

(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2015-184005

(P2015-184005A)

(43) 公開日 平成27年10月22日(2015.10.22)

(51) Int.Cl.

G O 1 L 1/16 (2006.01)  
G O 1 L 5/16 (2006.01)

F 1

G O 1 L 1/16  
G O 1 L 5/16

B

テーマコード(参考)

2 F 0 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号

特願2014-57663 (P2014-57663)

(22) 出願日

平成26年3月20日 (2014.3.20)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅善

(74) 代理人 100116665

弁理士 渡辺 和昭

(72) 発明者 荒川 豊

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
ーエプソン株式会社内

F ターム(参考) 2F051 AA10 AB08 BA07 DA03 DB03

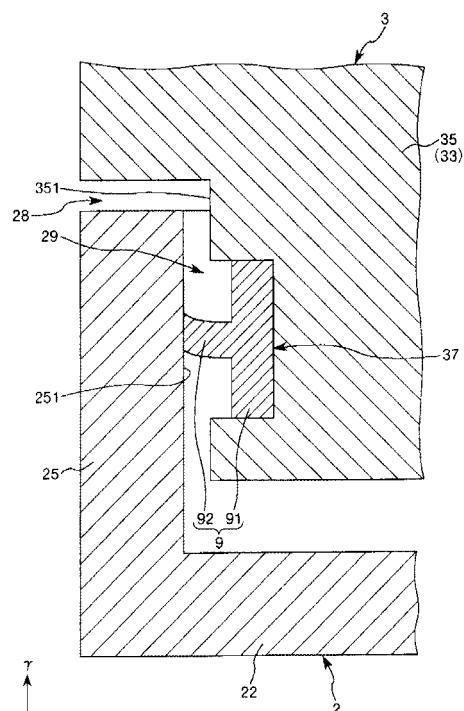
(54) 【発明の名称】力検出装置、およびロボット

## (57) 【要約】

【課題】温度ドリフトへの影響を低減し、優れた検出精度を有する力検出装置、およびロボットを提供することにある。

【解決手段】力検出装置1は、第1基部2と、第1基部2に対して第1方向に沿って配置された第2基部3と、第1方向に直交する第2方向から見て、第1基部2と第2基部3とが重なる部分に設けられ、第1基部2と第2基部3とともに閉空間を形成する封止部材9と、閉空間内に設けられた圧電素子とを備え、封止部材9の縦弾性係数は、第1基部2の縦弾性係数および第2基部3の縦弾性係数よりも高いことを特徴とする。

【選択図】図7



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第1基部と、

前記第1基部に対して第1方向に沿って配置された第2基部と、

前記第1方向に直交する第2方向から見て、前記第1基部と前記第2基部とが重なる部分に設けられ、前記第1基部と前記第2基部とともに閉空間を形成する封止部材と、

前記閉空間内に設けられた圧電素子と、を備え、

前記封止部材の縦弾性係数は、前記第1基部の縦弾性係数および前記第2基部の縦弾性係数よりも高いことを特徴とする力検出装置。

**【請求項 2】**

前記封止部材は、前記第1基部と接する面積が前記第2基部と接する面積よりも小さい請求項1に記載の力検出装置。

**【請求項 3】**

前記封止部材は、第1部位と、前記第1部位よりも前記第1方向に沿った長さが短い第2部位とを有する請求項1または2に記載の力検出装置。

**【請求項 4】**

前記第2方向から見て、前記第1基部の一部は、前記第2基部の全周にわたって、前記第2基部の一部と重なっている請求項1ないし3のいずれか1項に記載の力検出装置。

**【請求項 5】**

前記封止部材は、環状である請求項1ないし4のいずれか1項に記載の力検出装置。

**【請求項 6】**

前記圧電素子は、水晶を含む請求項1ないし5のいずれか1項に記載の力検出装置。

**【請求項 7】**

前記圧電素子を、複数個備えている請求項1ないし6のいずれか1項に記載の力検出装置。

**【請求項 8】**

アームと、

前記アームに設けられたエンドエフェクターと、

前記アームと前記エンドエフェクターの間に設けられ、前記エンドエフェクターに加えられる外力を検出する力検出装置とを備え、

前記力検出装置は、第1基部と、

前記第1基部に対して第1方向に沿って配置された第2基部と、

前記第1方向に直交する第2方向から見て、前記第1基部と前記第2基部とが重なる部分に設けられ、前記第1基部と前記第2基部とともに閉空間を形成する封止部材と、

前記閉空間内に設けられた圧電素子と、を備え、

前記封止部材の縦弾性係数は、前記第1基部の縦弾性係数および前記第2基部の縦弾性係数よりも高いことを特徴とするロボット。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、力検出装置、およびロボットに関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、生産効率向上を目的として、工場等の生産施設への産業用ロボットの導入が進められている。このような産業ロボットとしては、アルミニウム板等の母材に対して機械加工を施す工作機械が代表的である。この工作機械には、機械加工を施す際に、母材に対する力を検出する力検出装置が内蔵されたものがある。

**【0003】**

このような力検出装置の一例として、特許文献1には、加えられた圧力を検出する力検出装置（圧力センサー）について記載されている。この力検出装置は、第1のケースと、

10

20

30

40

50

第1のケースに対向配置された第2のケースと、第1のケースと第2のケースとの隙間を封止するフッ素樹脂等で構成された封止部材（シール部材）と、第1のケースと第2のケースとシール部材とにより画成された圧力検出室内に設けられた検出素子とを備えている。そして、封止部材を設けることにより、圧力検出室の気密性を向上させることができ、異物の侵入を防止できることが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平2013-2945号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に記載の力検出装置では、封止部材が力検出装置の圧縮方向において第1のケースと第2のケースとの間に配置されている。このため、封止部材の熱膨張に起因して出力ドリフトへの影響が大きくなる。その結果、外力が加わっていない場合でも、力検出装置を使用する外部環境の温度変化によって、封止部材の熱膨張に起因する不要信号が出力され、検出精度が低下してしまうという問題がある。

【0006】

そこで、本発明の目的は、温度ドリフトへの影響を低減し、優れた検出精度を有する力検出装置、およびロボットを提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

このような目的は、下記の本発明により達成される。

(適用例1)

本発明に係わる力検出装置は、第1基部と、  
前記第1基部に対して第1方向に沿って配置された第2基部と、  
前記第1方向に直交する第2方向から見て、前記第1基部と前記第2基部とが重なる部分に設けられ、前記第1基部と前記第2基部とともに閉空間を形成する封止部材と、  
前記閉空間内に設けられた圧電素子と、を備え、  
前記封止部材の縦弾性係数は、前記第1基部の縦弾性係数および前記第2基部の縦弾性係数よりも高いことを特徴とする。

30

【0008】

これにより、温度ドリフトの影響を低減し、優れた検出精度を有する力検出装置を提供することができる。

【0009】

(適用例2)

本発明に係わる力検出装置では、前記封止部材は、前記第1基部と接する面積が前記第2基部と接する面積よりも小さいことが好ましい。

【0010】

これにより、第1基部と第2基部とを容易に組み立てることができ、第1基部と第2基部との隙間を封止部材によって、より確実に封止することができる。

40

【0011】

(適用例3)

本発明に係わる力検出装置では、前記封止部材は、第1部位と、前記第1部位よりも前記第1方向に沿った長さが短い第2部位とを有することが好ましい。

【0012】

これにより、第1基部と第2基部とを容易に組み立てることができ、第1基部と第2基部との隙間を封止部材によって、さらに確実に封止することができる。

【0013】

(適用例4)

50

本発明に係わる力検出装置では、前記第2方向から見て、前記第1基部の一部は、前記第2基部の全周にわたって、前記第2基部の一部と重なっていることが好ましい。

【0014】

これにより、第1基部と第2基部との隙間を封止部材によって、より確実に封止することができる。

【0015】

(適用例5)

本発明に係わる力検出装置では、前記封止部材は、環状であることが好ましい。

【0016】

これにより、第1基部と第2基部との隙間を封止部材によって、より確実に封止することができるとともに、封止部材の熱膨張に起因する不要な応力が検出されることを防ぐことができる。

【0017】

(適用例6)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子は、水晶を含むことが好ましい。

【0018】

これにより、力検出装置は、温度の変動による影響を受けにくく、よって、外力を正確に検出することができる。

【0019】

(適用例7)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子を、複数個備えていることが好ましい。

【0020】

これにより、力検出装置に加えられた外力、すなわち、6軸力(、、軸方向の並進力成分および、、軸周りの回転力成分)を検出することができる。

【0021】

(適用例8)

本発明に係わるロボットは、アームと、

前記アームに設けられたエンドエフェクターと、

前記アームと前記エンドエフェクターの間に設けられ、前記エンドエフェクターに加えられる外力を検出する力検出装置とを備え、

前記力検出装置は、第1基部と、

前記第1基部に対して第1方向に沿って配置された第2基部と、

前記第1方向に直交する第2方向から見て、前記第1基部と前記第2基部とが重なる部分に設けられ、前記第1基部と前記第2基部とともに閉空間を形成する封止部材と、

前記閉空間内に設けられた圧電素子と、を備え、

前記封止部材の縦弾性係数は、前記第1基部の縦弾性係数および前記第2基部の縦弾性係数よりも高いことを特徴とする。

【0022】

これにより、ロボットが備える力検出装置が、温度ドリフトの影響を低減し、優れた検出精度を有するため、このようなロボットによれば、外力が正確に検出され、エンドエフェクターによる作業を適正に行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明に係る力検出装置の第1実施形態を示す断面図である。

【図2】図1に示す力検出装置の平面図である。

【図3】図1に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。

【図4】図1に示す力検出装置が備える電荷出力素子を概略的に示す断面図である。

【図5】図1に示す力検出装置の電荷出力素子で検出される力の作用状態を示す概略図である。

【図6】図5中の矢印A方向から見た図ある。

10

20

30

40

50

【図7】図1中的一点鎖線で囲まれた領域[A]の拡大詳細図である。

【図8】封止部材の熱膨張が 軸方向における検出感度に及ぼす影響を検討するために用いた力検出装置の拡大断面図である。

【図9】本発明に係る力検出装置が備える封止部材の他の例を示す断面図である。

【図10】本発明に係る力検出装置の第2実施形態を示す断面図である。

【図11】本発明に係る力検出装置を用いた単腕ロボットの1例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。

1. 力検出装置

10

第1実施形態

図1は、本発明に係る力検出装置の第1実施形態を示す断面図であり、図2は、図1に示す力検出装置の平面図であり、図3は、図1に示す力検出装置を概略的に示す回路図であり、図4は、図1に示す力検出装置が備える電荷出力素子を概略的に示す断面図であり、図5は、図1に示す力検出装置の電荷出力素子で検出される力の作用状態を示す概略図であり、図6は、図5中の矢印A方向から見た図あり、図7は、図1中的一点鎖線で囲まれた領域[A]の拡大詳細図であり、図8は封止部材の熱膨張が 軸方向における検出感度に及ぼす影響を検討するために用いた力検出装置の拡大断面図であり、図9は、本発明に係る力検出装置が備える封止部材の他の例を示す断面図である。

【0025】

20

なお、以下では、図1中の上側を「上」または「上方」、下側を「下」または「下方」と言う。

【0026】

また、図1、図2、図4、図5には、互いに直交する3つの軸として、 $\alpha$ 軸、 $\beta$ 軸および $\gamma$ 軸が図示されている。 $(A)$ 軸に平行な方向を「 $(A)$ 軸方向」、 $(B)$ 軸に平行な方向を「 $(B)$ 軸方向」、 $(C)$ 軸に平行な方向を「 $(C)$ 軸方向」という。また、 $\alpha$ 軸と $\beta$ 軸で規定される平面を「 $\alpha\beta$ 平面」と言い、 $\alpha$ 軸と $\gamma$ 軸で規定される平面を「 $\alpha\gamma$ 平面」と言い、 $\beta$ 軸と $\gamma$ 軸で規定される平面を「 $\beta\gamma$ 平面」と言い、 $\alpha$ 軸と $\gamma$ 軸で規定される平面を「 $\alpha\gamma$ 平面」と言う。また、方向、 $\alpha$ 方向および $\beta$ 方向において、矢印先端側を「+(正)側」、矢印基端側を「-(負)側」とする。

