

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5678670号
(P5678670)

(45) 発行日 平成27年3月4日 (2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日 (2015.1.16)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 L 5/16 (2006.01)	GO 1 L 5/16
GO 1 L 5/00 (2006.01)	GO 1 L 5/00 1 O 1 Z
B 2 5 J 19/02 (2006.01)	B 2 5 J 19/02
B 2 5 J 15/08 (2006.01)	B 2 5 J 15/08 V

請求項の数 11 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2011-977 (P2011-977)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成23年1月6日 (2011.1.6)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-141256 (P2012-141256A)		東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号
(43) 公開日	平成24年7月26日 (2012.7.26)	(74) 代理人	100095728
審査請求日	平成25年12月17日 (2013.12.17)		弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100107261
			弁理士 須澤 修
		(74) 代理人	100127661
			弁理士 宮坂 一彦
		(72) 発明者	鶴野 次郎
			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
		(72) 発明者	西脇 学
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波センサー、触覚センサー、および把持装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板上に設けられ、前記基板の表面に対して直交する方向に平面波として伝搬する超音波を発信する超音波トランスデューサーと、
前記超音波トランスデューサー上に配置され、前記超音波トランスデューサーから発信された超音波を屈折させる音響屈折部と、
前記音響屈折部上に設けられる弾性変形可能な弾性膜と、
前記弾性膜の内部に設けられ、超音波を反射可能な超音波反射体と、
を備え、
前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信された超音波を前記超音波反射体に向かって屈折させるものであり、
前記基板上には、
前記弾性膜、前記超音波反射体、前記超音波トランスデューサー、および前記音響屈折部により構成されたセンサー本体が複数アレイ状に配置され、
前記基板上の隣り合う前記センサー本体の間には、空気中に超音波を発信するとともに、接触物にて反射された超音波を受信する近接検出用超音波素子が設けられたことを特徴とする超音波センサー。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波センサーにおいて、

前記超音波反射体は、球体である
ことを特徴とする超音波センサー。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の超音波センサーにおいて、
前記超音波反射体は、複数の反射面を有する多面体である
ことを特徴とする超音波センサー。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の超音波センサーにおいて、
前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の進行上に、
前記基板の表面に対して傾斜する傾斜平面を備え、
前記傾斜平面は、
前記傾斜平面の法線方向と、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の発信方向との成す角度を 1、前記傾斜平面の法線方向と、当該傾斜平面から超音波反射体に向かう方向との成す角度を 2、前記音響屈折部内の音速を C_1 、前記弾性膜内の音速を C_2 とした場合、 $(\sin 1) / C_1 = (\sin 2) / C_2$ の関係を満たす傾斜角度に形成された
ことを特徴とする超音波センサー。

10

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の超音波センサーにおいて、
前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の進行上に、
凹曲面を備え、
前記凹曲面は、前記超音波を前記超音波反射体に向かって収束させる曲率に形成された
ことを特徴とする超音波センサー。

20

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の超音波センサーにおいて、
前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の進行上に、
凸曲面を備えた
ことを特徴とする超音波センサー。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の超音波センサーと、
前記超音波センサーの前記超音波トランスデューサーの超音波の発信および受信を制御する制御部と、
を備えたことを特徴とする触覚センサー。

30

【請求項 8】

請求項 7 に記載の触覚センサーにおいて、
前記制御部は、
前記超音波トランスデューサーから超音波を発信させる超音波発信制御部と、
前記超音波トランスデューサーの超音波の発信タイミングから、前記超音波反射体により反射された超音波が前記超音波トランスデューサーにより受信される受信タイミングまでの時間を計測する時間計測部と、
前記時間計測部により計測された時間に基づいて、前記超音波反射体の移動量および移動方向を算出する移動量算出部と、
を備えたことを特徴とする触覚センサー。

40

【請求項 9】

請求項 8 に記載の触覚センサーにおいて、
前記制御部は、
前記移動量算出部により算出された前記超音波反射体の移動量および移動方向と、前記弾性膜のヤング率とに基づいて、前記弾性膜に作用する応力を算出する応力算出部を備える
ことを特徴とする触覚センサー。

50

【請求項 10】

請求項 9 に記載の触覚センサーにおいて、

前記弾性膜に作用する応力に対する、前記弾性膜に接触した前記接触物の状態が記録された関連データを記憶する記憶部と、

前記応力算出部により算出された前記応力と、前記関連データに基づいて、前記接触物の状態を判別する接触物判別部と、

を備えたことを特徴とする触覚センサー。

【請求項 11】

請求項 7 から請求項 10 のいずれかに記載の触覚センサーを備え、対象物を把持する把持装置であって、

前記対象物を把持するとともに、前記対象物に接触する接触面に前記触覚センサーが設けられる少なくとも一対の把持アームと、

前記触覚センサーから出力される信号に基づいて、前記対象物のすべり状態を検出する把持検出手段と、

前記すべり状態に基づいて、前記把持アームの駆動を制御する駆動制御手段と、

を備えることを特徴とする把持装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を発信する超音波センサー、および超音波センサーから発信された超音波により接触物の接触を検出する触覚センサー、および触覚センサーを備えた把持装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ロボットのアームなどにより、重量や摩擦係数が未知である対象物を把持する際に、対象物の接触により作用する応力を検出するセンサーが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

この特許文献 1 に記載の触覚センサーは、センサー基板に開設される開口の縁部から延伸するカンチレバー構造の構造体を有し、この構造体は、平板状の感応部と、感応部とセンサー基板とを連結するヒンジ部とから構成される。そして、この構造体の感応部には導電性磁性体膜が形成され、ヒンジ部には、圧電抵抗膜が形成され、導電性磁性体膜と圧電抵抗膜とが導通されている。また、ヒンジ部には電極が設けられ、圧力によりヒンジ部が曲がることで、ヒンジ部の圧電抵抗で発生する電流が電極から流れる構成となっている。そして、この触覚センサーは、センサー基板上に上記のような構造体が複数形成され、これらの構造体のうち一部がセンサー基板に対して起立し、他の一部がセンサー基板に対して平行に保持されている。また、このセンサー基板上には、弾性体が設けられ、起立した構造体は、弾性体に埋め込まれている。そして、起立した構造体により剪断力が測定可能となり、基板面に平行な構造体により正圧力が測定可能となる。ここで、この触覚センサーでは、センサー基板に対して起立した構造体により剪断力が検出され、センサー基板に対して平行に保持される構造体により正圧力が検出される。また、起立した構造体は、平板状の構造体を磁力により折り曲げることで形成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2006 - 208248 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、上記特許文献 1 に記載のような触覚センサーでは、センサー基板に対して起

10

20

30

40

50

立させる構造体と、センサー基板に対して平行に保持する構造体とが分離され、起立した構造体により剪断力が検出され、基板に対して平行な構造体により正圧力が検出される。このような剪断力検出用の構造体は、正圧力検出用の構造体を磁力により曲げる必要があり、複雑な立体構造を有しているため、生産性が悪く、生産コストも増大するという問題がある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記のような問題に鑑みて、簡単な構成で、接触物の接触検出が可能な超音波センサー、触覚センサー、および把持装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の超音波センサーは、基板と、前記基板上に設けられ、前記基板の表面に対して直交する方向に平面波として伝搬する超音波を発信する超音波トランスデューサーと、前記超音波トランスデューサーと接して配置され、前記超音波トランスデューサーから発信された超音波を屈折させる音響屈折部と、前記音響屈折部に接して設けられる弾性変形可能な弾性膜と、前記弾性膜の内部に設けられ、超音波を反射可能な超音波反射体と、を備え、前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信された超音波を前記超音波反射体に向かって屈折させることを特徴とする。

ここで、本発明の超音波トランスデューサーとは、例えば、基板の表面に対して直交する平面視で、矩形状に形成された超音波素子により、平面波として伝搬される超音波が発信されるものであってもよい。また、複数の超音波素子をアレイ状に配設した超音波アレイであり、これらの超音波素子から発信される超音波の合成波により平面波として伝搬される超音波が発信されるものであってもよい。

【 0 0 0 8 】

この発明では、超音波トランスデューサー上に音響屈折部が設けられている。したがって、超音波トランスデューサーから超音波が発信されると、音響屈折部により超音波の進行方向を超音波反射体に向かう方向に変更される。これにより、超音波が超音波反射体で反射される。そして、反射超音波は、再び音響屈折部に入射することで超音波トランスデューサーに向かう方向に進行方向が変更される。これにより、反射超音波が超音波トランスデューサーにて受信される。

このような構造では、超音波トランスデューサーから超音波が発信される超音波発信タイミングから、当該超音波トランスデューサーで超音波を受信する超音波受信タイミングまでの時間（TOFデータ）を計測することで、超音波トランスデューサーから超音波反射体までの距離を検出することができる。

また、弾性膜に接触物が接触して弾性膜が弾性変形すると、超音波反射体は、弾性膜の変形に応じた位置に移動される。また、音響屈折部により超音波が屈折される方向は一定方向となるため、TOFデータに基づいて超音波の移動距離が算出できれば、超音波反射体の移動後の位置座標をもとめることができ、超音波反射体の移動量および移動方向、すなわち、弾性膜の歪み量と歪み方向を算出することが可能となる。また、このような弾性膜の歪み量および歪み方向から、弾性膜に作用する剪断力や正圧力をも算出することが可能となる。

このような構成では、超音波トランスデューサーが配設された基板上に音響屈折部、弾性膜を形成し、弾性膜中に超音波反射体を埋設させる積層構成で超音波センサーを構成できるため、例えば、従来のように構造体を磁力により折り曲げて基板上に立体的な構造体を形成するような構成に比べて、構成を簡略化でき、生産性も良好となり、生産コストも低減させることができる。

【 0 0 0 9 】

本発明の超音波センサーでは、前記超音波反射体は、球体であることが好ましい。

【 0 0 1 0 】

この発明では、超音波反射体が球体であるため、ビーム状の超音波のビーム径内に超音波反射体が存在すれば、球面上の1点で必ず超音波を元の超音波トランスデューサーに反

10

20

30

40

50

射させることができ、確実に超音波トランスデューサーにて反射超音波を受信させることができる。また、弾性膜の歪みにより超音波反射体が回転等した場合でも、影響を受けることがなく、良好に超音波を反射させることができる。

また、球面の超音波反射体は、複数の反射面を有する多面体に比べて形成しやすく、製造コストも低減させることができる。

【 0 0 1 1 】

本発明の超音波センサーでは、前記超音波反射体は、複数の反射面を有する多面体であってもよい。

【 0 0 1 2 】

この発明では、超音波反射体が複数の反射面を有する多面体であってもよい。この場合、いずれかの反射面が超音波の進行方向に対して直交するように配置されていればよい。このような構成では、超音波の進行方向に対して直交する反射面の全面により、超音波を反射させることができるため、反射超音波を強めることができ、信号の検出精度を向上させることができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の超音波センサーでは、前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の進行上に、前記基板の表面に対して傾斜する傾斜平面を備え、前記傾斜平面は、前記傾斜平面の法線方向と、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の発信方向との成す角度を θ_1 、前記傾斜平面の法線方向と、当該傾斜平面から超音波反射体に向かう方向との成す角度を θ_2 、前記音響屈折部内の音速を C_1 、前記弾性膜内の音速を C_2 とした場合、下記式 (1) の関係を満たす傾斜角度に形成されたことが好ましい。

【 0 0 1 4 】

[数 1]

$$\frac{\sin \theta_1}{C_1} = \frac{\sin \theta_2}{C_2} \quad \dots (1)$$

【 0 0 1 5 】

この発明では、音響屈折部は、超音波の進行経路上に傾斜平面を備え、この傾斜平面で超音波の進行方向を屈折させる。

ここで、超音波が音響屈折部から弾性膜に超音波が伝搬する際、スネルの法則に従って、超音波の屈折角が決定され、これは、音響屈折部内の音速、弾性膜内の音速、および音響屈折から傾斜平面に入射する超音波の入射角により決定され、上記式 (1) の関係を満たす。したがって、上記式 (1) を満たす傾斜平面を有する音響屈折部を設けることで、超音波トランスデューサーから発信された超音波を超音波反射体に向かって精度よく導くことができ、超音波反射体により反射された超音波を超音波トランスデューサーに向かって精度よく導くことができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の超音波センサーでは、前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから発信される超音波の進行上に、凹曲面を備え、前記凹曲面は、前記超音波を前記超音波反射体に向かって収束させる曲率に形成されたことが好ましい。

【 0 0 1 7 】

この発明では、音響屈折部が凹曲面を有しているため、超音波は凹曲面から一点に収束するように屈折する。ここで、凹曲面の曲率としては、例えば超音波反射体と凹曲面との距離とにより、最適な値に設定されていればよい。また、超音波の収束点としては、例えば超音波反射体の中心点であってもよく、弾性膜に歪みがない初期状態において、超音波反射体の表面上の一点であってもよい。このように、超音波を超音波反射体に向かって収束させる場合、超音波トランスデューサーに向かって反射される超音波成分が多くなり、より高い検出精度で超音波反射体の位置を検出することができる。

【 0 0 1 8 】

本発明の超音波センサーでは、前記音響屈折部は、前記超音波トランスデューサーから

発信される超音波の進行上に、凸曲面を備えたことが好ましい。

【0019】

この発明では、音響屈折部が凸曲面を有しているため、超音波は凸曲面から拡散するように屈折する。このような構成では、弾性膜の歪み量が大きく、超音波反射体の移動量が大きい場合でも、拡散された超音波により超音波反射体の位置を検出することができる。

【0020】

本発明の超音波センサーでは、前記基板上には、前記弾性膜、前記超音波反射体、前記超音波トランスデューサー、および前記音響屈折部により構成されたセンサー本体が複数アレイ状に配置されたことが好ましい。

【0021】

この発明では、1つのセンサー本体により、そのセンサー本体内の弾性膜に接触物が接触した際の弾性膜の歪み量や応力を測定することができ、このようなセンサー本体をアレイ状に配置することで、例えば一定面積を有する接触面のどの位置に接触物が接触しても、いずれかのセンサー本体により応力を検出することができる。このため、例えばロボット等により物体を把持させる際に、物体の把持位置の検出や把持力の検出を適切に制御することができる。

【0022】

本発明の超音波センサーでは、前記基板上の隣り合う前記センサー本体の間には、空气中に超音波を発信するとともに、前記接触物にて反射された超音波を受信する近接検出用超音波素子が設けられたことが好ましい。

【0023】

この発明では、超音波センサーには、近接検出用超音波素子が設けられ、超音波センサーに近接する接触物までの距離を検出することができる。このような構成では、例えば、近接検出用超音波素子にて検出された超音波センサーと接触物との距離が、予め設定された規定値となった状態で、各超音波素子から超音波を出力させるなどの制御も可能となり、省エネルギー化を図ることも可能となる。

【0024】

本発明の触覚センサーは、上述のような超音波センサーと、前記超音波センサーの各超音波素子の超音波の発信および受信を制御する制御部と、を備えたことを特徴とする。

【0025】

この発明では、触覚センサーは、上述のような超音波センサーを備えている。したがって、制御部により、超音波センサーの超音波の送受信を制御することで、上述のように、簡単な構成で、弾性膜に接触物が接触した際の剪断力や押圧力といった応力を検出することができる。

【0026】

本発明の触覚センサーでは、前記制御部は、前記超音波トランスデューサーから超音波を発信させる超音波発信制御部と、前記超音波トランスデューサーの超音波の発信タイミングから、前記超音波反射体により反射された超音波が前記超音波トランスデューサーにより受信される受信タイミングまでの時間を計測する時間計測部と、前記時間計測部により計測された時間に基づいて、前記超音波反射体の移動量および移動方向を算出する移動量算出部と、を備えたことが好ましい。

【0027】

この発明では、超音波発信制御部により各超音波素子の超音波発信タイミングが制御され、時間計測部により、超音波発信タイミングから超音波受信タイミングまでの時間を計測し、移動量算出部により、計測された時間に基づいて、超音波反射体の移動量を算出する。

