

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6925653号  
(P6925653)

(45) 発行日 令和3年8月25日(2021.8.25)

(24) 登録日 令和3年8月6日(2021.8.6)

(51) Int.Cl. F I  
GO 1 L 5/165 (2020.01) GO 1 L 5/165  
GO 1 L 25/00 (2006.01) GO 1 L 25/00 A

請求項の数 8 (全 66 頁)

(21) 出願番号 特願2019-176114 (P2019-176114)  
(22) 出願日 令和1年9月26日(2019.9.26)  
(62) 分割の表示 特願2018-512355 (P2018-512355)  
の分割  
原出願日 平成30年1月9日(2018.1.9)  
(65) 公開番号 特開2020-12844 (P2020-12844A)  
(43) 公開日 令和2年1月23日(2020.1.23)  
審査請求日 令和2年9月11日(2020.9.11)

(73) 特許権者 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  
(74) 代理人 100091982  
弁理士 永井 浩之  
(74) 代理人 100091487  
弁理士 中村 行孝  
(74) 代理人 100105153  
弁理士 朝倉 悟  
(74) 代理人 100103263  
弁理士 川崎 康  
(74) 代理人 100150717  
弁理士 山下 和也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 力覚センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

作用する力を受けるための受力体と、  
X Y Z三次元座標系におけるZ軸方向において前記受力体の一側に配置された支持体と、  
前記受力体と前記支持体との間に配置された傾動部と、  
前記受力体と前記傾動部とを接続し、前記受力体に作用した力により弾性変形を生じる第1変形部と、  
前記支持体と前記傾動部とを接続し、前記受力体に作用した力により弾性変形を生じる第2変形部と、  
前記傾動部に接続され、前記第1変形部および前記第2変形部に生じる弾性変形により変位を生じる変位体と、  
前記変位体に生じる変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路と、を備え、  
前記第1変形部と前記傾動部との接続部位と、前記第2変形部と前記傾動部との接続部位とは、前記Z軸方向において位置が異なっており、  
前記変位体は、前記傾動部に接続されているが前記支持体から離間する、当該傾動部の傾動によって変位する変位部を有し、  
前記検出回路は、前記変位部に配置された第1変位センサ及び第2変位センサを有し、  
前記検出回路は、前記第1変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第1電気信号を出力し、且つ、前記第2変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第2電

気信号を出力し、当該第 1 電気信号及び当該第 2 電気信号に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する、力覚センサ。

【請求項 2】

前記検出回路は、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との和である合算電気信号を出力し、

前記検出回路は、前記合算電気信号と、前記第 1 電気信号及び前記第 2 電気信号の少なくとも一方と、に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する、請求項 1 に記載の力覚センサ。

【請求項 3】

前記支持体は、前記変位体に対向配置され、

各変位センサは、前記変位体の前記変位部に配置された変位電極と、この変位電極に対向して前記支持体上に配置された固定電極と、を有する容量素子である、請求項 1 または 2 に記載の力覚センサ。

【請求項 4】

前記変位部は、前記 Z 軸方向と交差する方向に延在する梁を有する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の力覚センサ。

【請求項 5】

前記梁には、第 1 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 計測部位の変位を計測する、第 1 - 1 変位センサ及び第 1 - 2 変位センサを有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 1 - 2 変位センサの検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力する、請求項 4 に記載の力覚センサ。

【請求項 6】

前記梁には、第 1 計測部位及び第 2 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 計測部位の変位を計測する、第 1 - 1 変位センサ及び第 1 - 2 変位センサと、前記第 2 計測部位の変位を計測する、第 2 - 1 変位センサ及び第 2 - 2 変位センサと、を有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサ及び前記第 1 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 - 1 変位センサ及び前記第 2 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力する、請求項 4 に記載の力覚センサ。

【請求項 7】

前記変位部は、前記傾動部と前記梁とを接続する接続体を有し、

前記変位体の前記第 1 計測部位及び前記第 2 計測部位は、前記接続体と前記梁との接続部位に関して対称的に規定され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値と前記第 2 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 1 - 2 変位センサの検出値と前記第 2 - 1 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 2 電気信号を出力する、請求項 6 に記載の力覚センサ。

【請求項 8】

前記検出回路は、前記第 1 電気信号、または、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との和である合算電気信号、に基づいて作用した力を検出する、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の力覚センサ。

【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、所定の軸方向に作用した力及び所定の回転軸まわりに作用したモーメント（トルク）を電気信号として出力する機能をもったセンサに関する。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、所定の軸方向に作用した力及び所定の回転軸まわりに作用したトルクを電気信号として出力する機能をもった力覚センサが知られている（例えば特許文献1）。このような力覚センサは、産業用ロボットの力制御に広く利用されている他、近年では生活支援ロボットにも採用されており、高い安全性が求められている。しかしながら、例えば、従来の静電容量タイプの力覚センサにおいては、機構部、静電容量の検出部（力の検出部）、マイコンを含む電子回路を備えているが、結露、衝撃、過負荷、あるいは容量素子を構成する一対の平行平板間に異物が混入することによって、故障してしまう可能性がある。特に、力覚センサの力検出部は、可撓性を有するため、過負荷や繰り返し荷重によって金属疲労を生じる。このことにより、当該力検出部を構成する弾性体にクラック等が生じ、最終的には破断してしまう恐れがある。

10

## 【0003】

力覚センサが故障しているか否かを判断する簡便な方法としては、例えば特許文献1に記載されている力覚センサを複数（例えば3つ）並列に並べ、各力覚センサの出力信号の差を評価すればよい。この方法では、3つの出力信号を2つずつ比較し、各2つの力覚センサの出力信号の差が所定の範囲内に存在していれば当該力覚センサは正常に機能していると判断され、一方で当該差が所定の範囲内に存在していなければ、当該力覚センサは正常に機能していない（故障している）と判断される。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献1】特開2004-354049号公報

## 【0005】

しかしながら、複数の力覚センサを用いて当該力覚センサが正常に機能しているか否かを判断する方法を採用した場合、力覚センサの個数に応じてコストが増大してしまう。更に、力覚センサを設置するために必要なスペースも増大してしまうため問題である。もちろん、ロボット等に取り付けられた力覚センサを取り外して故障診断を行うことにより、当該力覚センサが正常に機能しているか否かを判定しても良い。しかしながら、一度取り付けられた力覚センサを取り外すと作業コストが増大してしまうため、より簡便に故障診断を行うことができる力覚センサが望まれていた。

30

## 【0006】

ところで、本出願人は、静電容量型の力覚センサにおいて、低価格かつ高感度であり、使用環境の温度変化や同相ノイズによる影響を受けにくい力覚センサを発明し、特願2017-185184を出願した。このような力覚センサにおいても、より簡便に故障診断を行うことができれば、極めて有用である。

## 【0007】

本発明は、以上のような事情に鑑みて創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、低価格かつ高感度でありながら、単一の力覚センサによってそれ自身の故障診断が可能な力覚センサを提供することである。

40

## 【発明の開示】

## 【0008】

本発明の第1の態様による力覚センサは、  
受力部と固定部とを有し、前記受力部に作用した力により弾性変形を生じる変形体と、  
前記変形体に接続され、当該変形体に生じる弾性変形により変位を生じる変位体と、  
前記変位体に生じる変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路と、を備え、  
前記変形体は、  
長手方向を有し、前記受力部と前記固定部との間に配置された傾動部と、  
前記受力部と前記傾動部とを接続する第1変形部と、  
前記固定部と前記傾動部とを接続する第2変形部と、を有し、

50

各変形部は、前記傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在し、  
前記第 1 変形部と前記傾動部との接続部位と、前記第 2 変形部と前記傾動部との接続部位とは、当該傾動部の前記長手方向において位置が異なっており、  
前記変位体は、前記傾動部に接続されているが前記固定部から離間した変位部を有し、  
前記検出回路は、前記変位部に配置された第 1 変位センサ及び第 2 変位センサを有し、  
前記検出回路は、前記第 1 変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第 2 電気信号を出力し、当該第 1 電気信号及び当該第 2 電気信号に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する。

【 0 0 0 9 】

10

前記検出回路は、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との和である合算電気信号を出力し、

前記検出回路は、前記合算電気信号と、前記第 1 電気信号及び前記第 2 電気信号の少なくとも一方と、に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定して良い。

【 0 0 1 0 】

以上の力覚センサは、前記変位体に対向配置され、前記固定部に接続された支持体を更に備え、

各変位センサは、前記変位体の前記変位部に配置された変位電極と、この変位電極に対向して前記支持体上に配置された固定電極と、を有する容量素子であって良い。

【 0 0 1 1 】

20

前記変位部は、前記傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する梁を有して良い。

【 0 0 1 2 】

前記梁には、第 1 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 計測部位の変位を計測する、第 1 - 1 変位センサ及び第 1 - 2 変位センサを有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 1 - 2 変位センサの検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

【 0 0 1 3 】

30

あるいは、前記梁には、第 1 計測部位及び第 2 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 計測部位の変位を計測する、第 1 - 1 変位センサ及び第 1 - 2 変位センサと、前記第 2 計測部位の変位を計測する、第 2 - 1 変位センサ及び第 2 - 2 変位センサと、を有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサ及び前記第 1 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 - 1 変位センサ及び前記第 2 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

【 0 0 1 4 】

前記変位部は、前記変形体の前記傾動部と前記梁とを接続する接続体を有し、

前記変位体の前記第 1 計測部位及び前記第 2 計測部位は、前記接続体と前記梁との接続部位に関して対称的に規定され、

40

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値と前記第 2 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 1 - 2 変位センサの検出値と前記第 2 - 1 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

【 0 0 1 5 】

前記検出回路は、前記第 1 電気信号、または、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との和である合算電気信号、に基づいて作用した力を検出して良い。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 2 の態様による力覚センサは、

閉ループ状の変形体であって、2 つの受力部と、閉ループ状の経路に沿って前記 2 つの

50

受力部と交互に配置された２つの固定部と、前記閉ループ状の経路に沿って隣接する前記受力部及び前記固定部を接続し前記受力部に作用した力ないしモーメントにより弾性変形を生じる４つの変形要素と、を有する変形体と、

各変形要素に接続され、当該変形要素に生じる弾性変形により変位を生じる４つの変位体と、

前記４つの変位体に生じる変位に基づいて、作用した力及びモーメントの少なくとも一方を検出する検出回路と、を備え、

前記４つの変形要素は、それぞれ、

長手方向を有し、前記受力部と前記固定部との間に配置された傾動部と、

対応する前記受力部と前記傾動部とを接続する第１変形部と、

対応する前記固定部と前記傾動部とを接続する第２変形部と、を有し、

前記第１変形部及び前記第２変形部は、前記傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在し、

前記第１変形部と前記傾動部との接続部位と、前記第２変形部と前記傾動部との接続部位とは、当該傾動部の前記長手方向において位置が異なっており、

前記４つの変位体は、それぞれ、対応する前記傾動部に接続されているが対応する前記固定部から離間した変位部を有し、

前記検出回路は、少なくとも４つの第１変位センサと少なくとも４つの第２変位センサとを有し、

前記少なくとも４つの第１変位センサ及び前記少なくとも４つの第２変位センサは、各変位部に少なくとも１つずつ配置されており、

前記検出回路は、各第１変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第１電気信号を出力し、且つ、各第２変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第２電気信号を出力し、当該第１電気信号及び当該前記第２電気信号に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する。

#### 【００１７】

前記検出回路は、前記第１電気信号と前記第２電気信号との和である合算電気信号を出力し、

前記検出回路は、前記合算電気信号と、前記第１電気信号及び前記第２電気信号の少なくとも一方と、に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定して良い。

#### 【００１８】

このような力覚センサは、前記４つの変位体に対向配置され、前記固定部に接続された支持体を更に備え、

各変位センサは、各変位体の前記変位部に配置された変位電極と、各変位電極に対向して前記支持体上に配置された固定電極と、を有する容量素子であって良い。

#### 【００１９】

前記４つの変位体は、それぞれ、対応する前記傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する梁を有して良い。

#### 【００２０】

各梁には、第１計測部位が規定され、

前記検出回路は、各第１計測部位の変位を計測する、第１－１変位センサ及び第１－２変位センサを有し、

前記検出回路は、各第１－１変位センサの検出値に基づいて前記第１電気信号を出力し、且つ、各第１－２変位センサの検出値に基づいて前記第２電気信号を出力して良い。

#### 【００２１】

あるいは、各梁には、第１計測部位及び第２計測部位が規定され、

前記検出回路は、各第１計測部位の変位を計測する、第１－１変位センサ及び第１－２変位センサと、各第２計測部位の変位を計測する、第２－１変位センサ及び第２－２変位センサと、を有し、

前記検出回路は、各第１－１変位センサ及び各第２－１変位センサの各検出値に基づい

10

20

30

40

50

て前記第 1 電気信号を出力し、且つ、各第 1 - 2 変位センサ及び各第 2 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

【 0 0 2 2 】

各変位部は、前記変形体の前記傾動部と前記梁とを接続する接続体を有し、

各変位体の前記第 1 計測部位及び前記第 2 計測部位は、前記接続体と前記梁との接続部位に関して対称的に規定され、

各第 1 - 1 変位センサ、各第 1 - 2 変位センサ、各第 2 - 2 変位センサ及び各第 2 - 1 変位センサは、対応する前記梁の長さ方向に沿ってこの順序で配置され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値と前記第 2 - 1 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 1 - 2 変位センサの検出値と前記第 2 - 2 変位センサ検出値との差に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

10

【 0 0 2 3 】

前記検出回路は、前記第 1 電気信号、または、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との和である合算電気信号に基づいて、作用した力を検出して良い。

【 0 0 2 4 】

また、前記検出回路は、前記合算電気信号と、前記第 1 電気信号及び前記第 2 電気信号の少なくとも一方と、の差または比に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定して良い。

【 0 0 2 5 】

本発明の第 3 の態様による力覚センサは、

20

受力部と固定部とを有し、前記受力部に作用した力により弾性変形を生じる変形体と、前記変形体に接続され、当該変形体に生じる弾性変形により変位を生じる変位体と、前記変位体に生じる変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路と、を備え、前記変形体は、

長手方向を有し、前記受力部と前記固定部との間に当該受力部から当該固定部に向かって順次配置された第 1 傾動部及び第 2 傾動部と、

前記第 1 傾動部と前記第 2 傾動部との間に配置された力伝達部と、

前記受力部と前記第 1 傾動部とを接続する第 1 - 1 変形部、前記力伝達部と前記第 1 傾動部とを接続する第 1 - 2 変形部、前記力伝達部と前記第 2 傾動部とを接続する第 2 - 1 変形部、及び、前記固定部と前記第 2 傾動部とを接続する第 2 - 2 変形部と、を有し、

30

各変形部は、それぞれ、各傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在し、

前記第 1 - 1 変形部と前記第 1 傾動部との接続部位と、前記第 1 - 2 変形部と前記第 1 傾動部との接続部位とは、当該第 1 傾動部の前記長手方向において位置が異なり、

前記第 2 - 1 変形部と前記第 2 傾動部との接続部位と、前記第 2 - 2 変形部と前記第 2 傾動部との接続部位とは、当該第 2 傾動部の前記長手方向において位置が異なり、

前記第 1 - 1 変形部及び第 1 - 2 変形部のバネ定数と、前記第 2 - 1 変形部及び第 2 - 2 変形部のバネ定数とが、異なり、

前記変位体は、前記第 1 傾動部に接続されているが前記固定部から離間した第 1 変位部と、前記第 2 傾動部に接続されているが前記固定部から離間した第 2 変位部と、を有し、

前記検出回路は、前記第 1 変位部の変位を計測する第 1 変位センサと、前記第 2 変位部の変位を計測する第 2 変位センサと、を有し、

40

前記検出回路は、前記第 1 変位センサの検出値に基づいて作用した力を示す第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 変位センサの検出値に基づいて作用した力を示す第 2 電気信号を出力し、当該第 1 電気信号と当該第 2 電気信号との比率の変化に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する。

【 0 0 2 6 】

このような力覚センサは、前記変位体に対向配置され、前記固定部に接続された支持体を更に備え、

各変位センサは、前記変位体の各変位部に配置された変位電極と、この変位電極に対向して前記支持体上に配置された固定電極と、を有する容量素子であって良い。

50

## 【 0 0 2 7 】

前記第 1 変位部は、前記第 1 傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する第 1 梁を有し、

前記第 2 変位部は、前記第 2 傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する第 2 梁を有して良い。

## 【 0 0 2 8 】

前記第 1 梁には、第 1 - 1 計測部位が規定され、

前記第 2 梁には、第 2 - 1 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 計測部位の変位を計測する第 1 - 1 変位センサと、前記第 2 - 1 計測部位の変位を計測する第 2 - 1 変位センサと、を有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

## 【 0 0 2 9 】

あるいは、前記第 1 梁には、第 1 - 1 計測部位及び第 1 - 2 計測部位が規定され、

前記第 2 梁には、第 2 - 1 計測部位及び第 2 - 2 計測部位が規定され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 計測部位の変位を計測する第 1 - 1 変位センサ、前記第 1 - 2 計測部位の変位を計測する第 1 - 2 変位センサ、前記第 2 - 1 計測部位の変位を計測する第 2 - 1 変位センサ、及び、前記第 2 - 2 計測部位の変位を計測する第 2 - 2 変位センサを有し、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサ及び前記第 1 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 - 1 変位センサ及び前記第 2 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

## 【 0 0 3 0 】

前記第 1 変位部は、前記第 1 傾動部と前記第 1 梁とを接続する第 1 接続体を有し、

前記第 2 変位部は、前記第 2 傾動部と前記第 2 梁とを接続する第 2 接続体を有し、

前記第 1 変位部の前記第 1 - 1 計測部位及び前記第 1 - 2 計測部位は、前記第 1 接続体と前記第 1 梁との接続部位に関して対称的に規定され、

前記第 2 変位部の前記第 2 - 1 計測部位及び前記第 2 - 2 計測部位は、前記第 2 接続体と前記第 2 梁との接続部位に関して対称的に規定され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値と前記第 1 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、前記第 2 - 1 変位センサの検出値と前記第 2 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

## 【 0 0 3 1 】

本発明の第 4 の態様による力覚センサは、

閉ループ状の変形体であって、2つの受力部と、閉ループ状の経路に沿って前記2つの受力部と交互に配置された2つの固定部と、前記閉ループ状の経路に沿って隣接する前記受力部及び前記固定部を接続し前記受力部に作用した力ないしモーメントにより弾性変形を生じる4つの変形要素と、を有する変形体と、

各変形要素に接続され、当該変形要素に生じる弾性変形により変位を生じる変位体と、前記変位体に生じる変位に基づいて、作用した力及びモーメントの少なくとも一方を検出する検出回路と、を備え、

前記4つの変形要素は、それぞれ、

長手方向を有し、前記受力部と前記固定部との間に当該受力部から当該固定部に向かって順次配置された第1傾動部及び第2傾動部と、

前記第1傾動部と前記第2傾動部との間に配置された力伝達部と、

前記第1傾動部と対応する前記受力部とを接続する第1 - 1変形部、前記力伝達部と前記第1傾動部とを接続する第1 - 2変形部、前記力伝達部と前記第2傾動部とを接続する第2 - 1変形部、及び、前記第2傾動部と対応する前記固定部とを接続する第2 - 2変形部と、を有し、

前記第 1 - 1 変形部、前記第 1 - 2 変形部、前記第 2 - 1 変形部、及び前記第 2 - 2 変形部は、各傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在し、

前記第 1 - 1 変形部と前記第 1 傾動部との接続部位と、前記第 1 - 2 変形部と前記第 1 傾動部との接続部位とは、当該第 1 傾動部の前記長手方向において位置が異なり、

前記第 2 - 1 変形部と前記第 2 傾動部との接続部位と、前記第 2 - 2 変形部と前記第 2 傾動部との接続部位とは、当該第 2 傾動部の前記長手方向において位置が異なり、

前記第 1 - 1 変形部及び第 1 - 2 変形部のバネ定数と、前記第 2 - 1 変形部及び第 2 - 2 変形部のバネ定数とが、異なり、

各変位体は、対応する前記第 1 傾動部に接続されているが各固定部から離間した第 1 変位部と、対応する第 2 傾動部に接続されているが各固定部から離間した第 2 変位部と、を有し、

10

前記検出回路は、各第 1 変位部の変位を計測する少なくとも 4 つの第 1 変位センサと、各第 2 変位部の変位を計測する少なくとも 4 つの第 2 変位センサと、を有し、

前記検出回路は、各第 1 変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第 1 電気信号を出力し、且つ、各第 2 変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第 2 電気信号を出力し、当該第 1 電気信号と当該第 2 電気信号との比率の変化に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定する。

#### 【0032】

このような力覚センサは、

前記第 1 変位部及び前記第 2 変位部に対向配置され、前記固定部に接続された支持体を更に備え、

20

各変位センサは、前記変位体の各変位部に配置された変位電極と、この変位電極に対向して前記支持体上に配置された固定電極と、を有する容量素子であって良い。

#### 【0033】

各第 1 変位部は、対応する前記第 1 傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する第 1 梁を有し、

各第 2 変位部は、対応する前記第 2 傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在する第 2 梁を有して良い。

#### 【0034】

各第 1 梁には、第 1 - 1 計測部位が規定され、

30

各第 2 梁には、第 2 - 1 計測部位が規定され、

前記検出回路は、各第 1 - 1 計測部位の変位を計測する第 1 - 1 変位センサと、各第 2 - 1 計測部位の変位を計測する第 2 - 1 変位センサと、を有し、

前記検出回路は、各第 1 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、各第 2 - 1 変位センサの検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

#### 【0035】

あるいは、各第 1 梁には、第 1 - 1 計測部位及び第 1 - 2 計測部位が規定され、

各第 2 梁には、第 2 - 1 計測部位及び第 2 - 2 計測部位が規定され、

前記検出回路は、各第 1 - 1 計測部位の変位を計測する第 1 - 1 変位センサ、各第 1 - 2 計測部位の変位を計測する第 1 - 2 変位センサ、各第 2 - 1 計測部位の変位を計測する第 2 - 1 変位センサ、及び、各第 2 - 2 計測部位の変位を計測する第 2 - 2 変位センサを有し、

40

前記検出回路は、各第 1 - 1 変位センサ及び各第 1 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、各第 2 - 1 変位センサ及び各第 2 - 2 変位センサの各検出値に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

#### 【0036】

各第 1 変位部は、前記第 1 傾動部と前記第 1 梁とを接続する第 1 接続体を有し、

各第 2 変位部は、前記第 2 傾動部と前記第 2 梁とを接続する第 2 接続体を有し、

前記第 1 変位部の前記第 1 - 1 計測部位及び前記第 1 - 2 計測部位は、前記第 1 接続体と前記第 1 梁との接続部位に関して対称的に規定され、

50



前記第 2 変位部の前記第 2 - 1 計測部位及び前記第 2 - 2 計測部位は、前記第 2 接続体と前記第 2 梁との接続部位に関して対称的に規定され、

前記検出回路は、前記第 1 - 1 変位センサの検出値と前記第 1 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 1 電気信号を出力し、且つ、前記第 2 - 1 変位センサの検出値と前記第 2 - 2 変位センサの検出値との差に基づいて前記第 2 電気信号を出力して良い。

【 0 0 3 7 】

前記検出回路は、力の検出が正常に行われているときの前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との比率を基準比率として記憶しており、

前記検出回路は、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との比率と、前記基準比率と、の差、に基づいて力の検出が正常に行われているか否かを判定して良い。

10

【 0 0 3 8 】

以上の各力覚センサにおいて、前記受力部は、前記固定部に対する相対移動が所定の範囲内に制限されて良い。

【 0 0 3 9 】

あるいは、前記受力部は、前記固定部及び前記支持体の少なくとも一方に対する相対移動が所定の範囲内に制限されていて良い。

【 0 0 4 0 】

本発明の第 5 の態様による力覚センサは、

受力部と固定部とを有し、前記受力部に作用した力により弾性変形を生じる変形体と、

前記変形体に接続され、当該変形体に生じる弾性変形により変位を生じる変位体と、

前記変位体を生じる変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路と、

前記固定部に接続された支持体と、を備え、

前記変形体は、

長手方向を有し、前記受力部と前記固定部との間に配置された傾動部と、

前記受力部と前記傾動部とを接続する第 1 変形部と、

前記固定部と前記傾動部とを接続する第 2 変形部と、を有し、

各変形部は、前記傾動部の前記長手方向と交差する方向に延在し、

前記第 1 変形部と前記傾動部との接続部位と、前記第 2 変形部と前記傾動部との接続部位とは、当該傾動部の前記長手方向において位置が異なっており、

前記変位体は、前記傾動部に接続されているが前記固定部から離間した変位部を有し、

前記受力部は、前記固定部及び前記支持体の少なくとも一方に対する相対移動が所定の範囲内に制限される。

20

30

【 0 0 4 1 】

以上の力覚センサは、前記固定部に接続された支持体を更に備え、

前記支持体と前記受力部との離間距離により、前記所定の範囲が画定されて良い。

【 0 0 4 2 】

以上の力覚センサは、前記変形体の前記固定部及び前記支持体の少なくとも一方に接続され、当該固定部及び当該支持体の少なくとも一方に対する前記受力部の相対移動を前記所定の範囲に制限するストッパを更に備えて良い。

【 0 0 4 3 】

前記受力部は、凹部または貫通孔を有し、

前記ストッパの少なくとも一部は、前記凹部または前記貫通孔の内部に位置して良い。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 4 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による力覚センサの基本構造を示す概略正面図である。

【図 2】図 1 の概略上面図である。

【図 3】受力部に X 軸正方向の力 + F x が作用したときの基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 4】受力部に X 軸負方向の力 - F x が作用したときの基本構造の変形状態を示す概略

50

正面図である。

【図 5】受力部に Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用したときの基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 6】受力部に Z 軸正方向の力  $+F_z$  が作用したときの基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 7】図 1 に示す基本構造を採用した力覚センサの例を示す概略正面図である。

【図 8】本実施の形態の力覚センサに採用されている検出回路のブロック図である。

【図 9】図 7 の力覚センサに力  $+F_x$  及び  $-F_z$  が作用した際の、各容量素子の静電容量値の変動を示す図表である。

【図 10】本発明の第 2 の実施の形態による力覚センサの基本構造を示す概略正面図である。

10

【図 11】受力部に X 軸正方向の力  $+F_x$  及び Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用した際に、各計測部位に生じる Z 軸方向の変位を纏めて示す図表である。

【図 12】図 10 の基本構造を採用した力覚センサの例を示す概略正面図である。

【図 13】図 12 の力覚センサに採用されている検出回路のブロック図である。

【図 14】図 12 の力覚センサに力  $+F_x$  及び  $-F_z$  が作用した際の、各容量素子の静電容量値の変動を示す図表である。

【図 15】図 12 の力覚センサの変形体に金属疲労が生じていないときの、受力部に作用する X 軸正方向の力  $+F_x$  と電気信号  $T_1$ 、 $T_2$  との関係を示すグラフである。

【図 16】図 12 の力覚センサの変形体に金属疲労が生じているときの、受力部に作用する X 軸正方向の力  $+F_x$  と電気信号  $T_1$ 、 $T_2$  との関係を示すグラフである。

20

【図 17】本発明の第 3 の実施の形態による力覚センサの基本構造を示す概略上面図である。

【図 18】図 17 の Y 軸正側から見た基本構造を示す概略正面図である。

【図 19】図 17 の X 軸正側から見た基本構造を示す概略側面図である。

【図 20】受力部に X 軸正方向の力  $+F_x$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

【図 21】受力部に Y 軸正方向の力  $+F_y$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

【図 22】受力部に Z 軸正方向の力  $+F_z$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

30

【図 23】受力部に X 軸正まわりのモーメント  $+M_x$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

【図 24】受力部に Y 軸正まわりのモーメント  $+M_y$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

【図 25】受力部に Z 軸正まわりのモーメント  $+M_z$  が作用したときに、図 17 の基本構造の各変位体に生じる変位を説明するための図である。

【図 26】受力部に X Y Z 三次元座標系の各軸方向の力及び各軸方向のモーメントが作用したときに図 17 の基本構造の各計測部位に生じる変位を一覧で示す図表である。

【図 27】図 17 に示す基本構造を採用した力覚センサの例を示す概略上面図である。

40

【図 28】Y 軸正側から見たときの、図 27 に示す力覚センサを示す概略正面図である。

【図 29】X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力及び各軸まわりのモーメントが作用したときの、図 27 に示す力覚センサの各容量素子の静電容量値の増減を一覧で示す図表である。

【図 30】図 27 に示す力覚センサについて、各軸方向の力及び各軸まわりのモーメントの他軸感度を一覧で示す図表である。

【図 31】本発明の第 4 の実施の形態による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 32】図 31 に示す力覚センサに力及びモーメントの 4 つの成分が作用したときの、各容量素子の静電容量値の変動を一覧で示す図表である。

【図 33】図 31 に示す力覚センサについて、各軸方向の力及び各軸まわりのモーメント

50

の他軸感度を一覧で示す図表である。

【図 3 4】図 3 1 の変形例による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 3 5】本発明の第 5 の実施の形態による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 3 6】図 3 5 に示す力覚センサに力及びモーメントの 4 つの成分  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_z$  が作用したときの、各容量素子の静電容量値の変動を一覧で示す図表である。

【図 3 7】第 5 の実施の形態の変形例による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 3 8】本発明の第 6 の実施の形態による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 3 9】XYZ 三次元座標系における各軸方向の力及び各軸まわりのモーメントが作用したときの、図 3 8 に示す力覚センサの各容量素子の静電容量値の増減を一覧で示す図表である。

10

【図 4 0】図 2 7 の変形例による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 4 1】図 2 7 の更なる変形例による力覚センサを示す概略上面図である。

【図 4 2】受力部に XYZ 三次元座標系における各軸方向の力及び各軸方向のモーメント  $F_x \sim M_z$  が作用したときに、図 4 1 の力覚センサの各傾動部に生じる傾動の向きと、各変位部に生じる変位とを、一覧で示す図表である。

