

(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
2012年2月9日(09.02.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/018031 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/067713
- (22) 国際出願日: 2011年7月27日(27.07.2011)
- (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 2010-175914 2010年8月5日(05.08.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社トライフォース・マネジメント (TRI-FORCE MANAGEMENT CORPORATION) [JP/JP]; 〒3300854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町四丁目241番2 Saitama (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 西沖 暢久 (NISHIOKI Nobuhisa) [JP/JP]; 〒3300854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町四丁目241番2 株式会社トライフォース・マネジメント内 Saitama (JP). 岡田 和廣 (OKADA Kazuhiro) [JP/JP]; 〒

3300854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町四丁目241番2 株式会社トライフォース・マネジメント内 Saitama (JP).

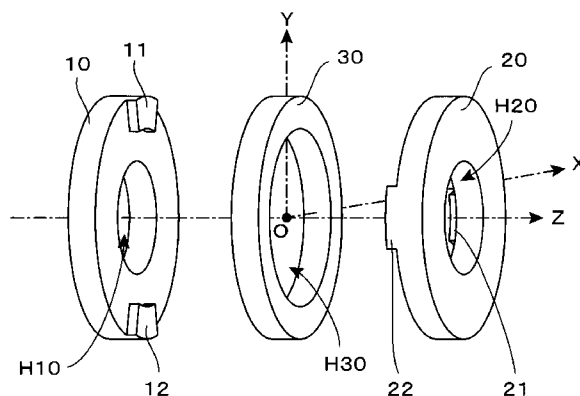
- (74) 代理人: 志村 浩 (SHIMURA Hiroshi); 〒1440035 東京都大田区南蒲田二丁目6番1号 ベル・シエラビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: TORQUE SENSOR

(54) 発明の名称: トルクセンサ

図1



(57) Abstract: Provided is a small, high-stiffness torque sensor having a simple structure. An annular deformable body (30) is disposed between a left side support (10) and a right side support (20). Convex sections (11, 12) protruding from the left side support (10) in a rightward direction are joined to an upper and lower part of the left side surface of the annular deformable body (30), and convex sections (21, 22) protruding from the right side support (20) in a leftward direction are joined to a left and right part of the right side surface of the annular deformable body (30). When force is applied to the right side support (20) and torque around the Z axis acts on the left side support (10), the annular deformable body (30) is elliptically deformed and the long-axis position of the inner peripheral surface of the annular deformable body (30) moves away from the Z axis while the short-axis position moves closer to the Z axis. Displacement electrodes (not shown) are formed on the long-axis position and the short axis-position of the inner peripheral surface, and fixed electrodes (not shown) are formed in positions facing each of the displacement electrodes, said fixed electrodes being fixed on the right side support (20). The acting torque is detected as a variation in the capacitance value of capacitive elements formed by the displacement electrodes and the fixed electrodes.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/018031 A1



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, 添付公開書類:

NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,

NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

小型で高剛性をもち、構造が単純なトルクセンサを提供する。左側支持体（１０）と右側支持体（２０）との間に環状変形体（３０）を配置する。環状変形体（３０）の左側面の上下２箇所には、左側支持体（１０）から右方へ突出した凸状部（１１，１２）が接合され、環状変形体（３０）の右側面の左右２箇所には、右側支持体（２０）から左方へ突出した凸状部（２１，２２）が接合される。右側支持体（２０）に負荷がかかった状態で、左側支持体（１０）にＺ軸まわりのトルクが作用すると、環状変形体（３０）は楕円状に変形し、その内周面の長軸位置はＺ軸から離れ、短軸位置はＺ軸に近づく。この内周面の長軸位置および短軸位置には図示しない変位電極が形成され、各変位電極に対向する位置には図示しない固定電極が配置され、各固定電極は右側支持体（２０）に固定される。作用したトルクは、各変位電極と各固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動として検出される。

明 細 書

発明の名称 ト ル ク セ ン サ

5 技 術 分 野

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

- 10 所定の回転軸まわりに作用したトルクを検出するトルクセンサは、様々な輸送機械や産業機械に広く利用されている。たとえば、特開2009-058388号公報には、トルクの作用によって生じた機械的な変形を歪みゲージによって検出するタイプのトルクセンサが開示されている。また、特開2007-024641号公報には、シャフト表面にメッキ処理により磁歪膜を形成し、この
- 15 磁歪膜の磁気特性の変化を測定することによりシャフトに作用したトルクを検出するセンサが開示されている。一方、特開2009-244134号公報には、トーションバーの端部に磁気発生部を設け、この磁気発生部によって発生される磁気の磁束密度の変化を集磁リングを用いて検出するタイプのトルクセンサが開示されており、特開2006-292423号公報には、N極とS極とが周
- 20 方向に交互に並ぶように円筒状に多数の磁石を配置し、これら磁石によって生じる磁界を検出するタイプのトルクセンサが開示されている。更に、特開2000-019035号公報には、トルクの作用により環状部材の形状を径方向に変形させるリンク機構を用意し、環状部材の変形によってその径方向に加わる力を荷重センサで検出するトルクセンサが開示されている。
- 25 産業界では、小型で高剛性をもち、構造が単純なトルクセンサが要求されている。特に、ロボットアームを用いて自動組立を行う産業機器では、アームの

先端部に生じる力を監視し、これを制御することが不可欠である。このようなトルクフィードバック型のロボットアームには、アームの関節部分に組み込んで用いるのに適した小型で高剛性をもち、構造が単純なトルクセンサが望まれている。

- 5 一般に、ロボットアームの関節部分は軸長が短いため、関節部分に組み込むトルクセンサも、できるだけ軸長の短い小型のものが好ましい。しかしながら、従来のトーションバーを用いた方式のトルクセンサでは、軸長を短く設計することは困難である。これは、トルクの作用によってトーションバーにねじれが生じた際に、当該ねじれに起因して軸長に変化が生じることになるので、この
- 10 変化分が無視できる程度にトーションバーの全長を長く設定せざるを得ないためである。

- 通常、関節部分に組み込まれたトルクセンサの軸長が、トルクの作用によって変動すると、軸方向の力が新たに生じることになり、軸の偏心や傾斜を誘発し、正確なトルク検出を阻む要因になる。このような弊害に対処するためには、
- 15 軸長の変化分を吸収する固有の仕組みが必要になるが、そのような仕組みを設ければ、それだけ構造が複雑化することになり好ましくない。結局、軸長の変化分が無視できる程度にトーションバーの全長を長く設定せざるを得ず、従来のトルクセンサでは、軸長を短く設計することは困難である。

- また、安定したトルクフィードバックを行うためには、電気的な観点において、信号処理の高速応答性を確保するとともに、機械的な観点において、センサ構造体に高い剛性を確保する必要がある。一般的なトルクセンサの基本原理は、何らかの構造体に機械的なねじれを生じさせ、このねじれを電氣的に検出することにある。したがって、ねじれを生じさせる対象物としては、当然、完全な剛体を用いることはできず、ある程度の弾性変形を生じる構造体を用いる
- 20 必要がある。しかしながら、トルク検出に伴って生じるねじれ角が大きいと、ハンチング現象により制御系の周波数特性が劣化し、高速応答性を確保するこ
- 25

とができなくなる。

したがって、安定したトルクフィードバックを行うためには、トルク検出に伴って生じるねじれ角はできるだけ小さく抑える必要があり、できるだけ高い剛性をもった構造体によりトルクセンサを構成するのが好ましい。しかしながら、従来提案されている磁気方式のねじれ角検出手法では、小さなねじれ角を高精度で検出することが困難である。

更に、産業利用の観点からは、トルクセンサにも、当然ながらコストダウンが要求される。そのためには、できるだけ構造を単純化するのが好ましい。しかしながら、従来提案されているトルクセンサでは、トーションバーに歪みゲージを貼り付けたり、磁歪膜を形成したり、あるいは、磁石やコイルを取り付けたりする必要がある、構造はかなり複雑なものにならざるを得ない。

そこで本発明は、小型で高剛性をもち、構造が単純なトルクセンサを提供することを目的とする。

15 発 明 の 開 示

(1) 本発明の第1の態様は、所定の回転軸まわりのトルクを検出するトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、回転軸が挿通する貫通開口部を有する環状変形体と、

20 回転軸が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向から見たときに、環状変形体の左側に隣接する位置に配置された左側支持体と、

基準観察方向から見たときに、環状変形体の右側に隣接する位置に配置された右側支持体と、

環状変形体の左側の側面上の左側接続点を、左側支持体に接続する左側接続
25 部材と、

環状変形体の右側の側面上の右側接続点を、右側支持体に接続する右側接続

部材と、

環状変形体の内周面もしくは外周面に固定され、環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる変位電極と、

変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体もしくは右側支持体に固定
5 された固定電極と、

変位電極と固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体および左側支持体の一方に負荷がかかった状態において他方に作用した回転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、
を設け、

10 回転軸に直交する投影面についての左側接続点の正射影投影像と右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにしたものである。

(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係るトルクセンサにおいて、環状変形体の左側の側面上に第1の左側接続点および第2の左側接続点が設けられ、

15 左側接続部材は、第1の左側接続点を左側支持体に接続する第1の左側接続部材と、第2の左側接続点を左側支持体に接続する第2の左側接続部材と、を有し、

環状変形体の右側の側面上に第1の右側接続点および第2の右側接続点が設けられ、

20 右側接続部材は、第1の右側接続点を右側支持体に接続する第1の右側接続部材と、第2の右側接続点を右側支持体に接続する第2の右側接続部材と、を有し、

回転軸に直交する投影面に環状変形体を投影して正射影投影像を得た場合に、環状変形体の輪郭に沿った環状路に、第1の左側接続点、第1の右側接続点、

25 第2の左側接続点、第2の右側接続点の順に、各接続点の正射影投影像が配置されているようにしたものである。

(3) 本発明の第3の態様は、上述の第2の態様に係るトルクセンサにおいて、回転軸に直交する投影面上に、回転軸の投影点を通り互いに直交する2直線を引いた場合に、第1の左側接続点および第2の左側接続点の正射影投影像が第1の直線上に配置され、第1の右側接続点および第2の右側接続点の正射影
5 投影像が第2の直線上に配置されているようにしたものである。

(4) 本発明の第4の態様は、上述の第1～第3の態様に係るトルクセンサにおいて、

左側支持体および右側支持体として、中心部に貫通開口部を有する環状の構造体を用い、回転軸に沿って、左側支持体、環状変形体、右側支持体の各貫通
10 開口部を貫く挿通孔が確保されるようにしたものである。

(5) 本発明の第5の態様は、上述の第1～第4の態様に係るトルクセンサにおいて、

環状変形体が、回転軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部を形成することにより得られる円環状
15 の部材からなるようにしたものである。

(6) 本発明の第6の態様は、上述の第1～第5の態様に係るトルクセンサにおいて、

左側支持体および右側支持体が、回転軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部を形成することにより得られる円環状の部材からなるようにしたものである。
20

(7) 本発明の第7の態様は、上述の第1～第6の態様に係るトルクセンサにおいて、

変位電極を、環状変形体の内周面に形成された導電層によって構成し、

固定電極を、この導電層に対向する位置に配置され、左側支持体もしくは右
25 側支持体から回転軸に沿った方向に突き出した導電板によって構成したものである。

(8) 本発明の第 8 の態様は、上述の第 1 ～第 7 の態様に係るトルクセンサにおいて、

環状変形体の各部分のうち、所定回転方向のトルクが作用したときに、回転軸に近づく方向に変位する第 1 の部分に固定された第 1 の変位電極と、回転軸から離れる方向に変位する第 2 の部分に固定された第 2 の変位電極と、第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極と、第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極と、を有し、

検出回路が、第 1 の変位電極と第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子の静電容量値と、第 2 の変位電極と第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにしたものである。

(9) 本発明の第 9 の態様は、上述の第 8 の態様に係るトルクセンサにおいて、所定回転方向のトルクが作用したときに、電極間隔が狭まる容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が増加し、電極間隔が広がる容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が減少するように、互いに対向する変位電極と固定電極とをオフセットをもたせて配置するようにしたものである。

(10) 本発明の第 10 の態様は、上述の第 1 ～第 8 の態様に係るトルクセンサにおいて、

所定回転方向の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、容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が変化しないように、固定電極および変位電極のうちの一方向の面積を他方の面積よりも大きく設定するようにしたものである。

(11) 本発明の第 11 の態様は、上述の第 1 ～第 10 の態様に係るトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、回転軸が挿通する貫通開口部を有し、環状変形体の内側に配置された内側環状変形体

と、

内側環状変形体の左側の側面上の内側左側接続点を左側支持体に接続する内側左側接続部材と、

5 内側環状変形体の右側の側面上の内側右側接続点を右側支持体に接続する内側右側接続部材と、

内側環状変形体の内周面もしくは外周面に固定され、内側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

内側変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体もしくは右側支持体に固定された内側固定電極と、

10 を更に設け、

回転軸に直交する投影面についての内側左側接続点の正射影投影像と内側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにし、

検出回路が、内側変位電極と内側固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸まわりのトルクを示す電気信号を

15 出力するようにしたものである。

(12) 本発明の第12の態様は、上述の第1の態様に係るトルクセンサにおいて、

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ために、環状変形体が原点Oを中心としてX Y平面上に配置され、左側支持体がZ軸負領域に

20 配置され、右側支持体がZ軸正領域に配置され、

環状変形体のZ軸負側の側面上に第1の左側接続点および第2の左側接続点が設けられ、

左側接続部材は、第1の左側接続点を左側支持体に接続する第1の左側接続部材と、第2の左側接続点を左側支持体に接続する第2の左側接続部材と、を

25 有し、

環状変形体のZ軸正側の側面上に第1の右側接続点および第2の右側接続点

が設けられ、

右側接続部材は、第 1 の右側接続点を右側支持体に接続する第 1 の右側接続部材と、第 2 の右側接続点を右側支持体に接続する第 2 の右側接続部材と、を有し、

- 5 環状変形体の両側面を X Y 平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第 1 の右側接続点の投影像が正の X 軸上、第 2 の右側接続点の投影像が負の X 軸上、第 1 の左側接続点の投影像が正の Y 軸上、第 2 の左側接続点の投影像が負の Y 軸上に配置されているようにしたものである。

- 10 (13) 本発明の第 1 3 の態様は、上述の第 1 2 の態様に係るトルクセンサにおいて、

環状変形体が、Z 軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部を形成することにより得られる円環状の部材からなるようにしたものである。

- 15 (14) 本発明の第 1 4 の態様は、上述の第 1 3 の態様に係るトルクセンサにおいて、

X Y 平面上に、原点 O 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、V 軸上に配置された第 1 の変位電極および第 1 の固定電極と、W 軸上に配置された第 2 の変位電極および第 2 の固定電極と、を有し、

- 20 検出回路が、第 1 の変位電極と第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子の静電容量値と、第 2 の変位電極と第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにしたものである。

(15) 本発明の第 1 5 の態様は、上述の第 1 4 の態様に係るトルクセンサにおいて、

- 25 所定回転方向のトルクの作用により環状変形体の X Y 平面上への正射影投影像の輪郭が円から楕円に変化する場合に、この楕円の短軸方向に V 軸、長軸方

向にW軸をとり、

トルクが作用していない状態において、第1の固定電極の位置が、第1の変位電極の位置に比べて、所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第2の固定電極の位置が、第2の変位電極の位置に比べて、所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれているようにしたものである。

(16) 本発明の第16の態様は、上述の第13の態様に係るトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して45°をなし、符号をもったV軸およびW軸を定義した場合に、正のV軸上に配置された第1の変位電極および第1の固定電極と、正のW軸上に配置された第2の変位電極および第2の固定電極と、負のV軸上に配置された第3の変位電極および第3の固定電極と、負のW軸上に配置された第4の変位電極および第4の固定電極と、を有し、

検出回路が、「第1の変位電極と第1の固定電極とによって構成される第1の容量素子の静電容量値と、第3の変位電極と第3の固定電極とによって構成される第3の容量素子の静電容量値と、の和」と、「第2の変位電極と第2の固定電極とによって構成される第2の容量素子の静電容量値と、第4の変位電極と第4の固定電極とによって構成される第4の容量素子の静電容量値と、の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにしたものである。

(17) 本発明の第17の態様は、上述の第16の態様に係るトルクセンサにおいて、

所定回転方向のトルクの作用により環状変形体のXY平面上への正射影投影像の輪郭が円から楕円に変化する場合に、この楕円の短軸方向にV軸、長軸方向にW軸をとり、

トルクが作用していない状態において、第1の固定電極の位置が、第1の変

位電極の位置に比べて、所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第2の固定電極の位置が、第2の変位電極の位置に比べて、所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれ、第3の固定電極の位置が、第3の変位電極の位置に比べて、所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第4の固定電極の位置が、第4の変位電極の位置に比べて、所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれているようにしたものである。

(18) 本発明の第18の態様は、上述の第14または第16の態様に係るトルクセンサにおいて、

所定回転方向の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、容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が変化しないように、固定電極および変位電極のうちの一方の面積を他方の面積よりも大きく設定したものである。

(19) 本発明の第19の態様は、上述の第18の態様に係るトルクセンサにおいて、

各変位電極を、環状変形体の内周面に形成された共通導電層によって構成したものである。

(20) 本発明の第20の態様は、上述の第19の態様に係るトルクセンサにおいて、

環状変形体を導電性の弾性材料によって構成し、環状変形体の内周面自身を共通導電層として用いるようにしたものである。

(21) 本発明の第21の態様は、上述の第12の態様に係るトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z軸が挿通する貫通開口部を有し、原点Oを中心としてXY平面上に、環状変形体の内側にくるように配置された内側環状変形体を更に設け、

内側環状変形体のZ軸負側の側面上に第1の内側左側接続点および第2の内

側左側接続点が設けられ、

内側環状変形体のZ軸正側の側面上に第1の内側右側接続点および第2の内側右側接続点が設けられ、

- 第1の内側左側接続点を左側支持体に接続する第1の内側左側接続部材と、
5 第2の内側左側接続点を左側支持体に接続する第2の内側左側接続部材と、第1の内側右側接続点を右側支持体に接続する第1の内側右側接続部材と、第2の内側右側接続点を右側支持体に接続する第2の内側右側接続部材と、

内側環状変形体の内周面もしくは外周面に固定され、内側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

- 10 内側変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体もしくは右側支持体に固定された内側固定電極と、

を更に設け、

- 内側環状変形体の両側面をXY平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、
第1の内側右側接続点の投影像が正のY軸上、第2の内側右側接続点の投影像
15 が負のY軸上、第1の内側左側接続点の投影像が正のX軸上、第2の内側左側接続点の投影像が負のX軸上に配置されており、

検出回路が、内側変位電極と内側固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸まわりのトルクを示す電気信号を出力するようにしたものである。

- 20 (22) 本発明の第22の態様は、所定の回転軸まわりのトルクを検出するトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、回転軸が挿通する貫通開口部を有する外側環状変形体と、

- 検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、回転軸
25 が挿通する貫通開口部を有し、外側環状変形体の内側に配置された内側環状変形体と、

回転軸が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向から見たときに、外側環状変形体および内側環状変形体の左側に隣接する位置に配置された左側支持体と、

基準観察方向から見たときに、外側環状変形体および内側環状変形体の右側に隣接する位置に配置された右側支持体と、

外側環状変形体の左側の側面上の外側左側接続点を、左側支持体に接続する外側左側接続部材と、

外側環状変形体の右側の側面上の外側右側接続点を、右側支持体に接続する外側右側接続部材と、

10 内側環状変形体の左側の側面上の内側左側接続点を、左側支持体に接続する内側左側接続部材と、

内側環状変形体の右側の側面上の内側右側接続点を、右側支持体に接続する内側右側接続部材と、

15 外側環状変形体の内周面に固定され、外側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極と、

外側変位電極に対向するように、内側環状変形体の外周面に固定され、内側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

外側変位電極と内側変位電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体および左側支持体の一方に負荷がかかった状態において他方に作用した回転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、

を設け、

回転軸に直交する投影面について、外側左側接続点の正射影投影像と外側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成され、内側左側接続点の正射影投影像と内側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにしたものである。

(23) 本発明の第23の態様は、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において、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z軸が挿通する貫通開口部を有し、原点Oを中心としてXY平面上に配置された外側環状変形体と、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z軸が挿通する貫通開口部を有し、原点Oを中心としてXY平面上に配置され、かつ、外側環状変形体の貫通開口部内に配置された内側環状変形体と、

外側環状変形体および内側環状変形体のZ軸負領域側に隣接する位置に配置された左側支持体と、

外側環状変形体および内側環状変形体のZ軸正領域側に隣接する位置に配置された右側支持体と、

を設け、

外側環状変形体のZ軸負側の側面上に、第1の外側左側接続点および第2の外側左側接続点が設けられ、外側環状変形体のZ軸正側の側面上に、第1の外側右側接続点および第2の外側右側接続点が設けられ、

内側環状変形体のZ軸負側の側面上に、第1の内側左側接続点および第2の内側左側接続点が設けられ、内側環状変形体のZ軸正側の側面上に、第1の内側右側接続点および第2の内側右側接続点が設けられ、

第1の外側左側接続点を左側支持体に接続する第1の外側左側接続部材と、第2の外側左側接続点を左側支持体に接続する第2の外側左側接続部材と、第1の外側右側接続点を右側支持体に接続する第1の外側右側接続部材と、第2の外側右側接続点を右側支持体に接続する第2の外側右側接続部材と、

第1の内側左側接続点を左側支持体に接続する第1の内側左側接続部材と、第2の内側左側接続点を左側支持体に接続する第2の内側左側接続部材と、第1の内側右側接続点を右側支持体に接続する第1の内側右側接続部材と、第2

の内側右側接続点を右側支持体に接続する第2の内側右側接続部材と、

外側環状変形体の内周面に固定され、外側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極と、

内側環状変形体の外周面における外側変位電極に対向する位置に固定され、

5 内側環状変形体の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

外側変位電極と内側変位電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体および左側支持体の一方に負荷がかかった状態において他方に作用した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、

10 を更に設け、

外側環状変形体および内側環状変形体の両側面をX-Y平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第1の外側右側接続点の投影像が正のX軸上、第2の外側右側接続点の投影像が負のX軸上、第1の外側左側接続点の投影像が正のY軸上、第2の外側左側接続点の投影像が負のY軸上、第1の内側右側接続点
15 の投影像が正のY軸上、第2の内側右側接続点の投影像が負のY軸上、第1の内側左側接続点の投影像が正のX軸上、第2の内側左側接続点の投影像が負のX軸上に配置されているようにしたものである。

(24) 本発明の第24の態様は、上述の第23の態様に係るトルクセンサにおいて、

20 外側環状変形体および内側環状変形体が、Z軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部を形成することにより得られる円環状の部材からなるようにしたものである。

(25) 本発明の第25の態様は、上述の第24の態様に係るトルクセンサにおいて、

25 左側支持体および右側支持体として、中心部に貫通開口部を有する環状の構造体を用い、Z軸に沿って、左側支持体、内側環状変形体、右側支持体の各貫

通開口部を貫く挿通孔が確保されるようにしたものである。

(26) 本発明の第26の態様は、上述の第24または第25の態様に係るトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点O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、V軸上に配置された第1の外側変位電極および第1の内側変位電極と、W軸上に配置された第2の外側変位電極および第2の内側変位電極と、を設け、

検出回路が、第1の外側変位電極と第1の内側変位電極とによって構成される第1の容量素子の静電容量値と、第2の外側変位電極と第2の内側変位電極とによって構成される第2の容量素子の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにしたものである。

(27) 本発明の第27の態様は、上述の第24または第25の態様に係るトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して 45° をなし、符号をもったV軸およびW軸を定義した場合に、正のV軸上に配置された第1の外側変位電極および第1の内側変位電極と、正のW軸上に配置された第2の外側変位電極および第2の内側変位電極と、負のV軸上に配置された第3の外側変位電極および第3の内側変位電極と、負のW軸上に配置された第4の外側変位電極および第4の内側変位電極と、を設け、

検出回路が、「第1の外側変位電極と第1の内側変位電極とによって構成される第1の容量素子の静電容量値と、第3の外側変位電極と第3の内側変位電極とによって構成される第3の容量素子の静電容量値と、の和」と、「第2の外側変位電極と第2の内側変位電極とによって構成される第2の容量素子の静電容量値と、第4の外側変位電極と第4の内側変位電極とによって構成される第4の容量素子の静電容量値と、の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにしたものである。

(28) 本発明の第 28 の態様は、上述の第 26 または第 27 の態様に係るトルクセンサにおいて、

各外側変位電極を、外側環状変形体の内周面に形成された共通導電層によって構成するか、もしくは、各内側変位電極を、内側環状変形体の外周面に形成された共通導電層によって構成したものである。

(29) 本発明の第 29 の態様は、上述の第 28 の態様に係るトルクセンサにおいて、

外側環状変形体を導電性の弾性材料によって構成し、外側環状変形体の内周面自身を共通導電層として用いるようにするか、もしくは、内側環状変形体を導電性の弾性材料によって構成し、内側環状変形体の外周面自身を共通導電層として用いるようにしたものである。

(30) 本発明の第 30 の態様は、上述の第 1 ～第 29 の態様に係るトルクセンサにおいて、

左側接続部材が、左側支持体の右側面から右方に突出した凸状部によって構成され、右側接続部材が、右側支持体の左側面から左方に突出した凸状部によって構成され、各凸状部の頂面が環状変形体の各接続点に接合されているようにしたものである。

本発明に係るトルクセンサでは、回転軸が挿通する貫通開口部を有する環状変形体を利用してトルク検出が行われる。この環状変形体の左右両脇には、左側支持体と右側支持体とが配置され、それぞれが異なる接続点に接合される。このため、一方の支持体に負荷がかかった状態で、他方の支持体にトルクが加わると、環状変形体に歪みが生じることになり、環状変形体の各部の回転軸からの距離に変化が生じる。本発明では、この距離の変化を容量素子の静電容量値によって検出できる。すなわち、環状変形体の内周面もしくは外周面に固定された変位電極と、この変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体もしくは右側支持体に固定された固定電極と、によって構成される容量素子の静電

容量値の変動量に基づいて、環状変形体の変形態様を認識することができ、作用したトルクの検出が可能になる。

環状変形体、左側支持体、右側支持体は、軸方向の厚みが小さな扁平構造体によって構成することができるので、センサ全体の軸長を短く設定することが可能になる。また、環状変形体の形状の歪みによってトルク検出が行われるので、環状変形体としては、弾性変形を生じる材質を用いる必要があるものの、比較的高い剛性をもった材質を利用しても、高精度の検出が可能になる。更に、環状変形体の形状の歪みは、一对の電極からなる容量素子によって検出できるので、構造も単純化され、コストダウンに貢献することができる。

- 10 特に、環状変形体の上下の2箇所を左側支持体に接合し、左右の2箇所を右側支持体に接合して、各接続点が90°ずつずれるようにすれば、トルクの作用によって、環状変形体を効率的に変形させることができる。環状変形体として円環状の構造体を用いると、トルクが作用していない無負荷状態では円形を維持するため、各部の回転軸からの距離は等しくなるが、トルクの作用により楕円形に変形すると、長軸位置では回転軸からの距離は伸び、短軸位置では回転軸からの距離が縮むことになる。そこで、長軸位置と短軸位置とにそれぞれ容量素子を設けておけば、同一のトルクが加わった場合、長軸位置では電極間隔が広がり静電容量値が減少するのに対して、短軸位置では電極間隔が狭まり静電容量値が増加するので、両静電容量値の差分として、作用したトルクを検出
- 15 することができる。
- 20

- このような差分検出は、同相ノイズやゼロ点ドリフトを抑えた安定したトルク検出に有効であり、また、温度による各部の膨張の影響を相殺して、精度の高い検出値を得るのに貢献する。更に、4組の容量素子を、長軸の両端位置および短軸の両端位置に設けるようにすれば、静電容量値が増加する2組の容量素子と、静電容量値が減少する2組の容量素子と、を用いた差分検出が可能になり、検出精度は更に向上する。
- 25

本発明に係るトルクセンサでは、環状変形体だけでなく、左側支持体および右側支持体にも、回転軸を挿通する貫通開口部を形成することが可能である。

これにより、回転軸に沿って、左側支持体、環状変形体、右側支持体の各貫通開口部を貫く挿通孔を確保することができ、内部が中空となる構造を採ること

- 5 ができる。したがって、本発明に係るトルクセンサを、ロボットアームの関節部分に組み込んで利用する場合、この中空部分に減速機などを配置することができ、総合的に省スペースのロボットアームを設計することが可能になる。

なお、本発明に係るトルクセンサでは、トルクが作用した状態において、環状変形体のねじれ角は比較的小さく抑えることが可能であるが、それでも環状
10 変形体の各部はトルクが加わった回転方向に移動することになる。そのため、トルクが作用すると、変位電極の位置が固定電極の位置に対してオフセットを生じることになり、容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積に変動が生じ、この面積変動によって静電容量値に影響が及ぶことになる。

- そこで、トルクが作用していない無負荷状態において、予め一方の電極を所
15 定方向にオフセットをもたせて配置しておくようにすると、トルクが作用したときに、容量素子の実効面積の変動によって検出結果に悪影響が及ぶことを阻止することができる。あるいは、固定電極および変位電極のうちの一方の面積を他方の面積よりも大きく設定しておけば、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、容量素子の実効面積を一定に維持することができ、
20 面積変動によって検出結果に悪影響が及ぶことを阻止することができる。また、検出対象となるトルク以外の外乱成分の影響を受けない正確なトルク検出が可能になる。

- 本発明に係るトルクセンサでは、2組の環状変形体を組み込む構成を採ることも可能である。すなわち、外側環状変形体の内側に、更に内側環状変形体を
25 組み込むようにすれば、2組の環状変形体のそれぞれから別個の検出結果を得ることができ、検出感度および精度を向上させることができる。また、センサ

構造全体の剛性も向上する。特に、両環状変形体として円環状の構造体を用い、トルクが作用した際にいずれも楕円形に変形するようにし、一方の楕円の長軸方向が他方の楕円の短軸方向となるように、互いに90°ずらした接続点を設けるようにすれば、検出感度を更に向上させることができる。

また、外側と内側とに配置された２組の環状変形体を組み込む構成を採った場合、変位電極と固定電極とによって容量素子を構成する代わりに、外側環状変形体の内周面に形成した外側変位電極と、内側環状変形体の外周面に形成した内側変位電極と、によって容量素子を形成することも可能になる。この場合も、両環状変形体として円環状の構造体を用い、トルクが作用した際にいずれも楕円形に変形するようにし、一方の楕円の長軸方向が他方の楕円の短軸方向となるように、互いに 90° ずらした接続点を設けるようにすれば、外側変位電極と内側変位電極との間の電極間隔の変動量を大きくとることができ、検出感度を更に向上させることができる。

15 図面の簡単な説明

図１は、本発明の基本的な実施形態に係るトルクセンサの基本構造部の分解斜視図である。

図2は、図1に示す3つの構成要素を相互に接合することにより得られるトルクセンサの基本構造部の側面図である。

20 図3は、図2に示す基本構造部をYZ平面で切断した側断面図である。

図４は、図１に示す左側支持体１０および凸状部１１、１２を図１の右方向から見た正面図である。

図5は、図1に示す環状変形体30を図1の右方向から見た正面図である。

図6は、図1に示す右側支持体20および凸状部21、22を図1の右方向
25 から見た正面図である。

図7は、図2に示す基本構造部をXY平面で切断し、図2の左方向から見た

断面図である。

図 8 は、図 2 に示す基本構造部に Z 軸正まわりのトルクが作用したときの変形状態を示す X Y 平面での断面図である（図 2 に示す基本構造部を X Y 平面で切断し、図 2 の左方向から見た断面図である。破線は変形前の状態を示す）。

- 5 図 9 は、内周面に変位電極 E 3 1、E 3 2 を形成した状態の環状変形体 3 0 を、図 2 の左方向から見た平面図である。

図 1 0 は、固定電極 E 2 1、E 2 2 を取り付けた状態の右側支持体 2 0 を、図 2 の左方向から見た平面図である。

図 1 1 は、図 1 0 に示す右側支持体 2 0 の側面図である。

- 10 図 1 2 は、図 3 に示す基本構造部に変位電極および固定電極を付加した構造体を V Z 平面で切断した側断面図である（図 1 2 の上方は、図 9 および図 1 0 に示す V 軸方向）。

図 1 3 は、図 2 に示す基本構造部に上述した変位電極および固定電極を付加した構造体を X Y 平面で切断し、図 2 の左方向から見た断面図である。

- 15 図 1 4 は、図 1 3 に示す基本構造部に対して、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示す断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 1 5 は、本発明の基本的な実施形態に係るトルクセンサに用いる検出回路の一例を示す回路図である。

