

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02013/014803

発行日 平成27年2月23日 (2015. 2. 23)

(43) 国際公開日 平成25年1月31日 (2013. 1. 31)

(51) Int. Cl.

G01L 5/16 (2006.01)

F1

G01L 5/16

テーマコード (参考)

2F051

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 148 頁)

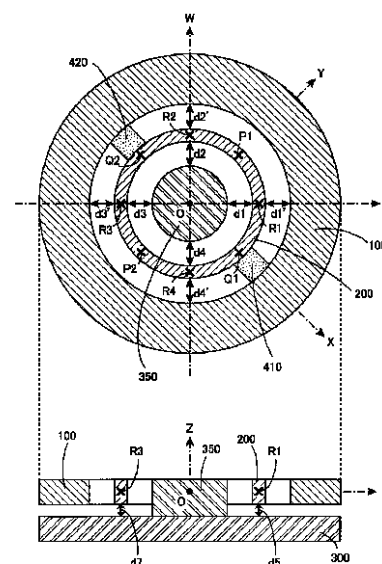
<p>出願番号 特願2011-553205 (P2011-553205)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2011/067714</p> <p>(22) 国際出願日 平成23年7月27日 (2011. 7. 27)</p> <p>(11) 特許番号 特許第4963138号 (P4963138)</p> <p>(45) 特許公報発行日 平成24年6月27日 (2012. 6. 27)</p>	<p>(71) 出願人 511071234 株式会社トライフォース・マネジメント 埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地</p> <p>(74) 代理人 100091476 弁理士 志村 浩</p> <p>(72) 発明者 岡田 和廣 埼玉県さいたま市大宮区桜木町四丁目24 1番2 株式会社トライフォース・マネジ メント内</p> <p>(72) 発明者 西沖 暢久 埼玉県さいたま市大宮区桜木町四丁目24 1番2 株式会社トライフォース・マネジ メント内</p> <p>Fターム(参考) 2F051 AA10 AB06 AB09 BA07 DA03 DB03</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 力覚センサ

(57) 【要約】

XY平面上にZ軸を中心軸として、剛性をもった受力リング(100)、その内側に可撓性をもった検出リング(200)、その内側に円筒状の固定補助体(350)を配置する。検出リング(200)の2箇所の固定点(P1, P2)は支持基板(300)に固定され、2箇所の作用点(Q1, Q2)は接続部材(410, 420)を介して受力リング(100)に接続される。支持基板(300)を固定した状態で受力リング(100)に力やモーメントが作用すると、検出リング(200)が弾性変形する。測定点(R1~R4)の固定補助体(350)に対する距離(d1~d4)および支持基板(300)に対する距離(d5, d7)を静電容量素子などを用いて測定し、検出リング(200)の弾性変形の態様および大きさを認識することにより、作用した力やモーメントの向きおよび大きさを検出する。

図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリング (1 0 0 ; 1 0 0 A ; 1 0 0 B) と、

Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に、かつ、前記受カリング (1 0 0 ; 1 0 0 A ; 1 0 0 B) の内側もしくは外側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リング (2 0 0 ; 2 0 0 A ; 2 0 0 B) と

X Y 平面に平行な上面をもち、前記受カリング (1 0 0 ; 1 0 0 A ; 1 0 0 B) および前記検出リング (2 0 0 ; 2 0 0 A ; 2 0 0 B) の下方に所定間隔をおいて配置された支持基板 (3 0 0 ; 3 0 0 A ; 3 0 0 B) と、

前記検出リング (2 0 0 ; 2 0 0 A ; 2 0 0 B) を所定の作用点 (Q 1 , Q 2 ; Q 1 1 ~ Q 1 4) の位置において前記受カリングに接続する接続部材 (4 1 0 , 4 2 0 ; 4 1 0 A , 4 2 0 A ; 4 3 1 ~ 4 3 4) と、

前記検出リング (2 0 0 ; 2 0 0 A ; 2 0 0 B) を所定の固定点 (P 1 , P 2 ; P 1 1 ~ P 1 4) の位置において前記支持基板 (3 0 0 ; 3 0 0 A ; 3 0 0 B) に固定する固定部材 (5 1 0 , 5 2 0 ; 5 1 5 , 5 2 5 ; 5 3 1 ~ 5 3 4) と、

前記検出リング (2 0 0 ; 2 0 0 A ; 2 0 0 B) の弾性変形を電氣的に検出する検出素子 (C 1 ~ C 1 0 ; G 1 ~ G 1 2 ; C 1 1 ~ C 4 5) と、

前記検出素子 (C 1 ~ C 1 0 ; G 1 ~ G 1 2 ; C 1 1 ~ C 4 5) の検出結果に基づいて、前記支持基板 (3 0 0 ; 3 0 0 A ; 3 0 0 B) を固定した状態において、前記受カリング (1 0 0 ; 1 0 0 A ; 1 0 0 B) に作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路 (3 8 0) と、

を備え、

前記作用点 (Q 1 , Q 2 ; Q 1 1 ~ Q 1 4) の X Y 平面への投影像と前記固定点 (P 1 , P 2 ; P 1 1 ~ P 1 4) の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0) の輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点 (Q 1 , Q 2) と複数 n 個の固定点 (P 1 , P 2) とが交互に配置されており、

検出素子 (C 1 ~ C 8 ; G 1 ~ G 1 2) が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点 (R 1 ~ R 4) の近傍における検出リング (2 0 0) の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0) の輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点 (Q 1) 、第 1 の固定点 (P 1) 、第 2 の作用点 (Q 2) 、第 2 の固定点 (P 2) の順に、2 個の作用点および 2 個の固定点が配置されており、

前記環状路における前記第 1 の作用点 (Q 1) と前記第 1 の固定点 (P 1) との間の位置に配置された第 1 の測定点 (R 1) 、前記環状路における前記第 1 の固定点 (P 1) と前記第 2 の作用点 (Q 2) との間の位置に配置された第 2 の測定点 (R 2) 、前記環状路における前記第 2 の作用点 (Q 2) と前記第 2 の固定点 (P 2) との間の位置に配置された第 3 の測定点 (R 3) 、前記環状路における前記第 2 の固定点 (P 2) と前記第 1 の作用点 (Q 1) との間の位置に配置された第 4 の測定点 (R 4) をそれぞれ定義したときに、検出素子 (C 1 ~ C 8 ; G 1 ~ G 1 2) が、前記第 1 ~ 第 4 の測定点 (R 1 ~ R 4) の近傍における検出リング (2 0 0) の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

10

20

30

40

50

【請求項 4】

請求項 3 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 の作用点 (Q 1) が X 軸正領域に、第 1 の固定点 (P 1) が Y 軸正領域に、第 2 の作用点 (Q 2) が X 軸負領域に、第 2 の固定点 (P 2) が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材 (4 1 0) により、検出リング (2 0 0) の前記第 1 の作用点 (Q 1) 近傍が受カリング (1 0 0) に接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材 (4 2 0) により、検出リング (2 0 0) の前記第 2 の作用点 (Q 2) 近傍が受カリング (1 0 0) に接続されており、

検出素子が、X Y 平面の第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限にそれぞれ配置された第 1 の測定点 (R 1)、第 2 の測定点 (R 2)、第 3 の測定点 (R 3)、第 4 の測定点 (R 4) の近傍における検出リング (2 0 0) の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

10

【請求項 5】

請求項 4 に記載の力覚センサにおいて、

X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点 (R 1) が V 軸正領域に、第 2 の測定点 (R 2) が W 軸正領域に、第 3 の測定点 (R 3) が V 軸負領域に、第 4 の測定点 (R 4) が W 軸負領域に、それぞれ配置されていることを特徴とする力覚センサ。

20

【請求項 6】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0 B) の輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点 (Q 1 1 ~ Q 1 4) と複数 n 個の固定点 (P 1 1 ~ P 1 4) とが交互に配置されており、

前記検出リング (2 0 0 B) の前記 n 個の作用点 (Q 1 1 ~ Q 1 4) の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部 (D 1 ~ D 4) を構成し、

複数 n 個の接続部材 (4 3 1 ~ 4 3 4) は前記各ダイアフラム部 (D 1 ~ D 4) に接続されており、

30

検出素子 (C 1 1 ~ C 4 5) が、前記各ダイアフラム部 (D 1 ~ D 4) の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0 B) の輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点 (Q 1 1)、第 1 の固定点 (P 1 1)、第 2 の作用点 (Q 1 2)、第 2 の固定点 (P 1 2)、第 3 の作用点 (Q 1 3)、第 3 の固定点 (P 1 3)、第 4 の作用点 (Q 1 4)、第 4 の固定点 (P 1 4) の順に、4 個の作用点および 4 個の固定点が配置されており、

前記検出リング (2 0 0 B) の前記第 1 の作用点 (Q 1 1) の近傍部分は第 1 のダイアフラム部 (D 1) を構成し、前記検出リング (2 0 0 B) の前記第 2 の作用点 (Q 1 2) の近傍部分は第 2 のダイアフラム部 (D 2) を構成し、前記検出リング (2 0 0 B) の前記第 3 の作用点 (Q 1 3) の近傍部分は第 3 のダイアフラム部 (D 3) を構成し、前記検出リング (2 0 0 B) の前記第 4 の作用点 (Q 1 4) の近傍部分は第 4 のダイアフラム部 (D 4) を構成し、

40

検出素子 (C 1 1 ~ C 4 5) が、前記第 1 ~ 第 4 のダイアフラム部 (D 1 ~ D 4) の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 の作用点 (Q 1 1) が X 軸正領域に、第 2 の作用点 (Q 1 2) が Y 軸正領域に、第 3 の作用点 (Q 1 3) が X 軸負領域に、第 4 の作用点 (Q 1 4) が Y 軸負領域に、それぞ

50

れ配置されており、第1のダイアフラム部(D1)がX軸正領域に位置し、第2のダイアフラム部(D2)がY軸正領域に位置し、第3のダイアフラム部(D3)がX軸負領域に位置し、第4のダイアフラム部(D4)がY軸負領域に位置し、

XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなすV軸と、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の固定点(P11)がV軸正領域に、第2の固定点(P12)がW軸正領域に、第3の固定点(P13)がV軸負領域に、第4の固定点(P14)がW軸負領域に、それぞれ配置されており、

X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材(431)により、第1のダイアフラム部(D1)が受カリング(100B)に接続され、Y軸正領域に沿って伸びる第2の接続部材(432)により、第2のダイアフラム部(D2)が受カリング(100B)に接続され、X軸負領域に沿って伸びる第3の接続部材(433)により、第3のダイアフラム部(D3)が受カリング(100B)に接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材(434)により、第4のダイアフラム部(D4)が受カリング(100B)に接続されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項9】

請求項1～8のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

固定部材(510, 520; 531～534)が、検出リング(200; 200A; 200B)の下面と支持基板(300; 300A; 300B)の上面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項10】

請求項1～8のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリング(100)が外側、検出リング(200)が内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リング(200)の更に内側に、下面が支持基板(300)の上面に固定された固定補助体(350)が設けられており、

固定部材(515, 525)が、前記検出リング(200)の内周面と前記固定補助体(350)の外周面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項11】

請求項1～10のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

XY平面に平行な上面をもち、受カリング(100; 100A)および検出リング(200; 200A)の上方に所定間隔をおいて配置された受カ基板(600; 600A)を更に備え、

前記受カ基板(600; 600A)の下面の一部は、受カリング(100; 100A)の上面に接続されており、

前記受カ基板(600; 600A)の下面と検出リング(200; 200A)の上面との間には、所定の空隙部(H3)が形成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項12】

請求項11に記載の力覚センサにおいて、

受カ基板(600A)の下面外周部には、受カリング(100A)および検出リング(200A)を包摂する包摂筒状体(650)が接続されており、前記包摂筒状体(650)の下端部と支持基板(300A)の外周部との間には空隙部(H4, H5)が形成されており、

前記受カ基板(600A)に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記包摂筒状体(650)の下端部と前記支持基板(300A)の外周部とが接触して、前記受カ基板(600A)の変位が制限されるように、前記空隙部(H4, H5)の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項13】

請求項1～12のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

10

20

30

40

50

受カリング(100)の所定箇所に上下に貫通する貫通孔(105, 107)が形成され、前記受カリングの上面の前記貫通孔の位置に前記貫通孔よりも径の大きな溝部(101~104)が形成されており、

前記貫通孔(105, 107)を挿通して先端部が支持基板(300)に固定され、頭部が前記溝部(101~104)に収容された変位制御ネジ(111~114)を更に備え、前記変位制御ネジと前記貫通孔の内面および前記溝部の内面との間には空隙部が形成されており、

前記受カリング(100)に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記変位制御ネジ(111~114)と前記貫通孔の内面もしくは前記溝部の内面とが接触して、前記受カリング(100)の変位が制限されるように、前記空隙部の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

10

【請求項14】

請求項1~13のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリング(100; 100A; 100B)が、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項15】

請求項1~14のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリング(100; 100A; 100B)および検出リング(200; 200A; 200B)の双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであることを特徴とする力覚センサ。

20

【請求項16】

請求項1~15のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板(380)が、支持基板(300A)の上面に設けられていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項17】

請求項1~16のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子(C1~C10; C11~C45)が、検出リング(200; 200A; 200B)の所定の測定点(R1~R4)の変位を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

30

【請求項18】

請求項17に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リング(200)の測定点(R1~R4)近傍の測定対象面と、受カリング(100)の前記測定対象面に対向する対向基準面との距離(d1~d4)を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項19】

請求項17に記載の力覚センサにおいて、

受カリング(100; 100A; 100B)が外側、検出リング(200; 200A; 200B)が内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リング(200; 200A; 200B)の更に内側に、下面が支持基板(300; 300A; 300B)の上面に固定された固定補助体(350)が設けられており、

検出素子が、検出リング(200; 200A; 200B)の内周面の、測定点(R1~R4)近傍に位置する測定対象面と、前記固定補助体(350)の外周に位置し前記測定対象面に対向する対向基準面との距離(d1~d4)を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

40

【請求項20】

請求項17に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リング(200; 200A)の下面の、測定点(R1~R4)近傍に位置する測定対象面と、支持基板(300; 300A)の上面に位置し前記測定対象面に対向する対向基準面との距離(d5~d8; d9, d10)を電気的に検出することを特

50

徴とする力覚センサ。

【請求項 2 1】

請求項 1 8 ~ 2 0 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、測定対象面に設けられた変位電極 (E 2 1 ~ E 3 0) と、対向基準面に設けられた固定電極 (E 1 1 ~ E 2 0) と、を有する容量素子 (C 1 ~ C 1 0) によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0) を可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として容量素子 (C 1 ~ C 8) を構成したことを特徴とする力覚センサ。

10

【請求項 2 3】

請求項 1 8 ~ 2 0 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0) の少なくとも測定対象面が導電性材料からなり、

検出素子が、対向基準面に設けられた渦電流変位計 (M 1 ~ M 4) によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2 4】

請求項 1 8 ~ 2 0 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出リング (2 0 0) の少なくとも測定対象面が磁石からなり、

検出素子が、対向基準面に設けられたホール素子 (M 1 ~ M 4) によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

20

【請求項 2 5】

請求項 1 8 ~ 2 0 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子 (M 1 ~ M 4) が、

対向基準面に固定され、測定対象面に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、

対向基準面に固定され、前記測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器と、

前記光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路と、

によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

30

【請求項 2 6】

請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子 (G 1 ~ G 1 2) が、検出リング (2 0 0) の所定の測定点 (R 1 ~ R 4) の近傍位置の機械的な歪みを電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2 7】

請求項 2 6 に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リング (2 0 0) の測定点 (R 1 ~ R 4) 近傍の表面に、前記検出リング (2 0 0) の輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられたストレインゲージ (G 1 ~ G 1 2) によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

40

【請求項 2 8】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリング (1 0 0) および検出リング (2 0 0) の双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリング (1 0 0) が外側、前記検出リング (2 0 0) が内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リング (2 0 0) の更に内側に、下面が支持基板 (3 0 0) の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体 (3 5 0) が設けられており、

検出素子が、

前記検出リング (2 0 0) の内周面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に配置された第 1

50

の変位電極（E 2 1）と、前記固定補助体（3 5 0）の外周面の前記第 1 の変位電極（E 2 1）に対向する位置に配置された第 1 の固定電極（E 1 1）とによって構成される第 1 の容量素子（C 1）と、

前記検出リング（2 0 0）の内周面の第 2 の測定点（R 2）近傍位置に配置された第 2 の変位電極（E 2 2）と、前記固定補助体（3 5 0）の外周面の前記第 2 の変位電極（E 2 2）に対向する位置に配置された第 2 の固定電極（E 1 2）とによって構成される第 2 の容量素子（C 2）と、

前記検出リング（2 0 0）の内周面の第 3 の測定点（R 3）近傍位置に配置された第 3 の変位電極（E 2 3）と、前記固定補助体（3 5 0）の外周面の前記第 3 の変位電極（E 2 3）に対向する位置に配置された第 3 の固定電極（E 1 3）とによって構成される第 3 の容量素子（C 3）と、

前記検出リング（2 0 0）の内周面の第 4 の測定点（R 4）近傍位置に配置された第 4 の変位電極（E 2 4）と、前記固定補助体（3 5 0）の外周面の前記第 4 の変位電極（E 2 4）に対向する位置に配置された第 4 の固定電極（E 1 4）とによって構成される第 4 の容量素子（C 4）と、

前記検出リング（2 0 0）の下面の第 1 の測定点（R 1）近傍位置に配置された第 5 の変位電極（E 2 5）と、前記支持基板（3 0 0）の上面の前記第 5 の変位電極（E 2 5）に対向する位置に配置された第 5 の固定電極（E 1 5）とによって構成される第 5 の容量素子（C 5）と、

前記検出リング（2 0 0）の下面の第 2 の測定点（R 2）近傍位置に配置された第 6 の変位電極（E 2 6）と、前記支持基板（3 0 0）の上面の前記第 6 の変位電極（E 2 6）に対向する位置に配置された第 6 の固定電極（E 1 6）とによって構成される第 6 の容量素子（C 6）と、

前記検出リング（2 0 0）の下面の第 3 の測定点（R 3）近傍位置に配置された第 7 の変位電極（E 2 7）と、前記支持基板（3 0 0）の上面の前記第 7 の変位電極（E 2 7）に対向する位置に配置された第 7 の固定電極（E 1 7）とによって構成される第 7 の容量素子（C 7）と、

前記検出リング（2 0 0）の下面の第 4 の測定点（R 4）近傍位置に配置された第 8 の変位電極（E 2 8）と、前記支持基板（3 0 0）の上面の前記第 8 の変位電極（E 2 8）に対向する位置に配置された第 8 の固定電極（E 1 8）とによって構成される第 8 の容量素子（C 8）と、

を有し、前記各容量素子（C 1 ~ C 8）を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路（3 8 0）が、前記第 1 の容量素子（C 1）の静電容量値を C 1、前記第 2 の容量素子（C 2）の静電容量値を C 2、前記第 3 の容量素子（C 3）の静電容量値を C 3、前記第 4 の容量素子（C 4）の静電容量値を C 4、前記第 5 の容量素子（C 5）の静電容量値を C 5、前記第 6 の容量素子（C 6）の静電容量値を C 6、前記第 7 の容量素子（C 7）の静電容量値を C 7、前記第 8 の容量素子（C 8）の静電容量値を C 8 としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 29】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

10

20

30

40

50

受カリング(100)および検出リング(200)の双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリング(100)が外側、前記検出リング(200)が内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リング(200)の更に内側に、下面が支持基板(300)の上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体(350)が設けられており、

検出素子が、第1の作用点(Q1)を第5の測定点とし、第2の作用点(Q2)を第6の測定点として、

前記検出リング(200)の内周面の第1の測定点(R1)近傍位置に配置された第1の変位電極(E21)と、前記固定補助体(350)の外周面の前記第1の変位電極(E21)に対向する位置に配置された第1の固定電極(E11)とによって構成される第1の容量素子(C1)と、

前記検出リング(200)の内周面の第2の測定点(R2)近傍位置に配置された第2の変位電極(E22)と、前記固定補助体(350)の外周面の前記第2の変位電極(E22)に対向する位置に配置された第2の固定電極(E12)とによって構成される第2の容量素子(C2)と、

前記検出リング(200)の内周面の第3の測定点(R3)近傍位置に配置された第3の変位電極(E23)と、前記固定補助体(350)の外周面の前記第3の変位電極(E23)に対向する位置に配置された第3の固定電極(E13)とによって構成される第3の容量素子(C3)と、

前記検出リング(200)の内周面の第4の測定点(R4)近傍位置に配置された第4の変位電極(E24)と、前記固定補助体(350)の外周面の前記第4の変位電極(E24)に対向する位置に配置された第4の固定電極(E14)とによって構成される第4の容量素子(C4)と、

前記検出リング(200)の下面の第5の測定点(Q1)近傍位置に配置された第5の変位電極(E29)と、前記支持基板(300)の上面の前記第5の変位電極(E29)に対向する位置に配置された第5の固定電極(E19)とによって構成される第5の容量素子(C9)と、

前記検出リング(200)の下面の第6の測定点(Q2)近傍位置に配置された第6の変位電極(E30)と、前記支持基板(300)の上面の前記第6の変位電極(E30)に対向する位置に配置された第6の固定電極(E20)とによって構成される第6の容量素子(C10)と、

を有し、前記各容量素子(C1~C4, C9, C10)を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路(380)が、前記第1の容量素子(C1)の静電容量値をC1、前記第2の容量素子(C2)の静電容量値をC2、前記第3の容量素子(C3)の静電容量値をC3、前記第4の容量素子(C4)の静電容量値をC4、前記第5の容量素子(C9)の静電容量値をC9、前記第6の容量素子(C10)の静電容量値をC10としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項30】

請求項28または29に記載の力覚センサにおいて、

検出リング(200)を可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として各容量素子(C1~C10)を構成したことを特徴とする力覚セン

10

20

30

40

50

サ。

【請求項 3 1】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリング (1 0 0) および検出リング (2 0 0) の双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリング (1 0 0) が外側、前記検出リング (2 0 0) が内側となるように両リングが配置されており、

検出素子が、前記検出リング (2 0 0) の第 1 ~ 第 4 の測定点 (R 1 ~ R 4) 近傍の表面に、前記検出リング (2 0 0) の輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージ (G 1 ~ G 8) を有し、

10

前記検出リング (2 0 0) の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リング (2 0 0) の上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と、

前記横方向配置面の第 2 の測定点 (R 2) 近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と、

前記横方向配置面の第 3 の測定点 (R 3) 近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージ (G 3) と、

前記横方向配置面の第 4 の測定点 (R 4) 近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージ (G 4) と、

20

前記縦方向配置面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と、

前記縦方向配置面の第 2 の測定点 (R 2) 近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージ (G 6) と、

前記縦方向配置面の第 3 の測定点 (R 3) 近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージ (G 7) と、

前記縦方向配置面の第 4 の測定点 (R 4) 近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージ (G 8) と、

の 8 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、

30

検出回路 (3 8 0) が、

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) とを第 1 の対辺とし、前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と前記第 6 属性のストレインゲージ (G 6) とを第 1 の対辺とし、前記第 7 属性のストレインゲージ (G 7) と前記第 8 属性のストレインゲージ (G 8) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

40

前記第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と前記第 8 属性のストレインゲージ (G 8) とを第 1 の対辺とし、前記第 6 属性のストレインゲージ (G 6) と前記第 7 属性のストレインゲージ (G 7) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) とを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわ

50

りのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3 2】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリング (1 0 0) および検出リング (2 0 0) の双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリング (1 0 0) が外側、前記検出リング (2 0 0) が内側となるように両リングが配置されており、

検出素子が、前記検出リング (2 0 0) の第 1 ~ 第 4 の測定点 (R 1 ~ R 4) 近傍の表面に、前記検出リング (2 0 0) の輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージ (G 1 ~ G 1 2) を有し、

10

前記検出リング (2 0 0) の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リング (2 0 0) の上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と、

前記横方向配置面の第 2 の測定点 (R 2) 近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と、

前記横方向配置面の第 3 の測定点 (R 3) 近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージ (G 3) と、

前記横方向配置面の第 4 の測定点 (R 4) 近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージ (G 4) と、

20

前記検出リング (2 0 0) の前記第 1 縦方向配置面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 1 縦方向配置面の第 2 の測定点 (R 2) 近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージ (G 6) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 1 縦方向配置面の第 3 の測定点 (R 3) 近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージ (G 7) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 1 縦方向配置面の第 4 の測定点 (R 4) 近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージ (G 8) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 2 縦方向配置面の第 1 の測定点 (R 1) 近傍位置に取り付けられた第 9 属性のストレインゲージ (G 9) と、

30

前記検出リング (2 0 0) の前記第 2 縦方向配置面の第 2 の測定点 (R 2) 近傍位置に取り付けられた第 10 属性のストレインゲージ (G 10) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 2 縦方向配置面の第 3 の測定点 (R 3) 近傍位置に取り付けられた第 11 属性のストレインゲージ (G 11) と、

前記検出リング (2 0 0) の前記第 2 縦方向配置面の第 4 の測定点 (R 4) 近傍位置に取り付けられた第 12 属性のストレインゲージ (G 12) と、

の 1 2 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、

検出回路 (3 8 0) が、

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

40

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) とを第 1 の対辺とし、前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と前記第 6 属性のストレインゲージ (G 6) との直列接続辺と、前記第 7 属性のストレインゲージ (G 7) と前記第 8 属性のストレインゲージ (G 8) との直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、前記第 9 属性のストレインゲ

50

ジ (G 9) と前記第 10 属性のストレインゲージ (G 10) との直列接続辺と、前記第 11 属性のストレインゲージ (G 11) と前記第 12 属性のストレインゲージ (G 12) との直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と前記第 6 属性のストレインゲージ (G 6) とを第 1 の対辺とし、前記第 7 属性のストレインゲージ (G 7) と前記第 8 属性のストレインゲージ (G 8) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージ (G 5) と前記第 8 属性のストレインゲージ (G 8) とを第 1 の対辺とし、前記第 6 属性のストレインゲージ (G 6) と前記第 7 属性のストレインゲージ (G 7) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージ (G 1) と前記第 3 属性のストレインゲージ (G 3) とを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージ (G 2) と前記第 4 属性のストレインゲージ (G 4) とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 33】

請求項 8 に記載の力覚センサにおいて、

受カリング (100B) および検出リング (200B) の双方が、Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリング (100B) が外側、前記検出リング (200B) が内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リング (200B) の更に内側に、下面が支持基板 (300B) の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体 (350B) が設けられており、

検出素子が、

前記検出リング (200B) の内周面の第 1 のダイアフラム (D 1) の部分に配置された複数の変位電極 (T 11 ~ T 15) からなる第 1 変位電極群 (T 10) と、前記固定補助体 (350B) の外周面の前記第 1 変位電極群 (T 10) の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 (U 11 ~ U 15) からなる第 1 固定電極群 (U 10) と、によって構成される複数の容量素子 (C 11 ~ C 15) からなる第 1 容量素子群 (C 10) と、

前記検出リング (200B) の内周面の第 2 のダイアフラム (D 2) の部分に配置された複数の変位電極 (T 21 ~ T 25) からなる第 2 変位電極群 (T 20) と、前記固定補助体 (350B) の外周面の前記第 2 変位電極群 (T 20) の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 (U 21 ~ U 25) からなる第 2 固定電極群 (U 20) と、によって構成される複数の容量素子 (C 21 ~ C 25) からなる第 2 容量素子群 (C 20) と、

前記検出リング (200B) の内周面の第 3 のダイアフラム (D 1) の部分に配置された複数の変位電極 (T 31 ~ T 35) からなる第 3 変位電極群 (T 30) と、前記固定補助体 (350B) の外周面の前記第 3 変位電極群 (T 30) の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 (U 31 ~ U 35) からなる第 3 固定電極群 (U 30) と、によって構成される複数の容量素子 (C 31 ~ C 35) からなる第 3 容量素子群 (C 30) と、

前記検出リング (200B) の内周面の第 4 のダイアフラム (D 4) の部分に配置された複数の変位電極 (T 41 ~ T 45) からなる第 4 変位電極群 (T 40) と、前記固定補助体 (350B) の外周面の前記第 4 変位電極群 (T 40) の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 (U 41 ~ U 45) からなる第 4 固定電極群 (U 40) と、によって構成される複数の容量素子 (C 41 ~ C 45) からなる第 4 容量素子群 (C 40) と、

を有し、前記各容量素子 (C 11 ~ C 15 , C 21 ~ C 25 , C 31 ~ C 35 , C 41

10

20

30

40

50

～ C 4 5) を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路 (3 8 0) が、前記各容量素子 (C 1 1 ~ C 1 5 , C 2 1 ~ C 2 5 , C 3 1 ~ C 3 5 , C 4 1 ~ C 4 5) の静電容量値に基づいて検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3 4】

請求項 3 3 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 容量素子群 (C 1 0) が、X 軸上に配置された第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) と、前記第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 1 容量素子 (C 1 1) と、前記第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 2 容量素子 (C 1 2) と、前記第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 3 容量素子 (C 1 3) と、前記第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 4 容量素子 (C 1 4) と、を有し、

第 2 容量素子群 (C 2 0) が、Y 軸上に配置された第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) と、前記第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) に対して X 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 1 容量素子 (C 2 1) と、前記第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) に対して X 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 2 容量素子 (C 2 2) と、前記第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 3 容量素子 (C 2 3) と、前記第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 4 容量素子 (C 2 4) と、を有し、

第 3 容量素子群 (C 3 0) が、X 軸上に配置された第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) と、前記第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 1 容量素子 (C 3 1) と、前記第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 2 容量素子 (C 3 2) と、前記第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 3 容量素子 (C 3 3) と、前記第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 4 容量素子 (C 3 4) と、を有し、

第 4 容量素子群 (C 4 0) が、Y 軸上に配置された第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) と、前記第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) に対して X 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 1 容量素子 (C 4 1) と、前記第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) に対して X 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 2 容量素子 (C 4 2) と、前記第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 3 容量素子 (C 4 3) と、前記第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 4 容量素子 (C 4 4) と、を有し、

検出回路 (3 8 0) が、

前記第 1 群の第 1 容量素子 (C 1 1) の静電容量値を C 1 1、前記第 1 群の第 2 容量素子 (C 1 2) の静電容量値を C 1 2、前記第 1 群の第 3 容量素子 (C 1 3) の静電容量値を C 1 3、前記第 1 群の第 4 容量素子 (C 1 4) の静電容量値を C 1 4、前記第 1 群の軸上容量素子 (C 1 5) の静電容量値を C 1 5 とし、

前記第 2 群の第 1 容量素子 (C 2 1) の静電容量値を C 2 1、前記第 2 群の第 2 容量素子 (C 2 2) の静電容量値を C 2 2、前記第 2 群の第 3 容量素子 (C 2 3) の静電容量値を C 2 3、前記第 2 群の第 4 容量素子 (C 2 4) の静電容量値を C 2 4、前記第 2 群の軸上容量素子 (C 2 5) の静電容量値を C 2 5 とし、

前記第 3 群の第 1 容量素子 (C 3 1) の静電容量値を C 3 1、前記第 3 群の第 2 容量素子 (C 3 2) の静電容量値を C 3 2、前記第 3 群の第 3 容量素子 (C 3 3) の静電容量値を C 3 3、前記第 3 群の第 4 容量素子 (C 3 4) の静電容量値を C 3 4、前記第 3 群の軸上容量素子 (C 3 5) の静電容量値を C 3 5 とし、

前記第 4 群の第 1 容量素子 (C 4 1) の静電容量値を C 4 1、前記第 4 群の第 2 容量素子 (C 4 2) の静電容量値を C 4 2、前記第 4 群の第 3 容量素子 (C 4 3) の静電容量値

10

20

30

40

50

を C 4 3、前記第 4 群の第 4 容量素子 (C 4 4) の静電容量値を C 4 4、前記第 4 群の軸上容量素子 (C 4 5) の静電容量値を C 4 5 としたときに、

$$F_x = - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) \\ + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35}) \quad \text{または} \\ = - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14}) \\ + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}) \quad \text{または} \\ = - C_{15} + C_{35}$$

$$F_y = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}) \\ + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) \quad \text{または} \\ = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24}) \\ + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44}) \quad \text{または} \\ = - C_{25} + C_{45}$$

$$F_z = (C_{13} + C_{23} + C_{33} + C_{43}) \\ - (C_{14} + C_{24} + C_{34} + C_{44})$$

$$M_x = (C_{23} + C_{44}) - (C_{24} + C_{43})$$

$$M_y = (C_{14} + C_{33}) - (C_{13} + C_{34})$$

$$M_z = (C_{11} + C_{21} + C_{32} + C_{42}) \\ - (C_{12} + C_{22} + C_{31} + C_{41})$$

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 35】

請求項 33 または 34 に記載の力覚センサにおいて、

検出リング (200B) の少なくともダイアフラム部 (D1 ~ D4) を可撓性をもった導電性材料によって構成し、このダイアフラム部の表面を共通変位電極として各容量素子 (C11 ~ C15, C21 ~ C25, C31 ~ C35, C41 ~ C45) を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、力覚センサに関し、特に、三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを検出するのに適した薄型のセンサに関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットや産業機械の動作制御を行うために、種々のタイプの力覚センサが利用されている。また、電子機器の入力装置のマン・マシンインターフェイスとしても、小型の力覚センサが組み込まれている。このような用途に用いる力覚センサには、小型化およびコストダウンを図るために、できるだけ構造を単純にするとともに、三次元空間内での各座標軸に関する力をそれぞれ独立して検出できるようにすることが要求される。

現在、一般に利用されている多軸力覚センサは、機械的構造部に作用した力の特定の方向成分を、特定の部分に生じた変位として検出するタイプのものと、特定の部分に生じた機械的な歪みとして検出するタイプのものに分類される。前者の変位検出タイプの代表格は、静電容量素子式の力覚センサであり、一对の電極により容量素子を構成しておき、作用した力によって一方の電極に生じた変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出するものである。たとえば、特開 2004 - 325367 号公報 (米国特許第 7219561 号公報) や特開 2004 - 354049 号公報 (米国特許第 6915709 号公報) には、この静電容量式の多軸力覚センサが開示されている。

一方、後者の機械的な歪み検出タイプの代表格は、歪みゲージ式の力覚センサであり、作用した力によって生じた機械的な歪みを、ストレインゲージなどの電気抵抗の変化として検出するものである。たとえば、特開平 8 - 122178 号公報 (米国特許第 5490

10

20

30

40

50

427号公報)には、この歪みゲージ式の多軸力覚センサが開示されている。

しかしながら、上述した各特許文献が開示されている多軸力覚センサは、いずれも機械的構造部の厚みが大きくならざるを得ず、装置全体を薄型化することが困難である。その一方で、ロボット、産業機械、電子機器用入力装置などの分野では、より薄型の力覚センサの登場が望まれている。そこで本発明は、構造が単純で薄型化を図ることが可能な力覚センサを提供することを目的とする。

【発明の開示】

【0003】

(1) 本発明の第1の態様は、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサにおいて、

10

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に、かつ、受カリングの内側もしくは外側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

XY平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

検出リングを所定の作用点の位置において受カリングに接続する接続部材と、

検出リングを所定の固定点の位置において支持基板に固定する固定部材と、

20

検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、

検出素子の検出結果に基づいて、支持基板を固定した状態において、受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を設け、

作用点のXY平面への投影像と固定点のXY平面への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、上述した第1の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数n個の作用点と複数n個の固定点とを交互に配置し、

30

検出素子が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

(3) 本発明の第3の態様は、上述した第2の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、第1の作用点、第1の固定点、第2の作用点、第2の固定点の順に、2個の作用点および2個の固定点を配置し、

環状路における第1の作用点と第1の固定点との間の位置に配置された第1の測定点、環状路における第1の固定点と第2の作用点との間の位置に配置された第2の測定点、環状路における第2の作用点と第2の固定点との間の位置に配置された第3の測定点、環状路における第2の固定点と第1の作用点との間の位置に配置された第4の測定点をそれぞれ定義したときに、検出素子が、第1～第4の測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

40

(4) 本発明の第4の態様は、上述した第3の態様に係る力覚センサにおいて、

第1の作用点がX軸正領域に、第1の固定点がY軸正領域に、第2の作用点がX軸負領域に、第2の固定点がY軸負領域に、それぞれ配置されており、

X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材により、検出リングの第1の作用点近傍が受カリングに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第2の接続部材により、検出リングの第2の作用点近傍が受カリングに接続されており、

検出素子が、XY平面の第1象限、第2象限、第3象限、第4象限にそれぞれ配置された第1の測定点、第2の測定点、第3の測定点、第4の測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

50

(5) 本発明の第5の態様は、上述した第4の態様に係る力覚センサにおいて、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなすV軸と、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の測定点がV軸正領域に、第2の測定点がW軸正領域に、第3の測定点がV軸負領域に、第4の測定点がW軸負領域に、それぞれ配置されているようにしたものである。

(6) 本発明の第6の態様は、上述した第1の態様に係る力覚センサにおいて、検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数n個の作用点と複数n個の固定点とが交互に配置されており、

検出リングのn個の作用点の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部を構成し、

複数n個の接続部材は各ダイアフラム部に接続されており、

検出素子が、各ダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

(7) 本発明の第7の態様は、上述した第6の態様に係る力覚センサにおいて、検出リングの輪郭に沿った環状路に、第1の作用点、第1の固定点、第2の作用点、第2の固定点、第3の作用点、第3の固定点、第4の作用点、第4の固定点の順に、4個の作用点および4個の固定点が配置されており、

検出リングの第1の作用点の近傍部分は第1のダイアフラム部を構成し、検出リングの第2の作用点の近傍部分は第2のダイアフラム部を構成し、検出リングの第3の作用点の近傍部分は第3のダイアフラム部を構成し、検出リングの第4の作用点の近傍部分は第4のダイアフラム部を構成し、

検出素子が、第1～第4のダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

(8) 本発明の第8の態様は、上述した第7の態様に係る力覚センサにおいて、第1の作用点がX軸正領域に、第2の作用点がY軸正領域に、第3の作用点がX軸負領域に、第4の作用点がY軸負領域に、それぞれ配置されており、第1のダイアフラム部がX軸正領域に位置し、第2のダイアフラム部がY軸正領域に位置し、第3のダイアフラム部がX軸負領域に位置し、第4のダイアフラム部がY軸負領域に位置し、

XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなすV軸と、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の固定点がV軸正領域に、第2の固定点がW軸正領域に、第3の固定点がV軸負領域に、第4の固定点がW軸負領域に、それぞれ配置されており、

X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材により、第1のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y軸正領域に沿って伸びる第2の接続部材により、第2のダイアフラム部が受カリングに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第3の接続部材により、第3のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材により、第4のダイアフラム部が受カリングに接続されているようにしたものである。

(9) 本発明の第9の態様は、上述した第1～第8の態様に係る力覚センサにおいて、

固定部材が、検出リングの下面と支持基板の上面とを接続するようにしたものである。

(10) 本発明の第10の態様は、上述した第1～第8の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体が設けられており、

固定部材が、検出リングの内周面と固定補助体の外周面とを接続するようにしたものである。

10

20

30

40

50

(11) 本発明の第11の態様は、上述した第1～第10の態様に係る力覚センサにおいて、

XY平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの上方に所定間隔をおいて配置された受カ基板を更に設け、

受カ基板の下面の一部は、受カリングの上面に接続されており、

受カ基板の下面と検出リングの上面との間には、所定の空隙部が形成されているようにしたものである。

(12) 本発明の第12の態様は、上述した第11の態様に係る力覚センサにおいて、

受カ基板の下面外周部には、受カリングおよび検出リングを包摂する包摂筒状体が接続されており、包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部との間には空隙部が形成されており、

受カ基板に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部とが接触して、受カ基板の変位が制限されるように、空隙部の寸法が設定されているようにしたものである。

(13) 本発明の第13の態様は、上述した第1～第12の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングの所定箇所に上下に貫通する貫通孔を形成し、受カリングの上面の貫通孔の位置に当該貫通孔よりも径の大きな溝部を形成し、

貫通孔を挿通して先端部が支持基板に固定され、頭部が溝部に収容された変位制御ネジを更に設け、変位制御ネジと貫通孔の内面および溝部の内面との間には空隙部が形成されるようにし、

受カリングに所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、変位制御ネジと貫通孔の内面もしくは溝部の内面とが接触して、受カリングの変位が制限されるように、空隙部の寸法を設定したものである。

(14) 本発明の第14の態様は、上述した第1～第13の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングを、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成したものである。

(15) 本発明の第15の態様は、上述した第1～第14の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方を、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングによって構成したものである。

(16) 本発明の第16の態様は、上述した第1～第15の態様に係る力覚センサにおいて、

検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板を、支持基板の上面に設けるようにしたものである。

(17) 本発明の第17の態様は、上述した第1～第16の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子により、検出リングの所定の測定点の変位を電氣的に検出するようにしたものである。

(18) 本発明の第18の態様は、上述した第17の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの測定点近傍の測定対象面と、受カリングの測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出するようにしたものである。

(19) 本発明の第19の態様は、上述した第17の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体を設け、

検出素子が、検出リングの内周面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、固定補助体

10

20

30

40

50

の外周に位置し測定対象面に対向する対向基準面との距離を電気的に検出するようにしたものである。

(20) 本発明の第20の態様は、上述した第17の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの下面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、支持基板の上面に位置し測定対象面に対向する対向基準面との距離を電気的に検出するようにしたものである。

(21) 本発明の第21の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子を、測定対象面に設けられた変位電極と、対向基準面に設けられた固定電極とを有する容量素子によって構成したものである。

10

(22) 本発明の第22の態様は、上述した第21の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として容量素子を構成したものである。

(23) 本発明の第23の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの少なくとも測定対象面を導電性材料によって構成し、

検出素子を、対向基準面に設けられた渦電流変位計によって構成したものである。

(24) 本発明の第24の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

20

検出リングの少なくとも測定対象面を磁石によって構成し、

検出素子を、対向基準面に設けられたホール素子によって構成したものである。

(25) 本発明の第25の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子を、

対向基準面に固定され、測定対象面に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、

対向基準面に固定され、測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器と

30

光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路と

によって構成したものである。

(26) 本発明の第26の態様は、上述した第1～第16の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの所定の測定点の近傍位置の機械的な歪みを電気的に検出するようにしたものである。

(27) 本発明の第27の態様は、上述した第26の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子を、検出リングの測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられたストレインゲージによって構成したものである。

40

(28) 本発明の第28の態様は、上述した第5の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方を、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、

検出リングの内周面の第1の測定点近傍位置に配置された第1の変位電極と、固定補助

50

体の外周面の第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

検出リングの下面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、支持基板の上面の第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

検出リングの下面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、支持基板の上面の第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

検出リングの下面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 7 の変位電極と、支持基板の上面の第 7 の変位電極に対向する位置に配置された第 7 の固定電極とによって構成される第 7 の容量素子と、

検出リングの下面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 8 の変位電極と、支持基板の上面の第 8 の変位電極に対向する位置に配置された第 8 の固定電極とによって構成される第 8 の容量素子と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、第 1 の容量素子の静電容量値を C 1、第 2 の容量素子の静電容量値を C 2、第 3 の容量素子の静電容量値を C 3、第 4 の容量素子の静電容量値を C 4、第 5 の容量素子の静電容量値を C 5、第 6 の容量素子の静電容量値を C 6、第 7 の容量素子の静電容量値を C 7、第 8 の容量素子の静電容量値を C 8 としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F x、Y 軸方向の力 F y、Z 軸方向の力 F z、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 の検出値を出力するようにしたものである。

(29) 本発明の第 29 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、受カリングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、第 1 の作用点を第 5 の測定点とし、第 2 の作用点を第 6 の測定点として、

検出リングの内周面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成

10

20

30

40

50

される第 2 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

検出リングの下面の第 5 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、支持基板の上面の第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

検出リングの下面の第 6 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、支持基板の上面の第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、第 1 の容量素子の静電容量値を C_1 、第 2 の容量素子の静電容量値を C_2 、第 3 の容量素子の静電容量値を C_3 、第 4 の容量素子の静電容量値を C_4 、第 5 の容量素子の静電容量値を C_9 、第 6 の容量素子の静電容量値を C_{10} としたときに、

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

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

$$F_z = - (C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力するようにしたものである。

(30) 本発明の第 30 の態様は、上述した第 28 または第 29 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として各容量素子を構成したものである。

(31) 本発明の第 31 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、受カリングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出素子を、検出リングの第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージによって構成し、

検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、検出リングの上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面と定義したときに、複数のストレインゲージは、

横方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと

、

縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージと

、

10

20

30

40

50

縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージと
 、
 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージと
 、
 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージと
 、
 の 8 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成されるようにし、
 検出回路が、
 第 1 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2
 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートス
 トンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、
 第 1 属性のストレインゲージと第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 3
 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートス
 トンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、
 第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 7
 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートス
 トンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、
 第 5 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 6
 属性のストレインゲージと第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートス
 トンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、
 第 1 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2
 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートス
 トンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力するようにしたも
 のである。

(3 2) 本発明の第 3 2 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、
 受カリングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置さ
 れた円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、
 検出素子を、検出リングの第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿っ
 た環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージに
 よって構成し、検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し
 、検出リングの上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配
 置面と定義したときに、複数のストレインゲージは、

横方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと
 、
 横方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと
 、
 横方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと
 、
 横方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと
 、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のス
 トレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のス
 トレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のス
 トレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のス
 トレインゲージと、
 検出リングの第 2 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 9 属性のス

10

20

30

40

50

トレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 0 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 1 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 2 属性のストレインゲージと、

の 1 2 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成されるようにし、検出回路が、

第 1 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

第 1 属性のストレインゲージと第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 3 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、第 7 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、第 9 属性のストレインゲージと第 1 0 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、第 1 1 属性のストレインゲージと第 1 2 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 7 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 6 属性のストレインゲージと第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

第 1 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力するようにしたものである。

(3 3) 本発明の第 3 3 の態様は、上述した第 8 の態様に係る力覚センサにおいて、

受リングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受リングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、

検出リングの内周面の第 1 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 1 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 1 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 1 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 1 容量素子群と、

検出リングの内周面の第 2 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 2 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 2 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 2 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 2 容量素子群と、

検出リングの内周面の第 3 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 3 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 3 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 3 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 3 容量素子群と、

検出リングの内周面の第 4 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる

第4変位電極群と、固定補助体の外周面の第4変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第4固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第4容量素子群と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、各容量素子の静電容量値に基づいて検出値を出力するようにしたものである。

(34) 本発明の第34の態様は、上述した第33の態様に係る力覚センサにおいて、

第1容量素子群が、X軸上に配置された第1群の軸上容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第1群の第1容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第1群の第2容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第1群の第3容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第1群の第4容量素子と、を有し、

第2容量素子群が、Y軸上に配置された第2群の軸上容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第2群の第1容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してX軸負方向に隣接配置された第2群の第2容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第2群の第3容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第2群の第4容量素子と、を有し、

第3容量素子群が、X軸上に配置された第3群の軸上容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第3群の第1容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第3群の第2容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第3群の第3容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第3群の第4容量素子と、を有し、

第4容量素子群が、Y軸上に配置された第4群の軸上容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第4群の第1容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してX軸負方向に隣接配置された第4群の第2容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第4群の第3容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第4群の第4容量素子と、を有し、

検出回路が、

第1群の第1容量素子の静電容量値をC11、第1群の第2容量素子の静電容量値をC12、第1群の第3容量素子の静電容量値をC13、第1群の第4容量素子の静電容量値をC14、第1群の軸上容量素子の静電容量値をC15とし、

第2群の第1容量素子の静電容量値をC21、第2群の第2容量素子の静電容量値をC22、第2群の第3容量素子の静電容量値をC23、第2群の第4容量素子の静電容量値をC24、第2群の軸上容量素子の静電容量値をC25とし、

第3群の第1容量素子の静電容量値をC31、第3群の第2容量素子の静電容量値をC32、第3群の第3容量素子の静電容量値をC33、第3群の第4容量素子の静電容量値をC34、第3群の軸上容量素子の静電容量値をC35とし、

第4群の第1容量素子の静電容量値をC41、第4群の第2容量素子の静電容量値をC42、第4群の第3容量素子の静電容量値をC43、第4群の第4容量素子の静電容量値をC44、第4群の軸上容量素子の静電容量値をC45としたときに、

$$F_x = - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) \\ + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35}) \quad \text{または} \\ = - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14}) \\ + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}) \quad \text{または} \\ = - C_{15} + C_{35}$$

$$F_y = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}) \\ + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) \quad \text{または} \\ = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24})$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 & + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44}) \quad \text{または} \\
 & = -C_{25} + C_{45} \\
 F_z = & (C_{13} + C_{23} + C_{33} + C_{43}) \\
 & - (C_{14} + C_{24} + C_{34} + C_{44}) \\
 M_x = & (C_{23} + C_{44}) - (C_{24} + C_{43}) \\
 M_y = & (C_{14} + C_{33}) - (C_{13} + C_{34}) \\
 M_z = & (C_{11} + C_{21} + C_{32} + C_{42}) \\
 & - (C_{12} + C_{22} + C_{31} + C_{41})
 \end{aligned}$$

なる演算式に基づいて、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力するようにしたものである。

10

(35) 本発明の第35の態様は、上述した第33または第34の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの少なくともダイアフラム部を可撓性をもった導電性材料によって構成し、このダイアフラム部の表面を共通変位電極として各容量素子を構成したものである。

【図面の簡単な説明】

【0004】

図1は、本発明の基本的な実施形態に係る力覚センサの基本構造部の上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。

図2は、図1に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびXZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

20

図3は、図1に示す基本構造部の支持基板300および固定部材510、520の上面図（上段の図）、ならびに、この基本構造部をYZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

図4は、図1に示す基本構造部の受力リング100にX軸正方向の力 $+F_x$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図（上段の図）およびXZ平面における縦断面図（下段の図）である。

図5は、図1に示す基本構造部の受力リング100にZ軸正方向の力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。

図6は、図1に示す基本構造部の受力リング100にY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。

30

図7は、図1に示す基本構造部の受力リング100にZ軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図である。

図8は、図1に示す基本構造部に、変位検出用の固定補助体350を付加した実施形態を示す上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。

図9は、図8に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびYZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

図10は、図8に示す基本構造部における距離測定箇所を示す上面図である。

図11は、図10に示す基本構造部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距離 $d_1 \sim d_8$ の変化を示すテーブルである。

40

図12は、図8に示す基本構造部における距離測定箇所の変形例を示す上面図である。

図13は、図12に示す基本構造部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距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の変化を示すテーブルである。

図14は、容量素子を用いた実施形態に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびYZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

図15は、図14に示す力覚センサで用いられている各容量素子の対向電極のサイズの関係を示す斜視図である。

図16は、図14に示す力覚センサ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容量素子 $C_1 \sim C_8$ の静電容量値の変化を示すテーブルであ

50

る。

図 17 は、図 14 に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める演算式を示す図である。

図 18 は、図 14 に示す力覚センサに用いる検出回路を示す回路図である。

図 19 は、図 12 に示す変形例に係る力覚センサ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容量素子 C 1 ~ C 4 , C 9 , C 10 の静電容量値の変化を示すテーブルである。

図 20 は、図 12 に示す変形例に係る力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める式を示す図である。

図 21 は、導電性材料によって構成された検出リング 200 自身を、複数の変位電極として利用した変形例に係る力覚センサを、X Y 平面で切断した横断面図（上段の図）および V Z 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

10

図 22 は、ストレインゲージを用いた実施形態に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である（図示されているストレインゲージ G 1 ~ G 8 は、実際には、それぞれ互いに平行な複数本のストレインゲージによって構成される）。

図 23 は、図 22 に示す力覚センサ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ストレインゲージ G 1 ~ G 8 の電気抵抗の変化を示すテーブルである。

図 24 は、図 22 に示す力覚センサ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ストレインゲージ G 1 ~ G 8 に加わる応力（単位：M P a）の具体的な測定値を示すテーブルである。

20

図 25 は、図 22 に示す実施形態に、更に、ストレインゲージ G 9 ~ G 12 を付加した変形例に係る力覚センサの上面図である。

図 26 は、図 25 に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸方向の力を検出するための検出回路を示す回路図である。

図 27 は、図 25 に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸まわりのモーメントを検出するための検出回路を示す回路図である。

図 28 は、図 1 に示す基本構造部に、受力基板 600 を付加した形態を示す X Z 平面における縦断面図である。

図 29 は、図 1 に示す基本構造部における検出リング 200 の固定方法を変えた変形例を示す上面図である。

30

図 30 は、図 1 に示す基本構造部に、変位制御構造を付加した例を示す上面図である。

図 31 は、図 30 に示す例を X Z 平面で切断した縦断面図である。

図 32 は、容量素子を用いた実用的な実施例に係る力覚センサの上面図である。

図 33 は、図 32 に示す力覚センサを X Z 平面で切断した縦断面図である。

図 34 は、図 32 に示す力覚センサを V Z 平面で切断した縦断面図である。

図 35 は、ダイアフラム部を形成した実施形態の基本構造部を X Y 平面で切断した横断面図（上段の図）および X Z 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