【図 4 3】過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造を示す概略正面図である。

【図 4 4】受力部に過大な Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が作用したときの、図 4 3 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 4 5】他の例による過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造を示す概略正面図である。

20

【図 4 6】図 4 5 の概略平面図である。

【図 4 7】受力部に過大な X 軸正方向の力 +  $F_x$  が作用したときの、図 4 5 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 4 8】受力部に過大な X 軸負方向の力 -  $F_x$  が作用したときの、図 4 5 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 4 9】受力部に過大な Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が作用したときの、図 4 5 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 5 0】受力部に過大な Z 軸正方向の力 +  $F_z$  が作用したときの、図 4 5 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

30

【図 5 1】更に他の例による過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造を示す概略正面図である。

【図 5 2】図 5 1 の概略平面図である。

【図 5 3】受力部に過大な X 軸正方向の力 +  $F_x$  が作用したときの、図 5 1 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 5 4】受力部に過大な X 軸負方向の力 -  $F_x$  が作用したときの、図 5 1 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 5 5】受力部に過大な Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が作用したときの、図 5 1 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

【図 5 6】受力部に過大な Z 軸正方向の力 +  $F_z$  が作用したときの、図 5 1 に示す基本構造の変形状態を示す概略正面図である。

40

【図 5 7】図 4 3 の変形例による基本構造を示す概略正面図である。

【図 5 8】変位体が片持ち梁の構造を有する、図 7 の変形例による力覚センサの概略正面図である。

【図 5 9】変位体が片持ち梁の構造を有する、図 1 2 の変形例による力覚センサの概略正面図である。

【発明を実施するための形態】

【0045】

< < < § 1 . 本発明の第 1 の実施の形態による力覚センサ > > >

< 1 - 1 . 基本構造の構成 >

50

添付の図面を参照して、本発明の第 1 の実施の形態による力覚センサについて説明する。

【 0 0 4 6 】

図 1 は、本発明の一実施の形態による力覚センサの基本構造 1 0 0 を示す概略正面図であり、図 2 は、その概略上面図である。ここでは、図 1 及び図 2 に示すように X Y Z 三次元座標系を定義して以下の説明を行うこととする。

【 0 0 4 7 】

図 1 及び図 2 に示すように、基本構造 1 0 0 は、受力部 1 4 と固定部 1 5 とを有し、受力部 1 4 に作用した力により弾性変形を生じる変形体 1 0 と、変形体 1 0 に接続され、当該変形体 1 0 に生じる弾性変形により変位を生じる変位体 2 0 と、を備えている。受力部 1 4 は、検出対象となる力を受ける部位であり、固定部 1 5 は、受力部 1 4 に力が作用しても X Y Z 三次元座標系において変位しない部位である。

【 0 0 4 8 】

本実施の形態において、図 1 及び図 2 に示すように、変形体 1 0 は、Z 軸と平行な長手方向 1 を有し受力部 1 4 と固定部 1 5 との間に配置された傾動部 1 3 と、受力部 P と傾動部 1 3 とを接続する第 1 変形部 1 1 と、固定部 1 5 と傾動部 1 3 とを接続する第 2 変形部 1 2 と、を有している。図示されるように、第 1 変形部 1 1 は、傾動部 1 3 の一方の側（図 1 及び図 2 における左方）で長手方向 1 と交差する方向に延在している。一方、第 2 変形部 1 2 は、傾動部 1 3 の他方の側（図 1 及び図 2 における右方）で長手方向 1 と交差する方向に延在している。図示される例では、長手方向 1 と交差する方向とは、X 軸方向である。

【 0 0 4 9 】

更に、第 1 変形部 1 1 と傾動部 1 3 との接続部位 R 1 と、第 2 変形部 1 2 と傾動部 1 3 との接続部位 R 2 とは、傾動部 1 3 の長手方向 1 において位置が異なっている。具体的には、接続部位 R 1 は、傾動部 1 3 の Z 軸負側の端部（図 1 における下端部）の近傍に位置しており、接続部位 R 2 は、傾動部 1 3 の Z 軸正側の端部（図 1 における上端部）の近傍に位置している。

【 0 0 5 0 】

図 1 及び図 2 に示すように、受力部 1 4 及び固定部 1 5 は、共に Z 軸と平行に延在している。受力部 1 4、傾動部 1 3 及び固定部 1 5 の各上端部は、Z 座標が互いに同一である。また、受力部 1 4 及び傾動部 1 3 の各下端部も、Z 座標が互いに同一である。そして、受力部 1 4 の下端と傾動部 1 3 の下端とが、X 軸と平行に延在する第 1 変形部 1 1 によって接続され、傾動部 1 3 の上端と固定部 1 5 の上端とが、X 軸と平行に延在する第 2 変形部 1 2 によって接続されている。更に、固定部 1 5 は、その下端が、所定の間隔を空けて傾動部 1 3 に対向配置された支持体 5 0 に接続されている。

【 0 0 5 1 】

変位体 2 0 は、図 1 及び図 2 に示すように、傾動部 1 3 の下端に取り付けられた接続体 2 2 を介して当該傾動部 1 3 に接続された梁 2 1 を有している。この梁 2 1 は、傾動部 1 3 の長手方向 1 と直交する方向に延在しており、Y 軸方向から見て、左右対称の形状を有している。梁 2 1 は、変形体 1 0 の固定部 1 5 及び受力部 1 4 から離間しており、当該梁 2 1 の傾動（回動）が固定部 1 5 及び受力部 1 4 によって妨げられないようになっている。梁 2 1 には、当該梁 2 1 と接続体 2 2 との接続部位に関して対称的に、第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 が規定されている。後述されるように、これら第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 にそれぞれ容量素子が配置され、受力部 1 4 に作用した力が検出されることになる。

【 0 0 5 2 】

< 1 - 2 . 基本構造の作用 >

次に、以上のような基本構造 1 0 0 の作用について説明する。

【 0 0 5 3 】

図 3 は、受力部 1 4 に X 軸正方向の力 + F x が作用したときの基本構造 1 0 0 の変形状

態を示す概略正面図であり、図 4 は、受力部 1 4 に X 軸負方向の力  $-F_x$  が作用したときの基本構造 1 0 0 の変形状態を示す概略正面図であり、図 5 は、受力部 1 4 に Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用したときの基本構造 1 0 0 の変形状態を示す概略正面図であり、図 6 は、受力部 1 4 に Z 軸正方向の力  $+F_z$  が作用したときの基本構造 1 0 0 の変形状態を示す概略正面図である。

#### 【 0 0 5 4 】

( 1 - 2 - 1 . 力  $+F_x$  が作用した場合 )

受力部 1 4 に X 軸正方向の力  $+F_x$  が作用すると、傾動部 1 3 の下端近傍の接続部位 R 1 には X 軸正方向 ( 図 3 における右方向 ) に力が作用し、傾動部 1 3 の上端近傍の接続部位 R 2 には、作用した力  $+F_x$  の反作用として、X 軸負方向 ( 図 3 における左方向 ) に力が作用する。これらの力の作用によって、図 3 に示すように、傾動部 1 3 は、反時計回りに傾動する。更に、作用した力  $+F_x$  の作用によって、第 1 変形部 1 1 及び第 2 変形部 1 2 は共に圧縮変形されるため、傾動部 1 3 は、全体として、わずかに X 軸正方向に変位する。

10

#### 【 0 0 5 5 】

このような傾動部 1 3 の傾動によって、図 3 に示すように、傾動部 1 3 の下端に接続された梁 2 1 も反時計回りに傾動する。これにより、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 は、支持体 5 0 との間の離間距離が減少する方向 ( 図 3 における下方 ) に変位し、第 2 計測部位 D 2 は、支持体 5 0 との間の離間距離が増大する方向 ( 図 3 における上方 ) に変位する。

20

#### 【 0 0 5 6 】

( 1 - 2 - 2 . 力  $-F_x$  が作用した場合 )

次に、受力部 1 4 に X 軸負方向の力  $-F_x$  が作用すると、傾動部 1 3 の下端近傍の接続部位 R 1 には X 軸負方向 ( 図 4 における左方向 ) に力が作用し、傾動部 1 3 の上端近傍の接続部位 R 2 には、作用した力  $-F_x$  の反作用として、X 軸正方向 ( 図 4 における右方向 ) に力が作用する。これらの力の作用によって、図 4 に示すように、傾動部 1 3 は、時計回りに傾動する。更に、作用した力  $-F_x$  の作用によって、第 1 変形部 1 1 及び第 2 変形部 1 2 は共に引張変形されるため、傾動部 1 3 は、全体として、わずかに X 軸負方向に変位する。

#### 【 0 0 5 7 】

このような傾動部 1 3 の傾動によって、図 4 に示すように、傾動部 1 3 の下端に接続された梁 2 1 も、時計回りに傾動する。これにより、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 は、支持体 5 0 との間の離間距離が増大する方向 ( 図 4 における上方 ) に変位し、第 2 計測部位 D 2 は、支持体 5 0 との間の離間距離が減少する方向 ( 図 4 における下方 ) に変位する。

30

( 1 - 2 - 3 . 力  $-F_z$  が作用した場合 )

#### 【 0 0 5 8 】

次に、受力部 1 4 に Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用すると、傾動部 1 3 の左下端の接続部位 R 1 には Z 軸負方向 ( 図 5 における下方 ) に力が作用し、傾動部 1 3 の右上端の接続部位 R 2 には、作用した力  $-F_z$  の反作用として、Z 軸正方向 ( 図 5 における上方 ) に力が作用する。これらの力の作用によって、図 5 に示すように、傾動部 1 3 は、反時計回りに傾動する。更に、作用した力  $-F_z$  の作用によって、第 1 変形部 1 1 を介して傾動部 1 3 が Z 軸負方向へ引き下げられるため、当該傾動部 1 3 は、全体として、わずかに Z 軸負方向に変位する。

40

#### 【 0 0 5 9 】

傾動部 1 3 の傾動によって、図 5 に示すように、傾動部 1 3 の下端に接続された梁 2 1 も、反時計回りに傾動する。これにより、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 は、支持体 5 0 との間の離間距離が減少する方向 ( 図 5 における下方 ) に変位し、第 2 計測部位 D 2 は、支持体 5 0 との間の離間距離が増大する方向 ( 図 5 における上方 ) に変位する。

#### 【 0 0 6 0 】

なお、梁 2 1 の長さによっては、第 2 計測部位 D 2 の Z 軸正方向への変位が梁 2 1 全体の Z 軸負方向への変位よりも小さくなり、第 2 計測部位 D 2 も、支持体 5 0 との間の離間

50

距離が減少する、ということも想定される。しかしながら、ここでは、梁 2 1 は十分な長さを有しており、そのような状況は生じないものとする。

( 1 - 2 - 4 . 力 +  $F_z$  が作用した場合 )

【 0 0 6 1 】

次に、受力部 1 4 に Z 軸正方向の力 +  $F_z$  が作用すると、傾動部 1 3 の左下端の接続部位 R 1 には Z 軸正方向 ( 図 6 における上方向 ) に力が作用し、傾動部 1 3 の右上端の接続部位 R 2 には、作用した力 +  $F_z$  の反作用として、Z 軸負向 ( 図 6 における下方向 ) に力が作用する。これらの力の作用によって、図 6 に示すように、傾動部 1 3 は、時計回りに傾動する。もちろん、作用した力 +  $F_z$  の作用によって、第 1 変形部 1 1 を介して傾動部 1 3 が Z 軸正方向へ引き上げられるため、当該傾動部 1 3 は、全体として、わずかに Z 軸正方向に変位する。

10

【 0 0 6 2 】

このような傾動部 1 3 の傾動によって、図 6 に示すように、傾動部 1 3 の下端に接続された梁 2 1 も、時計回りに傾動する。これにより、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 は、支持体 5 0 との間の離間距離が増大する方向 ( 図 6 における上方 ) に変位し、第 2 計測部位 D 2 は、支持体 5 0 との間の離間距離が減少する方向 ( 図 6 おける下方 ) に変位する。

【 0 0 6 3 】

なお、梁 2 1 の長さによっては、第 2 計測部位 D 2 の Z 軸負方向への変位が梁 2 1 全体の Z 軸正方向への変位よりも小さくなり、第 2 計測部位 D 2 も、支持体 5 0 との間の離間距離が増大する、ということも想定される。しかしながら、ここでは、梁 2 1 は十分な長さを有しており、そのような状況は生じないものとする。

20

【 0 0 6 4 】

以上のいずれの場合においても、第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 に生じる変位は、傾動部 1 3 の下端に生じる変位よりも大きい。すなわち、梁 2 1 の存在によって、傾動部 1 3 の下端部に生じる変位が、梁 2 1 の各計測部位 D 1、D 2 において Z 軸方向の変位として増幅されて取り出されることになる。

【 0 0 6 5 】

< 1 - 3 . 力覚センサの構成 >

次に、1 - 1、1 - 2 において説明した基本構造 1 0 0 を有する力覚センサ 1 0 0 c の構成について説明する。

30

【 0 0 6 6 】

図 7 は、図 1 に示す基本構造 1 0 0 を採用した力覚センサ 1 0 0 c の例を示す概略正面図であり、図 8 は、本実施の形態の力覚センサ 1 0 0 c に採用されている検出回路 4 0 のブロック図である。

【 0 0 6 7 】

図 7 に示すように、力覚センサ 1 0 0 c は、上述した基本構造 1 0 0 と、基本構造 1 0 0 の梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 に生じる変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路 4 0 と、を有している。本実施の形態の検出回路 4 0 は、図 7 に示すように、第 1 計測部位 D 1 に配置された第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 と、第 2 計測部位 D 2 に配置された第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 と、容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 に接続され、当該容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動量に基づいて作用した力を計測し出力する機能を有している。図示されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 は、梁 2 1 と接続体 2 2 との接続部位に関して対称的に配置されており、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 は、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 と第 2 - 1 容量素子 C 2 1 との間に、当該接続部位に関して対称的に配置されている。

40

【 0 0 6 8 】

図 7 に示すように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 は、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 に絶縁体を介して配置された第 1 - 1 変位電極 E m 1 1 と、支持体 5 0 上に絶縁体を介して第 1 - 1 変位電極 E m 1 1 に対向して配置された第 1 - 1 固定電極 E f 1 1 と、を有している。第

50

1 - 2 容量素子 C 1 2 は、梁 2 1 の第 1 計測部位 D 1 に、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 に隣接して、絶縁体を介して配置された第 1 - 2 変位電極 E m 1 2 と、支持体 5 0 上に絶縁体を介して第 1 - 2 変位電極 E m 1 2 に対向して配置された第 1 - 2 固定電極 E f 1 2 と、を有している。なお、第 1 - 1 変位電極 E m 1 1 及び第 1 - 2 変位電極 E m 1 2 と、1 - 1 固定電極 E f 1 1 及び 1 - 2 固定電極 E f 1 2 と、の一方が共通の電極で構成されていても良い。

#### 【 0 0 6 9 】

更に、図 7 に示すように、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 は、梁 2 1 の第 2 計測部位 D 2 に絶縁体を介して配置された第 2 - 1 変位電極 E m 2 1 と、支持体 5 0 上に絶縁体を介して第 2 - 1 変位電極 E m 2 1 に対向して配置された第 2 - 1 固定電極 E f 2 1 と、を有している。第 2 - 2 容量素子 C 2 2 は、梁 2 1 の第 2 計測部位 D 2 に、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 に隣接して、絶縁体を介して配置された第 2 - 2 変位電極 E m 2 2 と、支持体 5 0 上に絶縁体を介して第 2 - 2 変位電極 E m 2 2 に対向して配置された第 2 - 2 固定電極 E f 2 2 と、を有している。なお、第 2 - 1 変位電極 E m 2 1 及び第 2 - 2 変位電極 E m 2 2 と、2 - 1 固定電極 E f 2 1 及び 2 - 2 固定電極 E f 2 2 と、の一方が共通の電極で構成されていても良い。

#### 【 0 0 7 0 】

また、図 8 に示すように、検出回路 4 0 は、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値に対応する電気信号、をそれぞれ対応する電圧値に変換する C / V 変換器 4 2 と、C / V 変換器 4 2 から提供される電圧値に基づいて力覚センサ 1 0 0 c に作用している力 F x、F z を算出するマイコン 4 4 と、を有している。マイコン 4 4 は、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の特性（面積、極板間距離、配置されている位置など）に基づいて、C / V 変換器 4 2 から提供される電圧値を補正する補正回路、C / V 変換器 4 2 から提供される電圧値に所定の差分演算を行い、力 F x、F z に対応する複数の電気信号（後述される F x 1 ~ F x 3、F z 1 ~ F z 3 に対応する電気信号）を生成する生成回路、これらの電気信号を互いに比較する比較回路、及び、比較回路による比較結果に基づいて力覚センサ 1 0 0 c が正常に機能しているか否かを診断する診断回路、を有している。

#### 【 0 0 7 1 】

容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 は、図 7 には明確には図示されていないが、所定の回路によって C / V 変換器 4 2 に接続されており、この C / V 変換器 4 2 に接続されたマイコン 4 4 によって、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動量に基づき作用した力が計測されるようになっている。

#### 【 0 0 7 2 】

< 1 - 4 . 力覚センサの作用 >

次に、1 - 3 . で説明した力覚センサ 1 0 0 c の作用について説明する。図 9 は、力覚センサ 1 0 0 c に力 F x 及び F z が作用した際の、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動を示す図表である。この図表において、「+」は、静電容量値が増大することを示しており、「++」は、静電容量値が大きく増大することを示している。また、「-」は、静電容量値が減少することを示しており、「--」は、静電容量値が大きく減少することを示している。

#### 【 0 0 7 3 】

( 1 - 4 - 1 . 力 F x が作用した場合 )

力覚センサ 1 0 0 c の受力部 1 4 に X 軸正方向の力 + F x が作用すると、1 - 2 . において図 3 を参照して説明した梁 2 1 の挙動から理解されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 においては、変位電極 E m 1 1、E m 1 2 と対応する固定電極 E f 1 1、E f 1 2 との離間距離がそれぞれ減少する。一方、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 においては、変位電極 E m 2 1、E m 2 2 と対応する固定電極 E f 2 1、E f 2 2 との離間距離がそれぞれ増大する。したがって、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値は増大し、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値は減少する。また、傾動部 1 3 と梁 2 1 との接続

部位から、すなわち梁 2 1 の傾動の中心から、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 までの距離を考慮すると、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量は、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量よりも大きい。以上の結果は、図 9 の F z の欄に纏めて示してある。

#### 【 0 0 7 4 】

また、本実施の形態では、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 と第 2 - 1 容量素子 C 2 1 とが梁 2 1 の傾動の中心から互いに等距離に配置され、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 と第 2 - 2 容量素子 C 2 2 とが梁 2 1 の傾動の中心から互いに等距離に配置されている。このため、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 の静電容量値の変動の大きさ (  $| \Delta C_{11} |$  ) と、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動の大きさ (  $| \Delta C_{21} |$  ) とが、互いに等しい。更に、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値の変動の大きさ (  $| \Delta C_{12} |$  ) と、第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動の大きさ (  $| \Delta C_{22} |$  ) とが、互いに等しい。このため、 $| \Delta C_{11} | = | \Delta C_{21} | = \Delta C_1$ 、 $| \Delta C_{12} | = | \Delta C_{22} | = \Delta C_2$  とすると、力 + F x が作用したときの第 1 - 1 ~ 第 2 - 2 容量素子 C 1 1 ~ C 1 1 ~ C 2 2 各静電容量値 C 1 1 a ~ C 2 2 a は、次の [ 式 1 ] で表される。[ 式 1 ] において、C 1 1 ~ C 2 2 は、力が作用していないときの各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値をそれぞれ示している。なお、このような表記方法は、後続する各式において同様である。

#### [ 式 1 ]

$$\begin{aligned} C_{11a} &= C_{11} + \Delta C_1 \\ C_{12a} &= C_{12} + \Delta C_2 \\ C_{21a} &= C_{21} - \Delta C_1 \\ C_{22a} &= C_{22} - \Delta C_2 \end{aligned}$$

#### 【 0 0 7 5 】

このような静電容量値の変動に基づいて、マイコン 4 4 は、作用した力 + F x を次の [ 式 2 ] に示す + F x 1 ~ + F x 3 のいずれかにより計測する。末尾の数字「 1 」~「 3 」は、+ F x の値がいずれの容量素子に基づいて計測されたかを区別するための符号である。もちろん、力覚センサ 1 0 0 c が正常に機能しているならば、+ F x 1 ~ + F x 3 は実質的に等しい値となる。また、[ 式 2 ] において、力と静電容量値とが「 = 」で結ばれているが、これらは互いに異なる物理量であるため、実際には所定の変換がなされた上で力 + F x が計測される。この表記法については、[ 式 2 ] に限らず、これ以降の各式において共通している。

#### [ 式 2 ]

$$\begin{aligned} +F x 1 &= C_{11} - C_{21} \\ +F x 2 &= C_{12} - C_{22} \\ +F x 3 &= +F x 1 + +F x 2 = (C_{11} + C_{12}) - (C_{21} + C_{22}) \end{aligned}$$

#### 【 0 0 7 6 】

なお、力覚センサ 1 0 0 c の受力部 1 4 に X 軸負方向の力 - F x が作用した場合は、1 - 2 . において図 4 を参照して説明した梁 2 1 の挙動から理解されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値は減少し、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値は増大する。このため、作用した力 - F x を計測するには [ 式 2 ] において符号を全て逆にすればよい。結局、X 軸方向の力 F x の向きが正であれ負であれ、[ 式 2 ] と同じ式で力 F x を計測することができる。

#### 【 0 0 7 7 】

力 F x を計測するに当たっては、S / N の観点から、傾動部 1 3 の長手方向 1 から遠位にあり静電容量値の変動量が相対的に大きい容量素子 C 1 1、C 2 1 に基づく F x 1 の式、または、全ての容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 に基づく F x 3 の式、を用いることが好ましい。

#### 【 0 0 7 8 】

( 1 - 4 - 2 . 力 F z が作用した場合 )

次に、力覚センサ 1 0 0 c の受力部 1 4 に Z 軸負方向の力 - F z が作用すると、1 - 2



において図 5 を参照して説明した梁 2 1 の挙動から理解されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 においては、変位電極 E m 1 1、E m 1 2 と対応する固定電極 E f 1 1、E f 1 2 との離間距離がそれぞれ減少し、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 においては、変位電極 E m 2 1、E m 2 2 と対応する固定電極 E f 2 1、E f 2 2 との離間距離がそれぞれ増大する。したがって、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値は増大し、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値は減少する。また、力 F x が作用した場合と同様に、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量は、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量よりも大きい。以上の結果は、図 9 の F z の欄に纏めて示してある。

10

#### 【 0 0 7 9 】

より詳細には、力 - F z が作用したときに第 1 計測部位 D 1 に生じる変位は、前述した傾動部 1 3 の全体的な Z 軸負方向への変位と、梁 2 1 の傾動による Z 軸負方向への変位と、の和であり、第 2 計測部位 D 2 に生じる変位は、傾動部 1 3 の当該変位と、梁 2 1 の傾動による Z 軸正方向への変位と、の和である。つまり、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動についてより正確に記述すれば、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 においては、梁 2 1 の傾動により第 1 計測部位 D 1 に生じる変位に傾動部 1 3 の全体的な Z 軸負方向への変位が加わるため、変位電極 E m 1 1、E m 1 2 と固定電極 E f 1 1、E f 1 2 との離間距離はそれぞれ大きく減少する。一方、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 においては、梁 2 1 の傾動により第 2 計測部位 D 2 に生じる変位が傾動部 1 3 の全体的な Z 軸負方向への変位によって相殺されるため、変位電極 E m 2 1、E m 2 2 と固定電極 E f 2 1、E f 2 2 との離間距離はそれぞれ僅かに増大する。

20

#### 【 0 0 8 0 】

但し、ここでは、簡単のため梁 2 1 の長さが十分に大きいものとしているため、傾動部 1 3 の全体的な Z 軸方向への変位を無視して考えることができる。このため、マイコン 4 は、作用した力 - F z を次の [ 式 3 ] により計測する。

#### [ 式 3 ]

$$- F z 1 = C 1 1 - C 2 1$$

$$- F z 2 = C 1 2 - C 2 2$$

$$- F z 3 = ( - F z 1 ) + ( - F z 2 ) = ( C 1 1 + C 1 2 ) - ( C 2 1 + C 2 2 )$$

30

#### 【 0 0 8 1 】

なお、力覚センサ 1 0 0 c の受力部 1 4 に Z 軸正方向の力 + F z が作用した場合は、1 - 2 . において図 6 を参照して説明した梁 2 1 の挙動から理解されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値は減少し、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値は増大する。このため、作用した力 + F z を計測するには [ 式 3 ] において符号を全て逆にすればよい。結局、Z 軸方向の力 F z の向きが正であれ負であれ、[ 式 3 ] と同じ式で力 F z を計測することができる。

#### 【 0 0 8 2 】

ここで、[ 式 2 ] と [ 式 3 ] とを比較すると、+ F x と - F z の右辺が同一であることが分かる。したがって、本実施の形態による力覚センサ 1 0 0 c は、作用した力が + F x であるのか - F z であるのかを識別することができない。すなわち、力覚センサ 1 0 0 c は、作用した力の方向を識別することができない。このため、力覚センサ 1 0 0 c は、作用する力が X 軸方向または Z 軸方向の一方向のみに限定されている環境において好適に利用され得る。

40

#### 【 0 0 8 3 】

力 F z を計測するに当たっては、S / N の観点から、傾動部 1 3 の長手方向 1 から遠位にあり静電容量値の変動量が相対的に大きい容量素子 C 1 1、C 2 1 に基づく F z 1 の式、または、全ての容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 に基づく F z 3 の式、を用いることが好ましい。

50

## 【 0 0 8 4 】

< 1 - 5 . 故障診断 >

本実施の形態の検出回路 4 0 は、力覚センサ 1 0 0 c が正常に機能しているか否かを判定する機能を有している。ここでは、この故障診断の機能について説明を行う。

## 【 0 0 8 5 】

本実施の形態の検出回路 4 0 のマイコン 4 4 は、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 の静電容量値の変動量と第 1 - 2 容量素子 C 1 2 の静電容量値の変動量との差に基づく第 1 電気信号 T 1 と、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量と第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量との差に基づく第 2 電気信号 T 2 と、第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 との和である合算電気信号 T 3 を出力するようになっている。すなわち、第 1 電気信号 T 1 は、上述した力  $F \times 1$  及び  $F \times 2$  を示す電気信号であり、第 2 電気信号 T 2 は、上述した  $F \times 2$  及び  $F \times 3$  を示す電気信号であり、合算電気信号は、上述した力  $F \times 3$  及び  $F \times 4$  を示す電気信号である。第 1 電気信号 T 1、第 2 電気信号 T 2 及び合算電気信号 T 3 を書き下すと、次の [ 式 4 ] の通りである。

[ 式 4 ]

$$T 1 = C 1 1 - C 2 1$$

$$T 2 = C 1 2 - C 2 2$$

$$T 3 = T 1 + T 2 = ( C 1 1 + C 1 2 ) - ( C 2 1 + C 2 2 )$$

## 【 0 0 8 6 】

ところで、図 9 に示すように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量は、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量よりも大きい。このため、例えばマイコン 4 4 の補正回路によって、第 2 電気信号 T 2 に所定の補正係数  $k$  を乗じることによって、第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 の出力レベルを揃えることができる。

## 【 0 0 8 7 】

そして、マイコン 4 4 に含まれる比較回路がこれら 2 つの電気信号 T 1、 $k \cdot T 2$  を比較する。この比較は、差各信号 T 1、 $k \cdot T 2$  の差（例： $T 1 - k \cdot T 2$ ）、あるいは、各信号 T 1、 $k \cdot T 2$  の比（例： $T 1 / (k \cdot T 2)$ ）に基づいて行われる。そして、2 つの電気信号 T 1、 $k \cdot T 2$  の比較の結果、T 1 と  $k \cdot T 2$  との差または比が所定の範囲に含まれていれば、マイコン 4 4 の診断回路は、力覚センサ 1 0 0 c が正常に機能していると判定する。一方、T 1 と  $k \cdot T 2$  との差または比が所定の範囲に含まれていなければ、マイコン 4 4 の診断回路は、力覚センサ 1 0 0 c が正常に機能していない（故障している）と判定し、その判定結果を故障診断信号として出力する。このような検出回路 4 0 を有していれば、容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 を構成する電極の破損、短絡、異物の混入などの異常を単一の力覚センサ 1 0 0 c によって検知することができる。

## 【 0 0 8 8 】

もちろん、各容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動量を A/D 変換し、マイコン 4 4 によって各静電容量値を比較することによって、力覚センサ 1 0 0 c の故障を診断しても良い。

## 【 0 0 8 9 】

以上のような本実施の形態によれば、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量に基づく第 1 電気信号 T 1 と、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量に基づく第 2 電気信号 T 2 と、を比較することにより、力覚センサ 1 0 0 c の故障を診断することができる。もちろん、これに代えて上述した合算電気信号 T 3 と、第 1 電気信号 T 1 及び第 2 電気信号 T 2 の一方と、を比較しても、力覚センサ 1 0 0 c の故障を診断することができる。更に、力覚センサ 1 0 0 c においては、傾動部 1 3 の傾動によって各計測部位 D 1、D 2 が変位することにより、傾動部 1 3 に生じる傾動を効果的に増幅させることができる。以上のことから、本実施の形態によれば、低価格且つ高感度でありながら、単一の力覚センサ 1 0 0 c によってそれ自身の故障診断が可能である、という力覚センサ 1 0 0 c を提供することができる。

## 【 0 0 9 0 】

また、本実施の形態によれば、[ 式 2 ] 及び [ 式 3 ] に示すように、検出回路 4 0 が静電容量値の差分によって作用した力  $F_x$ 、 $F_z$  を計測するため、使用環境の温度変化や同相ノイズの影響を受けにくい力覚センサ 1 0 0 c を提供することができる。