- 20 図 1 6 は、図 1 3 に示す基本構造部に対して、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの変位電極の回転方向のずれを強調して描いた断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 1 7 は、固定電極をオフセット配置した変形例に係るトルクセンサを示す X Y 平面での断面図である。

- 25 図 1 8 は、図 1 7 に示すトルクセンサについて、環状変形体 3 0 を時計まわりに若干回転させたときの各電極の位置関係を示す断面図である。

図 1 9 は、4 組の容量素子を用いる変形例に係るトルクセンサの X Y 平面で

の断面図である。

図 20 は、図 19 に示すトルクセンサについて、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示す断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 21 は、図 19 に示すトルクセンサに用いる検出回路の一例を示す回路図である。

図 22 は、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、容量素子の実効面積を一定に維持する原理を示す図である。

図 23 は、図 19 に示すトルクセンサに図 22 に示す原理を適用した変形例を示す X Y 平面での断面図である。

10 図 24 は、図 23 に示すトルクセンサを V Z 平面で切断した側断面図である（図 24 の上方は、図 23 に示す V 軸方向）。

図 25 は、図 23 に示すトルクセンサについて、Z 軸正まわりのモーメント M_z （検出対象となるトルク）が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

15 図 26 は、図 23 に示すトルクセンサについて、X 軸方向の力 F_x が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 27 は、図 23 に示すトルクセンサについて、X 軸正まわりのモーメント M_x が作用したときの状態を示す Z V 平面での断面図である。

図 28 は、図 23 に示すトルクセンサについて、右側支持体 20 に負荷がかかった状態において、左側支持体 10 から環状変形体 30 に対して各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントが作用したときの 4 組の容量素子の静電容量値の変化態様を示す表である。

図 29 は、図 23 に示すトルクセンサにおいて、4 組の変位電極 E 31 L ~ E 34 L を共通導電層 E 35 に置き換えた変形例を示す X Y 平面での断面図である。

図 30 は、図 29 に示すトルクセンサにおいて、導電性材料からなる環状変

形体 30A を用いることにより、環状変形体 30A の内周面を共通導電層として利用した変形例を示す XY 平面での断面図である。

図 31 は、2 組の環状変形体を用いた本発明の変形例に係るトルクセンサの基本構造部の分解斜視図である。

- 5 図 32 は、図 31 に示すトルクセンサについて、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示す XY 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 33 は、図 31 に示す基本構造部に、具体的な電極配置を行うことによって構成されたトルクセンサの XY 平面での断面図である。

- 10 図 34 は、図 33 に示すトルクセンサについて、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示す XY 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 35 は、2 組の環状変形体を用いた本発明の別な変形例に係るトルクセンサの XY 平面での断面図である。

- 15 図 36 は、図 35 に示すトルクセンサについて、Z 軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示す XY 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。

図 37 は、図 35 に示すトルクセンサにおいて、4 組の外側変位電極 E81 ～ E84 を共通導電層 E85 に置き換えた変形例を示す XY 平面での断面図で

- 20 ある。

図 38 は、図 37 に示すトルクセンサにおいて、導電性材料からなる環状変形体 80A を用いることにより、環状変形体 80A の内周面を共通導電層として利用した変形例を示す XY 平面での断面図である。

- 25 図 39 は、2 組の環状変形体を用いた本発明の更に別な変形例に係るトルクセンサの XY 平面での断面図である。

図 40 は、図 39 に示すトルクセンサについて、右側支持体 70 に負荷がか

かった状態において、環状変形体 80, 90 に対して Z 軸正まわりのトルク（モーメント + M_z ）が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示し、電極は図示省略。+-の符号は、当該位置の容量素子の静電容量値の増減を示す）。

5 図 4 1 は、図 3 9 に示すトルクセンサについて、右側支持体 70 に負荷がかかった状態において、環状変形体 80, 90 に対して X 軸正方向の力 + F_x が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示し、電極は図示省略。+-の符号は、当該位置の容量素子の静電容量値の増減を示す）。

10 図 4 2 は、図 3 9 に示すトルクセンサについて、右側支持体 70 に負荷がかかった状態において、環状変形体 80, 90 に対して Y 軸正方向の力 + F_y が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である（破線は変形前の状態を示し、電極は図示省略。+-の符号は、当該位置の容量素子の静電容量値の増減を示す）。

15 図 4 3 は、図 3 9 に示すトルクセンサについて、右側支持体 70 に負荷がかかった状態において、環状変形体 80, 90 に対して各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントが作用したときの 8 組の容量素子の静電容量値の変化態様を示す表である。

図 4 4 は、本発明に係るトルクセンサの更に別な電極構成を示す X Y 平面での断面図である。

20

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

<<< § 1. 本発明に係るトルクセンサの基本構造部 >>>

25 図 1 は、本発明の基本的な実施形態に係るトルクセンサの基本構造部の分解斜視図である。図示のように、この基本構造部は、左側支持体 10 と右側支持

体 2 0 との間に、環状変形体 3 0 を配置し、これら 3 つの構成要素を相互に接合することによって構成される。ここでは、便宜上、図示のとおり X Y Z 三次元座標系を定義して、以下の説明を行うことにする。ここで、図の水平方向に描かれた Z 軸が、検出対象となるトルクの回転軸に相当し、このトルクセンサは、この回転軸まわり（Z 軸まわり）のトルクを検出する機能を果たすことになる。

図の中央に配置された環状変形体 3 0 は、検出対象となるトルク的作用により弾性変形を生じる材質からなり、その内部には、回転軸（Z 軸）が挿通する貫通開口部 H 3 0 が形成されている。一方、図の左側に配置された左側支持体 1 0 は、環状変形体 3 0 の左側面を支持する部材であり、図の右側に配置された右側支持体 2 0 は、環状変形体 3 0 の右側面を支持する部材である。ここに示す基本的な実施形態の場合、左側支持体 1 0 は、回転軸（Z 軸）が挿通する貫通開口部 H 1 0 が形成された環状部材であり、右側支持体 2 0 は、回転軸（Z 軸）が挿通する貫通開口部 H 2 0 が形成された環状部材である。

なお、一般に右側および左側という概念は、特定の観察方向から見た場合にのみ意味をもつ概念であるが、ここでは説明の便宜上、図 1 に示すとおり、回転軸（Z 軸）が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向（右方向が Z 軸の正方向となるような観察方向）から見たときに、環状変形体 3 0 の左側に隣接する位置に配置された支持体を左側支持体 1 0 と呼び、環状変形体 3 0 の右側に隣接する位置に配置された支持体を右側支持体 2 0 と呼ぶことにする。

ここでは、環状変形体 3 0 の中心位置に X Y Z 三次元座標系の原点 O を定義しており、左側支持体 1 0、環状変形体 3 0、右側支持体 2 0 は、いずれも Z 軸を中心軸とする円環状の部材によって構成されている。より具体的には、環状変形体 3 0 は、Z 軸（回転軸）を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部 H 3 0 を形成することにより得られる円環状の部材からなる。同様に、左側支持体 1 0 および右側支持体 2

0も、Z軸（回転軸）を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部H10、H20を形成することにより得られる円環状の部材からなる。

一方、左側支持体10の右側面には、右方に突出した2つの扇形の凸状部11、12が設けられており、この凸状部11、12の頂面が環状変形体30の左側面に接合されている。図示のとおり、凸状部11は環状変形体30の上部（Y軸正方向に位置する部分）に接合され、凸状部12は環状変形体30の下部（Y軸負方向に位置する部分）に接合される。同様に、右側支持体20の左側面には、左方に突出した2つの扇形の凸状部21、22が設けられており、この凸状部21、22の頂面が環状変形体30の右側面に接合されている。図示のとおり、凸状部21は環状変形体30の奥の部分（X軸正方向に位置する部分）に接合され、凸状部22は環状変形体30の手前の部分（X軸負方向に位置する部分）に接合される。

図2は、図1に示す3つの構成要素を相互に接合することにより得られるトルクセンサの基本構造部の側面図であり、図3は、この基本構造部をYZ平面で切断した側断面図である。ここに示す例の場合、図3に示すとおり、凸状部11、12は、左側支持体10と一体となった構造体であり、その頂面が環状変形体30の左側面に接合されている。同様に、凸状部21、22は、右側支持体20と一体となった構造体であり、その頂面が環状変形体30の右側面に接合されている。

結局、凸状部11、12は、環状変形体30の左側支持体10に対向する左側の側面上の左側接続点を、左側支持体10に接続する左側接続部材として機能し、凸状部21、22は、環状変形体30の右側支持体20に対向する右側の側面上の右側接続点を、右側支持体20に接続する右側接続部材として機能する。

図4は、左側支持体10および凸状部11、12を図1の右方向から見た正

面図、図5は、環状変形体30を図1の右方向から見た正面図、図6は、右側支持体20および凸状部21、22を図1の右方向から見た正面図である。図4において、凸状部11、12の中心位置に示されている点P11、P12は左側接続点であり、§2において、環状変形体30に対する接続位置を説明するために用いられる。同様に、図6において、凸状部21、22の中心位置に示されている点P21、P22は右側接続点であり、やはり§2において、環状変形体30に対する接続位置を説明するために用いられる。

なお、図4に示す部品（左側支持体10および凸状部11、12）と図6に示す部品（右側支持体20および凸状部21、22）とは、実際には、全く同一のものにするのが好ましい。この場合、図4に示す部品をY軸を回転軸として180°回転させて裏返し、更に、Z軸を回転軸として90°回転させれば、図6に示す部品に完全に一致する。したがって、実際には、図4に示す部品を2組用意し、図5に示す部品を1組用意すれば、図2に示す基本構造部を構成することができる。

図5に示すとおり、環状変形体30には、円形の貫通開口部H30が設けられているが、これは、検出に必要な弾性変形を生じさせるためのものである。後述するように、この基本構造部に検出対象となるトルクが作用した場合、環状変形体30は楕円形に変形する必要がある。このような環状変形体30の弾性変形のしやすさは、センサの検出感度を左右するパラメータになる。弾性変形しやすい環状変形体30を用いれば、微小なトルクでも検出可能な感度の高いセンサを実現することができるが、検出可能なトルクの最大値は抑制されることになる。逆に、弾性変形しにくい環状変形体30を用いれば、検出可能なトルクの最大値を大きくとることができるが、感度は低下するため、微小なトルクの検出はできなくなる。

環状変形体30の弾性変形のしやすさは、Z軸方向の厚み（薄くするほど弾性変形しやすい）および貫通開口部H30の径（大きくするほど弾性変形しや

すい) に依存して決まり、更に、その材質にも依存して決まる。したがって、実用上は、トルクセンサの用途に応じて、環状変形体 30 の各部の寸法や材質を適宜選択すればよい。

一方、左側支持体 10 および右側支持体 20 は、本発明の検出原理上、弾性
5 変形を生じる部材である必要はない。むしろ、作用したトルクが環状変形体 30 の変形に 100% 寄与するようにするためには、左側支持体 10 および右側支持体 20 は、完全な剛体である方が好ましい。図示の例において、左側支持体 10 および右側支持体 20 として、中心部に貫通開口部 H10、H20 を有する環状の構造体を用いた理由は、弾性変形しやすくするためではなく、回転
10 軸 (Z 軸) に沿って、左側支持体 10、環状変形体 30、右側支持体 20 の各貫通開口部 H10、H30、H20 を貫く挿通孔が確保されるようにするためである。

図 3 の側断面図を見れば明らかなように、この基本構造部は、内部が中空となる構造を採っている。このような中空部分を有するトルクセンサを、ロボッ
15 トアームの関節部分に組み込んで利用する場合、この中空部分に減速機などを配置することができ、総合的に省スペースのロボットアームを設計することが可能になる。これは、中実丸棒形状をしたトーションバーのねじれを利用する従来型のトルクセンサでは実現困難であった利点のひとつである。

このように、本発明に係るトルクセンサでは、環状変形体 30 は、トルク検
20 出に必要な程度の弾性変形を生じる材質で構成する必要があるが、左側支持体 10 および右側支持体 20 は、弾性変形を生じる必要はなく、むしろ剛性の高い材質を用いて構成するのが好ましい。実用上、左側支持体 10、右側支持体 20、環状変形体 30 の材料としては、絶縁材料を利用するのであれば、プラスチックなどの合成樹脂を用いれば十分であり、導電材料を利用するのであれ
25 ば (この場合、後述するように、電極が短絡しないよう必要箇所に絶縁を施す必要がある)、ステンレス、アルミニウムなどの金属を用いれば十分である。も

もちろん、絶縁材料と導電材料とを組み合わせ利用してもかまわない。

左側支持体 10、右側支持体 20、環状変形体 30 は、いずれも軸方向の厚みが小さな扁平構造体によって構成することができるので、センサ全体の軸長を短く設定することが可能になる。また、環状変形体 30 の形状の歪みによつてトルク検出が行われるので、環状変形体 30 としては、弾性変形を生じる材質を用いる必要があるものの、比較的高い剛性をもった材質を利用しても、高精度の検出が可能になる。

<<< §2. 本発明におけるトルクの検出原理 >>>

続いて、ここでは、§1 で述べた基本構造部にトルクが作用した場合、各部がどのように変形するかを考えてみる。図7は、図2に示す基本構造部をXY平面で切断し、図2の左方向から見た断面図である。なお、この図7に示されたXY座標系は、通常のXY座標系を裏側から見たものになる（X軸正方向は図の左方向になる）。したがって、このXY座標系では、左上領域が第1象限、右上領域が第2象限、右下領域が第3象限、左下領域が第4象限になる。図示のI～IVは、この座標系の各象限を示すものである。図にハッチングを施した断面部分は、環状変形体30の部分に相当し、その奥に、右側支持体20が見えている。図の点P11～P22は、図4および図6に示した各接継点P11～P22のXY平面上への正射影投影像である。

すなわち、図7において、Y軸上に配置された点P11、P12は、左側支持体10の凸状部11、12の接合位置（接合面の中心点）を示しており、X軸上に配置された点P21、P22は、右側支持体20の凸状部21、22の接合位置（接合面の中心点）を示している。結局、環状変形体30の左側面は、Y軸に沿った2箇所の接継点P11、P12において左側支持体10に接合され、環状変形体30の右側面は、X軸に沿った2箇所の接継点P21、P22において右側支持体20に接合されていることになる。

このように、環状変形体30の上下の2箇所を左側支持体10に接合し、左

右の2箇所を右側支持体20に接合して、各接合点が90°ずつずれるようにすれば、トルクの作用によって、環状変形体30を効率的に変形させることができる。

図7に示す例の場合、環状変形体30の両側面をXY平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第1の右側接合点P21の投影像が正のX軸上、第2の右側接合点P22の投影像が負のX軸上、第1の左側接合点P11の投影像が正のY軸上、第2の左側接合点P12の投影像が負のY軸上に配置されることになる。このような配置を行うと、環状変形体30を軸対称性をもった楕円に変形させることができるので、軸対称性をもった検出値を得ることができる。

本発明に係るトルクセンサは、図2に示す基本構造部において、左側支持体10と右側支持体20との間に相対的に加わるトルク（回転モーメント）を検出するものであり、検出値は、両支持体10、20間に相対的に作用する力を示すものである。そこで、ここでは説明の便宜上、右側支持体20に負荷がかかった状態において、左側支持体10に加わった回転モーメントを検出対象となるトルクとして考えることにする（もちろん、左側支持体10に負荷がかかった状態において、右側支持体20に加わった回転モーメントを検出対象となるトルクとしても等価である。）。

たとえば、ロボットアームの関節部分にこのトルクセンサを利用した一例として、左側支持体10にモータなどの駆動源を取り付け、右側支持体20にロボットハンドを取り付けた例を考えてみよう。ロボットハンドに重量のある物体が把持されている状態で、駆動源から左側支持体10に対して回転駆動力を加えたとすると、この回転駆動力が関節部分を構成する基本構造部を介して、ロボットハンド側へと伝達されることになる。この場合、右側支持体20を回転駆動させようとするトルクが作用することになり、当該トルクは、右側支持体20を固定した状態において、左側支持体10に加わった回転モーメントに

相当する。

さて、このような回転モーメントが、図7に示す構造体にどのような変化をもたらすかを考えてみる。右側支持体20を固定すると、図7に示すX軸上の接続点P21、P22の位置は固定状態となる。一方、左側支持体10に対して、たとえば、図7において時計まわりの方向に回転モーメントが加わったとすると、Y軸上の接続点P11、P12は時計まわりに移動しようとする。そうすると、必然的に、第1象限Iに位置する円弧P21-P11の部分は内側方向に縮み、第2象限IIに位置する円弧P11-P22の部分は外側に膨らみ、第3象限IIIに位置する円弧P22-P12の部分は内側方向に縮み、第4象限IVに位置する円弧P12-P21の部分は外側に膨らむことになる。

図8は、図7に示す構造体に、このような変形が生じた状態を示す断面図である。すなわち、図2に示す基本構造部にZ軸正まわりのトルクが作用した場合に、この基本構造部をXY平面で切断し、図2の左方向から見た断面図である。なお、本願では、任意の座標軸に関して、右ねじを当該座標軸の正方向に進めるための回転方向を正方向と定義し、右ねじを当該座標軸の負方向に進めるための回転方向を負方向と定義している。したがって、図8において、Z軸正まわりのトルクは、図に白抜き矢印で示すとおり時計まわりの方向に作用するトルクということになる。

図8に描かれた破線は、環状変形体30の変形前の状態（図7の状態）を示している。この破線を参考にすれば、Z軸正まわりのトルクが作用したことにより、環状変形体30は楕円形に変形していることが容易に把握できよう。ここでは、説明の便宜上、XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して45°をなすV軸およびW軸を定義する。V軸は第1象限Iを正方向とする座標軸であり、W軸は第2象限IIを正方向とする座標軸である。図示のとおり、環状変形体30は、V軸を短軸方向、W軸を長軸方向とする楕円に変形しており、V軸およびW軸に対して軸対称性を有している。このような軸対称性は、§3で

述べる方法でトルクの検出値を得る場合に好都合である。

図示の実施形態において、軸対称性をもった変形が生じるのは、図7に示すとおり、無負荷時（トルクが作用していない時）に環状変形体30が完全な円形をしており、環状変形体30の両側面をXY平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第1の右側接点P21の投影像が正のX軸上、第2の右側接点P22の投影像が負のX軸上、第1の左側接点P11の投影像が正のY軸上、第2の左側接点P12の投影像が負のY軸上に配置されているためである。

作用したトルクが大きければ大きいほど、環状変形体30はより扁平した楕円に変形することになる。したがって、図8において、環状変形体30のV軸上に位置する部分の原点Oからの距離や、環状変形体30のW軸上に位置する部分の原点Oからの距離を測定することができれば（これらの距離は、破線で示す変形前の位置からの変位量を示す情報になる）、作用したトルクの大きさを求めることができる。別言すれば、環状変形体30の内周面もしくは外周面の径方向の変位を測定することができればよい。

一方、逆向きにトルクが作用した場合、すなわち、Z軸負まわりのトルクが作用した場合は、図8に示す例とは逆に、環状変形体30（の接点P11、P12）に対して反時計まわりの回転力が作用するため、環状変形体30は、V軸を長軸方向、W軸を短軸方向とする楕円に変形する。したがって、環状変形体30のV軸上に位置する部分あるいはW軸上に位置する部分の変位方向は、図8に示す例とは逆の方向になる。

結局、環状変形体30のV軸上に位置する部分あるいはW軸上に位置する部分の変位を測定すれば、作用したトルクの方および大きさの双方を検出することが可能になる。たとえば、環状変形体30の内周面とV軸との交点の位置をモニタした場合、破線で示す基準位置から内側方向に変位した場合はZ軸正まわりのトルクが加わっており、外側方向に変位した場合はZ軸負まわりのト

トルクが加わっていると判断できる。あるいは、環状変形体 30 の内周面と W 軸との交点の位置をモニタした場合、破線で示す基準位置から外側方向に変位した場合は Z 軸正まわりのトルクが加わっており、内側方向に変位した場合は Z 軸負まわりのトルクが加わっていると判断できる。もちろん、変位量の絶対値は、作用したトルクの大きさを示すものになる。

本発明に係るトルクセンサにおいて生じる環状変形体 30 の径方向の変位は、環状変形体 30 に生じたねじれ角度が小さくても、環状変形体の径次第で比較的大きな変位になる。このため、比較的剛性が高い環状変形体 30 を用いたとしても、十分な感度をもったトルク検出が可能になる。

10 以上が、本発明におけるトルクの検出原理である。本発明では、このような原理に基づくトルク検出を行うために、これまで述べてきた基本構造部に、更に、容量素子と検出回路とを付加することになる。

<<< §3. 容量素子と検出回路 >>>

上述したとおり、本発明では、図 2 に示す基本構造部に、更に、容量素子と
15 検出回路を付加し、トルクセンサを構成することになる。図 8 に示すように、トルクの作用により、環状変形体 30 は楕円に変形する。このような変形により、最も大きな変位を生じる部分は、V 軸上に位置する部分あるいは W 軸上に位置する部分であるから、環状変形体 30 の特定部分の変位に基づいて、環状変形体 30 の変形量（作用したトルクの大きさ）を測定するには、V 軸上に位置する部分あるいは W 軸上に位置する部分の変位を測定するのが最も効率的である。

そこで、ここで述べる実施形態では、環状変形体 30 の内周面の V 軸上に位置する部分および W 軸上に位置する部分に変位電極を形成している。図 9 は、内周面に変位電極 E 31、E 32 を形成した状態の環状変形体 30 を、図 2 の
25 左方向から見た平面図である。説明の便宜上、X、Y、V、W 軸が重ねて描かれている。変位電極 E 31 は、V 軸の正の領域と環状変形体 30 の内周面との

交差位置に形成された電極であり、変位電極 E 3 2 は、W 軸の正の領域と環状変形体 3 0 の内周面との交差位置に形成された電極である。これら変位電極 E 3 1, E 3 2 の奥行き寸法（図 9 の紙面に垂直方向の寸法）は、環状変形体 3 0 の奥行き寸法に等しい。この例の場合、変位電極 E 3 1, E 3 2 は、環状変形体 3 0 の内周面に、蒸着やメッキ等の方法で形成された金属膜などの導電層によって構成されている。もちろん、環状変形体 3 0 がアルミニウムやステンレスのような金属でできている場合は、環状変形体 3 0 自体が導電性をもつため、絶縁層を介して変位電極 E 3 1, E 3 2 を形成する必要がある。

一方、これら変位電極 E 3 1, E 3 2 に対向する位置には、それぞれ固定電極 E 2 1, E 2 2 が設けられ、右側支持体 2 0 に固定される。図 1 0 は、これら固定電極 E 2 1, E 2 2 を取り付けた状態の右側支持体 2 0 を、図 2 の左方向から見た平面図である。ここでも、説明の便宜上、X, Y, V, W 軸が重ねて描かれている。固定電極 E 2 1 は、V 軸の正の領域に配置され、変位電極 E 3 1 に対向する。固定電極 E 2 2 は、W 軸の正の領域に配置され、変位電極 E 3 2 に対向する。

図 1 1 は、図 1 0 に示す右側支持体 2 0 の側面図である。図示のとおり、固定電極 E 2 2 は、右側支持体 2 0 の左側面から回転軸に沿った方向（Z 軸負方向）に突き出した導電板によって構成されている。なお、固定電極 E 2 1 は、固定電極 E 2 2 の奥に隠れているため、図 1 1 には現れていない。

図 1 2 は、図 3 に示す基本構造部に変位電極および固定電極を付加した構造体を V Z 平面で切断した側断面図である。図 3 が Y Z 平面で切断した側断面図であるのに対して、図 1 2 は V Z 平面で切断した側断面図であるため、図 1 2 の上方は、Y 軸方向ではなく、図 9 および図 1 0 に示す V 軸方向となっている。この図 1 2 の側断面図には、V 軸上に配置された変位電極 E 3 1 と固定電極 E 2 1 とが互いに対向している状態が明瞭に示されている。変位電極 E 3 1 は、環状変形体 3 0 の内周面に固着された電極であるため、環状変形体 3 0 の変形

に依存して変位する。一方、固定電極E 2 1は、右端が右側支持体2 0に固定されており、環状変形体3 0の変形にかかわらず、常に一定の位置を保つことになる。

結局、変位電極E 3 1の固定電極E 2 1に対する相対位置は、環状変形体3 0の変形に依存して変化することになる。別言すれば、変位電極E 3 1と固定電極E 2 1との電極間距離は、環状変形体3 0の変形に依存して変化する。図1 2には示されていないが、W軸上に配置された変位電極E 3 2と固定電極E 2 2との関係も全く同様である。

図1 3は、図2に示す基本構造部に上述した変位電極および固定電極を付加した構造体をX Y平面で切断し、図2の左方向から見た断面図である。この断面図では、V軸上に配置された変位電極E 3 1と固定電極E 2 1とが互いに対向し、W軸上に配置された変位電極E 3 2と固定電極E 2 2とが互いに対向した状態が明瞭に示されている。

ここに示す実施形態の場合、変位電極E 3 1、E 3 2は、環状変形体3 0の内周面に形成された導電層によって構成されているため、その表面は環状変形体3 0の内周に沿った曲面になる。そこで、これらに対向する固定電極E 2 1、E 2 2も、曲面状の電極にしている。別言すれば、変位電極E 3 1、E 3 2や固定電極E 2 1、E 2 2の表面は、Z軸を中心軸とした同心状の円柱表面によって構成されている。もっとも、各電極の表面形状は容量素子を構成する役割を果たすことができれば、どのような形状であってもよいので、表面が平面となる平板状の電極を用いてもかまわない。

なお、本願図面では、図示の便宜上、各変位電極および各固定電極の厚みの実寸を無視して描いてある。たとえば、変位電極E 3 1、E 3 2を、環状変形体3 0の内周面に形成された導電層（蒸着層やメッキ層）によって構成した場合、その厚みは、数 μ m程度に設定することができる。これに対して、固定電極E 2 1、E 2 2を、右側支持体2 0の左側面から突き出した導電板（金属板）

によって構成した場合、実用上の強度を確保するために、その厚みは、数mm程度確保するのが好ましい。したがって、図13等では、便宜上、変位電極の厚みと固定電極の厚みを同じ寸法で描いてあるが、これら電極の厚みの実寸は、製造工程や実用上の強度を考慮して、それぞれ適当な値に設定されるべきものである。

図14は、図13に示す基本構造部に対して、Z軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示すXY断面図である。§2で述べたとおり、このようなトルクが作用すると、環状変形体30は楕円状に変形し、V軸は当該楕円の短軸方向、W軸は当該楕円の長軸方向になる。その結果、V軸上に配置された一対の電極E21、E31の電極間隔は狭まり、W軸上に配置された一対の電極E22、E32の電極間隔は広がることになる。そこで、一対の電極E21、E31により容量素子C1を構成し、一対の電極E22、E32により容量素子C2を構成しておけば、これら容量素子C1、C2の静電容量値の変動量として、作用したトルクの方

向および大きさを検出することが可能になる。

たとえば、図13に示す無負荷状態（トルクが作用していない状態）を基準として、電極E21、E31からなる容量素子C1の静電容量値の変動に着目すると、図14に示すようにZ軸正まわりのトルクが作用すると、電極間隔が狭まるため、静電容量値は増加することになり、逆に、Z軸負まわりのトルクが作用すると、電極間隔が広がるため、静電容量値は減少することになる。したがって、静電容量値の増加変動はZ軸正まわりのトルクが作用していることを示し、静電容量値の減少変動はZ軸負まわりのトルクが作用していることを示すことになる。もちろん、変動量の絶対値は、作用したトルクの大きさを示すことになる。

同様に、電極E22、E32からなる容量素子C2の静電容量値の変動に着目すると、図14に示すようにZ軸正まわりのトルクが作用すると、電極間隔が広がるため、静電容量値は減少することになり、逆に、Z軸負まわりのトル

クが作用すると、電極間隔が狭まるため、静電容量値は増加することになる。
したがって、静電容量値の減少変動はZ軸正まわりのトルクが作用していること
を示し、静電容量値の増加変動はZ軸負まわりのトルクが作用していること
を示すことになる。もちろん、変動量の絶対値は、作用したトルクの大きさを
5 示すことになる。

結局、容量素子C 1を用いても、容量素子C 2を用いても、Z軸まわりのトルク
検出が可能であり、理論的には、いずれか一方の容量素子のみを用いれば
足りる。ただ、実用上は、容量素子C 1、C 2の双方を用いた検出を行うのが
好ましい。すなわち、環状変形部30が楕円に変形した際の短軸位置（V軸上）
10 と長軸位置（W軸上）とにそれぞれ容量素子C 1、C 2を設けておけば、同一
のトルクが加わった場合、短軸位置（V軸上）では電極間隔が狭まり静電容量
値が増加するのに対して、長軸位置（W軸上）では電極間隔が広がり静電容量
値が減少するので、両静電容量値C 1、C 2の差分として、作用したトルクを
検出することができる。このような差分検出は、同相ノイズやゼロ点ドリフト
15 を抑えた安定したトルク検出に有効であり、また、温度による各部の膨張の影響
を相殺して、精度の高い検出値を得るのに貢献する。

このような差分検出を行うためには、要するに、環状変形体30の各部分の
うち、所定回転方向のトルクが作用したときに、回転軸に近づく方向に変位す
る第1の部分（この例ではV軸との交差部分）に固定された第1の変位電極E
20 31と、回転軸から離れる方向に変位する第2の部分（この例ではW軸との交
差部分）に固定された第2の変位電極E 32と、第1の変位電極E 31に対向
する位置に配置された第1の固定電極E 21と、第2の変位電極E 32に対向
する位置に配置された第2の固定電極E 22と、を設けておけばよい。

そして、このような差分検出を行うための検出回路として、第1の変位電極
25 E 31と第1の固定電極E 21とによって構成される第1の容量素子C 1の静
電容量値と、第2の変位電極E 32と第2の固定電極E 22とによって構成さ

れる第2の容量素子C2の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力する回路を設けておけばよい。

図15は、このような差分検出を行う機能をもった検出回路の一例を示す回路図である。この回路図に示すE21, E31, E22, E32は、図13および図14に示す各電極であり、C1, C2は、これらの電極によって構成される容量素子である。C/V変換回路41, 42は、それぞれ容量素子C1, C2の静電容量値を電圧値V1, V2に変換する回路であり、変換後の電圧値V1, V2は、それぞれ各静電容量値に対応した値になる。差分演算器43は、電圧値の差分「 $V1 - V2$ 」を求め、これを出力端子T1に出力する機能を有する。

図13に示す例において、変位電極E31, E32を同一形状、同一サイズの電極によって構成し、固定電極E21, E22を同一形状、同一サイズの電極によって構成し、V軸に対する電極E31, E21の位置関係と、W軸に対する電極E32, E22の位置関係と、が同一になるように設定すれば、図13に示す無負荷状態において、容量素子C1, C2の静電容量値は等しくなる。したがって、図15に示す検出回路から出力端子T1に出力される電圧値は0になる。

これに対して、図14に示す例のように、Z軸正まわりのトルクが作用すると、容量素子C1の静電容量値は大きくなり、容量素子C2の静電容量値は小さくなるので、図15に示す検出回路から出力端子T1に出力される電圧値は正の値となり、トルクが大きいほどその絶対値は大きくなる。逆に、Z軸負まわりのトルクが作用すると、容量素子C1の静電容量値は小さくなり、容量素子C2の静電容量値は大きくなるので、図15に示す検出回路から出力端子T1に出力される電圧値は負の値となり、トルクが大きいほどその絶対値は大きくなる。かくして、出力端子T1には、符号を含めたトルクの検出値が得られる。

なお、ここに示す実施形態では、各固定電極 E 2 1, E 2 2 を、右側支持体 2 0 に固定しているが、固定電極は左側支持体 1 0 に固定してもかまわない。たとえば、図 1 2 に示す例の場合、固定電極 E 2 1 は、右側支持体 2 0 の左側面から左側へ突き出した導電板によって構成されているが、左側支持体 1 0 の
5 右側面から右側へ突き出した導電板によって固定電極 E 2 1 を構成してもかまわない。要するに、固定電極 E 2 1 は、変位電極 E 3 1 に対向する定位置に、環状変形体 3 0 の変形にかかわらず維持されるように設けられていればよい。

