

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6232942号  
(P6232942)

(45) 発行日 平成29年11月22日 (2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日 (2017.11.2)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 L 5/16 (2006.01)** GO 1 L 5/16  
**GO 1 L 1/16 (2006.01)** GO 1 L 1/16 C

請求項の数 15 (全 34 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-229791 (P2013-229791)                  (22) 出願日 平成25年11月5日 (2013.11.5)                  (65) 公開番号 特開2015-90295 (P2015-90295A)                  (43) 公開日 平成27年5月11日 (2015.5.11)                  審査請求日 平成28年10月5日 (2016.10.5)</p>	<p>(73) 特許権者 000002369                  セイコーエプソン株式会社                  東京都新宿区新宿四丁目1番6号                  (74) 代理人 100091292                  弁理士 増田 達哉                  (74) 代理人 100091627                  弁理士 朝比 一夫                  (72) 発明者 神谷 俊幸                  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                   審査官 八木 智規</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

- 第1基部と、
- 第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する第1圧電素子と、

前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる前記外力を検出する第2圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第1基部は測定対象に固定される第1取付面を含み、前記第2基部は測定対象に固定される第2取付面を含み、

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子のそれぞれは、Yカット水晶板で構成された第1基板と、Yカット水晶板で構成された第2基板とを有し、前記第1基板と前記第2基板とが平行に積層され、前記第1基板と前記第2基板との積層方向において、前記第1基板のx軸と前記第2基板のx軸とが交差し、前記第1基板のz軸と前記第2基板のz軸とが交差しており、前記第1取付面または前記第2取付面の法線と前記積層方向とが異なるように設置され、

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子は、互いに同一平面上に配置されておらず、互いに平行に配置されていないことを特徴とする力検出装置。

【請求項2】

- 第1基部と、

第 2 基部と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部とによって挟持され、前記第 1 基部と前記第 2 基部とに加わる外力を検出する第 1 圧電素子と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部とによって挟持され、前記第 1 基部と前記第 2 基部とに加わる前記外力を検出する第 2 圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第 1 基部は測定対象に固定される第 1 取付面を含み、前記第 2 基部は測定対象に固定される第 2 取付面を含み、

前記第 1 圧電素子および前記第 2 圧電素子のそれぞれは、第 1 基板と第 2 基板を有し、前記第 1 取付面または前記第 2 取付面の法線と、前記第 1 基板と前記第 2 基板との積層方向と、が異なるように設置され、

前記第 1 圧電素子および前記第 2 圧電素子は、互いに同一平面上に配置されておらず、互いに平行に配置されていないことを特徴とする力検出装置。

【請求項 3】

前記第 1 圧電素子が出力する電荷を電圧に変換する変換回路と、前記電圧から外力を演算する演算回路を前記第 1 基部と前記第 2 基部との間の空間に収納していることを特徴とする請求項 2 に記載の力検出装置。

【請求項 4】

前記変換回路または前記演算回路には、半導体スイッチまたは MEMS スイッチの少なくとも一つが含まれることを特徴とする請求項 3 に記載の力検出装置。

【請求項 5】

前記空間は、円形または角丸正方形の断面形状を有する収納空間を形成し、前記第 1 圧電素子および前記第 2 圧電素子のそれぞれと前記第 1 取付面の中心との距離が等しいことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の力検出装置。

【請求項 6】

第 1 基部と、

第 2 基部と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部とによって挟持され、前記第 1 基部と前記第 2 基部とに加わる外力の成分を検出する第 1 圧電素子と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部とによって挟持され、前記第 1 基部と前記第 2 基部とに加わる前記外力の成分を検出する第 2 圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第 1 基部は測定対象に固定される第 1 取付面を含み、前記第 2 基部は測定対象に固定される第 2 取付面を含み、

前記第 1 圧電素子および前記第 2 圧電素子のそれぞれは、前記第 1 取付面または前記第 2 取付面の法線方向と異なる積層方向を有する第 1 基板と、第 2 基板とを有し、前記第 1 基板による、前記法線方向と同じ第 1 検出方向のせん断力の検出と、前記第 2 基板による、前記第 1 検出方向と交差する第 2 検出方向のせん断力の検出と、から前記第 1 基部と前記第 2 基部に加わる前記外力を検出し、

前記第 1 圧電素子および前記第 2 圧電素子は、互いに同一平面上に配置されておらず、互いに平行に配置されていないことを特徴とする力検出装置。

【請求項 7】

前記第 1 基板、前記第 2 基板は、Y カット水晶板であり、

前記第 1 基板の水晶結晶の x 軸と前記第 2 基板の水晶結晶の x 軸は、直交している請求項 2 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 1 圧電素子は、前記第 1 基板および前記第 2 基板の面内の直交する 2 方向と、前記 2 方向と直交する 1 方向の計 3 方向の外力を検出する請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の力検出装置。

【請求項 9】

前記第 1 圧電素子の周りに設けられて前記第 1 圧電素子に与圧を加える与圧ネジを複数備え、

10

20

30

40

50

前記与圧ネジの与圧方向が、前記第1基板および前記第2基板の前記積層方向に平行な方向である請求項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】

前記第1基部および前記第2基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、  
前記第1圧電素子および前記第2圧電素子は、前記第1基板と前記第2基板とが前記一方の基部に対して傾斜して配置されている請求項1ないし9のいずれか1項に記載の力検出装置。

【請求項11】

前記第1基部および前記第2基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、  
前記第1圧電素子および前記第2圧電素子は、前記一方の基部の中心軸に関して対称的に配置されている請求項1ないし9のいずれか1項に記載の力検出装置。

10

【請求項12】

前記第1基部および前記第2基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、  
前記第1圧電素子、前記第2圧電素子、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる前記外力を検出する第3圧電素子、および前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる前記外力を検出する第4圧電素子が、前記第1取付面または前記第2取付面からみて前記一方の基部の中心部から離間した位置にそれぞれ配置されている請求項1ないし9のいずれか1項に記載の力検出装置。

【請求項13】

前記第1圧電素子は、Xカット水晶板で構成された第3基板を有する請求項1ないし12のいずれか1項に記載の力検出装置。

20

【請求項14】

アームと、  
前記アームに設けられたエンドエフェクタと、  
前記アームと前記エンドエフェクタの間に設けられ、前記エンドエフェクタに加えられ  
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、測定対象に固定される第1取付面を含む第1基部と、測定対象に固定される第2取付面を含む第2基部と、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、  
前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する第1圧電素子と、前記第1基部  
と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる前記外力を  
検出する第2圧電素子と、を備え、

30

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子のそれぞれは、第1基板と第2基板を有し、  
前記第1取付面または前記第2取付面の法線と、前記第1基板と前記第2基板との積層方向と、  
が異なるように設置され、

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子は、互いに同一平面上に配置されておらず、  
互いに平行に配置されていないことを特徴とするロボット。

【請求項15】

電子部品を把持する把持部と、  
前記把持部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、測定対象に固定できる第1取付面を有する第1基部と、測定対象に固定できる第2取付面を有する第2基部と、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する第1圧電素子と、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる前記外力を検出する第2圧電素子と、を備え、

40

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子のそれぞれは、第1基板と第2基板を有し、  
前記第1取付面または前記第2取付面の法線と、前記第1基板と前記第2基板との積層方向と、  
が異なるように設置され、

前記第1圧電素子および前記第2圧電素子は、互いに同一平面上に配置されておらず、  
互いに平行に配置されていないことを特徴とする電子部品搬送装置。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置に関する。

## 【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。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（例えば、特許文献1参照）。

10

特許文献1に記載の力測定装置は、圧電素子としての水晶を用いて、せん断、引張力、圧縮力等を検出することができる。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献1】特開平10-68665号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、圧電素子として水晶を用いた力測定装置では、機械加工中に生じた熱により水晶が変形してしまい、その結果、圧電素子の出力における真値に対するノイズ成分となってしまう。そして、特許文献1に記載の力測定装置では、このようなノイズ対策が考慮されていない。

20

そこで、本発明の目的は、温度の変動による影響を受けにくい力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

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、

30

第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する複数の圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第1基部は測定対象に固定される第1取付面を含み、前記第2基部は測定対象に固定される第2取付面を含み、

前記各圧電素子は、Yカット水晶板で構成された第1基板と、Yカット水晶板で構成された第2基板とを有し、前記第1基板と前記第2基板とが平行に積層され、前記第1基板と前記第2基板との積層方向において、前記第1基板のx軸と前記第2基板のx軸とが交差し、前記第1基板のz軸と前記第2基板のz軸とが交差しており、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線と前記積層方向とが異なるように設置されていることを特徴とする。

40

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い装置となり、よって、外力を正確に検出することができる。

## 【0006】

## （適用例2）

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子は、前記第1基板および前記第2基板の面内の直交する2方向と、前記2方向と直交する1方向の計3方向の外力を検出することが好ましい。

これにより、外力を3次元的に検出することができる。

## 【0007】

50

## (適用例 3)

本発明に係わる力検出装置では、前記第 1 基部および前記第 2 基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなす部材で構成され、前記部材の面内の直交する 2 方向を A 軸、B 軸とし、前記 A 軸および前記 B 軸と直交する方向を C 軸とし、

前記圧電素子の前記部材に対する傾斜角度を  $\theta$  とし、

前記第 1 基板の x 軸と前記 A 軸とのなす角度を  $\alpha$  とし、

前記第 1 基板の x 軸方向に加わる力を  $f x_1$ 、前記第 2 基板の x 軸方向に加わる力を  $f x_2$  としたとき、

前記 A 軸方向の力  $F_A$ 、前記 B 軸方向の力  $F_B$  および前記 C 軸方向の力  $F_C$  は、それぞれ、下記式 (1)、(2) および (3) で表されるのが好ましい。

$$F_A = f x_1 \cdot \cos \theta - f x_2 \cdot \sin \theta \cdots (1)$$

$$F_B = f x_1 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha + f x_2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha \cdots (2)$$

$$F_C = -f x_1 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha - f x_2 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \cdots (3)$$

これにより、温度の変動による影響を受けにくい状態で、3次元での外力を確実に検出することができる。

## 【0008】

## (適用例 4)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子の周りに設けられて前記圧電素子に与圧を加える与圧ネジを複数備え、

前記与圧ネジの与圧方向が、前記第 1 基板および前記第 2 基板の積層方向に平行な方向であることが好ましい。

これにより、圧電素子に剪断力が作用したとき、圧電素子を構成する基板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。

## 【0009】

## (適用例 5)

本発明に係わる力検出装置では、前記第 1 基部および前記第 2 基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、

前記各圧電素子は、前記第 1 基板と前記第 2 基板とが前記一方の基部に対して傾斜して配置されていることが好ましい。

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い装置となり、よって、外力を正確に検出することができる。

## 【0010】

## (適用例 6)

本発明に係わる力検出装置では、前記第 1 基部および前記第 2 基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、

前記圧電素子は、複数設置されており、

前記複数の圧電素子には、前記一方の基部の中心軸に関して対称的に配置された前記圧電素子が含まれるのが好ましい。

これにより、外力を偏りなく検出することができる。

## 【0011】

## (適用例 7)

本発明に係わる力検出装置では、前記第 1 基部および前記第 2 基部のうちの少なくとも一方の基部は、板状をなし、

4 つ以上の前記圧電素子が、前記取付面からみて前記一方の基部の中心部から離間した位置にそれぞれ配置されていることが好ましい。

これにより、外力を安定して検出することができる。

## 【0012】

## (適用例 8)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子は、X カット水晶板で構成された第 3 基板を有することが好ましい。

10

20

30

40

50

これにより、水晶板を用いるという簡単な構成で、3次元での外力を確実に検出することができる。

【0013】

(適用例9)

