

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4988545号
(P4988545)

(45) 発行日 平成24年8月1日(2012.8.1)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 L 5/16 (2006.01) GO 1 L 5/16
B 2 5 J 19/02 (2006.01) B 2 5 J 19/02

請求項の数 13 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2007-341556 (P2007-341556)	(73) 特許権者	504190548 国立大学法人埼玉大学
(22) 出願日	平成19年12月29日 (2007.12.29)		埼玉県さいたま市桜区下大久保255
(65) 公開番号	特開2009-162599 (P2009-162599A)	(74) 代理人	100100918 弁理士 大橋 公治
(43) 公開日	平成21年7月23日 (2009.7.23)	(74) 代理人	100108729 弁理士 林 紘樹
審査請求日	平成22年2月22日 (2010.2.22)	(72) 発明者	辻 俊明 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 国立大学法人埼玉大学内
		(72) 発明者	阿部 茂 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 国立大学法人埼玉大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 外力検出方法及び検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

可動体に作用する外力の大きさ及び作用点を検出する検出方法であって、
 前記可動体を、剛性を有する甲殻型カバーで覆い、前記甲殻型カバーに一点で接続する1または複数の接続体で該甲殻型カバーと前記可動体との間を接続するとともに、前記接続体の前記甲殻型カバーとの接続点に作用する応力またはモーメントを測定する測定手段を設け、前記甲殻型カバーの幾何形状のデータと、前記1または複数の測定手段により測定された応力またはモーメントに関する5種類の測定値とを用いて、次式により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出し、算出した作用点 P^{dis} が前記甲殻型カバーの幾何形状の上に存在することを利用して作用点 P^{dis} の位置を特定することを特徴とする外力検出方法。

$$F^{dis} + F^{sum} = 0$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^{\circ}) + M^{\circ} = 0$$

$$F^{sum} = F^j$$

$$M^{\circ} = \{F^j \times (P^j - P^{\circ})\} + M^j$$

(但し、 F^j は、前記測定手段で測定したj番目の前記接続体に作用する応力の測定値、 M^j は、前記測定手段で測定したj番目の前記接続体に作用するモーメントの測定値、 P^j は、j番目の前記接続体の位置ベクトル、 P° は、モーメントを求める基準位置の位置ベクトル、 F^{sum} は、前記測定手段の全てによって測定された応力の総和、 M° は、前記測定手段の全てによって測定されたモーメントの総和、また、前記接続体の数をmとすると

き、 は、 $j = 1$ から m までの加算を示している。)

【請求項 2】

請求項 1 に記載の外力検出方法であって、前記接続体の数を 1 に設定するとともに、前記接続体として、前記測定手段を兼ねる、3 軸方向の応力成分及び 2 軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサまたは 2 軸方向の応力成分及び 3 軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサを使用し、次式により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出することを特徴とする外力検出方法。

$$F^{dis} + F^1 = 0$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^1) + M^1 = 0$$

(但し、 F^1 は、前記センサで測定した応力の測定値、 M^1 は、前記センサで測定したモーメントの測定値、 P^1 は、前記センサの位置ベクトルを示している。)

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載の外力検出方法であって、前記接続体の数を 2 以上に設定するとともに、前記複数の接続体として、前記測定手段を兼ねる、1 軸以上の方向の応力成分または 1 軸以上の軸の回りのモーメント成分が測定可能な複数のセンサであって、当該複数のセンサの測定可能な応力成分の軸数及び測定可能なモーメント成分の軸数の合計が 5 軸である複数のセンサを使用し、前記式により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出することを特徴とする外力検出方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の外力検出方法であって、前記接続体として 5 本のワイヤを使用し、前記測定手段により前記ワイヤの張力を測定し、前記式の F^{sum} 及び M^o を次式により算出することを特徴とする外力検出方法。

20

$$F^{sum} = (d^j / |d^j|) \times (f^j - f^{oj})$$

$$M^o = p^j \times (d^j / |d^j|) \times (f^j - f^{oj})$$

(但し、 p^j は、 j 番目の前記ワイヤの可動体側の端点位置、 d^j は、 j 番目の前記ワイヤの p^j を基準とした甲殻型カバー側の端点位置、 f^j は、前記測定手段で測定した j 番目の前記ワイヤの張力の測定値、 f^{oj} は、外力が作用しない状態での j 番目の前記ワイヤの張力初期値、また、前記ワイヤの数を m とするとき、 は、 $j = 1$ から m までの加算を示している。)

【請求項 5】

30

可動体に作用する外力の大きさ及び作用点を検出する外力検出装置であって、
前記可動体を覆う剛性を有する甲殻型カバーと、
前記甲殻型カバーに一点で接続して該甲殻型カバーと前記可動体との間を接続する 1 または複数の接続体と、

前記接続体の前記甲殻型カバーとの接続点に作用する応力またはモーメントを測定する測定手段と、

を備え、

前記甲殻型カバーの幾何形状のデータと、前記 1 または複数の測定手段により測定された応力またはモーメントに関する 5 種類の測定値とを用いて、請求項 1 記載の検出方法により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出し、算出した作用点 P^{dis} が前記甲殻型カバーの幾何形状の上に存在することを利用して作用点 P^{dis} の位置を特定することを特徴とする外力検出装置。

40

【請求項 6】

請求項 5 に記載の外力検出装置であって、前記接続体が、前記測定手段を兼ねる、3 軸方向の応力成分及び 2 軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサまたは 2 軸方向の応力成分及び 3 軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサから成ることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の外力検出装置であって、前記接続体が、前記測定手段を兼ねる、1 軸以上の方向の応力成分または 1 軸以上の軸の回りのモーメント成分が測定可能な複数のセ

50

ンサであって、当該複数のセンサの測定可能な応力成分の軸数及び測定可能なモーメント成分の軸数の合計が5軸である複数のセンサから成ることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の外力検出装置であって、前記接続体が、5本のワイヤから成ることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 9】

請求項 5 から 8 に記載の外力検出装置であって、前記可動体がロボットであることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 10】

請求項 5 から 8 に記載の外力検出装置であって、前記可動体がマニピュレータであることを特徴とする外力検出装置。

10

【請求項 11】

請求項 5 から 8 に記載の外力検出装置であって、前記可動体が工作機械であることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 12】

請求項 5 から 8 に記載の外力検出装置であって、前記可動体が車椅子であることを特徴とする外力検出装置。

【請求項 13】

請求項 5 から 8 に記載の外力検出装置であって、前記可動体が乗物であることを特徴とする外力検出装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットやマニピュレータ等の可動体に作用する外力の検出方法と、その検出装置に関し、簡単な構成で外力の大きさ及び作用点の位置を検出できるようにしたものである。

【背景技術】

【0002】

近年、ロボットは、医療、福祉、家庭内作業などの分野での利用が検討されているが、こうした人間と接触する環境では、ロボットの動きによって人間に危険が及ばないように十分な安全対策が必要となる。

30

そのため、ロボットの全身を触覚センサのシートで覆い、人間などへの接触を感知した場合に動作を停止する制御方式が検討されている。しかし、触覚センサは高価であり、ロボットの製造コストが上昇する。また、ロボットの各所に作用する外力の正確な合力が計測できない、と言う欠点も有している。