また、ここに示す実施形態では、変位電極 E 3 1, E 3 2 を、環状変形体 3 0 の内周面に固定しているが、変位電極は、環状変形体 3 0 の外周面に固定し
10 てもかまわない。図 1 4 を見れば明らかなように、環状変形体 3 0 が楕円に変形した際に変位を生じるのは、環状変形体 3 0 の内周面だけではなく、外周面も同じように変位を生じる。したがって、変位電極は環状変形体 3 0 の外周面に形成してもよい。この場合、変位電極に対向する固定電極は、変位電極の更に外側に配置すればよい。もっとも、環状変形体 3 0 の外側に各電極を配置す
15 る構造を採ると、センサの全体的なサイズが大きくなり、また、各電極部分が破損しやすくなるので、実用上は、これまで述べた実施形態のように、環状変形体 3 0 の内周面に変位電極を設けるのが好ましい。

結局、本発明に係るトルクセンサは、§ 1 で説明した基本構造部（左側支持体 1 0, 右側支持体 2 0, 環状変形体 3 0）に、環状変形体 3 0 の内周面もしくは
20 は外周面に固定され環状変形体 3 0 の弾性変形に起因した変位を生じる変位電極と、この変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体 1 0 もしくは右側支持体 2 0 に固定された固定電極と、これら変位電極および固定電極によって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体 2 0 に負荷がかかった状態において左側支持体 1 0 に作用した回転軸まわりのトルクを示
25 す電気信号を出力する検出回路と、を付加することにより構成されるセンサということになる。

容量素子は、変位電極と固定電極という一対の電極を設けるだけで構成できるので、トルクセンサ全体の構造は単純化され、コストダウンに貢献することができる。また、図15に示すC/V変換回路41、42や、差分演算器43は、古くから知られている単純な回路であり、低コストで実現可能な回路である。

なお、変位電極および固定電極は、それぞれ1枚ずつでもかまわないが、実用上は、より精度の高い検出を行うことができるように、V軸上に配置された第1の変位電極E31および第1の固定電極E21と、W軸上に配置された第2の変位電極E32および第2の固定電極E22と、を設け、検出回路が、第1の変位電極E31と第1の固定電極E21とによって構成される第1の容量素子C1の静電容量値と、第2の変位電極E32と第2の固定電極E22とによって構成される第2の容量素子C2の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力するようにするのが好ましい。この場合、容量素子C1、C2の検出感度が異なる場合には、所定の係数を乗じる補正を行えばよい。

<<< §4. 電極をオフセット配置する変形例 >>>

§3では、図13に示す無負荷状態のセンサに対して、Z軸正まわりのトルクが作用すると、図14に示す変形状態へと遷移するので、この変形状態を、一対の容量素子C1、C2の静電容量値の変動により検出する基本原理を述べた。しかしながら、図14は、説明の便宜上、変位電極E31、E32の回転方向に関する変位を無視して描いた図であり、実際には、変位電極E31、E32の位置は、時計まわりに若干ずれ、オフセットを生じることになる。

図16は、この変位電極E31、E32の回転方向のずれを強調して描いた断面図である。§3で説明したとおり、Z軸正まわりのトルクが作用すると、環状変形体30は楕円状に変形するため、V軸上に配置された一対の電極E21、E31の電極間隔は狭まり、W軸上に配置された一対の電極E22、E32の

電極間隔は広がることになる。しかしながら、実際には、環状変形体 30 に対しては、図に白抜き矢印で示すように、時計まわりへ回転させる力が加わるため、環状変形体 30 の内周面に固着された変位電極 E 3 1, E 3 2 は、図の時計まわりの方向へ若干移動することになる。

- 5 なお、図 1 6 では、説明の便宜上、この回転方向のオフセット量をかなり大きくとって示してあるが、実際には、環状変形体 30 として、プラスチックや金属など、ある程度、高い剛性をもった材質を用いれば、変位電極の回転方向のオフセット量はこれほど大きくはならない。

結局、図 1 6 に示すような変形状態において、V 軸上に配置された一対の電
10 極 E 2 1, E 3 1 の位置関係をみると、相互の電極間隔は狭まり、変位電極 E 3 1 の位置が時計まわりに若干ずれるため、実効対向面積は小さくなることがわかる。同様に、W 軸上に配置された一対の電極 E 2 2, E 3 2 の位置関係をみると、相互の電極間隔は広がり、変位電極 E 3 2 の位置が時計まわりに若干ずれるため、実効対向面積は小さくなることがわかる。

- 15 ここで、一対の対向電極によって構成される容量素子の静電容量値の変化を検討すると、電極 E 2 1, E 3 1 によって構成される容量素子 C 1 の静電容量値は、電極間隔が狭まった要因により増加するものの、実効対向面積が小さくなった要因により減少することになる。一方、電極 E 2 2, E 3 2 によって構成される容量素子 C 2 の静電容量値は、電極間隔が広がった要因により減少し、
20 実効対向面積が小さくなった要因により更に減少することになる。

こうして、各容量素子 C 1, C 2 の静電容量値は、電極間隔の変化要因と実効対向面積の変化要因との双方の影響を受けて変化することになる。ここで、図 1 6 に示す変化態様では、容量素子 C 2 に関しては、電極間隔の変化要因と実効対向面積の変化要因との双方が、静電容量値を減少させる方向に作用する
25 感度増幅効果が得られる。ところが、容量素子 C 1 に関しては、電極間隔の変化要因は静電容量値を増加させる方向に作用するが、実効対向面積の変化要因

は逆に静電容量値を減少させる方向に作用することになり、両変化要因は互いに逆方向に作用し合い、結果的に感度が減少してしまうことになる。また、図 16 に示す変化態様とは逆に、Z 軸負まわりのトルクが作用した場合は、容量素子 C 1 に関しては、感度増幅効果が得られるが、容量素子 C 2 に関しては、感度が減少してしまうことになる。

前述したとおり、環状変形体 30 として、高い剛性をもった材質を用いれば、トルクが作用した状態において、環状変形体 30 のねじれ角は比較的小さく抑えることが可能であり、変位電極の固定電極に対するオフセット量を小さく抑えることができる。しかしながら、両電極の位置関係に生じたオフセットによって、検出感度を低下させる悪影響が及ぶことは確かである。

そこで、この§4 では、容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積の変化に起因して生じる検出感度の低下に対処する工夫を述べる。この工夫の基本概念は、トルクが作用していない無負荷状態において、予め一方の電極を所定方向にオフセットをもたせて配置しておくようにする、というものである。このような工夫により、トルクが作用したときに、容量素子の実効面積の変動によって検出結果に悪影響が及ぶことを阻止することができる。

具体的には、たとえば、図 17 に示すように、トルクが作用していない無負荷状態において、第 1 の固定電極 E 2 1 の位置が、第 1 の変位電極 E 3 1 の位置に比べて、所定回転方向（この例では、図における時計まわり方向）に所定のオフセット量だけずれ、第 2 の固定電極 E 2 2 の位置が、第 2 の変位電極 E 3 2 の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向（この例では、図における反時計まわり方向）に所定のオフセット量だけずれているような電極配置を採ればよい。

図 18 は、図 17 に示すトルクセンサについて、環状変形体 30 を時計まわりに若干回転させたときの各電極の位置関係を示す断面図である。実際には、Z 軸正まわりのトルクが作用した場合、環状変形体 30 は楕円形に変形するこ

とになるが、図 18 では、各電極の回転方向に関する位置関係の変化を示すため、環状変形体 30 は円形状を維持したままの状態を描かれている（右側支持体 20 の凸状部 21, 22 が、環状変形体 30 に接合されておらず、環状変形体 30 が時計まわりに空転した状態と考えればよい）。

5 ここで、V 軸上に配置された一对の電極 E 21, E 31 の位置関係をみると、図 17 に示す状態に比べて、図 18 に示す状態では、変位電極 E 31 の位置が時計まわりに若干ずれるため、実効対向面積は大きくなることがわかる。一方、W 軸上に配置された一对の電極 E 22, E 32 の位置関係をみると、図 17 に示す状態に比べて、図 18 に示す状態では、変位電極 E 32 の位置が時計まわ
10 りに若干ずれるため、実効対向面積は小さくなることがわかる。結局、実効対向面積の変化という要因のみを考慮すると、図 17 に示す状態から図 18 に示す状態に遷移することにより、容量素子 C 1 の静電容量値は増加し、容量素子 C 2 の静電容量値は減少することになる。

15 一方、電極間隔の変化という要因のみを考慮した場合は、既に §3 で述べたとおり、図 13 に示す状態から図 14 に示す状態に遷移することにより、容量素子 C 1 の静電容量値は増加し、容量素子 C 2 の静電容量値は減少する。実際に、図 17 に示すトルクセンサに、Z 軸正まわりのトルクが作用した場合は、図 18 に示す状態ではなく、更に、環状変形体 30 の楕円変形が加わった状態ということになるので、各容量素子 C 1, C 2 の静電容量値は、実効対向面積の変
20 化という要因と電極間隔の変化という要因との 2 通りの影響を受けて変化することになる。

25 その場合でも、図 17 に例示するようなオフセット配置を採っていれば、両変化要因は常に同じ方向に作用し合い、結果的に感度を増加させる効果が得られる。たとえば、容量素子 C 1 に関しては、Z 軸正まわりのトルクが作用した場合、電極間隔の変化という要因では、図 14 に示すとおり、電極間隔が狭まり静電容量値が増加する作用が生じ、実効対向面積の変化という要因では、図

18に示すとおり、実効対向面積が大きくなり、やはり静電容量値が増加する作用が生じる。すなわち、両変化要因は、いずれも静電容量値を増加させる方向に作用する。

一方、容量素子C2に関しては、Z軸正まわりのトルクが作用した場合、電極間隔の変化という要因では、図14に示すとおり、電極間隔が広がり静電容量値が減少する作用が生じ、実効対向面積の変化という要因では、図18に示すとおり、実効対向面積が小さくなり、やはり静電容量値が減少する作用が生じる。すなわち、両変化要因は、いずれも静電容量値を減少させる方向に作用する。

10 また、Z軸負まわりのトルクが作用した場合は、容量素子C1に関しては、電極間隔が広がり静電容量値が減少する作用が生じ、実効対向面積は小さくなり、やはり静電容量値が減少する作用が生じる。同様に、容量素子C2に関しては、電極間隔が狭まり静電容量値が増加する作用が生じ、実効対向面積は大きくなり、やはり静電容量値が増加する作用が生じる。

15 このように、無負荷状態において、図17に例示するようなオフセット配置を採っていれば、電極間隔の変化という要因に基づく静電容量値の変化と、実効対向面積の変化という要因に基づく静電容量値の変化とが、常に同じ方向に作用するため、常に検出感度を増幅させる効果が得られることになる。

要するに、所定回転方向のトルクが作用したときに、電極間隔が狭まる位置に配置された第1の容量素子と、電極間隔が広がる位置に配置された第2の容量素子と、の双方を用いてトルク検出を行う場合、前記トルクが作用したときに、第1の容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が増加し、第2の容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が減少するように、トルクが作用していない無負荷状態において、互いに対向する変位電極と固定電極とを予め
25 オフセットをもたせて配置しておけばよい。

<<< §5. 4組の容量素子を用いる変形例 >>>

§3では、円環状の環状変形体30をトルク的作用により楕円形に変形させる基本構造部を用いて、楕円の短軸方向および長軸方向にそれぞれV軸、W軸を定義し、V軸およびW軸の位置にそれぞれ容量素子を1組ずつ配置してトルク
5 を検出する例を述べた。ここでは、合計4組の容量素子を用いて、検出精度を更に向上させた変形例を説明する。

この§5で述べるトルクセンサも、§3で述べた実施形態と同様に、図2に示す基本構造部を用いる。§3で述べた実施形態との相違点は、合計4組の容量素子を用い、検出回路が、この4組の容量素子の静電容量値に基づくトルク検出
10 を行う点である。

図19は、この4組の容量素子を用いる変形例に係るトルクセンサのXY平面での断面図である。図13に示す基本的な実施形態と比べると、新たに2枚の変位電極E33、E34と2枚の固定電極E23、E24が付加されていることがわかる。すなわち、正のV軸上には、第1の変位電極E31および第1
15 の固定電極E21が配置され、正のW軸上には、第2の変位電極E32および第2の固定電極E22が配置され、負のV軸上には、第3の変位電極E33および第3の固定電極E23が配置され、負のW軸上には、第4の変位電極E34および第4の固定電極E24が配置されている。

もちろん、各変位電極E31～E34はいずれも環状変形体30の内周面に
20 固定されており、各固定電極E21～E24は、それぞれ各変位電極E31～E34に対向する位置にくるように、端部が右側支持体20（左側支持体10でもよい）に固定されている。

結局、XY座標系において、第1象限Iには、第1の変位電極E31と第1の固定電極E21とによって構成される第1の容量素子C1が配置され、第2
25 象限IIには、第2の変位電極E32と第2の固定電極E22とによって構成される第2の容量素子C2が配置され、第3象限IIIには、第3の変位電極E33

と第3の固定電極E 2 3とによって構成される第3の容量素子C 3が配置され、第4象限IVには、第4の変位電極E 3 4と第4の固定電極E 2 4とによって構成される第4の容量素子C 4が配置されている。

ここで、前述した基本原理に基づくトルク検出に関して、第3の容量素子C 3の挙動は、第1の容量素子C 1の挙動と同じであり、第4の容量素子C 4の挙動は、第2の容量素子C 2の挙動と同じである。たとえば、図19に示す無負荷状態のセンサに対して、Z軸正まわりのトルクが作用すると、図20に示す変形状態へと遷移し、容量素子C 1、C 3の電極間隔は狭まるため静電容量値は増加し、容量素子C 2、C 4の電極間隔は広がるため静電容量値は減少する。Z軸負まわりのトルクが作用した場合は、これと逆の現象が生じる。

したがって、この変形例の場合、図21の回路図に示されているような検出回路を用いれば、Z軸まわりのトルクを検出することができる。この回路図に示すE 2 1～E 3 4は、図19および図20に示す各電極であり、C 1～C 4は、これらの電極によって構成される容量素子である。C/V変換回路5 1～5 4は、それぞれ容量素子C 1～C 4の静電容量値を電圧値V 1～V 4に変換する回路であり、変換後の電圧値V 1～V 4は、それぞれ各静電容量値に対応した値になる。演算器5 5は、「 $V 1 - V 2 + V 3 - V 4$ 」なる演算を行い、その結果を出力端子T 2に出力する機能を有する。当該演算は、電圧値の和「 $V 1 + V 3$ 」と、電圧値の和「 $V 2 + V 4$ 」と、の差を求める演算に相当する。

結局、図21に示す検出回路は、「第1の変位電極E 3 1と第1の固定電極E 2 1とによって構成される第1の容量素子C 1の静電容量値と、第3の変位電極E 3 3と第3の固定電極E 2 3とによって構成される第3の容量素子C 3の静電容量値と、の和」と、「第2の変位電極E 3 2と第2の固定電極E 2 2とによって構成される第2の容量素子C 2の静電容量値と、第4の変位電極E 3 4と第4の固定電極E 2 4とによって構成される第4の容量素子C 4の静電容量値と、の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号

として出力する機能を有する。

このように、合計4組の容量素子を、V軸およびW軸の正負両側に設けるようにすれば、静電容量値が増加する2組の容量素子と、静電容量値が減少する2組の容量素子と、を用いた差分検出が可能になり、検出精度は更に向上する。

- 5 もちろん、この4組の容量素子を用いた変形例についても、§4で述べた電極のオフセット配置を行うことにより、容量素子の実効対向面積の変化という要因に基づく検出感度の低下を防ぐこともできる。すなわち、所定回転方向のトルクの作用により環状変形体30のXY平面上への正射影投影像の輪郭が円から楕円に変化する場合に、この楕円の短軸方向にV軸、長軸方向にW軸をとり、
- 10 V軸およびW軸の正負両側にそれぞれ容量素子C1～C4を配置する構成をとり、トルクが作用していない状態において、第1の固定電極E21の位置が、第1の変位電極E31の位置に比べて、前記所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第2の固定電極E22の位置が、第2の変位電極E32の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれ、第3
- 15 の固定電極E23の位置が、第3の変位電極E33の位置に比べて、前記所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第4の固定電極E24の位置が、第4の変位電極E34の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれているようにすればよい。

<<< §6. 容量素子の実効面積を一定に維持する変形例 >>>

- 20 §4では、トルクが作用した場合に、変位電極が回転方向に若干のずれを生じるため、対向する一対の変位電極／固定電極間にオフセットが生じ、容量素子の実効面積が変化する現象が生じることを説明し、その結果、検出感度の低下を招くことを説明した。そして、そのような感度低下を防ぐための工夫として、無負荷状態において、予め電極をオフセット配置しておく方法を述べた。ここ
- 25 では、変位電極が回転方向に若干のずれを生じた場合にも、すなわち、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、容量素子の実効面積に変

化が生じないようにする工夫を述べることにする。

図 2 2 は、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、容量素子の実効面積を一定に維持する原理を示す図である。いま、図 2 2 (a) に示すように、一对の電極 E L, E S を互いに対向するように配置した場合を考える。

- 5 両電極 E L, E S は、互いに所定間隔をおいて平行になるように配置されており、容量素子を構成している。ただ、電極 E L は電極 E S に比べて面積が大きくなっており、電極 E S の輪郭を電極 E L の表面に投影して正射影投影像を形成した場合、電極 E S の投影像は、電極 E L の表面内に完全に含まれる。この場合、容量素子としての実効面積は、電極 E S の面積になる。

- 10 図 2 2 (b) は、図 2 2 (a) に示す一对の電極 E S, E L の側面図である。図にハッチングを施した領域は、実質的な容量素子としての機能を果たす部分であり、容量素子としての実効面積は、このハッチングを施した電極の面積（すなわち、電極 E S の面積）ということになる。

- いま、図に一点鎖線で示すような鉛直面 U を考える。電極 E S, E L は、い
15 ずれも鉛直面 U に平行になるように配置されている。ここで、電極 E S を鉛直面 U に沿って垂直上方に移動させたとなると、電極 E L 側の対向部分は上方に移動するものの、当該対向部分の面積に変わりはない。電極 E S を下方に移動させても、紙面の奥方向や手前方向に移動させても、やはり電極 E L 側の対向部分の面積は変わらない。

- 20 要するに、電極 E L の表面に形成された電極 E S の正射影投影像が、電極 E L の表面内に完全に含まれている状態（すなわち、一部でもはみ出ることがない状態）であれば、容量素子としての実効面積は、常に電極 E S の面積に一致する。すなわち、容量素子の実効面積は、電極 E S の移動にかかわらず、一定に維持される。これは、電極 E L 側を移動させた場合も同様である。

- 25 したがって、所定回転方向の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、容量素子を構成する一对の電極の実効対

向面積が変化しないように、固定電極および変位電極のうちの一方の面積を他方の面積よりも大きく設定しておけば、トルクが作用した場合でも、容量素子の実効面積は一定に維持されることになる。より厳密に言えば、面積が小さい方の電極 E S の輪郭を、面積が大きい方の電極 E L の表面に投影して正射影投影像を形成した場合、電極 E S の投影像が、電極 E L の表面内に完全に含まれる状態を維持している限り、両電極によって構成される容量素子の実効面積は、電極 E S の面積に等しくなり、常に一定になる。

図 2 3 は、§ 5 で述べた図 1 9 に示すトルクセンサに、図 2 2 に示す原理を適用した変形例を示す X Y 平面での断面図である。図 1 9 に示すセンサとの相違点は、4 枚の変位電極 E 3 1 ~ E 3 4 を、より面積の大きな変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L に置き換え、4 枚の固定電極 E 2 1 ~ E 2 4 を、より面積の小さな固定電極 E 2 1 S ~ E 2 4 S に置き換えた点のみである。図 2 3 を見れば明らかのように、X Y 平面に沿った断面図において、円周方向に関する各電極の幅を比較すると、常に、変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L の幅が、固定電極 E 2 1 S ~ E 2 4 S の幅よりも広がっている。

図 2 4 は、図 2 3 に示すトルクセンサを V Z 平面で切断した側断面図である。図 2 4 の上方は、Y 軸方向ではなく、図 2 3 に示す V 軸方向である。図の原点 O 近傍には、変位電極 E 3 4 L と固定電極 E 2 4 S との位置関係が明瞭に示されている。この例では、固定電極 E 2 4 S は、絶縁板 D 2 4 を介して右側支持体 2 0 に固定されている。容量素子 C 4 を構成する電極として機能する部分は、原点 O 近傍に配置された固定電極 E 2 4 S の部分のみであり、絶縁板 D 2 4 は、固定電極 E 2 4 S を支持するための単なる台座としての役割を果たすだけである。

同様に、図 2 4 の上方には、変位電極 E 3 1 L と固定電極 E 2 1 S との位置関係が明瞭に示されている。ここでも、絶縁板 D 2 1 は、固定電極 E 2 1 S を支持するための台座としての役割を果たす。また、図 2 4 の下方には、変位電

極 E 3 3 L と固定電極 E 2 3 S との位置関係が明瞭に示されている。ここでも、絶縁板 D 2 3 は、固定電極 E 2 3 S を支持するための台座としての役割を果たす。

結局、この実施例の場合、変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L が図 2 3 における円周方向に変位しても、図 2 4 における Z 軸方向に変位しても、その変位量が所定の許容範囲を超えない限り（すなわち、固定電極の投影像が変位電極の表面からはみ出さない限り）、各容量素子 C 1 ~ C 4 の実効面積は一定に維持されることになる。したがって、各容量素子 C 1 ~ C 4 の静電容量値の変動は、専ら、電極間距離の変化という要因に起因して生じることになり、実効対向面積の変化という要因に起因した静電容量値の変動は生じない。これは、§ 4 で述べた理由による検出感度の低下が生じないことを意味する。

なお、この図 2 3 に示す実施例は、検出対象となるトルク以外の余分な力成分（以下、外乱成分という）が作用した場合にも、これら外乱成分の影響を受けない正確なトルク検出が可能になるという付加的な特徴を有しており、実用上、極めて有益である。以下、この付加的な特徴を詳細に説明する。

一般に、X Y Z 三次元座標系に作用する力は、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z という各座標軸方向に作用する力成分と、X 軸まわりのモーメント M_x 、Y 軸まわりのモーメント M_y 、Z 軸まわりのモーメント M_z という各座標軸まわりに作用するモーメント成分という、合計 6 つの成分に分けられる。そして、これら 6 成分のうちの特定成分を検出するセンサには、他の成分の影響を受けずに、当該特定成分のみを独立して検出する機能が備わっているのが好ましい。

そこで、図 2 3 に示すトルクセンサに対して、上記 6 つの成分が作用した場合に、どのような検出結果が得られるかを検討してみる。ここでは、便宜上、右側支持体 2 0 に負荷がかかった状態（右側支持体 2 0 を固定した状態）において、環状変形体 3 0 に対して、個々の力成分が作用した場合を別個に考える。

まず、図25は、図23に示すトルクセンサについて、Z軸正まわりのモーメント M_z が作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。このZ軸正まわりのモーメント M_z は、このトルクセンサにおいて、検出対象となるトルクに他ならない。図23に示す無負荷状態のセンサに対して、Z軸正まわりのモーメント M_z （検出対象トルク）が作用すると、図25に示す変形状態へと遷移し、容量素子C1、C3の電極間隔は狭まるため静電容量値は増加し、容量素子C2、C4の電極間隔は広がるため静電容量値は減少する。したがって、既に§5で述べたとおり、図21に示されているような検出回路を用いれば、出力端子T2に、モーメント M_z （検出対象トルク）の検出値を得ることができ
10

一方、図26は、図23に示すトルクセンサについて、X軸方向の力 F_x が作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。この場合、環状変形体30を構成する上方の円弧部分についても、下方の円弧部分についても、白抜き矢印で示すとおり、図の左方向へ移動させようとする力が加わることになるので、環状変形体30は図示の状態に変形する。その結果、容量素子C2、C3の電極間隔は狭まるため静電容量値は増加し、容量素子C1、C4の電極間隔は広がるため静電容量値は減少する。ところが、図21に示す検出回路では、容量素子C2、C3の静電容量値の変動分は相互に相殺され、容量素子C1、C4の静電容量値の変動分も相互に相殺されてしまうため、出力端子T2に出
15
20 力される検出値は0になる。結局、X軸方向の力 F_x が作用しても、その値は検出されないことになる。

Y軸方向の力 F_y が作用したときも同様である。この場合、容量素子C1、C2の電極間隔は広がるため静電容量値は減少し、容量素子C3、C4の電極間隔は狭まるため静電容量値は増加する。ところが、図21に示す検出回路では、容量素子C1、C2の静電容量値の変動分は相互に相殺され、容量素子C3、C4の静電容量値の変動分も相互に相殺されてしまうため、出力端子T2
25

に出力される検出値は0になる。結局、Y軸方向の力 F_y が作用しても、その値は検出されないことになる。

また、Z軸方向の力 F_z が作用した場合は、図24において、環状変形体30が図の右方へ平行移動することになるが、各容量素子の電極間隔は変化せず
5 に一定値を維持し、また、変動量が上述した所定の許容範囲内である限り、各容量素子の実効面積も一定のままである。したがって、各容量素子に静電容量値の変動は生じず、Z軸方向の力 F_z が作用しても、その値は検出されないことになる。

一方、図27は、図23に示すトルクセンサについて、X軸正まわりのモーメント M_x が作用したときの状態を示すZV平面での断面図である。図示のと
10 おり、環状変形体30は、図面上での時計まわりに回転変位することになるので、各変位電極と各固定電極との位置関係は変化する。しかしながら、各容量素子の静電容量値に変化は生じない。たとえば、原点O近傍に描かれている変位電極E34Lと固定電極E24Sとは、相互の向きが変化するものの、電極
15 間隔や実効面積に変わりはないので、容量素子C4の静電容量値に変動は生じない。容量素子C2についても同様である。

また、図の上方に描かれている変位電極E31Lと固定電極E21Sとについては、変位電極E31Lが傾斜したため、相互の位置関係は変化するが、実効面積に変わりはない。しかも、電極間隔については、右側半分では狭くなる
20 が左側半分では広がる関係にあるので、トータルでは、電極間隔が一定の場合と同等になる。したがって、容量素子C1、C3についても、静電容量値の変動は生じない。

結局、X軸まわりのモーメント M_x が作用がしても、その値は検出されないことになる。Y軸まわりのモーメント M_y についても、全く同様である。

25 図28は、図23に示すトルクセンサについて、右側支持体20に負荷がかかった状態において、左側支持体10から環状変形体30に対して各座標軸方

向の力および各座標軸まわりのモーメントが作用したときの４組の容量素子 $C_1 \sim C_4$ の静電容量値の変化態様を示す表である。図において、「+」の欄は静電容量値が増加することを示し、「-」の欄は静電容量値が減少することを示し、「0」の欄は静電容量値が変化しないことを示している。このような結果が得られる理由は、既に、図 25～図 27 を参照して説明したとおりである。この図 28 の表を参照しながら、図 21 に示す検出回路の動作を考えると、Z 軸まわりのモーメント M_z （検出対象となるトルク）が作用した場合にのみ、出力端子 T_2 に検出値が得られ、それ以外の 5 つの外乱成分 F_x , F_y , F_z , M_x , M_y が作用しても、出力端子 T_2 には検出値は得られないことが理解できよう。結局、図 23 に示す実施例に係るトルクセンサでは、検出対象となるトルク以外の余分な力成分（外乱成分）が作用した場合にも、これら外乱成分の影響を受けない正確なトルク検出が可能になる。

なお、この図 23 に示す実施例に係るトルクセンサでは、X 軸方向の力 F_x および Y 軸方向の力 F_y を、

$$F_x = (C_2 + C_3) - (C_1 + C_4)$$

$$F_y = (C_3 + C_4) - (C_1 + C_2)$$

なる演算によって求めることも可能である。ここで、 $C_1 \sim C_4$ は、それぞれ容量素子 $C_1 \sim C_4$ の静電容量値である。このような演算によって、力 F_x , F_y が求まる理由は、図 28 の表に示す結果を踏まえれば、容易に理解できよう。

なお、実際には、図 21 の検出回路に示すように、各静電容量値 $C_1 \sim C_4$ を、 C/V 変換器 51～54 により電圧値 $V_1 \sim V_4$ に変換し、これら電圧値を用いて演算を行うことになる。その場合は、

$$F_x = (V_2 + V_3) - (V_1 + V_4)$$

$$F_y = (V_3 + V_4) - (V_1 + V_2)$$

なる演算を行う演算器を設けておけばよい。

このように、図 2 3 に示す実施例に係るセンサは、Z 軸まわりのトルクを検出するトルクセンサとしての機能を果たすとともに、X 軸方向の力 F_x および Y 軸方向の力 F_y を検出する力センサとしての機能を果たすことができる。

<<< § 7. 共通導電層を用いる変形例 >>>

- 5 これまで述べた実施形態では、個々の変位電極と個々の固定電極とを、それぞれ別個の物理的に独立した電極として形成していたが、複数の変位電極もしくは複数の固定電極を、単一の共通電極によって構成することも可能である。特に、各変位電極を、環状変形体 3 0 の内周面に形成された共通導電層によって構成すると、構造を単純化することができ、製造コストを低減することができ
- 10 ける。

- たとえば、§ 6 で述べた図 2 3 に示す実施形態の場合、4 枚の変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L と、4 枚の固定電極 E 2 1 S ~ E 2 4 S とが、それぞれ物理的に独立した電極として形成されており、製造時には、8 枚の別個独立した電極を形成するプロセスが必要になる。そこで、4 枚の変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L
- 15 を、単一の共通電極によって構成すると、構造は単純化され、製造プロセスも簡単になる。

- 図 2 9 は、図 2 3 に示すトルクセンサにおいて、4 組の変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L を共通導電層 E 3 5 に置き換えた変形例を示す X Y 平面での断面図である。共通導電層 E 3 5 は、環状変形体 3 0 の内周面全面を覆うように形成された導電層であり、たとえば、環状変形体 3 0 の内周面に蒸着やメッキにより形成した金属膜によって、この共通導電層 E 3 5 を構成することができる。この場合、内周面の全面に広がる共通導電層 E 3 5 のうち、個々の固定電極 E 2 1 S ~ E 2 4 S に対向する部分領域が、それぞれ変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L としての機能を果たすことになる。変位電極 E 3 1 L ~ E 3 4 L は相互に短絡
- 20 した状態になるが、図 2 1 に示す検出回路の動作上、何ら支障は生じない。
- 25 図 3 0 は、図 2 9 に示すトルクセンサにおいて、導電性材料からなる環状変

形体30Aを用いることにより、環状変形体30Aの内周面を共通導電層として利用した変形例を示すXY平面での断面図である。たとえば、環状変形体30Aを金属などの導電性の弾性材料によって構成しておけば、環状変形体30Aの内周面自身が、図29に示す共通導電層E35として機能することになる。

- 5 したがって、実質的には、環状変形体側には、何ら電極を形成する工程を行う必要はなくなり、製造プロセスは非常に単純化される。

以上、変位電極側を共通電極とする例を述べたが、もちろん、固定電極側を共通電極とすることも可能である。たとえば、図19に示すトルクセンサにおいて、4枚の固定電極E21～E24の代わりに、導電性材料からなる円筒状
10 の共通固定電極を設けるようにしてもよい。この場合、この円筒状の電極の部分部分（変位電極E31～E34に対向する部分）が、それぞれ固定電極E21～E24として機能することになる。

<<< §8. 2組の環状変形体を用いる変形例（その1） >>>

図31は、2組の環状変形体を用いた本発明の変形例に係るトルクセンサの
15 基本構造部の分解斜視図である。図示のように、この基本構造部は、左側支持体60と右側支持体70との間に、2組の環状変形体80、90を配置し、これら4つの構成要素を相互に接合することによって構成される。ここで、図の水平方向に描かれたZ軸が、検出対象となるトルクの回転軸に相当し、このトルクセンサが、この回転軸まわり（Z軸まわり）のトルクを検出する機能を果たす点
20 点は、これまで述べてきた実施例と全く同じである。

図の中央に配置された環状変形体80は、検出対象となるトルク的作用により弾性変形を生じる材質からなり、その内部には、回転軸（Z軸）が挿通する貫通開口部H80が形成されている。実は、この環状変形体80は、図1に示す環状変形体30と全く同じ構成要素である。一方、環状変形体90も、検出
25 対象となるトルク的作用により弾性変形を生じる材質からなり、その内部には、回転軸（Z軸）が挿通する貫通開口部H90が形成されている。環状変形体9

0 は、環状変形体 8 0 の貫通開口部 H 8 0 内に組み込まれている。すなわち、環状変形体 9 0 は、環状変形体 8 0 の内部の同心位置に配置されており、両者の厚み（Z 軸方向の寸法）は同一である。そこで、ここでは、環状変形体 8 0 を外側環状変形体と呼び、環状変形体 9 0 を内側環状変形体と呼ぶことにする。

