク（図10における時計回りのトルク）が作用すると、受力体20は、Z軸回りに、固定体10に対して時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ200cの第1～第4変形部236A～236Dは、図9に示すように弾性変形する。このことによって、第1静電容量素子C1及び第3静電容量素子C3においては、各静電容量素子C1、C3を構成する電極間の離間距離が減少するため、静電容量値は増大する。一方、第2静電容量素子C2及び第4静電容量素子C4においては、各静電容量素子C2、C4を構成する電極間の離間距離が増大するため、静電容量値は減少する。結局、受力体20に作用するトルクの向きが逆転すると、第1～第4静電容量素子C1～C4の静電容量値の変動（増大か減少か）も逆になる。

【0114】

本実施の形態では、前述したように、第1～第4梁構造体231A～231Dの存在によって、各計測点P1～P4に生じる変位は、各変形部236A～236Dに生じる変位よりも大きい。このため、静電容量素子が各変形部236A～236Dに直接配置されている従来のトルクセンサと比較して、各静電容量素子C1～C4の静電容量値の変動量は、大きい。

【0115】

以上のような静電容量素子C1～C4の静電容量値の変動に鑑み、検出回路240は、次の〔式1〕を用いてトルクセンサ200cに作用したZ軸回りのトルクTを算出する。〔式1〕において、C1～C4は、第1～第4静電容量素子C1～C4の静電容量値の変動量を示している。

【0116】

〔式1〕

$$T = C1 - C2 + C3 - C4$$

そして、検出回路240は、予め格納されたテーブルを参照して、〔式1〕に基づいて得られる値から、作用したトルクを特定する。そして、特定されたトルクに対応する電気信号が、所定の出力端子（不図示）から出力される。

【0117】

以上のような本実施の形態によれば、4つの梁構造体231A～231Dの存在によって、変形体230の変形部236A～236Dに生じる弾性変形が各計測点P1～P4において増幅される。このため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサ200cを提供することができる。

【0118】

本実施の形態においても、2つの固定部233、235は、Z軸方向から見て、変形体230とX軸とが重なる部位にY軸対称に位置付けられ、2つの受力部232、234は、Z軸方向から見て、変形体230とY軸とが重なる部位にX軸対称に位置付けられている。更には、各計測点P1～P4は、正のW軸上、正のV軸上、負のW軸上及び負のV軸上に1つずつ位置付けられている。これらのことによって、第1～第4変形部236A～236Dに生じる弾性変形を、第1～第4梁231Ab～231Dbの各計測点P1～P4に生じる変位として効率的に検出することができる。

【0119】

また、本実施の形態の検出回路240は、第1～第4梁231Ab～231Dbの各計測点P1～P4に1つずつ配置された4つの変位電極Em1～Em4と、これらの変位電極Em1～Em4に対向配置された固定電極Ef1～Ef4と、によって構成された4組の静電容量素子C1～C4を有している。そして、検出回路240は、前述した〔式1〕に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっている。このため、作用したトルクを容易に検出できると共に、Z軸まわりのトルク以外の力（X，Y，Zの各軸方向の力やX軸、Y軸回りのトルク）による影響や、使用環境の温度変化による影響を受けることなく、Z軸回りのトルクのみを検出することができる。

【0120】

<<< §3. 本発明の第3の実施の形態によるトルクセンサ >>>

次に、本発明の第3の実施の形態によるトルクセンサ300cについて説明する。

【0121】

< 3-1. 基本構造部の構成 >

図11は、本発明の第3の実施の形態によるトルクセンサの基本構造部300を示す概略平面図である。

【0122】

図11に示すように、基本構造部300は、4つの梁構造体331E～331Hが変形体330の内周面にも設けられている点を除いて、図7に示す第2の実施の形態による基本構造部200と同じ構造を有している。このため、図11に示す基本構造部200において、第2の実施の形態による基本構造部200（図1参照）と共通する構成要素には同様

10

20

30

40

50

の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0123】

但し、説明の便宜上、変形体330の外周面に配置された、第2の実施の形態と共通の梁構造体を次のように置き換えることとする。すなわち、XY平面の第1象限に配置された梁構造体を第1外側梁構造体331Aとし、XY平面の第2象限に配置された梁構造体を第2外側梁構造体331Bとし、XY平面の第3象限に配置された梁構造体を第3外側梁構造体331Cとし、XY平面の第4象限に配置された梁構造体を第4外側梁構造体331Dとする。

【0124】

本実施の形態による基本構造部300は、変形体330の内周面に、変形体330の第1変形部336Aに配置された第1内側梁構造体331E、第2変形部336Bに配置された第2内側梁構造体331F、第3変形部336Cに配置された第3内側梁構造体331G、及び、第4変形部336Dに配置された第4内側梁構造体331H、の4つの梁構造体を追加的に有している。

10

【0125】

図11に示すように、第1内側梁構造体331Eは、第1変形部336Aの内周面に接続された第1内側支持体331Efと、この第1内側支持体331Efによって一端が支持された第1内側梁331Ebと、を有している。第1内側梁331Ebは、第1外側梁構造体331Aの梁331Abと平行に延在している。更に、第1内側梁331Ebには、Z軸方向から見て正のV軸と重なる位置に、当該第1内側梁331Ebの変位を計測するための計測点P21が規定されている。

20

【0126】

また、図11に示すように、第1内側支持体331Efと変形体330との接続部位は、当該変形体330の周方向において、第1外側梁構造体331Aの第1外側支持体331Afと変形体330との接続部位と同じである。図11に示すように、同様のことが、第2～第4内側梁構造体331F～331Hと、その各々に対応する第2～第4外側梁構造体331B～331Dと、の間においても、成り立っている。

【0127】

第2内側梁構造体331Fは、第2変形部336Bの内周面に接続された第2内側支持体331Ffと、この第2内側支持体331Ffによって一端が支持された第2内側梁331Fbと、を有している。第2内側支持体331Ffと変形体330との接続部位は、当該変形体330の周方向において、第2外側梁構造体331Bの第2内側支持体331Bfと変形体330との接続部位と同じである。第2内側梁331Fbは、第2外側梁構造体331Bの梁331Bbと平行に延在している。更に、第2内側梁331Fbには、Z軸方向から見て正のW軸と重なる位置に、当該第2内側梁331Fbの変位を計測するための計測点P22が規定されている。

30

【0128】

第3内側梁構造体331Gは、第3変形部336Cの内周面に接続された第3内側支持体331Gfと、この第3内側支持体331Gfによって一端が支持された第3内側梁331Gbと、を有している。第3内側支持体331Gfと変形体330との接続部位は、当該変形体330の周方向において、第3外側梁構造体331Cの第3内側支持体331Cfと変形体330との接続部位と同じである。第3内側梁331Gbは、第3外側梁構造体331Cの梁331Cbと平行に延在している。更に、第3内側梁331Gbには、Z軸方向から見て負のV軸と重なる位置に、当該第3内側梁331Gbの変位を計測するための計測点P23が規定されている。