【0003】

下記非特許文献 1 には、ロボットの体表面を剛体のカバーで囲い、このカバーとロボットとの接続を、力覚センサを介して行い、カバーに作用する外力を力覚センサで検出する外力検出装置が開示されている。この装置では、ロボット本体とカバーとが一点で接続され、その接続点に 6 軸力覚センサが配置されている。また、カバーは、4 つの平面を有しているが、各平面には接触センサが貼り付けられている。

40

6 軸力覚センサは、複数の歪みゲージを内蔵しており、3 軸 (x、y、z 軸) 方向の力の成分と、3 軸の回りのモーメントとが検出できるように構成されている。

【0004】

この外力検出装置では、剛体のカバーの表面に作用する外力が全てロボット本体とカバーとの接続点に集中するため、その接続点に配置された 6 軸力覚センサにより、正確に外力ベクトルを検出することができる。

また、接触センサは、外力が作用した面の情報を提供し、6 軸力覚センサで検出された応力及びモーメントの情報と、接触センサからの接触面情報とが組み合わせられて、カバーに作用した外力の大きさ及び作用点が算出される。

50

【非特許文献1】岩田浩康他「人間共存ロボットのための全身触覚インタフェース」日本ロボット学会誌 Vol. 20 No. 5, PP. 543 ~ 549, 2002年7月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、非特許文献1に記載された外力検出装置は、接触面情報を得るための接触センサを必要としているため、低コスト化が難しい。

本発明は、こうした事情を考慮して創案したものであり、ロボットやマニピュレータ等の可動体に作用する外力の大きさ及び作用点を、接触センサ無しで検出することができる外力検出方法を提供し、また、その方法を実施する外力検出装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の外力検出方法は、可動体に作用する外力の大きさ及び作用点を検出する検出方法であって、前記可動体を、剛性を有する甲殻型カバーで覆い、前記甲殻型カバーに一点で接続する1または複数の接続体で該甲殻型カバーと前記可動体との間を接続するとともに、前記接続体の前記甲殻型カバーとの接続点に作用する応力またはモーメントを測定する測定手段を設け、前記甲殻型カバーの幾何形状のデータと、前記1または複数の測定手段により測定された応力またはモーメントに関する5種類の測定値とを用いて、次の(式1)により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出し、算出した作用点 P^{dis} が前記甲殻型カバーの幾何形状の上に存在することを利用して作用点 P^{dis} の位置を特定することを特徴とする。

(式1)

$$F^{dis} + F^{sum} = 0$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^0) + M^0 = 0$$

$$F^{sum} = F^j$$

$$M^0 = \{F^j \times (P^j - P^0)\} + M^j$$

(但し、 F^j は、前記測定手段で測定したj番目の前記接続体に作用する応力の測定値、 M^j は、前記測定手段で測定したj番目の前記接続体に作用するモーメントの測定値、 P^j は、j番目の前記接続体の位置ベクトル、 P^0 は、モーメントを求める基準位置の位置ベクトル、 F^{sum} は、前記測定手段の全てによって測定された応力の総和、 M^0 は、前記測定手段の全てによって測定されたモーメントの総和、また、前記接続体の数をmとするとき、 j は、 $j = 1$ からmまでの加算を示している。)

この方法では、接触センサを用いずに、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を検出することができる。

【0007】

また、本発明の外力検出方法では、前記接続体の数を1に設定するとともに、前記接続体として、前記測定手段を兼ねる、3軸方向の応力成分及び2軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサまたは2軸方向の応力成分及び3軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサを使用し、次の(式2)により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出することを特徴とする。

(式2)

$$F^{dis} + F^1 = 0$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^1) + M^1 = 0$$

(但し、 F^1 は、前記センサで測定した応力の測定値、 M^1 は、前記センサで測定したモーメントの測定値、 P^1 は、前記センサの位置ベクトルを示している。)

(式2)は、式1において $m = 1$ の場合に相当している。この方法では、5軸の測定が可能な力覚センサの1つを用いて、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を検出することができる。

【0008】

10

20

30

40

50

また、本発明の外力検出方法では、前記接続体の数を2以上に設定するとともに、前記複数の接続体として、前記測定手段を兼ねる、1軸以上の方向の応力成分または1軸以上の軸の回りのモーメント成分が測定可能な複数のセンサであって、当該複数のセンサの測定可能な応力成分の軸数及び測定可能なモーメント成分の軸数の合計が5軸である複数のセンサを使用し、前記(式1)により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出することを特徴とする。

例えば、3軸方向の応力が検出可能な3軸力覚センサ1個と、1軸方向の応力が検出可能な1軸力覚センサ2個とを使用して可動体と甲殻型カバーとを接続すれば、軸数の合計は5軸となる。また、1軸方向の応力が検出可能な1軸力覚センサを5個使用した場合も軸数の合計は5軸となる。このように、複数の力覚センサの検出可能な軸数の合計が5軸となるように設定すれば、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を検出することができる。

【0009】

また、本発明の外力検出方法では、前記接続体として5本のワイヤを使用し、前記測定手段により前記ワイヤの張力を測定し、前記式の F^{sum} 及び M^o を次の(式3)により算出することを特徴とする。

(式3)

$$F^{sum} = (d^j / |d^j|) \times (f^j - f^{oj})$$

$$M^o = p^j \times (d^j / |d^j|) \times (f^j - f^{oj})$$

(但し、 p^j は、j番目の前記ワイヤの可動体側の端点位置、 d^j は、j番目の前記ワイヤの p^j を基準とした甲殻型カバー側の端点位置、 f^j は、前記測定手段で測定したj番目の前記ワイヤの張力の測定値、 f^{oj} は、外力が作用しない状態でのj番目の前記ワイヤの張力初期値、また、前記ワイヤの数をmとすると、 $\sum_{j=1}^m$ は、j=1からmまでの加算を示している。)

この方法では、多軸力覚センサを用いずに、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を検出することが可能であり、低コストで外力の検出を行うことができる。

【0010】

また、本発明の外力検出装置は、可動体に作用する外力の大きさ及び作用点を検出する外力検出装置であって、前記可動体を覆う剛性を有する甲殻型カバーと、前記甲殻型カバーに一点で接続して該甲殻型カバーと前記可動体との間を接続する1または複数の接続体と、前記接続体の前記甲殻型カバーとの接続点に作用する応力またはモーメントを測定する測定手段と、を備え、前記甲殻型カバーの幾何形状のデータと、前記1または複数の測定手段により測定された応力またはモーメントに関する5種類の測定値とを用いて、(式1)により外力 F^{dis} の大きさ及び作用点 P^{dis} を算出し、算出した作用点 P^{dis} が前記甲殻型カバーの幾何形状の上に存在することを利用して作用点 P^{dis} の位置を特定することを特徴とする。

この装置は、接触センサを用いずに、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を検出することができる。

【0011】

また、本発明の外力検出装置は、前記接続体に、前記測定手段を兼ねる、3軸方向の応力成分及び2軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサまたは2軸方向の応力成分及び3軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサを用いて構成することができる。

この装置では、甲殻型カバーが、5軸の測定が可能な力覚センサの1個を用いて可動体に一点支持される。

【0012】

また、本発明の外力検出装置は、前記接続体に、前記測定手段を兼ねる、1軸以上の方向の応力成分または1軸以上の軸の回りのモーメント成分が測定可能な複数のセンサであって、当該複数のセンサの測定可能な応力成分の軸数及び測定可能なモーメント成分の軸数の合計が5軸である複数のセンサを用いて構成することができる。

