

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5962204号
(P5962204)

(45) 発行日 平成28年8月3日(2016.8.3)

(24) 登録日 平成28年7月8日(2016.7.8)

(51) Int. Cl.		F I			
B 2 5 J	19/00	(2006.01)	B 2 5 J	19/00	A
G 0 2 B	21/32	(2006.01)	G 0 2 B	21/32	
B 2 5 J	7/00	(2006.01)	B 2 5 J	7/00	

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-117051 (P2012-117051)	(73) 特許権者	000004204
(22) 出願日	平成24年5月23日 (2012.5.23)		日本精工株式会社
(65) 公開番号	特開2013-240875 (P2013-240875A)		東京都品川区大崎1丁目6番3号
(43) 公開日	平成25年12月5日 (2013.12.5)	(74) 代理人	100066980
審査請求日	平成27年3月13日 (2015.3.13)		弁理士 森 哲也
		(74) 代理人	100108914
			弁理士 鈴木 壯兵衛
		(74) 代理人	100103850
			弁理士 田中 秀▲てつ▼
		(74) 代理人	100105854
			弁理士 廣瀬 一
		(72) 発明者	盛 真唯子
			神奈川県藤沢市鵜沼神明一丁目5番50号
			日本精工株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電アクチュエータ及びこれを備えたマニピュレータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

微小対象物を操作するためのキャピラリを圧電素子により微動駆動する圧電アクチュエータにおいて、

前記キャピラリを装着したピペット保持部材と、

前記ピペット保持部材と同軸の内周面を有するハウジングと、

前記ハウジングに対し前記ピペット保持部材を支持する少なくとも2つの転がり軸受と、

前記ピペット保持部材と同軸に配置された圧電素子と、

前記ハウジングに固定され、圧電素子を軸方向に固定する蓋と、

前記2つの転がり軸受の内輪の間に配置された内輪間座と、

前記2つの転がり軸受の内輪と前記ピペット保持部材の外周面との間に介装される中空部材と、

前記ピペット保持部材と前記ハウジングとの相対回転を抑制する回り止め機構と、

を備えることを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項2】

前記ピペット保持部材は、外周にねじ加工を施され、

前記2つの転がり軸受は、前記ピペット保持部材の外周と螺合する2つのロックナットにより軸方向に固定されている請求項1に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項3】

前記回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前記ハウジ

ングの動きと連動する部材とで構成されることを特徴とする請求項2に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項4】

前記回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材との嵌合部の形状を、円筒ではない形状とし、

且つ、前記嵌合部の軸方向視において、

前記ロックナットの外周をなす線上の任意の二点間距離の最大値と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材の内周をなす線上の任意の二点間距離の最大値とが略一致させることにより構成されることを特徴とする請求項3に記載の圧電アクチュエータ。

10

【請求項5】

前記回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材との嵌合部の形状を、多角柱状とすることにより構成されることを特徴とする請求項3に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータを備えるマニピュレータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、細胞等の微小な対象物を操作する圧電アクチュエータ及びマニピュレータに関する。

20

【背景技術】

【0002】

バイオテクノロジー分野において顕微鏡観察下で卵や細胞に精子やDNA溶液を注入するなどのように細胞等の微小な対象物に操作を行うマニピュレータが知られている（例えば、特許文献1参照）。特許文献2は、ガラスキャピラリ等の操作針の針先を標本の目標位置近傍に容易にセットするために、操作針を有する電動マニピュレータを用い、電動で焦点を合わせる顕微鏡装置を開示し、焦点合わせとマニピュレータ駆動との連動・非連動を切り換えて操作針を駆動し操作針をセッティングする。

【0003】

30

特許文献3～5には、ガラスキャピラリ等の安定した微小移動を可能とするために、圧電素子を備える圧電アクチュエータを用いて該ガラスキャピラリ等に衝撃荷重を与え、卵細胞等へ穿孔するマニピュレータが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2004-325836号公報

【特許文献2】特開2006-23487号公報

【特許文献3】特公平06-98582号公報

【特許文献4】特開2003-1574号公報

40

【特許文献5】特開2008-46228号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献3に記載のマニピュレータでは、圧電アクチュエータはガラスキャピラリ等を装着するピペット保持部材のみに固定され、マニピュレータへは固定されていない。このような構成では、マニピュレータ駆動時にピペット保持部材が脱落する等の可能性がある。また、特許文献3のマニピュレータでは、前記ピペット保持部材はピペット保持部材全体のうち僅かな部分を摩擦力により保持する当接部材により固定されており、この摩擦力の大きさにマニピュレータの動作性能・応答性が左右されるという問題があった。

50

【0006】

特許文献4に記載のマニピュレータでは、ピペット保持部材と圧電アクチュエータが同軸に配置されておらず、ピペット保持部材の軸と圧電アクチュエータの軸はねじれの関係となっている。また、圧電アクチュエータの駆動軸がピペット保持部材と離れている。このため、ガラスキャピラリが前記駆動軸の軸方向以外にも振動を起こし易い。さらに、圧電素子に引張ばねで予圧が付与されているので、予圧調整の点から、高い応答性を得ることは困難となる。

【0007】

特許文献5に記載のマニピュレータでは、ばね要素として二つの転がり軸受を配置し、ピペット保持部材と同軸となっている圧電アクチュエータが用いられている。このため、高精度な位置決めが可能で、軸方向以外の振動をある程度抑制することが可能となる。しかしながら、この圧電アクチュエータでは、圧電アクチュエータの中心軸上に配置された軸に、転がり軸受を固定するための円筒部と、転がり軸受の軸方向一端を位置決めするための突き当て部（円筒部と外径を異ならせ段差を形成した部分）と、転がり軸受の軸方向他端の位置を固定するためのロックナットを螺合するためのねじ部と、を形成する必要がある。このような構成から、ピペット保持部材と圧電アクチュエータの軸とを単一部材で構成することは困難であり、この結果、製造コストが上昇するという問題があった。また、ピペット保持部材と圧電素子の軸と別部材で構成するため、長手方向に寸法が長くなり、軸方向の以外の振動が生じる可能性も否定できない。

【0008】

上記に鑑み、本発明は高い応答性を備える圧電アクチュエータ及びマニピュレータを提供すると共に、圧電アクチュエータの駆動軸の軸方向以外の振動を抑制した圧電アクチュエータ及びマニピュレータを提供することを目的とする。また、製造コストを抑制できる圧電アクチュエータ及びマニピュレータ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】

【0009】

上記目的を達成するために、本実施形態の圧電アクチュエータにおいて、キャピラリを装着したピペット保持部材と、前記ピペット保持部材と同軸の内周面を有するハウジングと、前記ハウジングに対し前記ピペット保持部材を支持する少なくとも2つの転がり軸受と、前記ピペット保持部材と同軸に配置された圧電素子と、前記ハウジングに固定され、圧電素子を軸方向に固定する蓋と、前記2つの転がり軸受の内輪の間に配置された内輪間座と、前記2つの転がり軸受の内輪と前記ピペット保持部材の外周面との間に介装される中空部材と、を備えることを特徴とする。

【0010】

この構成によれば、駆動軸であるピペット保持部材と圧電素子とが同軸に配置されているので、圧電アクチュエータの駆動軸の軸方向以外の振動を抑制することができる。

【0011】

また、前記ピペット保持部材は、外周にねじ加工を施され、前記2つの転がり軸受は、前記ピペット保持部材の外周と螺合する2つのロックナットにより軸方向に固定されていることが好ましい。

【0012】

前記ピペット保持部材と前記ハウジングとの相対回転を抑制する回り止め機構を備えることが好ましい。これにより、前記ピペット保持部材と前記ハウジングとの相対回転を抑制することができ、高精度な操作が可能となる。

【0013】

この回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材との嵌合部の形状を、円筒ではない形状とすることが好ましい。

【0014】

また、前記回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前

10

20

30

40

50

記ハウジングの動きと連動する部材との嵌合部の形状を、円筒ではない形状とし、且つ、前記嵌合部の軸方向視において、前記ロックナットの外周をなす線上の任意の二点間距離の最大値と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材の内周をなす線上の任意の二点間距離の最大値とが略一致させることが好ましい。

【0015】

さらに、前記回り止め機構は、前記ロックナットのうち一方と、前記ハウジングまたは前記ハウジングの動きと連動する部材との嵌合部の形状を、多角柱状とすることが好ましい。

【0016】

また、上記目的を達成するために、本実施形態のマニピュレータは、上述の圧電アクチュエータを備える。

【発明の効果】

【0017】

本発明の圧電アクチュエータ及びマニピュレータによれば、高い応答性を得ることができる。また、圧電アクチュエータの駆動軸の軸方向以外の振動を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明に係るマニピュレータシステムの構成を概略的に示す図である。