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と、  
前記アームと前記エンドエフェクタの間に設けられ、前記エンドエフェクタに加えられ  
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、測定対象に固定される第1取付面を含む第1基部と、測定対象に固  
定される第2取付面を含む第2基部と、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され  
て前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する圧電素子と、を備え、

前記圧電素子は、Yカット水晶板で構成された第1基板と、Yカット水晶板で構成され  
た第2基板とを有し、前記第1基板と前記第2基板とが平行に積層され、前記第1基板と  
前記第2基板との積層方向において、前記第1基板のx軸と前記第2基板のx軸とが交差  
し、前記第1基板のz軸と前記第2基板のz軸とが交差しており、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線方向と前記積層方向とが  
異なるように設置されていることを特徴とする。

これにより、ロボットは、温度の変動による影響を受けにくいロボットとなり、よっ  
て、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。

【0014】

(適用例10)

本発明に係わる電子部品搬送装置は、電子部品を把持する把持部と、  
前記把持部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、測定対象に固定できる第1取付面を有する第1基部と、測定対象に  
固定できる第2取付面を有する第2基部と、前記第1基部と前記第2基部とによって挟持  
方向に挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する圧電素子と、を  
備え、

前記圧電素子は、Yカット水晶板で構成された第1基板と、Yカット水晶板で構成され  
た第2基板とを有し、前記第1基板と前記第2基板とが平行に積層され、前記第1基板と  
前記第2基板との積層方向において、前記第1基板のx軸と前記第2基板のx軸とが交差  
し、前記第1基板のz軸と前記第2基板のz軸とが交差しており、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線方向と前記積層方向とが  
異なるように設置されていることを特徴とする。

これにより、電子部品搬送装置は、温度の変動による影響を受けにくい装置となり、よ  
って、外力が正確に検出され、電子部品の搬送を適正に行なうことができる。

【0015】

(適用例11)

本発明に係わる力検出装置は、第1基部と、  
第2基部と、  
前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加  
わる外力の成分を検出する圧電素子と、  
を備える力検出装置であって、

前記第1基部は測定対象に固定される第1取付面を含み、前記第2基部は測定対象に固  
定される第2取付面を含み、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線方向と異なる積層方向を  
有する第1基板と、第2基板とを有し、  
前記第1基板による、前記法線方向と同じ第1検出方向のせん断力の検出と、  
前記第2基板による、前記第1検出方向と交差する第2検出方向のせん断力の検出と、か  
ら前記第1基部と前記第2基部に加わる外力を検出することを特徴とする。

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い装置となり、よっ  
て、

10

20

30

40

50

外力を正確に検出することができる。

【0016】

(適用例12)

本発明に係わる力検出装置では、前記第1基板、前記第2基板は、Yカット水晶板であり、

前記第1基板の水晶結晶のx軸と前記第2基板の水晶結晶のx軸は、直交しているのが好ましい。

これにより、水晶板を用いるという簡単な構成で、外力を確実に検出することができる。

【0017】

(適用例13)

本発明に係わる力検出装置では、前記第1の挟持方向に直交する第1平面と、前記第2の挟持方向に直交する第2平面との交線に平行な方向をC軸とした直交座標軸A軸、B軸、C軸を座標軸とし、

前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を、3軸方向の外力の成分として検出するのが好ましい。

これにより、3次元での外力を確実に検出することができる。

【0018】

(適用例14)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子が2つ設置され、前記2つの圧電素子のうちの一方の圧電素子の検出方向を第1検出方向、他方の圧電素子の検出方向を第2検出方向とし、前記第1検出方向と前記第2検出方向を含む平面と前記A軸と前記B軸を含む平面とのなす角度を  $\theta$  とし、

前記第1検出方向と前記A軸とのなす角度を  $\alpha$  とし、

前記一方の圧電素子の第1の出力を  $f \times x_1$ 、前記他方の圧電素子の第2の出力を  $f \times x_2$ 、としたとき、

前記A軸方向の力  $F_A$ 、前記B軸方向の力  $F_B$  および前記C軸方向の力  $F_C$  は、それぞれ、下記式(1)、(2)および(3)で表されるのが好ましい。

$$F_A = f \times x_1 \cdot \cos \theta - f \times x_2 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \dots (1)$$

$$F_B = f \times x_1 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha + f \times x_2 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \dots (2)$$

$$F_C = -f \times x_1 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha - f \times x_2 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \dots (3)$$

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い装置となり、よって、外力を正確に検出することができる。

【0019】

(適用例15)

本発明に係わる力検出装置では、前記圧電素子の周りに設けられて前記圧電素子に与圧を加える与圧ネジを複数備え、

前記与圧ネジの与圧方向が、前記第1基板および前記第2基板の積層方向に平行な方向であるのが好ましい。

これにより、圧電素子に剪断力が作用したとき、圧電素子を構成する基板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。

【0020】

(適用例16)

本発明に係わる力検出装置は、第1基部と、第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する複数の圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第1基部は測定対象に固定される第1取付面を含み、前記第2基部は測定対象に固定される第2取付面を含み、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線と、前記圧電素子の第1

10

20

30

40

50

基板と第2基板との積層方向と、が異なるように設置され、

総重量が1kgよりも軽いことを特徴とする。

これにより、力検出装置の重量を、1kgよりも軽くすることにより、力検出装置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。

【0021】

(適用例17)

本発明に係わる力検出装置は、第1基部と、第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とによって挟持され、前記第1基部と前記第2基部とに加わる外力を検出する複数の圧電素子と、を備える力検出装置であって、

前記第1基部は測定対象に固定される第1取付面を含み、前記第2基部は測定対象に固定される第2取付面を含み、

前記圧電素子は、前記第1取付面または前記第2取付面の法線と、前記圧電素子の第1基板と第2基板との積層方向と、が異なるように設置され、

前記各圧電素子が出力する電荷を電圧に変換する変換回路と、前記電圧から外力を演算する演算回路を前記第1基部と前記第2基部との間の空間に収納していることを特徴とする。

これにより、演算回路を別置きではなく、内蔵化することによって、配線ケーブル等の引き回しが不要となる。

【0022】

(適用例18)

本発明に係わる力検出装置では、前記変換回路または前記演算回路には、半導体スイッチまたはMEMSスイッチの少なくともいずれかが含まれるのが好ましい。

これにより、スイッチ素子を従来のメカスイッチから半導体スイッチ、MEMSスイッチにすると軽量化できる。

【0023】

(適用例19)

本発明に係わる力検出装置では、前記第1基部と前記第2基部とが円形または角丸正方形の断面形状を有する収納空間を形成し、前記圧電素子のそれぞれと前記取付面の中心との距離が等しいことを特徴とするのが好ましい。

これにより、基部の断面形状を円形、または角丸正方形にして、圧電素子を円周状に配置すると、応力が均一に分散できるので、基部の厚みを薄くすることができる。

【0024】

(適用例20)

本発明に係わるロボットは、外力を検出する複数の圧電素子を有する力検出装置とロボットアームを備えたロボットであって、前記力検出装置の重量は、前記ロボットアームが搬送できる最大重量の20%よりも軽いことを特徴とする。

これにより、力検出装置の重量は、前記ロボットアームが搬送できる最大重量の20%よりも軽くすることにより、力検出装置を取り付けたロボットアームの制御を容易にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【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に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。

【図3】図1に示す力検出装置の電荷出力素子を概略的に示す断面図である。

【図4】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5】図4中の矢印A方向から見た図である。

【図6】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。

10

20

30

40

50

【図 7】図 6 に示す力検出装置の平面図である。

【図 8】図 6 に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。

【図 9】本発明に係る力検出装置の第 3 実施形態を示す断面図である。

【図 10】図 9 に示す力検出装置の平面図である。

【図 11】図 9 に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。

【図 12】図 9 に示す力検出装置の電荷出力素子を概略的に示す断面図である。

【図 13】図 9 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 14】図 13 中の矢印 B 方向から見た図である。

【図 15】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。

10

【図 16】本発明に係る力検出装置を用いた複腕ロボットの 1 例を示す図である。

【図 17】本発明に係る力検出装置を用いた電子部品検査装置および部品搬送装置の 1 例を示す図である。

【図 18】本発明に係る力検出装置を用いた電子部品搬送装置の 1 例を示す図である。

【図 19】本発明に係る力検出装置を用いた部品加工装置の 1 例を示す図である。

【図 20】本発明に係る力検出装置を用いた移動体の 1 例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、本発明の力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置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。

20

< 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る。図 2 は、図 1 に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。図 3 は、図 1 に示す力検出装置の電荷出力素子を概略的に示す断面図である。図 4 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る。図 5 は、図 4 中の矢印 A 方向から見た図である。

なお、以下では、説明の都合上、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。

【0027】

図 1 に示す力検出装置 1 は、外力（モーメントを含む）を検出する機能、すなわち、互いに直交する 3 軸（（A）軸、（B）軸、（C）軸）に沿って加えられた外力を検出する機能を有する。この直交座標軸である 軸、 軸、 軸は、後述する積層方向 LD と傾斜して交差する平面内に 軸と 軸が含まれる直交座標軸である。

30

力検出装置 1 は、ベースプレートとして機能する第 1 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 に対向するカバープレートとして機能する第 2 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、加えられた外力に応じて信号を出力するセンサ素子（圧電素子）としての電荷出力素子 10 および電荷出力素子 10 を収納するパッケージ 60 を有するセンサーデバイス 6 と、固定部材としての 2 つの与圧ボルト（与圧ネジ）71 とを備えている。

40

【0028】

第 1 基部 2 は、外形が板状をなし、その平面形状は、特に限定されないが、例えば、円形や多角形等が挙げられる。第 1 基部 2 の縁部には、第 1 基部 2 の下面に対して傾斜角度で傾斜した傾斜面 221 を有する凸部 22 が突出形成されている。図 4、図 5 に示すように、この傾斜面 221 は、 軸と平行である。なお、傾斜角度は、 $0^\circ < < 90^\circ$  を満足する。

【0029】

本実施形態では、第 1 基部 2 の下面は、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）231 となる

50

。第2基部3も、外形が板状をなし、その平面形状は、第1基部2の平面形状が好ましい。この場合、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。この第2基部3は、天板32と、天板32の縁部に沿って形成され、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。

#### 【0030】

本実施形態では、天板32の上面は、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）321となる。なお、この取付面321と第1基部2の取付面231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。

10

この側壁33には、第1基部2の傾斜面221と対向する部分に、傾斜面221と平行な、すなわち、傾斜角度 $\theta$ で傾斜した傾斜面331が形成されている。そして、第1基部2の傾斜面221と第2基部3の傾斜面331との間で、センサーデバイス6が挟持されている。すなわち、電荷出力素子10は、パッケージ60を介して、第1基部2の傾斜面221と第2基部3の傾斜面331とで挟持され、与圧されている。そして、この挟持された電荷出力素子10は、第1基部2に対して傾斜角度 $\theta$ で傾斜することとなる。以下、この挟持されている方向を「挟持方向SD」と言う。

#### 【0031】

なお、第1基部2と第2基部3とのいずれを力が加わる側の基板としてもよいが、本実施形態では、第2基部3を力が加わる側の基板として説明する。また、電荷出力素子10は、アナログ回路基板4の第1基部2側の面に配置されていてもよい。

20

また、図5に示すように、電荷出力素子10は、第1のセンサー12のx軸と第1基部2の傾斜面221（ $\theta$ 軸）とのなす角度を $\alpha$ としたとき、角度 $\alpha$ が $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ を満足する程度まで傾くのが許容される。