この装置は、甲殻型カバーが力覚センサによって多点支持される。

【0013】

また、本発明の外力検出装置は、前記接続体に、5本のワイヤを用いて構成することができる。

この装置は、力覚センサを用いていないため、低コスト化を図ることができる。

また、本発明の外力検出装置は、ロボット、マニピュレータ、工作機械、車椅子、乗物などの外力検出に用いることができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明では、ロボットやマニピュレータなどに作用する外力の大きさや作用点を、触覚センサを用いることなく、検出することができるため、コストパフォーマンスの向上、配線の削減、メンテナンスの簡易化等の効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

図1は、移動ロボットとそれに装着される甲殻型カバーを示し、図2は、甲殻型カバーに作用する力を説明している。図3は、多自由度マニピュレータに多点支持された甲殻型カバーを示し、図4は、この甲殻型カバーに作用する力を説明している。また、図5は、ワイヤでロボット本体に接続された甲殻型カバーを示している。図6は、実験に用いた移動ロボット及び甲殻型カバーを示し、図7及び図8は、実験結果を示している。

【0016】

図1に示すように、移動ロボット10に、6軸力覚センサ12を介して、剛性の甲殻型カバー11を装着し、甲殻型カバー11を移動ロボット10に固定する。

甲殻型カバー11で覆われた移動ロボット10が移動中に人や障害物に接触すると、移動ロボット10が人や障害物から受ける外力は、全て甲殻型カバー11に作用し、甲殻型カバー11と移動ロボット10との接続点に配置された6軸力覚センサ12に集中し、6軸力覚センサ12によって検出される。

6軸力覚センサ12の検出情報は、制御部（不図示）に送られて、外力の大きさや作用点が算出される。制御部は、移動ロボット10を外から監視・制御する制御装置の中に在り、あるいは、移動ロボット10の中に在っても良い。いずれにしても、制御部は、外力の大きさ及び作用点を算出するために、甲殻型カバー11の幾何形状や移動ロボット10との接続位置に関するデータを保持している。

【0017】

図2に示すように、甲殻型カバー11に作用する外力のベクトルを F^{dis} 、外力の作用点の位置ベクトルを P^{dis} で表し、また、6軸力覚センサ12で測定された力ベクトルを F^1 、6軸力覚センサ12の位置ベクトルを P^1 、6軸力覚センサ12で測定されたモーメントを M^1 で表す。

このとき、力の釣り合いを示す(数1)が成り立ち、また、モーメントの釣り合いを示す(数2)が成り立つ。

$$F^{dis} + F^1 = 0 \quad (\text{数1})$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^1) + M^1 = 0 \quad (\text{数2})$$

(数1)から、 F^{dis} の成分は、

$$F^{dis}_x = -F^1_x \quad (\text{数3})$$

$$F^{dis}_y = -F^1_y \quad (\text{数4})$$

$$F^{dis}_z = -F^1_z \quad (\text{数5})$$

と算出することができる。

【0018】

また、(数2)は、次のように展開することができる。

$$M^1_x = F^{dis}_z (P^{dis}_y - P^1_y) - F^{dis}_y (P^{dis}_z - P^1_z) \quad (\text{数6})$$

$$M^1_y = F^{dis}_x (P^{dis}_z - P^1_z) - F^{dis}_z (P^{dis}_x - P^1_x) \quad (\text{数7})$$

10

20

30

40

50

$$M_z^1 = F_y^{\text{dis}} (P_x^{\text{dis}} - P_x^1) - F_x^{\text{dis}} (P_y^{\text{dis}} - P_y^1) \quad (\text{数 } 8)$$

ここで、(数6)(数7)を用いて、

$$P_z^{\text{dis}} - P_z^1 = \{ M_x^1 + F_z^{\text{dis}} (P_y^{\text{dis}} - P_y^1) \} / F_y^{\text{dis}} \\ = \{ -M_y^1 + F_z^{\text{dis}} (P_x^{\text{dis}} - P_x^1) \} / F_x^{\text{dis}} \quad (\text{数 } 9)$$

更に(数3)(数4)(数5)を用いて、

$$P_z^{\text{dis}} = \{ (M_x^1 - F_z^1 P_y^1) / F_y^1 \} + P_z^1 + (F_z^1 / F_y^1) P_y^{\text{dis}} \\ = \{ (-M_y^1 - F_z^1 P_x^1) / F_x^1 \} + P_z^1 + (F_z^1 / F_x^1) P_x^{\text{dis}} \quad (\text{数 } 10)$$

と表すことができる。

【0019】

(数10)において、 F_x^1 、 F_y^1 、 F_z^1 、 M_x^1 、 M_y^1 の5種類は6軸力覚センサ12の検出情報から得られる。また、 P_x^1 、 P_y^1 、 P_z^1 は、6軸力覚センサ12の位置情報であり、既知である。従って、(数10)では、 P_z^{dis} 、 P_y^{dis} 及び P_x^{dis} だけが未知数であり、(数10)は、 $y-z$ 平面に投影された直線が、

$$P_z^{\text{dis}} = \{ (M_x^1 - F_z^1 P_y^1) / F_y^1 \} + P_z^1 + (F_z^1 / F_y^1) P_y^{\text{dis}}$$

であり、 $x-z$ 平面に投影された直線が、

$$P_z^{\text{dis}} = \{ (-M_y^1 - F_z^1 P_x^1) / F_x^1 \} + P_z^1 + (F_z^1 / F_x^1) P_x^{\text{dis}}$$

である3次元空間の直線を表している。

力の作用点は、(数10)で表される直線と甲殻型カバー11との交点として求めることができ、甲殻型カバー11の形状から規定される P_z^{dis} 、 P_y^{dis} 及び P_x^{dis} の関係式と(数10)とから P_z^{dis} 、 P_y^{dis} 及び P_x^{dis} の値を算出することができる。

【0020】

ここで注目すべきは、甲殻型カバーの幾何形状のデータが保持されている場合に、6軸力覚センサ12の5種類の検出情報から作用点が同定できる点である。ここでは F_x^1 、 F_y^1 、 F_z^1 、 M_x^1 、 M_y^1 の5種類の検出情報を使用したが、(数4)(数5)(数6)(数7)(数8)を用いて算出する場合は、 F_y^1 、 F_z^1 、 M_x^1 、 M_y^1 、 M_z^1 の5種類の検出情報を使用して作用点を同定することができる。

そのため、移動ロボット10を甲殻型カバー11で覆い、この甲殻型カバー11を、3軸方向の応力成分及び2軸以上の軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサ、あるいは、2軸以上の方向の応力成分及び3軸の回りのモーメント成分が測定可能なセンサを介して、移動ロボット10上に一点支持するように構成すれば、(数1)(数2)の式を用いて、センサの測定結果から、移動ロボット10に作用する外力の大きさ及び作用点を算出することができる。

【0021】

次に、甲殻型カバーを多点支持する場合について説明する。

図3(a)の多自由度を持つロボットアームやマニピュレータ20に対して、図3(b)や図3(c)に示すように、甲殻型カバー21を被覆する場合は、甲殻型カバー21を一点で支持するよりも、図3(d)に示すように、複数の力覚センサ22、23、24で多点支持する方が適している。

【0022】

このように、甲殻型カバー21を複数の力覚センサ22、23、24を介してマニピュレータ20上に多点支持した場合は、図4に示すように、甲殻型カバー11に対し、作用点 P^{dis} に作用する外力 F^{dis} と、各力覚センサ22、23、24の位置 P^1 、 P^2 、 P^3 における反力 F^1 、 F^2 、 F^3 とが加わることになる。