【図2】図1のマニピュレータシステムに使用可能な微動機構の断面図である。

【図3】図2の微動機構の変形例を示す断面図である。

【図4】キャピラリの固定方法を示す断面図である。

【図5】図1のコントローラ43による制御系要部を示すブロック図である。

【図6】図5の表示部45に表示される画面例を示す図である。

【図7】図1、図5のジョイスティックの具体例を示す斜視図である。

【図8】図1のインジェクション用のキャピラリー35の操作中におけるシャーレ22の底面22aに対する相対位置(a)~(d)を概略的に示す図である。

【図9】図8(c)のようにキャピラリー35がシャーレ22の底面22aに接触したときの圧電素子92の電圧値の変化を示す図である。

【図10】図5の表示部に表示される2画面の例を示す図である。

【図11】第1例の回り止め機構を備える圧電アクチュエータの軸方向断面図である。

【図12】回り止め機構の第1例の要部を示す図11のA方向矢視図である。

【図13】図11のハウジングを示す斜視図である。

【図14】回り止め機構の第1例の変形例を示す図11のA方向矢視図である。

【図15】回り止め機構の第1例の変形例を示す図11のA方向矢視図である。

【図16】第2例の回り止め機構を備える圧電アクチュエータの軸方向断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明を実施するための最良の形態について図面を用いて説明する。

【0020】

(マニピュレータ)

図1は本発明に係るマニピュレータを使用したシステムの構成図である。図1において、マニピュレータシステム10は、顕微鏡観察下で細胞等の微小な対象物である試料に人工操作を実施するためのシステムとして、顕微鏡ユニット12と、マニピュレータ14と、マニピュレータ16と、を備えており、顕微鏡ユニット12の両側にマニピュレータ14、16が分かれて配置されている。

【0021】

顕微鏡ユニット12は、撮像素子としてのカメラ18、顕微鏡20、試料台を備え、試料台の上にシャーレ22が配置されている。このシャーレ22の直上に顕微鏡20が配置される構造となっている。なお、顕微鏡20とカメラ18とは一体構造となっており、図

10

20

30

40

50

示は省略したが、シャーレ 2 2 に向けて光を照射する光源を備えている。

【 0 0 2 2 】

シャーレ 2 2 内には例えば試料（図示せず）を含む溶液が収容される。この状態で、シャーレ 2 2 内の試料に顕微鏡 2 0 から光が照射され、シャーレ 2 2 内の試料（例えば、細胞や卵）で反射した光が顕微鏡 2 0 に入射すると、細胞や卵に関する光学像は、顕微鏡 2 0 で拡大されたあとカメラ 1 8 で撮像されるようになっており、カメラ 1 8 の撮像による画像を基に試料を観察することができる。

【 0 0 2 3 】

マニピュレータ 1 4 は、図 1 に示すように、X 軸 Y 軸 Z 軸の直交 3 軸構成のマニピュレータとして、ピペット 2 4、X Y 軸テーブル 2 6、Z 軸テーブル 2 8、X Y 軸テーブル 2 6 を駆動する駆動装置 3 0、Z 軸テーブルを駆動する駆動装置 3 2 を備えて構成されている。ピペット 2 4 の先端には、毛細管チップであるキャピラリ 2 5 が取り付けられている。

10

【 0 0 2 4 】

ピペット 2 4 は、Z 軸テーブル 2 8 に連結され、Z 軸テーブル 2 8 は、X Y 軸テーブル 2 6 上に上下動自在に配置され、駆動装置 3 0、3 2 はコントローラ 4 3 に接続されている。

【 0 0 2 5 】

X Y 軸テーブル 2 6 は、駆動装置 3 0 の駆動により、X 軸または Y 軸に沿って移動するように構成され、Z 軸テーブル 2 8 は、駆動装置 3 2 の駆動により、Z 軸に沿って（鉛直軸方向に沿って）移動するように構成されている。Z 軸テーブル 2 8 に連結されたピペット 2 4 は、X Y 軸テーブル 2 6 と Z 軸テーブル 2 8 の移動にしたがって 3 次元空間を移動領域として移動し、シャーレ 2 2 内の細胞などをキャピラリ 2 5 を介する等して保持するように構成されている。

20

【 0 0 2 6 】

マニピュレータ 1 6 は、直交 3 軸構成のマニピュレータとして、ピペット（インジェクションピペット）保持部材 3 4 と、X Y 軸テーブル 3 6 と、Z 軸テーブル 3 8 と、X Y 軸テーブル 3 6 を駆動する駆動装置 4 0 と、Z 軸テーブル 3 8 を駆動する駆動装置 4 2 を備え、ピペット保持部材 3 4 は、Z 軸テーブル 3 8 に連結され、Z 軸テーブル 3 8 は、X Y 軸テーブル 3 6 上に上下動自在に配置され、駆動装置 4 0、4 2 は、コントローラ 4 3 に接続されている。ピペット保持部材 3 4 の先端にはガラス製のキャピラリ 3 5 が取り付けられている。

30

【 0 0 2 7 】

X Y 軸テーブル 3 6 は、駆動装置 4 0 の駆動により、X 軸または Y 軸に沿って移動するように構成され、Z 軸テーブル 3 8 は、駆動装置 4 2 の駆動により、Z 軸に沿って（鉛直軸方向に沿って）移動するように構成されている。Z 軸テーブル 3 8 に連結されたピペット保持部材 3 4 は、X Y 軸テーブル 3 6 と Z 軸テーブル 3 8 の移動にしたがって 3 次元空間を移動領域として移動し、シャーレ 2 2 内の試料にキャピラリ 3 5 等を介して人工操作を行うように構成されている。

このように、マニピュレータ 1 4、1 6 はほぼ同一構成であり、以下、ピペット保持部材 3 4 が連結されたマニピュレータ 1 6 を例に挙げて説明する。

40

【 0 0 2 8 】

X Y 軸テーブル 3 6 は、駆動装置 4 0 の駆動（モータ）により、X 軸または Y 軸に沿って移動するように構成され、Z 軸テーブル 3 8 は、駆動装置 4 2 の駆動（モータ）により、Z 軸に沿って（鉛直軸方向に沿って）移動するように構成されている。また、Z 軸テーブル 3 8 は、シャーレ 2 2 内の細胞や卵を挿入対象とするキャピラリ 3 5 を保持するピペット保持部材 3 4 を連結している。

【 0 0 2 9 】

すなわち、シャーレ 2 2 内の細胞などを含む 3 次元空間を移動領域として、X Y 軸テーブル 3 6 と Z 軸テーブル 3 8 は、駆動装置 4 0、4 2 の駆動により移動する。そして、

50

X Y軸テーブル36とZ軸テーブル38は、例えば、ピペット保持部材34の先端側からシャーレ22内の細胞(試料)に対して、キャピラリ35を挿入するための挿入位置までピペット保持部材34を粗動する。X Y軸テーブル36とZ軸テーブル38は、このような粗動機構(3次元軸移動テーブル)として構成されている。

【0030】

また、Z軸テーブル38とピペット保持部材34との連結部は、ナノポジシヨナとしての機能を備えている。ナノポジシヨナは、ピペット保持部材34を設置している方向(長手方向)へ自在に移動可能に支持するとともに、さらに、ピペット保持部材34をその長手方向(軸線方向)に沿って微動駆動するように構成されている。

【0031】

具体的には、Z軸テーブル38とピペット保持部材34との連結部には、ナノポジシヨナとして、微動機構44を備えている。次にこの微動機構について説明する。

【0032】

(微動機構)

微動機構44は、図2に示すように、ピペット保持部材34を備える圧電アクチュエータ44aからなる。圧電アクチュエータ44aはその本体を構成するハウジング48を備えており、内周が筒状に形成されたハウジング48内には、外周にねじ加工を施されたピペット保持部材34が挿通されている。ピペット保持部材34は、その先端側(図2の左側、以下同様)にはキャピラリ35が取り付け固定され、その後端側(図2の右側、以下同様)には卵や細胞等へのインジェクションのための溶液を送る不図示のチューブが接続されている。また、このチューブの他端には、流量調整用のポンプが接続されている。

【0033】

ピペット保持部材34は、転がり軸受80、82を介してハウジング48に支持されている。転がり軸受80、82は、それぞれ内輪80a、82aと、外輪80b、82bと、内輪80a、82aと外輪80b、82b間に挿入されたボール80c、82cを備え、各内輪80a、82aが中空部材84を介してピペット保持部材34の外周面に嵌合され、各外輪80b、82bがハウジング48の内周面に嵌合され、ピペット保持部材34を回転自在に支持するようになっている。

【0034】

内輪80a、82aは、中空部材84を介してピペット保持部材34に嵌合している。これにより、内輪80a、82aの内周面にねじ加工を施す必要がなく、ねじ加工を施したピペット保持部材34の外周面と嵌合することができる。また、転がり軸受80、82のピペット保持部材34への取り付けが簡単になる。

【0035】

また、中空部材84は、その軸方向略中央部に径方向外方に突出するフランジ部84a(内輪間座)を有している。このフランジ部84aの軸方向両側に転がり軸受80、82の内輪80a、82aを配置する。その後、内輪80aの先端側、及び内輪82aの後端側からロックナット86、86をピペット保持部材34に螺合し、転がり軸受80、82の軸方向位置を固定する。なお、中空部材84の軸方向寸法は、転がり軸受80、82の内輪80a、82aの軸方向寸法と、中空部材84のフランジ部84aの軸方向寸法との合計より小さい。このため、内輪80aの軸方向先端側及び内輪82aの軸方向後端側は中空部材84よりも軸方向に突出する。この結果、内輪80a、82aが直接ロックナット86、86により軸方向に固定されるので、内輪80a、82aの軸方向移動を規制できる。

【0036】

転がり軸受80、82と同軸に配置され、ハウジング48の内周面に正の隙間を持って嵌合する円環状のスペーサ90が、外輪82bの軸方向後端側に配置される。スペーサ90の軸方向後端側には、円環状の圧電素子92がスペーサ90と略同軸に配置され、さらにその軸方向後端側にはハウジングの蓋88が配置される。蓋88は、圧電素子92を軸方向に固定するためのもので、ピペット保持部材34が挿通する孔部を有する。この蓋8