また、側壁33の中心部を介して傾斜面331と反対側の部分は、第2基部3と連結、固定される固定部332となっている。

#### 【0032】

図2に示すように、アナログ回路基板4は、搭載されたセンサーデバイス6の電荷出力素子10から出力された電荷 $Q_x$ を電圧 $V_x$ に変換する変換出力回路90cと、電荷出力素子10から出力された電荷 $Q_z$ を電圧 $V_z$ に変換する変換出力回路90bと、電荷出力素子10から出力された電荷 $Q_y$ を電圧 $V_y$ に変換する変換出力回路90aとを備えている。また、デジタル回路基板5は、加えられた外力を検出する外力検出回路40を備えている。アナログ回路基板4、デジタル回路基板5は、それぞれ、第1基部2上の異なる位置に支持されており、第1基部2と第2基部3との間で保護されている。

30

#### 【0033】

なお、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、各種の樹脂材料、各種の金属材料等を用いることができる。

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、他方の基部がブロック状をなす部材で構成されていてもよい。

40

#### 【0034】

<電荷出力素子>

前述したように、力検出装置1は、互いに直交する $x$ 軸、 $y$ 軸、 $z$ 軸に沿って加えられた外力を検出する機能を有する。 $x$ 軸と $y$ 軸とは、第1基部2および第2基部3の平面内の直交する2方向に沿った軸であり、 $z$ 軸は、 $x$ 軸と $y$ 軸と直交する1方向に沿った軸、すなわち、第1基部2および第2基部3の厚さ方向に沿った軸である。そして、力検出装置1には、この外力を検出するものとして、電荷出力素子10が内蔵されている。

#### 【0035】

図3に示すように、電荷出力素子10は、電荷 $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $Q_z$ を出力することができ

50

る。そして、出力された電荷に基づいて、 $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸に沿って加えられた（受けた）外力が検出される。

なお、電荷出力素子 10 は、電荷  $Q_z$  を出力することができるが、後述するように、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。出力された電荷  $Q_z$  は、例えば、与圧ボルト（与圧ネジ）71 による与圧の調整に用いられる。

#### 【0036】

ここで、外力検出時に電荷  $Q_z$  を用いない理由として、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。

10

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、第 1 基部 2 の傾斜面 221 に対して垂直な方向から見て、四角形をなしている。なお、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、楕円形等が挙げられる。

#### 【0037】

図 3 に示すように、電荷出力素子 10 は、グランド（基準電位点）に接地された 4 つのグランド電極層 11 と、外力（せん断力）に応じて電荷  $Q_x$  を出力する第 1 のセンサー 12 と、外力（圧縮 / 引張力）に応じて電荷  $Q_z$  を出力する第 2 のセンサー 13 と、外力（せん断力）に応じて電荷  $Q_y$  を出力する第 3 のセンサー 14 とを有し、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、この積層している方向を「積層方向  $L_D$ 」と言い、取付面 321 の法線  $N_{L_2}$ （または取付面 231 の法線  $N_{L_1}$ ）と異なる方向となっている。

20

#### 【0038】

具体的には、電荷出力素子 10 は、取付面 321 に平行な第 1 基部 2 に対して傾斜角度で傾斜しており、その結果、積層方向  $L_D$  および挟持方向  $S_D$  のいずれの方向も、第 1 基部 2 に対して傾斜角度で傾斜している。

図示の構成では、図 3 中の右下側から、第 1 のセンサー 12、第 2 のセンサー 13、第 3 のセンサー 14 の順で積層されているが、本発明はこれに限られない。センサー 12、13、14 の積層順は任意である。

30

#### 【0039】

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。

#### 【0040】

第 1 のセンサー 12 は、積層方向  $L_D$  と直交する、すなわち、法線  $N_{L_2}$ （法線  $N_{L_1}$ ）の方向に対して傾斜した方向の第 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。

40

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。

#### 【0041】

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 3 中の紙面奥行き方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 3 中の斜め方向に沿った軸である。図 3 に示す構成では、 $x$  軸については、図 3 中の紙面奥側を正方向とし、その

50

反対側を負方向として説明する。y軸については、図3中の右下側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。z軸については、図3中の左下側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。

#### 【0042】

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、高い対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。

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。

#### 【0043】

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3中の紙面奥行き方向に沿った軸であり、z軸は、図3中の斜め方向に沿った軸である。図3に示す構成では、x軸については、図3中の紙面手前側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。y軸については、図3中の左上側を正方向とし、その反対側を負方向とする。z軸については、図3中の左下側を正方向とし、その反対側を負方向とする。

#### 【0044】

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、高い対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。

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(せん断力)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。

#### 【0045】

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のうち的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。

#### 【0046】

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。

#### 【0047】

また、出力電極層 1 2 2 の平面視での大きさは、第 1 の圧電体層 1 2 1 および第 2 の圧電体層 1 2 3 の平面視での大きさ以上であることが好ましい。出力電極層 1 2 2 が、第 1 の圧電体層 1 2 1 または第 2 の圧電体層 1 2 3 よりも小さい場合、第 1 の圧電体層 1 2 1 または第 2 の圧電体層 1 2 3 の一部は出力電極層 1 2 2 と接しない。そのため、第 1 の圧電体層 1 2 1 または第 2 の圧電体層 1 2 3 に生じた電荷の一部を出力電極層 1 2 2 から出力できない場合がある。その結果、出力電極層 1 2 2 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 1 3 2、1 4 2 についても同様である。

【0048】

第 2 のセンサー 1 3 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 1 3 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。

10

第 2 のセンサー 1 3 は、第 3 の圧電体層 1 3 1 と、第 3 の圧電体層 1 3 1 と対向して設けられた第 4 の圧電体層 1 3 3 と、第 3 の圧電体層 1 3 1 と第 4 の圧電体層 1 3 3 との間に設けられた出力電極層 1 3 2 を有する。

【0049】

第 3 の圧電体層 1 3 1 は、X 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。 $x$  軸は、第 3 の圧電体層 1 3 1 の厚さ方向に沿った軸であり、 $y$  軸は、図 3 中の斜め方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 3 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

そして、第 3 の圧電体層 1 3 1 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 1 3 1 内に電荷が誘起される。その結果、第 3 の圧電体層 1 3 1 の出力電極層 1 3 2 側表面近傍には正電荷が集まり、第 3 の圧電体層 1 3 1 のグランド電極層 1 1 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 3 の圧電体層 1 3 1 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 1 3 1 の出力電極層 1 3 2 側表面近傍には負電荷が集まり、第 3 の圧電体層 1 3 1 のグランド電極層 1 1 側表面近傍には正電荷が集まる。

20

【0050】

第 4 の圧電体層 1 3 3 も、X 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。 $x$  軸は、第 4 の圧電体層 1 3 3 の厚さ方向に沿った軸であり、 $y$  軸は、図 3 中の斜め方向に沿った軸であり、 $z$  軸は、図 3 中の紙面奥行き方向に沿った軸である。

30

そして、第 4 の圧電体層 1 3 3 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 1 3 3 内に電荷が誘起される。その結果、第 4 の圧電体層 1 3 3 の出力電極層 1 3 2 側表面近傍には正電荷が集まり、第 4 の圧電体層 1 3 3 のグランド電極層 1 1 側表面近傍には負電荷が集まる。同様に、第 4 の圧電体層 1 3 3 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 1 3 3 の出力電極層 1 3 2 側表面近傍には負電荷が集まり、第 4 の圧電体層 1 3 3 のグランド電極層 1 1 側表面近傍には正電荷が集まる。

【0051】

出力電極層 1 3 2 は、第 3 の圧電体層 1 3 1 内および第 4 の圧電体層 1 3 3 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 1 3 1 の表面または第 4 の圧電体層 1 3 3 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 1 3 2 近傍には、正電荷が集まる。その結果、出力電極層 1 3 2 からは、正の電荷  $Q_z$  が出力される。一方、第 3 の圧電体層 1 3 1 の表面または第 4 の圧電体層 1 3 3 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 1 3 2 近傍には、負電荷が集まる。その結果、出力電極層 1 3 2 からは、負の電荷  $Q_z$  が出力される。

40

【0052】

第 3 のセンサー 1 4 は、積層方向 LD と直交し、第 1 のセンサー 1 2 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 1 4 は、外力に応じて正

50

電荷または負電荷を出力するよう構成されている。

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。

【0053】

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3中の斜め方向に沿った軸であり、z軸は、図3中の紙面奥行き方向に沿った軸である。図3に示す構成では、x軸については、図3中の紙面左下側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。y軸については、図3中の左下側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。z軸については、図3中の紙面手前側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。

10

【0054】

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、高い対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。

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。

20

【0055】

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x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3中の斜め方向に沿った軸であり、z軸は、図3中の紙面奥行き方向に沿った軸である。図3に示す構成では、x軸については、図3中の紙面左上側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。y軸については、図3中の左上側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。z軸については、図3中の紙面手前側を正方向とし、その反対側を負方向として説明する。

30

【0056】

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、高い対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。

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。

40

【0057】

電荷出力素子10では、積層方向LDからの平面視で、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からの平面視で、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。

【0058】

50

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。

#### 【0059】

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。

10

#### 【0060】

また、図 1 に示すように、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、2 本あり、一方がセンサーデバイス 6 よりも図 1 中紙面奥側に配置され、破線で描かれており、他方がセンサーデバイス 6 よりも図 1 中紙面手前側に配置されている。なお、与圧ボルト 71 による「固定」は、2 つの固定対象物の互いの所定量の移動を許容しつつ行われる。具体的には、第 1 基部 2 と第 2 基部 3 とは、与圧ボルト 71 により、互いの所定量の第 2 基部 3 の面方向の移動が許容されつつ固定される。なお、これは、他の実施形態においても同様である。

20

#### 【0061】

図 1 に示す構成では、与圧ボルト 71 と螺合する雌ネジ（図示せず）が第 1 基部 2 の傾斜面 221 に設けられている。そして、第 1 基部 2 と第 2 基部 3 との間にセンサーデバイス 6 を挟持した状態で、与圧ボルト 71 を第 2 基部 3 側から第 1 基部 2 の雌ネジに差し込むことにより、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 ごと所定の大きさの圧力、すなわち、与圧が加えられる。これにより、電荷出力素子 10 に剪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。

30

なお、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、各種の樹脂材料、各種の金属材料等を用いることができる。

#### 【0062】

<センサーデバイス>

センサーデバイス 6 は、前記電荷出力素子 10 と、電荷出力素子 10 を収納するパッケージ 60 とを有している。

図 1 に示すように、パッケージ 60 は、凹部 611 を有する基部（第 1 の部材）61 と、その基部 61 に接合された蓋体（第 2 の部材）62 とを有している。電荷出力素子 10 は、基部 61 の凹部 611 に設置されており、その基部 61 の凹部 611 は、蓋体 62 により封止されている。これにより、電荷出力素子 10 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、電荷出力素子 10 の上面は、蓋体 62 に接触している。また、パッケージ 60 の蓋体 62 は、上側、すなわち、第 2 基部 3 側に配置され、基部 61 は、下側、すなわち、第 1 基部 2 側に配置され、その基部 61 がアナログ回路基板 4 に固定されている。この構成により、基部 61 と蓋体 62 とが、第 1 基部 2 の傾斜面 221 と第 2 基部 3 の傾斜面 331 とで挟持方向  $SD$  に挟持されて与圧され、さらに、その基部 61 と蓋体 62 とにより、電荷出力素子 10 も挟持方向  $SD$  に挟持されて与圧される。

40

#### 【0063】

また、基部 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、

50

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、基部 6 1 の構成材料と蓋体 6 2 の構成材料は、同一でもよく、また、異なってもよい。

また、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、楕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いてもよい。