40

【0129】

更に、第4内側梁構造体331Hは、第4変形部336Dの内周面に接続された第4内側支持体331Hfと、この第4内側支持体331Hfによって一端が支持された第4内側梁331Hbと、を有している。第4内側支持体331Hfと変形体330との接続部位は、当該変形体330の周方向において、第4外側梁構造体331Dの第4内側支持体3

50

3 1 D fと変形体3 3 0との接続部位と同じである。第4内側梁3 3 1 H bは、第4外側梁構造体3 3 1 Dの梁3 3 1 D bと平行に延在している。更に、第4内側梁3 3 1 H bには、Z軸方向から見て負のW軸と重なる位置に、当該第4内側梁3 3 1 H bの変位を計測するための計測点P 2 4が規定されている。

【0 1 3 0】

本実施の形態では、第1～第4内側梁構造体3 3 1 E～3 3 1 Hは、互いに同じ構造を有しており、取り付け位置のみが異なっている。

【0 1 3 1】

結局、図1 1に示す例では、第1～第4外側梁構造体3 3 1 A～3 3 1 Dと対応する変形部3 3 6 A～3 3 6 Dとの接続部位と、第1～第4内側梁構造体3 3 1 E～3 3 1 Hと対応する変形部3 3 6 E～3 3 6 Hとの接続部位と、が変形体3 3 0の周方向において同じ位置に配置されている。更に、図1 1に示す例では、第1～第4外側梁3 3 1 A b～3 3 1 D bと対応する第1～第4内側梁3 3 1 E A b～3 3 1 H bとが互いに平行となっている。

【0 1 3 2】

もちろん、このような形態には限定されず、他の実施の形態では、第1～第4内側梁構造体3 3 1 E～3 3 1 Hと対応する変形部3 3 6 E～3 3 6 Hとの接続部位と、が変形体3 3 0の周方向において異なる位置に配置されていても良い。また、第1～第4外側梁3 3 1 A b～3 3 1 D bと対応する第1～第4内側梁3 3 1 E A b～3 3 1 H bとが互いに非平行となっても良い。

【0 1 3 3】

< 3-2. 基本構造部の作用 >

次に、上述した基本構造部3 0 0の作用について、図1 2及び図1 3を参照して説明する。

【0 1 3 4】

図1 2は、図1 1の基本構造部3 0 0に対して負のトルクT-が作用したときの変形体3 3 0を示す模式図であり、図1 3は、図1 1の基本構造部3 0 0に対して正のトルクT+が作用したときの変形体3 3 0を示す模式図である。図1 2及び図1 3において、各構成要素の厚みや幅は、無視してある。

【0 1 3 5】

基本構造部3 0 0の受力体2 0に負のトルクT-が作用すると、変形体3 3 0は、図8に示す第2の実施の形態による基本構造部2 0 0と同様に弾性変形する。前述したように、変形体3 3 0の外周面に配置されている第1～第4外側梁構造体3 3 1 A～3 3 1 Dは、図8に示す第1～第4梁構造体2 3 1 A～2 3 1 Dと同一である。このため、第1～第4外側梁構造体3 3 1 A～3 3 1 Dは、変形体3 3 0の弾性変形によって、当該第1～第4梁構造体2 3 1 A～2 3 1 Dと同じ挙動を示す。すなわち、図1 2に示すように、第1及び第3外側梁構造体3 3 1 A、3 3 1 Cの各計測点P 1 1、P 1 3は、共に、実質的にV軸に沿って、変形体3 3 0の径方向内方に変位する。一方、第2及び第4外側梁構造体3 3 1 B、3 3 1 Dの各計測点P 1 2、P 1 4は、共に、実質的にW軸に沿って、変形体3 3 0の径方向外方に変位する。

【0 1 3 6】

次に、第1～第4内側梁構造体3 3 1 E～3 3 1 Hが示す挙動については、次の通りである。まず、第1内側梁構造体3 3 1 Eは、前述したように、第1内側梁3 3 1 E bと第1外側梁構造体3 3 1 Aの第1梁3 3 1 A bとが互いに平行であるように構成されている。このことから、第1内側梁3 3 1 Eの計測点P 2 1は、第1梁3 3 1 A bの計測点P 1 1と同様に、実質的にV軸に沿って、変形体3 3 0の径方向内方に変位する。更に、第2～第4内側梁構造体3 3 1 F～3 3 1 Hは、各内側梁3 3 1 F b～3 3 1 H bが、対応する外側梁構造体3 3 1 B～3 3 1 Dの梁3 3 1 B b～3 3 1 D bと互いに平行であるように構成されている。これらのことから、第2～第4内側梁3 3 1 F～3 3 1 Hの各計測点P 2 2～P 2 4は、対応する外側梁構造体3 3 1 B～3 3 1 Dの各計測点P 1 2～P 1 4と同じ方向に変位する。すなわち、第2及び第4内側梁3 3 1 F b、3 3 1 H bの各計測点

P 2 2、P 2 4は、W軸に沿って変形体 3 3 0の径方向外側に変位し、第 3 内側梁 3 3 1 G bの計測点 P 2 3は、V軸に沿って径方向内側に変位する。

【 0 1 3 7 】

第 1～第 4 内側梁 3 3 1 E b～3 3 1 H bの各計測点 P 2 1～P 2 4に生じる変位の大きさは、各変形部 3 3 6 A～3 3 6 Dに生じる径方向（V軸方向またはW軸方向）の変位の大きさよりも、大きい（変形体 3 3 0に生じる変位が増幅される）。これは、第 1～第 4 外側梁 3 3 1 A b～3 3 1 D bの各計測点 P 1 1～P 1 4に生じる変位の大きさが、各変形部 3 3 6 A～3 3 6 Dに生じる径方向（V軸方向またはW軸方向）の変位の大きさよりも大きいことと、同じ理由による。というのは、各内側梁構造体 3 3 1 E～3 3 1 Hは、当該外側梁構造体 3 3 1 A～3 3 1 Dを、変形体 3 3 0との接続点 Q 1～Q 4（図 8 参照）における接線に関して反転させた構造を有しているからである。但し、各内側梁 3 3 1 E b～3 3 1 H bの長さは、対応する外側梁構造体 3 3 1 A～3 3 1 Dの梁 3 3 1 A b～3 3 1 D bの長さとも必ずしも一致している必要はない。

