

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-102012

(P2017-102012A)

(43) 公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)

(51) Int.Cl.

G01L 5/16 (2006.01)

F1

G01L 5/16

テーマコード(参考)

2F051

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-235179 (P2015-235179)
 (22) 出願日 平成27年12月1日 (2015.12.1)

(71) 出願人 000004204
 日本精工株式会社
 東京都品川区大崎1丁目6番3号
 (74) 代理人 110002147
 特許業務法人酒井国際特許事務所
 (72) 発明者 田淵 絢子
 神奈川県藤沢市鵠沼神明1-5-50 日
 本精工株式会社内
 (72) 発明者 勅使河原 誠一
 神奈川県藤沢市鵠沼神明1-5-50 日
 本精工株式会社内
 (72) 発明者 飛田 和輝
 神奈川県藤沢市鵠沼神明1-5-50 日
 本精工株式会社内
 Fターム(参考) 2F051 AA10 AB03 BA07 DA03 DB03

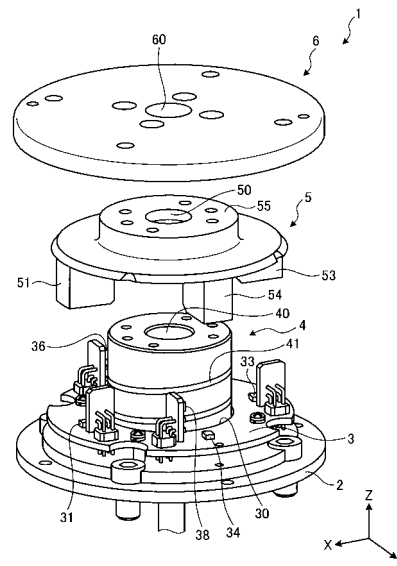
(54) 【発明の名称】 力覚センサ

(57) 【要約】

【課題】 検出の応答性を向上させることができ且つ6つの外力を検出できる力覚センサを提供すること。

【解決手段】 力覚センサは、支持体と、支持体に支持される第1基板と、一端が支持体に支持され且つ他端が移動可能な弾性体と、弾性体に支持されており第1基板に対向する第2基板と、第1基板に設けられた第1センサから第8センサと、第2基板に設けられており、第1基板に向かって突出する第1突起から第4突起と、を備える。Z軸方向で、第1センサが第1突起に対向しており、第2センサが第2突起に対向しており、第3センサが第3突起に対向しており、第4センサが第4突起に対向している。Y軸方向で、第5センサが第1突起に対向しており、第7センサが第3突起に対向している。X軸方向で、第6センサが第2突起に対向しており、第8センサが第4突起に対向している。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持体と、
 前記支持体に支持される第 1 基板と、
 一端が前記支持体に支持され且つ他端が移動可能な弾性体と、
 前記弾性体に支持されており、前記第 1 基板に対向する第 2 基板と、
 前記第 1 基板に設けられた第 1 センサ、第 2 センサ、第 3 センサ、第 4 センサ、第 5 センサ、第 6 センサ、第 7 センサ及び第 8 センサと、
 前記第 2 基板に設けられており、前記第 1 基板に向かって突出する第 1 突起、第 2 突起、第 3 突起及び第 4 突起と、
 を備え、
 前記第 1 基板に対して直交する Z 軸方向で、前記第 1 センサが前記第 1 突起に対向しており、前記第 2 センサが前記第 2 突起に対向しており、前記第 3 センサが前記第 3 突起に対向しており、前記第 4 センサが前記第 4 突起に対向しており、
 前記 Z 軸方向に対して直交する Y 軸方向で、前記第 5 センサが前記第 1 突起に対向しており、前記第 7 センサが前記第 3 突起に対向しており、
 前記 Z 軸方向及び前記 Y 軸方向に対して直交する X 軸方向で、前記第 6 センサが前記第 2 突起に対向しており、前記第 8 センサが前記第 4 突起に対向している
 力覚センサ。

10

【請求項 2】

前記第 1 センサ、前記第 2 センサ、前記第 3 センサ及び前記第 4 センサは、前記 Z 軸方向から見て、前記弾性体を中心とした周方向で等間隔に配置されている請求項 1 に記載の力覚センサ。

20

【請求項 3】

前記弾性体は、前記 Z 軸方向に沿った軸を中心とした螺旋状のスリットを備える請求項 1 又は 2 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、外力を検出することができる力覚センサに関する。

30

【背景技術】

【0002】

外力によって生じる構造体の変位をセンサで検出し、センサの検出結果を演算処理することで構造体に加えられた外力を検出する力覚センサが知られている。特に、外力によって生じる構造体の変位を光学式センサで検出する力覚センサが特許文献 1 に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2015 - 129740 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の力覚センサは、X 軸廻りのモーメント (M_x)、Y 軸廻りのモーメント (M_y)、Z 軸廻りのモーメント (M_z) 及び Z 軸方向の力 (F_z) の 4 つの外力を検出でき、且つこれらの外力検出の応答性を向上させることができる。ところで、力覚センサの用途によっては、上記の 4 つの力に X 軸方向の力 (F_x) 及び Y 軸方向の力 (F_y) を加えた 6 つの力を検出できる力覚センサが求められる。

【0005】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであって、検出の応答性を向上させること

50

ができ且つ6つの外力を検出できる力覚センサを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記の目的を達成するため、本発明に係る力覚センサは、支持体と、前記支持体に支持される第1基板と、一端が前記支持体に支持され且つ他端が移動可能な弾性体と、前記弾性体に支持されており、前記第1基板に対向する第2基板と、前記第1基板に設けられた第1センサ、第2センサ、第3センサ、第4センサ、第5センサ、第6センサ、第7センサ及び第8センサと、前記第2基板に設けられており、前記第1基板に向かって突出する第1突起、第2突起、第3突起及び第4突起と、を備え、前記第1基板に対して直交するZ軸方向で、前記第1センサが前記第1突起に対向しており、前記第2センサが前記第2突起に対向しており、前記第3センサが前記第3突起に対向しており、前記第4センサが前記第4突起に対向しており、前記Z軸方向に対して直交するY軸方向で、前記第5センサが前記第1突起に対向しており、前記第7センサが前記第3突起に対向しており、前記Z軸方向及び前記Y軸方向に対して直交するX軸方向で、前記第6センサが前記第2突起に対向しており、前記第8センサが前記第4突起に対向している。

10

【0007】

これにより、力覚センサは、第1センサ、第2センサ、第3センサ、第4センサ、第5センサ、第6センサ、第7センサ及び第8センサの各センサ出力の変化に基づいて、6つの外力を検出できる。さらに、6つの外力のそれぞれは、各センサ出力の変化分の加算又は減算によって求められる。このため、6つの外力を求めるための演算処理が容易である。

20

【0008】

また、本発明の望ましい態様として、前記第1センサ、前記第2センサ、前記第3センサ及び前記第4センサは、前記Z軸方向から見て、前記弾性体を中心とした周方向で等間隔に配置されていることが好ましい。

【0009】

これにより、X軸廻りのモーメント又はY軸廻りのモーメントが作用したとき、第1センサ、第2センサ、第3センサ及び第4センサの各センサ出力のうち2つのセンサ出力が変化する一方、残り2つのセンサ出力は変化しない。このため、力覚センサは、2つのセンサ出力の変化に基づいてX軸廻りのモーメントを検出でき、残りの2つのセンサ出力の変化に基づいてY軸廻りのモーメントを検出できる。したがって、X軸廻りのモーメント及びY軸廻りのモーメントを求めるための演算が容易である。