#### 【 0 0 6 4 】

また、蓋体 6 2 は、本実施形態では、板状をなし、その中央部 6 2 5 と外周部 6 2 6 との間の部位が屈曲することで、中央部 6 2 5 が第 2 基部 3 に向けて突出している。中央部 6 2 5 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 1 0 と同じ形状、すなわち、四角形をなしている。なお、蓋体 6 2 の中央部 6 2 5 の上面および下面は、いずれも平面である。

#### 【 0 0 6 5 】

また、パッケージ 6 0 の基部 6 1 の下面の端部には、電荷出力素子 1 0 と電氣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 と電氣的に接続されており、これにより、電荷出力素子 1 0 とアナログ回路基板 4 とが電氣的に接続される。

なお、また、アナログ回路基板 4 の電荷出力素子 1 0 が配置されている部位には、凸部 2 6 が挿入される孔 4 1 が形成されている。この孔 4 1 は、アナログ回路基板 4 を貫通する貫通孔である。本発明は、入力された回転速度を減じて出力する減速機と当該減速機を有するロボットハンドおよびロボットに関する。

#### 【 0 0 6 6 】

##### < 変換出力回路 >

図 2 に示すように、電荷出力素子 1 0 には、変換出力回路 9 0 a、9 0 b、9 0 c が接続されている。変換出力回路 9 0 a は、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷  $Q_y$  を電圧  $V_y$  に変換する機能を有する。変換出力回路 9 0 b は、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷  $Q_z$  を電圧  $V_z$  に変換する機能を有する。変換出力回路 9 0 c は、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷  $Q_x$  を電圧  $V_x$  に変換する機能を有する。変換出力回路 9 0 a、9 0 b、9 0 c は、同様であるので、以下では、代表的に、変換出力回路 9 0 c について説明する。

#### 【 0 0 6 7 】

変換出力回路 9 0 c は、電荷出力素子 1 0 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 9 0 c は、オペアンプ 9 1 と、コンデンサー 9 2 と、スイッチング素子 9 3 とを有する。オペアンプ 9 1 の第 1 の入力端子（マイナス入力）は、電荷出力素子 1 0 の出力電極層 1 2 2 に接続され、オペアンプ 9 1 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 9 1 の出力端子は、外力検出回路 4 0 に接続されている。コンデンサー 9 2 は、オペアンプ 9 1 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 9 3 は、オペアンプ 9 1 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 9 2 と並列接続されている。また、スイッチング素子 9 3 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 9 3 はスイッチング動作を実行する。

#### 【 0 0 6 8 】

スイッチング素子 9 3 がオフの場合、電荷出力素子 1 0 から出力された電荷  $Q_x$  は、静電容量  $C_1$  を有するコンデンサー 9 2 に蓄えられ、電圧  $V_x$  として外力検出回路 4 0 に出力される。次に、スイッチング素子 9 3 がオンになった場合、コンデンサー 9 2 の両端子間が短絡される。その結果、コンデンサー 9 2 に蓄えられた電荷  $Q_x$  は、放電されて 0 クーロンとなり、外力検出回路 4 0 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 9 3 がオンとなることを、変換出力回路 9 0 c をリセットするという。なお、理想的な変換出力回路 9 0 c から出力される電圧  $V_x$  は、電荷出力素子 1 0 から出力される電荷

Q x の蓄積量に比例する。

【 0 0 6 9 】

スイッチング素子 9 3 は、例えば、M O S F E T ( M e t a l O x i d e S e m i c o n d u c t o r F i e l d E f f e c t T r a n s i s t o r )、その他、半導体スイッチまたは M E M S 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 9 3 として M O S F E T 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 9 0 c や、変換出力回路 9 0 a、9 0 b に実装されているが、その他、A D コンバータ 4 0 1 にも実装することができる。

10

【 0 0 7 0 】

スイッチング素子 9 3 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 9 3 のドレイン電極またはソース電極の一方がオペアンプ 9 1 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 9 1 の出力端子に接続されている。また、スイッチング素子 9 3 のゲート電極は、駆動回路（図示せず）に接続されている。

【 0 0 7 1 】

各変換出力回路 9 0 a、9 0 b、9 0 c のスイッチング素子 9 3 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 9 3 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 9 0 a、9 0 b、9 0 c のスイッチング素子 9 3 の動作が同期する。すなわち、各変換出力回路 9 0 a、9 0 b、9 0 c のスイッチング素子 9 3 のオン/オフタイミングは一致する。

20

【 0 0 7 2 】

< 外力検出回路 >

図 2 に示すように、外力検出回路 4 0 は、変換出力回路 9 0 a から出力される電圧  $V_y$  と、変換出力回路 9 0 b から出力される電圧  $V_z$  と、変換出力回路 9 0 c から出力される電圧  $V_x$  とに基づき、加えられた外力を検出する機能を有する。外力検出回路 4 0 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 4 0 1 と、A D コンバータ 4 0 1 に接続された演算部（演算回路）4 0 2 とを有する。

30

【 0 0 7 3 】

A D コンバータ 4 0 1 は、電圧  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$  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 4 0 1 によってデジタル変換された電圧  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$  は、演算部 4 0 2 に入力される。

演算部 4 0 2 は、デジタル変換された電圧  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$  に対して、例えば、各変換出力回路 9 0 a、9 0 b、9 0 c 間の感度の差をなくす補正等の各処理を行う。そして、演算部 4 0 2 は、電荷出力素子 1 0 から出力される電荷  $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $Q_z$  の蓄積量に比例する 3 つの信号を出力する。

【 0 0 7 4 】

< 軸、軸および軸方向の力検出（力検出方法） >

40

前述したように、電荷出力素子 1 0 は、積層方向 L D と挟持方向 S D とが第 1 基部 2 に対して傾斜角度  $\theta$  で傾斜するように設置された状態となっている（図 1、図 4 参照）。すなわち、第 1 のセンサー 1 2 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、第 2 のセンサー 1 3 が電荷  $Q_z$  を出力する際に作用する外力の第 2 検出方向とを含む平面と、軸と軸を含む平面とのなす角度が傾斜角度  $\theta$  となっている。

【 0 0 7 5 】

そして、本発明者らは、軸方向の力  $F_A$ 、軸方向の力  $F_B$  および軸方向の力  $F_C$  を、それぞれ、下記式（1）、（2）および（3）で表すことができることを見出した。式（1）～（3）中の「 $f_{x_1}$ 」は、第 1 のセンサー 1 2（第 1 検出板）の x 軸方向に加わる力、すなわち、電荷  $Q_x$ （第 1 の出力）から求められた力であり、「 $f_{x_2}$ 」は、第

50

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>y</sub>(第2の出力)から求められた力である。

【0076】

$$F_A = f x_1 \cdot \cos \theta - f x_2 \cdot \sin \theta \cdots (1)$$

$$F_B = f x_1 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha + f x_2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha \cdots (2)$$

$$F_C = -f x_1 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha - f x_2 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \cdots (3)$$

例えば、図1に示す構成の力検出装置1の場合、 $\theta$ は45°、 $\alpha$ は0°となる。式(1)~(3)の $\theta$ に45°を代入し、 $\alpha$ に0°を代入すると、力F<sub>A</sub>~F<sub>C</sub>は、それぞれ、

$$F_A = f x_1$$

$$F_B = f x_2 / \sqrt{2}$$

$$F_C = -f x_2 / \sqrt{2}$$

となる。

【0077】

このように力検出装置1では、力F<sub>A</sub>~F<sub>C</sub>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<sub>z</sub>)を用いずに、その検出を行なうことができる。従って、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<sub>A</sub>~F<sub>C</sub>を正確に安定して検出することができる。

【0078】

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重量の20%よりも軽い。これにより、力検出装置1を取り付けたロボットアームの制御を容易にすることができる。

【0079】

<第2実施形態>

図6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。図7は、図6に示す力検出装置の平面図である。図8は、図6に示す力検出装置を概略的に示す回路図である。

以下、これらの図を参照して本発明の力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置の第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。

本実施形態は、センサーデバイスの配置数が異なること以外は第1実施形態と同様である。

【0080】

図6、図7に示すように、本実施形態では、センサーデバイス6(電荷出力素子10)は、4つ設置されている。以下、各センサーデバイス6を図7中の時計回りに順に「センサーデバイス(第1のセンサ素子)6A」、「センサーデバイス(第2のセンサ素子)6B」、「センサーデバイス(第3のセンサ素子)6C」、「センサーデバイス(第4のセンサ素子)6D」と言う。

【0081】

なお、第1基部2と第2基部3とは、前述したようにアナログ回路基板4やデジタル回路基板5を収納しており、収納空間が形成されている。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。そして、各センサーデバイス6のそれぞれと前記取付面321(または取付面231)の中心との距離が等しい。このような構成により、センサーデバイス6を円周状に配置すると、応力が均一に分散できるので、第1基部2や第2基部3の厚みを薄くすることができる。

また、与圧ボルト71は、8本(複数)あり、そのうちの2本ずつが各センサーデバイ

10

20

30

40

50

ス6を介してその両側に配置され、すなわち、可Kセンサーデバイス6の周りに設けられて、当該センサーデバイス6に対して与圧を付与している。なお、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。

#### 【0082】

そして、図7に示すように、センサーデバイス6Aとセンサーデバイス6Cとは、平面形状が円形をなす第2基部3（一方の基部）の中心軸641に関して対称的に配置され、センサーデバイス6Bとセンサーデバイス6Dとは、中心軸641に対し90度ずれた中心軸642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6A～6Dは、第2基部3の中心643回りに等間角度隔に配置されている。このような配置により、外力を偏りなく検出することができる。

10

センサーデバイス6A～6Dは、取付面321からみて、第2基部3の中心部（中心643）からできる限り離間した位置に配置されているのが好ましい。これにより、外力を安定して検出することができる。

#### 【0083】

なお、センサーデバイス6Aは、前記第1実施形態でも述べたように、積層方向LD（第1積層方向）に積層された第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とを備える。第1のセンサー12は、積層方向LD（第1積層方向）と直交する第1検出方向の外力に応じて第1の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第1の圧電体層121（第1の検出板）と、第2の圧電体層123（第1の検出板）と、出力電極層122とで構成されている。第2のセンサー13は、電荷 $Q_z$ を出力する機能を有し、第3の圧電体層（第9の検出板）131と、第4の圧電体層（第9の検出板）133と、出力電極層132とで構成されている。第3のセンサー14は、第1積層方向と直交し、第1検出方向と交差する第2検出方向の外力に応じて第2の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第5の圧電体層141（第2の検出板）と、第6の圧電体層143（第2の検出板）と、出力電極層142とで構成されている。

20

#### 【0084】

センサーデバイス6Bは、センサーデバイス6Aと同様の構成であり、積層方向LD（第2積層方向）に積層された第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とを備える。第2積層方向は、取付面321の法線 $NL_2$ と異なり、中心643に関して第1積層方向と対称的な方向である。第1のセンサー12は、第2積層方向と直交する第3検出方向の外力に応じて第3の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第1の圧電体層121（第3の検出板）と、第2の圧電体層123（第3の検出板）と、出力電極層122とで構成されている。第2のセンサー13は、電荷 $Q_z$ を出力する機能を有し、第3の圧電体層131と、第4の圧電体層133と、出力電極層132とで構成されている。第3のセンサー14は、第2積層方向と直交し、第3検出方向と交差する第4検出方向の外力に応じて第4の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第5の圧電体層141（第4の検出板）と、第6の圧電体層143（第4の検出板）と、出力電極層142を有する。