このとき、力の釣り合いから(数11)が成り立ち、モーメントの釣り合いから(数12)が成り立つ。

$$F^{\text{dis}} + F^1 + F^2 + F^3 = 0 \quad (\text{数 } 11)$$

$$F^2 \times (P^2 - P^1) + F^3 \times (P^3 - P^1) + F^{\text{dis}} \times (P^{\text{dis}} - P^1) = 0 \quad (\text{数 } 12)$$

【0023】

10

20

30

40

50

この場合、例えば、力覚センサ 2 2 として 3 軸方向の応力成分が測定可能なセンサを用い、力覚センサ 2 3 として 1 軸方向の応力成分が測定可能なセンサを用い、また、力覚センサ 2 4 として 1 軸方向の応力成分が測定可能なセンサを用いる、と言うように、力覚センサ 2 2、2 3、2 4 によって測定可能な軸数の合計が 5 軸以上であれば、一点支持の場合と同様に、甲殻型カバー 2 1 の幾何形状や力覚センサ 2 2、2 3、2 4 の位置情報が既知であるとき、(数 1 1) (数 1 2) を用いて、甲殻型カバー 2 1 のあらゆる位置に作用する外力の大きさ及び作用点を求めることができる。

【 0 0 2 4 】

また、甲殻型カバー 2 1 の支持に用いる力覚センサの個数を m 個にまで拡張すると、力の釣り合いから (数 1 3) (数 1 4) が成り立ち、モーメントの釣り合いから (数 1 5) (数 1 6) が成り立つ。

$$F^{dis} + F^{sum} = 0 \quad (\text{数 } 1 \text{ 3})$$

$$F^{sum} = F^j \quad (\text{数 } 1 \text{ 4})$$

$$F^{dis} \times (P^{dis} - P^0) + M^0 = 0 \quad (\text{数 } 1 \text{ 5})$$

$$M^0 = \{F^j \times (P^j - P^0)\} + M^j \quad (\text{数 } 1 \text{ 6})$$

ここで、 F^j は、j 番目の力覚センサが検知した力、 M^j は、j 番目の力覚センサが検知したモーメント、 P^j は、j 番目の力覚センサの位置ベクトル、 P^0 は、モーメントを求める基準位置の位置ベクトル、 F^{sum} は、各力覚センサにより検出される力の総和、 M^0 は、各力覚センサにより検出されるモーメントの総和、また、 \sum は、j = 1 から m までの加算を示している。

【 0 0 2 5 】

この場合も、m 個の力覚センサによって測定できる軸数の合計が 5 軸以上であれば、一点支持の場合と同様に、甲殻型カバーの幾何形状や力覚センサの位置情報が既知であるとき、(数 1 3) ~ (数 1 6) を用いて、甲殻型カバーのあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を求めることができる。

なお、(数 1 3) ~ (数 1 6) の算出に際し、検知できない成分は全て 0 とする。例えば、j 番目の力覚センサが 3 軸方向の応力成分のみの測定が可能な 3 軸力覚センサである場合は、 $M^j = 0$ となる。

【 0 0 2 6 】

また、この場合、検知し得ない軸方向の力が力覚センサの応答値に干渉しないことが必要である。例えば、3 軸力覚センサであれば、モーメントが力応答に干渉しないようにユニバーサルジョイントなどを介して甲殻型カバーを保持する必要がある。

なお、一点支持における (数 1) (数 2) は、(数 1 3) ~ (数 1 6) において、m = 1 とした場合に相当する。

【 0 0 2 7 】

次に、甲殻型カバーを複数本のワイヤで多点支持する場合について説明する。

図 5 に示すように、甲殻型カバー 3 0 とロボット本体 4 0 とを 5 本以上のワイヤ 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5 で接続し、各ワイヤの張力を検出して、甲殻型カバー 3 0 に作用する外力の大きさ及び作用点を求める。なお、ワイヤに加わる張力は、例えば、ワイヤに沿わせた線状のテンションメータの両端をワイヤに固定したり、ワイヤ表面やワイヤ内部に歪ゲージを取り付けたりして計測することができる。

この場合の外力検出は、甲殻型カバー 3 0 を支持するセンサとして、1 軸のセンサを用いたものに相当する。従って、甲殻型カバー 3 0 とロボット本体 4 0 との接続に 5 本以上のワイヤを使用すれば、(数 1 3) ~ (数 1 6) を用いて、甲殻型カバー 3 0 のあらゆる位置に作用した外力の大きさ及び作用点を求めることができる。

【 0 0 2 8 】

ただ、この場合、各ワイヤの張力の総和 F^{sum} 及びモーメントの総和 M^0 は、(数 1 7) (数 1 8) で表される。

$$F^{sum} = (d^j / |d^j|) (f^j - f^{0j}) \quad (\text{数 } 1 \text{ 7})$$

$$M^0 = p^j \times (d^j / |d^j|) (f^j - f^{0j}) \quad (\text{数 } 1 \text{ 8})$$

10

20

30

40

50

ここで、 p^j は、 j 番目のワイヤのロボット本体40側の端点位置、 d^j は、 j 番目のワイヤの p^j を基準とした甲殻型カバー30側の端点位置、 f^j は、 j 番目のワイヤの張力、 f^{0j} は、外力が作用しない状態での j 番目のワイヤの張力初期値、また、前記ワイヤの数を m とすると、 $\sum_{j=1}^m$ は、 $j=1$ から m までの加算を示している。

【0029】

この場合、外力の作用点を検出するためには、張力が0より大きいワイヤが5本以上存在する必要がある。外力によって一部のワイヤが弛むことが想定される場合は、大目にワイヤを張る必要がある。また、甲殻型カバー30は、外力によって大きく変位しないことが必要である。変位が大きいと d^j が一定とみなせなくなる。

なお、ワイヤの代わりにロッドを使ってもよい。ただし、ロボット本体40及び甲殻型カバー30との接合部は、両方とも3軸のフリージョイントにする必要がある

【0030】

図6、図7、図8は、本発明の外力検出方法の有効性を確認するために実施した実験の様態を示している。

実験に用いた移動ロボットを図6(a)に示し、甲殻型カバーを図6(b)に示している。甲殻型カバーは、厚さ3mmの亚克力板で形成された外形寸法500mm×500mm×500mmの立方体であり、移動ロボットに被せるため、底面だけは塞がれていない。重さ12kgである。移動ロボットには、甲殻型カバーを一点支持する位置に6軸力覚センサ12を配置している。

【0031】

実験では、図7に示すように、移動ロボットに被せた甲殻型カバーの一点を指で押し、その押圧位置を求めた。算出された押圧位置は表示画面に表示されている。

図8は、この押圧位置と検出位置との関係を定量的に測定した結果を示している。図8(a)では、実際の押圧位置(Actual position)を菱形で、検出位置(Detected position)を+で表示している。また、図8(b)では、押圧位置(Actual position)及び検出位置(Detected position)を座標で表示している。

この実験結果から、甲殻型カバーの各位置に作用した外力の作用点は、本発明の外力検出方法により、高精度で検出できることが分かる。

【0032】

このように、本発明では、ロボット本体やマニピュレータ本体に、力覚センサ等の測定手段を介して甲殻型カバーを固定する。甲殻型カバーは、6自由度が全て測定手段により拘束され、ロボットに作用する外力の全ては甲殻型カバーで受け止められる。測定手段は、本体と甲殻型カバーとの接続箇所に作用する応力及びモーメントを検出し、制御部は、外力を受けてもモーメントが釣り合っていると仮定して、測定結果を基に、外力の総和及び作用点を算出する。