このため、各超音波トランスデューサーに対して超音波発信タイミングから超音波受信タイミングまでの時間を計測することで、超音波反射体の位置座標を算出することができ、超音波反射体の移動量および移動方向を容易に算出することができる。

【0028】

10

20

30

40

50

本発明の触覚センサーでは、前記制御部は、前記移動量算出部により算出された前記超音波反射体の移動量および移動方向と、前記弾性膜のヤング率とに基づいて、前記弾性膜に作用する応力を算出する応力算出部を備えることが好ましい。

【0029】

この発明では、応力算出部は、弾性膜のヤング率と、移動量算出部により算出された超音波反射体の移動量とを乗算することで、弾性膜に作用する応力を算出する。つまり、移動量算出部により算出される超音波反射体のZ軸方向への移動量と弾性膜のヤング率とに基づいて、正圧力を算出することができ、超音波反射体のXY平面方向での移動量と弾性膜のヤング率とに基づいて、剪断力を算出することができる。

【0030】

本発明の触覚センサーでは、前記超音波センサーは、前記基板上に、前記弾性膜、前記超音波反射体、および前記超音波反射体の複数の前記素子対向面に対向する複数の前記超音波素子が配置されて構成されたセンサー本体を複数備えるとともに、これらの複数のセンサー本体がアレイ状に配置されて構成され、当該触覚センサーは、前記弾性膜に作用する応力に対する、前記弾性膜に接触した接触物の状態が記録された関連データを記憶する記憶部と、前記応力算出部により算出された前記応力と、前記関連データに基づいて、前記接触物の状態を判別する接触物判別部と、を備えることが好ましい。

【0031】

ここで、記憶部に記憶される、前記弾性膜に作用する応力に対する、前記弾性膜に接触した接触物の状態が記録された関連データとは、例えば、弾性膜に作用する応力に対する接触物の接触面の粗さが記録されたデータであってもよく、弾性膜に作用する応力に対する接触物の材質の種別が記録されたデータであってもよい。また、例えば接触物が弾性体である場合、弾性膜に作用する応力に対する弾性体の柔らかさが記録されるものであってもよい。

【0032】

この発明では、接触物判別部は、記憶部から上記のような関連データを読み出し、この関連データから、応力算出部で算出された応力に対する接触物の状態を判別する。

このような構成では、例えば、関連データとして、応力に対する接触物の接触面の粗さデータが記録されている場合、弾性膜に接触した接触物の粗さを求めることができ、粗さからさらに接触物の接触面の素材を求めることもできる。また、関連データとして、応力に対する接触物の接触面の素材が記録されている場合では、算出された応力から、直接接触物の接触面における素材を検出することもできる。さらには、関連データとして、例えば、応力に対する接触物の柔らかさデータが記録されている場合、例えばパン生地 of 捏ね状態などを、触覚センサーで判別して最適な捏ね状態であるか否かを判断することもできる。

【0033】

本発明の把持装置は、上述したような触覚センサーを備え、対象物を把持する把持装置であって、前記対象物を把持するとともに、前記対象物に接触する接触面に前記触覚センサーが設けられる少なくとも一対の把持アームと、前記触覚センサーから出力される信号に基づいて、前記対象物のすべり状態を検出する把持検出手段と、前記すべり状態に基づいて、前記把持アームの駆動を制御する駆動制御手段と、を備えることを特徴とする。

【0034】

この発明では、上記したように、触覚センサーにより、把持の対象物を把持した際の剪断力を計測することで、対象物が把持アームから滑り落ちている状態であるか、把持されている状態であるかを計測することが可能となる。すなわち、対象物を把持する動作において、対象物を十分に把持できていない状態では、動摩擦力に応じた剪断力が働き、把持力を強めるほど、この剪断力も大きくなる。一方、把持力を強め、静摩擦力に応じた剪断力が検出される状態では、対象物の把持が完了した状態であり、把持力を強めた場合でも静摩擦力は一定であるため、剪断力も変化しない。したがって、例えば、対象物の把持力を徐々に増加させ、剪断力が変化しなくなった時点を検出することで、対象物を破損させ

10

20

30

40

50

ることなく、最低限の把持力のみで対象物を把持することができる。

また、上述したように、把持装置を構成する触覚センサーは、基板上に、超音波トランスデューサー、音響屈折体、超音波反射体が埋設された弾性膜を積層させただけの簡単な構成を有するものであり、容易に製造可能であるため、このような触覚センサーを用いた把持装置においても、同様に簡単な構成とすることができ、製造も容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明に係る第一実施形態の触覚センサーのセンサー本体の概略構成を示す平面図である。

【図2】第一実施形態のセンサー本体でXZ平面に断面した概略断面図である。

10

【図3】第一実施形態のセンサー本体でYZ平面に断面した概略断面図である。

【図4】音響レンズの傾斜平面の境界で発生する超音波の屈折、および超音波反射体により反射された超音波の経路を示す図である。

【図5】図4において、超音波反射体に移動方向および移動量をベクトル表示で表した図である。

【図6】第一実施形態の触覚センサーの概略構成を示すブロック図である。

【図7】第一実施形態の触覚センサーの応力算出処理のフローチャートである。

【図8】図2において、接触物が弾性膜に接触して超音波反射体が移動した状態を示す断面図である。

【図9】第二実施形態における触覚センサーの断面図である。

20

【図10】第三実施形態の触覚センサーの一部を示す断面図である。

【図11】第四実施形態の触覚センサーの一部を示す断面図である。

【図12】第五実施形態の触覚センサーにおけるセンサーアレイの構成を示す図である。

【図13】図12におけるセンサーアレイのうち、互いに隣接する2つのセンサー本体の断面構造を示した断面図である。

【図14】第五実施形態の触覚センサーにおける制御部の概略構成を示すブロック図である。

【図15】第六実施形態の把持装置の概略構成を示す装置ブロック図である。

【図16】第六実施形態の把持装置の把持動作における触覚センサーに作用する正圧力および剪断力の関係を示す図を示す。

30

【図17】第六実施形態の制御装置の制御による把持装置の把持動作を示すフローチャートである。

【図18】第六実施形態の把持装置の把持動作時において、アーム駆動部への駆動制御信号、触覚センサーから出力される検出信号の発信タイミングを示すタイミング図である。

【図19】第七実施形態に係るアイロンの概略構成を示すブロック図である。

【図20】第七実施形態のアイロンの動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0036】

〔第一実施形態〕

以下、本発明に係る第一実施形態の触覚センサーについて、図面に基づいて説明する。

40

〔1. 触覚センサーの構成〕

図1は、第一実施形態の触覚センサー1のセンサー本体10（超音波センサー）の概略構成を示す平面図であり、図2は、センサー本体10のXZ平面断面の概略構成を示す断面図であり、図3は、センサー本体10のYZ平面断面の概略構成を示す断面図である。

【0037】

触覚センサー1は、センサー本体10と、後述する制御部30（図6参照）と、を備えて構成されている。センサー本体10は、図1に示すように、基板11上、支持膜14、超音波アレイ12（本発明の超音波トランスデューサーを構成）、音響レンズ15（本発明の音響屈折部を構成）、および弾性膜16を積層することで構成されており、弾性膜16の内部には、超音波反射体17が埋設されている。この触覚センサー1は、弾性膜16

50

に接触物が接触した際に加わる正圧力および剪断力を検出するセンサーである。

なお、第一実施形態では、超音波センサーとして、センサー本体 10 が 1 つ設けられた例を示すが、これに限定されず、超音波センサーとして、これらのセンサー本体 10 が複数設けられる構成としてもよい。また、複数のセンサー本体 10 がアレイ状に配設された構成を有する超音波センサーについては、後述の第五実施形態において説明する。

【0038】

(1-1. 基板の構成)

基板 11 は、例えば Si により形成され、厚み寸法が例えば $200\text{ }\mu\text{m}$ に形成されている。この基板 11 には、図 1 ~ 図 3 に示すように、1 つの超音波反射体 17 に対して、5 つの開口部 111 が形成されている。具体的には、図 1 に示すように、基板 11 を厚み方

10

向から見た平面視（センサー平面視）において、超音波反射体の設置位置を原点とし、図 1 の左右方向に X 軸方向、上下方向に Y 軸方向を設定した場合、開口部 111 は、座標位置 $(a, 0)$ 、 $(-a, 0)$ 、 $(0, a)$ 、 $(0, -a)$ 、 $(0, 0)$ にそれぞれ設けられている。

なお、この開口部 111 は、基板 11 の厚み方向から当該基板 11 を見る平面視（センサー平面視）において、円形状に形成されているが、例えば矩形上などに形成されていてもよい。また、基板 11 厚み方向を貫通する開口部 111 を例示したが、例えば、基板 11 の弾性膜 16 側の面（図 2、図 3 における上側）にエッチング等により凹状溝を形成して開口部 111 とする構成としてもよい。さらには、基板 11 上に支持膜 14 を形成する構成を例示したが、基板 11 の弾性膜 16 とは反対側の面（図 2、図 3 の下側）からエッチング等により凹状溝を形成し、溝底部を支持膜 14 とし溝内部を開口部 111 とする構成としてもよい。

20

【0039】

(1-2. 超音波アレイの構成)

超音波アレイ 12 ($12A, 12B, 12C, 12D, 12E$) は、センサー平面視において、開口部 111 の内側領域に配置されている。ここで、座標 $(a, 0)$ には、第一超音波アレイ 12A が配置され、座標 $(-a, 0)$ には、第二超音波アレイ 12B が配置され、座標 $(0, a)$ には、第三超音波アレイ 12C が配置され、座標 $(0, -a)$ には、第四超音波アレイ 12D が配置され、座標 $(0, 0)$ には、第五超音波アレイ 12E が配置されている。

30

これらの超音波アレイ 12 は、開口部 111、開口部 111 を閉塞する支持膜 14（メンブレン 141）、およびメンブレン 141 上に形成される圧電体 21 により構成された超音波素子 20 が、例えば XY 方向に均等間隔で配置されるアレイ構造に配列されることで構成されている。1 つの超音波アレイ 12 に配置される超音波素子 20 としては、基板 11 のサイズ、超音波反射体 17 のサイズ、発信する超音波の信号強度等により適宜設定されるが、例えば XY 方向に 4 行 4 列の超音波素子 20 が配置される。

【0040】

支持膜 14 は、図示は省略するが、基板 11 上に例えば厚み寸法が $3\text{ }\mu\text{m}$ に成膜される SiO_2 層と、この SiO_2 層上に積層される厚み寸法が例えば 400 nm の ZrO_2 層との 2 層構造により形成されている。ここで、 ZrO_2 層は、後述する超音波アレイ 12 の焼成形成時に、後述する圧電膜 22 の剥離を防止するために形成される層である。すなわち、圧電膜 22 が例えば PZT により形成される場合、焼成時に ZrO_2 層が形成されていないと、圧電膜 22 に含まれる Pb が SiO_2 層に拡散して、 SiO_2 層の融点が下がり、 SiO_2 層の表面に気泡が生じ、この気泡により PZT が剥離してしまう。また、 ZrO_2 層がない場合、圧電膜 22 の歪みに対する撓み効率が低下するなどの問題もある。これに対して、 ZrO_2 層が SiO_2 層上に形成される場合、圧電膜 22 の剥離、撓み効率の低下などの不都合を回避することが可能となる。

40

また、以降の説明において、図 1 に示すようなセンサー平面視において、支持膜 14 のうち、開口部 111 を閉塞する領域をメンブレン 141 と称す。

【0041】

50

圧電体 21 は、圧電膜 22 と、圧電膜 22 の下面に設けられる下部電極 23 と、圧電膜 22 の上面に設けられる上部電極 24 とにより構成されている。

圧電膜 22 は、21 は、例えば PZT (ジルコン酸チタン酸鉛: lead zirconate titanate) を厚み寸法が例えば 500 nm となる膜状に成膜することで形成される。なお、本実施形態では、圧電膜 22 として PZT を用いるが、膜の応力変化により電荷を発生することが可能な素材であれば、いかなる素材を用いてもよく、例えばチタン酸鉛 (PbTiO_3)、ジルコン酸鉛 (PbZrO_3)、チタン酸鉛ランタン ($(\text{Pb}, \text{La})\text{TiO}_3$)、窒化アルミ (AlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、ポリフッ化ビニリデン (PVDF) などを用いてもよい。

【0042】

10

下部電極 23 および上部電極 24 は、圧電膜 22 の膜厚み方向を挟んで形成される電極であり、下部電極 23 は、圧電膜 22 のメンブレン 141 に対向する面に形成され、上部電極 24 は、下部電極 23 が形成される面とは反対側の面に形成されている。

【0043】

下部電極 23 は、厚み寸法が例えば 200 nm に形成される膜状の電極であり、メンブレン 141 内に形成される。

また、上部電極 24 は、厚み寸法が例えば 50 nm に形成される膜状の電極である。この上部電極 24 は、圧電膜 22 の上面を覆って形成される。

また、支持膜 14 上には、下部電極 23 の外周部から延出する下部電極線 (図示略)、および上部電極 24 の外周部から延出する上部電極 (図示略) が、それぞれ形成されている。これらの電極線は、例えば基板 11 の外周部に設けられる図示しない端子パッドまで引き出され、端子パッドから後述する制御部 30 に接続される。

20

【0044】

そして、このような超音波アレイ 12 の各超音波素子 20 は、制御部 30 から入力される信号 (交流電圧) により振動し、超音波アレイ 12 A ~ 12 D を覆って設けられた音響レンズ 15 (本発明の音響屈折部を構成する) 中、または第五超音波アレイ 12 E 上の弾性膜 16 中に超音波を発信する。具体的には、制御部 30 から下部電極 23 および上部電極 24 間に交流電圧が印可されると、圧電膜 22 が印可電圧に応じて伸縮する。これにより、支持膜 14 が振動して超音波が音響レンズ 15 側に発信される。

ここで、複数の超音波素子 20 から同時に超音波が発信されると、これらの超音波は互いに強め合い、基板 11 に対して直交する方向に平面波として伝搬する超音波がビーム状に発信される。この時、センサー平面視における超音波アレイ 12 の径が、ビーム状の超音波のビーム径となる。

30

また、超音波アレイ 12 は、音響レンズ 15 または弾性膜 16 から戻ってきた超音波を受信し、受信信号を制御部 30 に出力する。具体的には、電極 23, 24 間に電圧が印可されていない状態で、音響レンズ 15 から超音波が入力され、支持膜 14 が振動すると、圧電膜 22 が支持膜 14 の振動により伸縮する。この伸縮量に応じて圧電膜 22 の下部電極 23 側および上部電極 24 側で電位差が発生し、下部電極 23 および上部電極 24 に圧電膜 22 からの電流が流れて電気信号 (受信信号) が出力される。

【0045】

40

(1-3. 音響レンズの構成)

音響レンズ 15 は、基板 11 上で、超音波アレイ 12 A ~ 12 D を覆って形成されている。なお、本実施形態では、センサー平面視において、超音波反射体 17 と重なる位置に設けられる第五超音波アレイ 12 E 上には、音響レンズ 15 が配置されない構成を例示するが、例えば、第五超音波アレイ 12 E 上にも、平板上の音響レンズ 15 が設けられていてもよい。