30

#### 【0085】

センサーデバイス6Cも、センサーデバイス6Aと同様の構成であり、積層方向LD（第3積層方向）に積層された第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とを備える。第1のセンサー12は、積層方向LD（第3積層方向）と直交する第5検出方向の外力に応じて第5の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第1の圧電体層121（第5の検出板）と、第2の圧電体層123（第5の検出板）と、出力電極層122とで構成されている。第2のセンサー13は、電荷 $Q_z$ を出力する機能を有し、第3の圧電体層（第9の検出板）131と、第4の圧電体層（第9の検出板）133と、出力電極層132とで構成されている。第3のセンサー14は、第3積層方向と直交し、第5検出方向と交差する第6検出方向の外力に応じて第6の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第5の圧電体層141（第6の検出板）と、第6の圧電体層143（第6の検出板）と、出力電極層142とで構成されている。

40

50

## 【0086】

センサーデバイス6Dも、センサーデバイス6Aと同様の構成であり、積層方向LD(第4積層方向)に積層された第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とを備える。第4積層方向は、取付面321の法線 $NL_2$ と異なり、中心643に関して第3積層方向と対称的な方向である。第1のセンサー12は、第4積層方向と直交する第7検出方向の外力に応じて第7の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第1の圧電体層121(第7の検出板)と、第2の圧電体層123(第7の検出板)と、出力電極層122とで構成されている。第2のセンサー13は、電荷 $Q_z$ を出力する機能を有し、第3の圧電体層131と、第4の圧電体層133と、出力電極層132とで構成されている。第3のセンサー14は、第4積層方向と直交し、第7検出方向と交差する第8  
10 検出方向の外力に応じて第8の出力である電荷 $Q_x$ を出力する機能を有し、第5の圧電体層141(第8の検出板)と、第6の圧電体層143(第8の検出板)と、出力電極層142を有する。

なお、力検出装置1は、本実施形態では、センサーデバイス6A~6Dを備えるものであるが、これに限定されず、例えば、センサーデバイス6A~6Dのうちのセンサーデバイス6Cとセンサーデバイス6Dとが省略されたものであってもよい。この場合、構成が簡単な力検出装置1となる。

## 【0087】

<変換出力回路>

図8に示すように、センサーデバイス6A~6Dの各電荷出力素子10には、それぞれ  
20 変換出力回路90a、90b、90cが接続されている。各変換出力回路90a、90b、90cは、前述した第1実施形態の変換出力回路90と同様であるので、その説明は省略する。

## 【0088】

なお、センサーデバイス6Aの電荷出力素子10は、電荷 $Q_{x1}$ 、 $Q_{y1}$ 、 $Q_{z1}$ を出力し、センサーデバイス6Bの電荷出力素子10は、電荷 $Q_{x2}$ 、 $Q_{y2}$ 、 $Q_{z2}$ を出力し、センサーデバイス6Cの電荷出力素子10は、電荷 $Q_{x3}$ 、 $Q_{y3}$ 、 $Q_{z3}$ を出力し、センサーデバイス6Dの電荷出力素子10は、電荷 $Q_{x4}$ 、 $Q_{y4}$ 、 $Q_{z4}$ を出力する。  
。

## 【0089】

<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 $V_{y1}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{y3}$ 、 $V_{y4}$ と、各変換出力回路90bから出力される電圧 $V_{z1}$ 、 $V_{z2}$ 、 $V_{z3}$ 、 $V_{z4}$ と、各変換出力回路90cから出力される電圧 $V_{x1}$ 、 $V_{x2}$ 、 $V_{x3}$ 、 $V_{x4}$ とに基づき、加えられた外力を検出する機能を有する。外力検出回路40は、変換出力回路90a、90b、90cに接続されたADコンバーター401と、ADコンバーター401に接続された演算部402とを有する。  
30

## 【0090】

ADコンバーター401は、電圧 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ 、 $V_{x3}$ 、 $V_{y3}$ 、 $V_{z3}$ 、 $V_{x4}$ 、 $V_{y4}$ 、 $V_{z4}$ 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。ADコンバーター401によってデジタル変換された電圧 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ 、 $V_{x3}$ 、 $V_{y3}$ 、 $V_{z3}$ 、 $V_{x4}$ 、 $V_{y4}$ 、 $V_{z4}$ は、演算部402に入力される。  
40

そして、本実施形態での力検出装置1全体としての力 $F_A$ ~ $F_C$ は、それぞれ、センサーデバイス6A~6Dの各電荷出力素子10で出力された電荷から基づいて検出された力 $F_A$ ~ $F_C$ 合力( $F_A$ 、 $F_B$ 、 $F_C$ )となる。

## 【0091】

<第3実施形態>

図9は、本発明に係る力検出装置の第3実施形態を示す断面図である。図10は、図9に示す力検出装置の平面図である。図11は、図9に示す力検出装置を概略的に示す回路  
50

図である。図 1 2 は、図 9 に示す力検出装置の電荷出力素子を概略的に示す断面図である。図 1 3 は、図 9 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 1 4 は、図 1 3 中の矢印 B 方向から見た図である。

【 0 0 9 2 】

以下、これらの図を参照して本発明の力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置の第 3 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。

本実施形態は、センサーデバイスの配置数および姿勢が異なること以外は第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 9 3 】

図 9、図 1 0 に示すように、本実施形態では、センサーデバイス 6（電荷出力素子 1 0）は、2 つ設置されている。以下、2 つのセンサーデバイス 6 のうち、図中の右側に位置する一方のセンサーデバイス 6 を「センサーデバイス 6 A」と言い、他方のセンサーデバイス 6 を「センサーデバイス 6 B」と言う。なお、センサーデバイス 6 の設置数は、2 つに限定されず、例えば、3 つ以上であってもよい。

【 0 0 9 4 】

第 1 基部 2 は、外形が板状をなし、その平面形状は、角部が丸みを帯びた四角形をなす。この第 1 基部 2 は、底板 2 3 と、底板 2 3 から上方に向かって立設した壁部 2 4 とを有している。壁部 2 4 は、「L」字状をなし、外方に臨む 2 つの面にそれぞれ凸部 2 6 が突出形成されている。各凸部 2 6 の頂面 2 6 1 は、底板 2 3 に対して垂直な平面ある。

第 2 基部 3 も、外形が板状をなし、その平面形状は、第 1 基部 2 の平面形状と同じである。

【 0 0 9 5 】

そして、第 1 基部 2 の 2 つの凸部 2 6 のうちの一方の凸部 2 6 の頂面 2 6 1 と第 2 基部 3 の側壁 3 3 との間で、センサーデバイス 6 A が挟持されている。すなわち、センサーデバイス 6 A の電荷出力素子 1 0 は、パッケージ 6 0 を介して、第 1 基部 2 の一方の凸部 2 6 の頂面 2 6 1 と第 2 基部 3 の側壁 3 3 とで挟持され、与圧されている。図 9、図 1 2 に示すように、このセンサーデバイス 6 A の電荷出力素子 1 0 の姿勢は、当該電荷出力素子 1 0 を構成する各層が第 1 基部 2 に対して垂直である、すなわち、積層方向 L D と挟持方向 S D とが第 1 基部 2 に対して平行となっている。図 1 3 に示すように、この電荷出力素子 1 0 は、第 1 のセンサー 1 2 の x 軸および第 3 のセンサー 1 4 の z 軸が 軸に対して傾斜角度 で傾斜している。

【 0 0 9 6 】

また、第 1 基部 2 の他方の凸部 2 6 の頂面 2 6 1 と第 2 基部 3 の側壁 3 3 との間で、センサーデバイス 6 B が挟持されている。すなわち、センサーデバイス 6 B の電荷出力素子 1 0 は、パッケージ 6 0 を介して、第 1 基部 2 の他方の凸部 2 6 の頂面 2 6 1 と第 2 基部 3 の側壁 3 3 とで挟持され、与圧されている。このセンサーデバイス 6 B の電荷出力素子 1 0 の姿勢も、当該電荷出力素子 1 0 を構成する各層が第 1 基部 2 に対して垂直である、すなわち、積層方向 L D と挟持方向 S D とが平行となっている。図 1 3 に示すように、この電荷出力素子 1 0 も、第 1 のセンサー 1 2 の x 軸および第 3 のセンサー 1 4 の z 軸が 軸に対して傾斜角度 で傾斜している。

【 0 0 9 7 】

以上のように、本実施形態では、 軸は、センサーデバイス 6 A の電荷出力素子 1 0 とセンサーデバイス 6 B の電荷出力素子 1 0 とのなす角を二等分する二等分線となっている。従って、センサーデバイス 6 A とセンサーデバイス 6 B とは、互いに同一平面上に配置されておらず、互いに平行に配置されていない。

なお、図 1 4 に示すように、各電荷出力素子 1 0 は、第 1 のセンサー 1 2 の x 軸と第 1 基部 2 の底板 2 3 とのなす角度を としたとき、角度 が  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  を満足する程度まで傾くのが許容される。

【 0 0 9 8 】

10

20

30

40

50

また、各電荷出力素子 10 に対する与圧は、2本の与圧ボルト 71 により付与されている。各与圧ボルト 71 と螺合する雌ネジ 241 は、第 1 基部 2 の壁部 24 に設けられている。そして、第 1 基部 2 と第 2 基部 3 との間に各センサーデバイス 6 を挟持した状態で、与圧ボルト 71 を第 2 基部 3 側から第 1 基部 2 の雌ネジ 241 に差し込むことができる。これにより、各電荷出力素子 10 は、当該電荷出力素子 10 を収納するパッケージ 60 と所定の大きさの圧力、すなわち、与圧が加えられる。そして、電荷出力素子 10 に剪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。

【0099】

また、図 10 に示すように、各与圧ボルト 71 は、アナログ回路基板 4 を貫通している。アナログ回路基板 4 の与圧ボルト 71 が貫通する部分には、樹脂材料等の絶縁材料で構成されたパイプ 43 が例えば嵌合により固定されている。

10

図 9 に示すように、デジタル回路基板 5 は、第 1 基部 2 の壁部 24 上に支持されている。

【0100】

<変換出力回路>

図 11 に示すように、センサーデバイス 6A、6B の各電荷出力素子 10 には、それぞれ、変換出力回路 90a、90b、90c が接続されている。各変換出力回路 90a、90b、90c は、前述した第 1 実施形態の変換出力回路 90 と同様であるので、その説明は省略する。

20

なお、センサーデバイス 6A の電荷出力素子 10 は、電荷  $Q_x 1$ 、 $Q_y 1$ 、 $Q_z 1$  を出力し、センサーデバイス 6B の電荷出力素子 10 は、電荷  $Q_x 2$ 、 $Q_y 2$ 、 $Q_z 2$  を出力する。

【0101】

<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  $V_y 1$ 、 $V_y 2$  と、各変換出力回路 90b から出力される電圧  $V_z 1$ 、 $V_z 2$  と、各変換出力回路 90c から出力される電圧  $V_x 1$ 、 $V_x 2$  とに基づき、加えられた外力を検出する機能を有する。外力検出回路 40 は、変換出力回路 90a、90b、90c に接続された AD コンバーター 401 と、AD コンバーター 401 に接続された演算部 402 とを有する。

30

AD コンバーター 401 は、電圧  $V_x 1$ 、 $V_y 1$ 、 $V_z 1$ 、 $V_x 2$ 、 $V_y 2$ 、 $V_z 2$ 、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。AD コンバーター 401 によってデジタル変換された電圧  $V_x 1$ 、 $V_y 1$ 、 $V_z 1$ 、 $V_x 2$ 、 $V_y 2$ 、 $V_z 2$  は、演算部 402 に入力される。

【0102】

< 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 に対して平行となるように設置された状態となっている（図 9 参照）。