30

【0010】

また、本発明の望ましい態様として、前記弾性体は、前記Z軸方向に沿った軸を中心とした螺旋状のスリットを備えることが好ましい。

【0011】

これにより、弾性体において、X軸方向、Y軸方向及びZ軸方向への変位が生じやすくなり、且つX軸廻り、Y軸廻り及びZ軸廻りの傾斜が生じやすくなる。このため、第1センサ、第2センサ、第3センサ、第4センサ、第5センサ、第6センサ、第7センサ及び第8センサの各センサ出力の変化分が大きくなる。したがって、力覚センサの検出精度が向上する。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、検出の応答性を向上させることができ且つ6つの外力を検出できる力覚センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、本実施形態に係る力覚センサを示す斜視図である。

【図2】図2は、本実施形態に係る力覚センサの分解図である。

50

【図 3】図 3 は、本実施形態に係る第 2 基板を示す斜視図である。

【図 4】図 4 は、本実施形態に係る第 1 基板を示す平面図である。

【図 5】図 5 は、図 4 における A 矢視図を示す。

【図 6】図 6 は、本実施形態に係るセンサ及び突起を示す模式平面図である。

【図 7】図 7 は、図 6 における B 矢視図を示す。

【図 8】図 8 は、図 6 における C 矢視図を示す。

【図 9】図 9 は、本実施形態に係る上板に X 軸方向の力が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

【図 10】図 10 は、本実施形態に係る上板に Y 軸方向の力が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

10

【図 11】図 11 は、本実施形態に係る上板に Z 軸方向の力が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

【図 12】図 12 は、本実施形態に係る上板に X 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

【図 13】図 13 は、本実施形態に係る上板に Y 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

【図 14】図 14 は、本実施形態に係る上板に Z 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。

【図 15】図 15 は、本実施形態に係る演算処理部を示すブロック図である。

【図 16】図 16 は、本実施形態に係る演算処理部を示す構成図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。

【0015】

（実施形態）

図 1 は、本実施形態に係る力覚センサを示す斜視図である。力覚センサ 1 は、加えられた外力を検出することができる装置である。力覚センサ 1 は、例えば産業用ロボットのアームの先端にあるハンドに取り付けられ、ハンドに作用する力を検出する。力覚センサ 1 が検出した力は、産業用ロボットを駆動するモータ等の制御に用いられる。具体的には、力覚センサ 1 は、加えられた外力の大きさおよび方向を検出し、加えられた外力の大きさおよび方向に応じた制御信号を、モータ等を制御する制御部に送ることができる。図 1 に示すように、力覚センサ 1 は、支持体 2 と、弾性体 4 と、第 1 基板 3 と、第 2 基板 5 と、天板 6 と、を備える。

30

【0016】

図 2 は、本実施形態に係る力覚センサの分解図である。支持体 2 は、円盤状の部材であって、アルミニウム等の金属で形成されている。支持体 2 は、産業用ロボットのアームの先端にあるハンドに固定される。また、支持体 2 の中央部には孔が設けられている。以下の説明において、支持体 2 に対して直交する Z 軸と、Z 軸に対して直交する X 軸、Z 軸および X 軸に対して直交する Y 軸と、からなる直交座標系が用いられる。

40

【0017】

図 2 に示すように、弾性体 4 は、例えば円盤状の部材であって、アルミニウム等の金属で形成されている。弾性体 4 は、支持体 2 に固定されている。より具体的には、弾性体 4 の一方の端面が支持体 2 に固定されている。弾性体 4 の中央部には、Z 軸方向で支持体 2 の孔に重なる孔 40 が設けられている。また、弾性体 4 は、Z 軸を中心とした螺旋状のスリット 41 を備える。言い換えると、弾性体 4 の形状はコイルバネ状である。弾性体 4 に外力が作用すると、弾性体 4 の支持体 2 に固定された一方の端面には変位が生じず、他方の端面に変位が生じる。例えば、弾性体 4 に X 軸方向の力が作用すれば他方の端面が X 軸

50

方向に移動する。弾性体 4 に Y 軸方向の力が作用すれば他方の端面が Y 軸方向に移動する。弾性体 4 に Z 軸方向の力が作用すれば他方の端面が Z 軸方向に移動する。また、弾性体 4 に X 軸廻りのモーメントが作用すれば他方の端面が X 軸廻りに傾斜する。弾性体 4 に Y 軸廻りのモーメントが作用すれば他方の端面が Y 軸廻りに傾斜する。弾性体 4 に Z 軸廻りのモーメントが作用すれば他方の端面が Z 軸廻りに傾斜する。

【 0 0 1 8 】

図 2 に示すように、第 1 基板 3 は、例えば円盤状の部材であって、樹脂で形成されたプリント基板である。第 1 基板 3 は、支持体 2 に固定されている。第 1 基板 3 の中央部には孔 3 0 が設けられており、弾性体 4 が孔 3 0 を貫通している。第 1 基板 3 は支持体 2 に固定されているので、弾性体 4 に外力が作用するとき第 1 基板 3 には変位が生じない。

10

【 0 0 1 9 】

図 2 及び図 3 に示すように、第 2 基板 5 は、例えば円盤状の部材であって、アルミニウム等の金属で形成されている。第 2 基板 5 は、弾性体 4 に固定されている。より具体的には、弾性体 4 の支持体 2 に固定された端部とは反対側の端部が第 2 基板 5 に設けられた凹部 5 9 に嵌合した状態で、第 2 基板 5 が弾性体 4 に固定されている。第 2 基板 5 は、第 1 基板 3 と Z 軸方向に対向している。第 2 基板 5 の中央部には、Z 軸方向で弾性体 4 の孔 4 0 に重なる孔 5 0 が設けられている。図 3 に示すように、第 2 基板 5 は、第 1 突起 5 1 と、第 2 突起 5 2 と、第 3 突起 5 3 と、第 4 突起 5 4 と、凸部 5 5 と、を備える。第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 は、第 2 基板 5 から第 1 基板 3 に向かって突出する部材であって、例えば Z 軸方向から見て周方向に等間隔に並べられている。例えば、第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 の形状は互いに同じであって、略直方体状である。凸部 5 5 は、第 2 基板 5 から第 1 基板 3 とは反対側に突出する部材であって、例えば Z 軸方向から見て円環状である。以下の説明において、Z 軸方向のうち第 1 基板 3 から第 2 基板 5 に向かう方向を + Z 方向とし、+ Z 方向とは反対方向を - Z 方向とする。

20

【 0 0 2 0 】

図 2 に示すように、天板 6 は、例えば円盤状の部材であって、アルミニウム等の金属で形成されている。天板 6 は、第 2 基板 5 に固定されている。より具体的には、天板 6 に設けられた凹部に凸部 5 5 が嵌合した状態で、天板 6 が第 2 基板 5 に固定されている。天板 6 の中央部には、Z 軸方向で第 2 基板 5 の孔 5 0 に重なる孔 6 0 が設けられている。例えば、天板 6 の外径は、第 2 基板 5 の外径よりも大きく且つ支持体 2 の外径に略等しい。天板 6 に外力が作用すると、天板 6 及び第 2 基板 5 は弾性体 4 の変形に伴って一体に移動する。