30

【0027】

図1に示す力検出装置1は、力検出装置1に加えられた外力、すなわち、6軸力(、 $\alpha$ 軸方向の並進力成分および $\beta$ 、 $\gamma$ 軸周りの回転力成分)を検出する機能を有する。

【0028】

この力検出装置1は、第1基部(基部)2と、第1基部2から所定の間隔を隔てて配置され、第1基部2に対向する第2基部(基部)3と、第1基部2と第2基部3との間に収納された(設けられた)アナログ回路基板4と、第1基部2と第2基部3との間に収納され(設けられ)、アナログ回路基板4と電気的に接続されたデジタル回路基板5と、アナログ回路基板4に搭載され、外力に応じて信号を出力する電荷出力素子(圧電素子)10および電荷出力素子10を収納するパッケージ(収容部)60を有する4つのセンサーデバイス6と、8つの与圧ボルト(固定部材)71と、を備えている。

40

【0029】

以下に、力検出装置1の各部の構成について詳述する。

なお、以下の説明では、図2に示すように、4つのセンサーデバイス6のうち、図2中の右側に位置するセンサーデバイス6を「センサーデバイス6A」といい、以降反時計回りに順に「センサーデバイス6B」、「センサーデバイス6C」、「センサーデバイス6D」という。

【0030】

図1に示すように、第1基部(ベースプレート)2は、外形が板状をなし、その平面形

50

状は、丸みを帯びた四角形をなす。なお、第1基部2の平面形状は、図示のものに限定されず、例えば円形や四角形外の多角形等であってもよい。

【0031】

第1基部2の下面221は、力検出装置1が例えばロボットに固定されて使用されるときに、当該ロボット(測定対象)に対する取付面(第1取付面)として機能する。

【0032】

この第1基部2は、底板22と、底板22から上方に向かって立設した壁部24とを有している。

【0033】

壁部24は、「L」字状をなし、外方に臨む2つの面にそれぞれ凸部23が突出形成されている。各凸部23の頂面231は、底板22に対して垂直な平面である。また、凸部23には、後述する与圧ボルト71と螺合する雌ネジ241が設けられている(図2参照)。

10

【0034】

図1に示すように、第1基部2に対し所定の間隔を隔てて対向するように、第2基部(カバープレート)3が配置されている。

【0035】

第2基部3も、第1基部2と同様に、その外形が板状をなしている。また、第2基部3の平面形状は、第1基部2の平面形状に対応した形状であることが好ましく、本実施形態では、第2基部3の平面視形状は、第1基部2の平面視形状と同様に、角部が丸みを帯びた四角形をなしている。また、第2基部3は、第1基部2を包含する程度の大きさであるのが好ましい。

20

【0036】

第2基部3の上面321は、力検出装置1が例えばロボットに固定されて使用されるときに、当該ロボットに装着されるエンドエフェクター(測定対象)に対する取付面(第2取付面)として機能する。また、第2基部3の上面321と、前述した第1基部2の下面221とは、外力が付与していない自然状態では平行となっている。

20

【0037】

また、第2基部3は、天板32と、天板32の縁部に形成され、当該縁部から下方に向かって突出した側壁33とを有している。側壁33の内壁面331は、天板32に対して垂直な平面である。そして、第1基部2の頂面231と第2基部3の内壁面331との間には、センサーデバイス6が設けられている。

30

【0038】

また、第1基部2と第2基部3とは、与圧ボルト71により、接続、固定されている。この与圧ボルト71は、図2に示すように、8本(複数)あり、そのうちの2本ずつが各センサーデバイス6の両側に配置されている。なお、1つのセンサーデバイス6に対する与圧ボルト71の数は、2つに限定されず、例えば、3つ以上であってもよい。

40

【0039】

また、与圧ボルト71の構成材料としては、特に限定されず、例えば、各種樹脂材料、各種金属材料等を用いることができる。

40

【0040】

このように与圧ボルト71によって接続された第1基部2と第2基部3とで、センサーデバイス6A~6D、アナログ回路基板4、およびデジタル回路基板5を収納する収納空間を形成している。この収納空間は、円形または角丸正方形の断面形状を有する。

【0041】

また、図1に示すように、第1基部2と第2基部3との間には、センサーデバイス6に接続されたアナログ回路基板4が設けられている。

【0042】

アナログ回路基板4のセンサーデバイス6(具体的には、電荷出力素子10)が配置されている部位には、第1基部2の各凸部23が挿入される孔41が形成されている。この

50

孔 4 1 は、アナログ回路基板 4 を貫通する貫通孔である。

【 0 0 4 3 】

また、図 2 に示すように、アナログ回路基板 4 には各与圧ボルト 7 1 が貫通する貫通孔が設けられており、アナログ回路基板 4 の与圧ボルト 7 1 が貫通する部分（貫通孔）には、樹脂材料等の絶縁材料で構成されたパイプ 4 3 が例えば嵌合により固定されている。

【 0 0 4 4 】

また、図 3 に示すように、センサーデバイス 6 A に接続されたアナログ回路基板 4 は、センサーデバイス 6 A の電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q y 1 を電圧 V y 1 に変換する変換出力回路 9 0 a と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q z 1 を電圧 V z 1 に変換する変換出力回路 9 0 b と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q x 1 を電圧 V x 1 に変換する変換出力回路 9 0 c とを備えている。10

【 0 0 4 5 】

センサーデバイス 6 B に接続されたアナログ回路基板 4 は、センサーデバイス 6 B の電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q y 2 を電圧 V y 2 に変換する変換出力回路 9 0 a と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q z 2 を電圧 V z 2 に変換する変換出力回路 9 0 b と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q x 2 を電圧 V x 2 に変換する変換出力回路 9 0 c とを備えている。

【 0 0 4 6 】

センサーデバイス 6 C に接続されたアナログ回路基板 4 は、センサーデバイス 6 C の電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q y 3 を電圧 V y 3 に変換する変換出力回路 9 0 a と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q z 3 を電圧 V z 3 に変換する変換出力回路 9 0 b と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q x 3 を電圧 V x 3 に変換する変換出力回路 9 0 c とを備えている。20

【 0 0 4 7 】

センサーデバイス 6 D に接続されたアナログ回路基板 4 は、センサーデバイス 6 D の電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q y 4 を電圧 V y 4 に変換する変換出力回路 9 0 a と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q z 4 を電圧 V z 4 に変換する変換出力回路 9 0 b と、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷 Q x 4 を電圧 V x 4 に変換する変換出力回路 9 0 c とを備えている。

【 0 0 4 8 】

また、図 1 に示すように、第 1 基部 2 と第 2 基部 3 との間には、第 1 基部 2 上のアナログ回路基板 4 が設けられている位置とは異なる位置に、アナログ回路基板 4 に接続された支持されたデジタル回路基板 5 が設けられている。図 3 に示すように、デジタル回路基板 5 は、変換出力回路（変換回路）9 0 a、9 0 b、9 0 c に接続された A/D コンバーター 4 0 1 と、A/D コンバーター 4 0 1 に接続された演算部（演算回路）4 0 2 とを有する外力検出回路 4 0 を備えている。30

【 0 0 4 9 】

なお、上述した第 1 基部 2 、第 2 基部 3 、アナログ回路基板 4 の各素子および各配線以外の部位、デジタル回路基板 5 の各素子および各配線以外の部位の構成材料としては、それぞれ、特に限定されず、例えば、各種樹脂材料、各種金属材料等を用いることができる。

【 0 0 5 0 】

また、第 1 基部 2 、第 2 基部 3 は、それぞれ、外形が板状をなす部材で構成されているが、これに限定されず、例えば、一方の基部が板状をなす部材で構成され、他方の基部がプロック状をなす部材で構成されていてもよい。

【 0 0 5 1 】

次に、センサーデバイス 6 について、詳細に説明する。

[ センサーデバイス ]

図 1、図 2 に示すように、センサーデバイス 6 A は、第 1 基部 2 の 4 つの凸部 2 3 のうちの 1 つの凸部 2 3 の頂面 2 3 1 と、この頂面 2 3 1 に対向する内壁面 3 3 1 とによって

10

20

30

40

50

挟持されている。このセンサーデバイス 6 A と同様に、前記と異なる 1 つの凸部 2 3 の頂面 2 3 1 と、この頂面 2 3 1 に対向する内壁面 3 3 1 とによって、センサーデバイス 6 B が挟持されている。また、前記と異なる 1 つの凸部 2 3 の頂面 2 3 1 と、この頂面 2 3 1 に対向する内壁面 3 3 1 とによって、センサーデバイス 6 C が挟持されている。さらに、前記と異なる 1 つの凸部 2 3 の頂面 2 3 1 と、この頂面 2 3 1 に対向する内壁面 3 3 1 によって、センサーデバイス 6 D が挟持されている。

#### 【0052】

なお、以下では、各センサーデバイス 6 A ~ 6 D が第 1 基部 2 および第 2 基部 3 によって挟持されている方向を「挟持方向 S D」という。また、各センサーデバイス 6 A ~ 6 D のうちセンサーデバイス 6 A が挟持されている方向を第 1 挾持方向、センサーデバイス 6 B が挟持されている方向を第 2 挾持方向、センサーデバイス 6 C が挟持されている方向を第 3 挾持方向、センサーデバイス 6 D が挟持されている方向を第 4 挾持方向ということもある。

10

#### 【0053】

なお、本実施形態では、図 1 に示すように、センサーデバイス 6 は、アナログ回路基板 4 の第 2 基部 3 (側壁 3 3) 側に設けられているが、センサーデバイス 6 は、アナログ回路基板 4 の第 1 基部 2 側に設けられていてもよい。

#### 【0054】

また、図 2 に示すように、センサーデバイス 6 A およびセンサーデバイス 6 B と、センサーデバイス 6 C およびセンサーデバイス 6 D とは、第 1 基部 2 の 軸に沿った中心軸 2 7 1 に関して対称的に配置されている。すなわち、センサーデバイス 6 A ~ 6 D は、第 1 基部 2 の中心 2 7 2 回りに等角度間隔に配置されている。このようにセンサーデバイス 6 A ~ 6 D を配置することより、外力を偏りなく検出することができる。

20

#### 【0055】

なお、センサーデバイス 6 A ~ 6 D の配置は図示のものに限定されないが、センサーデバイス 6 A ~ 6 D は、第 2 基部 3 の上面 3 2 1 から見て、第 2 基部 3 の中心部 (中心 2 7 2) からできる限り離した位置に配置されているのが好ましい。これにより、力検出装置 1 に加わる外力を安定して検出することができる。

#### 【0056】

また、本実施形態では、センサーデバイス 6 A ~ 6 D は、全て同じ方向を向いた状態に搭載されているが、センサーデバイス 6 A ~ 6 D の向きは、それぞれ、異なっていてもよい。

30

#### 【0057】

このように配置されたセンサーデバイス 6 は、図 1 に示すように、電荷出力素子 1 0 と、電荷出力素子 1 0 を収納するパッケージ 6 0 とを有している。また、本実施形態では、センサーデバイス 6 A ~ 6 D は、同様の構成である。