【0033】

本発明では、測定手段の測定可能な応力成分の軸数及び測定可能なモーメント成分の軸数の合計が5軸であれば、その測定値から外力の総和と作用点を求めることができる。これは、換言すれば、拘束した甲殻型カバーの6自由度の内、5自由度について測定手段で測定することになる。

例えば、本体と甲殻型カバーとを、1個の3軸力覚センサと2個の1軸力覚センサとを介して接続すれば、外力の総和と作用点が検出できる。また、5個の1軸力覚センサを介して接続しても、外力の総和と作用点が検出できる。また、1個の5軸力覚センサを介して接続しても、外力の総和と作用点が検出できる。ただし、計測しない6軸目の成分が他の5軸の成分に干渉しないことが条件となる。

【0034】

前述する実験では、本体と甲殻型カバーとを1個の6軸力覚センサを介して接続しているが、6軸力覚センサの検出情報のうち、5軸分の情報(f_x, f_y, f_z, m_x, m_y)を利用して作用点を算出し、Z軸周りのモーメント m_z の情報は捨てている。この6軸力覚センサは、軸間の干渉が発生しないような構造になっているため、 m_z は他の5軸の

10

20

30

40

50

応答値に影響を与えない。

【 0 0 3 5 】

この甲殻型カバーを用いた外力検出装置でロボットの全てのリンクを覆うことにより、ロボットのあらゆる箇所が生じる外力とその作用点を計測することが可能となる。

また、この外力検出装置は、外力の大きさを定量的に把握できるため、例えば、撫でるように触られた場合と、叩かれた場合とで異なるロボット制御を実行することができる。

なお、ここではロボットやマニピュレータの外力検出について説明したが、本発明は、工作機械や車椅子、乗物等の可動体に作用する外力の検出にも広く利用できる。

【 0 0 3 6 】

(実施例 1)

箱形状の甲殻型カバーを 1 個の 5 軸力覚センサで支持する場合の外力作用点の算出方法の一例について説明する。

図 9 (a) に示すように、箱状甲殻型カバー 1 1 は、ロボット本体 4 0 に取り付けられた 5 軸力覚センサ 1 2 の先端に固定し、この先端を P^0 (モーメントを求める基準位置) とする。

図 9 (b) に示すように、箱状甲殻型カバー 1 1 の中心を $P^1 = (P^1_x, P^1_y, P^1_z)$ とし、箱状甲殻型カバーの上面の高さを $P^1_z + P^c_z$ とし、また、前後面の位置をそれぞれ $P^1_y + P^c_y$, $P^1_y - P^c_y$ 、左右面の位置をそれぞれ $P^1_x + P^c_x$, $P^1_x - P^c_x$ とする。

(数 1 0) に

$$P^{dis}_z = P^1_z + P^c_z \quad (数 1 9)$$

を代入すれば、(数 1 0) で表される直線が、カバー上面を拡張した水平面と交差する点の座標 P^{dis}_x , P^{dis}_y を下記のように導出できる。

$$P^{dis}_y = (F^1_y / F^1_z) [P^c_z - \{ (M^1_x - F^1_z P^1_y) / F^1_y \}] \quad (数 2 0)$$

$$P^{dis}_x = (F^1_x / F^1_z) [P^c_z - \{ (-M^1_y - F^1_z P^1_x) / F^1_x \}] \quad (数 2 1)$$

ここで、

$$\begin{array}{ccc} P^1_y - P^c_y & P^{dis}_y & P^1_y + P^c_y \\ P^1_x - P^c_x & P^{dis}_x & P^1_x + P^c_x \\ F^1_z > 0 \end{array} \quad (数 2 2)$$

が全て成り立てば、外力の作用点はカバー上面であると決定できる。その場合、外力作用点は (数 1 9) (数 2 0) (数 2 1) で導出される。

(数 2 2) が成り立たない場合には、外力が前後面または左右面に作用していると判断されるため、次の手順に移る。

【 0 0 3 7 】

次に、(数 1 0) の直線とカバー前後面、またはその拡張面が交差した場合を想定する。

$$F^1_y > 0 \quad (数 2 3)$$

が成り立つ場合にはカバー前面に力が作用していると考え、(数 1 0) に

$$P^{dis}_y = P^1_y + P^c_y \quad (数 2 4)$$

を代入する。すると(数 1 0) で表される直線が、カバー前面を拡張した鉛直面と交差する点の座標 P^{dis}_x , P^{dis}_z を下記のように導出できる。

$$P^{dis}_z = \{ (M^1_x - F^1_z P^1_y) / F^1_y \} + P^1_z + (F^1_z / F^1_y) (P^1_y + P^c_y) \quad (数 2 5)$$

$$P^{dis}_x = (F^1_x / F^1_z) [P^{dis}_z - \{ (-M^1_y - F^1_z P^1_x) / F^1_x \} - P^1_z] \quad (数 2 6)$$

(数 2 3) が成り立たない場合には、カバー後面に力が作用していると考え、(数 1 0) に

$$P^{dis}_y = P^1_y - P^c_y \quad (数 2 7)$$

を代入する。カバー後面を拡張した鉛直面と交差する点の座標 P^{dis}_x , P^{dis}_z を下記のように導出できる。

$$P^{dis}_z = \{ (M^1_x - F^1_z P^1_y) / F^1_y \} + P^1_z + (F^1_z / F^1_y) (P^1_y - P^c_y)$$

10

20

30

40

50

$$P^{dis}_x = (F^1_x / F^1_z) [P^{dis}_z - \{(-M^1_y - F^1_z P^1_x) / F^1_x\} - P^1_z] \quad (\text{数 } 28)$$

$$(\text{数 } 29)$$

ここで、

$$\begin{array}{ccc} P^1_z - P^c_z & P^{dis}_z & P^1_z + P^c_z \\ P^1_x - P^c_x & P^{dis}_x & P^1_x + P^c_x \end{array} \quad (\text{数 } 30)$$

が成り立てば、外力の作用点はカバー前後面であると決定できる。その場合、外力作用点は(数28)(数29)(数30)で導出される。

(数30)が成り立たない場合には、外力が左右面に作用していると判断されるため、次の手順に移る。

【0038】

次に(数10)の直線とカバー左右面、またはその拡張面が交差した場合を想定する。

$$F^1_x > 0 \quad (\text{数 } 31)$$

が成り立つ場合にはカバー前面に力が作用していると考え、(数10)に

$$P^{dis}_x = P^1_x + P^c_x \quad (\text{数 } 32)$$

を代入する。すると(数10)で表される直線が、カバー前面を拡張した鉛直面と交差する点の座標 P^{dis}_y 、 P^{dis}_z を下記のように導出できる。

$$P^{dis}_z = \{(-M^1_y - F^1_z P^1_x) / F^1_x\} + P^1_z + (F^1_z / F^1_x) (P^1_x + P^c_x) \quad (\text{数 } 33)$$

$$P^{dis}_y = (F^1_y / F^1_z) [P^{dis}_z - \{(M^1_x - F^1_z P^1_y) / F^1_y\} - P^1_z] \quad (\text{数 } 34)$$