【0046】

この音響レンズ 15 は、超音波アレイ 12 A ~ 12 D から発信された超音波を、超音波反射体 17 に向かって屈折させる。

つまり、この音響レンズ 15 は、各超音波アレイ 12 A ~ 12 D の直上領域 (ビーム状

50

の超音波の発信方向)に、超音波反射体17と対向するように傾斜する傾斜平面151~154を備えており、この傾斜平面151~154により、超音波アレイ12A~12Dから発信された超音波の進行方向を屈折させて変更させる。このような音響レンズ15としては、弾性膜16と音響インピーダンスが異なる素材により形成されていればよく、より具体的には、弾性膜16中を進行する超音波の伝搬速度(弾性膜16中の音速)よりも、音響レンズ15中を進行する超音波の伝搬速度(音響レンズ15中の音速)が速くなるように、音響レンズ15および弾性膜16が選択される。このような弾性膜16としては、例えば天然ゴム(超音波の伝搬速度:1500m/s)、シリコンゴム(超音波の伝搬速度:1000m/s)、PDMS(Polydimethylsiloxane、超音波の伝搬速度:900~1000m/s)などを用いることができ、音響レンズ15としては、例えばシリコン(超音波の伝搬速度:8400m/s)、石英(超音波の伝搬速度:5900m/s)、ガラス(超音波の伝搬速度:4000~5300m/s)、ナイロン(超音波の伝搬速度:2600m/s)、ポリスチレン(超音波の伝搬速度:2350m/s)、ポリエチレン(超音波の伝搬速度:1900m/s)などを用いることができる。

【0047】

そして、この音響レンズ15は、図2に示すように、第一超音波アレイ12Aに対向して、Y軸に平行で、かつX軸に対して角度 θ_1 ($0 < \theta_1 < 90$)で傾斜する第一傾斜平面151、第二超音波アレイ12Bに対向して、Y軸に平行で、かつX軸に対して角度 θ_1 で傾斜する第二傾斜平面152を備えている。また、Y軸方向に対しても同様に、音響レンズ15は、図3に示すように、第三超音波アレイ12Cに対向して、X軸に平行で、かつY軸に対して角度 θ_1 で傾斜する第三傾斜平面153、第四超音波アレイ12Dに対向して、X軸に平行で、かつY軸に対して角度 θ_1 で傾斜する第四傾斜平面154を備えている。

【0048】

図4は、音響レンズ15の傾斜平面151, 152の境界で発生する超音波の屈折、および超音波反射体17により反射された超音波の経路を示す図である。なお、図4に示す超音波反射体17において、二点鎖線は、弾性膜16に歪みがない状態の初期位置を示し、実線は、弾性膜16に歪みが生じて移動した際の移動位置を示す。

上述のように、X軸またはY軸に対して角度 θ_1 で傾斜する傾斜平面151~154に対して、超音波アレイ12から基板11に対して直交する方向に超音波が発信されると、その超音波は、図4に示すように、傾斜平面151~154と弾性膜16との境界で屈折する。

この時、超音波は、音響レンズ15中の音速を C_1 、弾性膜16中の音速を C_2 とすると、スネルの法則に基づいて、上記した式(1)に示すように、傾斜平面151~154の法線方向に対して、 θ_2 の角度で屈折される。したがって、傾斜平面151~154の法線方向に対して θ_2 の角度の方向に超音波反射体17が存在すれば、超音波アレイ12から発信された超音波が超音波反射体17に到達して反射されることになる。

【0049】

(1-4. 弾性膜および超音波反射体の構成)

弾性膜16は、上述のような支持膜14、超音波アレイ12を覆って形成される膜であり、第五超音波アレイ12Eの保護膜としても機能する。この弾性膜16としては、本実施形態では、例えばPDMS(PolyDimethylSiloxane)を用いるが、これに限定されず、上述したように、音響レンズ15よりも、媒体中を伝搬する超音波の速度が小さい弾性を有する合成樹脂であればよい。また、弾性膜16の厚み寸法(基板11の表面から弾性膜16の表面までの寸法)としては、特に限定されないが、例えば300 μ mに形成されている。

【0050】

また、弾性膜16の表面には、図2および図3に示すように、接触層161が形成されている。この接触層161は、接触物が接触して剪断方向に変位した際、その剪断力を弾性膜16に伝達させて歪ませるために、常に一定の摩擦係数を保つ必要があり、交換可能

10

20

30

40

50

なフィルム材などにより形成されることが好ましい。また、超音波アレイ 12 から発信された超音波が接触層 161 により反射されると、弾性膜 16 の内部で超音波が乱反射してしまい、各超音波アレイ 12 での測定精度が低下してしまうおそれがある。このため、接触層 161 は、超音波を吸収または表面で散乱させる形状に形成されることが好ましい。このような接触層 161 としては、例えば、フェルトや不織布、内部にシリカなどを混合させて多孔質にしたポリマーを接着した PET フィルムなどを例示することができる。

【0051】

そして、座標 (0, 0) の位置には、弾性膜 16 の内部に超音波反射体 17 が埋設されている。この超音波反射体 17 は、弾性膜 16 と異なる音響インピーダンスを有している。したがって、弾性膜 16 を進む超音波は超音波反射体 17 の表面で反射される。

10

この超音波反射体 17 は、図 1 ~ 図 3 に示すように、球体形状に形成されている。このような超音波反射体 17 では、超音波反射体 17 の中心点が超音波ビームのビーム径内に存在すれば、超音波反射体 17 の球面のいずれか一点の法線方向が、超音波ビームの進行方向と同一方向となり、その超音波を元の経路上に反射させることが可能となる。

【0052】

(1 - 5. 制御部の構成)

図 6 は、触覚センサー 1 の概略構成を示すブロック図である。

制御部 30 は、図 6 に示すように、素子切替回路 31 と、送受信切替回路 32 と、送受信切替制御部 33 と、超音波信号発信回路 34 と、時間計測部 35 と、記憶部 36 と、演算処理部 37 と、を備えている。なお、素子切替回路 31、送受信切替回路 32、送受信切替制御部 33、および超音波信号発信回路 34 により本発明の超音波発信制御部が構成される。

20

【0053】

素子切替回路 31 は、センサー本体 10 の 5 つの超音波アレイ 12 のうち、駆動させる超音波アレイ 12 を切り替えるスイッチング回路である。

本実施形態の触覚センサー 1 では、1 つの超音波アレイ 12 から超音波の送受信が実施されている間、他の超音波アレイ 12 への駆動信号の出力、および他の超音波アレイ 12 からの受信信号の受信は実施しない。これにより、駆動対象となった超音波アレイ 12 では、他の超音波アレイ 12 から発信された超音波を受信してしまい、ノイズが検出される不都合や、駆動対象以外の超音波アレイ 12 から受信信号が検出されてしまう不都合を回避できる。

30

この素子切替回路 31 は、例えば、各超音波アレイ 12 の下部電極線および上部電極線に接続される端子群を備え、送受信切替制御部 33 から入力される指令信号に基づいて、指令信号に対応する超音波アレイ 12 に対応した端子群と、送受信切替回路 32 とを接続する。また、駆動させない超音波アレイ 12 に対応した端子群は、例えば、下部電極線および上部電極線の双方を GND に接続するなどすることで、駆動させない構成としてもよい。

【0054】

送受信切替回路 32 は、送受信切替制御部 33 から入力されるモード切替信号に基づいて、接続状態を切り替えるスイッチング回路である。

40

具体的には、送受信切替制御部 33 から超音波発信モードに切り替える旨の制御信号が入力された場合、送受信切替回路 32 は、超音波信号発信回路 34 から入力された駆動信号を、センサー本体 10 の超音波アレイ 12A ~ 12E に出力可能なスイッチング状態に切り替わる。

一方、送受信切替回路 32 は、送受信切替制御部 33 から超音波受信モードに切り替える旨の制御信号が入力された場合、センサー本体 10 の超音波アレイ 12A ~ 12E から入力される受信信号を時間計測部 35 に出力可能なスイッチング状態に切り替わる。

【0055】

送受信切替制御部 33 は、各超音波アレイ 12 から超音波を発信させる超音波発信モードと、超音波アレイ 12 にて超音波を受信させる超音波受信モードと、を切り替える。

50

具体的には、送受信切替制御部 33 は、例えば触覚センサー 1 の電源が ON 状態に切り替わると、まず、超音波発信モードに切り替える処理を実施する。この処理では、送受信切替制御部 33 は、送受信切替回路 32 に超音波発信モードに切り替える旨の制御信号を出力し、超音波信号発信回路 34 から駆動信号を出力させる旨の制御信号を出力する。また、送受信切替制御部 33 は、図示しない計時部（タイマー）により計測される時間を監視し、超音波発信モードから所定の発信時間経過後に、超音波受信モードに切り替える処理を実施する。ここで発信時間は、超音波アレイ 12 から例えば 1 ～ 2 周波数のパースト波が発信される時間程度に設定されていればよい。超音波受信モードでは、送受信切替制御部 33 は、送受信切替回路 32 に超音波受信モードに切り替える旨の制御信号を出力して、送受信切替回路 32 を、超音波アレイ 12 から入力される受信信号を時間計測部 35 10 に入力可能な接続状態にスイッチングさせる。

【 0 0 5 6 】

超音波信号発信回路 34 は、発信モードにおいて、送受信切替制御部 33 から駆動信号を出力させる旨の制御信号が入力されると、超音波アレイ 12 を駆動させるための駆動信号（駆動パルス）を送受信切替回路 32 に出力する。

【 0 0 5 7 】

時間計測部 35 は、計時部にて計測される時間を監視し、超音波が受信されまでの時間を計測する。

具体的には、時間計測部 35 は、送受信切替制御部 33 が超音波発信モードに切り替える処理を実施した超音波発信タイミング、すなわち超音波アレイ 12 から超音波が発信されてからの時間をカウントする。なお、送受信切替制御部 33 は、超音波発信タイミングで、計時部でカウントされる時間をリセットする。そして、送受信切替制御部 33 が超音波受信モードに切り替える処理を実施し、超音波アレイ 12 で受信された反射超音波に応じた受信信号が送受信切替回路 32 から時間計測部 35 に入力されると、時間計測部 35 20 は、その入力されたタイミングでの時間（TOF データ：Time Of Flight データ）を取得する。また、取得した TOF データは、演算処理部 37 に入力される。

【 0 0 5 8 】

記憶部 36 は、演算処理部 37 の各種処理を実施するための各種プログラムや各種データなどを記憶する。

具体的には、記憶部 36 には、弾性膜 16 のヤング率、弾性膜 16 における超音波の音速、演算処理部 37 により実施される各種プログラムなどが予め記憶される。また、演算処理部 37 で算出された各種データが記憶される構成などとしてもよい。さらに、記憶部 36 には、音響レンズ 15 の傾斜平面 151 ～ 154 の基板 11 に対する傾斜角度 θ_1 や、音響レンズ 17 により屈折される超音波の角度 θ_2 が記録されてもよい。 30

【 0 0 5 9 】

演算処理部 37 は、移動量算出部 371 と、応力算出部 372 とを備えている。具体的には、演算処理部 37 は、中央演算回路やメモリー等の記憶回路などにより構成されるものであり、例えば記憶部 36 に記憶される移動量算出プログラムが中央演算回路に読み出されて処理が実行されることで、移動量算出部 371 として機能し、記憶部 36 に記憶される応力算出プログラムが中央演算回路に読み出されて処理が実行されることで、応力算出部 372 として機能する。 40

【 0 0 6 0 】

移動量算出部 371 は、時間計測部 35 から入力された TOF データと、記憶部 36 に予め記憶されている弾性膜 16 中での音速とに基づいて、超音波反射体の移動量、すなわち弾性膜 16 の歪み量を算出する。

応力算出部 372 は、移動量算出部 371 により算出された弾性膜 16 の歪み量と、記憶部 36 に予め記憶されている弾性膜 16 のヤング率とに基づいて、弾性膜 16 に作用する応力を算出する。

移動量算出部 371 の歪み量の算出方法（超音波反射体 17 の移動量算出方法）、および応力算出部 372 の応力算出方法の詳細については、後述する。 50

【 0 0 6 1 】

〔 2 . 触覚センサーの動作 〕

次に、上記のような触覚センサー 1 による、正圧力および剪断力の測定動作について、図 7、図 8 に基づいて、詳細に説明する。なお、ここでは、超音波反射体 1 7 の Y 軸方向への移動量の検出、弾性膜 1 6 に作用する Y 軸方向への剪断力の検出は、X 軸方向への移動量の検出、弾性膜 1 6 に作用する Y 軸方向への剪断力の検出と同様の処理により算出することができるため、ここでの説明は簡略する。

図 7 は、第一実施形態の触覚センサー 1 における応力算出処理のフローチャートである。図 8 は、図 2 に示す触覚センサー 1 において、弾性膜 1 6 に接触物 L が接触して弾性膜 1 6 が弾性変形した状態を示す断面図である。

10

【 0 0 6 2 】

触覚センサー 1 による正圧力および剪断力を検出動作では、図 7 に示すように、まず、制御部 3 0 は、素子設定変数 n を初期化 ($n = 0$) する処理を行う (ステップ S 1)。

この後、制御部 3 0 は、素子設定変数 n に対応する超音波素子を駆動させて T O F データを取得する処理を実施する。

【 0 0 6 3 】

具体的には、制御部 3 0 の送受信切替制御部 3 3 は、超音波発信モードに切り替える。すなわち、送受信切替制御部 3 3 は、素子切替回路 3 1 を、第 n 超音波アレイ 1 2 への信号の送受信が可能な状態にスイッチングさせ、他の超音波アレイ 1 2 への駆動信号の送信、他の超音波アレイ 1 2 からの受信信号の受信を遮断する。また、送受信切替制御部 3 3 は、送受信切替回路 3 2 を、駆動信号を超音波アレイ 1 2 に出力可能な状態にスイッチングさせるとともに、超音波信号発信回路 3 4 にて駆動信号を生成させ、送受信切替回路 3 2 に出力させる。これにより、第 n 超音波アレイ 1 2 から 1 ~ 2 パースト波の超音波が発信される (ステップ S 2)。また、この超音波発信タイミングで、送受信切替制御部 3 3 は、タイマーをリセットする。

20

【 0 0 6 4 】

この後、送受信切替回路 3 2 は、超音波受信モードに切り替え、送受信切替回路 3 2 を超音波アレイ 1 2 から入力された受信信号を時間計測部 3 5 に出力可能な状態にスイッチングする (ステップ S 3)。

これにより、時間計測部 3 5 は、受信信号が入力されると、タイマーの時間を取得、すなわち、超音波が、超音波アレイ 1 2 から発信されて超音波反射体 1 7 により反射されて超音波アレイ 1 2 に戻ってくるまでの時間 (T O F データ) を取得する (ステップ S 4)。また、時間計測部 3 5 は、取得した T O F データを記憶部 3 6 に記憶させる。

30

ここで、記憶部 3 6 には、先に記憶された T O F データと、新たに記憶された T O F データとの比較処理を実施するために、取得した T O F データを蓄積して記憶する。例えば、記憶部 3 6 には、ループ $m - 1$ 回目に取得した T O F データと、ループ m 回目に取得した T O F データとが記憶される。

【 0 0 6 5 】

次に、制御部 3 0 は、素子設定変数 n の値が 5 (センサー本体 1 0 に設けられる超音波アレイ 1 2 の数) であるか否かを判断する (ステップ S 5)。

40

ここで、制御部 3 0 は、素子設定変数 n が 4 以下であると判断した場合、素子設定変数 n に 1 を加算し (ステップ S 6)、ステップ S 2 ~ ステップ S 4 の処理を繰り返し実施する。

【 0 0 6 6 】

一方、制御部 3 0 は、素子設定変数 n が 5 以上であると判断すると、取得した T O F データが、前回取得した T O F データと比べて変動しているか否かを判断する (ステップ S 7)。なお、例えば電源投入時など、触覚センサー 1 を初めて駆動させた状態では、ループ 1 回目に取得した T O F データしか記憶されていないので、ステップ S 1 の処理に戻り、再度ステップ S 1 ~ ステップ S 5 の処理を実施してループ 2 回目の T O F データを取得する。

50

また、記憶部 36 に記憶された T O F データに変動がない場合、すなわち、ループ m - 1 回目の T O F データと、ループ m 回目の T O F データとの差が予め設定された閾値の範囲内である場合、制御部 30 は、再びステップ S 1 ~ ステップ S 5 の処理（ループ m + 1 回目の処理）を実施させる。

【 0 0 6 7 】

このステップ S 7 において、ループ m - 1 回目の T O F データと、ループ m 回目の T O F データとの差が閾値以上である場合、制御部 30 は、これらの T O F データの変動量を算出する処理を実施する（ステップ S 8）。

