

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

アームを有するロボットに取り付け可能な力検出装置であって、
被取付部材を取り付け可能な取付面を有する凸部を備える第1部材と、
前記アームに取り付けられる第2部材と、
前記第1部材と前記第2部材との間に支持され、前記第1部材と前記第2部材とに加え
られる外力を検出する少なくとも1つの圧電素子と、を備えることを特徴とする力検出装
置。

【請求項 2】

複数の前記圧電素子を備える請求項1に記載の力検出装置。

10

【請求項 3】

前記第1部材と前記第2部材とによって挟持され、少なくとも1つの前記圧電素子を備
えるセンサーデバイスを複数有し、

前記取付面の法線方向から見て、前記凸部は、複数の前記センサーデバイスよりも内側
に位置している請求項2に記載の力検出装置。

【請求項 4】

前記第1部材は、前記凸部とは反対側に凹部を有する請求項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】

前記第1部材は、前記圧電素子を与圧する第1与圧部を有し、

20

前記第2部材は、前記圧電素子を与圧する第2与圧部を有する請求項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】

前記第1部材と前記第2部材とに開口した貫通孔を有する請求項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】

前記第2部材は、前記第2部材を前記アームに取り付ける取付部材を接続できるよう構
成されている請求項1ないし7のいずれか1項に記載の力検出装置。

30

【請求項 9】

前記被取付部材は、エンドエフェクターである請求項1ないし8のいずれか1項に記載
の力検出装置。

【請求項 10】

前記エンドエフェクターの作業箇所は、前記取付面の中心を通る前記取付面の法線に対
してずれている請求項9に記載の力検出装置。

【請求項 11】

請求項1ないし10のいずれか1項に記載の力検出装置と、当該力検出装置が取り付け
られたアームと、を有することを特徴とするロボット。

【発明の詳細な説明】

40

【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】**

従来から、エンドエフェクターとロボットアームとを有する産業用ロボットにおいて、
エンドエフェクターに加わる力を検出する力検出装置が用いられている。

【0003】

このような力検出装置の一例として、例えば特許文献1に力覚センサーが開示されてい
る。この力覚センサーは、ロボットが有するロボットアームとエンドエフェクターとして

50

のフィンガーユニットとの間に設けられている。この力覚センサーの全体形状は、円筒状をなしている。また、力覚センサーの上端面は平坦であり、力覚センサーの上端面の全域はフィンガーユニットに固定されている。そして、力覚センサーの上端面は、フィンガーユニットの対象物への接触等による生じる外力を受ける受圧面として機能している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-71214号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、特許文献1に記載の力覚センサーでは、力覚センサーの中心軸（受圧面の中心を通る軸）上に外力が加わった場合、力覚センサーによる他軸出力（外力が加わっていない軸方向の出力）は小さい。そのため、力覚センサーの中心軸上にフィンガーユニットの対象物に対する接触箇所が位置している場合、力覚センサーの検出結果を基にしてロボットはフィンガーユニットによって対象物に対する作業を的確に行うことができる。

【0006】

しかし、特許文献1に記載の力覚センサーでは、力覚センサーの中心軸に対してずれた位置に外力が加わった場合、力覚センサーによる他軸出力が大きくなってしまう。そのため、力覚センサーの中心軸に対してフィンガーユニットの対象物に対する接触箇所がずれている場合、本来加わっていない外力が力覚センサーに見かけ上加わってしまう。この場合、ロボットは、力覚センサーの中心軸上にフィンガーユニットの対象物に対する接触箇所が位置している場合と同様に力覚センサーの検出結果を基にした高精度な作業を実施することが難しかった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、前述した課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下により実現することが可能である。

【0008】

本発明の力検出装置は、アームを有するロボットに取り付け可能な力検出装置であって、

、被取付部材を取り付け可能な取付面を有する凸部を備える第1部材と、
前記アームに取り付けられる第2部材と、

前記第1部材と前記第2部材との間に支持され、前記第1部材と前記第2部材とに加えられる外力を検出する少なくとも1つの圧電素子と、を備えることを特徴とする力検出装置。

【0009】

このような本発明の力検出装置によれば、力検出装置の中心軸に対してずれた位置に外力が加わっても、他軸出力（外力が加わっていない軸方向の出力）を小さくすることができ、力検出装置による外力の検出精度を高めることができる。したがって、本発明の力検出装置によれば、力検出装置の中心軸に対してずれた位置に外力が加わった場合と、力検出装置の中心軸上の位置に外力が加わった場合との双方において、力検出装置による外力の検出精度を高めることができる。

【0010】

本発明の力検出装置では、複数の前記圧電素子を備えることが好ましい。

これにより、力検出装置の高感度化を図ったり、検出軸の多軸化を図ったりすることができる。

【0011】

本発明の力検出装置では、前記第1部材と前記第2部材とによって挟持され、少なくとも1つの前記圧電素子を備えるセンサーデバイスを複数有し、

10

20

30

40

50

前記取付面の法線方向から見て、前記凸部は、複数の前記センサー・デバイスよりも内側に位置していることが好ましい。

【0012】

これにより、力検出装置の中心軸に対してずれた位置に外力が加わった場合でも、他軸出力をより小さくすることができ、力検出装置による外力の検出精度をより高めることができる。

【0013】

本発明の力検出装置では、前記第1部材は、前記凸部とは反対側に凹部を有することが好ましい。

【0014】

これにより、第1部材の軽量化を図ることができるとともに、他軸出力をより小さくすることができ、力検出装置による外力の検出精度をより高めることができる。

【0015】

本発明の力検出装置では、前記第1部材は、前記圧電素子を与圧する第1与圧部を有し

、前記第2部材は、前記圧電素子を与圧する第2与圧部を有することが好ましい。

【0016】

これにより、圧電素子に対して一定の圧力を予め与えておくことができ、力検出装置による外力の検出精度をより高めることができる。

【0017】

本発明の力検出装置では、前記圧電素子は、水晶を含むことが好ましい。

これにより、高感度、広いダイナミックレンジ、高い剛性等の優れた特性を有する力検出装置を実現することができる。

【0018】

本発明の力検出装置では、前記第1部材と前記第2部材とに開口した貫通孔を有することが好ましい。

【0019】

これにより、貫通孔に例えば配線や配管等を有する可撓性部材（チューブ等）を挿通させることができる。そのため、被取付部材としてエンドエフェクターを用いた場合、エンドエフェクターの配線等をロボットアームから力検出装置の貫通孔を介してエンドエフェクターに効率よく引きまわすことができる。

【0020】

本発明の力検出装置では、前記第2部材は、前記第2部材を前記アームに取り付ける取付部材を接続できるよう構成されていることが好ましい。

【0021】

これにより、取付部材を介して第2部材をアームの適切な位置に簡単に取り付けることができる。そのため、アームに取り付けられた力検出装置による外力の検出精度をより高めることができる。

【0022】

本発明の力検出装置では、前記被取付部材は、エンドエフェクターであることが好ましい。

【0023】

これにより、力検出装置によってエンドエフェクターが受けた外力を高精度に検出することができる。その結果、例えば、ロボットは、エンドエフェクターによる対象物に対する作業をより高精度に行うことができる。

【0024】

本発明の力検出装置では、前記エンドエフェクターの作業箇所は、前記取付面の中心を通る前記取付面の法線に対してずれていることが好ましい。

【0025】

このようなエンドエフェクターを用いた場合であっても、本発明の力検出装置によれば

10

20

30

40

50

、他軸出力を小さくすることができ、外力の検出精度を高めることができる。

【0026】

本発明のロボットは、本発明の力検出装置と、当該力検出装置が取り付けられたアームと、を有することが好ましい。

【0027】

このようなロボットによれば、力検出装置の検出結果を用いることで、より精密に作業を実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の第1実施形態に係るロボットを示す斜視図である。

10

【図2】図1に示す力検出装置を示す斜視図である。

【図3】図2に示す力検出装置の縦断面図である。

【図4】図2に示す力検出装置の横断面図である。

【図5】図3および図4に示す力検出装置が備える力検出素子の断面図である。

【図6】従来の構成の力検出装置がエンドエフェクターに取り付けられている状態を模式的に示す側面図である。

【図7】図6に示す力検出装置における外力が加わったときの期待値と実際の出力値との関係を示す図である。

【図8】図6に示す力検出装置における距離 T_a と比率 F_x / F_z との関係を示す図である。

20

【図9】図2に示す力検出装置がエンドエフェクターに取り付けられている状態を模式的に示す側面図である。

【図10】図2に示す力検出装置が有する第1部材の縦断面図である。

【図11】図9に示す力検出装置における凸部の幅の影響を示す図である。

【図12】図11に示す L_1 / L_3 が 25 % であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。

【図13】図11に示す L_1 / L_3 が 63 % であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。

【図14】図11に示す L_1 / L_3 が 100 % であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。

30

【図15】図11に示す L_1 / L_3 が 25 % であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。

【図16】図11に示す L_1 / L_3 が 63 % であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。

【図17】図11に示す L_1 / L_3 が 100 % であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。

【図18】図10に示す第1部材の凹部の幅の影響を示す図である。

【図19】図10に示す第1部材の凹部の高さの影響を示す図である。

【図20】本発明の第2実施形態に係るロボットが備える力検出装置を示す縦断面図である。

40

【図21】本発明の第3実施形態に係るロボットを示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の力検出装置およびロボットを添付図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。なお、各図は、説明する部分が認識可能な状態となるように、適宜拡大又は縮小して表示している。

【0030】

<第1実施形態>

ロボット

図1は、本発明の第1実施形態に係るロボットを示す斜視図である。なお、図1には、

50

説明の便宜上、互いに直交する3つの軸として、軸、軸および軸が図示されており、各軸を示す矢印の先端側を「+」、基端側を「-」とする。また、軸に平行な方向を「軸方向」、軸に平行な方向を「軸方向」、軸に平行な方向を「軸方向」という。また、+軸方向側を「上」、-軸方向側を「下」ともいう。また、軸方向から見たものを「平面視」という。また、図1中の基台110側を「基端」、その反対側（エンドエフェクター17側）を「先端」と言う。