10

20

30

40

50

8は、ハウジング48の側面に不図示のボルトにより締結されている。なお、蓋88は、ハウジング48の軸方向後端側の内周面及び蓋88の外周面にねじ加工を施して、両者を螺合することにより固定しても良いが、圧電素子92にねじりモーメントが生じる可能性がある。このため、蓋88はボルト等により締結固定されることが好ましい。

【0037】

転がり軸受80、82、圧電素子92は、スペーサ90の長さを調節し、蓋88をしめることにより、予圧が付与される。具体的には、スペーサ90の長さを調整し、蓋88を閉めると、その位置に応じた締結力が転がり軸受82の外輪82bと転がり軸受80の外輪80bに、軸方向に沿った押圧力として予圧が付与されるとともに、同時に圧電素子92にも予圧が付与される。これにより、転がり軸受80、82および圧電素子92に所定の予圧が付与され、転がり軸受80、82の外輪80b、82b間に軸方向間の距離としての間隙94が形成される。

10

【0038】

このように、高剛性のばね要素である転がり軸受80、82で予圧を負荷できるため、圧電素子92の予圧調整を容易に行うことができるとともに、高い応答性を達成できる。

【0039】

また、圧電素子92はスペーサ90を介して転がり軸受82と接しているため、外輪82bと同じ径の圧電素子や、所定の予圧を付与可能な寸法の圧電素子といった、特別な形状の圧電素子を用いる必要がない。すなわち、図2の例では円環状とした圧電素子92を、棒状または角柱状としてスペーサ90の周方向に略等配となるように並べても良く、ピペット保持部材34を挿通する孔部を有した角筒としても良い。また、スペーサ90の形状を高精度とすれば、ハウジング48の内周面は転がり軸受80、82と嵌合する程度の精度で形成されているので、圧電素子92の個体差がある場合にも、転がり軸受82を均等に押圧することが可能となる。なお、以下で「圧電素子が(略)同軸である」とは、単に円環状の圧電素子がある軸と中心軸を共有する場合のみを示すのではなく、圧電素子がある軸を中心とした円周上に等配に並んでいる場合や、ある軸が角筒の圧電素子の中心を通る場合を含む。

20

【0040】

圧電素子92は、リード線(図示せず)を介して制御回路としてのコントローラ43に接続されており、コントローラ43からの電圧に応じてピペット保持部材34の長手方向(軸方向)に沿って伸縮する圧電アクチュエータの一要素として構成されている。すなわち、圧電素子92は、コントローラ43からの印加電圧に応答して、ピペット保持部材34の軸方向に沿って伸縮し、ピペット保持部材34をその軸方向に沿って微動させるようになっている。ピペット保持部材34が軸方向に沿って微動すると、この微動がキャピラリ35に伝達され、キャピラリ35の位置が微調整されることになる。

30

【0041】

圧電素子92に印加する電圧の電圧波形としては、正弦波、矩形波、三角波などを用いることができる。また圧電素子92に電圧を印加する方法としては、操作者がボタン43Bを押している間、信号波形を連続して出力して駆動してもよいし、バースト波形を使用してもよい。

40

【0042】

本実施形態においては、転がり軸受80、82のうち転がり軸受80の内輪80aと外輪80bの変位量であって、圧電素子92の伸縮量の半分がキャピラリ35の変位量に設定されているため、圧電素子92には微動変位量の2倍の変位を与えるための制御電圧と初期設定電圧とを加算した微動用電圧を印加することになる。

【0043】

例えば、圧電素子92に2xの伸びが生じたときには、この伸びによる押圧力は微動制御を行う前の予圧荷重に加えて転がり軸受82の外輪82bを押圧し、転がり軸受80の外輪80bを軸方向に移動させ、転がり軸受80、82の各外輪間の間隙94が2x分更に狭くなって圧電素子92の軸方向の伸びを吸収する。

50

【 0 0 4 4 】

この間隙 9 4 の変位は、弾性変形に伴って軸受 8 0、8 2 がそれぞれ軸方向に x ずつ変位し、軸受 8 0 の外輪 8 0 b が軸方向に合わせて $2x$ 変位することにより生じる。

【 0 0 4 5 】

逆に、圧電素子 9 2 が $2x$ 縮むと、押圧力が減少し、転がり軸受 8 0、8 2 の弾性変形がそれぞれ x ずつ減少し、間隙 9 4 が広がる方向に、転がり軸受 8 0 の外輪 8 0 b が軸方向に合わせて $2x$ 変位することになり、圧電素子 9 2 の縮む分を吸収する。

【 0 0 4 6 】

このように、間隙 9 4 の変位 x を転がり軸受 8 0、8 2 が x ずつ分けて吸収するので、転がり軸受 8 0、8 2 を互いに押圧する力がバランスしたときに、転がり軸受 8 0、8 2 の内輪 8 0 a、8 0 b がピペット保持部材 3 4 と共に軸方向に x 変位する。つまり、圧電素子 9 2 の伸縮量 $2x$ の半分がキャピラリ 3 5 の微動変位量となってキャピラリ 3 5 が挿入位置に挿入される。キャピラリ 3 5 が挿入位置に位置決めされたあと、圧電素子 9 2 にインジェクション用電圧を印加すると、キャピラリ 3 5 がインジェクション動作を行うことになる。

【 0 0 4 7 】

上述の構成によれば、キャピラリ 3 5 と圧電素子 9 2 とが同軸上に配置されるので、圧電素子 9 2 の駆動時に、余分な振動、即ちピペット保持部材 3 4 の軸方向以外の方向に生じる振動を軽減することができる。

また、図 2 の圧電アクチュエータ 4 4 a はマニピュレータ 1 6 直接固定され、ピペット保持部材 3 4 は圧電アクチュエータ 4 4 a に直接固定される。このため、マニピュレータ 1 6、ピペット保持部材 3 4 への固定のための部品数を低減できる。部品数低減による組立性の向上とコスト低減を実現できる。さらに、圧電アクチュエータ 4 4 a とピペット保持部材 3 4 を直接固定するため、圧電素子 9 2 とキャピラリ 3 5 との距離を短くすることが可能となり、圧電素子 9 2 による高精度な穿孔を実現できる。

【 0 0 4 8 】

次に、このような圧電アクチュエータ 4 4 a の組み立て方法は、まず、ピペット保持部材 3 4 の先端側からロックナット 8 6、転がり軸受 8 0、中空部材 8 4、転がり軸受 8 2、ロックナット 8 6 の順でピペット保持部材 3 4 の外周面と嵌合させる。このとき、中空部材の外周面に、転がり軸受 8 0、8 2 を、その間にフランジ部 8 4 a を挟むように嵌合させる。その後、ロックナット 8 6、8 6 を締めることにより、転がり軸受 8 0、8 2 とピペット保持部材 3 4 との相対位置を固定する。そして、転がり軸受 8 2 の外輪 8 2 b と突き当たるようにスペーサ 9 0 をピペット保持部材 3 4 の後端側に配置し、圧電素子 9 2 をスペーサ 9 0 と突き当たるように配置する。最後に、ハウジング 4 8 を上記の組み立てたものを図 2 の配置となるよう位置決めし、蓋 8 8 とハウジング 4 8 とを、ボルト等で固定する。このような方法で、圧電アクチュエータ 4 4 a を簡単に組み立てることができる。

【 0 0 4 9 】

図 3 は微動機構の変形例を示す断面図である。本例の微動機構 1 4 4 では、ピペット保持部材 1 3 4 の外周に中空部材 1 3 5 を設け、中空部材 1 3 5 を圧電アクチュエータ 1 4 4 a と一体にしたので、ピペット保持部材 1 3 4 と圧電アクチュエータ 1 4 4 a とを別体にすることが可能である。図 3 において、図 2 と同等の部分は同一符号を付し、その詳細説明は省略する。

【 0 0 5 0 】

ピペット保持部材 1 3 4 は、その先端側（図 3 の左側、以下同様）にはキャピラリ 3 5 が取り付け固定される。また、その後端側（図 3 の右側、以下同様）には卵や細胞等へのインジェクションのための溶液を送る不図示のチューブが接続されるためのノズルが、螺合等により固定されている。このチューブの他端には、流量調整用のポンプが接続されている。次に、ピペット保持部材 1 3 4 に取り付けられる圧電アクチュエータ 1 4 4 a について説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

圧電アクチュエータ 1 4 4 a の中心軸を為す中空部材 1 3 5 の外周面には、転がり軸受 8 0、8 2 が嵌合される。この転がり軸受 8 0 の内輪 8 0 a は、中空部材 1 3 5 の外周面に形成された突き当り面 1 3 5 b に当接することにより位置決めされている。転がり軸受 8 0、8 2 の内輪 8 0 a、8 2 a の間には、内輪間座 1 8 4 が備えられる。内輪間座 1 8 4 は中空部材 1 3 5 の外周面に嵌合している。転がり軸受 8 0、8 2 (内輪 8 0 a、8 2 a) は、内輪 8 2 a の後端側から中空部材 1 3 5 にロックナット 8 6 を螺合することにより、軸方向に固定される。