【 0 1 3 8 】

次に、基本構造部 3 0 0の受力体 2 0に正のトルク T +が作用すると、図 1 3に示すように、受力部 3 3 2、3 3 4は、共に時計回りに変位する。このことにより、変形体 3 3 0は、図 9に示す第 2の実施の形態による基本構造部 2 0 0と同様に弾性変形する。変形体 3 3 0の外周面に配置されている第 1～第 4 外側梁構造体 3 3 1 A～3 3 1 Dは、図 9に示す第 1～第 4 梁構造体 2 3 1 A～2 3 1 Dと同一であるから、変形体 3 3 0の弾性変形によって、当該第 1～第 4 梁構造体 2 3 1 A～2 3 1 Dと同じ挙動を示す。すなわち、図 1 3に示すように、第 1及び第 3 外側梁構造体 3 3 1 A、3 3 1 Cの各計測点 P 1 1、P 1 3は、共に、実質的にW軸に沿って、変形体 3 3 0の径方向外側に変位する。一方、第 2及び第 4 外側梁構造体 3 3 1 B、3 3 1 Dの各計測点 P 1 2、P 1 4は、共に、実質的にV軸に沿って、変形体 3 3 0の径方向内側に変位する。この場合も、各計測点 P 2 1～P 2 4に生じる変位の大きさは、各変形部 3 3 6 A～3 3 6 Dに生じる径方向（V軸方向またはW軸方向）の変位の大きさよりも、大きい（変形体 3 3 0に生じる変位が増幅される）。

【 0 1 3 9 】

< 3-3. 本実施の形態による基本構造部を採用したトルクセンサ >

次に、図 1 4は、図 1 1の基本構造部 3 0 0を採用したトルクセンサ 3 0 0 cの一例を示す概略平面図である。

【 0 1 4 0 】

図 1 4に示すように、トルクセンサ 3 0 0 cは、図 1 1に示す基本構造部 3 0 0と、基本構造部 3 0 0の 8つの梁構造体 3 3 1 A～3 3 1 Hの各梁 3 3 1 A b～3 3 1 H bに 1つずつ配置された 8つの静電容量素子 C 1 1～C 2 4と、これらの静電容量素子 C 1 1～C 2 4に接続され、変形体 3 3 0の各変形部 3 3 6 A～3 3 6 Dに生じる弾性変形に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力する検出回路 3 4 0と、を備えている。

【 0 1 4 1 】

図 1 4に示すように、8つの静電容量素子とは、第 1 外側梁構造体 3 3 1 Aに配置された第 1 外側静電容量素子 C 1 1と、第 2 外側梁構造体 3 3 1 Bに配置された第 2 外側静電容量素子 C 1 2と、第 3 外側梁構造体 3 3 1 Cに配置された第 3 外側静電容量素子 C 1 3と、第 4 梁構造体 3 3 1 Dに配置された第 4 外側静電容量素子 C 1 4と、第 1 内側梁構造体 3 3 1 Eに配置された第 1 内側静電容量素子 C 2 1と、第 2 内側梁構造体 3 3 1 Fに配置された第 2 内側静電容量素子 C 2 2と、第 3 内側梁構造体 3 3 1 Gに配置された第 3 内側静電容量素子 C 2 3と、第 4 内側梁構造体 3 3 1 Hに配置された第 4 内側静電容量素子 C 2 4と、である。

【 0 1 4 2 】

これら 8つの静電容量素子のうち、変形体 3 3 0の外側に配置された第 1～第 4 外側静電容量素子 C 1 1～C 1 4は、第 2の実施の形態によるトルクセンサ 2 0 0 cに配置された第 1～第 4 静電容量素子 C 1～C 4と同じ構成である。但し、説明の便宜上、第 1～第 4

外側静電容量素子C 1 1～C 1 4を構成する各電極について、変位電極を外側変位電極E m 1 1～E m 1 4と呼び、固定電極を外側固定電極E f 1 1～E f 1 4と呼ぶこととする。

【0 1 4 3】

変形体3 3 0の内側に配置された第1～第4内側静電容量素子C 2 1～C 2 4について、第1内側静電容量素子C 2 1は、第1内側梁3 3 1 E bの計測点P 2 1に固定体1 0に面するように配置された第1内側変位電極E m 2 1と、この第1内側変位電極E m 2 1に対向配置された第1内側固定電極E f 2 1と、によって構成されている。同様に、第2内側静電容量素子C 2 2は、第2内側梁3 3 1 F bの計測点P 2 2に固定体1 0に面するように配置された第2内側変位電極E m 2 2と、この第2内側変位電極E m 2 2に対向配置された第2内側固定電極E f 2 2と、によって構成されている。第3内側静電容量素子C 2 3は、第3内側梁3 3 1 G bの計測点P 2 3に固定体1 0に面するように配置された第3内側変位電極E m 2 3と、この第3内側変位電極E m 2 3に対向配置された第3内側固定電極E f 2 3と、によって構成されている。第4内側静電容量素子C 2 4は、第4内側梁3 3 1 H bの計測点P 2 4に固定体1 0に面するように配置された第4内側変位電極E m 2 4と、この第4内側変位電極E m 2 4に対向配置された第4内側固定電極E f 2 4と、によって構成されている。

【0 1 4 4】

なお、第2の実施の形態によるトルクセンサ2 0 0 cと同様に、第1～第4外側静電容量素子C 1 1～C 1 4は、各外側静電容量素子C 1 1～C 1 4を構成する電極の実効対向面積が全て同一であり、電極間の離間距離も全て等しく構成されている。更に、第1～第4内側静電容量素子C 2 1～C 2 4は、各内側静電容量素子C 2 1～C 2 4を構成する電極の実効対向面積が全て同一であり、電極間の離間距離も全て等しく構成されている。

【0 1 4 5】

図1 4に示すように、第1外側固定電極E f 1 1は、受力体2 0の内周面に設けられた第1台座2 3 A上に配置されており、第2外側固定電極E f 1 2は、受力体2 0の内周面に設けられた第2台座2 3 B上に配置されており、第3外側固定電極E f 1 3は、受力体2 0の内周面に設けられた第3台座2 3 C上に配置されており、第4外側固定電極E f 1 4は、受力体2 0の内周面に設けられた第4台座2 3 D上に配置されている。図1 4に示すように、各台座2 3 A～2 3 Dには、外側梁2 3 1 A b～2 3 1 D bに面する領域に各外側変位電極E m 1 1～E m 1 4と平行な面が形成されていることにより、各外側固定電極E f 1 1～E f 1 4と対応する外側変位電極E m 1 1～E m 1 4とは、互いに平行に（極板間距離が一定であるように）配置されている。以上のような電極の配置によって、第1外側静電容量素子C 1 1は、正のV軸上に形成されており、第2外側静電容量素子C 1 2は正のW軸上に形成されており、第3外側静電容量素子C 1 3は、負のV軸上に形成されており、第4外側静電容量素子C 1 4は、負のW軸上に形成されている。