【0031】

図1に示すロボット100は、精密機器やこれを構成する部品等の対象物の給材、除材、搬送および組立等の作業を行うことができる。このロボット100は、単腕ロボットであり、所謂6軸垂直多関節ロボットである。ロボット100は、基台110と、基台110に回動自在に連結されたロボットアーム10と、力検出装置1と、エンドエフェクター17とを有する。

10

【0032】

基台110は、例えば、床、壁、天井および移動可能な台車上等に固定される部分である。ロボットアーム10は、アーム11（第1アーム）、アーム12（第2アーム）、アーム13（第3アーム）、アーム14（第4アーム）、アーム15（第5アーム）、アーム16（第6アーム）を有する。これらアーム11～16は、基端側から先端側に向かってこの順に連結されている。各アーム11～16は、隣り合うアームまたは基台110に對して回動可能になっている。

20

【0033】

アーム16の先端には、取付部材120（アダプター）によって力検出装置1が接続されている。力検出装置1は、例えば力検出装置1の先端に取り付けられたエンドエフェクター17に加わる力（モーメントを含む）を検出する機能を有する。なお、取付部材120の構成は、力検出装置1をアーム16に対して取り付けることができる構成であればよく、その具体的な構成は限定されない。ただし、取付部材120は、力検出装置1の中心軸A1（軸線）をアーム16の軸O6（アーム16の回動軸）と一致するように力検出装置1を取り付けることができる位置決め部材を備えていることが好ましい。これにより、力検出装置1による外力の検出精度をより高めることができる。

20

【0034】

エンドエフェクター17は、力検出装置1に対して偏心しており、エンドエフェクター17の作業箇所P、すなわち対象物等に対して直接的に作業を行う箇所が、力検出装置1の中心軸A1に対してずれている。なお、エンドエフェクター17の構成等は、対象物等に対して直接的に作業を行う機能を有すればよく、図示の構成に限定されず、例えば、力検出装置1に対して偏心していなくてもよい。

30

【0035】

また、図示はしないが、ロボット100は、一方のアームを他方のアーム（または基台110）に対して回動させるモーター等を備える駆動部を有する。また、ロボット100は、図示はしないが、モーターの回転軸の回転角度を検出する角度センサーを有する。

【0036】

以上、ロボット100の構成について簡単に説明した。なお、ロボット100が有するアームの数は、図示では6本であるが、これに限定されず、1～5本または7本以上であってもよい。

40

【0037】

また、前述したロボット100は、力検出装置1と、力検出装置1が取り付けられたアーム16と、を有する。このようなロボット100によれば、力検出装置1を備えている。そのため、例えば、力検出装置1が検出した外力を、ロボット100を制御する機能を有する制御部（図示せず）にフィードバックすることにより、ロボット100は、より精密に作業を実行することができる。また、力検出装置1が検出した外力によって、ロボット100は、エンドエフェクター17の障害物への接触等を検知することができる。そのため、障害物回避動作および対象物損傷回避動作等を容易に行うことができ、ロボット1

50

00は、より安全に作業を実行することができる。

【0038】

以下、力検出装置1について説明する。

[力検出装置]

図2は、図1に示す力検出装置を示す斜視図である。図3は、図2に示す力検出装置の縦断面図である。図4は、図2に示す力検出装置の横断面図である。図5は、図3および図4に示す力検出装置が備える力検出素子の断面図である。なお、図3は、図4中のA2-A2線断面図であり、図4は、図3中のA1-A1線断面図である。また、図2および図4には、説明の便宜上、互いに直交する3つの軸としてx軸、y軸およびz軸が図示されており、各軸を示す矢印の先端側を「+」、基端側を「-」とする。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。また、+z軸方向側を「上」、-z軸方向側を「下」ともいう。また、z軸方向から見たものを「平面視」という。

10

【0039】

図2に示す力検出装置1は、力検出装置1に加えられた外力の6軸成分を検出可能な6軸力覚センサーである。ここで、6軸成分は、互いに直交する3つの軸（図示ではx軸、y軸およびz軸）のそれぞれの方向の並進力（せん断力）成分と、当該3つの軸のそれぞれの軸まわりの回転力（モーメント）成分と、からなる。

【0040】

図2～図4に示すように、力検出装置1は、第1部材3と、第1部材3に対して間隔を隔てて配置されている第2部材2と、第1部材3と第2部材2との間に配置されている複数（本実施形態では4つ）のセンサーデバイス4と、第1部材3および第2部材2の外周部に設けられた側壁部20と、を有する。なお、以下の説明では、4つのセンサーデバイス4のうち、図4中の上側に位置するセンサーデバイス4を「センサーデバイス4a」といい、以降時計回りに順に「センサーデバイス4b」、「センサーデバイス4c」および「センサーデバイス4d」という。また、各センサーデバイス4a、4b、4c、4dを区別しない場合は、それらを「センサーデバイス4」という。また、図4に示すように、力検出装置1は、複数（本実施形態では8つ）の与圧ボルト51と、複数（本実施形態では4つ）のアナログ回路基板6と、を有する。また、力検出装置1は、図示はしないが、デジタル回路基板を有する。また、図2～図4に示すように、力検出装置1は、その中心軸A1に沿って形成された貫通孔101を有する。

20

30

【0041】

この力検出装置1では、各センサーデバイス4が受けた外力に応じた信号（検出結果）を出力し、それらの信号をアナログ回路基板6およびデジタル回路基板（図示せず）で処理する。これにより、力検出装置1に加えられた外力の6軸成分を検出する。

【0042】

また、力検出装置1は、アーム16および取付部材120に取付可能に構成されている（図1参照）。力検出装置1の-z軸側の部分（下面201）は、取付部材120を介してアーム16に取り付けられる（図3参照）。一方、力検出装置1の+z軸側の部分（上面301）は、エンドエフェクター17に取り付けられる。したがって、図3に示す力検出装置1は、図1に示す力検出装置1と上下が逆に示されている。

40

【0043】

以下、力検出装置1が備える各部について説明する。

[第1部材]

図3に示すように、第1部材3は、天板31（第1基部）と、天板31の上部側の中央部に設けられた凸部32と、天板31の下部側でかつ外周部に設けられた複数の壁部33（第1与圧部）と、を有する。なお、以下の説明では、4つの壁部33のうち、図4中の上側に位置する壁部33を「壁部33a」といい、以降時計回りに順に「壁部33b」、「壁部33c」および「壁部33d」という。また、各壁部33a、33b、33c、33dを区別しない場合は、それらを「壁部33」という。この第1部材3の平面視での外

50

形は、図2に示すように円形であるが、これに限定されず、例えば、四角形、五角形等の多角形、橢円形等であってもよい。また、第1部材3は、その中央部に中心軸A1に沿って形成された貫通孔35を有する。この貫通孔35は、凸部32をその中央部において貫通している。

【0044】

図3に示すように、天板31は、略平板状をなしている。天板31の下方の面（第2部材2側の面）には、凹部311が形成されている。凹部311は、平面視で天板31の中央部に設けられている。凹部311の平面視での外形は、天板31の平面視での外形と相似の円形をなす。このような凹部311を有することで、第1部材3の軽量化を図るとともに力検出装置1の他軸出力（外力が加わっていない軸方向の出力）を小さくすることができる。なお、この凹部311については後で説明する。

10

【0045】

天板31の上部側には、天板31から上方（第2部材2とは反対の方向）に向かって突出した凸部32が設けられている。また、図示では、凸部32は、天板31と一体で形成されている。これにより、部品点数が少なくなり、第1部材3の薄型化を図ることができる。なお、凸部32は、天板31と別部材で形成されていてもよい。

20

【0046】

凸部32は、図1に示すように、平面視で天板31の中央部（中心部）に設けられている。凸部32の平面視での外形は、図示では、天板31の平面視での外形と相似の円形であるが、これに限定されず、例えば、四角形、五角形等の多角形、橢円形等であってもよい。このような凸部32を有することで、力検出装置1の他軸出力（外力が加わっていない軸方向の出力）を小さくすることができる。なお、この凸部32については後で説明する。

30

【0047】

図3に示すように、天板31の下方には、凸部32とは反対側に向かって複数（本実施形態では4つ）の壁部33が立設されている。なお、図示では、各壁部33は、天板31と別部材で形成され、天板31に対し固定されているが、天板31と一体で形成されてもよい。複数の壁部33は、図4に示すように、力検出装置1の中心軸A1を中心とする同一円周上に沿って互いに等角度（90°）間隔に並んでいる。各壁部33には、後述する与圧ボルト51が挿通される複数の貫通孔37が形成されている。また、図3に示すように、各壁部33の内壁面331（内側の端面）は、天板31に対して垂直な平面である。

30

【0048】

このような構成の第1部材3が有する凸部32の上面301は、力検出装置1をロボット100のエンドエフェクター17（被取付部材）に取り付ける取付面として機能する。

【0049】

また、第1部材3の構成材料としては、特に限定されないが、例えば、アルミニウム、ステンレス鋼等の金属材料、セラミックス等が挙げられる。

【0050】

[第2部材]

図3に示すように、第2部材2は、底板21（第2基部）と、底板21の上部側に設けられた複数の壁部22（第2与圧部）と、を有する。この第2部材2の平面視での外形は、図2に示すように円形であるが、これに限定されず、例えば、四角形、五角形等の多角形、橢円形等であってもよい。また、図3に示すように、第2部材2は、その中央部に中心軸A1に沿って形成された貫通孔25を有する。