- 5 一方、図 3 1 の左側に配置された左側支持体 6 0 は、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 の左側面を支持する部材であり、図 3 1 の右側に配置された右側支持体 7 0 は、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 の右側面を支持する部材である。ここに示す例の場合、左側支持体 6 0 は、回転軸（Z 軸）が挿通する貫通開口部 H 6 0 が形成された環状部材であり、右側支持
- 10 体 7 0 は、回転軸（Z 軸）が挿通する貫通開口部 H 7 0 が形成された環状部材である。

- 左側支持体 6 0 の右側面には、右方に突出した 4 つの扇形の凸状部 6 1 ～ 6 4 が設けられている。凸状部 6 1, 6 2 は、図 1 に示す左側支持体 1 0 に形成された凸状部 1 1, 1 2 と全く同じ構成要素であり、これらの頂面が外側環状
- 15 変形体 8 0 の左側面に接合されている。また、凸状部 6 3, 6 4 の頂面は、内側環状変形体 9 0 の左側面に接合されている。一方、右側支持体 7 0 の左側面には、左方に突出した 4 つの扇形の凸状部 7 1 ～ 7 4 が設けられている（図には、凸状部 7 2 のみが現れている）。凸状部 7 1, 7 2 は、図 1 に示す右側支持体 2 0 に形成された凸状部 2 1, 2 2 と全く同じ構成要素であり、これらの頂
- 20 面が外側環状変形体 8 0 の右側面に接合されている。また、凸状部 7 3, 7 4 の頂面は、内側環状変形体 9 0 の右側面に接合されている。なお、左側支持体 6 0 に 4 つの凸状部 6 1 ～ 6 4 を加えた部品と、右側支持体 7 0 に 4 つの凸状部 7 1 ～ 7 4 を加えた部品とは、物理的には全く同じ部品である。

- ここで、凸状部 6 1 は外側環状変形体 8 0 の上の部分（Y 軸正方向に位置する部分）に接合され、凸状部 6 2 は外側環状変形体 8 0 の下の部分（Y 軸負方向に位置する部分）に接合され、凸状部 6 3 は内側環状変形体 9 0 の奥の部分
- 25

(X軸正方向に位置する部分)に接合され、凸状部64は内側環状変形体90の手前の部分(X軸負方向に位置する部分)に接合されている。また、凸状部71は外側環状変形体80の奥の部分(X軸正方向に位置する部分)に接合され、凸状部72は外側環状変形体80の手前の部分(X軸負方向に位置する部分)に接合され、凸状部73は内側環状変形体90の上の部分(Y軸正方向に位置する部分)に接合され、凸状部74は内側環状変形体90の下の部分(Y軸負方向に位置する部分)に接合されている。

このように、外側環状変形体80についての各接続点の位置は、図1に示す基本的な実施形態における環状変形体30についての各接続点の位置と全く同じである。すなわち、外側環状変形体80は、左側支持体60に対しては、凸状部61、62によってY軸に沿った2点が接続され、右側支持体70に対しては、凸状部71、72によってX軸に沿った2点が接続される。これに対して、内側環状変形体90についての各接続点の位置は、90°ずれた位置になる。すなわち、内側環状変形体90は、左側支持体60に対しては、凸状部63、64によってX軸に沿った2点が接続され、右側支持体70に対しては、凸状部73、74によってY軸に沿った2点が接続される。

結局、図31に示すトルクセンサの基本構造部は、図1に示すトルクセンサの基本構造部に、更に、内側環状変形体90と、この内側環状変形体90の左側の側面上の内側左側接続点を、左側支持体60に接続する内側左側接続部材(凸状部63、64)と、この内側環状変形体90の右側の側面上の内側右側接続点を、右側支持体70に接続する内側右側接続部材(凸状部73、74)と、を付加したものということになる。

図32は、図31に示すトルクセンサの基本構造部について、Z軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。外側環状変形体80と内側環状変形体90とは、直接的には接合されていないので、トルクが作用した場合、それぞれが別個独立して楕円状に変形することになる。し

かも、それぞれの楕円の長軸と短軸の関係は逆になる。すなわち、図 3 2 に示されているとおり、Z 軸正まわりのトルクが作用した場合、外側環状変形体 8 0 は V 軸方向を短軸、W 軸方向を長軸とする楕円に変形するのに対して、内側環状変形体 9 0 は V 軸方向を長軸、W 軸方向を短軸とする楕円に変形する。

5 図 3 2 に白抜き矢印で示すとおり、同じ方向のトルクが作用しているにもかかわらず、外側環状変形体 8 0 と内側環状変形体 9 0 とでは、変形により得られる楕円の長軸と短軸とが 90° ずれた関係になる理由は、上述したとおり、各接続点の位置が、 90° ずれているためである。もちろん、外側環状変形体 8 0 と内側環状変形体 9 0 とで、楕円変形時の長軸方向を 90° ずれた関係にすることは必須ではない。楕円変形時の長軸方向が全く同じ方向であっても、何ら支
10 障なくトルク検出が可能である。ただ、 90° ずれた関係にすると、後述するように、4 組の容量素子を片側に寄せた配置をとることが可能になり、スペースの利用効率を向上させることができる。また、後の § 9 で述べる実施形態を採る場合では、検出感度を高める効果が得られる。

15 さて、このように楕円の長軸と短軸とが 90° ずれた関係になるものの、外側環状変形体 8 0 と内側環状変形体 9 0 とは、いずれもトルクの作用によって楕円形に変形するので、これまで述べてきた実施形態と同様に、長軸位置および短軸位置に容量素子を設けておくようにすれば、これら容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、作用したトルクの方
20 向と大きさを検出することが可能である。実際、外側環状変形体 8 0 の変形に基づく検出原理は、これまで述べてきた実施形態と全く同様である。たとえば、貫通開口部 H 8 0 内の正の V 軸上、負の V 軸上、正の W 軸上、負の W 軸上にそれぞれ容量素子を配置すれば、図 1 9 に示す実施例と同様に、図 2 1 の検出回路によりトルク検出が可能である。

25 また、内側環状変形体 9 0 の変形に基づくトルク検出も、全く同様の原理に基づいて行うことができる。たとえば、貫通開口部 H 9 0 内の正の V 軸上、負

のV軸上、正のW軸上、負のW軸上にそれぞれ容量素子を配置すれば、やはり、
図21の検出回路によりトルク検出が可能である。あるいは、内側環状変形体
90の外周面側に、容量素子を配置してもかまわない。要するに、内側環状変
形体90の内周面もしくは外周面に固定され、内側環状変形体90の弾性変形
5 に起因した変位を生じる内側変位電極と、この内側変位電極に対向する位置に
配置され、左側支持体60もしくは右側支持体70に固定された内側固定電極
と、を更に設けておけばよい。

そうすれば、検出回路は、外側変位電極と外側固定電極とによって構成され
る容量素子の静電容量値の変動量に加えて、内側変位電極と内側固定電極とに
10 よって構成される容量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸まわ
りのトルクを示す電気信号を出力することができる。

このように、外側環状変形体80の変形に基づくトルク検出の結果と、内側
環状変形体90の変形に基づくトルク検出の結果との双方を利用すれば、より
精度の高いトルク検出が可能になる。具体的には、両方の検出結果について、
15 スケーリングを整合させる処理（検出感度に応じた係数を乗じる補正）を行っ
た上で、その平均値を求めるようにすればよい。

このように2組の環状変形体80、90を組み込む構成を採れば、個々の環
状変形体80、90のそれぞれから別個の検出結果を得ることができ、検出感
度および精度を向上させることができる。また、2組の環状変形体80、90
20 を同時にねじることになるため、センサ構造全体の剛性も向上する。

特に、ここに述べる実施例のように、両環状変形体として円環状の構造体
を用い、トルクが作用した際にいずれも楕円形に変形するようにし、一方の楕円
の長軸方向が他方の楕円の短軸方向となるように、互いに90°ずらした接点
を設けるようにすれば、4組の容量素子を片側に寄せた配置をとることが可能
25 になり、スペースの利用効率の向上を図ることができる。以下、これを図面で
示そう。

図33は、図31に示す基本構造部に、具体的な電極配置を行うことによって構成されたトルクセンサのXY平面での断面図である。図示のとおり、外側環状変形体80の内周面には、2枚の外側変位電極E81、E82が形成され、内側環状変形体90の外周面には、2枚の内側変位電極E91、E92が形成されている。一方、電極E81、E91間に配置された固定電極E101と、電極E82、E92間に配置された固定電極E102とは、右側支持体70に固定された固定電極である。

ここで、電極E81、E91、E101は、いずれも正のV軸上に配置されており、固定電極E101は、変位電極E81に対する固定電極としての機能と、変位電極E91に対する固定電極としての機能と、の両方を果たす共通固定電極になる。このため、電極E81、E101によって第1の容量素子C1が構成され、電極E91、E101によって第3の容量素子C3が構成される。

同様に、電極E82、E92、E102は、いずれも正のW軸上に配置されており、固定電極E102は、変位電極E82に対する固定電極としての機能と、変位電極E92に対する固定電極としての機能と、の両方を果たす共通固定電極になる。このため、電極E82、E102によって第2の容量素子C2が構成され、電極E92、E102によって第4の容量素子C4が構成される。

図34は、図33に示すトルクセンサについて、Z軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示すXY平面での断面図である（破線は変形前の状態を示す）。図示のとおり、容量素子C1、C3は電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子C2、C4は電極間隔が広がり静電容量値が減少する。これは、図19、図20に示すトルクセンサと全く同じ動作であり、図21に示す検出回路を利用して、Z軸まわりのトルクを検出できることになる。このような特性が得られるのは、外側環状変形体80と内側環状変形体90とについて、変形により得られる楕円の長軸と短軸とが90°ずれた関係になるように、各接点の位置を90°ずらすようにしたためである。

結局、図 3 3 に示すトルクセンサは、図 1 9 に示すトルクセンサと同様に、4 組の容量素子を用いた差分検出を行うことができるため、高い検出精度が得られるという利点を有する。しかも、図 3 3 に示すトルクセンサの場合、4 組の容量素子を片側（図の上半分の領域、すなわち、Y 軸正領域）に寄せた配置をとることが可能になるので、スペースの利用効率を向上させることが可能になるというメリットも得られる。すなわち、図の下半分の領域では、外側環状変形体 8 0 と内側環状変形体 9 0 との間の空隙部に電極が配置されていないので、この空間を利用して、配線を通したり、付加的な部品を配置したりすることができる。

- 10 このように、図 3 3 に示すトルクセンサは、図 1 9 に示すトルクセンサと同様に高い検出精度を維持しつつ、機能付加のためのスペースを確保できる利点があり、装置全体を小型化できるメリットが得られる。ただ、この図 3 3 に示すトルクセンサでは、力 F_x 、 F_y という外乱成分が作用した場合にも、図 2 1 に示す検出回路に出力が得られる。したがって、その用途は、力 F_x 、 F_y という外乱成分が作用しない環境下に制限されることになる。

- 15 なお、図 3 3 に示す構造において、図の下半分のスペースを利用する必要がない場合には、この部分にも検出用の電極を配置して、検出精度を更に高めることも可能である。具体的には、上半分に形成されている 4 組の容量素子 $C_1 \sim C_4$ と全く同じ容量素子 $C_5 \sim C_8$ を X Z 平面に関して面対称となる下半分の位置に配置し、合計 8 組の容量素子による検出を行うようにすればよい。上半分の容量素子による検出結果と下半分の容量素子による検出結果との平均をとれば、より正確な検出値を得ることができる。

- 25 結局、この § 8 で述べる変形例は、§ 3 で述べた基本的な実施形態に係るトルクセンサにおいて、検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z 軸が挿通する貫通開口部 H 9 0 を有し、原点 O を中心として X Y 平面上に、外側環状変形体 8 0 の内側にくるように配置された内側環状変形体

90を付加したものであり、内側環状変形体90のZ軸負側の側面上に第1の内側左側接続点および第2の内側左側接続点を設定し、内側環状変形体90のZ軸正側の側面上に第1の内側右側接続点および第2の内側右側接続点を設定し、第1の内側左側接続点を左側支持体60に接続する第1の内側左側接続部材（凸状部63）と、第2の内側左側接続点を左側支持体60に接続する第2の内側左側接続部材（凸状部64）と、第1の内側右側接続点を右側支持体70に接続する第1の内側右側接続部材（凸状部73）と、第2の内側右側接続点を右側支持体70に接続する第2の内側右側接続部材（凸状部74）と、内側環状変形体90の内周面もしくは外周面に固定され、内側環状変形体90の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、内側変位電極に対向する位置に配置され、左側支持体60もしくは右側支持体70に固定された内側固定電極と、を更に設けたものである。

しかも、内側環状変形体90の両側面をXY平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第1の内側右側接続点の投影像が正のY軸上、第2の内側右側接続点の投影像が負のY軸上、第1の内側左側接続点の投影像が正のX軸上、第2の内側左側接続点の投影像が負のX軸上に配置されており、検出回路が、内側変位電極と内側固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸まわりのトルクを示す電気信号を出力するようにしたものである。

<<< §9. 2組の環状変形体を用いる変形例（その2） >>>

さて、§8では、図31に示すように、外側環状変形体80と内側環状変形体90という2組の環状変形体を用いる変形例を述べた。このように、§8に示す例は、2組の環状変形体を用いてはいるが、個々の環状変形体を用いたトルク検出の原理は、これまで述べた基本的実施形態と全く同じである。すなわち、図32には、容量素子を構成する各電極の配置は描かれていないが、外側環状変形体80に関しては、その内周面もしくは外周面に変位電極を固定し、これ

に対向する固定電極を左側支持体もしくは右側支持体に固定し、変位電極と固定電極とによって容量素子を形成することになる。同様に、内側環状変形体 90 に関しても、その内周面もしくは外周面に変位電極を固定し、これに対向する固定電極を左側支持体もしくは右側支持体に固定し、変位電極と固定電極とによって容量素子を形成することになる。

このように、これまで述べてきた実施例は、いずれも、環状変形体側に固定された変位電極と、左側支持体もしくは右側支持体側に固定された固定電極と、によって、検出用の容量素子を形成することが前提となっていた。これに対して、この§ 9 で述べる変形例は、外側環状変形体 80 の内周面に固定された外側変位電極と、内側環状変形体 90 の外周面に固定された内側変位電極と、によって、検出用の容量素子を形成する点に特徴がある。

図 3 5 は、そのような実施例に係るトルクセンサを X Y 平面で切断した断面図である。このトルクセンサの基本構造部の構造は、§ 8 で述べたトルクセンサの構造（図 3 1 に示す構造）と全く同じである。§ 8 で述べたトルクセンサとの相違は、電極の配置にある。すなわち、ここで述べる実施例では、図 3 5 に示すとおり、4 枚の外側変位電極 E 8 1 ~ E 8 4 が外側環状変形体 80 の内周面に形成され、これに対向するように、4 枚の内側変位電極 E 9 1 ~ E 9 4 が内側環状変形体 90 の外周面に形成されている。

より具体的には、正の V 軸上には、第 1 の外側変位電極 E 8 1 および第 1 の内側変位電極 E 9 1 が配置され、正の W 軸上には、第 2 の外側変位電極 E 8 2 および第 2 の内側変位電極 E 9 2 が配置され、負の V 軸上には、第 3 の外側変位電極 E 8 3 および第 3 の内側変位電極 E 9 3 が配置され、負の W 軸上には、第 4 の外側変位電極 E 8 4 および第 4 の内側変位電極 E 9 4 が配置されている。

結局、X Y 座標系において、第 1 象限 I には、第 1 の外側変位電極 E 8 1 と第 1 の内側変位電極 E 9 1 とによって構成される第 1 の容量素子 C 1 が配置され、第 2 象限 II には、第 2 の外側変位電極 E 8 2 と第 2 の内側変位電極 E 9 2

とによって構成される第2の容量素子C₂が配置され、第3象限IIIには、第3の外側変位電極E₈₃と第3の内側変位電極E₉₃とによって構成される第3の容量素子C₃が配置され、第4象限IVには、第4の外側変位電極E₈₄と第4の内側変位電極E₉₄とによって構成される第4の容量素子C₄が配置されている。

図36は、このトルクセンサについて、Z軸正まわりのトルクが作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。外側環状変形体80および内側環状変形体90の変形態様自体は、§8で述べたセンサ（図32参照）と同様であるが、図36に示すトルクセンサでは、対向する一对の電極がいずれも変位電極であり、容量素子を構成する双方の電極が共に変位する。しかも、対向する一对の変位電極は、双方が共に接近する方向に動くか、もしくは、双方が共に遠ざかる方向に動くか、のいずれかになる。このため、電極間隔は、一方を固定電極とした場合に比べて、より大きく変化し、検出感度を向上させることができる。

たとえば、図36において、V軸上に配置された第1の容量素子C₁および第3の容量素子C₃に着目すると、外側変位電極E₈₁、E₈₃は内側へ移動しているのに対して、内側変位電極E₉₁、E₉₃は外側へ移動しており、相互に接近する方向に動いている。このため、一方を固定電極とした場合に比べて、電極間隔の減少はより大きくなり、静電容量値の増加変動量も大きくなる。

また、W軸上に配置された第2の容量素子C₂および第4の容量素子C₄に着目すると、外側変位電極E₈₂、E₈₄は外側へ移動しているのに対して、内側変位電極E₉₂、E₉₄は内側へ移動しており、相互に遠ざかる方向に動いている。このため、一方を固定電極とした場合に比べて、電極間隔の増加はより大きくなり、静電容量値の減少変動量も大きくなる。

このように、ここで述べるトルクセンサの場合、静電容量値の変動量は、これまで述べてきた実施例よりも大きくなるが、トルク検出の基本原理は、これ

まで述べてきた実施例と全く同じであり、図 2 1 の回路図に示されているような検出回路を用いれば、Z 軸まわりのトルクを検出することができる。

結局、この§ 9 で述べるトルクセンサは、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り、その基本構造部は、図 3 1 に示すとおり、検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z 軸が挿通する貫通開口部 H 8 0 を有し、原点 O を中心として X Y 平面上に配置された外側環状変形体 8 0 と、検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z 軸が挿通する貫通開口部 H 9 0 を有し、原点 O を中心として X Y 平面上に配置され、かつ、外側環状変形体 8 0 の貫通開口部 H 8 0 内に配置された内側環状変形体 9 0 と、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 の Z 軸負領域側に隣接する位置に配置された左側支持体 6 0 と、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 の Z 軸正領域側に隣接する位置に配置された右側支持体 7 0 と、各環状変形体 8 0, 9 0 と各支持体 6 0, 7 0 とを接続する接続部材と、によって構成されていることになる。

ここで、図 3 1 に示すとおり、外側環状変形体 8 0 の Z 軸負側の側面上には、第 1 の外側左側接続点（凸状部 6 1 の接続点）および第 2 の外側左側接続点（凸状部 6 2 の接続点）が設けられ、外側環状変形体 8 0 の Z 軸正側の側面上には、第 1 の外側右側接続点（凸状部 7 1 の接続点）および第 2 の外側右側接続点（凸状部 7 2 の接続点）が設けられ、内側環状変形体 9 0 の Z 軸負側の側面上には、第 1 の内側左側接続点（凸状部 6 3 の接続点）および第 2 の内側左側接続点（凸状部 6 4 の接続点）が設けられ、内側環状変形体 9 0 の Z 軸正側の側面上には、第 1 の内側右側接続点（凸状部 7 3 の接続点）および第 2 の内側右側接続点（凸状部 7 4 の接続点）が設けられている。

そして、第 1 の外側左側接続点を左側支持体 6 0 に接続する第 1 の外側左側接続部材（凸状部 6 1）と、第 2 の外側左側接続点を左側支持体 6 0 に接続する第 2 の外側左側接続部材（凸状部 6 2）と、第 1 の外側右側接続点を右側支

持体 7 0 に接続する第 1 の外側右側接続部材（凸状部 7 1）と、第 2 の外側右側接続点を右側支持体 7 0 に接続する第 2 の外側右側接続部材（凸状部 7 2）と、によって、外側環状変形体 8 0 が左右から支持されることになる。

また、第 1 の内側左側接続点を左側支持体 6 0 に接続する第 1 の内側左側接続部材（凸状部 6 3）と、第 2 の内側左側接続点を左側支持体 6 0 に接続する第 2 の内側左側接続部材（凸状部 6 4）と、第 1 の内側右側接続点を右側支持体 7 0 に接続する第 1 の内側右側接続部材（凸状部 7 3）と、第 2 の内側右側接続点を右側支持体 7 0 に接続する第 2 の内側右側接続部材（凸状部 7 4）と、によって、内側環状変形体 9 0 が左右から支持されることになる。

10 ここで、各接続点は、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 の両側面を X Y 平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第 1 の外側右側接続点の投影像が正の X 軸上、第 2 の外側右側接続点の投影像が負の X 軸上、第 1 の外側左側接続点の投影像が正の Y 軸上、第 2 の外側左側接続点の投影像が負の Y 軸上、第 1 の内側右側接続点の投影像が正の Y 軸上、第 2 の内側右側接続点の投影像が負の Y 軸上、第 1 の内側左側接続点の投影像が正の X 軸上、第 2 の内側左側接続点の投影像が負の X 軸上にくるように配置されている。

実際のトルクセンサは、このような基本構造部に、更に、検出用の電極と検出回路を付加することによって構成される。すなわち、外側環状変形体 8 0 の内周面に固定され、外側環状変形体 8 0 の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極と、内側環状変形体 9 0 の外周面における外側変位電極に対向する位置に固定され、内側環状変形体 9 0 の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、これら互いに対向する電極によって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体 7 0 に負荷がかかった状態において左側支持体 6 0 に作用した 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が設けられる。

なお、原理上は、図 3 5 に示す 4 組の容量素子のうち、少なくとも 1 組の容

量素子があれば、トルク検出が可能である。ただ、実用上は、同相ノイズやゼロ点ドリフトを抑えた安定したトルク検出を行うために、差分検出を行うのが好ましい。そのためには、図35に示す4組の容量素子のうち、少なくとも、V軸上に配置された1組の容量素子と、W軸上に配置された1組の容量素子とを設けておけばよい。

すなわち、XY平面上に、原点O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、V軸上に配置された第1の外側変位電極および第1の内側変位電極と、W軸上に配置された第2の外側変位電極および第2の内側変位電極と、設け、検出回路が、第1の外側変位電極と第1の内側変位電極とによって構成される第1の容量素子の静電容量値と、第2の外側変位電極と第2の内側変位電極とによって構成される第2の容量素子の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力すればよい。

もちろん、更に精度の高い検出を行う上では、図35に示す4組の容量素子のすべてを用いるのが好ましい。この場合、XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して 45° をなし、符号をもったV軸およびW軸を定義した場合に、正のV軸上に配置された第1の外側変位電極E81および第1の内側変位電極E91と、正のW軸上に配置された第2の外側変位電極E82および第2の内側変位電極E92と、負のV軸上に配置された第3の外側変位電極E83および第3の内側変位電極E93と、負のW軸上に配置された第4の外側変位電極E84および第4の内側変位電極E94と、を設け、検出回路が、「第1の外側変位電極E81と第1の内側変位電極E91とによって構成される第1の容量素子C1の静電容量値と、第3の外側変位電極E83と第3の内側変位電極E93とによって構成される第3の容量素子C3の静電容量値と、の和」と、「第2の外側変位電極E82と第2の内側変位電極E92とによって構成される第2の容量素子C2の静電容量値と、第4の外側変位電極E84と第4の内

側変位電極 E 9 4 とによって構成される第 4 の容量素子 C 4 の静電容量値と、
の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として
出力すればよい。

このように、外側と内側とに配置された 2 組の環状変形体を組み込む構成を
5 採った場合、変位電極と固定電極とによって容量素子を構成する代わりに、外
側環状変形体 8 0 の内周面に形成した外側変位電極と、内側環状変形体 9 0 の
外周面に形成した内側変位電極と、によって容量素子を形成することが可能に
なる。そして、図示の例のように、両環状変形体として円環状の構造体を用い、
トルクが作用した際にいずれも楕円形に変形するようにし、一方の楕円の長軸
10 方向が他方の楕円の短軸方向となるように、互いに 90° ずらした接続点を設け
るようにすれば、外側変位電極と内側変位電極との間の電極間隔の変動量を大
きくとすることができ、検出感度を更に向上させることができる。

もっとも、両環状変形体が変形したときに、一方の楕円の長軸方向が他方の
楕円の短軸方向となるように、互いに 90° ずらした接続点を設けることは、ト
ルク検出を行う上で、必ずしも必須の要件ではない。変形後の楕円の長軸方向
15 が同じであっても、無負荷時の真円の状態における外側変位電極と内側変位電
極との距離と、変形後の楕円の状態における同距離とは異なるため、やはり容
量素子の静電容量値の変動量として、トルク検出が可能である。ただ、感度を
より高める上では、ここに示した実施例のように、一方の楕円の長軸方向が他
20 方の楕円の短軸方向となるように、互いに 90° ずらした接続点を設けるのが好
ましい。

結局、この § 9 で述べた実施例に係る技術思想は、所定の回転軸まわりのトル
クを検出するトルクセンサに係る発明であり、検出対象となるトルクの作用に
より弾性変形を生じる材質からなり、回転軸 Z が挿通する貫通開口部 H 8 0 を
25 有する外側環状変形体 8 0 と、検出対象となるトルクの作用により弾性変形を
生じる材質からなり、回転軸 Z が挿通する貫通開口部 H 9 0 を有し、外側環状

変形体 80 の内側に配置された内側環状変形体 90 と、回転軸 Z が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向から見たときに、外側環状変形体 80 および内側環状変形体 90 の左側に隣接する位置に配置された左側支持体 60 と、基準観察方向から見たときに、外側環状変形体 80 および内側環状変形体 90 の右側に隣接する位置に配置された右側支持体 70 と、各接続部材と、によって構成される基本構造部を有するセンサの発明ということになる。

ここで、各接続部材は、外側環状変形体 80 の左側支持体 60 に対向する左側の側面上の外側左側接続点を、左側支持体 60 に接続する外側左側接続部材と、外側環状変形体 80 の右側支持体 70 に対向する右側の側面上の外側右側接続点を、右側支持体 70 に接続する外側右側接続部材と、内側環状変形体 90 の左側支持体 60 に対向する左側の側面上の内側左側接続点を、左側支持体 60 に接続する内側左側接続部材と、内側環状変形体 90 の右側支持体 70 に対向する右側の側面上の内側右側接続点を、右側支持体 70 に接続する内側右側接続部材と、によって構成されている。

そして、この基本構造部に、外側環状変形体 80 の内周面に固定され、外側環状変形体 80 の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極と、内側環状変形体 90 の外周面に固定され、内側環状変形体 90 の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、外側変位電極と内側変位電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、右側支持体 70 に負荷がかかった状態において左側支持体 60 に作用した回転軸 Z まわりのトルクを示す電気信号を出力する検出回路を付加することにより、トルクセンサが実現できる。

ここで、各環状変形体 80, 90 に変形を生じさせるために、回転軸 Z に直交する投影面について、外側左側接続点の正射影投影像と外側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成され、内側左側接続点の正射影投影像と内側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにする必要がある。

なお、この§9で述べる実施例についても、§7で述べた「共通導電層を用い

る変形例」を適用することが可能である。図37は、図35に示すトルクセンサにおいて、4組の外側変位電極E81～E84を共通導電層E85に置き換えた変形例を示すXY平面での断面図である。このように、各外側変位電極E81～E84を、外側環状変形体80の内周面に形成された共通導電層E85

5 によって構成しても、検出系は電氣的には同じであり、これまで述べた実施例と同様の原理でトルク検出が可能である。もちろん、外側変位電極は、4組の独立した電極E81～E84としておき、各内側変位電極E91～E94を、内側環状変形体90の外周面に形成された共通導電層によって構成してもかまわない。

- 10 一方、図38は、図37に示すトルクセンサにおいて、導電性材料からなる環状変形体80Aを用いることにより、環状変形体80Aの内周面を共通導電層として利用した変形例を示すXY平面での断面図である。外側環状変形体80Aを導電性の弾性材料によって構成したため、その内周面が図37に示す共通導電層E85と同等の機能を果たすことになる。もちろん、外側変位電極は、
- 15 4組の独立した電極E81～E84としておき、内側環状変形体90を導電性の弾性材料によって構成し、内側環状変形体90の外周面自身を、4組の内側変位電極の代用となる共通導電層として用いるようにしてもよい。

<<< §10. 2組の環状変形体を用いる変形例（その3） >>>

- 図39は、2組の環状変形体を用いた更に別な変形例に係るトルクセンサの
- 20 XY平面での断面図である。この変形例は、容量素子を構成する一方の電極を変位電極、他方の電極を固定電極とする例であり、この点において、§8で述べた変形例に類似している。実際、この変形例に係るトルクセンサの基本構造部は、§8で述べた変形例と全く同一であり、その分解斜視図は、図31に示すとおりである。ただ、§8で述べた変形例とは、電極の構成および配置が若干異なる。
- 25 っている。

図39に示すとおり、外側環状変形体80の内周面におけるV軸およびW軸

との交差部分には、大面積外側変位電極E 8 1 L, E 8 2 L, E 8 3 L, E 8 4 Lが固定されており、内側環状変形体9 0の外周面におけるV軸およびW軸との交差部分には、大面積内側変位電極E 9 1 L, E 9 2 L, E 9 3 L, E 9 4 Lが固定されている。また、これらの中間位置には、右側支持体7 0に固定
5 された4枚の固定電極E 1 0 1, E 1 0 2, E 1 0 3, E 1 0 4が設けられている。これら4枚の固定電極E 1 0 1, E 1 0 2, E 1 0 3, E 1 0 4は、大面積外側変位電極E 8 1 L, E 8 2 L, E 8 3 L, E 8 4 Lに対向する対向電極としての機能と、大面積内側変位電極E 9 1 L, E 9 2 L, E 9 3 L, E 9 4 Lに対向する対向電極としての機能と、を兼ねている。

10 ここでは説明の便宜上、変位電極E 8 1 Lと固定電極E 1 0 1とによって構成される容量素子をC 1-1とし、変位電極E 9 1 Lと固定電極E 1 0 1とによって構成される容量素子をC 1-2とする。また、変位電極E 8 2 Lと固定電極E 1 0 2とによって構成される容量素子をC 2-1とし、変位電極E 9 2 Lと固定電極E 1 0 2とによって構成される容量素子をC 2-2とする。同様に、変位
15 電極E 8 3 Lと固定電極E 1 0 3とによって構成される容量素子をC 3-1とし、変位電極E 9 3 Lと固定電極E 1 0 3とによって構成される容量素子をC 3-2とし、変位電極E 8 4 Lと固定電極E 1 0 4とによって構成される容量素子をC 4-1とし、変位電極E 9 4 Lと固定電極E 1 0 4とによって構成される容量素子をC 4-2とする。結局、合計8組の容量素子が構成されている。

20 大面積外側変位電極E 8 1 L, E 8 2 L, E 8 3 L, E 8 4 L、および大面積内側変位電極E 9 1 L, E 9 2 L, E 9 3 L, E 9 4 Lを、それぞれ「大面積電極」と呼んでいる理由は、中間位置に介挿されている固定電極E 1 0 1, E 1 0 2, E 1 0 3, E 1 0 4に比べて面積の大きな電極になっているためである。すなわち、各大面積変位電極E 8 1 L~E 8 4 L, E 9 1 L~E 9 4 L
25 と各固定電極E 1 0 1~E 1 0 4との関係は、図2 2に示す大面積電極E Lと小面積電極E Sとの関係と同様であり、各固定電極E 1 0 1~E 1 0 4に対す

る各大面積変位電極 $E_{81L} \sim E_{84L}$, $E_{91L} \sim E_{94L}$ の相対位置が変化した場合にも、容量素子を構成する一对の電極の実効対向面積が変化しないようになっている。このため、8組の容量素子の静電容量値の変化は、対向する両電極の間隔の変化によってのみ生じることになる。

5 さて、この図39に示すトルクセンサに対して、6つの成分が作用した場合に、8組の容量素子の静電容量値にどのような変化が生じるかを検討してみる。図40は、図39に示すトルクセンサについて、Z軸正まわりのモーメント M_z が作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。このZ軸正まわりのモーメント M_z は、このトルクセンサにおける検出対象となるトルクに他ならない。図40では、図が繁雑になるのを避けるために各電極の図示は省略し
10 ている。その代わりに、図39に示す8組の容量素子の配置位置に「+」もしくは「-」の符号を記している。これらの符号は、当該位置に配置された容量素子の静電容量値の増減を示している。すなわち、符号「+」は静電容量値が増加することを示し、符号「-」は静電容量値が減少することを示している。