#### 【0058】

##### <パッケージ>

図 2 に示すように、パッケージ 6 0 の形状は、特に限定されないが、本実施形態では、平面形状で四角形をなしている。なお、パッケージ 6 0 の他の形状としては、例えば、五角形等の他の多角形、円形、橢円形等が挙げられる。また、パッケージ 6 0 の形状が多角形の場合、例えば、その角部が、丸みを帯びていてもよく、また、斜めに切り欠かれてもよい。

40

#### 【0059】

また、図 1 に示すように、パッケージ 6 0 は、凹部を有する凹状部材 6 1 と、その凹状部材 6 1 に接合された蓋体 6 2 とを有している。

#### 【0060】

凹状部材 6 1 の凹部には、電荷出力素子 1 0 が設置されており、その凹部は、蓋体 6 2 により封止されている。これにより、凹状部材 6 1 と蓋体 6 2 とで電荷出力素子 1 0 を保護することができ、信頼性の高い力検出装置 1 を提供することができる。なお、電荷出力

50

素子 10 の上面は、蓋体 62 に接触している。

【0061】

また、凹状部材 61 は、第1基部 2 側に配置されており、蓋体 62 は、第2基部 3 側に配置されている。そして、第1基部 2 および第2基部 3 が与圧ボルト 71 により固定されることで、凹状部材 61 と蓋体 62 とは、第1基部 2 の頂面 231 と第2基部 3 の内壁面 331 とで挟持方向 SD に挟持されて与圧される。さらに、凹状部材 61 と蓋体 62 とににより、電荷出力素子 10 も挟持方向 SD に挟持されて与圧される。すなわち、電荷出力素子 10 は、パッケージ 60 を介して、1つの凸部 23 の頂面 231 と第2基部 3 の内壁面 331との間で挟持され、与圧されている。

【0062】

また、凹状部材 61 は、その底面が平坦な面であり、第1基部 2 の頂面 231 に当接されるとともに、アナログ回路基板 4 に固定されている。また、凹状部材 61 の底面の端部には、電荷出力素子 10 と電気的に接続された複数の端子（図示せず）が設けられている。当該各端子は、それぞれ、アナログ回路基板 4 と電気的に接続されており、これにより、電荷出力素子 10 とアナログ回路基板 4 とが電気的に接続される。

【0063】

また、蓋体 62 は、本実施形態では、板状をなし、その中央部 625 と外周部 626 との間の部位が屈曲することで、中央部 625 が第2基部 3 に向かって突出している。この中央部 625 は第2基部 3 の内壁面 331 に当接している。また、中央部 625 の形状は、特に限定されないが、本実施形態では、電荷出力素子 10 と同じ形状、すなわち、四角形をなしている。なお、各センサーデバイス 6 の上面 65 および下面是、いずれも平坦な面である。

【0064】

なお、凹状部材 61 の構成材料としては、特に限定されず、例えば、セラミックス等の絶縁性材料等を用いることができる。また、蓋体 62 の構成材料としては、特に限定されず、例えば、ステンレス鋼等の各種の金属材料等を用いることができる。なお、凹状部材 61 の構成材料と蓋体 62 の構成材料は、同一でもよく、また、異なっていてもよい。

【0065】

[電荷出力素子]

電荷出力素子 10 は、力検出装置 1 に加わった外力、すなわち第1基部 2 または第2基部 3 の少なくとも一方の基部に加えられた外力に応じて電荷を出力する機能を有する。なお、第1基部 2 または第2基部 3 のいずれかの基部を外力が加わる基部としてもよいが、本実施形態では、第2基部 3 を外力が加わる基部として説明する。

【0066】

なお、センサーデバイス 6A ~ 6D が備える各電荷出力素子 10 は、同じ構成であるため、1つの電荷出力素子 10 について中心的に説明する。

【0067】

図 4 に示すように、センサーデバイス 6 が備える電荷出力素子 10 は、グランド電極層 11 と、第1のセンサー 12 と、第2のセンサー 13 と、第3のセンサー 14 とを有している。

【0068】

第1のセンサー 12 は、外力（せん断力）に応じて電荷  $Q_x$ （電荷  $Q \times 1$ 、 $Q \times 2$ 、 $Q \times 3$ 、 $Q \times 4$  のいずれか）を出力する機能を有する。第2のセンサー 13 は、外力（圧縮 / 引張力）に応じて電荷  $Q_z$ （電荷  $Q_z 1$ 、 $Q_z 2$ 、 $Q_z 3$ 、 $Q_z 4$ ）を出力する機能を有する。第3のセンサー 14 は、外力（せん断力）に応じて電荷  $Q_y$ （電荷  $Q_y 1$ 、 $Q_y 2$ 、 $Q_y 3$ 、 $Q_y 4$ ）を出力する。

【0069】

また、センサーデバイス 6 が備える電荷出力素子 10 は、グランド電極層 11 と各センサー 12、13、14 は交互に平行に積層されている。以下、この積層された方向を「積層方向 LD」という。この積層方向 LD は、上面 321 の法線  $N_{L_2}$ （または下面 221

10

20

30

40

50

の法線  $N L_1$  ) と直交する方向となっている。また、積層方向  $L D$  は、挟持方向  $S D$  と平行となっている。

#### 【 0 0 7 0 】

また、電荷出力素子 10 の形状は、特に限定されないが、本実施形態では、各側壁 33 の内壁面 331 に対して垂直な方向から見て、四角形をなしている。なお、各電荷出力素子 10 の他の外形形状としては、例えば、五角形等の他の多角形、円形、橢円形等が挙げられる。

#### 【 0 0 7 1 】

以下、グランド電極層 11、第 1 のセンサー 12、第 2 のセンサー 13、および第 3 のセンサー 14 について詳述する。

10

#### 【 0 0 7 2 】

グランド電極層 11 は、グランド（基準電位点）に接地された電極である。グランド電極層 11 を構成する材料は、特に限定されないが、例えば、金、チタニウム、アルミニウム、銅、鉄またはこれらを含む合金が好ましい。これらの中でも特に、鉄合金であるステンレスを用いるのが好ましい。ステンレスにより構成されたグランド電極層 11 は、優れた耐久性および耐食性を有する。

#### 【 0 0 7 3 】

第 1 のセンサー 12 は、積層方向  $L D$  ( 第 1 の挟持方向 ) と直交する、すなわち、法線  $N L_2$  ( 法線  $N L_1$  ) の方向と同じ方向の第 1 検出方向の外力 ( せん断力 ) に応じて電荷  $Q_x$  を出力する機能を有する。すなわち、第 1 のセンサー 12 は、外力に応じて正電荷または負電荷を出力するよう構成されている。

20

#### 【 0 0 7 4 】

第 1 のセンサー 12 は、第 1 の圧電体層 ( 第 1 検出板 ) 121 と、第 1 の圧電体層 121 と対向して設けられた第 2 の圧電体層 ( 第 1 検出板 ) 123 と、第 1 の圧電体層 121 と第 2 の圧電体層 123 との間に設けられた出力電極層 122 を有する。

#### 【 0 0 7 5 】

第 1 の圧電体層 121 は、Y カット水晶板で構成され、互いに直交する結晶軸である  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸を有する。 $y$  軸は、第 1 の圧電体層 121 の厚さ方向に沿った軸であり、 $x$  軸は、図 4 中の紙面奥行き方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 4 中の上下方向に沿った軸である。

30

#### 【 0 0 7 6 】

以下では、これら図示した各矢印の先端側を「+ ( 正 ) 」、基端側を「- ( 負 ) 」として説明する。また、 $x$  軸に平行な方向を「 $x$  軸方向」、 $y$  軸に平行な方向を「 $y$  軸方向」、 $z$  軸に平行な方向を「 $z$  軸方向」という。なお、後述する第 2 の圧電体層 123、第 3 の圧電体層 131、第 4 の圧電体層 133、第 5 の圧電体層 141、および第 6 の圧電体層 143 についても同様である。

#### 【 0 0 7 7 】

水晶により構成された第 1 の圧電体層 121 は、広いダイナミックレンジ、高い剛性、高い固有振動数、高い耐荷重性等の優れた特性を有する。また、Y カット水晶板は、その面方向に沿った外力 ( せん断力 ) に対して電荷を生ずる。

40

#### 【 0 0 7 8 】

そして、第 1 の圧電体層 121 の表面に対し、 $x$  軸の正方向に沿った外 ( せん断力 ) 力が加えられた場合、圧電効果により、第 1 の圧電体層 121 内に電荷が誘起される。その結果、第 1 の圧電体層 121 の出力電極層 122 側表面近傍には正電荷が集まり、第 1 の圧電体層 121 のグランド電極層 11 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 1 の圧電体層 121 の表面に対し、 $x$  軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、第 1 の圧電体層 121 の出力電極層 122 側表面近傍には負電荷が集まり、第 1 の圧電体層 121 のグランド電極層 11 側表面近傍には正電荷が集まる。

#### 【 0 0 7 9 】

第 2 の圧電体層 123 も、Y カット水晶板で構成され、互いに直交する結晶軸である  $x$

50

軸、y軸、z軸を有する。y軸は、第2の圧電体層123の厚さ方向に沿った軸であり、x軸は、図4中の紙面奥行き方向に沿った軸であり、z軸は、図4中の上下方向に沿った軸である。

#### 【0080】

水晶により構成された第2の圧電体層123も第1の圧電体層121と同様に、広いダイナミックレンジ、高い剛性、高い固有振動数、高い耐荷重性等の優れた特性を有し、Yカット水晶板であることにより、その面方向に沿った外力(せん断力)に対して電荷を生ずる。

#### 【0081】

そして、第2の圧電体層123の表面に対し、x軸の正方向に沿った外力(せん断力)が加えられた場合、圧電効果により、第2の圧電体層123内に電荷が誘起される。その結果、第2の圧電体層123の出力電極層122側表面近傍には正電荷が集まり、第2の圧電体層123のグランド電極層11側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第2の圧電体層123の表面に対し、x軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、第2の圧電体層123の出力電極層122側表面近傍には負電荷が集まり、第2の圧電体層123のグランド電極層11側表面近傍には正電荷が集まる。

#### 【0082】

出力電極層122は、第1の圧電体層121内および第2の圧電体層123内に生じた正電荷または負電荷を電荷 $Q_x$ として出力する機能を有する。前述のように、第1の圧電体層121の表面または第2の圧電体層123の表面にx軸の正方向に沿った外力が加えられた場合、出力電極層122近傍には、正電荷が集まる。その結果、出力電極層122からは、正の電荷 $Q_x$ が出力される。一方、第1の圧電体層121の表面または第2の圧電体層123の表面にx軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、出力電極層122近傍には、負電荷が集まる。その結果、出力電極層122からは、負の電荷 $Q_x$ が出力される。

#### 【0083】

また、第1のセンサー12が第1の圧電体層121と第2の圧電体層123とを有する構成となっていることは、第1の圧電体層121および第2の圧電体層123のうちの一方のみと出力電極層122とで構成されている場合と比較して、出力電極層122近傍に集まる正電荷または負電荷を増加させることができる。その結果、出力電極層122から出力される電荷 $Q_x$ を増加させることができる。なお、後述する第2のセンサー13、第3のセンサー14についても同様である。

#### 【0084】

また、出力電極層122の大きさは、第1の圧電体層121および第2の圧電体層123の大きさ以上であることが好ましい。出力電極層122が、第1の圧電体層121または第2の圧電体層123よりも小さい場合、第1の圧電体層121または第2の圧電体層123の一部は出力電極層122と接しない。そのため、第1の圧電体層121または第2の圧電体層123に生じた電荷の一部を出力電極層122から出力できない場合がある。その結果、出力電極層122から出力される電荷 $Q_x$ が減少してしまう。なお、後述する出力電極層132、142についても同様である。

#### 【0085】

第2のセンサー13は、外力(圧縮/引張力)に応じて電荷 $Q_z$ を出力する機能を有する。すなわち、第2のセンサー13は、圧縮力に応じて正電荷を出力し、引張力に応じて負電荷を出力するよう構成されている。