このように、取得した T O F データに変動がある場合、触覚センサー 1 は、弾性膜 16 に接触部 1 が接触して、図 8 に示すように、弾性膜 16 が弾性変形していることを意味する。

【 0 0 6 8 】

この後、移動量算出部 371 は、算出された T O F データの変動量に基づいて、超音波反射体 17 の移動量を算出する（ステップ S 9）。

このステップ S 9 では、以下のようにして超音波反射体 17 の移動量が算出される。

すなわち、超音波反射体 17 が初期位置 P_0 に位置する状態での T O F データが T_0 であり、超音波反射体 17 が位置 P_1 に移動した際の T O F データが T_1 である場合、移動量算出部 371 は、次式により T O F データの変動量に対する移動量 M を算出する。なお、超音波アレイ 12 から発信された超音波が反射点 171 により反射されて発信元の超音波アレイ 12 に戻る経路は、超音波反射体 17 が初期位置に位置する状態と、超音波反射体 17 が移動位置に位置する場合とで異なるため、超音波が音響レンズ 15 内を通過する距離（時間）、弾性膜 16 内を通過する距離（時間）もそれぞれ異なるが、これら音響レンズ 15 内を通過する距離（時間）の差は極めて小さく、超音波反射体 17 の移動量の算出において無視できるものである。

【 0 0 6 9 】

[数 2]

$$M = \frac{C_2 \times (T_1 - T_0)}{2} \quad \dots (2)$$

【 0 0 7 0 】

上記式（2）において、弾性膜 16 中の音速 C_2 は、記憶部 36 に予め記憶されている。

ここで、超音波反射体 17 が球体であるので、上記したように、超音波反射体 17 の表面上の 1 点の反射点の法線方向が、1 つの超音波アレイ 12 から発信された超音波の超音波反射体 17 への入射方向と同一となる。したがって、図 2 ~ 4 に示すように、第一超音波アレイ 12 A から発信された超音波の反射点を第一反射点 171 A、第二超音波アレイ 12 B から発信された超音波の反射点を第二反射点 171 B とすると、これらの反射点 171 A、171 B で反射された超音波がそれぞれ超音波発信元である超音波アレイ 12 A、12 B に最初に到達する。

【 0 0 7 1 】

したがって、上記式（2）により求められる移動量 M は、超音波反射体 17 の反射点 171（171 A、171 B）の接平面における法線方向への移動量であり、それぞれ、第一法線ベクトル（A）、第二法線ベクトル（B）で示すことができる。

図 5 は、図 4 において、超音波反射体の移動方向および移動量を示す図である。

超音波反射体 17 の X Z 平面での移動ベクトル（X Z 移動ベクトル（C））は、図 4 および図 5 に示すように、第一法線ベクトル（A）の第二反射点 171 B の接線方向と同一方向で、第一法線ベクトル（A）のスカラ量を $\cos \{ 90 - 2 (\theta_1 - \theta_2) \}$ で除した大きさのスカラ量を有するベクトル（第一演算ベクトル（A'））、第二法線ベクトル（B）の第一反射点 171 A の接線方向と同一方向で、第二法線ベクトル（B）のスカラ量を $\cos \{ 90 - 2 (\theta_1 - \theta_2) \}$ で除した大きさのスカラ量を有するベクトル（第

10

20

30

40

50

二演算ベクトル (\vec{B}') の合成ベクトルで表され、以下のベクトル式が成立する。

【 0 0 7 2 】

[数 3]

$$\vec{C} = \vec{A}' + \vec{B}' = \vec{x} + \vec{z} \quad \cdots (3)$$

【 0 0 7 3 】

ここで、記憶部 3 6 に予め各傾斜平面 1 5 1 ~ 1 5 4 に対する超音波の入射角度 θ_1 、射出角度 θ_2 を記憶しておくことで、移動量算出部 3 7 1 は、第一演算ベクトル (\vec{A}') および第二演算ベクトル (\vec{B}') は、演算により求めることができる。

また、移動量算出部 3 7 1 は、上記 (3) 式に示すベクトル式に基づいて、X Z 移動ベクトル (\vec{C}) を算出することで、超音波反射体 1 7 の移動後の座標位置を算出することができる。さらに、移動量算出部 3 7 1 は、この X Z 移動ベクトル (\vec{C}) を、X 軸方向に沿う成分である X 剪断方向ベクトル (\vec{x}) と、Z 軸方向に沿う成分である正圧方向ベクトル (\vec{z}) とに分解する。ここで、X 剪断方向ベクトル (\vec{x}) の絶対値が超音波反射体 1 7 の X 軸方向に沿う移動量となり、弾性膜 1 6 の X 軸方向への歪み量となる。また、正圧方向ベクトル (\vec{z}) の絶対値が超音波反射体 1 7 の Z 軸方向に沿う移動量となり、弾性膜 1 6 の Z 軸方向への歪み量となる。

【 0 0 7 4 】

さらに、第五超音波アレイ 1 2 E から出力された超音波は、基板 1 1 の厚み方向に沿って発信され、超音波反射体 1 7 の基板 1 1 に最も近接する反射点 1 7 1 E により反射される。したがって、第五超音波アレイ 1 2 E から出力される受信信号に基づいて T O F データの変動量から移動量を算出すると、超音波反射体 1 7 の Z 軸方向に沿う移動量を算出することができる。

【 0 0 7 5 】

この Z 軸方向に沿う移動量は、第一超音波アレイ 1 2 A ~ 第四超音波アレイ 1 2 D からの受信信号に基づいて算出することもできるが、第五超音波アレイ 1 2 E からの受信信号に基づいて算出することで、より高精度な値を取得することができる。これは、第五超音波アレイ 1 2 E と超音波反射体 1 7 との距離が、他の超音波アレイ 1 2 A ~ 1 2 D と、超音波反射体 1 7 との距離に比べて小さく、超音波の減衰等が抑えられ、かつ音響レンズ 1 5 を介さないため音響レンズ 1 5 および弾性膜 1 6 の境界における超音波の反射などによる減衰も抑えられるためである。

したがって、移動量算出部 3 7 1 は、第五超音波アレイ 1 2 E から出力される受信信号により算出した超音波反射体 1 7 の Z 軸方向の測定移動量と、式 (2) に基づいて算出された Z 軸方向の算出移動量とを比較し、これらの差が予め設定された規定値以上となる場合、測定移動量を Z 軸方向の移動量として設定する。また、この場合、移動量算出部 3 7 1 は、測定移動量に基づいた正圧方向ベクトル (\vec{z}) を設定し、式 (2) に基づいて X 剪断方向ベクトル (\vec{x}) を補正する処理をしてもよい。

【 0 0 7 6 】

なお、上記において、超音波反射体 1 7 が Z X 方向にのみ移動する場合を例示して、移動量算出部 3 7 1 により、超音波反射体 1 7 の Z 軸方向への移動量 (弾性膜 1 6 の Z 軸方向への歪み量) および超音波反射体 1 7 の X 軸方向への移動量 (弾性膜 1 6 の X 軸方向への歪み量) を算出したが、超音波反射体 1 7 の Y 軸方向への移動量も同様の手法により、算出することができる。

【 0 0 7 7 】

つまり、移動量算出部 3 7 1 は、第三超音波アレイ 1 2 C から出力される受信信号に基づいた T O F データの変動量から、第三反射点 1 7 1 C の法線方向の移動量 (第三法線ベクトル) を算出する。また、移動量算出部 3 7 1 は、第四超音波アレイ 1 2 D から出力される受信信号に基づいた T O F データの変動量から、第四反射点 1 7 1 D の法線方向の移動量 (第四法線ベクトル) を算出する。また、Y Z 平面において、第三法線ベクトルの、第四反射点 1 7 1 D の接線方向と同一方向で、第三法線ベクトルのスカラ量を $\cos \{ \theta_9$

10

20

30

40

50

$0 - 2 (\theta_1 - \theta_2)$ } で除した大きさのスカラ量を有するベクトル (第三演算ベクトル)、第四法線ベクトルの、第三反射点 171C の接線方向と同一方向で、第四法線ベクトルのスカラ量を $\cos \{ 90 - 2 (\theta_1 - \theta_2) \}$ で除した大きさのスカラ量を有するベクトル (第四演算ベクトル) を算出し、これらの合成した YZ 移動ベクトルを算出する。

そして、移動量算出部 371 は、YZ 移動ベクトルをさらに Z 軸方向成分の正圧方向ベクトルと、Y 軸方向成分の Y 剪断方向ベクトルに分解する。この正圧方向ベクトルが弾性膜 16 の Z 軸方向の歪み量となり、Y 剪断方向ベクトルが弾性膜 16 の Z 軸方向の歪み量となる。

【 0078 】

また、移動量算出部 371 は、上記のように算出された X 剪断方向ベクトルおよび Y 剪断方向ベクトルを合成することで、XY 平面内での超音波反射体 17 の移動方向および移動量を算出してもよい。

そして、移動量算出部 371 は、算出された超音波反射体 17 の移動量を記憶部 36 に記憶する。

【 0079 】

上記ステップ S9 の後、制御部 30 の応力算出部 372 は、弾性膜 16 に作用する応力を算出する (ステップ S10)。

具体的には、応力算出部 372 は、記憶部 36 に記憶された弾性膜 16 のヤング率を読み出し、移動量算出部 371 により算出された弾性膜 16 の X 軸方向への歪み量にヤング率を乗算することで、X 軸方向への剪断力を算出する。

また、応力算出部 372 は、移動量算出部 371 により算出された弾性膜 16 の Z 軸方向への歪み量にヤング率を乗算することで、正圧力を算出する。

同様にして、応力算出部 372 は、移動量算出部 371 により算出された弾性膜 16 の Y 軸方向への歪み量にヤング率を乗算することで、Y 軸方向への剪断力を算出する。なお、XY 平面での超音波反射体の移動量を算出した場合は、その移動量のヤング率を乗算することで、X 軸方向の剪断力および Y 軸方向の剪断力の合力を算出することもできる。

そして、応力算出部 372 は、算出された正圧力および剪断力を記憶部 36 に記憶する。

【 0080 】

〔 3 . 第一実施形態の作用効果 〕

上述したように、上記第一実施形態の触覚センサー 1 では、センサー本体 10 と、センサー本体 10 を制御する制御部 30 とを備えている。また、センサー本体 10 は、基板 11 と、基板 11 上に設けられ、基板 11 に直交する方向に平面波として伝搬する超音波を発信する 5 つの超音波アレイ 12 (12A ~ 12E) と、これらの超音波アレイ 12 を覆う弾性膜 16 と、弾性膜 16 内に埋設される超音波反射体 17 とを備えるセンサー本体 10 を有し、超音波アレイ 12A ~ 12D 上には、発信した超音波を超音波反射体に向かって屈折させる音響レンズ 15 が設けられている。

このような構成の触覚センサーでは、各超音波アレイ 12 から得られる TOF データの変動量に基づいて、超音波反射体の移動量および移動方向を検出することができ、これらの移動量と弾性膜 16 のヤング率を乗算することで、弾性膜 16 に作用する応力を算出することができる。

また、基板 11 上に超音波アレイ 12、音響レンズ 15、および弾性膜 16 を積層するだけの構成であるため、例えば立体的な剪断力検出構造体を設ける場合などに比べて、構成を簡単にでき、生産性を向上させることができ、生産コストをも低減させることができる。また、超音波アレイ 12 から発信される超音波を、音響レンズ 15 により超音波反射体 17 に向かう方向に屈折させ、進行方向を変更させているので、例えば超音波アレイ 12 を構成する各超音波素子 20 の超音波発信タイミングをずらして超音波の指向性を変更する等の処理が不要であり、信号遅延回路等の構成も不要となり、構成を簡単にできる。

【 0081 】

そして、本実施形態の触覚センサー 1 では、超音波反射体 17 は、球体であるので、当

該超音波反射体 17 が、超音波アレイ 12 から発信される超音波ビーム径の内部に位置していれば、球面上の一点の反射点の接平面の法線方向が、必ず超音波ビームの進行方向と同一となる。したがって、この反射点で反射された超音波は、必ず超音波発信元の超音波アレイ 12 に最初に戻るることとなる。

このため、この超音波が受信されたタイミングでの T O F データを取得することで、例えば X Z 平面において、第一超音波アレイ 12 A から発信される超音波の反射点である第一反射点 17 1 A の法線方向への移動量である第一法線ベクトル (A) や、第二超音波アレイ 12 B から発信される超音波の反射点である第二反射点 17 1 B での法線方向への移動量である第二法線ベクトル (B) を算出することができる。したがって、これらの第一法線ベクトル (A) および第二法線ベクトル (B)、超音波の入射角度 θ_1 、射出角度 θ_2 に基づいて、第一演算ベクトル (A')、第二演算ベクトル (B') を算出し、これらの第一演算ベクトル (A') および第二演算ベクトル (B') の合成ベクトルを算出するだけで、容易に超音波反射体 17 の X Z 移動ベクトル (C) を算出することができる。

10

同様にして、Y Z 平面において、第三超音波アレイ 12 C から発信される超音波の反射点である第三反射点の法線方向への移動量である第三法線ベクトルや、第四超音波アレイ 12 D から発信される超音波の反射点である第四反射点の法線方向への移動量である第四法線ベクトルを算出することができ、容易に超音波反射体 17 の Y Z 移動ベクトルを算出することができる。

また、移動量算出部 371 は、これらの X Z 移動ベクトル、Y Z 移動ベクトルを、正圧方向ベクトル (z)、X 剪断力方向ベクトル (x)、Y 剪断力方向ベクトルに分解することで、弾性膜 16 の Z 軸方向の歪み量、X 軸方向の歪み量、Y 軸方向への歪み量を容易に算出することができる。

20

【 0 0 8 2 】

さらに、同様にして、第五超音波アレイ 12 E から発信される超音波の反射点である第五反射点 17 1 E の法線方向への移動量である第五法線ベクトル (E) を求めることができるので、超音波反射体 17 の Z 軸方向への移動量を直接測定することができる。

ここで、第五超音波アレイ 12 E は、基板 11 に最も近接する位置に配置され、直上に音響レンズ 15 を介さずに超音波反射体 17 が配置されているので、他の超音波アレイ 12 A ~ 12 D に比べて、超音波反射体 17 までの距離は小さい。また、音響レンズ 15 を介さないことで、超音波の反射等による減衰がない。したがって、この第五超音波アレイ 12 E では、精度の高い T O F データを取得することができる。このような高精度の T O F データを用いて、超音波反射体 17 の Z 軸方向の移動量を測定することで、高精度に移動量を測定することができる。

30

また、このような高精度に測定された Z 軸方向の移動量に基づいて、超音波反射体 17 の X Y 剪断方向の移動量を補正することもでき、より精度の高い測定を実施することができる。

【 0 0 8 3 】

そして、本実施形態の触覚センサー 1 では、制御部 30 は、超音波発信制御部を構成する送受信切替回路 32、送受信切替制御部 33 および超音波信号発信回路 34 と、各超音波アレイ 12 から取得される受信信号に基づいて、T O F データを取得する時間計測部 35 と、時間計測部 35 で取得された T O F データの変動量に基づいて、超音波反射体の移動量および移動方向を算出する移動量算出部 371 とを備えている。

40

このような触覚センサー 1 では、上述したように、時間計測部 35 により取得された T O F データに基づいて、超音波反射体 17 の各反射点の法線方向の移動量である法線ベクトルを算出でき、これらの法線ベクトル、超音波の入射角度 θ_1 、射出角度 θ_2 を用いて算出された演算ベクトルに基づいて超音波反射体 17 の Z 軸方向への移動量、X 軸方向への移動量、Y 軸方向への移動量、すなわち弾性膜 16 の X Y Z 各軸方向の歪み量をそれぞれ容易に算出することができる。