【 0 0 5 2 】

圧電アクチュエータ 1 4 4 a のその他の部分は、図 2 と同様である。すなわち、転がり軸受 8 0、8 2 には、図 2 と同様に、その外輪 8 0 b、8 2 b の外周面にハウジングが嵌合される。外輪 8 2 b の軸方向後端側にスペーサ 9 0、圧電素子 9 2 の順にハウジング内周面に配置され、蓋 8 8 を締めることによりこれらが固定される。このようにして、中空部材 1 3 5 と一体となった圧電アクチュエータ 1 4 4 a が構成される。

【 0 0 5 3 】

圧電アクチュエータ 1 4 4 a にピペット保持部材 1 3 4 を固定するため、中空部材 1 3 5 を、ピペット保持部材 1 3 4 の外周面に嵌合固定する。ピペット保持部材 1 3 4 の外周面は一部拡径し段差部 1 3 4 a が設けられている。中空部材 1 3 5 はこの段差部 1 3 4 a に対応する段差部 1 3 5 a を内径側に備え、両者を対向させることにより、軸方向に位置決めされる。軸方向に位置決めされた中空部材 1 3 5 は、止めねじ (不図示) によりピペット保持部材 1 3 4 に固定される。より詳細には、中空部材 1 3 5 の軸方向先端部 (図 3 左側) のうち、ハウジング 4 8 から軸方向に突出した突出部 1 3 5 c には、径方向に貫通するねじ孔 (不図示) が複数設けられている。この複数のねじ孔に複数の止めねじ (不図示) を螺合させ、ピペット保持部材 1 3 4 に接触させる。これにより、ピペット保持部材 1 3 4 は固定される。

【 0 0 5 4 】

微動機構 1 4 4 をこのような構成にすることにより、ピペット保持部材 1 3 4 と圧電アクチュエータ 1 4 4 a とを別体にすることが可能となる。この結果、微動機構 1 4 4 のメンテナンス性を向上することができる。また、中空部材 1 3 5 を止めねじで固定したので、中空部材 1 3 5 とピペット保持部材 1 3 4 との同軸度や相対位置を微調整することが可能となる。このような止めねじを中空部材 1 3 5 の突出部 1 3 5 c に設けたので、止めねじの取付、取外しが容易となるため、微動機構 1 4 4 のメンテナンス性を更に向上することができる。

【 0 0 5 5 】

また、図 2 の微動機構 4 4 の場合、ピペット保持部材 3 4 の先端から後端まで、広範囲のねじ加工を施す必要があるため、ピペット保持部材 3 4 が変形する可能性がある。これに対し、図 3 の微動機構 1 4 4 では、ピペット保持部材 3 4 にねじ加工をする必要はない。このため、ピペット保持部材 1 3 4 と中空部材 1 3 5 の加工による変形を抑制することが可能となる。

【 0 0 5 6 】

なお、上述の例では、中空部材 1 3 5 とピペット保持部材 1 3 4 とを止めねじにより固定するとしたが、これに限定されず、接着固定、圧入固定、螺合固定を用いても良い。但し、上述した効果を考慮すると、止めねじによる固定が好ましい。また、上述の例では、段差により軸方向の位置決めをするとしたが、これに限定されず、段差部を設けずに、止めねじのみで軸方向位置を決めても良く、マーカーにより、大体の位置を示す構成としても良い。さらに、上述の例では、圧電アクチュエータ 1 4 4 a を組み立てた後、圧電アクチュエータ 1 4 4 a の一部をなす中空部材 1 3 5 とピペット保持部材 1 3 4 とを嵌合固定することとしたが、これに限定されない。すなわち、ピペット保持部材 1 3 4 に中空部材 1 3 5 を嵌合固定した後に、圧電アクチュエータ 1 4 4 a の他の構成要素を組み付けても良く、上述の効果は組立て手順によらない。しかしながら、組立て性を考慮した場合には

10

20

30

40

50

、圧電アクチュエータ144aを組み立てた後、中空部材135とピペット保持部材134とを固定することが好ましい。

【0057】

その他の構成及び作用効果は、図2の微動機構と同様である。

次に、図2、3に示す微動機構の先端にキャピラリを固定する方法について説明する。

【0058】

(キャピラリの固定方法)

図4は、キャピラリ35の固定方法を示す断面図である。

図4に示す通り、ピペット保持部材34(134、以下同じ)の先端に、キャピラリ35を挿入するための拡径部34aが形成される。拡径部34aの内径は、キャピラリ35の外径よりも大きく設定されている。ピペット保持部材34の先端部の外周には、断面矢印状かつ内径側が円筒型に中空となっている保持部材136が嵌合している。キャピラリ35の後端側は、保持部材136とピペット保持部材34の拡径部34aに内包される。

【0059】

保持部材136の内周面は、先端側の小径部136aと後端側の大径部136bとからなる。小径部136aはキャピラリ35の外径よりも僅かに大きい内径を有する。この小径部136aは、キャピラリ35を固定する際、径方向において、キャピラリ35を固定する大まかな位置にキャピラリ35を案内する。大径部136bはピペット保持部材34の外周面より僅かに大きい内径を有する。大径部136bの内周面は、二組の支持部材130を介して、キャピラリ35を支持している。この支持部材130は、二つのリング138と、これを挟む二つのワッシャ137で構成される。この支持部材130を、キャピラリ35の外周面(大径部136bの内周面)上の軸方向に離れた二箇所に配置し、その間にスペーサ139を配置している。保持部材136の外周面のうち先端側は、後端側から先端側へ徐々に縮径するテーパ形状となっている。これにより、例えば、圧電アクチュエータ44a(144a)作動時、シャーレ22にと保持部材とが接触し難くなる。また、保持部材136の外周面のうち後端側には雄ねじ加工がされている。

【0060】

ピペット保持部材34の外周面における保持部材136の後端側には、円筒状のナット部材139が取り付けられている。ナット部材139の先端側内周面には雌ねじ加工がされており、保持部材136の雄ねじと螺合するようになっている。また、ナット部材139の後端側には縮径部139aが設けられる。この縮径部139aの内径は、ピペット保持部材34よりわずかに大きくなっている。ピペット保持部材34には、周方向溝が設けられ、この周方向溝に止め輪140が嵌め込まれている。縮径部139aの先端側端面は、この止め輪140と当接して抜け止めされている。この止め輪140の別例としてピペット保持部材34と一体の凸条が挙げられる。この場合、圧電アクチュエータ44a(144a)にピペット保持部材を組み付ける前に、ナット部材139をピペット保持部材34の後端側から挿入しておく。

【0061】

このような保持部材136、ナット部材139により、キャピラリ35は支持固定される。キャピラリ35の取り付け手順は次ぎの通りである。まず、支持部材130とスペーサ141を組み付けた保持部材136にキャピラリ35を挿通する。この状態で、キャピラリは二組の支持部材130を構成するリングのみにより径方向に支持されている。一方で、ピペット保持部材34にナット部材139を取り付けた後、ピペット保持部材34に止め輪140を取り付ける。その後、保持部材136の後端側の支持部材130とピペット保持部材34の先端部とを接触させる。この状態で、ナット部材139と保持部材136とを螺合させる。これにより、保持部材136の螺合部において径方向に収縮する力が作用し、後端側の支持部材130のリング138が径方向に潰れるように変形する。これにより、キャピラリ35は軸方向および径方向に固定され、キャピラリ35の支持固定が完了する。また、保持部材136とナット部材139との螺合により、ピペット保持部材34とキャピラリ35との接続部における気密性を確保することができる。このため

、ピペット保持部材 34 と連結された前述の流量調整用ポンプで、キャピラリ 35 内の液体の流量調整を行うことが可能となる。

【0062】

従来、Oリングを用いた支持部材一つのみでキャピラリを支持する構成が用いられている（例えば、「エッペンドルフ マイクロインジェクター FemtoJet（登録商標）express 使用説明書」）。このような構成では、キャピラリ 35 を一箇所でのみ支持しているため、例えば、卵細胞への穿孔の際、圧電アクチュエータの駆動によりキャピラリ 35 に予期せぬ振動が発生し、細胞を傷つけたり、効率が下がる可能性がある。これに対し、図 4 に示した構成によれば、Oリング 138 を備える支持部材 130 が二つ用いられ、キャピラリ 35 が二点で支持されているので、圧電アクチュエータ 44a、144a の駆動中にキャピラリ 35 が動くことが抑制される。この結果、細胞操作の際のキャピラリの低振動化を実現でき、穿孔性能・効率を従来と比較して向上することができる。

10

【0063】

なお、上述した構成では、支持部材 130 を二つ用いることとしたが、これに限定されず、三つ以上用いても良い。さらに、一つの支持部材 130 を構成する Oリング 138 の数は二つに限定されず、一つでもそれ以上でも良く、ワッシャを省略しても良い。また、支持部材 130 の構成部材もワッシャ 137 と Oリング 138 に限定されず、キャピラリを支持できる構成であれば適用することができる。

20

【0064】

（マニピュレータの制御）

次に、上記のマニピュレータシステム 10 のコントローラ 43 による制御について図 5～図 7 を参照して説明する。図 5 は図 1 のコントローラ 43 による制御系要部を示すブロック図である。図 6 は図 5 の表示部 45 に表示される画面例を示す図である。図 7 は図 1、図 5 に示すジョイスティックの具体例を示す斜視図である。