#### 【0086】

第2のセンサー13は、第3の圧電体層(第3基板)131と、第3の圧電体層131と対向して設けられた第4の圧電体層(第3基板)133と、第3の圧電体層131と第4の圧電体層133との間に設けられた出力電極層132を有する

第3の圧電体層131は、Xカット水晶板で構成され、互いに直交するx軸、y軸、z軸を有する。x軸は、第3の圧電体層131の厚さ方向に沿った軸であり、y軸は、図4

10

20

30

40

50

中の上下方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 4 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

#### 【0087】

そして、第 3 の圧電体層 131 の表面に対し、 $x$  軸に平行な圧縮力が加えられた場合、圧電効果により、第 3 の圧電体層 131 内に電荷が誘起される。その結果、第 3 の圧電体層 131 の出力電極層 132 側表面近傍には正電荷が集まり、第 3 の圧電体層 131 のグランド電極層 11 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 3 の圧電体層 131 の表面に対し、 $x$  軸に平行な引張力が加えられた場合、第 3 の圧電体層 131 の出力電極層 132 側表面近傍には負電荷が集まり、第 3 の圧電体層 131 のグランド電極層 11 側表面近傍には正電荷が集まる。

#### 【0088】

第 4 の圧電体層 133 も、X カット水晶板で構成され、互いに直交する  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸を有する。 $x$  軸は、第 4 の圧電体層 133 の厚さ方向に沿った軸であり、 $y$  軸は、図 4 中の上下方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 4 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

#### 【0089】

そして、第 4 の圧電体層 133 の表面に対し、 $x$  軸に平行な圧縮力が加えられた場合、圧電効果により、第 4 の圧電体層 133 内に電荷が誘起される。その結果、第 4 の圧電体層 133 の出力電極層 132 側表面近傍には正電荷が集まり、第 4 の圧電体層 133 のグランド電極層 11 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 4 の圧電体層 133 の表面に対し、 $x$  軸に平行な引張力が加えられた場合、第 4 の圧電体層 133 の出力電極層 132 側表面近傍には負電荷が集まり、第 4 の圧電体層 133 のグランド電極層 11 側表面近傍には正電荷が集まる。

#### 【0090】

出力電極層 132 は、第 3 の圧電体層 131 内および第 4 の圧電体層 133 内に生じた正電荷または負電荷を電荷  $Q_z$  として出力する機能を有する。前述のように、第 3 の圧電体層 131 の表面または第 4 の圧電体層 133 の表面に  $x$  軸に平行な圧縮力が加えられた場合、出力電極層 132 近傍には、正電荷が集まる。その結果、出力電極層 132 からは、正の電荷  $Q_z$  が output される。一方、第 3 の圧電体層 131 の表面または第 4 の圧電体層 133 の表面に  $x$  軸に平行な引張力が加えられた場合、出力電極層 132 近傍には、負電荷が集まる。その結果、出力電極層 132 からは、負の電荷  $Q_z$  が output される。

#### 【0091】

第 3 のセンサー 14 は、積層方向 LD ( 第 2 の挾持方向 ) と直交し、第 1 のセンサー 12 が電荷  $Q_x$  を出力する際に作用する外力の第 1 検出方向と交差する第 2 検出方向の外力 ( せん断力 ) に応じて電荷  $Q_x$  を出力する機能を有する。すなわち、第 3 のセンサー 14 は、外力に応じて正電荷または負電荷を出力するよう構成されている。

#### 【0092】

第 3 のセンサー 14 は、第 5 の圧電体層 ( 第 2 検出板 ) 141 と、第 5 の圧電体層 141 と対向して設けられた第 6 の圧電体層 ( 第 2 検出板 ) 143 と、第 5 の圧電体層 141 と第 6 の圧電体層 143 との間に設けられた出力電極層 142 を有する。

#### 【0093】

第 5 の圧電体層 141 は、Y カット水晶板で構成され、互いに直交する結晶軸である  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸を有する。 $y$  軸は、第 5 の圧電体層 141 の厚さ方向に沿った軸であり、 $x$  軸は、図 4 中の上下方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 4 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

#### 【0094】

水晶により構成された第 5 の圧電体層 141 は、広いダイナミックレンジ、高い剛性、高い固有振動数、高い耐荷重性等の優れた特性を有する。また、Y カット水晶板は、その面方向に沿った外力 ( せん断力 ) に対して電荷を生ずる。

#### 【0095】

そして、第 5 の圧電体層 141 の表面に対し、 $x$  軸の正方向に沿った外力が加えられた場合、圧電効果により、第 5 の圧電体層 141 内に電荷が誘起される。その結果、第 5 の

10

20

30

40

50

圧電体層 141 の出力電極層 142 側表面近傍には正電荷が集まり、第 5 の圧電体層 141 のグランド電極層 11 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 5 の圧電体層 141 の表面に対し、x 軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、第 5 の圧電体層 141 の出力電極層 142 側表面近傍には負電荷が集まり、第 5 の圧電体層 141 のグランド電極層 11 側表面近傍には正電荷が集まる。

#### 【0096】

第 6 の圧電体層 143 も、Y カット水晶板で構成され、互いに直交する結晶軸である x 軸、y 軸、z 軸を有する。y 軸は、第 6 の圧電体層 143 の厚さ方向に沿った軸であり、x 軸は、図 4 中の上下方向に沿った軸であり、z 軸は、図 4 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

10

#### 【0097】

水晶により構成された第 6 の圧電体層 143 も第 5 の圧電体層 141 と同様に、広いダイナミックレンジ、高い剛性、高い固有振動数、高い耐荷重性等の優れた特性を有し、Y カット水晶板であることにより、その面方向に沿った外力（せん断力）に対して電荷を生ずる。

#### 【0098】

そして、第 6 の圧電体層 143 の表面に対し、x 軸の正方向に沿った外力が加えられた場合、圧電効果により、第 6 の圧電体層 143 内に電荷が誘起される。その結果、第 6 の圧電体層 143 の出力電極層 142 側表面近傍には正電荷が集まり、第 6 の圧電体層 143 のグランド電極層 11 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 6 の圧電体層 143 の表面に対し、x 軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、第 6 の圧電体層 143 の出力電極層 142 側表面近傍には負電荷が集まり、第 6 の圧電体層 143 のグランド電極層 11 側表面近傍には正電荷が集まる。

20

#### 【0099】

電荷出力素子 10 では、積層方向 LD から見たとき、第 1 の圧電体層 121 および第 2 の圧電体層 123 の各 x 軸と、第 5 の圧電体層 141 および第 6 の圧電体層 143 の各 x 軸とが交差している。また、積層方向 LD から見たとき、第 1 の圧電体層 121 および第 2 の圧電体層 123 の各 z 軸と、第 5 の圧電体層 141 および第 6 の圧電体層 143 の各 z 軸とが交差している。

30

#### 【0100】

出力電極層 142 は、第 5 の圧電体層 141 内および第 6 の圧電体層 143 内に生じた正電荷または負電荷を電荷  $Q_y$  として出力する機能を有する。前述のように、第 5 の圧電体層 141 の表面または第 6 の圧電体層 143 の表面に x 軸の正方向に沿った外力が加えられた場合、出力電極層 142 近傍には、正電荷が集まる。その結果、出力電極層 142 からは、正の電荷  $Q_y$  が出力される。一方、第 5 の圧電体層 141 の表面または第 6 の圧電体層 143 の表面に x 軸の負方向に沿った外力が加えられた場合、出力電極層 142 近傍には、負電荷が集まる。その結果、出力電極層 142 からは、負の電荷  $Q_y$  が出力される。

#### 【0101】

このように、電荷出力素子 10 では、第 1 のセンサー 12、第 2 のセンサー 13、および第 3 のセンサー 14 は、各センサーの力検出方向が互いに直交するように積層されている。これにより、各センサーは、それぞれ、互いに直交する力成分に応じて電荷を誘起することができる。そのため、電荷出力素子 10 は、x 軸、y 軸および z 軸に沿った各外力のそれぞれに応じて 3 つの電荷  $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $Q_z$  を出力することができる。

40

#### 【0102】

また、電荷出力素子 10 は、上述したように、電荷  $Q_z$  を出力することができるが、力検出装置 1 では、各外力を求める際、電荷  $Q_z$  を用いないことが好ましい。すなわち、力検出装置 1 は、圧縮や引張力を検出せずに、せん断力を検出する装置として用いることが好ましい。これにより、力検出装置 1 の温度変化に起因するノイズ成分を低減することができる。

50

## 【0103】

ここで、外力検出時に電荷  $Q_z$  を用いないことが好ましい理由として、力検出装置 1 を、エンドエフェクターが装着されたアームを有する産業用ロボットに用いた場合を例に挙げて説明する。この場合、アームやエンドエフェクターに設けられたモーター等の発熱源からの熱伝達により、第 1 基部 2 または第 2 基部 3 が加熱されて熱膨張し、変形する。この変形により、電荷出力素子 10 に対する与圧が所定の値から変化してしまう。この電荷出力素子 10 に対する与圧変化が、力検出装置 1 の温度変化に起因するノイズ成分として、電荷  $Q_z$  に著しい影響を及ぼす程度に含まれてしまうからである。

## 【0104】

このようなことから、電荷出力素子 10 は、圧縮や引張力が加えられることで生じる電荷  $Q_z$  を用いずに、せん断力が加えられることで生じる電荷  $Q_x$ 、 $Q_y$  のみを検出することで、温度の変動による影響をより受けにくくすることができる。

## 【0105】

なお、出力された電荷  $Q_z$  は、例えば、与圧ボルト 71 による与圧の調整に用いられる。

## 【0106】

また、本実施形態では、前述した各圧電体層（第 1 の圧電体層 121、第 2 の圧電体層 123、第 3 の圧電体層 131、第 4 の圧電体層 133、第 5 の圧電体層 141、および第 6 の圧電体層 143）は、全て水晶を用いた構成としているが、各圧電体層は、水晶以外の圧電材料を用いた構成であったもよい。水晶以外の圧電材料としては、例えば、トパーズ、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT：Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>）、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム等が挙げられる。しかしながら、各圧電体層は、水晶を用いた構成であることが好ましい。水晶により構成された圧電体層は、広いダイナミックレンジ、高い剛性、高い固有振動数、高い耐荷重性等の優れた特性を有するためである。

## 【0107】

また、前述したように、第 1 基部 2、および第 2 基部 3 とは、与圧ボルト 71 によって固定されている。

## 【0108】

この与圧ボルト 71 による固定は、頂面 231 と内壁面 331 との間に各センサーデバイス 6 を配置した状態で、与圧ボルト 71 を第 2 基部 3 の側壁 33 側から第 1 基部 2 の凸部 23 に向かって差し込み、与圧ボルト 71 の雄ネジ（図示せず）を第 1 基部 2 に形成された雌ネジ 241 に螺合する。このようにして、電荷出力素子 10 は、当該電荷出力素子 10 を収納するパッケージ 60 ごと第 1 基部 2 と第 2 基部 3 とによって所定の大きさの圧力、すなわち、与圧が加えられる。

## 【0109】

なお、第 1 基部 2 と、第 2 基部 3 とは、2つの与圧ボルト 71 により、互いに所定量の変位（移動）が可能のように固定される。第 1 基部 2 と、第 2 基部 3 とが互いに所定量の変位が可能のように固定されることで、力検出装置 1 に外力（せん断力）が加わることで電荷出力素子 10 にせん断力が作用したとき、電荷出力素子 10 を構成する層同士の間での摩擦力が確実に生じ、よって、電荷を確実に検出することができる。また、各与圧ボルト 71 による与圧方向は、積層方向 LD に平行な方向となっている。