## 【 0 0 9 1 】

また、変位体 2 0 の第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 は、梁 2 1 に接続体 2 2 と梁 2 1 との接続部位に関して対称的に配置されている。このため、第 1 計測部位 D 1 に生じる変位と第 2 計測部位 D 2 に生じる変位とが、同じ大きさで互いに異符号となるため、作用した力が簡易な演算によって検出され得る。

## 【 0 0 9 2 】

また、検出回路 4 0 は、第 1 電気信号 T 1 または合算電気信号 T 3 に基づいて、作用した力を検出するため、S / N に優れた力の検出が可能である。

## 【 0 0 9 3 】

< 1 - 6 . 変形例 >

なお、以上の力覚センサ 1 0 0 c は、変位体 2 0 が両持ち梁の構造を有していたが、これに代えて片持ち梁の構造を有していても良い。そのような例が図 5 8 に示されている。図 5 8 は、変位体 2 0 が片持ち梁の構造を有する、図 7 の変形例による力覚センサ 1 0 5 c の概略正面図である。図 5 8 に示す例では、変位体 2 0 p が、上述した力覚センサ 1 0 0 c の梁 2 1 のうち、第 2 計測部位 D 2 が規定されている側の部分が欠落した片持ち梁の構造（符号 2 1 p）を有している。その他の構成は、図 7 に示す力覚センサ 1 0 0 c と同じであるため、図 5 8 において、力覚センサ 1 0 0 c と共通する構成に図 7 と同じ符号を付し、ここではその詳細な説明を省略する。

## 【 0 0 9 4 】

このような力覚センサ 1 0 5 c では、上述した [ 式 2 ] ~ [ 式 4 ] において  $C_{21} = C_{22} = 0$  とすることにより、力覚センサ 1 0 5 c に作用した力を検出でき、更には、力覚センサ 1 0 5 c の故障診断を行うことが可能である。但し、図 5 8 に示す力覚センサ 1 0 5 c は、作用した力  $F_x$ 、 $F_z$  を容量素子の静電容量値の差によって検出することができない。このため、力覚センサ 1 0 5 c は、使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

## 【 0 0 9 5 】

< < § 2 . 本発明の第 2 の実施の形態による力覚センサ > > >

< 2 - 1 . 基本構造の構成 >

図 1 0 は、本発明の第 2 の実施の形態による力覚センサ 2 0 0 c の基本構造 2 0 0 を示す概略正面図である。ここでも、図 1 と同様に X Y Z 三次元座標系を定義して以下の説明を行う。

## 【 0 0 9 6 】

図 1 0 に示すように、本実施の形態の基本構造 2 0 0 は、受力部 2 1 4 と固定部 2 1 5 とを有し、受力部 2 1 4 に作用した力により弾性変形を生じる変形体 2 1 0 を備えている。変形体 2 1 0 は、長手方向 1 a、1 b を有し、受力部 2 1 4 と固定部 2 1 5 との間に受力部 2 1 4 から固定部 2 1 5 に向かって順次配置された第 1 傾動部 2 1 3 a 及び第 2 傾動部 2 1 3 b と、第 1 傾動部 2 1 3 a と前記第 2 傾動部 2 1 3 b との間に配置された力伝達部 2 1 6 と、を有している。そして、受力部 2 1 4 と第 1 傾動部 2 1 3 a とは、第 1 - 1 変形部 2 1 1 a によって接続されており、力伝達部 2 1 6 と第 1 傾動部 2 1 3 a は、第 1 - 2 変形部 2 1 2 a によって接続されている。更に、力伝達部 2 1 6 と第 2 傾動部 2 1 3 b とは、第 2 - 1 変形部 2 1 1 b によって接続されており、固定部 2 1 5 と第 2 傾動部 2 1 3 b とは、第 2 - 2 変形部 2 1 2 b によって接続されている。

## 【 0 0 9 7 】

各変形部 2 1 1 a ~ 2 1 2 b は、それぞれ、各傾動部 2 1 3 a、2 1 3 b の長手方向 1 a、1 b と交差する方向に延在し、第 1 - 1 変形部 2 1 1 a と第 1 傾動部 2 1 3 a との接続部位 R 1 a と、第 1 - 2 変形部 2 1 2 a と第 1 傾動部 2 1 3 a との接続部位 R 2 a とは

10

20

30

40

50

、第1傾動部213aの長手方向1aにおいて位置が異なっている。更に、第2-1変形部211bと第2傾動部213bとの接続部位R1bと、第2-2変形部212bと第2傾動部213bの接続部位R2bとは、当該第2傾動部213bの長手方向1bにおいて位置が異なっている。

【0098】

また、変形体210は、第1-1変形部211a及び第1-2変形部212aのパネ定数と、第2-1変形部211b及び第2-2変形部212bのパネ定数とが、異なっている。本実施の形態では、図10に示すように、第1-1変形部211a及び第1-2変形部212aが、第2-1変形部211b及び第2-2変形部212bよりも薄く形成されている。これにより、第1-1変形部211a及び第1-2変形部212aのパネ定数が、第2-1変形部211b及び第2-2変形部212bのパネ定数よりも小さくなっている。

10

【0099】

図10に示すように、変位体220a、220bは、固定部215から離間し第1傾動部213aの傾動により変位する第1変位部と、固定部215から離間し第2傾動部213bの傾動により変位する第2変位部と、を有している。本実施の形態では、第1変位部は、第1傾動部213aの長手方向1aと交差する方向に延在する第1梁221aとして構成され、第2変位部は、第2傾動部213bの長手方向1bと交差する方向に延在する第2梁221bとして構成されている。そして、図10に示すように、第1梁221aには第1-1計測部位D11及び第1-2計測部位D12が規定され、第2梁221bには、第2-1計測部位D21及び第2-2計測部位D22が規定されている。

20

【0100】

具体的には、第1変位体220aは、変形体210の第1傾動部213aと第1梁221aとを接続する第1接続体222aを有し、第2変位体220bは、変形体210の第2傾動部213bと第2梁221bとを接続する第2接続体222bを有している。そして、第1梁221aの第1-1計測部位D11及び第1-2計測部位D12は、第1接続体222aと第1梁221aとの接続部位に関して対称的に配置されている。更に、第2梁221bの第2-1計測部位D21及び第2-2計測部位D22は、第2接続体222bと第2梁221bとの接続部位に関して対称的に配置されている。後述されるように、これらの計測部位D11～D22に変位センサが配置され、この変位センサを用いて受力部214に作用した力が検出されることになる。

30

【0101】

別言すると、本実施の形態の基本構造200は、図1に示す基本構造100を2つ用意し、一方の基本構造100の固定部15と他方の基本構造100の受力部14とが重なるようにして直列に配置した構造を有している。

【0102】

< 2-2. 基本構造の作用 >

次に、図10に示す基本構造200の作用について説明する。

【0103】

受力部214にX軸方向の力 $F_x$ が作用すると、この力 $F_x$ は、第1-1変形部211a、第1傾動部213a及び第1-2変形部212aを介して力伝達部216に伝達される。すなわち、力伝達部216にも、X軸方向の力 $F_x$ が作用する。また、受力部214にZ軸方向の力 $F_z$ が作用すると、この力 $F_z$ は、同様にして力伝達部216に伝達される。すなわち、力伝達部216にも、Z軸方向の力 $F_z$ が作用する。

40

【0104】

このため、受力部214にX軸正方向の力 $+F_x$ が作用した際に第1-1計測部位D11及び第2-1計測部位D12に生じるZ軸方向の変位は、第1の実施の形態の受力部14にX軸正方向の力 $+F_x$ が作用した際に第1計測部位D1及び第2計測部位D2に生じるZ軸方向の変位と、それぞれ同じ方向である。このことは、第2-1計測部位D21及び第2-2計測部位D22に生じるZ軸方向の変位についても成立する。但し、前述した

50

ように第 1 - 1 変形部 2 1 1 a 及び第 1 - 2 変形部 2 1 2 a のバネ定数が第 2 - 1 変形部 2 1 1 b 及び第 2 - 2 変形部 2 1 2 b のバネ定数よりも小さいため、第 1 - 1 計測部位 D 1 1 及び第 2 - 1 計測部位 D 1 2 に生じる Z 軸方向の変位は、第 2 - 1 計測部位 D 2 1 及び第 2 - 2 計測部位 D 2 2 に生じる Z 軸方向の変位より大きい。

#### 【 0 1 0 5 】

更に、受力部 2 1 4 に Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が作用した際に第 1 - 1 計測部位 D 1 1 及び第 2 - 1 計測部位 D 1 2 に生じる Z 軸方向の変位は、第 1 の実施の形態の受力部 1 4 に Z 軸負方向の力 -  $F_x$  が作用した際に第 1 計測部位 D 1 及び第 2 計測部位 D 2 に生じる Z 軸方向の変位と、それぞれ同じ方向である。このことは、第 2 - 1 計測部位 D 2 1 及び第 2 - 2 計測部位 D 2 2 に生じる Z 軸方向の変位についても成立する。なお、図 1 0 から理解されるように、受力部 2 1 4 に Z 軸方向の力  $F_z$  が作用した際に、第 1 傾動部 2 1 3 a は、第 1 - 2 変形部 2 1 2 a、第 2 - 1 変形部 2 1 1 b 及び第 2 - 2 変形部 2 1 2 b にそれぞれ生じる撓み変形によって Z 軸方向に変位する。一方、第 1 の実施の形態では、受力部 1 4 に Z 軸方向の力  $F_z$  が作用した際に、傾動部 1 3 は、第 2 変形部 1 2 に生じる撓み変形によってのみ、Z 軸方向に変位する。したがって、本実施の形態による基本構造 2 0 0 では、受力部 2 1 4 に Z 軸方向の力  $F_z$  が作用した際に、第 1 傾動部 2 1 3 a の Z 軸方向への変位が第 1 - 1 計測部位 D 1 1 及び第 2 - 1 計測部位 D 1 2 の Z 軸方向への変位に与える影響は、第 1 の実施の形態より大きい。但し、ここでも、簡単のため各梁 2 2 1 a、2 2 1 b が十分に長く、各傾動部 1 3 a、2 1 3 b の全体的な Z 軸方向への変位を無視して考えることとする。

#### 【 0 1 0 6 】

以上の考察の結果は、図 1 1 に纏めて示されている。図 1 1 は、X 軸正方向の力 +  $F_x$  及び Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が受力部 2 1 4 に作用したときに、各計測部位 D 1 1 ~ D 2 2 に生じる Z 軸方向の変位を纏めて示す図表である。図 1 1 において、「+」は、Z 軸正方向に変位することを示しており、「++」は、Z 軸方向に大きく変位することを示している。また、「-」は、Z 軸負方向に変位することを示しており、「--」は、Z 軸負方向に大きく変位することを示している。なお、作用する力の向きが逆になった場合には、それぞれの正負が逆になる。

#### 【 0 1 0 7 】

< 2 - 3 . 力覚センサの構成 >

次に、1 - 2、1 - 3 において説明した基本構造 2 0 0 を有する力覚センサ 2 0 0 c の構成について説明する。図 1 2 は、図 1 0 の基本構造 2 0 0 を採用した力覚センサ 2 0 0 c の例を示す概略正面図であり、図 1 3 は図 1 2 の力覚センサ 2 0 0 c に採用されている検出回路 2 4 0 のブロック図である。

#### 【 0 1 0 8 】

図 1 2 に示すように、力覚センサ 2 0 0 c は、上述した基本構造 2 0 0 と、基本構造 2 0 0 の各梁 2 2 1 a、2 2 1 b に規定された 4 つの計測部位 D 1 1 ~ D 2 2 に生じるそれぞれの変位に基づいて、作用した力を検出する検出回路 2 4 0 と、を有している。本実施の形態の検出回路 2 4 0 は、図 1 2 に示すように、変位センサとして、第 1 - 1 計測部位 D 1 1 に配置された第 1 - 1 容量素子 C 1 1、第 1 - 2 計測部位 D 1 2 に配置された第 1 - 2 容量素子 C 1 2、第 2 - 1 計測部位 D 2 1 に配置された第 2 - 1 容量素子 C 2 1、及び、第 2 - 2 計測部位 D 2 2 に配置された第 2 - 2 容量素子 C 2 2 を有している。

#### 【 0 1 0 9 】

更に、検出回路 2 4 0 は、後述されるように、容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 に接続され、当該容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の静電容量値の変動量に基づいて、作用した力を計測し出力する機能を有している。図示されるように、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 1 - 2 容量素子 C 1 2 は、第 1 梁 2 2 1 a と第 1 接続体 2 2 2 a との接続部位に関して対称的に配置されており、第 2 - 1 容量素子 C 2 1 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 は、第 2 梁 2 2 1 b と第 2 接続体 2 2 2 b との接続部位に関して対称的に配置されている。

#### 【 0 1 1 0 】

図 1 2 に示すように、第 1 - 1 容量素子  $C_{11}$  は、第 1 梁 2 2 1 a の第 1 - 1 計測部位  $D_{11}$  に絶縁体を介して配置された第 1 - 1 変位電極  $E_{m11}$  と、支持体 2 5 0 上に絶縁体を介して第 1 - 1 変位電極  $E_{m11}$  に対向して配置された第 1 - 1 固定電極  $E_{f11}$  と、を有している。第 1 - 2 容量素子  $C_{12}$  は、第 1 梁 2 2 1 a の第 1 - 2 計測部位  $D_{12}$  に絶縁体を介して配置された第 1 - 2 変位電極  $E_{m12}$  と、支持体 2 5 0 上に絶縁体を介して第 1 - 2 変位電極  $E_{m12}$  に対向して配置された第 1 - 2 固定電極  $E_{f12}$  と、を有している。なお、第 1 - 1 変位電極  $E_{m11}$  及び第 1 - 2 変位電極  $E_{m12}$  と、第 1 - 1 固定電極  $E_{f11}$  及び第 1 - 2 固定電極  $E_{f12}$  と、の一方が共通の電極で構成されていても良い。

#### 【 0 1 1 1 】

10

更に、図 1 2 に示すように、第 2 - 1 容量素子  $C_{21}$  は、第 2 梁 2 2 1 b の第 2 - 1 計測部位  $D_{21}$  に絶縁体を介して配置された第 2 - 1 変位電極  $E_{m21}$  と、支持体 2 5 0 上に絶縁体を介して第 2 - 1 変位電極  $E_{m21}$  に対向して配置された第 2 - 1 固定電極  $E_{f21}$  と、を有している。第 2 - 2 容量素子  $C_{22}$  は、第 2 梁 2 2 1 b の第 2 - 2 計測部位  $D_{22}$  に絶縁体を介して配置された第 2 - 2 変位電極  $E_{m22}$  と、支持体 2 5 0 上に絶縁体を介して第 2 - 2 変位電極  $E_{m22}$  に対向して配置された第 2 - 2 固定電極  $E_{f22}$  と、を有している。なお、第 2 - 1 変位電極  $E_{m21}$  及び第 2 - 2 変位電極  $E_{m22}$  と、第 2 - 1 固定電極  $E_{f21}$  及び第 2 - 2 固定電極  $E_{f22}$  と、の一方が共通の電極で構成されていても良い。

#### 【 0 1 1 2 】

20

また、図 1 3 に示すように、検出回路 2 4 0 は、第 1 の実施の形態の検出回路 4 0 と同様に、 $C/V$  変換器 4 2 及びマイコン 4 4 を有している。但し、本実施の形態のマイコン 4 4 は、力の検出が正常に行われているときの第 1 - 1 容量素子  $C_{11}$  及び第 1 - 2 容量素子  $C_{12}$  の静電容量値の差である第 1 電気信号  $T_1 (= C_{11} - C_{12})$  と、第 2 - 1 容量素子  $C_{21}$  及び第 2 - 2 容量素子  $C_{22}$  の静電容量値の差である第 2 電気信号  $T_2 (= C_{21} - C_{22})$  と、の比率を基準比率  $R_s$  として記憶する記憶回路を有している点で、第 1 の実施の形態と異なる。

#### 【 0 1 1 3 】

容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  は、図 1 2 には明確には図示されていないが、所定の回路によって  $C/V$  変換器 4 2 に接続されており、この  $C/V$  変換器 4 2 に接続されたマイコン 4 4 によって、各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  の静電容量値の変動量に基づき作用した力が計測されるようになっている。

30

#### 【 0 1 1 4 】

< 2 - 4 . 力覚センサの作用 >

次に、図 1 4 は、図 1 2 の力覚センサ 2 0 0 c に力  $+F_x$  及び  $-F_z$  が作用した際の、各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  の静電容量値の変動を示す図表である。図 1 4 に示された各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  の静電容量値の変動は、図 1 1 の図表から明らかである。なお、図 1 4 において、「+」は、静電容量値が増大することを示しており、「++」は、静電容量値が大きく増大することを示している。また、「-」は、静電容量値が減少することを示しており、「--」は、静電容量値が大きく減少することを示している。

40

#### 【 0 1 1 5 】

力覚センサ 2 0 0 の受力部 2 1 4 に力  $+F_x$ 、 $-F_z$  が作用した際の各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  の静電容量値の変動の符号（増大か減少か）について見ると、第 1 の実施の形態による力覚センサ 1 0 0 c の受力部 1 4 に力  $+F_x$ 、 $-F_z$  が作用した際の各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  の符号と同じである（図 9 参照）。もちろん、逆向きの力  $-F_x$ 、 $+F_z$  が作用した場合についても、同様のことが成り立つ。このため、力覚センサ 2 0 0 c に作用した力  $+F_x$ 、 $-F_z$  は、上述した [ 式 2 ] 及び [ 式 3 ] によって、それぞれ算出される。

#### 【 0 1 1 6 】

なお、力  $F_x$ 、 $F_z$  を計測するに当たっては、 $S/N$  の観点から、静電容量値が相対的

50

に大きく変動する容量素子  $C_{11}$ 、 $C_{21}$  に基づく第 1 電気信号  $T_1$  ([式 4 参照])、または、全ての容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  に基づく合算電気信号  $T_3$  ([式 4 参照])、を用いることが好ましい。

#### 【0117】

##### < 2 - 5 . 故障診断 >

本実施の形態の検出回路 240 は、力覚センサ 200c が正常に機能しているか否かを判定する機能を有している。ここでは、この故障診断の機能について説明を行う。

#### 【0118】

力覚センサ 200c の受力部 214 に力  $F_x$ 、 $F_z$  が繰り返し作用すると、変形体 210 に金属疲労が生じる。金属疲労は、力  $F_x$ 、 $F_z$  による弾性変形が相対的に大きい第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a で顕著に発現する。この金属疲労が蓄積されると、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 211b の強度が低下し、最終的に変形体 210 が破断することになる。金属材料に金属疲労が蓄積すると、当該金属材料が軟化する。このため、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a のバネ定数が小さくなる。すなわち、本実施の形態の変形体 210 では、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a に金属疲労が蓄積すると、当該変形部 211a、212a 力  $F_x$ 、 $F_z$  によって大きく変形されるようになる。このため、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a の影響を受ける第 1 - 1 容量素子  $C_{11}$  及び第 1 - 2 容量素子  $C_{12}$  によって与えられる第 1 電気信号  $T_1$  の感度が上昇する。

#### 【0119】

もちろん、金属疲労は、第 2 - 1 変形部 211b 及び第 2 - 2 変形部 212b にも発現する。しかしながら、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a のバネ定数と、第 2 - 1 変形部 211b 及び第 2 - 2 変形部 212b のバネ定数と、の相違から、第 2 - 1 変形部 211b 及び第 2 - 2 変形部 212b に生じる金属疲労は、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a より小さいと考えられる。

#### 【0120】

ここで、図 15 は、図 12 の力覚センサ 200c の変形体 210 に金属疲労が生じていないときの、受力部 214 に作用する X 軸正方向の力  $+F_x$  と電気信号  $T_1$ 、 $T_2$  との関係を示すグラフである。図 15 において、符号  $T_{1a}$  は、第 1 電気信号  $T_1$  のグラフを示し、符号  $T_{2a}$  は、第 2 電気信号  $T_2$  のグラフを示している。したがって、各図において、電気信号  $T_{1a}$ 、 $T_{2a}$  を示す直線の傾きは、力覚センサ 200c の検出感度を示すことになる。各グラフの傾き(感度)の相違は、第 1 - 1 変形部 211a 及び第 1 - 2 変形部 212a のバネ定数と、第 2 - 1 変形部 211b 及び第 2 - 2 変形部 212b のバネ定数と、の相違に起因している。

#### 【0121】

図 15 に示すように、力覚センサ 200c の変形体 210 に金属疲労が生じていないとき、第 1 電気信号  $T_1$  及び第 2 電気信号  $T_2$  は、力  $+F_x$  に比例する。第 1 電気信号  $T_1$  を示すグラフの傾き  $m_{1a}$  は 2 であり、第 2 電気信号  $T_2$  を示すグラフの傾き  $m_{2a}$  は 0.5 である。すなわち、傾きの比 ( $m_{1a} / m_{2a}$ ) は、4 である。この値が、基準比率  $R_s (= T_{1a} / T_{2a})$  である。

#### 【0122】

次に、図 16 は、図 12 の力覚センサ 200c の変形体 210 に金属疲労が生じているときの、受力部 214 に作用する X 軸正方向の力  $+F_x$  と電気信号  $T_1$ 、 $T_2$  との関係を示すグラフである。図 16 において、符号  $T_{1b}$  は、第 1 電気信号  $T_1$  のグラフを示し、符号  $T_{2b}$  は、第 2 電気信号  $T_2$  のグラフを示している。

#### 【0123】

図 16 に示すように、力覚センサ 200c の変形体 210 に金属疲労が生じると、第 1 電気信号  $T_1$  を示すグラフの傾き  $m_{1b}$  は 3 に増大し(感度が 50% 増大し)、第 2 電気信号  $T_2$  を示すグラフの傾き  $m_{2b}$  は 0.6 に増大した(感度が 20% 増大した)。したがって、確かに、第 2 - 1 変形部 211b 及び第 2 - 2 変形部 212b に生じる金属疲労

は、第 1 - 1 変形部 2 1 1 a 及び第 1 - 2 変形部 2 1 2 a よりも小さい。図 1 6 において、各グラフの傾きの比 ( $m1b / m2b$ ) は、5 である。

【 0 1 2 4 】

ここで着目すべきは、第 1 - 1 変形部 2 1 1 a 及び第 1 - 2 変形部 2 1 2 a と第 2 - 1 変形部 2 1 1 b 及び第 2 - 2 変形部 2 1 2 b とで、金属疲労の発現の程度が異なっているということである。すなわち、金属疲労が発現する前には、第 1 電気信号 T 1 a と第 2 電気信号 T 2 a との比 ( $T1a / T2a =$  基準比率  $R_s$ ) は、4 であるのに対し、金属疲労が発現した後では、第 1 電気信号 T 1 b と第 2 電気信号 T 2 b との比率 ( $T1b / T2b$ ) は、5 に上昇しているということである。本実施の形態では、このことを利用して力覚センサ 2 0 0 c の故障診断を行う。

10

【 0 1 2 5 】

換言すれば、第 1 - 1 変形部 2 1 1 a 及び第 1 - 2 変形部 2 1 2 a と第 2 - 1 変形部 2 1 1 b 及び第 2 - 2 変形部 2 1 2 b とで金属疲労の蓄積及び発現の特性が異なるため、繰り返しの負荷に伴って第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 との比率が次第に変化する。そして、力覚センサ 2 0 0 c に繰り返しの負荷が更に作用すると、変形体 2 1 0 は最終的に第 1 - 1 変形部 2 1 1 a 及び第 1 - 2 変形部 2 1 2 a のいずれかにおいて破断し、適正な力の検出を行うことができなくなる。

【 0 1 2 6 】

以上のことから、力  $F_x$ 、 $F_z$  を、相対的にバネ定数が大きい変形部 2 1 1 b、2 1 2 b に関連付けられた第 2 電気信号 T 2 を用いて計測しつつ、その計測時における第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 との比率と、金属疲労が発現していない初期状態における第 1 電気信号 T 1 a と第 2 電気信号 T 2 a との比率と、の差が所定の範囲内にあるか否かを評価することによって、力覚センサ 2 0 0 c が正常に機能しているか否かを判定することができる。もちろん、力  $F_x$ 、 $F_z$  を、第 1 電気信号 T 1 に基づいて計測しても良い。この場合、第 1 電気信号 T 1 を提供する容量素子 C 1 1、C 1 2 はバネ定数が相対的に小さい変形部 2 1 1 a、2 1 2 a に関連付けられているため、作用する力  $F_x$ 、 $F_z$  に対する感度が高く、S / N に優れた力の計測が可能となる。あるいは、第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 との和で、作用する力  $F_x$ 、 $F_z$  を計測しても良い。

20

【 0 1 2 7 】

故障診断を行う手順は、次の通りである。すなわち、マイコン 4 4 の比較回路が、記憶回路に記憶された初期状態の第 1 電気信号 T 1 a と第 2 電気信号 T 2 a 比率 ( $T1a / T2a$ ) と、現在の第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 との比率と、を比較する。この比較結果は、マイコン 4 4 の診断回路に提供される。この診断回路は、提供された比較結果が所定の範囲内にあるか否かを判定する。診断の結果、初期状態の比率 ( $T1a / T2a$ ) と現在の比率 ( $T1 / T2$ ) との差が所定の範囲内であれば、マイコン 4 7 は、力覚センサ 2 0 0 c が正常に機能していると判定し、計測された力  $F_x$ 、 $F_z$  の値を出力する。一方、当該差が所定の範囲内に無ければ、マイコン 4 7 は、力覚センサ 2 0 0 c が正常に機能していない (故障している) と判定し、故障診断信号を出力する。

30

【 0 1 2 8 】

以上のような本実施の形態によれば、第 1 - 1 容量素子 C 1 1 及び第 2 - 1 容量素子 C 2 1 の静電容量値の変動量に基づく第 1 電気信号 T 1 と、第 1 - 2 容量素子 C 1 2 及び第 2 - 2 容量素子 C 2 2 の静電容量値の変動量に基づく第 2 電気信号 T 2 と、の比率の変化に基づいて、力覚センサ 2 0 0 c の故障診断が行われる。この故障診断では、容量素子 C 1 1 ~ C 2 2 の電極に生じた異常のみならず、変形体 2 1 0 に生じた金属疲労に起因する力覚センサ 2 0 0 c の故障をも診断することができる。さらに、力覚センサ 2 0 0 c においては、傾動部 2 1 3 a、2 1 3 b の傾動によって各計測部位 D 1 1 ~ D 2 2 が変位するため、傾動部 2 1 3 a、2 1 3 b に生じる傾動を効果的に増幅させることができる。すなわち、本実施の形態によれば、低価格且つ高感度でありながら、単一の力覚センサ 2 0 0 c によってそれ自身の故障診断が可能である、という力覚センサ 2 0 0 c を提供することができる。

40

50



## 【0129】

また、本実施の形態においても、検出回路240は、静電容量値の差分によって作用した力 $F_x$ 、 $F_z$ を計測するため、使用環境の温度変化や同相ノイズの影響を受けにくい力覚センサ200cが提供され得る。

## 【0130】

また、変位体20の第1-1計測部位D11及び第1-2計測部位D12は第1梁221aに第1接続体222aと第1梁221aとの接続部位に関して対称的に配置され、第2-1計測部位D21及び第2-2計測部位D22は第2梁221bに第2接続体222bと第2梁221bとの接続部位に関して対称的に配置されている。このような対称的な配置により、作用した力が簡易な演算によって検出され得る。

10

## 【0131】

< 2-6. 変形例 >

なお、以上の力覚センサ200cは、変位体220が両持ち梁の構造を有していたが、これに代えて片持ち梁の構造を有していても良い。そのような例が図59に示されている。図59は、変位体220が片持ち梁の構造を有する、図12の変形例による力覚センサ201cの概略正面図である。図59に示す例では、第1変位体220paが、上述した力覚センサ200cの第1梁221aのうち、第1-2計測部位D12が規定されている側の部分が欠落した片持ち梁の構造(符号221pa)を有している。更に、第2変位体220pbが、力覚センサ200cの第2梁221bのうち、第2-2計測部位D22が規定されている側の部分が欠落した片持ち梁の構造(符号221pb)を有している。この他の構成は、図12に示す力覚センサ200cと同じであるため、図59において、力覚センサ200cと共通する構成に図12と同じ符号を付し、その詳細な説明を省略する。

20

## 【0132】

このような力覚センサ201cでは、上述した[式2]~[式4]において $C_{21} = C_{22} = 0$ とすれば、2-4.及び2-5.の説明に基づいて、力覚センサ201cに作用した力を検出でき、更には、力覚センサ201cの故障診断を行うことが可能である。但し、図59に示す力覚センサ201cは、作用した力 $F_x$ 、 $F_z$ を容量素子の静電容量値の差によって検出することができない。このため、力覚センサ201cは、使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

30

## 【0133】

<<< §3. 本発明の第3の実施の形態による力覚センサ >>>

次に、本発明の第3の実施の形態による力覚センサ300cについて説明する。

## 【0134】

< 3-1. 基本構造の構成 >

図17は、本発明の第3の実施の形態による力覚センサ300cの基本構造300を示す概略上面図である。図18は、図17のY軸正側から見た基本構造300を示す概略正面図であり、図19は、図17のX軸正側から見た基本構造300を示す概略側面図である。ここでは、図17乃至図19に示すようにXYZ三次元座標系を定義して以下の説明を行うこととする。なお、図17では、説明の便宜上、受力体360の図示が省略されている。

40

## 【0135】

図17乃至図19に示すように、基本構造300は、閉ループ状の変形体であって、2つの受力部318、319と、閉ループ状の経路に沿って当該2つの受力部318、319と交互に配置された2つの固定部316、317と、閉ループ状の経路に沿って隣接する受力部318、319及び固定部316、317によって挟まれた4つの間隙に1つずつ配置され、受力部318、319に作用した力ないしモーメントにより弾性変形を生じる4つの変形要素310A~310Dと、を有する変形体と、を備えている。基本構造300は、更に、各変形要素310A~310Dに接続され、当該変形要素310A~310Dに生じる弾性変形により変位を生じる4つの変位体320A~320Dを備えている