【0039】

(数31)が成り立たない場合には、カバー後面に力が作用していると考え、(数10)に

$$P^{dis}_x = P^1_x - P^c_x \quad (\text{数 } 34)$$

を代入する。カバー後面を拡張した鉛直面と交差する点の座標 P^{dis}_y 、 P^{dis}_z を下記のように導出できる。

$$P^{dis}_z = \{(-M^1_y - F^1_z P^1_x) / F^1_x\} + P^1_z + (F^1_z / F^1_x) (P^1_x - P^c_x) \quad (\text{数 } 35)$$

$$P^{dis}_y = (F^1_y / F^1_z) [P^{dis}_z - \{(M^1_x - F^1_z P^1_y) / F^1_y\} - P^1_z] \quad (\text{数 } 36)$$

ここで、

$$\begin{array}{ccc} P^1_z - P^c_z & P^{dis}_z & P^1_z + P^c_z \\ P^1_y - P^c_y & P^{dis}_y & P^1_y + P^c_y \end{array} \quad (\text{数 } 37)$$

が成り立てば、外力の作用点はカバー左右面であると決定できる。

それ以外の場合は原理的に存在しないため、例外処理として接触位置不定とする。

【0040】

(実施例2)

箱形状の甲殻型カバーを1個の3軸力覚センサと2個の1軸力覚センサとを用いて支持する場合は、図10(a)に示すように、3軸力覚センサ25により甲殻型カバー11の上面内面を支持し、1軸力覚センサ26、27により甲殻型カバー11の側面内面を支持する。図10(b)に示すように、3軸力覚センサ25は、x、y軸周りに自由に回転するユニバーサルジョイント41を介して甲殻型カバー11に固定する。また、1軸力覚センサ26、27は、x、y、z軸周りに自由に回転するユニバーサルジョイント43、44を介してスライドガイド42、44に固定し、スライドガイド42、44を甲殻型カバー11の内面に当接させる。甲殻型カバー11のx軸に平行な側面に当接するスライドガイド42は、x、z軸方向に移動可能であり、また、甲殻型カバー11のy軸に平行な側面に当接するスライドガイド44は、y、z軸方向に移動可能である。

また、3軸力覚センサ25の先端を P^o (モーメントを求める基準位置)とする。

【0041】

10

20

30

40

50

この外力検出装置では、3軸力覚センサ25が計測する力を $f_1 = (f_{1x}, f_{1y}, f_{1z})$ 、1軸力覚センサ27が計測する力を f_2 、1軸力覚センサ26が計測する力を f_3 とすると、外力 F^{dis} の各成分は次のようになる。

$$F_x^{dis} = f_{1x} + f_2$$

$$F_y^{dis} = f_{1y} + f_3$$

$$F_z^{dis} = f_{1z}$$

また、図10(b)に示すように、甲殻型カバー11の上面から1軸力覚センサ26、27までの距離を P_z とすると、各力覚センサの測定値から求められるモーメント M^0 の成分 M_x^0 、 M_y^0 は次のようになる。

$$M_x^0 = f_3 P_z$$

$$M_y^0 = f_2 P_z$$

なお、 M_z^0 は計測しない(外力作用点の導出には必要がない)。

この M^0 を(数15)に代入し、(数6)~(数10)のように展開することによって外力の作用点 P^{dis} を算出することができる。

【産業上の利用可能性】

【0042】

本発明は、ロボットやマニピュレータ、工作機械、車椅子、乗物等の可動体に作用する外力を検出するために広く利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】本発明の実施形態における移動ロボット及び甲殻型カバーを示す図

【図2】図1の甲殻型カバーに作用する力の説明図

【図3】本発明の実施形態におけるマニピュレータに多点支持された甲殻型カバーを示す図

【図4】図3の甲殻型カバーに作用する力の説明図

【図5】本発明の実施形態におけるワイヤでロボット本体に接続された甲殻型カバーを示す図

【図6】実験に用いた移動ロボット及び甲殻型カバーを示す図

【図7】甲殻型カバーを手で押圧して作用点を画面に表示する実験を示す図

【図8】甲殻型カバーの押圧位置と算出された作用点との関係を示す図

【図9】実施例1の甲殻型カバーの支持について説明する図

【図10】実施例2の甲殻型カバーの支持について説明する図

【符号の説明】

【0044】

10 移動ロボット

11 甲殻型カバー

12 6軸力覚センサ

20 マニピュレータ

21 甲殻型カバー

22 力覚センサ

23 力覚センサ

24 力覚センサ

25 3軸力覚センサ

26 1軸力覚センサ

27 1軸力覚センサ

30 甲殻型カバー

31 ワイヤ

32 ワイヤ

33 ワイヤ

34 ワイヤ

10

20

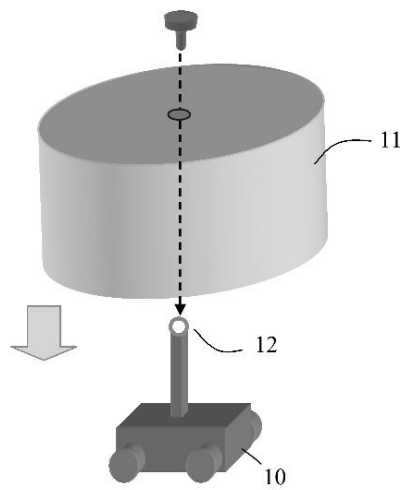
30

40

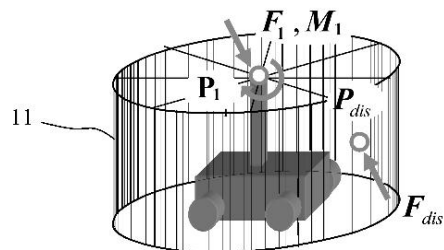
50

- 3 5 ワイヤ
- 4 0 ロボット本体
- 4 1 ユニバーサルジョイント
- 4 2 スライドガイド
- 4 3 ユニバーサルジョイント
- 4 4 スライドガイド
- 4 5 ユニバーサルジョイント