## 【0110】

図 5 に示すように、このような構成の電荷出力素子 10 は、その積層方向 LD が、軸に対して傾斜角度  $\theta$  で傾斜している。具体的には、第 1 のセンサー 12 の x 軸および第 3 のセンサー 14 の z 軸が、y 軸に対して傾斜角度  $\theta$  で傾斜している。したがって、本実施形態では、y 軸は、センサーデバイス 6A の電荷出力素子 10 とセンサーデバイス 6B の電荷出力素子 10 とのなす角を二等分する二等分線となっている。

## 【0111】

また、図 6 に示すように、各電荷出力素子 10 は、第 1 のセンサー 12 の x 軸と第 1 基

10

20

30

40

50

部2の底板22とのなす角度をとしたとき、角度が $0^\circ < 90^\circ$ を満足する程度まで傾くのが許容される。なお、図6は、図5中の矢印D方向から見た図であり、軸(底板22の下面221)に対して角度で傾斜した場合の電荷出力素子10を仮想線(2点鎖線)で図示している。

#### 【0112】

次に、各アナログ回路基板4が備える変換出力回路90a、変換出力回路90b、および変換出力回路90cについて詳述する。

#### 【0113】

##### [変換出力回路]

図3に示すように、各変換出力回路90cが、電荷 $Q_x \sim Q_4$ のいずれか(電荷 $Q_x$ )を電圧 $V_x \sim V_4$ のいずれか(代表的に「電圧 $V_x$ 」という)に変換し、各変換出力回路90bが、電荷 $Q_z \sim Q_{z4}$ のいずれか(電荷 $Q_z$ )を電圧 $V_z \sim V_{z4}$ のいずれか(代表的に「電圧 $V_z$ 」という)に変換し、各変換出力回路90aが、電荷 $Q_y \sim Q_{y4}$ のいずれか(電荷 $Q_y$ )を電圧 $V_y \sim V_{y4}$ のいずれか(代表的に「電圧 $V_y$ 」という)に変換する。  
10

#### 【0114】

以下に、変換出力回路90a、90b、90cの構成等について詳述するが、各変換出力回路90a、90b、90cは、同じ構成であるため、以下では、変換出力回路90cについて代表的に説明する。

#### 【0115】

図3に示すように、変換出力回路90cは、電荷出力素子10から出力された電荷 $Q_x$ を電圧 $V_x$ に変換して電圧 $V_x$ を出力する機能を有する。変換出力回路90cは、オペアンプ901と、コンデンサー902と、スイッチング素子903とを有する。オペアンプ901の第1の入力端子(マイナス入力)は、電荷出力素子10の出力電極層122に接続され、オペアンプ901の第2の入力端子(プラス入力)は、グランド(基準電位点)に接地されている。また、オペアンプ901の出力端子は、外力検出回路40に接続されている。コンデンサー902は、オペアンプ901の第1の入力端子と出力端子との間に接続されている。スイッチング素子903は、オペアンプ901の第1の入力端子と出力端子との間に接続され、コンデンサー902と並列接続されている。また、スイッチング素子903は、駆動回路(図示せず)に接続されており、駆動回路からのオン/オフ信号に従い、スイッチング素子903はスイッチング動作を実行する。  
20

#### 【0116】

スイッチング素子903がオフの場合、電荷出力素子10から出力された電荷 $Q_x$ は、静電容量C1を有するコンデンサー902に蓄えられ、電圧 $V_x$ として外力検出回路40に出力される。次に、スイッチング素子903がオンになった場合、コンデンサー902の両端子間が短絡される。その結果、コンデンサー902に蓄えられた電荷 $Q_x$ は、放電されて0ケーロンとなり、外力検出回路40に出力される電圧Vは、0ボルトとなる。スイッチング素子903がオンとなることを、変換出力回路90cをリセットするという。なお、理想的な変換出力回路90cから出力される電圧 $V_x$ は、電荷出力素子10から出力される電荷 $Q_x$ の蓄積量に比例する。  
30

#### 【0117】

スイッチング素子903は、例えば、MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)、その他、半導体スイッチまたはMEMSスイッチ等である。このようなスイッチは、機械式スイッチ(メカスイッチ)と比べて小型および軽量であるので、力検出装置1の小型化および軽量化に有利である。以下、代表例として、スイッチング素子903としてMOSFETを用いた場合を説明する。なお、図3に示すように、このようなスイッチは、変換出力回路90cや、変換出力回路90a、90bに実装されているが、その他、A/Dコンバーター401にも実装することができる。

#### 【0118】

10

20

30

40

50

スイッチング素子 903 は、ドレイン電極、ソース電極、およびゲート電極を有している。スイッチング素子 903 のドレイン電極またはソース電極の一方がオペアンプ 901 の第1の入力端子に接続され、ドレイン電極またはソース電極の他方がオペアンプ 901 の出力端子に接続されている。また、スイッチング素子 903 のゲート電極は、駆動回路(図示せず)に接続されている。

#### 【0119】

各変換出力回路 90a、90b、90c のスイッチング素子 903 には、同一の駆動回路が接続されていてもよいし、それぞれ異なる駆動回路が接続されていてもよい。各スイッチング素子 903 には、駆動回路から、全て同期したオン／オフ信号が入力される。これにより、各変換出力回路 90a、90b、90c のスイッチング素子 903 の動作が同期する。すなわち、各変換出力回路 90a、90b、90c のスイッチング素子 903 のオン／オフタイミングは一致する。

10

#### 【0120】

次に、デジタル回路基板 5 が備える外力検出回路 40 について詳述する。

##### [外力検出回路]

外力検出回路 40 は、各変換出力回路 90a から出力される電圧 V<sub>y1</sub>、V<sub>y2</sub>、V<sub>y3</sub>、V<sub>y4</sub> と、各変換出力回路 90b から出力される電圧 V<sub>z1</sub>、V<sub>z2</sub>、V<sub>z3</sub>、V<sub>z4</sub> と、各変換出力回路 90c から出力される電圧 V<sub>x1</sub>、V<sub>x2</sub>、V<sub>x3</sub>、V<sub>x4</sub> とに基づき、加えられた外力を検出する機能を有する。

20

#### 【0121】

この外力検出回路 40 は、変換出力回路(変換回路) 90a、90b、90c に接続された A/D コンバーター 401 と、A/D コンバーター 401 に接続された演算部(演算回路) 402 とを有する。

#### 【0122】

A/D コンバーター 401 は、電圧 V<sub>x1</sub>、V<sub>y1</sub>、V<sub>z1</sub>、V<sub>x2</sub>、V<sub>y2</sub>、V<sub>z2</sub>、V<sub>x3</sub>、V<sub>y3</sub>、V<sub>z3</sub>、V<sub>x4</sub>、V<sub>y4</sub>、V<sub>z4</sub> をアナログ信号からデジタル信号へ変換する機能を有する。A/D コンバーター 401 によってデジタル変換された電圧 V<sub>x1</sub>、V<sub>y1</sub>、V<sub>z1</sub>、V<sub>x2</sub>、V<sub>y2</sub>、V<sub>z2</sub>、V<sub>x3</sub>、V<sub>y3</sub>、V<sub>z3</sub>、V<sub>x4</sub>、V<sub>y4</sub>、V<sub>z4</sub> は、演算部 402 に入力される。

30

#### 【0123】

演算部 402 は、デジタル変換された電圧 V<sub>x</sub>、V<sub>y</sub>、V<sub>z</sub> に対して、例えば、各変換出力回路 90a、90b、90c 間の感度の差をなくす補正等の各処理を行なう。そして、演算部 402 は、電荷出力素子 10 から出力される電荷 Q<sub>x</sub>、Q<sub>y</sub>、Q<sub>z</sub> の蓄積量に比例する 3 つの信号を出力する。

#### 【0124】

< 軸、軸および軸方向の力検出(力検出方法) >

前述したように、各電荷出力素子 10 は、積層方向 LD と挟持方向 SD とが第1基部 2(底板 22) に対して平行であり、かつ、上面 321 の法線 NL<sub>2</sub> と直交するように設置された状態となっている(図 1 参照)。

40

#### 【0125】

そして、軸方向の力 F<sub>A</sub>、軸方向の力 F<sub>B</sub> および軸方向の力 F<sub>C</sub> は、それぞれ、下記式(1)、(2)および(3)で表すことができる。式(1)～(3)中の「f<sub>x1-1</sub>」は、センサーデバイス 6A の第1のセンサー 12(第1検出板)の x 軸方向に加わる力、すなわち、電荷 Q<sub>x1</sub>(第1の出力)から求められた力であり、「f<sub>x1-2</sub>」は、第3のセンサー 14(第2検出板)の x 軸方向に加わる力、すなわち、電荷 Q<sub>y1</sub>(第2の出力)から求められた力である。また、「f<sub>x2-1</sub>」は、センサーデバイス 6B の第1のセンサー 12(第1検出板)の x 軸方向に加わる力(第3の出力)、すなわち、電荷 Q<sub>x2</sub> から求められた力であり、「f<sub>x2-2</sub>」は、第3のセンサー 14(第2検出板)の x 軸方向に加わる力、すなわち、電荷 Q<sub>y2</sub>(第4の出力)から求められた力である。

50

## 【0126】

$$\begin{aligned} F_A &= f_x_{1-1} \cdot \cos \cdot \cos - f_x_{1-2} \cdot \sin \cdot \cos \\ &\quad - f_x_{2-1} \cdot \cos \cdot \cos + f_x_{2-2} \cdot \sin \cdot \cos \dots (1) \\ F_B &= -f_x_{1-1} \cdot \cos \cdot \sin + f_x_{1-2} \cdot \sin \cdot \sin \\ &\quad - f_x_{2-1} \cdot \cos \cdot \sin + f_x_{2-2} \cdot \sin \cdot \sin \dots (2) \\ F_C &= -f_x_{1-1} \cdot \sin - f_x_{1-2} \cdot \cos - f_x_{2-1} \cdot \sin \\ &\quad - f_x_{2-2} \cdot \cos \dots (3) \end{aligned}$$

## 【0127】

例えば、図1、図2に示す構成の力検出装置1の場合、 $\alpha$ は45°、 $\beta$ は0°となる。式(1)～(3)の $\alpha$ に45°を代入し、 $\beta$ に0°を代入すると、力 $F_A$ ～ $F_C$ は、それぞれ、

$$\begin{aligned} F_A &= f_x_{1-1} / 2 - f_x_{2-1} / 2 \\ F_B &= -f_x_{1-1} / 2 - f_x_{2-1} / 2 \\ F_C &= -f_x_{1-2} - f_x_{2-2} \end{aligned}$$

となる。

## 【0128】

このように力検出装置1では、力 $F_A$ ～ $F_C$ を検出する際、温度の変動による影響を受け易い、すなわち、ノイズが乗り易い第2のセンサー13(電荷 $Q_z$ )を用いずに、その検出を行なうことができる。したがって、力検出装置1は、温度の変動による影響を受けにくく、例えば従来の力検出装置の1/20以下に低減された装置となる。これにより、力検出装置1は、温度変化の激しい環境下でも、力 $F_A$ ～ $F_C$ を正確に安定して検出することができる。

20

## 【0129】

なお、実施形態での力検出装置1全体の並進力 $F_A$ ～ $F_C$ 、および回転力 $M_A$ ～ $M_C$ は、各電荷出力素子10からの電荷に基づいて算出される。また、本実施形態では、電荷出力素子10は4つ設けられているが、電荷出力素子10は少なくとも3つ設けられていれば、回転力 $M_A$ ～ $M_C$ を算出することが可能である。