図 36 は、図 35 に示す基本構造部を V Z 平面で切断した縦断面図である。

図 37 は、図 35 に示す基本構造部に容量素子を付加することにより構成された力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である。

40

図 38 は、図 37 に示す力覚センサに用いられている各容量素子の電極構成を示すテーブルである（それぞれ Z 軸正方向を上方にとり、図 38 の視点 e 1 ~ e 4 から見た状態を示している）。

図 39 は、図 37 に示す力覚センサ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容量素子 C 11 ~ C 45 の静電容量値の変化を示すテーブルである。

図 40 は、図 37 に示す力覚センサに対して、Z 軸正方向の力 + F z が作用したときの変形状態を示す X Z 平面における縦断面図である（説明の便宜上、各部はデフォルメされている）。

50

図 4 1 は、図 3 7 に示す力覚センサに対して、Z 軸正まわりのモーメント + M_z が作用したときの変形状態を示す X Y 平面における横断面図である（説明の便宜上、各部はデフォルメされている）。

図 4 2 は、図 3 7 に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める式を示す図である。

図 4 3 は、図 3 7 に示す力覚センサのダイアフラム部の変形例を示す正面図である。

図 4 4 は、図 3 7 に示す力覚センサの電極群の変形例を示す平面図である（ハッチングは、各電極の形状を明瞭に示すためのものであり、断面を示すものではない）。

図 4 5 は、渦電流変位計 / ホール素子 / 光ビーム距離測定器を用いた変形例に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である。

図 4 6 は、渦電流変位計による距離測定原理を示す斜視図およびブロック図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0005】

<<< § 1 . 力覚センサの基本構造および原理 >>>

はじめに、本発明に係る力覚センサの基本構造部の構成と、この基本構造部を利用した力およびモーメントの検出原理を説明する。本発明に係る力覚センサは、X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する機能を有している。そこで、以下、この力覚センサの基本構造部の構成を、X Y Z 三次元直交座標系に配置された状態について説明する。

図 1 は、本発明の基本的な実施形態に係る力覚センサの基本構造部の上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。上面図では、図の右方向に X 軸、図の上方向に Y 軸が配置されており、紙面に垂直な手前方向が Z 軸方向になる。一方、側面図では、図の右方向に X 軸、図の上方向に Z 軸が配置されており、紙面に垂直な奥行き方向が Y 軸方向になる。図示のとおり、この基本構造部は、受カリング 1 0 0、検出リング 2 0 0、支持基板 3 0 0、接続部材 4 1 0, 4 2 0、固定部材 5 1 0, 5 2 0 によって構成されている。

受カリング 1 0 0 は、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形平板状（ワッシャ状）のリングであり、外周面も内周面も円柱面を構成する。受カリング 1 0 0 の役割は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受けることにあり、より詳しく説明すれば、検出対象となる力もしくはモーメントを検出リング 2 0 0 に伝達することにある。

一方、検出リング 2 0 0 は、受カリング 1 0 0 と同様に、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形平板状（ワッシャ状）のリングであり、外周面も内周面も円柱面を構成する。ここに示す例の場合、検出リング 2 0 0 は、受カリング 1 0 0 の内側に配置されている。すなわち、受カリング 1 0 0 は X Y 平面上に配置された外側リング、検出リング 2 0 0 は X Y 平面上に配置された内側リングということになる。ここで、検出リング 2 0 0 の特徴は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる点である。

接続部材 4 1 0, 4 2 0 は、受カリング 1 0 0 と検出リング 2 0 0 とを接続するための部材である。図示の例の場合、接続部材 4 1 0 は、X 軸正領域に沿った位置において、受カリング 1 0 0 の内周面と検出リング 2 0 0 の外周面とを接続し、接続部材 4 2 0 は、X 軸負領域に沿った位置において、受カリング 1 0 0 の内周面と検出リング 2 0 0 の外周面とを接続している。したがって、受カリング 1 0 0 と検出リング 2 0 0 との間には、図示のとおり空隙部 H 1 が確保されており、検出リング 2 0 0 の内側には、図示のとおり空隙部 H 2 が確保されている。

側面図を見れば明らかのように、受カリング 1 0 0 と検出リング 2 0 0 の厚み（Z 軸方向の寸法）は同じであり、側面図では、検出リング 2 0 0 は受カリング 1 0 0 の内側に完全に隠れた状態になっている。両リングの厚みは、必ずしも同じにする必要はないが、薄型センサ（Z 軸方向の寸法ができるだけ小さいセンサ）を実現する上では、両リングを同じ厚みにするのが好ましい。

10

20

30

40

50

支持基板 300 は、径が受カリング 100 の外径と等しい円盤状の基板であり、XY 平面に平行な上面をもち、受カリング 100 および検出リング 200 の下方に所定間隔をおいて配置される。固定部材 510, 520 は、検出リング 200 を支持基板 300 に固定するための部材である。側面図では、固定部材 510 は固定部材 520 の奥に隠れて現れていないが、固定部材 510, 520 は、検出リング 200 の下面と支持基板 300 の上面とを接続する役割を果たす。上面図に破線で示されているとおり、固定部材 510, 520 は、Y 軸に沿った位置に配置されている。

図 2 は、図 1 に示す基本構造部を XY 平面で切断した横断面図（上段の図）および XZ 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。XY 平面で切断した横断面図の中心には、XYZ 三次元直交座標系の原点 O が示されている。この図 2 では、検出リング 200 が、左右 2 カ所において、X 軸に沿って配置された接続部材 410, 420 を介して受カリング 100 に接続されている状態が明瞭に示されている。

図 3 は、図 1 に示す基本構造部の支持基板 300 および固定部材 510, 520 の上面図（上段の図）、ならびに、この基本構造部を YZ 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。図 3 の上面図は、図 1 の上面図を反時計まわりに 90° 回転させた状態に相当し、Y 軸が左方向にとられている。また、図 3 の上面図では、検出リング 200 の位置が破線で示されている。一方、図 3 の縦断面図には、固定部材 510, 520 によって、支持基板 300 の上方に検出リング 200 が固定されている状態が明瞭に示されている。

続いて、この基本構造部を利用した力およびモーメントの検出原理を説明する。まず、支持基板 300 を固定した状態において、受カリング 100 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場合に、この基本構造部にどのような現象が生じるかを考えてみる。

上述したとおり、ここに示す例の場合、受カリング 100 および検出リング 200 は、双方ともに Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングである。ただ、検出リング 200 は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる必要がある。別言すれば、少なくとも一部は可撓性を有している必要がある。これは、本発明に係る力覚センサが、検出リング 200 に生じた弾性変形に基づいて、作用した力もしくはモーメントの検出を行うためである。

一方、受カリング 100 は、上述したとおり、作用した力もしくはモーメントを検出リング 200 に伝達する役割を果たす構成要素であり、原理的には、弾性変形を生じる弾性体で構成してもよいし、弾性変形を生じない剛体で構成してもよい。ただ、実用上、受カリング 100 は、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成するのが好ましい。これは、作用する力もしくはモーメントを、できるだけ効率的に検出リング 200 に伝達するためである。

本発明において、基本構造部の各部は、任意の材料によって構成することができるが、商業的な利用を考慮すると、金属（たとえば、アルミニウム合金、鉄系金属）やプラスチックなどの一般的な工業材料を用いて構成するのが好ましい。このような一般的な工業材料からなる部材は、通常、その形態によって弾性体になったり剛体になったりする。たとえば、金属の場合、ブロック状の金属塊であれば剛体として振る舞うが、薄い板状にすれば弾性体として振る舞うことになる。したがって、受カリング 100 および検出リング 200 は、同一の材料で構成したとしても、その形態を変えることにより、それぞれに与えられた役割を果たすことができる。

たとえば、受カリング 100 および検出リング 200 を同一のアルミニウム合金で構成したとしても、図 2 の横断面図に示すように、受カリング 100 は、その幅をある程度大きくとることにより、実質的に弾性変形を生じない剛体として機能させることができ、検出リング 200 は、その幅をある程度小さくとることにより、実質的に全体が弾性変形を生じる弾性体として機能させることができる。すなわち、検出リング 200 は、全体的に可撓性をもったリングになる。

もちろん、受カリング 100 に力やモーメントが加わると、厳密に言えば、受カリング 100 自身にも若干の弾性変形が生じることになるが、検出リング 200 に生じる弾性変

10

20

30

40

50

形に比べてわずかな弾性変形であれば無視することができ、実質的に剛体と考えて支障はない。そこで、以下、受リング 100 が剛体であり、力やモーメントによる弾性変形は、専ら検出リング 200 においてのみ生じるものとして説明を行うことにする。

まず、支持基板 300 を固定した状態において、受リング 100 に対して、X 軸方向の力が作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図 4 は、図 1 に示す基本構造部の受リング 100 に X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用したときの変形状態を示す X Y 平面における横断面図（上段の図）および X Z 平面における縦断面図（下段の図）である。支持基板 300 は固定されているため不動であるが、受リング 100 は、X 軸正方向の力 $+F_x$ により図の右方向へと移動する。その結果、検出リング 200 は図示のとおり変形する。なお、図に示す破線は、移動もしくは変形前の各リングの位置を示している。

ここでは、この変形態様を説明する便宜上、2 つの固定点 P_1 、 P_2 と、2 つの作用点 Q_1 、 Q_2 を考える。固定点 P_1 、 P_2 は、Y 軸上に定義される点であり、図 1 に示す固定部材 510、520 の位置に対応するものである。すなわち、検出リング 200 は、この固定点 P_1 、 P_2 の位置において、固定部材 510、520 によって支持基板 300 に固定されている。一方、作用点 Q_1 、 Q_2 は、X 軸上に定義される点であり、検出リング 200 は、この作用点 Q_1 、 Q_2 の位置において、接続部材 410、420 によって受リング 100 に接続されている。

このように、本発明において、作用点は接続部材が接続される位置であり、固定点は固定部材が接続される位置である。そして、重要な点は、作用点と固定点とが異なる位置に配置される点である。図 4 に示す例の場合、作用点 P_1 、 P_2 と固定点 Q_1 、 Q_2 とは X Y 平面上の異なる位置に配置されている。これは、作用点と固定点とが同一位置を占めると、検出リング 200 に弾性変形が生じなくなるためである。なお、ここに示す例の場合、作用点 P_1 、 P_2 と固定点 Q_1 、 Q_2 は、いずれも X Y 平面上に定義されているが、作用点および固定点は必ずしも X Y 平面上に定義する必要はない。作用点および固定点が X Y 平面上あってもなくても、要するに、作用点の X Y 平面への正射影投影像と固定点の X Y 平面への正射影投影像とが異なる位置に形成されていれば、検出リング 200 に本発明に必要な弾性変形を生じさせることができる。

さて、受リング 100 に対して X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、図 4 に示すように、検出リング 200 の作用点 Q_1 、 Q_2 には、図の右方向への力が加わることになる。ところが、検出リング 200 の固定点 P_1 、 P_2 の位置は固定されているため、可撓性をもった検出リング 200 は、基準の円形状態から、図示のような歪んだ状態へと変形することになる（なお、本願における変形状態を示す図は、変形状態を強調して示すため多少デフォルトされた図になっており、必ずしも正確な変形態様を示す図ではない）。具体的には、図示のとおり、点 $P_1 - Q_1$ 間および点 $P_2 - Q_1$ 間では、検出リング 200 の四分円弧の両端に引っ張り力が作用して四分円弧は内側に縮み、点 $P_1 - Q_2$ 間および点 $P_2 - Q_2$ 間では、検出リング 200 の四分円弧の両端に押圧力が作用して四分円弧は外側に膨らんでいる。

受リング 100 に対して X 軸負方向の力 $-F_x$ が作用した場合は、図 4 とは左右逆の現象が起きる。また、受リング 100 に対して Y 軸正方向の力 $+F_y$ および Y 軸負方向の力 $-F_y$ が作用した場合は、図 4 上段における変形状態を 90° 回転させた現象が起きる。

次に、支持基板 300 を固定した状態において、受リング 100 に対して、Z 軸方向の力が作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図 5 は、図 1 に示す基本構造部の受リング 100 に Z 軸正方向の力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示す X Z 平面における縦断面図である。支持基板 300 は固定されているため不動であるが、受リング 100 は、Z 軸正方向の力 $+F_z$ により図の上方向へと移動する。その結果、検出リング 200 は図示のとおり変形する。なお、図に示す破線は、移動もしくは変形前の各リングの位置を示している。

ここでも、変形態様の基本は、2 つの固定点 P_1 、 P_2 の位置（固定部材 510、52

10

20

30

40

50

0で固定された位置)は不動であり、2つの作用点 Q_1 、 Q_2 の位置が上方へ移動する、という点である。検出リング200は、固定点 P_1 、 P_2 の位置から作用点 Q_1 、 Q_2 の位置へ向けて緩やかに変形することになる。また、受力リング100に対してZ軸負方向の力 $-F_z$ が作用した場合は、受力リング100は、図の下方方向へと移動する。その結果、検出リング200の変形態様は、図5とは上下逆になる。

続いて、支持基板300を固定した状態において、受力リング100に対して、Y軸まわりのモーメントが作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図6は、図1に示す基本構造部の受力リング100にY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。なお、本願では、所定の座標軸まわりに作用するモーメントの符号を、当該座標軸の正方向に右ネジを進めるための当該右ネジの回転方向を正にとることにする。たとえば、図6に示すモーメント $+M_y$ の回転方向は、右ネジをY軸正方向に進めるための回転方向になる。

この場合も、支持基板300は固定されているため不動であるが、受力リング100は、Y軸正まわりのモーメント $+M_y$ を受けて、図の原点Oを中心として時計まわりに回転する。その結果、作用点 Q_1 は下方に移動し、作用点 Q_2 は上方に移動する。検出リング200は、固定点 P_1 、 P_2 の位置(固定部材510、520で固定された位置)から作用点 Q_1 、 Q_2 の位置へ向けて緩やかに変形することになる。受力リング100に対してY軸負まわりのモーメント $-M_y$ が作用した場合は、図6とは左右逆の現象が起きる。また、受力リング100に対してX軸正まわりのモーメント $+M_x$ およびX軸負まわりのモーメント $-M_x$ が作用した場合は、上面図において変形状態を90°回転させた現象が起きる。

最後に、支持基板300を固定した状態において、受力リング100に対して、Z軸まわりのモーメントが作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図7は、図1に示す基本構造部の受力リング100にZ軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図である。この場合も、支持基板300は固定されているため不動であるが、受力リング100は、Z軸正まわりのモーメント $+M_z$ を受けて、図の原点Oを中心として反時計まわりに回転する。

その結果、検出リング200の作用点 Q_1 、 Q_2 には、図において反時計回りの力が加わることになる。ところが、検出リング200の固定点 P_1 、 P_2 の位置は固定されているため、可撓性をもった検出リング200は、基準の円形状態から、図示のような歪んだ状態へと変形することになる。具体的には、図示のとおり、点 P_2-Q_1 間および点 P_1-Q_2 間では、検出リング200の四分円弧の両端に引っ張り力が作用して四分円弧は内側に縮み、点 P_1-Q_1 間および点 P_2-Q_2 間では、検出リング200の四分円弧の両端に押圧力が作用して四分円弧は外側に膨らんでおり、全体的に楕円状に変形している。一方、受力リング100に対してZ軸負まわりのモーメント $-M_z$ が作用した場合は、受力リング100は、図の原点Oを中心として時計まわりに回転するため、図7を裏返しにした変形状態が起きる。

以上、図1に示す基本構造部の支持基板300を固定した状態において、受力リング100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場合に、検出リング200に生じる変形態様を説明したが、これらの変形態様は互いに異なり、また、作用した力やモーメントの大きさにより変形量も異なる。そこで、検出リング200の弾性変形を検出し、その態様や大きさに関する情報を収集すれば、各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントをそれぞれ別個独立して検出することができる。これが、本発明に係る力覚センサの基本原理である。

このような基本原理に基づく検出を行うために、本発明に係る力覚センサは、図1に示す基本構造部の他に、検出リング200の弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、この検出素子の検出結果に基づいて、支持基板300を固定した状態において、受力リング100に作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、を備えている。この検出素子および検出回路の具体的な構成例については、§3以降で詳述する。

10

20

30

40

50

後述するように、検出素子および検出回路は、図1に示す基本構造部の内部に組み込むことができるので、本発明に係る力覚センサのサイズは、実質的に、この基本構造部のサイズと同一にすることができる。この基本構造部は、図1の下段に示す側面図を見ればわかるとおり、薄型化に適した構造を有している。すなわち、この基本構造部全体の厚み（Z軸方向のサイズ）は、受カリング100の厚み（検出リング200の厚み）と、固定部材510, 520の厚みと、支持基板300の厚みの和になる。ここで、検出リング200は、後述する検出素子を配置するのに十分な厚みに設定すればよく、固定部材510, 520は、検出リング200の下方への変形を妨げることのない十分な厚みに設定すればよく、支持基板300は、他の構成要素を支持するのに十分な厚みに設定すればよい。

このように本発明に係る力覚センサは、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントをそれぞれ独立して検出する機能を持ち、しかも、従来の力覚センサに比べて、構造が単純で薄型化を図ることが可能になる。

なお、図1に示す基本構造部は、受カリング100を外側に配置し、検出リング200を内側に配置した例であるが、両リングの内側と外側の関係は入れ替えることができ、受カリング100を内側に配置し、検出リング200を外側に配置する構成を採ることも可能である。ただ、変形した状態の検出リング200が外部の物体と接触すると、変形態様に外乱が加わることになり、正しい検出値が得られなくなる可能性がある。したがって、実用上は、ここに示した例のように、受カリング100を外側に配置し、検出リング200を内側に配置する構成を採り、検出リング200が外部の物体と接触するのを防ぐようにするのが好ましい。

<<< §2. 変位の検出 >>>

前述したとおり、本発明に係る力覚センサでは、検出リング200の弾性変形の態様および大きさを検出することにより、作用した力やモーメントの方向および大きさを求めることになる。ここでは、弾性変形の態様および大きさを検出する方法の1つとして、検出リング200の特定箇所（ここでは、測定点と呼ぶ）の変位を検出する方法を説明する。すなわち、ここに示す実施形態では、検出素子として、検出リング200の所定の測定点の変位を電氣的に検出する機能をもった素子を用いることになる。

図8は、図1に示す基本構造部に、変位検出用の固定補助体350を付加した実施形態を示す上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。図示のとおり、この基本構造部では、受カリング100の内側に検出リング200が配置されており、更にその内側に固定補助体350が配置されている。この固定補助体350は、Z軸を中心軸とする円柱状の物体であり、下面が支持基板300の上面に固定されている。固定補助体350の外周面は、空隙部H2を挟んで、検出リング200の内周面に対向している。

図9は、図8に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびVZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。ここで、V軸は、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなす軸である。また、W軸は、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交する軸である。図9の上段に示す横断面図は、V軸正方向を右方向、W軸正方向を上方向にとった図であり、図2の上段に示す基本構造部に固定補助体350を付加し、これを時計まわりに45°回転させた図に対応する。また、図9の下段の縦断面図は、VZ平面で切断した縦断面図であるため、右方向はV軸正方向になっている。

§1で述べたとおり、検出リング200上には、Y軸上に2つの固定点P1, P2が配置され、X軸上に2つの作用点Q1, Q2が配置されている。ここでは、更に、4つの測定点R1~R4を定義する。図示のとおり、第1の測定点R1はV軸正領域に、第2の測定点R2はW軸正領域に、第3の測定点R3はV軸負領域に、第4の測定点R4はW軸負領域に、それぞれ配置されている。結局、図9の上段の横断面図において、検出リング200の外周輪郭円と内周輪郭円との中間に位置する中間円を定義した場合、各点Q1, R1, P1, R2, Q2, R3, P2, R4は、この順番どおりに、当該中間円上に等間隔

10

20

30

40

50

に配置されていることになる。4つの測定点R1～R4をこのような位置に定義するのは、検出リング200の弾性変形に起因して生じる変位が最も顕著になるためである。

この4つの測定点R1～R4の半径方向の変位を検出するには、図9の上段の横断面図に矢印で示す距離d1, d2, d3, d4を測定すればよい。これらの距離d1, d2, d3, d4は、検出リング200の内周面の、各測定点R1, R2, R3, R4近傍に位置する測定対象面と、固定補助体350の外周に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離であり、当該距離が大きくなれば、測定点近傍部分が半径方向に膨らんでいることを示し、当該距離が小さくなれば、測定点近傍部分が半径方向に縮んでいることを示すことになる。したがって、これらの距離を電氣的に検出する検出素子を用意しておけば、各測定点近傍部分の半径方向に関する変形量を測定することができる。

あるいは、図9の上段の横断面図に矢印で示す距離d1, d2, d3, d4を測定する方法を採ることもできる。これらの距離d1, d2, d3, d4は、検出リング200の外周面の、各測定点R1, R2, R3, R4近傍に位置する測定対象面と、受圧リング100の内周に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離である。但し、受圧リング100自身も変位するため、これらの距離の測定値は受圧リング100の変位と検出リング200の変位との差分を示すことになる。したがって、各測定点の変位を求めるには、何らかの補正処理が必要になり、実用上は、距離d1, d2, d3, d4を測定するのが好ましい。

なお、距離d1, d2, d3, d4を測定する場合は、固定補助体350を設ける必要はない。受圧リング100と検出リング200との間の距離を測定する場合は、検出素子が、検出リング200の各測定点R1, R2, R3, R4近傍に位置する測定対象面と、受圧リング100の測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出すればよいので、固定補助体350を設ける必要はなく、また、受圧リング100を内側、検出リング200を外側に配置した場合も適用可能になる。

一方、4つの測定点R1～R4の上下方向(Z軸方向)の変位を検出するには、図9の下段の縦断面図に矢印で示す距離d5, d7および図示されていない距離d6, d8(距離d6は、固定補助体350の奥に位置する測定点R2の直下の距離、距離d8は、固定補助体350の手前に位置する測定点R4の直下の距離)を測定すればよい。これらの距離d5, d6, d7, d8は、検出リング200の下面の、各測定点R1, R2, R3, R4近傍に位置する測定対象面と、支持基板300の上面に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離であり、当該距離が大きくなれば、測定点近傍部分が上方向に変位していることを示し、当該距離が小さくなれば、測定点近傍部分が下方向に変位していることを示すことになる。したがって、これらの距離を電氣的に検出する検出素子を用意しておけば、各測定点近傍部分の上下方向に関する変形量を測定することができる。

このように、4つの測定点R1～R4の半径方向の変位と上下方向の変位とを測定することができれば、検出リング200の全体的な変形態様および変形量を把握することができ、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントの6軸成分を検出することが可能になる。図10は、この6軸成分を検出するために必要な距離測定箇所を示す上面図である。すなわち、この例では、前述したとおり、第1の測定点R1について、距離d1(半径方向の変位)と距離d5(上下方向の変位)とが測定され、第2の測定点R2について、距離d2(半径方向の変位)と距離d6(上下方向の変位)とが測定され、第3の測定点R3について、距離d3(半径方向の変位)と距離d7(上下方向の変位)とが測定され、第4の測定点R4について、距離d4(半径方向の変位)と距離d8(上下方向の変位)とが測定されることになる。

図11は、図10に示す基本構造部において、支持基板300を固定した状態で受圧リング100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距離d1～d8の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は距離が大きくなることを示し、「-」は距離が小さくなることを示し、「0」は距離が変動しないことを示している。このような結果が得られることは、§1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を考えれば、容易に理解できよう。

10

20

30

40

50

たとえば、受カリング100に対してX軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、検出リング200は、図4に示すように、点P1-Q1間および点P2-Q1間の四分円弧は内側に縮み、点P1-Q2間および点P2-Q2間の四分円弧は外側に膨らむように変形する。したがって、距離 d_1 、 d_4 は小さくなり、距離 d_2 、 d_3 は大きくなる。このとき、検出リング200に上下方向の変形は生じないので、距離 $d_5 \sim d_8$ は変動しない。図11のテーブルの $+F_x$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y軸正方向の力 $+F_y$ が作用した場合は、図11のテーブルの $+F_y$ の行に示す結果が得られる。

また、受カリング100に対してZ軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、検出リング200は、図5に示すように変形するので、距離 $d_5 \sim d_8$ は大きくなる。このとき、検出リング200に半径方向の変形は生じないので、距離 $d_1 \sim d_4$ は変動しない。図11の

10

テーブルの $+F_z$ の行は、このような結果を示している。そして、受カリング100に対してY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用すると、検出リング200は、図6に示すように変形し、図の右半分は下方へ変位し、図の左半分は上方へ変位するので、距離 d_5 、 d_8 は小さくなり、距離 d_6 、 d_7 は大きくなる。このとき、検出リング200に半径方向の変形は生じないので、距離 $d_1 \sim d_4$ は変動しない。図11のテーブルの $+M_y$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、X軸正まわりのモーメント $+M_x$ が作用した場合は、図11のテーブルの $+M_x$ の行に示す結果が得られる。

最後に、受カリング100に対してZ軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用した場合、検出リング200は、図7に示すように変形し、点P1-Q1間および点P2-Q2間の四分円弧は外側に膨らみ、点P1-Q2間および点P2-Q1間の四分円弧は内側に縮むように変形する。したがって、距離 d_1 、 d_3 は大きくなり、距離 d_2 、 d_4 は小さくなる。このとき、検出リング200に上下方向の変形は生じないので、距離 $d_5 \sim d_8$ は変動しない。図11のテーブルの $+M_z$ の行は、このような結果を示している。

20

なお、図11のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、距離 $d_1 \sim d_8$ の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、距離の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら距離 $d_1 \sim d_8$ の測定値に基づく所定の演算を施せば、6軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。具体的な演算式については、§3の実施形態で詳述する。

30

なお、6軸成分の検出値のすべてを得る必要がない場合には、必ずしも8通りの距離測定を行う必要はない。たとえば、図12は、図8に示す基本構造部における距離測定箇所の変形例を示す上面図である。図10に示す例では8通りの距離 $d_1 \sim d_8$ の測定を行っていたが、図12に示す例では6通りの距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の測定を行えば足りる。

ここで、距離 $d_1 \sim d_4$ は、前述の例と同様である。すなわち、距離 d_1 は、第1の測定点R1についての半径方向の変位を示し、距離 d_2 は、第2の測定点R2についての半径方向の変位を示し、距離 d_3 は、第3の測定点R3についての半径方向の変位を示し、距離 d_4 は、第4の測定点R4についての半径方向の変位を示している。一方、これら4つの測定点R1~R4についての上下方向の変位測定は行われぬ。別言すれば、前述の例における距離 $d_5 \sim d_8$ の測定は行われぬ。その代わりに、第1の作用点Q1を第5の測定点として、その上下方向の変位測定を行い、第2の作用点Q2を第6の測定点として、その上下方向の変位測定を行うことになる。

40

すなわち、図12に示す距離 d_9 は、検出リング200の下面の、第1の作用点Q1(第5の測定点)近傍に位置する測定対象面と、支持基板300の上面に位置し、かつ、測定対象面に対向する位置にある対向基準面との距離であり、図12に示す距離 d_{10} は、検出リング200の下面の、第2の作用点Q2(第6の測定点)近傍に位置する測定対象面と、支持基板300の上面に位置し、かつ、測定対象面に対向する位置にある対向基準面との距離である。

50

図13は、図12に示す基本構造部において、支持基板300を固定した状態で受カリング100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距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の変化を示すテーブルである。ここでも、「+」は距離が大きくなることを示し、「-」は距離が小さくなることを示し、「0」は距離が変動しないことを示している。距離 $d_1 \sim d_4$ について、このような結果が得られることは、既に述べたとおりである。

一方、距離 d_9 、 d_{10} について、このような結果が得られることは、§1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を考えれば、容易に理解できよう。すなわち、X軸正方向の力 $+F_x$ やY軸正方向の力 $+F_y$ が作用しても、作用点 Q_1 、 Q_2 は上下方向に変動することはないので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+F_x$ および $+F_y$ の行は「0」になる。しかしながら、Z軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、作用点 Q_1 、 Q_2 は上方に変位するので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+F_z$ の行は「+」になる。

また、X軸正まわりのモーメント $+M_x$ が作用した場合は、X軸上に位置する作用点 Q_1 、 Q_2 は回転軸上の点になるため上下方向に変動することはない。よって、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+M_x$ の行は「0」になる。しかしながら、Y軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用すると、作用点 Q_1 は下方に変位し、作用点 Q_2 は上方に変位するので、 $+M_y$ の行は、距離 d_9 は「-」、距離 d_{10} は「+」になる。最後に、Z軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用した場合は、作用点 Q_1 、 Q_2 は上下方向に変動することはないので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+M_z$ の行は「0」になる。負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、図13に示すテーブルにおける「+」と「-」が逆転した結果が得られる。

結局、距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、距離の変動量も大きくなる。但し、図13のテーブルの $+M_x$ の行を見ると、すべての距離について「0」という結果となっている。これは、距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} を測定しても、X軸まわりのモーメント M_x に関する情報は得られないことを示している。ただ、それ以外の5軸成分についての情報は得られている。そこで、検出回路により、これら距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の測定値に基づく所定の演算を施せば、モーメント M_x を除く5軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。具体的な演算式については、§3の実施形態で詳述する。

このように、本発明に係る力覚センサでは、 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z という6軸成分を独立して検出することが可能であるが、この6軸成分の検出値のすべてを得る必要がない場合には、検出素子を適宜省略して、コストダウンを図ることが可能である。

また、図9では、2つの作用点 Q_1 、 Q_2 と、2つの固定点 P_1 、 P_2 とを配置した例を示したが、本発明に係る力覚センサにおける作用点の数および固定点の数は、必ずしも2個に限定されるものではない。すなわち、ここで述べる基本的な実施形態の場合、検出リング200の輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とが交互に配置されており、検出素子が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出することができればよい。

したがって、たとえば、 $n=3$ に設定し、3つの作用点と、3つの固定点とを交互に配置してもかまわない。この場合、検出リング200は、3箇所の作用点の位置において、接続部材を介して受カリング100に接続されることになり、3箇所の固定点の位置において、固定部材を介して支持基板300に固定されることになる。

ただ、実用上は、図9に示す例のように、検出リング200の輪郭に沿った環状路に、第1の作用点 Q_1 、第1の固定点 P_1 、第2の作用点 Q_2 、第2の固定点 P_2 の順に、2個の作用点および2個の固定点を配置するようにし、この環状路における第1の作用点 Q_1 と第1の固定点 P_1 との間に第1の測定点 R_1 を定義し、第1の固定点 P_1 と第2の作用点 Q_2 との間に第2の測定点 R_2 を定義し、第2の作用点 Q_2 と第2の固定点 P_2 との間に第3の測定点 R_3 を定義し、第2の固定点 P_2 と第1の作用点 Q_1 との間に第4の測

10

20

30

40

50

定点 R 4 を定義するようにし、検出素子によって、これら第 1 ~ 第 4 の測定点 R 1 ~ R 4 の近傍における検出リング 2 0 0 の弾性変形を電氣的に検出するのが効率的である。

特に、図 9 に示す例は、基本構造部の構造が、X Z 平面に関して面対称となり、かつ、Y Z 平面に関して面対称となっているため、図 1 1 や図 1 3 に示すテーブルに「+」もしくは「-」で示されている変位量に対称性が生じ、比較的単純な検出回路により各軸方向の力および各軸まわりのモーメントの検出値を得ることができる。

したがって、実用上は、図 9 に示す例のように、第 1 の作用点 Q 1 が X 軸正領域に、第 1 の固定点 P 1 が Y 軸正領域に、第 2 の作用点 Q 2 が X 軸負領域に、第 2 の固定点 P 2 が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材 4 1 0 により、検出リング 2 0 0 の第 1 の作用点 Q 1 近傍が受力量リング 1 0 0 に接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材 4 2 0 により、検出リング 2 0 0 の第 2 の作用点 Q 2 近傍が受力量リング 1 0 0 に接続されており、検出素子が、X Y 平面の第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限にそれぞれ配置された第 1 の測定点 R 1、第 2 の測定点 R 2、第 3 の測定点 R 3、第 4 の測定点 R 4 の近傍における検出リング 2 0 0 の弾性変形を電氣的に検出するのが好ましい。

各測定点 R 1 ~ R 4 は、必ずしも V 軸上もしくは W 軸上に定義する必要はないが、前述したとおり、検出リング 2 0 0 の弾性変形に起因して生じる変位は、V 軸上もしくは W 軸上が最も顕著になるので、検出感度を高める上では、図 9 に示す例のように、第 1 の測定点 R 1 は V 軸正領域に、第 2 の測定点 R 2 は W 軸正領域に、第 3 の測定点 R 3 は V 軸負領域に、第 4 の測定点 R 4 は W 軸負領域に、それぞれ定義するのが好ましい。

<<< § 3 . 容量素子を用いた実施形態 >>>

ここでは、検出素子として、静電容量素子を用いた実施形態を説明する。既に述べたとおり、静電容量素子式の多軸力覚センサは、機械的構造部に作用した力の特定の方向成分を、特定の部分に生じた変位として検出するものである。すなわち、一对の電極により容量素子を構成しておき、作用した力によって一方の電極に生じた変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出する原理を採る。

そこで、ここでは、図 1 0 に示す基本構造部において、8 通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を容量素子を用いて検出する実施形態を述べる。図 1 4 は、当該実施形態に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図（上段の図）および V Z 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。この図 1 4 に示す力覚センサは、図 9 に示す基本構造部に、1 6 枚の電極 E 1 1 ~ E 1 8 , E 2 1 ~ E 2 8 と、所定の検出回路とを追加することによって構成される。1 6 枚の電極により構成される 8 組の容量素子は、前述した 8 通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を測定する検出素子として機能する。

図 1 4 上段の横断面図に示されているとおり、検出リング 2 0 0 の内周面の、4 つの測定点 R 1 ~ R 4 の近傍部分（測定対象面）には、それぞれ変位電極 E 2 1 ~ E 2 4 が設けられている。また、検出リング 2 0 0 の下面の、4 つの測定点 R 1 ~ R 4 の近傍部分（測定対象面）には、それぞれ変位電極 E 2 5 ~ E 2 8（図では、破線で示されている）が設けられている。これら 8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 は、文字通り、検出リング 2 0 0 の変形によって変位を生じる電極である。

一方、これら 8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 に対向する位置（対向基準面）に、8 枚の固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 が設けられている。これら 8 枚の固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 は、文字通り、支持基板 3 0 0 に直接もしくは間接的に固定された電極であり、検出リング 2 0 0 の変形にかかわらず、常に定位置を維持する。具体的には、円柱状の固定補助体 3 5 0 の外周面には、変位電極 E 2 1 ~ E 2 4 に対向する位置に固定電極 E 1 1 ~ E 1 4 が設けられており、これらの電極は固定補助体 3 5 0 を介して支持基板 3 0 0 上に間接的に固定されている。また、支持基板 3 0 0 の上面には、変位電極 E 2 5 ~ E 2 8 に対向する位置に固定電極 E 1 5 ~ E 1 8 が直接固定されている（図 1 4 下段の縦断面図には、変位電極 E 1 5 , E 1 7 のみが現れているが、変位電極 E 1 6 は、固定補助体 3 5 0 の奥に位置し、変位電極 E 1 8 は、固定補助体 3 5 0 の手前に位置する）。

結局、この実施形態の場合、検出リング 2 0 0 の内周面および下面の、各測定点 R 1 ~

R 4 近傍に位置する測定対象面に設けられた 8 組の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 と、固定補助体 3 5 0 の外周面および支持基板 3 0 0 の上面の、各測定対象面に対向する位置に定義された対向基準面に設けられた 8 組の固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 と、によって、8 組の容量素子が構成されることになる。これら 8 組の容量素子は、本発明における検出素子として機能し、検出リング 2 0 0 の弾性変形を電氣的に検出する役割を果たす。

ここでは、説明の便宜上、固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 と、これに対向する変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 と、によって構成される容量素子を、それぞれ容量素子 C 1 ~ C 8 と呼ぶことにし、その静電容量値を、同じ符号を用いて C 1 ~ C 8 で表すことにする。一般に、容量素子の静電容量値は、当該容量素子を構成する一对の対向電極の距離が大きくなると小さくなり、距離が小さくなると大きくなる。したがって、各容量素子 C 1 ~ C 8 の静電容量値を電氣的に測定すれば、図 1 0 に示す距離 d 1 ~ d 8 を求めることができ、図 1 1 に示すテーブルに基づいて、作用した力もしくはモーメントを検出することができる。

ただ、容量素子の静電容量値は、一对の対向電極の有効対向面積によっても変化し、有効対向面積が大きくなれば静電容量値も大きくなり、有効対向面積が小さくなれば静電容量値も小さくなる。したがって、上述の原理で距離 d 1 ~ d 8 を正確に測定するためには、検出リング 2 0 0 に変位が生じたとしても、各容量素子の有効対向面積に変化が生じないようにする必要がある。そこで、各容量素子 C 1 ~ C 8 を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、他方の電極の内部に包含されるようにする。

図 1 5 は、図 1 4 に示す力覚センサで用いられている各容量素子 C 1 ~ C 8 の対向電極のサイズの関係を示す斜視図である。図には、電極 E a と電極 E b とが対向して配置された状態が示されている。この例では、両電極 E a , E b は、いずれも矩形の板状電極であるが、電極 E a の縦および横のサイズは、電極 E b の縦および横のサイズよりも大きくなっている。しかも、両電極 E a , E b は、それぞれの中心点が向かい合う位置に配置されているので、電極 E b を電極 E a の形成面に投影した投影像 A (正射影投影像) は、電極 E a の内部に包含されている。要するに、電極 E a は、電極 E b よりも、ひとまわり大きなサイズになっている。

図 1 4 に示す力覚センサで用いられている各容量素子 C 1 ~ C 8 を構成する一对の対向電極の関係が、図 1 5 に示すような関係になっていれば、検出リング 2 0 0 に変位が生じたとしても、当該変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は変化しない。すなわち、図 1 5 に示す例の場合、破線で示す投影像 A の内部の面積が、この容量素子の有効対向面積ということになるが、両電極 E a , E b が電極面に平行な方向に変位しても、投影像 A が電極 E a 内に包含されている限り、有効対向面積は一定である。

図 1 4 に示す力覚センサの場合、各容量素子 C 1 ~ C 8 を構成する一对の対向電極について、各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 よりも各変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 のサイズをひとまわり大きく設定しているが、逆に、各変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 よりも各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 のサイズをひとまわり大きく設定してもかまわない。また、一对の対向電極の位置関係は、検出対象となる力やモーメントが何ら作用していない基準状態において、一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像(たとえば、両電極の中心点を結ぶ線に平行な方向に投影した投影像)が、他方の電極の内部に包含される関係になっている。

両電極のサイズの差は、検出リング 2 0 0 の変位の許容範囲(有効対向面積が一定に維持される範囲)を決定するパラメータになる。したがって、検出値のダイナミックレンジを広く設定するには、両電極のサイズの差も大きくとり、図 1 5 における投影像 A の外側の余白領域を広く設定する必要がある。検出リング 2 0 0 の変位が許容範囲内であれば、各容量素子 C 1 ~ C 8 の有効対向面積は一定に維持されるので、静電容量値 C 1 ~ C 8 の変動は、専ら、距離 d 1 ~ d 8 の変動を示すものになる。

図 1 6 は、このような前提において、図 1 4 に示す力覚センサ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容量素子 C 1 ~ C 8 の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は静電容量値が増加することを示し、「-」は静電容量値が減少することを示し、「0」は静電容量値が変動しないことを示している。なお、テーブルの「C 1 ~ C 8」欄に付記された括弧書きは、各容量素子を構

10

20

30

40

50

成する一对の対向電極を示している。たとえば、C1欄の(E11 & E21)は、容量素子C1が一对の対向電極E11, E21で構成されることを示している。

この図16に示すテーブルは、図11に示すテーブルの各欄の「+」と「-」とを入れ替えることによって得られる。図11に示すテーブルは距離d1~d8の増減を示すものであるのに対し、図16に示すテーブルは静電容量値C1~C8の増減を示すものである。容量素子を構成する一对の対向電極の電極間距離が増加すると静電容量値は減少し、電極間距離が減少すると静電容量値は増加するので、図11に示すテーブルから、図16に示すテーブルが得られることは、容易に理解できよう。

図16のテーブルに示すとおり、静電容量値C1~C8の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、静電容量値の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量値C1~C8の測定値に基づく所定の演算を施せば、6軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

図17は、図14に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力Fx, Fy, Fzおよび各座標軸まわりのモーメントMx, My, Mzを求める具体的な演算式を示す図である。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図16に示すテーブルを参照すれば理解できる。たとえば、図16のテーブルの+Fxの行を参照すれば、「+」が記されたC1, C4の和と、「-」が記されたC2, C3の和と、の差により、+Fxの検出値が得られることがわかる。他の検出値についても同様である。

また、負方向の力-Fx, -Fy, -Fzおよび負まわりのモーメント-Mx, -My, -Mzが作用した場合は、図16のテーブルにおける「+」と「-」とが逆転するので、図17に示す演算式をそのまま利用すれば、各検出値を負の値として得ることができる。この図17に示す6軸成分の演算式は、他軸成分の干渉を受けないので、6軸成分についての各検出値を独立して得ることができる。たとえば、+Fyが作用した場合、C1, C2は減少し、C3, C4は増加するが、Fxについての演算式では、これらの減少および増加成分は互いにキャンセルされるので、Fxについての検出値にFyの成分が含まれることはない。

図17に示すとおり、力Fz以外の演算式は、2組の容量値の和についての差分を求める形式になっている。このような差分検出は、温度環境の変化により基本構造部が膨張もしくは収縮し、対向電極間距離が変動する誤差が生じたとしても、生じた誤差を相互にキャンセルすることができるので、外乱成分を含まない正確な検出結果を得る上で好ましい。なお、Fzについても差分検出を行いたい場合は、検出リング200の上面に変位電極を追加し、その上方において支持基板300に固定された補助基板を設け、この補助基板の下面に固定電極を設け、検出リング200の上面と補助基板との距離を測定するための容量素子を追加し、これらの容量素子の容量値と容量素子C5~C8の容量値との間で差分をとるようにすればよい。

図18は、図14に示す力覚センサに用いる検出回路を示す回路図である。この検出回路は、図17に示す演算式に基づいて、力Fx, Fy, FzおよびモーメントMx, My, Mzの検出値を電圧値として出力する回路である。まず、8組の容量素子C1~C8の静電容量値C1~C8は、C/V変換器11~18によって、それぞれ電圧値V1~V8に変換される。続いて、演算器21~30によって、それぞれ2組の電圧値の和が求められ、更に、演算器31~35によって差分がとられ、それぞれFx, Fy, Mz, My, Mxの検出値として出力される。また、演算器36によって、4組の電圧値の和がとられ、符号を反転した値がFzの検出値として出力される。

もちろん、この図18に示す検出回路は一例を示すものであり、原理的に図17の演算式に基づく検出結果が出力できれば、どのような回路を用いてもかまわない。たとえば、一对の容量素子を並列接続すれば、接続後の容量素子対の静電容量値は、個々の容量素子の静電容量値の和になるので、図18に示す回路図において、たとえば、容量素子C1とC4とを並列接続すれば、接続後の容量素子対の静電容量値は「C1+C4」になるので、演算器21を省略することができる。同様の方法により、演算器22~30, 36を省

10

20

30

40

50

略することも可能である。

また、図18は、アナログ演算器を用いた検出回路を示すものであるが、図17に示す演算は、もちろん、デジタル演算によって行うことも可能である。たとえば、C/V変換器11~18の後段にA/D変換器を接続すれば、静電容量値C1~C8をそれぞれデジタル値として取り込むことができるので、マイクロコンピュータなどのデジタル回路により、図17に示す演算を行い、各検出値をデジタル値として出力することができる。

ここで、図14に示す容量素子を用いた力覚センサの特徴をまとめておくと、次のように言うことができる。まず、基本構造部は、受カリング100および検出リング200の双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、受カリング100が外側、検出リング200が内側となるように両リングが配置されており、検出リング200の更に内側に、下面が支持基板300の上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体350が設けられている、という特徴を有している。

10

そして、検出素子として、次のような8組の容量素子が設けられている。

(1) 検出リング200の内周面の第1の測定点R1近傍位置に配置された第1の変位電極E21と、固定補助体350の外周面の第1の変位電極E21に対向する位置に配置された第1の固定電極E11とによって構成される第1の容量素子C1。

(2) 検出リング200の内周面の第2の測定点R2近傍位置に配置された第2の変位電極E22と、固定補助体350の外周面の第2の変位電極E22に対向する位置に配置された第2の固定電極E12とによって構成される第2の容量素子C2。

(3) 検出リング200の内周面の第3の測定点R3近傍位置に配置された第3の変位電極E23と、固定補助体350の外周面の第3の変位電極E23に対向する位置に配置された第3の固定電極E13とによって構成される第3の容量素子C3。

20

(4) 検出リング200の内周面の第4の測定点R4近傍位置に配置された第4の変位電極E24と、固定補助体350の外周面の第4の変位電極E24に対向する位置に配置された第4の固定電極E14とによって構成される第4の容量素子C4。

(5) 検出リング200の下面の第1の測定点R1近傍位置に配置された第5の変位電極E25と、支持基板300の上面の第5の変位電極E25に対向する位置に配置された第5の固定電極E15とによって構成される第5の容量素子C5。

(6) 検出リング200の下面の第2の測定点R2近傍位置に配置された第6の変位電極E26と、支持基板300の上面の第6の変位電極E26に対向する位置に配置された第6の固定電極E16とによって構成される第6の容量素子C6。

30

(7) 検出リング200の下面の第3の測定点R3近傍位置に配置された第7の変位電極E27と、支持基板300の上面の第7の変位電極E27に対向する位置に配置された第7の固定電極E17とによって構成される第7の容量素子C7。

(8) 検出リング200の下面の第4の測定点R4近傍位置に配置された第8の変位電極E28と、支持基板300の上面の第8の変位電極E28に対向する位置に配置された第8の固定電極E18とによって構成される第8の容量素子C8。

ここで、各容量素子C1~C8を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、他方の電極の内部に包含されるようになっており、検出リング200の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は一定に維持される。

40

一方、この力覚センサの検出回路は、各容量素子C1~C8の静電容量値を、同じ符号を用いてC1~C8と表したときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X軸方向の力F_x、Y軸方向の力F_y、Z軸方向の力F_z、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の

50

検出値を出力する機能を有している。

以上、図14に示す力覚センサの検出原理およびこのセンサに用いる検出回路を説明した。この図14に示す力覚センサは、図10に示す8通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を容量素子を用いて測定するものである。そこで、次に、図12に示す6通りの距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} を容量素子を用いて測定するタイプの力覚センサについて簡単に説明しておく。この場合、距離 $d_1 \sim d_4$ を測定するために容量素子 $C_1 \sim C_4$ （固定電極 $E_{11} \sim E_{14}$ と変位電極 $E_{21} \sim E_{24}$ ）を設ける点は、図14に示す力覚センサと同様である。ただ、距離 $d_5 \sim d_8$ の測定は行わないため、図14に示す力覚センサで用いられていた容量素子 $C_5 \sim C_8$ （固定電極 $E_{15} \sim E_{18}$ と変位電極 $E_{25} \sim E_{28}$ ）は不要になる。

その代わり、図12に示す距離 d_9 、 d_{10} を測定するために、容量素子 C_9 、 C_{10} を設けるようにする。ここで、容量素子 C_9 は、検出リング200の下面の作用点 Q_1 （第5の測定点として機能する）の近傍位置に配置された変位電極 E_{29} と、支持基板300の上面の変位電極 E_{29} に対向する位置に配置された固定電極 E_{19} とによって構成される容量素子であり、容量素子 C_{10} は、検出リング200の下面の作用点 Q_2 （第6の測定点として機能する）の近傍位置に配置された変位電極 E_{30} と、支持基板300の上面の変位電極 E_{30} に対向する位置に配置された固定電極 E_{20} とによって構成される容量素子である。ここでも、容量素子 C_9 、 C_{10} を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、他方の電極の内部に包含される関係が維持され、有効対向面積が一定に維持される工夫を施すようにする。

図19は、このような力覚センサ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容量素子 $C_1 \sim C_4$ 、 C_9 、 C_{10} の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルにおいても、「+」は静電容量値が増加することを示し、「-」は静電容量値が減少することを示し、「0」は静電容量値が変動しないことを示しており、テーブルの「 $C_1 \sim C_4$ 、 C_9 、 C_{10} 」欄に付記された括弧書きは、各容量素子を構成する一对の対向電極を示している。前述したとおり、距離と静電容量値とは増減関係が逆転するので、この図19に示すテーブルは、図13に示すテーブルの各欄の「+」と「-」とを入れ替えることによって得られる。

図19のテーブルに示すとおり、静電容量値 $C_1 \sim C_4$ 、 C_9 、 C_{10} の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、静電容量値の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量値 $C_1 \sim C_4$ 、 C_9 、 C_{10} の測定値に基づく所定の演算を施せば、各軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。ただ、§2でも述べたとおり、モーメント M_x に関しては、すべての容量値について「0」（変動なし）という結果となっているため、この力覚センサでは検出できない。

図20は、この力覚センサに対して作用する力 F_x 、 F_y 、 F_z およびモーメント M_y 、 M_z を求める具体的な演算式を示す図である。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図19に示すテーブルを参照すれば容易に理解できよう。この演算式に基づいて5軸成分の検出値を出力するには、図18に準じた検出回路を用意すればよい。もちろん、一对の容量素子を並列接続すれば、演算器の一部を省略することができるし、A/D変換器により静電容量値 $C_1 \sim C_4$ 、 C_9 、 C_{10} をそれぞれデジタル値として取り込めば、デジタル演算の結果として、各検出値をデジタル値として出力することもできる。

結局、この力覚センサは、図14に示す力覚センサにおける容量素子 $C_5 \sim C_8$ を省略し、その代わりに、第1の作用点 Q_1 を第5の測定点とし、第2の作用点 Q_2 を第6の測定点として、第5の容量素子 C_9 と第6の容量素子 C_{10} とを設けた構造を有していることになる。ここで、第5の容量素子 C_9 は、検出リング200の下面の第5の測定点 Q_1 近傍位置に配置された第5の変位電極 E_{29} と、支持基板300の上面の第5の変位電極 E_{29} に対向する位置に配置された第5の固定電極 E_{19} とによって構成され、第6の容量素子 C_{10} は、検出リング200の下面の第6の測定点 Q_2 近傍位置に配置された第6の変位電極 E_{30} と、支持基板300の上面の第6の変位電極 E_{30} に対向する位置に配

10

20

30

40

50

置された第 6 の固定電極 E 2 0 によって構成される。

また、各容量素子 C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、他方の電極の内部に包含されるようになっており、検出リング 2 0 0 の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は一定に維持される。

そして、この力覚センサの検出回路は、各容量素子 C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 の静電容量値を、同じ符号を用いて C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 と表したときに、

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

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

$$F_z = - (C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力する機能を有している。

最後に、容量素子を用いた力覚センサに適用できる実用的な工夫を述べておく。図 2 1 は、図 1 4 に示す力覚センサに、この実用的な工夫を施した変形例に係る力覚センサを、XY 平面で切断した横断面図（上段の図）および VZ 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。この変形例の特徴は、検出リング 2 0 0 を可撓性をもった導電性材料（たとえば、アルミニウム合金などの金属）によって構成し、検出リング 2 0 0 の表面を共通変位電極 E 0 として容量素子 C 1 ~ C 8 を構成したものである。検出リング 2 0 0 の少なくとも表面部分が導電性材料によって構成されていれば、この表面全体が 1 枚の共通変位電極 E 0 として機能するので、図 1 4 に示す力覚センサにおける 8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 を兼用する電極として利用することができる。

図 2 1 を見れば明らかなように、検出リング 2 0 0 の表面には、別体の変位電極は形成されていないが、たとえば、検出リング 2 0 0 の外周面のうち、固定電極 E 1 1 に対向する一部分の領域が、図 1 4 に示す変位電極 E 2 1 として機能することになり、容量素子 C 1 が形成されることになる。同様に、検出リング 2 0 0 の下面のうち、固定電極 E 1 5 に対向する一部分の領域が、図 1 4 に示す変位電極 E 2 5 として機能することになり、容量素子 C 5 が形成されることになる。

もちろん、8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 の代わりに、1 枚の共通変位電極 E 0（検出リング 2 0 0 の表面）を用いるようにすると、図 1 8 に示す回路図に示されている変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 が相互に短絡されることになるが、検出回路の動作には何ら支障はない。すなわち、C/V 変換器 1 1 ~ 1 8 は、いずれも変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 を接地した状態において、この接地ノードと各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 との間の静電容量値 C 1 ~ C 8 を電圧値 $V_1 \sim V_8$ に別個独立して変換することができるので、接地される変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 が共通変位電極 E 0 に置き換わっても問題は生じない。