30

【 0 0 2 1 】

図 4 は、本実施形態に係る第 1 基板を示す平面図である。図 5 は、図 4 における A 矢視図を示す。図 6 は、本実施形態に係るセンサ及び突起を示す模式平面図である。図 7 は、図 6 における B 矢視図を示す。図 8 は、図 6 における C 矢視図を示す。図 4 及び図 5 に示すように、第 1 基板 3 には第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 が設けられている。第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 は、例えばフォトリフレクタであって、発光部としての発光ダイオード及び受光部としてのフォトランジスタを備える。発光部が照射した光の反射光が受光部に入射し、受光部に入射した反射光強度に応じて受光部から出力されるセンサ出力（電圧）が変化する。また、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の電子部品は、第 1 基板 3 の表面に搭載されている。これにより、力覚センサ 1 が小型化する。

40

【 0 0 2 2 】

図 4 に示すように、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 は、例えば Z 軸方向から見て弾性体 4 を中心とした周方向で等間隔に配置されている

50

。また、第3センサ33は、Z軸方向から見て、弾性体4の中心を通り且つY軸方向に沿った直線L1を対称軸として第1センサ31に対して線対称に配置されている。第4センサ34は、Z軸方向から見て、弾性体4の中心を通り且つX軸方向に沿った直線L2を対称軸として第2センサ32に対して線対称に配置されている。

【0023】

図6から図8に示すように、第1センサ31はZ軸方向で第1突起51に対向し、第2センサ32はZ軸方向で第2突起52に対向し、第3センサ33はZ軸方向で第3突起53に対向し、第4センサ34はZ軸方向で第4突起54に対向している。第1センサ31、第2センサ32、第3センサ33及び第4センサ34の発光部は、+Z方向に光を照射する。第1センサ31の発光部が照射した光は、第1突起51で反射し、第1センサ31の受光部に入射する。第2センサ32の発光部が照射した光は、第2突起52で反射し、第2センサ32の受光部に入射する。第3センサ33の発光部が照射した光は、第3突起53で反射し、第3センサ33の受光部に入射する。第4センサ34の発光部が照射した光は、第4突起54で反射し、第4センサ34の受光部に入射する。天板6に外力が作用していないとき（弾性体4が変形していないとき）、第1センサ31から第1突起51までの距離、第2センサ32から第2突起52までの距離、第3センサ33から第3突起53までの距離、及び第4センサ34から第4突起54までの距離は、図7及び図8に示すように距離H1であって、互いに等しい。

10

【0024】

以下の説明において、X軸方向のうち第3センサ33から第1センサ31に向かう方向を+X方向とし、+X方向とは反対方向を-X方向とする。Y軸方向のうち第2センサ32から第4センサ34に向かう方向を+Y方向とし、+Y方向とは反対方向を-Y方向とする。

20

【0025】

図6に示すように、第5センサ35は、第1センサ31の+Y方向側に配置されている。第6センサ36は、第2センサ32の+X方向側に配置されている。第7センサ37は、第3センサ33の+Y方向側に配置されている。第8センサ38は、第4センサ34の+X方向側に配置されている。また、図4に示すように、第7センサ37は、Z軸方向から見て直線L1を対称軸として第5センサ35に対して線対称に配置されている。第8センサ38は、Z軸方向から見て、直線L2を対称軸として第6センサ36に対して線対称に配置されている。

30

【0026】

図6に示すように、第5センサ35は、Y軸方向で第1突起51に対向している。第5センサ35の発光部は、-Y方向に光を照射する。第5センサ35の発光部が照射した光は、第1突起51で反射し、第5センサ35の受光部に入射する。第6センサ36は、X軸方向で第2突起52に対向している。第6センサ36の発光部は、-X方向に光を照射する。第6センサ36の発光部が照射した光は、第2突起52で反射し、第6センサ36の受光部に入射する。第7センサ37は、Y軸方向で第3突起53に対向している。第7センサ37の発光部は、-Y方向に光を照射する。第7センサ37の発光部が照射した光は、第3突起53で反射し、第7センサ37の受光部に入射する。第8センサ38は、X軸方向で第4突起54に対向している。第8センサ38の発光部は、-X方向に光を照射する。第8センサ38の発光部が照射した光は、第4突起54で反射し、第8センサ38の受光部に入射する。天板6に外力が作用していないとき（弾性体4が変形していないとき）、第5センサ35から第1突起51までの距離、第6センサ36から第2突起52までの距離、第7センサ37から第3突起53までの距離、及び第8センサ38から第4突起54までの距離は、図6に示すように距離D1であって、互いに等しい。

40

【0027】

図9は、本実施形態に係る上板にX軸方向の力が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。図10は、本実施形態に係る上板にY軸方向の力が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。図11は、本実施形態に係る上板にZ軸方向の力

50

が加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。図 1 2 は、本実施形態に係る上板に X 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。図 1 3 は、本実施形態に係る上板に Y 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。図 1 4 は、本実施形態に係る上板に Z 軸廻りのモーメントが加えられた状態における突起の変位を示す模式図である。以下の説明において、天板 6 に外力が作用していない状態、すなわち図 6 から図 8 に示した状態は、単に基準状態と記載される。なお、図 9 から図 1 4 における破線は、天板 6 に外力が作用していないときの第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 の位置を示す。また、図 9 に示す力 F_x の大きさは図 1 0 に示す力 F_y の大きさに等しい。図 1 2 に示すモーメント M_x の大きさは図 1 3 に示すモーメント M_y の大きさに等しい。

10

【0028】

図 9 に示すように、天板 6 に + X 方向に力 F_x が作用すると、弾性体 4 の変形に伴って第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 は + X 方向に移動する。これにより、第 6 センサ 3 6 から第 2 突起 5 2 までの距離、及び第 8 センサ 3 8 から第 4 突起 5 4 までの距離は、図 9 に示すように距離 D_2 となり、互いに等しい。距離 D_2 は距離 D_1 (図 6 参照) よりも小さい。これにより、第 6 センサ 3 6 及び第 8 センサ 3 8 に入射する反射光強度が大きくなる。このため、第 6 センサ 3 6 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力が、基準状態と比較して大きくなる。一方、第 5 センサ 3 5 から第 1 突起 5 1 までの距離、及び第 7 センサ 3 7 から第 3 突起 5 3 までの距離は、距離 D_1 のままである。第 1 センサ 3 1 から第 1 突起 5 1 までの距離、第 2 センサ 3 2 から第 2 突起 5 2 までの距離、第 3 センサ 3 3 から第 3 突起 5 3 までの距離、及び第 4 センサ 3 4 から第 4 突起 5 4 までの距離は、距離 H_1 (図 7 及び図 8 参照) のままである。このため、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5 及び第 7 センサ 3 7 のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板 6 に - X 方向に力 F_x が作用すると、上述した説明とは逆に、第 6 センサ 3 6 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなる。