【 0 0 8 4 】

また、制御部 30 は、応力算出部 372 を備え、移動量算出部 371 により算出された

50

弾性膜 16 の歪み量と弾性膜 16 のヤング率から弾性膜 16 に作用する応力、すなわち弾性膜 16 に作用する剪断力、正圧力を容易に算出することができる。

【0085】

[第二実施形態]

次に、本発明の第二実施形態の触覚センサー 1 について、図面に基づいて説明する。

上記第一実施形態では、球体形状の超音波反射体 17 を用いる例を示したが、第二実施形態では、超音波反射体として、多面体形状のものを用いる構成を例示する。図 9 は、第二実施形態における触覚センサー 1 A の断面図である。なお、第二実施形態以降の説明にあたり、第一実施形態と同一の構成については、同符号を付し、その説明を省略または簡略する。

【0086】

すなわち、第二実施形態の触覚センサー 1 A の超音波反射体 17 A は、図 9 に示すように、複数の正多角形状の反射面 172 が複数組み合わせられて略球体状を形成する正多面体形状に形成されている。

このような多面体形状の超音波反射体 17 A では、各反射面 172 のうち、超音波アレイ 12 から発信され、音響レンズ 15 により屈折させられた超音波の入射方向に直交する反射面 172 が、当該超音波を発信元の超音波アレイ 12 に反射させる。したがって、第一実施形態の超音波反射体 17 に比べて、超音波アレイ 12 に反射超音波を返す面積が大きくなり、超音波アレイ 12 で受信される超音波の音圧も大きく、受信信号も増大する。

【0087】

ここで、超音波反射体 17 A を構成する反射面が少なければ、各反射面の面積が増大することを意味し、反射超音波の音圧がさらに増大して、超音波発信元の超音波アレイ 12 に入射する成分が多くなる。ただし、弾性膜 16 の歪みにより超音波反射体 17 A が回転する場合がある。この場合、超音波反射体 17 A のうち、超音波の入射方向に対して直交する反射面がない場合、超音波アレイ 12 で受信される反射超音波の音圧が小さく、検出精度が低下することがある。

これに対して、超音波反射体 17 A を構成する反射面が多いほど、球体形状に近づき、超音波を反射する面積が小さくなるが、弾性膜 16 の歪みにより超音波反射体 17 A が回転した場合でも、他の反射面 172 が超音波の入射方向に対して直交する反射面となる可能性が高く、検出精度が低下を抑えることができる。

したがって、超音波反射体 17 A の反射面の数としては、弾性膜 16 のヤング率等により決定されることが好ましく、例えば弾性膜 16 が柔らかく、超音波反射体 17 A が回転しやすい場合では、反射面の数を多くした超音波反射体 17 A を設ける構成とすればよい。

【0088】

(第二実施形態の作用効果)

上記第二実施形態の触覚センサー 1 A では、超音波反射体 17 A として、複数の反射面 172 により構成される多面体形状に形成されている。このような構成では、超音波の反射面積を増大させることができ、超音波発信元の超音波アレイ 12 に反射される超音波の音圧が大きくなり、受信信号の検出精度を向上させることができる。

【0089】

[第三実施形態]

次に、本発明の第三実施形態の触覚センサーについて、図面に基づいて説明する。

図 10 は、第三実施形態の触覚センサー 1 B の一部を示す断面図である。

上記第一実施形態の触覚センサー 1 では、音響レンズ 15 は、基板 11 に対して角度 θ_1 で傾斜する傾斜平面 151 ~ 154 を備える構成を例示したが、第三実施形態の音響レンズ 15 A は、傾斜平面 151 ~ 154 の代わりに凹曲面 155 が形成されている。

【0090】

このような凹曲面 155 を有する音響レンズ 15 A を用いる場合でも、上記第一実施形態の音響レンズ 15 と同様、式 (1) に示すスネルの法則が成立する。

したがって、この音響レンズ１５Ａでは、図１０に示すように、超音波の入射位置によって、それぞれ接線方向が異なり、全体として、一点に収束するように超音波が伝搬する。そして、触覚センサー１Ｂでは、この超音波の収束点に超音波反射体１７が設けられている。また、凹曲面１５５の曲率としては、例えば、超音波が超音波反射体１７の中心点で収束するように設定してもよく、超音波が反射点１７１で収束するように設定してもよい。

【００９１】

このような音響レンズ１５Ａは、例えば超音波アレイ１２から発信された超音波が超音波反射体１７に収束するように、音響レンズ１５Ａの凹曲面１５５の曲率を適宜設定する。なお、曲率の設定に当たっては、音響レンズ１５や弾性膜１６を伝搬する超音波の速度や、音響レンズ１５から超音波反射体１７までの距離等に基づいて設定される。

10

【００９２】

(第三実施形態の作用効果)

このような第三実施形態の触覚センサー１Ｂでは、音響レンズ１５Ａは、凹曲面１５５を有し、この凹曲面１５５により超音波アレイ１２から発信された超音波の進行方向が、一点に収束するように屈折させられる。したがって、超音波の収束点に超音波反射体１７が設けられていれば、超音波反射体１７により反射される超音波の強度も増大し、受信強度を向上させることができる。

【００９３】

[第四実施形態]

20

次に、本発明の第四実施形態について、図面に基づいて説明する。

図１１は、第四実施形態の触覚センサー１Ｃの一部を示す断面図である。

上記第三実施形態の触覚センサー１Ｂでは、音響レンズ１５Ａは、超音波アレイ１２に対向する凹曲面１５５が形成される例を示したが、第四実施形態の触覚センサー１Ｃでは、音響レンズ１５Ｂには、超音波アレイ１２に対向する凸曲面１５６が形成されている。

【００９４】

このような凸曲面１５６を有する音響レンズ１５Ａを用いる場合でも、上記第一実施形態の音響レンズ１５と同様、式（１）に示すスネルの法則が成立する。

したがって、この音響レンズ１５Ａでは、図１１に示すように、超音波アレイ１２から発信された超音波は、広い範囲に拡散して伝搬する。

30

【００９５】

このような音響レンズ１５Ｂは、例えば弾性膜１６の歪みにより超音波反射体１７が移動可能な範囲に超音波を拡散できるよう、その曲率が設定されていることが好ましい。なお、曲率の設定に当たっては、音響レンズ１５や弾性膜１６を伝搬する超音波の速度や、音響レンズ１５から超音波反射体１７までの距離等に基づいて設定される。

【００９６】

(第四実施形態の作用効果)

このような第四実施形態の触覚センサー１Ｃでは、音響レンズ１５Ｂは、凸曲面１５６を有し、この凸曲面１５６により超音波アレイ１２から発信された超音波の進行方向が、拡散するように屈折させられる。したがって、弾性膜１６の歪み量が大きく、超音波反射体１７の移動量が大きい場合でも、拡散された超音波により超音波反射体１７の位置、移動量、および移動方向を算出することができる。

40

【００９７】

[第五実施形態]

次に、本発明の第五実施形態の触覚センサーについて、図面に基づいて説明する。

図１２は、第五実施形態の触覚センサーにおけるセンサーアレイの構成を示す図である。図１３は、図１２におけるセンサーアレイ１０Ａ（超音波センサー）のうち、互いに隣接する２つのセンサー本体１０の断面構造を示した断面図である。なお、上述した実施形態と同様の構成については、同符号を付し、その説明を省略する。

第五実施形態の触覚センサー１Ｄは、第一実施形態のセンサー本体１０を、Ｘ軸方向お

50

よびＹ軸方向に沿って均等に配置したアレイ構造を有するセンサーアレイ１０Ａを備えている。

【００９８】

ここで、超音波センサーを構成するセンサーアレイ１０Ａにおいて、各センサー本体１０の基板１１および支持膜１４は共通部材であり、１つの基板１１上に支持膜１４が形成され、この支持膜１４上に図１２に示すように、矩形上の区画に区分された各センサー本体１０が形成されている。

そして、センサーアレイ１０Ａの互いに隣り合うセンサー本体１０の間には、近接検出用超音波素子４０が設けられている。

【００９９】

この近接検出用超音波素子４０は、図１３に示すように、基板１１に形成される開口部１１１と、開口部１１１を閉塞する支持膜１４（メンブレン１４１）と、メンブレン１４１の内部領域に配置される膜上の圧電膜４１と、圧電膜４１を挟んで配置される下部電極４２および上部電極４３と、により構成されている。また、この近接検出用超音波素子４０上には、弾性膜１６は形成されない。したがって、近接検出用超音波素子４０に交流電圧を印可すると、超音波は、センサーアレイ１０Ａ直上に空気を伝搬して発信される。

【０１００】

ここで、圧電膜４１、下部電極４２、および上部電極４３は、超音波アレイ１２を構成する圧電膜２２、下部電極２３、および上部電極２４と同様の構成素材により構成されている。また、センサー平面視において、近接検出用超音波素子４０の開口部１１１およびメンブレン１４１は、超音波アレイ１２の開口部１１１およびメンブレン１４１よりも大きい面積に形成されており、圧電膜４１、下部電極４２、および上部電極４３も、圧電膜２２、下部電極２３、および上部電極２４より大きい面積を有している。これにより、近接検出用超音波素子４０は、超音波アレイ１２を構成する各超音波素子２０よりも大音圧の超音波を出力可能であり、より遠方にまで超音波を送出することができる。

このような触覚センサー１Ｂでは、センサーアレイ１０Ａの直上に接触物Ｌが近接すると、近接検出用超音波素子４０から発信された超音波は、接触物Ｌで反射され、近接検出用超音波素子４０で受信される。

【０１０１】

なお、図１２において、センサー本体１０毎に弾性膜１６が分離される構成を例示したが、これに限定されず、例えば支持膜１４全体を覆う弾性膜１６が設けられる構成としてもよい。この場合、近接検出用超音波素子４０の直上領域のみ、弾性膜１６に開口を設け、この開口から距離検出用の超音波を発信させる構成とすればよい。

【０１０２】

図１４は、触覚センサー１Ｂにおける制御部３０Ａの概略構成を示すブロック図である。

制御部３０Ａは、図１４に示すように、第一実施形態の各構成に加え、演算処理部３７は、距離算出部３７３を備えている。

この距離算出部３７３は、近接検出用超音波素子４０から出力される受信信号に基づいて、時間計測部３５でＴＯＦデータが取得されると、このＴＯＦデータに基づいて、センサーアレイ１０Ａと接触物Ｌとの距離を算出する。具体的には、制御部３０の記憶部３６には、空気中の音速が予め記憶されており、時間計測部３５は、取得したＴＯＦデータと記憶部３６から読み出した空気中の音速とに基づいて、センサーアレイ１０Ａと接触物Ｌとの距離を算出する。

【０１０３】

また、制御部３０Ａの送受信切替制御部３３は、触覚センサー１Ｂの電源がＯＮ状態にされると、触覚センサー１Ｂを待機モードに設定する。この待機状態では、送受信切替制御部３３は、超音波アレイ１２を停止させ、近接検出用超音波素子４０のみを駆動させる。すなわち、送受信切替制御部３３は、周期的に、近接検出用超音波素子４０から超音波を発信させる超音波発信モードと、近接検出用超音波素子４０にて反射超音波を受信させ

10

20

30

40

50

る超音波受信モードとに切り替える。

【0104】

そして、送受信切替制御部33は、時間計測部35において近接検出用超音波素子40から出力された受信信号に基づくTOFデータが取得されると、距離算出部373により算出されるセンサーアレイ10Aと接触物Lとの距離を監視する。そして、送受信切替制御部33は、このセンサーアレイ10Aと接触物Lとの距離が予め設定された閾値以下になったことを判断すると、駆動モードに設定する。この駆動モードでは、上記第一実施形態と同様に、周期的に、超音波アレイ12から超音波を発信させる超音波発信モードと、超音波アレイ12にて反射超音波を受信させる超音波受信モードとに切り替える。これにより、制御部30Aは、上記第一実施形態と同様に、接触物Lが弾性膜16に接触した際の弾性膜16に作用する応力を算出する処理を実施する。この時、送受信切替制御部33は、素子切替回路31を制御して、近接検出用超音波素子40の駆動を停止させる。

10

そして、送受信切替制御部33は、応力算出部372により算出される応力（正圧力および剪断力）が「0」になったと判断すると、再び待機モードに移行させ、超音波アレイ12を停止させて、近接検出用超音波素子40を駆動させる。

【0105】

（第五実施形態の作用効果）

上記第五実施形態の触覚センサー1Dでは、上記第一実施形態の作用効果に加え、次の効果を奏することができる。すなわち、触覚センサー1Bは、複数のセンサー本体10をアレイ状に配設したセンサーアレイ10Aを備える。このため、複数のセンサー本体10により広範囲に亘って正圧力および剪断力の検出を実施することができる。

20

【0106】

また、隣り合うセンサー本体10間には、近接検出用超音波素子40が設けられている。このため、近接検出用超音波素子40から発信された超音波が、接触物Lにより反射されて戻ってきたか否かを判断することで、触覚センサー1B近傍に接触物Lがあるか否かを判別することができる。

さらに、制御部30Aには距離算出部373が設けられているので、近接検出用超音波素子40から出力される受信データに基づいて計測されるTOFデータを用いて、センサーアレイ10Aから接触物Lまでの距離を算出することができる。

【0107】

30

さらには、送受信切替制御部33は、距離算出部373により算出される接触物Lまでの距離が予め設定された閾値以上である場合に、超音波アレイ12の駆動を停止させ、接触物Lまでの距離が予め設定された閾値より小さくなった際に、超音波アレイ12を駆動させる。このように、超音波アレイ12の駆動を切り替えることで、省電力化を図ることができる。

【0108】

[第六実施形態]

次に、上述した触覚センサー1, 1A, 1B, 1C, 1Dを用いた装置の応用例として、触覚センサー1Dを備えた把持装置について、図面に基づいて説明する。

【0109】

40

図15は、本発明に係る第六実施形態の把持装置の概略構成を示す装置ブロック図である。

図15において、把持装置50は、少なくとも一対の把持アーム51を備え、この把持アーム51により、把持対象物Zを把持する装置である。この把持装置50としては、例えば製品を製造する製造工場などにおいて、ベルトコンベアーなどにより搬送された対象物を把持して持ち上げる装置である。そして、この把持装置50は、前記把持アーム51と、把持アーム51を駆動するアーム駆動部52と、アーム駆動部52の駆動を制御する制御装置54と、を備えて構成されている。

【0110】

一対の把持アーム51は、それぞれ先端部に接触面である把持面53を備え、この把持

50

面 5 3 を対象物 Z に当接させて把持することで対象物 Z を把持し、持ち上げる。ここで、本実施形態において、把持アーム 5 1 が一対設けられる構成を例示するが、これに限定されず、例えば 3 本の把持アーム 5 1 により、対象物 Z を 3 点支持により把持する構成などとしてもよい。

【 0 1 1 1 】

把持アーム 5 1 に設けられる把持面 5 3 は、表面には、第三実施形態において説明した触覚センサー 1 D が設けられており、触覚センサー 1 D の表面部の弾性膜 1 6 が露出されている。そして、把持アーム 5 1 は、この弾性膜 1 6 を対象物 Z に接触させ、対象物 Z に所定の圧力（正圧力）を印加することで、対象物 Z を把持する。このような把持アーム 5 1 では、把持面 5 3 に設けられる触覚センサー 1 D により、対象物 Z に印加する正圧力、および把持した際に対象物 Z が把持面 5 3 から滑り落ちようとする剪断力を検出し、正圧力や剪断力に応じた電気信号を制御装置 5 4 に出力する。

10

【 0 1 1 2 】

アーム駆動部 5 2 は、一対の把持アーム 5 1 を互いに近接離隔する方向に移動させる装置である。このアーム駆動部 5 2 としては、把持アーム 5 1 を移動可能に保持する保持部材 5 5 と、把持アーム 5 1 を移動させる駆動力を発生する駆動源 5 6 と、駆動源の駆動力を把持アーム 5 1 に伝達させる駆動伝達部 5 8 を備えている。