【0 1 4 6】

更に、第1内側固定電極E f 2 1は、固定体1 0の外周面に設けられた第1内側台座1 3 A上に配置されており、第2内側固定電極E f 2 2は、固定体1 0の外周面に設けられた第2内側台座1 3 B上に配置されており、第3内側固定電極E f 2 3は、固定体1 0の外周面に設けられた第3内側台座1 3 C上に配置されており、第4内側固定電極E f 2 4は、固定体1 0の外周面に設けられた第4内側台座1 4 C上に配置されている。図1 4に示すように、各内側台座1 3 A～1 3 Dには、内側梁3 3 1 E b～3 3 1 H bに面する領域に各内側変位電極E m 2 1～E m 2 4と平行な面が形成されていることにより、各内側固定電極E f 2 1～E f 2 4と対応する内側変位電極E m 2 1～E m 2 4とは、互いに平行に（極板間距離が一定であるように）配置されている。以上のような電極の配置によって、第1内側静電容量素子C 2 1は、正のV軸上に形成されており、第2内側静電容量素子C 2 2は正のW軸上に形成されており、第3内側静電容量素子C 2 3は、負のV軸上に形成されており、第4内側静電容量素子C 2 4は、負のW軸上に形成されている。

【0 1 4 7】

検出回路3 4 0は、所定の電気配線（不図示）によって第1～第4外側静電容量素子C 1

10

20

30

40

50

1～C 1 4 及び第 1～第 4 内側静電容量素子 C 2 1～C 2 4 に接続されている。そして、当該検出回路 3 4 0 は、変形体 3 3 0 の弾性変形に起因して、第 1～第 4 外側梁 3 3 1 A b～3 3 1 D b の各計測点 P 1 1～P 1 4 に生じる変位、及び、第 1～第 4 内側梁 3 3 1 E b～3 3 1 H b の各計測点 P 2 1～P 2 4 に生じる変位、の少なくとも一方、に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっている。検出回路 3 4 0 には、例えば、第 1～第 4 外側静電容量素子 C 1 1～C 1 4 の静電容量値の各変動量を用いて、後述される所定の演算を行うことによって得られる値と、作用したトルクの値と、が対応付けられたテーブル（不図示）、及び、第 1～第 4 内側静電容量素子 C 2 1～C 2 4 の静電容量値の各変動量を用いて、後述される所定の演算を行うことによって得られる値と、作用したトルクの値と、が対応付けられたテーブル（不図示）が格納されている。検出回路 3 4 0 は、各静電容量素子 C 1 1～C 2 4 の静電容量値の変動量を検知すると、このテーブルを参照することによって、作用したトルクを特定するようになっている。

10

【0 1 4 8】

次に、以上のようなトルクセンサ 3 0 0 c を用いてトルクを計測する原理について説明する。

【0 1 4 9】

トルクセンサ 3 0 0 c の受力体 2 0 に負のトルク（図 1 4 における反時計回りのトルク）が作用すると、受力体 2 0 は、Z 軸回りに、固定体 1 0 に対して反時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ 3 0 0 c の第 1～第 4 変形部 3 3 6 A～3 3 6 D は、図 1 2 に示すように弾性変形する。このことによって、第 1 外側静電容量素子 C 1 1、第 3 外側静電容量素子 C 1 3、第 2 内側静電容量素子 C 2 2 及び第 4 内側静電容量素子 C 2 4 においては、各静電容量素子 C 1 1、C 1 3、C 2 2、C 2 4 を構成する電極間の離間距離が増大するため、静電容量値は減少する。一方、第 2 外側静電容量素子 C 1 2、第 4 外側静電容量素子 C 1 4、第 1 内側静電容量素子 C 2 1 及び第 3 内側静電容量素子 C 2 3 においては、各静電容量素子 C 1 2、C 1 4、C 2 1、C 2 3 を構成する電極間の離間距離が減少するため、静電容量値は増大する。

20

【0 1 5 0】

一方、トルクセンサ 3 0 0 c の受力体 2 0 に正のトルク（図 1 4 における時計回りのトルク）が作用すると、受力体 2 0 は、Z 軸回りに、固定体 1 0 に対して時計回りに回転する。このことによって、トルクセンサ 3 0 0 c の第 1～第 4 変形部 3 3 6 A～3 3 6 D は、図 1 3 に示すように弾性変形する。このことによって、第 1 外側静電容量素子 C 1 1、第 3 外側静電容量素子 C 1 3、第 2 内側静電容量素子 C 2 2 及び第 4 内側静電容量素子 C 2 4 においては、各静電容量素子 C 1 1、C 1 3、C 2 2、C 2 4 を構成する電極間の離間距離が減少するため、静電容量値は増大する。一方、第 2 外側静電容量素子 C 1 2、第 4 外側静電容量素子 C 1 4、第 1 内側静電容量素子 C 2 1 及び第 3 内側静電容量素子 C 2 3 においては、各静電容量素子 C 1 2、C 1 4、C 2 1、C 2 3 を構成する電極間の離間距離が増大するため、静電容量値は減少する。結局、受力体 2 0 に作用するトルクの向きが逆転すると、各静電容量素子 C 1 1～C 2 4 の静電容量値の変動（増大か減少か）も逆になる。

30

【0 1 5 1】

本実施の形態では、前述したように、梁構造体 3 3 1 A～3 3 1 H の存在によって、各計測点 P 1 1～P 2 4 に生じる変位は、各変形部 3 3 6 A～3 3 6 D に生じる変位よりも大きい。このため、静電容量素子が各変形部 3 3 6 A～3 3 6 D に直接配置されている従来のトルクセンサと比較して、各静電容量素子 C 1 1～C 2 4 の静電容量値の変動量は、大きい。

40

【0 1 5 2】

以上のような静電容量素子 C 1 1～C 2 4 の静電容量値の変動に鑑み、検出回路 3 4 0 は、次の〔式 2〕に示す T 1 または T 2 のいずれかを用いて、トルクセンサ 2 0 0 c に作用した Z 軸回りのトルク T を算出する。T 1 は、外側静電容量素子 C 1 1～C 1 4 を用いて作用したトルク T を計測するための式であり、T 2 は、内側静電容量素子 C 2 1～C 2 4

50

を用いて作用したトルクを計測するための式である。また、〔式 2〕において、 $C_{11} \sim C_{24}$ は、第 1 ～ 第 4 外側静電容量素子 $C_{11} \sim C_{14}$ 及び第 1 ～ 第 4 内側静電容量素子 $C_{21} \sim C_{24}$ の静電容量値の変動量を示している。