50

。

## 【 0 1 3 6 】

本実施の形態では、図 1 7 に示すように、一方の受力部 3 1 8 は正の X 軸上に、他方の受力部 3 1 9 は負の X 軸上に、互いに原点 O に関して対称的に配置されている。また、一方の固定部 3 1 6 は正の Y 軸上に、他方の固定部 3 1 7 は負の Y 軸上に、互いに原点 O に関して対称的に配置されている。これら受力部 3 1 8、3 1 9 及び固定部 3 1 6、3 1 7 を含む閉ループ状の変形体は、本実施の形態では、原点 O を中心とする円形の環状変形体 3 1 0 として構成されている。

## 【 0 1 3 7 】

図 1 7 乃至図 1 9 に示すように、Z 軸方向から見て X Y 平面の第 2 象限に配置された第 1 変形要素 3 1 0 A は、X 軸負側に配置された受力部 3 1 9 と Y 軸正側に配置された固定部 3 1 6 との間に弧状に配置されており、Z 軸方向（図 1 7 における奥行き方向）を長手方向とする第 1 傾動部 3 1 3 A と、受力部 3 1 9 と第 1 傾動部 3 1 3 A とを接続する第 1 - 1 変形部 3 1 1 A と、固定部 3 1 6 と第 1 傾動部 3 1 3 A とを接続する第 1 - 2 変形部 3 1 2 A と、を有している。図 1 8 に示すように、第 1 - 1 変形部 3 1 1 A は、X Y 平面と平行に延在し、第 1 傾動部 3 1 3 A の Z 軸負側の端部（下端）にて、当該第 1 傾動部 3 1 3 A に接続されている。第 1 - 2 変形部 3 1 2 A は、X Y 平面と平行に延在し、第 1 傾動部 3 1 3 A の Z 軸正側の端部（上端）にて、当該第 1 傾動部 3 1 3 A に接続されている。

。

## 【 0 1 3 8 】

Z 軸方向から見て X Y 平面の第 1 象限に配置された第 2 変形要素 3 1 0 B は、X 軸正側に配置された受力部 3 1 8 と Y 軸正側に配置された固定部 3 1 6 との間に弧状に配置され、Z 軸方向（図 1 7 における奥行き方向）を長手方向とする第 2 傾動部 3 1 3 B と、受力部 3 1 8 と第 2 傾動部 3 1 3 B とを接続する第 2 - 1 変形部 3 1 1 B と、固定部 3 1 6 と第 2 傾動部 3 1 3 B とを接続する第 2 - 2 変形部 3 1 2 B と、を有している。図 1 8 に示すように、第 2 - 1 変形部 3 1 1 B は、X Y 平面と平行に延在し、第 2 傾動部 3 1 3 B の Z 軸負側の端部（下端）にて、当該第 2 傾動部 3 1 3 B に接続されている。第 2 - 2 変形部 3 1 2 B は、X Y 平面と平行に延在し、第 2 傾動部 3 1 3 B の Z 軸正側の端部（上端）にて、当該第 2 傾動部 3 1 3 B に接続されている。

## 【 0 1 3 9 】

更に、詳細には図示されていないが、X Y 平面の第 3 象限及び第 4 象限に配置された第 4 変形要素 3 1 0 D 及び第 3 変形要素 3 1 0 C は、環状変形体 3 1 0 の Y 軸正側（図 1 7 の環状変形体 3 1 0 の上半分）の部分の原点まわりに 1 8 0 ° 回転させたときの、上述した第 2 変形要素 3 1 0 B 及び第 1 変形要素 3 1 0 A の構成に、それぞれ対応している。このため、ここでは、その詳細な説明を省略する。図 1 7 乃至図 1 9 において、第 3 変形要素 3 1 0 C の構成要素には符号の末尾に「C」が付され、第 4 変形要素 3 1 0 D の構成要素には符号の末尾に「D」が付されている。更に、基本構造 3 0 0 の各固定部 3 1 6、3 1 7 は、その下端部が、後述される第 1 ~ 第 4 梁 3 2 1 A ~ 3 2 1 D に所定の間隔を空けて対向配置された支持体 3 5 0 に接続されている。

## 【 0 1 4 0 】

図 1 7 乃至図 1 9 に示すように、前述した 4 つの変位体 3 2 0 A ~ 3 2 0 D は、第 1 ~ 第 4 変形要素 3 1 0 A ~ 3 1 0 D の各傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D の下端（Z 軸負側の端部）に 1 つずつ接続されている。各変位体 3 2 0 A ~ 3 2 0 D は、それぞれ、対応する傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D の傾動によって変位する変位部を有している。この変位部は、図 1 7 乃至図 1 9 に示すように、各傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D の下端に接続体 3 2 2 A ~ 3 2 2 D を介してそれぞれ取り付けられた第 1 ~ 第 4 梁 3 2 1 A ~ 3 2 1 D である。

## 【 0 1 4 1 】

これらの梁 3 2 1 A ~ 3 2 2 D は、対応する傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D の長手方向（Z 軸方向）と直交する方向に延在しており、環状変形体 3 1 0 の径方向から見て、いずれも、左右対称の形状を有している。いずれの梁 3 2 1 A ~ 3 2 2 D も、固定部 3 1 6、3 1

10

20

30

40

50

7及び受力部318、319から離間しており、当該梁321A～322Dの傾動（回動）が妨げられないようになっている。そして、第1梁321Aには、当該第1梁321Aと第1接続体322Aとの接続部位に関して対称的に、第1計測部位D1及び第2計測部位D2が規定されている。同様に、第2梁321Bには、当該第2梁321Bと第2接続体322Bとの接続部位に関して対称的に、第3計測部位D3及び第4計測部位D4が規定されており、第3梁321Cには、当該第3梁321Cと第3接続体322Cとの接続部位に関して対称的に、第5計測部位D5及び第6計測部位D6が規定されており、第4梁321Dには、当該第4梁321Dと第4接続体322Dとの接続部位に関して対称的に、第7計測部位D7及び第8計測部位D8が規定されている。後述されるように、これら第1～第8計測部位D1～D8のそれぞれに容量素子が2つずつ配置され、受力部318、319に作用した力及びモーメントが検出されることになる。結局、基本構造300は、第1～第4変形要素310A～310Dとして、§1で説明した基本構造100を4つ、円環状に配置して構成されている。

10

#### 【0142】

更に、図18及び図19に示すように、環状変形体310のZ軸正側には、検出対象の力を受けるための受力体360が配置されている。受力体360は、Z軸方向から見て、環状変形体310と重なる円環の形状を有する受力体本体361と、受力体本体361のうち、環状変形体310の受力部318、319に面する部位に設けられた受力部接続体362、363と、を有している。これらの受力部接続体362、363が、対応する受力部318、319に接続され、受力体本体361に作用した力及びモーメントが、各受力部318、319に伝達されるようになっている。

20

#### 【0143】

< 3-2. 基本構造の作用 >

次に、以上のような基本構造300の作用について説明する。

#### 【0144】

（3-2-1. 力+Fxが作用した場合）

図20は、受力部318、319にX軸正方向の力+Fxが作用したときに、図17の基本構造300の各変位体320A～320Dに生じる変位を説明するための図である。図20において、受力部318、319に作用する力は、黒塗りの太い矢印で示されている。また、力が作用したときに、各変形要素310A～310Dの傾動部313A～313Dに生じる傾動は、弧状の細い矢印で示されている。この矢印は、原点Oから観測したときの、各傾動部313A～313Dの傾動の向き（時計回りか、反時計回りか）を表している。更に、各傾動部313A～313Dの傾動によって変位体320A～320Dの梁321A～321Dの各計測部位D1～D8に生じるZ軸方向の変位は、ドットを丸で囲んだ記号と、×印を丸で囲んだ記号と、によって示されている。ドットを丸で囲んだ記号は、奥側から手前側への変位（Z軸正方向への変位）を示しており、×印を丸で囲んだ記号は、手前側から奥側への変位（Z軸負方向への変位）を示している。なお、このような図示の方法は、後述される各実施の形態においても共通である。なお、受力部318、319に作用する力は、その向きによっては、ドットを丸で囲んだ記号と、×印を丸で囲んだ記号と、によって示してある。これらの記号の意味は、前述した通りである。

30

40

#### 【0145】

受力体360を介して受力部318、319にX軸正方向の力+Fxが作用すると、図20に示すように、受力部318、319がX軸正方向へ変位する。このことにより、第1変形要素310Aは、図3に示すような圧縮力の作用を受ける。この場合、第1傾動部313Aが反時計回りに傾動するため、第1梁321Aも反時計回りに傾動する。この結果、第1計測部位D1はZ軸負方向に変位し、第2計測部位D2はZ軸正方向に変位する。

#### 【0146】

第2変形要素310Bは、受力部318のX軸正方向への変位によって、図4に示すような引張力の作用を受ける。この場合、第2傾動部313Bが反時計回りに傾動するため

50

、第2梁321Bも反時計回りに傾動する。この結果、第3計測部位D3はZ軸負方向に変位し、第4計測部位D4はZ軸正方向に変位する。

【0147】

第3変形要素310Cは、受力部318のX軸正方向への変位によって、図4に示すような引張力の作用を受ける。この場合、第3傾動部313Cが時計回りに傾動するため、第3梁321Cも時計回りに傾動する。この結果、第5計測部位D5はZ軸正方向に変位し、第6計測部位D6はZ軸負方向に変位する。

【0148】

更に、第4変形要素310Dは、受力部319のX軸正方向への変位によって、図3に示すような圧縮力の作用を受ける。この場合、第4傾動部313Dが時計回りに傾動する

10

【0149】

(3-2-2. 力 +  $F_y$  が作用した場合)

次に、図21は、受力部318、319にY軸正方向の力 +  $F_y$  が作用したときに、図17の基本構造300の各変位体320A~320Dに生じる変位を説明するための図である。

【0150】

受力体360を介して受力部318、319にY軸正方向の力 +  $F_y$  が作用すると、図21に示すように、受力部318、319がY軸正方向へ変位する。このことにより、第1変形要素310Aは、図3に示すような圧縮力の作用を受ける。この場合、前述したように、第1傾動部313A及び第1梁321Aが反時計回りに傾動するため、第1計測部位D1はZ軸負方向に変位し、第2計測部位D2はZ軸正方向に変位する。

20

【0151】

第2変形要素310Bは、受力部318のY軸正方向への変位によって、図3に示すような圧縮力の作用を受ける。この場合、第2傾動部313B及び第2梁321Bが時計回りに傾動するため、第3計測部位D3はZ軸正方向に変位し、第4計測部位D4はZ軸負方向に変位する。

【0152】

第3変形要素310Cは、受力部318のY軸正方向への変位によって、図4に示すような引張力の作用を受ける。この場合、第3傾動部313C及び第3梁321Cが時計回りに傾動するため、第5計測部位D5はZ軸正方向に変位し、第6計測部位D6はZ軸負方向に変位する。

30

【0153】

第4変形要素310Dは、受力部319のY軸正方向への変位によって、図4に示すような引張力の作用を受ける。この場合、第4傾動部313D及び第4梁321Dが反時計回りに傾動するため、第7計測部位D7はZ軸負方向に変位し、第8計測部位D8はZ軸正方向に変位する。

【0154】

(3-2-3. 力 +  $F_z$  が作用した場合)

次に、図22は、受力部318、319にZ軸正方向の力 +  $F_z$  が作用したときに、図17の基本構造300の各変位体320A~320Dに生じる変位を説明するための図である。

40

【0155】

受力体360を介して受力部318、319にZ軸正方向の力 +  $F_z$  が作用すると、図22に示すように、受力部318、319がZ軸正方向へ変位する。このことにより、第1~第4変形要素310A~310Dは、いずれも、図6に示すような上向きの力の作用を受ける。この場合、第1傾動部313A及び第3傾動部313Cが時計回りに傾動するため、第1梁321A及び第3梁321Cも時計回りに傾動する。この結果、第1計測部位D1及び第5計測部位D5はZ軸正方向に変位し、第2計測部位D2及び第6計測部位

50

D 6 は Z 軸負方向に変位する。

【 0 1 5 6 】

一方、第 2 傾動部 3 1 3 B 及び第 4 傾動部 3 1 3 D は、反時計回りに傾動するため、第 2 梁 3 2 1 B 及び第 4 梁 3 2 1 D も反時計回りに傾動する。この結果、第 3 計測部位 D 3 及び第 7 計測部位 D 7 は Z 軸負方向に変位し、第 4 計測部位 D 4 及び第 8 計測部位 D 8 は Z 軸正方向に変位する。

【 0 1 5 7 】

( 3 - 2 - 4 . モーメント +  $M_x$  が作用した場合 )

次に、図 2 3 は、受力部 3 1 8、3 1 9 に X 軸正まわりのモーメント +  $M_x$  が作用したときに、図 1 7 の基本構造 3 0 0 の各変位体 3 2 0 A ~ 3 2 0 D に生じる変位を説明するための図である。なお、本願では、所定の座標軸の正方向に右ネジを進める場合の当該右ネジの回転方向を、当該座標軸まわりの正のモーメントと定義することにする。

10

【 0 1 5 8 】

受力体 3 6 0 を介して受力部 3 1 8、3 1 9 に X 軸正まわりのモーメント +  $M_x$  が作用すると、各受力部 3 1 8、3 1 9 のうち、Y 軸正側 ( 図 2 3 における上側 ) の部位が Z 軸正方向 ( 手前側 ) に変位し、Y 軸負側 ( 図 2 3 における下側 ) の部位が Z 軸負方向 ( 奥側 ) に変位する。すなわち、第 1 変形要素 3 1 0 A 及び第 2 変形要素 3 1 0 B には、図 2 2 と同じ方向に力が作用する。したがって、3 - 2 - 3 . で説明したように、第 1 計測部位 D 1 は Z 軸正方向に変位し、第 2 計測部位 D 2 は Z 軸負方向に変位し、第 3 計測部位 D 3 は Z 軸負方向に変位し、第 4 計測部位 D 4 は Z 軸正方向に変位する。

20

【 0 1 5 9 】

一方、第 3 変形要素 3 1 0 C は、受力部 3 1 9 から、図 5 に示すような下向きの力の作用を受ける。この場合、第 3 傾動部 3 1 3 C が反時計回りに傾動するため、第 3 梁 3 2 1 C も反時計回りに傾動する。この結果、第 5 計測部位 D 5 は Z 軸負方向に変位し、第 6 計測部位 D 6 は Z 軸正方向に変位する。

【 0 1 6 0 】

第 4 変形要素 3 1 0 D は、受力部 3 1 8 から、図 5 に示すような下向きの力の作用を受ける。この場合、第 4 傾動部 3 1 3 D が時計回りに傾動するため、第 4 梁 3 2 1 D も時計回りに傾動する。この結果、第 7 計測部位 D 7 は Z 軸正方向に変位し、第 8 計測部位 D 8 は Z 軸正方向に変位する。

30

【 0 1 6 1 】

( 3 - 2 - 5 . モーメント +  $M_y$  が作用した場合 )

次に、図 2 4 は、受力部 3 1 8、3 1 9 に Y 軸正まわりのモーメント +  $M_y$  が作用したときに、図 1 7 の基本構造 3 0 0 の各変位体 3 2 0 A ~ 3 2 0 D に生じる変位を説明するための図である。

【 0 1 6 2 】

受力体 3 6 0 を介して受力部 3 1 8、3 1 9 に Y 軸正まわりのモーメント +  $M_y$  が作用すると、X 軸負側に位置する受力部 3 1 9 は、Z 軸正方向 ( 図 2 4 における奥から手前に向かう方向 ) に変位し、X 軸正側に位置する受力部 3 1 8 は、Z 軸負方向 ( 図 2 4 における手前から奥に向かう方向 ) に変位する。すなわち、第 1 変形要素 3 1 0 A 及び第 4 変形要素 3 1 0 D には、図 2 2 と同じ方向に力が作用する。したがって、3 - 2 - 3 . で説明したように、第 1 計測部位 D 1 は Z 軸正方向に変位し、第 2 計測部位 D 2 は Z 軸負方向に変位し、第 7 計測部位 D 7 は Z 軸負方向に変位し、第 8 計測部位 D 8 は Z 軸正方向に変位する。

40

【 0 1 6 3 】

一方、図 2 4 に示すように、第 2 変形要素 3 1 0 B 及び第 3 変形要素 3 1 0 C は、Z 軸負方向の力の作用を受ける ( 図 5 参照 ) 。このような力の作用により、第 2 変形要素 3 1 0 B では、第 2 傾動部 3 1 3 B が時計回りに傾動するため、第 2 梁 3 2 1 B も時計回りに傾動する。この結果、第 3 計測部位 D 3 は Z 軸正方向に変位し、第 4 計測部位 D 4 は Z 軸負方向に変位する。第 3 変形要素 3 1 0 C では、図 2 3 と同様に、第 3 傾動部 3 1 3 C が

50

反時計回りに傾動することにより、第5計測部位D5はZ軸負方向に変位し、第6計測部位D6はZ軸正方向に変位する。

#### 【0164】

(3-2-6. モーメント+ $M_z$ が作用した場合)

次に、図25は、受力部318、319にZ軸正まわりのモーメント+ $M_z$ が作用したときに、図17の基本構造300の各変位体320A~320Dに生じる変位を説明するための図である。

#### 【0165】

受力体360を介して受力部318、319にZ軸正まわりのモーメント+ $M_z$ が作用すると、X軸負側に位置する受力部319がY軸負方向へ変位し、X軸正側に位置する受力部318がY軸正方向へ変位する。X軸正側に位置する受力部318の変位は、力+ $F_y$ が作用した場合と同じ向きであるため(図21参照)、X軸正側に配置された第2変形要素310B及び第3変形要素310Cには、図21と同じ弾性変形が生じる。すなわち、第3計測部位D3はZ軸正方向に変位し、第4計測部位D4はZ軸負方向に変位し、第5計測部位D5はZ軸正方向に変位し、第6計測部位D6はZ軸負方向に変位する。

#### 【0166】

一方、第1変形要素310Aは、受力部319のY軸負方向への変位によって、図4に示すような引張力の作用を受ける。この場合、第1傾動部313A及び第1梁321Aが時計回りに傾動するため、第1計測部位D1はZ軸正方向に変位し、第2計測部位D2はZ軸負方向に変位する。

#### 【0167】

また、第4変形要素310Dは、受力部319のY軸負方向への変位によって、図3に示すような圧縮力の作用を受ける。この場合、第4傾動部313D及び第4梁321Dが時計回りに傾動するため、第7計測部位D7はZ軸正方向に変位し、第8計測部位D8はZ軸負方向に変位する。

#### 【0168】

以上のまとめとして、図26には、受力部318、319にXYZ三次元座標系の各軸方向の力+ $F_x$ 、+ $F_y$ 、+ $F_z$ 及び各軸まわりのモーメント+ $M_x$ 、+ $M_y$ 、+ $M_z$ が作用したときに図17の基本構造300の各傾動部313A~313Dに生じる傾動の向きと、各変位体320A~320Bの各計測部位D1~D8に生じる変位とが、一覧で示されている。図26において、各傾動部313A~313Dの欄に記された回動の向き(時計回り/反時計回り)は、原点Oから観測したときの向きである。また、各計測部位D1~D8の欄に記された「+」の記号は、対応する変位部と支持体350との離間距離が増大することを意味し、「-」の記号は、対応する変位部と支持体350との離間距離が減少することを意味している。

#### 【0169】

なお、受力体360に作用する力及びモーメントが負方向及び負まわりである場合には、上述した各場合において、傾動部313A~313Dの傾動の向きが全て逆になる。この結果、各変位体320A~320Dの計測部位D1~D8に生じる変位の向きも逆になり、図26に一覧で示した傾動の向き、及び、各計測部位D1~D8と支持体350との離間距離の増減(+/-)が、全て逆になる。

#### 【0170】

< 3-3. 力覚センサの構成 >

次に、3-1、3-2において説明した基本構造300を有する力覚センサ300cの構成について説明する。

#### 【0171】

図27は、図17に示す基本構造300を採用した力覚センサ300cの一例を示す概略上面図であり、図28は、Y軸正側から見た、図27に示す力覚センサ300cを示す概略正面図である。

#### 【0172】

10

20

30

40

50

図 27 及び図 28 に示すように、力覚センサ 300c は、上述した基本構造 300 と、基本構造 300 の変位体 320A ~ 320D の各計測部位 D1 ~ D8 に生じる変位に基づいて、作用した力及びモーメントを検出する検出回路 340 と、を有している。本実施の形態の検出回路 340 は、図 27 及び図 28 に示すように、各変位体 320A ~ 320D の各計測部位 D1 ~ D8 に 2 つずつ配置された、合計 16 個の容量素子 C11 ~ C82 と、これらの容量素子 C11 ~ C82 に接続され、当該容量素子 C11 ~ C82 の静電容量値の変動量に基づいて、作用した力を計測するマイコン 344 と、を有している。

#### 【0173】

容量素子 C11 ~ C82 の具体的な配置は次の通りである。すなわち、図 27 及び図 28 に示すように、第 1 - 1 容量素子 C11 及び第 2 - 1 容量素子 C21 は、第 1 梁 321A と第 1 接続体 322A との接続部位に関して対称的に配置されており、第 1 - 2 容量素子 C12 及び第 2 - 2 容量素子 C22 は、第 1 - 1 容量素子 C11 と第 2 - 1 容量素子 C21 との間に、当該接続部位に関して対称的に配置されている。この他の容量素子も同様に配置されている。すなわち、第 3 - 1 容量素子 C31 及び第 4 - 1 容量素子 C41 は、第 2 梁 321B と第 2 接続体 322B との接続部位に関して対称的に配置されており、第 3 - 2 容量素子 C32 及び第 4 - 2 容量素子 C42 は、第 3 - 1 容量素子 C31 と第 4 - 1 容量素子 C41 との間に、当該接続部位に関して対称的に配置されている。第 5 - 1 容量素子 C51 及び第 6 - 1 容量素子 C61 は、第 3 梁 321C と第 3 接続体 322C との接続部位に関して対称的に配置されており、第 5 - 2 容量素子 C52 及び第 6 - 2 容量素子 C62 は、第 5 - 1 容量素子 C51 と第 6 - 1 容量素子 C61 との間に、当該接続部位に関して対称的に配置されている。更に、第 7 - 1 容量素子 C71 及び第 8 - 1 容量素子 C81 は、第 4 梁 321D と第 4 接続体 322D との接続部位に関して対称的に配置されており、第 7 - 2 容量素子 C72 及び第 8 - 2 容量素子 C82 は、第 7 - 1 容量素子 C71 と第 8 - 1 容量素子 C81 との間に、当該接続部位に関して対称的に配置されている。

#### 【0174】

後述されるように、各梁 321A ~ 321D の外側に配置された 8 つの容量素子 Cn1 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) が、第 1 変位センサとして作用した力及びモーメントを示す第 1 電気信号 T1 を出力するために用いられ、各梁 321A ~ 321D の内側に配置された 8 つの容量素子 Cn2 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) が、第 2 変位センサとして作用した力及びモーメントを示す第 2 電気信号 T2 を計測するために用いられる。

#### 【0175】

各容量素子 C11 ~ C82 の具体的な構成は、図 7 に示す力覚センサ 100c の各容量素子 C11 ~ C22 と同様である。すなわち、第 n 計測部位 Dn ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) に配置されている第 n - 1 容量素子 Cn1 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) は、第 n 計測部位 Dn に絶縁体 (不図示) を介して配置された第 n - 1 変位電極 Emn1 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) と、支持体 350 上に絶縁体 (不図示) を介し第 n - 1 変位電極 Emn1 と対向配置された第 n - 1 固定電極 Efn1 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) と、を有している。また、第 n - 2 容量素子 Cn2 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) は、第 n 計測部位 Dn ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) に第 n - 1 変位電極 Emn1 に隣接して絶縁体 (不図示) を介して配置された第 n - 2 変位電極 Emn2 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) と、支持体 250 上に絶縁体 (不図示) を介し第 n - 2 変位電極 Emn2 と対向配置された第 n - 2 固定電極 Efn2 ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) と、を有している。

#### 【0176】

これらの容量素子 C11 ~ C82 は、図 27 及び図 28 には明確には図示されていないが、所定の回路によってマイコン 344 に接続されており、各容量素子 C11 ~ C82 の静電容量値が当該マイコン 344 に提供されるようになっている。

#### 【0177】

< 2 - 4 . 力覚センサの作用 >

次に、図 29 を参照して、2 - 3 . で説明した力覚センサ 200c の作用について説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 7 8 】

図 2 9 は、受力度部 3 1 8 , 3 1 9 に X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  が作用したときの、図 2 7 に示す力覚センサの各容量素子  $C_{11} \sim C_{82}$  の静電容量値の増減を一覧で示す図表である。この図表において、「+」は、静電容量値が増大することを示しており、「++」は、静電容量値が大きく増大することを示している。また、「-」は、静電容量値が減少することを示しており、「--」は、静電容量値が大きく減少することを示している。

## 【 0 1 7 9 】

図 2 9 に示されている各容量素子  $C_{11} \sim C_{82}$  の静電容量値の符号（正か負か）については、図 2 6 に示す基本構造 3 0 0 の各計測部位  $D_1 \sim D_8$  に生じる変位から明らかである。また、各容量素子  $C_{11} \sim C_{82}$  の静電容量値の変動の大きさは、傾動部 3 1 3 A  $\sim$  3 1 3 D と梁 3 2 1 A  $\sim$  3 2 1 D との接続部位から、すなわち各梁 3 2 1 A  $\sim$  3 2 1 D の傾動の中心から、各容量素子  $C_{11} \sim C_{22}$  までの距離を考慮することにより理解される。すなわち、各梁 3 2 1 A  $\sim$  3 2 1 D の傾動の中心から相対的に遠位に配置された 8 つの容量素子  $C_{n1}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 1 変位センサ) では、静電容量値の変動が相対的に大きく、相対的に当該傾動の中心の近位に配置された 8 つの容量素子  $C_{n2}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 2 変位センサ) では、静電容量値の変動が相対的に小さい。

## 【 0 1 8 0 】

以上から、上記 1 - 4 . と同様に考えることにより、受力度部 3 1 8 , 3 1 9 に作用した各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  は、次の [ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] のいずれかにより計測される。各式の左辺の末尾の数字「1」及び「2」は、力及びモーメントが、容量素子  $C_{n1}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 1 変位センサ) から計測されたのか、あるいは容量素子  $C_{n2}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 2 変位センサ) から計測されたのか、を区別するための符号である。

## [ 式 6 ]

$$\begin{aligned} +F_{x1} &= C_{11} - C_{21} + C_{31} - C_{41} - C_{51} + C_{61} - C_{71} + C_{81} \\ +F_{y1} &= C_{11} - C_{21} - C_{31} + C_{41} - C_{51} + C_{61} + C_{71} - C_{81} \\ +F_{z1} &= -C_{11} + C_{21} + C_{31} - C_{41} - C_{51} + C_{61} + C_{71} - C_{81} \\ +M_{x1} &= -C_{11} + C_{21} + C_{31} - C_{41} + C_{51} - C_{61} - C_{71} + C_{81} \\ +M_{y1} &= -C_{11} + C_{21} - C_{31} + C_{41} + C_{51} - C_{61} + C_{71} - C_{81} \\ +M_{z1} &= -C_{11} + C_{21} - C_{31} + C_{41} - C_{51} + C_{61} - C_{71} + C_{81} \end{aligned}$$

## [ 式 7 ]

$$\begin{aligned} +F_{x2} &= C_{12} - C_{22} + C_{32} - C_{42} - C_{52} + C_{62} - C_{72} + C_{82} \\ +F_{y2} &= C_{12} - C_{22} - C_{32} + C_{42} - C_{52} + C_{62} + C_{72} - C_{82} \\ +F_{z2} &= -C_{12} + C_{22} + C_{32} - C_{42} - C_{52} + C_{62} + C_{72} - C_{82} \\ +M_{x2} &= -C_{12} + C_{22} + C_{32} - C_{42} + C_{52} - C_{62} - C_{72} + C_{82} \\ +M_{y2} &= -C_{12} + C_{22} - C_{32} + C_{42} + C_{52} - C_{62} + C_{72} - C_{82} \\ +M_{z2} &= -C_{12} + C_{22} - C_{32} + C_{42} - C_{52} + C_{62} - C_{72} + C_{82} \end{aligned}$$

## 【 0 1 8 1 】

もちろん、次の [ 式 8 ] に示す [ 式 6 ] と [ 式 7 ] との和によって、各力  $F_x \sim F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を計測しても良い。[ 式 6 ] と [ 式 7 ] との和による式の末尾には「3」を付して、[ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] と区別している。ここでは、検出回路 3 4 0 からの、[ 式 6 ] に対応する電気信号を第 1 電気信号  $T_1$  と呼び、[ 式 7 ] に対応する電気信号を第 2 電気信号  $T_2$  と呼び、[ 式 8 ] に対応する電気信号を合算電気信号  $T_3$  と呼ぶことにする。

## [ 式 8 ]

$$\begin{aligned} +F_{x3} &= F_{x1} + F_{x2} \\ +F_{y3} &= F_{y1} + F_{y2} \\ +F_{z3} &= F_{z1} + F_{z2} \\ +M_{x3} &= M_{x1} + M_{x2} \end{aligned}$$



$$+ M y 3 = M y 1 + M y 2$$

$$+ M z 3 = M z 1 + M z 2$$

#### 【 0 1 8 2 】

なお、力覚センサ 3 0 0 c の受力体 3 6 0 に負方向の力  $-F_x$ 、 $-F_y$ 、 $-F_z$  または負まわりのモーメント  $-M_x$ 、 $-M_y$ 、 $-M_z$  が作用した場合は、前述したように、各容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 の電極間の離間距離の増減が図 2 9 とは逆になる。このため、力  $-F_x$ 、 $-F_y$ 、 $-F_z$  またはモーメント  $-M_x$ 、 $-M_y$ 、 $-M_z$  を検出するには、[ 式 6 ] ~ [ 式 8 ] の右辺及び左辺の符号を全て逆にすればよい。結局、負の力及び負のモーメントが作用しても、[ 式 6 ] ~ [ 式 8 ] によって力及びモーメントが計測されることになる。