15 図40に示すとおり、右側支持体70に負荷がかかった状態において、左側支持体60から環状変形体80, 90に対して、Z軸正まわりのモーメント M_z が作用すると、外側環状変形体80はW軸を長軸とする楕円に変形し、内側環状変形体90はV軸を長軸とする楕円に変形する。その結果、V軸上に配置された4組の容量素子 C_{1-1} , C_{1-2} , C_{3-1} , C_{3-2} は、いずれも電極
20 間隔が狭まり静電容量値が増加するのに対して、W軸上に配置された4組の容量素子 C_{2-1} , C_{2-2} , C_{4-1} , C_{4-2} は、いずれも電極間隔が広がり静電容量値が減少する。

一方、図41は、図39に示すトルクセンサについて、右側支持体70に負荷がかかった状態において、左側支持体60から環状変形体80, 90に対し
25 て、X軸正方向の力 $+F_x$ が作用したときの状態を示すXY平面での断面図である。このような変形態様が生じるのは、外側環状変形体80には、X軸上の

両接続点が右側支持体 7 0 に支持されている状態で Y 軸上の両接続点に左側支持体 6 0 からの力 $+F_x$ が加わるのに対して、内側環状変形体 9 0 には、Y 軸上の両接続点が右側支持体 7 0 に支持されている状態で X 軸上の両接続点に左側支持体 6 0 からの力 $+F_x$ が加わるためである。

- 5 結局、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 とともに、第 1 象限 I および第 4 象限 IV に位置する円弧部分は外側に膨らみ、第 2 象限 II および第 3 象限 III に位置する円弧部分は内側にしぼむことになる。その結果、4 組の容量素子 C_{1-1} 、 C_{2-2} 、 C_{3-2} 、 C_{4-1} は、いずれも電極間隔が広がり静電容量値が減少するのに対して、残りの 4 組の容量素子 C_{1-2} 、 C_{2-1} 、 C_{3-1} 、 C_{4-2} は、いずれも電極間隔が狭まり静電容量値が増加する。

図 4 2 は、図 3 9 に示すトルクセンサについて、右側支持体 7 0 に負荷がかかった状態において、左側支持体 6 0 から環状変形体 8 0、9 0 に対して、Y 軸正方向の力 $+F_y$ が作用したときの状態を示す X Y 平面での断面図である。このような変形態様が生じるのは外側環状変形体 8 0 には、X 軸上の両接続点
15 が右側支持体 7 0 に支持されている状態で Y 軸上の両接続点に左側支持体 6 0 からの力 $+F_y$ が加わるのに対して、内側環状変形体 9 0 には、Y 軸上の両接続点が右側支持体 7 0 に支持されている状態で X 軸上の両接続点に左側支持体 6 0 からの力 $+F_y$ が加わるためである。

結局、外側環状変形体 8 0 および内側環状変形体 9 0 とともに、第 1 象限 I および第 2 象限 II に位置する円弧部分は外側に膨らみ、第 3 象限 III および第 4 象限 IV に位置する円弧部分は内側にしぼむことになる。その結果、4 組の容量素子 C_{1-1} 、 C_{2-1} 、 C_{3-2} 、 C_{4-2} は、いずれも電極間隔が広がり静電容量値が減少するのに対して、残りの 4 組の容量素子 C_{1-2} 、 C_{2-2} 、 C_{3-1} 、 C_{4-1} は、いずれも電極間隔が狭まり静電容量値が増加する。

25 図 4 3 は、図 3 9 に示すトルクセンサについて、右側支持体 7 0 に負荷がかかった状態において、左側支持体 6 0 から環状変形体 8 0、9 0 に対して各座

標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントが作用したときの 8 組の容量素子の静電容量値の変化態様を示す表である。ここで、 M_z 、 F_x 、 F_y の各欄の「+」、「-」の結果は、図 40～図 42 に示す結果に対応するものである。また、 F_z の欄がすべて 0 になっている理由は、Z 軸方向の力 F_z が作用した場合、環状変形体 80、90 が Z 軸方向に変位するものの、対向する電極の間隔には変化が生じないためである。また、 M_x 、 M_y の欄がすべて 0 になっている理由は、容量素子を構成する一对の電極の間隔は、一部では狭くなり、別な一部では広がるため、トータルでは静電容量値に変化は生じないためである。

- 10 この図 43 の表に示す結果を踏まえると、Z 軸まわりのモーメント M_z （検出対象となるトルク）は、各容量素子の静電容量値を当該容量素子の符号と同一符号で表すことにすれば、

$$M_z = ((C_{1-1}) + (C_{1-2}) + (C_{3-1}) + (C_{3-2})) \\ - ((C_{2-1}) + (C_{2-2}) + (C_{4-1}) + (C_{4-2}))$$

- 15 なる式に基づく差分演算によって求めることができることになる。しかも、各容量素子を構成する電極の形状および配置が、XZ 平面および YZ 平面に関して対称性を維持していれば、力 F_x もしくは力 F_y の作用によって生じる各容量素子の静電容量値の変動分は、上記差分演算によって相殺されるので、たとえば力 F_x や力 F_y が作用していたとしても、上記差分演算によって得られる Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値は、他軸成分の干渉を受けない正確な値になる（ F_z 、 M_x 、 M_y の欄はすべて 0 であるから、これらの成分はもともと干渉を生じさせない）。

更に、この図 43 の表に示す結果を踏まえると、Z 軸まわりのモーメント M_z だけでなく、力 F_x 、 F_y の検出も可能である。すなわち、力 F_x は、

25

$$F_x = ((C_{1-2}) + (C_{2-1}) + (C_{3-1}) + (C_{4-2})) \\ - ((C_{1-1}) + (C_{2-2}) + (C_{3-2}) + (C_{4-1}))$$

なる式に基づく差分演算によって求めることができ、力 F_y は、

$$F_y = ((C_{1-2}) + (C_{2-2}) + (C_{3-1}) + (C_{4-1})) \\ - ((C_{1-1}) + (C_{2-1}) + (C_{3-2}) + (C_{4-2}))$$

なる式に基づく差分演算によって求めることができる。なお、実際には、図 2

- 5 1 の検出回路に示すように、各静電容量値を、C/V変換器により電圧値に変換し、これら電圧値を用いて演算を行うことになる。

このように、図 3 9 に示す実施例に係るセンサは、Z 軸まわりのトルクを検出するトルクセンサとしての機能を果たすとともに、X 軸方向の力 F_x および Y 軸方向の力 F_y を検出する力センサとしての機能を果たすことができる。も

10 っとも、力 F_x 、 F_y の検出に関しては、各容量素子を構成する電極の形状および配置が、XZ 平面および YZ 平面に関して対称性を維持していたとしても、他軸成分の干渉があると、上記差分演算式における静電容量値の増加分の絶対値と減少分の絶対値とは必ずしも等しくならないため、他軸成分が多少の誤差として検出される。

15 <<< § 1 1. その他の変形例 >>>

最後に、本発明についての更に別な変形例を列挙しておく。

(1) これまでの実施例では、環状変形体として、トルクが作用しない無負荷状態において円環状をなす部材を用いた例を示したが、本発明に係るトルクセンサに用いる環状変形体は、必ずしも円環状である必要はない。たとえば、

20 八角形の環状変形体を用いることも可能である。ただ、実用上は、円環状の環状変形体を用いるのが好ましい。また、左側支持体や右側支持体は、環状変形体を左右から支持することができればよいので、その形状は任意でかまわない。ただ、実用上は、環状変形体の外形と同じ形状のものをを用いると、基本構造部の全体形状を単純化することができるので好ましい。

25 (2) これまでの実施例では、環状変形体の左側面の 2 箇所に接続点を設定して左側支持体に接続するとともに、環状変形体の右側面の 2 箇所に接続点

を設定して右側支持体に接続する構造を採っていたが、左右の支持体に対する接続点は、必ずしも2箇所にする必要はなく、3箇所以上設けるようにしてもかまわない。あるいは、左右1箇所ずつ接続する構造を採ってもかまわない。

ただ、トルクの作用により、環状変形体の一部を变形させる必要があるため、

- 5 左右の接続点は異なる位置に設定する必要がある。より正確に言えば、回転軸に直交する投影面についての左側接続点の正射影投影像と右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにする必要がある。

- (3) これまでの実施例では、環状変形体の左側面の接続点に接続する左側接続部材として、左側支持体の右側面から右方に突出した凸状部を用い、環状変形体の右側面の接続点に接続する右側接続部材として、右側支持体の左側面から左方に突出した凸状部を用い、各凸状部の頂面を環状変形体の各接続点に接合する構造を採っていた。しかしながら、各接続部材には、必ずしも支持体側面から突出した凸状部を用いる必要はなく、環状変形体の接続点を各支持体に接続する機能をもった部材であれば、どのような部材を接続部材として用
- 10
- 15

- (4) §1で述べた基本構造部では、環状変形体30の左側の側面上には、第1の左側接続点P11および第2の左側接続点P12が設定され、第1の左側接続点P11の位置には、左側支持体10に接続するための第1の左側接続部材(凸状部11)が接合され、第2の左側接続点P12の位置には、左側支持体10に接続するための第2の左側接続部材(凸状部12)が接合されている。同様に、環状変形体30の右側の側面上には、第1の右側接続点P21および第2の右側接続点P22が設定され、第1の右側接続点P21の位置には、右側支持体20に接続するための第1の右側接続部材(凸状部21)が接合され、第2の右側接続点P22の位置には、右側支持体20に接続するための第2の右側接続部材(凸状部22)が接合されている。
- 20
- 25

そして、図7に示すように、XY平面を投影面として、回転軸(Z軸)の投

影点（すなわち、原点O）を通り、互いに直交する2直線（すなわち、X軸およびY軸）を引いた場合に、第1の左側接点P11および第2の左側接点P12の正射影投影像が第1の直線（Y軸）上に配置され、第1の右側接点P21および第2の右側接点P22の正射影投影像が第2の直線（X軸）上に配置されている。このような配置を採ると、環状変形体30を軸対称性をもった楕円に変形させることができるので、軸対称性をもった検出値を得ることができる。

しかしながら、この4つの接点P11～P22は、必ずしも正確にX軸およびY軸上に位置させる必要はない。すなわち、XY平面上に環状変形体30の正射影投影像を得た場合、環状変形体30の輪郭に沿った環状路に、第1の左側接点P11、第1の右側接点P22、第2の左側接点P12、第2の右側接点P21の順に、各接点の正射影投影像が配置されていれば、すなわち、左側接点と右側接点とが、環状路に沿って交互に配置されるようにすれば、トルクの作用によって環状変形体30の各部を変形させることができる。

（5） 本発明に係るトルクセンサにおいて、作用したトルクの大きさと、環状変形体30の各部の変位量との関係は、必ずしも線形関係にはならない。したがって、作用したトルクの大きさに正確に比例した検出値を得る必要がある場合には、たとえば、図15に示す検出回路の出力端子T1や、図21に示す検出回路の出力端子T2に出力される電圧値を、線形検出値に変換するような補正テーブルを用意し、この補正テーブルを用いて変換された線形検出値が出力されるようにすればよい。

（6） 図15に示す検出回路や図21に示す検出回路では、アナログ電圧に対する演算器が用いられているが、もちろん、C/V変換器で変換されたアナログ電圧値Vを、A/D変換器を用いてデジタル信号に変換し、デジタル演算によって検出値を求めるようにしてもかまわない。

(7) これまでの実施形態では、環状変形体 30、80、90 の径方向の変位を効率良く検出できるように、容量素子を構成する固定電極や変位電極として、環状変形体 30、80、90 の内周面もしくは外周面に沿った形状および配置をもった電極を用いる例を述べた。しかしながら、本発明に係るトルク
5 センサの基本構造部に、Z 軸まわりのモーメント（トルク）や、X 軸方向の力 F_x または Y 軸方向の力 F_y が作用すると、図 40～図 42 に示す変形態様からもわかるとおり、環状変形体は接線方向（円周方向）にも変位する。したがって、容量素子を構成する固定電極や変位電極は、必ずしも環状変形体の内周面もしくは外周面に沿った形状および配置をもった電極にする必要はなく、環
10 状変形体の接線方向（円周方向）の変位検出に適した形状や配置をもった電極にしてもかまわない。

図 44 は、本発明に係るトルクセンサの更に別な電極構成を示す XY 平面での断面図である。ここでは、説明の便宜上、同一のトルクセンサに様々な形態の電極を用いた例を示す。たとえば、第 1 象限 I には、環状変形体 30 の半径
15 方向に沿った変位電極 E 31 A と固定電極 E 21 A とによって、容量素子 C 1 を構成した例が示されている。また、第 2 象限 II には、環状変形体 30 の半径方向に沿った固定電極 E 22 A と、環状変形体 30 の内周面に掘られた溝部壁面 E 32 A とによって、容量素子 C 2 を構成した例が示されている。この場合、
20 環状変形体 30 自身を導電性材料で構成しておくか、もしくは溝部壁面 E 32 A に導電膜を形成する必要がある。

また、第 3 象限 III には、断面三角形の突起部を環状変形体 30 の内周面に設けて変位電極 E 33 A とし、この突起部の傾斜面に対向する位置に固定電極 E 23 A を配置し、両電極によって容量素子 C 3 を構成した例が示されている。
更に、第 4 象限 IV には、環状変形体 30 の半径方向に沿った変位電極 E 34 A
25 と、この変位電極 E 34 A の両側にそれぞれ固定電極 E 24 A、E 24 B を設けた例が示されている。この場合、変位電極 E 34 A と固定電極 E 24 A とに

よって第1の容量素子C 4 Aが構成されるとともに、変位電極E 3 4 Aと固定電極E 2 4 Bとによって第2の容量素子C 4 Bが構成される。

- この図4 4に示す容量素子C 1 ~ C 4 Bは、いずれも環状変形体3 0の接線方向（円周方向）の変位検出に適した容量素子とすることができる。もちろん、
- 5 外側環状変形体8 0および内側環状変形体9 0を用いた実施形態についても、図4 4に例示するような接線方向（円周方向）の変位検出に適した容量素子を用いることができる。また、この図4 4に示すセンサは、トルクだけでなく、力 F_x , F_y の検出を行うことも可能である。なお、図4 4では、説明の便宜上、各象限に4種類の異なるタイプの容量素子を配置した例を示したが、もち
- 10 ろん、同一タイプの容量素子を4ヶ所に配置してもよいし、様々なタイプの容量素子を適宜組み合わせで4ヶ所に配置してもよい。

産業上の利用可能性

- 本発明に係るトルクセンサは、小型で高剛性をもち、構造が単純であるという利点を生かし、様々な産業機器においてトルクを測定するために利用可能である。特に、ロボットアームを用いて自動組立を行う産業機器において、アームの関節部分に組み込み、アームの先端部に生じる力を監視し、これを制御する用途に最適である。
- 15

請 求 の 範 囲

1. 所定の回転軸（Z）まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、
 検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、前記回
- 5 転軸（Z）が挿通する貫通開口部（H 3 0）を有する環状変形体（3 0；3 0 A）と、
 前記回転軸（Z）が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向から見た
 ときに、前記環状変形体（3 0；3 0 A）の左側に隣接する位置に配置された
 左側支持体（1 0）と、
- 10 前記基準観察方向から見たときに、前記環状変形体（3 0；3 0 A）の右側
 に隣接する位置に配置された右側支持体（2 0）と、
 前記環状変形体（3 0；3 0 A）の左側の側面上の左側接点（P 1 1， P
 1 2）を、前記左側支持体（1 0）に接続する左側接続部材（1 1， 1 2）と、
 前記環状変形体（3 0；3 0 A）の右側の側面上の右側接点（P 2 1， P
 15 2 2）を、前記右側支持体（2 0）に接続する右側接続部材（2 1， 2 2）と、
 前記環状変形体（3 0；3 0 A）の内周面もしくは外周面に固定され、前記
 環状変形体（3 0；3 0 A）の弾性変形に起因した変位を生じる変位電極（E
 3 1～E 3 4；E 3 1 A～E 3 4 A；E 3 1 L～E 3 4 L）と、
 前記変位電極（E 3 1～E 3 4；E 3 1 A～E 3 4 A；E 3 1 L～E 3 4 L）
 20 に対向する位置に配置され、前記左側支持体（1 0）もしくは前記右側支持体
 （2 0）に固定された固定電極（E 2 1～E 2 4；E 2 1 A～E 2 4 A；E 2
 1 S～E 2 4 S；E 2 4 B）と、
 前記変位電極（E 3 1～E 3 4；E 3 1 A～E 3 4 A；E 3 1 L～E 3 4 L）
 と前記固定電極（E 2 1～E 2 4；E 2 1 A～E 2 4 A；E 2 1 S～E 2 4 S；
 25 E 2 4 B）とによって構成される容量素子（C 1～C 4；C 4 A， C 4 B；C
 1-1～C 4-2）の静電容量値の変動量に基づいて、前記右側支持体（1 0）

および前記左側支持体（２０）の一方に負荷がかかった状態において他方に作用した前記回転軸（Ｚ）まわりのトルクを示す電気信号を出力する検出回路（４１～４３，５１～５５）と、

を備え、

- ５ 前記回転軸（Ｚ）に直交する投影面についての前記左側接続点（Ｐ１１，Ｐ１２）の正射影投影像と前記右側接続点（Ｐ２１，Ｐ２２）の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにしたことを特徴とするトルクセンサ。

２． 請求項１に記載のトルクセンサにおいて、

- １０ 環状変形体（３０；３０Ａ）の左側の側面上に第１の左側接続点（Ｐ１１）および第２の左側接続点（Ｐ１２）が設けられ、

左側接続部材（１１，１２）は、前記第１の左側接続点（Ｐ１１）を左側支持体（１０）に接続する第１の左側接続部材（１１）と、前記第２の左側接続点（Ｐ１２）を左側支持体（１０）に接続する第２の左側接続部材（１２）と、

- １５ を有し、

環状変形体（３０；３０Ａ）の右側の側面上に第１の右側接続点（Ｐ２１）および第２の右側接続点（Ｐ２２）が設けられ、

右側接続部材（２１，２２）は、前記第１の右側接続点（Ｐ２１）を右側支持体（２０）に接続する第１の右側接続部材（２１）と、前記第２の右側接続点（Ｐ２２）を右側支持体（２０）に接続する第２の右側接続部材（２２）と、

- ２０ を有し、

回転軸（Ｚ）に直交する投影面に環状変形体（３０；３０Ａ）を投影して正射影投影像を得た場合に、環状変形体（３０；３０Ａ）の輪郭に沿った環状路に、第１の左側接続点（Ｐ１１）、第１の右側接続点（Ｐ２１）、第２の左側接続点（Ｐ１２）、第２の右側接続点（Ｐ２２）の順に、各接続点の正射影投影像が配置されていることを特徴とするトルクセンサ。

２５

3. 請求項2に記載のトルクセンサにおいて、

回転軸（Z）に直交する投影面上に、回転軸（Z）の投影点を通り互いに直交する2直線を引いた場合に、第1の左側接続点（P11）および第2の左側
5 接続点（P12）の正射影投影像が第1の直線上（Y）に配置され、第1の右側接続点（P21）および第2の右側接続点（P22）の正射影投影像が第2の直線上（X）に配置されていることを特徴とするトルクセンサ。

4. 請求項1～3のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

10 左側支持体（10）および右側支持体（20）として、中心部に貫通開口部（H10、H20）を有する環状の構造体を用い、回転軸（Z）に沿って、左側支持体（10）、環状変形体（30）、右側支持体（20）の各貫通開口部（H10、H30、H20）を貫く挿通孔が確保されるようにしたことを特徴とするトルクセンサ。

15

5. 請求項1～4のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

環状変形体（30；30A）が、回転軸（Z）を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部（H30）を形成することにより得られる円環状の部材からなることを特徴とするトルク
20 センサ。

6. 請求項1～5のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

左側支持体（10）および右側支持体（20）が、回転軸（Z）を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部（H10、H20）を形成することにより得られる円環状の部材からなる
25 ことを特徴とするトルクセンサ。

7. 請求項1～6のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

変位電極（E 3 1～E 3 4；E 3 1 A～E 3 4 A；E 3 1 L～E 3 4 L）を、環状変形体（3 0）の内周面に形成された導電層によって構成し

5 固定電極（E 2 1～E 2 4；E 2 1 A～E 2 4 A；E 2 1 S～E 2 4 S；E 2 4 B）を、この導電層に対向する位置に配置され、左側支持体（1 0）もしくは右側支持体（2 0）から回転軸（Z）に沿った方向に突き出した導電板によって構成したことを特徴とするトルクセンサ。

10 8. 請求項1～7のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

環状変形体（3 0）の各部分のうち、所定回転方向のトルクが作用したときに、回転軸（Z）に近づく方向に変位する第1の部分に固定された第1の変位電極（E 3 1）と、回転軸（Z）から離れる方向に変位する第2の部分に固定された第2の変位電極（E 3 2）と、前記第1の変位電極（E 3 1）に対向する位置に配置された第1の固定電極（E 2 1）と、前記第2の変位電極（E 3 2）に対向する位置に配置された第2の固定電極（E 2 2）と、を有し、

検出回路が、前記第1の変位電極（E 3 1）と前記第1の固定電極（E 2 1）とによって構成される第1の容量素子（C 1）の静電容量値と、前記第2の変位電極（E 3 2）と前記第2の固定電極（E 2 2）とによって構成される第2の容量素子（C 2）の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力することを特徴とするトルクセンサ。

9. 請求項8に記載のトルクセンサにおいて、

所定回転方向のトルクが作用したときに、電極間隔が狭まる容量素子（C 1）を構成する一対の電極（E 2 1，E 3 1）の実効対向面積が増加し、電極間隔が広がる容量素子（C 2）を構成する一対の電極（E 2 2，E 3 2）の実効対

向面積が減少するように、互いに対向する変位電極と固定電極とをオフセットをもたせて配置したことを特徴とするトルクセンサ。

10. 請求項1～8のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

- 5 所定回転方向のトルクが作用した結果、固定電極（E 2 1 S～E 2 4 S）に対する変位電極（E 2 1 L～E 2 4 L）の相対位置が変化した場合にも、容量素子（C 1～C 4）を構成する一对の電極の実効対向面積が変化しないように、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したことを特徴とするトルクセンサ。

10

11. 請求項1～10のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、回転軸（Z）が挿通する貫通開口部（H 9 0）を有し、環状変形体（8 0）の内側に配置された内側環状変形体（9 0）と、

- 15 前記内側環状変形体（9 0）の左側の側面上の内側左側接続点を左側支持体（6 0）に接続する内側左側接続部材（6 3，6 4）と、

前記内側環状変形体（9 0）の右側の側面上の内側右側接続点を右側支持体（7 0）に接続する内側右側接続部材（7 2）と、

- 20 前記内側環状変形体（9 0）の内周面もしくは外周面に固定され、前記内側環状変形体（9 0）の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

前記内側変位電極に対向する位置に配置され、前記左側支持体（6 0）もしくは前記右側支持体（7 0）に固定された内側固定電極と、

を更に備え、

- 25 回転軸（Z）に直交する投影面についての前記内側左側接続点の正射影投影像と前記内側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成されるようにし、検出回路が、前記内側変位電極と前記内側固定電極とによって構成される容

量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸（Z）まわりのトルクを示す電気信号を出力することを特徴とするトルクセンサ。

12. 請求項1に記載のトルクセンサにおいて、

- 5 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ために、環状変形体（30）が原点Oを中心としてXY平面上に配置され、左側支持体（10）がZ軸負領域に配置され、右側支持体（20）がZ軸正領域に配置され、

環状変形体（30）のZ軸負側の側面上に第1の左側接続点（P11）および第2の左側接続点（P12）が設けられ、

- 10 左側接続部材は、前記第1の左側接続点（P11）を左側支持体（10）に接続する第1の左側接続部材（11）と、前記第2の左側接続点（P12）を左側支持体（10）に接続する第2の左側接続部材（12）と、を有し、

環状変形体（30）のZ軸正側の側面上に第1の右側接続点（P21）および第2の右側接続点（P22）が設けられ、

- 15 右側接続部材は、前記第1の右側接続点（P21）を右側支持体（20）に接続する第1の右側接続部材（21）と、前記第2の右側接続点（P22）を右側支持体（20）に接続する第2の右側接続部材（22）と、を有し、

環状変形体（30）の両側面をXY平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第1の右側接続点（P21）の投影像が正のX軸上、第2の右側接続点

- 20 （P22）の投影像が負のX軸上、第1の左側接続点（P11）の投影像が正のY軸上、第2の左側接続点（P12）の投影像が負のY軸上に配置されていることを特徴とするトルクセンサ。

13. 請求項12に記載のトルクセンサにおいて、

- 25 環状変形体（30）が、Z軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部（H30）を形成することによ

り得られる円環状の部材からなることを特徴とするトルクセンサ。

14. 請求項13に記載のトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して 45° をなすV軸および
5 W軸を定義した場合に、V軸上に配置された第1の変位電極(E31)および
第1の固定電極(E21)と、W軸上に配置された第2の変位電極(E32)
および第2の固定電極(E22)と、を有し、

検出回路(41, 42, 43)が、前記第1の変位電極(E31)と前記第
1の固定電極(E21)とによって構成される第1の容量素子(C1)の静電
10 容量値と、前記第2の変位電極(E32)と前記第2の固定電極(E22)と
によって構成される第2の容量素子(C2)の静電容量値と、の差に相当する
電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力することを特徴とする
トルクセンサ。

15 15. 請求項14に記載のトルクセンサにおいて、

所定回転方向のトルクの作用により環状変形体(30)のXY平面上への正
射影投影像の輪郭が円から楕円に変化する場合に、この楕円の短軸方向にV軸、
長軸方向にW軸をとり、

トルクが作用していない状態において、第1の固定電極(E21)の位置が、
20 第1の変位電極(E31)の位置に比べて、前記所定回転方向に所定のオフセ
ット量だけずれ、第2の固定電極(E22)の位置が、第2の変位電極(E3
2)の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だ
けずれていることを特徴とするトルクセンサ。

25 16. 請求項13に記載のトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点Oを通りX軸およびY軸に対して 45° をなし、符号をも

ったV軸およびW軸を定義した場合に、正のV軸上に配置された第1の変位電極(E 3 1)および第1の固定電極(E 2 1)と、正のW軸上に配置された第2の変位電極(E 3 2)および第2の固定電極(E 2 2)と、負のV軸上に配置された第3の変位電極(E 3 3)および第3の固定電極(E 2 3)と、負のW軸上に配置された第4の変位電極(E 3 4)および第4の固定電極(E 2 4)と、を有し、

検出回路が、「前記第1の変位電極(E 3 1)と前記第1の固定電極(E 2 1)とによって構成される第1の容量素子(C 1)の静電容量値と、前記第3の変位電極(E 3 3)と前記第3の固定電極(E 2 3)とによって構成される第3の容量素子の静電容量値(C 3)と、の和」と、「前記第2の変位電極(E 3 2)と前記第2の固定電極(E 2 2)とによって構成される第2の容量素子(C 2)の静電容量値と、前記第4の変位電極(E 3 4)と前記第4の固定電極(E 2 4)とによって構成される第4の容量素子(C 4)の静電容量値と、の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力することを特徴とするトルクセンサ。

17. 請求項16に記載のトルクセンサにおいて、

所定回転方向のトルクの作用により環状変形体(30)のXY平面上への正射影投影像の輪郭が円から楕円に変化する場合に、この楕円の短軸方向にV軸、長軸方向にW軸をとり、

トルクが作用していない状態において、第1の固定電極(E 2 1)の位置が、第1の変位電極(E 3 1)の位置に比べて、前記所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第2の固定電極(E 2 2)の位置が、第2の変位電極(E 3 2)の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれ、第3の固定電極(E 2 3)の位置が、第3の変位電極(E 3 3)の位置に比べて、前記所定回転方向に所定のオフセット量だけずれ、第4の固定電

極（E 2 4）の位置が、第 4 の変位電極（E 3 4）の位置に比べて、前記所定回転方向とは逆の方向に所定のオフセット量だけずれていることを特徴とするトルクセンサ。

5 1 8. 請求項 1 4 または 1 6 に記載のトルクセンサにおいて、

所定回転方向のトルクが作用した結果、固定電極（E 2 1 S～E 2 4 S）に対する変位電極（E 3 1 L～E 3 4 L）の相対位置が変化した場合にも、容量素子（C 1～C 4）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、

10 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したことを特徴とするトルクセンサ。

1 9. 請求項 1 8 に記載のトルクセンサにおいて、

各変位電極を、環状変形体の内周面に形成された共通導電層によって構成したことを特徴とするトルクセンサ。

15

2 0. 請求項 1 9 に記載のトルクセンサにおいて、

環状変形体（3 0 A）を導電性の弾性材料によって構成し、環状変形体（3 0 A）の内周面自身を共通導電層（E 3 5）として用いることを特徴とするトルクセンサ。

20

2 1. 請求項 1 2 に記載のトルクセンサにおいて、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z 軸が挿通する貫通開口部（H 9 0）を有し、原点 O を中心として X Y 平面上に、環状変形体（8 0）の内側にくるように配置された内側環状変形体（9 0）を更に備え、

25

前記内側環状変形体（9 0）の Z 軸負側の側面上に第 1 の内側左側接続点お

よび第 2 の内側左側接続点が設けられ、

前記内側環状変形体（90）の Z 軸正側の側面上に第 1 の内側右側接続点および第 2 の内側右側接続点が設けられ、

前記第 1 の内側左側接続点を左側支持体（60）に接続する第 1 の内側左側
5 接続部材（63）と、前記第 2 の内側左側接続点を左側支持体（60）に接続する第 2 の内側左側接続部材（64）と、前記第 1 の内側右側接続点を右側支持体（70）に接続する第 1 の内側右側接続部材と、前記第 2 の内側右側接続点を右側支持体（70）に接続する第 2 の内側右側接続部材と、

前記内側環状変形体（80）の内周面もしくは外周面に固定され、前記内側
10 環状変形体（80）の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極と、

前記内側変位電極に対向する位置に配置され、前記左側支持体（60）もしくは前記右側支持体（70）に固定された内側固定電極と、

を更に備え、

前記内側環状変形体（90）の両側面を X Y 平面上に投影して正射影投影像
15 を得た場合に、第 1 の内側右側接続点の投影像が正の Y 軸上、第 2 の内側右側接続点の投影像が負の Y 軸上、第 1 の内側左側接続点の投影像が正の X 軸上、第 2 の内側左側接続点の投影像が負の X 軸上に配置されており、

検出回路が、前記内側変位電極と前記内側固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値の変動量を更に利用して、回転軸（Z）まわりのトルクを
20 示す電気信号を出力することを特徴とするトルクセンサ。

22. 所定の回転軸（Z）まわりのトルクを検出するトルクセンサであって、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、前記回転軸（Z）が挿通する貫通開口部（H80）を有する外側環状変形体（80）
25 と、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、前記回

転軸（Z）が挿通する貫通開口部（H 9 0）を有し、前記外側環状変形体（8 0）の内側に配置された内側環状変形体（9 0）と、

前記回転軸（Z）が左右に伸びる水平線をなすような基準観察方向から見たときに、前記外側環状変形体（8 0）および前記内側環状変形体（9 0）の左
5 側に隣接する位置に配置された左側支持体（6 0）と、

前記基準観察方向から見たときに、前記外側環状変形体（8 0）および前記内側環状変形体（9 0）の右側に隣接する位置に配置された右側支持体（7 0）と、

前記外側環状変形体（8 0）の左側の側面上の外側左側接続点を、前記左側
10 支持体（6 0）に接続する外側左側接続部材（6 1，6 2）と、

前記外側環状変形体（8 0）の右側の側面上の外側右側接続点を、前記右側支持体（7 0）に接続する外側右側接続部材（7 2）と、

前記内側環状変形体（9 0）の左側の側面上の内側左側接続点を、前記左側支持体（6 0）に接続する内側左側接続部材（6 3，6 4）と、

15 前記内側環状変形体（9 0）の右側の側面上の内側右側接続点を、前記右側支持体（7 0）に接続する内側右側接続部材と、

前記外側環状変形体（8 0）の内周面に固定され、前記外側環状変形体（8 0）の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極（E 8 1，E 8 2）と、

前記外側変位電極（E 8 1，E 8 2）に対向するように、前記内側環状変形体（9 0）の外周面に固定され、前記内側環状変形体（9 0）の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極（E 9 1，E 9 2）と、
20