結局、図 2 1 に示す変形例において実質的に必要な電極は、固定補助体 3 5 0 の外周面に設けられた 4 枚の固定電極 E 1 1 ~ E 1 4 と、支持基板 3 0 0 の上面に設けられた 4 枚の固定基板 E 1 5 ~ E 1 8 ということになり、センサ全体の構造は極めて単純になる。また、共通変位電極 E 0 は、検出リング 2 0 0 の表面全体であるため、図 1 5 に示す電極 E a の役割を果たすことになり、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が他方の電極の内部に包含される、という条件も満たされる。なお、各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 は、互いに電氣的に絶縁されている必要があるので、固定補助体 3 5 0 の少なくとも表面の一部（固定電極 E 1 1 ~ E 1 4 の形成部）および支持基板 3 0 0 の少なくとも上面の一部（固定電極 E 1 5 ~ E 1 8 の形成部）は絶縁材料によって構成する必要があるが、その他の構成要素は金属などの導電性材料で構成することができる。

<<< § 4 . ストレインゲージを用いた実施形態 >>>

本発明に係る力覚センサの共通した特徴は、検出リング 2 0 0 の弾性変形の態様および大きさを検出することにより、作用した力やモーメントの方向および大きさを求めること

10

20

30

40

50

にある。§ 2では、弾性変形の態様および大きさを検出する方法の1つとして、測定点の変位を検出する方法を説明し、§ 3では、変位検出の具体的な方法として、容量素子を用いた実施形態を説明した。ここでは、弾性変形の態様および大きさを検出する別な方法として、検出素子により、検出リング200の所定の測定点R1～R4の近傍位置の機械的な歪みを電氣的に検出する方法を説明する。特に、歪みを検出する検出素子としてストレインゲージを用いた具体的な実施形態について述べる。

図22は、ストレインゲージを用いた実施形態に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図である。この力覚センサの基本構造部は、図1に示す基本構造部と全く同じものであり、図14に示す容量素子を用いた実施形態の基本構造部と全く同じものである。ただ、検出素子として、容量素子の代わりにストレインゲージを用いることにより、測定点の変位の代わりに機械的な歪みを検出する点が異なっている。図22に示す4つの測定点R1～R4は、図14に示す4つの測定点R1～R4と全く同じものであり、V軸もしくはW軸上に配置された点である。

この力覚センサでは、4つの測定点R1～R4の近傍の歪みを電氣的に測定するために、合計8種類のストレインゲージG1～G8が用いられる。すなわち、図22に示すとおり、ストレインゲージG1～G4は検出リング200の内周面の、それぞれ測定点R1～R4近傍に取り付けられており、ストレインゲージG5～G8(図では破線で示す)は検出リング200の下面の、それぞれ測定点R1～R4近傍に取り付けられている。

ここで、各ストレインゲージG1～G8は、いずれも検出リング200の測定点R1～R4近傍の表面に、検出リング200の輪郭に沿った環状路に沿った方向が長手方向(応力の検出方向)となるように取り付けられている。したがって、取り付けられた表面に生じる、検出リング200の円周に沿った方向に関する機械的な歪みを、各ストレインゲージG1～G8の長手方向に関する電気抵抗の変化として検出することができる。

図23は、図22に示す力覚センサ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ストレインゲージG1～G8の電気抵抗の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は電気抵抗が増加することを示し、「-」は電気抵抗が減少することを示し、「0」は電気抵抗の変動が無視しうる程度であることを示している。このような結果は、§ 1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を解析することにより得られる。

たとえば、受カリング100に対してX軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、検出リング200は図4に示すように変形する。したがって、検出リング200の内周面に張り付けられたストレインゲージG1～G4について長手方向に加わる応力を考えると、G1, G4に対しては伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加し、G2, G3に対しては縮める方向に応力が加わるので電気抵抗は減少する。一方、検出リング200の下面に張り付けられたストレインゲージG5～G8については、電気抵抗の変化は無視しうる程度である(具体的な数値については後述)。図23のテーブルの $+F_x$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y軸正方向の力 $+F_y$ が作用した場合は、図23のテーブルの $+F_y$ の行に示す結果が得られる。

また、受カリング100に対してZ軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、検出リング200は、図5に示すように変形する。このとき、検出リング200の内周面に張り付けられたストレインゲージG1～G4については、電気抵抗の変化は無視しうる程度であるが、検出リング200の下面に張り付けられたストレインゲージG5～G8に対しては、伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加する。図23のテーブルの $+F_z$ の行は、このような結果を示している。

そして、受カリング100に対してY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用すると、検出リング200は、図6に示すように変形し、図の右半分は下方へ変位し、図の左半分は上方へ変位する。このとき、検出リング200の内周面に張り付けられたストレインゲージG1～G4については、電気抵抗の変化は無視しうる程度であるが、検出リング200の下面に張り付けられたストレインゲージG5～G8のうち、G5, G8に対しては、縮める方向に応力が加わるので電気抵抗が減少し、G6, G7に対しては、伸ばす方向に

10

20

30

40

50

力が加わるので電気抵抗が増加する。図 2 3 のテーブルの + M y の行は、このような結果を示している。同様の理由により、X 軸正まわりのモーメント + M x が作用した場合は、図 2 3 のテーブルの + M x の行に示す結果が得られる。

最後に、受カリング 1 0 0 に対して Z 軸正まわりのモーメント + M z が作用した場合、検出リング 2 0 0 は、図 7 に示すように変形する。このとき、検出リング 2 0 0 の下面に張り付けられたストレインゲージ G 5 ~ G 8 については、電気抵抗の変化は無視しう程度であるが、検出リング 2 0 0 の内周面に張り付けられたストレインゲージ G 1 ~ G 4 のうち、G 2 , G 4 に対しては、伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加し、G 1 , G 3 に対しては、縮める方向に応力が加わるので電気抵抗が減少する。図 2 3 のテーブルの + M z の行は、このような結果を示している。

なお、図 2 3 のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、8 組のストレインゲージ G 1 ~ G 8 の電気抵抗の変動パターンは、6 軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、電気抵抗の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら電気抵抗の測定値に基づく所定の演算を施せば、6 軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

図 2 4 は、図 2 2 に示す力覚センサ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ストレインゲージ G 1 ~ G 8 に加わる応力 (単位: M P a) を有限要素法で解析した具体的な解析結果を示すテーブルである。図 2 3 のテーブルは、図 2 4 のテーブルに基づいて作成したものである。上述したとおり、図 2 3 のテーブルの「0」の欄は電気抵抗の変動が「0」であることを示しているわけではなく、テーブルの他の欄における変動に比べて小さく、測定値として無視することができる程度であることを示している。

もっとも、これらの測定値が無視しうるか否かは、力覚センサに求める精度に依存する問題であり、低い精度しか要求されない力覚センサであれば、これらの測定値を無視した取り扱いを行うことができるが、高い精度が要求される力覚センサでは、決して無視できない値になる。実際、図 2 3 に示すテーブルにおいて「0」と記された欄について、電気抵抗の変動値が生じると、他軸成分の干渉が生じ、精度の高い検出値を得ることはできなくなる。そのような場合は、必要に応じて、マイクロコンピュータなどによる補正演算を行うようにするのが好ましい。

図 2 3 のテーブルの「0」の欄の電気抵抗の変動を近似的に「0」であるとして取り扱うことができる場合、この力覚センサに対して作用する力 F_x , F_y およびモーメント M_x , M_y , M_z の検出値は、単純なホイートストンブリッジからなる検出回路を用いて出力することが可能である。更に、力 F_z の検出値も、単純なホイートストンブリッジによって得るようにし、6 軸成分のすべてをホイートストンブリッジからなる検出回路から出力させるようにするには、検出リング 2 0 0 の上面にストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 を追加すればよい。

図 2 5 は、図 2 2 に示す実施形態に、更に、ストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 を付加した変形例に係る力覚センサの上面図である。図 2 2 に示すストレインゲージ G 5 ~ G 8 は、検出リング 2 0 0 の下面に設けられているが、図 2 5 に示すストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 は、検出リング 2 0 0 の上面に設けられている。より具体的には、ストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 は、それぞれストレインゲージ G 5 ~ G 8 の真上に配置された同形状の同サイズのゲージ抵抗である。このため、ストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 の電気抵抗の増減は、図 2 3 のテーブルに示されているストレインゲージ G 5 ~ G 8 の電気抵抗の増減とは逆の関係になる。

このように、合計 1 2 種類のストレインゲージ G 1 ~ G 1 2 を利用すれば、6 軸成分のすべての検出値をホイートストンブリッジからなる検出回路によって出力することができる。図 2 6 は、図 2 5 に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸方向の力 F_x , F_y , F_z を検出するための検出回路を示す回路図であり、図 2 7 は、図 2 5 に示す変形

10

20

30

40

50

例に係る力覚センサにおいて、各座標軸まわりのモーメント M_x , M_y , M_z を検出するための検出回路を示す回路図である。いずれも電源 40 からの電源供給を受けて動作するホイートストンブリッジからなる回路である。

図 23 のテーブルの + F_x の行を参照すれば、 G_1 , G_4 が「+」, G_2 , G_3 が「-」となっているので、図 26 上段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_x} が、 X 軸方向の力 F_x の検出値になることは容易に理解できよう。同様の理由により、図 26 中段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_y} が、 Y 軸方向の力 F_y の検出値になる。また、図 23 のテーブルの + F_z の行を参照すれば、 $G_5 \sim G_8$ が「+」となっており、 $G_9 \sim G_{12}$ はこれとは逆の「-」になるので、図 26 下段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_z} が、 Z 軸方向の力 F_z の検出値になることも容易に理解できよう。

一方、図 23 のテーブルの + M_x の行を参照すれば、 G_5 , G_6 が「-」, G_7 , G_8 が「+」となっているので、図 27 上段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_x} が、 X 軸まわりのモーメント M_x の検出値になることは容易に理解できよう。同様の理由により、図 27 中段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_y} が、 Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値になる。また、図 23 のテーブルの + M_z の行を参照すれば、 G_1 , G_3 が「-」、 G_2 , G_4 が「+」となっているので、図 27 下段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_z} が、 Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値になることも容易に理解できよう。

かくして、この力覚センサに対して作用する力 F_x , F_y , F_z およびモーメント M_x , M_y , M_z の 6 軸成分の検出値が、単純なホイートストンブリッジからなる検出回路によって出力される。なお、出力値の符号が、正しい軸方向および正しい軸まわりの符号になるようにするには、各ホイートストンブリッジに対して接続される電源 40 の極性を、それぞれ適切な向きに設定する必要がある。

なお、図 26 および図 27 に示すようなホイートストンブリッジからなる検出回路を組む場合、個々のホイートストンブリッジは電氣的に独立したブリッジを構成するようにする必要があるので、回路図に同じ符号で示されているストレインゲージであっても、実際には、電氣的に独立した別のストレインゲージにしておく必要がある。たとえば、図 26 上段の回路に示された G_1 , 中段の回路に示された G_1 , 図 27 下段の回路に示された G_1 は、いずれも同じ符号で示されているが、実際には、別個独立したストレインゲージである。

したがって、図 22 や図 25 に示すストレインゲージ G_1 は、実際には、互いに電氣的に独立した複数本（別個独立したホイートストンブリッジを構成するのに必要な数）のストレインゲージの束を示していることになる。別言すれば、これまで述べてきたストレインゲージ $G_1 \sim G_{12}$ は、それぞれ異なる配置属性をもった 12 種類のストレインゲージを示しており、実際の力覚センサは、この 12 種類の属性のいずれかをもつストレインゲージを、図 26 および図 27 に示すホイートストンブリッジを構成するのに必要な数だけ配置することにより構成される。

もちろん、力 F_z を除く 5 軸成分 F_x , F_y , M_x , M_y , M_z を検出できれば十分な場合には、検出リング 200 の上面に配置されるストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ は省略することができ、8 種類の属性をもつストレインゲージ $G_1 \sim G_8$ のみを用いて力覚センサを構成することができる。

なお、図 22 に示す例では、ストレインゲージ $G_1 \sim G_4$ を検出リング 200 の内側面に配置しているが、逆に検出リング 200 の外側面に配置するようにしてもよい。同様に、図 22 に示す例では、ストレインゲージ $G_5 \sim G_8$ を検出リング 200 の下面に配置しているが、逆に検出リング 200 の上面に配置するようにしてもよい。内側面と外側面、あるいは、上面と下面では、応力の加わる方向が逆転し、図 23 に示すテーブルの「+」と「-」が逆転するものの、上述したホイートストンブリッジにより、各検出値が得られる点に変わりはない。

結局、このような 5 軸成分の検出機能をもった力覚センサの特徴をまとめておくと、次

10

20

30

40

50

のように言うことができる。まず、基本構造部は、受カリング100および検出リング200の双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、受カリング100が外側、検出リング200が内側となるように両リングが配置されている。

そして、検出素子として、検出リング200の第1～第4の測定点R1～R4の近傍の表面に、検出リング200の輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージG1～G8が用いられる。ここで、検出リング200の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し(図22の例の場合、内周面が横方向配置面になる)、検出リング200の上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面(図22の例の場合、下面が縦方向配置面になる)と定義したとき、検出素子は

(1)横方向配置面の第1の測定点R1の近傍位置に取り付けられた第1属性のストレインゲージG1。

(2)横方向配置面の第2の測定点R2の近傍位置に取り付けられた第2属性のストレインゲージG2。

(3)横方向配置面の第3の測定点R3の近傍位置に取り付けられた第3属性のストレインゲージG3。

(4)横方向配置面の第4の測定点R4の近傍位置に取り付けられた第4属性のストレインゲージG4。

(5)縦方向配置面の第1の測定点R1の近傍位置に取り付けられた第5属性のストレインゲージG5。

(6)縦方向配置面の第2の測定点R2の近傍位置に取り付けられた第6属性のストレインゲージG6。

(7)縦方向配置面の第3の測定点R3の近傍位置に取り付けられた第7属性のストレインゲージG7。

(8)縦方向配置面の第4の測定点R4の近傍位置に取り付けられた第8属性のストレインゲージG8。

そして、検出回路は、図26上段に示すように、第1属性のストレインゲージG1と第4属性のストレインゲージG4とを第1の対辺とし、第2属性のストレインゲージG2と第3属性のストレインゲージG3とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸方向の力 F_x の検出値 V_{F_x} を出力し、図26中段に示すように、第1属性のストレインゲージG1と第2属性のストレインゲージG2とを第1の対辺とし、第3属性のストレインゲージG3と第4属性のストレインゲージG4とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸方向の力 F_y の検出値 V_{F_y} を出力する。

一方、図27上段に示すように、第5属性のストレインゲージG5と第6属性のストレインゲージG6とを第1の対辺とし、第7属性のストレインゲージG7と第8属性のストレインゲージG8とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸まわりのモーメント M_x の検出値 V_{M_x} を出力し、図27中段に示すように、第5属性のストレインゲージG5と第8属性のストレインゲージG8とを第1の対辺とし、第6属性のストレインゲージG6と第7属性のストレインゲージG7とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸まわりのモーメント M_y の検出値 V_{M_y} を出力し、図27下段に示すように、第1属性のストレインゲージG1と第3属性のストレインゲージG3とを第1の対辺とし、第2属性のストレインゲージG2と第4属性のストレインゲージG4とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z軸まわりのモーメント M_z の検出値 V_{M_z} を出力する。

そして、力 F_z を含めた6軸成分を検出する力覚センサを構成する場合には、図25に示すように、検出リング200の上面に配置されるストレインゲージG9～G12を更に付加すればよい。なお、検出リング200の上面に配置されるストレインゲージをG5～G8とし、検出リング200の下面に配置されるストレインゲージをG9～G12として、上面/下面に形成されるストレインゲージの属性の呼び方を変えた場合も、図26およ

10

20

30

40

50

び図 2 7 に示すホイートストンブリッジ回路による検出が可能な点に変わりはない。したがって、検出リング 2 0 0 の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、検出リング 2 0 0 の上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配置面と定義すれば、検出素子は、以下の 1 2 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成される。

(1) 横方向配置面の第 1 の測定点 R 1 の近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージ G 1。

(2) 横方向配置面の第 2 の測定点 R 2 の近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージ G 2。

(3) 横方向配置面の第 3 の測定点 R 3 の近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージ G 3。

(4) 横方向配置面の第 4 の測定点 R 4 の近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージ G 4。

(5) 検出リング 2 0 0 の第 1 縦方向配置面の第 1 の測定点 R 1 の近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージ G 5。

(6) 検出リング 2 0 0 の第 1 縦方向配置面の第 2 の測定点 R 2 の近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージ G 6。

(7) 検出リング 2 0 0 の第 1 縦方向配置面の第 3 の測定点 R 3 の近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージ G 7。

(8) 検出リング 2 0 0 の第 1 縦方向配置面の第 4 の測定点 R 4 の近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージ G 8。

(9) 検出リング 2 0 0 の第 2 縦方向配置面の第 1 の測定点 R 1 の近傍位置に取り付けられた第 9 属性のストレインゲージ G 9。

(1 0) 検出リング 2 0 0 の第 2 縦方向配置面の第 2 の測定点 R 2 の近傍位置に取り付けられた第 1 0 属性のストレインゲージ G 1 0。

(1 1) 検出リング 2 0 0 の第 2 縦方向配置面の第 3 の測定点 R 3 の近傍位置に取り付けられた第 1 1 属性のストレインゲージ G 1 1。

(1 2) 検出リング 2 0 0 の第 2 縦方向配置面の第 4 の測定点 R 4 の近傍位置に取り付けられた第 1 2 属性のストレインゲージ G 1 2。

そして、検出回路は、図 2 6 上段に示すように、第 1 属性のストレインゲージ G 1 と第 4 属性のストレインゲージ G 4 とを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージ G 2 と第 3 属性のストレインゲージ G 3 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値 $V F_x$ を出力し、図 2 6 中段に示すように、第 1 属性のストレインゲージ G 1 と第 2 属性のストレインゲージ G 2 とを第 1 の対辺とし、第 3 属性のストレインゲージ G 3 と第 4 属性のストレインゲージ G 4 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値 $V F_y$ を出力し、図 2 6 下段に示すように、第 5 属性のストレインゲージ G 5 と第 6 属性のストレインゲージ G 6 との直列接続辺と、第 7 属性のストレインゲージ G 7 と第 8 属性のストレインゲージ G 8 との直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、第 9 属性のストレインゲージ G 9 と第 1 0 属性のストレインゲージ G 1 0 との直列接続辺と、第 1 1 属性のストレインゲージ G 1 1 と第 1 2 属性のストレインゲージ G 1 2 との直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値 $V F_z$ を出力する。

また、図 2 7 上段に示すように、第 5 属性のストレインゲージ G 5 と第 6 属性のストレインゲージ G 6 とを第 1 の対辺とし、第 7 属性のストレインゲージ G 7 と第 8 属性のストレインゲージ G 8 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値 $V M_x$ を出力し、図 2 7 中段に示すように、第 5 属性のストレインゲージ G 5 と第 8 属性のストレインゲージ G 8 とを第 1 の対辺とし、第 6 属性のストレインゲージ G 6 と第 7 属性のストレインゲージ G 7 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値 $V M_y$ を出力し、図 2 7 下段に示すように、第 1 属性のストレインゲージ G 1 と第 3 属性のストレインゲージ G 3 と

10

20

30

40

50

を第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージ G 2 と第 4 属性のストレインゲージ G 4 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M z の検出値 V M z を出力する。

<<< § 5 . 実装に適した工夫 >>>

ここでは、これまで述べてきた力覚センサをロボットや産業機械等を実装する場合に適したいくつかの工夫を述べておく。

< 5 - 1 . 受力基板 >

図 2 8 は、図 1 に示す基本構造部に、受力基板 6 0 0 を付加した形態を示す X Z 平面における縦断面図である。実際には、この基本構造部に、容量素子やストレインゲージ等の検出素子が付加されることになるが、ここでは、説明の便宜上、基本構造部のみを示すことにする。

10

受力基板 6 0 0 は、図示のとおり、受力リング 1 0 0 および検出リング 2 0 0 の上方に所定間隔をおいて配置された基板であり、X Y 平面に平行な上面を有している。ここで、受力基板 6 0 0 の下面の一部（図示の例では、外周近傍）は、受力リング 1 0 0 の上面に接続されている。また、受力基板 6 0 0 の下面と検出リング 2 0 0 の上面との間には、所定の空隙部 H 3 が形成されている。これは、受力基板 6 0 0 の下面の内側部分が、外側部分に比べて厚みが小さくなっているためである。このような空隙部 H 3 を設けたため、検出リング 2 0 0 の変位が受力基板 6 0 0 によって妨げられることはない。

これまで述べてきた実施形態は、支持基板 3 0 0 を固定した状態において、受力リング 1 0 0 に作用する力やモーメントを検出するものであったが、図 2 8 に示す例では、支持基板 3 0 0 を固定した状態において、受力基板 6 0 0 に作用する力やモーメントを検出することになる。別言すれば、受力リング 1 0 0 には、受力基板 6 0 0 が受けた力やモーメントが伝達される。

20

このように、受力基板 6 0 0 が設けられた力覚センサは、ロボットアームなどの中継部分に取り付ける場合に実装しやすい。たとえば、受力基板 6 0 0 の上面にロボットのハンド部を接合し、支持基板 3 0 0 の下面にロボットのアーム部を接合すれば、この受力センサをロボットの手首に実装することができ、ハンド部に加わる力やモーメントを検出することができる。

< 5 - 2 . 検出リングの別な固定方法 >

図 2 9 は、図 1 に示す基本構造部における検出リング 2 0 0 の固定方法を変えた変形例を示す上面図である。ここでも、実際には、この基本構造部に、容量素子やストレインゲージ等の検出素子が付加されることになるが、説明の便宜上、基本構造部のみを示してある。

30

図 1 に示す基本構造部では、検出リング 2 0 0 が、固定部材 5 1 0 , 5 2 0 によって支持基板 3 0 0 上に固定されていた。ここで、固定部材 5 1 0 , 5 2 0 は、検出リング 2 0 0 の下面と支持基板 3 0 0 の上面とを接続する役割を果たす。これに対して、図 2 9 に示す基本構造部の場合、検出リング 2 0 0 は、固定部材 5 1 5 , 5 2 5 によって、固定補助体 3 5 0 に固定されている。

このような固定方法を採用するためには、受力リング 1 0 0 が外側、検出リング 2 0 0 が内側となるように両リングを配置し、検出リング 2 0 0 の更に内側に、下面が支持基板 3 0 0 の上面に固定された固定補助体 3 5 0 を設けることが前提となる。図 1 4 や図 2 1 に示した力覚センサは、このような前提の基本構造部を備えている。受力リング 1 0 0 と検出リング 2 0 0 が、X 軸に沿った接続部材 4 1 0 , 4 2 0 によって接続される点は、図 1 4 や図 2 1 に示した力覚センサと同じであるが、図 2 9 に示す力覚センサの場合、検出リング 2 0 0 を支持基板 3 0 0 上に固定するために、固定部材 5 1 5 , 5 2 5 が、検出リング 2 0 0 の内周面と固定補助体 3 5 0 の外周面とを接続することになる。

40

固定部材 5 1 5 , 5 2 5 が、Y 軸に沿って配置されているため、検出リング 2 0 0 上に定義される固定点 P 1 , P 2 の位置や、作用点 Q 1 , Q 2 の位置は、これまで述べてきた実施形態と変わりはない。したがって、これまでとは異なる固定方法を採用しているものの、力覚センサとしての基本動作は、これまで述べた実施形態と同じである。検出リング

50

200は、固定部材515、525および固定補助体350を介して、支持基板300に対して固定されることになる。支持基板300の上面に対して接合される部材は、固定補助体350のみとなるため、これまで述べてきた実施形態と比べて、組立工程が若干簡略化されることになる。特に、固定補助体350と支持基板300とを最終段階で接合して、この力覚センサを実装するような環境では、実装が容易になる。

< 5 - 3 . 変位の制御構造 (その1) >

図30は、図1に示す基本構造部に、変位制御構造を付加した例を示す上面図であり、図31は、この例をXZ平面で切断した縦断面図である。図31に示すとおり、受カリング100の左右両端付近には、上下に貫通する貫通孔105、107が形成されており、受カリング100の上面の貫通孔105、107の位置には、貫通孔105、107よりも径の大きな溝部101、103が形成されている。

そして、この貫通孔105、107を挿通するように、変位制御ネジ111、113が嵌め込まれている。この変位制御ネジ111、113は、先端部が支持基板300の上面に形成されたネジ穴に固定されており、頭部が溝部101、103に収容された状態になっている。しかも、変位制御ネジ111と貫通孔105の内面および溝部101の内面との間には空隙部が形成されており、変位制御ネジ113と貫通孔107の内面および溝部103の内面との間にも空隙部が形成されている。

図31は、XZ断面図であるため、2本の変位制御ネジ111、113およびその周囲の構造しか現れていないが、実際には、図30の上面図に示すとおり、4本の変位制御ネジ111、112、113、114が所定箇所（この例の場合、X軸正および負ならびにY軸正および負の合計4箇所）に配置されており、その周囲の構造はいずれも同じである。4本の変位制御ネジ111、112、113、114の頭部は、それぞれ溝部101、102、103、104に収容されているが、両者間には空隙部が形成されている。これは、各変位制御ネジ111～114が、受カリング100を固定する機能を果たしているわけではないことを意味する。

各変位制御ネジ111～114は、その先端部が支持基板300の上面に形成されたネジ穴に固定されているため、変位制御ネジ自身は、支持基板300に対して垂直に立った状態で固定されていることになる。一方、受カリング100は、変位制御ネジ111～114で固定されているわけではないので、力もしくはモーメントが作用すると変位を生じることになる。但し、変位量が大きくなると、変位制御ネジ111～114と貫通孔105～108の内面もしくは溝部101～104の内面とが接触して、受カリング100の変位が制限される。

ここで、受カリング100に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、変位制御ネジ111～114によって受カリング100の変位が制限されるように、空隙部の寸法を設定しておけば、受カリング100が過度に変位することを制限することができる。このように受カリング100の変位を制限する制御構造を設けておけば、過度の力やモーメントが作用した場合にも、基本構造部が機械的な損傷を受けることを防止することができる。特に、検出リング200は、可撓性を有した部材であり、所定の許容範囲内の力の作用に対しては弾性変形を生じるが、許容範囲を超える力が作用した場合、損傷する可能性がある。したがって、実用上は、ここに示す例のように、何らかの変位制御構造を設けておくのが好ましい。

< 5 - 4 . 変位の制御構造 (その2) >

ここでは、受カリング100の過度の変位を制御する別な構造例を説明する。ここに示す例は、受カリング100の上方に配置された受カ基板600を利用して、変位の制御構造を実現した例である。すなわち、ここで述べる例は、§3で述べた容量素子を用いた実施形態を、より実装に適した形に改良した力覚センサの例であり、基本的な構造は、図21に示す力覚センサと全く同じである。

図32は、この力覚センサの上面図、図33は、この力覚センサをXZ平面で切断した縦断面図、図34は、この力覚センサをVZ平面で切断した縦断面図である。ここで、V軸およびW軸は、図21に示す実施形態で定義したものと同一のものであり、XY平面に含

10

20

30

40

50

まれ、X軸やY軸に対して45°傾斜した座標軸である。

図32に示すように、この力覚センサの上部は円盤状の受力基板600Aによって覆われている。図32に描かれた破線は、受力リング100Aの位置を示すものである。図示のとおり、受力基板600AのX軸およびY軸の上方に位置する4箇所には、円形の溝部601, 603, 605, 607が形成されており、これらの中心位置には貫通孔が形成され、固定ネジ611, 613, 615, 617が挿通している。この固定ネジ611, 613, 615, 617は、受力基板600Aを受力リング100Aに固定する役割を果たす。

図33には、固定ネジ611, 615が、受力リング100Aの上面に形成されたネジ穴に固定されている状態が明瞭に示されている。固定ネジ611, 615の頭部は、溝部601, 605内に收容されている。固定ネジ613, 617の固定状態も同様である。なお、支持基板300Aの下面における固定ネジ611, 613, 615, 617の真下の位置には、それぞれネジ孔301, 303, 305, 307が形成されている。これらのネジ孔は、支持基板300Aを、その下方の物体（たとえば、ロボットのアーム部）に固定する役割を果たす。

一方、図32に示すとおり、受力基板600AのV軸およびW軸の上方に位置する4箇所には、円形の貫通孔602, 604, 606, 608が形成されており、その内部には、円筒状のスペーサ622, 624, 626, 628が嵌め込まれ、更にその内部には、固定ネジ612, 614, 616, 618が挿通している。この固定ネジ612, 614, 616, 618は、受力リング100Aを、受力基板600Aの上方の物体（たとえば、ロボットのハンド部）に固定する役割を果たす。

図34には、固定ネジ612, 616およびその周囲の構造が明瞭に示されている。固定ネジ612の頭部は、受力リング100Aの下面に形成された溝部121内に收容されており、その先端部は、受力リング100Aに形成された貫通孔および受力基板600Aに形成された貫通孔602を通過して上方へと突き出している。この固定ネジ612と貫通孔602の内壁面との間には、円筒状のスペーサ622が嵌められている。同様に、固定ネジ616の頭部は、受力リング100Aの下面に形成された溝部126内に收容されており、その先端部は、受力リング100Aに形成された貫通孔および受力基板600Aに形成された貫通孔606を通過して上方へと突き出している。この固定ネジ616と貫通孔606の内壁面との間には、円筒状のスペーサ626が嵌められている。固定ネジ614, 618の周囲の構造も同様である。

受力基板600Aの上方の物体（たとえば、ロボットのハンド部）の下面に、固定ネジ612, 614, 616, 618の先端部に螺合するネジ孔を形成しておけば、当該物体は、これら固定ネジによって、スペーサ622, 624, 626, 628の上端位置にしっかりと固定される。

図33および図34に示されているように、受力基板600Aの下面外周部には、受力リング100Aおよび検出リング200Aを包摂する包摂筒状体650（この例の場合、円筒状の物体）が接続されている（図示の例の場合、受力基板600Aと包摂筒状体650とは一体の構造体となっている）。しかも、包摂筒状体650の下端部と支持基板300Aの外周部との間には空隙部H4, H5が形成されている。すなわち、この例の場合、支持基板300Aの周縁部には段差部が設けられており、包摂筒状体650の下端面と段差部との間には空隙部H4が形成されている。また、包摂筒状体650の内壁面と支持基板300Aの段差内側の周縁部との間には空隙部H5が形成されている。

ここで、空隙部H4, H5の寸法は、受力基板600Aに所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、包摂筒状体650の下端部と支持基板300Aの外周部とが接触して、受力基板600Aの変位が制限されるように設定されている。したがって、この力覚センサの場合も、過度の力やモーメントが作用した場合にも、基本構造部が機械的な損傷を受けることを防止することができる。

なお、この力覚センサでは、検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板380が、支持基板300Aの上面に設けられている。図示の例では、検出回路基板380は

10

20

30

40

50

、固定補助体 350A の周囲を取り囲むようなワッシャ状の回路基板であり、図 34 に示すとおり、固定電極 E15, E16, E17, E18 は、この検出回路基板 380 の上面に配置される。なお、図では、検出回路基板 380 上に実装される電子部品は省略されているが、これらの電子部品は、たとえば、図 18 に示すような回路を構成する部品になる。これらの電子部品と、共通変位電極 E0 (すなわち、検出リング 200A) および各固定電極 E11 ~ E18 との間には配線が施される。

このように、検出回路基板 380 を支持基板 300A の上面に設け、検出回路の部品を実装すれば、力覚センサとして必要な構成要素をすべて内部に組み込むことができる。したがって、装置全体の省スペース化、薄型化を図ることができる。

<<< § 6. ダイアフラム部を形成する実施形態 >>>

これまで述べてきた実施形態では、検出リング 200 として、全体が可撓性を有する円環状のリングを用いていたが、本発明に用いる検出リング 200 は、必ずしも全体が可撓性を有する必要はなく、少なくとも一部に弾性変形が生じるリングであれば足りる。ここでは、検出リング 200 の一部分にダイアフラム部を形成し、このダイアフラム部に弾性変形の役割を課した実施形態を説明する。

図 35 は、検出リングにダイアフラム部を形成した実施形態の基本構造部を XY 平面で切断した横断面図 (上段の図) および XZ 平面で切断した縦断面図 (下段の図) である。ここでも、V 軸および W 軸は、これまで述べた実施形態で定義したものと同一のものであり、XY 平面に含まれ、X 軸や Y 軸に対して 45° 傾斜した座標軸である。

ここに示す基本構造部は、受カリング 100B の内側に検出リング 200B を配置し、更にその内側に固定補助体 350B を配置し、これらの下方に支持基板 300B を配置した構成を有する。受カリング 100B と検出リング 200B との間には空隙部 H6 が確保され、検出リング 200B と固定補助体 350B との間には空隙部 H7 が確保されている。そして、受カリング 100B と検出リング 200B は、支持基板 300B に対して上方に浮いた位置に支持されているため、検出リング 200B は、所定の許容範囲内で変形および変位することができる。

受カリング 100B および検出リング 200B は、いずれも円環状のリングであり、XY 平面上に Z 軸を中心軸として配置されている。また、支持基板 300B は、XY 平面に平行な上面をもち、受カリング 100B および検出リング 200B の下方に所定間隔をおいて配置されている。そして、固定補助体 350B は、Z 軸を中心軸として配置された円柱状の構造体であり、その下面は支持基板 300B の上面に接合されている。このような特徴は、図 8 に示す基本構造部と共通するものである。

ただ、ここに示す実施形態の場合、検出リング 200B は幾何学的に完全な円環ではなく、図 35 上段の横断面図に示すとおり、一部分に 4 組のダイアフラム部 D1 ~ D4 が設けられている。そして、受カリング 100B と検出リング 200B とを接続する 4 本の接続部材 431 ~ 434 は、X 軸もしくは Y 軸を中心軸とする円柱状の部材であり、その内側端は各ダイアフラム部 D1 ~ D4 の中心位置に接続されている。したがって、各ダイアフラム部 D1 ~ D4 の中心位置は、それぞれ作用点 Q11 ~ Q14 として機能する。実用上は、受カリング 100B、検出リング 200B、接続部材 431 ~ 434 は、金属などの同一材料で一体の構造体として製造することができる。

一方、検出リング 200B の V 軸および W 軸上には、図示のとおり固定点 P11 ~ P14 が定義されている。そして、検出リング 200B の固定点 P11 ~ P14 の位置は、固定部材 531 ~ 534 によって支持基板 300B の上面に固定されている。図 35 において、破線で描かれている固定部材 531 ~ 534 は、検出リング 200B の固定点 P11 ~ P14 の位置の下面に配置されている。図 36 は、図 35 に示す基本構造部を VZ 平面で切断した縦断面図である。この図には、検出リング 200B の固定点 P11 近傍の下面が固定部材 531 によって支持基板 300B の上面に固定され、検出リング 200B の固定点 P13 近傍の下面が固定部材 533 によって支持基板 300B の上面に固定されている状態が明瞭に示されている。

結局、図 35 上段の横断面図に示すとおり、検出リング 200B は、4 箇所の固定点 P

10

20

30

40

50

11 ~ P14 の位置で支持基板 300B に固定された状態において、4箇所の作用点 Q11 ~ Q14 の位置に力を受けることになる。ダイヤフラム部 D1 ~ D4 は、検出リング 200B に形成された、他の部分に比べて肉厚の薄い部分であり、可撓性を有している。したがって、受カリング 100B から 4本の接続部材 431 ~ 434 を介して各作用点 Q11 ~ Q14 に力が作用すると、専ら、ダイヤフラム部 D1 ~ D4 に弾性変形が生じることになる。もちろん、検出リング 200B の各部を同一材料で構成した場合、厳密に言えば、ダイヤフラム部 D1 ~ D4 以外の部分も多少の弾性変形を生じることになるが、実質的には、ダイヤフラム部 D1 ~ D4 に弾性変形が集中する。

そこで、ここに示す実施形態では、このダイヤフラム部 D1 ~ D4 に生じた弾性変形を、検出素子によって電氣的に検出することになる。具体的には、§3 で述べた実施形態と同様に、容量素子を用いてダイヤフラム部 D1 ~ D4 に生じた変位を測定し、その結果に基づいて、弾性変形の態様を認識する方法を採る。後述するように、支持基板 300B を固定した状態において、受カリング 100B に各座標軸方向の力 F_x , F_y , F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x , M_y , M_z が作用したときのダイヤフラム部 D1 ~ D4 の変形態様はそれぞれ異なるので、ダイヤフラム部 D1 ~ D4 に生じた変位を測定することにより、6軸成分をそれぞれ独立して検出することが可能になる。

図37は、図35に示す基本構造部に容量素子を付加することにより構成された力覚センサをXY平面で切断した横断面図である。この力覚センサでは、合計40枚の電極を設けて、合計20組の容量素子を構成している。ここでは、便宜上、互いに近傍に配置される5枚の電極を1つの電極群として、合計8組の電極群を構成して説明する。図37において、符号 T10, T20, T30, T40 で示されている電極群は、それぞれが5枚の変位電極から構成される変位電極群であり、検出リング 200B の内周面の各ダイヤフラム部 D1, D2, D3, D4 の位置に配置されている。これに対して、符号 U10, U20, U30, U40 で示されている電極群は、それぞれが5枚の固定電極から構成される固定電極群であり、固定補助体 350B の外周面のそれぞれ変位電極群 T10, T20, T30, T40 に対向する位置に配置されている。

図37では、これら8組の電極群(40枚の電極)を詳細に示すことは困難なので、各電極の形状および配置を図38のテーブルに示す。このテーブルにおいて、T10, T20, T30, T40 なる表題が付された欄には、図37に示す変位電極群 T10, T20, T30, T40 の平面図が示されており、U10, U20, U30, U40 なる表題が付された欄には、図37に示す固定電極群 U10, U20, U30, U40 の平面図が示されている。各平面図は、それぞれ図37に示す視点 e1, e2, e3, e4 の位置から各電極群を見た状態を示している。XYZ座標系に対する位置関係を明確にするために、各平面図には、それぞれX, Y, Z軸の方向を示してある。いずれの平面図においても、Z軸が上方になる。なお、固定電極群 U10, U20, U30, U40 の平面図における破線は、対向する変位電極群 T10, T20, T30, T40 に所属する変位電極の投影像(X軸もしくはY軸方向への投影像)を示している。

たとえば、図38の「T10」欄には、変位電極群 T10 に所属する5枚の変位電極 T11 ~ T15 の平面図が示されている。この平面図は、図37に示す視点 e1 の位置からX軸正方向を観察したときに得られるものである。変位電極 T11 ~ T15 は、いずれも検出リング 200B の内周面のダイヤフラム部 D1 の部分に配置されている。したがって、実際には、各電極は曲面上に形成されていることになるが、図38では、説明の便宜上、平面上に配置した図として示す。変位電極 T11 ~ T14 は同じサイズの台形をした電極であり、変位電極 T15 は正方形の電極である。変位電極 T15 は、中心点がX軸上にくるように配置されており、変位電極 T11 ~ T14 は、その周囲を取り囲むように配置されている。図示の平面図において、この変位電極群 T10 は、Y軸に関しても、Z軸に関しても、対称性を有している。

一方、図38の「U10」欄には、固定電極群 U10 に所属する5枚の固定電極 U11 ~ U15 の平面図が示されている。この平面図は、図37に示す視点 e1 の位置からX軸負方向を観察したときに得られるものである。固定電極 U11 ~ U15 は、それぞれ変位

10

20

30

40

50

電極 T 1 1 ~ T 1 5 に対向する位置に配置されている。図示の平面図において、この固定電極群 U 1 0 は、Y 軸に関して、Z 軸に関して、対称性を有している。上述したとおり、図における破線は、対向する変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 の投影像 (X 軸方向への投影像) を示している。

5 枚の変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 と 5 枚の固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 とは、それぞれ対向しているため、5 組の容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 が形成される。しかも、図 3 8 の「 U 1 0 」欄に示すとおり、実線で示す固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 は、それぞれ破線で示す変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 の投影像に含まれている。これは、各対向電極が、図 1 5 に示す電極 E a , E b の関係にあることを意味している。すなわち、容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 は、一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、当該他方の電極の内部に包含される、という条件を満たす容量素子になっており、ダイヤフラム部 D 1 の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 の有効対向面積は一定に維持される。

図 3 8 の「 T 2 0 」, 「 T 3 0 」, 「 T 4 0 」の各欄に示された変位電極群および「 U 2 0 」, 「 U 3 0 」, 「 U 4 0 」の各欄に示された固定電極群についても全く同様である。結局、変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 と固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 とにより容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 が形成され (以下、容量素子群 C 1 0 と呼ぶ)、変位電極 T 2 1 ~ T 2 5 と固定電極 U 2 1 ~ U 2 5 とにより容量素子 C 2 1 ~ C 2 5 が形成され (以下、容量素子群 C 2 0 と呼ぶ)、変位電極 T 3 1 ~ T 3 5 と固定電極 U 3 1 ~ U 3 5 とにより容量素子 C 3 1 ~ C 3 5 が形成され (以下、容量素子群 C 3 0 と呼ぶ)、変位電極 T 4 1 ~ T 4 5 と固定電極 U 4 1 ~ U 4 5 とにより容量素子 C 4 1 ~ C 4 5 が形成される (以下、容量素子群 C 4 0 と呼ぶ)。ここで、容量素子群 C 1 0 , C 2 0 , C 3 0 , C 4 0 は、それぞれダイヤフラム部 D 1 , D 2 , D 3 , D 4 の変位 (弾性変形) を検出する検出素子としての役割を果たす。

続いて、この力覚センサにおいて、支持基板 3 0 0 B を固定した状態において、受リング 1 0 0 B に各座標軸方向の力 $+F_x$, $+F_y$, $+F_z$ および各座標軸まわりのモーメント $+M_x$, $+M_y$, $+M_z$ が作用したとき、容量素子群 C 1 0 , C 2 0 , C 3 0 , C 4 0 の静電容量値にどのような変化が生じるかを検討する。図 3 9 は、図 3 7 に示す力覚センサ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容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルで「 + 」は静電容量値が増加することを示し、「 - 」は静電容量値が減少することを示し、「 0 」は静電容量値が変動しないことを示している。このような結果が得られることは、検出リング 2 0 0 B の具体的な変形態様を考えれば理解できよう。

たとえば、図 3 7 において、受リング 1 0 0 B に対して X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、ダイヤフラム D 1 は右方向へ引っ張られ、ダイヤフラム D 3 は右方向へ押し出される。その結果、容量素子群 C 1 0 の電極間距離は広がり静電容量値は減少し、容量素子群 C 3 0 の電極間距離は狭まり静電容量値は増加する。このとき、容量素子群 C 2 0 , C 4 0 については、X 軸方向へのずれが生じるものの、電極間距離や有効対向面積に実質的な変化は生じないため、静電容量値は変化しない。図 3 9 のテーブルの $+F_x$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y 軸正方向の力 $+F_y$ が作用した場合は、図 3 9 のテーブルの $+F_y$ の行に示す結果が得られる。

次に、受リング 1 0 0 B に対して Z 軸正方向の力 $+F_z$ が作用した場合を考える。図 4 0 は、力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示す X Z 平面における縦断面図である。説明の便宜上、必要な構成要素のみを抽出し、各部をデフォルメして示してある。したがって、個々の部分の形状は、実際の変形態様を正確に示すものではない。図示のとおり、受リング 1 0 0 B が上方に移動すると、接続部材 4 3 1 , 4 3 3 を介して、ダイヤフラム部 D 1 , D 3 の中央部分に対して上方向への力が伝達される。その結果、ダイヤフラム部 D 1 , D 3 は図示のように傾斜する。図では、ダイヤフラム部 D 1 , D 3 を平板として描いているが、実際には、ねじれを生じた複雑な形状をなす。ただ、固定補助体 3 5 0 B の外周面との距離の変動を考えると、図示のとおり、上部における距離 $d(\text{up})$ は小さくなり、下部における距離 $d(\text{down})$ は大きくなる。

10

20

30

40

50

その結果、図38に示すテーブルにおいて、上部に配置された電極対からなる容量素子 C_{13} , C_{23} , C_{33} , C_{43} の静電容量値は増加し、下部に配置された電極対からなる容量素子 C_{14} , C_{24} , C_{34} , C_{44} の静電容量値は減少する。一方、中央や左右に配置された電極対の距離は、上半分は小さくなるが、下半分は大きくなるので、両者で相殺され、これらの電極対からなる容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの $+F_z$ の行は、このような結果を示している。

続いて、受リング100Bに対してY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用した場合を考える。この場合、図37において、受リング100Bの左端はZ軸正方向（紙面から持ち上げる方向）に移動するため、ダイアフラム部D3は、図40と同様に傾斜し、上部における距離 $d(\text{up})$ は小さくなり、下部における距離 $d(\text{down})$ は大きくなる。したがって、容量素子 C_{33} の静電容量値は増加し、容量素子 C_{34} の静電容量値は減少する。一方、受リング100Bの右端はZ軸負方向（紙面の裏側へ向かう方向）に移動するため、ダイアフラム部D1は、図40とは逆の方向に傾斜し、上部における距離 $d(\text{up})$ は大きくなり、下部における距離 $d(\text{down})$ は小さくなる。したがって、容量素子 C_{13} の静電容量値は減少し、容量素子 C_{14} の静電容量値は増加する。他の容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの $+M_y$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、X軸正まわりのモーメント $+M_x$ が作用した場合は、図39のテーブルの $+M_x$ の行に示す結果が得られる。

最後に、受リング100Bに対してZ軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用した場合を考える。図41は、モーメント $+M_z$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図である。この図でも、説明の便宜上、必要な構成要素のみを抽出し、各部をデフォルメして示してある。したがって、個々の部分の形状は、実際の変形状態を正確に示すものではない。図示のとおり、モーメント $+M_z$ が作用すると、受リング100Bは反時計回りに回転するため、ダイアフラム部D1は図示のように傾斜する。ここでも、ダイアフラム部D1を平板として描いているが、実際には、ねじれを生じた複雑な形状をなす。ただ、固定補助体350Bの外周面との距離の変動を考えると、図示のとおり、視点 e_1 から見たときの左側（図41では上側）における距離 $d(\text{left})$ は小さくなり、右側（図41では下側）における距離 $d(\text{right})$ は大きくなる。その結果、容量素子 C_{11} の静電容量値は増加し、容量素子 C_{12} の静電容量値は減少する。同様の理由により、容量素子 C_{21} , C_{32} , C_{42} の静電容量値は増加し、容量素子 C_{22} , C_{31} , C_{41} の静電容量値は減少する。他の容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの $+M_z$ の行は、このような結果を示している。

なお、図39のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、20組の容量素子 $C_{11} \sim C_{45}$ の静電容量値の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量の測定値に基づく所定の演算を施せば、6軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

図42は、図37に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力 F_x , F_y , F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x , M_y , M_z を求める具体的な演算式を示す図である。この式における $C_{11} \sim C_{45}$ は、それぞれ同じ符号で示す容量素子 $C_{11} \sim C_{45}$ の静電容量値を示している。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図39に示すテーブルを参照すれば理解できる。たとえば、 F_x に関する第1の式は、図39のテーブルの $+F_x$ の行において「+」が記された5組の容量素子の容量値の総和と、「-」が記された5組の容量素子の容量値の総和と、の差分を示している。第2の式および第3の式は、5組の容量素子のうちの4組もしくは1組のみを用いた場合の式である。他の検出値についても同様である。

また、負方向の力 $-F_x$, $-F_y$, $-F_z$ および負まわりのモーメント $-M_x$, $-M_y$, $-M_z$ が作用した場合は、図39のテーブルにおける「+」と「-」とが逆転するので

10

20

30

40

50

、図42に示す演算式をそのまま利用すれば、各検出値を負の値として得ることができる。この図42に示す6軸成分の演算式は、他軸成分の干渉を受けないので、6軸成分についての各検出値を独立して得ることができる。また、この演算式によれば、いずれも差分をとる演算が行われるため、温度環境の変化により基本構造部が膨張もしくは収縮し、対向電極間距離が変動する誤差が生じたとしても、生じた誤差を相互にキャンセルすることができるので、外乱成分を含まない正確な検出結果を得ることができる。

ここでは、この図42に示す演算式に基づいて、6軸成分の検出値を出力する検出回路の例示は省略するが、図18に示した回路図に準じた検出回路を構成することが可能である。もちろん、複数の容量素子を並列接続すれば、加算演算を行うための演算器を省略することができるし、A/D変換器により静電容量値C11~C45をそれぞれデジタル値として取り込めば、デジタル演算の結果として、各検出値をデジタル値として出力することもできる。

また、図37に示す力覚センサの構造は、一例を示すものであり、細かな構造部分の仕様は、設計上、適宜変更可能である。たとえば、図37に示す力覚センサのダイヤフラム部D1は、図43(a)に示すように(X軸正方向から原点O方向を観察した図)、輪郭が矩形状をなし、その中心位置に接続部材431(断面が示されている)が接合されている。このような形状をしたダイヤフラム部D1は、検出リング200Bの一部を切削加工することにより形成することができ、比較的製造プロセスは簡単である。ただ、ダイヤフラム部の形状は、必ずしも矩形状に限定されるものではない。

図43(b)に示す例(こちらにも、X軸正方向から原点O方向を観察した図)は、輪郭が円形のダイヤフラム部D1を形成した例である。ダイヤフラム部D1の中心位置に接続部材431が接合されている点は同じであるが、ダイヤフラム部D1は、検出リング200Bに円形の溝を掘ることにより形成され、その周囲全体が、検出リング200Bの肉厚部分によって囲まれている。

一方、図44は、図37に示す力覚センサの電極群の変形例を示す平面図である(ハッチングは、各電極の形状を明瞭に示すためのものであり、断面を示すものではない)。図37に示す力覚センサでは、図38の平面図に示すとおり、1枚の正方形の電極と4枚の台形状の電極との5枚の電極により、1組の電極群が構成されていたが、各電極群を構成する電極の数、形状、配置は、図38に示す例に限定されるものではない。図44(a)は、4枚の二等辺三角形からなる電極により、1組の電極群を構成した例である。また、図44(b)は、1枚の正方形の電極と4枚のL字状の電極との5枚の電極により、1組の電極群を構成した例である。更に、図44(c)は、4枚の正方形の電極により、1組の電極群を構成した例である。もちろん、この他にも様々な電極構成が考えられる。

ここでは、この図44に変形例として示す電極構成を採用した場合の6軸成分の検出方法についての詳細な説明は省略するが、いずれの場合も、図39に準じたテーブルを作成することができ、このテーブルに基づいて、図42に準じた演算式を定義することができる。

最後に、この§6で述べた実施形態の特徴をまとめておく。まず第1に、図35に示すとおり、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、4個の作用点Q11~Q14と4個の固定点P11~P14とが交互に配置されており、検出リング200Bの4個の作用点Q11~Q14の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイヤフラム部D1~D4を構成している。そして、4個の接続部材431~434が、作用点Q11~Q14の位置において各ダイヤフラム部D1~D4に接続されており、4個の固定部材531~534が、固定点P1~P4の位置において、検出リング200Bの下面に接続されている。

もっとも、作用点および固定点の数は、必ずしも4個に限定されるものではなく、任意の複数n個に設定することが可能である。要するに、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、複数n個の作用点Q11~Q1nと複数n個の固定点P11~P1nが交互に配置されるようにし、検出リング200Bのn個の作用点Q11~Q1nの近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイヤフラム部D1~Dnを構成し、n個の接続部材が各ダイヤフラム部に接続されており、n個の固定部材が各固定点P11~P1nを支持基板3

10

20

30

40

50

00Bに固定するようにすればよい。そして、このような構造をもった基本構造部に対して、各ダイアフラム部D1～Dnの弾性変形を電氣的に検出する検出素子を付加すればよい

ただ、実用上は、上述した実施形態のように、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、第1の作用点Q11、第1の固定点P11、第2の作用点Q12、第2の固定点P12、第3の作用点Q13、第3の固定点P13、第4の作用点Q14、第4の固定点P14の順に、4個の作用点および4個の固定点を配置し、検出リング200Bの第1の作用点Q11の近傍部分に第1のダイアフラム部D1を構成し、第2の作用点Q12の近傍部分に第2のダイアフラム部D2を構成し、第3の作用点Q13の近傍部分に第3のダイアフラム部D3を構成し、第4の作用点Q14の近傍部分に第4のダイアフラム部D4を構成し、検出素子より、これら第1～第4のダイアフラム部D1～D4の弾性変形を電氣的に検出するようにすれば、非常に効率的な検出が可能になる。

10

特に、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x 、 M_y 、 M_z の6軸成分を独立して検出可能な力覚センサを実現するには、上述した実施形態の構成を採るのが最も効率的である。具体的には、作用点に関しては、第1の作用点Q11がX軸正領域に、第2の作用点Q12がY軸正領域に、第3の作用点Q13がX軸負領域に、第4の作用点Q14がY軸負領域に、それぞれ配置されており、第1のダイアフラム部D1がX軸正領域に位置し、第2のダイアフラム部D2がY軸正領域に位置し、第3のダイアフラム部D3がX軸負領域に位置し、第4のダイアフラム部D4がY軸負領域に位置するようにする。