40

【0051】

底板21は、略平板状をなしている。底板21の上部側には、第1部材3側に向かって複数（本実施形態では4つ）の壁部22が立設されている。なお、図示では、各壁部22は、底板21と別部材で形成され、底板21に対し固定されているが、底板21と一体で形成されていてもよい。複数の壁部22は、図4に示すように、力検出装置1の中心軸A

50

1を中心とする同一円周上に沿って互いに等角度(90°)間隔に並んでいる。この壁部22は、前述した第1部材3の壁部33に対して中心軸A1側に配置され、壁部33と対面している。また、壁部22の壁部33側には、壁部33側に向かって突出した部分23を有する。この突出した部分23の頂面231は、前述した壁部33の内壁面331に対し、所定距離(センサーデバイス4を挿入可能な距離)を隔てて対面している。そして、頂面231と内壁面331とは、平行である。また、各壁部33には、後述する与圧ボルト51の先端部が螺合する雌ネジ孔26が複数形成されている。

【0052】

このような第2部材2の下面201は、力検出装置1を取り付けるアーム用取付面として機能する。そして、第2部材2(具体的には下面201)は、第2部材2をアーム16に取り付ける取付部材120を接続できるよう構成されている。その具体的な構成等は特に限定されず、例えば、図示しないが、第2部材2の下面201は、ネジ止め、ボルト止め等で取付部材120に装着するために用いる貫通孔(雌ネジ孔)を有する構成、あるいは、フック、L字溝のような係合部を有する構成とすることができる。これにより、取付部材120を介して第2部材2をアーム16の適切な位置に簡単に取り付けることができる。そのため、アーム16に取り付けられた力検出装置1による外力の検出精度をより高めることができる。

【0053】

また、第2部材2の構成材料としては、特に限定されないが、前述した第1部材3と同様、例えば、アルミニウム、ステンレス鋼等の金属材料、セラミックス等が挙げられる。なお、第2部材2の構成材料は、第1部材3の構成材料と同じであっても異なっていてもよい。

【0054】

[側壁部]

図2に示すように、側壁部20は、円筒状をなしており、その上端部および下端部がそれぞれ第1部材3および第2部材2に対して例えばネジ止め、嵌合等によって固定されている。また、図3に示すように、側壁部20と前述した第1部材3の天板31と第2部材2の底板21とで囲まれた空間5、すなわち力検出装置1の内部空間に、複数のセンサーデバイス4が収納されている。

【0055】

このような側壁部20の構成材料としては、特に限定されないが、前述した第1部材3や第2部材2と同様、例えば、アルミニウム、ステンレス鋼等の金属材料、セラミックス等が挙げられる。なお、側壁部20の構成材料は、第1部材3や第2部材2の構成材料と同じであっても異なっていてもよい。

【0056】

[センサーデバイス]

各センサーデバイス4は、図3に示すように、力検出素子41と、力検出素子41を収納するパッケージ42と、を有している。各センサーデバイス4は、第1部材3の壁部33と第2部材2の壁部22との間に配置されている。力検出素子41は、少なくとも1つの(複数の)圧電素子5を備えている。

【0057】

(パッケージ)

パッケージ42は、力検出素子41が設置されている凹部をその内側に有する基部421と、その基部421に接合されている蓋体422と、を有し、基部421の凹部が蓋体422により封止されている。これにより、力検出素子41を保護することができる。ここで、基部421は、前述した第2部材2の頂面231に当接している。一方、蓋体422は、前述した第1部材3の内壁面331に当接している。

【0058】

このようなパッケージ42の基部421の構成材料としては、特に限定されず、例えば、コバール(Fe-Ni-Co合金)等の金属材料、セラミックス等を用いることができ

10

20

30

40

50

る。また、蓋体422の構成材料としては、特に限定されず、例えば、コバール等の金属材料等を用いることができる。なお、基部421の構成材料と蓋体422の構成材料は、同一でもよく、また、異なっていてもよい。また、パッケージ42の平面視での形状は、本実施形態では四角形をなしているが、これに限定されず、例えば、五角形等の他の多角形、円形、橢円形等であってもよい。

【0059】

(力検出素子)

図5に示す力検出素子41は、力検出素子41に加えられた外力のX軸方向の成分に応じた電荷Q_X、力検出素子41に加えられた外力のY軸方向の成分に応じた電荷Q_Y、および、力検出素子41に加えられた外力のZ軸方向の成分に応じた電荷Q_Zを出力する機能を有する。この力検出素子41は、X軸に平行な外力(せん断力)に応じて電荷Q_Xを出力する圧電素子5aと、Z軸に平行な外力(圧縮/引張力)に応じて電荷Q_Zを出力する圧電素子5bと、Y軸に平行な外力(せん断力)に応じて電荷Q_Yを出力する圧電素子5cと、基準電位、例えばグランド電位(GND)に電気的に接続されているグランド電極層54、55、56、57と、を有する。また、力検出素子41は、圧電素子5a、5b、5cおよびグランド電極層54、55、56、57を備える構造体50を支持する支持基板58、59(ダミー基材)を有する。ここで、支持基板58、グランド電極層54、圧電素子5a、グランド電極層55、圧電素子5b、グランド電極層56、圧電素子5c、グランド電極層57、支持基板59の順でこれらが積層されている。なお、以下では、圧電素子5a、5b、5cをそれぞれ「圧電素子5」ともいう。

10

20

30

40

【0060】

圧電素子5aは、圧電体層51a、出力電極層52a、圧電体層53aがこの順で積層されて構成されている。同様に、圧電素子5bは、圧電体層51b、53bと、これらの間に配置されている出力電極層52bと、を有する。また、圧電素子5cは、圧電体層51c、53cと、これらの間に配置されている出力電極層52cと、を有する。

【0061】

圧電素子5は、水晶を含む。すなわち、圧電素子5は、水晶で構成された圧電体層51a、53a、51b、53b、51c、53cを備えている。これにより、高感度、広いダイナミックレンジ、高い剛性等の優れた特性を有する力検出装置1を実現することができる。

【0062】

図5に示すように、圧電体層51a、53a、51b、53b、51c、53cは、それらを構成する水晶の結晶軸であるX軸の方向が異なっている。すなわち、圧電体層51aを構成する水晶のX軸は、図5中紙面奥側を向いている。圧電体層53aを構成する水晶のX軸は、図5中紙面手前側を向いている。圧電体層51bを構成する水晶のX軸は、図5中左側を向いている。圧電体層53bを構成する水晶のX軸は、図5中右側を向いている。圧電体層51cを構成する水晶のX軸は、図5中上側を向いている。圧電体層53cを構成する水晶のX軸は、図5中下側を向いている。このような圧電体層51a、53a、51c、53cは、それぞれYカット水晶板で構成され、X軸の向きが互いに90°ずつ異なっている。また、圧電体層51b、53bは、それぞれXカット水晶板で構成され、X軸の向きが互いに180°異なっている。

【0063】

なお、本実施形態では、圧電体層51a、53a、51b、53b、51c、53cは、それぞれ、水晶で構成されているが、これらは、水晶以外の圧電材料を用いた構成であってもよい。水晶以外の圧電材料としては、例えば、トバーズ、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)O₃)、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム等が挙げられる。

【0064】

また、出力電極層52a、52b、52cおよびグランド電極層54、55、56、57を構成する材料は、それぞれ、電極として機能し得る材料であれば特に限定されないが

50

、例えば、ニッケル、金、チタニウム、アルミニウム、銅、鉄、クロムまたはこれらを含む合金が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を組み合わせて（例えば積層して）用いることができる。これら出力電極層52a、52b、52cおよびグランド電極層54、55、56、57は、図示しない配線および端子等（例えば銀ペースト等で構成された配線等）を介して、アナログ回路基板6に電気的に接続されている。

【0065】

また、本実施形態では、支持基板58、59は、それぞれ、水晶で構成されている。支持基板58は、隣り合う圧電体層51aと同様の構成の水晶板（Yカット水晶板）で構成されており、X軸の向きも圧電体層51aと同様である。支持基板59は、隣り合う圧電体層53cと同様の構成の水晶板（Yカット水晶板）で構成されており、X軸の向きも圧電体層53cと同様である。水晶は異方性を有するため、X軸、Y軸およびZ軸方向で熱膨張係数が異なる。そのため、熱膨張による応力を抑えるために支持基板58、59は隣り合う圧電体層と同様の構成および配置（向き）であることが好ましい。

10

【0066】

また、支持基板58、59の厚さは、それぞれ、各圧電体層51a、53a、51b、53b、51c、53cの厚さよりも厚い。

【0067】

このような支持基板58、59を備えることで、力検出素子41をパッケージ42に安定的に接合（接続）することができる。また、パッケージ42が金属材料等の導電性を有する部材で構成されている場合であっても、パッケージ42や前述した図示しない配線および端子等との短絡を回避することができる。

20

【0068】

なお、支持基板58、59は、それぞれ、水晶以外の導電性を有さない材料を用いた構成であってもよい。

【0069】

以上、力検出素子41について説明した。前述したように、力検出素子41は、複数の圧電素子5を備える。これにより、力検出装置1の高感度化を図ったり、検出軸の多軸化を図ったりすることができる。

30

【0070】

なお、力検出素子41を構成する圧電素子および圧電体層の数は、前述した数に限定されない。例えば、1つの圧電素子が備える圧電体層の数が1つまたは3つ以上であってもよいし、圧電素子の数が2つまたは4つ以上であってもよい。

【0071】

また、力検出素子41の平面視形状は、図示では、四角形であるが、これに限定されず、例えば、五角形等の他の多角形、円形、橢円形等であってもよい。

【0072】

以上説明したような各センサーデバイス4は、力検出素子41が有する圧電素子5a、5b、5cの積層方向D1が中心軸A1に直交するよう（y z平面の面方向に）に配置されている（図3および図5参照）。また、図4に示すように、4つのセンサーデバイス4は、中心軸A1に沿った方向から見たとき、中心軸A1を通りy軸に平行な線分CLに対して対称となるように配置されている。また、各センサーデバイス4は、中心軸A1に直交する方向から見たとき（図3の側面視で）、第1部材3の天板31と第2部材2の底板21との間の中間部に位置している。また、本実施形態では、例えば、グランド電極層57が壁部22側に位置し、グランド電極層54が壁部33側に位置している。