20

## 【0130】

また、このような構成の力検出装置1は、総重量が1kgよりも軽いものとなる。これにより、力検出装置1の重量を取り付けた手首にかかる負荷を低減させることができ、手首を駆動するアクチュエーターの容量を小さくできる為、手首を小型に設計することができる。さらに、この力検出装置1の重量は、ロボットアームが搬送できる最大能力の20%よりも軽い。これにより、力検出装置1の重量を取り付けたロボットアームの制御を容易にできる。

30

## 【0131】

以上説明したような力検出装置1は、さらに第1基部2と第2基部3との間に、これに接触(密接)して設けられた封止リング(環状の封止部材)9を備えている。この封止リング9により、前述した収納空間が気密的(液密的)に封止され、力検出装置1の内部へ、粉じんや水分等の異物が侵入することを防止することができ、よって、各センサーデバイス6から出力された電荷が漏洩することを防止することができる。

40

## 【0132】

図1および図7に示すように、第1基部2は、底板22から上方に向かって立設した周壁25を有している。この周壁25は、底板22の外縁部に沿って設けられ、四角形の筒状をなしている。

## 【0133】

一方、第2基部3は、側壁33から下方に突出した突出部35を有している。この突出部35は、側壁33の内縁部に沿って設けられ、四角形の筒状をなしている。

## 【0134】

力検出装置1を組み立てた状態(以下、「力検出装置1の組立状態」と言う。)において、突出部35は、図7に示すように、第1基部2の周壁25の内側に位置している。ま

50

た、突出部 35 の外形（外周縁で規定される領域）のサイズは、周壁 25 の内形（内周円で規定される領域）のサイズより小さく設定されている。これにより、突出部 35（第2基部 3 の一部）と周壁 25（第1基部 2 の一部）とは、力検出装置 1 の側方（軸に対し直交する方向）から見て、それらの全周にわたって互いに重なるとともに、突出部 35 と周壁 25 との間には、隙間 29 が形成されている。

#### 【0135】

この突出部 35 と周壁 25 とが重なる部分において、突出部 35 の周壁 25 の内面（第1対向面）251 に臨む面（第2対向面）351 には、その周方向に沿って溝 37 が形成されている。

10

#### 【0136】

なお、溝 37 の縦断面形状は、図示の構成では長方形（矩形）状であるが、これに限定されず、例えば、長方形以外の多角形状や半円形状等であってもよい。

#### 【0137】

この溝 37 内に弾性を有する環状部材で構成された封止リング 9 が、例えば嵌合により設けられている。この封止リング 9 は、軸方向に沿って伸びた筒状の第1部位 91 と、第1部位 91 の軸方向の途中から外方に向かって突出したリブ状の第2部位 92 を有し、その縦断面形状が略 T 字状をなしている。

20

#### 【0138】

また、封止リング 9 の縦弾性係数は、突出部 35（第2基部 3）の縦弾性係数および周壁 25（第1基部 2）の縦弾性係数よりも高い部材である。この封止リング 9 の構成材料としては、特に限定されず、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブチレンテレフタレート等のポリエステル系樹脂、ポリウレタン系樹脂等の各種樹脂材料や、ポリウレタン系熱可塑性エラストマー、ポリエステル系熱可塑性エラストマー、シリコーンゴム、ラテックスゴム等の各種エラストマー等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることができる。

20

#### 【0139】

第1部位 91 は、溝 37 内において突出部 35（第2基部 3）に接触し、第2部位 92 は、第1部位 91 と反対側の端部において、周壁 25（第1基部 2）の第1対向面 251 に接触している。

30

#### 【0140】

かかる構成の封止リング 9 は、周壁 25（第1基部）に接する面積が、突出部 35（第2基部）に接する面積よりも小さくなっている。このため、封止リング 9 は、周壁 25 との接触面積が比較的小さくなるため、封止リング 9 と周壁 25 との間に生じる摩擦力が必要以上に大きくなるのを防止することができる。一方、封止リング 9 は、突出部 35 との接触面積が十分に大きくなるため、これらの間には高い摩擦力（嵌合力を含む）が生じる。

30

#### 【0141】

また、図 7 に示すように、封止リング 9 の第2部位 92 の厚さ（軸方向に沿った長さ）は、第1部位 91 の厚さより小さく（短く）なっている。これにより、第2部位 92 は、十分に高い弾性を有する。

40

#### 【0142】

さらに、本実施形態では、第2部位 92 の溝 37 から突出する部分の長さが、力検出装置 1 の組立状態において、突出部 35 と周壁 25 との間に形成される隙間 29 の幅（平面に沿った方向の長さ）より大きく設定されている。

#### 【0143】

このようなことから、第1基部 2 および第2基部 3 を組み立てる際に、封止リング 9 の第2部位 92 が周壁 25 に接触することにより、上方に向かって折れ曲がるように変形するので、突出部 35 を周壁 25 の内側に確実に挿入すること、すなわち、力検出装置 1 を確実に組立状態とすることができます。なお、このとき、第2部位 92 と周壁 25 との間の摩擦力は十分に低いため、突出部 35 を周壁 25 の内側に容易に挿入することもできる。

50

一方、第1部位91と突出部35との間の摩擦力（嵌合力を含む）は十分に高いため、第1基部2および第2基部3を組み立てる際に、封止リング9が溝37から離脱するのを確実に防止することができる。

#### 【0144】

また、第1基部2と第2基部3とを組み立てた状態では、封止リング9は、その弾性力により、溝37において第1部位91が突出部35に密着（密接）、第2部位92が周壁25の第1対向面251に密着する。このため、力検出装置1の組立状態において、収納空間は、封止リング9により確実に封止される。

#### 【0145】

なお、封止リング9は、自然状態（圧縮される前の状態）では、第2部位92が第1部位91に対してほぼ直交しているが、力検出装置1の組立状態では、周壁25の第1対向面251との摩擦力により、第2部位92の第1部位91と反対側の端部が、第1部位91側の端部より上側に位置するように若干撓んでいる。10

#### 【0146】

かかる構成により次のような効果が得られる。まず、封止リング9は、環状をなしてい20るため、熱膨張により変形しても、その変形（熱膨張）は、周方向にはほぼ均一となる（すなわち、対称性を有する）。このため、平面方向における封止リング9の熱膨張に起因する各センサーデバイス6からの出力は相殺され、力検出装置1の検出感度に大きな影響を及ぼさない。また、封止リング9は、軸方向にほぼ垂直な方向（第2方向）において、第1基部2と第2基部3との間に設けられている。換言すれば、封止リング9は、

軸方向において、第1基部2と第2基部3との間に設けられていない。このため、封止リング9が熱膨張により変形しても、第1基部2と第2基部3とが離間する方向への応力が生じ難い。その結果、力検出装置1の軸方向（第1方向）における検出感度にも大きな影響を及ぼし難い。20

#### 【0147】

一方、封止リング9を、軸方向において第1基部2と第2基部3との間（例えば、図7中隙間28）に設けた力検出装置（すなわち、従来の力検出装置に相当）では、上記と同様の理由から、平面方向における封止リング9の熱膨張に起因する各センサーデバイス6からの出力は相殺され、検出感度に大きな影響を及ぼさないが、軸方向においては、第1基部2と第2基部3とを離間させる方向の応力が生じ、不要な応力として検出されてしまう。30

#### 【0148】

上記のように、封止リング9の熱膨張が、力検出装置1の軸方向における検出感度に及ぼす影響について、発明者らが行った検討結果に基づいて説明する。

#### 【0149】

図8に示すように、本検討では、軸方向において第1基部2と第2基部3との間に封止リング9を配置した場合の力検出装置1A（図8（a）参照）と、軸方向にほぼ垂直な方向において第1基部2と第2基部3との間に封止リング9を配置した場合の力検出装置1B（図8（b）参照）とを用意した。なお、本検討では、縦断面形状が四角形の封止リング9を用いた。そして、外部環境の温度を25から26に変化させときの力検出装置1Aおよび力検出装置1Bの軸方向の出力をそれぞれ検出した。40

#### 【0150】

その結果、力検出装置1Aでは、軸方向の出力が、3.4kg/であった。これに對して、力検出装置1Bでは、軸方向の出力が、-71.8kg/であった。このことから、力検出装置1Aの軸方向の出力が、力検出装置1Bの軸方向の出力よりも21倍程度小さいことが分かった。これにより、本実施形態のように、封止リング9を軸方向にほぼ垂直な方向において第1基部2と第2基部3との間に設けることで、軸方向における検出感度への影響を低減できることが分かった。

#### 【0151】

なお、平面方向における検出感度については、力検出装置1Aと力検出装置1Bと50

の間で大きな差はなかった。

【0152】

なお、上述したような封止リング9は、第1部位91と第2部位92とが一体に形成されたものであるが、第1部位91と第2部位92とを別体に形成し、これらを接着剤による接着、融着することにより得られたものであってもよい。しかしながら、第1部位91と第2部位92との境界部の機械的強度を高くすることができるという観点から、第1部位91と第2部位92とは一体に形成されたものであることが好ましい。

【0153】

また、前述したように、封止リング9は、力検出装置1の組立状態において、周壁25と側壁33とで圧縮されているが、その圧縮される力（ラップ力）の程度は、特に限定されない。かかるラップ力は、封止リング9の弾性力、その形状、力検出装置1の組立状態において突出部35と周壁25との間に形成される隙間29の幅の大きさ等に応じて設定される。

10

【0154】

また、本実施形態では、封止リング9は、第1部位91が突出部35に接触し、第2部位92が周壁25に接触するように設けられているが、第1部位91が周壁25に接触し、第2部位92が突出部35に接触するように設けられていてもよい。

【0155】

また、本実施形態では、突出部35に溝37が設けられているが、突出部35には、溝37が設けられていなくてもよい。すなわち、突出部35の第2対向面351が、その全周にわたって、平坦面で構成されてもよい。また、第1部位91を周壁25に接触するように設ける場合には、周壁25の第1対向面251に、例えば溝37と同様の溝を設けるようにしてもよい。

20

【0156】

また、本実施形態では、封止リング9は、その幅方向（外縁および内縁の一方から他方に向かう方向）が、軸方向に対してほぼ垂直となるように設けられているが、軸方向に対して傾斜するように（軸方向と平行とならないように）設けられていてもよい。かかる構成によつても、前記と同様の効果を生じることができる。この封止リング9の幅方向と軸方向とのなす角度は、15～90°であるのが好ましく、30～90°であることがより好ましく、45～90°であるのがさらに好ましい。

30

【0157】

なお、封止リング9の形状は、上述した形状に限定されず、その他、例えば図9に示すような形状とするこもできる。

【0158】

図9(a)に示す封止リング9は、筒状の第1部位91と、第1部位91の軸方向の下端部から外方に向かって突出したリブ状の第2部位92とを有し、その縦断面形状が略L字状をなしている。

【0159】

図9(b)に示す封止リング9は、筒状の第1部位91と、第1部位91の軸方向の下端部から外方に向かって突出したリブ状の第2部位92と、第1部位91の軸方向の上端部から外方に向かって突出したリブ状の第3部位93とを有し、その縦断面形状が略コ字状をなしている。

40

【0160】

また、図9(c)に示す封止リング9は、突出部35側に位置する筒状の第1部位91と、周壁25側に位置する筒状の第3部位93と、これらの下端部同士を接続するリブ状の第2部位92とを有し、その縦断面形状が略U字状をなしている。

【0161】

## 第2実施形態

図10は、本発明に係る力検出装置の第2実施形態を示す断面図である。なお、図10は、第2実施形態の力検出装置が備える封止部材とその周辺の部分の拡大図を示している

50

。

### 【0162】

以下、これらの図を参照して本発明の第2実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

### 【0163】

本実施形態では、封止リング（封止部材）の構成が異なること以外は、前記第1実施形態と同様である。

### 【0164】

具体的には、図10に示す封止リング9は、その縦断面形状において、角部が丸みを持った長方形状（略楕円状）をなしている。かかる構成の封止リング9によつても、図7に示す封止リング9と同様の作用・効果を生じる。  
10