そして、本発明者らは、 軸方向の力  $F_A$ 、 軸方向の力  $F_B$  および 軸方向の力  $F_C$  を、それぞれ、下記式（4）、（5）および（6）で表すことができることを見出した。式（4）～（6）中の「 $f_{x1-1}$ 」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  $Q_x 1$  から求められた力であり、「 $f_{x1-2}$ 」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  $Q_y 1$  から求められた力である。また、「 $f_{x2-1}$ 」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、すなわち、電荷  $Q_x 2$  から求められた力であり、「 $f_{x2-2}$ 」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  $Q_y 2$  から求められた力である。

40

【0103】

$$F_A = f_{x1-1} \cdot \cos \quad \cdot \cos - f_{x1-2} \cdot \sin \quad \cdot \cos \\ - f_{x2-1} \cdot \cos \quad \cdot \cos + f_{x2-2} \cdot \sin \quad \cdot \cos \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

50

$$F_B = -f_{x_{1-1}} \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 + f_{x_{1-2}} \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \\ - f_{x_{2-1}} \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 + f_{x_{2-2}} \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2 \cdots (5)$$

$$F_C = -f_{x_{1-1}} \cdot \sin \theta_1 - f_{x_{1-2}} \cdot \cos \theta_1 - f_{x_{2-1}} \cdot \sin \theta_1 \\ - f_{x_{2-2}} \cdot \cos \theta_1 \cdots (6)$$

例えば、図9、図10に示す構成の力検出装置1の場合、 $\theta_1$ は45°、 $\theta_2$ は0°となる。式(4)~(6)の $\theta_1$ に45°を代入し、 $\theta_2$ に0°を代入すると、力 $F_A \sim F_C$ は、それぞれ、

$$F_A = f_{x_{1-1}} / \sqrt{2} - f_{x_{2-1}} / \sqrt{2}$$

$$F_B = -f_{x_{1-1}} / \sqrt{2} - f_{x_{2-1}} / \sqrt{2}$$

$$F_C = -f_{x_{1-2}} - f_{x_{2-2}}$$

となる。

#### 【0104】

このように力検出装置1では、前記第1実施形態と同様に、力 $F_A \sim F_C$ 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。従って、力検出装置1は、温度の変動による影響を受けにくく、例えば従来之力検出装置の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 $F_A \sim F_C$ を正確に安定して検出することができる。

#### 【0105】

<単腕ロボットの実施形態>

次に、図15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。以下、本実施形態について、前述した第1、第2および第3実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図15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15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。

#### 【0106】

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、移動可能な台車などに固定される。

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。

#### 【0107】

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。

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。

#### 【0108】

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

10

20

30

40

50

腕口ポット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、単腕口ポット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うことができ、単腕口ポット500は、より安全に作業を実行することができる。

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。

#### 【0109】

< 複腕口ポットの実施形態 >

次に、図16に基づき、本発明に係るロボットの実施形態である複腕口ポットを説明する。以下、本実施形態について、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図16は、本発明に係る力検出装置を用いた複腕口ポットの1例を示す図である。図16の複腕口ポット600は、基台610と、第1のアーム620と、第2のアーム630と、第1のアーム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、第1のアーム620と第1のエンドエフェクター640a間および第2のアーム630と第2のエンドエフェクター640bとの間に設けられた力検出装置1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。

#### 【0110】

基台610は、第1のアーム620および第2のアーム630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610は、例えば、床、壁、天井、移動可能な台車などに固定される。

第1のアーム620は、第1のアーム要素621および第2のアーム要素622を回動自在に連結することにより構成されている。第2のアーム630は、第1のアーム要素631および第2のアーム要素632を回動自在に連結することにより構成されている。第1のアーム620および第2のアーム630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。

#### 【0111】

第1、第2のエンドエフェクター640a、640bは、対象物を把持する機能を有する。第1のエンドエフェクター640aは、第1の指641aおよび第2の指642aを有している。第2のエンドエフェクター640bは、第1の指641bおよび第2の指642bを有している。第1のアーム620の駆動により第1のエンドエフェクター640aが所定の動作位置まで到達した後、第1の指641aおよび第2の指642a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。同様に、第2のアーム630の駆動により第2のエンドエフェクター640bが所定の動作位置まで到達した後、第1の指641bおよび第2の指642b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。

#### 【0112】

力検出装置1は第1、第2のエンドエフェクター640a、640b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610の制御部にフィードバックすることにより、複腕口ポット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、複腕口ポット600は、第1、第2のエンドエフェクター640a、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、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うことができ、複腕口ポット600は、より安全に作業を実行することができる。

なお、図示の構成では、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

10

20

30

40

50

ロボット600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。

【0113】

<電子部品検査装置および電子部品搬送装置の実施形態>

次に、図17、図18に基づき、本発明の実施形態である電子部品検査装置および電子部品搬送装置を説明する。以下、本実施形態について、前述した第1、第2および第3実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図17は、本発明に係る力検出装置を用いた電子部品検査装置および部品搬送装置の1例を示す図である。図18は、本発明に係る力検出装置を用いた電子部品搬送装置の1例を示す図である。

【0114】

図17の電子部品検査装置700は、基台710と、基台710の側面に立設された支持台720とを有する。基台710の上面には、検査対象の電子部品711が載置されて搬送される上流側ステージ712uと、検査済みの電子部品711が載置されて搬送される下流側ステージ712dとが設けられている。また、上流側ステージ712uと下流側ステージ712dとの間には、電子部品711の姿勢を確認するための撮像装置713と、電気的特性を検査するために電子部品711がセットされる検査台714とが設けられている。なお、電子部品711の例として、半導体、半導体ウェハー、CLDやOLED等の表示デバイス、水晶デバイス、各種センサー、インクジェットヘッド、各種MEMSデバイス等などが挙げられる。

【0115】

また、支持台720には、基台710の上流側ステージ712uおよび下流側ステージ712dと平行な方向(Y方向)に移動可能にYステージ731が設けられており、Yステージ731からは、基台710に向かう方向(X方向)に腕部732が延設されている。また、腕部732の側面には、X方向に移動可能にXステージ733が設けられている。また、Xステージ733には、撮像カメラ734と、上下方向(Z方向)に移動可能なZステージを内蔵した電子部品搬送装置740が設けられている。また、電子部品搬送装置740の先端側には、電子部品711を把持する把持部741が設けられている。また、電子部品搬送装置740の先端と、把持部741との間には、力検出装置1が設けられている。更に、基台710の前面側には、電子部品検査装置700の全体の動作を制御する制御装置750が設けられている。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。

【0116】

電子部品検査装置700は、以下のようにして電子部品711の検査を行う。最初に、検査対象の電子部品711は、上流側ステージ712uに載せられて、検査台714の近くまで移動する。次に、Yステージ731およびXステージ733を動かして、上流側ステージ712uに載置された電子部品711の真上の位置まで電子部品搬送装置740を移動させる。このとき、撮像カメラ734を用いて電子部品711の位置を確認することができる。そして、電子部品搬送装置740内に内蔵されたZステージを用いて電子部品搬送装置740を降下させ、把持部741で電子部品711を把持すると、そのまま電子部品搬送装置740を撮像装置713の上に移動させて、撮像装置713を用いて電子部品711の姿勢を確認する。次に、電子部品搬送装置740に内蔵されている微調整機構を用いて電子部品711の姿勢を調整する。そして、電子部品搬送装置740を検査台714の上まで移動させた後、電子部品搬送装置740に内蔵されたZステージを動かして電子部品711を検査台714の上にセットする。電子部品搬送装置740内の微調整機構を用いて電子部品711の姿勢が調整されているので、検査台714の正しい位置に電子部品711をセットすることができる。次に、検査台714を用いて電子部品711の電気的特性検査が終了した後、今度は検査台714から電子部品711を取り上げ、Yステージ731およびXステージ733を動かして、下流側ステージ712d上まで電子部品搬送装置740を移動させ、下流側ステージ712dに電子部品711を置く。最後に、下流側ステージ712dを動かして、検査が終了した電子部品711を所定位置まで搬

10

20

30

40

50

送する。

【 0 1 1 7 】

図 1 8 は、力検出装置 1 を含む電子部品搬送装置 7 4 0 を示す図である。電子部品搬送装置 7 4 0 は、把持部 7 4 1 と、把持部 7 4 1 に接続された 6 軸の力検出装置 1 と、6 軸の力検出装置 1 を介して把持部 7 4 1 に接続された回転軸 7 4 2 と、回転軸 7 4 2 に回転可能に取り付けられた微調整プレート 7 4 3 を有する。また、微調整プレート 7 4 3 は、ガイド機構（図示せず）によってガイドされながら、X 方向および Y 方向に移動可能である。

【 0 1 1 8 】

また、回転軸 7 4 2 の端面に向けて、回転方向用の圧電モーター 7 4 4 が搭載されており、圧電モーター 7 4 4 の駆動凸部（図示せず）が回転軸 7 4 2 の端面に押しつけられている。このため、圧電モーター 7 4 4 を動作させることによって、回転軸 7 4 2（および把持部 7 4 1）を X 方向に任意の角度だけ回転させることが可能である。また、微調整プレート 7 4 3 に向けて、X 方向用の圧電モーター 7 4 4 x と、Y 方向用の圧電モーター 7 4 4 y とが設けられており、それぞれの駆動凸部（図示せず）が微調整プレート 7 4 3 の表面に押しつけられている。このため、圧電モーター 7 4 4 x を動作させることによって、微調整プレート 7 4 3（および把持部 7 4 1）を X 方向に任意の距離だけ移動させることができ、同様に、圧電モーター 7 4 4 y を動作させることによって、微調整プレート 7 4 3（および把持部 7 4 1）を Y 方向に任意の距離だけ移動させることが可能である。

【 0 1 1 9 】

また、力検出装置 1 は、把持部 7 4 1 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 が検出する力を制御装置 7 5 0 にフィードバックすることにより、電子部品搬送装置 7 4 0 および電子部品検査装置 7 0 0 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、把持部 7 4 1 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うことができ、電子部品搬送装置 7 4 0 および電子部品検査装置 7 0 0 は、より安全な作業を実行可能である。

【 0 1 2 0 】

< 部品加工装置の実施形態 >

次に、図 1 9 に基づき、本発明に係る部品加工装置の実施形態を説明する。以下、本実施形態について、前述した第 1、第 2 および第 3 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図 1 9 は、本発明に係る力検出装置を用いた部品加工装置の 1 例を示す図である。図 1 9 の部品加工装置 8 0 0 は、基台 8 1 0 と、基台 8 1 0 の上面に起立形成された支柱 8 2 0 と、支柱 8 2 0 の側面に設けられた送り機構 8 3 0 と、送り機構 8 3 0 に昇降可能に取り付けられた工具変位部 8 4 0 と、工具変位部 8 4 0 に接続された力検出装置 1 と、力検出装置 1 を介して工具変位部 8 4 0 に装着された工具 8 5 0 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。

【 0 1 2 1 】

基台 8 1 0 は、被加工部品 8 6 0 を載置し、固定するための台である。支柱 8 2 0 は、送り機構 8 3 0 を固定するための柱である。送り機構 8 3 0 は、工具変位部 8 4 0 を昇降させる機能を有する。送り機構 8 3 0 は、送り用モーター 8 3 1 と、送り用モーター 8 3 1 からの出力に基づいて工具変位部 8 4 0 を昇降させるガイド 8 3 2 を有する。工具変位部 8 4 0 は、工具 8 5 0 に回転、振動等の変位を与える機能を有する。工具変位部 8 4 0 は、変位用モーター 8 4 1 と、変位用モーター 8 4 1 に連結された主軸（図示せず）の先端に設けられた工具取付け部 8 4 3 と、工具変位部 8 4 0 に取り付けられ主軸を保持する保持部 8 4 2 とを有する。工具 8 5 0 は、工具変位部 8 4 0 の工具取付け部 8 4 3 に、力検出装置 1 を介して取り付けられ、工具変位部 8 4 0 から与えられる変位に応じて被加工部品 8 6 0 を加工するために用いられる。工具 8 5 0 は、特に限定されないが、例えば、