40

【0073】

また、本実施形態では、各センサーデバイス4（各力検出素子41）と中心軸A1との離間距離は、等しい。また、各センサーデバイス4（各力検出素子41）と上面301の幾何学的な中心との離間距離は、等しい。また、各センサーデバイス4（各力検出素子41）と下面201の幾何学的な中心との離間距離は、等しい。なお、上述の離間距離が等しいことは、機械的な設計および設置等の誤差を含む。

50

【0074】

[与圧ボルト(固定部材)]

複数の与圧ボルト51は、第1部材3の壁部33と第2部材2の壁部22とでセンサーデバイス4(より具体的には複数の圧電素子5)を挟んで与圧した状態で壁部33および壁部22を互いに固定している(図3および図4参照)。各与圧ボルト51は、壁部33側から壁部33の貫通孔37に挿通され、与圧ボルト51の先端部に形成された雄ネジを壁部22に形成された雌ネジに螺合されている。このような複数の与圧ボルト51により、第1部材3の内壁面331と第2部材2の頂面231とでセンサーデバイス4のパッケージ42を介して力検出素子41を挟んで与圧することができる。また、各与圧ボルト51の締結力を適宜調整することで、力検出素子41に対して、所定の大きさの圧電素子5の積層方向D1の圧力を与圧として加えることができる(図5参照)。

10

【0075】

このような各与圧ボルト51の構成材料としては、特に限定されないが、例えば、各種金属材料等が挙げられる。なお、各与圧ボルト51の位置および数は、それぞれ、図示の位置および数に限定されない。また、与圧ボルト51の数は、例えば、1つのセンサーデバイス4に対して1つまたは3つ以上であってもよい。また、圧電素子5を備える力検出素子41は、第1部材3と第2部材2との間(特に壁部33と壁部22との間)に挟持されているが、これに限定されず、第1部材3と第2部材2との間に任意の構成で支持されればよい。

20

【0076】

[アナログ回路基板]

図3に示すように、アナログ回路基板6は、空間S、すなわち第1部材3と第2部材2との間に配置されている。このアナログ回路基板6には、第2部材2の突出した部分23が挿通されている貫通孔61と、各与圧ボルト51が挿通されている貫通孔62と、が形成されている(図3および図4参照)。アナログ回路基板6は、部分23に挿通された状態で、センサーデバイス4に対して中心軸A1側に配置されている。これにより、センサーデバイス4の近傍にアナログ回路基板6を設けることができ、センサーデバイス4からの配線長さを短くすることができる。そのため、構造の簡素化に寄与することができる。

30

【0077】

また、アナログ回路基板6は、前述したセンサーデバイス4に電気的に接続されている。アナログ回路基板6は、図示はしないが、センサーデバイス4の力検出素子41から出力された電荷Q(QX、QY、QZ)をそれぞれ電圧V(VX、VY、VZ)に変換するチャージアンプ(変換出力回路)を備えている。このチャージアンプは、例えば、オペアンプと、コンデンサーと、スイッチング素子と、を有して構成することができる。

【0078】

[デジタル回路基板]

デジタル回路基板は、図示しないが、例えば、第2部材2上に設けることができる。このデジタル回路基板は、前述したアナログ回路基板6に電気的に接続されている。デジタル回路基板は、図示しないが、アナログ回路基板6からの電圧VX、VY、VZに基づいて、外力を検出(演算)する外力検出回路を備えている。外力検出回路は、X軸方向の並進力成分Fx、Y軸方向の並進力成分Fy、Z軸方向の並進力成分Fz、X軸周りの回転力成分Mx、Y軸周りの回転力成分My、Z軸周りの回転力成分Mzを演算する。この外力検出回路は、例えば、ADCコンバーターと、このADCコンバーターに接続されたCPU等の演算回路と、を有して構成することができる。

40

【0079】

ここで、本実施形態では、各センサーデバイス4は、圧電素子5の積層方向D1が中心軸A1に直交するように配置されており、4つのセンサーデバイス4は、線分CLに対して対称となるように配置されている(図4および図5参照)。そして、前述したように、壁部33と壁部22とによって圧電素子5の積層方向D1に対して平行な方向に与圧が加えられている。そのため、デジタル回路基板では、温度変動の影響を受けやすい電荷QZ

50

を用いずに、並進力成分 F_x 、 F_y 、 F_z および回転力成分 M_x 、 M_y 、 M_z の演算が可能である。そのため、力検出装置 1 は、温度の変動による影響を受けにくく、高精度な検出が可能である。これにより、例えば高温環境下に力検出装置 1 が置かれて第 1 部材 3 および第 2 部材 2 が熱膨張し、その熱膨張によって圧電素子 5 に対する与圧が所定の値から変化してノイズ成分となることを低減または零にすることができます。

【0080】

以上、力検出装置 1 の基本的な構成について説明した。このような力検出装置 1 では、前述したように、第 1 部材 3 は、圧電素子 5（力検出素子 41）を与圧する「第 1 与圧部」としての壁部 33 を有し、第 2 部材 2 は、圧電素子 5（力検出素子 41）を与圧する「第 2 与圧部」としての壁部 22 を有する。そして、本実施形態では、与圧ボルト 51 によって、第 1 部材 3 と第 2 部材 2 とが固定されている。これにより、圧電素子 5 に対して一定の圧力を予め与えておくことができ、力検出装置 1 による外力の検出精度をより高めることができる。

10

【0081】

また、前述したように、第 1 部材 3 は、中心軸 A1 に沿って形成された貫通孔 35 を有する。また、第 2 部材 2 は、中心軸 A1 に沿って形成された貫通孔 25 を有する。そして、貫通孔 35 と貫通孔 25 と、これらを空間 S で連通している円柱状の空間（長さが力検出装置 1 の z 軸方向の厚さに等しい円柱状の空間）とで、貫通孔 101 が構成されている。すなわち、力検出装置 1 は、第 1 部材 3 と第 2 部材 2 とに開口した貫通孔 101 を有する。また、本実施形態では、貫通孔 101 は、中心軸 A1 に沿って形成されている。これにより、貫通孔 101 に例えば配線や配管等を有する可撓性部材（ケーブル等）を挿通させることができる。そのため、例えば、エンドエフェクター 17（被取付部材）の配線 103 をロボット 100 の基台 110 から力検出装置 1 の貫通孔 101 を介してエンドエフェクター 17 に効率よく引きまわすことができる（図 1 および図 3 参照）。

20

【0082】

また、図 3 に示すように、貫通孔 101 の内部には、円筒状のチューブ 102（緩衝部材）が設けられている。このチューブ 102 は、例えば、取付部材 120 またはエンドエフェクター 17 に接続されている（図 1 および図 3 参照）。本実施形態では、チューブ 102 の外周面は、貫通孔 25、35 を形成している壁面と離間している。なお、チューブ 102 は、貫通孔 101 内に位置していれば、当該壁面と離間していなくてもよい。このようなチューブ 102 は、配線 103 が貫通孔 101 の内壁に接触することを防ぐように配線 103 の位置を規制する位置規制部材としての機能を有する。そのため、配線 103 の内壁への接触による力検出装置 1 の誤検出を低減または防止することができる。

30

【0083】

また、ロボットアーム 10 の内部および力検出装置 1 のチューブ 102 内に配線 103 を配置することができるため、ロボットアーム 10 の外部や力検出装置 1 の外部に配線 103 を配置しなくて済む。そのため、ロボットアーム 10 の動きに伴って力検出装置 1 の外部に配置された配線 103 が力検出装置 1 に衝突することによって力検出装置 1 に不要な外力が加わることを低減することができる。

40

【0084】

なお、チューブ 102 の形状は、円柱状に限定されない。チューブ 102 の形状は、位置規制部材として機能すれば如何なる形状であってもよい。

【0085】

次に、上述した第 1 部材 3 の凸部 32 を有することで、力検出装置 1 の他軸出力を小さくすることができることについて、従来の力検出装置 1a における問題点とともに説明する。

【0086】

図 6 は、従来の構成の力検出装置がエンドエフェクターに取り付けられている状態を模式的に示す側面図である。図 7 は、図 6 に示す力検出装置における外力が加わったときの期待値と実際の出力値との関係を示す図である。図 8 は、図 6 に示す力検出装置における

50

距離 T_a と比率 F_x / F_z との関係を示す図である。

【0087】

図6に示す力検出装置1aの上面(図6中の上側の面)は平坦であり、力検出装置1aの上面の全域はエンドエフェクター17に接触して固定されている。例えば、対象物がエンドエフェクター17の作業箇所Pに接触して作業箇所Pに矢印C1方向の外力Fが加わった場合、力検出装置1によって並進力成分Fzとともに回転力成分Myが検出されると想定される(図7中の期待値の列を参照)。例えば、大きさMの並進力成分Fzとともに、大きさMと距離Taとに応じた大きさTMの並進力成分Fyを検出すると想定される。距離Taは、中心軸A1aと作業箇所Pとの間の距離である。しかし、力検出装置1aでは、実際には、並進力成分Fzおよび回転力成分Myとともに、並進力成分Fxも検出される(図7中の出力値の列を参照)。これは、力検出装置1aに加わる力のy軸周りの回転中心が力検出素子41が備えるセンサーデバイスの中心からずれてしまい、力検出装置1aが備えるセンサーデバイスに本来加わっていない力が過剰に加わるためであると考えられる。また、外力Fが加わる作業箇所Pが中心軸A1aに対して離間するほど、図8に示すように、並進力成分Fxの大きさが増えていく傾向がある。