### 【0165】

なお、図10に示す構成の封止リング9では、その縦断面の軸方向において、急激な形状変化がない。このため、封止リング9は、繰り返し熱変形しても、破損し難くなる。また、図10に示す構成の封止リング9であると、封止リング9全体として弾性を保持でき、収納空間を封止リング9により確実に封止することができる。

### 【0166】

なお、封止リング9の形状は、上述した形状に限定されず、その他、その縦断面形状が、長円形、真円等の円形状、三角形、四角形、ひし形等の多角形状等であつてもよい。

### 【0167】

#### 2. 単腕ロボット

次に、図11に基づき、本発明に係るロボットの実施形態である単腕ロボットを説明する。

### 【0168】

図11は、本発明に係る力検出装置を用いた単腕ロボットの1例を示す図である。図11の単腕ロボット500は、基台510と、アーム520と、アーム520の先端側に設けられたエンドエフェクター530と、アーム520とエンドエフェクター530との間に設けられた力検出装置1とを有する。なお、力検出装置1としては、前述した各実施形態と同様のものを用いる。

### 【0169】

基台510は、アーム520を回動させるための動力を発生させるアクチュエーター（図示せず）およびアクチュエーターを制御する制御部（図示せず）等を収納する機能を有する。また、基台510は、例えば、床、壁、天井、移動可能な台車上などに固定される。

### 【0170】

アーム520は、第1のアーム要素521、第2のアーム要素522、第3のアーム要素523、第4のアーム要素524および第5のアーム要素525を有しており、隣り合うアーム同士を回動自在に連結することにより構成されている。アーム520は、制御部の制御によって、各アーム要素の連結部を中心に複合的に回転または屈曲することにより駆動する。

### 【0171】

エンドエフェクター530は、対象物を把持する機能を有する。エンドエフェクター530は、第1の指531および第2の指532を有している。アーム520の駆動によりエンドエフェクター530が所定の動作位置まで到達した後、第1の指531および第2の指532の離間距離を調整することにより、対象物を把持することができる。

### 【0172】

なお、エンドエフェクター530は、ここでは、ハンドであるが、本発明では、これに限定されるものではない。エンドエフェクターの他の例としては、例えば、部品検査用器具、部品搬送用器具、部品加工用器具、部品組立用器具、測定器等が挙げられる。これは、他の実施形態におけるエンドエフェクターについても同様である。

10

20

30

40

50

**【 0 1 7 3 】**

力検出装置 1 は、エンドエフェクター 530 に加えられる外力を検出する機能を有する。力検出装置 1 が検出する力を基台 510 の制御部にフィードバックすることにより、単腕ロボット 500 は、より精密な作業を実行することができる。また、力検出装置 1 が検出する力によって、単腕ロボット 500 は、エンドエフェクター 530 の障害物への接触等を検知することができる。そのため、従来の位置制御では困難だった障害物回避動作、対象物損傷回避動作等を容易に行なうことができ、単腕ロボット 500 は、より安全に作業を実行することができる。

**【 0 1 7 4 】**

なお、図示の構成では、アーム 520 は、合計 5 本のアーム要素によって構成されているが、本発明はこれに限られない。アーム 520 が、1 本のアーム要素に構成されている場合、2 ~ 4 本のアーム要素によって構成されている場合、6 本以上のアーム要素によって構成されている場合も本発明の範囲内である。10

**【 0 1 7 5 】****3 . 複腕ロボット**

本発明に係るロボットの実施形態である複腕ロボットを説明する。

**【 0 1 7 6 】**

この複腕ロボットは、2 本のアームと、各アームとエンドエフェクターとの間に力検出装置を有している。なお、力検出装置としては、前述した各実施形態と同様のものを用いる。20

**【 0 1 7 7 】**

また、アームは合計 2 本であるが、本発明はこれに限られない。複腕ロボットが 3 本以上のアームを有している場合も、本発明の範囲内である。

**【 0 1 7 8 】****4 . 電子部品検査装置および電子部品搬送装置**

本発明の力検出装置を備えた電子部品検査装置（電子部品検出装置）および電子部品搬送装置を説明する。

**【 0 1 7 9 】**

電子部品搬送装置は、電子部品を把持する把持部と、把持部に加えられる力を検出する力検出装置とを備えている。なお、力検出装置としては、前述した各実施形態と同様のものを用いる。30

**【 0 1 8 0 】**

そして、電子部品検査装置は、電子部品搬送装置を内蔵しており、電子部品搬送装置で搬送された電子部品を検査する検査部を備えている。

**【 0 1 8 1 】****5 . 部品加工装置**

部品加工装置の実施形態を説明する。

**【 0 1 8 2 】**

部品加工装置は、工具を変位させる工具変位部と、工具変位部に接続された力検出装置 1 とを備えている。なお、力検出装置としては、前述した各実施形態と同様のものを用いる。40

**【 0 1 8 3 】**

以上、本発明の力検出装置、およびロボットを図示の実施形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、力検出装置、およびロボットを構成する各部は、同様の機能を発揮し得る任意の構成のものと置換することができる。また、任意の構成物が付加されていてもよい。

**【 0 1 8 4 】**

また、本発明の力検出装置、およびロボットは、前記各実施形態のうちの、任意の 2 以上の構成（特徴）を組み合わせたものであってもよい。

**【 0 1 8 5 】**

10

20

30

40

50

また、本発明の力検出装置では、電荷出力素子は、4つ設けられていたが、電荷出力素子の数は、これに限定されない。例えば、電荷出力素子は、1つであっても、2つであっても、3つであってもよく、また、5つ以上であってもよい。

#### 【0186】

また、本発明では、与圧ボルトに替えて、例えば、素子に与圧を加える機能を有していないものを用いてもよく、また、ボルト以外の固定方法を採用してもよい。

#### 【0187】

また、本発明のロボットは、アームを有していれば、アーム型ロボット（ロボットアーム）に限定されず、他の形式のロボット、例えば、スカラーロボット、脚式歩行（走行）ロボット等であってもよい。

10

#### 【0188】

また、本発明の力検出装置は、ロボット、電子部品搬送装置、電子部品検査装置、部品加工装置および移動体に限らず、他の装置、例えば、他の搬送装置、他の検査装置、振動計、加速度計、重力計、動力計、地震計、傾斜計等の測定装置、入力装置等にも適用することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0189】

1、1A、1B…力検出装置

20

2…第1基部

22…底板

23…凸部

221…下面

231…頂面

24…壁部

241…雌ネジ

271…中心軸

272…中心

25…周壁

28、29…隙間

30

251…第1対向面（内面）

3…第2基部

32…天板

33…側壁

321…上面

331…内壁面

35…突出部

37…溝

351…第2対向面

40

4…アナログ回路基板

40…外力検出回路

401…A/Dコンバーター

402…演算部

41…孔

43…パイプ

5…デジタル回路基板

6、6A、6B、6C、6D…センサーデバイス

50

60…パッケージ（収容部）

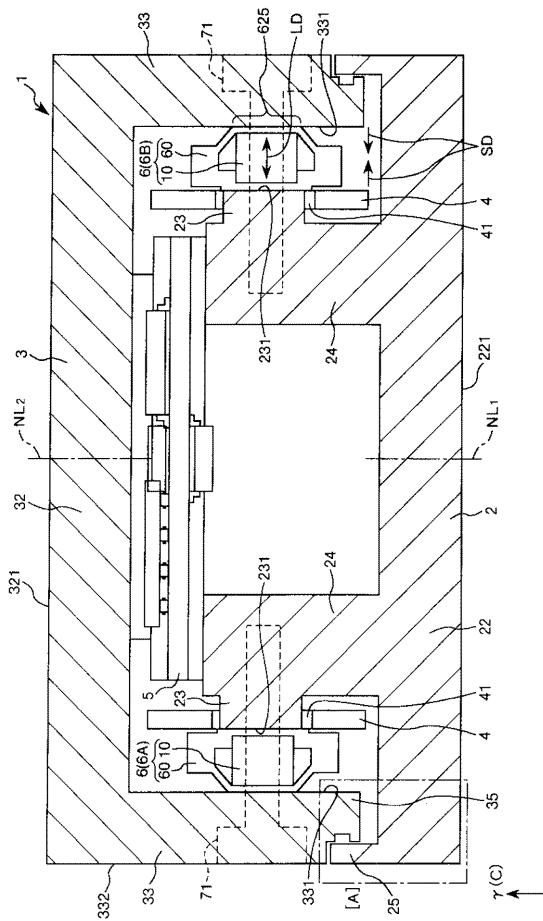
61…凹状部材

62…蓋体

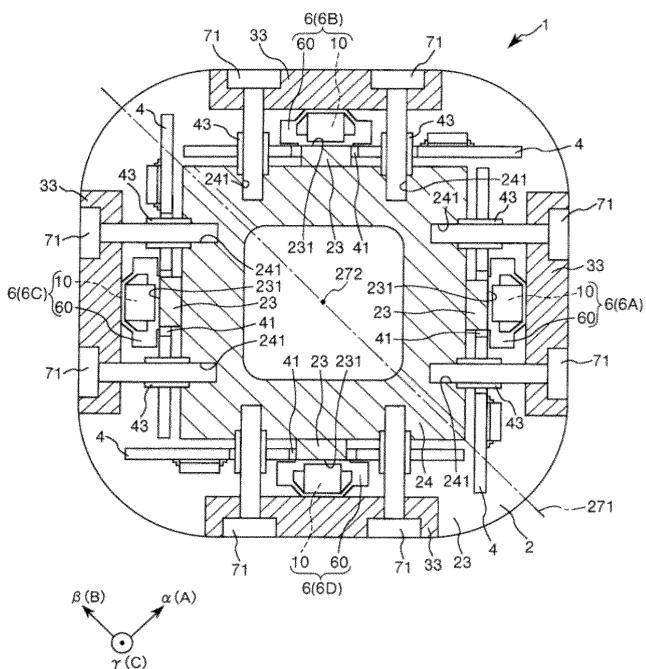
625…中央部

6 2 6 ... 外周部	
7 1 ... 与圧ボルト	
9 ... 封止リング（封止部材）	
9 1 ... 第1部位	
9 2 ... 第2部位	
9 3 ... 第3部位	
9 0 a、9 0 b、9 0 c ... 変換出力回路	
9 0 1 ... オペアンプ	
9 0 2 ... コンデンサー	
9 0 3 ... スイッチング素子	10
1 0 ... 電荷出力素子（圧電素子）	
1 1 ... グランド電極層	
1 2 ... 第1のセンサー	
1 2 1 ... 第1の圧電体層（圧電体層）	
1 2 2 ... 出力電極層	
1 2 3 ... 第2の圧電体層（圧電体層）	
1 3 ... 第2のセンサー	
1 3 1 ... 第3の圧電体層（圧電体層）	
1 3 2 ... 出力電極層	
1 3 3 ... 第4の圧電体層（圧電体層）	20
1 4 ... 第3のセンサー	
1 4 1 ... 第5の圧電体層（圧電体層）	
1 4 2 ... 出力電極層	
1 4 3 ... 第6の圧電体層（圧電体層）	
5 0 0 ... 単腕口ボット	
5 1 0 ... 基台	
5 2 0 ... アーム	
5 2 1 ... 第1のアーム要素	
5 2 2 ... 第2のアーム要素	
5 2 3 ... 第3のアーム要素	30
5 2 4 ... 第4のアーム要素	
5 2 5 ... 第5のアーム要素	
5 3 0 ... エンドエフェクター	
5 3 1 ... 第1の指	
5 3 2 ... 第2の指	
L D ... 積層方向	
S D ... 挾持方向	
N L <sub>1</sub> 、N L <sub>2</sub> ... 法線	
Q x、Q y、Q z、Q x 1、Q y 1、Q z 1、Q x 2、Q y 2、Q z 2、Q x 3、Q y 3、Q z 3、Q x 4、Q y 4、Q z 4 ... 電荷	40
V x、V y、V z、V x 1、V y 1、V z 1、V x 2、V y 2、V z 2、V x 3、V y 3、V z 3、V x 4、V y 4、V z 4 ... 電圧	