前記外側変位電極（E 8 1，E 8 2）と前記内側変位電極（E 9 1，E 9 2）とによって構成される容量素子（C 1～C 4）の静電容量値の変動量に基づいて、前記右側支持体（7 0）および前記左側支持体（6 0）の一方に負荷がか
25 かった状態において他方に作用した前記回転軸（Z）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、

前記回転軸（Z）に直交する投影面について、前記外側左側接続点の正射影
投影像と前記外側右側接続点の正射影投影像とが異なる位置に形成され、前記
内側左側接続点の正射影投影像と前記内側右側接続点の正射影投影像とが異な
5 る位置に形成されるようにしたことを特徴とするトルクセンサ。

23. 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、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z軸が
10 挿通する貫通開口部（H80）を有し、原点Oを中心としてXY平面上に配置
された外側環状変形体（80）と、

検出対象となるトルクの作用により弾性変形を生じる材質からなり、Z軸が
挿通する貫通開口部（H90）を有し、原点Oを中心としてXY平面上に配置
され、かつ、前記外側環状変形体（80）の貫通開口部（H80）内に配置さ
15 れた内側環状変形体（90）と、

前記外側環状変形体（80）および前記内側環状変形体（90）のZ軸負領
域側に隣接する位置に配置された左側支持体（60）と、

前記外側環状変形体（80）および前記内側環状変形体（90）のZ軸正領
域側に隣接する位置に配置された右側支持体（70）と、

20 を備え、

前記外側環状変形体（80）のZ軸負側の側面上に、第1の外側左側接続点
および第2の外側左側接続点が設けられ、前記外側環状変形体（80）のZ軸
正側の側面上に、第1の外側右側接続点および第2の外側右側接続点が設けら
れ、

25 前記内側環状変形体（90）のZ軸負側の側面上に、第1の内側左側接続点
および第2の内側左側接続点が設けられ、前記内側環状変形体（90）のZ軸

正側の側面上に、第 1 の内側右側接続点および第 2 の内側右側接続点が設けられ、

前記第 1 の外側左側接続点を前記左側支持体（6 0）に接続する第 1 の外側左側接続部材（6 1）と、前記第 2 の外側左側接続点を前記左側支持体（6 0）
5 に接続する第 2 の外側左側接続部材（6 2）と、前記第 1 の外側右側接続点を前記右側支持体（7 0）に接続する第 1 の外側右側接続部材と、前記第 2 の外側右側接続点を前記右側支持体（7 0）に接続する第 2 の外側右側接続部材（7 2）と、

前記第 1 の内側左側接続点を前記左側支持体（6 0）に接続する第 1 の内側
10 左側接続部材（6 3）と、前記第 2 の内側左側接続点を前記左側支持体（6 0）に接続する第 2 の内側左側接続部材（6 4）と、前記第 1 の内側右側接続点を前記右側支持体（7 0）に接続する第 1 の内側右側接続部材と、前記第 2 の内側右側接続点を前記右側支持体（7 0）に接続する第 2 の内側右側接続部材と、

前記外側環状変形体（8 0）の内周面に固定され、前記外側環状変形体（8
15 0）の弾性変形に起因した変位を生じる外側変位電極（E 8 1, E 8 2）と、

前記内側環状変形体（9 0）の外周面における前記外側変位電極（E 8 1～E 8 4）に対向する位置に固定され、前記内側環状変形体（9 0）の弾性変形に起因した変位を生じる内側変位電極（E 9 1～E 9 4）と、

前記外側変位電極（E 8 1～E 8 4）と前記内側変位電極（E 9 1～E 9 4）
20 とによって構成される容量素子（C 1～C 4）の静電容量値の変動量に基づいて、前記右側支持体（6 0）および前記左側支持体（7 0）の一方に負荷がかかった状態において他方に作用した 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、

を更に備え、

25 前記外側環状変形体（8 0）および前記内側環状変形体（9 0）の両側面を X Y 平面上に投影して正射影投影像を得た場合に、第 1 の外側右側接続点の投

影像が正のX軸上、第2の外側右側接続点の投影像が負のX軸上、第1の外側左側接続点の投影像が正のY軸上、第2の外側左側接続点の投影像が負のY軸上、第1の内側右側接続点の投影像が正のY軸上、第2の内側右側接続点の投影像が負のY軸上、第1の内側左側接続点の投影像が正のX軸上、第2の内側左側接続点の投影像が負のX軸上に配置されていることを特徴とするトルクセンサ。

24. 請求項23に記載のトルクセンサにおいて、

外側環状変形体(80)および内側環状変形体(90)が、Z軸を中心軸として配置された円盤の中央部に、より径の小さな同心円盤の形状をした貫通開口部(H80, H90)を形成することにより得られる円環状の部材からなることを特徴とするトルクセンサ。

25. 請求項24に記載のトルクセンサにおいて、

左側支持体(60)および右側支持体(70)として、中心部に貫通開口部(H60, H70)を有する環状の構造体を用い、Z軸に沿って、左側支持体(60)、内側環状変形体(90)、右側支持体(70)の各貫通開口部(H60, H90, H70)を貫く挿通孔が確保されるようにしたことを特徴とするトルクセンサ。

26. 請求項24または25に記載のトルクセンサにおいて、

XY平面上に、原点O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、V軸上に配置された第1の外側変位電極(E81)および第1の内側変位電極(E91)と、W軸上に配置された第2の外側変位電極(E82)および第2の内側変位電極(E92)と、を有し、

検出回路が、前記第1の外側変位電極(E81)と前記第1の内側変位電極

(E 9 1) とによって構成される第 1 の容量素子 (C 1) の静電容量値と、前記第 2 の外側変位電極 (E 8 2) と前記第 2 の内側変位電極 (E 9 2) とによって構成される第 2 の容量素子 (C 2) の静電容量値と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力することを特徴とするトルクセンサ。

2 7. 請求項 2 4 または 2 5 に記載のトルクセンサにおいて、

XY 平面上に、原点 O を通り X 軸および Y 軸に対して 45° をなし、符号をもった V 軸および W 軸を定義した場合に、正の V 軸上に配置された第 1 の外側変位電極 (E 8 1) および第 1 の内側変位電極 (E 9 1) と、正の W 軸上に配置された第 2 の外側変位電極 (E 8 2) および第 2 の内側変位電極 (E 9 2) と、負の V 軸上に配置された第 3 の外側変位電極 (E 8 3) および第 3 の内側変位電極 (E 9 3) と、負の W 軸上に配置された第 4 の外側変位電極 (E 8 4) および第 4 の内側変位電極 (E 9 4) と、を有し、

検出回路が、「前記第 1 の外側変位電極 (E 8 1) と前記第 1 の内側変位電極 (E 9 1) とによって構成される第 1 の容量素子 (C 1) の静電容量値と、前記第 3 の外側変位電極 (E 8 3) と前記第 3 の内側変位電極 (E 9 3) とによって構成される第 3 の容量素子 (C 3) の静電容量値と、の和」と、「前記第 2 の外側変位電極 (E 8 2) と前記第 2 の内側変位電極 (E 9 2) とによって構成される第 2 の容量素子 (C 2) の静電容量値と、前記第 4 の外側変位電極 (E 8 4) と前記第 4 の内側変位電極 (E 9 4) とによって構成される第 4 の容量素子の静電容量値 (C 4) と、の和」と、の差に相当する電気信号を、作用したトルクを示す電気信号として出力することを特徴とするトルクセンサ。

2 8. 請求項 2 6 または 2 7 に記載のトルクセンサにおいて、

各外側変位電極を、外側環状変形体 (8 0) の内周面に形成された共通導電

層（E 8 5）によって構成するか、もしくは、各内側変位電極を、内側環状変形体（9 0）の外周面に形成された共通導電層によって構成したことを特徴とするトルクセンサ。

5 2 9. 請求項 2 8 に記載のトルクセンサにおいて、

外側環状変形体（8 0 A）を導電性の弾性材料によって構成し、外側環状変形体（8 0 A）の内周面自身を共通導電層（E 8 5）として用いるようにするか、もしくは、内側環状変形体（9 0）を導電性の弾性材料によって構成し、内側環状変形体（9 0）の外周面自身を共通導電層として用いるようにしたこ

10 とを特徴とするトルクセンサ。

3 0. 請求項 1 ～ 2 9 のいずれかに記載のトルクセンサにおいて、

左側接続部材（1 1, 1 2 ; 6 1 ～ 6 4）が、左側支持体（1 0 ; 6 0）の右側面から右方に突出した凸状部によって構成され、右側接続部材（2 1, 2
15 2 ; 7 2）が、右側支持体（2 0 ; 7 0）の左側面から左方に突出した凸状部によって構成され、各凸状部の頂面が環状変形体（3 0 ; 8 0, 9 0）の各接続点に接合されていることを特徴とするトルクセンサ。