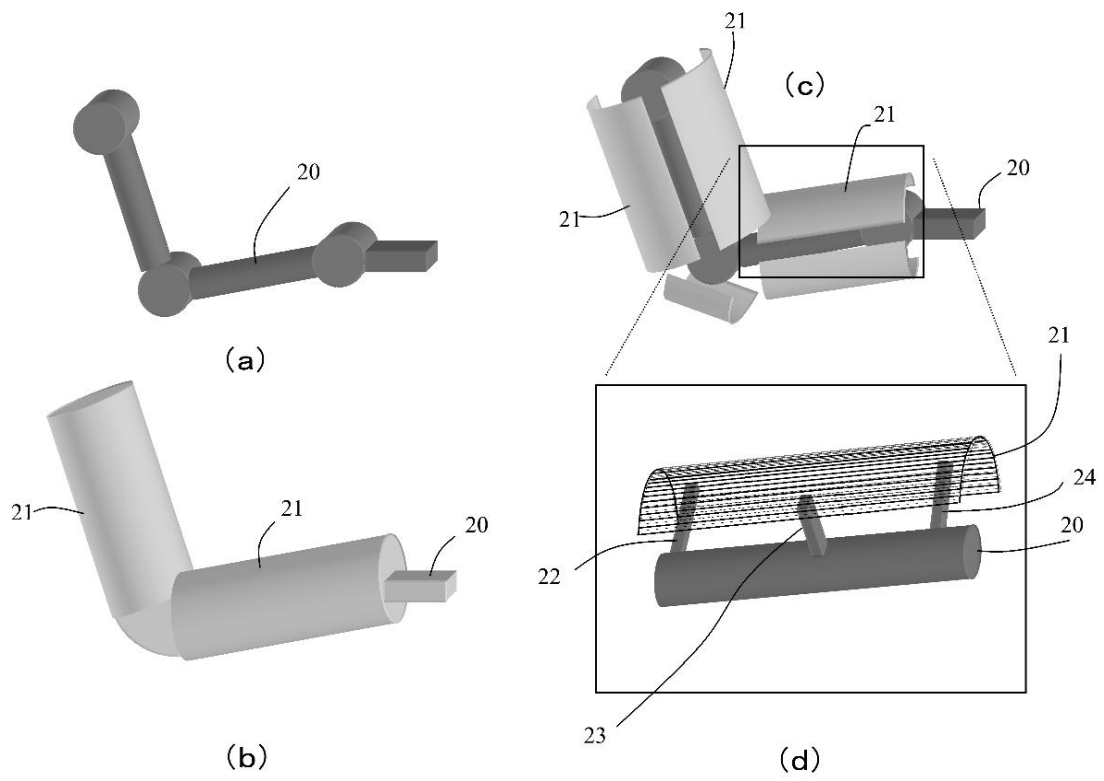
【 図 1 】



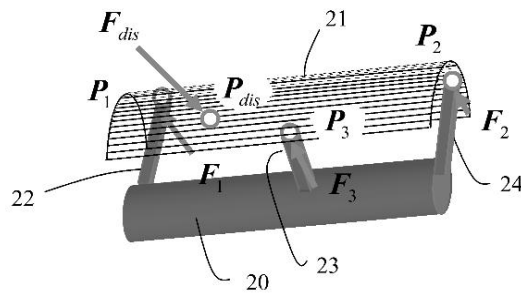
【 図 2 】



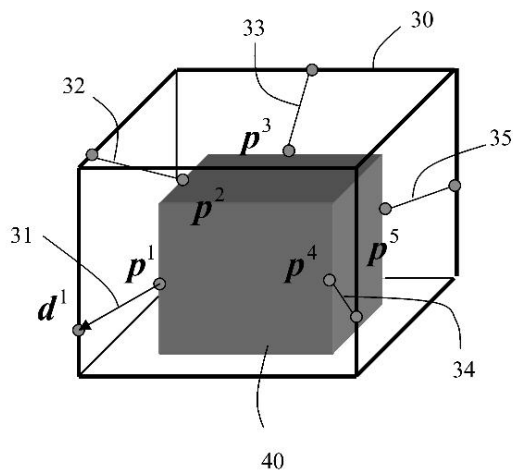
【 図 3 】



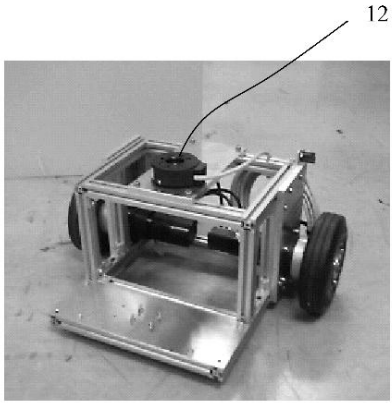
【 図 4 】



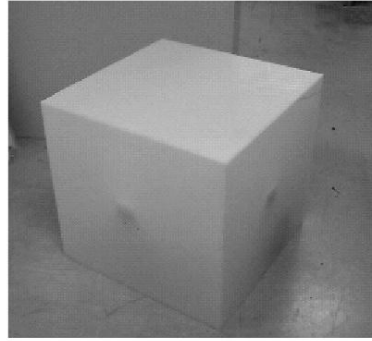
【 図 5 】



【 図 6 】

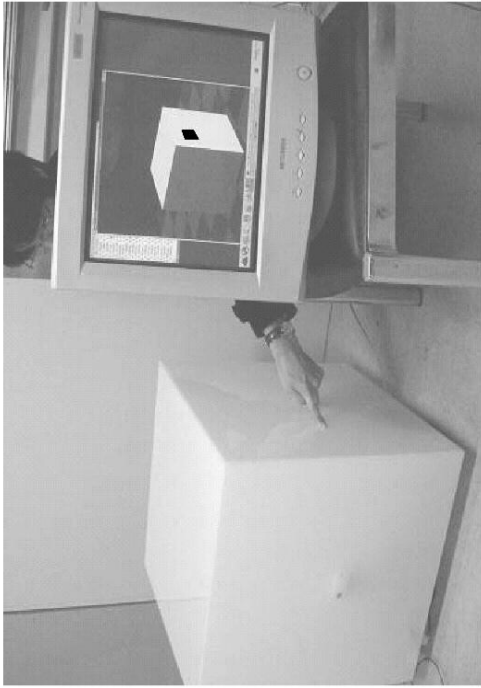


(a)



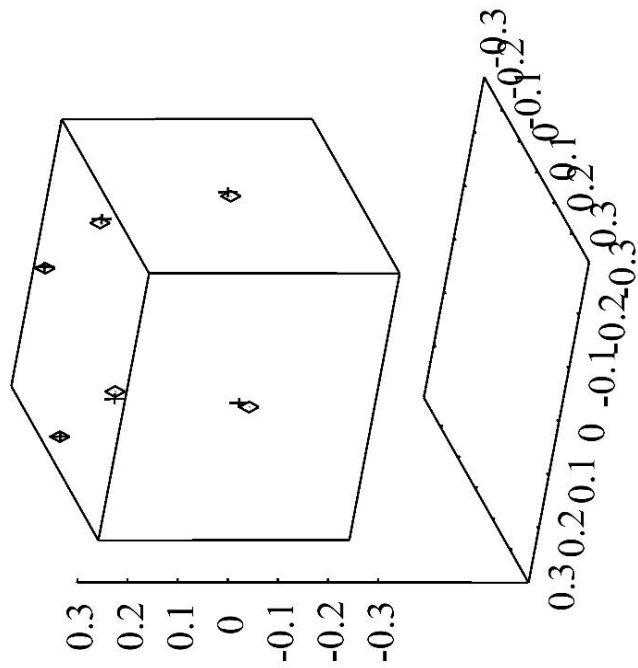
(b)