保持部材 5 5 は、例えば把持アーム 5 1 の移動方向に沿う案内溝を備え、この案内溝内で把持アーム 5 1 を保持することで、把持アーム 5 1 を移動可能に保持する。また、保持部材 5 5 は、鉛直方向に移動可能に設けられている。

20

駆動源 5 6 は、例えば駆動モーターであり、制御装置 5 4 から入力される駆動制御信号に応じて駆動力を発生させる。

駆動伝達部 5 8 は、例えば複数のギアにより構成され、駆動源 5 6 で発生した駆動力を把持アーム 5 1 および保持部材 5 5 に伝達させ、把持アーム 5 1 および保持部材 5 5 を移動させる。

なお、本実施形態では、一例として上記構成を示したが、これに限定されるものではない。すなわち、把持アーム 5 1 を保持部材 5 5 の案内溝に沿って移動させる構成に限らず、把持アームを回動可能に保持する構成などとしてもよい。駆動源 5 6 としても駆動モーターに限られず、例えば油圧ポンプなどにより駆動される構成としてもよく、駆動伝達部 5 8 としても、例えば駆動力を歯車により伝達する構成に限らず、ベルトやチェーンにより伝達する構成、油圧などにより駆動されるピストンを備えた構成などとしてもよい。

30

【 0 1 1 3 】

制御装置 5 4 は、把持アーム 5 1 の把持面 5 3 に設けられる触覚センサー 1 B、およびアーム駆動部 5 2 に接続され、把持装置 5 0 における対象物 Z の把持動作の全体を制御する。

具体的には、制御装置 5 4 は、図 1 5 に示すように、アーム駆動部 5 2 および触覚センサー 1 B に接続され、把持装置 5 0 の全体動作を制御する。この制御装置 5 4 は、触覚センサー 1 B から入力される剪断力検出信号、および正圧力検出信号を読み取る信号検出手段 5 4 1、対象物 Z の滑り状態を検出する把持検出手段 5 4 2、およびアーム駆動部 5 2 に把持アーム 5 1 の駆動を制御するための駆動制御信号を出力する駆動制御手段 5 4 3 を備えている。また、この制御装置 5 4 としては、例えばパーソナルコンピュータなどの汎用コンピュータを用いることもでき、例えばキーボードなどの入力装置や、対象物 Z の把持状態を表示させる表示部などを備える構成としてもよい。

40

また、信号検出手段 5 4 1、把持検出手段 5 4 2、および駆動制御手段 5 4 3 は、プログラムとして例えばメモリーなどの記憶部に記憶され、CPU などの演算回路により適宜読み出されて実行されるものであってもよく、例えば IC などの集積回路により構成され、入力された電気信号に対して所定の処理を実施するものであってもよい。

【 0 1 1 4 】

信号検出手段 5 4 1 は、触覚センサー 1 B に接続され、触覚センサー 1 D から入力される正圧力検出信号や剪断力検出信号などを取得する。この信号検出手段 5 4 1 にて認識さ

50

れた検出信号は、例えば図示しないメモリーなどの記憶部に出力されて記憶されるとともに、把持検出手段 5 4 2 に出力される。

【 0 1 1 5 】

把持検出手段 5 4 2 は、剪断力検出信号に基づいて、把持アーム 5 1 により対象物 Z を把持したか否かを判断する。

ここで、図 1 6 に、把持装置 5 0 の把持動作における触覚センサーに作用する正圧力および剪断力の関係を示す図を示す。

図 1 6 において、正圧力が所定値に達するまでは、正圧力の増加に応じて剪断力が増加する。この状態は、対象物 Z と把持面 5 3 との間に動摩擦力が作用している状態であり、把持検出手段 5 4 2 は、対象物 Z が把持面 5 3 から滑り落ちている滑り状態で、把持が未完了であると判断する。一方、正圧力が所定値以上となると、正圧力を増大させても剪断力が増加しない状態となる。この状態は、対象物 Z と把持面 5 3 との間に静摩擦力が作用している状態であり、把持検出手段 5 4 2 は、対象物 Z が把持面 5 3 により把持された把持状態であると判断する。

具体的には、剪断力検出信号の値が、静摩擦力に対応した所定の閾値を越える場合に、把持が完了したと判断する。

【 0 1 1 6 】

駆動制御手段 5 4 3 は、把持検出手段 5 4 2 にて検出された電気信号に基づいてアーム駆動部 5 2 の動作を制御する。

【 0 1 1 7 】

次に、制御装置 5 4 の動作について図面に基づいて説明する。

図 1 7 は、制御装置 5 4 の制御による把持装置 5 0 の把持動作を示すフローチャートである。図 1 8 は、把持装置 5 0 の把持動作時において、アーム駆動部 5 2 への駆動制御信号、触覚センサー 1 B から出力される検出信号の発信タイミングを示すタイミング図である。

【 0 1 1 8 】

把持装置 5 0 で対象物 Z を把持するためには、まず制御装置 5 4 の駆動制御手段 5 4 3 は、各把持アーム 5 1 を互いに近接させる方向に移動させる旨の駆動制御信号をアーム駆動部 5 2 に出力する（把持動作）。これにより、把持アーム 5 1 の把持面 5 3 が対象物 Z に近接する（図 1 7：ステップ S 1 1）。

【 0 1 1 9 】

次に、制御装置 5 4 の把持検出手段 5 4 2 は、対象物 Z が把持面 5 3 に接触したか否かを判断する（図 1 7：ステップ S 1 2）。具体的には、制御装置 5 4 は、信号検出手段 5 4 1 で正圧力検出信号の入力が検知されたか否かを判断する。ここで、正圧力検出信号が検出されない場合は、把持面 5 3 が対象物 Z に接触していないと判断し、駆動制御手段 5 4 3 は、ステップ S 1 1 を継続して、駆動制御信号を出力し、把持アーム 5 1 をさらに駆動させる。

【 0 1 2 0 】

一方、把持面 5 3 が対象物 Z に接触する（図 1 8：タイミング T 1）と、触覚センサー 1 B の弾性膜 1 6 が歪み、その歪み量に基づいて算出された正圧力に対応する正圧力検出信号が出力される。

駆動制御手段 5 4 3 は、把持検出手段 5 4 2 において、正圧力検出信号を検出すると、把持アーム 5 1 の近接移動（対象物 Z への押圧）を停止させる（図 1 7：ステップ S 1 3、図 1 8：タイミング T 2）。また、駆動制御手段 5 4 3 は、アーム駆動部 5 2 に駆動制御信号を出力し、把持アーム 5 1 を上方に持ち上げる動作（持ち上げ動作）を実施させる（図 1 7：ステップ S 1 4、図 1 8：タイミング T 2 ~ T 3）。

【 0 1 2 1 】

ここで、対象物 Z を持ち上げる際に、弾性膜 1 6 が剪断力により剪断方向に歪み、触覚センサー 1 D では、その歪み量に応じた剪断力が算出され、その剪断力に対応する剪断力検出信号が出力される。

把持検出手段 5 4 2 は、信号検出手段 5 4 1 に入力される剪断力検出信号に基づいて、滑りがあるか否かを判断する（ステップ S 1 5）。

【 0 1 2 2 】

この時、把持検出手段 5 4 2 において、滑りがあると判断されると、駆動制御手段 5 4 3 は、アーム駆動部 5 2 を制御して、把持アーム 5 1 を、把持面 5 3 を対象物 Z に押し付ける方向に移動させて、把持力（正圧力）を増大させる（図 1 8：ステップ S 1 6）。

すなわち、制御装置 5 4 は、図 1 8 におけるタイミング T 3 において、駆動制御手段 5 4 3 にて把持動作を実施させ、対象物 Z への正圧力を増大させ、信号検出手段 5 4 1 にて、再び触覚センサー 1 B から出力される剪断力検出信号を検出する。以上のような滑り検知動作（タイミング T 2 ~ T 6）を繰り返し、剪断力検出信号が、所定の閾値 A 1 以上となつた場合（タイミング T 6）に、ステップ S 5 において、滑りがない、すなわち把持が完了したと判断し、滑り検知動作を停止させる。

10

【 0 1 2 3 】

（第六実施形態の作用効果）

上述したような第六実施形態の把持装置 5 0 では、上記第五実施形態の触覚センサー 1 D を備えている。このような触覚センサー 1 D は、上述したように、任意位置における剪断力および正圧力を容易に精度よく検出することができるものであるため、把持装置 5 0 においても精度の高い剪断力検出信号および正圧力検出信号に基づいて、正確な把持動作を実施することができる。

また、このような触覚センサー 1 D では、X 方向および Y 方向の双方に対して剪断力を検出することができる。したがって、第六実施形態では、対象物 Z を持ち上げる際の剪断力を測定したが、例えばベルトコンベアー上で搬送される対象物に対して把持を実施する際に、搬送方向への剪断力をも測定することができる。

20

【 0 1 2 4 】

[第七実施形態]

上記第四実施形態では、触覚センサー 1 D が設けられた把持装置を例示したが、これに限定されない。

第七実施形態では、触覚センサー 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D を用いた装置の他の応用例として、触覚センサー 1 D を備えたアイロンについて、図面に基いて説明する。

図 1 9 は、第七実施形態のアイロンの概略構成を示すブロック図である。

30

【 0 1 2 5 】

アイロン 6 0 は、ヒーター 6 1 と、ベース部 6 2 と、ベース部 6 2 に設けられた温度センサー 6 3 と、ベース部 6 2 に設けられた触覚センサー 1 A と、ヒーター駆動回路 6 4 と、を備えている。このアイロン 6 0 のヒーター駆動回路 6 4 は、温度センサー 6 3 および触覚センサー 1 A からの信号に基づいてヒーター 6 1 に印加する電圧を制御し、ベース部 6 2 を対象布地に対して最適な温度に加熱する。

【 0 1 2 6 】

ヒーター 6 1 は、ヒーター駆動回路 6 4 から印可された電圧により発熱し、ベース部 6 2 を加熱する。

ベース部 6 2 は、対象布地に接触して、対象布地の皺を伸ばす部分であり、ヒーター 6 1 により加熱される。そして、このベース部 6 2 の一部には、図 1 9 に示すように、触覚センサー 1 A が設けられ、触覚センサー 1 A の弾性膜 1 5 が、対象布地に接触可能に露出されている。

40

また、ベース部 6 2 には、温度センサー 6 3 が設けられており、この温度センサー 6 3 は、ベース部 6 2 の温度を検出してヒーター駆動回路 6 4 に出力する。

【 0 1 2 7 】

ヒーター駆動回路 6 4 は、触覚センサー 1 A、温度センサー 6 3、およびヒーター 6 1 に接続され、触覚センサー 1 A および温度センサー 6 3 からの信号に基づいてヒーター 6 1 に印加する電圧を制御する。このヒーター駆動回路 6 4 は、図 1 9 に示すように、本発明の記憶部であるメモリー 6 4 1 と、信号検出部 6 4 2 と、布地判別部 6 4 3 と、温度制

50

御部 6 4 4 と、を備えている。

このヒーター駆動回路 6 4 としては、例えば CPU 等の演算回路や、記憶回路を備えたコンピュータとして構成され、布地判別部 6 4 3 や温度制御部 6 4 4 が、演算回路による演算処理により実行されるソフトウェアとして機能される構成としてもよく、例えば IC などの集積回路により構成され、入力された電気信号に対して所定の処理を実施するものであってもよい。

【 0 1 2 8 】

メモリー 6 4 1 は、本発明の相関データである応力 - 粗さ値データを記憶している。この応力 - 粗さ値データには、触覚センサー 1 A により検出された応力に応じた、対象布地の粗さ値が記録されているデータであり、例えば、剪断力に対応する粗さ値が、正圧力毎に記録されている。

10

また、メモリー 6 4 1 には、粗さ値に対応したベース部 6 2 の最適温度が記録された粗さ - 温度データが記憶されていてもよい。

【 0 1 2 9 】

信号検出部 6 4 2 は、触覚センサー 1 A に接続され、触覚センサー 1 A から入力される正圧力検出信号や剪断力検出信号などを取得する。この信号検出部 6 4 2 にて検出された検出信号は、メモリー 6 4 1 に出力されて記憶されるとともに、布地判別部 6 4 3 に出力される。

【 0 1 3 0 】

布地判別部 6 4 3 は、信号検出部 6 4 2 から入力された剪断力および正圧力、およびメモリー 6 4 1 に記憶された応力 - 粗さ値データに基づいて、対象布地の種別を判別する。

20

例えば、本実施形態では、応力 - 粗さ値データとして、正圧力毎に、剪断力に対応する粗さが記憶されている。この場合では、布地判別部 6 4 3 は、正圧力に対応した応力 - 粗さ値データをメモリー 6 4 1 から読み出し、この応力 - 粗さ値データから剪断力に対応した粗さ値を取得する。

そして、布地判別部 6 4 3 は、取得した粗さ値を温度制御部 6 4 4 に出力する。

【 0 1 3 1 】

温度制御部 6 4 4 は、布地判別部 6 4 3 から入力された粗さ値、および温度センサー 6 3 により検出されるベース部 6 2 の温度に基づいて、ヒーター 6 1 への印加電圧を制御する。

30

具体的には、温度制御部 6 4 4 は、メモリー 6 4 1 から粗さ - 温度データを読み出し、布地判別部 6 4 3 から入力された粗さ値に応じたベース部 6 2 の最適温度を取得する。そして、温度制御部 6 4 4 は、温度センサー 6 3 から入力された検出温度と最適温度との差分値から、ベース部 6 2 を最適温度に設定するために必要なヒーター 6 1 への印加電圧値を算出して、ヒーター 6 1 に印加する。

【 0 1 3 2 】

[アイロンの動作]

次に、上記のようなアイロン 6 0 の動作について説明する。

図 2 0 は、第七実施形態のアイロンの動作を示すフローチャートである。

利用者によりアイロン 6 0 に電力が供給されると、触覚センサー 1 A の近接検出用超音波素子 4 0 が駆動される。これにより、上記第三実施形態において説明したように、触覚センサー 1 A は、対象布地と触覚センサー 1 A (ベース部 6 2) との距離を算出する。そして、対象布地とベース部 6 2 との距離が予め設定された距離以内になると、触覚センサー 1 A は、駆動モードに移行する (ステップ S 2 1) 。

40

【 0 1 3 3 】

この後、アイロン 6 0 のヒーター駆動回路 6 4 は、対象布地がベース部 6 2 に接触したか否かを判断する (ステップ S 2 2) 。具体的には、ヒーター駆動回路 6 4 は、信号検出部 6 4 2 で正圧力検出信号の入力が検知されたか否かを判断する。ここで、正圧力検出信号が検出されない場合は、ベース部 6 2 に対象布地が接触していないと判断する。この場合は、ヒーター駆動回路 6 4 は、ステップ S 2 2 を継続し、対象布地とベース部 6 2 との

50

接触判断処理を継続する。

【0134】

また、ステップS22において、信号検出部642が正圧力検出信号の入力が検知した場合、さらに、剪断力検出信号の入力を検出し、剪断力の大きさが0より大きいかなかを判断する(ステップS23)。

つまり、正圧力の大きさは、利用者がアイロン60を対象布地に押し付ける強さにより変化するため、正圧力のみでは対象布地の種別を判別することはできない。したがって、剪断力の大きさが0である場合は、継続してステップS23の処理を実行する。

一方、ステップS23により、剪断力検出信号により検出された剪断力の大きさが0より大きい場合、布地判別部643は、メモリー641から、正圧力に対応した応力 - 粗さ値データを読み出し、剪断力に対応した粗さ値を取得する(ステップS24)。

10

【0135】

この後、温度制御部644は、メモリー641から粗さ - 温度データを読み出し、ステップS24で取得された粗さ値に対応した温度を取得し、最適温度として設定する(ステップS25)。

さらに、温度制御部644は、温度センサー63により検出された検出温度と、ステップS25により設定された最適温度との差分値から、ベース部62を最適温度に設定するために必要なヒーター61への印可電圧値を算出し、ヒーター61にその電圧値を印可する(ステップS26)。