20

そして、X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材431により、第1のダイアフラム部D1が受リング100Bに接続され、Y軸正領域に沿って伸びる第2の接続部材432により、第2のダイアフラム部D2が受リング100Bに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第3の接続部材433により、第3のダイアフラム部D3が受リング100Bに接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材434により、第4のダイアフラム部D4が受リング100Bに接続されているようにする。

一方、固定点に関しては、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して 45° をなすV軸と、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の固定点P11がV軸正領域に、第2の固定点P12がW軸正領域に、第3の固定点P13がV軸負領域に、第4の固定点P14がW軸負領域に、それぞれ配置されているようにし、各固定点の位置において、検出リング200Bが支持基板300Bに対して固定されるようにすればよい。

30

ここで、各ダイアフラム部D1～D4の弾性変形を電氣的に検出するには、容量素子などを利用して各部の変位を測定する方法を採ってもよいし、ストレインゲージなどを利用して各部に生じる機械的な歪みを測定する方法を採ってもよい。図37に示す力覚センサは、前者の方法を採用するものであり、容量素子を用いた効率的な変位測定を行うことができるように、次のような工夫を施している。

まず、受リング100Bおよび検出リング200Bの双方を、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングとし、受リング100Bが外側、検出リング200Bが内側となるように両リングを配置している。そして、固定電極を支持するために、検出リング200Bの更に内側に、下面が支持基板300Bの上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体350Bを設けている。

40

そして、検出素子は、次の4組の容量素子群によって構成される。

(1) 検出リング200Bの内周面の第1のダイアフラムD1の部分に配置された複数の変位電極T11～T15からなる第1変位電極群T10と、固定補助体350Bの外周面の第1変位電極群T10の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極U11～U15からなる第1固定電極群U10と、によって構成される複数の容量素子C11～C15からなる第1容量素子群C10。

50

(2) 検出リング200Bの内周面の第2のダイアフラムD2の部分に配置された複数の変位電極T21~T25からなる第2変位電極群T20と、固定補助体350Bの外周面の第2変位電極群T20の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極U21~U25からなる第2固定電極群U20と、によって構成される複数の容量素子C21~C25からなる第2容量素子群C20。

(3) 検出リング200Bの内周面の第3のダイアフラムD1の部分に配置された複数の変位電極T31~T35からなる第3変位電極群T30と、固定補助体350Bの外周面の第3変位電極群T30の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極U31~U35からなる第3固定電極群U30と、によって構成される複数の容量素子C31~C35からなる第3容量素子群C30。

(4) 検出リング200Bの内周面の第4のダイアフラムD4の部分に配置された複数の変位電極T41~T45からなる第4変位電極群T40と、固定補助体350Bの外周面の第4変位電極群T40の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極U41~U45からなる第4固定電極群U40と、によって構成される複数の容量素子C41~C45からなる第4容量素子群C40。

ここで、各容量素子C11~C45を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、当該他方の電極の内部に包含される関係にある。そして、検出回路により、各容量素子C11~C45の静電容量値に基づいて、所定の検出値の出力が行われる。

各容量素子群のメンバーとなる個々の容量素子の電極の数、形状、配置パターンには、図44に例示するとおり、様々なバリエーションが考えられるが、図38に示す実施形態を採る力覚センサの場合、各容量素子群の構成は次のようになる。

(1) 第1容量素子群C10は、X軸上に配置された第1群の軸上容量素子C15と、第1群の軸上容量素子C15に対してY軸正方向に隣接配置された第1群の第1容量素子C11と、第1群の軸上容量素子C15に対してY軸負方向に隣接配置された第1群の第2容量素子C12と、第1群の軸上容量素子C15に対してZ軸正方向に隣接配置された第1群の第3容量素子C13と、第1群の軸上容量素子C15に対してZ軸負方向に隣接配置された第1群の第4容量素子C14と、を有する。

(2) 第2容量素子群C20は、Y軸上に配置された第2群の軸上容量素子C25と、第2群の軸上容量素子C25に対してX軸正方向に隣接配置された第2群の第1容量素子C21と、第2群の軸上容量素子C25に対してX軸負方向に隣接配置された第2群の第2容量素子C22と、第2群の軸上容量素子C25に対してZ軸正方向に隣接配置された第2群の第3容量素子C23と、第2群の軸上容量素子C25に対してZ軸負方向に隣接配置された第2群の第4容量素子C24と、を有する。

(3) 第3容量素子群C30は、X軸上に配置された第3群の軸上容量素子C35と、第3群の軸上容量素子C35に対してY軸正方向に隣接配置された第3群の第1容量素子C31と、第3群の軸上容量素子C35に対してY軸負方向に隣接配置された第3群の第2容量素子C32と、第3群の軸上容量素子C35に対してZ軸正方向に隣接配置された第3群の第3容量素子C33と、第3群の軸上容量素子C35に対してZ軸負方向に隣接配置された第3群の第4容量素子C34と、を有する。

(4) 第4容量素子群C40は、Y軸上に配置された第4群の軸上容量素子C45と、第4群の軸上容量素子C45に対してX軸正方向に隣接配置された第4群の第1容量素子C41と、第4群の軸上容量素子C45に対してX軸負方向に隣接配置された第4群の第2容量素子C42と、第4群の軸上容量素子C45に対してZ軸正方向に隣接配置された第4群の第3容量素子C43と、第4群の軸上容量素子C45に対してZ軸負方向に隣接配置された第4群の第4容量素子C44と、を有する。

上記構成からなる容量素子群を用いた実施形態の場合、検出回路は、各容量素子C11~C45の静電容量値をそれぞれ同じ符号を用いてC11~C45と表すことにより、

$$F_x = - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35}) \quad \text{または}$$

$$= - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14})$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 & + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}) \quad \text{または} \\
 & = -C_{15} + C_{35} \\
 F_y = & - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}) \\
 & + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) \quad \text{または} \\
 & = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24}) \\
 & + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44}) \quad \text{または} \\
 & = -C_{25} + C_{45} \\
 F_z = & (C_{13} + C_{23} + C_{33} + C_{43}) \\
 & - (C_{14} + C_{24} + C_{34} + C_{44}) \\
 M_x = & (C_{23} + C_{44}) - (C_{24} + C_{43}) \\
 M_y = & (C_{14} + C_{33}) - (C_{13} + C_{34}) \\
 M_z = & (C_{11} + C_{21} + C_{32} + C_{42}) \\
 & - (C_{12} + C_{22} + C_{31} + C_{41})
 \end{aligned}$$

10

なる演算式に基づいて、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することができる。

なお、図37に示す実施形態についても、検出リング200Bの少なくともダイアフラム部D1～D4を可撓性をもった導電性材料によって構成しておけば、このダイアフラム部の表面を共通変位電極E0として各容量素子C11～C45を構成することができる。実用上は、検出リング200B全体をアルミニウム合金などの金属によって構成し、肉厚の薄いダイアフラム部D1～D4が可撓性をもつようにすればよい。この場合、検出リング200Bのダイアフラム部D1～D4自身が変位電極群T10、T20、T30、T40として機能することになるので、別体として変位電極を設ける必要はなくなる。

20

<<< §7. その他の変形例 >>>

最後に、これまで述べてきた実施形態に適用可能な変形例を述べておく。

<7-1. 変位検出に関する変形例>

§3や§6では、容量素子を利用して、検出リングの所定箇所の変位を検出する実施形態を述べたが、変位検出に利用する検出素子は、必ずしも容量素子に限定されるものではなく、一般的に、距離の検出が可能な素子であれば、どのような検出素子を利用してもかまわない。

30

図45は、図10に示す基本構造部における距離 $d_1 \sim d_4$ の測定を行うために、固定補助体350の外周面のV軸上およびW軸上に、距離検出素子M1～M4を設けた変形例に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図である。ここでは、距離検出素子M1～M4の内部構造の図示は省略するが、一般的な距離検出に利用されている素子であれば、どのようなものを用いてもかまわない。

たとえば、検出リング200の少なくとも測定対象面(図示の例の場合、V軸およびW軸近傍の内周面)を導電性材料によって構成しておけば、その対向基準面に設けられた距離検出素子M1～M4として、渦電流変位計を利用することができる。図46は、渦電流変位計による距離測定の基本原理を示す図である。渦電流変位計は、高周波発振回路71とコイル72によって構成される装置であり、コイル72に近接配置された導電性の検出物体73とコイル72との距離を電氣的に検出する機能を有している。

40

渦電流変位計による距離検出の基本原理は次のとおりである。まず、高周波発振回路71からコイル72に対して高周波電流を流すと、コイル72から高周波磁界74が発生し、この高周波磁界74の電磁誘導作用により、導電性の検出物体73に渦電流75が流れる。そして、この渦電流75により、コイル72のインピーダンスが変化し、その結果、高周波発振回路71の発振状態に変化が生じることになる。コイル72のインピーダンス変化量は、コイル72と検出物体73との距離に応じたものになるので、高周波発振回路71に、発振状態の変化を検出する回路を設けておけば、コイル72と検出物体73との距離を電氣的に検出することができる。

また、検出リング200の少なくとも測定対象面を磁石によって構成しておけば、その

50

対向基準面に設けられた距離検出素子 M 1 ~ M 4 として、ホール素子を利用することもできる。ホール素子は、ホール効果によって磁界を検出する機能をもった素子であるから、検出リング 2 0 0 の測定対象面を磁石によって構成しておけば、磁界の変動に基づいて測定対象面の変位検出が可能になる。具体的には、検出リング 2 0 0 全体を磁石によって構成するか（この場合、変形に耐えうる機械的強度をもった磁石を用いる必要がある）、あるいは、検出リング 2 0 0 の内周面に磁石を固着しておけばよい。距離検出素子 M 1 ~ M 4 として配置されたホール素子に作用する磁界の強度は、測定対象面の変位によって変化するので、ホール素子による磁界の検出値を、距離測定値として用いることが可能になる。

この他、光ビームを利用した距離測定器を、距離検出素子 M 1 ~ M 4 として利用することも可能である。たとえば、測定対象面（図示の例の場合、V 軸および W 軸近傍の内周面）に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、この測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器とを、この測定対象面に対向する対向基準面（図示の例の場合、固定補助体 3 5 0 の外周面）に固定しておき、光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路を用意しておけばよい。検出リング 2 0 0 の測定対象面（内周面）が変位すると、光ビームの照射位置および反射ビームの射出方向が変化することになるので、光ビーム受光器による光ビームの受光位置も変化する。したがって、測定回路は、この受光位置に基づいて距離測定値を出力することができる。

< 7 - 2 . 各部の形状および配置に関する変形例 >

これまで述べてきた実施形態では、受光リング 1 0 0 および検出リング 2 0 0 として、円環状の部材を用いているが、これらのリングは、必ずしも円形の環状体である必要はなく、開口部を有するループ状の部材であればよい。たとえば、正八角形、正六角形、正方形の形状をした環状体でもかまわないし、任意形状の環状体であってもかまわない。

ただ、実用上は、これまで述べた実施形態に示すように、円形の環状体を用いるのが好ましい。受光リング 1 0 0 および検出リング 2 0 0 として、円環状の部材を用い、両者を Z 軸を中心軸として同心配置した構成にすれば、基本構造部は、X Z 平面および Y Z 平面の双方に関して面対称な構造になる。ここで、各検出素子の配置も、これまで述べた実施形態のように、X Z 平面および Y Z 平面の双方に関して面対称となるようにしておけば、検出回路による信号処理も単純化される。

たとえば、図 1 7 , 図 2 0 , 図 4 2 に示されている演算式では、静電容量値を示す各項に係数は乗じられていないが、これは上記対称性が確保されているためである。検出リング 2 0 0 を任意形状のリングで構成した場合、上記演算式の各項に所定の係数を乗じる必要が生じ、実際の検出回路の構成は複雑化せざるを得なくなる。

また、容量素子を構成する変位電極や固定電極の形状も、これまで述べた実施形態で示した形状に限定されるものではなく、任意の形状の電極を採用することができる。ただ、上述したように、各軸成分の検出値を得るための演算式を単純化するためには、電極の形成パターンも、X Z 平面および Y Z 平面の双方に関して面対称となるようなパターンにするのが好ましい。

< 7 - 3 . 検出に不要な構成要素の省略 >

これまで述べてきた実施形態は、主に 6 軸成分の検出を行うタイプの力覚センサであるが、本発明に係る力覚センサは、X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する機能をもっていれば足りる。したがって、本発明を、X 軸方向に作用した力 F_x のみを検出する力覚センサや、Y 軸まわりに作用したモーメント M_y のみを検出する力覚センサに適用することも可能である。

このように、特定の成分のみの検出に特化した力覚センサを製造する上では、検出に不要な構成要素を省略することができる。たとえば、図 3 7 に示す力覚センサは、6 軸成分をすべて検出する機能を有しているが、X 軸方向に作用した力 F_x のみを検出できればよい場合は、図 4 2 の F_x 欄に示すとおり、最低限、容量素子 C 1 5 および C 3 5 のみを設

10

20

30

40

50

けておけば足りる。同様に、Y軸まわりに作用したモーメントMyのみを検出できればよい場合は、図42のMy欄に示すとおり、容量素子C13, C14, C33, C34のみを設けておけば足りる。

< 7 - 4 . 開示された技術思想の組み合わせ >

以上、本発明の技術思想を様々な実施形態について説明し、様々な変形例に係る技術思想を述べたが、本願に述べられた多数の技術思想は、特別な阻害理由がない限り、自由に組み合わせる用いることが可能である。たとえば、受リング100と検出リング200との内外の位置関係を逆にする、という技術思想は、これまで述べてきた様々な実施形態に適用可能である。また、図35に示す基本構造部の弾性変形を検出するために、ストレインゲージを用いることも可能であるし(この場合、固定補助体350Bは不要になる)、図35に示す基本構造部において、検出リング200Bを固定部材を介して固定補助体350Bに固定することも可能である。

10

本願明細書では、開示されている様々な技術思想について、あらゆる組み合わせを網羅した実施形態を説明しているわけではないが、当業者であれば、本願に開示されている様々な技術思想を組み合わせることにより、本願に直接的には開示されていない実施形態を自由に設計することができよう。

【産業上の利用可能性】

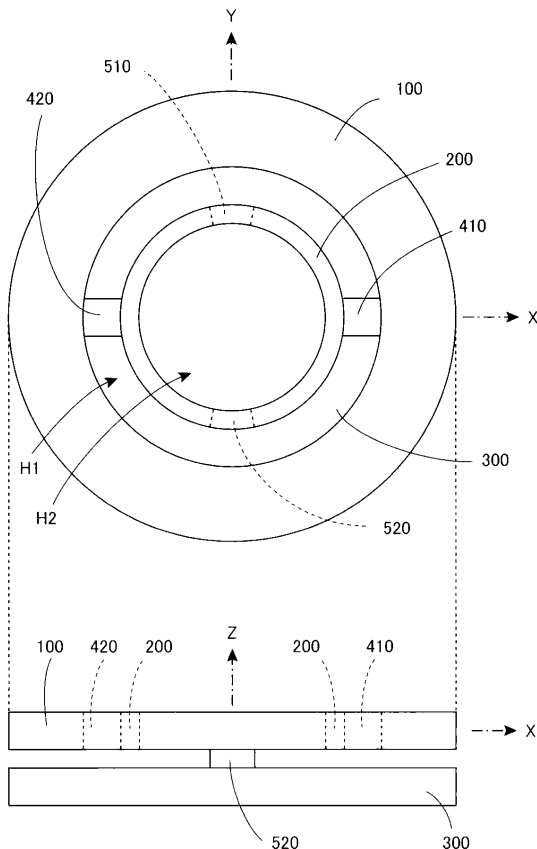
【0006】

本発明に係る力覚センサは、ロボットや産業機械の動作制御を行うために力やモーメントを検出する用途に利用するのに最適である。また、電子機器の入力装置のマン・マシンインターフェイスとしても利用可能である。特に、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントという6軸成分を検出する薄型力覚センサとして利用できる。

20

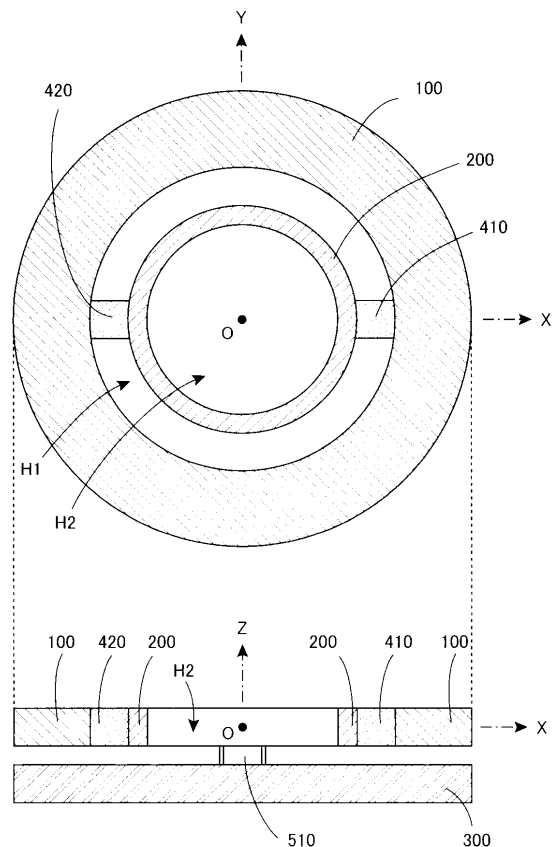
【図1】

図1



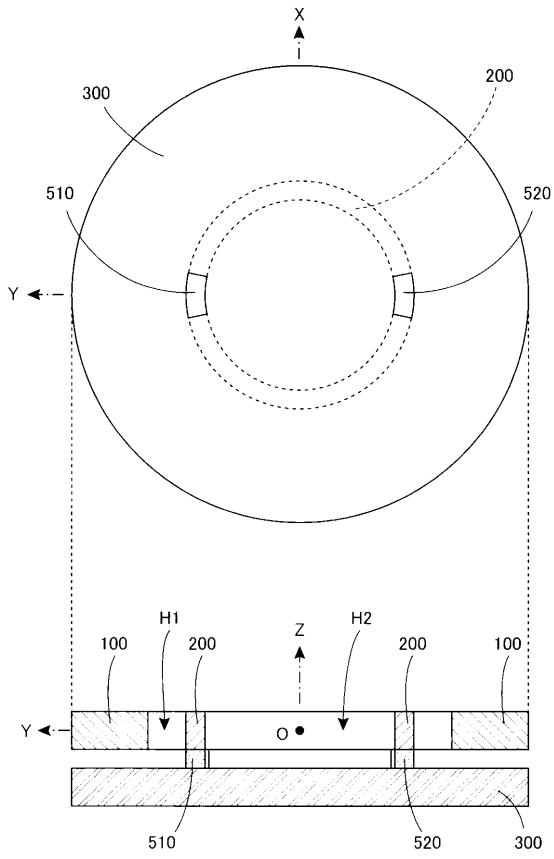
【図2】

図2



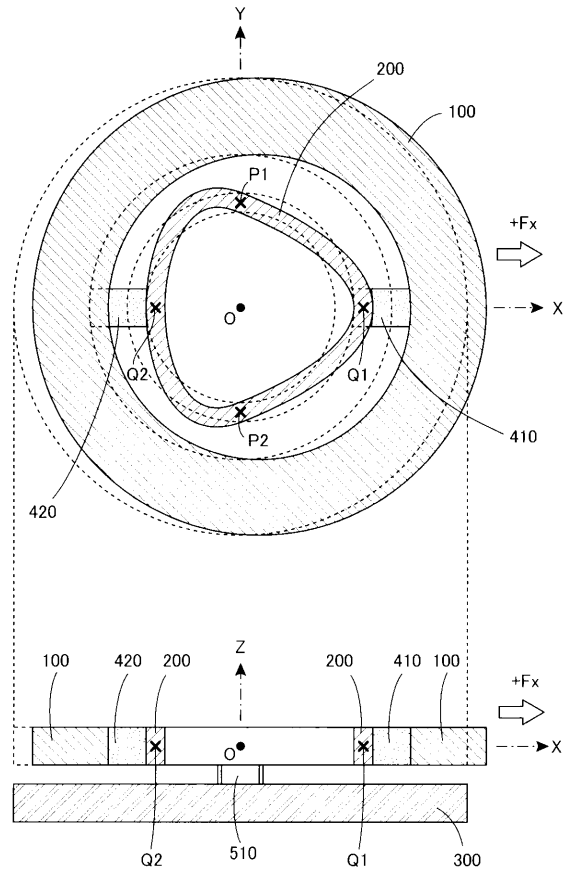
【 図 3 】

図3



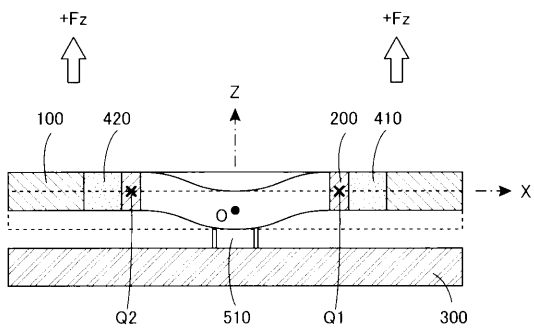
【 図 4 】

図4



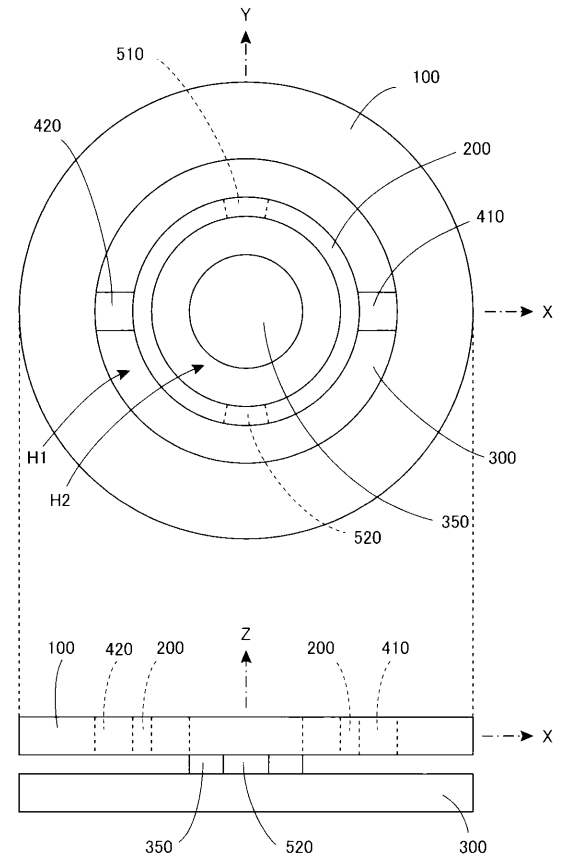
【 図 5 】

図5



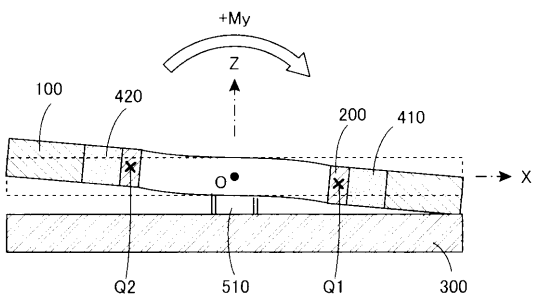
【 図 8 】

図8



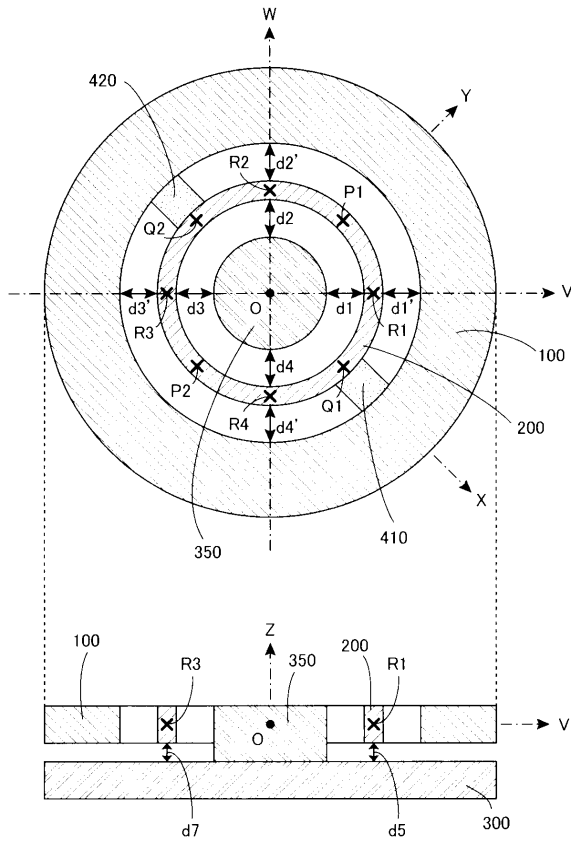
【 図 6 】

図6



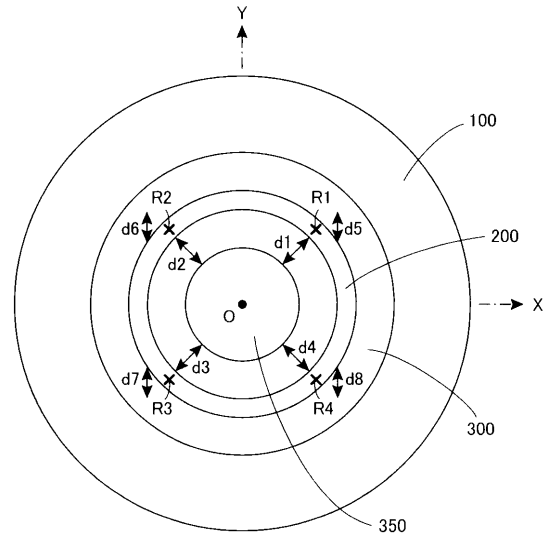
【 図 9 】

図9



【 図 1 0 】

図10



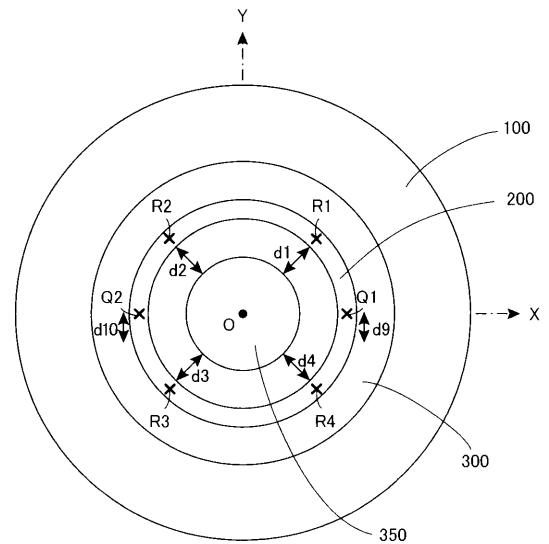
【 図 1 1 】

図11

	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8
+Fx	-	+	+	-	0	0	0	0
+Fy	+	+	-	-	0	0	0	0
+Fz	0	0	0	0	+	+	+	+
+Mx	0	0	0	0	+	+	-	-
+My	0	0	0	0	-	+	+	-
+Mz	+	-	+	-	0	0	0	0

【 図 1 2 】

図12



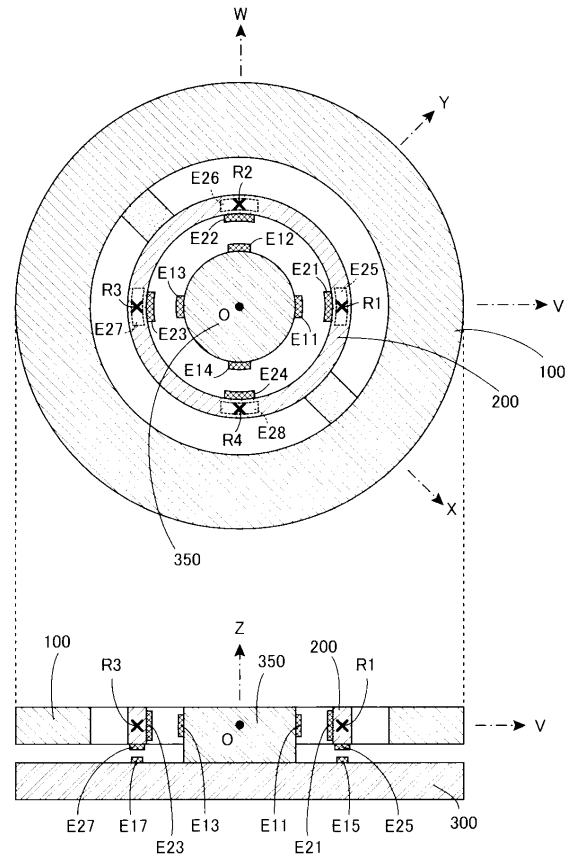
【 図 1 3 】

図13

	d1	d2	d3	d4	d9	d10
+Fx	-	+	+	-	0	0
+Fy	+	+	-	-	0	0
+Fz	0	0	0	0	+	+
+Mx	0	0	0	0	0	0
+My	0	0	0	0	-	+
+Mz	+	-	+	-	0	0

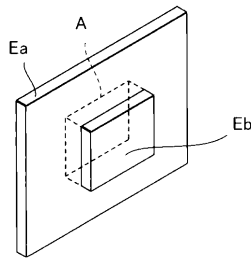
【 図 1 4 】

図14



【 図 1 5 】

図15



【 図 1 7 】

図17

$$\begin{aligned}
 F_x &= (C1 + C4) - (C2 + C3) \\
 F_y &= (C3 + C4) - (C1 + C2) \\
 F_z &= -(C5 + C6 + C7 + C8) \\
 M_x &= (C7 + C8) - (C5 + C6) \\
 M_y &= (C5 + C8) - (C6 + C7) \\
 M_z &= (C2 + C4) - (C1 + C3)
 \end{aligned}$$

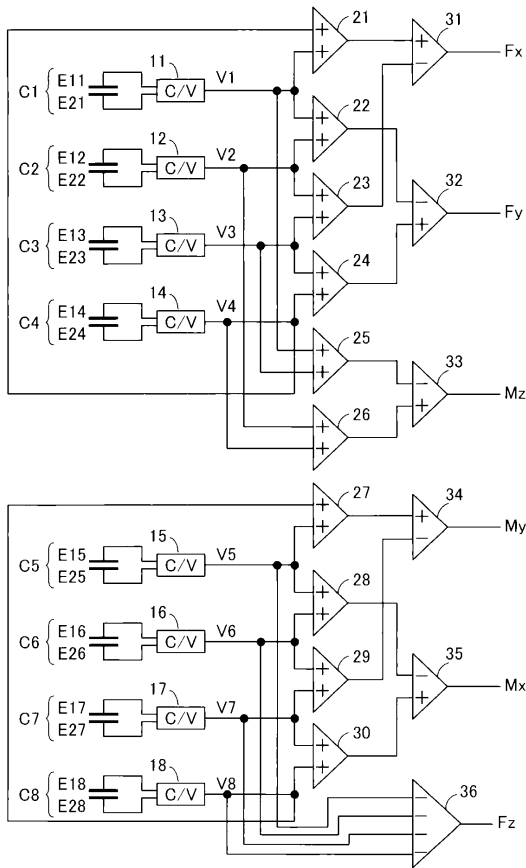
【 図 1 6 】

図16

	C1 (E11&E21)	C2 (E12&E22)	C3 (E13&E23)	C4 (E14&E24)	C5 (E15&E25)	C6 (E16&E26)	C7 (E17&E27)	C8 (E18&E28)
+Fx	+	-	-	+	0	0	0	0
+Fy	-	-	+	+	0	0	0	0
+Fz	0	0	0	0	-	-	-	-
+Mx	0	0	0	0	-	-	+	+
+My	0	0	0	0	+	-	-	+
+Mz	-	+	-	+	0	0	0	0

【 図 1 8 】

図18



【 図 1 9 】

図19

	C1 (E11&E21)	C2 (E12&E22)	C3 (E13&E23)	C4 (E14&E24)	C9 (E19&E29)	C10 (E20&E30)
+Fx	+	-	-	+	0	0
+Fy	-	-	+	+	0	0
+Fz	0	0	0	0	-	-
+Mx	0	0	0	0	0	0
+My	0	0	0	0	+	-
+Mz	-	+	-	+	0	0

【 図 2 0 】

図20

$$F_x = (C1 + C4) - (C2 + C3)$$

$$F_y = (C3 + C4) - (C1 + C2)$$

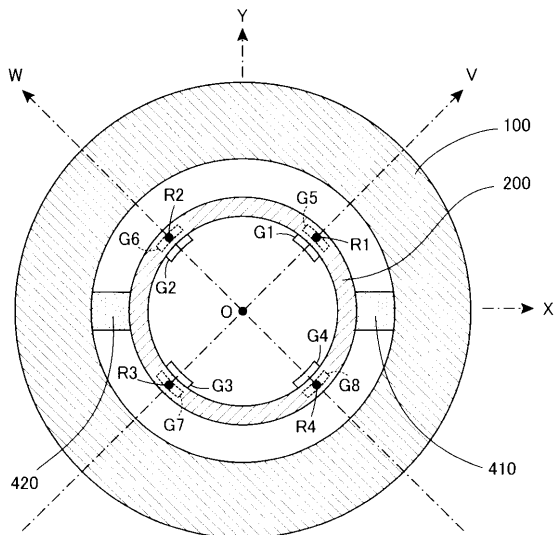
$$F_z = -(C9 + C10)$$

$$M_y = C9 - C10$$

$$M_z = (C2 + C4) - (C1 + C3)$$

【 図 2 2 】

図22



【 図 2 3 】

図23

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
+Fx	+	-	-	+	0	0	0	0
+Fy	-	-	+	+	0	0	0	0
+Fz	0	0	0	0	+	+	+	+
+Mx	0	0	0	0	-	-	+	+
+My	0	0	0	0	-	+	+	-
+Mz	-	+	-	+	0	0	0	0

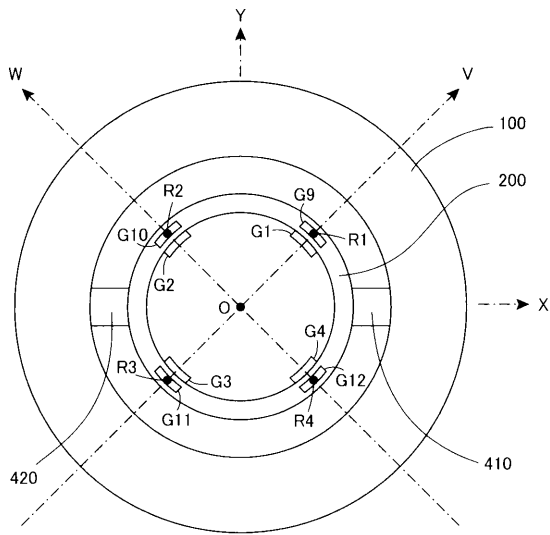
【 図 2 4 】

図24

	応力 (MPa)							
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
+Fx	8.362	-8.358	-8.363	8.360	1.289	-1.286	-1.289	1.288
+Fy	-7.973	-7.971	7.972	7.969	-1.247	-1.245	1.249	1.247
+Fz	-0.031	-0.032	-0.031	-0.032	0.893	0.894	0.893	0.894
+Mx	-0.001	-0.006	0.002	0.007	-3.322	-3.321	3.323	3.323
+My	-0.015	0.014	0.017	-0.016	-4.294	4.294	4.292	-4.295
+Mz	-6.887	6.882	-6.888	6.882	-1.258	1.253	-1.257	1.257

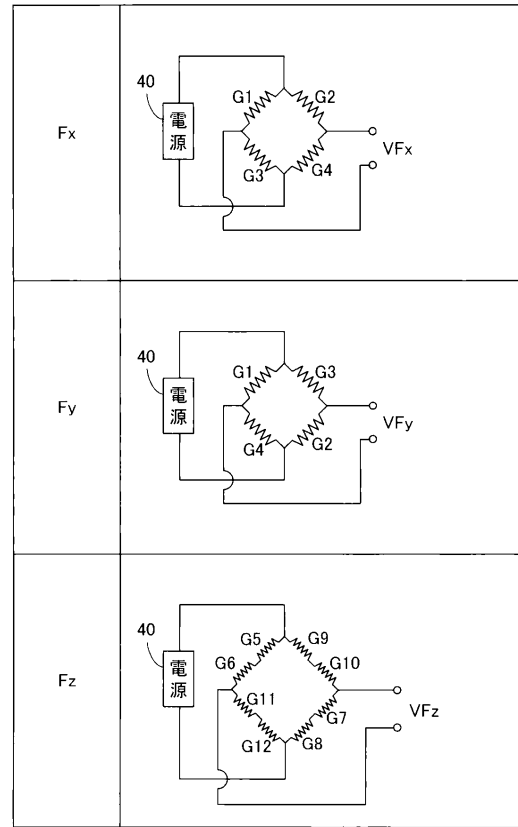
【 図 2 5 】

図25



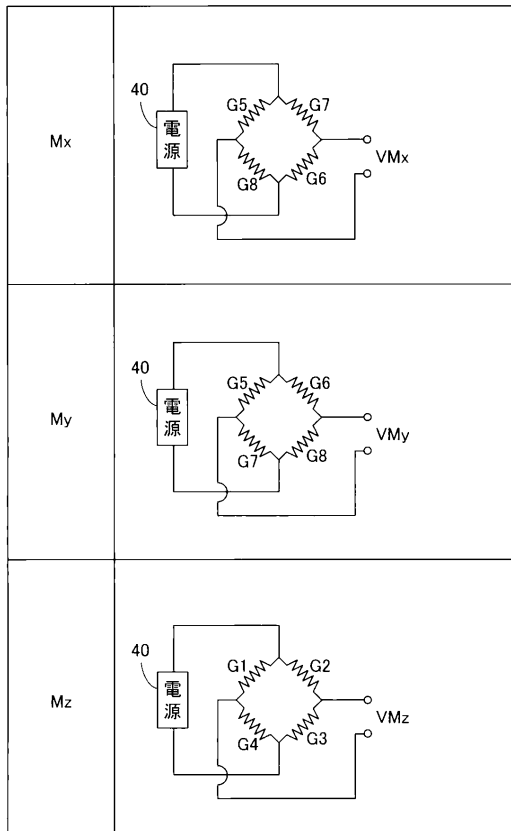
【 図 2 6 】

図26



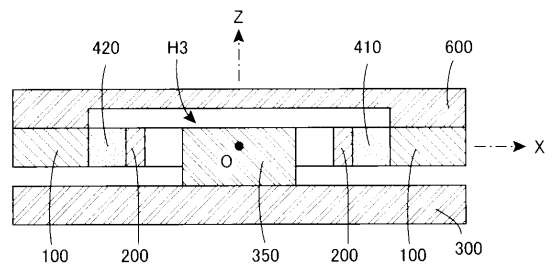
【 図 2 7 】

図27



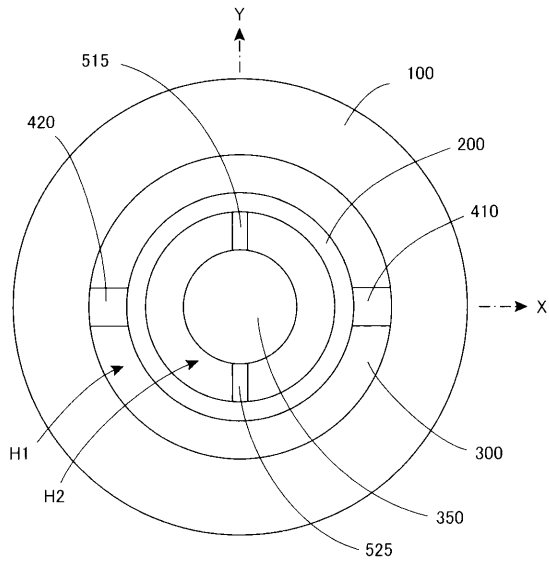
【 図 2 8 】

図28



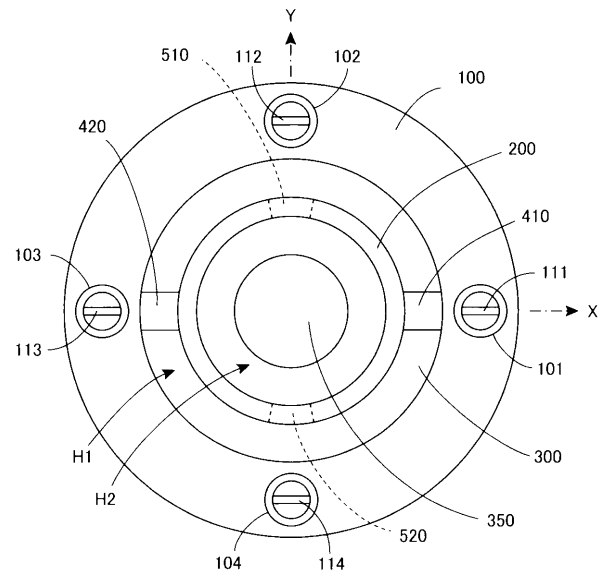
【 図 2 9 】

図29



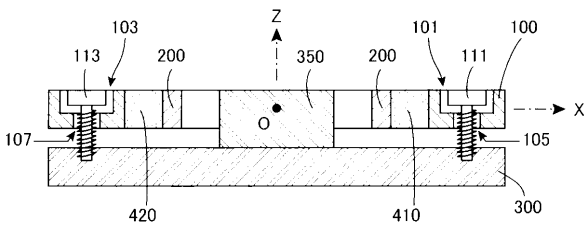
【 図 3 0 】

図30



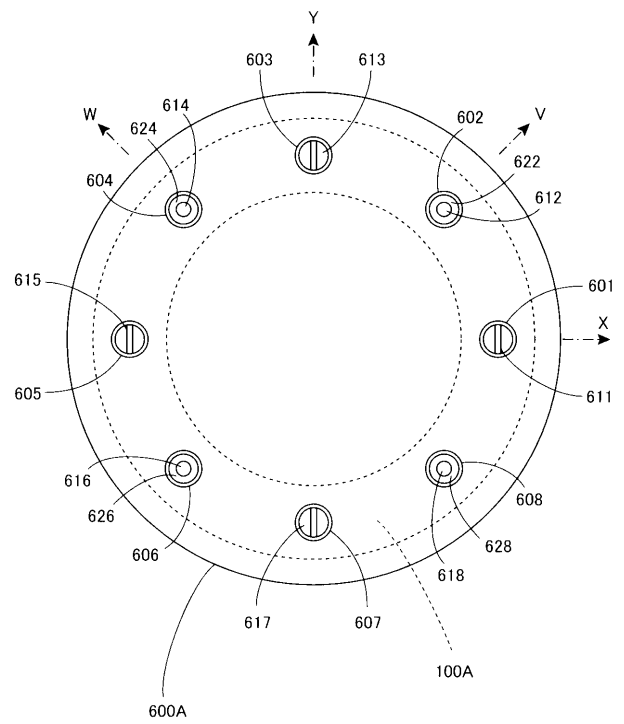
【 図 3 1 】

図31



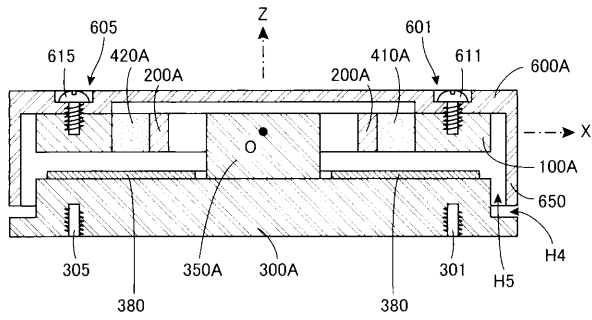
【 図 3 2 】

図32



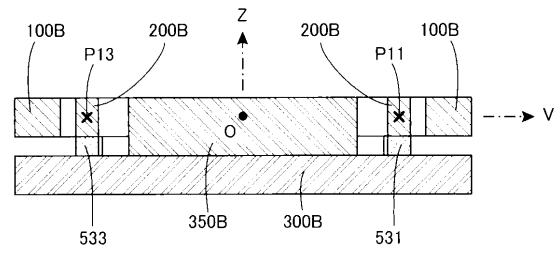
【 図 3 3 】

図33



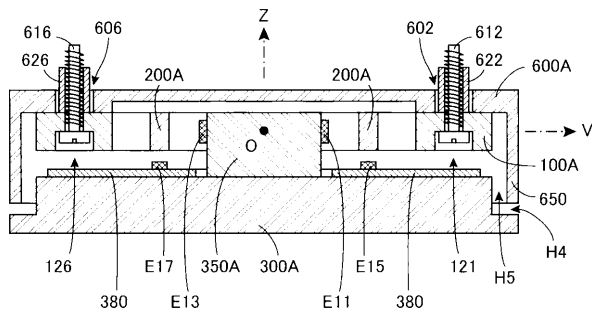
【 図 3 6 】

図36



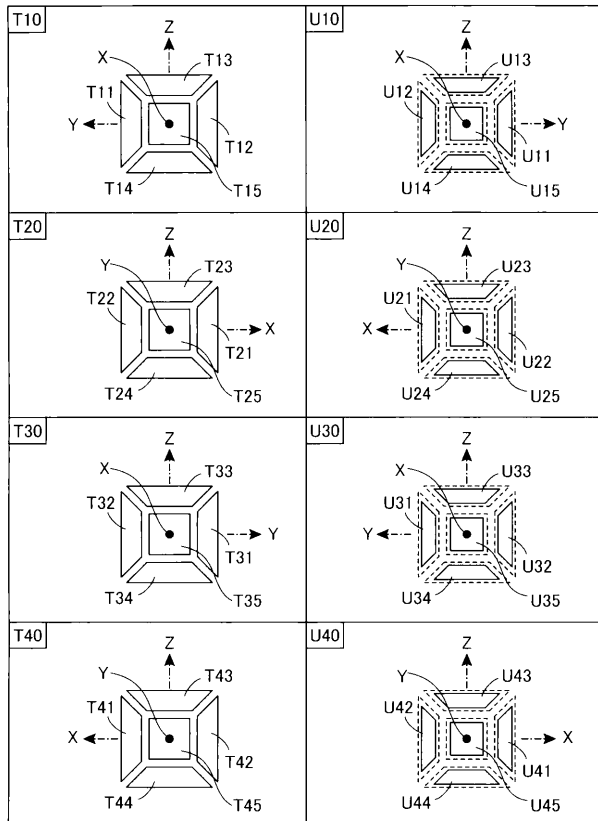
【 図 3 4 】

図34



【 図 3 8 】

図38



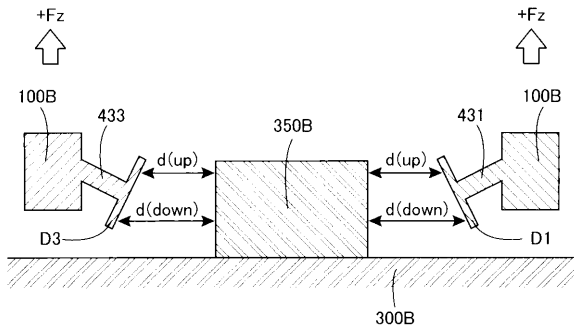
【 図 3 9 】

図39

	容量素子群 (C10)					容量素子群 (C20)				
	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25
+Fx	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
+Fy	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
+Fz	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Mx	0	0	0	0	0	0	0	+	-	0
+My	0	0	-	+	0	0	0	0	0	0
+Mz	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
	容量素子群 (C30)					容量素子群 (C40)				
	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C43	C44	C45
+Fx	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0
+Fy	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+
+Fz	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Mx	0	0	0	0	0	0	0	-	+	0
+My	0	0	+	-	0	0	0	0	0	0
+Mz	-	+	0	0	0	-	+	0	0	0

【 図 4 0 】

図40



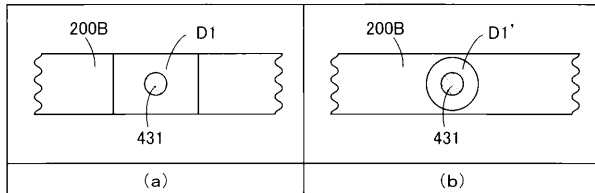
【 図 4 2 】

図42

F _x	$F_x = -(C_{11}+C_{12}+C_{13}+C_{14}+C_{15}) + (C_{31}+C_{32}+C_{33}+C_{34}+C_{35})$ <p>または</p> $= -(C_{11}+C_{12}+C_{13}+C_{14}) + (C_{31}+C_{32}+C_{33}+C_{34})$ <p>または</p> $= -C_{15}+C_{35}$
F _y	$F_y = -(C_{21}+C_{22}+C_{23}+C_{24}+C_{25}) + (C_{41}+C_{42}+C_{43}+C_{44}+C_{45})$ <p>または</p> $= -(C_{21}+C_{22}+C_{23}+C_{24}) + (C_{41}+C_{42}+C_{43}+C_{44})$ <p>または</p> $= -C_{25}+C_{45}$
F _z	$F_z = (C_{13}+C_{23}+C_{33}+C_{43}) - (C_{14}+C_{24}+C_{34}+C_{44})$
M _x	$M_x = (C_{23}+C_{44}) - (C_{24}+C_{43})$
M _y	$M_y = (C_{14}+C_{33}) - (C_{13}+C_{34})$
M _z	$M_z = (C_{11}+C_{21}+C_{32}+C_{42}) - (C_{12}+C_{22}+C_{31}+C_{41})$