20

【0029】

図 1 0 に示すように、天板 6 に + Y 方向に力 F_y が作用すると、弾性体 4 の変形に伴って第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 は + Y 方向に移動する。これにより、第 5 センサ 3 5 から第 1 突起 5 1 までの距離、及び第 7 センサ 3 7 から第 3 突起 5 3 までの距離は、図 1 0 に示すように距離 D_2 となり、互いに等しい。距離 D_2 は距離 D_1 (図 6 参照) よりも小さい。これにより、第 5 センサ 3 5 及び第 7 センサ 3 7 に入射する反射光強度が大きくなる。このため、第 5 センサ 3 5 及び第 7 センサ 3 7 のセンサ出力が、基準状態と比較して大きくなる。一方、第 6 センサ 3 6 から第 2 突起 5 2 までの距離、及び第 8 センサ 3 8 から第 4 突起 5 4 までの距離は、距離 D_1 のままである。第 1 センサ 3 1 から第 1 突起 5 1 までの距離、第 2 センサ 3 2 から第 2 突起 5 2 までの距離、第 3 センサ 3 3 から第 3 突起 5 3 までの距離、及び第 4 センサ 3 4 から第 4 突起 5 4 までの距離は、距離 H_1 (図 7 及び図 8 参照) のままである。このため、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 6 センサ 3 6 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板 6 に - Y 方向に力 F_y が作用すると、上述した説明とは逆に、第 5 センサ 3 5 及び第 7 センサ 3 7 のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなる。

30

40

【0030】

図 1 1 に示すように、天板 6 に - Z 方向に力 F_z が作用すると、弾性体 4 の変形に伴って第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 は - Z 方向に移動する。これにより、第 1 センサ 3 1 から第 1 突起 5 1 までの距離、第 2 センサ 3 2 から第 2 突起 5 2 までの距離、第 3 センサ 3 3 から第 3 突起 5 3 までの距離、及び第 4 センサ 3 4 から第 4 突起 5 4 までの距離は、距離 H_2 となり、互いに等しい。距離 H_2 は距離 H_1 (図 7 及び図 8 参照) よりも小さい。これにより、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 に入射する反射光強度が大きくなる。このため、第 1 センサ 3

50

1、第2センサ32、第3センサ33及び第4センサ34のセンサ出力が、基準状態と比較して大きくなる。一方、第5センサ35から第1突起51までの距離、第6センサ36から第2突起52までの距離、第7センサ37から第3突起53までの距離、及び第8センサ38から第4突起54までの距離は、距離D1(図6参照)のままである。このため、第5センサ35、第6センサ36、第7センサ37、第8センサ38のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板6に+Z方向に力Fzが作用すると、上述した説明とは逆に、第1センサ31、第2センサ32、第3センサ33及び第4センサ34のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなる。

【0031】

図12に示すように、天板6にX軸廻りにモーメントMxが作用すると、弾性体4の変形に伴って第2突起52が-Z方向に移動し、第4突起54が+Z方向に移動する。これにより、第2センサ32から第2突起52までの距離が距離H3となり、第4センサ34から第4突起54までの距離が距離H4となる。距離H3は距離H1(図7及び図8参照)よりも小さい。距離H4は距離H1よりも大きい。これにより、第2センサ32に入射する反射光強度が大きくなるので、第2センサ32のセンサ出力が基準状態と比較して大きくなる。第4センサ34に入射する反射光強度が小さくなるので、第4センサ34のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなる。一方、第1センサ31から第1突起51までの距離、及び第3センサ33から第3突起53までの距離は、距離H1のままである。第5センサ35から第1突起51までの距離、第6センサ36から第2突起52までの距離、第7センサ37から第3突起53までの距離、及び第8センサ38から第4突起54までの距離は、距離D1(図6参照)のままである。このため、第1センサ31、第3センサ33、第5センサ35、第6センサ36、第7センサ37、第8センサ38のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板6に図12に示した方向とは逆向きのモーメントMxが作用すると、上述した説明とは逆に、第2センサ32のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなり、且つ第4センサ34のセンサ出力が基準状態と比較して大きくなる。

【0032】

図13に示すように、天板6にY軸廻りにモーメントMyが作用すると、弾性体4の変形に伴って第3突起53が-Z方向に移動し、第1突起51が+Z方向に移動する。これにより、第3センサ33から第3突起53までの距離が距離H3となり、第1センサ31から第1突起51までの距離が距離H4となる。距離H3は距離H1(図7及び図8参照)よりも小さい。距離H4は距離H1よりも大きい。これにより、第3センサ33に入射する反射光強度が大きくなるので、第3センサ33のセンサ出力が基準状態と比較して大きくなる。第1センサ31に入射する反射光強度が小さくなるので、第1センサ31のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなる。一方、第2センサ32から第2突起52までの距離、及び第4センサ34から第4突起54までの距離は、距離H1のままである。第5センサ35から第1突起51までの距離、第6センサ36から第2突起52までの距離、第7センサ37から第3突起53までの距離、及び第8センサ38から第4突起54までの距離は、距離D1(図6参照)のままである。このため、第2センサ32、第4センサ34、第5センサ35、第6センサ36、第7センサ37、第8センサ38のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板6に図13に示した方向とは逆向きのモーメントMyが作用すると、上述した説明とは逆に、第3センサ33のセンサ出力が基準状態と比較して小さくなり、且つ第1センサ31のセンサ出力が基準状態と比較して大きくなる。

【0033】

図14に示すように、天板6にZ軸廻りにモーメントMzが作用すると、弾性体4の変形に伴って第1突起51が+Y方向に移動し、第2突起52が+X方向に移動し、第3突起53が-Y方向に移動し、第4突起54が-X方向に移動する。これにより、第5センサ35から第1突起51までの距離及び第6センサ36から第2突起52までの距離が距離D3となり、第7センサ37から第3突起53までの距離及び第8センサ38から第4

10

20

30

40

50

突起 5 4 までの距離が距離 D 4 となる。距離 D 3 は距離 D 1 (図 6 参照) よりも小さい。距離 D 4 は距離 D 1 よりも大きい。これにより、第 5 センサ 3 5 及び第 6 センサ 3 6 に入射する反射光強度が大きくなるので、第 5 センサ 3 5 及び第 6 センサ 3 6 のセンサ出力が基準状態に比較して大きくなる。第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 に入射する反射光強度が小さくなるので、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力が基準状態に比較して小さくなる。一方、第 1 センサ 3 1 から第 1 突起 5 1 までの距離、第 2 センサ 3 2 から第 2 突起 5 2 までの距離、第 3 センサ 3 3 から第 3 突起 5 3 までの距離、及び第 4 センサ 3 4 から第 4 突起 5 4 までの距離は、距離 H 1 (図 7 及び図 8 参照) のままである。このため、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 のセンサ出力は、基準状態と同じである。また、天板 6 に図 1 4 に示した方向とは逆向きのモーメント M z が作用すると、上述した説明とは逆に、第 5 センサ 3 5 及び第 6 センサ 3 6 のセンサ出力が基準状態に比較して小さくなり、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力が基準状態に比較して大きくなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

図 1 5 は、本実施形態に係る演算処理部を示すブロック図である。図 1 6 は、本実施形態に係る演算処理部を示す構成図である。図 1 5 に示すように、力覚センサ 1 は演算処理部 9 を備える。力覚センサ 1 は、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の各センサ出力を受信する。そして、力覚センサ 1 は、各センサ出力に基づいて天板 6 に作用している外力を演算し、外力の情報を制御部 1 0 0 に送信する。制御部 1 0 0 は、例えば産業用ロボットを駆動するモータを制御する。