10

#### 【 0 1 8 3 】

力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を計測するに当たっては、S / N の観点から、各梁 3 2 1 A ~ 3 2 1 D の傾動の中心から遠位にあり静電容量値の変動量が相対的に大きい容量素子 C 1 n (  $n = 1, 2, \dots, 8$  ) ( 第 1 変位センサ ) に基づく第 1 電気信号 T 1 ( [ 式 6 ] に対応 )、または、全ての容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 に基づく合算電気信号 T 3 ( [ 式 8 ] に対応 )、を用いることが好ましい。

#### 【 0 1 8 4 】

< 3 - 5 . 力覚センサの他軸感度 >

次に、図 3 0 を参照して、本実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c の他軸感度について説明する。図 3 0 は、図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 c における、各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の他軸感度  $V F_x \sim V M_z$  を一覧で示す図表である。

20

#### 【 0 1 8 5 】

図 3 0 の図表中に配された数字は、図 2 9 に示す図表の各力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各モーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  について、「+」の記号が付された容量素子を + 1 とし、「-」の記号が付された容量素子を - 1 とし、上述した [ 式 6 ] または [ 式 7 ] の右辺に代入して得られた値である。すなわち、列  $F_x$  と行  $V F_x$  とが交わるマス目に記された「8」という数字は、[ 式 6 ] の  $F_x$  の式において、図 2 9 の  $F_x$  の行に基づき、 $C 1 1 = C 3 1 = C 6 1 = C 8 1 = + 1$  とし、 $C 2 1 = C 4 1 = C 5 1 = C 7 1 = - 1$  とし得られた値である。また、列  $F_x$  と行  $V F_y$  とが交わるマス目に記された「0」という数字は、[ 式 6 ] の  $F_x$  を示す式において、図 2 9 の  $F_y$  の行に基づき、 $C 1 1 = C 4 1 = C 6 1 = C 7 1 = + 1$  とし、 $C 2 1 = C 3 1 = C 5 1 = C 8 2 = - 1$  とし得られた値である。その他のマス目の数字についても同様である。

30

#### 【 0 1 8 6 】

図 3 0 によれば、 $F_x$  と  $M_y$  の他軸感度、及び、 $F_y$  と  $M_x$  の他軸感度が 1 0 0 % となっている。すなわち、力覚センサ 2 0 0 c は、 $F_x$  と  $M_y$  とを区別することができず、 $F_y$  と  $M_x$  とを区別することもできない。このことは、[ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] の  $+ F_x$  の式と  $+ M_y$  の式とが互いに異符号の関係にあり、 $+ F_y$  の式と  $+ M_x$  の式とが互いに異符号の関係にあることから、理解できる。このため、力覚センサ 3 0 0 c は、各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の全てを検出することはできない。しかしながら、 $F_x$  及び  $F_y$  が作用しない用途、あるいは、 $M_x$  及び  $M_y$  が作用しない用途に限定して用いることにより、力覚センサ 3 0 0 c を有用に活用することができる。

40

#### 【 0 1 8 7 】

< 3 - 6 . 故障診断 >

本実施の形態の検出回路 3 4 0 も、力覚センサ 3 0 0 c が正常に機能しているか否かを判定する機能を有している。

#### 【 0 1 8 8 】

前述したように、本実施の形態の検出回路 3 4 0 のマイコン 3 4 4 は、[ 式 6 ] の右辺に基づく第 1 電気信号 T 1 と、[ 式 7 ] の右辺に基づく第 2 電気信号 T 2 と、を出力する

50

。例えば、力  $F_x$  に着目して第 1 電気信号  $T_1$  及び第 2 電気信号  $T_2$  を書き下すと、次の [ 式 9 ] の通りである。

[ 式 9 ]

$$T_1 = C_{11} - C_{21} + C_{31} - C_{41} - C_{51} + C_{61} - C_{71} + C_{81}$$

$$T_2 = C_{12} - C_{22} + C_{32} - C_{42} - C_{52} + C_{62} - C_{72} + C_{82}$$

【 0 1 8 9 】

ところで、図 2 9 に示すように、[ 式 9 ] の第 1 電気信号  $T_1$  の右边を構成する容量素子  $C_{1n}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 1 変位センサ) の静電容量値の変動量は、第 2 電気信号  $T_2$  の右边を構成する容量素子  $C_{2n}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 2 変位センサ) の静電容量値の変動量よりも大きい。このため、例えばマイコン 3 4 4 の補正回路によって、第 2 電気信号  $T_2$  に所定の補正係数  $k$  を乗じることによって、第 1 電気信号  $T_1$  と第 2 電気信号  $T_2$  の出力レベルを揃えることができる。

【 0 1 9 0 】

そして、マイコン 3 4 4 に含まれる比較回路がこれら 2 つの電気信号  $T_1$ 、 $k \cdot T_2$  を比較する。この比較は、差各信号  $T_1$ 、 $k \cdot T_2$  の差 (例:  $T_1 - k \cdot T_2$ )、あるいは、各信号  $T_1$ 、 $k \cdot T_2$  の比 (例:  $T_1 / (k \cdot T_2)$ ) に基づいて行われる。そして、2 つの電気信号  $T_1$ 、 $k \cdot T_2$  の比較の結果、 $T_1$  と  $k \cdot T_2$  との差または比が所定の範囲に含まれていれば、マイコン 3 4 4 の診断回路は、力覚センサ 3 0 0 c が正常に機能していると判定する。一方、 $T_1$  と  $T_2$  との差が所定の範囲に含まれていなければ、マイコン 3 4 4 の診断回路は、力覚センサ 3 0 0 c が正常に機能していない (故障している) と判定し、その判定結果を故障診断信号として出力する。このような検出回路によれば、容量素子  $C_{11} \sim C_{82}$  を構成する電極の破損、短絡、異物の混入などの異常を単一の力覚センサ 3 0 0 c によって検知することができる。

【 0 1 9 1 】

もちろん、各容量素子  $C_{11} \sim C_{82}$  の静電容量値の変動量を A/D 変換し、マイコン 3 4 4 によって各静電容量値を比較することによって、力覚センサ 3 0 0 c の故障を診断しても良い。

【 0 1 9 2 】

なお、以上の説明においては、力  $F_x$  に着目して第 1 電気信号  $T_1$  及び第 2 電気信号  $T_2$  を規定したが、この他の力  $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の 1 つまたは 2 つ以上に着目して第 1 電気信号  $T_1$  及び第 2 電気信号  $T_2$  を規定しても良い。

【 0 1 9 3 】

以上のような本実施の形態によれば、容量素子  $C_{1n}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 1 変位センサ) の静電容量値の変動量に基づく第 1 電気信号  $T_1$  と、容量素子  $C_{2n}$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) (第 2 変位センサ) の静電容量値の変動量に基づく第 2 電気信号  $T_2$  と、を比較することにより、力覚センサ 3 0 0 c の故障を診断することができる。更に、力覚センサ 3 0 0 c においては、各傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D の傾動によって各計測部位 D 1 ~ D 8 が変位することにより、各傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D に生じる傾動を効果的に増幅させることができる。すなわち、本実施の形態によれば、低価格且つ高感度でありながら、単一の力覚センサ 3 0 0 c によってそれ自身の故障診断が可能である、という力覚センサ 3 0 0 c を提供することができる。

【 0 1 9 4 】

また、[ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] に示すように、検出回路 3 4 0 は、静電容量値の差分によって作用した力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を計測するため、使用環境の温度変化や同相ノイズの影響を受けにくい力覚センサ 3 0 0 c を提供することができる。

【 0 1 9 5 】

また、各変位体 3 2 0 A ~ 3 2 0 D の一方の計測部位 D 1、D 3、D 5、D 7 と、他方の計測部位 D 2、D 4、D 6、D 7 とは、傾動部 3 1 3 A ~ 3 1 3 D と梁 3 2 1 A ~ 3 2 1 D との接続部位に関して対称的に配置されている。このため、一方の計測部位 D 1、D

10

20

30

40

50

3、D 5、D 7 に生じる変位と他方の計測部位 D 2、D 4、D 6、D 7 に生じる変位とが、同じ大きさで互いに異符号となるため、作用した力及びモーメントを簡易な演算によって検出することができる。

また、検出回路 3 4 0 は、[ 式 6 ] に対応する第 1 電気信号 T 1 または [ 式 8 ] に対応する合算電気信号 T 3 に基づいて、作用した力及びモーメントを検出するため、S / N に優れた計測が可能である。

【 0 1 9 6 】

< < < § 4 . 本発明の第 4 の実施の形態による力覚センサ及びその変形例 > > >  
< 4 - 1 . 本発明の第 4 の実施の形態による力覚センサ >

§ 3 で説明した力覚センサ 3 0 0 c は、各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  のうち 4 つの成分を検出し、且つ、それらの少なくとも 1 つの成分に着目して力覚センサ 3 0 0 c の故障を診断することが可能であった。ところで、これら 4 つの成分を検出するためには、力覚センサ 3 0 0 c に必ずしも 1 6 個の容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 を設ける必要は無い。ここでは、上述した力覚センサ 3 0 0 c の変形例として、より少ない容量素子によって 4 つの成分を検出可能な第 4 の実施の形態による力覚センサ 4 0 0 c について説明する。

【 0 1 9 7 】

図 3 1 は、本発明の第 4 の実施の形態による力覚センサ 4 0 0 c を示す概略上面図である。

【 0 1 9 8 】

図 3 1 に示すように、力覚センサ 4 0 0 c は、梁 4 2 1 A ~ 4 2 1 D が片持ち梁で構成されている点において、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c とは異なっている。具体的には、力覚センサ 4 0 0 c の各梁 4 2 1 A ~ 4 2 1 D は、力覚センサ 3 0 0 c の各梁 3 2 1 A ~ 3 2 1 D のうち、図 2 7 の時計回りに進んだ方に位置する部位を削除した片持ち梁の構造となっている。したがって、力覚センサ 4 0 0 c では、各梁 4 2 1 A ~ 4 2 1 D に各 1 つの計測部位 D 1、D 3、D 5、D 7 が規定されている。そして、これら 4 つの計測部位 D 1、D 3、D 5、D 7 に各 2 つ、合計 8 つの容量素子 C 1 1、C 1 2、C 3 1、C 3 2、C 5 1、C 5 2、C 7 1、C 7 2 が配置されている。各容量素子の構成は、第 3 の実施の形態と同じである。

【 0 1 9 9 】

これらの 8 つの容量素子は、図 3 1 には図示されていないが、所定の回路によって検出回路 4 4 0 のマイコン 4 4 4 に接続されており、各容量素子の静電容量値が当該マイコン 4 4 4 に提供されるようになっている。そして、後述するように、マイコン 4 4 4 は、各容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、力覚センサ 4 0 0 c に作用した力を検出するようになっている。

【 0 2 0 0 】

力覚センサ 4 0 0 c のその他の構成については、第 3 の実施の形態と同様である。このため、第 3 の実施の形態と共通する構成要素に略同様の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【 0 2 0 1 】

次に、本実施の形態による力覚センサ 4 0 0 c の作用について説明する。ここでは、X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸周りのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  のうち、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$  及び  $M_z$  の 4 つの成分を検出する場合について説明を行う。なお、これら 4 つの成分は、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c が検出可能な 4 つの成分でもある。

【 0 2 0 2 】

上述したように、本実施の形態による力覚センサ 4 0 0 c は、梁 4 2 1 A ~ 4 2 1 D が片持ち梁で構成されている点を除き、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c と共通している。したがって、受力体 4 6 0 を介して受力部 4 1 8、4 1 9 に力またはモーメントが作用すると、各梁 4 2 1 A ~ 4 2 1 D の各計測部位 D 1、D 3、D 5、D 7 には、第

10

20

30

40

50

3の実施の形態による力覚センサ300cの対応する計測部位D1、D3、D5、D7と同じ変位が生じる。

#### 【0203】

以上から、力覚センサ400cに力及びモーメントの4つの成分Fz、Mx、My、Mzが作用すると、各容量素子の静電容量値は、図32に一覧で示すように変動する。図中の「+/++」及び「-/--」の記号の意味は、図29と同様である。なお、図32の図表は、図29における、力Fz及びモーメントMx、My、Mzが作用したときの8つの容量素子C11、C12、C31、C32、C51、C52、C71、C72の静電容量値の増減と、同一である。

#### 【0204】

このような静電容量値の変動に基づいて、マイコン444は、作用した力Fz及びモーメントMx、My、Mzを次の[式10]及び[式11]により計測する。各式は、[式6]及び[式7]のFz、Mx、My及びMzの式から、C21、C22、C41、C42、C61、C62、C81及びC82を削除したものである。各式の左辺の末尾の数字「1」及び「2」は、力及びモーメントが、容量素子Cn1(n=1、3、5、7)(第1変位センサ)から計測されたのか、あるいは容量素子Cn2(n=1、3、5、7)(第2変位センサ)から計測されたのか、を区別するための符号である。

#### [式10]

$$\begin{aligned} +Fz1 &= -C11 + C31 - C51 + C71 \\ +Mx1 &= -C11 + C31 + C51 - C71 \\ +My1 &= -C11 - C31 + C51 + C71 \\ +Mz1 &= -C11 - C31 - C51 - C71 \end{aligned}$$

#### [式11]

$$\begin{aligned} +Fz2 &= -C12 + C32 - C52 + C72 \\ +Mx2 &= -C12 + C32 + C52 - C72 \\ +My2 &= -C12 - C32 + C52 + C72 \\ +Mz2 &= -C12 - C32 - C52 - C72 \end{aligned}$$

#### 【0205】

もちろん、第3の実施の形態と同様に、[式10]と[式11]との和による合算電気信号によって、各力Fz及びモーメントMx、My、Mzを計測しても良い。更に、第3の実施の形態で説明したとおり、[式10]及び[式11]は、力覚センサ400cの受力体460に負方向の力-Fzまたは負まわりのモーメント-Mx、-My、-Mzが作用した場合においても成立する。

#### 【0206】

[式10]または[式11]に基づき、力Fz及びモーメントMx、My、Mzの他軸感度を求めると、図33に一覧で示す通りとなる。他軸感度は、図30と同様に、図32に示す図表の力Fz及びモーメントMx、My、Mzについて、「+」の記号が付された容量素子を+1とし、「-」の記号が付された容量素子を-1として、上述した[式15]のそれぞれの右辺に代入して得られた値である。図33に示すように、力Fz及びモーメントMx、My、Mzの他軸感度は、ゼロである。但し、[式10]及び[式11]によれば、Z軸まわりのモーメントMzが静電容量値の和によって求められる。このため、モーメントMzについては、力覚センサ400cの使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

#### 【0207】

このような力覚センサ400は、当該力覚センサ400cが正常に機能しているか否かを、次のようにして判定する。

#### 【0208】

検出回路440のマイコン444は、[式10]の右辺に基づく第1電気信号T1と、[式11]の右辺に基づく第2電気信号T2と、を出力するようになっている。すなわち、力Fzに着目して第1電気信号T1及び第2電気信号T2を書き下すと、次の[式12

」の通りである。

【式 1 2】

$$T1 = -C11 + C31 - C51 + C71$$

$$T2 = -C12 + C32 - C52 + C72$$

【0209】

ところで、図 3 2 に示すように、式 T 1 の右辺を構成する容量素子 C 1 n ( n = 1、3、5、7 ) ( 第 1 変位センサ ) の静電容量値の変動量は、式 T 2 の右辺を構成する容量素子 C 2 n ( n = 1、3、5、7 ) ( 第 2 変位センサ ) の静電容量値の変動量よりも大きい。このため、第 3 の実施の形態と同様に、例えばマイコン 4 4 4 の補正回路によって、第 2 電気信号 T 2 に所定の補正係数 k を乗じることによって、第 1 電気信号 T 1 と第 2 電気信号 T 2 の出力レベルを揃えることができる。

10

【0210】

そして、マイコン 4 4 4 に含まれる比較回路がこれら 2 つの電気信号 T 1、k・T 2 を比較する。この比較は、各信号 T 1、k・T 2 の差 ( 例：T 1 - k・T 2 )、あるいは、各信号 T 1、k・T 2 の比 ( 例：T 1 / ( k・T 2 ) ) に基づいて行われる。そして、2 つの電気信号 T 1、k・T 2 の比較の結果、T 1 と k・T 2 との差または比が所定の範囲に含まれていれば、マイコン 4 4 4 の診断回路は、力覚センサ 4 0 0 c が正常に機能していると判定する。一方、T 1 と k・T 2 との差または比が所定の範囲に含まれていなければ、マイコン 4 4 4 の診断回路は、力覚センサ 4 0 0 c が正常に機能していない ( 故障している ) と判定し、その判定結果を故障診断信号として出力する。このような検出回路 4 4 4 0 によれば、各容量素子を構成する電極の破損、短絡、異物の混入などの異常を単一の力覚センサ 4 0 0 c によって検知することができる。

20

【0211】

もちろん、各容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 の静電容量値の変動量を A/D 変換し、マイコン 3 4 4 によって各静電容量値を比較することによって、力覚センサ 3 0 0 c の故障を診断しても良い。

【0212】

なお、以上の説明においては、力 F x に着目して第 1 電気信号 T 1 及び第 2 電気信号 T 2 を規定したが、この他の力 F y、F z 及びモーメント M x、M y、M z の 1 つまたは 2 つ以上に着目して第 1 電気信号 T 1 及び第 2 電気信号 T 2 を規定しても良い。

30

【0213】

以上のような本実施の形態によっても、第 3 の実施の形態と同様の効果を提供することができる。なお、以上の説明においては、特定の梁が片持ち梁に構成されていることを想定したが、もちろん、図 2 7 に示す両持ち梁の構造を有する力覚センサ 3 0 0 c を用いて、特定の容量素子のみを用いて当該力覚センサ 3 0 0 c に作用した力及びモーメントを計測しても良い。

【0214】

< 4 - 2 . 変形例による力覚センサ >

上述したように、力覚センサ 4 0 0 c は、Z 軸まわりのモーメント M z を計測する際に、使用環境における温度変化の影響や同相ノイズの影響を受けやすいものであった。このため、当該モーメント M z を計測する際に、それらの影響を受けにくくできればより好ましい。ここでは、そのような力覚センサとして、6 つの容量素子を備えた変形例について説明する。

40

【0215】

図 3 4 は、第 4 の実施の形態の変形例による力覚センサ 4 0 1 c を示す概略上面図である。

【0216】

図 3 4 に示すように、力覚センサ 4 0 1 c は、第 1 及び第 2 梁 4 2 1 A、4 2 1 B が片持ち梁で構成されている点において、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c と異なっている。具体的には、本変形例による力覚センサ 4 0 1 c の第 1 及び第 2 梁 4 2 1 A、

50

4 2 1 Bは、第4の実施の形態による力覚センサ4 0 0 cの第1及び第2梁4 2 1 A、4 2 1 Bと同様であり、力覚センサ4 0 1 cの第3及び第4梁4 2 1 C、4 2 1 Dは、図2 7に示す第3の実施の形態による力覚センサ3 0 0 cの第3及び第4梁3 2 1 C、3 2 1 Dと同様である。したがって、力覚センサ4 0 1 cでは、第1梁4 2 1 Aに第1計測部位D 1が、第2梁4 2 1 Bに第3計測部位D 3が、それぞれ規定されており、第3梁4 2 1 Cに第5計測部位D 5及び第6計測部位D 6が、第4梁4 2 1 Dに第7計測部位D 7及び第8計測部位D 8が、それぞれ規定されている。第5計測部位D 5、第6計測部位D 6、第7計測部位D 7及び第8計測部位D 8の配置は、第3の実施の形態による力覚センサ3 0 0 cの対応する計測部位D 5 1 ~ D 8の配置と同一である。そして、これら6つの計測部位に容量素子C 1 n ( n = 1、3、5、6、7、8 ) ( 第1変位センサ ) 及び容量素子

10

#### 【 0 2 1 7 】

図3 4には明確には図示されていないが、これらの6つの容量素子は、所定の回路によってマイコン4 4 4に接続されており、各容量素子の静電容量値が当該マイコン4 4 4に提供されるようになっている。そして、後述するように、マイコン4 4 4は、各容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、力覚センサ4 0 1 cに作用した力を検出するようになっている。

#### 【 0 2 1 8 】

力覚センサ4 0 1 cのその他の構成については、第3の実施の形態と同様である。このため、第3の実施の形態と共通する構成要素に略同様の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

20

#### 【 0 2 1 9 】

次に、本実施の形態による力覚センサ4 0 1 cの作用について説明する。ここでは、第4の実施の形態と同様に、X Y Z三次元座標系における各軸方向の力F x、F y、F z及び各軸周りのモーメントM x、M y、M zのうち、F z、M x、M y及びM zの4つの成分を検出する場合について説明を行う。

#### 【 0 2 2 0 】

本実施の形態による力覚センサ4 0 1 cは、受力体4 6 0を介して受力部4 1 8、4 1 9に力またはモーメントが作用すると、6つの検出部D 1、D 3、D 5 ~ D 8には、それぞれ、第3の実施の形態による力覚センサ3 0 0 cの対応する検出部D 1、D 3、D 5 ~ D 8と同じ変位が生じる。

30

#### 【 0 2 2 1 】

したがって、力覚センサ4 0 1 cに力及びモーメントが作用すると、各容量素子の静電容量値は、図2 9のうち対応する容量素子と同様に変動する。このような静電容量値の変動に基づいて、マイコン4 4 4は、作用した力F z及びモーメントM x、M y、M zを次の[ 式1 3 ]または[ 式1 4 ]により計測する。[ 式1 3 ]及び[ 式1 4 ]に示す4つの式のうち、F z、M x及びM yの式は、[ 式1 0 ]及び[ 式1 1 ]の対応する式とそれぞれ同一である。もちろん、[ 式1 3 ]及び[ 式1 4 ]において、力F z及びモーメントM x、M y、M zの他軸感度は、いずれもゼロである。

40

#### [ 式1 3 ]

$$\begin{aligned} + F z 1 &= - C 1 1 + C 3 1 - C 5 1 + C 7 1 \\ + M x 1 &= - C 1 1 + C 3 1 + C 5 1 - C 7 1 \\ + M y 1 &= - C 1 1 - C 3 1 + C 5 1 + C 7 1 \\ + M z 1 &= - C 1 1 - C 3 1 + C 6 1 + C 8 1 \end{aligned}$$

#### [ 式1 4 ]

$$\begin{aligned} + F z 2 &= - C 1 2 + C 3 2 - C 5 2 + C 7 2 \\ + M x 2 &= - C 1 2 + C 3 2 + C 5 2 - C 7 2 \\ + M y 2 &= - C 1 2 - C 3 2 + C 5 2 + C 7 2 \\ + M z 2 &= - C 1 2 - C 3 2 + C 6 2 + C 8 2 \end{aligned}$$

50

## 【 0 2 2 2 】

以上のような力覚センサ 4 0 1 c によっても、第 3 の実施の形態と同様の効果が提供され得る。更に、力覚センサ 4 0 1 c によれば、Z 軸まわりのモーメント  $M_z$  を差分によって演算することができるため、力覚センサ 4 0 1 c の使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を排除して、高精度に当該モーメント  $M_z$  を計測することができる。

## 【 0 2 2 3 】

なお、力覚センサ 4 0 1 c における故障診断の方法は、4 - 1 . で説明した第 4 の実施の形態による力覚センサ 4 0 0 c と同様であるため、ここでは、その説明は省略する。

## 【 0 2 2 4 】

< 4 - 3 . 更なる変形例による力覚センサ >

10

( 4 - 3 - 1 . 変形例 1 )

力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を検出するための力覚センサとして、図 3 1 では、図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 c から、8 つの容量素子  $C_{21}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{41}$ 、 $C_{42}$ 、 $C_{61}$ 、 $C_{62}$ 、 $C_{81}$ 、 $C_{82}$  を削除したものを示したが、このような態様には限定されない。他の例による力覚センサ ( 不図示 ) としては、図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 c から、8 つの容量素子  $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{41}$ 、 $C_{42}$ 、 $C_{51}$ 、 $C_{52}$ 、 $C_{81}$ 、 $C_{82}$  を削除したものが考えられる。すなわち、この力覚センサは、8 つの容量素子  $C_{21}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{61}$ 、 $C_{62}$ 、 $C_{71}$ 、 $C_{72}$  を有している。

## 【 0 2 2 5 】

この力覚センサに対し、力及びモーメントが作用したときの各容量素子の増減は、図 2 9 に示す対応する容量素子の増減と同一である。したがって、この力覚センサの検出回路 4 4 0 のマイコン 4 4 4 は、作用した力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を次の [ 式 1 5 ] 及び [ 式 1 6 ] により計測する。[ 式 1 5 ] 及び [ 式 1 6 ] は、それぞれ、[ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] の  $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$  及び  $M_z$  の式から、対応する容量素子のみを抜き出したものである。

20

[ 式 1 5 ]

$$+ F_z 1 = C_{21} + C_{31} + C_{61} + C_{71}$$

$$+ M_x 1 = C_{21} + C_{31} - C_{61} - C_{71}$$

$$+ M_y 1 = C_{21} - C_{31} - C_{61} + C_{71}$$

$$+ M_z 1 = C_{21} - C_{31} + C_{61} - C_{71}$$

30

[ 式 1 6 ]

$$+ F_z 2 = C_{22} + C_{32} + C_{62} + C_{72}$$

$$+ M_x 2 = C_{22} + C_{32} - C_{62} - C_{72}$$

$$+ M_y 2 = C_{22} - C_{32} - C_{62} + C_{72}$$

$$+ M_z 2 = C_{22} - C_{32} + C_{62} - C_{72}$$

## 【 0 2 2 6 】

図 2 9 に示す、対応する容量素子の静電容量値の増減と [ 式 1 5 ] または [ 式 1 6 ] とに基づき、力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の他軸感度を求めると、図 3 3 と同一になる。したがって、力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の他軸感度は、ゼロである。但し、[ 式 1 5 ] 及び [ 式 1 6 ] によれば、Z 軸方向の力  $F_z$  は、静電容量値の和によって求められる。このため、力  $F_z$  については、力覚センサの使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

40

## 【 0 2 2 7 】

( 4 - 3 - 2 . 変形例 2 )

あるいは、力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を検出するための力覚センサとして図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 c から、8 つの容量素子  $C_{21}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{61}$ 、 $C_{62}$ 、 $C_{71}$ 、 $C_{72}$  を削除したものも考えられる。すなわち、この力覚センサは、8 つの容量素子  $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{41}$ 、 $C_{42}$ 、 $C_{51}$ 、 $C_{52}$ 、 $C_{81}$ 、 $C_{82}$  を有している。

## 【 0 2 2 8 】

50

この力覚センサに対し、力及びモーメントが作用したときの各容量素子の増減は、図 29 に示す対応する容量素子の増減と同一である。したがって、この力覚センサの検出回路 440 のマイコン 444 は、作用した力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を次の [式 17] 及び [式 18] により計測する。[式 17] 及び [式 18] は、それぞれ、[式 6] 及び [式 7] の  $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$  及び  $M_z$  の式から、対応する容量素子のみを抜き出したものである。

[式 17]

$$\begin{aligned} +F_z1 &= -C_{11} - C_{41} - C_{51} - C_{81} \\ +M_x1 &= -C_{11} - C_{41} + C_{51} + C_{81} \\ +M_y1 &= -C_{11} + C_{41} + C_{51} - C_{81} \\ +M_z1 &= -C_{11} + C_{41} - C_{51} + C_{81} \end{aligned}$$

[式 18]

$$\begin{aligned} +F_z2 &= -C_{12} - C_{42} - C_{52} - C_{82} \\ +M_x2 &= -C_{12} - C_{42} + C_{52} + C_{82} \\ +M_y2 &= -C_{12} + C_{42} + C_{52} - C_{82} \\ +M_z2 &= -C_{12} + C_{42} - C_{52} + C_{82} \end{aligned}$$

【0229】

図 29 に示す、対応する容量素子の静電容量値の増減と [式 17] または [式 18] とに基づき、力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の他軸感度を求めると、図 33 と同一になる。したがって、力  $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の他軸感度は、ゼロである。但し、[式 17] 及び [式 18] によれば、Z 軸方向の力  $F_z$  は、静電容量値の和によって求められる。このため、力  $F_z$  については、力覚センサの使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

【0230】

なお、S/N の観点から、相対的に静電容量値の変動が大きい容量素子に基づく式を用いて、すなわち変形例 1 においては [式 15] を用いて、変形例 2 においては [式 17] を用いて、作用した力及びモーメントを計測するか、あるいは、各変形例において [式 8] の  $F_z3$ 、 $M_x3$ 、 $M_y3$  及び  $M_z3$  に対応する合算電気信号を算出し、この合算電気信号によって、作用した力及びモーメントを計測することが好ましい。

【0231】

以上に示す変形例 1 及び 2 のいずれの場合も、故障診断の方法は、第 4 の実施の形態による力覚センサ 400c と同様である。このため、ここではその詳細な説明については省略する。

【0232】

<<< § 5 . 本発明の第 5 の実施の形態による力覚センサ及びその変形例 >>>

< 5 - 1 . 本発明の第 5 の実施の形態による力覚センサ >

§ 4 では、第 4 の実施の形態及びその変形例として、特にモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  を重点的に計測するのに適した力覚センサについて説明を行った。ここでは、力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  を重点的に計測するのに適した力覚センサについて説明する。