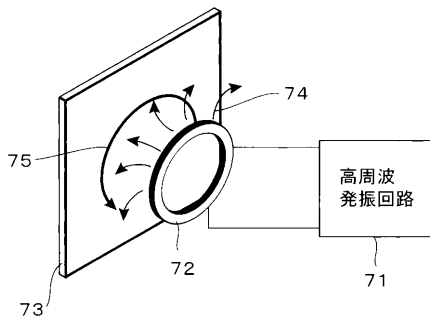
【 図 4 3 】

図43



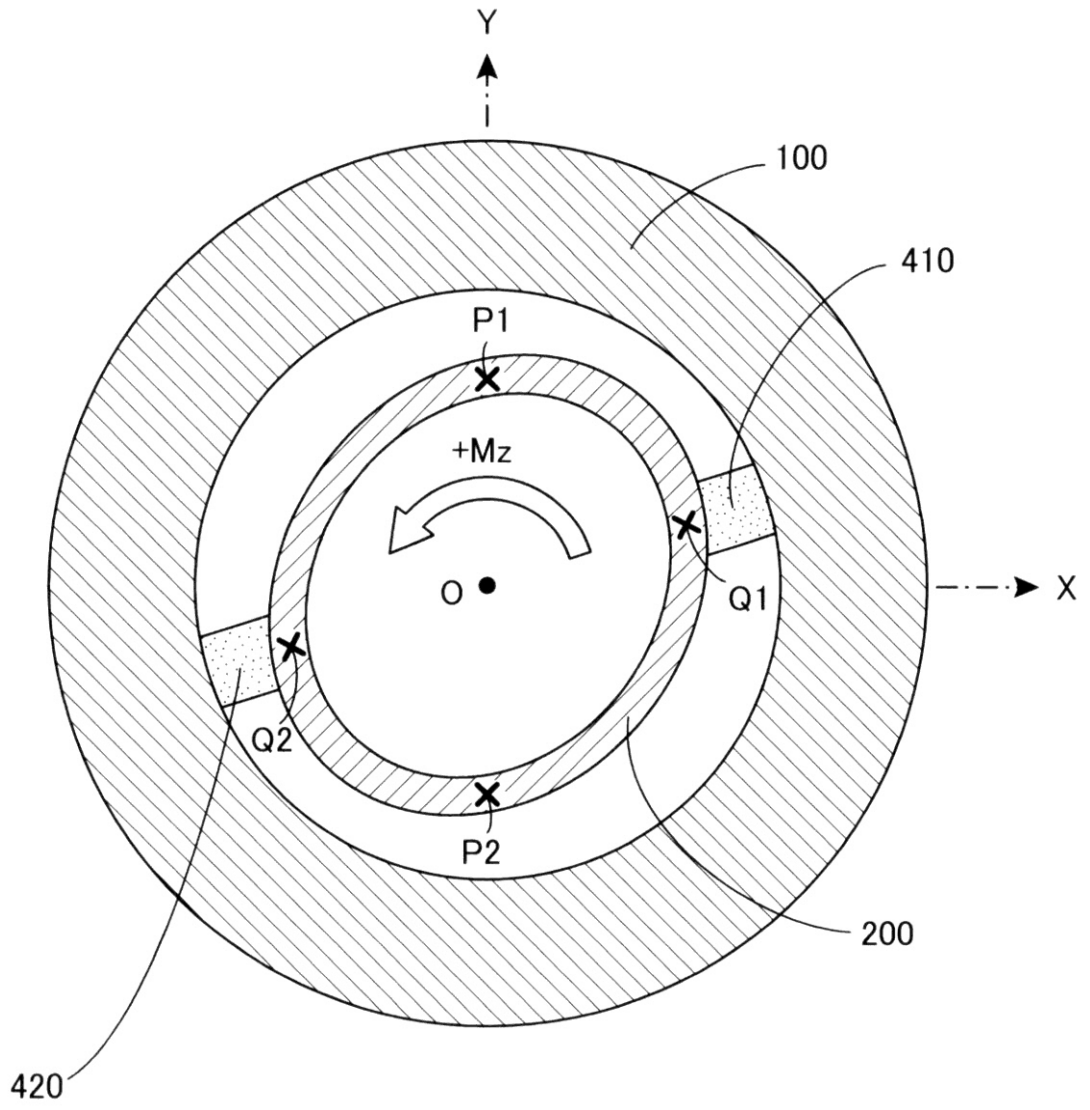
【 図 4 6 】

図46



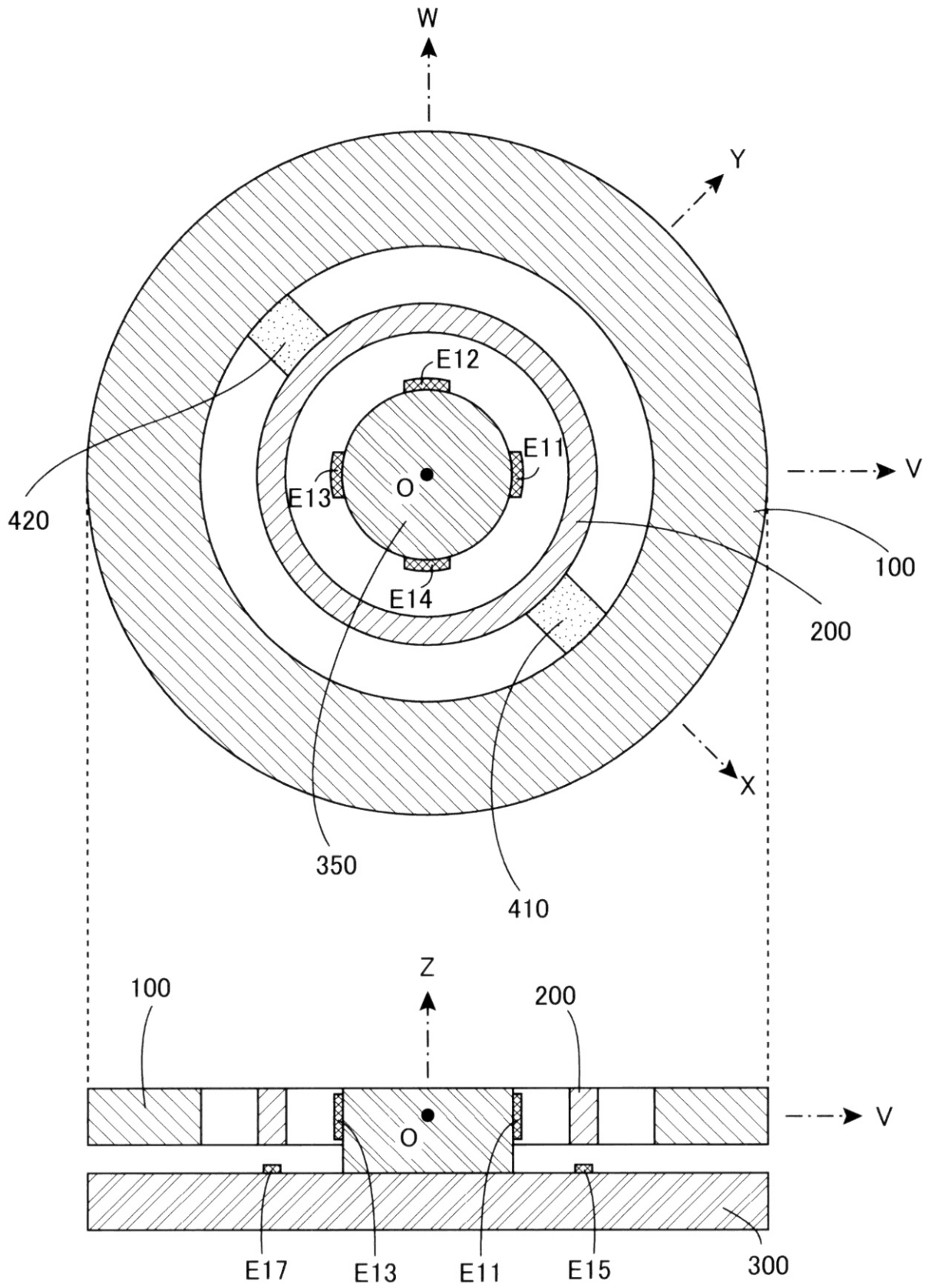
【図7】

図7



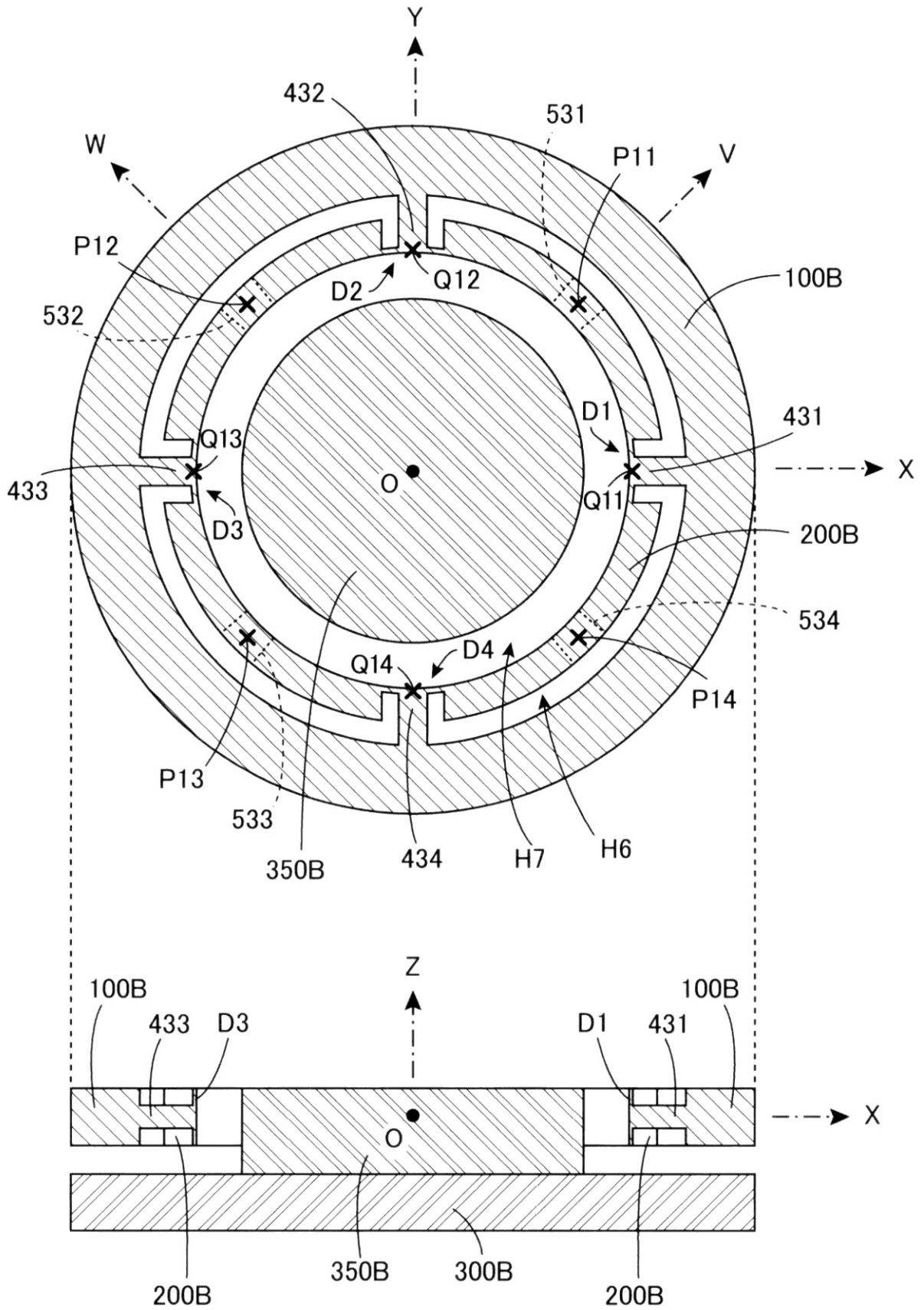
【図 21】

図21



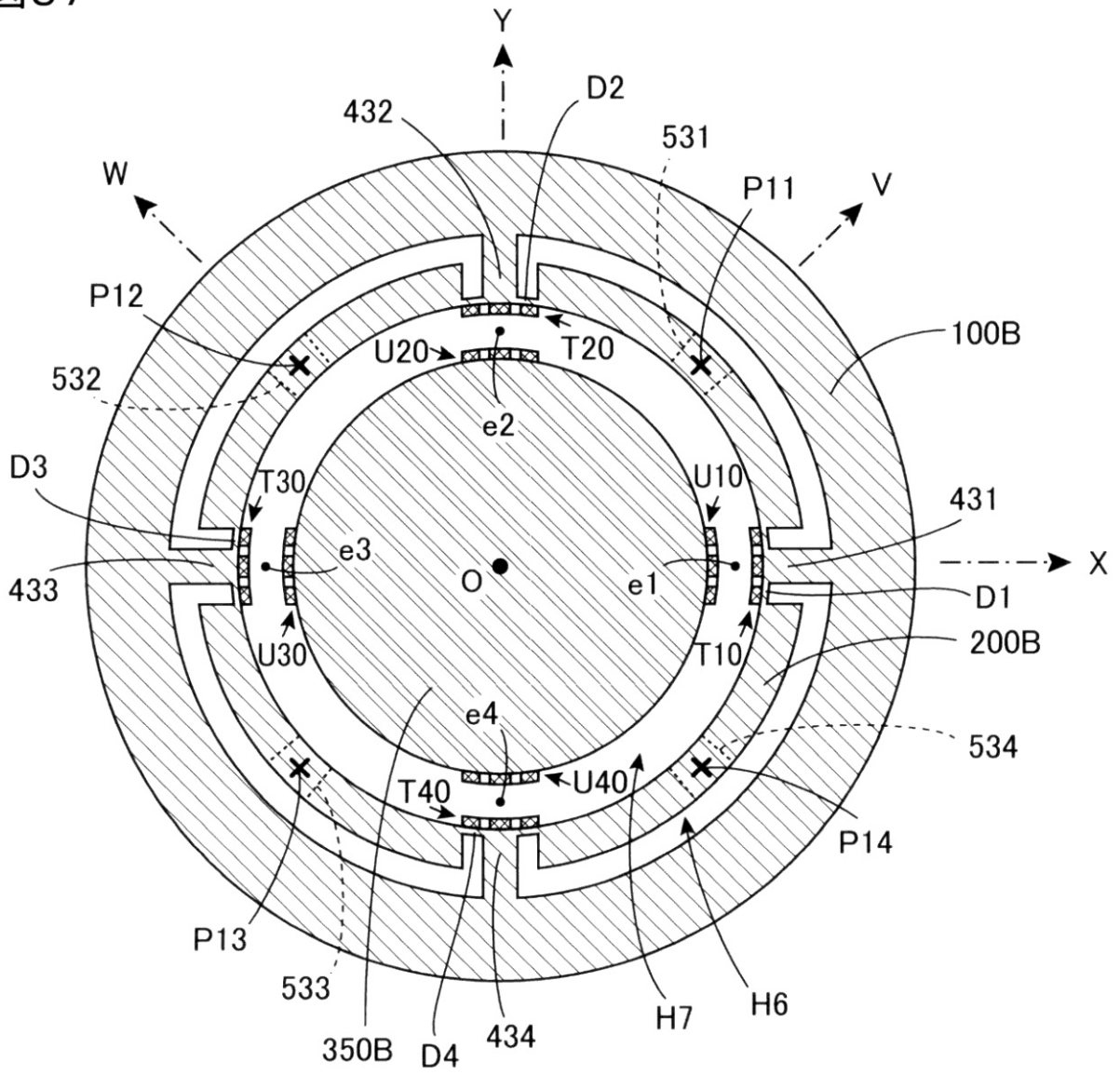
【図35】

図35



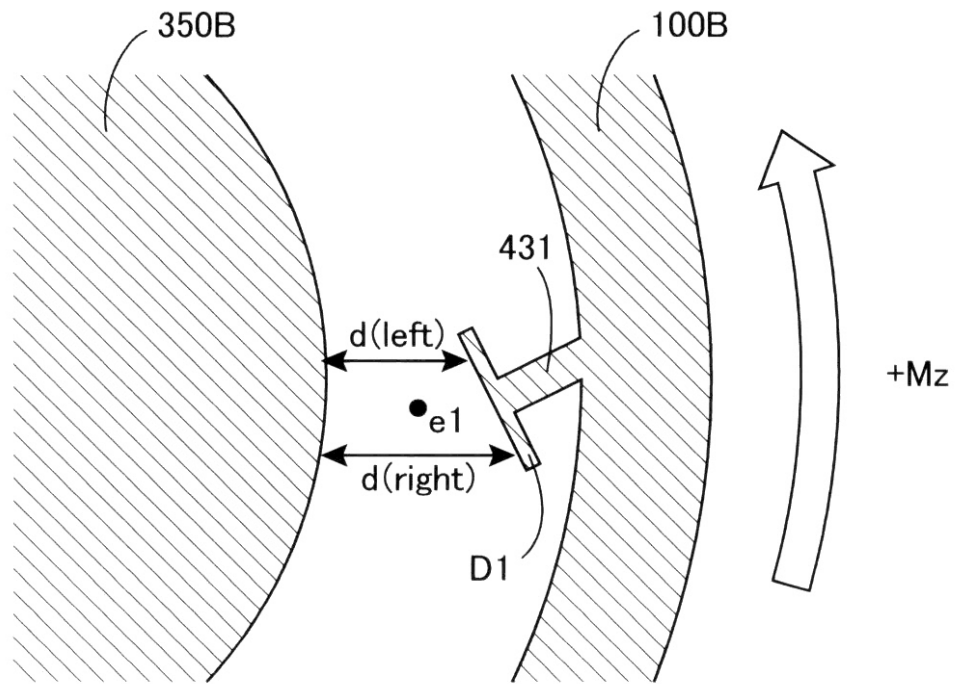
【 図 37 】

図37



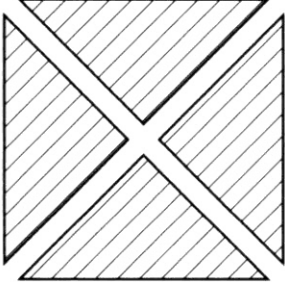
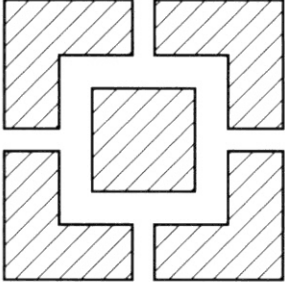
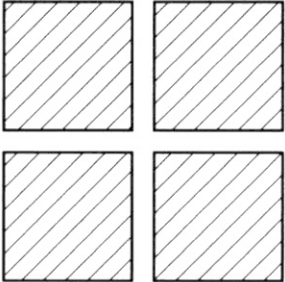
【 図 4 1 】

図 4 1



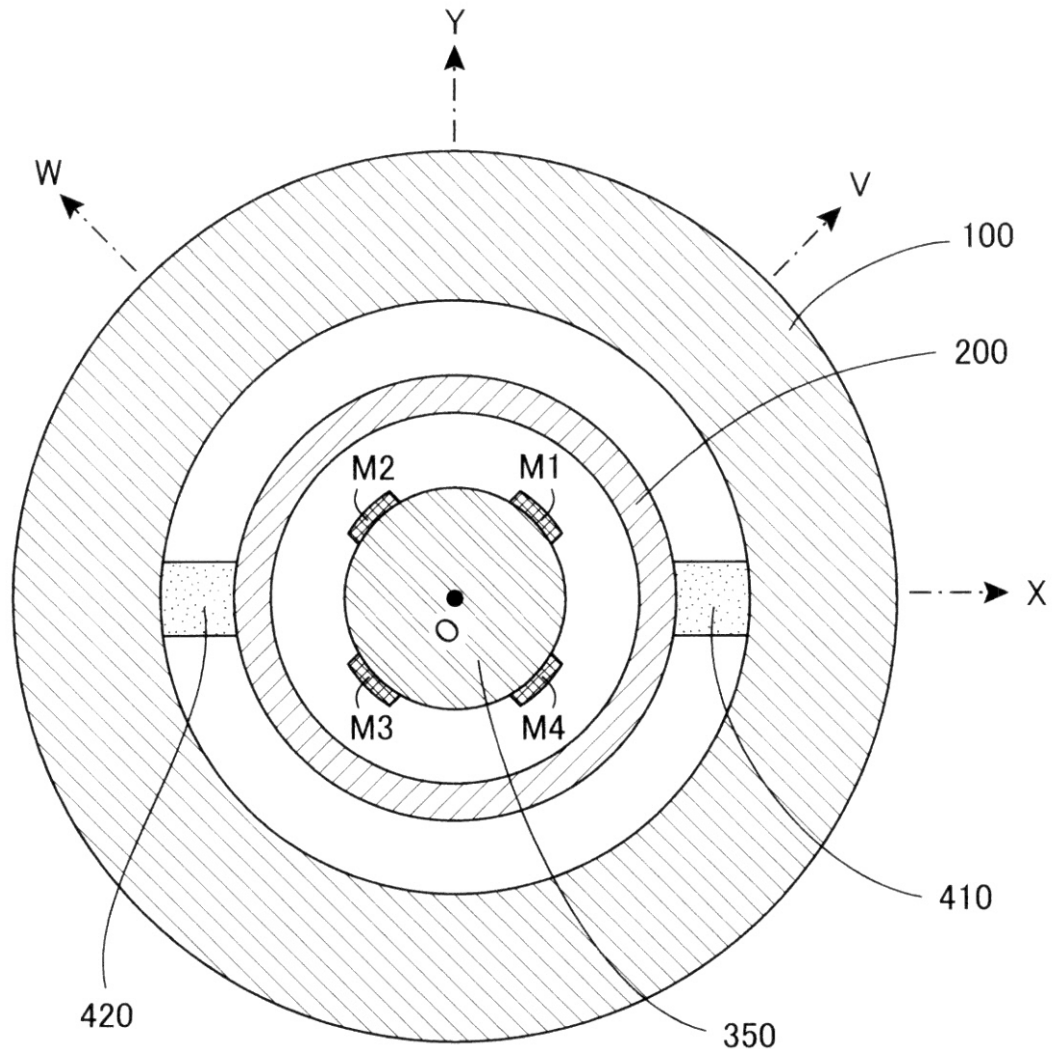
【 図 4 4 】

図44

(a)	
(b)	
(c)	

【図45】

図45



【手続補正書】

【提出日】平成24年1月11日(2012.1.11)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、力覚センサに関し、特に、三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを検出するのに適した薄型のセンサに関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットや産業機械の動作制御を行うために、種々のタイプの力覚センサが利用されている。また、電子機器の入力装置のマン・マシンインターフェイスとしても、小型の力覚センサが組み込まれている。このような用途に用いる力覚センサには、小型化およびコストダウンを図るために、できるだけ構造を単純にするとともに、三次元空間内での各座標

軸に関する力をそれぞれ独立して検出できるようにすることが要求される。

【0003】

現在、一般に利用されている多軸力覚センサは、機械的構造部に作用した力の特定の方向成分を、特定の部分に生じた変位として検出するタイプのもので、特定の部分に生じた機械的な歪みとして検出するタイプのものに分類される。前者の変位検出タイプの代表格は、静電容量素子式の力覚センサであり、一对の電極により容量素子を構成しておき、作用した力によって一方の電極に生じた変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出するものである。たとえば、下記の特許文献1（対応米国公報が特許文献2）や特許文献3（対応米国公報が特許文献4）には、この静電容量式の多軸力覚センサが開示されている。

【0004】

一方、後者の機械的な歪み検出タイプの代表格は、歪みゲージ式の力覚センサであり、作用した力によって生じた機械的な歪みを、ストレインゲージなどの電気抵抗の変化として検出するものである。たとえば、下記の特許文献5（対応米国公報が特許文献6）には、この歪みゲージ式の多軸力覚センサが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2004-325367号公報

【特許文献2】米国特許第7219561号公報

【特許文献3】特開2004-354049号公報

【特許文献4】米国特許第6915709号公報

【特許文献5】特開平8-122178号公報

【特許文献6】米国特許第5490427号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上述した各特許文献が開示されている多軸力覚センサは、いずれも機械的構造部の厚みが大きくならざるを得ず、装置全体を薄型化することが困難である。その一方で、ロボット、産業機械、電子機器用入力装置などの分野では、より薄型の力覚センサの登場が望まれている。

【0007】

そこで本発明は、構造が単純で薄型化を図ることが可能な力覚センサを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

(1) 本発明の第1の態様は、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサにおいて、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に、かつ、受カリングの内側もしくは外側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

XY平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

検出リングを所定の作用点の位置において受カリングに接続する接続部材と、

検出リングを所定の固定点の位置において支持基板に固定する固定部材と、

検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、

検出素子の検出結果に基づいて、支持基板を固定した状態において、受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する

検出回路と、

を設け、

作用点の X Y 平面への投影像と固定点の X Y 平面への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。

【 0 0 0 9 】

(2) 本発明の第 2 の態様は、上述した第 1 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とを交互に配置し、

検出素子が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 1 0 】

(3) 本発明の第 3 の態様は、上述した第 2 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点、第 1 の固定点、第 2 の作用点、第 2 の固定点の順に、2 個の作用点および 2 個の固定点を配置し、

環状路における第 1 の作用点と第 1 の固定点との間の位置に配置された第 1 の測定点、環状路における第 1 の固定点と第 2 の作用点との間の位置に配置された第 2 の測定点、環状路における第 2 の作用点と第 2 の固定点との間の位置に配置された第 3 の測定点、環状路における第 2 の固定点と第 1 の作用点との間の位置に配置された第 4 の測定点をそれぞれ定義したときに、検出素子が、第 1 ~ 第 4 の測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 1 1 】

(4) 本発明の第 4 の態様は、上述した第 3 の態様に係る力覚センサにおいて、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 1 の固定点が Y 軸正領域に、第 2 の作用点が X 軸負領域に、第 2 の固定点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、検出リングの第 1 の作用点近傍が受入力リングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、検出リングの第 2 の作用点近傍が受入力リングに接続されており、

検出素子が、X Y 平面の第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限にそれぞれ配置された第 1 の測定点、第 2 の測定点、第 3 の測定点、第 4 の測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 1 2 】

(5) 本発明の第 5 の態様は、上述した第 4 の態様に係る力覚センサにおいて、

X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点が V 軸正領域に、第 2 の測定点が W 軸正領域に、第 3 の測定点が V 軸負領域に、第 4 の測定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されているようにしたものである。

【 0 0 1 3 】

(6) 本発明の第 6 の態様は、上述した第 1 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とが交互に配置されており、

検出リングの n 個の作用点の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部を構成し、

複数 n 個の接続部材は各ダイアフラム部に接続されており、

検出素子が、各ダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 1 4 】

(7) 本発明の第 7 の態様は、上述した第 6 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点、第 1 の固定点、第 2 の作用点、第 2 の固定点、第 3 の作用点、第 3 の固定点、第 4 の作用点、第 4 の固定点の順に、4 個の

作用点および4個の固定点が配置されており、

検出リングの第1の作用点の近傍部分は第1のダイアフラム部を構成し、検出リングの第2の作用点の近傍部分は第2のダイアフラム部を構成し、検出リングの第3の作用点の近傍部分は第3のダイアフラム部を構成し、検出リングの第4の作用点の近傍部分は第4のダイアフラム部を構成し、

検出素子が、第1～第4のダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出するようにしたものである。

【0015】

(8) 本発明の第8の態様は、上述した第7の態様に係る力覚センサにおいて、

第1の作用点がX軸正領域に、第2の作用点がY軸正領域に、第3の作用点がX軸負領域に、第4の作用点がY軸負領域に、それぞれ配置されており、第1のダイアフラム部がX軸正領域に位置し、第2のダイアフラム部がY軸正領域に位置し、第3のダイアフラム部がX軸負領域に位置し、第4のダイアフラム部がY軸負領域に位置し、

X Y Z三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がX Y平面の第1象限、負の領域がX Y平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなすV軸と、X Y Z三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がX Y平面の第2象限、負の領域がX Y平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の固定点がV軸正領域に、第2の固定点がW軸正領域に、第3の固定点がV軸負領域に、第4の固定点がW軸負領域に、それぞれ配置されており、

X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材により、第1のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y軸正領域に沿って伸びる第2の接続部材により、第2のダイアフラム部が受カリングに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第3の接続部材により、第3のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材により、第4のダイアフラム部が受カリングに接続されているようにしたものである。

【0016】

(9) 本発明の第9の態様は、上述した第1～第8の態様に係る力覚センサにおいて、固定部材が、検出リングの下面と支持基板の上面とを接続するようにしたものである。

【0017】

(10) 本発明の第10の態様は、上述した第1～第8の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングが配置されており、検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体が設けられており、

固定部材が、検出リングの内周面と固定補助体の外周面とを接続するようにしたものである。

【0018】

(11) 本発明の第11の態様は、上述した第1～第10の態様に係る力覚センサにおいて、

X Y平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの上方に所定間隔をおいて配置された受カ基板を更に設け、

受カ基板の下面の一部は、受カリングの上面に接続されており、

受カ基板の下面と検出リングの上面との間には、所定の空隙部が形成されているようにしたものである。

【0019】

(12) 本発明の第12の態様は、上述した第11の態様に係る力覚センサにおいて、

受カ基板の下面外周部には、受カリングおよび検出リングを包摂する包摂筒状体が接続されており、包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部との間には空隙部が形成されており、

受カ基板に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部とが接触して、受カ基板の変位が制限されるように、空隙

部の寸法が設定されているようにしたものである。

【 0 0 2 0 】

(13) 本発明の第 1 3 の態様は、上述した第 1 ~ 第 1 2 の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングの所定箇所に上下に貫通する貫通孔を形成し、受カリングの上面の貫通孔の位置に当該貫通孔よりも径の大きな溝部を形成し、

貫通孔を挿通して先端部が支持基板に固定され、頭部が溝部に収容された変位制御ネジを更に設け、変位制御ネジと貫通孔の内面および溝部の内面との間には空隙部が形成されるようにし、

受カリングに所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、変位制御ネジと貫通孔の内面もしくは溝部の内面とが接触して、受カリングの変位が制限されるように、空隙部の寸法を設定したものである。

【 0 0 2 1 】

(14) 本発明の第 1 4 の態様は、上述した第 1 ~ 第 1 3 の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングを、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成したものである。

【 0 0 2 2 】

(15) 本発明の第 1 5 の態様は、上述した第 1 ~ 第 1 4 の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングによって構成したものである。

【 0 0 2 3 】

(16) 本発明の第 1 6 の態様は、上述した第 1 ~ 第 1 5 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板を、支持基板の上面に設けるようにしたものである。

【 0 0 2 4 】

(17) 本発明の第 1 7 の態様は、上述した第 1 ~ 第 1 6 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子により、検出リングの所定の測定点の変位を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 2 5 】

(18) 本発明の第 1 8 の態様は、上述した第 1 7 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの測定点近傍の測定対象面と、受カリングの測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 2 6 】

(19) 本発明の第 1 9 の態様は、上述した第 1 7 の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体を設け、

検出素子が、検出リングの内周面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、固定補助体の外周に位置し測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 2 7 】

(20) 本発明の第 2 0 の態様は、上述した第 1 7 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの下面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、支持基板の上面に位置し測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出するようにしたものである。

【 0 0 2 8 】

(21) 本発明の第 2 1 の態様は、上述した第 1 8 ~ 第 2 0 の態様に係る力覚センサにお

いて、

検出素子を、測定対象面に設けられた変位電極と、対向基準面に設けられた固定電極と、を有する容量素子によって構成したものである。

【0029】

(22) 本発明の第22の態様は、上述した第21の態様に係る力覚センサにおいて、検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として容量素子を構成したものである。

【0030】

(23) 本発明の第23の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの少なくとも測定対象面を導電性材料によって構成し、
検出素子を、対向基準面に設けられた渦電流変位計によって構成したものである。

【0031】

(24) 本発明の第24の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの少なくとも測定対象面を磁石によって構成し、
検出素子を、対向基準面に設けられたホール素子によって構成したものである。

【0032】

(25) 本発明の第25の態様は、上述した第18～第20の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子を、
対向基準面に固定され、測定対象面に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、
対向基準面に固定され、測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器と、
光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路と、
によって構成したものである。

【0033】

(26) 本発明の第26の態様は、上述した第1～第16の態様に係る力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの所定の測定点の近傍位置の機械的な歪みを電氣的に検出するようにしたものである。

【0034】

(27) 本発明の第27の態様は、上述した第26の態様に係る力覚センサにおいて、
検出素子を、検出リングの測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられたストレインゲージによって構成したものである。

【0035】

(28) 本発明の第28の態様は、上述した第5の態様に係る力覚センサにおいて、
受カリングおよび検出リングの双方を、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、

検出リングの内周面の第1の測定点近傍位置に配置された第1の変位電極と、固定補助体の外周面の第1の変位電極に対向する位置に配置された第1の固定電極とによって構成される第1の容量素子と、

検出リングの内周面の第2の測定点近傍位置に配置された第2の変位電極と、固定補助

体の外周面の第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

検出リングの下面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、支持基板の上面の第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

検出リングの下面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、支持基板の上面の第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

検出リングの下面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 7 の変位電極と、支持基板の上面の第 7 の変位電極に対向する位置に配置された第 7 の固定電極とによって構成される第 7 の容量素子と、

検出リングの下面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 8 の変位電極と、支持基板の上面の第 8 の変位電極に対向する位置に配置された第 8 の固定電極とによって構成される第 8 の容量素子と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、第 1 の容量素子の静電容量値を C_1 、第 2 の容量素子の静電容量値を C_2 、第 3 の容量素子の静電容量値を C_3 、第 4 の容量素子の静電容量値を C_4 、第 5 の容量素子の静電容量値を C_5 、第 6 の容量素子の静電容量値を C_6 、第 7 の容量素子の静電容量値を C_7 、第 8 の容量素子の静電容量値を C_8 としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力するようにしたものである。

【0036】

(29) 本発明の第 29 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、

受リングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受リングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、第 1 の作用点を第 5 の測定点とし、第 2 の作用点を第 6 の測定点として、

検出リングの内周面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、固定補助

体の外周面の第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、固定補助体の外周面の第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

検出リングの下面の第 5 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、支持基板の上面の第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

検出リングの下面の第 6 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、支持基板の上面の第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、第 1 の容量素子の静電容量値を C_1 、第 2 の容量素子の静電容量値を C_2 、第 3 の容量素子の静電容量値を C_3 、第 4 の容量素子の静電容量値を C_4 、第 5 の容量素子の静電容量値を C_9 、第 6 の容量素子の静電容量値を C_{10} としたときに、

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

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

$$F_z = - (C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力するようにしたものである。

【0037】

(30) 本発明の第 30 の態様は、上述した第 28 または第 29 の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として各容量素子を構成したものである。

【0038】

(31) 本発明の第 31 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、

受リングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受リングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出素子を、検出リングの第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージによって構成し、

検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、検出リングの上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面と定義したときに、複数のストレインゲージは、

横方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと

、

横方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと

、

縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージと

、

縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージと、
 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージと、
 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージと、
 の 8 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成されるようにし、
 検出回路が、
 第 1 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、
 第 1 属性のストレインゲージと第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 3 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、
 第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 7 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、
 第 5 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 6 属性のストレインゲージと第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、
 第 1 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力するようにしたものである。

【0039】

(32) 本発明の第 3 2 の態様は、上述した第 5 の態様に係る力覚センサにおいて、
 受リングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングによって構成し、
 受リングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、
 検出素子を、検出リングの第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージによって構成し、検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、
 検出リングの上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配置面と定義したときに、複数のストレインゲージは、
 横方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと、
 横方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと、
 横方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと、
 横方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージと、
 検出リングの第 1 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 9 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 10 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 11 属性のストレインゲージと、

検出リングの第 2 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 12 属性のストレインゲージと、

の 12 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成されるようにし、検出回路が、

第 1 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

第 1 属性のストレインゲージと第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 3 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、第 7 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、第 9 属性のストレインゲージと第 10 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、第 11 属性のストレインゲージと第 12 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 7 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

第 5 属性のストレインゲージと第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 6 属性のストレインゲージと第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

第 1 属性のストレインゲージと第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージと第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力するようにしたものである。

【0040】

(33) 本発明の第 33 の態様は、上述した第 8 の態様に係る力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングによって構成し、

受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングを配置し、

検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体を設け、

検出素子を、

検出リングの内周面の第 1 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 1 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 1 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 1 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 1 容量素子群と、

検出リングの内周面の第 2 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 2 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 2 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 2 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 2 容量素子群と、

検出リングの内周面の第 3 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 3 変位電極群と、固定補助体の外周面の第 3 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 3 固定電極群と、によって構成される

複数の容量素子からなる第3容量素子群と、

検出リングの内周面の第4のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第4変位電極群と、固定補助体の外周面の第4変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第4固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第4容量素子群と、

によって構成し、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、当該他方の電極の内部に包含されるようにし、

検出回路が、各容量素子の静電容量値に基づいて検出値を出力するようにしたものである。

【0041】

(34) 本発明の第34の態様は、上述した第33の態様に係る力覚センサにおいて、

第1容量素子群が、X軸上に配置された第1群の軸上容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第1群の第1容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第1群の第2容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第1群の第3容量素子と、第1群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第1群の第4容量素子と、を有し、

第2容量素子群が、Y軸上に配置された第2群の軸上容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第2群の第1容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してX軸負方向に隣接配置された第2群の第2容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第2群の第3容量素子と、第2群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第2群の第4容量素子と、を有し、

第3容量素子群が、X軸上に配置された第3群の軸上容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第3群の第1容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第3群の第2容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第3群の第3容量素子と、第3群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第3群の第4容量素子と、を有し、

第4容量素子群が、Y軸上に配置された第4群の軸上容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第4群の第1容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してX軸負方向に隣接配置された第4群の第2容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第4群の第3容量素子と、第4群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第4群の第4容量素子と、を有し、

検出回路が、

第1群の第1容量素子の静電容量値をC11、第1群の第2容量素子の静電容量値をC12、第1群の第3容量素子の静電容量値をC13、第1群の第4容量素子の静電容量値をC14、第1群の軸上容量素子の静電容量値をC15とし、

第2群の第1容量素子の静電容量値をC21、第2群の第2容量素子の静電容量値をC22、第2群の第3容量素子の静電容量値をC23、第2群の第4容量素子の静電容量値をC24、第2群の軸上容量素子の静電容量値をC25とし、

第3群の第1容量素子の静電容量値をC31、第3群の第2容量素子の静電容量値をC32、第3群の第3容量素子の静電容量値をC33、第3群の第4容量素子の静電容量値をC34、第3群の軸上容量素子の静電容量値をC35とし、

第4群の第1容量素子の静電容量値をC41、第4群の第2容量素子の静電容量値をC42、第4群の第3容量素子の静電容量値をC43、第4群の第4容量素子の静電容量値をC44、第4群の軸上容量素子の静電容量値をC45としたときに、

$$\begin{aligned}
 F_x &= - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) \\
 &\quad + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35}) \quad \text{または} \\
 &= - (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14}) \\
 &\quad + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34}) \quad \text{または} \\
 &= - C_{15} + C_{35}
 \end{aligned}$$

$$F_y = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25})$$

$$\begin{aligned}
 & + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) \quad \text{または} \\
 & = - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24}) \\
 & + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44}) \quad \text{または} \\
 & = - C_{25} + C_{45} \\
 F_z = & (C_{13} + C_{23} + C_{33} + C_{43}) \\
 & - (C_{14} + C_{24} + C_{34} + C_{44}) \\
 M_x = & (C_{23} + C_{44}) - (C_{24} + C_{43}) \\
 M_y = & (C_{14} + C_{33}) - (C_{13} + C_{34}) \\
 M_z = & (C_{11} + C_{21} + C_{32} + C_{42}) \\
 & - (C_{12} + C_{22} + C_{31} + C_{41})
 \end{aligned}$$

なる演算式に基づいて、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力するようにしたものである。

【0042】

(35) 本発明の第35の態様は、上述した第33または第34の態様に係る力覚センサにおいて、

検出リングの少なくともダイアフラム部を可撓性をもった導電性材料によって構成し、このダイアフラム部の表面を共通変位電極として各容量素子を構成したものである。

【発明の効果】

【0043】

本発明によれば、構造が単純で薄型化を図ることが可能な力覚センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】本発明の基本的な実施形態に係る力覚センサの基本構造部の上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。

【図2】図1に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびXZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図3】図1に示す基本構造部の支持基板300および固定部材510, 520の上面図（上段の図）、ならびに、この基本構造部をYZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図4】図1に示す基本構造部の受カリング100にX軸正方向の力 $+F_x$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図（上段の図）およびXZ平面における縦断面図（下段の図）である。

【図5】図1に示す基本構造部の受カリング100にZ軸正方向の力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。

【図6】図1に示す基本構造部の受カリング100にY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。

【図7】図1に示す基本構造部の受カリング100にZ軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図である。

【図8】図1に示す基本構造部に、変位検出用の固定補助体350を付加した実施形態を示す上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。

【図9】図8に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびVZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図10】図8に示す基本構造部における距離測定箇所を示す上面図である。

【図11】図10に示す基本構造部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距離 $d_1 \sim d_8$ の変化を示すテーブルである。

【図12】図8に示す基本構造部における距離測定箇所の変形例を示す上面図である。

【図13】図12に示す基本構造部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距離 $d_1 \sim d_4, d_9, d_{10}$ の変化を示すテーブルである。

【図14】容量素子を用いた実施形態に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびVZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図15】図14に示す力覚センサで用いられている各容量素子の対向電極のサイズの関係を示す斜視図である。

【図16】図14に示す力覚センサ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容量素子C1～C8の静電容量値の変化を示すテーブルである。

【図17】図14に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める演算式を示す図である。

【図18】図14に示す力覚センサに用いる検出回路を示す回路図である。

【図19】図12に示す変形例に係る力覚センサ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容量素子C1～C4, C9, C10の静電容量値の変化を示すテーブルである。

【図20】図12に示す変形例に係る力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める式を示す図である。

【図21】導電性材料によって構成された検出リング200自身を、複数の変位電極として利用した変形例に係る力覚センサを、XY平面で切断した横断面図（上段の図）およびVZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図22】ストレインゲージを用いた実施形態に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図である（図示されているストレインゲージG1～G8は、実際には、それぞれ互いに平行な複数本のストレインゲージによって構成される）。

【図23】図22に示す力覚センサ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ストレインゲージG1～G8の電気抵抗の変化を示すテーブルである。

【図24】図22に示す力覚センサ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ストレインゲージG1～G8に加わる応力（単位：MPa）の具体的な測定値を示すテーブルである。

【図25】図22に示す実施形態に、更に、ストレインゲージG9～G12を付加した変形例に係る力覚センサの上面図である。

【図26】図25に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸方向の力を検出するための検出回路を示す回路図である。

【図27】図25に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸まわりのモーメントを検出するための検出回路を示す回路図である。

【図28】図1に示す基本構造部に、受力基板600を付加した形態を示すXZ平面における縦断面図である。

【図29】図1に示す基本構造部における検出リング200の固定方法を変えた変形例を示す上面図である。

【図30】図1に示す基本構造部に、変位制御構造を付加した例を示す上面図である。

【図31】図30に示す例をXZ平面で切断した縦断面図である。

【図32】容量素子を用いた実用的な実施例に係る力覚センサの上面図である。

【図33】図32に示す力覚センサをXZ平面で切断した縦断面図である。

【図34】図32に示す力覚センサをVZ平面で切断した縦断面図である。

【図35】ダイアフラム部を形成した実施形態の基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびXZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。

【図36】図35に示す基本構造部をVZ平面で切断した縦断面図である。

【図37】図35に示す基本構造部に容量素子を付加することにより構成された力覚センサをXY平面で切断した横断面図である。

【図38】図37に示す力覚センサに用いられている各容量素子の電極構成を示すテーブルである（それぞれZ軸正方向を上方にとり、図38の視点e1～e4から見た状態を示している）。

【図 3 9】図 3 7 に示す力覚センサ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容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値の変化を示すテーブルである。

【図 4 0】図 3 7 に示す力覚センサに対して、Z 軸正方向の力 + F_z が作用したときの変形状態を示す X Z 平面における縦断面図である（説明の便宜上、各部はデフォルメされている）。

【図 4 1】図 3 7 に示す力覚センサに対して、Z 軸正まわりのモーメント + M_z が作用したときの変形状態を示す X Y 平面における横断面図である（説明の便宜上、各部はデフォルメされている）。

【図 4 2】図 3 7 に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントを求める式を示す図である。

【図 4 3】図 3 7 に示す力覚センサのダイアフラム部の変形例を示す正面図である。

【図 4 4】図 3 7 に示す力覚センサの電極群の変形例を示す平面図である（ハッチングは、各電極の形状を明瞭に示すためのものであり、断面を示すものではない）。

【図 4 5】渦電流変位計 / ホール素子 / 光ビーム距離測定器を用いた変形例に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である。

【図 4 6】渦電流変位計による距離測定原理を示す斜視図およびブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0045】

<<< § 1 . 力覚センサの基本構造および原理 >>>

はじめに、本発明に係る力覚センサの基本構造部の構成と、この基本構造部を利用した力およびモーメントの検出原理を説明する。本発明に係る力覚センサは、X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する機能を有している。そこで、以下、この力覚センサの基本構造部の構成を、X Y Z 三次元直交座標系に配置された状態について説明する。

【0046】

図 1 は、本発明の基本的な実施形態に係る力覚センサの基本構造部の上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。上面図では、図の右方向に X 軸、図の上方向に Y 軸が配置されており、紙面に垂直な手前方向が Z 軸方向になる。一方、側面図では、図の右方向に X 軸、図の上方向に Z 軸が配置されており、紙面に垂直な奥行き方向が Y 軸方向になる。図示のとおり、この基本構造部は、受カリング 1 0 0、検出リング 2 0 0、支持基板 3 0 0、接続部材 4 1 0, 4 2 0、固定部材 5 1 0, 5 2 0 によって構成されている。

【0047】

受カリング 1 0 0 は、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形平板状（ワッシャ状）のリングであり、外周面も内周面も円柱面を構成する。受カリング 1 0 0 の役割は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受けることにあり、より詳しく説明すれば、検出対象となる力もしくはモーメントを検出リング 2 0 0 に伝達することにある。

【0048】

一方、検出リング 2 0 0 は、受カリング 1 0 0 と同様に、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形平板状（ワッシャ状）のリングであり、外周面も内周面も円柱面を構成する。ここに示す例の場合、検出リング 2 0 0 は、受カリング 1 0 0 の内側に配置されている。すなわち、受カリング 1 0 0 は X Y 平面上に配置された外側リング、検出リング 2 0 0 は X Y 平面上に配置された内側リングということになる。ここで、検出リング 2 0 0 の特徴は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる点である。

【0049】

接続部材 4 1 0, 4 2 0 は、受カリング 1 0 0 と検出リング 2 0 0 とを接続するための部材である。図示の例の場合、接続部材 4 1 0 は、X 軸正領域に沿った位置において、受

力リング100の内周面と検出リング200の外周面とを接続し、接続部材420は、X軸負領域に沿った位置において、受力量リング100の内周面と検出リング200の外周面とを接続している。したがって、受力量リング100と検出リング200との間には、図示のとおり空隙部H1が確保されており、検出リング200の内側には、図示のとおり空隙部H2が確保されている。

【0050】

側面図を見れば明らかなように、受力量リング100と検出リング200の厚み（Z軸方向の寸法）は同じであり、側面図では、検出リング200は受力量リング100の内側に完全に隠れた状態になっている。両リングの厚みは、必ずしも同じにする必要はないが、薄型センサ（Z軸方向の寸法ができるだけ小さいセンサ）を実現する上では、両リングを同じ厚みにするのが好ましい。

【0051】

支持基板300は、径が受力量リング100の外径と等しい円盤状の基板であり、XY平面に平行な上面をもち、受力量リング100および検出リング200の下方に所定間隔を置いて配置される。固定部材510、520は、検出リング200を支持基板300に固定するための部材である。側面図では、固定部材510は固定部材520の奥に隠れて現れていないが、固定部材510、520は、検出リング200の下面と支持基板300の上面とを接続する役割を果たす。上面図に破線で示されているとおり、固定部材510、520は、Y軸に沿った位置に配置されている。

【0052】

図2は、図1に示す基本構造部をXY平面で切断した横断面図（上段の図）およびXZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。XY平面で切断した横断面図の中心には、XYZ三次元直交座標系の原点Oが示されている。この図2では、検出リング200が、左右2カ所において、X軸に沿って配置された接続部材410、420を介して受力量リング100に接続されている状態が明瞭に示されている。

【0053】

図3は、図1に示す基本構造部の支持基板300および固定部材510、520の上面図（上段の図）、ならびに、この基本構造部をYZ平面で切断した縦断面図（下段の図）である。図3の上面図は、図1の上面図を反時計まわりに90°回転させた状態に相当し、Y軸が左方向にとられている。また、図3の上面図では、検出リング200の位置が破線で示されている。一方、図3の縦断面図には、固定部材510、520によって、支持基板300の上方に検出リング200が固定されている状態が明瞭に示されている。

【0054】

続いて、この基本構造部を利用した力およびモーメントの検出原理を説明する。まず、支持基板300を固定した状態において、受力量リング100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場合に、この基本構造部にどのような現象が生じるかを考えてみる。

【0055】

上述したとおり、ここに示す例の場合、受力量リング100および検出リング200は、双方ともにZ軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングである。ただ、検出リング200は、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる必要がある。別言すれば、少なくとも一部は可撓性を有している必要がある。これは、本発明に係る力覚センサが、検出リング200に生じた弾性変形に基づいて、作用した力もしくはモーメントの検出を行うためである。

【0056】

一方、受力量リング100は、上述したとおり、作用した力もしくはモーメントを検出リング200に伝達する役割を果たす構成要素であり、原理的には、弾性変形を生じる弾性体で構成してもよいし、弾性変形を生じない剛体で構成してもよい。ただ、実用上、受力量リング100は、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成するのが好ましい。これは、作用する力もしくはモーメ

ントを、できるだけ効率的に検出リング 200 に伝達するためである。

【0057】

本発明において、基本構造部の各部分は、任意の材料によって構成することができるが、商業的な利用を考慮すると、金属（たとえば、アルミニウム合金、鉄系金属）やプラスチックなどの一般的な工業材料を用いて構成するのが好ましい。このような一般的な工業材料からなる部材は、通常、その形態によって弾性体になったり剛体になったりする。たとえば、金属の場合、ブロック状の金属塊であれば剛体として振る舞うが、薄い板状にすれば弾性体として振る舞うことになろう。したがって、受カリング 100 および検出リング 200 は、同一の材料で構成したとしても、その形態を変えることにより、それぞれに与えられた役割を果たすことができる。

【0058】

たとえば、受カリング 100 および検出リング 200 を同一のアルミニウム合金で構成したとしても、図 2 の横断面図に示すように、受カリング 100 は、その幅をある程度大きくとることにより、実質的に弾性変形を生じない剛体として機能させることができ、検出リング 200 は、その幅をある程度小さくとることにより、実質的に全体が弾性変形を生じる弾性体として機能させることができる。すなわち、検出リング 200 は、全体的に可撓性をもったリングになる。

【0059】

もちろん、受カリング 100 に力やモーメントが加わると、厳密に言えば、受カリング 100 自身にも若干の弾性変形が生じることになるが、検出リング 200 に生じる弾性変形に比べてわずかな弾性変形であれば無視することができ、実質的に剛体と考えて支障はない。そこで、以下、受カリング 100 が剛体であり、力やモーメントによる弾性変形は、専ら検出リング 200 においてのみ生じるものとして説明を行うことにする。

【0060】

まず、支持基板 300 を固定した状態において、受カリング 100 に対して、X 軸方向の力が作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図 4 は、図 1 に示す基本構造部の受カリング 100 に X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用したときの変形状態を示す X Y 平面における横断面図（上段の図）および X Z 平面における縦断面図（下段の図）である。支持基板 300 は固定されているため不動であるが、受カリング 100 は、X 軸正方向の力 $+F_x$ により図の右方向へと移動する。その結果、検出リング 200 は図示のとおり変形する。なお、図に示す破線は、移動もしくは変形前の各リングの位置を示している。

【0061】

ここでは、この変形状態を説明する便宜上、2 つの固定点 P 1 , P 2 と、2 つの作用点 Q 1 , Q 2 を考える。固定点 P 1 , P 2 は、Y 軸上に定義される点であり、図 1 に示す固定部材 510 , 520 の位置に対応するものである。すなわち、検出リング 200 は、この固定点 P 1 , P 2 の位置において、固定部材 510 , 520 によって支持基板 300 に固定されている。一方、作用点 Q 1 , Q 2 は、X 軸上に定義される点であり、検出リング 200 は、この作用点 Q 1 , Q 2 の位置において、接続部材 410 , 420 によって受カリング 100 に接続されている。

【0062】

このように、本発明において、作用点は接続部材が接続される位置であり、固定点は固定部材が接続される位置である。そして、重要な点は、作用点と固定点とが異なる位置に配置される点である。図 4 に示す例の場合、作用点 P 1 , P 2 と固定点 Q 1 , Q 2 とは X Y 平面上の異なる位置に配置されている。これは、作用点と固定点とが同一位置を占めると、検出リング 200 に弾性変形が生じなくなるためである。なお、ここに示す例の場合、作用点 P 1 , P 2 と固定点 Q 1 , Q 2 は、いずれも X Y 平面上に定義されているが、作用点および固定点は必ずしも X Y 平面上に定義する必要はない。作用点および固定点が X Y 平面上あってもなくても、要するに、作用点の X Y 平面への正射影投影像と固定点の X Y 平面への正射影投影像とが異なる位置に形成されていれば、検出リング 200 に本発明

に必要な弾性変形を生じさせることができる。

【0063】

さて、受カリング100に対してX軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、図4に示すように、検出リング200の作用点 Q_1 、 Q_2 には、図の右方向への力が加わることになる。ところが、検出リング200の固定点 P_1 、 P_2 の位置は固定されているため、可撓性をもった検出リング200は、基準の円形状態から、図示のような歪んだ状態へと変形することになる（なお、本願における変形状態を示す図は、変形状態を強調して示すため多少デフォルトされた図になっており、必ずしも正確な変形状態を示す図ではない）。具体的には、図示のとおり、点 $P_1 - Q_1$ 間および点 $P_2 - Q_1$ 間では、検出リング200の四分円弧の両端に引っ張り力が作用して四分円弧は内側に縮み、点 $P_1 - Q_2$ 間および点 $P_2 - Q_2$ 間では、検出リング200の四分円弧の両端に押圧力が作用して四分円弧は外側に膨らんでいる。

【0064】

受カリング100に対してX軸負方向の力 $-F_x$ が作用した場合は、図4とは左右逆の現象が起きる。また、受カリング100に対してY軸正方向の力 $+F_y$ およびY軸負方向の力 $-F_y$ が作用した場合は、図4上段における変形状態を 90° 回転させた現象が起きる。

【0065】

次に、支持基板300を固定した状態において、受カリング100に対して、Z軸方向の力が作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図5は、図1に示す基本構造部の受カリング100にZ軸正方向の力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。支持基板300は固定されているため不動であるが、受カリング100は、Z軸正方向の力 $+F_z$ により図の上方向へと移動する。その結果、検出リング200は図示のとおり変形する。なお、図に示す破線は、移動もしくは変形前の各リングの位置を示している。

【0066】

ここでも、変形状態の基本は、2つの固定点 P_1 、 P_2 の位置（固定部材510、520で固定された位置）は不動であり、2つの作用点 Q_1 、 Q_2 の位置が上方へ移動する、という点である。検出リング200は、固定点 P_1 、 P_2 の位置から作用点 Q_1 、 Q_2 の位置へ向けて緩やかに変形することになる。また、受カリング100に対してZ軸負方向の力 $-F_z$ が作用した場合は、受カリング100は、図の下方向へと移動する。その結果、検出リング200の変形状態は、図5とは上下逆になる。

【0067】

続いて、支持基板300を固定した状態において、受カリング100に対して、Y軸まわりのモーメントが作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図6は、図1に示す基本構造部の受カリング100にY軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用したときの変形状態を示すXZ平面における縦断面図である。なお、本願では、所定の座標軸まわりに作用するモーメントの符号を、当該座標軸の正方向に右ネジを進めるための当該右ネジの回転方向を正にとることにする。たとえば、図6に示すモーメント $+M_y$ の回転方向は、右ネジをY軸正方向に進めるための回転方向になる。