図1

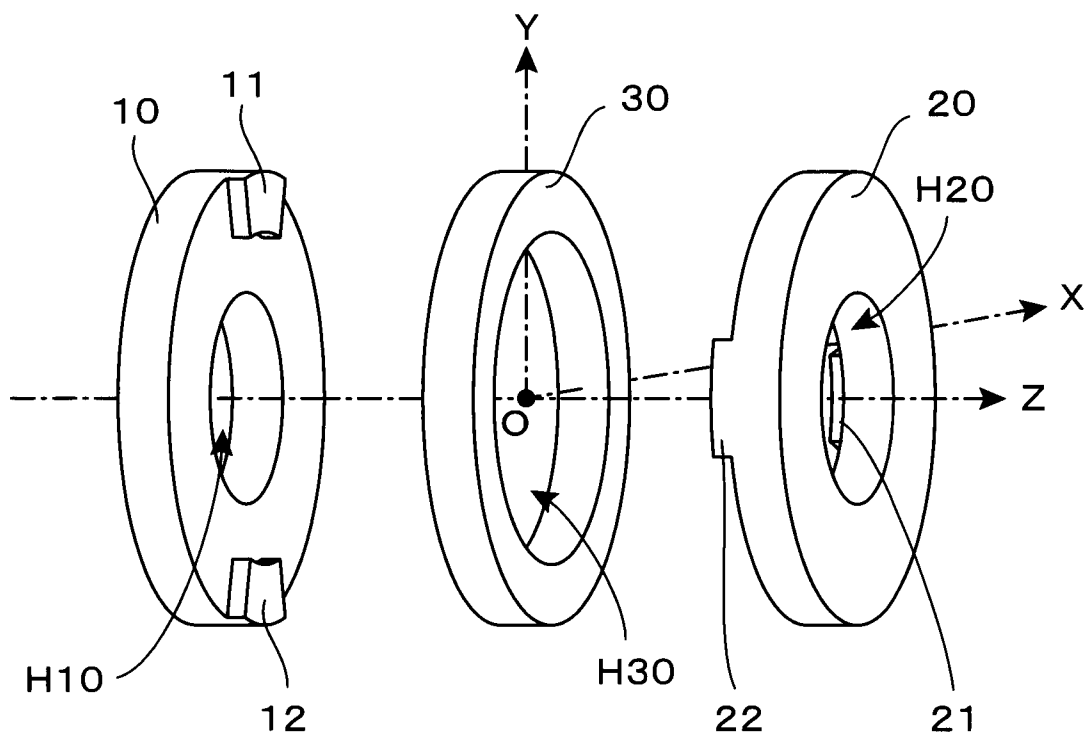


図2

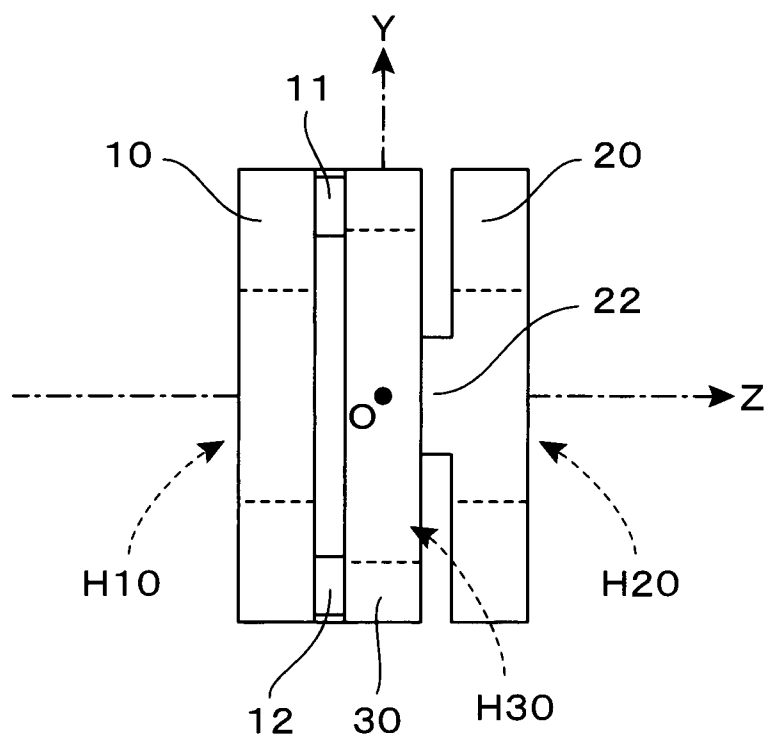


図3

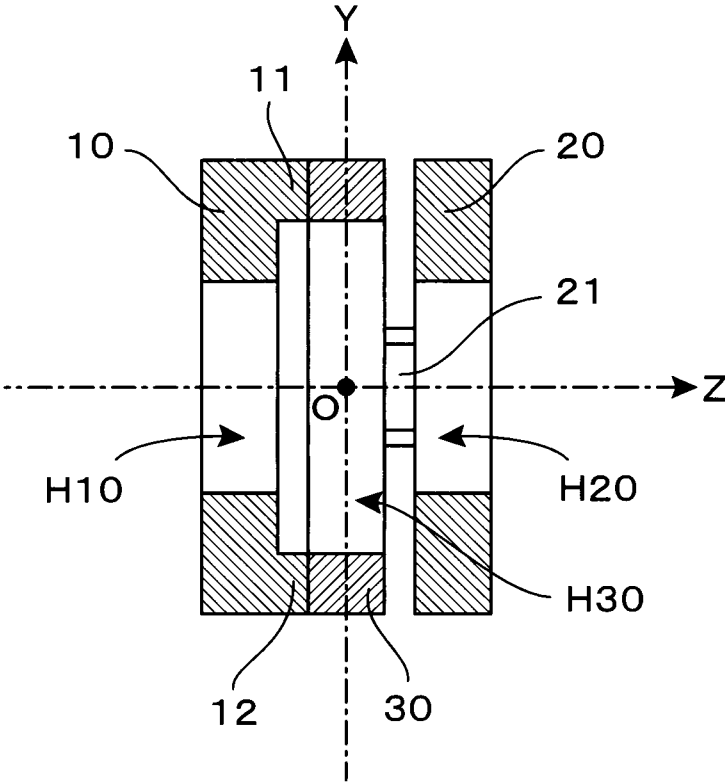


図4

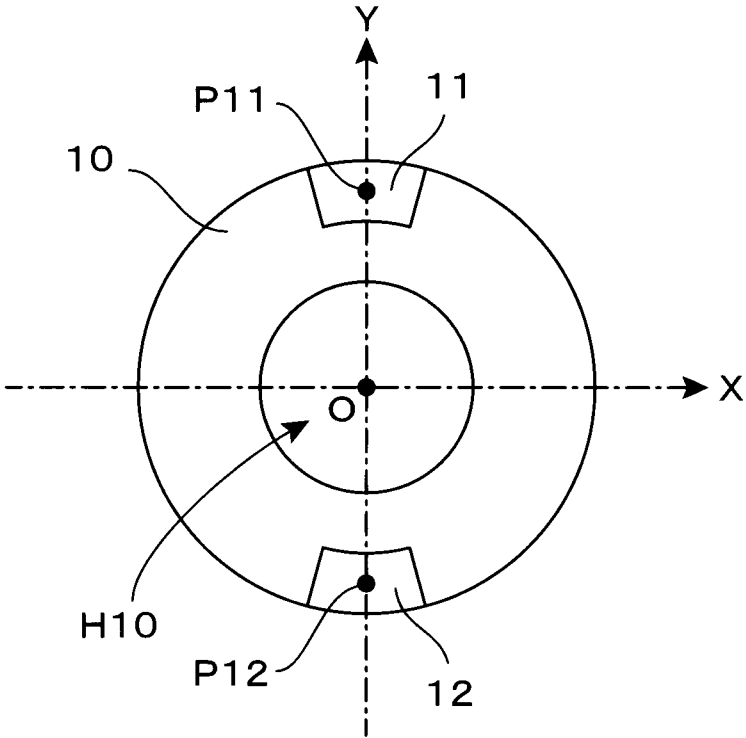


図5

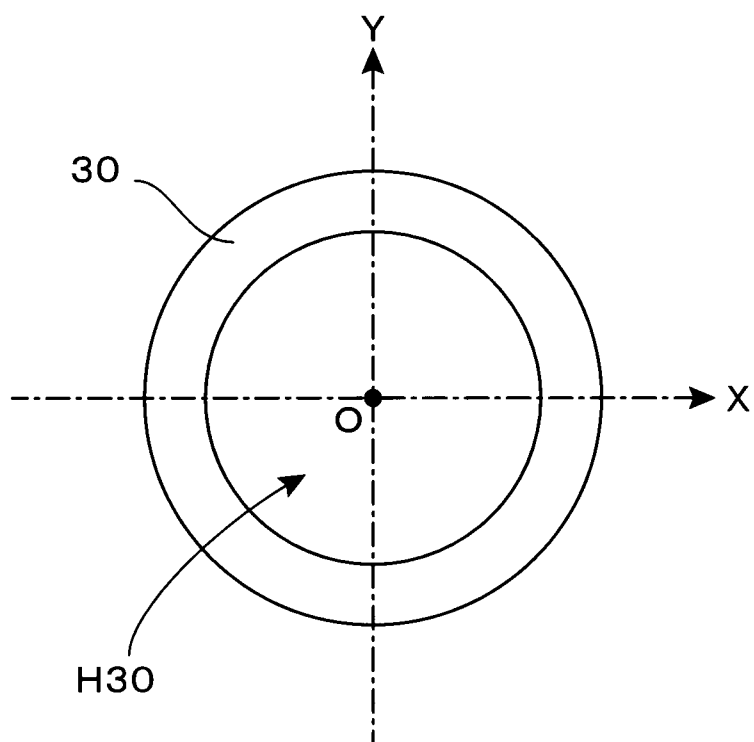


図6

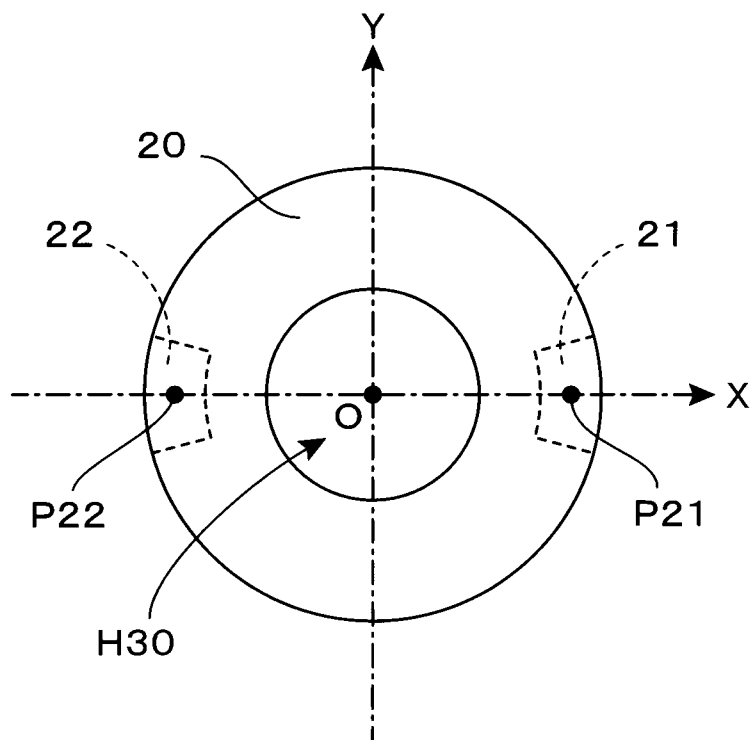


図7

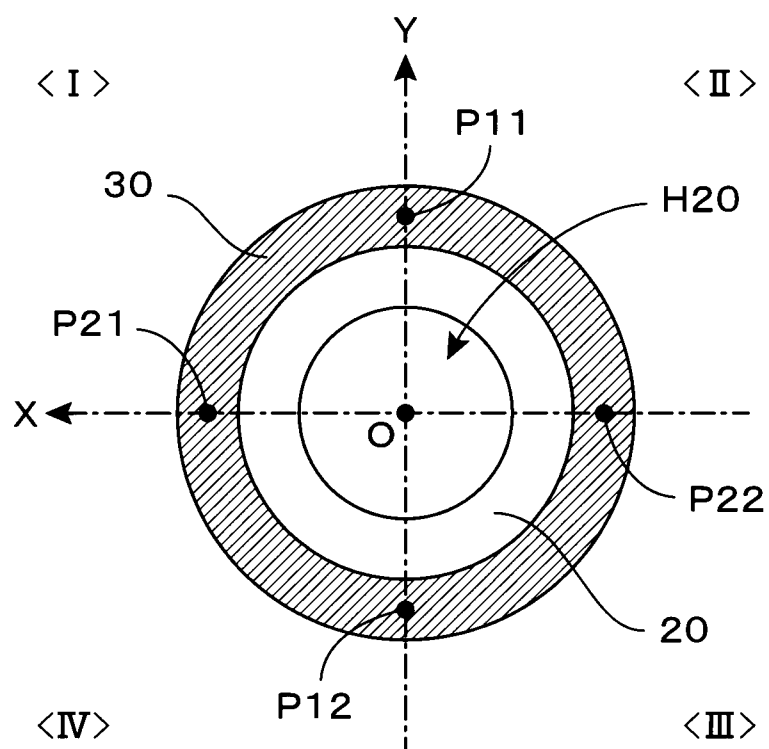


図8

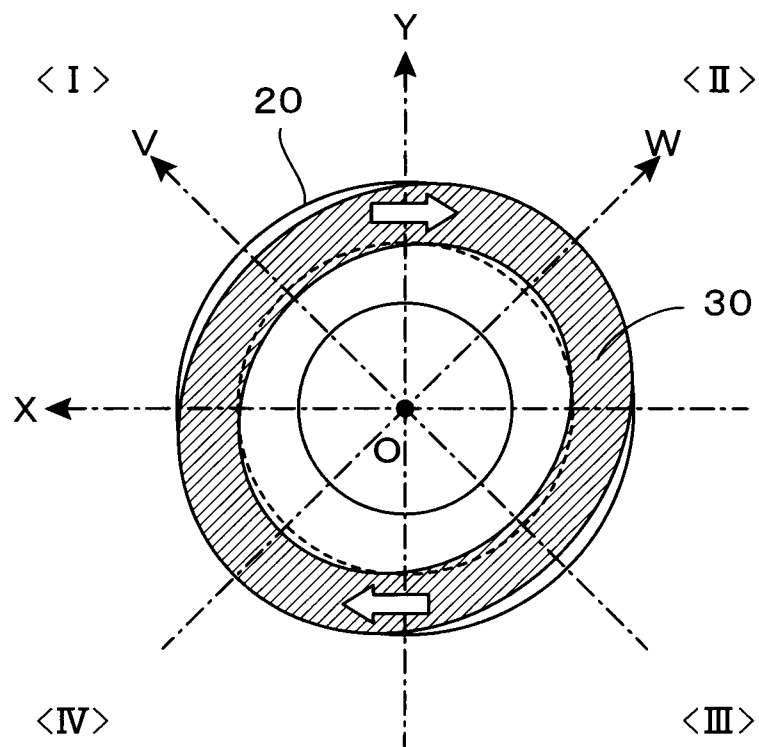


図9

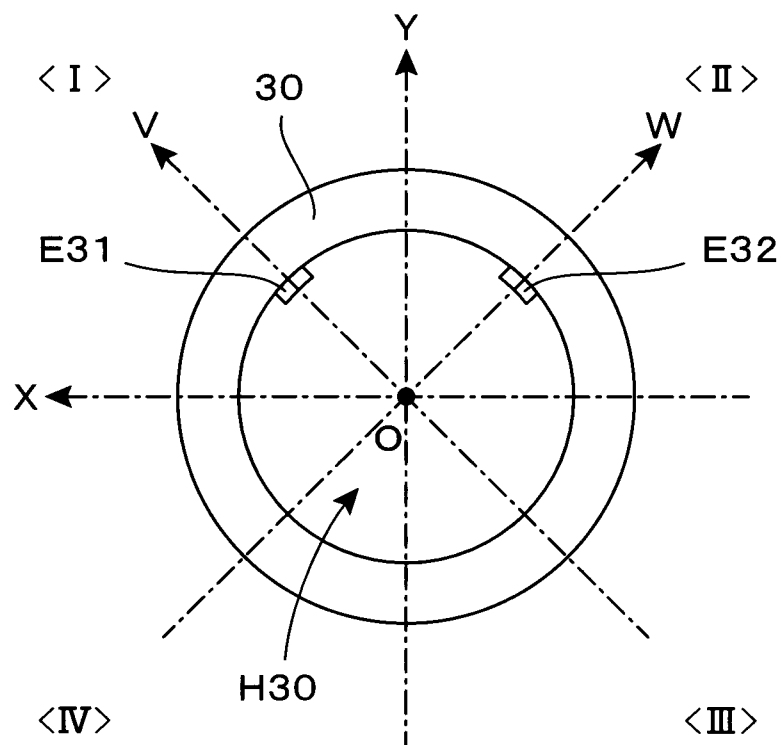


図10

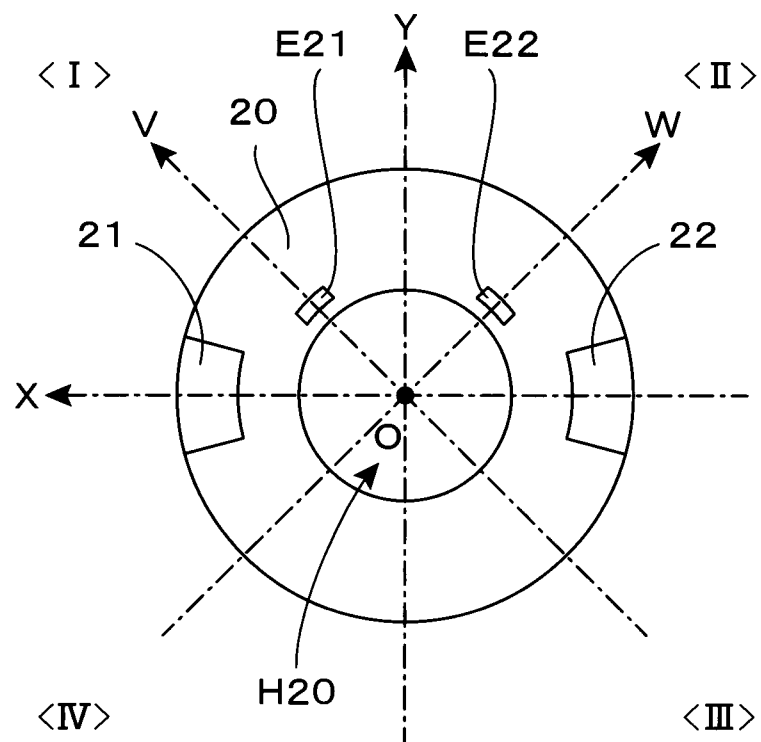


図 11

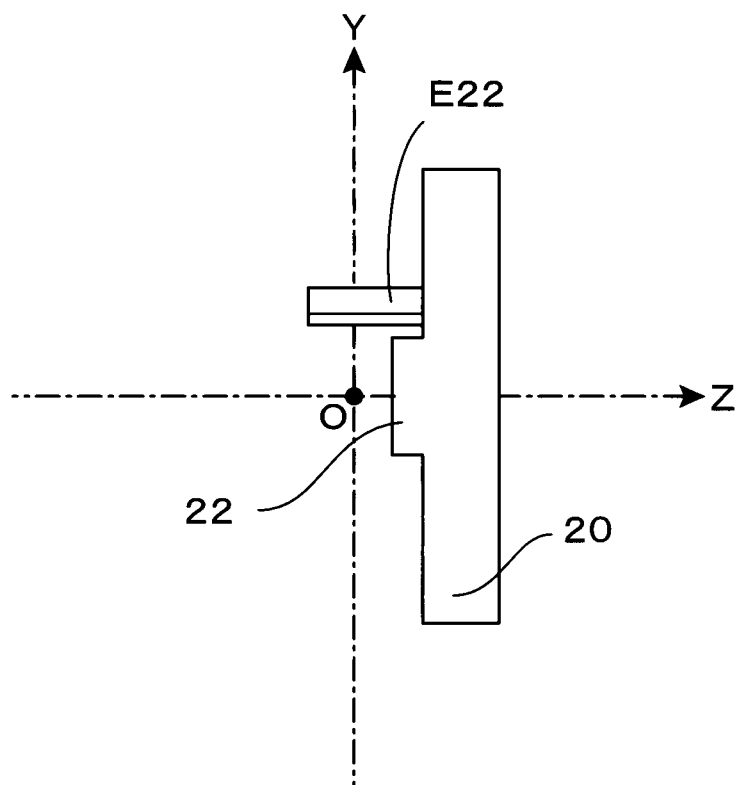


図 12

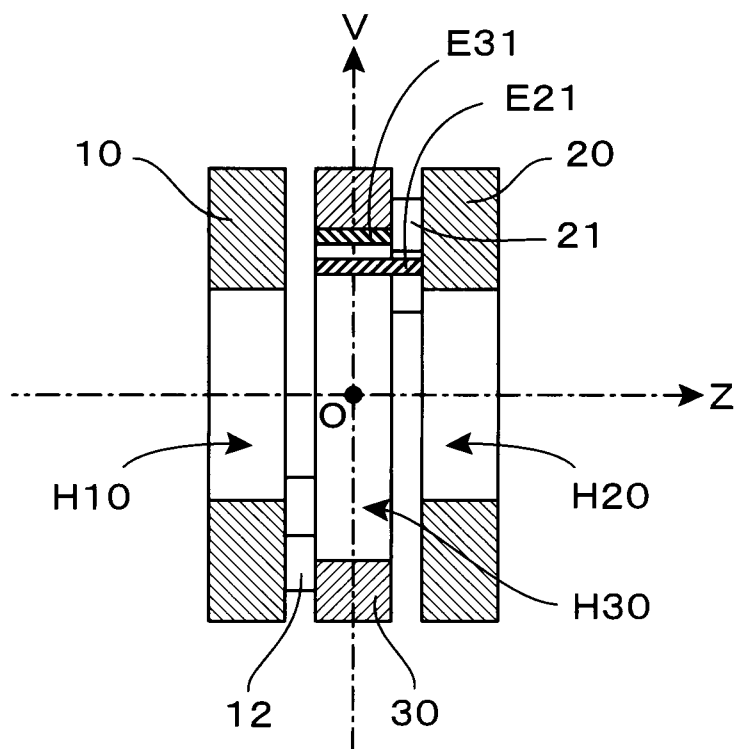


図13

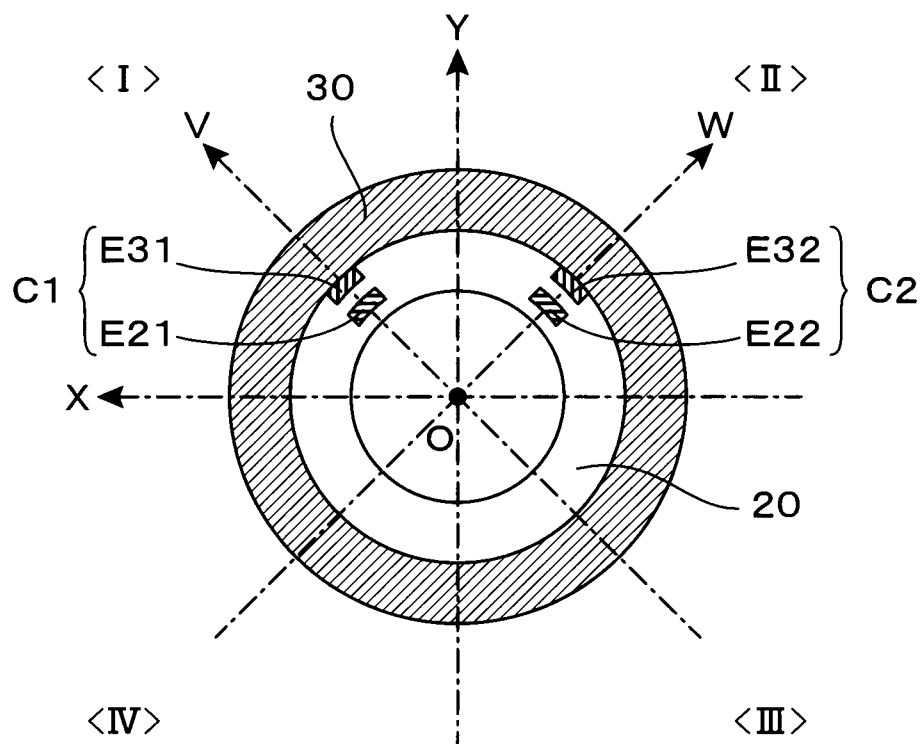


図14

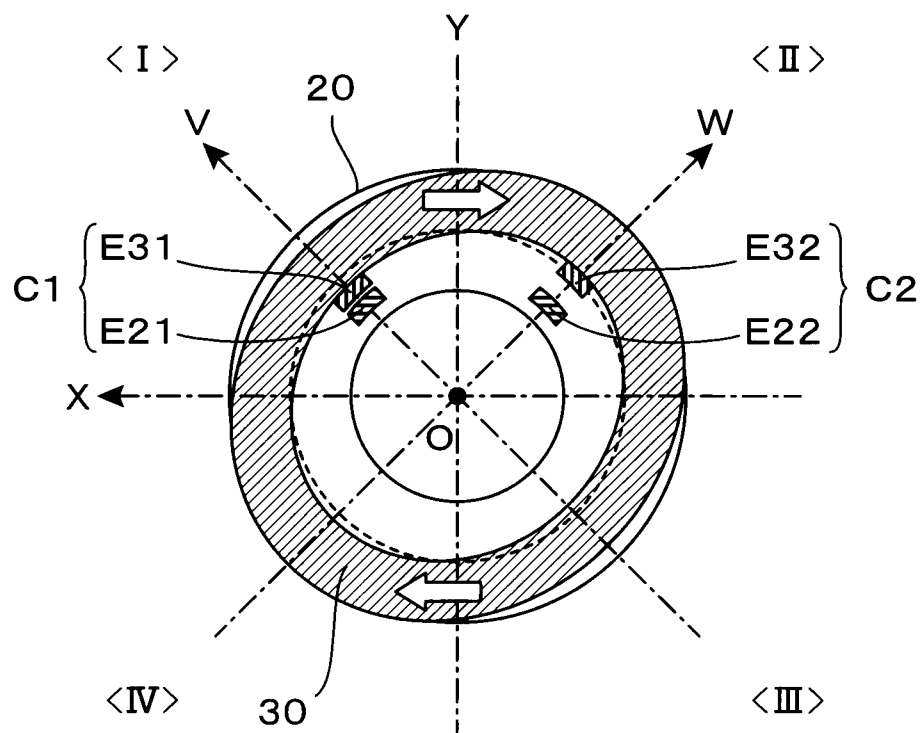


図 15

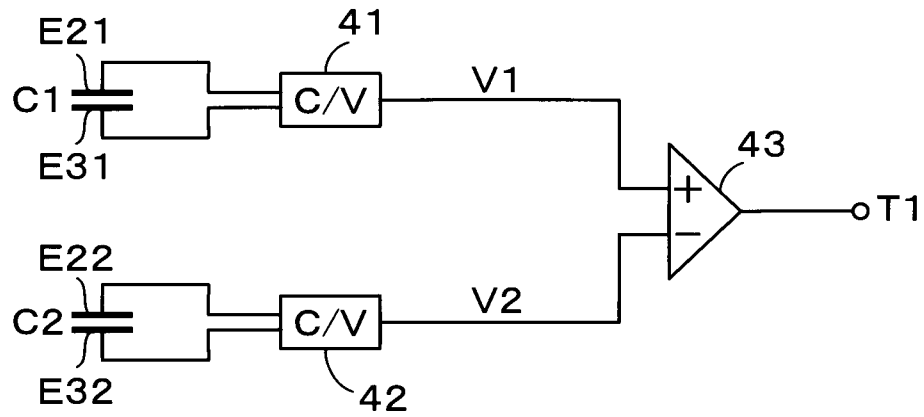


図 16

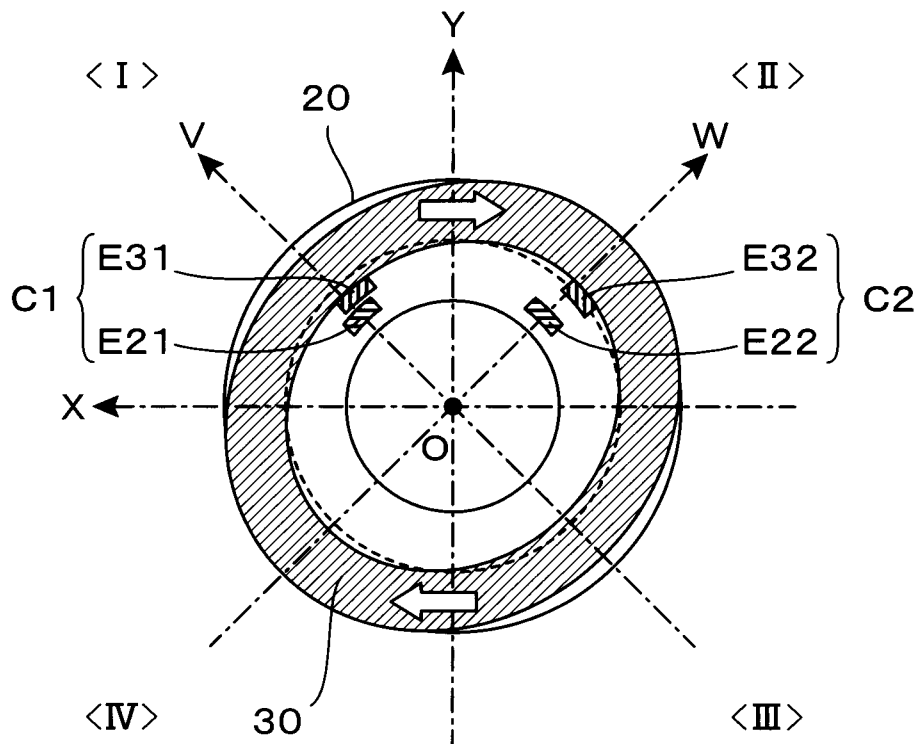


図17

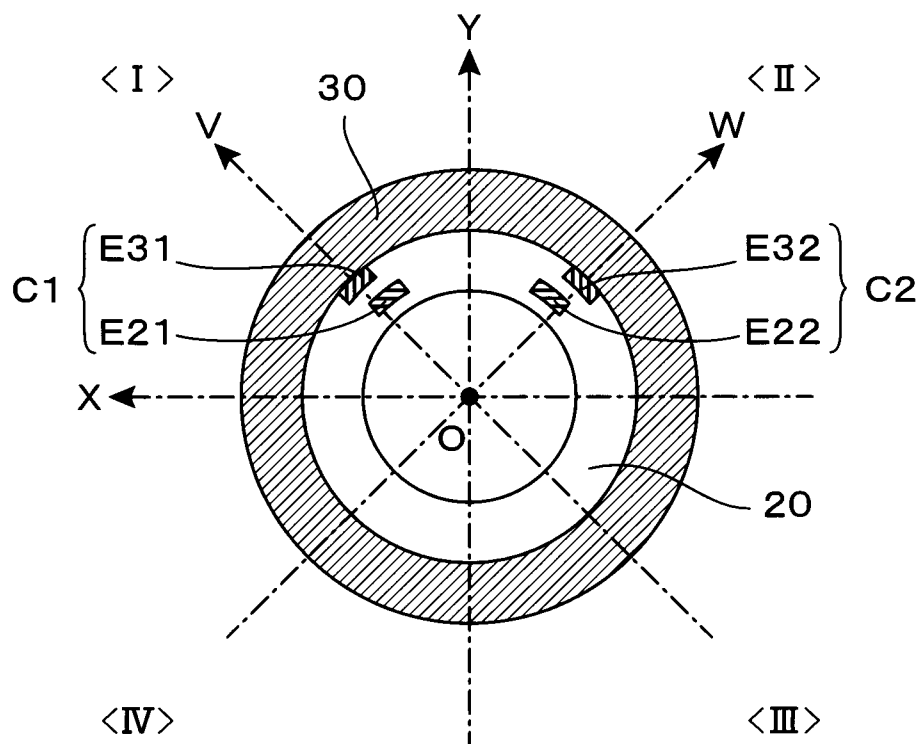


図18

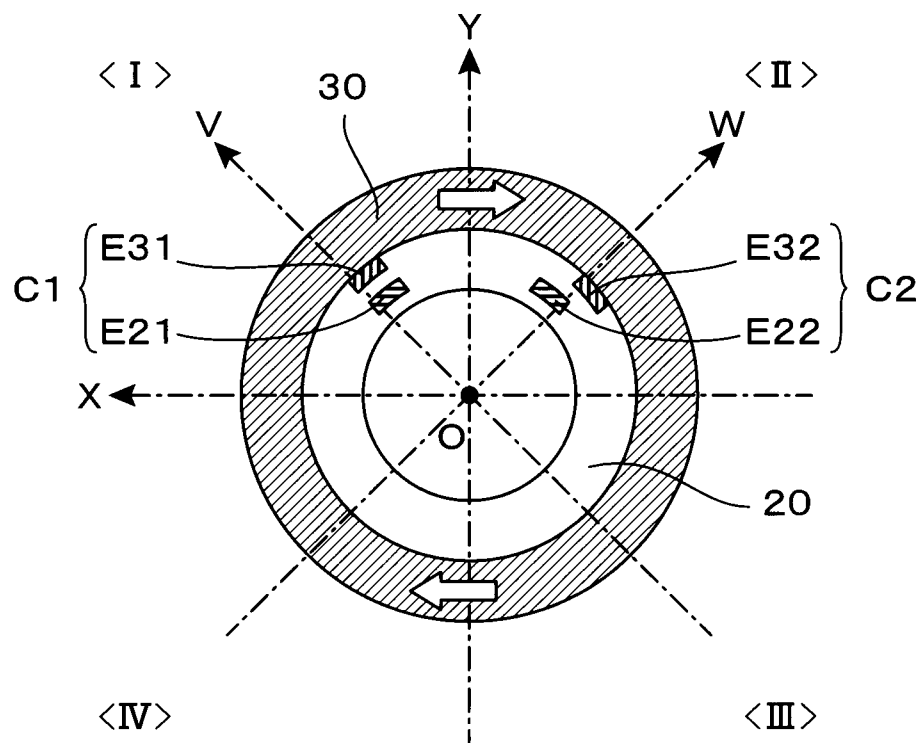


図19

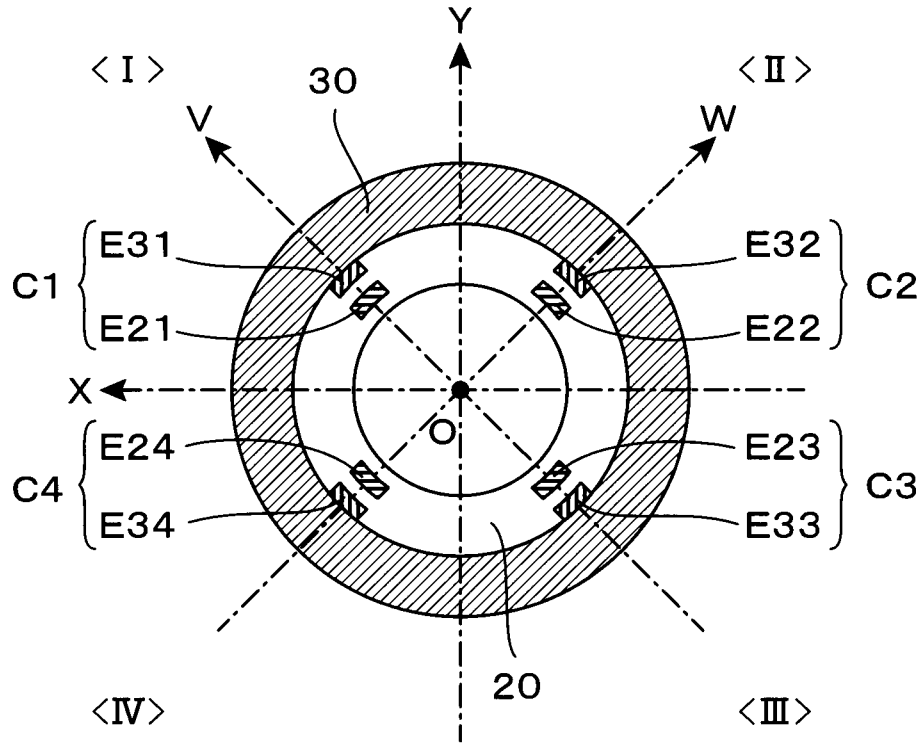


図20

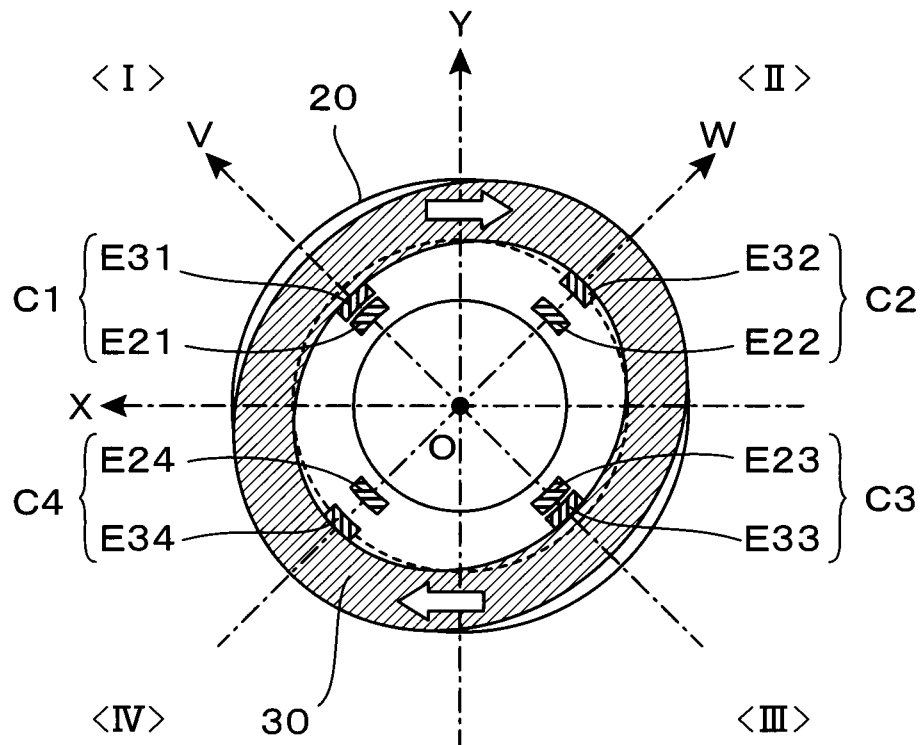


図21

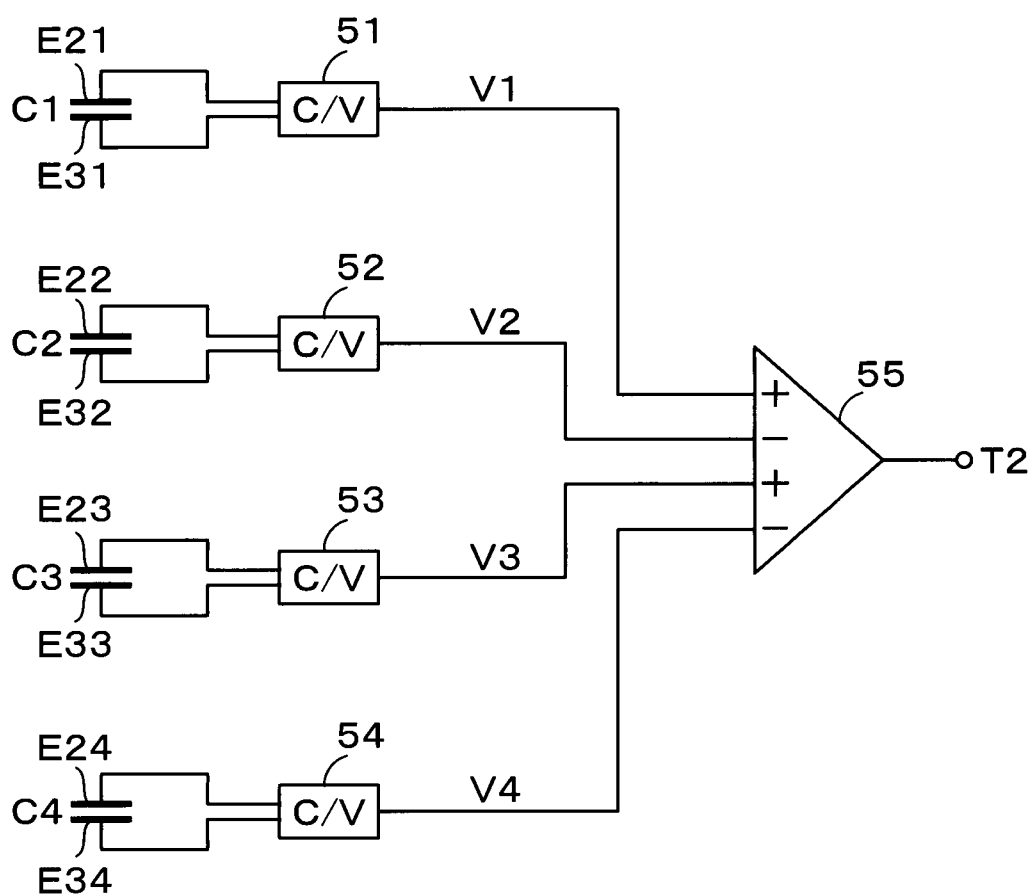


図22

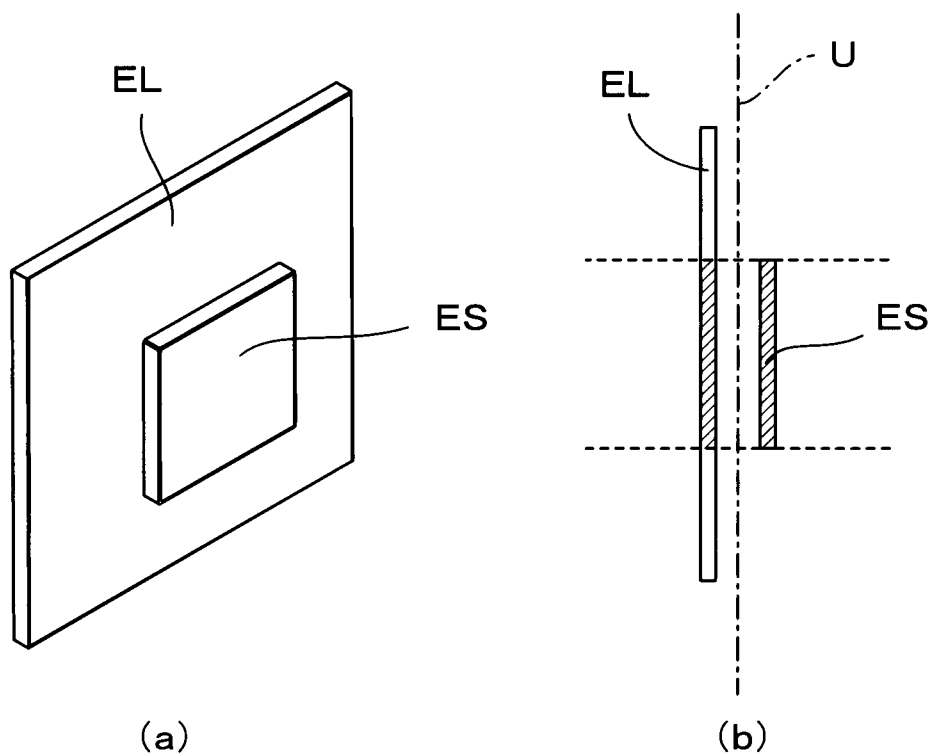


図23

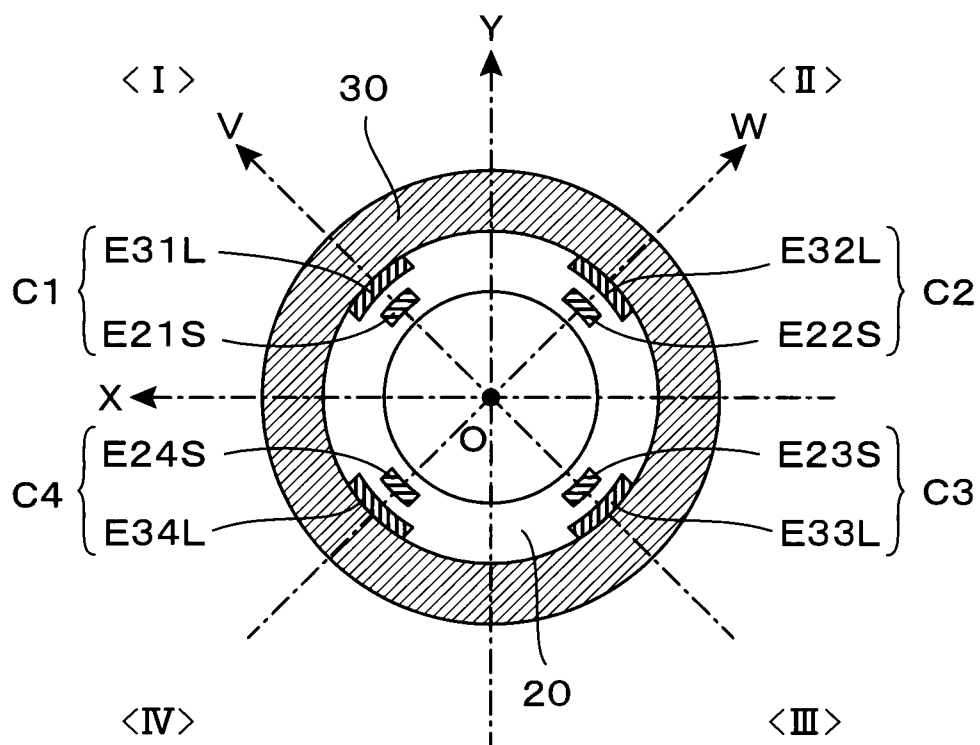


図24

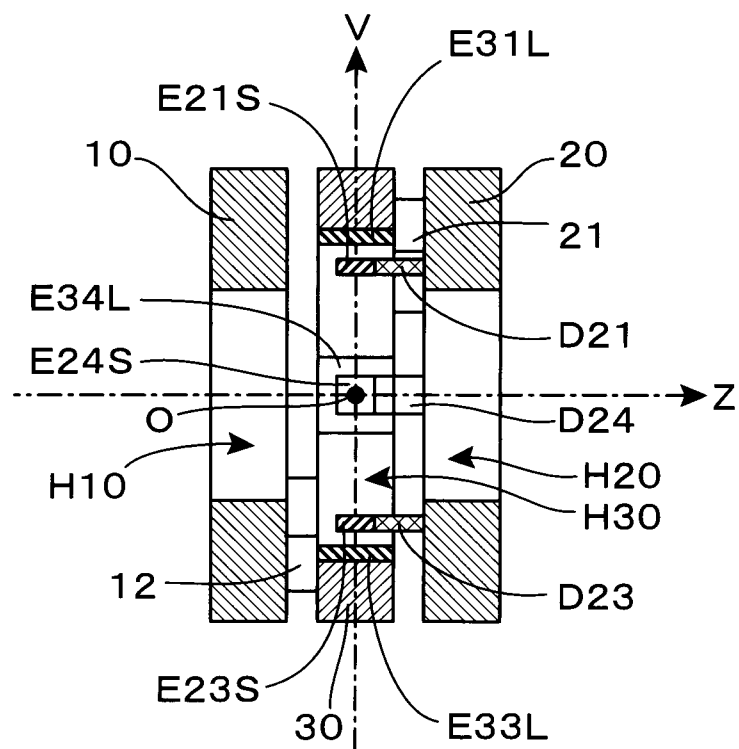


図25

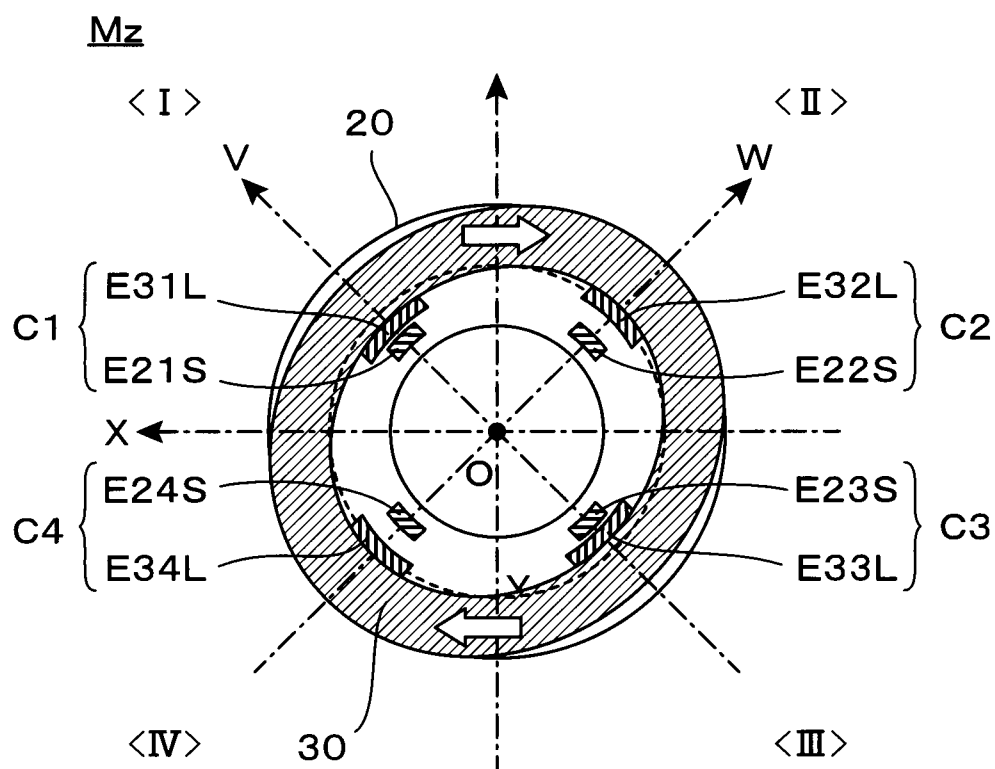


図26

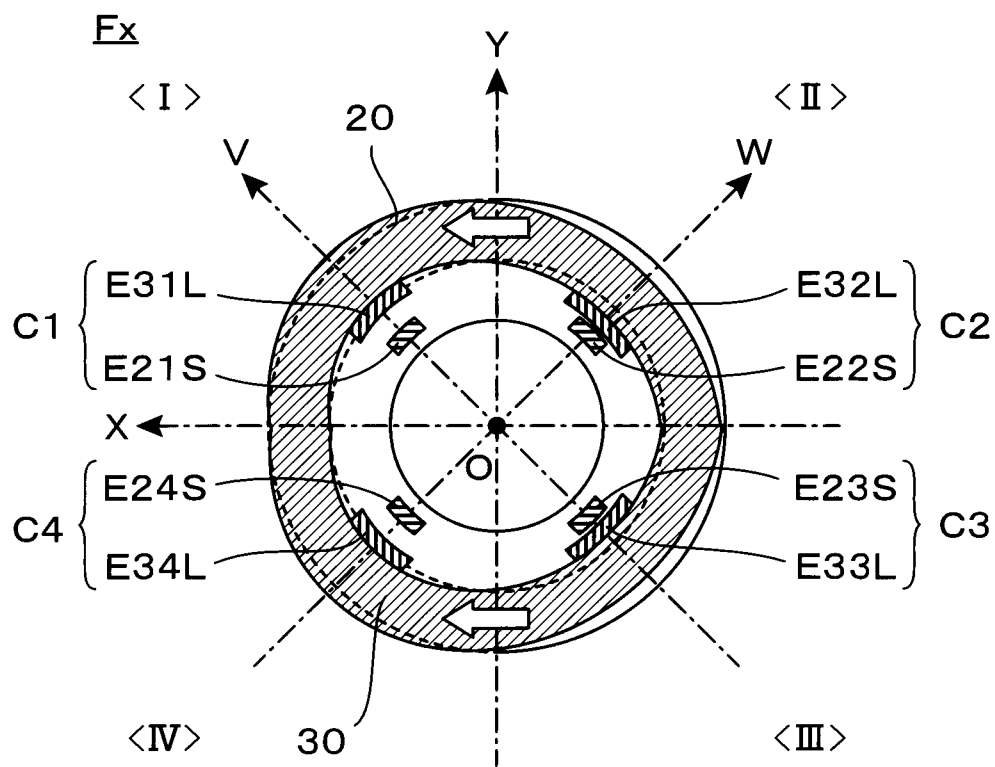


図27

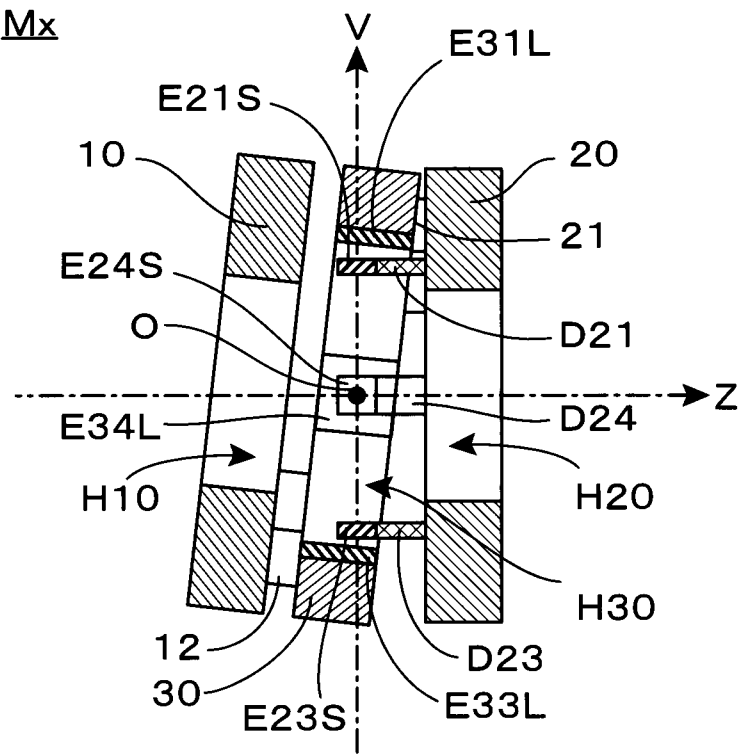


図28

	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
C1	—	—	0	0	0	+
C2	+	—	0	0	0	—
C3	+	+	0	0	0	+
C4	—	+	0	0	0	—