10

【0088】

このように、中心軸A1aに対してずれた位置にある作業箇所Pに外力Fが加わると、従来の力検出装置1aでは、他軸出力(図6の例では並進力成分Fx)が大きくなってしまう。そのため、このような力検出装置1aに対して偏心しているエンドエフェクター17等を使って作業する場合、力検出装置1aには、本来加わっていない力が見かけ上加わってしまう。また、この多軸出力を例えればデジタル回路基板等で補正をしたとしても、多軸出力が大き過ぎて十分に補正しきれない。そのため、偏心しているエンドエフェクター17を用いた場合、従来の力検出装置1aの検出結果を基にして、偏心していないエンドエフェクターを用いて作業する場合と同様の作業をすることが難しい。

20

【0089】

そこで、本実施形態の力検出装置1は、他軸出力を小さくするべく、前述したように、凸部32を有する第1部材3を備えている(図2参照)。以下、この凸部32を設けることにより他軸出力を小さくできることを、主に図9～図11を参照しつつ説明する。

【0090】

図9は、図2に示す力検出装置がエンドエフェクターに取り付けられている状態を模式的に示す側面図である。図10は、図2に示す力検出装置が有する第1部材の縦断面図である。図11は、図9に示す力検出装置における凸部の幅の影響を示す図である。

30

【0091】

図11は、図10に示す第1部材3の幅L3(径)を一定にしたまま凸部32の幅L1(径)を変更したときの並進力成分Fxyの大きさを示している。図11中の縦軸は、図9に示すようにエンドエフェクター17の作業箇所Pに矢印C1方向の外力Fが加わったときに力検出装置1から出力される並進力成分Fxyの並進力成分Fzに対する比率Fxy/Fzを示している。比率Fxy/Fzが0%に近い程、並進力成分Fxyが小さい。また、図11に示すグラフの横軸は、幅L1の幅L3に対する比率L1/L3を示している。

40

【0092】

なお、図9に示す力検出装置1は、図4の下側に位置するセンサーデバイス4が図9中の紙面手前側に位置するようにエンドエフェクター17に取り付けられている。すなわち、エンドエフェクター17は、力検出装置1の図4中右側に突出している。また、作業箇所Pと中心軸A1とを結ぶ軸線に沿った方向の並進力成分をFxy(並進力成分Fx、Fyを有する成分)とする(図9参照)。また、中心軸A1上の点を零点とし、この零点よりも図9中右側に向かう並進力成分Fxyを+(プラス)とし、零点よりも図9中左側に向かう並進力成分Fxyを-(マイナス)とする。

【0093】

図11に示すように、比率L1/L3に応じて比率Fxy/Fzは線形的に変化してい

50

る。すなわち、幅 L_1 を変更すると、幅 L_1 に応じて並進力成分 $F_x y$ の大きさが変化している。そして、比率 L_1 / L_3 が 100% である場合、すなわち凸部 32 を有さない場合に、最も並進力成分 $F_x y$ が大きくなっている。凸部 32 を有することで、凸部 32 を有さない場合に比べて比率 $F_x y / F_z$ が小さくすることができる。すなわち、凸部 32 を設けることで並進力成分 $F_x y$ を小さくすることができる。

【0094】

また、比率 $F_x y / F_z$ が 60% 程度になるまでは、幅 L_1 が小さくなるほど並進力成分 $F_x y$ ($+ F_x y$) を小さくすることができる。一方、比率 $F_x y / F_z$ が 60% 程度を超えると、幅 L_1 が小さくなるほど並進力成分 $F_x y$ ($- F_x y$) が大きくなっている。このような傾向は、図 9 中の矢印 C1 方向の外力 F が加わったときに力検出装置 1 (特に第 1 部材 3 の壁部 33a、33c) が受ける変形 (変位) に起因していると考えられる。この点について、主に図 9、図 12～図 17 を参照しつつ以下に説明する。

10

【0095】

図 12 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 25% であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。図 13 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 63% であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。図 14 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 100% であるときの力検出装置の変形状態を模式的に示す図である。図 15 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 25% であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。図 16 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 63% であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。図 17 は、図 11 に示す L_1 / L_3 が 100% であるときのセンサユニットにかかる力の回転中心を説明するための図である。なお、図 12 および図 13 では、凸部 32 の図示を省略している。

20

【0096】

図 12～図 14 に示すように、比率 L_1 / L_3 の大きさによって第 1 部材 3 (力検出装置 1) の変形の仕方が異なっている。各第 1 部材 3 は、外力 F が加わると軸 O1 を中心軸として変形 (変位) する (図 9、図 12～図 14 参照)。軸 O1 は、作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線 (またはエンドエフェクター 17 の延出方向に沿った軸) および中心軸 A1 (または外力 F の方向に沿った軸) の双方に直交する軸である。

【0097】

この軸 O1 の位置は、図 12～図 14 に示すように、比率 L_1 / L_3 の大きさによって異なっている。そして、軸 O1 の位置は比率 L_1 / L_3 が小さくなるほど、すなわちエンドエフェクター 17 と力検出装置 1 との接触面積が小さくなるほど、力検出装置 1 内の上側に位置している。

30

【0098】

具体的には、図 17 に示すように、比率 L_1 / L_3 が 100% である場合には、軸 O1 は、センサーデバイス 4a、4c の外部 (図 17 中の右下) に位置している。この状態から幅 L_1 を小さくしていくと、軸 O1 は、センサーデバイス 4a、4c に近づいていく。そして、図 16 に示すように、例えば、比率 L_1 / L_3 が 68% である場合、軸 O1 は、センサーデバイス 4a、4c の内部に位置する。この状態からさらに幅 L_1 を小さくしていくと、軸 O1 はセンサーデバイス 4a、4c 内を図 16 中の左上側に向かって横断していく。そして、図 15 に示すように、例えば、比率 L_1 / L_3 が 25% である場合、軸 O1 の位置は、センサーデバイス 4a、4c の外部 (図 15 中の左上) に位置する。なお、比率 L_1 / L_3 が 25% である場合には、比率 L_1 / L_3 が 100% である場合よりもセンサーデバイス 4a、4c の近傍に軸 O1 が位置している。このように、比率 L_1 / L_3 の大きさによって軸 O1 の位置が変わる。

40

【0099】

なお、比率 L_1 / L_3 が 100% である場合、外力 F が加わると第 1 部材 3 の上部のうち作業箇所 P に最も近い部分に最も力が加わる (図 6 および図 14 参照)。これにより、エンドエフェクター 17 の変形に伴って、第 1 部材 3 の上部の作業箇所 P に近い部分が下方に押され、第 1 部材 3 の上部の作業箇所 P から遠い部分が持ち上がるよう第 1 部材 3

50

は時計周りに変形する。一方、比率 L_1 / L_3 が 6.8%、2.5% である場合には、外力 F が加わると、凸部 32 の上面 301 のうち作業箇所 P に最も近い部分に最も力が加わる(図 9、図 12 および図 13 参照)。これにより、エンドエフェクター 17 の変形に伴って、凸部 32 の上面 301 の作業箇所 P に最も近い部分が下方に押され、凸部 32 の上面 301 の作業箇所 P から最も遠い部分が持ち上がるよう第 1 部材 3 は時計周りに変形する。また、比率 L_1 / L_3 が 2.5% である場合には、反時計周りにも変形すると考えられる。これは、比率 L_1 / L_3 が 2.5% である場合には、幅 L_1 が小さくなることで取付面として機能する上面 301 の面積が小さくなり、力検出装置 1 のエンドエフェクター 17 に対する取り付けの安定性が低下することが影響していると考えられる。

【0100】

10 このように、凸部 32 を設けて幅 L_1 (上面 301 の面積) を調節することにより、センサーデバイス 4a、4c の内部に軸 O1 を位置させることができる。これにより、壁部 33a、33c の作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線方向に沿った変形量を小さくすることができ、これに伴ってセンサーデバイス 4a、4c の作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線方向に沿った変形量を小さくすることができる(図 12 ~ 図 17 参照)。そのため、前述した外力 F によって力検出装置 1 から出力される並進力成分 $F_{x,y}$ を小さくすることができる。

【0101】

本実施形態では、前述したように、各センサーデバイス 4 が線分 CL に対して対称となるように配置されていて、圧電素子 5 の積層方向 D1 が中心軸 A1 に直交しており、電荷 QZ を用いずに並進力成分 F_x 、 F_y 、 F_z および回転力成分 M_x 、 M_y 、 M_z の演算を行う(図 4 および図 5 参照)。そのため、第 1 部材 3 の作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線方向に沿った変形(変位)は、センサーデバイス 4a、4c から出力される電荷 QX、QY の出力値に特に影響を与える。それゆえ、前述したように、センサーデバイス 4a、4c の作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線方向に沿った変形量を小さくすることで、外力 F を受けたときの力検出装置 1 から出力される並進力成分 $F_{x,y}$ を抑制することができる。

【0102】

なお、凸部 32 の厚さ(高さ)や、作業箇所 P と中心軸 A1 とを結ぶ軸線の長さ(離間距離 T)、外力 F の大きさ等を変化させても、図 11 に示す傾向と同様の傾向を示した。軸 O1 を、各センサーデバイス 4 を含む x-y 平面内に位置させることで、多軸出力(本実施形態では並進力成分 $F_{x,y}$)を小さくすることができる。

【0103】

また、比率 L_1 / L_3 は、3.5% 以上 7.5% 以下であることが好ましい(図 11 参照)。これにより、比率 $F_{x,y} / F_z$ を $\pm 200\%$ 程度にすることができる。すなわち、凸部 32 を有さない場合に比べて並進力成分 $F_{x,y}$ を半減することができる。さらに、比率 L_1 / L_3 は、5.0% 以上 7.0% 以下であることがより好ましく、5.5% 以上 6.5% 以下であることがさらに好ましい。これにより、力検出装置 1 をより安定してエンドエフェクター 17 に取り付けることができるとともに、並進力成分 $F_{x,y}$ をさらに低減することができる。