【0068】

この場合も、支持基板300は固定されているため不動であるが、受カリング100は、Y軸正まわりのモーメント $+M_y$ を受けて、図の原点Oを中心として時計まわりに回転する。その結果、作用点 Q_1 は下方に移動し、作用点 Q_2 は上方に移動する。検出リング200は、固定点 P_1 、 P_2 の位置（固定部材510、520で固定された位置）から作用点 Q_1 、 Q_2 の位置へ向けて緩やかに変形することになる。受カリング100に対してY軸負まわりのモーメント $-M_y$ が作用した場合は、図6とは左右逆の現象が起きる。また、受カリング100に対してX軸正まわりのモーメント $+M_x$ およびX軸負まわりのモーメント $-M_x$ が作用した場合は、上面図において変形状態を 90° 回転させた現象が起きる。

【 0 0 6 9 】

最後に、支持基板 3 0 0 を固定した状態において、受カリング 1 0 0 に対して、Z 軸まわりのモーメントが作用したときに、この基本構造部にどのような変化が生じるかを考えてみる。図 7 は、図 1 に示す基本構造部の受カリング 1 0 0 に Z 軸正まわりのモーメント + M_z が作用したときの変形状態を示す X Y 平面における横断面図である。この場合も、支持基板 3 0 0 は固定されているため不動であるが、受カリング 1 0 0 は、Z 軸正まわりのモーメント + M_z を受けて、図の原点 O を中心として反時計まわりに回転する。

【 0 0 7 0 】

その結果、検出リング 2 0 0 の作用点 Q 1 , Q 2 には、図において反時計回りの力が加わることになる。ところが、検出リング 2 0 0 の固定点 P 1 , P 2 の位置は固定されているため、可撓性をもった検出リング 2 0 0 は、基準の円形状態から、図示のような歪んだ状態へと変形することになる。具体的には、図示のとおり、点 P 2 - Q 1 間および点 P 1 - Q 2 間では、検出リング 2 0 0 の四分円弧の両端に引っ張り力が作用して四分円弧は内側に縮み、点 P 1 - Q 1 間および点 P 2 - Q 2 間では、検出リング 2 0 0 の四分円弧の両端に押圧力が作用して四分円弧は外側に膨らんでおり、全体的に楕円状に変形している。一方、受カリング 1 0 0 に対して Z 軸負まわりのモーメント - M_z が作用した場合は、受カリング 1 0 0 は、図の原点 O を中心として時計まわりに回転するため、図 7 を裏返しにした変形状態が起きる。

【 0 0 7 1 】

以上、図 1 に示す基本構造部の支持基板 3 0 0 を固定した状態において、受カリング 1 0 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場合に、検出リング 2 0 0 に生じる変形状態を説明したが、これらの変形状態は互いに異なり、また、作用した力やモーメントの大きさにより変形量も異なる。そこで、検出リング 2 0 0 の弾性変形を検出し、その態様や大きさに関する情報を収集すれば、各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントをそれぞれ別個独立して検出することができる。これが、本発明に係る力覚センサの基本原理である。

【 0 0 7 2 】

このような基本原理に基づく検出を行うために、本発明に係る力覚センサは、図 1 に示す基本構造部の他に、検出リング 2 0 0 の弾性変形を電気的に検出する検出素子と、この検出素子の検出結果に基づいて、支持基板 3 0 0 を固定した状態において、受カリング 1 0 0 に作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、を備えている。この検出素子および検出回路の具体的な構成例については、§ 3 以降で詳述する。

【 0 0 7 3 】

後述するように、検出素子および検出回路は、図 1 に示す基本構造部の内部に組み込むことができるので、本発明に係る力覚センサのサイズは、実質的に、この基本構造部のサイズと同一にすることができる。この基本構造部は、図 1 の下段に示す側面図を見ればわかるとおり、薄型化に適した構造を有している。すなわち、この基本構造部全体の厚み (Z 軸方向のサイズ) は、受カリング 1 0 0 の厚み (検出リング 2 0 0 の厚み) と、固定部材 5 1 0 , 5 2 0 の厚みと、支持基板 3 0 0 の厚みの和になる。ここで、検出リング 2 0 0 は、後述する検出素子を配置するのに十分な厚みに設定すればよく、固定部材 5 1 0 , 5 2 0 は、検出リング 2 0 0 の下方への変形を妨げることのない十分な厚みに設定すればよく、支持基板 3 0 0 は、他の構成要素を支持するのに十分な厚みに設定すればよい。

【 0 0 7 4 】

このように本発明に係る力覚センサは、X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントをそれぞれ独立して検出する機能をもち、しかも、従来之力覚センサに比べて、構造が単純で薄型化を図ることが可能になる。

【 0 0 7 5 】

なお、図 1 に示す基本構造部は、受カリング 1 0 0 を外側に配置し、検出リング 2 0 0 を内側に配置した例であるが、両リングの内側と外側の関係は入れ替えることができ、受

力リング 100 を内側に配置し、検出リング 200 を外側に配置する構成を採ることも可能である。ただ、変形した状態の検出リング 200 が外部の物体と接触すると、変形態様に外乱が加わることになり、正しい検出値が得られなくなる可能性がある。したがって、実用上は、ここに示した例のように、受圧リング 100 を外側に配置し、検出リング 200 を内側に配置する構成を採り、検出リング 200 が外部の物体と接触するのを防ぐようにするのが好ましい。

【0076】

<<< § 2 . 変位の検出 >>>

前述したとおり、本発明に係る力覚センサでは、検出リング 200 の弾性変形の態様および大きさを検出することにより、作用した力やモーメントの方向および大きさを求めることになる。ここでは、弾性変形の態様および大きさを検出する方法の 1 つとして、検出リング 200 の特定箇所（ここでは、測定点と呼ぶ）の変位を検出する方法を説明する。すなわち、ここに示す実施形態では、検出素子として、検出リング 200 の所定の測定点の変位を電氣的に検出する機能をもった素子を用いることになる。

【0077】

図 8 は、図 1 に示す基本構造部に、変位検出用の固定補助体 350 を付加した実施形態を示す上面図（上段の図）および側面図（下段の図）である。図示のとおり、この基本構造部では、受圧リング 100 の内側に検出リング 200 が配置されており、更にその内側に固定補助体 350 が配置されている。この固定補助体 350 は、Z 軸を中心軸とする円柱状の物体であり、下面が支持基板 300 の上面に固定されている。固定補助体 350 の外周面は、空隙部 H2 を挟んで、検出リング 200 の内周面に対向している。

【0078】

図 9 は、図 8 に示す基本構造部を X Y 平面で切断した横断面図（上段の図）および V Z 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。ここで、V 軸は、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす軸である。また、W 軸は、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する軸である。図 9 の上段に示す横断面図は、V 軸正方向を右方向、W 軸正方向を上方向にとった図であり、図 2 の上段に示す基本構造部に固定補助体 350 を付加し、これを時計まわりに 45° 回転させた図に対応する。また、図 9 の下段の縦断面図は、V Z 平面で切断した縦断面図であるため、右方向は V 軸正方向になっている。

【0079】

§ 1 で述べたとおり、検出リング 200 上には、Y 軸上に 2 つの固定点 P1, P2 が配置され、X 軸上に 2 つの作用点 Q1, Q2 が配置されている。ここでは、更に、4 つの測定点 R1 ~ R4 を定義する。図示のとおり、第 1 の測定点 R1 は V 軸正領域に、第 2 の測定点 R2 は W 軸正領域に、第 3 の測定点 R3 は V 軸負領域に、第 4 の測定点 R4 は W 軸負領域に、それぞれ配置されている。結局、図 9 の上段の横断面図において、検出リング 200 の外周輪郭円と内周輪郭円との中間に位置する中間円を定義した場合、各点 Q1, R1, P1, R2, Q2, R3, P2, R4 は、この順番どおりに、当該中間円上に等間隔に配置されていることになる。4 つの測定点 R1 ~ R4 をこのような位置に定義するのは、検出リング 200 の弾性変形に起因して生じる変位が最も顕著になるためである。

【0080】

この 4 つの測定点 R1 ~ R4 の半径方向の変位を検出するには、図 9 の上段の横断面図に矢印で示す距離 d1, d2, d3, d4 を測定すればよい。これらの距離 d1, d2, d3, d4 は、検出リング 200 の内周面の、各測定点 R1, R2, R3, R4 近傍に位置する測定対象面と、固定補助体 350 の外周に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離であり、当該距離が大きくなれば、測定点近傍部分が半径方向に膨らんでいることを示し、当該距離が小さくなれば、測定点近傍部分が半径方向に縮んでいることを示すことになる。したがって、これらの距離を電氣的に検出する検出素子を用意しておけば

、各測定点近傍部分の半径方向に関する変形量を測定することができる。

【0081】

あるいは、図9の上段の横断面図に矢印で示す距離 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 を測定する方法を採ることもできる。これらの距離 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 は、検出リング200の外周面の、各測定点 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 近傍に位置する測定対象面と、受力リング100の内周に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離である。但し、受力リング100自身も変位するため、これらの距離の測定値は受力リング100の変位と検出リング200の変位との差分を示すことになる。したがって、各測定点の変位を求めるには、何らかの補正処理が必要になり、実用上は、距離 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 を測定するのが好ましい。

【0082】

なお、距離 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 を測定する場合は、固定補助体350を設ける必要はない。受力リング100と検出リング200との間の距離を測定する場合は、検出素子が、検出リング200の各測定点 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 近傍に位置する測定対象面と、受力リング100の測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出すればよいので、固定補助体350を設ける必要はなく、また、受力リング100を内側、検出リング200を外側に配置した場合も適用可能になる。

【0083】

一方、4つの測定点 $R_1 \sim R_4$ の上下方向（Z軸方向）の変位を検出するには、図9の下段の縦断面図に矢印で示す距離 d_5 、 d_7 および図示されていない距離 d_6 、 d_8 （距離 d_6 は、固定補助体350の奥に位置する測定点 R_2 の直下の距離、距離 d_8 は、固定補助体350の手前に位置する測定点 R_4 の直下の距離）を測定すればよい。これらの距離 d_5 、 d_6 、 d_7 、 d_8 は、検出リング200の下面の、各測定点 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 近傍に位置する測定対象面と、支持基板300の上面に位置し、測定対象面に対向する対向基準面との距離であり、当該距離が大きくなれば、測定点近傍部分が上方向に変位していることを示し、当該距離が小さくなれば、測定点近傍部分が下方向に変位していることを示すことになる。したがって、これらの距離を電氣的に検出する検出素子を用意しておけば、各測定点近傍部分の上下方向に関する変形量を測定することができる。

【0084】

このように、4つの測定点 $R_1 \sim R_4$ の半径方向の変位と上下方向の変位とを測定することができれば、検出リング200の全体的な変形態様および変形量を把握することができ、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントの6軸成分を検出することが可能になる。図10は、この6軸成分を検出するために必要な距離測定箇所を示す上面図である。すなわち、この例では、前述したとおり、第1の測定点 R_1 について、距離 d_1 （半径方向の変位）と距離 d_5 （上下方向の変位）とが測定され、第2の測定点 R_2 について、距離 d_2 （半径方向の変位）と距離 d_6 （上下方向の変位）とが測定され、第3の測定点 R_3 について、距離 d_3 （半径方向の変位）と距離 d_7 （上下方向の変位）とが測定され、第4の測定点 R_4 について、距離 d_4 （半径方向の変位）と距離 d_8 （上下方向の変位）とが測定されることになる。

【0085】

図11は、図10に示す基本構造部において、支持基板300を固定した状態で受力リング100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距離 $d_1 \sim d_8$ の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は距離が大きくなることを示し、「-」は距離が小さくなることを示し、「0」は距離が変動しないことを示している。このような結果が得られることは、§1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を考えれば、容易に理解できよう。

【0086】

たとえば、受力リング100に対してX軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、検出リング200は、図4に示すように、点 $P_1 - Q_1$ 間および点 $P_2 - Q_1$ 間の四分円弧は内側に縮み、点 $P_1 - Q_2$ 間および点 $P_2 - Q_2$ 間の四分円弧は外側に膨らむように変形する。

したがって、距離 d_1 , d_4 は小さくなり、距離 d_2 , d_3 は大きくなる。このとき、検出リング 200 に上下方向の変形は生じないので、距離 $d_5 \sim d_8$ は変動しない。図 11 のテーブルの + F_x の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y 軸正方向の力 + F_y が作用した場合は、図 11 のテーブルの + F_y の行に示す結果が得られる。

【0087】

また、受カリング 100 に対して Z 軸正方向の力 + F_z が作用すると、検出リング 200 は、図 5 に示すように変形するので、距離 $d_5 \sim d_8$ は大きくなる。このとき、検出リング 200 に半径方向の変形は生じないので、距離 $d_1 \sim d_4$ は変動しない。図 11 のテーブルの + F_z の行は、このような結果を示している。

【0088】

そして、受カリング 100 に対して Y 軸正まわりのモーメント + M_y が作用すると、検出リング 200 は、図 6 に示すように変形し、図の右半分は下方へ変位し、図の左半分は上方へ変位するので、距離 d_5 , d_8 は小さくなり、距離 d_6 , d_7 は大きくなる。このとき、検出リング 200 に半径方向の変形は生じないので、距離 $d_1 \sim d_4$ は変動しない。図 11 のテーブルの + M_y の行は、このような結果を示している。同様の理由により、X 軸正まわりのモーメント + M_x が作用した場合は、図 11 のテーブルの + M_x の行に示す結果が得られる。

【0089】

最後に、受カリング 100 に対して Z 軸正まわりのモーメント + M_z が作用した場合、検出リング 200 は、図 7 に示すように変形し、点 P1 - Q1 間および点 P2 - Q2 間の四分円弧は外側に膨らみ、点 P1 - Q2 間および点 P2 - Q1 間の四分円弧は内側に縮むように変形する。したがって、距離 d_1 , d_3 は大きくなり、距離 d_2 , d_4 は小さくなる。このとき、検出リング 200 に上下方向の変形は生じないので、距離 $d_5 \sim d_8$ は変動しない。図 11 のテーブルの + M_z の行は、このような結果を示している。

【0090】

なお、図 11 のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、距離 $d_1 \sim d_8$ の変化パターンは、6 軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、距離の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら距離 $d_1 \sim d_8$ の測定値に基づく所定の演算を施せば、6 軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。具体的な演算式については、§3 の実施形態で詳述する。

【0091】

なお、6 軸成分の検出値のすべてを得る必要がない場合には、必ずしも 8 通りの距離測定を行う必要はない。たとえば、図 12 は、図 8 に示す基本構造部における距離測定箇所の変形例を示す上面図である。図 10 に示す例では 8 通りの距離 $d_1 \sim d_8$ の測定を行っていたが、図 12 に示す例では 6 通りの距離 $d_1 \sim d_4$, d_9 , d_{10} の測定を行えば足りる。

【0092】

ここで、距離 $d_1 \sim d_4$ は、前述の例と同様である。すなわち、距離 d_1 は、第 1 の測定点 R1 についての半径方向の変位を示し、距離 d_2 は、第 2 の測定点 R2 についての半径方向の変位を示し、距離 d_3 は、第 3 の測定点 R3 についての半径方向の変位を示し、距離 d_4 は、第 4 の測定点 R4 についての半径方向の変位を示している。一方、これら 4 つの測定点 R1 ~ R4 についての上下方向の変位測定は行われない。別言すれば、前述の例における距離 $d_5 \sim d_8$ の測定は行われない。その代わりに、第 1 の作用点 Q1 を第 5 の測定点として、その上下方向の変位測定を行い、第 2 の作用点 Q2 を第 6 の測定点として、その上下方向の変位測定を行うことになる。

【0093】

すなわち、図 12 に示す距離 d_9 は、検出リング 200 の下面の、第 1 の作用点 Q1 (第 5 の測定点) 近傍に位置する測定対象面と、支持基板 300 の上面に位置し、かつ、測

定対象面に対向する位置にある対向基準面との距離であり、図12に示す距離 d_{10} は、検出リング200の下面の、第2の作用点 Q_2 （第6の測定点）近傍に位置する測定対象面と、支持基板300の上面に位置し、かつ、測定対象面に対向する位置にある対向基準面との距離である。

【0094】

図13は、図12に示す基本構造部において、支持基板300を固定した状態で受力リング100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距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の変化を示すテーブルである。ここでも、「+」は距離が大きくなることを示し、「-」は距離が小さくなることを示し、「0」は距離が変動しないことを示している。距離 $d_1 \sim d_4$ について、このような結果が得られることは、既に述べたとおりである。

【0095】

一方、距離 d_9 、 d_{10} について、このような結果が得られることは、§1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を考えれば、容易に理解できよう。すなわち、X軸正方向の力 $+F_x$ やY軸正方向の力 $+F_y$ が作用しても、作用点 Q_1 、 Q_2 は上下方向に変動することはないので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+F_x$ および $+F_y$ の行は「0」になる。しかしながら、Z軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、作用点 Q_1 、 Q_2 は上方に変位するので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+F_z$ の行は「+」になる。

【0096】

また、X軸正まわりのモーメント $+M_x$ が作用した場合は、X軸上に位置する作用点 Q_1 、 Q_2 は回転軸上の点になるため上下方向に変動することはない。よって、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+M_x$ の行は「0」になる。しかしながら、Y軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用すると、作用点 Q_1 は下方に変位し、作用点 Q_2 は上方に変位するので、 $+M_y$ の行は、距離 d_9 は「-」、距離 d_{10} は「+」になる。最後に、Z軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用した場合は、作用点 Q_1 、 Q_2 は上下方向に変動することはないので、距離 d_9 、 d_{10} について、 $+M_z$ の行は「0」になる。負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、図13に示すテーブルにおける「+」と「-」が逆転した結果が得られる。

【0097】

結局、距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、距離の変動量も大きくなる。但し、図13のテーブルの $+M_x$ の行を見ると、すべての距離について「0」という結果となっている。これは、距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} を測定しても、X軸まわりのモーメント M_x に関する情報は得られないことを示している。ただ、それ以外の5軸成分についての情報は得られている。そこで、検出回路により、これら距離 $d_1 \sim d_4$ 、 d_9 、 d_{10} の測定値に基づく所定の演算を施せば、モーメント M_x を除く5軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。具体的な演算式については、§3の実施形態で詳述する。

【0098】

このように、本発明に係る力覚センサでは、 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z という6軸成分を独立して検出することが可能であるが、この6軸成分の検出値のすべてを得る必要がない場合には、検出素子を適宜省略して、コストダウンを図ることが可能である。

【0099】

また、図9では、2つの作用点 Q_1 、 Q_2 と、2つの固定点 P_1 、 P_2 とを配置した例を示したが、本発明に係る力覚センサにおける作用点の数および固定点の数は、必ずしも2個に限定されるものではない。すなわち、ここで述べる基本的な実施形態の場合、検出リング200の輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とが交互に配置されており、検出素子が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電氣的に検出することができればよい。

【 0 1 0 0 】

したがって、たとえば、 $n = 3$ に設定し、3つの作用点と、3つの固定点とを交互に配置してもかまわない。この場合、検出リング 2 0 0 は、3箇所の作用点の位置において、接続部材を介して受力リング 1 0 0 に接続されることになり、3箇所の固定点の位置において、固定部材を介して支持基板 3 0 0 に固定されることになる。

【 0 1 0 1 】

ただ、実用上は、図 9 に示す例のように、検出リング 2 0 0 の輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点 Q 1、第 1 の固定点 P 1、第 2 の作用点 Q 2、第 2 の固定点 P 2 の順に、2 個の作用点および 2 個の固定点を配置するようにし、この環状路における第 1 の作用点 Q 1 と第 1 の固定点 P 1 との間に第 1 の測定点 R 1 を定義し、第 1 の固定点 P 1 と第 2 の作用点 Q 2 との間に第 2 の測定点 R 2 を定義し、第 2 の作用点 Q 2 と第 2 の固定点 P 2 との間に第 3 の測定点 R 3 を定義し、第 2 の固定点 P 2 と第 1 の作用点 Q 1 との間に第 4 の測定点 R 4 を定義するようにし、検出素子によって、これら第 1 ~ 第 4 の測定点 R 1 ~ R 4 の近傍における検出リング 2 0 0 の弾性変形を電氣的に検出するのが効率的である。

【 0 1 0 2 】

特に、図 9 に示す例は、基本構造部の構造が、X Z 平面に関して面対称となり、かつ、Y Z 平面に対しても面対称となっているため、図 1 1 や図 1 3 に示すテーブルに「+」もしくは「-」で示されている変位量に対称性が生じ、比較的単純な検出回路により各軸方向の力および各軸まわりのモーメントの検出値を得ることができる。

【 0 1 0 3 】

したがって、実用上は、図 9 に示す例のように、第 1 の作用点 Q 1 が X 軸正領域に、第 1 の固定点 P 1 が Y 軸正領域に、第 2 の作用点 Q 2 が X 軸負領域に、第 2 の固定点 P 2 が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材 4 1 0 により、検出リング 2 0 0 の第 1 の作用点 Q 1 近傍が受力リング 1 0 0 に接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材 4 2 0 により、検出リング 2 0 0 の第 2 の作用点 Q 2 近傍が受力リング 1 0 0 に接続されており、検出素子が、X Y 平面の第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限にそれぞれ配置された第 1 の測定点 R 1、第 2 の測定点 R 2、第 3 の測定点 R 3、第 4 の測定点 R 4 の近傍における検出リング 2 0 0 の弾性変形を電氣的に検出するのが好ましい。

【 0 1 0 4 】

各測定点 R 1 ~ R 4 は、必ずしも V 軸上もしくは W 軸上に定義する必要はないが、前述したとおり、検出リング 2 0 0 の弾性変形に起因して生じる変位は、V 軸上もしくは W 軸上が最も顕著になるので、検出感度を高める上では、図 9 に示す例のように、第 1 の測定点 R 1 は V 軸正領域に、第 2 の測定点 R 2 は W 軸正領域に、第 3 の測定点 R 3 は V 軸負領域に、第 4 の測定点 R 4 は W 軸負領域に、それぞれ定義するのが好ましい。

【 0 1 0 5 】

<<< § 3 . 容量素子を用いた実施形態 >>>

ここでは、検出素子として、静電容量素子を用いた実施形態を説明する。既に述べたとおり、静電容量素子式の多軸力覚センサは、機械的構造部に作用した力の特定の方向成分を、特定の部分に生じた変位として検出するものである。すなわち、一对の電極により容量素子を構成しておき、作用した力によって一方の電極に生じた変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出する原理を採る。

【 0 1 0 6 】

そこで、ここでは、図 1 0 に示す基本構造部において、8通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を容量素子を用いて検出する実施形態を述べる。図 1 4 は、当該実施形態に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図（上段の図）および V Z 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。この図 1 4 に示す力覚センサは、図 9 に示す基本構造部に、16枚の電極 E 1 1 ~ E 1 8 , E 2 1 ~ E 2 8 と、所定の検出回路とを追加することによって構成される。16枚の電極により構成される8組の容量素子は、前述した8通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を測定する検出素子として機能する。

【0107】

図14上段の横断面図に示されているとおり、検出リング200の内周面の、4つの測定点R1～R4の近傍部分(測定対象面)には、それぞれ変位電極E21～E24が設けられている。また、検出リング200の下面の、4つの測定点R1～R4の近傍部分(測定対象面)には、それぞれ変位電極E25～E28(図では、破線で示されている)が設けられている。これら8枚の変位電極E21～E28は、文字通り、検出リング200の変形によって変位を生じる電極である。

【0108】

一方、これら8枚の変位電極E21～E28に対向する位置(対向基準面)に、8枚の固定電極E11～E18が設けられている。これら8枚の固定電極E11～E18は、文字通り、支持基板300に直接もしくは間接的に固定された電極であり、検出リング200の変形にかかわらず、常に定位置を維持する。具体的には、円柱状の固定補助体350の外周面には、変位電極E21～E24に対向する位置に固定電極E11～E14が設けられており、これらの電極は固定補助体350を介して支持基板300上に間接的に固定されている。また、支持基板300の上面には、変位電極E25～E28に対向する位置に固定電極E15～E18が直接固定されている(図14下段の縦断面図には、変位電極E15, E17のみが現れているが、変位電極E16は、固定補助体350の奥に位置し、変位電極E18は、固定補助体350の手前に位置する)。

【0109】

結局、この実施形態の場合、検出リング200の内周面および下面の、各測定点R1～R4近傍に位置する測定対象面に設けられた8組の変位電極E21～E28と、固定補助体350の外周面および支持基板300の上面の、各測定対象面に対向する位置に定義された対向基準面に設けられた8組の固定電極E11～E18と、によって、8組の容量素子が構成されることになる。これら8組の容量素子は、本発明における検出素子として機能し、検出リング200の弾性変形を電氣的に検出する役割を果たす。

【0110】

ここでは、説明の便宜上、固定電極E11～E18と、これに対向する変位電極E21～E28と、によって構成される容量素子を、それぞれ容量素子C1～C8と呼ぶことにし、その静電容量値を、同じ符号を用いてC1～C8で表すことにする。一般に、容量素子の静電容量値は、当該容量素子を構成する一对の対向電極の距離が大きくなると小さくなり、距離が小さくなると大きくなる。したがって、各容量素子C1～C8の静電容量値を電氣的に測定すれば、図10に示す距離d1～d8を求めることができ、図11に示すテーブルに基づいて、作用した力もしくはモーメントを検出することができる。

【0111】

ただ、容量素子の静電容量値は、一对の対向電極の有効対向面積によっても変化し、有効対向面積が大きくなれば静電容量値も大きくなり、有効対向面積が小さくなれば静電容量値も小さくなる。したがって、上述の原理で距離d1～d8を正確に測定するためには、検出リング200に変位が生じたとしても、各容量素子の有効対向面積に変化が生じないようにする必要がある。そこで、各容量素子C1～C8を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、他方の電極の内部に包含されるようにする。

【0112】

図15は、図14に示す力覚センサで用いられている各容量素子C1～C8の対向電極のサイズの関係を示す斜視図である。図には、電極Eaと電極Ebとが対向して配置された状態が示されている。この例では、両電極Ea, Ebは、いずれも矩形の板状電極であるが、電極Eaの縦および横のサイズは、電極Ebの縦および横のサイズよりも大きくなっている。しかも、両電極Ea, Ebは、それぞれの中心点が向かい合う位置に配置されているので、電極Ebを電極Eaの形成面に投影した投影像A(正射影投影像)は、電極Eaの内部に包含されている。要するに、電極Eaは、電極Ebよりも、ひとまわり大きなサイズになっている。

【0113】

図14に示す力覚センサで用いられている各容量素子 $C_1 \sim C_8$ を構成する一对の対向電極の関係が、図15に示すような関係になっていれば、検出リング200に変位が生じたとしても、当該変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は変化しない。すなわち、図15に示す例の場合、破線で示す投影像Aの内部の面積が、この容量素子の有効対向面積ということになるが、両電極 E_a 、 E_b が電極面に平行な方向に変位しても、投影像Aが電極 E_a 内に包含されている限り、有効対向面積は一定である。

【0114】

図14に示す力覚センサの場合、各容量素子 $C_1 \sim C_8$ を構成する一对の対向電極について、各固定電極 $E_{11} \sim E_{18}$ よりも各変位電極 $E_{21} \sim E_{28}$ のサイズをひとまわり大きく設定しているが、逆に、各変位電極 $E_{21} \sim E_{28}$ よりも各固定電極 $E_{11} \sim E_{18}$ のサイズをひとまわり大きく設定してもかまわない。また、一对の対向電極の位置関係は、検出対象となる力やモーメントが何ら作用していない基準状態において、一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像（たとえば、両電極の中心点を結ぶ線に平行な方向に投影した投影像）が、他方の電極の内部に包含される関係になっている。

【0115】

両電極のサイズの差は、検出リング200の変位の許容範囲（有効対向面積が一定に維持される範囲）を決定するパラメータになる。したがって、検出値のダイナミックレンジを広く設定するには、両電極のサイズの差も大きくとり、図15における投影像Aの外側の余白領域を広く設定する必要がある。検出リング200の変位が許容範囲内であれば、各容量素子 $C_1 \sim C_8$ の有効対向面積は一定に維持されるので、静電容量値 $C_1 \sim C_8$ の変動は、専ら、距離 $d_1 \sim d_8$ の変動を示すものになる。

【0116】

図16は、このような前提において、図14に示す力覚センサ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容量素子 $C_1 \sim C_8$ の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は静電容量値が増加することを示し、「-」は静電容量値が減少することを示し、「0」は静電容量値が変動しないことを示している。なお、テーブルの「 $C_1 \sim C_8$ 」欄に付記された括弧書きは、各容量素子を構成する一对の対向電極を示している。たとえば、 C_1 欄の（ $E_{11} \& E_{21}$ ）は、容量素子 C_1 が一对の対向電極 E_{11} 、 E_{21} で構成されることを示している。

【0117】

この図16に示すテーブルは、図11に示すテーブルの各欄の「+」と「-」とを入れ替えることによって得られる。図11に示すテーブルは距離 $d_1 \sim d_8$ の増減を示すものであるのに対し、図16に示すテーブルは静電容量値 $C_1 \sim C_8$ の増減を示すものである。容量素子を構成する一对の対向電極の電極間距離が増加すると静電容量値は減少し、電極間距離が減少すると静電容量値は増加するので、図11に示すテーブルから、図16に示すテーブルが得られることは、容易に理解できよう。

【0118】

図16のテーブルに示すとおり、静電容量値 $C_1 \sim C_8$ の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、静電容量値の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量値 $C_1 \sim C_8$ の測定値に基づく所定の演算を施せば、6軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

【0119】

図17は、図14に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x 、 M_y 、 M_z を求める具体的な演算式を示す図である。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図16に示すテーブルを参照すれば理解できる。たとえば、図16のテーブルの $+F_x$ の行を参照すれば、「+」が記された C_1 、 C_4 の和と、「-」が記された C_2 、 C_3 の和と、の差により、 $+F_x$ の検出値が得られることがわかる。他の検出値についても同様である。

【0120】

また、負方向の力 $-F_x$, $-F_y$, $-F_z$ および負まわりのモーメント $-M_x$, $-M_y$, $-M_z$ が作用した場合は、図 16 のテーブルにおける「+」と「-」とが逆転するので、図 17 に示す演算式をそのまま利用すれば、各検出値を負の値として得ることができる。この図 17 に示す 6 軸成分の演算式は、他軸成分の干渉を受けないので、6 軸成分についての各検出値を独立して得ることができる。たとえば、 $+F_y$ が作用した場合、 C_1 , C_2 は減少し、 C_3 , C_4 は増加するが、 F_x についての演算式では、これらの減少および増加成分は互いにキャンセルされるので、 F_x についての検出値に F_y の成分が含まれることはない。

【0121】

図 17 に示すとおり、力 F_z 以外の演算式は、2 組の容量値の和についての差分を求める形式になっている。このような差分検出は、温度環境の変化により基本構造部が膨張もしくは収縮し、対向電極間距離が変動する誤差が生じたとしても、生じた誤差を相互にキャンセルすることができるので、外乱成分を含まない正確な検出結果を得る上で好ましい。なお、 F_z についても差分検出を行いたい場合は、検出リング 200 の上面に変位電極を追加し、その上方において支持基板 300 に固定された補助基板を設け、この補助基板の下面に固定電極を設け、検出リング 200 の上面と補助基板との距離を測定するための容量素子を追加し、これらの容量素子の容量値と容量素子 $C_5 \sim C_8$ の容量値との間で差分をとるようにすればよい。

【0122】

図 18 は、図 14 に示す力覚センサに用いる検出回路を示す回路図である。この検出回路は、図 17 に示す演算式に基づいて、力 F_x , F_y , F_z およびモーメント M_x , M_y , M_z の検出値を電圧値として出力する回路である。まず、8 組の容量素子 $C_1 \sim C_8$ の静電容量値 $C_1 \sim C_8$ は、 C/V 変換器 11 ~ 18 によって、それぞれ電圧値 $V_1 \sim V_8$ に変換される。続いて、演算器 21 ~ 30 によって、それぞれ 2 組の電圧値の和が求められ、更に、演算器 31 ~ 35 によって差分がとられ、それぞれ F_x , F_y , M_z , M_y , M_x の検出値として出力される。また、演算器 36 によって、4 組の電圧値の和がとられ、符号を反転した値が F_z の検出値として出力される。

【0123】

もちろん、この図 18 に示す検出回路は一例を示すものであり、原理的に図 17 の演算式に基づく検出結果が出力できれば、どのような回路を用いてもかまわない。たとえば、一对の容量素子を並列接続すれば、接続後の容量素子対の静電容量値は、個々の容量素子の静電容量値の和になるので、図 18 に示す回路図において、たとえば、容量素子 C_1 と C_4 とを並列接続すれば、接続後の容量素子対の静電容量値は「 $C_1 + C_4$ 」になるので、演算器 21 を省略することができる。同様の方法により、演算器 22 ~ 30 , 36 を省略することも可能である。

【0124】

また、図 18 は、アナログ演算器を用いた検出回路を示すものであるが、図 17 に示す演算は、もちろん、デジタル演算によって行うことも可能である。たとえば、 C/V 変換器 11 ~ 18 の後段に A/D 変換器を接続すれば、静電容量値 $C_1 \sim C_8$ をそれぞれデジタル値として取り込むことができるので、マイクロコンピュータなどのデジタル回路により、図 17 に示す演算を行い、各検出値をデジタル値として出力することができる。

【0125】

ここで、図 14 に示す容量素子を用いた力覚センサの特徴をまとめておくと、次のように言うことができる。まず、基本構造部は、受カリング 100 および検出リング 200 の双方が、 Z 軸が中心軸となるように XY 平面上に配置された円形のリングであり、受カリング 100 が外側、検出リング 200 が内側となるように両リングが配置されており、検出リング 200 の更に内側に、下面が支持基板 300 の上面に固定され、 Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体 350 が設けられている、という特徴を有している。

【0126】

そして、検出素子として、次のような 8 組の容量素子が設けられている。

【 0 1 2 7 】

(1) 検出リング 2 0 0 の内周面の第 1 の測定点 R 1 近傍位置に配置された第 1 の変位電極 E 2 1 と、固定補助体 3 5 0 の外周面の第 1 の変位電極 E 2 1 に対向する位置に配置された第 1 の固定電極 E 1 1 とによって構成される第 1 の容量素子 C 1。

【 0 1 2 8 】

(2) 検出リング 2 0 0 の内周面の第 2 の測定点 R 2 近傍位置に配置された第 2 の変位電極 E 2 2 と、固定補助体 3 5 0 の外周面の第 2 の変位電極 E 2 2 に対向する位置に配置された第 2 の固定電極 E 1 2 とによって構成される第 2 の容量素子 C 2。

【 0 1 2 9 】

(3) 検出リング 2 0 0 の内周面の第 3 の測定点 R 3 近傍位置に配置された第 3 の変位電極 E 2 3 と、固定補助体 3 5 0 の外周面の第 3 の変位電極 E 2 3 に対向する位置に配置された第 3 の固定電極 E 1 3 とによって構成される第 3 の容量素子 C 3。

【 0 1 3 0 】

(4) 検出リング 2 0 0 の内周面の第 4 の測定点 R 4 近傍位置に配置された第 4 の変位電極 E 2 4 と、固定補助体 3 5 0 の外周面の第 4 の変位電極 E 2 4 に対向する位置に配置された第 4 の固定電極 E 1 4 とによって構成される第 4 の容量素子 C 4。

【 0 1 3 1 】

(5) 検出リング 2 0 0 の下面の第 1 の測定点 R 1 近傍位置に配置された第 5 の変位電極 E 2 5 と、支持基板 3 0 0 の上面の第 5 の変位電極 E 2 5 に対向する位置に配置された第 5 の固定電極 E 1 5 とによって構成される第 5 の容量素子 C 5。

【 0 1 3 2 】

(6) 検出リング 2 0 0 の下面の第 2 の測定点 R 2 近傍位置に配置された第 6 の変位電極 E 2 6 と、支持基板 3 0 0 の上面の第 6 の変位電極 E 2 6 に対向する位置に配置された第 6 の固定電極 E 1 6 とによって構成される第 6 の容量素子 C 6。

【 0 1 3 3 】

(7) 検出リング 2 0 0 の下面の第 3 の測定点 R 3 近傍位置に配置された第 7 の変位電極 E 2 7 と、支持基板 3 0 0 の上面の第 7 の変位電極 E 2 7 に対向する位置に配置された第 7 の固定電極 E 1 7 とによって構成される第 7 の容量素子 C 7。

【 0 1 3 4 】

(8) 検出リング 2 0 0 の下面の第 4 の測定点 R 4 近傍位置に配置された第 8 の変位電極 E 2 8 と、支持基板 3 0 0 の上面の第 8 の変位電極 E 2 8 に対向する位置に配置された第 8 の固定電極 E 1 8 とによって構成される第 8 の容量素子 C 8。

【 0 1 3 5 】

ここで、各容量素子 C 1 ~ C 8 を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、他方の電極の内部に包含されるようになっており、検出リング 2 0 0 の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は一定に維持される。

【 0 1 3 6 】

一方、この力覚センサの検出回路は、各容量素子 C 1 ~ C 8 の静電容量値を、同じ符号を用いて C 1 ~ C 8 と表したときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力する機能を有している。

【 0 1 3 7 】

以上、図 1 4 に示す力覚センサの検出原理およびこのセンサに用いる検出回路を説明し

た。この図 14 に示す力覚センサは、図 10 に示す 8 通りの距離 $d_1 \sim d_8$ を容量素子を用いて測定するものである。そこで、次に、図 12 に示す 6 通りの距離 $d_1 \sim d_4$, d_9 , d_{10} を容量素子を用いて測定するタイプの力覚センサについて簡単に説明しておく。この場合、距離 $d_1 \sim d_4$ を測定するために容量素子 $C_1 \sim C_4$ (固定電極 $E_{11} \sim E_{14}$ と変位電極 $E_{21} \sim E_{24}$) を設ける点は、図 14 に示す力覚センサと同様である。ただ、距離 $d_5 \sim d_8$ の測定は行わないため、図 14 に示す力覚センサで用いられていた容量素子 $C_5 \sim C_8$ (固定電極 $E_{15} \sim E_{18}$ と変位電極 $E_{25} \sim E_{28}$) は不要になる。

【0138】

その代わりに、図 12 に示す距離 d_9 , d_{10} を測定するために、容量素子 C_9 , C_{10} を設けるようにする。ここで、容量素子 C_9 は、検出リング 200 の下面の作用点 Q_1 (第 5 の測定点として機能する) の近傍位置に配置された変位電極 E_{29} と、支持基板 300 の上面の変位電極 E_{29} に対向する位置に配置された固定電極 E_{19} とによって構成される容量素子であり、容量素子 C_{10} は、検出リング 200 の下面の作用点 Q_2 (第 6 の測定点として機能する) の近傍位置に配置された変位電極 E_{30} と、支持基板 300 の上面の変位電極 E_{30} に対向する位置に配置された固定電極 E_{20} とによって構成される容量素子である。ここでも、容量素子 C_9 , C_{10} を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が、他方の電極の内部に包含される関係が維持され、有効対向面積が一定に維持される工夫を施すようにする。

【0139】

図 19 は、このような力覚センサ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容量素子 $C_1 \sim C_4$, C_9 , C_{10} の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルにおいても、「+」は静電容量値が増加することを示し、「-」は静電容量値が減少することを示し、「0」は静電容量値が変動しないことを示しており、テーブルの「 $C_1 \sim C_4$, C_9 , C_{10} 」欄に付記された括弧書きは、各容量素子を構成する一对の対向電極を示している。前述したとおり、距離と静電容量値とは増減関係が逆転するので、この図 19 に示すテーブルは、図 13 に示すテーブルの各欄の「+」と「-」とを入れ替えることによって得られる。

【0140】

図 19 のテーブルに示すとおり、静電容量値 $C_1 \sim C_4$, C_9 , C_{10} の変化パターンは、6 軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、静電容量値の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量値 $C_1 \sim C_4$, C_9 , C_{10} の測定値に基づく所定の演算を施せば、各軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。ただ、§ 2 でも述べたとおり、モーメント M_x に関しては、すべての容量値について「0」(変動なし)という結果となっているため、この力覚センサでは検出できない。

【0141】

図 20 は、この力覚センサに対して作用する力 F_x , F_y , F_z およびモーメント M_y , M_z を求める具体的な演算式を示す図である。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図 19 に示すテーブルを参照すれば容易に理解できよう。この演算式に基づいて 5 軸成分の検出値を出力するには、図 18 に準じた検出回路を用意すればよい。もちろん、一对の容量素子を並列接続すれば、演算器の一部を省略することができるし、A/D 変換器により静電容量値 $C_1 \sim C_4$, C_9 , C_{10} をそれぞれデジタル値として取り込めば、デジタル演算の結果として、各検出値をデジタル値として出力することもできる。

【0142】

結局、この力覚センサは、図 14 に示す力覚センサにおける容量素子 $C_5 \sim C_8$ を省略し、その代わりに、第 1 の作用点 Q_1 を第 5 の測定点とし、第 2 の作用点 Q_2 を第 6 の測定点として、第 5 の容量素子 C_9 と第 6 の容量素子 C_{10} とを設けた構造を有していることになる。ここで、第 5 の容量素子 C_9 は、検出リング 200 の下面の第 5 の測定点 Q_1 近傍位置に配置された第 5 の変位電極 E_{29} と、支持基板 300 の上面の第 5 の変位電極

E 2 9 に対向する位置に配置された第 5 の固定電極 E 1 9 とによって構成され、第 6 の容量素子 C 1 0 は、検出リング 2 0 0 の下面の第 6 の測定点 Q 2 近傍位置に配置された第 6 の変位電極 E 3 0 と、支持基板 3 0 0 の上面の第 6 の変位電極 E 3 0 に対向する位置に配置された第 6 の固定電極 E 2 0 とによって構成される。

【 0 1 4 3 】

また、各容量素子 C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、他方の電極の内部に包含されるようになっており、検出リング 2 0 0 の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子の有効対向面積は一定に維持される。

【 0 1 4 4 】

そして、この力覚センサの検出回路は、各容量素子 C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 の静電容量値を、同じ符号を用いて C 1 ~ C 4 , C 9 , C 1 0 と表したときに、

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

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

$$F_z = - (C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力する機能を有している。

【 0 1 4 5 】

最後に、容量素子を用いた力覚センサに適用できる実用的な工夫を述べておく。図 2 1 は、図 1 4 に示す力覚センサに、この実用的な工夫を施した変形例に係る力覚センサを、XY 平面で切断した横断面図（上段の図）および VZ 平面で切断した縦断面図（下段の図）である。この変形例の特徴は、検出リング 2 0 0 を可撓性をもった導電性材料（たとえば、アルミニウム合金などの金属）によって構成し、検出リング 2 0 0 の表面を共通変位電極 E 0 として容量素子 C 1 ~ C 8 を構成したものである。検出リング 2 0 0 の少なくとも表面部分が導電性材料によって構成されていれば、この表面全体が 1 枚の共通変位電極 E 0 として機能するので、図 1 4 に示す力覚センサにおける 8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 を兼用する電極として利用することができる。

【 0 1 4 6 】

図 2 1 を見れば明らかなように、検出リング 2 0 0 の表面には、別体の変位電極は形成されていないが、たとえば、検出リング 2 0 0 の外周面のうち、固定電極 E 1 1 に対向する一部分の領域が、図 1 4 に示す変位電極 E 2 1 として機能することになり、容量素子 C 1 が形成されることになる。同様に、検出リング 2 0 0 の下面のうち、固定電極 E 1 5 に対向する一部分の領域が、図 1 4 に示す変位電極 E 2 5 として機能することになり、容量素子 C 5 が形成されることになる。

【 0 1 4 7 】

もちろん、8 枚の変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 の代わりに、1 枚の共通変位電極 E 0（検出リング 2 0 0 の表面）を用いるようにすると、図 1 8 に示す回路図に示されている変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 が相互に短絡されることになるが、検出回路の動作には何ら支障はない。すなわち、C/V 変換器 1 1 ~ 1 8 は、いずれも変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 を接地した状態において、この接地ノードと各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 との間の静電容量値 C 1 ~ C 8 を電圧値 $V_1 ~ V_8$ に別個独立して変換することができるので、接地される変位電極 E 2 1 ~ E 2 8 が共通変位電極 E 0 に置き換わっても問題は生じない。

【 0 1 4 8 】

結局、図 2 1 に示す変形例において実質的に必要な電極は、固定補助体 3 5 0 の外周面に設けられた 4 枚の固定電極 E 1 1 ~ E 1 4 と、支持基板 3 0 0 の上面に設けられた 4 枚の固定基板 E 1 5 ~ E 1 8 ということになり、センサ全体の構造は極めて単純になる。また、共通変位電極 E 0 は、検出リング 2 0 0 の表面全体であるため、図 1 5 に示す電極 E

aの役割を果たすことになり、各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像が他方の電極の内部に包含される、という条件も満たされる。なお、各固定電極E11～E18は、互いに電氣的に絶縁されている必要があるので、固定補助体350の少なくとも表面の一部（固定電極E11～E14の形成部）および支持基板300の少なくとも上面の一部（固定電極E15～E18の形成部）は絶縁材料によって構成する必要があるが、その他の構成要素は金属などの導電性材料で構成することができる。

【0149】

<<< §4. ストレインゲージを用いた実施形態 >>>

本発明に係る力覚センサの共通した特徴は、検出リング200の弾性変形の態様および大きさを検出することにより、作用した力やモーメントの方向および大きさを求めることにある。§2では、弾性変形の態様および大きさを検出する方法の1つとして、測定点の変位を検出する方法を説明し、§3では、変位検出の具体的な方法として、容量素子を用いた実施形態を説明した。ここでは、弾性変形の態様および大きさを検出する別な方法として、検出素子により、検出リング200の所定の測定点R1～R4の近傍位置の機械的な歪みを電氣的に検出する方法を説明する。特に、歪みを検出する検出素子としてストレインゲージを用いた具体的な実施形態について述べる。

【0150】

図22は、ストレインゲージを用いた実施形態に係る力覚センサをXY平面で切断した横断面図である。この力覚センサの基本構造部は、図1に示す基本構造部と全く同じものであり、図14に示す容量素子を用いた実施形態の基本構造部と全く同じものである。ただ、検出素子として、容量素子の代わりにストレインゲージを用いることにより、測定点の変位の代わりに機械的な歪みを検出する点が異なっている。図22に示す4つの測定点R1～R4は、図14に示す4つの測定点R1～R4と全く同じものであり、V軸もしくはW軸上に配置された点である。

【0151】

この力覚センサでは、4つの測定点R1～R4の近傍の歪みを電氣的に測定するために、合計8種類のストレインゲージG1～G8が用いられる。すなわち、図22に示すとおり、ストレインゲージG1～G4は検出リング200の内周面の、それぞれ測定点R1～R4近傍に取り付けられており、ストレインゲージG5～G8（図では破線で示す）は検出リング200の下面の、それぞれ測定点R1～R4近傍に取り付けられている。

【0152】

ここで、各ストレインゲージG1～G8は、いずれも検出リング200の測定点R1～R4近傍の表面に、検出リング200の輪郭に沿った環状路に沿った方向が長手方向（応力の検出方向）となるように取り付けられている。したがって、取り付けられた表面に生じる、検出リング200の円周に沿った方向に関する機械的な歪みを、各ストレインゲージG1～G8の長手方向に関する電気抵抗の変化として検出することができる。

【0153】

図23は、図22に示す力覚センサ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ストレインゲージG1～G8の電気抵抗の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は電気抵抗が増加することを示し、「-」は電気抵抗が減少することを示し、「0」は電気抵抗の変動が無視しうる程度であることを示している。このような結果は、§1で説明した検出リング200の具体的な変形態様を解析することにより得られる。

【0154】

たとえば、受力リング100に対してX軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、検出リング200は図4に示すように変形する。したがって、検出リング200の内周面に張り付けられたストレインゲージG1～G4について長手方向に加わる応力を考えると、G1, G4に対しては伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加し、G2, G3に対しては縮める方向に応力が加わるので電気抵抗は減少する。一方、検出リング200の下面に張り付けられたストレインゲージG5～G8については、電気抵抗の変化は無視しうる程度で

ある（具体的な数値については後述）。図 2 3 のテーブルの $+F_x$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y 軸正方向の力 $+F_y$ が作用した場合は、図 2 3 のテーブルの $+F_y$ の行に示す結果が得られる。

【0155】

また、受カリング 1 0 0 に対して Z 軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、検出リング 2 0 0 は、図 5 に示すように変形する。このとき、検出リング 2 0 0 の内周面に張り付けられたストレインゲージ G 1 ~ G 4 については、電気抵抗の変化は無視しうる程度であるが、検出リング 2 0 0 の下面に張り付けられたストレインゲージ G 5 ~ G 8 に対しては、伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加する。図 2 3 のテーブルの $+F_z$ の行は、このような結果を示している。

【0156】

そして、受カリング 1 0 0 に対して Y 軸正まわりのモーメント $+M_y$ が作用すると、検出リング 2 0 0 は、図 6 に示すように変形し、図の右半分は下方へ変位し、図の左半分は上方へ変位する。このとき、検出リング 2 0 0 の内周面に張り付けられたストレインゲージ G 1 ~ G 4 については、電気抵抗の変化は無視しうる程度であるが、検出リング 2 0 0 の下面に張り付けられたストレインゲージ G 5 ~ G 8 のうち、G 5 , G 8 に対しては、縮める方向に応力が加わるので電気抵抗が減少し、G 6 , G 7 に対しては、伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加する。図 2 3 のテーブルの $+M_y$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、X 軸正まわりのモーメント $+M_x$ が作用した場合は、図 2 3 のテーブルの $+M_x$ の行に示す結果が得られる。

【0157】

最後に、受カリング 1 0 0 に対して Z 軸正まわりのモーメント $+M_z$ が作用した場合、検出リング 2 0 0 は、図 7 に示すように変形する。このとき、検出リング 2 0 0 の下面に張り付けられたストレインゲージ G 5 ~ G 8 については、電気抵抗の変化は無視しうる程度であるが、検出リング 2 0 0 の内周面に張り付けられたストレインゲージ G 1 ~ G 4 のうち、G 2 , G 4 に対しては、伸ばす方向に応力が加わるので電気抵抗が増加し、G 1 , G 3 に対しては、縮める方向に応力が加わるので電気抵抗が減少する。図 2 3 のテーブルの $+M_z$ の行は、このような結果を示している。

【0158】

なお、図 2 3 のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、8 組のストレインゲージ G 1 ~ G 8 の電気抵抗の変動パターンは、6 軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、電気抵抗の変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら電気抵抗の測定値に基づく所定の演算を施せば、6 軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

【0159】

図 2 4 は、図 2 2 に示す力覚センサ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ストレインゲージ G 1 ~ G 8 に加わる応力（単位：MPa）を有限要素法で解析した具体的な解析結果を示すテーブルである。図 2 3 のテーブルは、図 2 4 のテーブルに基づいて作成したものである。上述したとおり、図 2 3 のテーブルの「0」の欄は電気抵抗の変動が「0」であることを示しているわけではなく、テーブルの他の欄における変動に比べて小さく、測定値として無視することができる程度であることを示している。

【0160】

もっとも、これらの測定値が無視しうるか否かは、力覚センサに求める精度に依存する問題であり、低い精度しか要求されない力覚センサであれば、これらの測定値を無視した取り扱いを行うことができるが、高い精度が要求される力覚センサでは、決して無視できない値になろう。実際、図 2 3 に示すテーブルにおいて「0」と記された欄について、電気抵抗の変動値が生じると、他軸成分の干渉が生じ、精度の高い検出値を得ることはでき

なくなる。そのような場合は、必要に応じて、マイクロコンピュータなどによる補正演算を行うようにするのが好ましい。

【0161】

図23のテーブルの「0」の欄の電気抵抗の変動を近似的に「0」であるとして取り扱うことができる場合、この力覚センサに対して作用する力 F_x 、 F_y およびモーメント M_x 、 M_y 、 M_z の検出値は、単純なホイートストンブリッジからなる検出回路を用いて出力することが可能である。更に、力 F_z の検出値も、単純なホイートストンブリッジによって得るようにし、6軸成分のすべてをホイートストンブリッジからなる検出回路から出力させるようにするには、検出リング200の上面にストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ を追加すればよい。

【0162】

図25は、図22に示す実施形態に、更に、ストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ を付加した変形例に係る力覚センサの上面図である。図22に示すストレインゲージ $G_5 \sim G_8$ は、検出リング200の下面に設けられているが、図25に示すストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ は、検出リング200の上面に設けられている。より具体的には、ストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ は、それぞれストレインゲージ $G_5 \sim G_8$ の真上に配置された同形状の同サイズのゲージ抵抗である。このため、ストレインゲージ $G_9 \sim G_{12}$ の電気抵抗の増減は、図23のテーブルに示されているストレインゲージ $G_5 \sim G_8$ の電気抵抗の増減とは逆の関係になる。

【0163】

このように、合計12種類のストレインゲージ $G_1 \sim G_{12}$ を利用すれば、6軸成分のすべての検出値をホイートストンブリッジからなる検出回路によって出力することができる。図26は、図25に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z を検出するための検出回路を示す回路図であり、図27は、図25に示す変形例に係る力覚センサにおいて、各座標軸まわりのモーメント M_x 、 M_y 、 M_z を検出するための検出回路を示す回路図である。いずれも電源40からの電源供給を受けて動作するホイートストンブリッジからなる回路である。