【0233】

図 35 は、本発明の第 5 の実施の形態による力覚センサ 500c を示す概略上面図である。図 5 に示すように、力覚センサ 500c は、第 4 の実施の形態と同様に 8 つの容量素子を有しているが、それらの配置が第 4 の実施の形態とは異なっている。具体的には、力覚センサ 500c の各梁 521A ~ 521D は、力覚センサ 300c の各梁 321A ~ 321D のうち、固定部 316、317 側の部位をそれぞれ削除した片持ち梁の構造を有している。したがって、力覚センサ 500c では、各梁 521A ~ 521D に各 1 つの計測部位 D1、D4、D5、D8 が規定されている。そして、これら 4 つの計測部位 D1、D4、D5、D8 に各 2 つの容量素子  $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{41}$ 、 $C_{42}$ 、 $C_{51}$ 、 $C_{52}$ 、 $C_{81}$ 、 $C_{82}$  が配置されている。各容量素子の構成は、第 2 の実施の形態と同じである。



## 【 0 2 3 4 】

これらの 8 つの容量素子は、図 3 1 には図示されていないが、所定の回路によって検出回路 5 4 0 のマイコン 5 4 4 に接続されており、各容量素子の静電容量値が当該マイコン 5 4 4 に提供されるようになっている。そして、後述するように、マイコン 5 4 4 は、各容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、力覚センサ 5 0 0 c に作用した力を検出するようになっている。

## 【 0 2 3 5 】

力覚センサ 5 0 0 c のその他の構成については、第 3 及び第 4 の実施の形態と同様である。このため、第 3 及び第 4 の実施の形態と共通する構成要素に略同様の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

10

## 【 0 2 3 6 】

次に、本実施の形態による力覚センサ 5 0 0 c の作用について説明する。ここでは、X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸周りのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  のうち、 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び  $M_z$  の 4 つの成分を検出する場合について説明を行う。なお、これら 4 つの成分は、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c が検出可能な 4 つの成分でもある。

## 【 0 2 3 7 】

図 3 6 は、図 3 5 に示す力覚センサ 5 0 0 c に力及びモーメントの 4 つの成分  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_z$  が作用したときの、各容量素子の静電容量値の変動を一覧で示す図表である。上述したように、本実施の形態による力覚センサ 5 0 0 c は、梁 5 2 1 A ~ 5 2 1 D が片持ち梁で構成されている点を除いて、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c と同様の構造を有している。したがって、受力体 5 6 0 を介して受力部 5 1 8、5 1 9 に力またはモーメントが作用すると、各梁 5 2 1 A ~ 5 2 1 D の各検出部 D 1、D 4、D 5、D 8 には、それぞれ、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c における対応する検出部と同じ変位が生じる。

20

## 【 0 2 3 8 】

したがって、力覚センサ 5 0 0 c に力及びモーメントが作用したときの各容量素子の増減は、図 2 9 に示す対応する容量素子の増減と同一である。図 2 9 と同様に、図中の「+」の記号は、静電容量値が増大することを示しており、「-」の記号は、静電容量値が減少することを示している。

30

## 【 0 2 3 9 】

このような静電容量値の変動に基づいて、マイコン 5 4 4 は、作用した力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_z$  を次の [ 式 1 9 ] または [ 式 2 0 ] により計測する。[ 式 1 9 ] 及び [ 式 2 0 ] は、[ 式 6 ] 及び [ 式 7 ] の  $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$  及び  $M_z$  の式から、対応する容量素子のみを抜き出したものである。

## [ 式 1 9 ]

$$\begin{aligned} +F_x 1 &= C_{11} - C_{41} - C_{51} + C_{81} \\ +F_y 1 &= C_{11} + C_{41} - C_{51} - C_{81} \\ +F_z 1 &= -C_{11} - C_{41} - C_{51} - C_{81} \\ +M_z 1 &= -C_{11} + C_{41} - C_{51} + C_{81} \end{aligned}$$

40

## [ 式 2 0 ]

$$\begin{aligned} +F_x 2 &= C_{12} - C_{42} - C_{52} + C_{82} \\ +F_y 2 &= C_{12} + C_{42} - C_{52} - C_{82} \\ +F_z 2 &= -C_{12} - C_{42} - C_{52} - C_{82} \\ +M_z 2 &= -C_{12} + C_{42} - C_{52} + C_{82} \end{aligned}$$

## 【 0 2 4 0 】

図 3 6 に示す、対応する容量素子の静電容量値の増減と [ 式 1 9 ] または [ 式 2 0 ] とに基づき、力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_z$  の他軸感度を求めると、いずれもゼロである。他軸感度の算出方法は、他の実施の形態と同様である。但し、[ 式 1 9 ] 及び [ 式 2 0 ] によれば、Z 軸方向の力  $F_z$  は、静電容量値の和によって求められる。このため

50

、力  $F_z$  については、力覚センサ 500c の使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を受けやすい点に注意が必要である。

#### 【0241】

本実施の形態においても、S/N の観点から、相対的に静電容量値の変動が大きい容量素子に基づく [式 19] によって作用した力及びモーメントを計測するか、あるいは、[式 19] 及び [式 20] に基づき、[式 8] の  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び  $M_z$  に対応する合算電気信号を算出し、この合算電気信号によって、作用した力及びモーメントを計測することが好ましい。

#### 【0242】

以上のような本実施の形態における故障診断の方法は、第 4 の実施の形態による力覚センサ 400c と同様である。このため、ここではその詳細な説明については省略する。

#### 【0243】

このような力覚センサ 500c によっても、第 3 の実施の形態と同様の効果を提供することができる。とりわけ、本実施の形態では、各軸方向の力を検出することが可能であり、且つ、故障診断が可能な、力覚センサ 500c を提供することができる。

#### 【0244】

< 5 - 2 . 変形例による力覚センサ >

上述したように、力覚センサ 500c は、Z 軸方向の力  $F_z$  を計測する際に、使用環境における温度変化の影響や同相ノイズの影響を受けやすいものであった。このため、当該力  $F_z$  を計測する際に、それらの影響を受けにくくできればより好ましい。ここでは、そのような力覚センサ 501c について説明する。

#### 【0245】

図 37 は、第 5 の実施の形態の変形例による力覚センサ 501c を示す概略上面図である。図 37 に示すように、力覚センサ 501c の基本構造 501 及び容量素子の配置は、Y 座標が正 (図 37 の上半分) の部分が図 35 の力覚センサ 500c と同じであり、Y 座標が負 (図 37 の下半分) の部分が図 27 に示す力覚センサ 300c と同じである。図 37 には明確には図示されていないが、各容量素子は、所定の回路によってマイコン 544 に接続されており、各容量素子の静電容量値がマイコン 544 に提供されるようになっている。そして、後述するように、マイコン 544 は、各容量素子の静電容量値の変動量に基づいて、力覚センサ 501c に作用した力を検出するようになっている。

#### 【0246】

力覚センサ 501c のその他の構成については、第 3 の実施の形態と同様である。このため、第 3 の実施の形態と共通する構成要素に略同様の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

#### 【0247】

力覚センサ 501c に力及びモーメントが作用したときの各容量素子の増減は、図 29 に示す対応する容量素子の増減と同一である。このような静電容量値の変動に基づいて、マイコン 544 は、作用した力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_z$  を次の [式 21] または [式 22] により計測する。[式 21] 及び [式 21] は、[式 6] 及び [式 7] の  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び  $M_z$  の式から、対応する容量素子のみを抜き出したものである。なお、[式 21] 及び [式 22] に示す 4 つの式のうち、 $F_x$ 、 $F_y$  及び  $M_z$  の式は、[式 19] 及び [式 20] の対応する式とそれぞれ同一である。もちろん、[式 21] 及び [式 21] において、力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_z$  の他軸感度は、いずれもゼロである。

[式 21]

$$+ F_x 1 = C_{11} - C_{41} - C_{51} + C_{81}$$

$$+ F_y 1 = C_{11} + C_{41} - C_{51} - C_{81}$$

$$+ F_z 1 = -C_{11} - C_{41} + C_{61} + C_{71}$$

$$+ M_z 1 = -C_{11} + C_{41} - C_{51} + C_{81}$$

[式 22]

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 +F_x^2 &= C_{12} - C_{42} - C_{52} + C_{82} \\
 +F_y^2 &= C_{12} + C_{42} - C_{52} - C_{82} \\
 +F_z^2 &= -C_{12} - C_{42} + C_{62} + C_{72} \\
 +M_z^2 &= -C_{12} + C_{42} - C_{52} + C_{82}
 \end{aligned}$$

## 【0248】

本実施の形態においても、S/Nの観点から、相対的に静電容量値の変動が大きい容量素子に基づく[式21]によって作用した力及びモーメントを計測するか、あるいは、[式21]及び[式22]に基づき、[式8]の $F_x^3$ 、 $F_y^3$ 、 $F_z^3$ 及び $M_z^3$ に対応する合算電気信号を算出し、この合算電気信号によって作用した力及びモーメントを計測することが、好ましい。

10

## 【0249】

本変形例における故障診断の方法は、第5の実施の形態による力覚センサ500cと同様である。このため、ここではその詳細な説明については省略する。

## 【0250】

このような力覚センサ501cによっても、第5の実施の形態による力覚センサ500cと同様の効果を提供することができる。とりわけ、本実施の形態では、4つの成分の全てを差分によって演算することができるため、力覚センサ501cの使用環境における温度変化や同相ノイズの影響を排除して、高精度に当該モーメント $M_z$ を計測することができる。

## 【0251】

20

以上から、§4及び§5で説明したように、図1に示す力覚センサ100cを4つ、閉ループ状に並べることで、力の4成分( $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ の組、または $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_z$ の組)を検出することができる。もちろん、これらの4成分のうち任意の成分のみを検出しても良い。

## 【0252】

なお、§4及び§5で説明した各実施の形態及びそれらの変形例による各力覚センサ400c、401c、500c、501cは、特定の梁を片持ち梁の構造に置換したモデルとして説明を行った。しかしながら、このような例には限られず、図27に示す両持ち梁の構造を維持したままで、各力覚センサに採用されている特定の容量素子のみに着目することにより、作用した力及びモーメントを計測しても良い。

30

## 【0253】

<<< §6. 本発明の第6の実施の形態による力覚センサ >>>

< 6-1. 力覚センサの構成 >

§1で説明したように、図7の力覚センサ100cは、変形体10の金属疲労によって当該力覚センサ100cが故障してしまうことを検知することができなかった。このため、図7に示す力覚センサ100cを4つ、閉ループ状に連結して構成された§3の力覚センサ300cについても、同様のことが言える。

## 【0254】

一方、§2の力覚センサ200cは、変形体220に金属疲労が生じているか否かを検知することができるため、この力覚センサ200cを4つ、閉ループ状に連結して新たな力覚センサを構成すれば、力及びモーメントの4成分の検出と、金属疲労による力覚センサの故障とを、検知することができる。ここでは、第6の実施の形態として、そのような力覚センサ600cについて、図38及び図39を参照して説明する。

40

## 【0255】

図38は、本発明の第6の実施の形態による力覚センサ600cを示す概略上面図であり、図39は、XYZ三次元座標系における各軸正方向の力 $+F_x$ 、 $+F_y$ 、 $+F_z$ 及び各軸正まわりのモーメント $+M_x$ 、 $+M_y$ 、 $+M_z$ が作用したときの、図38に示す力覚センサ600cの各容量素子 $C_{11} \sim C_{82}$ の静電容量値の増減を一覧で示す図表である。

## 【0256】

50

図38に示すように、力覚センサ600cは、閉ループ状の変形体であって、2つの受力部618、619と、閉ループ状の経路に沿って2つの受力部618、619と交互に配置された2つの固定部616、617と、閉ループ状の経路に沿って隣接する受力部618、619及び固定部616、617を接続し、受力部618、619に作用した力ないしモーメントにより弾性変形を生じる4つの変形要素610A~610Dと、を有する変形体610を備えている。

#### 【0257】

4つの変形要素610A~610Dは、それぞれ、長手方向(図38における紙面に垂直な方向)を有し、受力部618、619と固定部616、617との間に、受力部618、619から固定部616、617に向かって順次配置された第1傾動部613Aa~613Da及び第2傾動部613Ab~613Dbと、第1傾動部613Aa~613Daと第2傾動部613Ab~613Dbとの間に配置された力伝達部616A~616Dと、を有している。そして、第1傾動部613Aa~613Daと対応する受力部618、619とが、第1-1変形部611Aa~611Daによって接続され、力伝達部616A~616Dと第1傾動部613Aa~613Daとが第1-2変形部612Aa~612Daによって接続されている。更に、力伝達部616A~616Dと第2傾動部613Ab~613Dbとを接続する第2-1変形部611Ab~611Dbによって接続され、第2傾動部613Ab~613Dbと対応する固定部616、617とが第2-2変形部612Ab~612Dbによって接続されている。

#### 【0258】

各変形部は、傾動部613Aa~613Da、613Ab~613Dbの長手方向と交差する方向(図38における紙面の面内方向)に延在している。そして、図10に示す力覚センサ200cと同様に、第1-1変形部611Aa~611Daと第1傾動部613Aa~613Daとの接続部位と、第1-2変形部612Aa~612Daと第1傾動部613Aa~613Daとの接続部位とは、当該第1傾動部613Aa~613Daの長手方向において位置が異なっている。同様に、第2-1変形部611Ab~611Dbと第2傾動部613Ab~613Dbとの接続部位と、第2-2変形部612Ab~612Dbと第2傾動部613Ab~613Dbとの接続部位とは、当該第2傾動部613Ab~613Dbの長手方向において位置が異なっている。

#### 【0259】

更に、変形体610は、第1-1変形部611Aa~611Da及び第1-2変形部612Aa~612Daのパネ定数と、第2-1変形部611Ab~611Db及び第2-2変形部612Ab~612Dbのパネ定数とが、異なっている。具体的には、本実施の形態では、第1-1変形部611Aa~611Da及び第1-2変形部612Aa~612Daのパネ定数が、第2-1変形部611Ab~611Db及び第2-2変形部612Ab~612Dbのパネ定数よりも、小さい。

#### 【0260】

図38に示すように、各変形要素610A~610Dには、当該変形要素610A~610Dに生じる弾性変形により変位を生じる変位体620Aa~620Da及び620Ab~620Dbが接続されている。本実施の形態では、各傾動部に変位体が接続されている。具体的には、変位体は、各固定部616、617から離間し各第1傾動部613Aa~613Dの傾動により変位する第1変位部640Aa~620Daと、各固定部616、617から離間し各第2傾動部613Ab~613Dbの傾動により変位する第2変位部640Ab~620Dbと、を有している。

#### 【0261】

力覚センサ600cは、これらの変位体に生じる変位に基づいて、作用した力及びモーメントの少なくとも一方を検出する検出回路640と、を更に備えている。

#### 【0262】

検出回路640は、各第1変位部640Aa~620Daに配置された第1変位センサと、各第2変位部640Ab~620Dbに配置された第2変位センサと、を有している

。図38に示す例では、第1変位センサ及び第2変位センサは、後述されるように、容量素子C11～C82である。検出回路640は、第1変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第1電気信号T1を出力し、且つ、各第2変位センサの検出値に基づいて、作用した力を示す第2電気信号T2を出力し、当該第1電気信号T1と当該第2電気信号T2との比率の変化に基づいて、力の検出が正常に行われているか否かを判定するようになっている。

#### 【0263】

図38に示すように、第1変位部640Aa～620Daは、第1傾動部613Aa～613Daの長手方向と交差する方向に延在する第1梁621Aa～621Daを有し、第2変位部640Ab～620Dbは、第2傾動部613Ab～613Dbの長手方向と交差する方向に延在する第2梁621Ab～621Dbを有している。

10

#### 【0264】

第1梁621Aa～621Daには、それぞれ、当該第1梁621Aa～621Daの一方の端部（受力部618、619側の端部）から他方の端部（固定部616、617側の端部）に向かって、第1-1計測部位D11、D42、D51、D82及び第1-2計測部位D12、D41、D52、D81がこの順序で規定されている。同様に、第2梁621Ab～621Dbには、それぞれ、当該第2梁621Ab～621Dbの一方の端部（受力部618、619側の端部）から他方の端部（固定部616、617側の端部）に向かって第2-1計測部位D21、D32、D61、D72及び第2-2計測部位D22、D31、D62、D71がこの順序で規定されている。

20

#### 【0265】

図38に示すように、各第1変位部620Aa～620Daは、変形体610の第1傾動部613Aa～613Daと第1梁621Aa～621Daとを接続する第1接続体622Aa～622Daを有し、各第2変位部620Ab～620Dbは、変形体610の第2傾動部613Ab～613Dbと第2梁621Ab～621Dbとを接続する第2接続体622Ab～622Dbを有している。そして、各計測部位D11～D82は、対応する接続体622Aa～622Da、622Ab～622Dbと梁621Aa～621Da、621Ab～621Dbとの接続部位に関して対称的に配置されている。

#### 【0266】

検出回路640は、第1-1変位センサ及び第1-2変位センサ、すなわち8つの容量素子C11、C12、C41、C42、C51、C52、C81、C82の各検出値（静電容量値）に基づいて第1電気信号T1を出力し、且つ、第2-1変位センサ及び第2-2変位センサ、すなわち残り8つの容量素子C21、C22、C31、C32、C61、C62、C71、C72の各検出値（静電容量値）に基づいて第2電気信号T2を出力するようになっている。各電気信号T1、T2を示す式は、後述される。

30

#### 【0267】

本実施の形態では、図27に示す力覚センサ300cと同様に、変位体に対向配置され、固定部616、617に対して移動しない支持体650を更に備えている。そして、前記第1及び第2変位センサは、変位体の各変位部420Aa～420Dbに配置された変位電極Em11～Em82と、この変位電極Em11～Em82に対向して支持体650上に配置された固定電極Ef11～Ef82（不図示）と、を有する容量素子である。

40

#### 【0268】

また、本実施の形態の検出回路640の構成は、入力される静電容量値がC11～C82に増加している点を除き、図13に示すブロック図と同様である。したがって、検出回路640は、力の検出が正常に行われているときの、すなわち変形体610に金属疲労が生じていないときの、第1電気信号T1と第2電気信号T2との比率を基準比率Rsとして記憶する記憶部を有している。そして、検出回路640は、第1電気信号T1と第2電気信号T2との比率と、基準比率Rsと、の差に基づいて、力の検出が正常に行われているか否か、とりわけ変形体610に金属疲労が生じているか否か、を判定するようになっている。

50

## 【 0 2 6 9 】

< 6 - 2 . 力覚センサの作用 >

以上の力覚センサ 6 0 0 c において、受力部 6 1 8、6 1 9 にある方向の力が作用した際、第 2 象限に位置する第 1 変形要素 6 1 0 A の第 1 傾動部 6 1 3 A a 及び第 2 傾動部 6 1 3 A b に生じる傾動（回動）の向きは、同じ方向の力が第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c（図 2 7 参照）に作用した際に第 1 変形要素 3 1 0 A の傾動部 3 1 3 A に生じる傾動（回動）の向きと同じである。すなわち、力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及びモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  が作用した際に、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c の第 1 計測部位 D 1 の Z 軸方向に沿った変位の向きと、本実施の形態による力覚センサ 6 0 0 c の第 1 - 1 計測部位 D 1 1 及び第 1 - 2 計測部位 D 1 2 の Z 軸方向に沿った変位の向きとは、同じである。同様に、第 3 の実施の形態による力覚センサ 3 0 0 c の第 2 計測部位 D 2 の Z 軸方向に沿った変位の向きと、本実施の形態による力覚センサ 6 0 0 c の第 2 - 1 計測部位 D 2 1 及び第 2 - 2 計測部位 D 2 2 の Z 軸方向に沿った変位の向きとは、同じである。

10

## 【 0 2 7 0 】

このような対応関係は、第 2 ~ 第 4 変形要素 6 1 0 B ~ 6 1 0 D においても、同様に成立する。すなわち、受力部 6 1 8、6 1 9 に力が作用した際、第 3 - 1 計測部位 D 3 1 及び第 4 - 1 計測部位 D 4 1 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 3 計測部位 D 3 の挙動とが対応し、第 3 - 2 計測部位 D 3 2 及び第 4 - 2 計測部位 D 4 2 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 4 計測部位 D 4 の挙動とが対応し、第 5 - 1 計測部位 D 5 1 及び第 6 - 1 計測部位 D 6 1 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 5 計測部位 D 5 の挙動とが対応し、第 5 - 2 計測部位 D 5 2 及び第 6 - 2 計測部位 D 6 2 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 6 計測部位 D 6 の挙動とが対応し、第 7 - 1 計測部位 D 7 1 及び第 8 - 1 計測部位 D 8 1 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 7 計測部位 D 7 の挙動とが対応し、第 7 - 2 計測部位 D 7 2 及び第 8 - 2 計測部位 D 8 2 の挙動と図 2 7 に示す力覚センサ 3 0 0 の第 8 計測部位 D 8 の挙動とが対応する。

20

## 【 0 2 7 1 】

更に、各変形部 6 1 1 A a ~ 6 1 1 D a、6 1 2 A a ~ 6 1 2 D a、6 1 1 A b ~ 6 1 1 D b、6 1 2 A b ~ 6 1 2 D b のバネ定数の相違から、各変形要素 6 1 0 A ~ 6 1 0 D に含まれる各 2 つの変位部 6 2 0 A a ~ 6 2 0 D a、6 2 0 A b ~ 6 2 0 D b のうち、受力部 6 1 8、6 1 9 に近位の変位部 6 2 0 A a ~ 6 2 0 D a に規定された計測部位 D 1 1、D 1 2、D 4 1、D 4 2、D 5 1、D 5 2、D 8 1、D 8 2 の方が、Z 軸方向の変位が相対的に大きい。

30

## 【 0 2 7 2 】

以上の対応関係及び計測部位 D 1 1 ~ D 8 2 の変位の大小関係と、図 2 9 の図表と、を踏まえると、力覚センサ 6 0 0 c の各容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 の静電容量値の増減は、図 3 9 に示す通りである。この図表においても、「+」は、静電容量値が増大することを示しており、「++」は、静電容量値が大きく増大することを示している。また、「-」は、静電容量値が減少することを示しており、「--」は、静電容量値が大きく減少することを示している。

40

## 【 0 2 7 3 】

このような力覚センサ 6 0 0 c では、図 3 9 に基づき、以下の [ 式 2 3 ] 及び [ 式 2 4 ] に基づいて受力部 6 1 8、6 1 9 に作用した力を計測することができる。各式の左辺の末尾の数字が「1」である [ 式 2 3 ] は、相対的にバネ定数が小さい変形部によって支持された第 1、第 4、第 5 及び第 8 傾動部 6 1 3 A、6 1 3 D、6 1 3 E、6 1 3 H に関連付けられた容量素子を用いて計測された力である。また、各式の左辺の末尾の数字が「2」である [ 式 2 4 ] は、相対的にバネ定数が大きい変形部によって支持された第 2、第 3、第 6 及び第 7 傾動部 6 1 3 B、6 1 3 C、6 1 3 F、6 1 3 G に関連付けられた容量素子を用いて計測された力である。

[ 式 2 3 ]

50

$$\begin{aligned}
 F_{x1} &= C_{11} - C_{12} + C_{41} - C_{42} - C_{51} + C_{52} - C_{81} + C_{82} \\
 F_{y1} &= C_{11} - C_{12} - C_{41} + C_{42} - C_{51} + C_{52} + C_{81} - C_{82} \\
 F_{z1} &= -C_{11} + C_{12} + C_{41} - C_{42} - C_{51} + C_{52} + C_{81} - C_{82} \\
 M_{x1} &= -C_{11} + C_{12} + C_{41} - C_{42} + C_{51} - C_{52} - C_{81} + C_{82} \\
 M_{y1} &= -C_{11} + C_{12} - C_{41} + C_{42} + C_{51} - C_{52} + C_{81} - C_{82} \\
 M_{z1} &= -C_{11} + C_{12} - C_{41} + C_{42} - C_{51} + C_{52} - C_{81} + C_{82}
 \end{aligned}$$

[式24]

$$\begin{aligned}
 F_{x2} &= C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32} - C_{61} + C_{62} - C_{71} + C_{72} \\
 F_{y2} &= C_{21} - C_{22} - C_{31} + C_{32} - C_{61} + C_{62} + C_{71} - C_{72} \\
 F_{z2} &= -C_{21} + C_{22} + C_{31} - C_{32} - C_{61} + C_{62} + C_{71} - C_{72} \\
 M_{x2} &= -C_{21} + C_{22} + C_{31} - C_{32} + C_{61} - C_{62} - C_{71} + C_{72} \\
 M_{y2} &= -C_{21} + C_{22} - C_{31} + C_{32} + C_{61} - C_{62} + C_{71} - C_{72} \\
 M_{z2} &= -C_{21} + C_{22} - C_{31} + C_{32} - C_{61} + C_{62} - C_{71} + C_{72}
 \end{aligned}$$

10

【0274】

ところで、本実施の形態による力覚センサ600cは、 $F_{x1} = M_{y1}$ 、 $F_{y1} = M_{x1}$ 、 $F_{x2} = M_{y2}$ 、 $F_{y2} = M_{x2}$ という関係が成立している。このため、力覚センサ600cは、力の6つの成分のすべてを検出することはできない。すなわち、この力覚センサ600cは、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 及び $M_z$ の4つの成分、または、 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 及び $M_z$ の4つの成分、のいずれかであれば、各成分を計測することができる。なお、このことは、力覚センサ600cと第3の実施の形態による力覚センサ300cとの対応関係

20

【0275】

< 6-3. 故障診断 >

上述したように、本実施の形態の検出回路640も、力覚センサ600cが正常に機能しているか否かを判定する機能を有している。ここでは、この故障診断の機能について説明を行う。

【0276】

この故障診断の手法は、2-5.で説明した故障診断の手法と同様である。すなわち、例えば力 $F_x$ に着目した場合、第1電気信号 $T_1$ 及び第2電気信号 $T_2$ は次の[式25]の通りである。

30

[式25]

$$\begin{aligned}
 T_1 &= C_{11} - C_{12} + C_{41} - C_{42} - C_{51} + C_{52} - C_{81} + C_{82} \\
 T_2 &= C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32} - C_{61} + C_{62} - C_{71} + C_{72}
 \end{aligned}$$

【0277】

ここで、力覚センサ600cの変形体610に金属疲労が生じていないときの、受力部618、619に作用するX軸正方向の力 $+F_x$ と電気信号 $T_1$ 、 $T_2$ との関係は、図15に示す通りであった。更に、力覚センサ600cの変形体610に金属疲労が生じているときの、受力部618、619に作用するX軸正方向の力 $+F_x$ と電気信号 $T_1$ 、 $T_2$ との関係は、図16に示す通りであった。すなわち、力覚センサ600cの変形体610に金属疲労が生じていないときには、第1電気信号 $T_1$ を示すグラフ $T_1a$ の傾きと、第2電気信号 $T_2$ を示すグラフ $T_2a$ の傾きと、の比は、4である。また、力覚センサ600cの変形体610に金属疲労が生じているときには、第1電気信号 $T_1$ を示すグラフ $T_1b$ の傾きと、第2電気信号 $T_2$ を示すグラフ $T_2b$ の傾きと、の比は、5である。

40

【0278】

したがって、第2の実施の形態による力覚センサ200cと同様に、本実施の形態でも、各グラフの傾きの比( $T_1/T_2$ )の変化を利用して力覚センサ600cの故障診断を行う。すなわち、検出回路640のマイコン644は、作用した力を、相対的にバネ定数が高い変形部に関連付けられた第2電気信号 $T_2$ を用いて計測しつつ、現在の第1電気信号 $T_1$ と第2電気信号 $T_2$ との比率と、金属疲労が発現していない初期状態における第1電気信号 $T_1a$ と第2電気信号 $T_2a$ との比率と、の差が所定の範囲内にあるか否かを

50

評価することによって、力覚センサ 600c が正常に機能しているか否かを判定することができる。

【0279】

もちろん、作用した力を、第1電気信号T1に基づいて計測しても良い。この場合、第1電気信号T1を提供する容量素子はバネ定数が相対的に小さい変形部に関連付けられているため、作用する力に対する感度が高く、S/Nに優れた力の計測が可能となる。また、各容量素子C11~C82の静電容量値の変動量をAD変換し、マイコン644によって各静電容量値を比較することによって、力覚センサ600cの故障を診断しても良い。

【0280】

故障診断を行う手順は、2-5.で説明した手順と同様であるため、ここではその詳細な説明を省略する。

【0281】

以上のような本実施の形態によれば、相対的に静電容量値の変動が大きい容量素子に基づく第1電気信号T1と、相対的に静電容量値の変動が小さい容量素子に基づく第2電気信号T2と、の比率の変化に基づいて、力覚センサ600cの故障診断が行われる。この故障診断では、容量素子C11~C82の電極に生じた異常のみならず、変形体610に生じた金属疲労に起因する力覚センサ600cの故障をも自ら診断することができる。さらに、力覚センサ600cにおいては、傾動部213A、213bの傾動によって各計測部位D11~D82が変位するため、傾動部13に生じる傾動を効果的に増幅させることができる。すなわち、本実施の形態によれば、低価格且つ高感度でありながら、単一の力覚センサ600cによってそれ自身の故障診断が可能である、という力覚センサ600cを提供することができる。

【0282】

また、本実施の形態においても、検出回路640は、静電容量値の差分によって作用した力Fx、Fy、Fz及びモーメントMx、My、Mzを計測するため、使用環境の温度変化や同相ノイズの影響を受けにくい力覚センサ600cを提供することができる。