【 0 0 3 5 】

図 1 6 に示すように、演算処理部 9 は、マイクロコンピュータ (マイコン) 等のコンピュータであり、入力インターフェース 9 a と、出力インターフェース 9 b と、CPU (Central Processing Unit) 9 c と、ROM (Read Only Memory) 9 d と、RAM (Random Access Memory) 9 e と、内部記憶装置 9 f と、を含んでいる。入力インターフェース 9 a、出力インターフェース 9 b、CPU 9 c、ROM 9 d、RAM 9 e および内部記憶装置 9 f は、内部バスに接続されている。

【 0 0 3 6 】

入力インターフェース 9 a は、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 からの各センサ出力を受信し、CPU 9 c に出力する。出力インターフェース 9 b は、CPU 9 c から外力の情報を受け取り、制御部 1 0 0 に出力する。

【 0 0 3 7 】

ROM 9 d には、BIOS (Basic Input/Output System) 等のプログラムが記憶されている。内部記憶装置 9 f は、例えば HDD (Hard Disk Drive) やフラッシュメモリ等であり、オペレーティングシステムプログラムやアプリケーションプログラムを記憶している。CPU 9 c は、RAM 9 e をワークエリアとして使用しながら ROM 9 d や内部記憶装置 9 f に記憶されているプログラムを実行することにより、種々の機能を実現する。

【 0 0 3 8 】

内部記憶装置 9 f は、各センサ出力に基づいて外力を求めるための係数を記憶している。係数は、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の特性によって定まる定数である。

【 0 0 3 9 】

図 1 5 に示すように、演算処理部 9 は、AD 変換部 9 0 1 と、AD 変換部 9 0 2 と、AD 変換部 9 0 3 と、AD 変換部 9 0 4 と、AD 変換部 9 0 5 と、AD 変換部 9 0 6 と、AD 変換部 9 0 7 と、AD 変換部 9 0 8 と、加算部 9 1 と、減算部 9 2 と、減算部 9 3 と、加算部 9 4 と、加算部 9 5 と、加算部 9 6 と、加算部 9 7 と、減算部 9 8 と、F z 演算部

991と、Mx演算部992と、My演算部993と、Fx演算部994と、Fy演算部995と、Mz演算部996と、を備える。演算処理部9内で行われる各処理は、入力インターフェース9a、出力インターフェース9b、CPU9c、ROM9d、RAM9e及び内部記憶装置9fの組み合わせにより実現される。

【0040】

AD変換部901は、第1センサ31のアナログデータとしてのセンサ出力S1aを受信し、センサ出力S1aをデジタルデータとしてのセンサ出力S1に変換する。AD変換部901は、センサ出力S1を加算部91及び減算部93に出力する。

【0041】

AD変換部902は、第2センサ32のアナログデータとしてのセンサ出力S2aを受信し、センサ出力S2aをデジタルデータとしてのセンサ出力S2に変換する。AD変換部902は、センサ出力S2を加算部91及び減算部92に出力する。

10

【0042】

AD変換部903は、第3センサ33のアナログデータとしてのセンサ出力S3aを受信し、センサ出力S3aをデジタルデータとしてのセンサ出力S3に変換する。AD変換部903は、センサ出力S3を加算部91及び減算部93に出力する。

【0043】

AD変換部904は、第4センサ34のアナログデータとしてのセンサ出力S4aを受信し、センサ出力S4aをデジタルデータとしてのセンサ出力S4に変換する。AD変換部904は、センサ出力S4を加算部91及び減算部92に出力する。

20

【0044】

AD変換部905は、第5センサ35のアナログデータとしてのセンサ出力S5aを受信し、センサ出力S5aをデジタルデータとしてのセンサ出力S5に変換する。AD変換部905は、センサ出力S5を加算部95及び加算部96に出力する。

【0045】

AD変換部906は、第6センサ36のアナログデータとしてのセンサ出力S6aを受信し、センサ出力S6aをデジタルデータとしてのセンサ出力S6に変換する。AD変換部906は、センサ出力S6を加算部94及び加算部96に出力する。

【0046】

AD変換部907は、第7センサ37のアナログデータとしてのセンサ出力S7aを受信し、センサ出力S7aをデジタルデータとしてのセンサ出力S7に変換する。AD変換部907は、センサ出力S7を加算部95及び加算部97に出力する。

30

【0047】

AD変換部908は、第8センサ38のアナログデータとしてのセンサ出力S8aを受信し、センサ出力S8aをデジタルデータとしてのセンサ出力S8に変換する。AD変換部908は、センサ出力S8を加算部94及び加算部97に出力する。

【0048】

以下の説明においては、基準状態におけるセンサ出力S1、センサ出力S2、センサ出力S3、センサ出力S4、センサ出力S5、センサ出力S6、センサ出力S7及びセンサ出力S8の値を0と仮定する。天板6に外力が作用している状態におけるセンサ出力S1、センサ出力S2、センサ出力S3、センサ出力S4、センサ出力S5、センサ出力S6、センサ出力S7及びセンサ出力S8の値を、それぞれs1、s2、s3、s4、s5、s6、s7、s8とする。

40

【0049】

加算部91は、センサ出力S1、センサ出力S2、センサ出力S3及びセンサ出力S4の和を演算する。すなわち、加算部91は、 $(s1 + s2 + s3 + s4)$ を演算する。加算部91は、演算結果であるセンサ出力和S91をFz演算部991に出力する。

【0050】

Fz演算部991は、センサ出力和S91に基づいて力Fzを演算する。力Fzの値をfzとし、センサ出力和S91を力Fzに変換するための係数をとすると、Fz演算部

50

991は下記(1)式の演算を行う。は事前の実験等によって求められた定数である。そして、Fz演算部991は、演算結果である力Fzを制御部100に出力する。

【0051】

$$fz = x(s1 + s2 + s3 + s4) \cdots (1)$$

【0052】

減算部92は、センサ出力S2及びセンサ出力S4の差を演算する。すなわち、減算部92は、(s2 - s4)を演算する。減算部92は、演算結果であるセンサ出力差S92をMx演算部992に出力する。

【0053】

Mx演算部992は、センサ出力差S92に基づいてモーメントMxを演算する。モーメントMxの値をmxとし、センサ出力差S92をモーメントMxに変換するための係数をとすると、Mx演算部992は下記(2)式の演算を行う。は事前の実験等によって求められた定数である。そして、Mx演算部992は、演算結果であるモーメントMxを制御部100に出力する。

10

【0054】

$$mx = x(s2 - s4) \cdots (2)$$

【0055】

減算部93は、センサ出力S1及びセンサ出力S3の差を演算する。すなわち、減算部93は、(s1 - s3)を演算する。減算部93は、演算結果であるセンサ出力差S93をMy演算部993に出力する。

20

【0056】

My演算部993は、センサ出力差S93に基づいてモーメントMyを演算する。モーメントMyの値をmyとし、センサ出力差S93をモーメントMyに変換するための係数をとすると、My演算部993は下記(3)式の演算を行う。は事前の実験等によって求められた定数である。そして、My演算部993は、演算結果であるモーメントMyを制御部100に出力する。

【0057】

$$my = x(s1 - s3) \cdots (3)$$

【0058】

加算部94は、センサ出力S6及びセンサ出力S8の和を演算する。すなわち、加算部94は、(s6 + s8)を演算する。加算部94は、演算結果であるセンサ出力和S94をFx演算部994に出力する。