図29

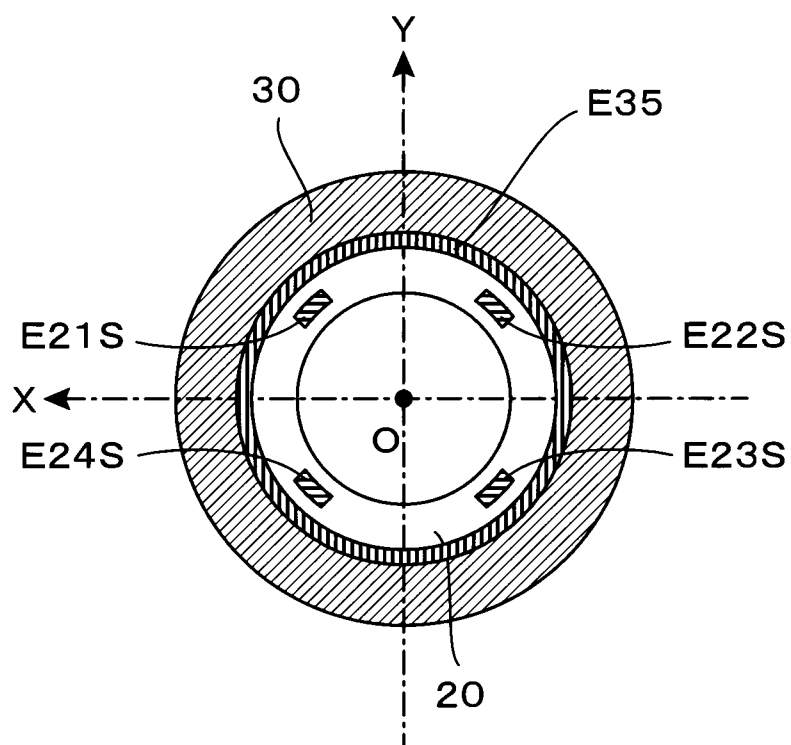


図30

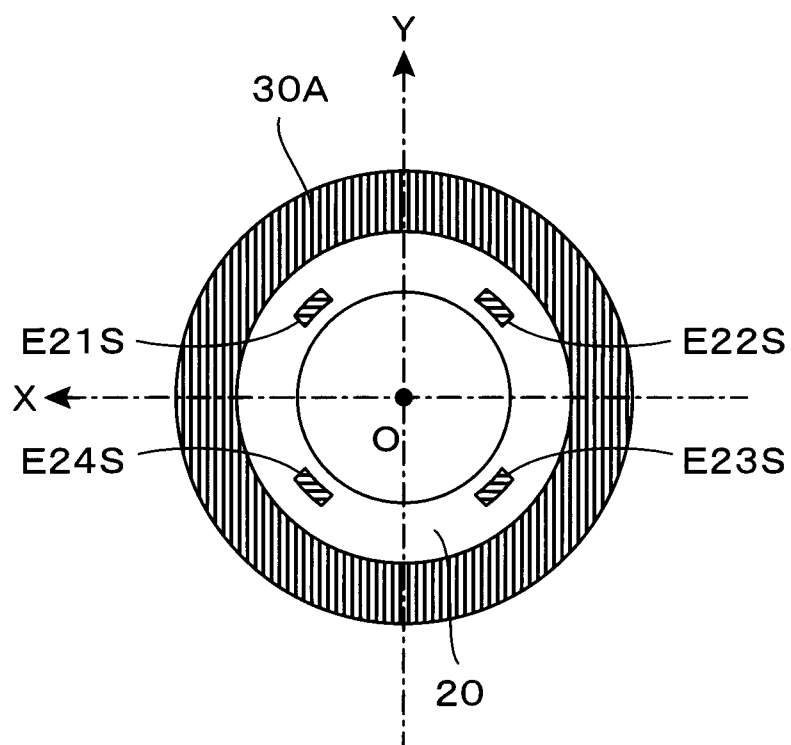


図31

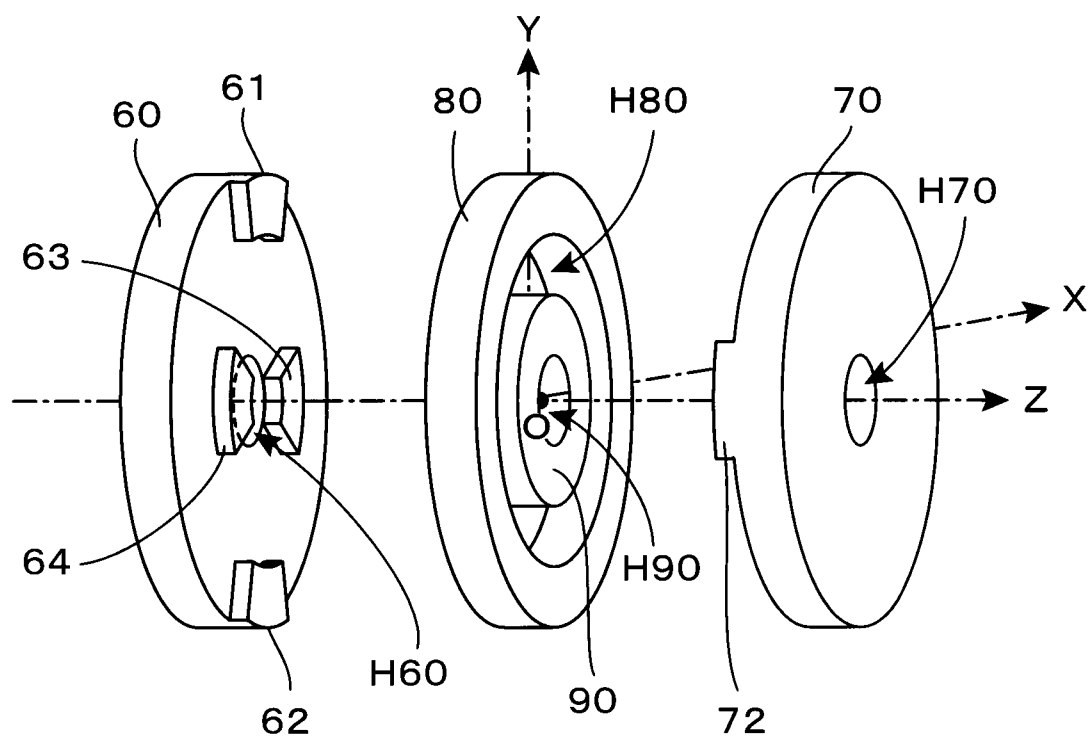


図32

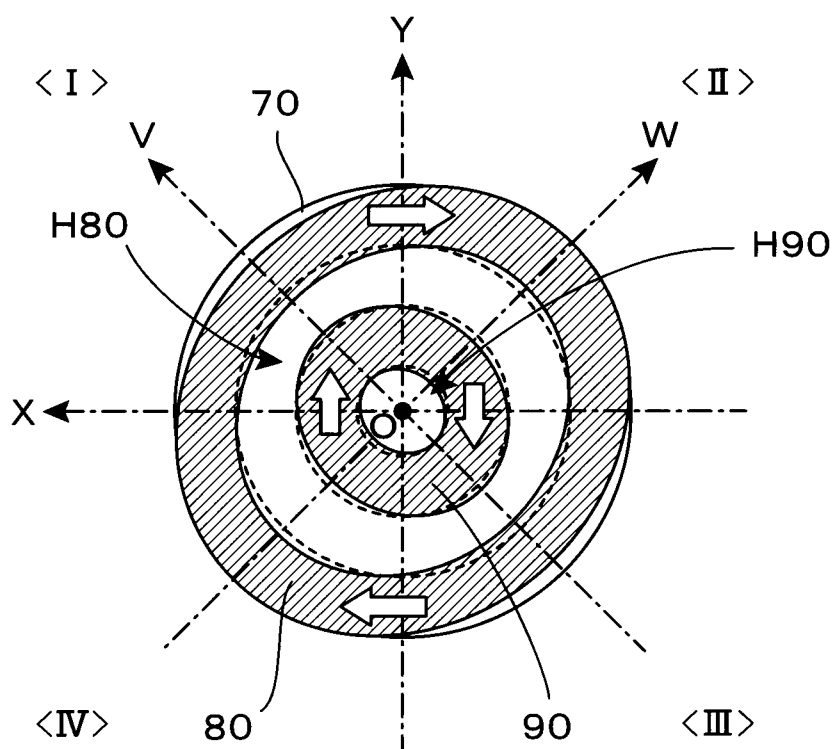


図33

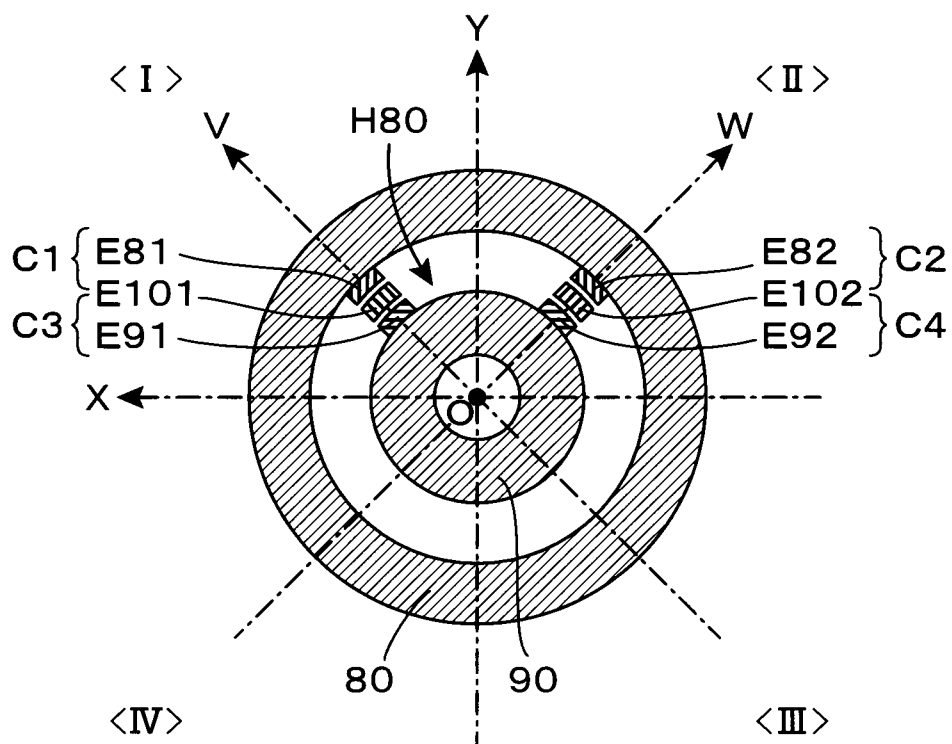


図34

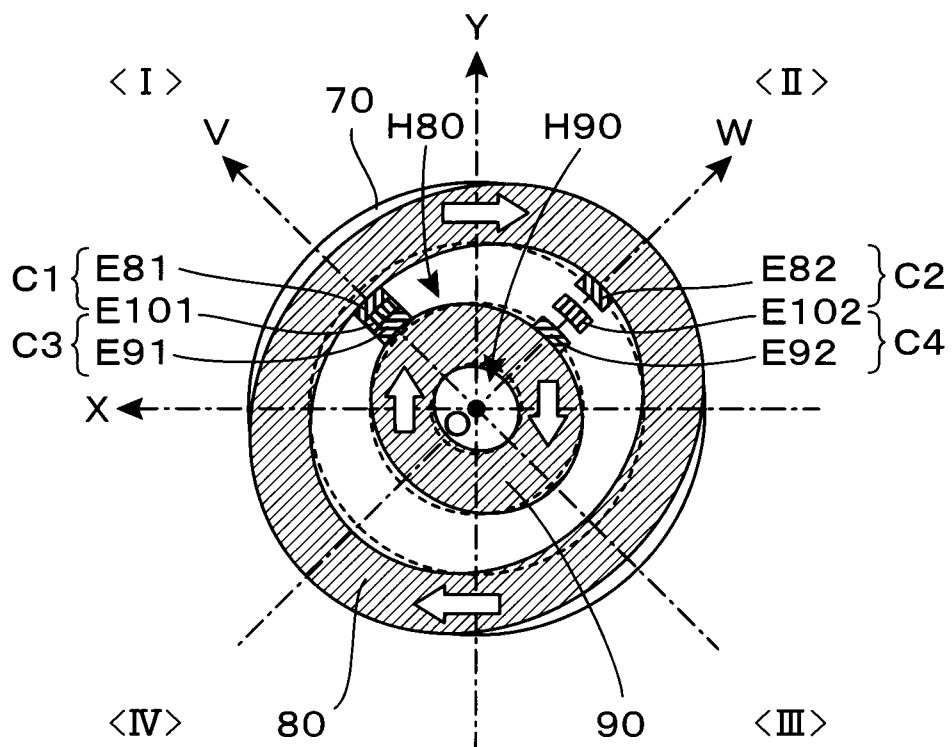


図35

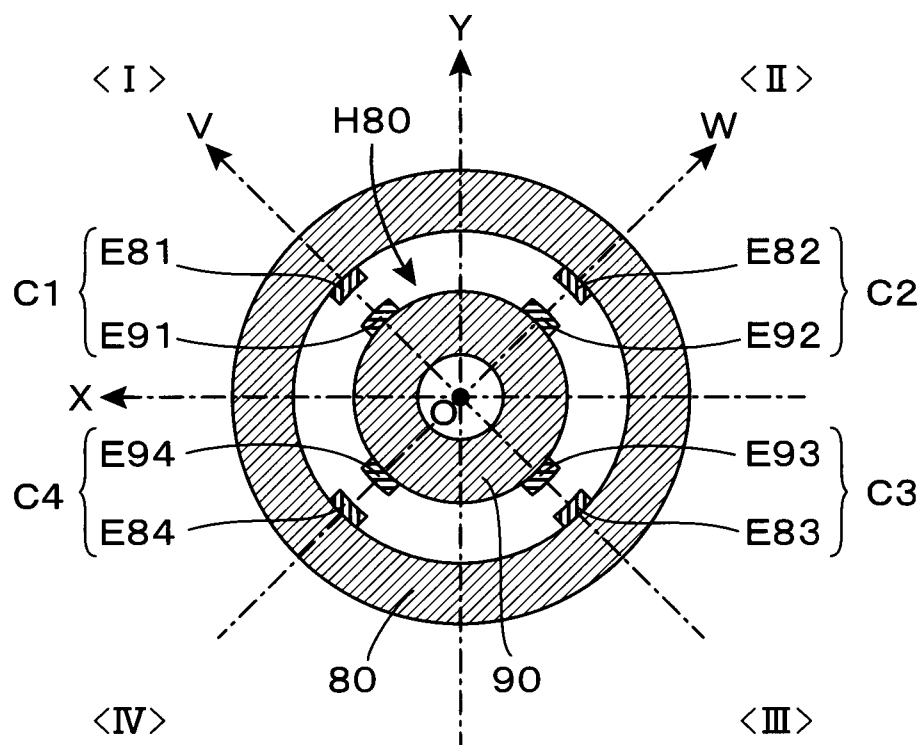


図36

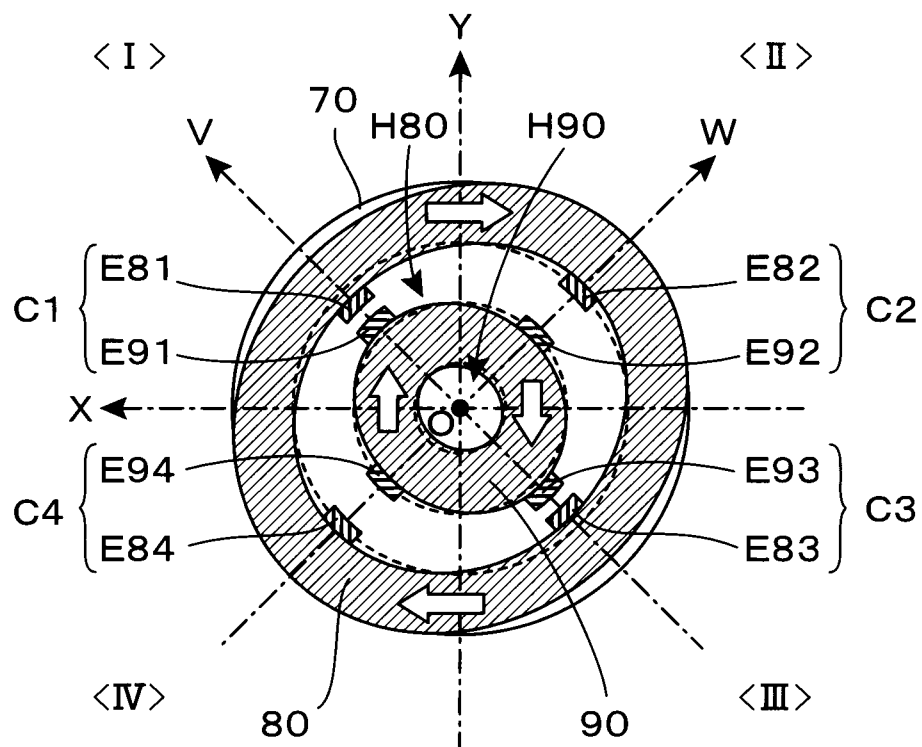


図37

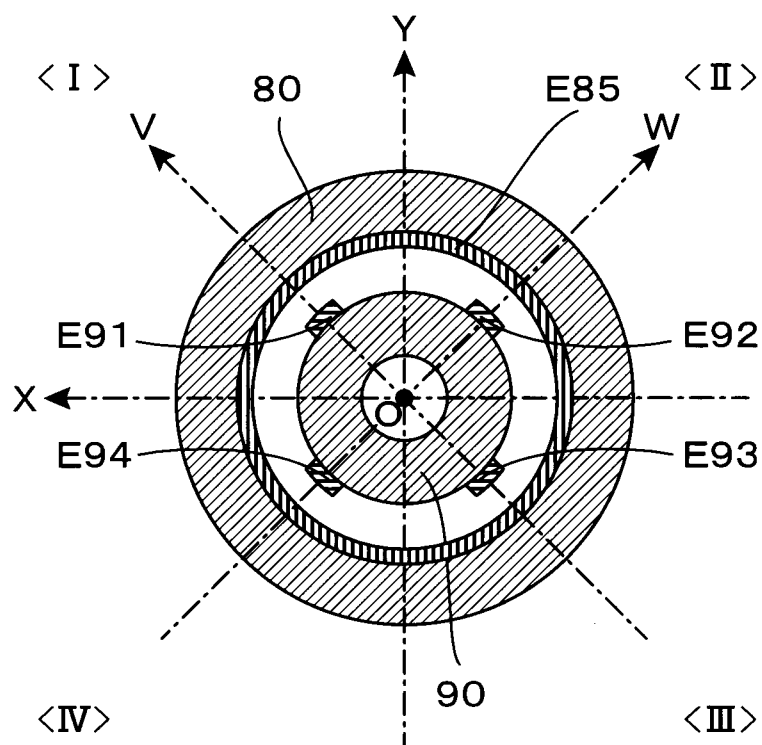


図38

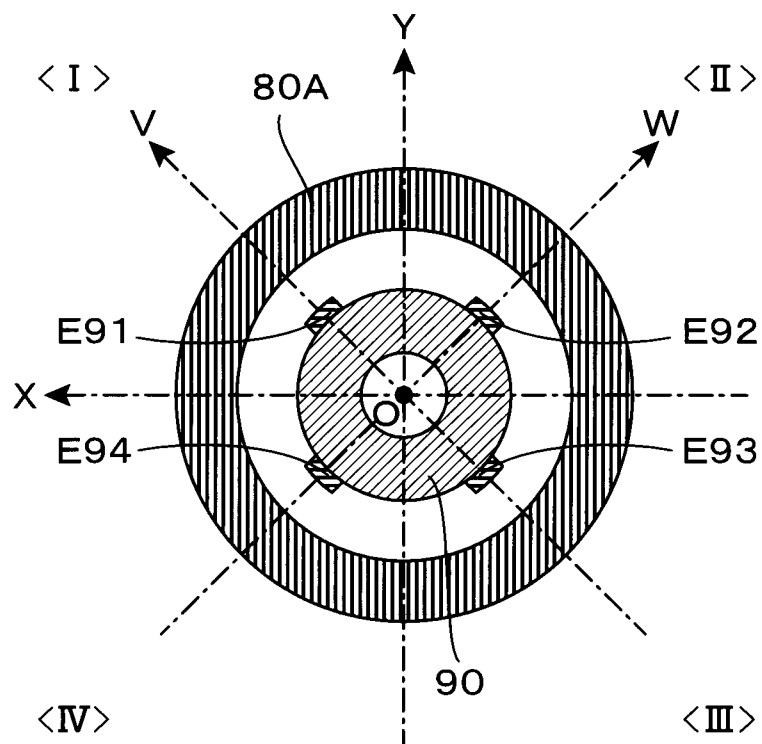


図39

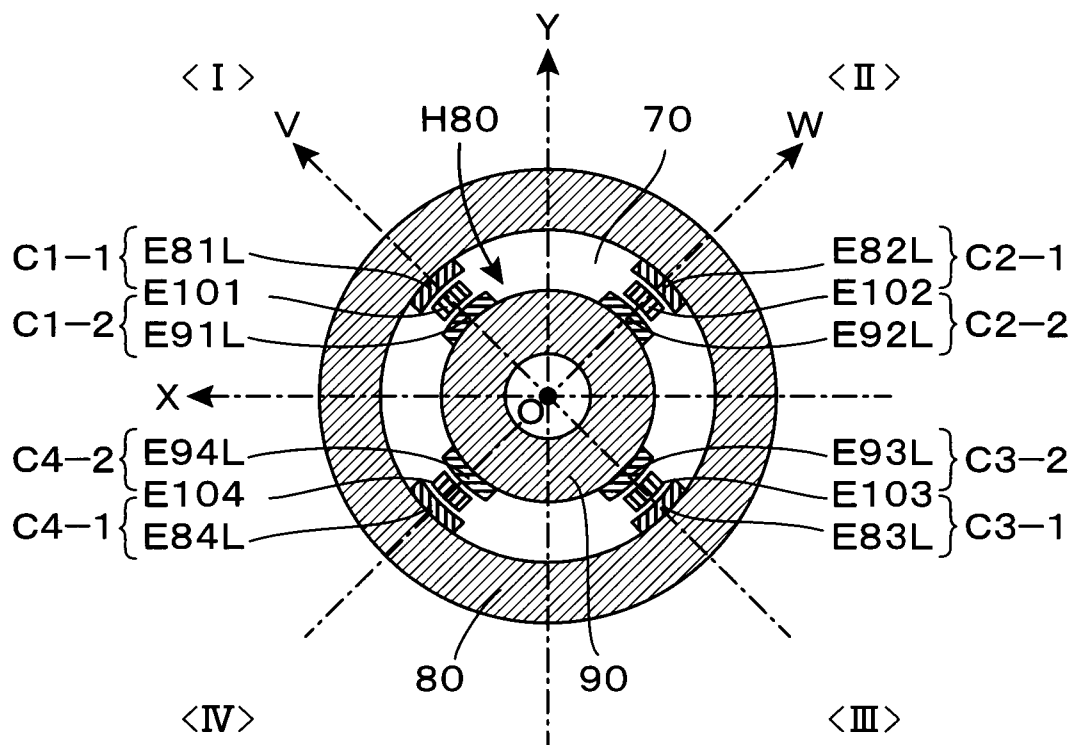


図40

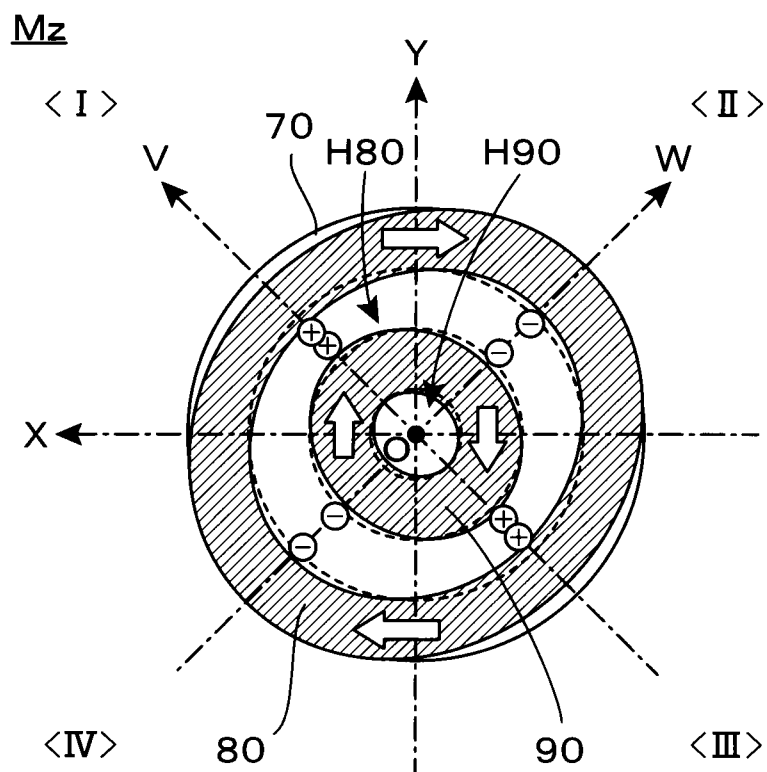


図41

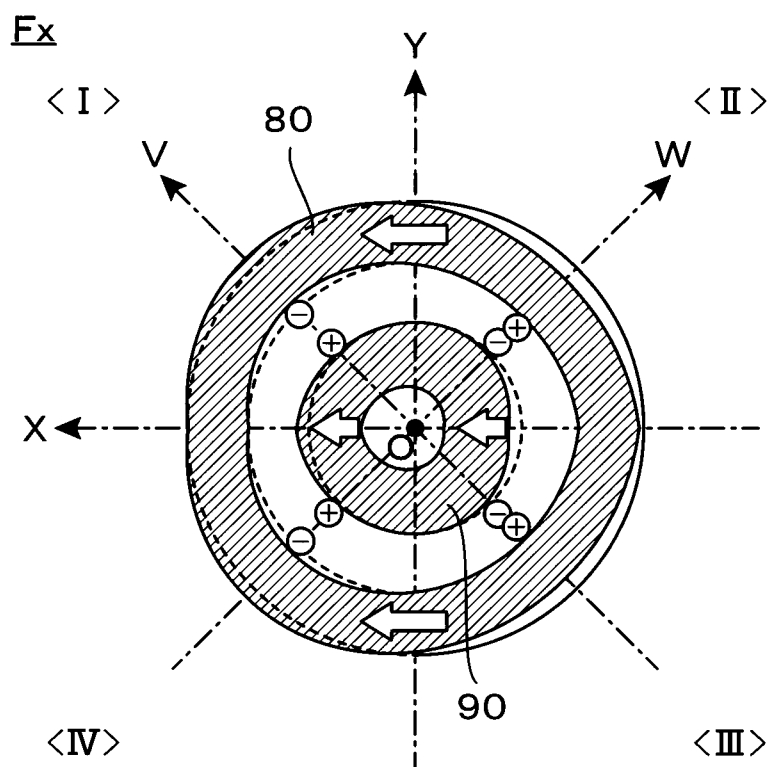


図42

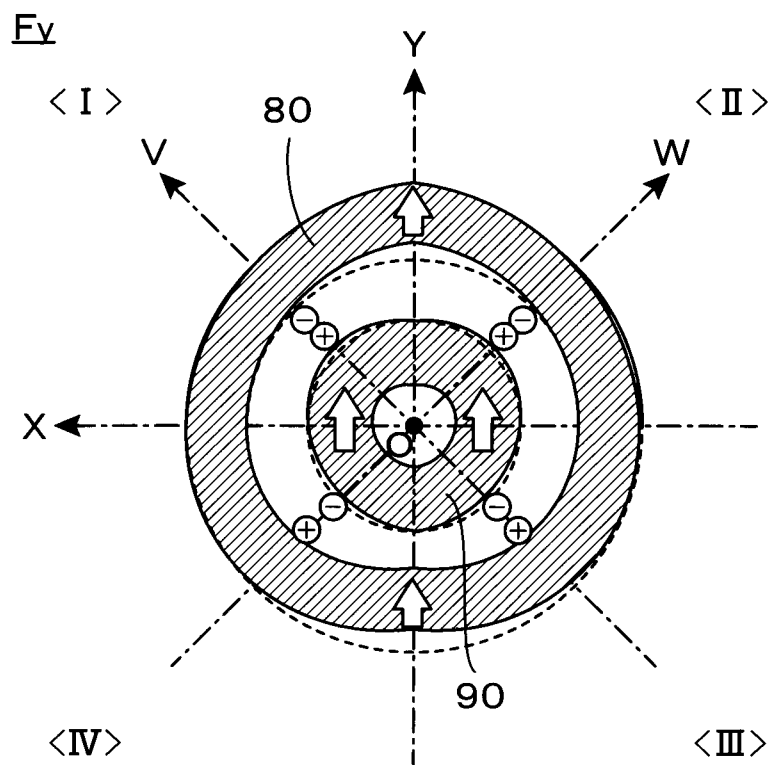
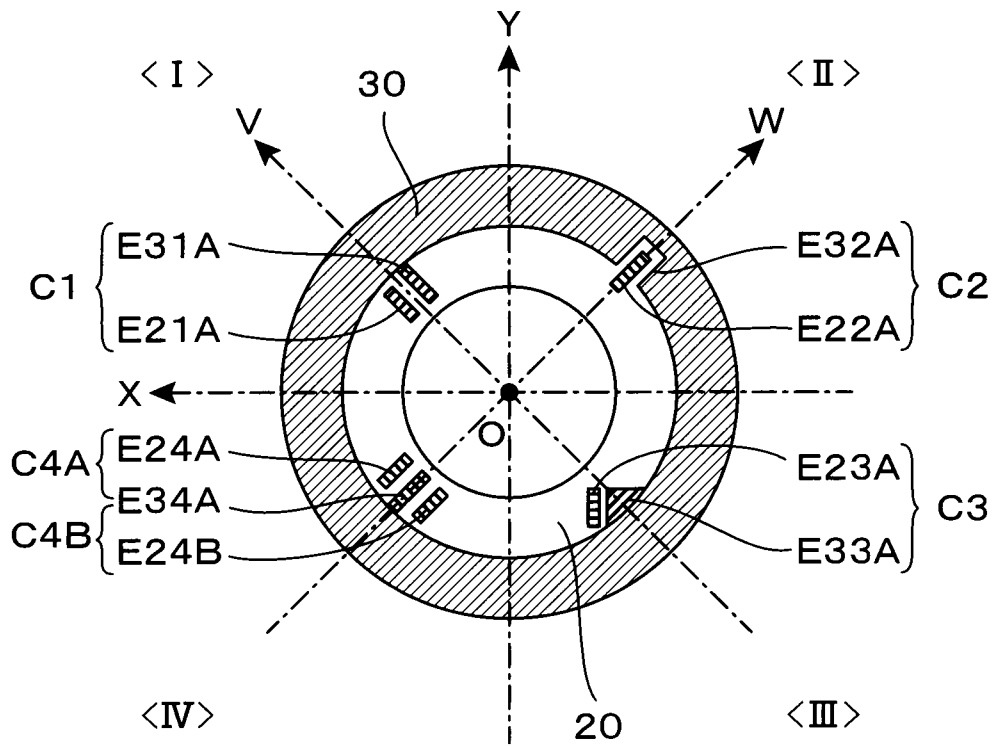


図43

	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
C1-1	−	−	0	0	0	+
C1-2	+	+	0	0	0	+
C2-1	+	−	0	0	0	−
C2-2	−	+	0	0	0	−
C3-1	+	+	0	0	0	+
C3-2	−	−	0	0	0	+
C4-1	−	+	0	0	0	−
C4-2	+	−	0	0	0	−

図44



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/067713

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L3/10(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)

G01L1/14, 1/22, 3/10-3/14, 5/16

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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 A	JP 63-075633 A (Yotaro HATAMURA), 06 April 1988 (06.04.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 12, 13, 30 7-11, 14-29
Y	JP 2009-210441 A (Niigata University), 17 September 2009 (17.09.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 12, 13, 30
Y	JP 5-312659 A (Nitta Corp.), 22 November 1993 (22.11.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 12, 13, 30

☒ 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
30 August, 2011 (30.08.11)Date of mailing of the international search report
13 September, 2011 (13.09.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/067713

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-247222 A (Hitachi, Ltd.), 28 October 1987 (28.10.1987), entire text; all drawings & US 4785675 A	1-30
A	JP 60-085342 A (Christof W Burckhardt), 14 May 1985 (14.05.1985), entire text; all drawings & US 4552028 A & EP 123646 A2 & DE 3466805 D & CH 651928 A & AU 2483984 A & CA 1204299 A & AU 568331 B	1-30
A	JP 2008-216017 A (Honda Motor Co., Ltd.), 18 September 2008 (18.09.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-30
A	JP 3-051732 A (Yotaro HATAMURA), 06 March 1991 (06.03.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-30

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01L3/10(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（I P C））

Int.Cl. G01L1/14, 1/22, 3/10-3/14, 5/16

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 63-075633 A (畑村 洋太郎)	1-6, 12, 13,
A	1988.04.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	30
		7-11, 14-29
Y	JP 2009-210441 A (国立大学法人 新潟大学)	1-6, 12, 13,
	2009.09.17, 全文, 全図 (ファミリーなし)	30

☒ 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

3 0 . 0 8 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

公文代 康祐

2 F

4 7 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

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 5-312659 A (ニッタ株式会社) 1993. 11. 22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6, 12, 13, 30
A	JP 62-247222 A (株式会社日立製作所) 1987. 10. 28, 全文, 全図 & US 4785675 A	1-30
A	JP 60-085342 A (クリストフ、ベー、ブルクハルト) 1985. 05. 14, 全文, 全図 & US 4552028 A & EP 123646 A2 & DE 3466805 D & CH 651928 A & AU 2483984 A & CA 1204299 A & AU 568331 B	1-30
A	JP 2008-216017 A (本田技研工業株式会社) 2008. 09. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-30
A	JP 3-051732 A (畑村 洋太郎) 1991. 03. 06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-30