【0065】

図 1、図 5 のコントローラ 43 は、演算手段としての CPU（中央演算処理装置）及び記憶手段としてのハードディスク、RAM、ROM などのハードウェア資源を備え、所定のプログラムに基づいて各種の演算を行い、演算結果に従って各種の制御を行うように駆動指令を出力する。すなわち、コントローラ 43 は、マニピュレータ 14 の駆動装置 30、32、マニピュレータ 16 の駆動装置 40、42、微動機構 44 の圧電素子 92 等を制御し、必要に応じて設けられたドライバやアンプ等を介してそれぞれに駆動指令を出力する。例えば、圧電素子 92 は、コントローラ 43 により制御される信号発生器 95 から信号を発生させアンプ 96 で増幅された電圧信号により駆動される。

30

【0066】

また、コントローラ 43 には、情報入力手段としてキーボードの他にジョイスティック 47、マウス 43A、ボタン 43B（図 1）が接続されており、さらに、CRT や液晶パネルからなる表示部 45 が接続され、表示部 45 にはカメラ 18 で取得した顕微鏡画像や各種制御用画面等が表示されるようになっている。

【0067】

また、コントローラ 43 は、マニピュレータ 14、16 を所定のシーケンスで自動的に駆動するようになっている。かかるシーケンス駆動は、所定のプログラムによる CPU の演算結果に基づいてコントローラ 43 が順次、それぞれに駆動指令を出力することで行われる。

40

【0068】

表示部 45 には、カメラ 18 で撮像したキャピラリ 25、35 の画像を含めて卵等の微小な操作対象物の顕微鏡画像や演算結果に関する情報や各種制御用ボタンなどが表示される。例えば、図 6 のように、画像表示部 45a には、カメラ 18 による顕微鏡画像が表示され、例えば、微小対象物である卵 D と、卵 D を保持したキャピラリ 25 と、インジェクション用のキャピラリ 35 とが表示されるとともに、画像表示部 45a の例えば下側に

50

キャピラリ 3 5 のセッティングのときの警告ランプ 4 5 b が表示され、画像表示部 4 5 a の上側に画像表示部 4 5 a の顕微鏡画像の倍率を切り替える切り替えボタン 4 5 c が表示される。切り替えボタン 4 5 c は図 5 のマウス 4 3 A によりクリックすることで操作可能である。

【 0 0 6 9 】

上述のように、圧電素子 9 2 には圧電素子 9 2 の駆動のときにアンプ 9 6 から信号電圧が印加される一方、圧電素子 9 2 で発生する電圧を電圧測定部 9 7 で測定し検知し、測定された電圧はコントローラ 4 3 に入力するようになっている。

【 0 0 7 0 】

圧電素子は、 piezo 素子ともいわれ、一般に、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する一方、機械エネルギーを電気エネルギーに変換するものである。すなわち、圧電素子は、電圧を加えることで伸縮する一方、圧力を加えることで電圧を発生する。

【 0 0 7 1 】

本実施形態では、圧電素子 9 2 は、微動機構 4 4 にキャピラリ 3 5 の微動駆動のために設けられているが、キャピラリ 3 5 が例えばシャーレ等の容器の底面や側面に接触したとき、その接触による外力が図 2 のピペット保持部材 3 4、転がり軸受 8 0、8 2、スペーサ 9 0 等を介して圧電素子 9 2 に加わることにより発生する電圧を電圧測定部 9 7 で計測することでコントローラ 4 3 上での監視を行う。

【 0 0 7 2 】

すなわち、コントローラ 4 3 は、電圧測定部 9 7 による測定電圧が例えば所定のレベルや電圧差以上となったとき、図 6 の表示部 4 5 に表示された警告ランプ 4 5 b を赤や黄の目立つ色で点滅させて警告を発したり、また、キャピラリ 3 5 の駆動を停止するように制御する。また、表示部 4 5 の警告ランプ 4 5 b とは別にランプ点滅や警告音発生等を行う警告部 9 8 を設け、警告部 9 8 を作動させるようにしてもよい。

【 0 0 7 3 】

図 1 のマニピュレータシステム 1 0 の操作のため、図 1、図 5、図 7 のように、コントローラ 4 3 に接続されたジョイスティック 4 7 を主に用いることができ、マニピュレータ 1 4、1 6 に対し 1 つずつ用意する。ジョイスティック 4 7 は、図 7 のように、複数のボタン 4 7 a ~ 4 7 g とハンドル 4 7 h とを有する。ハンドル 4 7 h は、右方向 R、左方向 L に傾斜させる（倒す）ことで図 1 の駆動装置 3 0、4 0 を駆動しマニピュレータ 1 4、1 6 を X 軸方向、Y 軸方向に駆動でき、回転させる（ひねる）ことで駆動装置 3 2、4 2 を駆動し Z 軸方向に駆動できる。また、各ボタン 4 7 a ~ 4 7 g に各機能の操作を割り当てることができ、例えば、ボタン 4 7 に図 2 の圧電アクチュエータ 4 4 a（微動機構 4 4）の圧電素子 9 2 の操作を割り当てる。

【 0 0 7 4 】

上記構成において、インジェクション用マニピュレータ 1 6 を駆動するに際しては、ジョイスティック 4 7 のハンドル 4 7 h を操作して、X Y 軸テーブル 3 6 と Z 軸テーブル 3 8 を粗動駆動し、ピペット保持部材 3 4 をシャーレ 2 2 内の細胞に近づけて位置決めした後、微動機構 4 4 を用いてピペット保持部材 3 4 を微動駆動することができる。

【 0 0 7 5 】

具体的には、ピペット保持部材 3 4 にガラス製のキャピラリ 3 5 を装着するに際しては、顕微鏡作業箇所配置されたシャーレ 2 2 からピペット保持部材 3 4 を退避させる状態になるように、マニピュレータ 1 4、1 6 を駆動する。これにより、ピペット保持部材 3 4 にキャピラリ 3 5 を装着する際、十分な作業スペースが得られる。

【 0 0 7 6 】

キャピラリ 3 5 をピペット保持部材 3 4 に装着した後は、ジョイスティック 4 7 の操作等に基づくコントローラ 4 3 からの指令により、マニピュレータ 1 4 を駆動し、キャピラリ 3 5 が装着されたピペット保持部材 3 4 を顕微鏡作業箇所であるシャーレ 2 2 に向けて移動させる。

【 0 0 7 7 】

10

20

30

40

50

キャピラリ 3 5 を顕微鏡作業箇所へ移動させる際、1 回目（初めての）の操作の場合、図 6 の切り替えボタン 4 5 c を操作し、画像表示部 4 5 a に表示される画像の顕微鏡視野倍率を低倍にし、マニピュレータ 1 6 の駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 を駆動することで、顕微鏡 2 0 の視野内にキャピラリ 3 5 が確認でき次第、駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 の駆動を停止する。

【 0 0 7 8 】

このあと、コントローラ 4 3 の画像処理を利用し、駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 を駆動することで、顕微鏡 2 0 の視野内において、キャピラリ 3 5 を最適位置へ移動し、駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 の駆動を停止する。このとき、1 回目の操作の際に駆動した各テーブル 3 6、3 8 や微動機構 4 4 による移動量をコントローラ 4 3 に記憶させる。なお、上記キャピラリの最適位置への移動は、駆動装置 4 0、4 2 による X Y Z の駆動系（X Y 軸テーブル 3 6、Z 軸テーブル 3 8）及び微動機構 4 4 の両方または一方を適宜用いる。

10

【 0 0 7 9 】

次に、マニピュレータ 1 6 を操作し、シャーレの交換あるいはキャピラリ 3 5 の交換が必要になった場合、駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 を駆動し、顕微鏡作業箇所からキャピラリ 3 5 を退避させるための操作を行う。その後、ジョイスティック 4 7 の操作により、キャピラリ 3 5 をセッティングした位置まで駆動する。なお、ボタン 4 3 B を用いて任意の位置まで退避するようにしてもよい。

【 0 0 8 0 】

20

一方、再度、顕微鏡作業箇所へキャピラリ 3 5 を移動する場合、1 回目にセッティングした際の位置をコントローラ 4 3 が記憶しているため、マニピュレータ 1 6 で、容易にキャピラリ 3 5 の位置を調整することが可能になる。

【 0 0 8 1 】

キャピラリ 3 5 として、その形状が均一なものを使用する場合は、本実施形態に係るマニピュレータ 1 6 を用いることで、従来のもよりも効率を向上させることができる。また、キャピラリ 3 5 の形状にばらつきがある場合でもピペット保持部材 3 4 を圧電アクチュエータ 4 4 a の駆動によって直線往復運動させることができるため、キャピラリ 3 5 の位置を微細に調整することができる。

【 0 0 8 2 】

30

また、キャピラリ 3 5 が細胞の挿入位置に位置決めされたときには、ジョイスティック 4 7 を操作して圧電素子 9 2 にインジェクション用の電圧を印加し、微動機構 4 4 を微動駆動することで、ピペット保持部材 3 4 によるインジェクション動作を行うことができる。この際、高剛性のばね要素である転がり軸受 8 0、8 2 で圧電素子 9 2 に予圧を負荷しているため、高い応答性を達成できる。