【0164】

図23のテーブルの $+F_x$ の行を参照すれば、 G_1 、 G_4 が「+」、 G_2 、 G_3 が「-」となっているので、図26上段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_x} が、X軸方向の力 F_x の検出値になることは容易に理解できよう。同様の理由により、図26中段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_y} が、Y軸方向の力 F_y の検出値になる。また、図23のテーブルの $+F_z$ の行を参照すれば、 $G_5 \sim G_8$ が「+」となっており、 $G_9 \sim G_{12}$ はこれとは逆の「-」になるので、図26下段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{F_z} が、Z軸方向の力 F_z の検出値になることも容易に理解できよう。

【0165】

一方、図23のテーブルの $+M_x$ の行を参照すれば、 G_5 、 G_6 が「-」、 G_7 、 G_8 が「+」となっているので、図27上段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_x} が、X軸まわりのモーメント M_x の検出値になることは容易に理解できよう。同様の理由により、図27中段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_y} が、Y軸まわりのモーメント M_y の検出値になる。また、図23のテーブルの $+M_z$ の行を参照すれば、 G_1 、 G_3 が「-」、 G_2 、 G_4 が「+」となっているので、図27下段に示すホイートストンブリッジによる出力電圧 V_{M_z} が、Z軸まわりのモーメント M_z の検出値になることも容易に理解できよう。

【0166】

かくして、この力覚センサに対して作用する力 F_x 、 F_y 、 F_z およびモーメント M_x 、 M_y 、 M_z の6軸成分の検出値が、単純なホイートストンブリッジからなる検出回路によって出力される。なお、出力値の符号が、正しい軸方向および正しい軸まわりの符号になるようにするには、各ホイートストンブリッジに対して接続される電源40の極性を、

それぞれ適切な向きに設定する必要がある。

【 0 1 6 7 】

なお、図 2 6 および図 2 7 に示すようなホイートストンブリッジからなる検出回路を組む場合、個々のホイートストンブリッジは電氣的に独立したブリッジを構成するようになる必要があるので、回路図に同じ符号で示されているストレインゲージであっても、実際には、電氣的に独立した別のストレインゲージにしておく必要がある。たとえば、図 2 6 上段の回路に示された G 1 , 中段の回路に示された G 1 , 図 2 7 下段の回路に示された G 1 は、いずれも同じ符号で示されているが、実際には、別個独立したストレインゲージである。

【 0 1 6 8 】

したがって、図 2 2 や図 2 5 に示すストレインゲージ G 1 は、実際には、互いに電氣的に独立した複数本（別個独立したホイートストンブリッジを構成するのに必要な数）のストレインゲージの束を示していることになる。別言すれば、これまで述べてきたストレインゲージ G 1 ~ G 1 2 は、それぞれ異なる配置属性をもった 1 2 種類のストレインゲージを示しており、実際の力覚センサは、この 1 2 種類の属性のいずれかをもつストレインゲージを、図 2 6 および図 2 7 に示すホイートストンブリッジを構成するのに必要な数だけ配置することにより構成される。

【 0 1 6 9 】

もちろん、力 F z を除く 5 軸成分 F x , F y , M x , M y , M z を検出できれば十分な場合には、検出リング 2 0 0 の上面に配置されるストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 は省略することができ、8 種類の属性をもつストレインゲージ G 1 ~ G 8 のみを用いて力覚センサを構成することができる。

【 0 1 7 0 】

なお、図 2 2 に示す例では、ストレインゲージ G 1 ~ G 4 を検出リング 2 0 0 の内側面に配置しているが、逆に検出リング 2 0 0 の外側面に配置するようにしてもよい。同様に、図 2 2 に示す例では、ストレインゲージ G 5 ~ G 8 を検出リング 2 0 0 の下面に配置しているが、逆に検出リング 2 0 0 の上面に配置するようにしてもよい。内側面と外側面、あるいは、上面と下面では、応力の加わる方向が逆転し、図 2 3 に示すテーブルの「+」と「-」が逆転するものの、上述したホイートストンブリッジにより、各検出値が得られる点に変わりはない。

【 0 1 7 1 】

結局、このような 5 軸成分の検出機能をもった力覚センサの特徴をまとめておくと、次のように言うことができる。まず、基本構造部は、受リング 1 0 0 および検出リング 2 0 0 の双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、受リング 1 0 0 が外側、検出リング 2 0 0 が内側となるように両リングが配置されている。

【 0 1 7 2 】

そして、検出素子として、検出リング 2 0 0 の第 1 ~ 第 4 の測定点 R 1 ~ R 4 の近傍の表面に、検出リング 2 0 0 の輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージ G 1 ~ G 8 が用いられる。ここで、検出リング 2 0 0 の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し（図 2 2 の例の場合、内周面が横方向配置面になる）、検出リング 2 0 0 の上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面（図 2 2 の例の場合、下面が縦方向配置面になる）と定義したとき、検出素子は、次の 8 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成される。

【 0 1 7 3 】

(1) 横方向配置面の第 1 の測定点 R 1 の近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージ G 1 。

【 0 1 7 4 】

(2) 横方向配置面の第 2 の測定点 R 2 の近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージ G 2 。

【 0 1 7 5 】

(3) 横方向配置面の第3の測定点 R 3 の近傍位置に取り付けられた第3属性のストレインゲージ G 3。

【 0 1 7 6 】

(4) 横方向配置面の第4の測定点 R 4 の近傍位置に取り付けられた第4属性のストレインゲージ G 4。

【 0 1 7 7 】

(5) 縦方向配置面の第1の測定点 R 1 の近傍位置に取り付けられた第5属性のストレインゲージ G 5。

【 0 1 7 8 】

(6) 縦方向配置面の第2の測定点 R 2 の近傍位置に取り付けられた第6属性のストレインゲージ G 6。

【 0 1 7 9 】

(7) 縦方向配置面の第3の測定点 R 3 の近傍位置に取り付けられた第7属性のストレインゲージ G 7。

【 0 1 8 0 】

(8) 縦方向配置面の第4の測定点 R 4 の近傍位置に取り付けられた第8属性のストレインゲージ G 8。

【 0 1 8 1 】

そして、検出回路は、図 2 6 上段に示すように、第1属性のストレインゲージ G 1 と第4属性のストレインゲージ G 4 とを第1の対辺とし、第2属性のストレインゲージ G 2 と第3属性のストレインゲージ G 3 とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸方向の力 F_x の検出値 V_{F_x} を出力し、図 2 6 中段に示すように、第1属性のストレインゲージ G 1 と第2属性のストレインゲージ G 2 とを第1の対辺とし、第3属性のストレインゲージ G 3 と第4属性のストレインゲージ G 4 とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸方向の力 F_y の検出値 V_{F_y} を出力する。

【 0 1 8 2 】

一方、図 2 7 上段に示すように、第5属性のストレインゲージ G 5 と第6属性のストレインゲージ G 6 とを第1の対辺とし、第7属性のストレインゲージ G 7 と第8属性のストレインゲージ G 8 とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸まわりのモーメント M_x の検出値 V_{M_x} を出力し、図 2 7 中段に示すように、第5属性のストレインゲージ G 5 と第8属性のストレインゲージ G 8 とを第1の対辺とし、第6属性のストレインゲージ G 6 と第7属性のストレインゲージ G 7 とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸まわりのモーメント M_y の検出値 V_{M_y} を出力し、図 2 7 下段に示すように、第1属性のストレインゲージ G 1 と第3属性のストレインゲージ G 3 とを第1の対辺とし、第2属性のストレインゲージ G 2 と第4属性のストレインゲージ G 4 とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z軸まわりのモーメント M_z の検出値 V_{M_z} を出力する。

【 0 1 8 3 】

そして、力 F_z を含めた6軸成分を検出する力覚センサを構成する場合には、図 2 5 に示すように、検出リング 2 0 0 の上面に配置されるストレインゲージ G 9 ~ G 1 2 を更に付加すればよい。なお、検出リング 2 0 0 の上面に配置されるストレインゲージを G 5 ~ G 8 とし、検出リング 2 0 0 の下面に配置されるストレインゲージを G 9 ~ G 1 2 とし、上面/下面に形成されるストレインゲージの属性の呼び方を変えた場合も、図 2 6 および図 2 7 に示すホイートストンブリッジ回路による検出が可能な点に変わりはない。したがって、検出リング 2 0 0 の内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、検出リング 2 0 0 の上面および下面のいずれか一方を第1縦方向配置面、他方を第2縦方向配置面と定義すれば、検出素子は、以下の12種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成される。

【 0 1 8 4 】

(1) 横方向配置面の第1の測定点R1の近傍位置に取り付けられた第1属性のストレインゲージG1。

【0185】

(2) 横方向配置面の第2の測定点R2の近傍位置に取り付けられた第2属性のストレインゲージG2。

【0186】

(3) 横方向配置面の第3の測定点R3の近傍位置に取り付けられた第3属性のストレインゲージG3。

【0187】

(4) 横方向配置面の第4の測定点R4の近傍位置に取り付けられた第4属性のストレインゲージG4。

【0188】

(5) 検出リング200の第1縦方向配置面の第1の測定点R1の近傍位置に取り付けられた第5属性のストレインゲージG5。

【0189】

(6) 検出リング200の第1縦方向配置面の第2の測定点R2の近傍位置に取り付けられた第6属性のストレインゲージG6。

【0190】

(7) 検出リング200の第1縦方向配置面の第3の測定点R3の近傍位置に取り付けられた第7属性のストレインゲージG7。

【0191】

(8) 検出リング200の第1縦方向配置面の第4の測定点R4の近傍位置に取り付けられた第8属性のストレインゲージG8。

【0192】

(9) 検出リング200の第2縦方向配置面の第1の測定点R1の近傍位置に取り付けられた第9属性のストレインゲージG9。

【0193】

(10) 検出リング200の第2縦方向配置面の第2の測定点R2の近傍位置に取り付けられた第10属性のストレインゲージG10。

【0194】

(11) 検出リング200の第2縦方向配置面の第3の測定点R3の近傍位置に取り付けられた第11属性のストレインゲージG11。

【0195】

(12) 検出リング200の第2縦方向配置面の第4の測定点R4の近傍位置に取り付けられた第12属性のストレインゲージG12。

【0196】

そして、検出回路は、図26上段に示すように、第1属性のストレインゲージG1と第4属性のストレインゲージG4とを第1の対辺とし、第2属性のストレインゲージG2と第3属性のストレインゲージG3とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸方向の力 F_x の検出値 V_{F_x} を出力し、図26中段に示すように、第1属性のストレインゲージG1と第2属性のストレインゲージG2とを第1の対辺とし、第3属性のストレインゲージG3と第4属性のストレインゲージG4とを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸方向の力 F_y の検出値 V_{F_y} を出力し、図26下段に示すように、第5属性のストレインゲージG5と第6属性のストレインゲージG6との直列接続辺と、第7属性のストレインゲージG7と第8属性のストレインゲージG8との直列接続辺と、を第1の対辺とし、第9属性のストレインゲージG9と第10属性のストレインゲージG10との直列接続辺と、第11属性のストレインゲージG11と第12属性のストレインゲージG12との直列接続辺と、を第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z軸方向の力 F_z の検出値 V_{F_z} を出力する。

【0197】

また、図 27 上段に示すように、第 5 属性のストレインゲージ G 5 と第 6 属性のストレインゲージ G 6 とを第 1 の対辺とし、第 7 属性のストレインゲージ G 7 と第 8 属性のストレインゲージ G 8 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値 V_{M_x} を出力し、図 27 中段に示すように、第 5 属性のストレインゲージ G 5 と第 8 属性のストレインゲージ G 8 とを第 1 の対辺とし、第 6 属性のストレインゲージ G 6 と第 7 属性のストレインゲージ G 7 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値 V_{M_y} を出力し、図 27 下段に示すように、第 1 属性のストレインゲージ G 1 と第 3 属性のストレインゲージ G 3 とを第 1 の対辺とし、第 2 属性のストレインゲージ G 2 と第 4 属性のストレインゲージ G 4 とを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値 V_{M_z} を出力する。

【0198】

<<< § 5 . 実装に適した工夫 >>>

ここでは、これまで述べてきた力覚センサをロボットや産業機械等を実装する場合に適したいくつかの工夫を述べておく。

【0199】

< 5 - 1 . 受力基板 >

図 28 は、図 1 に示す基本構造部に、受力基板 600 を付加した形態を示す X Z 平面における縦断面図である。実際には、この基本構造部に、容量素子やストレインゲージ等の検出素子が付加されることになるが、ここでは、説明の便宜上、基本構造部のみを示すことにする。

【0200】

受力基板 600 は、図示のとおり、受力リング 100 および検出リング 200 の上方に所定間隔をおいて配置された基板であり、X Y 平面に平行な上面を有している。ここで、受力基板 600 の下面の一部（図示の例では、外周近傍）は、受力リング 100 の上面に接続されている。また、受力基板 600 の下面と検出リング 200 の上面との間には、所定の空隙部 H3 が形成されている。これは、受力基板 600 の下面の内側部分が、外側部分に比べて厚みが小さくなっているためである。このような空隙部 H3 を設けたため、検出リング 200 の変位が受力基板 600 によって妨げられることはない。

【0201】

これまで述べてきた実施形態は、支持基板 300 を固定した状態において、受力リング 100 に作用する力やモーメントを検出するものであったが、図 28 に示す例では、支持基板 300 を固定した状態において、受力基板 600 に作用する力やモーメントを検出することになる。別言すれば、受力リング 100 には、受力基板 600 が受けた力やモーメントが伝達される。

【0202】

このように、受力基板 600 が設けられた力覚センサは、ロボットアームなどの中継部分に取り付ける場合に実装しやすい。たとえば、受力基板 600 の上面にロボットのハンド部を接合し、支持基板 300 の下面にロボットのアーム部を接合すれば、この受力センサをロボットの手首に実装することができ、ハンド部に加わる力やモーメントを検出することができる。

【0203】

< 5 - 2 . 検出リングの別な固定方法 >

図 29 は、図 1 に示す基本構造部における検出リング 200 の固定方法を変えた変形例を示す上面図である。ここでも、実際には、この基本構造部に、容量素子やストレインゲージ等の検出素子が付加されることになるが、説明の便宜上、基本構造部のみを示してある。

【0204】

図 1 に示す基本構造部では、検出リング 200 が、固定部材 510, 520 によって支持基板 300 上に固定されていた。ここで、固定部材 510, 520 は、検出リング 200

0の下面と支持基板300の上面とを接続する役割を果たす。これに対して、図29に示す基本構造部の場合、検出リング200は、固定部材515, 525によって、固定補助体350に固定されている。

【0205】

このような固定方法を採用するためには、受リング100が外側、検出リング200が内側となるように両リングを配置し、検出リング200の更に内側に、下面が支持基板300の上面に固定された固定補助体350を設けることが前提となる。図14や図21に示した力覚センサは、このような前提の基本構造部を備えている。受リング100と検出リング200が、X軸に沿った接続部材410, 420によって接続される点は、図14や図21に示した力覚センサと同じであるが、図29に示す力覚センサの場合、検出リング200を支持基板300上に固定するために、固定部材515, 525が、検出リング200の内周面と固定補助体350の外周面とを接続することになる。

【0206】

固定部材515, 525が、Y軸に沿って配置されているため、検出リング200上に定義される固定点P1, P2の位置や、作用点Q1, Q2の位置は、これまで述べてきた実施形態と変わりはない。したがって、これまでとは異なる固定方法を採用しているものの、力覚センサとしての基本動作は、これまで述べた実施形態と同じである。検出リング200は、固定部材515, 525および固定補助体350を介して、支持基板300に対して固定されることになる。支持基板300の上面に対して接合される部材は、固定補助体350のみとなるため、これまで述べてきた実施形態と比べて、組立工程が若干簡略化されることになる。特に、固定補助体350と支持基板300とを最終段階で接合して、この力覚センサを実装するような環境では、実装が容易になる。

【0207】

<5-3. 変位の制御構造(その1)>

図30は、図1に示す基本構造部に、変位制御構造を付加した例を示す上面図であり、図31は、この例をXZ平面で切断した縦断面図である。図31に示すとおり、受リング100の左右両端付近には、上下に貫通する貫通孔105, 107が形成されており、受リング100の上面の貫通孔105, 107の位置には、貫通孔105, 107よりも径の大きな溝部101, 103が形成されている。

【0208】

そして、この貫通孔105, 107を挿通するように、変位制御ネジ111, 113が嵌め込まれている。この変位制御ネジ111, 113は、先端部が支持基板300の上面に形成されたネジ穴に固定されており、頭部が溝部101, 103に収容された状態になっている。しかも、変位制御ネジ111と貫通孔105の内面および溝部101の内面との間には空隙部が形成されており、変位制御ネジ113と貫通孔107の内面および溝部103の内面との間にも空隙部が形成されている。

【0209】

図31は、XZ断面図であるため、2本の変位制御ネジ111, 113およびその周囲の構造しか現れていないが、実際には、図30の上面図に示すとおり、4本の変位制御ネジ111, 112, 113, 114が所定箇所(この例の場合、X軸正および負ならびにY軸正および負の合計4箇所)に配置されており、その周囲の構造はいずれも同じである。4本の変位制御ネジ111, 112, 113, 114の頭部は、それぞれ溝部101, 102, 103, 104に収容されているが、両者間には空隙部が形成されている。これは、各変位制御ネジ111~114が、受リング100を固定する機能を果たしているわけではないことを意味する。

【0210】

各変位制御ネジ111~114は、その先端部が支持基板300の上面に形成されたネジ穴に固定されているため、変位制御ネジ自身は、支持基板300に対して垂直に立った状態で固定されていることになる。一方、受リング100は、変位制御ネジ111~114で固定されているわけではないので、力もしくはモーメントが作用すると変位を生じ

ることになる。但し、変位量が大きくなると、変位制御ネジ 1 1 1 ~ 1 1 4 と貫通孔 1 0 5 ~ 1 0 8 の内面もしくは溝部 1 0 1 ~ 1 0 4 の内面とが接触して、受カリング 1 0 0 の変位が制限される。

【 0 2 1 1 】

ここで、受カリング 1 0 0 に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、変位制御ネジ 1 1 1 ~ 1 1 4 によって受カリング 1 0 0 の変位が制限されるように、空隙部の寸法を設定しておけば、受カリング 1 0 0 が過度に変位することを制限することができる。このように受カリング 1 0 0 の変位を制限する制御構造を設けておけば、過度の力やモーメントが作用した場合にも、基本構造部が機械的な損傷を受けることを防止することができる。特に、検出リング 2 0 0 は、可撓性を有した部材であり、所定の許容範囲内の力の作用に対しては弾性変形を生じるが、許容範囲を超える力が作用した場合、損傷する可能性がある。したがって、実用上は、ここに示す例のように、何らかの変位制御構造を設けておくのが好ましい。

【 0 2 1 2 】

< 5 - 4 . 変位の制御構造 (その 2) >

ここでは、受カリング 1 0 0 の過度の変位を制御する別な構造例を説明する。ここに示す例は、受カリング 1 0 0 の上方に配置された受カ基板 6 0 0 利用して、変位の制御構造を実現した例である。すなわち、ここで述べる例は、§ 3 で述べた容量素子を用いた実施形態を、より実装に適した形に改良した力覚センサの例であり、基本的な構造は、図 2 1 に示す力覚センサと全く同じである。

【 0 2 1 3 】

図 3 2 は、この力覚センサの上面図、図 3 3 は、この力覚センサを X Z 平面で切断した縦断面図、図 3 4 は、この力覚センサを V Z 平面で切断した縦断面図である。ここで、V 軸および W 軸は、図 2 1 に示す実施形態で定義したものと同一のものであり、X Y 平面に含まれ、X 軸や Y 軸に対して 4 5 ° 傾斜した座標軸である。

【 0 2 1 4 】

図 3 2 に示すように、この力覚センサの上部は円盤状の受カ基板 6 0 0 A によって覆われている。図 3 2 に描かれた破線は、受カリング 1 0 0 A の位置を示すものである。図示のとおり、受カ基板 6 0 0 A の X 軸および Y 軸の上方に位置する 4 箇所には、円形の溝部 6 0 1 , 6 0 3 , 6 0 5 , 6 0 7 が形成されており、これらの中心位置には貫通孔が形成され、固定ネジ 6 1 1 , 6 1 3 , 6 1 5 , 6 1 7 が挿通している。この固定ネジ 6 1 1 , 6 1 3 , 6 1 5 , 6 1 7 は、受カ基板 6 0 0 A を受カリング 1 0 0 A に固定する役割を果たす。

【 0 2 1 5 】

図 3 3 には、固定ネジ 6 1 1 , 6 1 5 が、受カリング 1 0 0 A の上面に形成されたネジ穴に固定されている状態が明瞭に示されている。固定ネジ 6 1 1 , 6 1 5 の頭部は、溝部 6 0 1 , 6 0 5 内に収容されている。固定ネジ 6 1 3 , 6 1 7 の固定状態も同様である。なお、支持基板 3 0 0 A の下面における固定ネジ 6 1 1 , 6 1 3 , 6 1 5 , 6 1 7 の真下の位置には、それぞれネジ孔 3 0 1 , 3 0 3 , 3 0 5 , 3 0 7 が形成されている。これらのネジ孔は、支持基板 3 0 0 A を、その下方の物体 (たとえば、ロボットのアーム部) に固定する役割を果たす。

【 0 2 1 6 】

一方、図 3 2 に示すとおり、受カ基板 6 0 0 A の V 軸および W 軸の上方に位置する 4 箇所には、円形の貫通孔 6 0 2 , 6 0 4 , 6 0 6 , 6 0 8 が形成されており、その内部には、円筒状のスペーサ 6 2 2 , 6 2 4 , 6 2 6 , 6 2 8 が嵌め込まれ、更にその内部には、固定ネジ 6 1 2 , 6 1 4 , 6 1 6 , 6 1 8 が挿通している。この固定ネジ 6 1 2 , 6 1 4 , 6 1 6 , 6 1 8 は、受カリング 1 0 0 A を、受カ基板 6 0 0 A の上方の物体 (たとえば、ロボットのハンド部) に固定する役割を果たす。

【 0 2 1 7 】

図 3 4 には、固定ネジ 6 1 2 , 6 1 6 およびその周囲の構造が明瞭に示されている。固

定ネジ 6 1 2 の頭部は、受力リング 1 0 0 A の下面に形成された溝部 1 2 1 内に收容されており、その先端部は、受力リング 1 0 0 A に形成された貫通孔および受力基板 6 0 0 A に形成された貫通孔 6 0 2 を通って上方へと突き出している。この固定ネジ 6 1 2 と貫通孔 6 0 2 の内壁面との間には、円筒状のスペーサ 6 2 2 が嵌められている。同様に、固定ネジ 6 1 6 の頭部は、受力リング 1 0 0 A の下面に形成された溝部 1 2 6 内に收容されており、その先端部は、受力リング 1 0 0 A に形成された貫通孔および受力基板 6 0 0 A に形成された貫通孔 6 0 6 を通って上方へと突き出している。この固定ネジ 6 1 6 と貫通孔 6 0 6 の内壁面との間には、円筒状のスペーサ 6 2 6 が嵌められている。固定ネジ 6 1 4 , 6 1 8 の周囲の構造も同様である。

【 0 2 1 8 】

受力基板 6 0 0 A の上方の物体（たとえば、ロボットのハンド部）の下面に、固定ネジ 6 1 2 , 6 1 4 , 6 1 6 , 6 1 8 の先端部に螺合するネジ孔を形成しておけば、当該物体は、これら固定ネジによって、スペーサ 6 2 2 , 6 2 4 , 6 2 6 , 6 2 8 の上端位置にしっかりと固定される。

【 0 2 1 9 】

図 3 3 および図 3 4 に示されているように、受力基板 6 0 0 A の下面外周部には、受力リング 1 0 0 A および検出リング 2 0 0 A を包摂する包摂筒状体 6 5 0（この例の場合、円筒状の物体）が接続されている（図示の例の場合、受力基板 6 0 0 A と包摂筒状体 6 5 0 とは一体の構造体となっている）。しかも、包摂筒状体 6 5 0 の下端部と支持基板 3 0 0 A の外周部との間には空隙部 H 4 , H 5 が形成されている。すなわち、この例の場合、支持基板 3 0 0 A の周縁部には段差部が設けられており、包摂筒状体 6 5 0 の下端部と段差部との間には空隙部 H 4 が形成されている。また、包摂筒状体 6 5 0 の内壁面と支持基板 3 0 0 A の段差内側の周縁部との間には空隙部 H 5 が形成されている。

【 0 2 2 0 】

ここで、空隙部 H 4 , H 5 の寸法は、受力基板 6 0 0 A に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、包摂筒状体 6 5 0 の下端部と支持基板 3 0 0 A の外周部とが接触して、受力基板 6 0 0 A の変位が制限されるように設定されている。したがって、この力覚センサの場合も、過度の力やモーメントが作用した場合にも、基本構造部が機械的な損傷を受けることを防止することができる。

【 0 2 2 1 】

なお、この力覚センサでは、検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板 3 8 0 が、支持基板 3 0 0 A の上面に設けられている。図示の例では、検出回路基板 3 8 0 は、固定補助体 3 5 0 A の周囲を取り囲むようなワッシャ状の回路基板であり、図 3 4 に示すとおり、固定電極 E 1 5 , E 1 6 , E 1 7 , E 1 8 は、この検出回路基板 3 8 0 の上面に配置される。なお、図では、検出回路基板 3 8 0 上に実装される電子部品は省略されているが、これらの電子部品は、たとえば、図 1 8 に示すような回路を構成する部品になる。これらの電子部品と、共通変位電極 E 0（すなわち、検出リング 2 0 0 A）および各固定電極 E 1 1 ~ E 1 8 との間には配線が施される。

【 0 2 2 2 】

このように、検出回路基板 3 8 0 を支持基板 3 0 0 A の上面に設け、検出回路の部品を実装すれば、力覚センサとして必要な構成要素をすべて内部に組み込むことができる。したがって、装置全体の省スペース化、薄型化を図ることができる。

【 0 2 2 3 】

<<< § 6 . ダイアフラム部を形成する実施形態 >>>

これまで述べてきた実施形態では、検出リング 2 0 0 として、全体が可撓性を有する円環状のリングを用いていたが、本発明に用いる検出リング 2 0 0 は、必ずしも全体が可撓性を有する必要はなく、少なくとも一部に弾性変形が生じるリングであれば足りる。ここでは、検出リング 2 0 0 の一部分にダイアフラム部を形成し、このダイアフラム部に弾性変形の役割を課した実施形態を説明する。

【 0 2 2 4 】

図35は、検出リングにダイアフラム部を形成した実施形態の基本構造部をXY平面で切断した横断面図(上段の図)およびXZ平面で切断した縦断面図(下段の図)である。ここでも、V軸およびW軸は、これまで述べた実施形態で定義したのと同じものであり、XY平面に含まれ、X軸やY軸に対して45°傾斜した座標軸である。

【0225】

ここに示す基本構造部は、受カリング100Bの内側に検出リング200Bを配置し、更にその内側に固定補助体350Bを配置し、これらの下方に支持基板300Bを配置した構成を有する。受カリング100Bと検出リング200Bの間には空隙部H6が確保され、検出リング200Bと固定補助体350Bの間には空隙部H7が確保されている。そして、受カリング100Bと検出リング200Bは、支持基板300Bに対して上方に浮いた位置に支持されているため、検出リング200Bは、所定の許容範囲内で変形および変位することができる。

【0226】

受カリング100Bおよび検出リング200Bは、いずれも円環状のリングであり、XY平面上にZ軸を中心軸として配置されている。また、支持基板300Bは、XY平面に平行な上面をもち、受カリング100Bおよび検出リング200Bの下方に所定間隔をおいて配置されている。そして、固定補助体350Bは、Z軸を中心軸として配置された円柱状の構造体であり、その下面は支持基板300Bの上面に接合されている。このような特徴は、図8に示す基本構造部と共通するものである。

【0227】

ただ、ここに示す実施形態の場合、検出リング200Bは幾何学的に完全な円環ではなく、図35上段の横断面図に示すとおり、一部分に4組のダイアフラム部D1~D4が設けられている。そして、受カリング100Bと検出リング200Bとを接続する4本の接続部材431~434は、X軸もしくはY軸を中心軸とする円柱状の部材であり、その内側端は各ダイアフラム部D1~D4の中心位置に接続されている。したがって、各ダイアフラム部D1~D4の中心位置は、それぞれ作用点Q11~Q14として機能する。実用上は、受カリング100B、検出リング200B、接続部材431~434は、金属などの同一材料で一体の構造体として製造することができる。

【0228】

一方、検出リング200BのV軸およびW軸上には、図示のとおり固定点P11~P14が定義されている。そして、検出リング200Bの固定点P11~P14の位置は、固定部材531~534によって支持基板300Bの上面に固定されている。図35において、破線で描かれている固定部材531~534は、検出リング200Bの固定点P11~P14の位置の下面に配置されている。図36は、図35に示す基本構造部をVZ平面で切断した縦断面図である。この図には、検出リング200Bの固定点P11近傍の下面が固定部材531によって支持基板300Bの上面に固定され、検出リング200Bの固定点P13近傍の下面が固定部材533によって支持基板300Bの上面に固定されている状態が明瞭に示されている。

【0229】

結局、図35上段の横断面図に示すとおり、検出リング200Bは、4箇所の固定点P11~P14の位置で支持基板300Bに固定された状態において、4箇所の作用点Q11~Q14の位置に力を受けることになる。ダイアフラム部D1~D4は、検出リング200Bに形成された、他の部分に比べて肉厚の薄い部分であり、可撓性を有している。したがって、受カリング100Bから4本の接続部材431~434を介して各作用点Q11~Q14に力が作用すると、専ら、ダイアフラム部D1~D4に弾性変形が生じることになる。もちろん、検出リング200Bの各部を同一材料で構成した場合、厳密に言えば、ダイアフラム部D1~D4以外の部分も多少の弾性変形を生じることになるが、実質的には、ダイアフラム部D1~D4に弾性変形が集中する。

【0230】

そこで、ここに示す実施形態では、このダイアフラム部D1~D4に生じた弾性変形を

、検出素子によって電氣的に検出することになる。具体的には、§ 3 で述べた実施形態と同様に、容量素子を用いてダイアフラム部 D 1 ~ D 4 に生じた変位を測定し、その結果に基づいて、弾性変形の態様を認識する方法を採る。後述するように、支持基板 3 0 0 B を固定した状態において、受カリング 1 0 0 B に各座標軸方向の力 F_x , F_y , F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x , M_y , M_z が作用したときのダイアフラム部 D 1 ~ D 4 の変形態様はそれぞれ異なるので、ダイアフラム部 D 1 ~ D 4 に生じた変位を測定することにより、6 軸成分をそれぞれ独立して検出することが可能になる。

【 0 2 3 1 】

図 3 7 は、図 3 5 に示す基本構造部に容量素子を付加することにより構成された力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である。この力覚センサでは、合計 4 0 枚の電極を設けて、合計 2 0 組の容量素子を構成している。ここでは、便宜上、互いに近傍に配置される 5 枚の電極を 1 つの電極群として、合計 8 組の電極群を構成して説明する。図 3 7 において、符号 T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 で示されている電極群は、それぞれが 5 枚の変位電極から構成される変位電極群であり、検出リング 2 0 0 B の内周面の各ダイアフラム部 D 1 , D 2 , D 3 , D 4 の位置に配置されている。これに対して、符号 U 1 0 , U 2 0 , U 3 0 , U 4 0 で示されている電極群は、それぞれが 5 枚の固定電極から構成される固定電極群であり、固定補助体 3 5 0 B の外周面のそれぞれ変位電極群 T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 に対向する位置に配置されている。

【 0 2 3 2 】

図 3 7 では、これら 8 組の電極群 (4 0 枚の電極) を詳細に示すことは困難なので、各電極の形状および配置を図 3 8 のテーブルに示す。このテーブルにおいて、T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 なる表題が付された欄には、図 3 7 に示す変位電極群 T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 の平面図が示されており、U 1 0 , U 2 0 , U 3 0 , U 4 0 なる表題が付された欄には、図 3 7 に示す固定電極群 U 1 0 , U 2 0 , U 3 0 , U 4 0 の平面図が示されている。各平面図は、それぞれ図 3 7 に示す視点 e 1 , e 2 , e 3 , e 4 の位置から各電極群を見た状態を示している。X Y Z 座標系に対する位置関係を明確にするために、各平面図には、それぞれ X , Y , Z 軸の方向を示してある。いずれの平面図においても、Z 軸が上方になる。なお、固定電極群 U 1 0 , U 2 0 , U 3 0 , U 4 0 の平面図における破線は、対向する変位電極群 T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 に所属する変位電極の投影像 (X 軸もしくは Y 軸方向への投影像) を示している。

【 0 2 3 3 】

たとえば、図 3 8 の「 T 1 0 」欄には、変位電極群 T 1 0 に所属する 5 枚の変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 の平面図が示されている。この平面図は、図 3 7 に示す視点 e 1 の位置から X 軸正方向を観察したときに得られるものである。変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 は、いずれも検出リング 2 0 0 B の内周面のダイアフラム部 D 1 の部分に配置されている。したがって、実際には、各電極は曲面上に形成されていることになるが、図 3 8 では、説明の便宜上、平面上に配置した図として示す。変位電極 T 1 1 ~ T 1 4 は同じサイズの台形をした電極であり、変位電極 T 1 5 は正方形の電極である。変位電極 T 1 5 は、中心点が X 軸上にくるように配置されており、変位電極 T 1 1 ~ T 1 4 は、その周囲を取り囲むように配置されている。図示の平面図において、この変位電極群 T 1 0 は、Y 軸に関しても、Z 軸に関しても、対称性を有している。

【 0 2 3 4 】

一方、図 3 8 の「 U 1 0 」欄には、固定電極群 U 1 0 に所属する 5 枚の固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 の平面図が示されている。この平面図は、図 3 7 に示す視点 e 1 の位置から X 軸負方向を観察したときに得られるものである。固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 は、それぞれ変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 に対向する位置に配置されている。図示の平面図において、この固定電極群 U 1 0 は、Y 軸に関しても、Z 軸に関しても、対称性を有している。上述したとおり、図における破線は、対向する変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 の投影像 (X 軸方向への投影像) を示している。

【 0 2 3 5 】

5枚の変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 と 5枚の固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 とは、それぞれ対向しているため、5組の容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 が形成される。しかも、図 3 8 の「U 1 0」欄に示すとおり、実線で示す固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 は、それぞれ破線で示す変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 の投影像に含まれている。これは、各対向電極が、図 1 5 に示す電極 E a , E b の関係にあることを意味している。すなわち、容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 は、一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、当該他方の電極の内部に包含される、という条件を満たす容量素子になっており、ダイアフラム部 D 1 の変位が所定の許容範囲内である限り、各容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 の有効対向面積は一定に維持される。

【 0 2 3 6 】

図 3 8 の「T 2 0」, 「T 3 0」, 「T 4 0」の各欄に示された変位電極群および「U 2 0」, 「U 3 0」, 「U 4 0」の各欄に示された固定電極群についても全く同様である。結局、変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 と固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 とにより容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 が形成され（以下、容量素子群 C 1 0 と呼ぶ）、変位電極 T 2 1 ~ T 2 5 と固定電極 U 2 1 ~ U 2 5 とにより容量素子 C 2 1 ~ C 2 5 が形成され（以下、容量素子群 C 2 0 と呼ぶ）、変位電極 T 3 1 ~ T 3 5 と固定電極 U 3 1 ~ U 3 5 とにより容量素子 C 3 1 ~ C 3 5 が形成され（以下、容量素子群 C 3 0 と呼ぶ）、変位電極 T 4 1 ~ T 4 5 と固定電極 U 4 1 ~ U 4 5 とにより容量素子 C 4 1 ~ C 4 5 が形成される（以下、容量素子群 C 4 0 と呼ぶ）。ここで、容量素子群 C 1 0 , C 2 0 , C 3 0 , C 4 0 は、それぞれダイアフラム部 D 1 , D 2 , D 3 , D 4 の変位（弾性変形）を検出する検出素子としての役割を果たす。

【 0 2 3 7 】

続いて、この力覚センサにおいて、支持基板 3 0 0 B を固定した状態において、受カリング 1 0 0 B に各座標軸方向の力 $+F_x$, $+F_y$, $+F_z$ および各座標軸まわりのモーメント $+M_x$, $+M_y$, $+M_z$ が作用したとき、容量素子群 C 1 0 , C 2 0 , C 3 0 , C 4 0 の静電容量値にどのような変化が生じるかを検討する。図 3 9 は、図 3 7 に示す力覚センサ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容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値の変化を示すテーブルである。このテーブルで「+」は静電容量値が増加することを示し、「-」は静電容量値が減少することを示し、「0」は静電容量値が変動しないことを示している。このような結果が得られることは、検出リング 2 0 0 B の具体的な変形態様を考えれば理解できよう。

【 0 2 3 8 】

たとえば、図 3 7 において、受カリング 1 0 0 B に対して X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、ダイアフラム D 1 は右方向へ引っ張られ、ダイアフラム D 3 は右方向へ押し出される。その結果、容量素子群 C 1 0 の電極間距離は広がり静電容量値は減少し、容量素子群 C 3 0 の電極間距離は狭まり静電容量値は増加する。このとき、容量素子群 C 2 0 , C 4 0 については、X 軸方向へのずれが生じるものの、電極間距離や有効対向面積に実質的な変化は生じないため、静電容量値は変化しない。図 3 9 のテーブルの $+F_x$ の行は、このような結果を示している。同様の理由により、Y 軸正方向の力 $+F_y$ が作用した場合は、図 3 9 のテーブルの $+F_y$ の行に示す結果が得られる。

【 0 2 3 9 】

次に、受カリング 1 0 0 B に対して Z 軸正方向の力 $+F_z$ が作用した場合を考える。図 4 0 は、力 $+F_z$ が作用したときの変形状態を示す X Z 平面における縦断面図である。説明の便宜上、必要な構成要素のみを抽出し、各部をデフォルメして示してある。したがって、個々の部分の形状は、実際の変形態様を正確に示すものではない。図示のとおり、受カリング 1 0 0 B が上方に移動すると、接続部材 4 3 1 , 4 3 3 を介して、ダイアフラム部 D 1 , D 3 の中央部分に対して上方向への力が伝達される。その結果、ダイアフラム部 D 1 , D 3 は図示のように傾斜する。図では、ダイアフラム部 D 1 , D 3 を平板として描いているが、実際には、ねじれを生じた複雑な形状をなす。ただ、固定補助体 3 5 0 B の外周面との距離の変動を考えると、図示のとおり、上部における距離 $d(\text{up})$ は小さくなり、下部における距離 $d(\text{down})$ は大きくなる。

【0240】

その結果、図38に示すテーブルにおいて、上部に配置された電極対からなる容量素子C13, C23, C33, C43の静電容量値は増加し、下部に配置された電極対からなる容量素子C14, C24, C34, C44の静電容量値は減少する。一方、中央や左右に配置された電極対の距離は、上半分は小さくなるが、下半分は大きくなるので、両方で相殺され、これらの電極対からなる容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの+Fzの行は、このような結果を示している。

【0241】

続いて、受カリング100Bに対してY軸正まわりのモーメント+Myが作用した場合を考える。この場合、図37において、受カリング100Bの左端はZ軸正方向（紙面から持ち上げる方向）に移動するため、ダイアフラム部D3は、図40と同様に傾斜し、上部における距離d(up)は小さくなり、下部における距離d(down)は大きくなる。したがって、容量素子C33の静電容量値は増加し、容量素子C34の静電容量値は減少する。一方、受カリング100Bの右端はZ軸負方向（紙面の裏側へ向かう方向）に移動するため、ダイアフラム部D1は、図40とは逆の方向に傾斜し、上部における距離d(up)は大きくなり、下部における距離d(down)は小さくなる。したがって、容量素子C13の静電容量値は減少し、容量素子C14の静電容量値は増加する。他の容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの+Myの行は、このような結果を示している。同様の理由により、X軸正まわりのモーメント+Mxが作用した場合は、図39のテーブルの+Mxの行に示す結果が得られる。

【0242】

最後に、受カリング100Bに対してZ軸正まわりのモーメント+Mzが作用した場合を考える。図41は、モーメント+Mzが作用したときの変形状態を示すXY平面における横断面図である。この図でも、説明の便宜上、必要な構成要素のみを抽出し、各部をデフォルメして示してある。したがって、個々の部分の形状は、実際の変形状態を正確に示すものではない。図示のとおり、モーメント+Mzが作用すると、受カリング100Bは反時計回りに回転するため、ダイアフラム部D1は図示のように傾斜する。ここでも、ダイアフラム部D1を平板として描いているが、実際には、ねじれを生じた複雑な形状をなす。ただ、固定補助体350Bの外周面との距離の変動を考えると、図示のとおり、視点e1から見たときの左側（図41では上側）における距離d(left)は小さくなり、右側（図41では下側）における距離d(right)は大きくなる。その結果、容量素子C11の静電容量値は増加し、容量素子C12の静電容量値は減少する。同様の理由により、容量素子C21, C32, C42の静電容量値は増加し、容量素子C22, C31, C41の静電容量値は減少する。他の容量素子の静電容量値は変化しない。図39のテーブルの+Mzの行は、このような結果を示している。

【0243】

なお、図39のテーブルは、正方向の力および正まわりのモーメントが作用した場合の結果を示しているが、負方向の力および負まわりのモーメントが作用した場合は、「+」と「-」が逆転した結果が得られることになる。結局、20組の容量素子C11~C45の静電容量値の変化パターンは、6軸成分が作用した個々の場合のそれぞれで異なり、しかも作用した力やモーメントが大きくなればなるほど、変動量も大きくなる。そこで、検出回路により、これら静電容量の測定値に基づく所定の演算を施せば、6軸成分の検出値を独立して出力することが可能になる。

【0244】

図42は、図37に示す力覚センサに対して作用する各座標軸方向の力Fx, Fy, Fzおよび各座標軸まわりのモーメントMx, My, Mzを求める具体的な演算式を示す図である。この式におけるC11~C45は、それぞれ同じ符号で示す容量素子C11~C45の静電容量値を示している。このような演算式によって、個々の検出値が得られる理由は、図39に示すテーブルを参照すれば理解できる。たとえば、Fxに関する第1の式は、図39のテーブルの+Fxの行において「+」が記された5組の容量素子の容量値の

総和と、「-」が記された5組の容量素子の容量値の総和と、の差分を示している。第2の式および第3の式は、5組の容量素子のうちの4組もしくは1組のみを用いた場合の式である。他の検出値についても同様である。

【0245】

また、負方向の力 $-F_x$, $-F_y$, $-F_z$ および負まわりのモーメント $-M_x$, $-M_y$, $-M_z$ が作用した場合は、図39のテーブルにおける「+」と「-」とが逆転するので、図42に示す演算式をそのまま利用すれば、各検出値を負の値として得ることができる。この図42に示す6軸成分の演算式は、他軸成分の干渉を受けないので、6軸成分についての各検出値を独立して得ることができる。また、この演算式によれば、いずれも差分をとる演算が行われるため、温度環境の変化により基本構造部が膨張もしくは収縮し、対向電極間距離が変動する誤差が生じたとしても、生じた誤差を相互にキャンセルすることができるので、外乱成分を含まない正確な検出結果を得ることができる。

【0246】

ここでは、この図42に示す演算式に基づいて、6軸成分の検出値を出力する検出回路の例示は省略するが、図18に示した回路図に準じた検出回路を構成することが可能である。もちろん、複数の容量素子を並列接続すれば、加算演算を行うための演算器を省略することができるし、A/D変換器により静電容量値 $C_{11} \sim C_{45}$ をそれぞれデジタル値として取り込めば、デジタル演算の結果として、各検出値をデジタル値として出力することもできる。

【0247】

また、図37に示す力覚センサの構造は、一例を示すものであり、細かな構造部分の仕様は、設計上、適宜変更可能である。たとえば、図37に示す力覚センサのダイアフラム部D1は、図43(a)に示すように(X軸正方向から原点O方向を観察した図)、輪郭が矩形状をなし、その中心位置に接続部材431(断面が示されている)が接合されている。このような形状をしたダイアフラム部D1は、検出リング200Bの一部を切削加工することにより形成することができ、比較的製造プロセスは簡単である。ただ、ダイアフラム部の形状は、必ずしも矩形状に限定されるものではない。

【0248】

図43(b)に示す例(こちらも、X軸正方向から原点O方向を観察した図)は、輪郭が円形のダイアフラム部D1を形成した例である。ダイアフラム部D1の中心位置に接続部材431が接合されている点は同じであるが、ダイアフラム部D1は、検出リング200Bに円形の溝を掘ることにより形成され、その周囲全体が、検出リング200Bの肉厚部分によって囲まれている。

【0249】

一方、図44は、図37に示す力覚センサの電極群の変形例を示す平面図である(ハッチングは、各電極の形状を明瞭に示すためのものであり、断面を示すものではない)。図37に示す力覚センサでは、図38の平面図に示すとおり、1枚の正方形の電極と4枚の台形状の電極との5枚の電極により、1組の電極群が構成されていたが、各電極群を構成する電極の数、形状、配置は、図38に示す例に限定されるものではない。図44(a)は、4枚の二等辺三角形からなる電極により、1組の電極群を構成した例である。また、図44(b)は、1枚の正方形の電極と4枚のL字状の電極との5枚の電極により、1組の電極群を構成した例である。更に、図44(c)は、4枚の正方形の電極により、1組の電極群を構成した例である。もちろん、この他にも様々な電極構成が考えられる。

【0250】

ここでは、この図44に変形例として示す電極構成を採用した場合の6軸成分の検出方法についての詳細な説明は省略するが、いずれの場合も、図39に準じたテーブルを作成することができ、このテーブルに基づいて、図42に準じた演算式を定義することができる。

【0251】

最後に、この§6で述べた実施形態の特徴をまとめておく。まず第1に、図35に示す

とおり、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、4個の作用点Q11~Q14と4個の固定点P11~P14とが交互に配置されており、検出リング200Bの4個の作用点Q11~Q14の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部D1~D4を構成している。そして、4個の接続部材431~434が、作用点Q11~Q14の位置において各ダイアフラム部D1~D4に接続されており、4個の固定部材531~534が、固定点P1~P4の位置において、検出リング200Bの下面に接続されている。

【0252】

もっとも、作用点および固定点の数は、必ずしも4個に限定されるものではなく、任意の複数n個に設定することが可能である。要するに、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、複数n個の作用点Q11~Q1nと複数n個の固定点P11~P1nが交互に配置されるようにし、検出リング200Bのn個の作用点Q11~Q1nの近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部D1~Dnを構成し、n個の接続部材が各ダイアフラム部に接続されており、n個の固定部材が各固定点P11~P1nを支持基板300Bに固定するようにすればよい。そして、このような構造をもった基本構造部に対して、各ダイアフラム部D1~Dnの弾性変形を電氣的に検出する検出素子を付加すればよい

【0253】

ただ、実用上は、上述した実施形態のように、検出リング200Bの輪郭に沿った環状路に、第1の作用点Q11、第1の固定点P11、第2の作用点Q12、第2の固定点P12、第3の作用点Q13、第3の固定点P13、第4の作用点Q14、第4の固定点P14の順に、4個の作用点および4個の固定点を配置し、検出リング200Bの第1の作用点Q11の近傍部分に第1のダイアフラム部D1を構成し、第2の作用点Q12の近傍部分に第2のダイアフラム部D2を構成し、第3の作用点Q13の近傍部分に第3のダイアフラム部D3を構成し、第4の作用点Q14の近傍部分に第4のダイアフラム部D4を構成し、検出素子より、これら第1~第4のダイアフラム部D1~D4の弾性変形を電氣的に検出するようにすれば、非常に効率的な検出が可能になる。

【0254】

特に、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z および各座標軸まわりのモーメント M_x 、 M_y 、 M_z の6軸成分を独立して検出可能な力覚センサを実現するには、上述した実施形態の構成を採るのが最も効率的である。具体的には、作用点に関しては、第1の作用点Q11がX軸正領域に、第2の作用点Q12がY軸正領域に、第3の作用点Q13がX軸負領域に、第4の作用点Q14がY軸負領域に、それぞれ配置されており、第1のダイアフラム部D1がX軸正領域に位置し、第2のダイアフラム部D2がY軸正領域に位置し、第3のダイアフラム部D3がX軸負領域に位置し、第4のダイアフラム部D4がY軸負領域に位置するようにする。

【0255】

そして、X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材431により、第1のダイアフラム部D1が受カリング100Bに接続され、Y軸正領域に沿って伸びる第2の接続部材432により、第2のダイアフラム部D2が受カリング100Bに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第3の接続部材433により、第3のダイアフラム部D3が受カリング100Bに接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材434により、第4のダイアフラム部D4が受カリング100Bに接続されているようにする。

【0256】

一方、固定点に関しては、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して 45° をなすV軸と、XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の固定点P11がV軸正領域に、第2の固定点P12がW軸正領域に、第3の固定点P13がV軸負領域に、第4の固定点P14がW軸負領域に、それぞれ配置されているようにし、各固定点の位置において、検出リング200Bが支持基板300Bに対

して固定されるようにすればよい。

【0257】

ここで、各ダイヤフラム部 D 1 ~ D 4 の弾性変形を電氣的に検出するには、容量素子などを利用して各部の変位を測定する方法を採ってもよいし、ストレインゲージなどを利用して各部に生じる機械的な歪みを測定する方法を採ってもよい。図 3 7 に示す力覚センサは、前者の方法を採用するものであり、容量素子を用いた効率的な変位測定を行うことができるように、次のような工夫を施している。

【0258】

まず、受カリング 1 0 0 B および検出リング 2 0 0 B の双方を、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングとし、受カリング 1 0 0 B が外側、検出リング 2 0 0 B が内側となるように両リングを配置している。そして、固定電極を支持するために、検出リング 2 0 0 B の更に内側に、下面が支持基板 3 0 0 B の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体 3 5 0 B を設けている。

【0259】

そして、検出素子は、次の 4 組の容量素子群によって構成される。

【0260】

(1) 検出リング 2 0 0 B の内周面の第 1 のダイヤフラム D 1 の部分に配置された複数の変位電極 T 1 1 ~ T 1 5 からなる第 1 変位電極群 T 1 0 と、固定補助体 3 5 0 B の外周面の第 1 変位電極群 T 1 0 の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 U 1 1 ~ U 1 5 からなる第 1 固定電極群 U 1 0 と、によって構成される複数の容量素子 C 1 1 ~ C 1 5 からなる第 1 容量素子群 C 1 0。

【0261】

(2) 検出リング 2 0 0 B の内周面の第 2 のダイヤフラム D 2 の部分に配置された複数の変位電極 T 2 1 ~ T 2 5 からなる第 2 変位電極群 T 2 0 と、固定補助体 3 5 0 B の外周面の第 2 変位電極群 T 2 0 の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 U 2 1 ~ U 2 5 からなる第 2 固定電極群 U 2 0 と、によって構成される複数の容量素子 C 2 1 ~ C 2 5 からなる第 2 容量素子群 C 2 0。

【0262】

(3) 検出リング 2 0 0 B の内周面の第 3 のダイヤフラム D 1 の部分に配置された複数の変位電極 T 3 1 ~ T 3 5 からなる第 3 変位電極群 T 3 0 と、固定補助体 3 5 0 B の外周面の第 3 変位電極群 T 3 0 の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 U 3 1 ~ U 3 5 からなる第 3 固定電極群 U 3 0 と、によって構成される複数の容量素子 C 3 1 ~ C 3 5 からなる第 3 容量素子群 C 3 0。

【0263】

(4) 検出リング 2 0 0 B の内周面の第 4 のダイヤフラム D 4 の部分に配置された複数の変位電極 T 4 1 ~ T 4 5 からなる第 4 変位電極群 T 4 0 と、固定補助体 3 5 0 B の外周面の第 4 変位電極群 T 4 0 の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極 U 4 1 ~ U 4 5 からなる第 4 固定電極群 U 4 0 と、によって構成される複数の容量素子 C 4 1 ~ C 4 5 からなる第 4 容量素子群 C 4 0。

【0264】

ここで、各容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、当該他方の電極の内部に包含される関係にある。そして、検出回路により、各容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値に基づいて、所定の検出値の出力が行われる。

【0265】

各容量素子群のメンバーとなる個々の容量素子の電極の数、形状、配置パターンには、図 4 4 に例示するとおり、様々なバリエーションが考えられるが、図 3 8 に示す実施形態を採る力覚センサの場合、各容量素子群の構成は次のようになる。

【0266】

(1) 第 1 容量素子群 C 1 0 は、X 軸上に配置された第 1 群の軸上容量素子 C 1 5 と、第 1 群の軸上容量素子 C 1 5 に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 1 容量素子 C

1 1 と、第 1 群の軸上容量素子 C 1 5 に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 2 容量素子 C 1 2 と、第 1 群の軸上容量素子 C 1 5 に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 3 容量素子 C 1 3 と、第 1 群の軸上容量素子 C 1 5 に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 4 容量素子 C 1 4 と、を有する。