【0153】

〔式 2〕

$$T_1 = C_{11} - C_{12} + C_{13} - C_{14}$$

$$T_2 = C_{21} - C_{22} + C_{23} - C_{24}$$

あるいは、〔式 2〕に代えて、次の〔式 3〕を用いて作用したトルクを計測することも可能である。この〔式 3〕は、〔式 2〕に示す T_1 と T_2 との和である。

【0154】

〔式 3〕

$$T_3 = (C_{11} + C_{21}) - (C_{12} + C_{22}) + (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24})$$

そして、検出回路 340 は、予め格納されたテーブルを参照して、〔式 2〕または〔式 3〕に基づいて得られる値から、作用したトルクを特定する。そして、特定されたトルクに対応する電気信号が、所定の出力端子（不図示）から出力される。

【0155】

更に、本実施の形態によるトルクセンサ 300c は、次のようにして、当該トルクセンサ 300c が正常に機能しているか否かをも診断することができる。すなわち、トルクセンサ 300c は、〔式 2〕に示すように、第 1 ～ 第 4 外側静電容量素子 $C_{11} \sim C_{14}$ の 4 つの静電容量素子と、第 1 ～ 第 4 内側静電容量素子 $C_{21} \sim C_{24}$ の 4 つの静電容量素子と、のいずれを用いても作用したトルクを計測することが可能である。したがって、トルクセンサ 300c が正常に機能している場合には、〔式 2〕に示す T_1 に基づいて計測されたトルクの値と、 T_2 に基づいて計測されたトルクの値と、は実質的に同じ値になる。一方、トルクセンサ 300c が正常に機能していない場合には、〔式 2〕に示す T_1 に基づいて計測されたトルクの値と、 T_2 に基づいて計測されたトルクの値と、は実質的に異なる値になる。

【0156】

このことに基づき、 T_1 に基づいて計測されたトルクの値と T_2 に基づいて計測されたトルクの値との差 ($T_1 - T_2$) が所定の閾値を超えているとき、トルクセンサ 300c が正常に機能していない（故障している）と判定され得る。なお、本実施の形態では、当該所定の閾値は、予め検出回路 340 内に格納されている。

【0157】

以上のような本実施の形態によれば、第 1 ～ 第 4 外側梁構造体 331A ～ 331D 及び第 1 ～ 第 4 内側梁構造体 331E ～ 331H の存在によって、変形体 330 に生じる弾性変形が計測点 P11 ～ P24 において増幅される。このため、高荷重のトルクに対応可能でありながら、高精度且つ高感度でトルクを検出可能なトルクセンサ 300c を提供することができる。

【0158】

本実施の形態でも、2 つの固定部 333、335 は、Z 軸方向から見て、変形体 330 と Y 軸とが重なる部位に X 軸対称に位置付けられており、2 つの受力部 332、334 は、Z 軸方向から見て、変形体 330 と X 軸とが重なる部位に Y 軸対称に位置付けられている。このため、各変形部 336A ～ 336D に効果的に弾性変形を生じさせることができる。

【0159】

また、4 つの外側梁構造体 331A ～ 331D の各計測点 P11 ～ P14 は、正の V 軸上、正の W 軸上、負の V 軸上及び負の W 軸上に 1 つずつ位置付けられており、4 つの内側梁構造体 331E ～ 331H の各計測点 P21 ～ P24 も、正の V 軸上、正の W 軸上、負の V 軸上及び負の W 軸上に 1 つずつ位置付けられている。このため、計測点 P11 ～ P24 において、対応する変形部 336A ～ 336D に生じる弾性変形を効率的に増幅させることができる。

10

20

30

40

50

【0160】

本実施の形態の検出回路340は、[式2]に示すT1及びT2の少なくとも一方に基づいて、作用したトルクを示す電気信号を出力するようになっている。このため、いずれの式T1、T2を用いた場合でも、作用したトルクを容易に検出することができると共に、Z軸まわりのトルク以外の力(X, Y, Z軸方向の力やX, Z軸回りのトルク)による影響や、使用環境の温度変化による影響を受けることなく、所望のトルクを検出することができる。

【0161】

更に、検出回路340は、第1～第4外側静電容量素子C11～C14の静電容量値の変動量に基づいて計測されたトルクT1と、第1～第4内側静電容量素子C21～C24の静電容量値の変動量に基づいて計測されたトルクと、を比較することによって、トルクセンサ300cが正常に機能しているか否かを判定するようになっている。このため、作用したトルクを検出することに加え、単一のトルクセンサ300cによって、その故障診断をも行うことができる。

【0162】

<<< §4. 各実施の形態における梁構造体の変形例 >>>

以上に示した各実施の形態では、梁構造体は、いわゆる片持ち梁として構成されていた。片持ち梁は、梁の一端が自由端となっているため、両持ち梁と比較して、共振周波数が低く、外部の振動の影響を受けやすい。例えば、各実施の形態によるトルクセンサ100c、200c、300cをモーターに直結した場合、各梁構造体(片持ち梁)とモーターの振動数(数kHz)とが一致してしまう可能性がある。更に、梁構造体は、外部環境において生じる振動の影響も受ける。この場合、トルクセンサ100c、200c、300cに設けられた梁構造体に生じる振動がノイズとして出力される電気信号に加えられることになる。すなわち、トルクセンサ100c、200c、300cが設置される環境において発生する振動の影響によって、当該トルクセンサ100c、200c、300cの出力も振動してしまい、作用するトルクが正確に検出できないおそれがある。

【0163】

このような問題の解決策の一案として、図15及び図16に示すように、梁構造体を両持ち梁にて構成することが有効である。

【0164】

図15は、図10の変形例を示す概略平面図であり、図16は、図10の他の変形例を示す概略平面図である。ここでは、主として図10(第2の実施の形態)の変形例について説明を行うが、同様の構造を、図6(第1の実施の形態)及び図14(第3の実施の形態)にて採用することもできる。

【0165】

図15に示すように、本変形例によるトルクセンサ201cは、各梁構造体231A～231Dの梁231Ab～231Dbの先端と固定体10または受力体20とを連結する連結体231Ac～231Dcを有している点で、第2の実施の形態によるトルクセンサ200cと異なっている。

【0166】

具体的には、固定体10は、正のY軸上に位置する固定体接続部11に、変形体230の固定部233を介してY軸正方向に延び出た第1延出部11eと、負のY軸上に位置する固定体接続部12に、変形体230の固定部235を介してY軸負方向に延び出た第2延出部12eと、を有している。各延出部11e、12eの先端と受力体20の内周面との間には所定の隙間が存在している。そして、図15に示すように、第1梁構造体231Aの梁231Abの先端と第1延出部11eとが柔軟な第1連結体231Acによって連結されている。更に、第2梁構造体231Bの梁231Bbの先端と受力体接続部21とが柔軟な第2連結体231Bcによって連結されており、第3梁構造体231Cの梁231Cbの先端と第2延出部12eとが柔軟な第3連結体231Ccによって連結されており、第4梁構造体231Dの梁231Dbの先端と受力体接続部22とが柔軟な第4連結体