【 0 0 8 3 】

上述のインジェクション用のキャピラリ 3 5 をインジェクション操作前に最適位置へ移動させてセッティングする際の動作について図 8、図 9 を参照してさらに説明する。図 8 は図 1 のインジェクション用のキャピラリ 3 5 の操作中におけるシャーレ 2 2 の底面 2 2 a に対する相対位置（a）～（d）を概略的に示す図である。図 9 は図 8（c）のようにキャピラリ 3 5 がシャーレ 2 2 の底面 2 2 a に接触したときの圧電素子 9 2 の電圧値の変化を示す図である。

40

【 0 0 8 4 】

上述のように、マニピュレータ 1 6 により駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4 を駆動し、インジェクション用のキャピラリ 3 5 をジョイスティック 4 7 等の操作で最適位置にセッティングする際に、キャピラリ 3 5 を例えば、図 8（a）のように下向き方向 z に移動させたとき、図 8（b）のようにキャピラリ 3 5 がシャーレ 2 2 の底面 2 2 a に接近し、図 8（c）のように、さらに接近してキャピラリ 3 5 の先端が底面 2 2 a に接触すると、圧電素子 9 2 から電圧が瞬間的に発生する。圧電素子 9 2 から発生して図 5 の電圧測定部 9 7 で測定した電圧値を、コントローラ 4 3（または電圧測定部 9 7）は、図 9 のように

50

サンプリング時間 t で集録し、 t の間の電圧値の差 V (圧電素子 9 2 に印加されている電圧 V_0 に対する電圧差) を算出し、その電圧差 V が所定値以上であれば警告を表示する。

【 0 0 8 5 】

例えば、コントローラ 4 3 において電圧差 V の第 1 限界値 V_1 を予め設定しておき、測定した電圧差 V が図 9 のように限界値 V_1 以上になったとき、例えば、図 6 の表示部 4 5 で警告ランプ 4 5 b が点滅する。この警報により、操作者はキャピラリ 3 5 がシャーレ 2 2 の底面 2 2 a に接触したことを知ることができるので、ジョイスティック 4 7 を操作し、図 8 (d) のように、キャピラリ 3 5 を上向き方向 z' に移動させ、底面 2 2 a から離す。または、マニピュレータ 1 6 (駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4) の駆動を停止する。これにより、キャピラリ 3 5 の位置調整中にキャピラリ 3 5 が他部分に当たって折損・破損することを未然に防止できる。

10

【 0 0 8 6 】

また、コントローラ 4 3 において第 1 限界値 V_1 よりも大きい第 2 限界値 V_2 を予め設定し、測定した電圧差 V が第 2 限界値 V_2 以上になったとき、例えば、マニピュレータ 1 6 (駆動装置 4 0、4 2 や微動機構 4 4) の駆動を自動的に停止し、キャピラリ 3 5 の駆動を強制的に止める。これにより、例えばキャピラリ 3 5 が底面 2 2 a に比較的強く接触して電圧差 V がサンプリング時間 t の間に急激に大きくなった場合等に、キャピラリ 3 5 のそれ以上の移動を止めることで、キャピラリ 3 5 の位置調整中にキャピラリ 3 5 の折損・破損を未然に防止できる。なお、この場合、警告ランプ 4 5 b の点滅を続けるようにしてもよい。

20

【 0 0 8 7 】

また、上述の表示部 4 5 における警告ランプ 4 5 b の点滅の代わりに、または、警告ランプ 4 5 b の点滅とともに、別の警告部 9 8 を駆動し、ランプを点滅させたり、ブザー等の警告音を発するようにしてもよい。

【 0 0 8 8 】

なお、キャピラリ 3 5 の他部分 (キャピラリ 2 5 やシャーレ 2 2 の底面 2 2 a や側面 2 2 b 等) への接触の状態やタイミング等によって、圧電素子 9 2 から図 9 の破線で示すようにマイナス (-) 方向に電圧差が発生する可能性がある場合は、電圧差 V の絶対値で限界値 V_1 、 V_2 と比較するように構成してもよく、また、マイナス (-) 方向に、別の限界値を予め設定するようにしてもよい。

30

【 0 0 8 9 】

また、表示部 4 5 における警告表示として、ランプの点滅ではなく、例えば、「キャピラリが他部分に接触しています！」等の警告メッセージを例えば図 6 の画面 4 5 a の下側のスペース 4 5 d に表示するようにしてもよく、かかる警告メッセージを赤色や黄色の目立つ色で点滅表示するようにしてもよい。

【 0 0 9 0 】

また、上記セッティング操作のとき、ジョイスティック 4 7 でマニピュレータ 1 6 を駆動する場合は、上述のように警告表示はコントローラ 4 3 の表示部 4 5 の画面上にするのが好ましいが、ジョイスティック 4 7 に振動モータ等の振動部が内蔵している場合、この振動部を駆動することで操作者へ伝え、警告するようにしてもよい。また、手動でマニピュレータ 1 6 を駆動してもよいが、この場合は、別の警告部 9 8 を駆動することが好ましい。

40

【 0 0 9 1 】

また、圧電素子 9 2 からの電圧信号を測定する際、電圧測定部 9 7 にアンプ、フィルタを設置し、ノイズを除去して電圧信号を集録し測定するようにしてもよい。

【 0 0 9 2 】

以上のように、本実施形態によれば、マニピュレータシステム 1 0 により細胞や卵にインジェクション等の微細な操作を行う際に、インジェクション用のキャピラリ 3 5 を駆動し所定の最適位置にセッティングするとき、マニピュレータ 1 6 に備えられた微動駆動の

50

ための圧電素子 9 2 の電圧を計測できるようにし、圧電素子 9 2 からの電圧値をコントローラ 4 3 上で監視し、コントローラ 4 3 側で検出し、操作者に警告を表示したり、コンピュータ 1 6 の駆動を強制的に停止する。これにより、キャピラリ 3 5 の位置調整中にキャピラリ 3 5 がキャピラリ 2 5 やシャーレ 2 2 の底面 2 2 a や側面 2 2 b 等の他部分に接触して折損、破損してしまうことを防止することができる。

【 0 0 9 3 】

このように、キャピラリ 3 5 が折損することを防止できるため、キャピラリ 3 5 の交換作業も効率化が可能となる。また、キャピラリ 3 5 のセッティングのとき、操作に慣れていない操作者でも上述のような警告表示や駆動停止によりキャピラリのセッティング時の操作者による誤動作を防止することができる。

10

【 0 0 9 4 】

(ピベット保持部材の回り止め機構)

上述のマニピュレータシステム 1 0 に用いる圧電アクチュエータ 4 4 a (1 4 4 a) において、ピベット保持部材 3 4 (1 3 4) は転がり軸受で支持されており、ハウジング 4 8 に対して回転方向には拘束されていない。このため、圧電アクチュエータ 4 4 a を駆動してピベット保持部材 3 4 を振動させる際、または外部からの振動が加わった際、振動の大きさや周期によってはピベット保持部材 3 4 が回転する可能性がある。この場合、ピベット保持部材 3 4 の回転に伴って、ピベット保持部材 3 4 の先端に固定されたキャピラリ 3 5 も回転する。

【 0 0 9 5 】

20

例えば、図 8 に示すように、キャピラリ 3 5 として屈曲したキャピラリを使用する場合、キャピラリ 3 5 が回転すると、キャピラリ 3 5 先端と操作の対象物との相対位置が変動すると共に、キャピラリ 3 5 先端が顕微鏡焦点位置から外れるという問題が生じる虞がある。この結果、微小な対象物の操作が困難となり、操作後の培養特性にも影響を及ぼす可能性がある。

【 0 0 9 6 】

これを防ぐため、ピベット保持部材 3 4 が回転する可能性のある条件で使用する場合、またはピベット保持部材 3 4 の回転により操作の対象物に影響を及ぼす可能性がある場合、図 1 1 ~ 1 6 に示す回り止め機構を備える圧電アクチュエータを用いることが有効である。

30

【 0 0 9 7 】

図 1 1 ~ 1 3 は、図 2 の圧電アクチュエータ 4 4 a に回り止め機構の第 1 例を設けた圧電アクチュエータ 2 4 4 a を示す図である。図 1 1 は圧電アクチュエータ 2 4 4 a の軸方向断面図、図 1 2 は図 1 1 の A 方向矢視図、図 1 3 は圧電アクチュエータ 2 4 4 a のハウジング 2 4 8 の斜視図である。

【 0 0 9 8 】

本例では、図 1 2 に示すように、圧電アクチュエータ 2 4 4 a に取り付けられた二つのロックナットのうち、ハウジング 2 4 8 と嵌合する側 (ピベット保持部材 3 4 の先端側、図 1 1 の左側) のロックナット 2 8 6 を、軸方向から見て六角形としている。また、ロックナット 2 8 6 と嵌合しているハウジング 2 4 8 の嵌合孔 2 4 8 a の形状を、図 1 3 に示すように、ロックナット 2 8 6 の外周面と微小な隙間を以て嵌合する六角形としている。

40

【 0 0 9 9 】

このような構成により、ピベット保持部材 3 4 に回転方向の力が作用した場合でも、ロックナット 2 8 6 がハウジング 2 4 8 の嵌合孔 2 4 8 a により回転方向に固定されているので、ピベット保持部材 3 4 がハウジング 2 4 8 に対し相対回転することを防止できる。また、ロックナット 2 8 6 と嵌合孔 2 4 8 a とは微小な隙間を以て嵌合しているため、ピベット保持部材 3 4 がハウジング 2 4 8 に対し軸方向に相対移動することを妨げることはない。