これにより、アイロン60は、対象布地の種別に応じて、ベース部62の温度を、自動で設定することが可能となる。

20

【0136】

(第七実施形態の作用効果)

上述したような第七実施形態のアイロン60では、上記第三実施形態の触覚センサー1Aを備えている。このような触覚センサー1Aは、上述したように、任意位置における剪断力および正圧力を容易に精度よく検出することができるものであるため、アイロン60においても、ベース部62に対象布地が接触した際の正圧力および剪断力を高精度で検出することができる。

【0137】

そして、アイロン60のヒーター駆動回路64は、布地判別部643により、検出された正圧力および剪断力に対応した、対象布地の粗さを判別することができる。したがって、判断された対象布地の粗さから、対象布地の種別を判断することができ、温度制御部644は、布地の種別に対応してベース部62の温度を設定することができる。したがって、アイロン60において、布地に対応してベース部62の温度を自動で設定することができ、対象布地の種別に応じて、温度設定を変更する煩雑な作業を省略することができる。

30

【0138】

なお、上記第七実施形態では、メモリー641に、正圧力および剪断力に応じた粗さ値が記録された応力 - 粗さ値データを記憶する例を示したが、例えば、正圧力および剪断力に応じた対象布地の種類を記録した応力 - 布地種別データがメモリー641に記憶される構成などとしてもよい。この場合では、布地判別部643は、正圧力および剪断力に応じて、対象布地の種別を直接判別し、温度制御部644は、判別された布地の種別に対応した温度を取得する。

40

また、相関データとして、正圧力および剪断力に対応したベース部62の最適温度が記憶された応力 - 温度データが記憶されていてもよく、この場合では、粗さ - 温度データを記憶する必要がなくなり、より少ないデータ量で、ベース部62の温度を自動で設定可能なアイロン60を提供することができる。

【0139】

さらに、上記アイロン60では、ヒーター駆動回路64により自動でベース部62の温度が設定される例を示したが、例えば、ベース部62の温度を自動設定する自動モードと、手動により温度を設定する手動モードと、を適宜切り替え可能な構成としてもよい。

50

【 0 1 4 0 】

〔その他の実施形態〕

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

【 0 1 4 1 】

例えば、上記第二実施形態において、正多面体形状の超音波反射体 17 が設けられた触覚センサー 1 A を例示したが、これに限定されず、その他の多面体形状に形成される超音波反射体を設ける構成などとしてもよい。例えば、超音波反射体 17 を四角錐台形状や円錐台形状に形成されるものであってもよい。四角錐台形状の場合、周面を形成する 4 つの面をそれぞれ、超音波アレイ 12 A ~ 12 D から発信される超音波の入射方向に対して直交する角度に設定することで、超音波アレイ 12 に最適な反射超音波を返すことができる。同様に、円錐台形状の超音波反射体であれば、円錐周面の傾斜角度を、超音波アレイ 12 A ~ 12 D から発信される超音波の入射方向に対して直交する角度に設定すればよい。ただし、上述したように、弾性膜 16 の歪みにより超音波反射体に回転が生じた場合、反射超音波が正しく発信元の超音波アレイ 12 に反射されない場合があり、受信信号が小さくなる。この場合、制御部 30 における回路構成が複雑化するが、例えば各超音波アレイ 12 を構成する超音波素子 20 に駆動電圧を印可するタイミングを遅延させる遅延回路を設けるなどして、各超音波アレイ 12 から発信される超音波の発信方向を変更するなどしてもよい。

10

【 0 1 4 2 】

また、検出すべき剪断力の方向が予め決まっており、その方向が一方向のみである場合は、2つの超音波アレイ 12 のみを剪断力検出方向に配置する構成としてもよい。

20

さらに、検出対象となる剪断力の方向が予め決まっており、その方向が3方向以上である場合、これらの各方向に対してそれぞれ一对の超音波アレイ 12 を設ける構成としてもよい。

【 0 1 4 3 】

さらに、本発明の超音波トランスデューサーとして、複数の超音波素子 20 がアレイ状に配置された超音波アレイ 12 を例示したが、これに限定されない。

例えば、センサー平面視において、例えば平面視において、超音波アレイ 12 から発信される超音波のビーム径に相当する面積および形状を有した1つの超音波素子により、超音波トランスデューサーが形成される構成としてもよい。この場合、超音波素子として、メンブレン 141 上に、膜状の圧電体が設けられた構成としてもよく、メンブレン 141 上にバルク状の圧電体が設けられた構成などとしてもよい。

30

【 0 1 4 4 】

そして、上記実施形態では、第5超音波アレイ 12 E により、超音波反射体 17 の Z 方向の移動量を算出する構成を例示したが、これに限らない。すなわち、上述したように、例えば第一超音波アレイ 12 A および第二超音波アレイ 12 B のみでも Z 方向への移動量を算出できるものであるので、この第5超音波アレイ 12 E が設けられない構成としてもよい。

【 0 1 4 5 】

また、第五実施形態において、センサーアレイ 10 A 内に配置される各センサー本体 10 は、基板 11 および支持膜 14 が共通部材とされる構成としたが、例えばセンサー本体 10 毎に基板 11 および支持膜 14 が設けられる構成としてもよい。この場合、例えば、別途センサー載置用基板を用意し、このセンサー載置用基板にセンサー本体 10 をアレイ状に配置することでセンサーアレイを構成すればよい。

40

【 0 1 4 6 】

さらに、第六実施形態において、把持装置 50 として、一对の把持アーム 51 が設けられる構成を例示したが、3本以上の把持アームを互いに近接離間する方向に移動させて対象物 Z を把持する構成としてもよい。また、アーム駆動部により駆動される駆動アームと、駆動しない固定アームまたは固定壁とを備え、駆動アームを固定アーム（固定壁）側に

50

移動させて対象物を把持する構成などとしてもよい。

【 0 1 4 7 】

さらには、第六実施形態では、触覚センサー 1 D を、対象物 Z を把持する把持装置 5 0 に適用する例を示し、第七実施形態では、触覚センサー 1 A を備えたアイロン 6 0 を例示したが、これに限定されない。例えば、触覚センサー 1 , 1 A , 1 B , 1 C , 1 D を、例えば入力装置などとして適用してもよい。入力装置として用いる場合は、例えばノート型パソコンや、パーソナルコンピュータに組み込むことができる。具体的には、板状の入力装置本体に設けられる表面部に触覚センサー 1 , 1 A , 1 B , 1 C , 1 D を設ける構成などが例示できる。このような入力装置では、表面部上で利用者の指を動かしたり、タッチペンなどを動かしたりすると、これらの動きにより剪断力や正圧力が発生する。この剪断力および正圧力を触覚センサー 1 , 1 A , 1 B , 1 C , 1 D により検出することで、利用者の指やタッチペンの接触位置座標、移動方向を検出して電気信号として出力することができる。

10

また、接触物判別部として、メモリー 6 4 1 に記憶された応力 - 粗さデータに基づいて、布地の種別（粗さ値）を判別する布地判別部 6 4 3 を例示したが、これに限らない。例えば、触覚センサー 1 , 1 A を、パン製造装置に設け、パン生地 of 柔らかさ（捏ね状態）を判断する接触物判別部を設ける構成としてもよい。この場合、接触部判別部は、パン生地に対して加えた応力と、その応力に対して最適弾性力との関係データをメモリーに記憶する。そして、接触物判別部は、触覚センサー 1 , 1 A で検出された正圧力や剪断力が、最適弾性力を中心とした所定閾値以内であれば、捏ね状態が最適であると判断する。このような構成のパン製造装置では、パン生地の捏ね状態を一定に維持することができ、安定した品質のパン生地を製造することができる。

20

【 0 1 4 8 】

そして、上記超音波素子 2 0 は、圧電体 2 1 として、膜上の圧電膜 2 2 、下部電極 2 3 、上部電極 2 4 を備える構成を例示したが、膜状に限られず、例えばバルク状の圧電体や、電極を用いてもよい。

【 0 1 4 9 】

以上、本発明を実施するための最良の構成について具体的に説明したが、本発明は、これに限定されるものではない。すなわち、本発明は、主に特定の実施形態に関して特に図示され、かつ、説明されているが、本発明の技術的思想および目的の範囲から逸脱することなく、以上述べた実施形態に対し、当業者が様々な変形および改良を加えることができるものである。

30

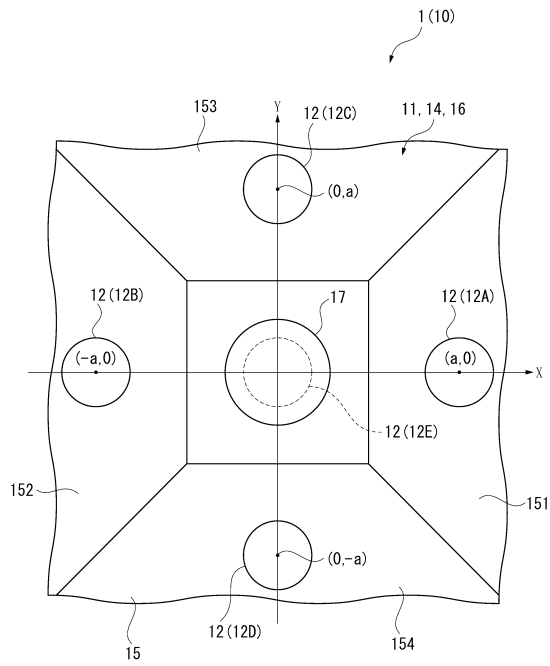
【符号の説明】

【 0 1 5 0 】

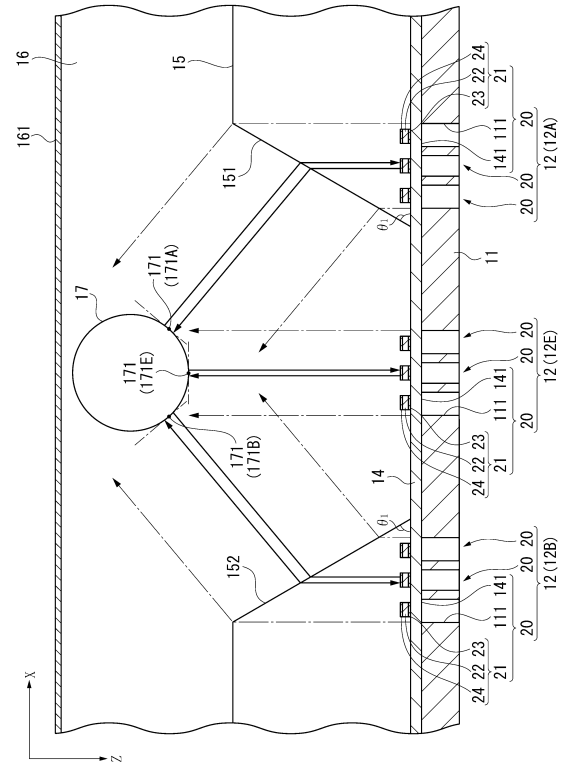
1 , 1 A , 1 B , 1 C , 1 D ... 触覚センサー、1 0 ... センサー本体、1 1 ... 基板、1 5 , 1 5 A , 1 5 B ... 音響屈折部である音響レンズ、1 6 ... 弾性膜、1 7 ... 超音波反射体、1 2 ... 超音波アレイ、3 0 , 3 0 A ... 制御部、3 1 ... 超音波発信制御部を構成する送受信切替回路、3 2 ... 超音波発信制御部を構成する送受信切替回路、3 3 ... 超音波発信制御部を構成する送受信切替制御部、3 4 ... 超音波発信制御部を構成する超音波信号発信回路、3 5 ... 時間計測部、5 0 ... 把持装置、5 1 ... 把持アーム、5 4 ... 接触面である把持面、1 5 1 ... 第一傾斜平面、1 5 2 ... 第二傾斜平面、1 5 3 ... 第三傾斜平面、1 5 4 ... 第四傾斜平面、1 5 5 ... 凹曲面、1 5 6 ... 凸曲面、3 7 1 ... 移動量算出部、3 7 2 ... 応力算出部、5 4 2 ... 把持検出手段、5 4 3 ... 駆動制御手段、6 4 1 ... 記憶部を構成するメモリー、6 4 3 ... 接触物判別部を構成する布地判別部、L ... 接触物、Z ... 把持対象物（接触物）。