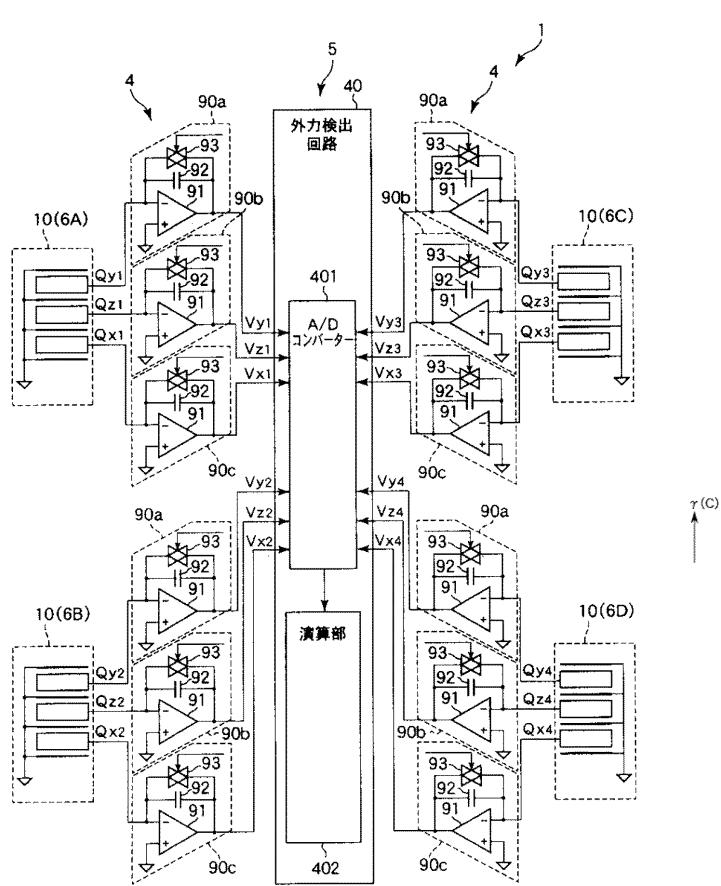
【 図 1 】



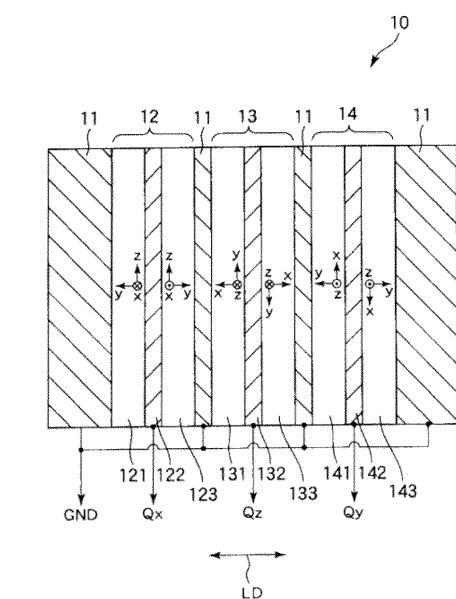
【 図 2 】



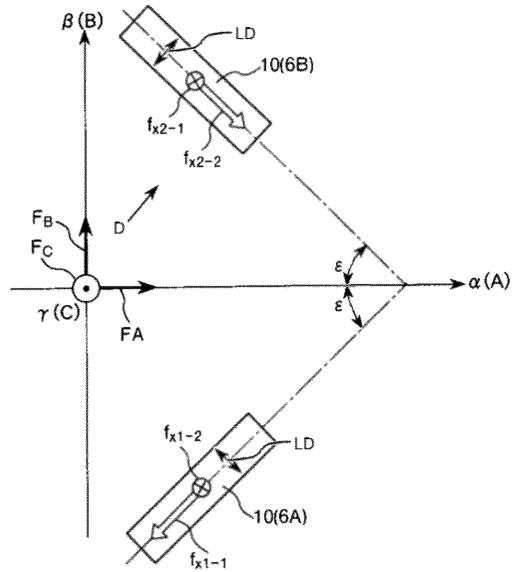
【図3】



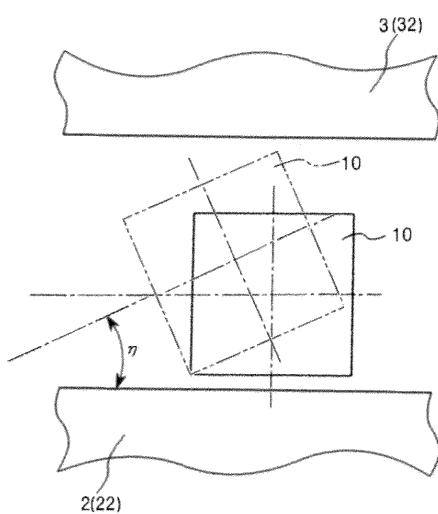
【 図 4 】



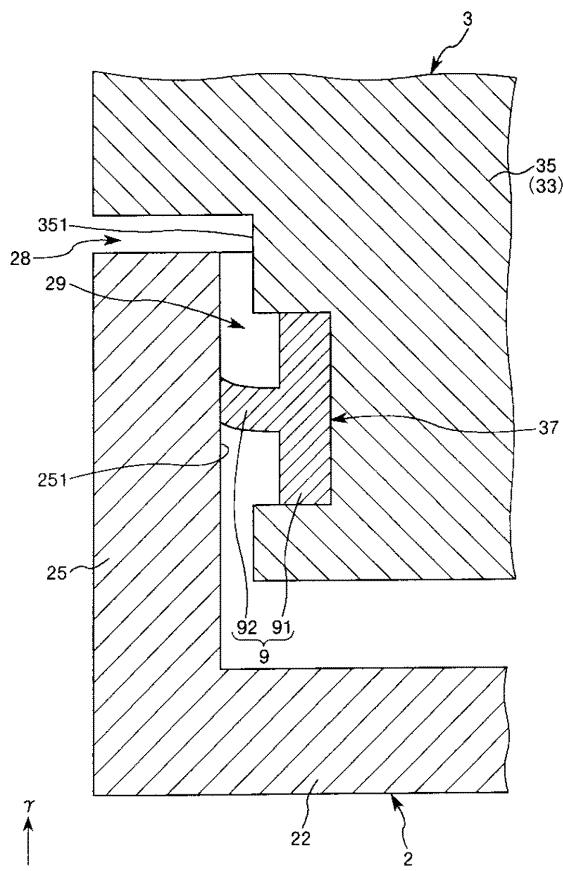
【図5】



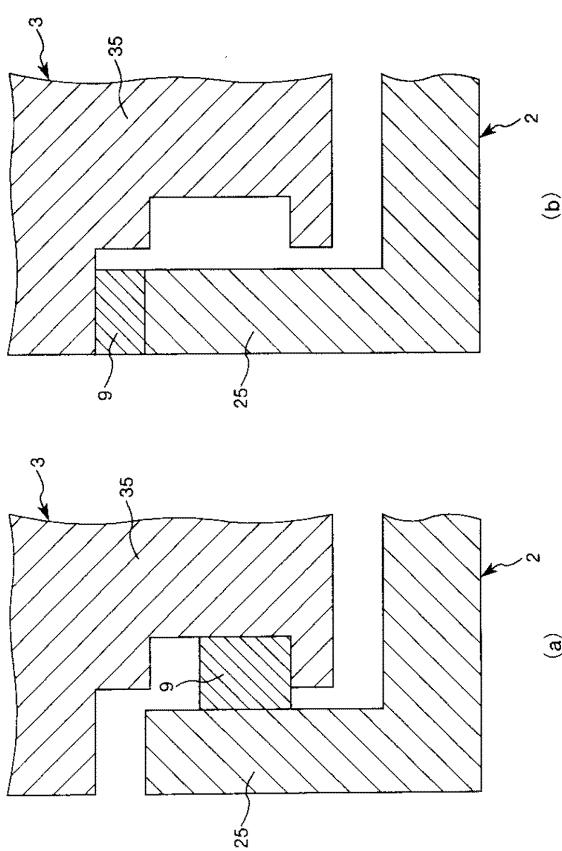
【図6】



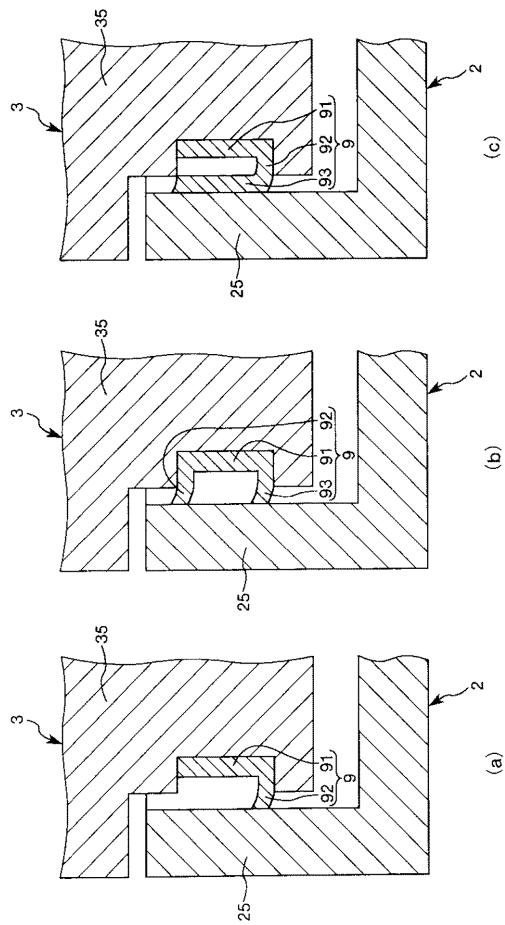
【図7】



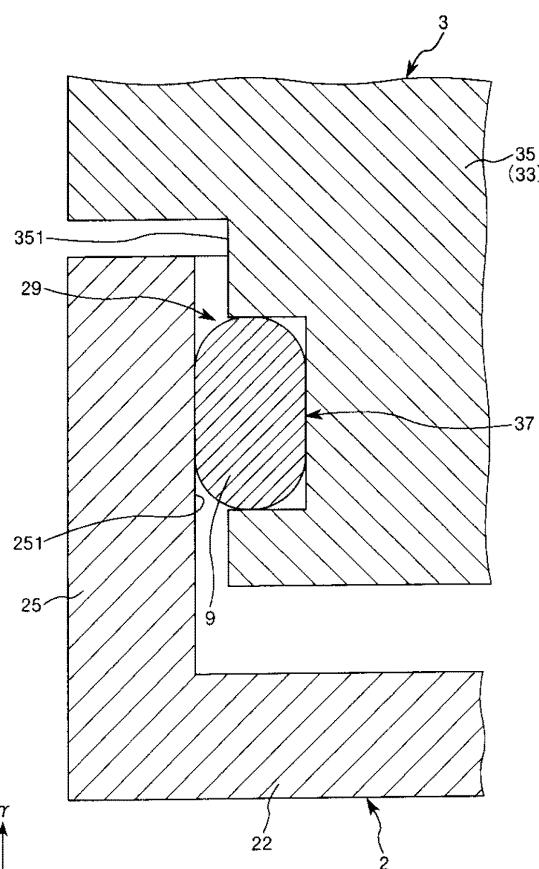
【図8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