レンチ、プラスドライバー、マイナスドライバー、カッター、丸のこ、ニッパー、錐、ドリル、フライス等である。

【0122】

力検出装置1は、工具850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が検出する外力を送り用モーター831や変位用モーター841にフィードバックすることにより、部品加工装置800は、より精密に部品加工作業を実行することができる。また、力検出装置1が検出する外力によって、工具850の障害物への接触等を検知することができる。そのため、工具850に障害物等が接触した場合に緊急停止することができる。部品加工装置800は、より安全な部品加工作業を実行可能である。

【0123】

<移動体の実施形態>

次に、図20に基づき、本発明に係る移動体の実施形態を説明する。以下、本実施形態について、前述した第1、第2および第3実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図20は、本発明に係る力検出装置を用いた移動体の1例を示す図である。図20の移動体900は、与えられた動力により移動することができる。移動体900は、特に限定されないが、例えば、自動車、バイク、飛行機、船、電車等の乗り物、2足歩行ロボット、車輪移動ロボット等のロボット等である。

【0124】

移動体900は、本体910（例えば、乗り物の筐体、ロボットのメインボデー等）と、本体910を移動させるための動力を供給する動力部920と、本体910の移動により発生する外力を検出する本発明の力検出装置1と、制御部930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。

動力部920から供給された動力によって本体910が移動すると、移動に伴い振動や加速度等が生じる。力検出装置1は、移動に伴い生じた振動や加速度等による外力を検出する。力検出装置1によって検出された外力は、制御部930に伝達される。制御部930は、力検出装置1から伝達された外力に応じて動力部920等を制御することにより、姿勢制御、振動制御および加速制御等の制御を実行することができる。

【0125】

本発明に係わる力検出装置では、当該装置の重量が330gという軽量ながら、最小検出荷重（動的分解能）が0.005を実現している。ロボットの手首等に設置する場合は軽量であることが求められるが、通常、装置の重量を軽量化すると、部材の歪の影響が大きくなり、最小検出荷重を小さくすることができない。本発明に係わる力検出装置では、装置荷重（g）を分母として分子に最小検出荷重（N）として算出した装置重量あたりの最小検出荷重は $15.1 \times 10^{-6}$ を実現している。

【0126】

以上、本発明の力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置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、ロボットおよび電子部品搬送装置を構成する各部は、同様の機能を発揮し得る任意の構成のものと同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。

また、本発明の力検出装置、ロボットおよび電子部品搬送装置は、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。

【0127】

また、本発明では、パッケージ、すなわち、基部および蓋体が省略されていてもよい。

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。

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。

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

10

20

30

40

50

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。

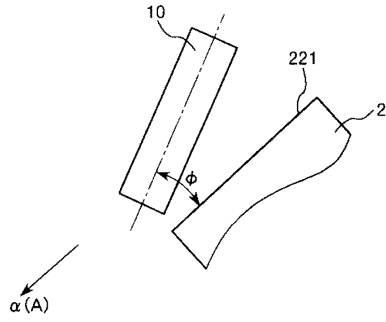
【符号の説明】

【0128】

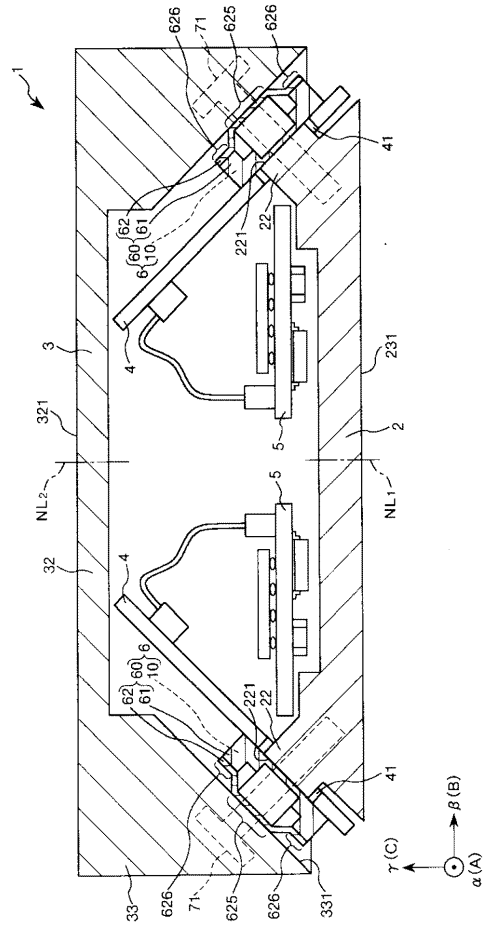
1 ... 力検出装置 2 ... 第1基部 2 2 ... 凸部 2 2 1 ... 傾斜面 2 3 ... 底板 2 3 1 ...  
 取付面 2 4 ... 壁部 2 4 1 ... 雌ネジ 2 6 ... 凸部 2 6 1 ... 頂面 3 ... 第2基部 3 2  
 ... 天板 3 2 1 ... 取付面 3 3 ... 側壁 3 3 1 ... 傾斜面 3 3 2 ... 固定部 4 ... アナロ  
 グ回路基板 4 0 ... 外力検出回路 4 0 1 ... A/Dコンバーター 4 0 2 ... 演算部 4 1 ...  
 10 孔 4 3 ... パイプ 5 ... デジタル回路基板 6、6 A、6 B、6 C、6 D ... センサーデバ  
 イス 6 0 ... パッケージ 6 1 ... 基部 6 1 1 ... 凹部 6 2 ... 蓋体 6 2 5 ... 中央部 6  
 2 6 ... 外周部 6 4 1、6 4 2 ... 中心軸 6 4 3 ... 中心 7 1 ... 与圧ボルト 9 0 a、9  
 0 b、9 0 c ... 変換出力回路 9 1 ... オペアンプ 9 2 ... コンデンサー 9 3 ... スイッチ  
 ング素子 1 0 ... 電荷出力素子 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 1 2 2 ... 出力電極層 1 2 3 ... 第2の圧電体層 1 3 ... 第2のセンサ  
 ー 1 3 1 ... 第3の圧電体層 1 3 2 ... 出力電極層 1 3 3 ... 第4の圧電体層 1 4 ... 第  
 3のセンサー 1 4 1 ... 第5の圧電体層 1 4 2 ... 出力電極層 1 4 3 ... 第6の圧電体層  
 5 0 0 ... 単腕口ポット 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 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  
 20 2の指 6 0 0 ... 複腕口ポット 6 1 0 ... 基台 6 2 0 ... 第1のアーム 6 2 1 ... 第1の  
 アーム要素 6 2 2 ... 第2のアーム要素 6 3 0 ... 第2のアーム 6 3 1 ... 第1のアーム  
 要素 6 3 2 ... 第2のアーム要素 6 4 0 a ... 第1のエンドエフェクター 6 4 1 a ... 第  
 1の指 6 4 2 a ... 第2の指 6 4 0 b ... 第2のエンドエフェクター 6 4 1 b ... 第1の  
 指 6 4 2 b ... 第2の指 7 0 0 ... 電子部品検査装置 7 1 0 ... 基台 7 1 1 ... 電子部品  
 7 1 2 u ... 上流側ステージ 7 1 2 d ... 下流側ステージ 7 1 3 ... 撮像装置 7 1 4 ...  
 検査台 7 2 0 ... 支持台 7 3 1 ... Yステージ 7 3 2 ... 腕部 7 3 3 ... Xステージ 7  
 3 4 ... 撮像カメラ 7 4 0 ... 電子部品搬送装置 7 4 1 ... 把持部 7 4 2 ... 回転軸 7 4  
 3 ... 微調整プレート 7 4 4 x、7 4 4 y、7 4 4 ... 圧電モーター 7 5 0 ... 制御装置  
 8 0 0 ... 部品加工装置 8 1 0 ... 基台 8 2 0 ... 支柱 8 3 0 ... 送り機構 8 3 1 ... 送  
 30 り用モーター 8 3 2 ... ガイド 8 4 0 ... 工具変位部 8 4 1 ... 変位用モーター 8 4 2  
 ... 保持部 8 4 3 ... 工具取付け部 8 5 0 ... 工具 8 6 0 ... 被加工部品 9 0 0 ... 移動体  
 9 1 0 ... 本体 9 2 0 ... 動力部 9 3 0 ... 制御部 L D ... 積層方向 S D ... 挟持方向  
 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 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 ... 傾斜角度 ... 角度 ... 傾斜角度 ... 角度