30

【0059】

Fx演算部994は、センサ出力和S94に基づいて力Fxを演算する。力Fxの値をfxとし、センサ出力和S94を力Fxに変換するための係数をとすると、Fx演算部994は下記(4)式の演算を行う。は事前の実験等によって求められた定数である。そして、Fx演算部994は、演算結果である力Fxを制御部100に出力する。

【0060】

$$fx = x(s6 + s8) \cdots (4)$$

【0061】

加算部95は、センサ出力S5及びセンサ出力S7の和を演算する。すなわち、加算部95は、(s5 + s7)を演算する。加算部95は、演算結果であるセンサ出力和S95をFy演算部995に出力する。

40

【0062】

Fy演算部995は、センサ出力和S95に基づいて力Fyを演算する。力Fyの値をfyとし、センサ出力和S95を力Fyに変換するための係数をとすると、Fy演算部995は下記(5)式の演算を行う。は事前の実験等によって求められた定数である。そして、Fy演算部995は、演算結果である力Fyを制御部100に出力する。

【0063】

$$fy = x(s5 + s7) \cdots (5)$$

50

【 0 0 6 4 】

加算部 9 6 は、センサ出力 S 5 及びセンサ出力 S 6 の和を演算する。すなわち、加算部 9 6 は、 $(s 5 + s 6)$ を演算する。加算部 9 6 は、演算結果であるセンサ出力和 S 9 6 を減算部 9 8 に出力する。

【 0 0 6 5 】

加算部 9 7 は、センサ出力 S 7 及びセンサ出力 S 8 の和を演算する。すなわち、加算部 9 7 は、 $(s 7 + s 8)$ を演算する。加算部 9 7 は、演算結果であるセンサ出力和 S 9 7 を減算部 9 8 に出力する。

【 0 0 6 6 】

減算部 9 8 は、センサ出力和 S 9 6 及びセンサ出力和 S 9 7 の差を演算する。すなわち、減算部 9 8 は、 $\{(s 5 + s 6) - (s 7 + s 8)\}$ を演算する。減算部 9 8 は、演算結果であるセンサ出力差 S 9 8 を M z 演算部 9 9 6 に出力する。

10

【 0 0 6 7 】

M z 演算部 9 9 6 は、センサ出力差 S 9 8 に基づいてモーメント M z を演算する。モーメント M z の値を m z とし、センサ出力差 S 9 8 をモーメント M z に変換するための係数を とすると、M z 演算部 9 9 6 は下記 (6) 式の演算を行う。 は事前の実験等によって求められた定数である。そして、M z 演算部 9 9 6 は、演算結果であるモーメント M z を制御部 1 0 0 に出力する。

【 0 0 6 8 】

$$m z = \quad \times \{(s 5 + s 6) - (s 7 + s 8)\} \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

20

【 0 0 6 9 】

上述したように、力覚センサ 1 は、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 のセンサ出力の変化に基づいて、Z 軸方向の力 F z を検出できる。力覚センサ 1 は、第 2 センサ 3 2 及び第 4 センサ 3 4 のセンサ出力の変化に基づいて、X 軸廻りのモーメント M x を検出できる。力覚センサ 1 は、第 1 センサ 3 1 及び第 3 センサ 3 3 のセンサ出力の変化に基づいて、Y 軸廻りのモーメント M y を検出できる。力覚センサ 1 は、第 6 センサ 3 6 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力の変化に基づいて、X 軸方向の力 F x を検出できる。力覚センサ 1 は、第 5 センサ 3 5 及び第 7 センサ 3 7 のセンサ出力の変化に基づいて、Y 軸方向の力 F y を検出できる。力覚センサ 1 は、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 のセンサ出力の変化に基づいて、Z 軸廻りのモーメント M z を検出できる。すなわち、力覚センサ 1 は 6 つの外力を検出できる。

30

【 0 0 7 0 】

制御部 1 0 0 は、演算処理部 9 から受信した力 F z、モーメント M x、モーメント M y、力 F x、力 F y 及びモーメント M z に基づいてモータを制御する。具体的には、制御部 1 0 0 は、モータの回転方向及び回転数を制御する。

【 0 0 7 1 】

なお、支持体 2、第 1 基板 3、弾性体 4、第 2 基板 5 及び天板 6 の Z 軸方向から見た形状は必ずしも円形でなくてもよく、例えば楕円又は多角形等であってもよい。また、第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 の形状は、必ずしも直方体状でなくてもよく、例えば多角柱等であってもよい。

40

【 0 0 7 2 】

なお、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の位置は、上述した位置からずれていてもよい。また、少なくとも第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 が設けられていればよく、他にセンサが設けられてもよい。

【 0 0 7 3 】

なお、上述した説明では、基準状態における各センサ出力を 0 としたが、基準状態における各センサ出力は実際には 0 とは限らない。例えば、基準状態におけるセンサ出力 S 1

50

、センサ出力 S_2 、センサ出力 S_3 、センサ出力 S_4 、センサ出力 S_5 、センサ出力 S_6 、センサ出力 S_7 及びセンサ出力 S_8 の値がそれぞれ s_{10} 、 s_{20} 、 s_{30} 、 s_{40} 、 s_{50} 、 s_{60} 、 s_{70} 、 s_{80} であると仮定する。そして、天板 6 に外力が作用すると各センサ出力がそれぞれ s_{11} 、 s_{21} 、 s_{31} 、 s_{41} 、 s_{51} 、 s_{61} 、 s_{71} 、 s_{81} に変化すると仮定する。このような場合、上述した (1) 式から (6) 式において s_1 に $(s_{11} - s_{10})$ を代入し、 s_2 に $(s_{21} - s_{20})$ を代入し、 s_3 に $(s_{31} - s_{30})$ を代入し、 s_4 に $(s_{41} - s_{40})$ を代入し、 s_5 に $(s_{51} - s_{50})$ を代入し、 s_6 に $(s_{61} - s_{60})$ を代入し、 s_7 に $(s_{71} - s_{70})$ を代入し、 s_8 に $(s_{81} - s_{80})$ を代入すればよい。

【0074】

以上で説明したように、力覚センサ 1 は、支持体 2 と、支持体 2 に支持される第 1 基板 3 と、一端が支持体 2 に支持され且つ他端が移動可能な弾性体 4 と、弾性体 4 に支持されており、第 1 基板 3 に対向する第 2 基板 5 と、を備える。力覚センサ 1 は、第 1 基板 3 に設けられた第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 を備える。力覚センサ 1 は、第 2 基板 5 に設けられており第 1 基板 3 に向かって突出する第 1 突起 5 1、第 2 突起 5 2、第 3 突起 5 3 及び第 4 突起 5 4 を備える。第 1 基板 3 に対して直交する Z 軸方向で、第 1 センサ 3 1 が第 1 突起 5 1 に対向しており、第 2 センサ 3 2 が第 2 突起 5 2 に対向しており、第 3 センサ 3 3 が第 3 突起 5 3 に対向しており、第 4 センサ 3 4 が第 4 突起 5 4 に対向している。Z 軸方向に対して直交する Y 軸方向で、第 5 センサ 3 5 が第 1 突起 5 1 に対向しており、第 7 センサ 3 7 が第 3 突起 5 3 に対向している。Z 軸方向及び Y 軸方向に対して直交する X 軸方向で、第 6 センサ 3 6 が第 2 突起 5 2 に対向しており、第 8 センサ 3 8 が第 4 突起 5 4 に対向している。