【0104】

ここで、本実施形態では、比率 L_1 / L_3 が 7.5% 以下であると、凸部 32 は、平面視で複数のセンサーデバイス 4 よりも内側に位置している状態となる。言い換えると、凸部 32 の幅 L_1 は、2 つの向かい合うセンサーデバイス 4(例えばセンサーデバイス 4b とセンサーデバイス 4d) の離間距離よりも短い。このように凸部 32 を位置させることで、凸部 32 を有さない場合に比べて並進力成分 $F_{x,y}$ を半減することができる。

【0105】

以上説明したように、力検出装置 1 は、アーム 16 を有するロボット 100 に取り付け可能な力検出装置 1 である(図 1 参照)。力検出装置 1 は、「被取付部材」としてのエンドエフェクター 17 を取り付け可能な「取付面」としての上面 301 を有する凸部 32 を

10

20

30

40

50

備える第1部材3と、アーム16に取り付けられる第2部材2と、第1部材3と第2部材2との間に支持され(挟持され)、第1部材3と第2部材2とに加えられる外力(外力F)を検出する少なくとも1つの(好ましくは複数の)圧電素子5(力検出素子41)と、を備える(図3～図5参照)。また、本実施形態では、凸部32は、第2部材2とは反対側に突出している。このような力検出装置1によれば、中心軸A1に対してずれた位置に外力Fが加わった場合でも、他軸出力(図10では並進力成分F_{x y})を小さくすることができ、力検出装置1による外力Fの検出精度を高めることができる。したがって、力検出装置1によれば、力検出装置1の中心軸A1に対してずれた位置に外力が加わった場合と、力検出装置1の中心軸A1上の位置に外力Fが加わった場合との双方において、力検出装置1による外力Fの検出精度を高めることができる。

10

【0106】

また、前述したように、力検出装置1は、第1部材3と第2部材2とによって挟持され、少なくとも1つの圧電素子5(本実施形態では複数の圧電素子5)を備えるセンサーデバイス4を複数有する。そして、平面視で、すなわち「取付面」としての上面301の法線方向から見て、凸部32は、複数のセンサーデバイス4よりも内側に位置している。これにより、力検出装置1の中心軸A1に対してずれた位置に外力Fが加わった場合でも、他軸出力をより小さくすることができ、力検出装置1による外力Fの検出精度をより高めることができる。特に、前述したように、凸部32を有さない場合に比べて他軸出力(図10では並進力成分F_{x y})を半減することができる。

20

【0107】

また、前述したように、本実施形態では、力検出装置1は、エンドエフェクター17に取り付けられている。言い換えると、力検出装置1の取付面としての上面301が取り付けられる「被取付部材」は、エンドエフェクター17である。これにより、力検出装置1によってエンドエフェクター17が受けた外力Fを高精度に検出することができる。そのため、ロボット100は、例えばエンドエフェクター17による対象物に対する作業をより高精度に行うことができる。

30

【0108】

特に、前述したように、エンドエフェクター17は、その作業箇所Pが中心軸A1に対してずれており、力検出装置1(およびアーム16)に対して偏心している。すなわち、エンドエフェクター17の作業箇所Pは、「取付面」としての上面301の中心(幾何学的な中心)を通る上面301の法線に対してずれている。このようなエンドエフェクター17に対して力検出装置1を用いることは特に有効であり、このようなエンドエフェクター17であっても、力検出装置1によれば、他軸出力を小さくすることができ、外力Fの検出精度を高めることができる。また、例えば、エンドエフェクター17は、その先端部に、ネジ止めを行うドライバーを備えた構成とすることができます。ドライバーを備えたエンドエフェクター17(偏心エンドエフェクター)である場合に、力検出装置1を用いることは特に有効である。力検出装置1を用いることでドライバーによるネジ止めを高精度に行うことができる。

30

【0109】

次に、第1部材3が凹部311を有することで第1部材3の軽量化を図るとともに力検出装置1の他軸出力を小さくすることができることを、主に図18、図19を参照しつつ説明する。

40

【0110】

図18は、図10に示す第1部材の凹部の幅の影響を示す図である。図19は、図10に示す第1部材の凹部の高さの影響を示す図である。

【0111】

図18は、図10に示す第1部材3の幅L3を一定にしたまま凹部311の幅L2(径)を変更したときの並進力成分F_{x y}の大きさを示している。図18は、例えば、幅L3が80mm、幅L1が55mm、第1部材3の高さが6mm、天板31の高さt3が5mm、凸部32の高さt1が1mm、比率L1/L3が68.75%である場合の第1部材

50

3を用いている。

【0112】

図18に示すように、第1部材3の幅L3に対して凹部311の幅L2を変更すると、並進力成分 $F \times y$ の大きさが変わる。このように、前述した幅L2の大きさを調整することに加えて、幅L3の大きさを調整して並進力成分 $F \times y$ を小さくすることも可能である。これにより、幅L2の大きさをある程度確保することができる。そのため、取付面としての上面301の面積を大きくして力検出装置1のエンドエフェクター17に対する取り付けの安定性を十分に確保しつつ、凹部311の幅L3を大きくして第1部材3の軽量化を図ることができる。したがって、例えば、図11に示す比率 $L1/L3$ を60%以上80%以下とし、比率 $L2/L3$ を53%以上70%以下とすることも好適である。これにより、第1部材3の軽量化を図ることができるとともに、並進力成分 $F \times y$ をより小さくすることができるという効果をより顕著に発揮することができる。

【0113】

このように、第1部材3は、凸部32とは反対側に凹部311を有する。これにより、第1部材3の軽量化を図ることができるとともに、他軸出力をより小さくすることができ、外力Fの検出精度をより高めることができる。

【0114】

また、図19は、図10に示す第1部材3の幅L3を一定にしたまま凹部311の高さ t_2 (厚さ)を変更したときの並進力成分 $F \times y$ の大きさを示している。図19に示すように、天板31の高さ以下の範囲内で高さ t_2 (厚さ)を変更しても、並進力成分 $F \times y$ の大幅な変化はない。そのため、天板31の高さ以下の範囲内で高さ t_2 (厚さ)を大きくすることで、並進力成分 $F \times y$ を低下させるという効果を発揮しつつ、第1部材3の更なる軽量化を図ることができる。

【0115】

<第2実施形態>

図20は、本発明の第2実施形態に係るロボットが備える力検出装置を示す縦断面図である。なお、以下の説明では、第2実施形態に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図20において、前述した実施形態と同様の構成は、同一符号を付している。

【0116】

図20に示す力検出装置1Aが備える第1部材3Aは、天板31(第1基部)と、凸部32を備える部材34と、複数の壁部33(第1与圧部)と、を有する。部材34の凸部32を除く部分は、略平板状をなしており、天板31に対して着脱可能に設けられている。これにより、所望の形状や大きさの凸部32を有する部材34に変更することが容易となり、例えばエンドエフェクター17の種類等に応じた部材34に簡単に変更することができる。

【0117】

なお、部材34は、着脱できず天板31に固定されていてもよい。また、図示では、部材34の凸部32を除く部分の平面視での外形は、天板31と同じ形状であるが、天板31と異なる形状であってもよい。

【0118】

このような力検出装置1Aによっても、外力(外力F)の検出精度を高めることができる。

【0119】

<第3実施形態>

図21は、本発明の第3実施形態に係るロボットを示す斜視図である。なお、以下の説明では、第2実施形態に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図20において、前述した実施形態と同様の構成は、同一符号を付している。

【0120】

10

20

30

40

50

図21に示すロボット600は、複腕ロボットであり、基台610と、第1のロボットアーム620と、第2のロボットアーム630と、第1のロボットアーム620の先端側に設けられた第1のエンドエフェクター640aと、第2のロボットアーム630の先端側に設けられた第2のエンドエフェクター640bと、2つの力検出装置1とを有する。

【0121】

第1のロボットアーム620は、アーム621(第1アーム)とアーム622(第2アーム)とを有し、アーム621、622が回動自在に連結することにより構成されている。アーム622の先端には、取付部材120A(アダプター)によって力検出装置1(または力検出装置1A)が接続されている。力検出装置1の先端には、第1のエンドエフェクター640aが接続されている。この第1のエンドエフェクター640aは、対象物を把持する2つの指641a、642aを有する。

10

【0122】

同様に、第2のロボットアーム630は、アーム631(第1アーム)とアーム632(第2アーム)とを有し、アーム631、632が回動自在に連結することにより構成されている。アーム632の先端には、取付部材120A(アダプター)によって力検出装置1(または力検出装置1A)が接続されている。力検出装置1の先端には、第2のエンドエフェクター640bが接続されている。この第2のエンドエフェクター640bは、対象物を把持する2つの指641b、642bを有する。

【0123】

このようなロボット600が力検出装置1を備えることで、第1のエンドエフェクター640aおよび第2のエンドエフェクター640bに加えられる外力を検出することができる。そのため、力検出装置1が検出した外力を、ロボット600を制御する機能を有する制御部(図示せず)にフィードバックすることにより、ロボット600は、より精密に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、ロボット600は、第1のエンドエフェクター640aおよび第2のエンドエフェクター640bの障害物への接触等を検知することができる。そのため、障害物回避動作および対象物損傷回避動作等を容易に行うことができ、ロボット600は、より安全に作業を実行することができる。

20

【0124】

なお、図示の構成では、ロボット600が有するロボットアームおよびアームの数は図示した数に限定されない。例えば、ロボットアームは、3本以上であってもよい。また、1つのロボットアームが有するアームの数は1本であってもよいし、3本以上であってもよい。