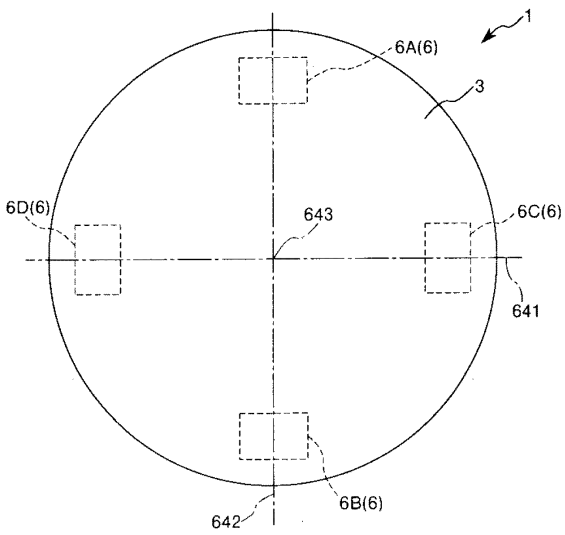
【図5】



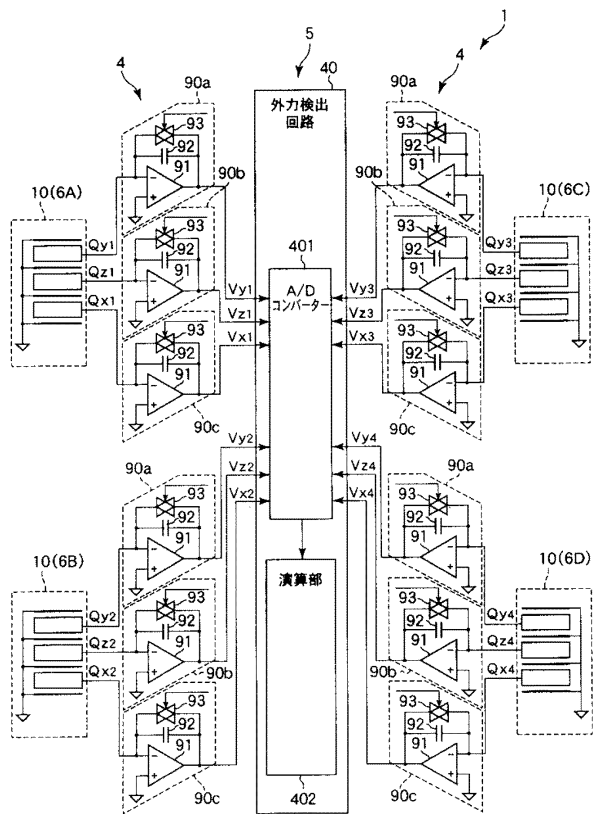
【図6】



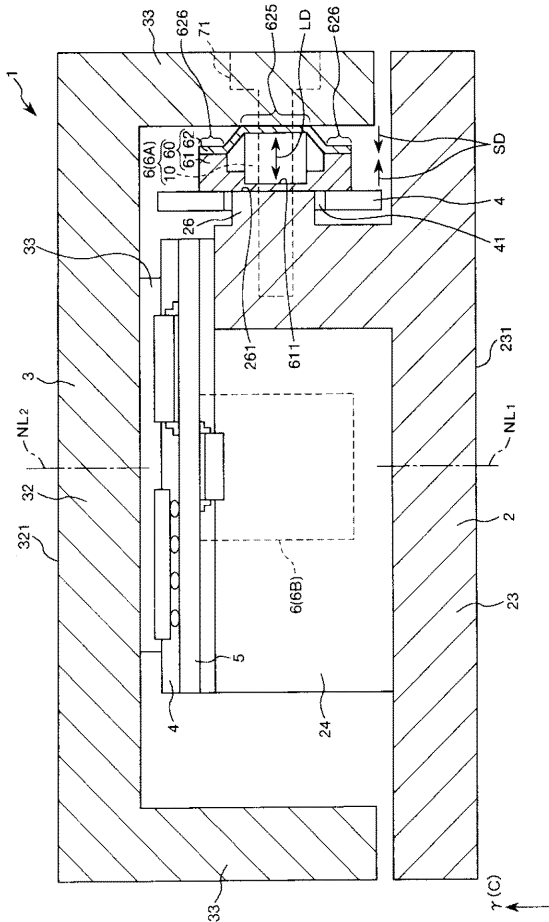
【図7】



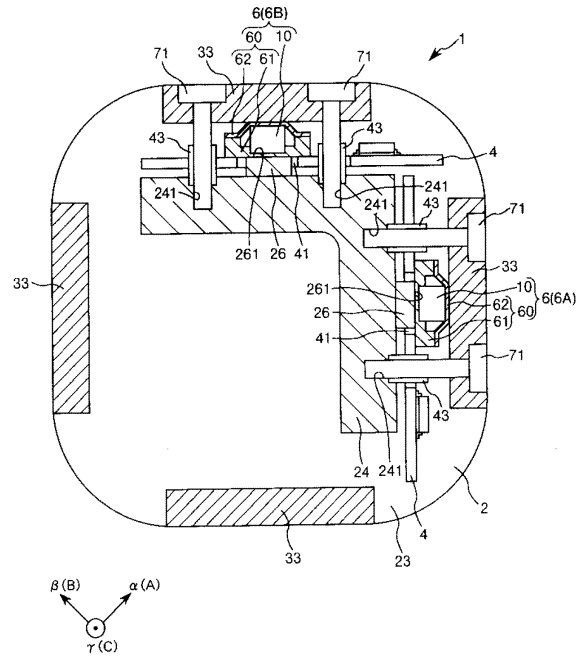
【図8】



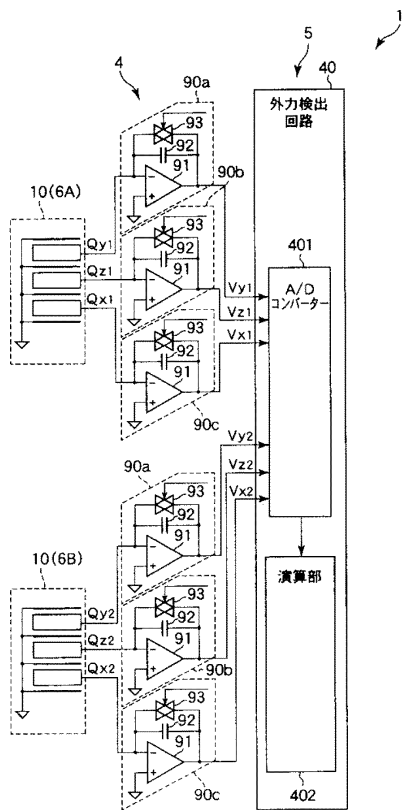
【図9】



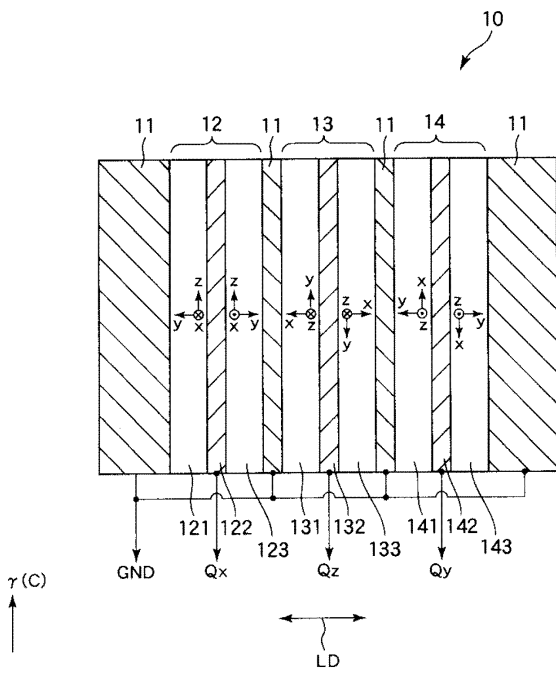
【図10】



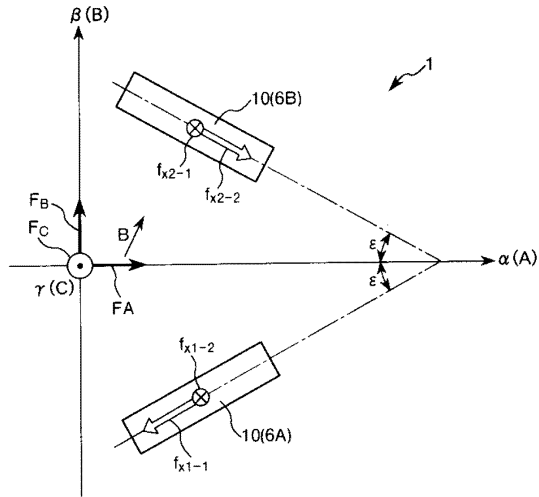
【図11】



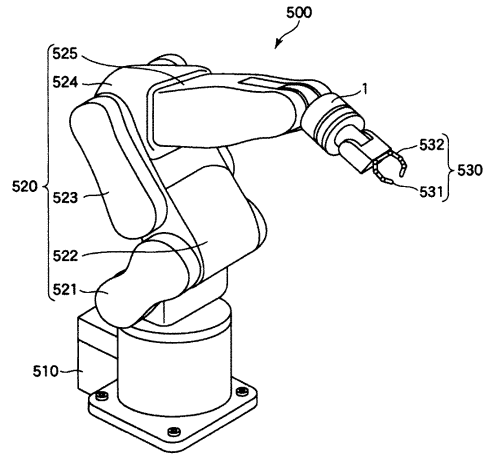
【図12】



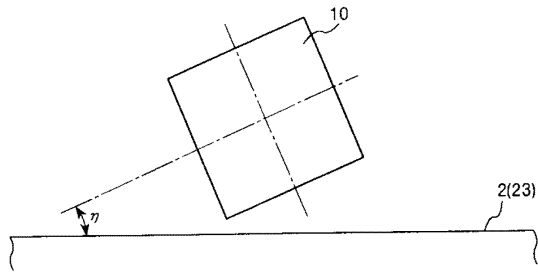
【図13】



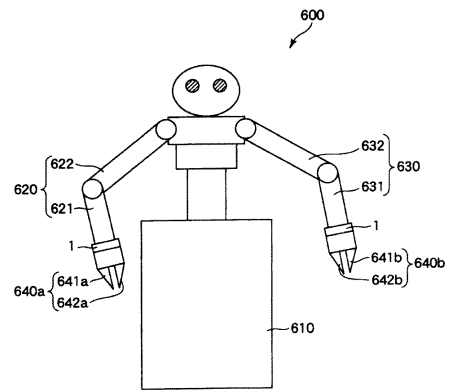
【図15】



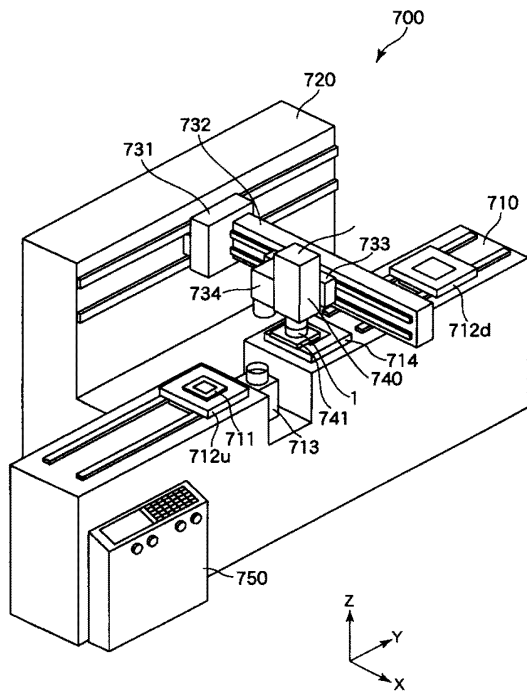
【図14】



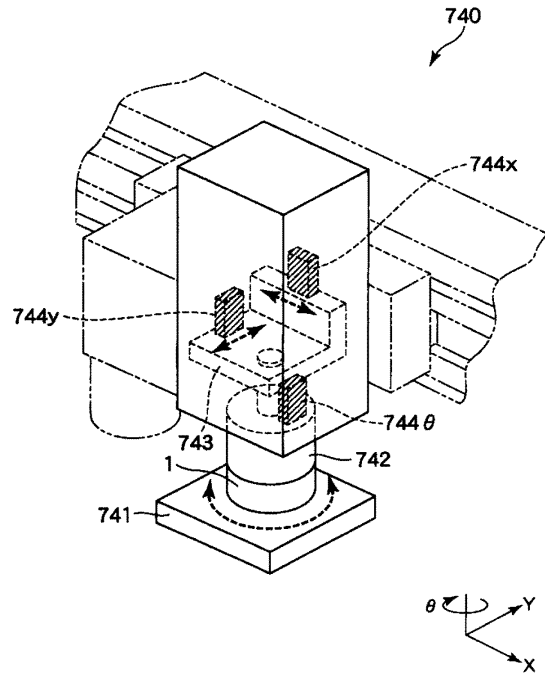
【図16】



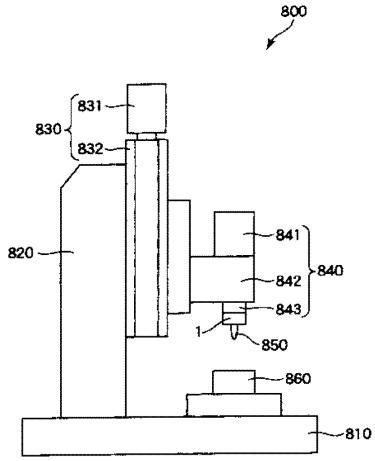
【図17】



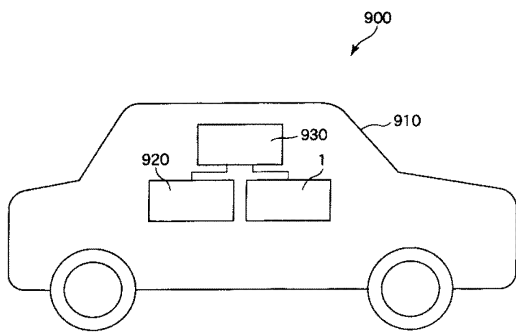
【図18】



【 図 19 】



【 図 20 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-68665(JP,A)  
特開2013-186030(JP,A)  
特開2013-130433(JP,A)  
特開平5-16091(JP,A)  
特開昭61-283842(JP,A)  
特開2010-230442(JP,A)  
米国特許第3566163(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 1/00 - 1/26  
G01L 5/00 - 5/28  
B25J 1/00 - 1/12