231Dcによって連結されている。

【0167】

あるいは、図16に示すように、延出部11e、12eに代えて、受力体20の内周面のうちY軸上に位置する2つの部位に径方向内側に突出した第1突出部24及び第2突出部25を設けても良い。この場合、第1連結体231Acの一端を第1延出部11eに代えて第1突出部24に連結し、第3連結体231Ccの一端を第2延出部12eに代えて第2突出部25に連結すれば良い。

【0168】

以上のような両持ち梁による梁構造体を有するトルクセンサ201c、202cによれば、連結体231Ac～231Dcの存在によって、外部環境において生じる振動が減衰されて梁構造体231A～231Dに伝達されることになる。このため、トルクセンサ201c、202cから出力される電気信号に含まれるノイズが低減または除去され、トルクの計測をより高精度で行うことができる。

【0169】

なお、以上のような両持ち梁による構造体を第1の実施の形態によるトルクセンサ100c（図6参照）に採用する場合には、図15に示すトルクセンサ201cまたは図16に示すトルクセンサ202cの第1象限に示されている構造を採用すればよい。また、以上のような両持ち梁による構造体を第3の実施の形態によるトルクセンサ300c（図14参照）に採用する場合、第1～第4外側梁構造体331A～331Dについては、図15に示すトルクセンサ201cまたは図16に示すトルクセンサ202cと同じ構造を採用することができる。残りの第1～第4内側梁構造体331E～331Hについては、例えば、第1及び第3内側梁331Eb、331Gbの先端と固定体接続部11、12とを柔軟な連結体でそれぞれ連結し、第2及び第4内側梁331Fb、331Hbの先端と固定体10とを柔軟な連結体で接続すればよい。

【0170】

<<< §4. 極板間の実効対向面積を一定に保つための工夫 >>>

以上の各トルクセンサは、トルクが作用した結果、固定電極に対する変位電極の相対位置が変化した場合にも、静電容量素子を構成する一対の電極の実効対向面積が変化しないように、各静電容量素子を構成する固定電極および変位電極のうち一方の面積を他方の面積よりも大きく設定することも考えられる。これは、面積が小さい方の電極（例えば変位電極）の輪郭を、面積が大きい方の電極（例えば固定電極）の表面に当該電極の法線方向に投影して正射影投影像を形成した場合、面積が小さい方の電極の投影像が、面積が大きい方の電極の表面内に完全に含まれるような状態である。この状態が維持されれば、両電極によって構成される静電容量素子の実効面積は、小さい方の電極の面積に等しくなり、常に一定になる。すなわち、力の検出精度を向上させることができる。

【0171】

これまでに説明してきた各実施の形態及び変形例の各々は、対応する各図面に示されているように、固定電極の面積の方が変位電極の面積よりも大きく構成されている。

【0172】

<<< §5. その他の変形例 >>>

以上に示した各実施の形態及び変形例において、受力体20をXYZ三次元座標系に対して固定された固定体とし、固定体10をZ軸回りに回転可能な受力体として構成することも可能である。このようなトルクセンサの受力体（以上の各実施の形態及び変形例における固定体10に相当）に正のトルクが作用すると、変形体30、230、330には、以上の各実施の形態及び変形例による各トルクセンサにおいて受力体20に負のトルクが作用した場合と同様の弾性変形が生じる。その一方、このようなトルクセンサの受力体に負のトルクが作用すると、変形体30、230、330には、以上の各実施の形態及び変形例による各トルクセンサにおいて受力体20に正のトルクが作用した場合と同様の弾性変形が生じる。したがって、このトルクセンサによってトルクを計測する場合には、上述した〔式1〕～〔式3〕において、T、T1、T2及びT3を-T、-T1、-T2及び-

T 3 にそれぞれ読み替えればよい。

【0173】

次に、図17は、図10の更に他の変形例によるトルクセンサ203cを示す概略平面図である。図17に示すように、本変形例では、固定電極Ef1～Ef4を支持する台座23Ac～23Dcが受力体20から離間して配置されている点で、図10の例とは異なっている。本変形例において、台座23Ac～23Dcは、図17の手前側から奥側に向かって延在しており、奥側の端部が固定体10に接続されている。これにより、台座23Ac～23Dcは、固定体10に対して移動しないようになっている。図10に示すトルクセンサ200cでは、台座23Ac～23Dcが受力体20の内面上に配置されている。

【0174】

このため、受力体20にZ軸回りのトルク以外の力（例えばX軸方向の力、Y軸方向の力）が作用すると、受力体20と共に各固定電極Ef1～Ef4がZ軸方向及び／＼Y軸方向に移動してしまう。これに対し、図17に示すトルクセンサ203cでは、受力体20にZ軸回りのトルク以外の力（例えばX軸方向の力、Y軸方向の力）が作用して、受力体20の中心位置がZ軸方向から見て原点Oと一致しなくなっても、各固定電極Ef1～Ef4がその影響によって変位してしまうことが無い。これにより、図17に示すトルクセンサは、作用したトルクを一層安定的に計測することができる。

【0175】

もちろん、このような台座の配置は、これまで説明したトルクセンサ100c（図6参照）、トルクセンサ200c～202c（図10、図15及び図16参照）及びトルクセンサ300c（図14参照）に対しても、適用することができる。

【0176】

あるいは、以上に示した各実施の形態及び変形例では、固定体10及び受力体20がXY平面上に同心に配置されているが、図18に示すように、Z軸方向において変形体30、230、330を挟み込むように配置されていても良い。なお、図18においては、固定体10、受力体20及び変形体30、230、330のみが示されており、梁構造体、静電容量素子等の図示は省略されている。もちろん、この場合も、固定体10及び受力体20のうちのいずれか一方がXYZ三次元座標系に対して固定されていれば良い。

【0177】

また、§2～§4に示した各実施の形態及び変形例において、各静電容量素子を構成する固定電極は、静電容量素子ごとに個別的に配置されていた。これにより、固定電極の自由度の高い配置が可能である。しかしながら、このような実施の形態には限定されず、例えば、各静電容量素子を構成する固定電極が共通電極として構成されていても良い。

【0178】

また、以上の説明において、静電容量素子を支持する梁構造体、受力体20及び固定体10は、金属（アルミ軽合金、鉄系合金）によって構成される場合が多い。この場合、電極同士がショートして、トルクを適正に検出することができない。したがって、電極を支持する構成部材が金属にて構成される場合には、図19に示すように当該構成部材Bと電極Eとの間に絶縁体Iを配置すればよい。