30

【0125】

以上、本発明の力検出装置およびロボットを、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、本発明は、前述した実施形態のうちの、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。

40

【0126】

また、力検出装置は、アームとアーム(被取付部材)との間に設けられていてもよい。また、センサーデバイスが有するパッケージが省略されていてもよい。また、圧電素子の積層方向は図示のものに限定されない。また、与圧ボルトは、必要に応じて設ければよく、省略してもよい。

【0127】

また、本発明のロボットは、例えば、スカラーロボット等の他のロボットであってもよい。

【0128】

また、本発明の力検出装置は、ロボット以外の機器に組み込むことも可能であり、例えば、自動車等の移動体に搭載してもよい。

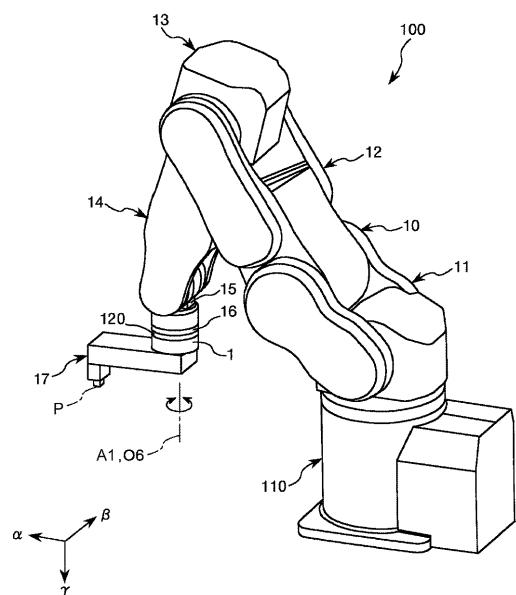
50

【符号の説明】

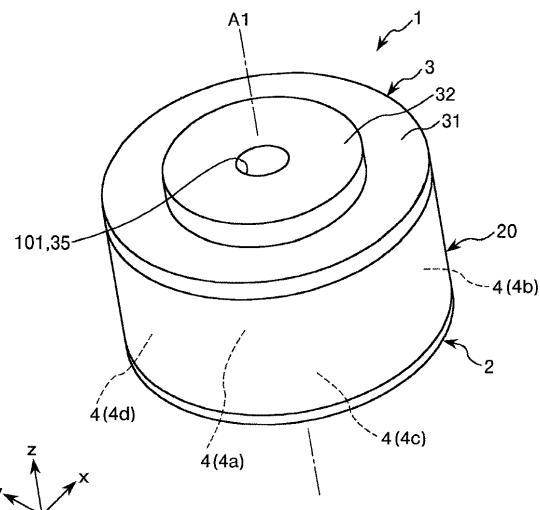
【0129】

1 ... 力検出装置、 1 A ... 力検出装置、 1 a ... 力検出装置、 2 ... 第2部材、 3 ... 第1部材、 3 A ... 第1部材、 4 ... センサーデバイス、 4 a ... センサーデバイス、 4 b ... センサーデバイス、 4 c ... センサーデバイス、 4 d ... センサーデバイス、 5 ... 圧電素子、 5 a ... 圧電素子、 5 b ... 圧電素子、 5 c ... 圧電素子、 6 ... アナログ回路基板、 10 ... ロボットアーム、 11 ... アーム、 12 ... アーム、 13 ... アーム、 14 ... アーム、 15 ... アーム、 16 ... アーム、 17 ... エンドエフェクター、 20 ... 側壁部、 21 ... 底板、 22 ... 壁部、 23 ... 部分、 25 ... 貫通孔、 26 ... 雌ネジ孔、 31 ... 天板、 32 ... 凸部、 33 ... 壁部、 33 a ... 壁部、 33 b ... 壁部、 33 c ... 壁部、 33 d ... 壁部、 34 ... 部材、 35 ... 貫通孔、 37 ... 貫通孔、 41 ... 力検出素子、 42 ... パッケージ、 51 ... 与圧ボルト、 51 a ... 圧電体層、 51 b ... 圧電体層、 51 c ... 圧電体層、 52 a ... 出力電極層、 52 b ... 出力電極層、 52 c ... 出力電極層、 53 a ... 圧電体層、 53 b ... 圧電体層、 53 c ... 圧電体層、 54 ... グランド電極層、 55 ... グランド電極層、 56 ... グランド電極層、 57 ... グランド電極層、 61 ... 貫通孔、 62 ... 貫通孔、 100 ... ロボット、 101 ... 貫通孔、 110 ... 基台、 120 ... 取付部材、 120 A ... 取付部材、 201 ... 下面、 231 ... 頂面、 301 ... 上面、 311 ... 凹部、 331 ... 内壁面、 421 ... 基部、 422 ... 蓋体、 600 ... ロボット、 610 ... 基台、 620 ... 第1のロボットアーム、 621 ... アーム、 622 ... アーム、 630 ... 第2のロボットアーム、 631 ... アーム、 632 ... アーム、 640 a ... 第1のエンドエフェクター、 640 b ... 第2のエンドエフェクター、 641 a ... 指、 641 b ... 指、 642 a ... 指、 642 b ... 指、 A1 ... 中心軸、 A1 a ... 中心軸、 C1 ... 矢印、 CL ... 線分、 D1 ... 積層方向、 Fx ... 並進力成分、 Fx y ... 並進力成分、 Fz ... 並進力成分、 Mx ... 回転力成分、 My ... 回転力成分、 Mz ... 回転力成分、 O1 ... 軸、 O6 ... 軸、 P ... 作業箇所、 QX ... 電荷、 QY ... 電荷、 QZ ... 電荷、 T ... 離間距離、 Ta ... 距離、 V ... 電圧、 VX ... 電圧、 VY ... 電圧、 VZ ... 電圧、 t1 ... 高さ、 t2 ... 高さ、 t3 ... 高さ、 L1 ... 幅、 L2 ... 幅、 L3 ... 幅、 F ... 外力、 S ... 空間、 58 ... 支持基板、 59 ... 支持基材、 50 ... 構造体、 102 ... チューブ、 103 ... 配線