【 0 2 6 7 】

(2) 第 2 容量素子群 C 2 0 は、Y 軸上に配置された第 2 群の軸上容量素子 C 2 5 と、第 2 群の軸上容量素子 C 2 5 に対して X 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 1 容量素子 C 2 1 と、第 2 群の軸上容量素子 C 2 5 に対して X 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 2 容量素子 C 2 2 と、第 2 群の軸上容量素子 C 2 5 に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 3 容量素子 C 2 3 と、第 2 群の軸上容量素子 C 2 5 に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 4 容量素子 C 2 4 と、を有する。

【 0 2 6 8 】

(3) 第 3 容量素子群 C 3 0 は、X 軸上に配置された第 3 群の軸上容量素子 C 3 5 と、第 3 群の軸上容量素子 C 3 5 に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 1 容量素子 C 3 1 と、第 3 群の軸上容量素子 C 3 5 に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 2 容量素子 C 3 2 と、第 3 群の軸上容量素子 C 3 5 に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 3 容量素子 C 3 3 と、第 3 群の軸上容量素子 C 3 5 に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 4 容量素子 C 3 4 と、を有する。

【 0 2 6 9 】

(4) 第 4 容量素子群 C 4 0 は、Y 軸上に配置された第 4 群の軸上容量素子 C 4 5 と、第 4 群の軸上容量素子 C 4 5 に対して X 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 1 容量素子 C 4 1 と、第 4 群の軸上容量素子 C 4 5 に対して X 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 2 容量素子 C 4 2 と、第 4 群の軸上容量素子 C 4 5 に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 3 容量素子 C 4 3 と、第 4 群の軸上容量素子 C 4 5 に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 4 容量素子 C 4 4 と、を有する。

【 0 2 7 0 】

上記構成からなる容量素子群を用いた実施形態の場合、検出回路は、各容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値をそれぞれ同じ符号を用いて C 1 1 ~ C 4 5 と表すことにより、

$$\begin{aligned} F_x &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4 + C 1 5) \\ &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4 + C 3 5) \quad \text{または} \\ &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4) \\ &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4) \quad \text{または} \\ &= - C 1 5 + C 3 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4 + C 2 5) \\ &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4 + C 4 5) \quad \text{または} \\ &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4) \\ &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4) \quad \text{または} \\ &= - C 2 5 + C 4 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= (C 1 3 + C 2 3 + C 3 3 + C 4 3) \\ &\quad - (C 1 4 + C 2 4 + C 3 4 + C 4 4) \end{aligned}$$

$$M_x = (C 2 3 + C 4 4) - (C 2 4 + C 4 3)$$

$$M_y = (C 1 4 + C 3 3) - (C 1 3 + C 3 4)$$

$$M_z = (C 1 1 + C 2 1 + C 3 2 + C 4 2)$$

$$- (C 1 2 + C 2 2 + C 3 1 + C 4 1)$$

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することができる。

【 0 2 7 1 】

なお、図 3 7 に示す実施形態についても、検出リング 2 0 0 B の少なくともダイアフラム部 D 1 ~ D 4 を可撓性をもった導電性材料によって構成しておけば、このダイアフラム

部の表面を共通変位電極 E 0 として各容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 を構成することができる。実用上は、検出リング 2 0 0 B 全体をアルミニウム合金などの金属によって構成し、肉厚の薄いダイアフラム部 D 1 ~ D 4 が可撓性をもつようにすればよい。この場合、検出リング 2 0 0 B のダイアフラム部 D 1 ~ D 4 自身が変位電極群 T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 として機能することになるので、別体として変位電極を設ける必要はなくなる。

【 0 2 7 2 】

< < < § 7 . その他の変形例 > > >

最後に、これまで述べてきた実施形態に適用可能な変形例を述べておく。

【 0 2 7 3 】

< 7 - 1 . 変位検出に関する変形例 >

§ 3 や § 6 では、容量素子を利用して、検出リングの所定箇所の変位を検出する実施形態を述べたが、変位検出に利用する検出素子は、必ずしも容量素子に限定されるものではなく、一般的に、距離の検出が可能な素子であれば、どのような検出素子を利用してもかまわない。

【 0 2 7 4 】

図 4 5 は、図 1 0 に示す基本構造部における距離 d 1 ~ d 4 の測定を行うために、固定補助体 3 5 0 の外周面の V 軸上および W 軸上に、距離検出素子 M 1 ~ M 4 を設けた変形例に係る力覚センサを X Y 平面で切断した横断面図である。ここでは、距離検出素子 M 1 ~ M 4 の内部構造の図示は省略するが、一般的な距離検出に利用されている素子であれば、どのようなものを用いてもかまわない。

【 0 2 7 5 】

たとえば、検出リング 2 0 0 の少なくとも測定対象面（図示の例の場合、V 軸および W 軸近傍の内周面）を導電性材料によって構成しておけば、その対向基準面に設けられた距離検出素子 M 1 ~ M 4 として、渦電流変位計を利用することができる。図 4 6 は、渦電流変位計による距離測定の基本原理を示す図である。渦電流変位計は、高周波発振回路 7 1 とコイル 7 2 によって構成される装置であり、コイル 7 2 に近接配置された導電性の検出物体 7 3 とコイル 7 2 との距離を電氣的に検出する機能を有している。

【 0 2 7 6 】

渦電流変位計による距離検出の基本原理は次のとおりである。まず、高周波発振回路 7 1 からコイル 7 2 に対して高周波電流を流すと、コイル 7 2 から高周波磁界 7 4 が発生し、この高周波磁界 7 4 の電磁誘導作用により、導電性の検出物体 7 3 に渦電流 7 5 が流れる。そして、この渦電流 7 5 により、コイル 7 2 のインピーダンスが変化し、その結果、高周波発振回路 7 1 の発振状態に変化が生じることになる。コイル 7 2 のインピーダンス変化量は、コイル 7 2 と検出物体 7 3 との距離に応じたものになるので、高周波発振回路 7 1 に、発振状態の変化を検出する回路を設けておけば、コイル 7 2 と検出物体 7 3 との距離を電氣的に検出することができる。

【 0 2 7 7 】

また、検出リング 2 0 0 の少なくとも測定対象面を磁石によって構成しておけば、その対向基準面に設けられた距離検出素子 M 1 ~ M 4 として、ホール素子を利用することもできる。ホール素子は、ホール効果によって磁界を検出する機能をもった素子であるから、検出リング 2 0 0 の測定対象面を磁石によって構成しておけば、磁界の変動に基づいて測定対象面の変位検出が可能になる。具体的には、検出リング 2 0 0 全体を磁石によって構成するか（この場合、変形に耐えうる機械的強度をもった磁石を用いる必要がある）、あるいは、検出リング 2 0 0 の内周面に磁石を固着しておけばよい。距離検出素子 M 1 ~ M 4 として配置されたホール素子に作用する磁界の強度は、測定対象面の変位によって変化するので、ホール素子による磁界の検出値を、距離測定値として用いることが可能になる。

【 0 2 7 8 】

この他、光ビームを利用した距離測定器を、距離検出素子 M 1 ~ M 4 として利用することも可能である。たとえば、測定対象面（図示の例の場合、V 軸および W 軸近傍の内周面

)に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、この測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器とを、この測定対象面に対向する対向基準面(図示の例の場合、固定補助体350の外周面)に固定しておき、光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路を用意しておけばよい。検出リング200の測定対象面(内周面)が変位すると、光ビームの照射位置および反射ビームの射出方向が変化することになるので、光ビーム受光器による光ビームの受光位置も変化する。したがって、測定回路は、この受光位置に基づいて距離測定値を出力することができる。

【0279】

<7-2. 各部の形状および配置に関する変形例>

これまで述べてきた実施形態では、受光リング100および検出リング200として、円環状の部材を用いているが、これらのリングは、必ずしも円形の環状体である必要はなく、開口部を有するループ状の部材であればよい。たとえば、正八角形、正六角形、正方形の形状をした環状体でもかまわないし、任意形状の環状体であってもかまわない。

【0280】

ただ、実用上は、これまで述べた実施形態に示すように、円形の環状体を用いるのが好ましい。受光リング100および検出リング200として、円環状の部材を用い、両者をZ軸を中心軸として同心配置した構成にすれば、基本構造部は、XZ平面およびYZ平面の双方に関して面対称な構造になる。ここで、各検出素子の配置も、これまで述べた実施形態のように、XZ平面およびYZ平面の双方に関して面対称となるようにしておけば、検出回路による信号処理も単純化される。

【0281】

たとえば、図17, 図20, 図42に示されている演算式では、静電容量値を示す各項に係数は乗じられていないが、これは上記対称性が確保されているためである。検出リング200を任意形状のリングで構成した場合、上記演算式の各項に所定の係数を乗じる必要が生じ、実際の検出回路の構成は複雑化せざるを得なくなる。

【0282】

また、容量素子を構成する変位電極や固定電極の形状も、これまで述べた実施形態で示した形状に限定されるものではなく、任意の形状の電極を採用することができる。ただ、上述したように、各軸成分の検出値を得るための演算式を単純化するためには、電極の形成パターンも、XZ平面およびYZ平面の双方に関して面対称となるようなパターンにするのが好ましい。

【0283】

<7-3. 検出に不要な構成要素の省略>

これまで述べてきた実施形態は、主に6軸成分の検出を行うタイプの力覚センサであるが、本発明に係る力覚センサは、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する機能をもっていれば足りる。したがって、本発明を、X軸方向に作用した力 F_x のみを検出する力覚センサや、Y軸まわりに作用したモーメント M_y のみを検出する力覚センサに適用することも可能である。

【0284】

このように、特定の成分のみの検出に特化した力覚センサを製造する上では、検出に不要な構成要素を省略することができる。たとえば、図37に示す力覚センサは、6軸成分をすべて検出する機能を有しているが、X軸方向に作用した力 F_x のみを検出できればよい場合は、図42の F_x 欄に示すとおり、最低限、容量素子C15およびC35のみを設けておけば足りる。同様に、Y軸まわりに作用したモーメント M_y のみを検出できればよい場合は、図42の M_y 欄に示すとおり、容量素子C13, C14, C33, C34のみを設けておけば足りる。

【0285】

<7-4. 開示された技術思想の組み合わせ>

以上、本発明の技術思想を様々な実施形態について説明し、様々な変形例に係る技術思想を述べたが、本願に述べられた多数の技術思想は、特別な阻害理由がない限り、自由に組み合わせて用いることが可能である。たとえば、受カリング100と検出リング200との内外の位置関係を逆にする、という技術思想は、これまで述べてきた様々な実施形態に適用可能である。また、図35に示す基本構造部の弾性変形を検出するために、ストレインゲージを用いることも可能であるし(この場合、固定補助体350Bは不要になる)、図35に示す基本構造部において、検出リング200Bを固定部材を介して固定補助体350Bに固定することも可能である。

【0286】

本願明細書では、開示されている様々な技術思想について、あらゆる組み合わせを網羅した実施形態を説明しているわけではないが、当業者であれば、本願に開示されている様々な技術思想を組み合わせることにより、本願に直接的には開示されていない実施形態を自由に設計することができよう。

【産業上の利用可能性】

【0287】

本発明に係る力覚センサは、ロボットや産業機械の動作制御を行うために力やモーメントを検出する用途に利用するのに最適である。また、電子機器の入力装置のマン・マシンインターフェイスとしても利用可能である。特に、XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントという6軸成分を検出する薄型力覚センサとして利用できる。

【符号の説明】

【0288】

- 11～18：C/V変換器
- 21～36：演算器
- 40：電源
- 71：高周波発振回路
- 72：コイル
- 73：検出物体
- 74：高周波磁界
- 75：渦電流
- 100, 100A, 100B：受カリング
- 101～104：溝部
- 105, 106：貫通孔
- 111～114：変位制御ネジ
- 121, 126：溝部
- 200, 200A, 200B：検出リング
- 300, 300A, 300B：支持基板
- 301, 305：固定用ねじ孔
- 350, 350A：固定補助体
- 380：検出回路基板
- 410, 410A：接続部材
- 420, 420A：接続部材
- 431, 432, 433, 434：接続部材
- 510, 515, 520, 525：固定部材
- 531, 532, 533, 534：固定部材
- 600, 600A：受カ基板
- 601, 603, 605, 607：溝部
- 602, 604, 605, 608：貫通孔
- 611, 613, 615, 617：固定ネジ
- 612, 614, 616, 618：固定ネジ

6 2 2 , 6 2 4 , 6 2 6 , 6 2 8 : スペーサ
6 5 0 : 包摂筒状体
A : 対向領域
C 1 ~ C 8 : 容量素子 / 静電容量値
C 1 0 , C 2 0 , C 3 0 , C 4 0 : 容量素子群
C 1 1 ~ C 1 5 : 第 1 群の容量素子 / 静電容量値
C 2 1 ~ C 2 5 : 第 2 群の容量素子 / 静電容量値
C 3 1 ~ C 3 5 : 第 3 群の容量素子 / 静電容量値
C 4 1 ~ C 4 5 : 第 4 群の容量素子 / 静電容量値
D 1 ~ D 4 : ダイアフラム部
d 1 ~ d 1 0 : 距離
d 1 ~ d 4 : 距離
d (up) , d (down) , d (left) , d (right) : 距離
E 0 : 共通変位電極
E 1 1 ~ E 2 0 : 固定電極
E 2 1 ~ E 3 0 : 変位電極
E a , E b : 電極
e 1 ~ e 4 : 視点
F x : X 軸方向の力
F y : Y 軸方向の力
F z : Z 軸方向の力
G 1 ~ G 8 , G 5 ~ G 8 : ストレインゲージ
H 1 ~ H 7 : 空隙部
M 1 ~ M 4 : 渦電流変位計 / ホール素子 / 光ビームを用いた距離測定器
M x : X 軸まわりのモーメント
M y : Y 軸まわりのモーメント
M z : Z 軸まわりのモーメント
O : X Y Z 三次元直交座標系の原点
P 1 , P 2 : 固定点
P 1 1 ~ P 1 4 : 固定点
Q 1 , Q 2 : 作用点
Q 1 1 ~ Q 1 4 : 作用点
R 1 ~ R 4 : 測定点
T 1 0 , T 2 0 , T 3 0 , T 4 0 : 変位電極群
T 1 1 ~ T 1 5 , T 2 1 ~ T 2 5 , T 3 1 ~ T 3 5 , T 4 1 ~ T 4 5 : 変位電極
U 1 0 , U 2 0 , U 3 0 , U 4 0 : 固定電極群
U 1 1 ~ U 1 5 , U 2 1 ~ U 2 5 , U 3 1 ~ U 3 5 , U 4 1 ~ U 4 5 : 変位電極
V : X 軸および Y 軸に対して 4 5 ° 傾斜した座標軸
V 1 ~ V 8 : 電圧値
V F x : X 軸方向の力 F x の検出値
V F y : Y 軸方向の力 F y の検出値
V F z : Z 軸方向の力 F z の検出値
V M x : X 軸まわりのモーメント M x の検出値
V M y : Y 軸まわりのモーメント M y の検出値
V M z : Z 軸まわりのモーメント M z の検出値
W : V 軸に直交する座標軸
X : X Y Z 三次元直交座標系の座標軸
Y : X Y Z 三次元直交座標系の座標軸
Z : X Y Z 三次元直交座標系の座標軸

【手続補正 2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に、かつ、前記受カリングの内側もしくは外側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

X Y 平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、

前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電気的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点の X Y 平面への投影像と前記固定点の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とが交互に配置されており、

検出素子が、隣接配置された作用点と固定点との間の位置に定義された測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点、第 1 の固定点、第 2 の作用点、第 2 の固定点の順に、2 個の作用点および 2 個の固定点が配置されており、

前記環状路における前記第 1 の作用点と前記第 1 の固定点との間の位置に配置された第 1 の測定点、前記環状路における前記第 1 の固定点と前記第 2 の作用点との間の位置に配置された第 2 の測定点、前記環状路における前記第 2 の作用点と前記第 2 の固定点との間の位置に配置された第 3 の測定点、前記環状路における前記第 2 の固定点と前記第 1 の作用点との間の位置に配置された第 4 の測定点をそれぞれ定義したときに、検出素子が、前記第 1 ~ 第 4 の測定点の近傍における検出リングの弾性変形を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 1 の固定点が Y 軸正領域に、第 2 の作用点が X 軸負領域に、第 2 の固定点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、検出リングの前記第 1 の作用点近傍が受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、検出リングの前記第 2 の作用点近傍が受カリングに接続されており、

検出素子が、X Y 平面の第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限にそれぞれ配置された第 1 の測定点、第 2 の測定点、第 3 の測定点、第 4 の測定点の近傍における検出リング

の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の力覚センサにおいて、

X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点が V 軸正領域に、第 2 の測定点が W 軸正領域に、第 3 の測定点が V 軸負領域に、第 4 の測定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、複数 n 個の作用点と複数 n 個の固定点とが交互に配置されており、

前記検出リングの前記 n 個の作用点の近傍部分は、他の部分に比べて肉厚の薄いダイアフラム部を構成し、

複数 n 個の接続部材は前記各ダイアフラム部に接続されており、

検出素子が、前記各ダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点、第 1 の固定点、第 2 の作用点、第 2 の固定点、第 3 の作用点、第 3 の固定点、第 4 の作用点、第 4 の固定点の順に、4 個の作用点および 4 個の固定点が配置されており、

前記検出リングの前記第 1 の作用点の近傍部分は第 1 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 2 の作用点の近傍部分は第 2 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 3 の作用点の近傍部分は第 3 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 4 の作用点の近傍部分は第 4 のダイアフラム部を構成し、

検出素子が、前記第 1 ~ 第 4 のダイアフラム部の弾性変形を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 2 の作用点が Y 軸正領域に、第 3 の作用点が X 軸負領域に、第 4 の作用点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、第 1 のダイアフラム部が X 軸正領域に位置し、第 2 のダイアフラム部が Y 軸正領域に位置し、第 3 のダイアフラム部が X 軸負領域に位置し、第 4 のダイアフラム部が Y 軸負領域に位置し、

X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の固定点が V 軸正領域に、第 2 の固定点が W 軸正領域に、第 3 の固定点が V 軸負領域に、第 4 の固定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、第 1 のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y 軸正領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、第 2 のダイアフラム部が受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 3 の接続部材により、第 3 のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y 軸負領域に沿って伸びる第 4 の接続部材により、第 4 のダイアフラム部が受カリングに接続されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

固定部材が、検出リングの下面と支持基板の上面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
受カリングが外側、検出リングが内側となるように両リングが配置されており、
前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体が設けられており、

固定部材が、前記検出リングの内周面と前記固定補助体の外周面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
X Y 平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの上方に所定間隔をおいて配置された受カ基板を更に備え、

前記受カ基板の下面の一部は、受カリングの上面に接続されており、

前記受カ基板の下面と検出リングの上面との間には、所定の空隙部が形成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の力覚センサにおいて、

受カ基板の下面外周部には、受カリングおよび検出リングを包摂する包摂筒状体が接続されており、前記包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部との間には空隙部が形成されており、

前記受カ基板に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記包摂筒状体の下端部と前記支持基板の外周部とが接触して、前記受カ基板の変位が制限されるように、前記空隙部の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリングの所定箇所に上下に貫通する貫通孔が形成され、前記受カリングの上面の前記貫通孔の位置に前記貫通孔よりも径の大きな溝部が形成されており、

前記貫通孔を挿通して先端部が支持基板に固定され、頭部が前記溝部に収容された変位制御ネジを更に備え、前記変位制御ネジと前記貫通孔の内面および前記溝部の内面との間には空隙部が形成されており、

前記受カリングに所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記変位制御ネジと前記貫通孔の内面もしくは前記溝部の内面とが接触して、前記受カリングの変位が制限されるように、前記空隙部の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリングが、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板が、支持基板の上面に設けられていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの所定の測定点の変位を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの測定点近傍の測定対象面と、受力リングの前記測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 19】

請求項 17 に記載の力覚センサにおいて、

受力リングが外側、検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定された固定補助体が設けられており、

検出素子が、検出リングの内周面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、前記固定補助体の外周に位置し前記測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 20】

請求項 17 に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの下面の、測定点近傍に位置する測定対象面と、支持基板の上面に位置し前記測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 21】

請求項 18 ~ 20 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、測定対象面に設けられた変位電極と、対向基準面に設けられた固定電極と、を有する容量素子によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 22】

請求項 21 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【請求項 23】

請求項 18 ~ 20 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出リングの少なくとも測定対象面が導電性材料からなり、

検出素子が、対向基準面に設けられた渦電流変位計によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 24】

請求項 18 ~ 20 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出リングの少なくとも測定対象面が磁石からなり、

検出素子が、対向基準面に設けられたホール素子によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 25】

請求項 18 ~ 20 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、

対向基準面に固定され、測定対象面に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、

対向基準面に固定され、前記測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器と、

前記光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路と、

によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 26】

請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの所定の測定点の近傍位置の機械的な歪みを電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 27】

請求項 26 に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、検出リングの測定点近傍の表面に、前記検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられたストレインゲージによって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 28】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体が設けられており、

検出素子が、

前記検出リングの内周面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 7 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 7 の変位電極に対向する位置に配置された第 7 の固定電極とによって構成される第 7 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 8 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 8 の変位電極に対向する位置に配置された第 8 の固定電極とによって構成される第 8 の容量素子と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路が、前記第 1 の容量素子の静電容量値を C 1、前記第 2 の容量素子の静電容量値を C 2、前記第 3 の容量素子の静電容量値を C 3、前記第 4 の容量素子の静電容量値を C 4、前記第 5 の容量素子の静電容量値を C 5、前記第 6 の容量素子の静電容量値を C 6、前記第 7 の容量素子の静電容量値を C 7、前記第 8 の容量素子の静電容量値を C 8 としたときに、

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

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

$$F_z = - (C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 29】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体が設けられており、

検出素子が、第 1 の作用点を第 5 の測定点とし、第 2 の作用点を第 6 の測定点として、

前記検出リングの内周面の第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 5 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

前記検出リングの下面の第 6 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路が、前記第 1 の容量素子の静電容量値を C_1 、前記第 2 の容量素子の静電容量値を C_2 、前記第 3 の容量素子の静電容量値を C_3 、前記第 4 の容量素子の静電容量値を C_4 、前記第 5 の容量素子の静電容量値を C_9 、前記第 6 の容量素子の静電容量値を C_{10} としたときに、

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

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

$$F_z = - (C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 30】

請求項 28 または 29 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として各容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【請求項 31】

請求項 5 に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置さ

れた円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

検出素子が、前記検出リングの第1～第4の測定点近傍の表面に、前記検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージを有し、

前記検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リングの上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の第1の測定点近傍位置に取り付けられた第1属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第2の測定点近傍位置に取り付けられた第2属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第3の測定点近傍位置に取り付けられた第3属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第4の測定点近傍位置に取り付けられた第4属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の第1の測定点近傍位置に取り付けられた第5属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の第2の測定点近傍位置に取り付けられた第6属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の第3の測定点近傍位置に取り付けられた第7属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の第4の測定点近傍位置に取り付けられた第8属性のストレインゲージと、

の8種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、

検出回路が、

前記第1属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第2属性のストレインゲージと前記第3属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

前記第1属性のストレインゲージと前記第2属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第3属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第5属性のストレインゲージと前記第6属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第7属性のストレインゲージと前記第8属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

前記第5属性のストレインゲージと前記第8属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第6属性のストレインゲージと前記第7属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第1属性のストレインゲージと前記第3属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第2属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項32】

請求項5に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており

、

検出素子が、前記検出リングの第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、前記検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージを有し、

前記検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リングの上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 9 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 10 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 11 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 12 属性のストレインゲージと、

の 12 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、

検出回路が、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージと前記第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 3 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 6 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、前記第 7 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、前記第 9 属性のストレインゲージと前記第 10 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、前記第 11 属性のストレインゲージと前記第 12 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 7 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺と

し、前記第 6 属性のストレインゲージと前記第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3 3】

請求項 8 に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z 軸を中心軸とする円柱状の固定補助体が設けられており、

検出素子が、

前記検出リングの内周面の第 1 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 1 変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第 1 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 1 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 1 容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第 2 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 2 変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第 2 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 2 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 2 容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第 3 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 3 変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第 3 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 3 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 3 容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第 4 のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第 4 変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第 4 変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第 4 固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第 4 容量素子群と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路が、前記各容量素子の静電容量値に基づいて検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 3 4】

請求項 3 3 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 容量素子群が、X 軸上に配置された第 1 群の軸上容量素子と、前記第 1 群の軸上容量素子に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 1 容量素子と、前記第 1 群の軸上容量素子に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 2 容量素子と、前記第 1 群の軸上容量素子に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 1 群の第 3 容量素子と、前記第 1 群の軸上容量素子に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 1 群の第 4 容量素子と、を有し、

第 2 容量素子群が、Y 軸上に配置された第 2 群の軸上容量素子と、前記第 2 群の軸上容量素子に対して X 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 1 容量素子と、前記第 2 群の軸上容量素子に対して X 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 2 容量素子と、前記第 2 群の軸上容量素子に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 2 群の第 3 容量素子と、前記第 2 群の軸上容量素子に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 2 群の第 4 容量素子と、を有し、

第 3 容量素子群が、X 軸上に配置された第 3 群の軸上容量素子と、前記第 3 群の軸上容量素子に対して Y 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 1 容量素子と、前記第 3 群の軸上

容量素子に対して Y 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 2 容量素子と、前記第 3 群の軸上容量素子に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 3 群の第 3 容量素子と、前記第 3 群の軸上容量素子に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 3 群の第 4 容量素子と、を有し、

第 4 容量素子群が、Y 軸上に配置された第 4 群の軸上容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して X 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 1 容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して X 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 2 容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 3 容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 4 容量素子と、を有し、
検出回路が、

前記第 1 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 1 1、前記第 1 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 1 2、前記第 1 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 1 3、前記第 1 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 1 4、前記第 1 群の軸上容量素子の静電容量値を C 1 5 とし、

前記第 2 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 2 1、前記第 2 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 2 2、前記第 2 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 2 3、前記第 2 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 2 4、前記第 2 群の軸上容量素子の静電容量値を C 2 5 とし、

前記第 3 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 3 1、前記第 3 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 3 2、前記第 3 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 3 3、前記第 3 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 3 4、前記第 3 群の軸上容量素子の静電容量値を C 3 5 とし、

前記第 4 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 4 1、前記第 4 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 4 2、前記第 4 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 4 3、前記第 4 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 4 4、前記第 4 群の軸上容量素子の静電容量値を C 4 5 としたときに、

$$\begin{aligned} F_x &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4 + C 1 5) \\ &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4 + C 3 5) \quad \text{または} \\ &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4) \\ &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4) \quad \text{または} \\ &= - C 1 5 + C 3 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4 + C 2 5) \\ &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4 + C 4 5) \quad \text{または} \\ &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4) \\ &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4) \quad \text{または} \\ &= - C 2 5 + C 4 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= (C 1 3 + C 2 3 + C 3 3 + C 4 3) \\ &\quad - (C 1 4 + C 2 4 + C 3 4 + C 4 4) \end{aligned}$$

$$M_x = (C 2 3 + C 4 4) - (C 2 4 + C 4 3)$$

$$M_y = (C 1 4 + C 3 3) - (C 1 3 + C 3 4)$$

$$\begin{aligned} M_z &= (C 1 1 + C 2 1 + C 3 2 + C 4 2) \\ &\quad - (C 1 2 + C 2 2 + C 3 1 + C 4 1) \end{aligned}$$

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 35】

請求項 33 または 34 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの少なくともダイアフラム部を可撓性をもった導電性材料によって構成し、このダイアフラム部の表面を共通変位電極として各容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【手続補正書】

【提出日】平成 24 年 1 月 16 日 (2012.1.16)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に、かつ、前記受カリングの内側もしくは外側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

X Y 平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、

前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電気的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点の X Y 平面への投影像と前記固定点の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

前記検出リングの輪郭に沿った環状路に、第 1 の作用点、第 1 の固定点、第 2 の作用点、第 2 の固定点、第 3 の作用点、第 3 の固定点、第 4 の作用点、第 4 の固定点の順に、4 個の作用点および 4 個の固定点が配置されており、

前記検出リングの前記第 1 の作用点の近傍部分は他の部分に比べて肉厚の薄い第 1 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 2 の作用点の近傍部分は他の部分に比べて肉厚の薄い第 2 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 3 の作用点の近傍部分は他の部分に比べて肉厚の薄い第 3 のダイアフラム部を構成し、前記検出リングの前記第 4 の作用点の近傍部分は他の部分に比べて肉厚の薄い第 4 のダイアフラム部を構成し、

4 個の接続部材がそれぞれ前記第 1 ~ 第 4 のダイアフラム部に接続されており、

前記検出素子が、前記第 1 ~ 第 4 のダイアフラム部の弾性変形を電気的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 2 の作用点が Y 軸正領域に、第 3 の作用点が X 軸負領域に、第 4 の作用点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、第 1 のダイアフラム部が X 軸正領域に位置し、第 2 のダイアフラム部が Y 軸正領域に位置し、第 3 のダイアフラム部が X 軸負領域に位置し、第 4 のダイアフラム部が Y 軸負領域に位置し、

X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の固定点が V 軸正領域に、第 2 の固定点が W 軸正領域に、第 3 の固定点が V 軸負領域に、第 4 の固定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、第 1 のダイアフラム部が受カリングに接続され、Y 軸正領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、第 2 のダイアフラム部が受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 3 の接続部材により、第 3 のダイア

フラム部が受カリングに接続され、Y軸負領域に沿って伸びる第4の接続部材により、第4のダイアフラム部が受カリングに接続されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項3】

請求項2に記載の力覚センサにおいて、

受カリングおよび検出リングの双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、

前記受カリングが外側、前記検出リングが内側となるように両リングが配置されており、

前記検出リングの更に内側に、下面が支持基板の上面に固定され、Z軸を中心軸とする円柱状の固定補助体が設けられており、

検出素子が、

前記検出リングの内周面の第1のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第1変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第1変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第1固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第1容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第2のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第2変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第2変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第2固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第2容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第3のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第3変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第3変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第3固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第3容量素子群と、

前記検出リングの内周面の第4のダイアフラムの部分に配置された複数の変位電極からなる第4変位電極群と、前記固定補助体の外周面の前記第4変位電極群の個々の変位電極にそれぞれ対向する位置に配置された複数の固定電極からなる第4固定電極群と、によって構成される複数の容量素子からなる第4容量素子群と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

検出回路が、前記各容量素子の静電容量値に基づいて検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項4】

請求項3に記載の力覚センサにおいて、

第1容量素子群が、X軸上に配置された第1群の軸上容量素子と、前記第1群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第1群の第1容量素子と、前記第1群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第1群の第2容量素子と、前記第1群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第1群の第3容量素子と、前記第1群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第1群の第4容量素子と、を有し、

第2容量素子群が、Y軸上に配置された第2群の軸上容量素子と、前記第2群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第2群の第1容量素子と、前記第2群の軸上容量素子に対してX軸負方向に隣接配置された第2群の第2容量素子と、前記第2群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第2群の第3容量素子と、前記第2群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第2群の第4容量素子と、を有し、

第3容量素子群が、X軸上に配置された第3群の軸上容量素子と、前記第3群の軸上容量素子に対してY軸正方向に隣接配置された第3群の第1容量素子と、前記第3群の軸上容量素子に対してY軸負方向に隣接配置された第3群の第2容量素子と、前記第3群の軸上容量素子に対してZ軸正方向に隣接配置された第3群の第3容量素子と、前記第3群の軸上容量素子に対してZ軸負方向に隣接配置された第3群の第4容量素子と、を有し、

第4容量素子群が、Y軸上に配置された第4群の軸上容量素子と、前記第4群の軸上容量素子に対してX軸正方向に隣接配置された第4群の第1容量素子と、前記第4群の軸上

容量素子に対して X 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 2 容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して Z 軸正方向に隣接配置された第 4 群の第 3 容量素子と、前記第 4 群の軸上容量素子に対して Z 軸負方向に隣接配置された第 4 群の第 4 容量素子と、を有し、
検出回路が、

前記第 1 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 1 1、前記第 1 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 1 2、前記第 1 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 1 3、前記第 1 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 1 4、前記第 1 群の軸上容量素子の静電容量値を C 1 5 とし、

前記第 2 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 2 1、前記第 2 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 2 2、前記第 2 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 2 3、前記第 2 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 2 4、前記第 2 群の軸上容量素子の静電容量値を C 2 5 とし、

前記第 3 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 3 1、前記第 3 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 3 2、前記第 3 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 3 3、前記第 3 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 3 4、前記第 3 群の軸上容量素子の静電容量値を C 3 5 とし、

前記第 4 群の第 1 容量素子の静電容量値を C 4 1、前記第 4 群の第 2 容量素子の静電容量値を C 4 2、前記第 4 群の第 3 容量素子の静電容量値を C 4 3、前記第 4 群の第 4 容量素子の静電容量値を C 4 4、前記第 4 群の軸上容量素子の静電容量値を C 4 5 としたときに、

$$\begin{aligned}
 F_x &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4 + C 1 5) \\
 &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4 + C 3 5) \quad \text{または} \\
 &= - (C 1 1 + C 1 2 + C 1 3 + C 1 4) \\
 &\quad + (C 3 1 + C 3 2 + C 3 3 + C 3 4) \quad \text{または} \\
 &= - C 1 5 + C 3 5 \\
 F_y &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4 + C 2 5) \\
 &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4 + C 4 5) \quad \text{または} \\
 &= - (C 2 1 + C 2 2 + C 2 3 + C 2 4) \\
 &\quad + (C 4 1 + C 4 2 + C 4 3 + C 4 4) \quad \text{または} \\
 &= - C 2 5 + C 4 5 \\
 F_z &= (C 1 3 + C 2 3 + C 3 3 + C 4 3) \\
 &\quad - (C 1 4 + C 2 4 + C 3 4 + C 4 4) \\
 M_x &= (C 2 3 + C 4 4) - (C 2 4 + C 4 3) \\
 M_y &= (C 1 4 + C 3 3) - (C 1 3 + C 3 4) \\
 M_z &= (C 1 1 + C 2 1 + C 3 2 + C 4 2) \\
 &\quad - (C 1 2 + C 2 2 + C 3 1 + C 4 1)
 \end{aligned}$$

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x 、Y 軸方向の力 F_y 、Z 軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 5】

請求項 3 または 4 に記載の力覚センサにおいて、

検出リングの少なくともダイアフラム部を可撓性をもった導電性材料によって構成し、このダイアフラム部の表面を共通変位電極として各容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の力覚センサにおいて、

固定部材が、検出リングの下面と支持基板の上面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 7】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

XY平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングの更に内側に配置され、下面が前記支持基板の上面に固定された固定補助体と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、
前記検出リングを所定の固定点の位置において前記固定補助体を介して前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点のXY平面への投影像と前記固定点のXY平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

前記固定部材が、前記検出リングの内周面と前記固定補助体の外周面とを接続することを特徴とする力覚センサ。

【請求項8】

XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、
Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

XY平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングの更に内側に配置され、下面が前記支持基板の上面に固定された固定補助体と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、
前記検出リングを所定の固定点の位置において前記固定補助体を介して前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点のXY平面への投影像と前記固定点のXY平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

前記固定部材が、前記検出リングの内周面と前記固定補助体の外周面とを接続し、

前記検出素子が、前記検出リングの所定の測定点の変位を電氣的に検出するために、前記検出リングの内周面の、前記測定点近傍に位置する測定対象面と、前記固定補助体の外周に位置し前記測定対象面に対向する対向基準面との距離を電氣的に検出することを特徴とする力覚センサ。

【請求項9】

請求項8に記載の力覚センサにおいて、

検出素子が、測定対象面に設けられた変位電極と、対向基準面に設けられた固定電極と、を有する容量素子によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の力覚センサにおいて、
検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の力覚センサにおいて、
検出リングの少なくとも測定対象面が導電性材料からなり、
検出素子が、対向基準面に設けられた渦電流変位計によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 12】

請求項 8 に記載の力覚センサにおいて、
検出リングの少なくとも測定対象面が磁石からなり、
検出素子が、対向基準面に設けられたホール素子によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 13】

請求項 8 に記載の力覚センサにおいて、
検出素子が、
対向基準面に固定され、測定対象面に対して斜め方向に光ビームを照射する光ビーム照射器と、
対向基準面に固定され、前記測定対象面で反射された光ビームを受光する光ビーム受光器と、
前記光ビーム受光器による光ビームの受光位置に基づいて距離測定値を出力する測定回路と、
によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
XY 平面に平行な上面をもち、受カリングおよび検出リングの上方に所定間隔をおいて配置された受カ基板を更に備え、
前記受カ基板の下面の一部は、受カリングの上面に接続されており、
前記受カ基板の下面と検出リングの上面との間には、所定の空隙部が形成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の力覚センサにおいて、
受カ基板の下面外周部には、受カリングおよび検出リングを包摂する包摂筒状体が接続されており、前記包摂筒状体の下端部と支持基板の外周部との間には空隙部が形成されており、
前記受カ基板に所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記包摂筒状体の下端部と前記支持基板の外周部とが接触して、前記受カ基板の変位が制限されるように、前記空隙部の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
受カリングの所定箇所に上下に貫通する貫通孔が形成され、前記受カリングの上面の前記貫通孔の位置に前記貫通孔よりも径の大きな溝部が形成されており、
前記貫通孔を挿通して先端部が支持基板に固定され、頭部が前記溝部に収容された変位制御ネジを更に備え、前記変位制御ネジと前記貫通孔の内面および前記溝部の内面との間には空隙部が形成されており、
前記受カリングに所定の許容範囲を超える力もしくはモーメントが作用した場合に、前記変位制御ネジと前記貫通孔の内面もしくは前記溝部の内面とが接触して、前記受カリングの変位が制限されるように、前記空隙部の寸法が設定されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
受カリングが、作用する力もしくはモーメントが所定の許容範囲内である限り実質的な変形を生じない剛体によって構成されていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 18】

請求項 1 ~ 17 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
受カリングおよび検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 19】

請求項 1 ~ 18 のいずれかに記載の力覚センサにおいて、
検出回路を構成する電子部品を実装した検出回路基板が、支持基板の上面に設けられていることを特徴とする力覚センサ。

【請求項 20】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、
Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

X Y 平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングの更に内側に配置され、下面が前記支持基板の上面に固定された固定補助体と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、

前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電気的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点の X Y 平面への投影像と前記固定点の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 1 の固定点が Y 軸正領域に、第 2 の作用点が X 軸負領域に、第 2 の固定点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、前記検出リングの前記第 1 の作用点近傍が前記受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、前記検出リングの前記第 2 の作用点近傍が前記受カリングに接続されており、

前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点が V 軸正領域に、第 2 の測定点が W 軸正領域に、第 3 の測定点が V 軸負領域に、第 4 の測定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されており、

前記受カリングおよび前記検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、前記固定補助体が、Z 軸を中心軸とする円柱状をなし、

前記検出素子が、

前記検出リングの内周面の前記第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 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

極とによって構成される第 1 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 1 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 2 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 3 の測定点近傍位置に配置された第 7 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 7 の変位電極に対向する位置に配置された第 7 の固定電極とによって構成される第 7 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 4 の測定点近傍位置に配置された第 8 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 8 の変位電極に対向する位置に配置された第 8 の固定電極とによって構成される第 8 の容量素子と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

前記検出回路が、前記第 1 の容量素子の静電容量値を C 1、前記第 2 の容量素子の静電容量値を C 2、前記第 3 の容量素子の静電容量値を C 3、前記第 4 の容量素子の静電容量値を C 4、前記第 5 の容量素子の静電容量値を C 5、前記第 6 の容量素子の静電容量値を C 6、前記第 7 の容量素子の静電容量値を C 7、前記第 8 の容量素子の静電容量値を C 8 としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_5 + C_6 + C_7 + C_8)$$

$$M_x = (C_7 + C_8) - (C_5 + C_6)$$

$$M_y = (C_5 + C_8) - (C_6 + C_7)$$

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

なる演算式に基づいて、X 軸方向の力 F_x、Y 軸方向の力 F_y、Z 軸方向の力 F_z、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 21】

X Y Z 三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも 1 軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

X Y 平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングの更に内側に配置され、下面が前記支持基板の上面に固定された固定補助体と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、
 前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、
 前記検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、
 前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点の X Y 平面への投影像と前記固定点の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 1 の固定点が Y 軸正領域に、第 2 の作用点が X 軸負領域に、第 2 の固定点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、前記検出リングの前記第 1 の作用点近傍が前記受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、前記検出リングの前記第 2 の作用点近傍が前記受カリングに接続されており、

前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45°をなす V 軸と、前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点が V 軸正領域に、第 2 の測定点が W 軸正領域に、第 3 の測定点が V 軸負領域に、第 4 の測定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されており、

前記受カリングおよび前記検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、前記固定補助体が、Z 軸を中心軸とする円柱状をなし

、前記検出素子が、前記第 1 の作用点を第 5 の測定点とし、前記第 2 の作用点を第 6 の測定点として、

前記検出リングの内周面の前記第 1 の測定点近傍位置に配置された第 1 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 1 の変位電極に対向する位置に配置された第 1 の固定電極とによって構成される第 1 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 2 の測定点近傍位置に配置された第 2 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 2 の変位電極に対向する位置に配置された第 2 の固定電極とによって構成される第 2 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 3 の測定点近傍位置に配置された第 3 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 3 の変位電極に対向する位置に配置された第 3 の固定電極とによって構成される第 3 の容量素子と、

前記検出リングの内周面の前記第 4 の測定点近傍位置に配置された第 4 の変位電極と、前記固定補助体の外周面の前記第 4 の変位電極に対向する位置に配置された第 4 の固定電極とによって構成される第 4 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 5 の測定点近傍位置に配置された第 5 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 5 の変位電極に対向する位置に配置された第 5 の固定電極とによって構成される第 5 の容量素子と、

前記検出リングの下面の前記第 6 の測定点近傍位置に配置された第 6 の変位電極と、前記支持基板の上面の前記第 6 の変位電極に対向する位置に配置された第 6 の固定電極とによって構成される第 6 の容量素子と、

を有し、前記各容量素子を構成する一方の電極を他方の電極の形成面に投影した投影像は、前記他方の電極の内部に包含され、

前記検出回路が、前記第 1 の容量素子の静電容量値を C 1、前記第 2 の容量素子の静電容量値を C 2、前記第 3 の容量素子の静電容量値を C 3、前記第 4 の容量素子の静電容量値を C 4、前記第 5 の容量素子の静電容量値を C 9、前記第 6 の容量素子の静電容量値を C 10 としたときに、

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

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

$$F_z = -(C_9 + C_{10})$$

$$M_y = C_9 - C_{10}$$

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

なる演算式に基づいて、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z 、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 の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項22】

請求項20または21に記載の力覚センサにおいて、

検出リングを可撓性をもった導電性材料によって構成し、検出リングの表面を共通変位電極として各容量素子を構成したことを特徴とする力覚センサ。

【請求項23】

XYZ三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにXY平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

XY平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、

前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電気的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出値を出力する検出回路と、

を備え、

前記作用点のXY平面への投影像と前記固定点のXY平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

第1の作用点がX軸正領域に、第1の固定点がY軸正領域に、第2の作用点がX軸負領域に、第2の固定点がY軸負領域に、それぞれ配置されており、

X軸正領域に沿って伸びる第1の接続部材により、前記検出リングの前記第1の作用点近傍が前記受カリングに接続され、X軸負領域に沿って伸びる第2の接続部材により、前記検出リングの前記第2の作用点近傍が前記受カリングに接続されており、

前記XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第1象限、負の領域がXY平面の第3象限に位置し、X軸に対して45°をなすV軸と、前記XYZ三次元直交座標系における原点Oを通り、正の領域がXY平面の第2象限、負の領域がXY平面の第4象限に位置し、V軸に対して直交するW軸と、を定義したときに、第1の測定点がV軸正領域に、第2の測定点がW軸正領域に、第3の測定点がV軸負領域に、第4の測定点がW軸負領域に、それぞれ配置されており、

前記受カリングおよび前記検出リングの双方が、Z軸が中心軸となるようにXY平面上に配置された円形のリングであり、

前記検出素子が、前記検出リングの前記第1～第4の測定点近傍の表面に、前記検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージを有し、

前記検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リングの上面および下面のいずれか一方を縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の前記第1の測定点近傍位置に取り付けられた第1属性のストレイン

ゲージと、

前記横方向配置面の前記第2の測定点近傍位置に取り付けられた第2属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の前記第3の測定点近傍位置に取り付けられた第3属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の前記第4の測定点近傍位置に取り付けられた第4属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の前記第1の測定点近傍位置に取り付けられた第5属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の前記第2の測定点近傍位置に取り付けられた第6属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の前記第3の測定点近傍位置に取り付けられた第7属性のストレインゲージと、

前記縦方向配置面の前記第4の測定点近傍位置に取り付けられた第8属性のストレインゲージと、

の8種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、

前記検出回路が、

前記第1属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第2属性のストレインゲージと前記第3属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

前記第1属性のストレインゲージと前記第2属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第3属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第5属性のストレインゲージと前記第6属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第7属性のストレインゲージと前記第8属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

前記第5属性のストレインゲージと前記第8属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第6属性のストレインゲージと前記第7属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第1属性のストレインゲージと前記第3属性のストレインゲージとを第1の対辺とし、前記第2属性のストレインゲージと前記第4属性のストレインゲージとを第2の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【請求項24】

X Y Z三次元直交座標系における各座標軸方向の力および各座標軸まわりのモーメントのうち、少なくとも1軸に関する力もしくはモーメントを検出する力覚センサであって、

Z軸が中心軸となるようにX Y平面上に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用を受ける受カリングと、

Z軸が中心軸となるようにX Y平面上に、かつ、前記受カリングの内側に配置され、検出対象となる力もしくはモーメントの作用により少なくとも一部に弾性変形を生じる検出リングと、

X Y平面に平行な上面をもち、前記受カリングおよび前記検出リングの下方に所定間隔をおいて配置された支持基板と、

前記検出リングを所定の作用点の位置において前記受カリングに接続する接続部材と、

前記検出リングを所定の固定点の位置において前記支持基板に固定する固定部材と、

前記検出リングの弾性変形を電氣的に検出する検出素子と、

前記検出素子の検出結果に基づいて、前記支持基板を固定した状態において、前記受カリングに作用した所定の座標軸方向の力もしくは所定の座標軸まわりのモーメントの検出

値を出力する検出回路と、
を備え、

前記作用点の X Y 平面への投影像と前記固定点の X Y 平面への投影像とが異なる位置に形成されており、

第 1 の作用点が X 軸正領域に、第 1 の固定点が Y 軸正領域に、第 2 の作用点が X 軸負領域に、第 2 の固定点が Y 軸負領域に、それぞれ配置されており、

X 軸正領域に沿って伸びる第 1 の接続部材により、前記検出リングの前記第 1 の作用点近傍が前記受カリングに接続され、X 軸負領域に沿って伸びる第 2 の接続部材により、前記検出リングの前記第 2 の作用点近傍が前記受カリングに接続されており、

前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 1 象限、負の領域が X Y 平面の第 3 象限に位置し、X 軸に対して 45° をなす V 軸と、前記 X Y Z 三次元直交座標系における原点 O を通り、正の領域が X Y 平面の第 2 象限、負の領域が X Y 平面の第 4 象限に位置し、V 軸に対して直交する W 軸と、を定義したときに、第 1 の測定点が V 軸正領域に、第 2 の測定点が W 軸正領域に、第 3 の測定点が V 軸負領域に、第 4 の測定点が W 軸負領域に、それぞれ配置されており、

前記受カリングおよび前記検出リングの双方が、Z 軸が中心軸となるように X Y 平面上に配置された円形のリングであり、

前記検出素子が、前記検出リングの前記第 1 ~ 第 4 の測定点近傍の表面に、前記検出リングの輪郭に沿った環状路に沿った方向が検出方向となるように取り付けられた複数のストレインゲージを有し、

前記検出リングの内周面および外周面のいずれか一方を横方向配置面と定義し、前記検出リングの上面および下面のいずれか一方を第 1 縦方向配置面、他方を第 2 縦方向配置面と定義したときに、前記複数のストレインゲージは、

前記横方向配置面の前記第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 1 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の前記第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 2 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の前記第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 3 属性のストレインゲージと、

前記横方向配置面の前記第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 4 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の前記第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 5 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の前記第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 6 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の前記第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 7 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 1 縦方向配置面の前記第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 8 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の前記第 1 の測定点近傍位置に取り付けられた第 9 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の前記第 2 の測定点近傍位置に取り付けられた第 10 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の前記第 3 の測定点近傍位置に取り付けられた第 11 属性のストレインゲージと、

前記検出リングの前記第 2 縦方向配置面の前記第 4 の測定点近傍位置に取り付けられた第 12 属性のストレインゲージと、

の 12 種類の属性をもったストレインゲージのいずれかによって構成され、
検出回路が、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺と

し、前記第 2 属性のストレインゲージと前記第 3 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸方向の力 F_x の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 2 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 3 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸方向の力 F_y の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 6 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、前記第 7 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 1 の対辺とし、前記第 9 属性のストレインゲージと前記第 10 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、前記第 11 属性のストレインゲージと前記第 12 属性のストレインゲージとの直列接続辺と、を第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸方向の力 F_z の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 6 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 7 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、X 軸まわりのモーメント M_x の検出値を出力し、

前記第 5 属性のストレインゲージと前記第 8 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 6 属性のストレインゲージと前記第 7 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Y 軸まわりのモーメント M_y の検出値を出力し、

前記第 1 属性のストレインゲージと前記第 3 属性のストレインゲージとを第 1 の対辺とし、前記第 2 属性のストレインゲージと前記第 4 属性のストレインゲージとを第 2 の対辺とするホイートストンブリッジ回路により、Z 軸まわりのモーメント M_z の検出値を出力することを特徴とする力覚センサ。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2011/067714
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01L5/16(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, 3/08-3/14, 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 6-094548 A (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd.), 05 April 1994 (05.04.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27 7, 8, 10, 19, 22, 28-35
Y	JP 1-262431 A (Toshiba Corp.), 19 October 1989 (19.10.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2007-078570 A (Fanuc Ltd.), 29 March 2007 (29.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 29 August, 2011 (29.08.11)		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/JP2011/067714

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-354049 A (Wacoh, Co., Ltd.), 16 December 2004 (16.12.2004), entire text; all drawings & US 2004/0187602 A1 & US 2005/0092096 A1 & EP 1464939 A1 & DE 602004001000 D & HK 1067697 A	11-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2010-008343 A (Wacoh, Co., Ltd.), 14 January 2010 (14.01.2010), entire text; all drawings (Family: none)	13-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2001-500979 A (MTS Systems Corp.), 23 January 2001 (23.01.2001), entire text; all drawings & US 6038933 A & US 5969268 A & EP 1363115 A1 & WO 1999/004235 A1 & CA 2264827 A & CN 1234866 A & CN 1624444 A	17, 18, 20, 21, 23-25
Y	JP 1-119731 A (Canon Inc.), 11 May 1989 (11.05.1989), entire text; all drawings (Family: none)	17, 18, 20, 21, 23-25
Y	JP 60-177232 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 11 September 1985 (11.09.1985), entire text; all drawings (Family: none)	17, 18, 20, 21, 23-25
A	JP 63-075633 A (Yotaro HATAMURA), 06 April 1988 (06.04.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-35

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2011/067714									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01L5/16(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01L1/14, 1/22, 3/08-3/14, 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2011年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2011年	日本国実用新案登録公報	1996-2011年	日本国登録実用新案公報	1994-2011年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2011年										
日本国実用新案登録公報	1996-2011年										
日本国登録実用新案公報	1994-2011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 6-094548 A (日立建機株式会社) 1994.04.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27									
A		7, 8, 10, 19, 22, 28-35									
Y	JP 1-262431 A (株式会社東芝) 1989.10.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 29.08.2011		国際調査報告の発送日 13.09.2011									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 公文代 康祐	2F 4741								
		電話番号 03-3581-1101	内線 3216								

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 1 / 0 6 7 7 1 4
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-078570 A (ファナック株式会社) 2007.03.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	6, 9, 11-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2004-354049 A (株式会社ワコー) 2004.12.16, 全文, 全図 & US 2004/0187602 A1 & US 2005/0092096 A1 & EP 1464939 A1 & DE 602004001000 D & HK 1067697 A	11-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2010-008343 A (株式会社ワコー) 2010.01.14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	13-18, 20, 21, 23-27
Y	JP 2001-500979 A (エムティエス・システムス・コーポレーション) 2001.01.23, 全文, 全図 & US 6038933 A & US 5969268 A & EP 1363115 A1 & WO 1999/004235 A1 & CA 2264827 A & CN 1234866 A & CN 1624444 A	17, 18, 20, 21, 23-25
Y	JP 1-119731 A (キヤノン株式会社) 1989.05.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	17, 18, 20, 21, 23-25
Y	JP 60-177232 A (日本電信電話株式会社) 1985.09.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	17, 18, 20, 21, 23-25
A	JP 63-075633 A (畑村 洋太郎) 1988.04.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, JP, 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

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。