【 0 1 0 0 】

なお、本例では、ロックナット 2 8 6 及び嵌合孔 2 4 8 a の形状を軸方向視で六角形

50

としたが、これに限定されない。例えば、ロックナット 2 8 6 及び嵌合孔 2 4 8 a を四角形や八角形等の略同一形状の多角形としてもよく、楕円形状としても良い。

また、ロックナットと嵌合孔との嵌合部の形状は略一致している必要はない。双方共に円筒以外であれば良く、且つ、軸方向視において、ロックナット 2 8 6 の外周をなす線上の任意の二点間距離の最大値と、嵌合孔 2 4 8 a 内周をなす線上の任意の二点間距離の最大値とが略一致（正確には、嵌合孔 2 4 8 a における前記最大値の方がわずかに大きい）していれば良い。

【 0 1 0 1 】

例えば、図 1 4 に示すように、軸方向視で、六角形の嵌合孔 2 4 8 a の 6 辺のうち、対向する 2 辺と線接触する四角形の外周形状を持つロックナット 2 8 6 A を用いても良い。この場合、図 1 2 と比較して、ロックナットと嵌合孔とが接触した場合にも接触面積が小さくなり、両者の相対移動を妨げ難くなる。

10

【 0 1 0 2 】

また、図 1 5 に示すように、嵌合孔 2 4 8 b の形状を軸方向視で楕円とし、嵌合 2 4 8 b の長軸と略同一の長軸を持ち、嵌合孔 2 4 8 b の短軸よりも短い短軸を有する楕円形の外周形状を持つロックナット 2 4 8 C を用いても良い。この場合、ロックナットと嵌合孔とが接触しても、接触面積が図 1 4 よりも更に小さくなるので、両者の相対移動をより妨げ難くなる。また、図示は省略するが、楕円の嵌合孔と多角形のロックナットとの組合せや、多角形の嵌合孔と楕円のロックナットとの組合せも可能である。

20

【 0 1 0 3 】

図 1 6 は、図 2 の圧電アクチュエータ 4 4 a に回り止め機構の第 2 例を設けた圧電アクチュエータ 3 4 4 a の軸方向断面図である。

本例では、図 1 6 に示すように、圧電アクチュエータ 3 4 4 a に取り付けられた二つのロックナットのうち、ハウジング 3 4 8 と嵌合する側（ピベット保持部材 3 4 の先端側、図 1 6 の左側）のロックナット 3 8 6 の少なくともピベット保持部材の先端側の外周形状を、ピベット保持部材の先端側に向かって縮径する円錐状のテーパ面 3 8 6 a としている。そして、このロックナット 3 8 6 と嵌合しているハウジング 3 4 8 の嵌合孔 3 4 8 a の形状を、テーパ面 3 8 6 a と略同等のテーパ形状としている。

【 0 1 0 4 】

この圧電アクチュエータ 3 4 4 a では、蓋 8 8 をハウジング 3 4 8 に固定する際、蓋 8 8 に圧電素子 9 2、スパーサ 9 0、転がり軸受 8 2、8 0 と共にロックナット 3 8 6 が軸方向に押圧され、ロックナット 3 8 6 のテーパ面 3 8 6 a が嵌合孔 3 4 8 a に押し付けられる。この結果、テーパ面 3 8 6 a と嵌合孔 3 4 8 a との間の摩擦により、ピベット保持部材 3 4 の回転を防止できる。図 1 1 ~ 図 1 5 の第 1 例では、嵌合孔 2 4 8 a とロックナット 2 8 6 との隙間によるガタ（回転可能な領域）が生じてしまい、ガタの大きさは加工精度に依存する。しかしながら、本例によれば、テーパ面 3 8 6 a と嵌合孔 3 4 8 a とを接触するまで押し付けたので、ガタを生じることはない。

30

【 0 1 0 5 】

また、この場合、圧電素子 9 2 を収縮させることにより、ピベット保持部材 3 4 をハウジング 3 4 8 に対し相対移動させることができる。このような構成は、マニピュレータの位置決め時等に、圧電アクチュエータ 3 4 4 a が駆動されず、粗動機構によりピベット保持部材 3 4 が粗動する等、ピベット保持部材 3 4 の装置全体に対する移動量が大きく回転し易い場合に、特に有効である。

40

【 0 1 0 6 】

以上、本発明に係る圧電アクチュエータに用いることが可能な回り止め機構について記載したが、この構成は第 1 例、第 2 例の形態に限定されない。例えば、ロックナットに突起を、この突起と係合する凹部をハウジングに設けることにより、回り止めを行ってもよく、ロックナットに凹部を、ハウジングに突起を設けてもよい。

【 0 1 0 7 】

また、第 1 例と第 2 例とを組合せてもよい。即ち、第 2 例で円錐状としたテーパ面を角

50

錘状とし、圧電素子の伸縮により回転方向のガタを調整することも可能である。さらに、これらと前述の凹部と突起を備える構成としてもよい。さらに、第1例、第2例のロックナットの外周形状をピペット保持部材に適用し、ハウジングとピペット保持部材との嵌合により回り止めを行う構成としても良い。

【0108】

また、ピペットの軸方向後端側に配置されたロックナットの形状は、前記第1例、第2例では特に限定されない。しかしながら、この後端側のロックナットの外周形状と、転がり軸受の外輪と接続する（ハウジングの動きと連動する）スペーサの内周形状とを第1例、第2例、または上記した他の例のようにして、回り止め機構を構成することも可能である。若しくは、各ロックナット毎に回り止め機構を構成することも可能である。

10

【産業上の利用可能性】

【0109】

以上の実施形態では、インジェクション用のマニピュレータについて説明したが、本発明の用途はこれに限定されない。

即ち、シャーレに貼り付いた試料を採取するために、キャピラリに振動を与えるためのマニピュレータに適用しても良い。

この場合、キャピラリと圧電アクチュエータとの距離を上記実施形態の場合よりも広くすることで、圧電アクチュエータから振動を与えた場合に、慣性の法則（振動に対する動きの鈍さ）も伴って揺動し、試料をベースから剥ぎ取ることができる。

【0110】

20

本発明によれば、上記のようなインジェクション操作や試料の剥ぎ取り操作を、ボールねじ等の直動装置やモータを不要とする、部品点数が少なくシンプルな構成の圧電アクチュエータにより行うことができる。また、ピペット保持部材の外周にねじ加工がされており、これに対応する雌ねじにより各部を装着するため、圧入により各部を装着する場合と比較して装着が容易であり、キャピラリ（ピペット保持部材先端側）と圧電アクチュエータとの距離の微調整も容易となる。

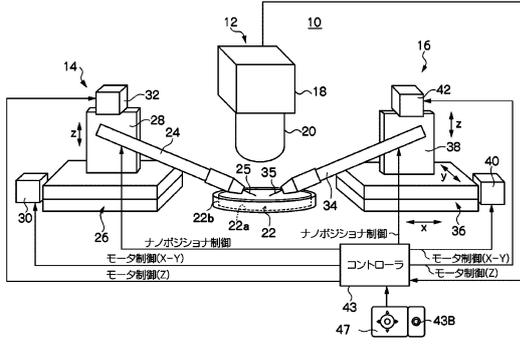
【符号の説明】

【0111】

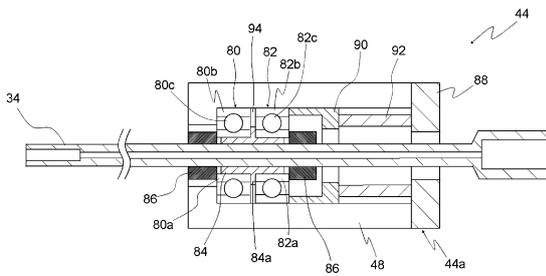
10 マニピュレータシステム、14 ホールディング用のマニピュレータ、16 インジェクション用のマニピュレータ、18 カメラ、20 顕微鏡、22 シャーレ、22 a 底面、22 b 側面、25 ホールディング用のキャピラリ、35 インジェクション用のキャピラリ、30, 32 駆動装置、40, 42 駆動装置、43 コントローラ、44 微動機構、45 表示部（監視手段）、45 a 画像表示部、45 b 警告ランプ、45 e, 45 f 画像表示部、47 ジョイスティック、92 圧電素子、97 電圧測定部（電圧検知手段）、98 警告部（監視手段）