【0283】

また、各計測部位D11~D82は、対応する接続体と梁との接続部位に関して対称的に配置されているため、作用した力を簡易な演算によって検出することができる。

【0284】

<<< §7. 本発明の変形例による力覚センサ >>>

< 7-1. 変形例1 >

図40は、図27の変形例による力覚センサ302cを示す概略上面図である。本図においても、説明の便宜上、受力体の図示が省略されている。

【0285】

図40に示すように、力覚センサ302cは、変形体310bが矩形状を有している点で、図27に示す力覚センサ300cとは異なっている。変形体310bは、X軸上に原点Oを挟んで対称的に配置された2つの受力部318b、319bと、Y軸上に原点Oを挟んで対称的に配置された3つの固定部316b、317bとを有している。そして、閉ループ状の経路に沿って隣接する受力部と固定部とが、直線状の4つの変形要素310Ab~210Dbによって連結されている。したがって、力覚センサ302cの基本構造302は、2つの受力部318b、319b及び2つの固定部316b、317bを4つの頂点とする矩形状を有しており、この矩形の4つの辺上に、変形要素210Ab~210Dbが1つずつ配置されている。

【0286】

その他の構成については、図27に示す力覚センサ200cと略同様である。このため、図40において、図27に示す力覚センサ300cと対応する構成要素に略同様の符号(末尾に「b」を付加)を付し、その詳細な説明を省略する。

【0287】

以上の力覚センサ302cは、結局、図27に示す力覚センサ300cの各変形要素3

10

20

30

40

50



10 A ~ 310 Dを弧状ではなく直線状に構成したものである。従って、図40に示す力覚センサ302cに力及びモーメントが作用したときに、各変形要素310Ab ~ 310Dbに生じる弾性変形は、実質的に図27に示す力覚センサ300cと同様である。すなわち、作用する力及びモーメントに対して、本変形例による力覚センサ302cの各容量素子C11 ~ C82の静電容量値は、図29に記載された通りに変動する。

【0288】

したがって、以上のような本変形例による力覚センサ302cによっても、図27に示す力覚センサ300cと同様の作用効果が提供され得る。

【0289】

< 7-2. 変形例2 >

10

次に、図41は、図27の更なる変形例による力覚センサ700cを示す概略上面図である。ここでも、図41に示すようにXYZ三次元座標系を定義して以下の説明を行うこととする。なお、図41でも、説明の便宜上、受力体760の図示が省略されている。

【0290】

図41に示すように、力覚センサ700cは、XY平面上に配置された、原点Oを中心とする閉ループ状の環状変形体710を備えている。環状変形体710は、4つの受力部714A、714B、714D、714Fと、閉ループ状の経路に沿って前記4つの受力部714A、714B、714D、714Fと交互に配置された4つの固定部715B、715C、715E、715Hと、閉ループ状の経路に沿って隣接する受力部及び固定部によって挟まれた8つの間隙に1つずつ配置され、受力部714A、714B、714D、714Fに作用した力またはモーメントにより弾性変形を生じる8つの変形要素710A ~ 710Hと、を有している。更に、力覚センサ700cは、各変形要素710A ~ 710Hに接続され、当該変形要素710A ~ 710Hに生じる弾性変形により変位を生じる8つの変位体720A ~ 720Hと、を備えている。

20

【0291】

図41に示すように、4つの受力部714A、714B、714D、714Fは、X軸上及びY軸上に原点Oから等距離で配置されている。また、4つの固定部715B、715C、715E、715Hは、原点Oを通り正のX軸に対して反時計回りに45°の角度を成す直線上、及び、原点Oを通り正のY軸に対して反時計回りに45°の角度を成す直線上、にそれぞれ原点Oに関して対称的に1つずつ配置されている。

30

【0292】

本実施の形態の各変形要素710A ~ 710Hの構成は、上述した第3の実施の形態による基本構造300の変形要素310A ~ 310Dの構成と実質的に同様である。具体的には、図41に示す第1変形要素710A、第4変形要素710D、第5変形要素710E及び第8変形要素710Hは、図17に示す第1変形要素310A、第2変形要素310B、第3変形要素710C及び第4変形要素710Dと、それぞれ同様の構成を有している。残りの第2変形要素710B、第3変形要素710C、第6変形要素710F及び第7変形要素710Gは、それぞれ、第1変形要素710A、第4変形要素710D、第5変形要素710E及び第8変形要素710HをZ軸周りに90°回転させたものである。以上の対応関係は、本実施の形態の8つの変位体720A ~ 720Hについても、同様に成立する。結局、基本構造700は、第1 ~ 第8変形要素710A ~ 710Hとして、§1で説明した基本構造100を8つ、環状の閉ループ状に配置されて構成されている。

40

【0293】

基本構造700の各固定部715B、715C、715E、715Hは、その下端部が、第1 ~ 第8梁721A ~ 721Hに所定の間隔を空けて対向配置された支持体750に接続されている。更に、環状変形体710のZ軸正側には、検出対象の力を受けるための受力体760（不図示）が配置されている。支持体750及び受力体760と各固定部715B、715C、715E、715H及び各受力部714A、714B、714D、714Fとの関係は、第3の実施の形態（図18、図19等参照）と実質的に同様であるため、ここではその詳細な説明を省略する。

50

## 【 0 2 9 4 】

更に、本変形例による力覚センサ 7 0 0 c は、基本構造 7 0 0 の各計測部位 D 1 1 ~ D 8 2 に各 2 つずつ配置された合計 3 2 個の容量素子 C 1 1 a ~ C 8 2 b を含む検出回路 7 4 0 を有している。各梁 7 2 1 A ~ 7 2 1 H における容量素子 C 1 1 a ~ C 8 1 b の配置は、第 3 の実施の形態（図 2 7 参照）と同様であるため、その詳細な説明を省略する。

## 【 0 2 9 5 】

次に、図 4 2 は、受力部 7 6 0 に X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力及び各軸方向のモーメント  $F_x \sim M_z$  が作用したときに、図 4 1 の力覚センサの各傾動部 7 1 3 A ~ 7 1 3 H に生じる傾動の向きと、各変位部 D 1 1 ~ D 8 2 に生じる変位とを、一覽で示す図表である。

10

## 【 0 2 9 6 】

図 4 2 に示す図表では、変形要素が相対的に小さい弾性変形を呈することによって、相対的に小さい傾動を示す傾動部、及び、相対的に小さい変位を示す変位部、に対応する欄には、括弧付きで傾動の向き及び変位の符号を示してある。図示しないが、X Y Z 三次元座標系における各軸方向の力及び各軸方向のモーメント  $F_x \sim M_z$  が作用したときに各容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 に生じる静電容量値の変動は、図 4 2 の表において、当該容量素子 C 1 1 ~ C 8 2 に対応する変位部 D 1 1 ~ D 8 2 の欄に示す変位の符号を反転させればよい。この場合、「+」の符号は静電容量値の増大を表し、「-」の符号は静電容量値の減少を表す。

## 【 0 2 9 7 】

20

そして、検出回路 7 4 0 のマイコン 7 4 4 は、作用した力及びモーメント  $F_x \sim M_z$  を次の〔式 2 6〕及び〔式 2 7〕により計測する。各式の左辺の末尾の数字が「1」である〔式 2 6〕は、相対的に梁の端部側に位置する、末尾に「a」が付された容量素子に基づいている。一方、各式の左辺の末尾の数字が「2」である〔式 2 7〕は、相対的に梁の内側に位置する、末尾に「b」が付された容量素子に基づいている。

## 〔式 2 6〕

$$+ F_x 1 = C_{11a} - C_{12a} + C_{21a} - C_{22a} + C_{31a} - C_{32a} + C_{41a} - C_{42a} - C_{51a} + C_{52a} - C_{61a} + C_{62a} - C_{71a} + C_{72a} - C_{81a} + C_{82a}$$

$$+ F_y 1 = C_{11a} - C_{12a} + C_{21a} - C_{22a} - C_{31a} + C_{32a} - C_{41a} + C_{42a} - C_{51a} + C_{52a} - C_{61a} + C_{62a} + C_{71a} - C_{72a} + C_{81a} - C_{82a}$$

30

$$+ F_z 1 = -C_{11a} + C_{12a} + C_{21a} - C_{22a} - C_{31a} + C_{32a} + C_{41a} - C_{42a} - C_{51a} + C_{52a} + C_{61a} - C_{62a} - C_{71a} + C_{72a} + C_{81a} - C_{82a}$$

$$+ M_x 1 = C_{21a} - C_{22a} - C_{31a} + C_{32a} - C_{61a} + C_{62a} + C_{71a} - C_{72a}$$

$$+ M_y 1 = -C_{11a} + C_{12a} - C_{41a} + C_{42a} + C_{51a} - C_{52a} + C_{81a} - C_{82a}$$

$$+ M_z 1 = -C_{11a} + C_{12a} - C_{21a} + C_{22a} - C_{31a} + C_{32a} - C_{41a} + C_{42a} - C_{51a} + C_{52a} - C_{61a} + C_{62a} - C_{71a} + C_{72a} - C_{81a} + C_{82a}$$

40

## 〔式 2 7〕

$$+ F_x 2 = C_{11b} - C_{12b} + C_{21b} - C_{22b} + C_{31b} - C_{32b} + C_{41b} - C_{42b} - C_{51b} + C_{52b} - C_{61b} + C_{62b} - C_{71b} + C_{72b} - C_{81b} + C_{82b}$$

$$+ F_y 2 = C_{11b} - C_{12b} + C_{21b} - C_{22b} - C_{31b} + C_{32b} - C_{41b} + C_{42b} - C_{51b} + C_{52b} - C_{61b} + C_{62b} + C_{71b} - C_{72b} + C_{81b} - C_{82b}$$

$$+ F_z 2 = -C_{11b} + C_{12b} + C_{21b} - C_{22b} - C_{31b} + C_{32b} + C_{41b} - C_{42b} - C_{51b} + C_{52b} + C_{61b} - C_{62b} - C_{71b} + C_{72b} + C_{81b} - C_{82b}$$

50

$b - C_{42} b - C_{51} b + C_{52} b + C_{61} b - C_{62} b - C_{71} b + C_{72} b + C_{81}$   
 $b - C_{82} b$   
 $+ M_x 2 = C_{21} b - C_{22} b - C_{31} b + C_{32} b - C_{61} b + C_{62} b + C_{71} b$   
 $- C_{72} b$   
 $+ M_y 2 = - C_{11} b + C_{12} b - C_{41} b + C_{42} b + C_{51} b - C_{52} b + C_{81}$   
 $b - C_{82} b$   
 $+ M_z 2 = - C_{11} b + C_{12} b - C_{21} b + C_{22} b - C_{31} b + C_{32} b - C_{41}$   
 $b + C_{42} b - C_{51} b + C_{52} b - C_{61} b + C_{62} b - C_{71} b + C_{72} b - C_{81}$   
 $b + C_{82} b$   
**【 0 2 9 8 】**

10

なお、力覚センサ 700c の受力体 760 に各軸の負方向の力  $-F_x$ 、 $-F_y$ 、 $-F_z$  または各軸の負まわりのモーメント  $-M_x$ 、 $-M_y$ 、 $-M_z$  が作用した場合は、前述したように、各変位部 D11 ~ D82 の Z 軸方向の変位が図 42 とは逆方向になる。このため、力  $-F_x$ 、 $-F_y$ 、 $-F_z$  またはモーメント  $-M_x$ 、 $-M_y$ 、 $-M_z$  を検出するには、[式 29] の右辺の C11 ~ C82 の符号を全て逆にすればよい。

**【 0 2 9 9 】**

また、本実施の形態による力覚センサ 700c は、上記 3 - 5 . と同様にして他軸感度を求めると、各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の全ての他軸感度がゼロであることが分かる。従って、図 41 に示す力覚センサ 700c は、各軸方向の力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  及び各軸まわりのモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  の全

20

**【 0 3 0 0 】**

更に、力覚センサ 700c の検出回路 740 は、力覚センサ 700c が正常に機能しているか否かを判定する機能を有している。この判定のプロセスは、上記 3 - 6 . で説明した通りである。この場合も、このような検出回路 740 によれば、容量素子 C11a ~ C82b を構成する電極の破損、短絡、異物の混入などの異常を単一の力覚センサ 700c によって検知することができる。

**【 0 3 0 1 】**

< < < § 8 . ストッパ機構を有する力覚センサ > > >

< 8 - 1 . 実施例 1 >

30

次に、§ 1 ~ § 7 で説明した力覚センサが、過負荷によって故障してしまうことを回避するための工夫について説明する。

**【 0 3 0 2 】**

図 43 は、過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造 101 を示す概略正面図である。基本構造 101 は、全体として、図 1 に示す基本構造 100 と同様の構成を有している。図 43 において、図 1 と共通する構成には同じ符号を付してある。

**【 0 3 0 3 】**

一方、基本構造 101 は、受力部 14 の下端に当接部 14p が設けられ、この当接部 14p と対面する支持体 50 の部分が、当接部 14p に当接される被当接部 50p となっている点で、図 1 に示す基本構造 100 と異なる。受力部 14 に力が作用していないとき、当接部 14p と被当接部 50p とは離間している。この離間距離は、基本構造 101 が正常に機能する範囲を超えて、あるいは故障や破損しない範囲を超えて、受力部 14 が Z 軸負方向に変位することを回避し得る寸法に、設定されている。

40

**【 0 3 0 4 】**

次に、図 44 は、受力部 14 に過大な Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用したときの、図 43 に示す基本構造 101 の変形状態を示す概略正面図である。上述した構成により、基本構造 101 が正常に機能する範囲を超えた過大な Z 軸負方向の力  $-F_x$  が受力部 14 に作用すると、当接部 14p を含む受力部 14 は Z 軸負方向に変位し、やがて当接部 14p が被当接部 50p に当接する。これにより、当接部 14p の更なる Z 軸負方向への変位が規制される。この結果、変形体 10 に過大な負荷が伝達されないため、基本構造 101 が故障

50

(破損)してしまうことが回避される。なお、受力部 14 に作用する力によって変形体 10 に生じる弾性変形、及びこの弾性変形によって変位体 20 に生じる変位については、§ 1 で説明した通りである。このため、ここではその詳細な説明を省略する。

#### 【0305】

以上のような基本構造 101 によれば、Z 軸負方向に過大な力 -  $F_z$  が作用しても、当接部 14p と被当接部 50p との離間距離が所定の値以下であるため、受力部 14 の Z 軸負方向への変位が所定の範囲内に制限される。このため、過負荷によって故障しにくい基本構造 101 を実現することができる。更に、この基本構造 101 を採用して力覚センサを構成すれば、過負荷によって故障しにくい力覚センサを実現することができる。

#### 【0306】

なお、図 43 では、当接部 14p と被当接部 50p との離間距離を所定の値以下とするため、図 1 に示す基本構造 100 において、受力部 14 の下端を下方に延長することによって当接部 14p を構成した。しかしながら、これとは逆に、支持体 50 のうち受力部 14 に対面する部分を上方に突出させて被当接部 50p を構成することで、当接部 14p と被当接部 50p との離間距離を所定の値以下として良い。この場合も、過負荷によって故障しにくい基本構造を実現することができる。

#### 【0307】

このようなストッパ機構を備えた基本構造 101 は、もちろん、上述した故障診断機能を有する力覚センサとして構成することも可能である。この場合、故障診断の方法は、§ 1 で説明した通りであるため、ここでは繰り返しの説明は省略する。このことは、後述する各実施例においても同様である。

#### 【0308】

##### < 8 - 2 . 実施例 2 >

次に、図 45 ~ 図 50 を参照して、ストッパ機構の他の実施例について説明する。

#### 【0309】

図 45 は、他の例による過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造 102 を示す概略正面図であり、図 46 は、図 45 の概略平面図である。

#### 【0310】

図 45 及び図 46 に示すように、基本構造 102 は、全体として、図 1 及び図 2 に示す基本構造 100 と同様の構成を有している。図 45 及び図 46 において、図 1 と共通する構成には同じ符号を付してある。

#### 【0311】

但し、基本構造 102 は、受力部 14 の X 軸正側の側面及び X 軸負側の側面に、Y 軸方向に沿って延在する一对の凹部 14a が形成されている。更に、基本構造 102 は、変形体 10 の固定部 15、または支持体 50 に接続された一对のストッパ 70 を有している。詳細には図示されていないが、このストッパ 70 は、変形体 10 及び変位体 20 に干渉することなく、受力部 14 の近位まで延びている支持部により支持されている。一对のストッパ 70 は、Y 軸方向から見て同一の形状を有しており、互いに同一の Z 座標を有している。

#### 【0312】

図 46 に示すように、ストッパ 70 は、少なくとも一部が一对の凹部 14a 内に位置している。ストッパ 70 は、固定部 15 及び支持体 50 に対して変位しない。このため、当該ストッパ 70 と凹部 14a の上面 (Z 軸負方向を向いた面) との離間距離は、受力部 14 に許容される Z 軸負方向への変位を規定し、当該ストッパ 70 と凹部 14a の下面 (Z 軸正方向を向いた面) との離間距離は、受力部 14 に許容される Z 軸正方向への変位を規定している。更に、一对のストッパ 70 のうち X 軸負側のストッパを 70L、X 軸正側のストッパを 70R とする。このとき、ストッパ 70L と凹部 14a の側面 (X 軸負方向を向いた面) との離間距離は、受力部 14 に許容される X 軸負方向への変位を規定し、ストッパ 70R と凹部 14a の側面 (X 軸正方向を向いた面) との離間距離は、受力部 14 に許容される X 軸正方向への変位を規定している。このように、一对のストッパ 70 は、受

10

20

30

40

50

力部 14 の固定部 15 に対する X 軸方向及び Z 軸方向への相対移動を、所定の範囲に制限するようになっている。

【0313】

次に、図 47 は、受力部 14 に過大な X 軸正方向の力 +  $F_x$  が作用したときの、基本構造 102 の変形状態を示す概略正面図であり、図 48 は、受力部 14 に過大な X 軸負方向の力 -  $F_x$  が作用したときの、基本構造 102 の変形状態を示す概略正面図である。また、図 49 は、受力部 14 に過大な Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が作用したときの基本構造 102 の変形状態を示す概略正面図であり、図 50 は、受力部 14 に過大な Z 軸正方向の力 +  $F_z$  が作用したときの、基本構造 102 の変形状態を示す概略正面図である。

【0314】

上述した構成により、基本構造 102 が正常に機能する範囲を超えた過大な X 軸正方向の力 +  $F_x$  が受力部 14 に作用すると、受力部 14 は X 軸正方向に変位し、やがて受力部 14 がストッパ 70R に当接する。これにより、受力部 14 の更なる X 軸正方向への変位が規制される（図 47 参照）。更に、基本構造 102 が正常に機能する範囲を超えた過大な X 軸負方向の力 -  $F_x$  が受力部 14 に作用すると、受力部 14 は X 軸負方向に変位し、やがて受力部 14 がストッパ 70L に当接する。これにより、受力部 14 の更なる X 軸負方向への変位が規制される（図 48 参照）。以上から、過大な力が受力部 14 に X 軸正方向に作用しても X 軸負方向に作用しても、基本構造 102 の故障（破損）が回避される。

【0315】

更に、基本構造 102 が正常に機能する範囲を超えた過大な Z 軸正方向の力 +  $F_z$  が受力部 14 に作用すると、受力部 14 は Z 軸正方向に変位し、やがて受力部 14 が一対のストッパ 70 に当接する。これにより、受力部 14 の更なる Z 軸正方向への変位が規制される（図 50 参照）。更に、基本構造 102 が正常に機能する範囲を超えた過大な Z 軸負方向の力 -  $F_z$  が受力部 14 に作用すると、受力部 14 は Z 軸負方向に変位し、やがて受力部 14 が一対のストッパ 70 に当接する。これにより、受力部 14 の更なる Z 軸負方向への変位が規制される（図 49 参照）。以上から、過大な力が受力部 14 に Z 軸正方向に作用しても Z 軸負方向に作用しても、基本構造 102 の故障（破損）が回避される。なお、受力部 14 に作用する力によって変形体 10 に生じる弾性変形、及びこの弾性変形によって変位体 20 に生じる変位については、§ 1 で説明した通りである。このため、ここではその詳細な説明を省略する。

【0316】

以上のような基本構造 102 によれば、X 軸方向及び Z 軸負方向に過大な力  $F_x$ 、 $F_z$  が作用しても、一対のストッパ 70 の存在によって、受力部 14 の Z 軸及び Z 軸負方向への変位が所定の範囲内に制限される。このため、過負荷によって故障しにくい基本構造 102 を実現することができる。更に、この基本構造 102 を採用して力覚センサを構成すれば、過負荷によって故障しにくい力覚センサを実現することができる。

【0317】

< 8 - 3 . 実施例 3 >

次に、図 51 ~ 図 57 を参照して、ストッパ機構の更に他の実施例について説明する。

【0318】

図 51 は、更に他の例による過負荷を防止するためのストッパ機構を備えた基本構造 103 を示す概略正面図であり、図 52 はその概略平面図である。

【0319】

図 51 及び図 52 に示すように、基本構造 103 は、全体として、図 1 に示す基本構造 100 と同様の構成を有している。図 51 及び図 52 において、図 1 及び図 2 と共通する構成には同じ符号を付してある。

【0320】

図 51 及び図 52 に示すように、基本構造 103 は、受力部 14 に Y 軸方向と平行に延在する貫通孔 14b が設けられている。貫通孔 14b は、Y 軸と平行な中心軸線を有する円筒の形状を有している。更に、基本構造 103 は、変形体 10 の固定部 15 に接続され

10

20

30

40

50

たストッパ 7 1 を有している。詳細には図示されていないが、このストッパ 7 1 は、変形体 1 0 及び変位体 2 0 に干渉することなく、受力部 1 4 の近位まで延びている支持部により支持されている。ストッパ 7 1 は、Y 軸と平行に延びる中心軸線を有する円柱の形状を有している。

#### 【 0 3 2 1 】

図 5 1 および図 5 2 に示すように、ストッパ 7 1 は、少なくとも一部が受力部 1 4 の貫通孔 1 4 b 内に同心に位置している。ストッパ 7 1 は、固定部 1 5 及び支持体 5 0 に対して変位しない。このため、当該ストッパ 7 1 の半径と貫通孔 1 4 b の半径との差は、受力部 1 4 に許容される X Z 平面内における変位を規定している。このような構成により、ストッパ 7 1 は、受力部 1 4 の固定部 1 5 に対する X 軸方向及び Z 軸方向への相対移動を、  
10 所定の範囲に制限するようになっている。

#### 【 0 3 2 2 】

次に、図 5 3 は、受力部 1 4 に過大な X 軸正方向の力  $+F_x$  が作用したときの、基本構造 1 0 3 の変形状態を示す概略正面図であり、図 5 4 は、受力部 1 4 に過大な X 軸負方向の力  $-F_x$  が作用したときの、基本構造 1 0 3 の変形状態を示す概略正面図である。また、図 5 5 は、受力部 1 4 に過大な Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用したときの基本構造 1 0 3 の変形状態を示す概略正面図であり、図 5 6 は、受力部 1 4 に過大な Z 軸正方向の力  $+F_z$  が作用したときの、基本構造 1 0 3 の変形状態を示す概略正面図である。

#### 【 0 3 2 3 】

上述した構成により、図 5 3 ~ 図 5 6 に示すように、基本構造 1 0 3 が正常に機能する  
20 範囲を超えた過大な X 軸及び Z 軸方向の力  $F_x$ 、 $F_z$  が受力部 1 4 に作用すると、受力部 1 4 は X Z 平面内で変位し、やがて受力部 1 4 がストッパ 7 1 に当接する。これにより、受力部 1 4 の更なる X Z 平面内における変位が規制される。このように、過大な X 軸及び Z 軸方向の力  $F_x$ 、 $F_z$  が受力部 1 4 に作用しても、基本構造 1 0 3 の故障（破損）が回避される。なお、受力部 1 4 に作用する力によって変形体 1 0 に生じる弾性変形、及びこの弾性変形によって変位体 2 0 に生じる変位については、§ 1 で説明した通りである。このため、ここではその詳細な説明を省略する。

#### 【 0 3 2 4 】

以上のような基本構造 1 0 3 によれば、X 軸方向及び Z 軸負方向に過大な力  $F_x$ 、 $F_z$  が作用しても、ストッパ 7 1 の存在によって、受力部 1 4 の X 軸及び Z 軸負方向への変位  
30 が所定の範囲内に制限される。このため、過負荷によって故障しにくい基本構造 1 0 3 を実現することができる。更に、この基本構造 1 0 3 を採用して力覚センサを構成すれば、過負荷によって故障しにくい力覚センサを実現することができる。

#### 【 0 3 2 5 】

##### < 8 - 4 . 変形例 >

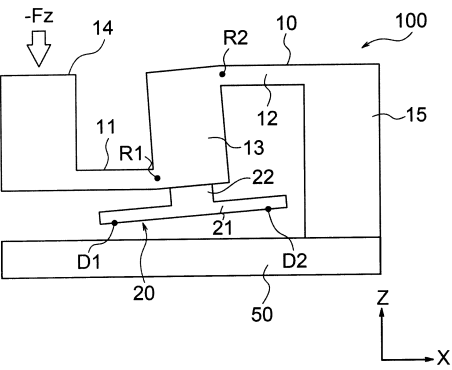
次に、図 5 7 は、図 4 3 の変形例による基本構造 1 0 4 を示す概略正面図である。図 4 3 に示す基本構造 1 0 1 では、当接部 1 4 p 及び被当接部 5 0 p が共に X Y 平面と平行な面として規定されていた。このため、受力部 1 4 に過大な X 軸方向の力  $F_x$  が作用した際には、受力部 1 4 の変位が所定の範囲内に制限されない。これに対し、図 5 7 に示す基本構造 1 0 4 では、受力部 1 4 の当接部 1 4 g が凹部を有し、当接部 1 4 p に当接される被  
40 当接部 5 0 g が凸部を有している。当接部 1 4 g の凹部と被当接部 5 0 g の凸部との X 軸方向及び Z 軸方向の各離間距離は、基本構造 1 0 4 が正常に機能する範囲を超えて、あるいは故障や破損しない範囲を超えて、受力部 1 4 が X 軸方向及び Z 軸負方向に変位することを回避し得る寸法に、設定されている。なお、図 5 7 では、当接部 1 4 g の凹部及び被当接部 5 0 g の凸部が、Z 軸正方向に湾曲した湾曲面として示されているが、このような態様には限定されない。他の例としては、当接部 1 4 g の凹部及び被当接部 5 0 g の凸部として、Y 軸方向から観察して矩形の断面形状を有する凹部及び凸部が採用され得る。

#### 【 0 3 2 6 】

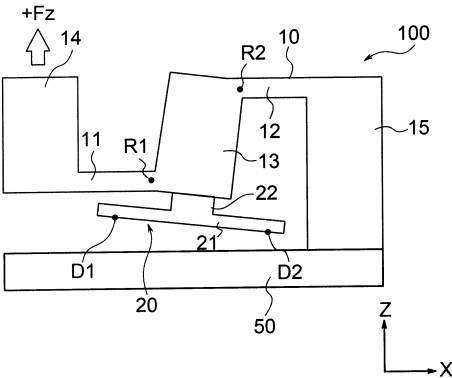
このような構成によれば、過大な Z 軸負方向の力  $-F_z$  が作用した場合のみならず、過大な X 軸方向の力  $F_x$  が作用した場合にも、受力部 1 4 の X 軸方向の変位を所定の範囲内  
50