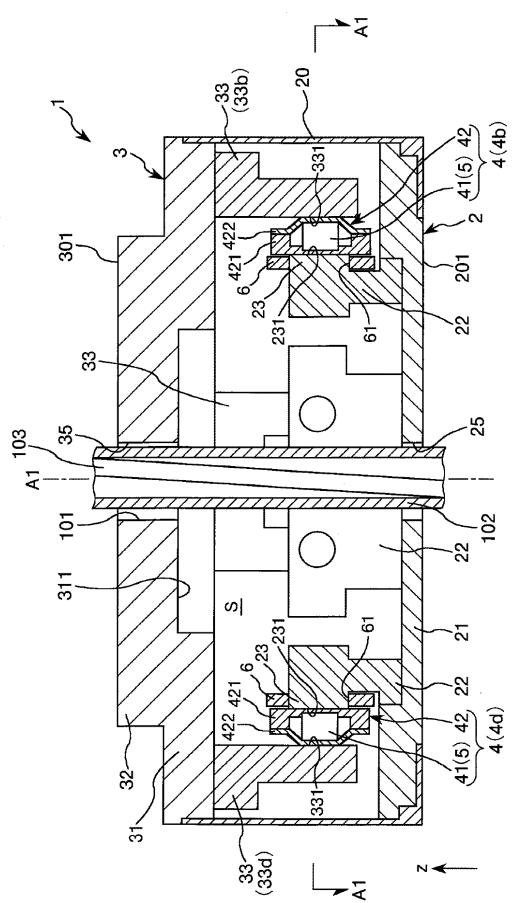
【 図 1 】



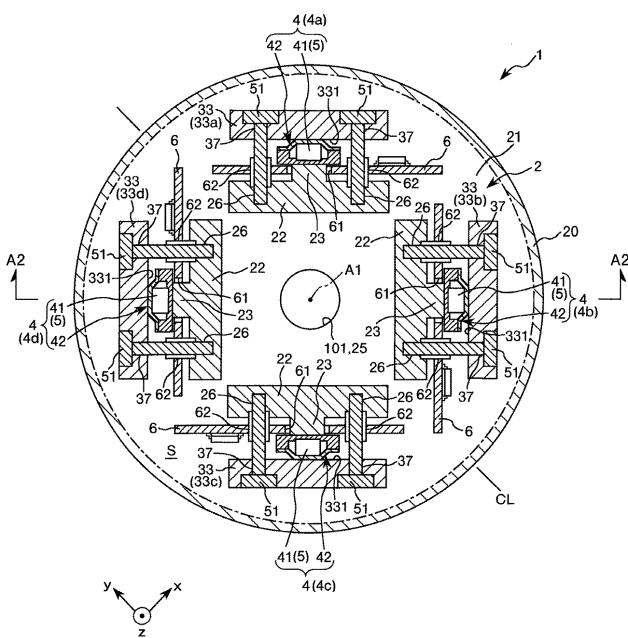
【 図 2 】



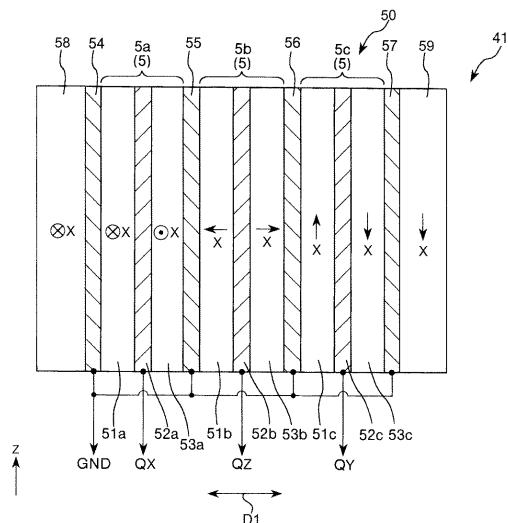
【図3】



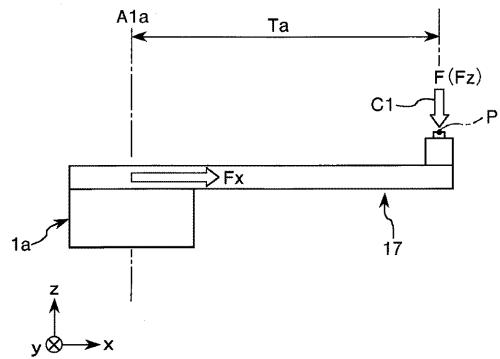
【 図 4 】



【図5】



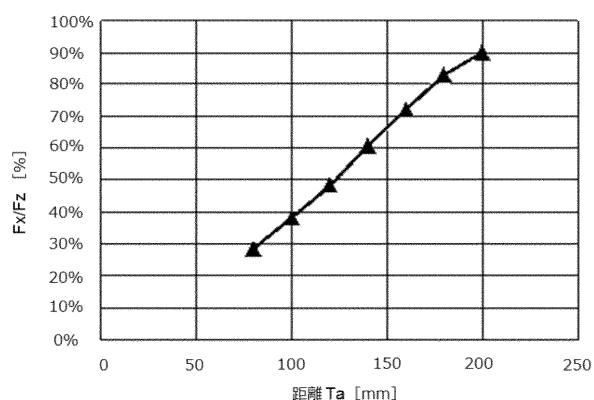
【図6】



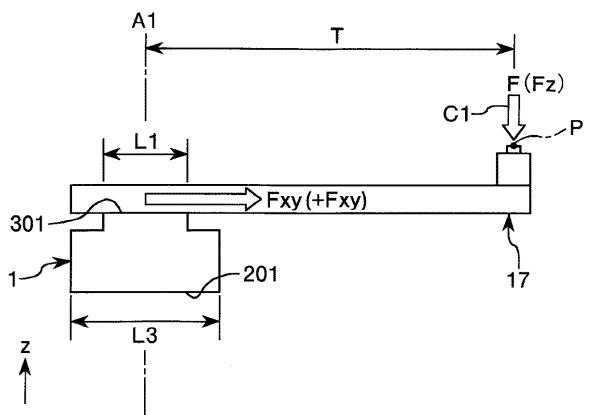
【図7】

	期待値	出力値
F_x	0	F_x
F_y	0	0
F_z	M	M
M_x	0	0
M_y	TM	TM
M_z	0	0

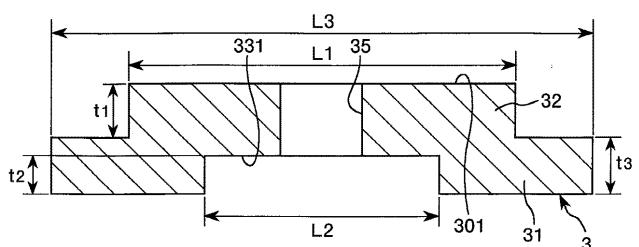
【図8】



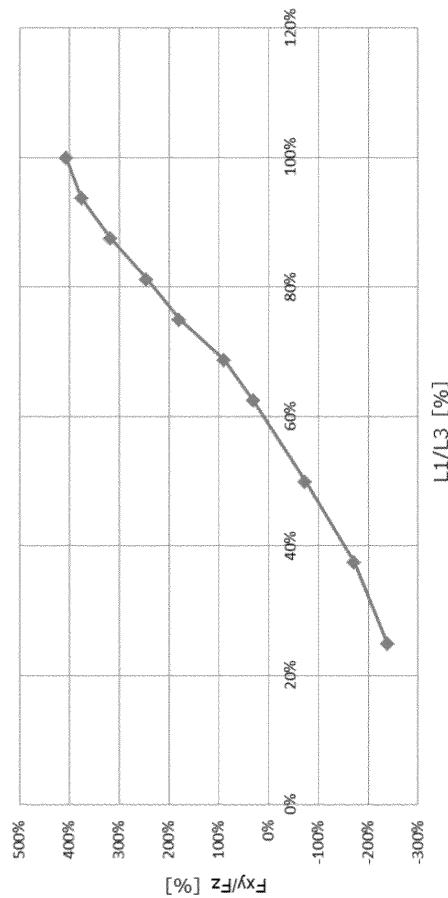
【図9】



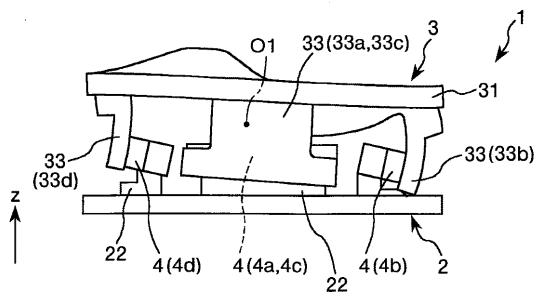
【図10】



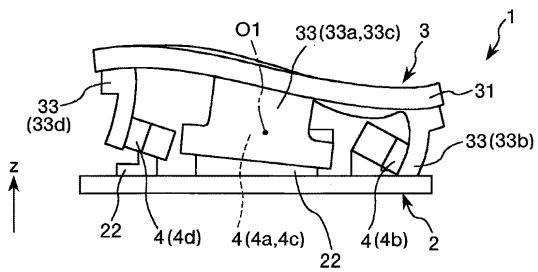
【図 1 1】



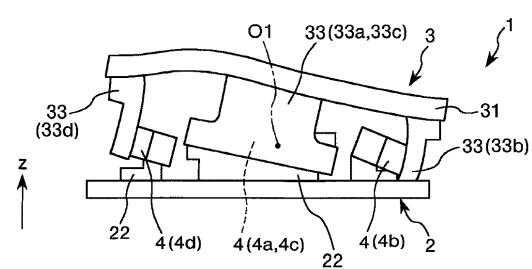
【図 1 2】



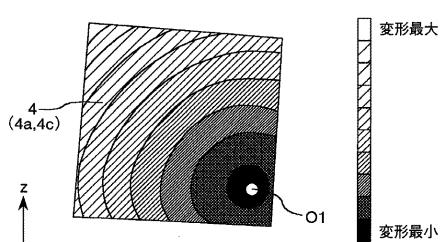
【図 1 3】



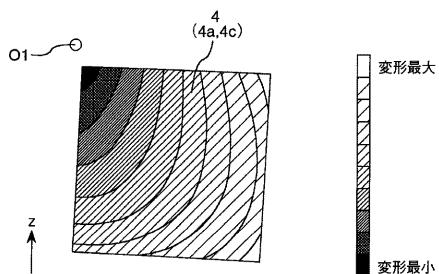
【図 1 4】



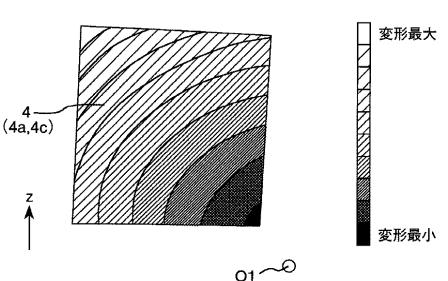
【図 1 6】



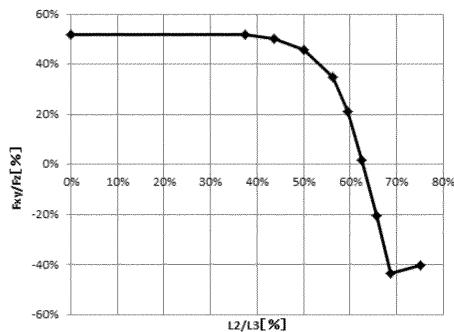
【図 1 5】



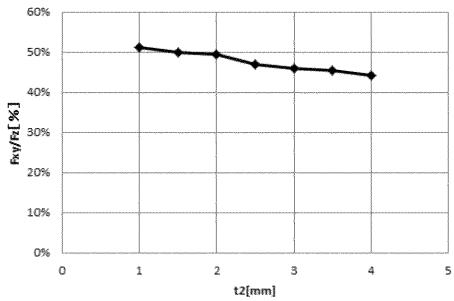
【図 1 7】



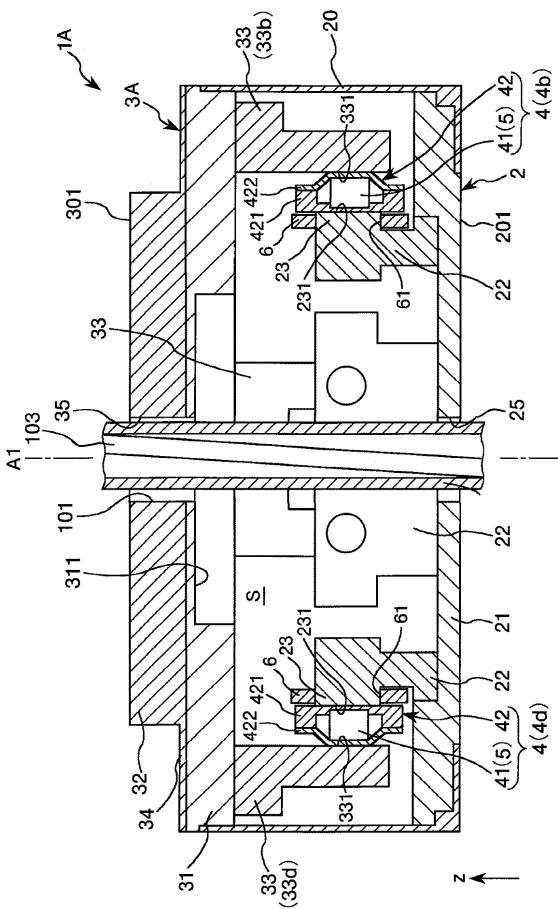
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】