【0075】

これにより、力覚センサ 1 は、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の各センサ出力の変化に基づいて、6 つの外力 (力 F_x 、力 F_y 、力 F_z 、モーメント M_x 、モーメント M_y 、モーメント M_z) を検出できる。さらに、6 つの外力のそれぞれは、各センサ出力の変化分の加算又は減算によって求められる。このため、6 つの外力を求めるための演算処理が容易である。したがって、力覚センサ 1 は、検出の応答性を向上させることができ且つ 6 つの外力を検出できる。

【0076】

さらに、上述した特許文献 1 の技術に比較して、力覚センサ 1 においては第 2 基板 5 の + Z 方向側にセンサが配置されないので、Z 軸方向の厚みが小さくなりやすい。このため、力覚センサ 1 は、特許文献 1 の技術よりも容易に小型化することができる。

【0077】

また、力覚センサ 1 において、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 は、Z 軸方向から見て、弾性体 4 を中心とした周方向で等間隔に配置されている。

【0078】

これにより、X 軸廻りのモーメント M_x 又は Y 軸廻りのモーメント M_y が作用したとき、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3 及び第 4 センサ 3 4 の各センサ出力のうち 2 つのセンサ出力が変化する一方、残り 2 つのセンサ出力は変化しない。このため、力覚センサ 1 は、2 つのセンサ出力の変化に基づいてモーメント M_x を検出でき、残りの 2 つのセンサ出力の変化に基づいてモーメント M_y を検出できる。したがって、モーメント M_x 及びモーメント M_y を求めるための演算が容易である。

【0079】

また、力覚センサ 1 において、弾性体 4 は、Z 軸方向に沿った軸を中心とした螺旋状のスリット 4 1 を備える。

【0080】

10

20

30

40

50

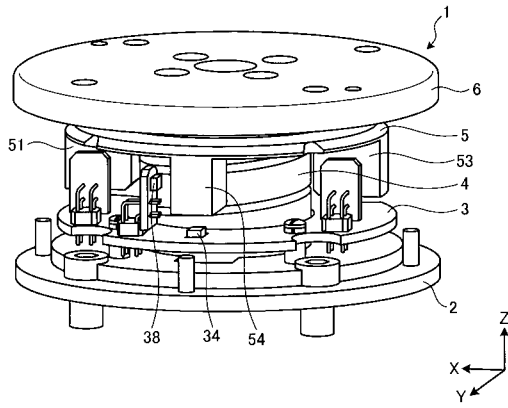
これにより、弾性体 4 において、X 軸方向、Y 軸方向及び Z 軸方向への変位が生じやすくなり、且つ X 軸廻り、Y 軸廻り及び Z 軸廻りの傾斜が生じやすくなる。このため、第 1 センサ 3 1、第 2 センサ 3 2、第 3 センサ 3 3、第 4 センサ 3 4、第 5 センサ 3 5、第 6 センサ 3 6、第 7 センサ 3 7 及び第 8 センサ 3 8 の各センサ出力の変化分が大きくなる。したがって、力覚センサ 1 の検出精度が向上する。

【符号の説明】

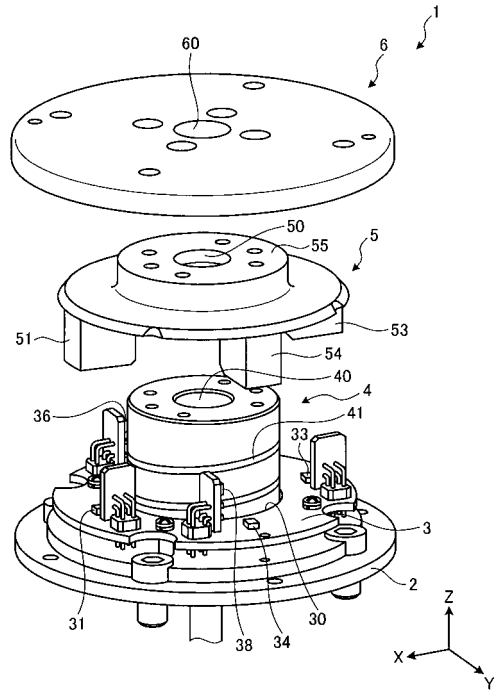
【 0 0 8 1 】

1	力覚センサ	
1 0 0	制御部	
2	支持体	10
3	第 1 基板	
3 0	孔	
3 1	第 1 センサ	
3 2	第 2 センサ	
3 3	第 3 センサ	
3 4	第 4 センサ	
3 5	第 5 センサ	
3 6	第 6 センサ	
3 7	第 7 センサ	
3 8	第 8 センサ	20
4	弾性体	
4 0	孔	
4 1	スリット	
5	第 2 基板	
5 0	孔	
5 1	第 1 突起	
5 2	第 2 突起	
5 3	第 3 突起	
5 4	第 4 突起	
5 5	凸部	30
6	天板	
6 0	孔	
9	演算処理部	
F_x 、 F_y 、 F_z	力	
M_x 、 M_y 、 M_z	モーメント	