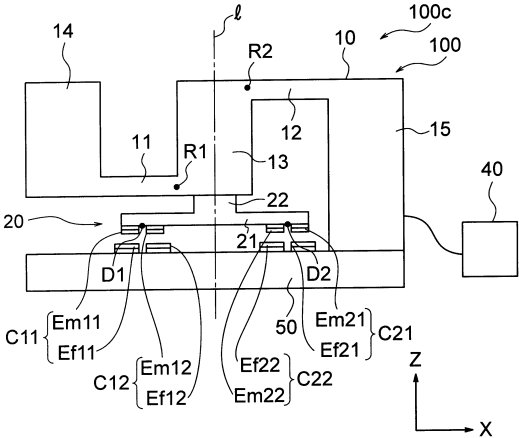
【図 5】



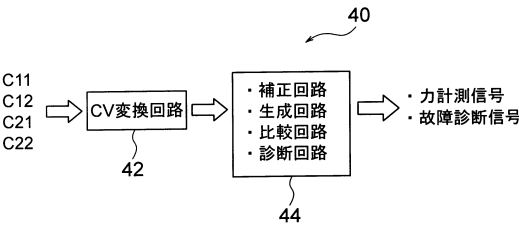
【図 6】



【図 7】



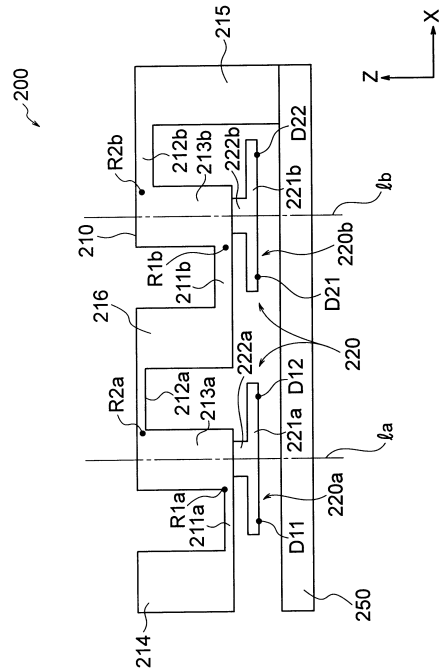
【図 8】



【図 9】

	C11	C12	C21	C22
+Fx	++	+	--	-
-Fz	++	+	--	-

【図 10】

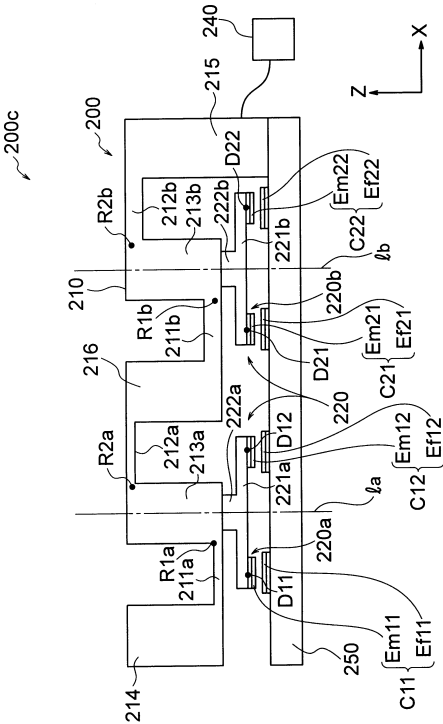




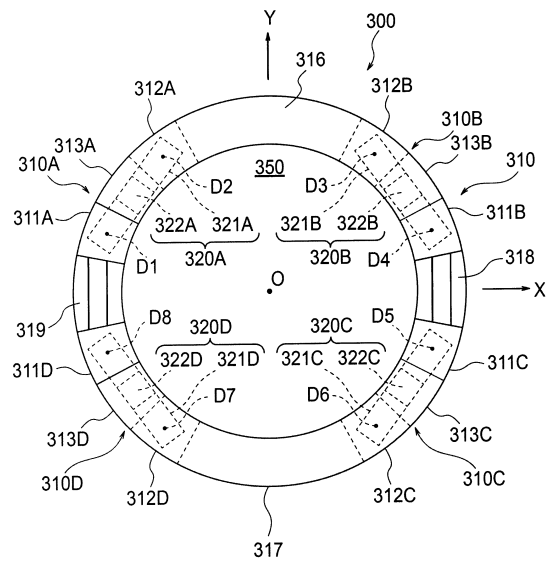
【図 1 1】

	D11	D12	D21	D22
+Fx	- -	+ +	-	+
-Fz	- -	+ +	-	+

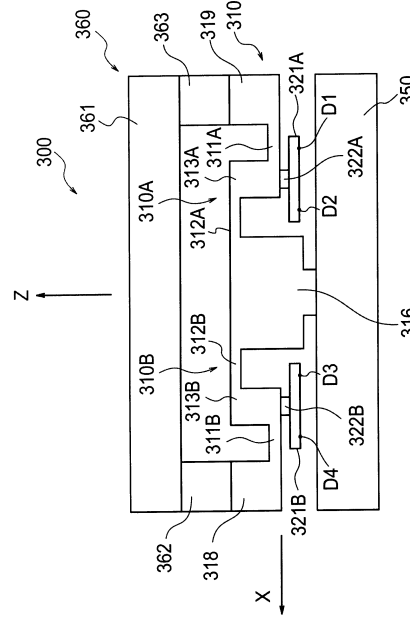
【図 1 2】



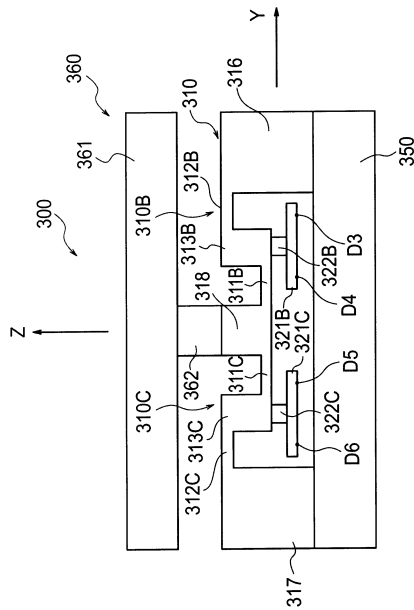
【図 17】



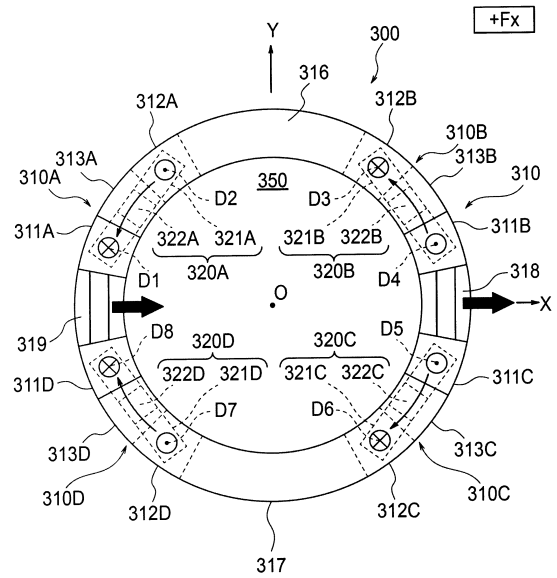
【図 18】



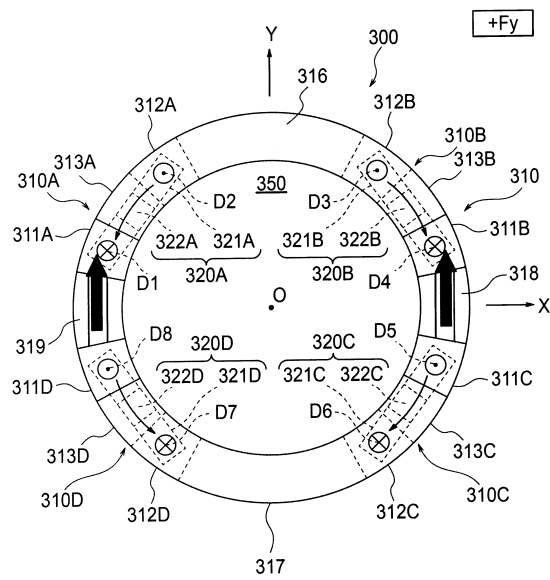
【図 19】



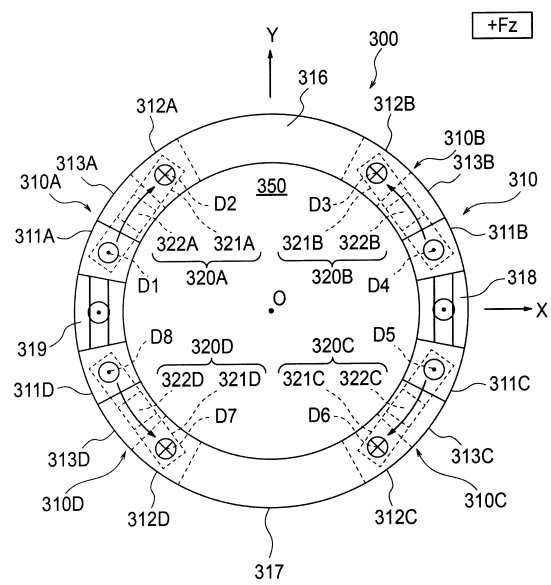
【図 20】



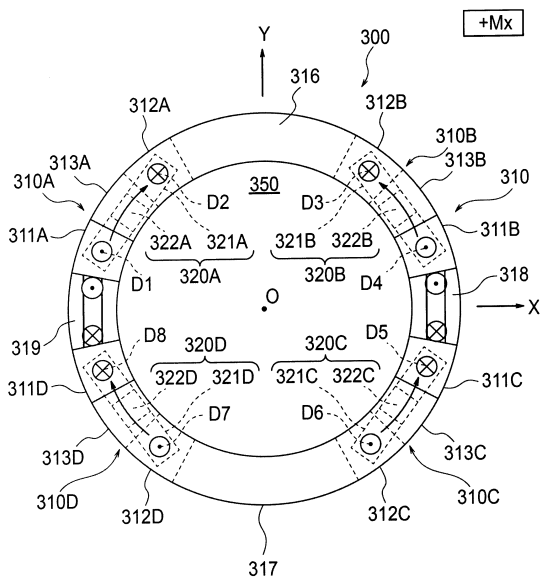
【図 2 1】



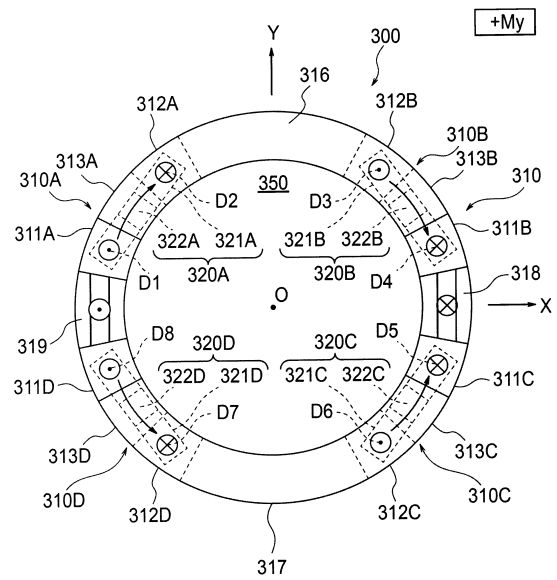
【図 2 2】



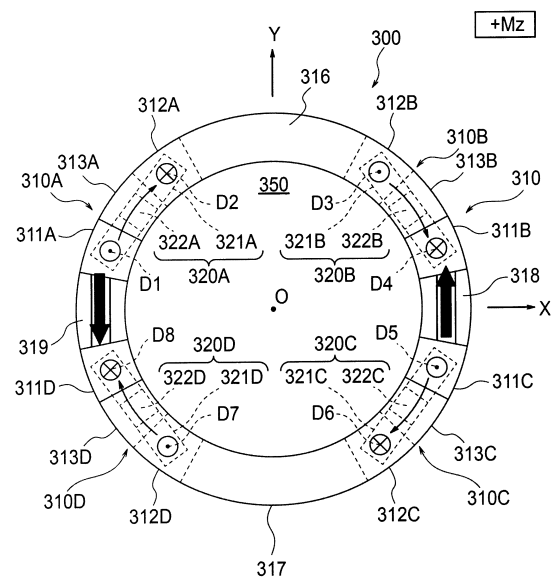
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



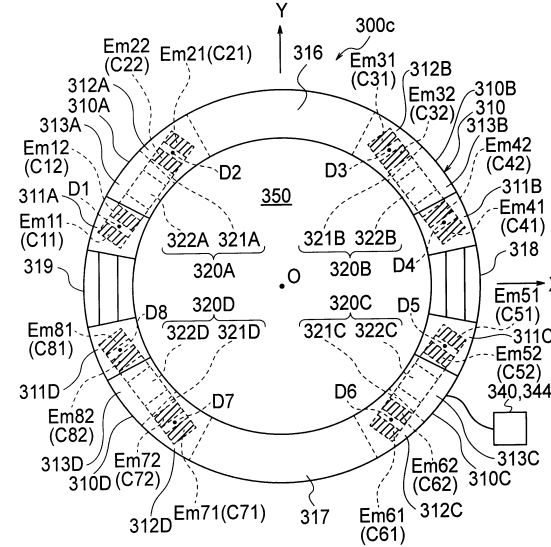
【図 2 6】

力/モーメント	第1傾動部 313A	D1	D2	第2傾動部 313B	D3	D4
+Fx	反時計回り	-	+	反時計回り	-	+
+Fy	反時計回り	-	+	時計回り	+	-
+Fz	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+Mx	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+My	時計回り	+	-	時計回り	+	-
+Mz	時計回り	+	-	時計回り	+	-

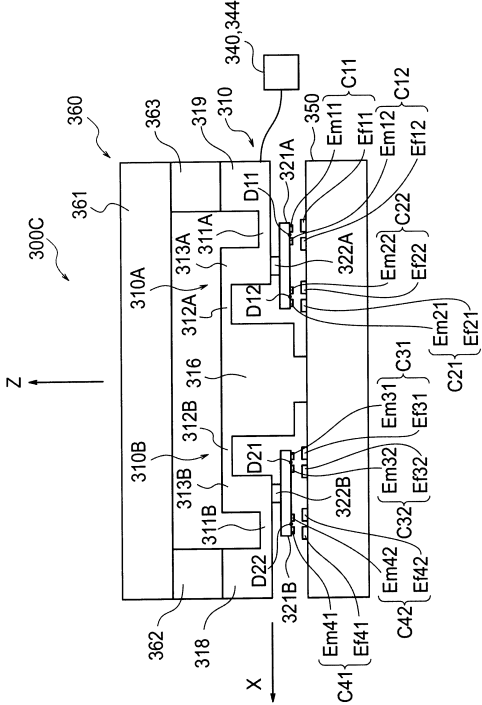
  

力/モーメント	第3傾動部 313C	D5	D6	第4傾動部 313D	D7	D8
+Fx	時計回り	+	-	時計回り	+	-
+Fy	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+Fz	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+Mx	反時計回り	-	+	時計回り	+	-
+My	反時計回り	-	+	反時計回り	-	+
+Mz	時計回り	+	-	時計回り	+	-

【図 2 7】



【図 2 8】



【図 29】

カ/モーメント	C11	C12	C21	C22	C31	C32	C41	C42
+Fx	++	+	--	-	++	+	--	-
+Fy	++	+	--	-	--	-	++	+
+Fz	--	-	++	+	++	+	--	-
+Mx	--	-	++	+	++	+	--	-
+My	--	-	++	+	--	-	++	+
+Mz	--	-	++	+	--	-	++	+

カ/モーメント	C51	C52	C61	C62	C71	C72	C81	C82
+Fx	--	-	++	+	--	-	++	+
+Fy	--	-	++	+	++	+	--	-
+Fz	--	-	++	+	++	+	--	-
+Mx	++	+	--	-	--	-	++	+
+My	++	+	--	-	++	+	--	-
+Mz	--	-	++	+	--	-	++	+

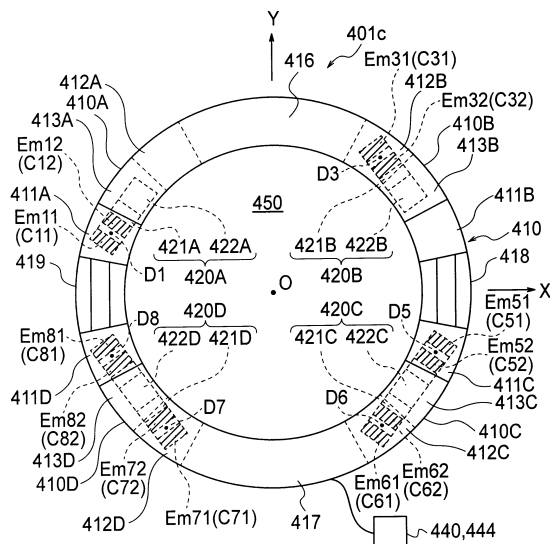
【図 30】

	VFx	VFy	VFz	VMx	VMy	VMz
Fx	8	0	0	0	-8	0
Fy	0	8	0	-8	0	0
Fz	0	0	8	0	0	0
Mx	0	-8	0	8	0	0
My	-8	0	0	0	8	0
Mz	0	0	0	0	0	8

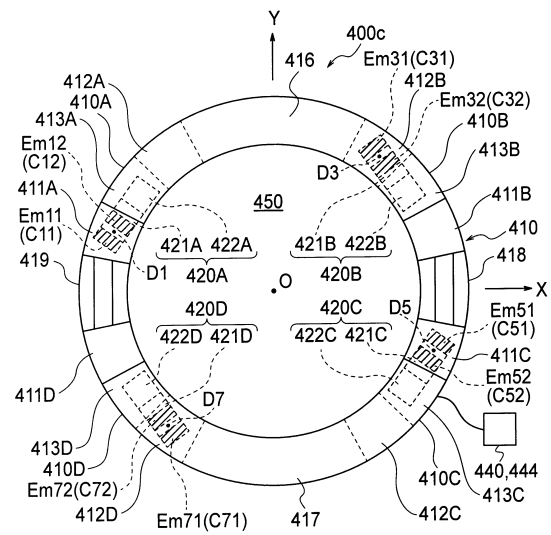
【図 33】

	VFx	VMx	VMy	VMz
Fz	4	0	0	0
Mx	0	4	0	0
My	0	0	4	0
Mz	0	0	0	4

【図 34】



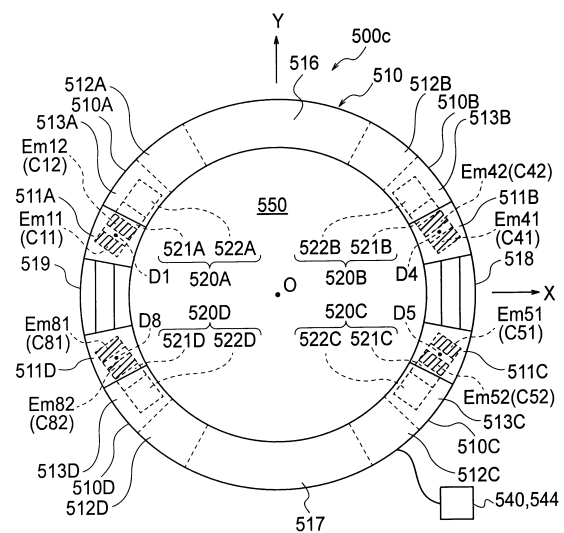
【図 31】



【図 32】

カ/モーメント	C11	C12	C31	C32	C51	C52	C71	C72
+Fz	--	-	++	+	--	-	++	+
+Mx	--	-	++	+	++	+	--	-
+My	--	-	--	-	++	+	++	+
+Mz	--	-	--	-	--	-	--	-

【図 35】

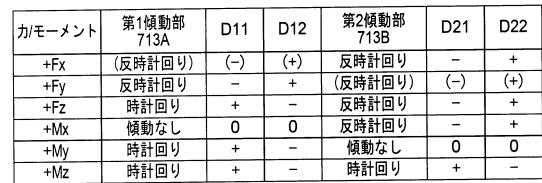


【図 36】

カ/モーメント	C11	C12	C41	C42	C51	C52	C81	C82
+Fx	++	+	--	-	--	-	++	+
+Fy	++	+	++	+	--	-	--	-
+Fz	--	-	--	-	--	-	--	-
+Mz	--	-	++	+	--	-	++	+



【 図 4 2 】

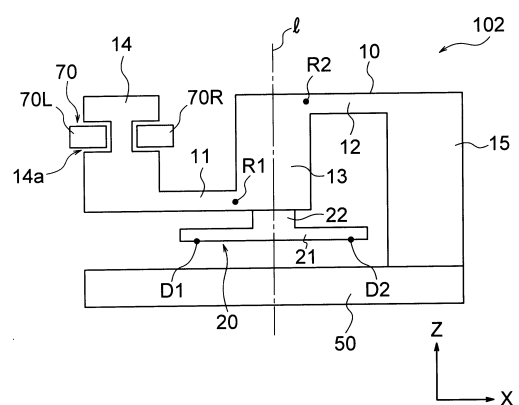


力/モーメント	第3傾動部 713C	D31	D32	第4傾動部 713D	D41	D42
+Fx	反時計回り	—	+	(反時計回り)	(—)	(+)
+Fy	(時計回り)	(+)	(—)	時計回り	+	—
+Fz	時計回り	+	—	反時計回り	—	+
+Mx	時計回り	+	—	傾動なし	0	0
+My	傾動なし	0	0	時計回り	+	—
+Mz	時計回り	+	—	時計回り	+	—

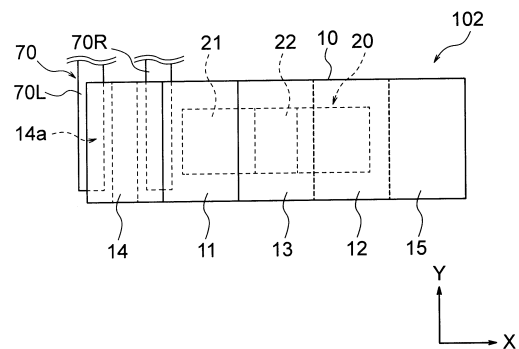
力/モーメント	第5傾動部 713E	D51	D52	第6傾動部 713F	D61	D62
+Fx	(時計回り)	(+)	(-)	時計回り	+	-
+Fy	時計回り	+	-	(時計回り)	(+)	(-)
+Fz	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+Mx	傾動なし	0	0	時計回り	+	-
+My	反時計回り	-	+	傾動なし	0	0
+Mz	時計回り	+	-	時計回り	+	-

カ/モーメント	第7傾動部 713G	D71	D72	第8傾動部 713H	D81	D82
+Fx	時計回り	+	-	(時計回り)	(+)	(-)
+Fy	(反時計回り)	(-)	(+)	反時計回り	-	+
+Fz	時計回り	+	-	反時計回り	-	+
+Mx	反時計回り	-	+	傾動なし	0	0
+My	傾動なし	0	0	反時計回り	-	+
+Mz	時計回り	+	-	時計回り	+	-

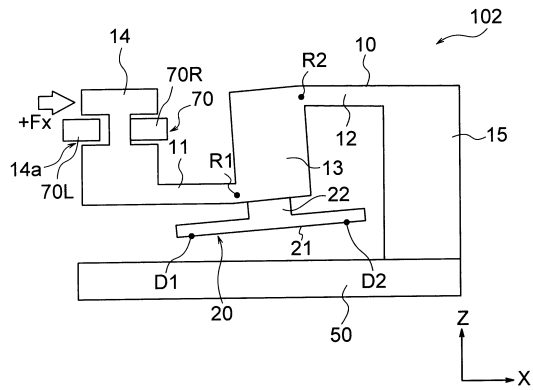
【 図 4 5 】



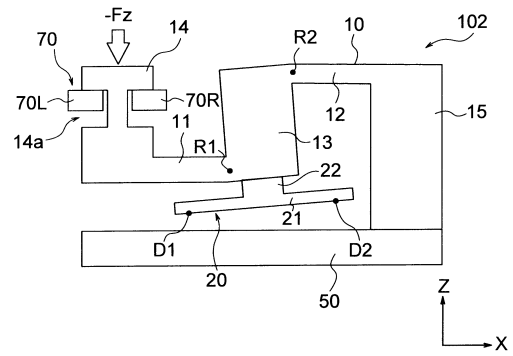
【 図 4 6 】



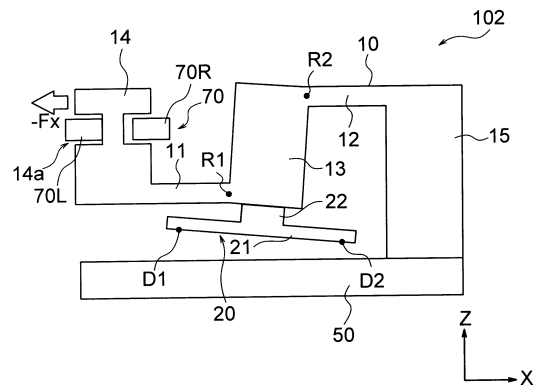
【図 47】



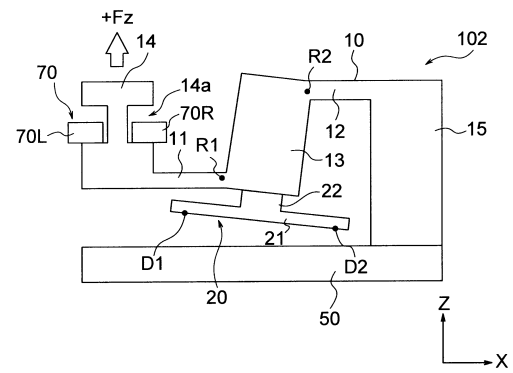
【図 49】



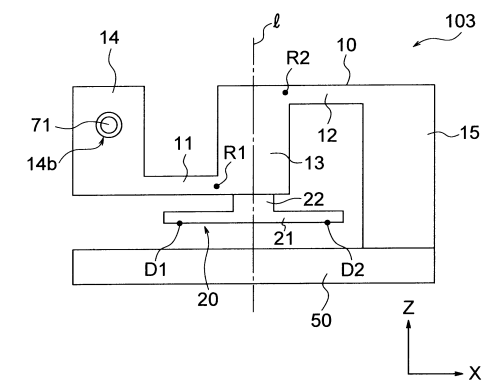
【図 48】



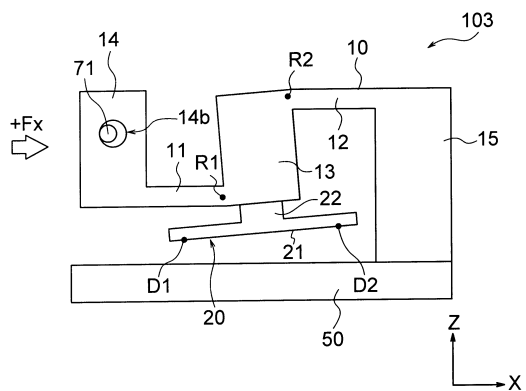
【図 50】



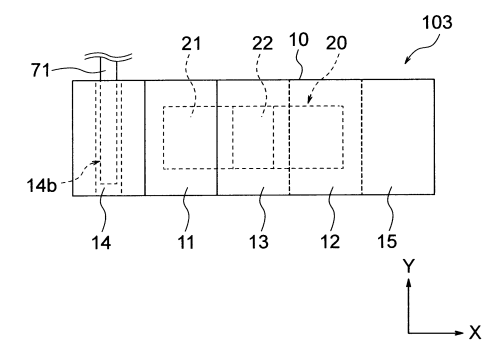
【図 51】



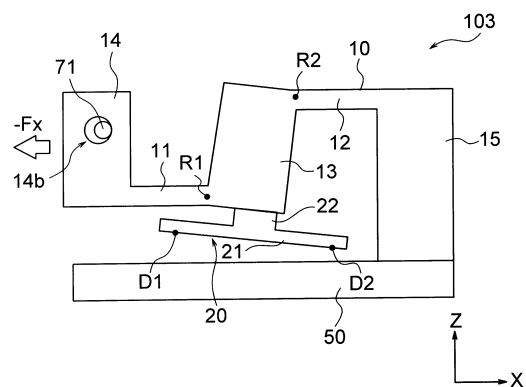
【図 53】



【図 52】

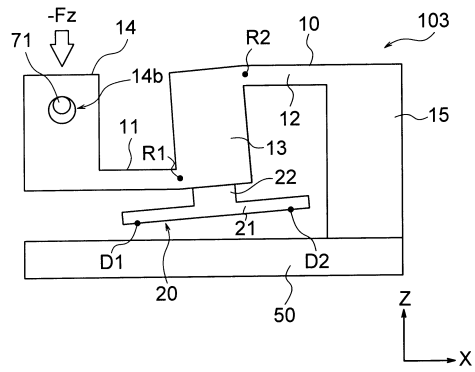


【図 54】

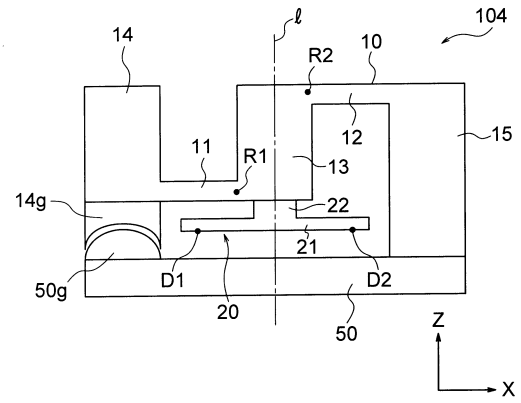




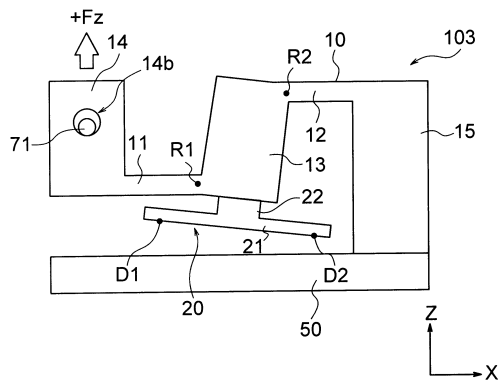
【図 5 5】



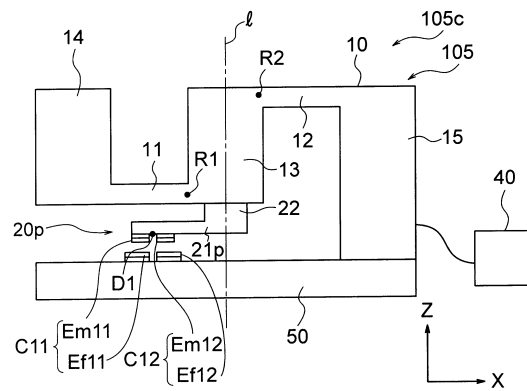
【図 5 7】



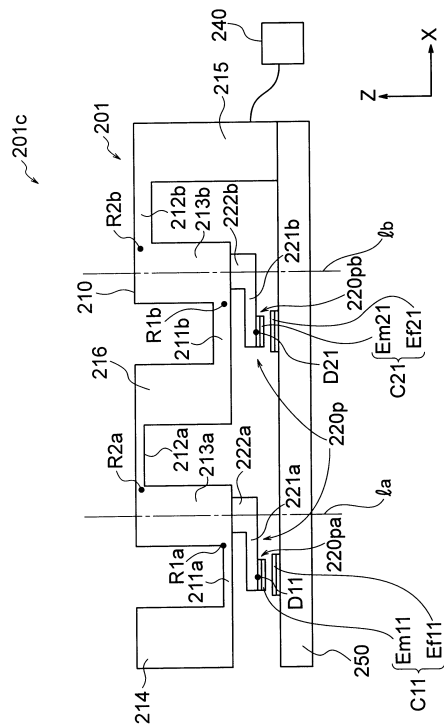
【図 5 6】



【図 5 8】



【図 5 9】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 岡田 和廣  
埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地 株式会社トライフォース・マネジメント内
- (72)発明者 岡田 美穂  
埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地 株式会社トライフォース・マネジメント内
- (72)発明者 江良 聡  
埼玉県上尾市菅谷4丁目27番地 株式会社トライフォース・マネジメント内

審査官 大森 努

- (56)参考文献 特許第6002868(JP, B1)  
特開2016-050883(JP, A)  
国際公開第2017/097304(WO, A1)  
特許第6241982(JP, B1)  
特表2017-506737(JP, A)  
特開平05-215627(JP, A)  
特開2012-237570(JP, A)  
特開2014-115267(JP, A)  
特開2016-070824(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 5/16, 5/165, 5/166, 5/169  
G01L 1/12, 1/14, 1/24, 25/00  
G01G 3/00