30

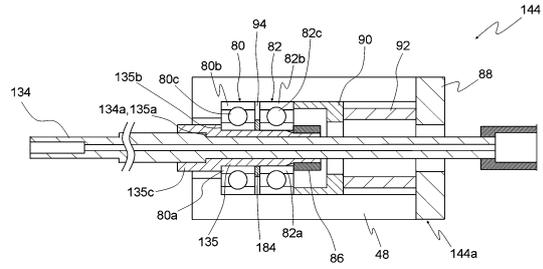
【図1】



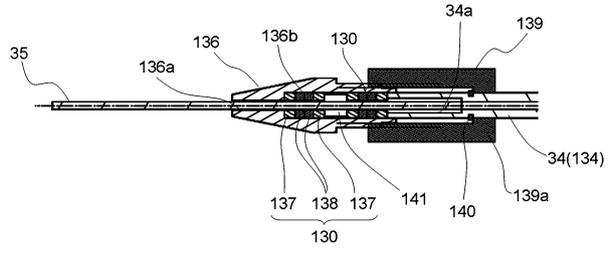
【図2】



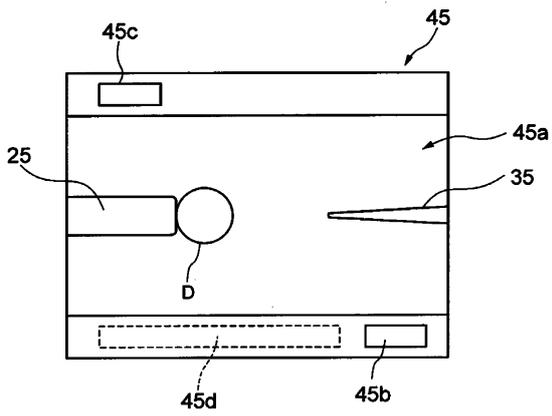
【図3】



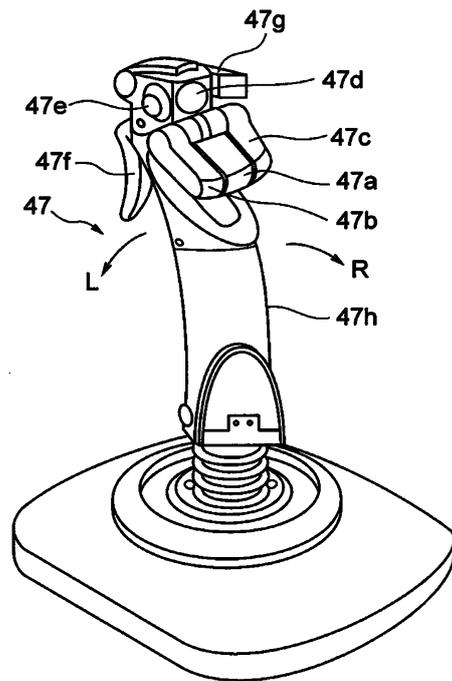
【図4】



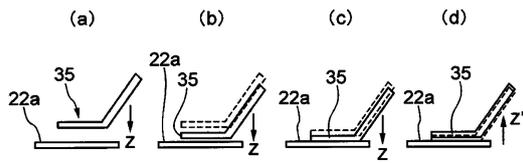
【図6】



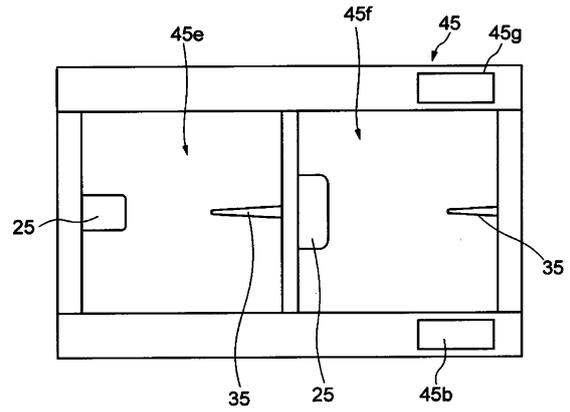
【図7】



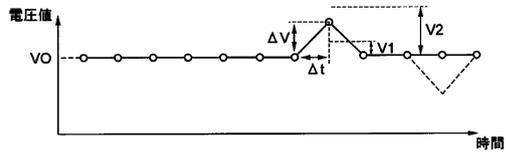
【 図 8 】



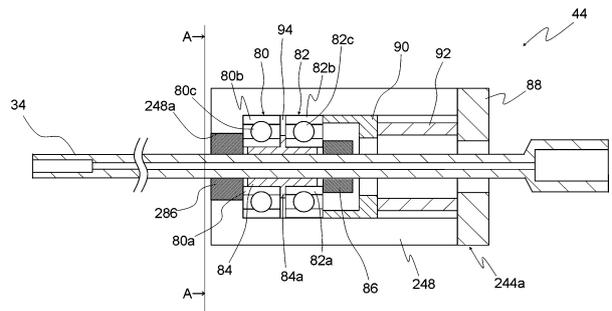
【 図 10 】



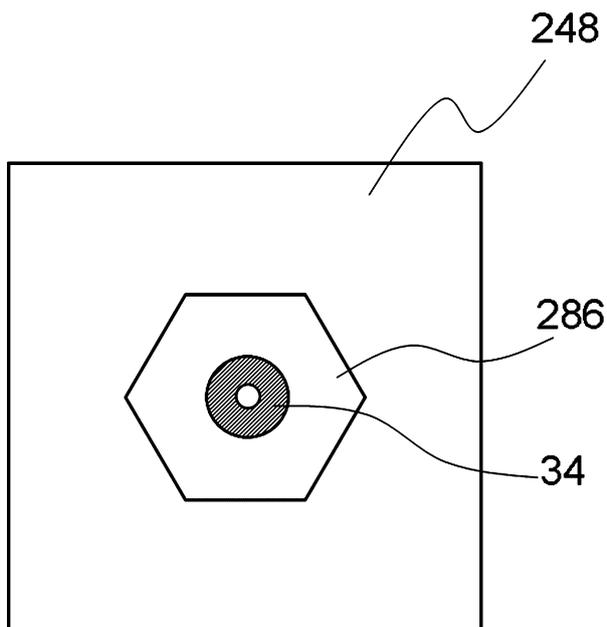
【 図 9 】



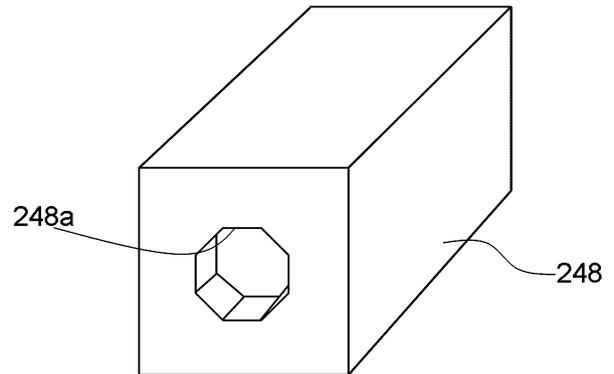
【 図 11 】



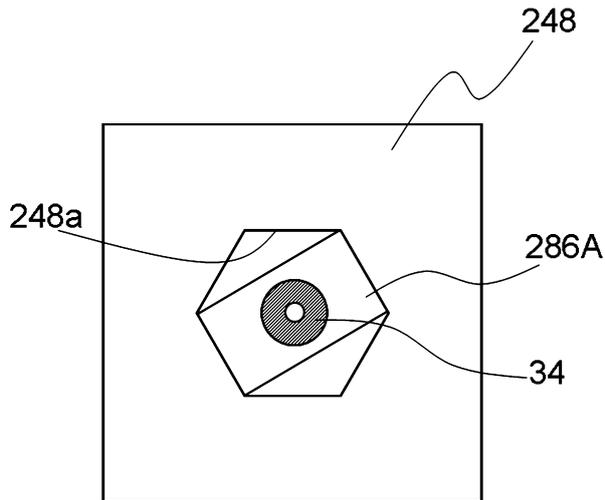
【 図 12 】



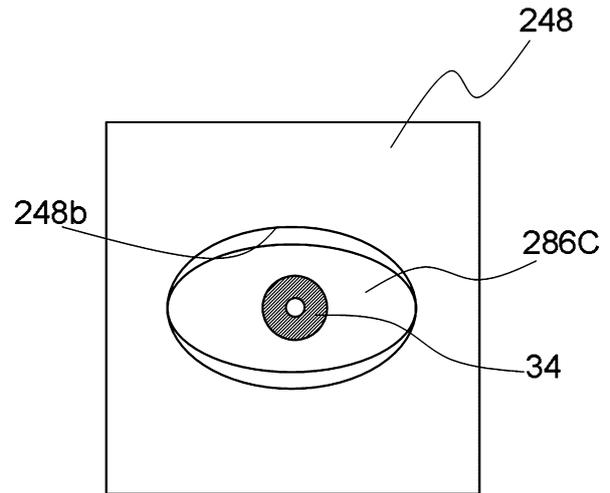
【 図 13 】



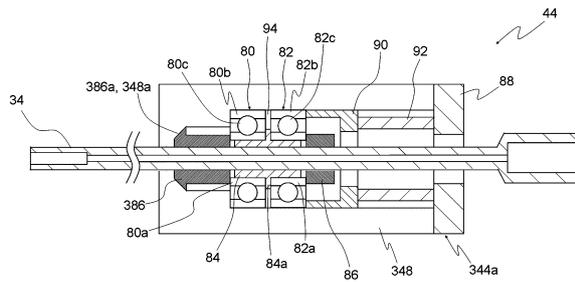
【図14】



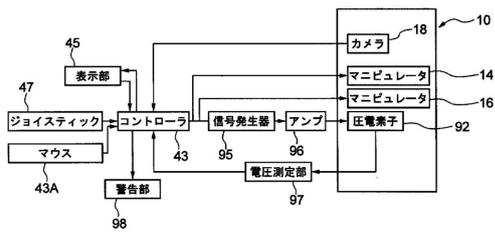
【図15】



【図16】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 伸明

神奈川県藤沢市鵜沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内

審査官 谷治 和文

(56)参考文献 特開2009-211024(JP,A)

特開2009-208220(JP,A)

特開平03-166079(JP,A)

特開2002-219625(JP,A)

特開平07-032286(JP,A)

国際公開第2007/036613(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 19/00

B25J 7/00

G02B 21/32