【図7】



【 図 8 】

◇ Actual contact point
 ○ Detected contact point

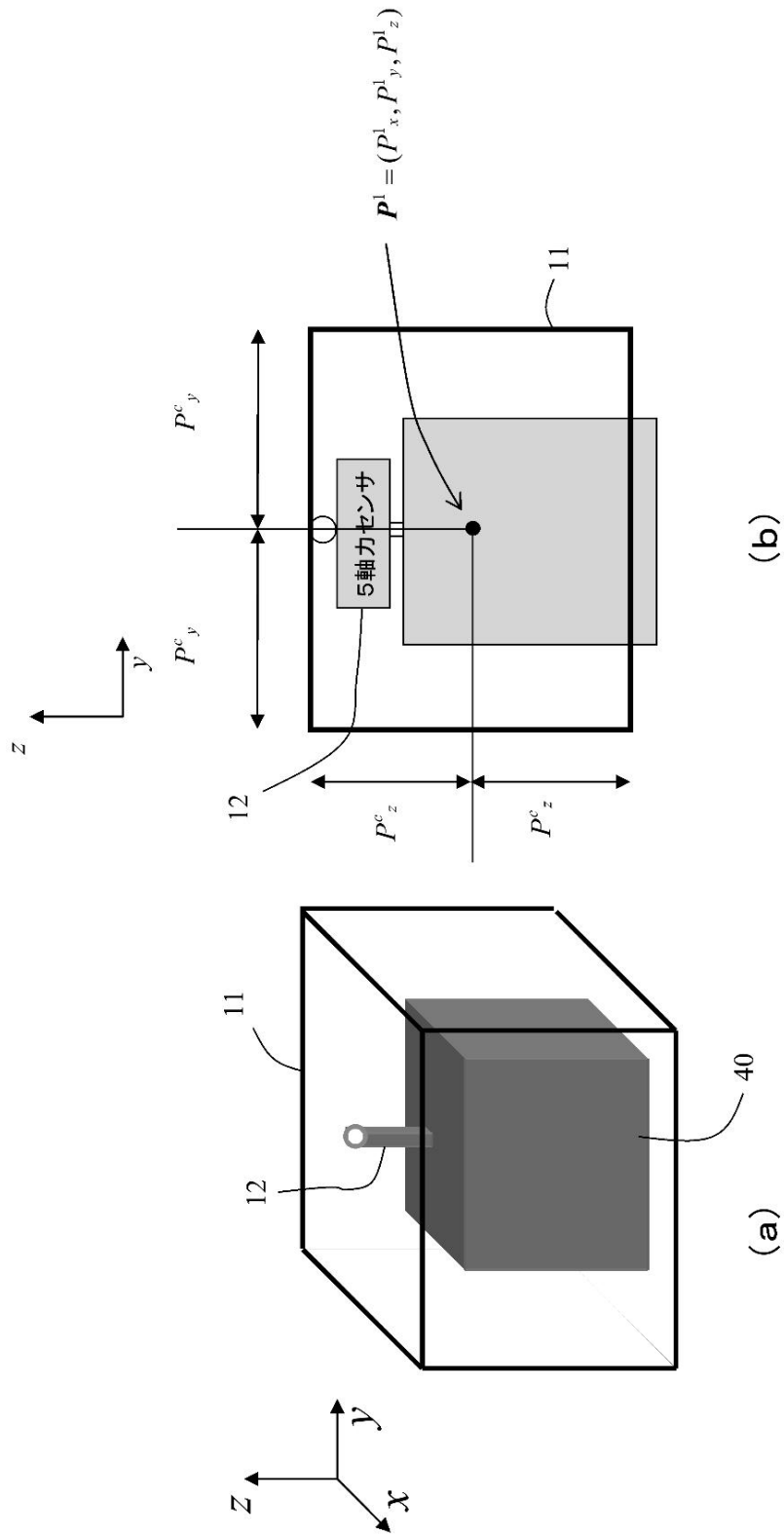


(a)

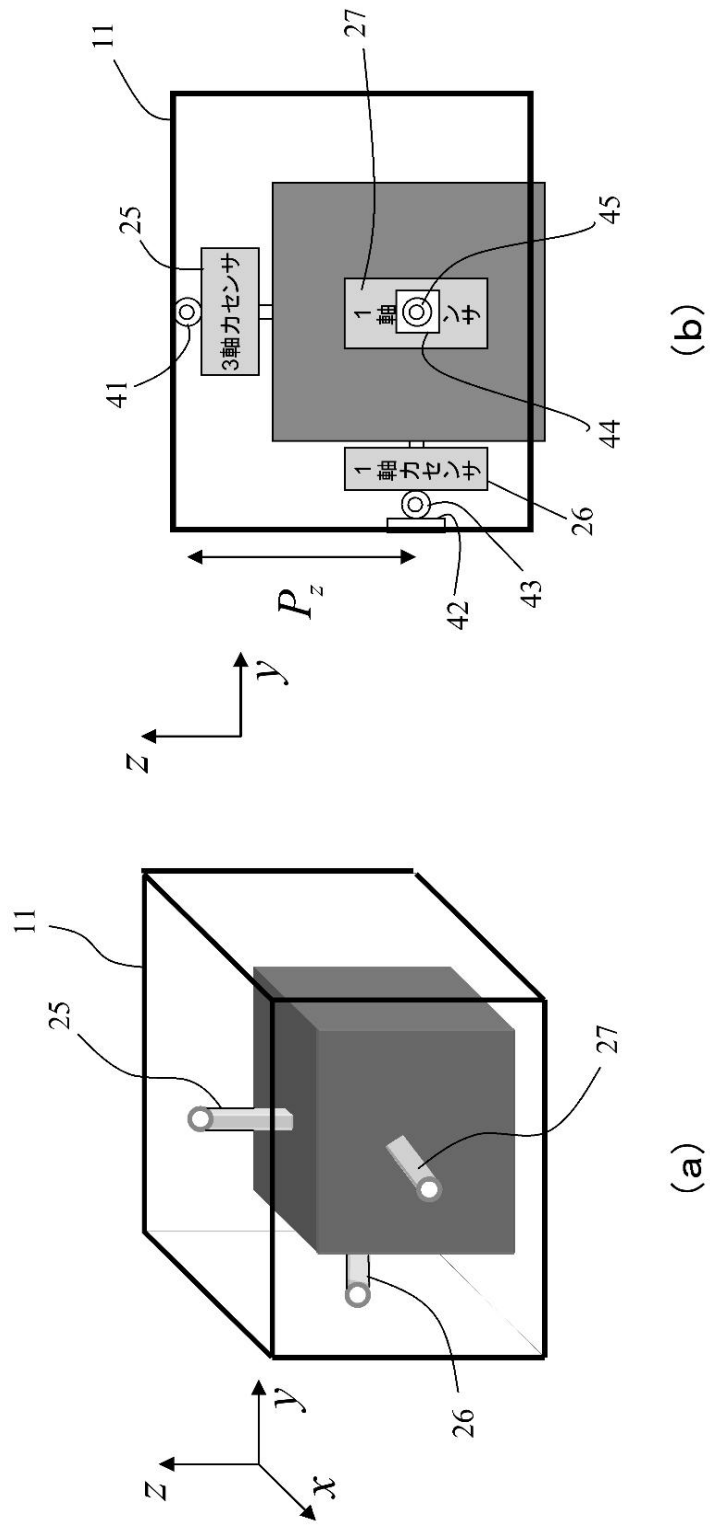
Actual position			Detected position		
x	y	z	x	y	z
0	-0.2	0.25	0.00036	-0.20452	0.25
-0.2	0	0.25	-0.20874	0.002735	0.25
0	0.2	0.25	0.01199	0.2033	0.25
0.2	0	0.25	0.19908	0.00135	0.25
-0.25	0	0	-0.25	-0.01296	0.001196
0	0.25	0	-0.00726	0.25	0.02175

(b)

【 図 9 】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 金子 裕良

埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内

(72)発明者 羽生 良輔

埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内

審査官 公文代 康祐

(56)参考文献 特表昭 6 2 - 5 0 0 6 8 2 (J P , A)

特開昭 6 2 - 1 9 5 5 1 3 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 1 0 7 2 3 9 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 2 1 4 0 1 6 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 9 6 3 0 9 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 0 4 5 1 3 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 1 L 5 / 0 0

G 0 1 L 5 / 1 6

B 2 5 J 1 9 / 0 2

B 2 5 J 1 9 / 0 6