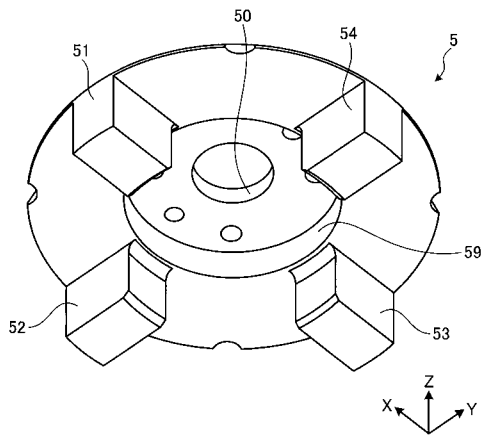
【 図 1 】



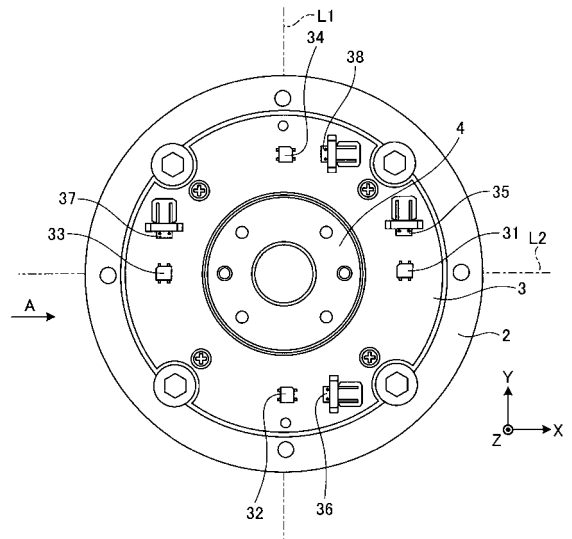
【 図 2 】



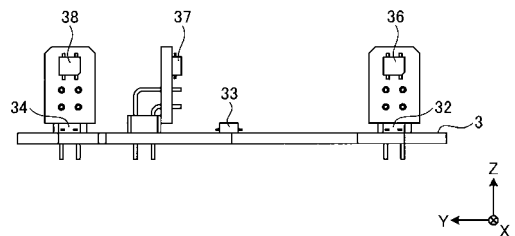
【 図 3 】



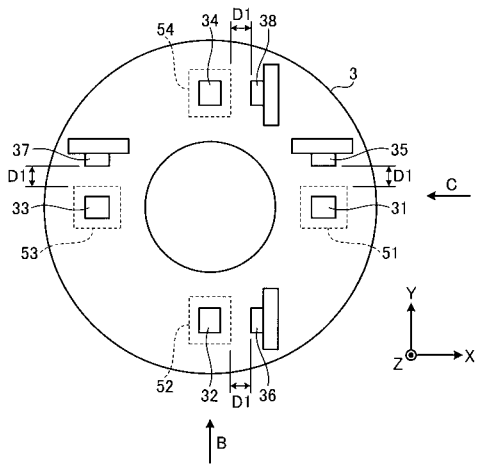
【 図 4 】



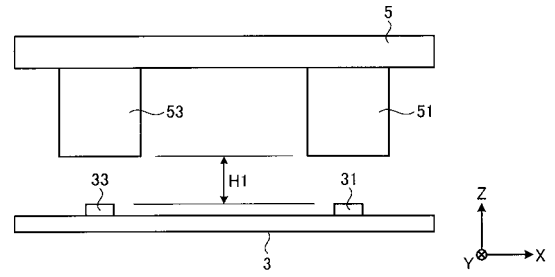
【 図 5 】



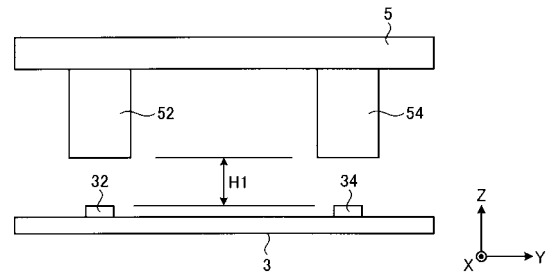
【 図 6 】



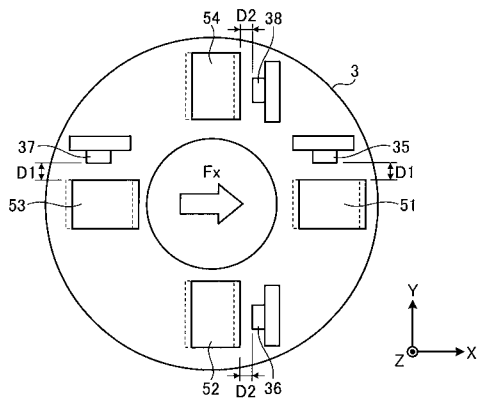
【 図 7 】



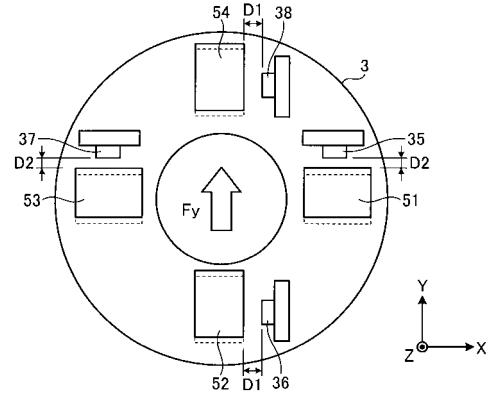
【 図 8 】



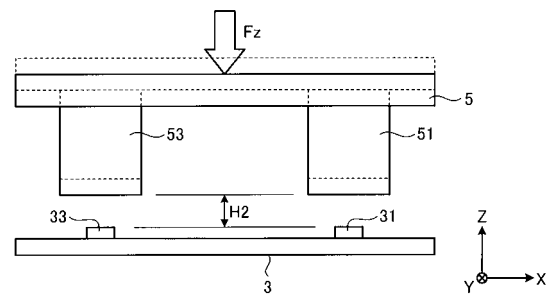
【 図 9 】



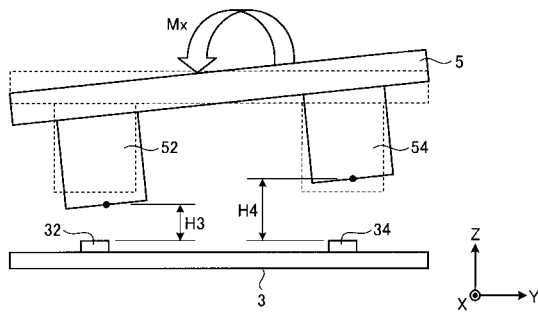
【 図 10 】



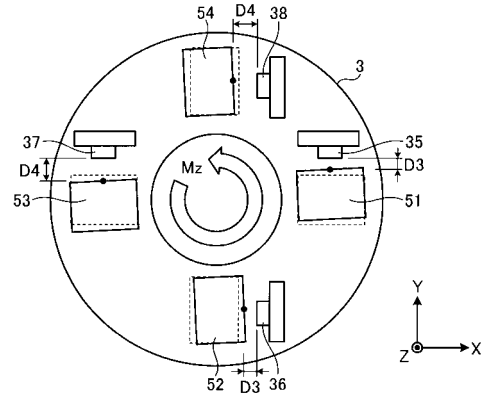
【 図 11 】



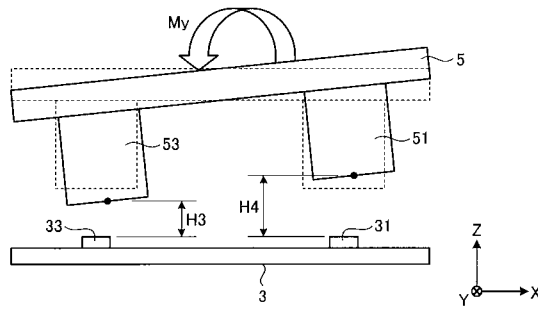
【図12】



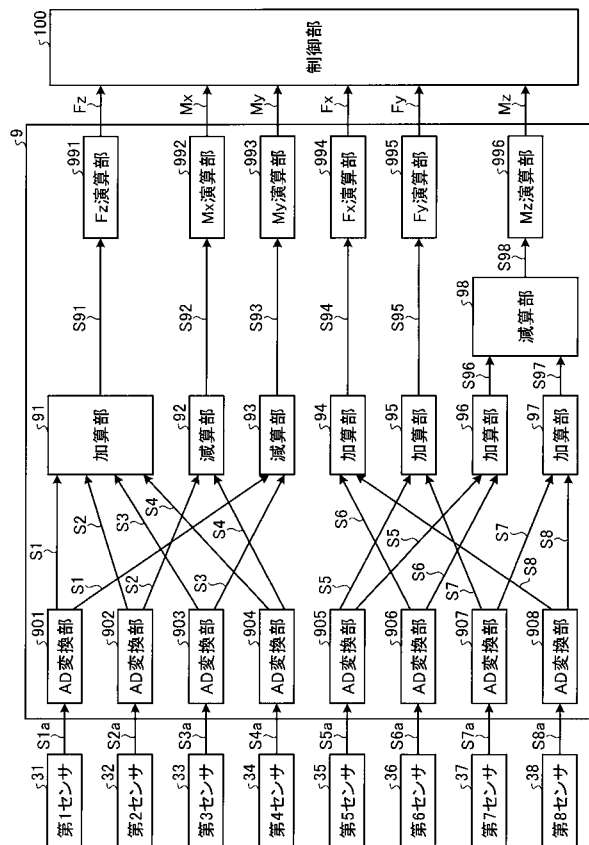
【図14】



【図13】



【図15】



【図16】