【0179】

以上の説明では、計測点P、P1～P4、P11～P24が配置されているV軸及びW軸について、X軸及びY軸に対しそれぞれ45°をなし互いに直交する軸であるとして各実施の形態を説明したが、これには限定されない。静電容量値の変動量は、梁構造体の梁の長さに関係し、梁が長いほど静電容量の変化が大きくなりトルクセンサの感度が高まる。このため、V軸及びW軸が添付の図面の通りに規定されていない場合であっても、計測点Pの位置が梁構造体の支持体から離れて設定されていれば、トルクセンサの感度が高められ、本発明による効果が得られることになる。したがって、V軸及びW軸が、例えば、X軸及びY軸に対して40°あるいは50°といった45°とは異なる角度をなすように規定されていても良い。更に、V軸及びW軸が互いに直交していなくても良い。

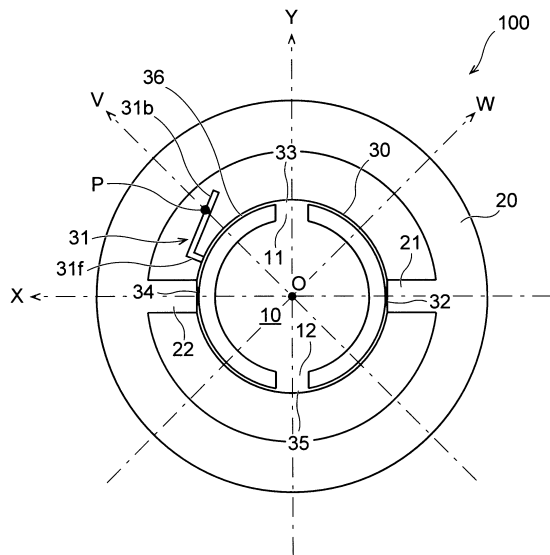
【符号の説明】

【0180】

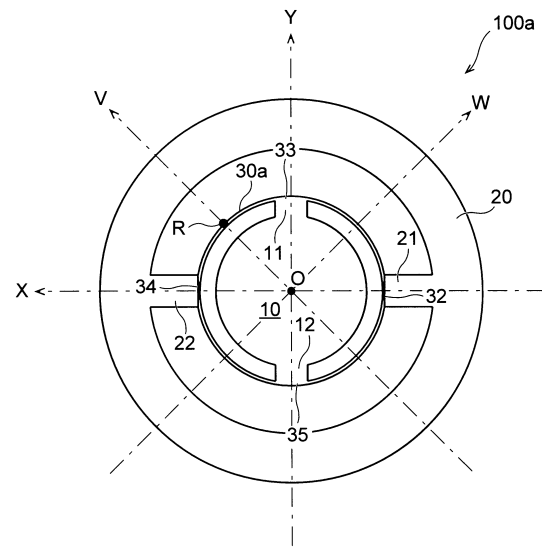
10	固定体	
11	固定体接続部	
11e	第1延出部	
12	固定体接続部	
12e	第2延出部	
13A～13D	第1～第4内側台座	
20	受力体	
21、22	受力体接続部	
23	台座	10
23A～23D	第1～第4台座	
24	第1突出部	
25	第2突出部	
30、30a	変形体	
31	梁構造体	
31b	梁	
31f	支持体	
32、34	受力部	
33、35	固定部	
36、36a	変形部	20
40	検出回路	
100、100a	基本構造部	
100c	トルクセンサ	
200	基本構造部	
200c、201c、202c	トルクセンサ	
230	変形体	
231A～231D	第1～第4梁構造体	
231Ab～231Db	第1～第4梁（第1～第4外側梁）	
231Ac～231Dc	第1～第4連結体	
231Af～231Df	第1～第4支持体	30
231Dc	第4連結体	
231Df	第4支持体	
232、234	受力部	
233、235	固定部	
236A～236D	第1～第4変形部	
240	検出回路	
300	基本構造部	
300c	トルクセンサ	
330	変形体	
331A～331D	第1～第4外側梁構造体	40
331Ab～331Db	第1～第4外側梁	
331Af～331Df	第1～第4外側支持体	
331E～331H	第1～第4内側梁構造体	
331Eb～331Hb	第1～第4内側梁	
331Ef～331Hf	第1～第4内側支持体	
332、334	受力部	
333、335	固定部	
336A～336D	第1～第4変形部	
340	検出回路	50