40

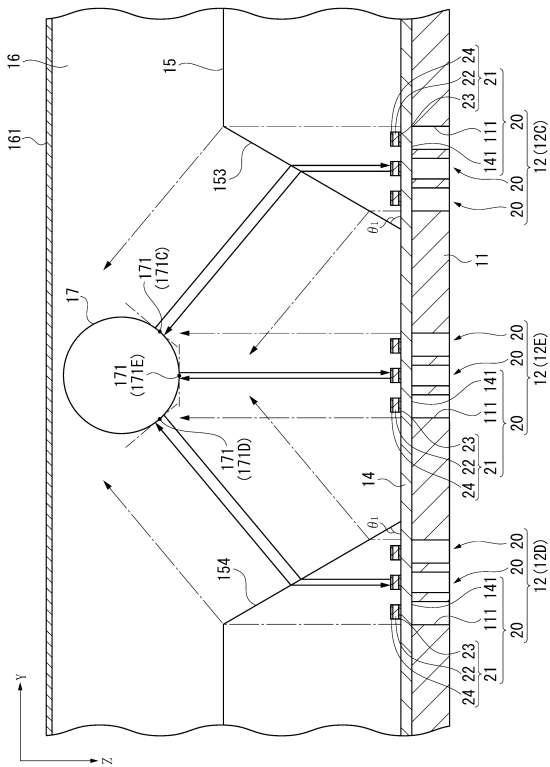
【図 1】



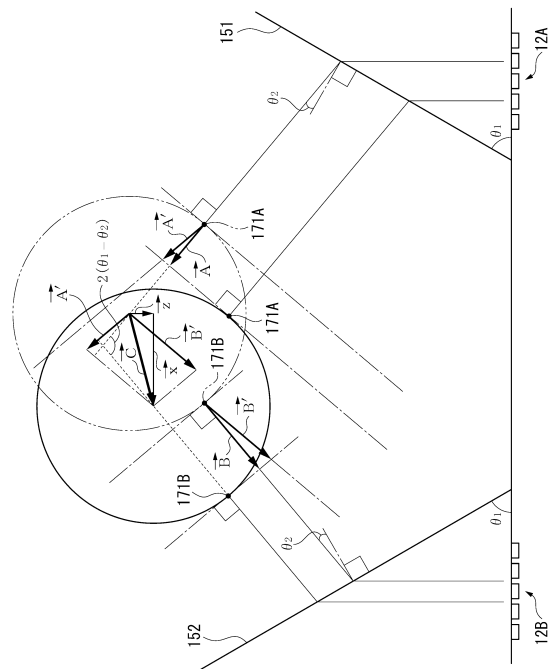
【図 2】



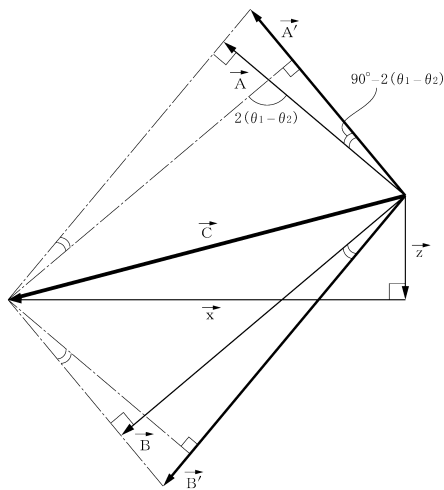
【図 3】



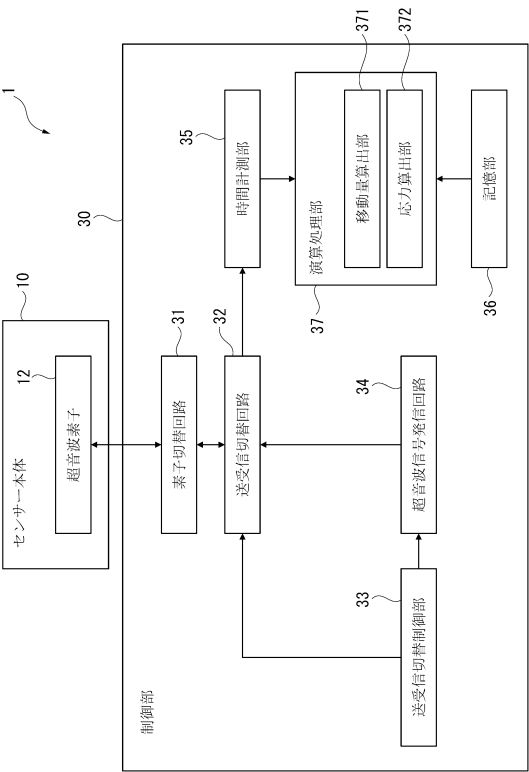
【図 4】



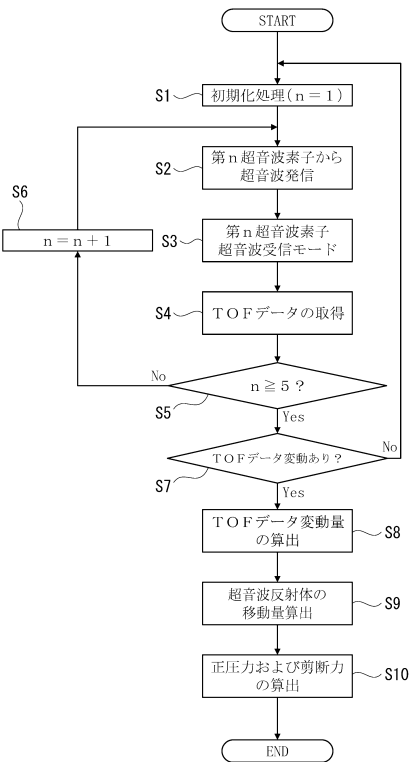
【図 5】



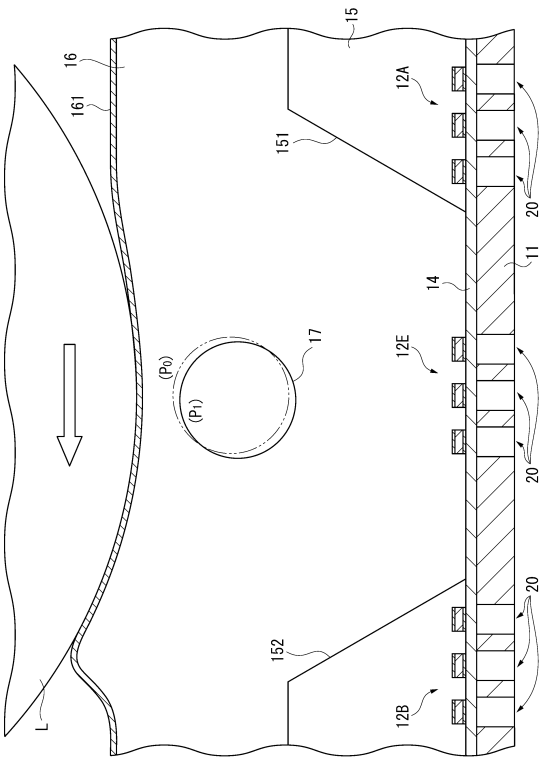
【図 6】



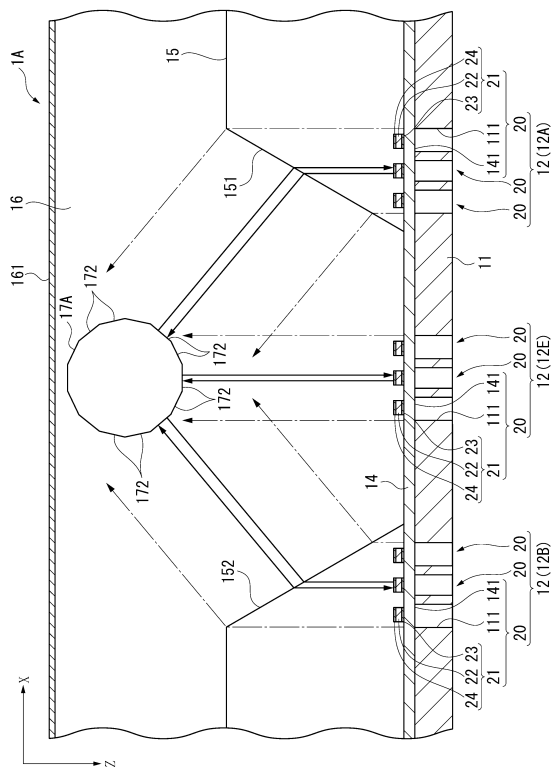
【図 7】



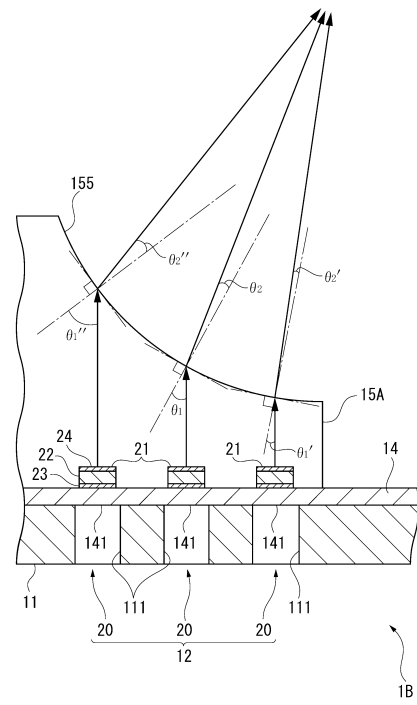
【図 8】



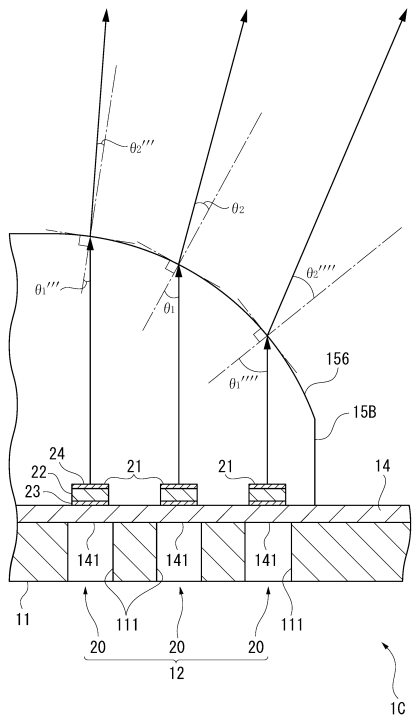
【図 9】



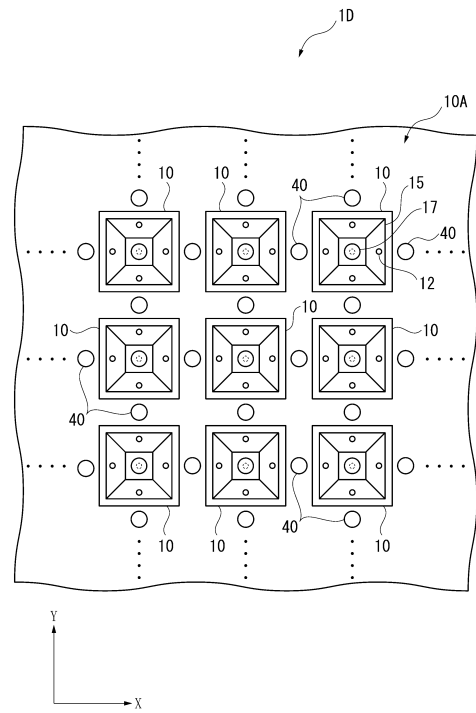
【図 10】



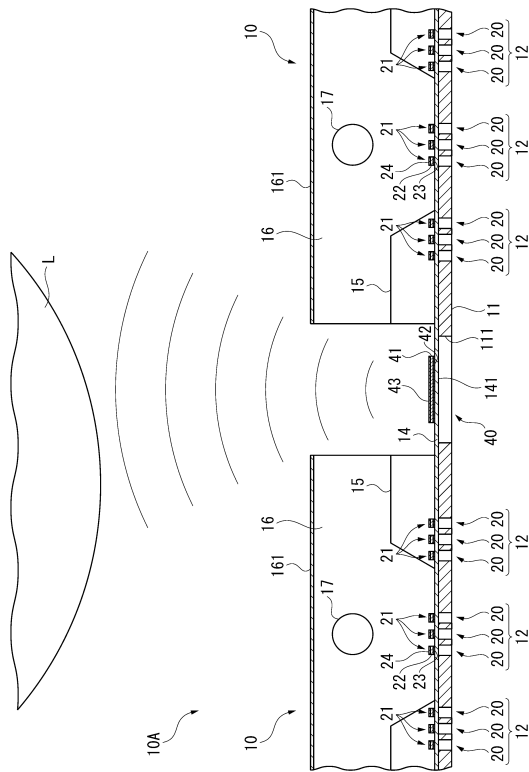
【図 11】



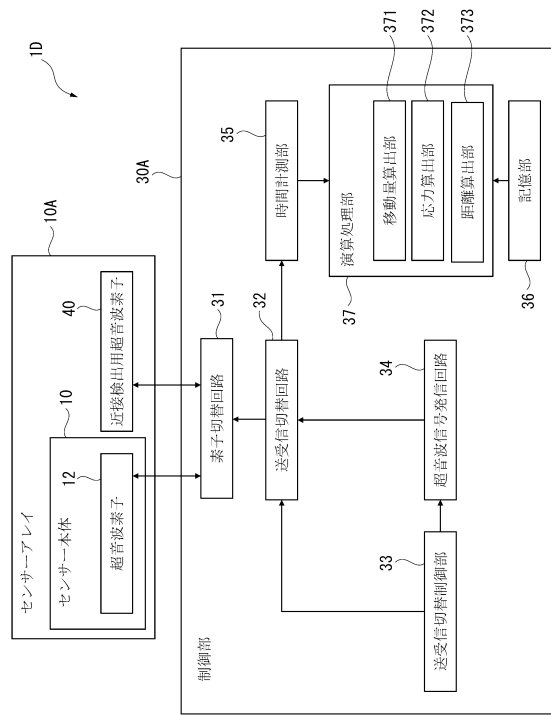
【図 12】



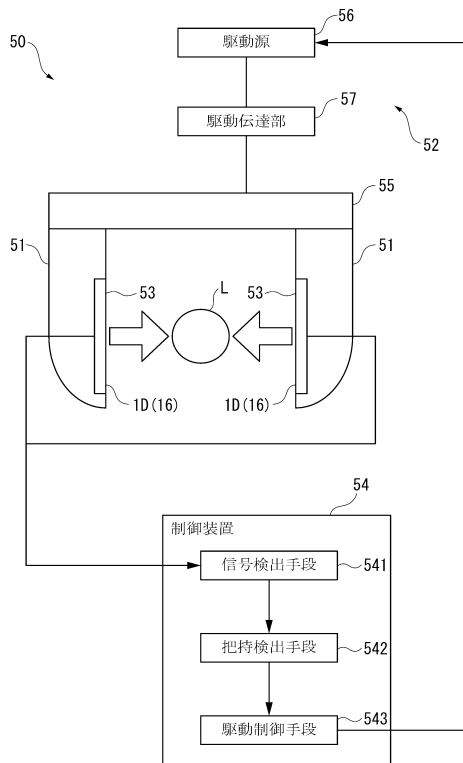
【 図 1 3 】



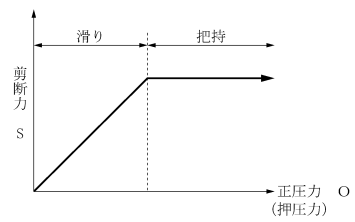
【 図 1 4 】



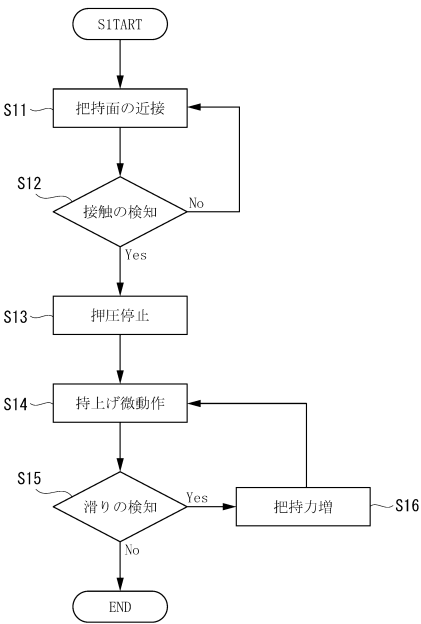
【 図 1 5 】



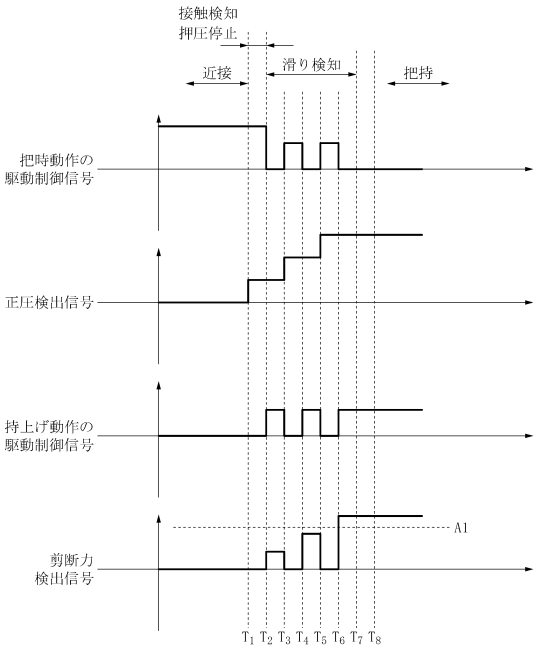
【 図 1 6 】



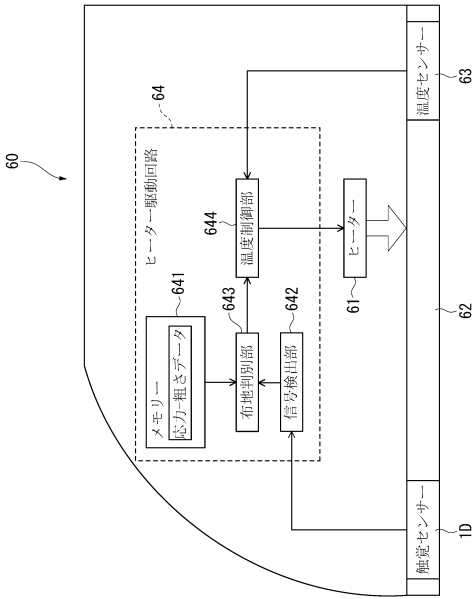
【図 17】



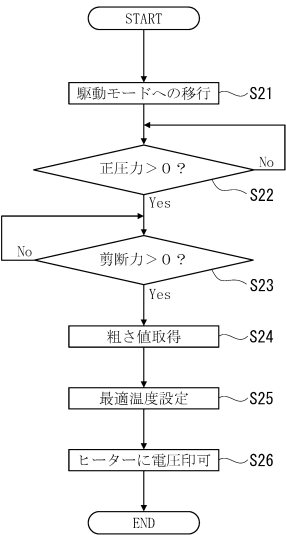
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 友亮
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 岡田 卓弥

(56)参考文献 米国特許第5553500(US,A)
特開2009-53040(JP,A)
特開2006-208248(JP,A)
特開2005-331261(JP,A)
特開昭61-207938(JP,A)
特開昭60-34295(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 5/00 - 5/28
G01L 1/00 - 1/26
B25J15/08 - 15/12
B25J19/00 - 19/04