【図面】

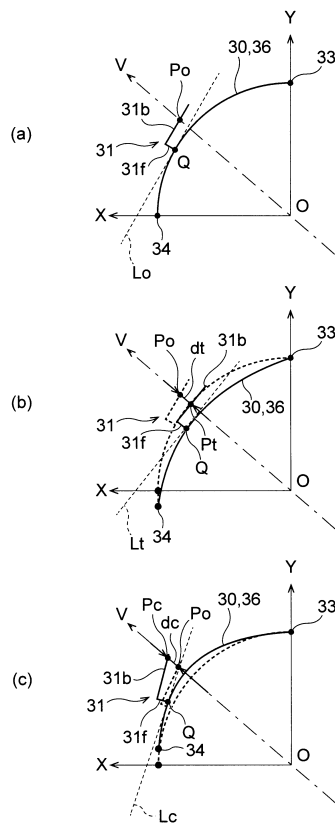
【図 1】



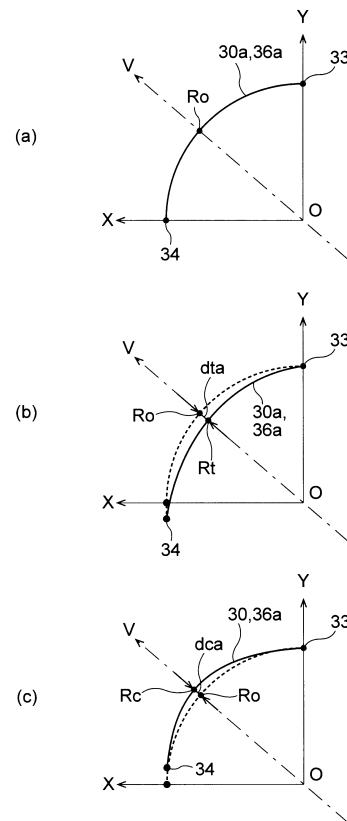
【図 2】



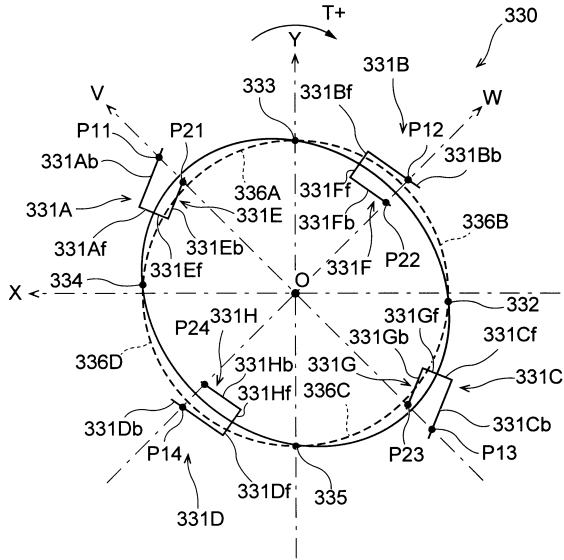
【圖 3】



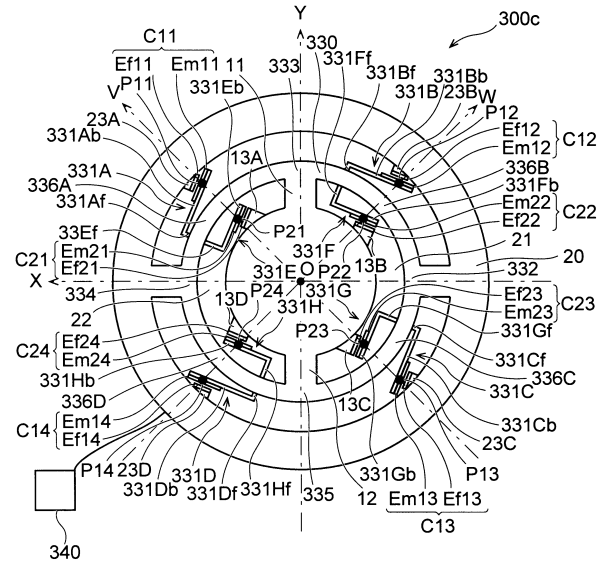
【図 4】



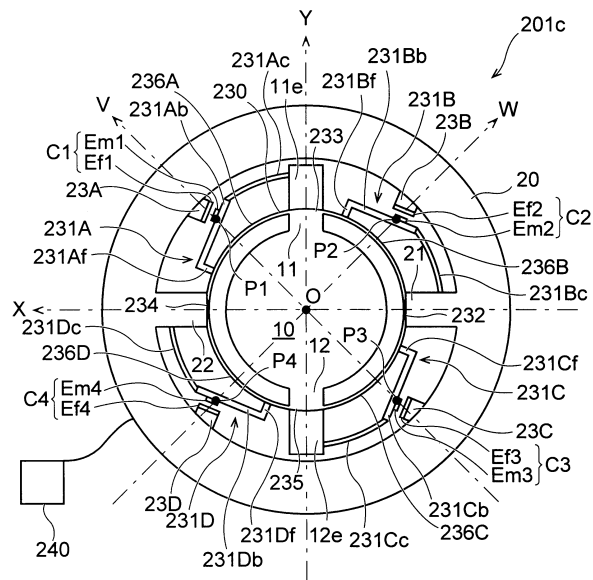
【図 13】



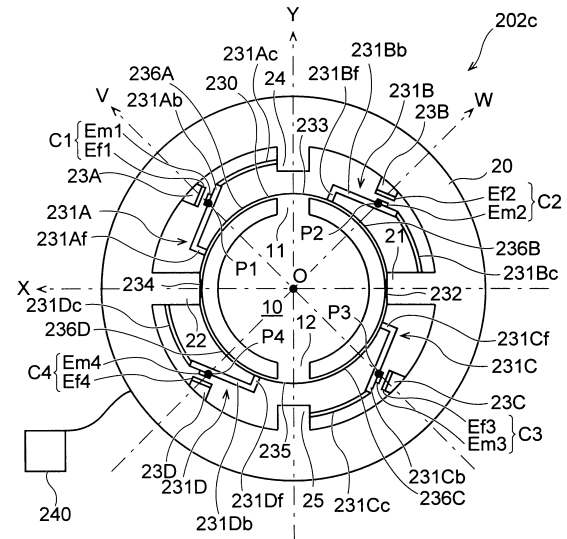
【図 14】



【図 15】



【図 16】



10

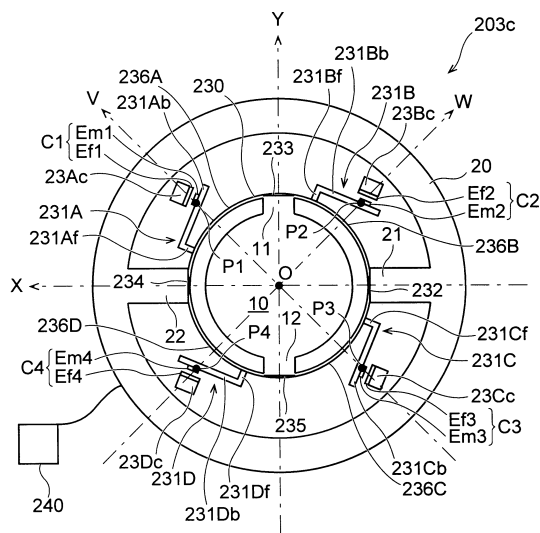
20

30

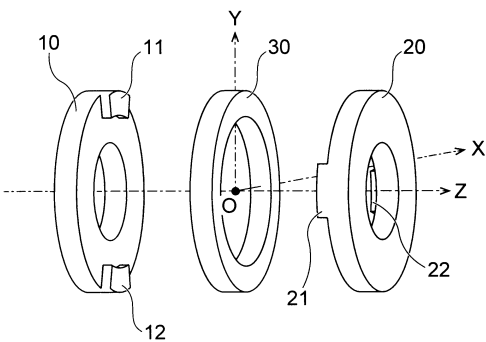
40

50

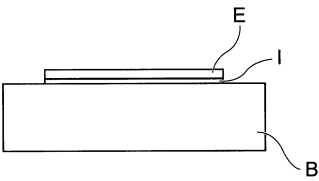
【図 1 7】



【図 1 8】



【図 1 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 森 雅之

- (56)参考文献 特許第6092326(JP, B2)
特許第6532040(JP, B2)
特許第6865976(JP, B2)
特許第4963134(JP, B2)
特許第6505273(JP, B2)
特許第6713151(JP, B2)
特許第6270186(JP, B2)
特許第6428982(JP, B1)
特許第6053247(JP, B1)
特許第4963138(JP, B1)
特許第5687384(JP, B1)
特許第6100448(JP, B1)
特許第4948630(JP, B2)
特許第6979242(JP, B2)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01L