

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4825967号
(P4825967)

(45) 発行日 平成23年11月30日(2011.11.30)

(24) 登録日 平成23年9月22日(2011.9.22)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 L 5/16 (2006.01) G O 1 L 5/16

請求項の数 7 (全 11 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-138460 (P2005-138460)</p> <p>(22) 出願日 平成17年5月11日 (2005.5.11)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-317222 (P2006-317222A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年11月24日 (2006.11.24)</p> <p>審査請求日 平成20年1月15日 (2008.1.15)</p> <p>特許法第30条第1項適用 2004年12月17日 社団法人計測自動制御学会発行の「S12004 第5回 社団法人計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 講演論文集」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 504258527 国立大学法人 鹿児島大学 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号</p> <p>(74) 代理人 100090273 弁理士 園分 孝悦</p> <p>(72) 発明者 余 永 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内</p> <p>(72) 発明者 茶園 尚志 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内</p> <p>(72) 発明者 辻尾 昇三 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 力覚センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

外部からの力が作用する第1の梁部材と、
 前記第1の梁部材よりも剛性が低い材料から構成され、前記第1の梁部材の前記力が作用する領域を間に挟む位置に一端が回転可能に取り付けられ、対を成す第2の梁部材と、
 前記第2の梁部材の他端を回転可能に固定する固定手段と、
を有し、
前記対を成す第2の梁部材の各たわみの大きさに応じて前記外部からの力の大きさと方向が検出されることを特徴とする力覚センサ。

【請求項2】

前記第2の梁部材は、前記一端と前記他端との間に、前記一端及び前記他端よりも径が小さいくびれ部を有することを特徴とする請求項1に記載の力覚センサ。

【請求項3】

外部からの力が作用する第1の梁部材と、
 前記第1の梁部材よりも剛性が低い材料から構成され、前記第1の梁部材の前記力が作用する領域を間に挟む位置に一端が回転可能に取り付けられ、対を成す第2の梁部材と、
 前記第2の梁部材の他端を回転可能に固定する固定手段と、
を有し、
前記第2の梁部材は、前記一端と前記他端との間に、前記一端及び前記他端よりも径が小さいくびれ部を有することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 4】

前記固定手段は、前記第 1 の梁部材及び前記第 2 の梁部材を収納する筐体であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の力覚センサ。

【請求項 5】

外部からの力が作用する第 1 の梁部材と、
 前記第 1 の梁部材よりも剛性が低い材料から構成され、前記第 1 の梁部材の前記力が作用する領域を間に挟む位置に一端が回転可能に取り付けられ、対を成す第 2 の梁部材と、
 前記第 2 の梁部材の他端を回転可能に固定する固定手段と、
 を有し、
 前記固定手段は、前記第 1 の梁部材及び前記第 2 の梁部材を収納する筐体であることを特徴とする力覚センサ。

10

【請求項 6】

前記第 1 の梁部材は、前記力が作用する領域を交点として、互いに交差する 2 つの梁を有し、
 前記第 2 の梁部材は、前記 2 つの梁毎に 1 対ずつ取り付けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の力覚センサ。

【請求項 7】

外部からの力が作用する第 1 の梁部材と、
 前記第 1 の梁部材よりも剛性が低い材料から構成され、前記第 1 の梁部材の前記力が作用する領域を間に挟む位置に一端が回転可能に取り付けられ、対を成す第 2 の梁部材と、
 前記第 2 の梁部材の他端を回転可能に固定する固定手段と、
 を有し、
 前記第 1 の梁部材は、前記力が作用する領域を交点として、互いに交差する 2 つの梁を有し、
 前記第 2 の梁部材は、前記 2 つの梁毎に 1 対ずつ取り付けられていることを特徴とする力覚センサ。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットの指先に好適な力覚センサに関する。

30

【背景技術】

【0002】

ロボットの指先には力覚センサが用いられている。図 11 は、従来之力覚センサを示す模式図である。従来之力覚センサにおいては、構造体 111 の梁部 102 に歪ゲージ（図示せず）が貼り付けている。更に、構造体 111 には、梁部 102 の中央から突出する突出部 103 が形成されている。そして、突出部 103 の先端に力 F_x や F_z が作用すると、梁部 102 に表面歪が発生し、この歪量が歪ゲージを用いて読み取られる。この読み取り値から突出部 103 の先端に作用した力の方向及び大きさが分析される。また、従来之力覚センサには、X - Y 軸方向の感度と Z 軸方向の感度とが相違するという特徴がある。

【0003】

例えば、力 F_z が作用した場合には、支点から x の位置に、 $\epsilon_0 = (F_z x / EI) \cdot (H / 8)$ で表される歪 ϵ_0 が発生する。但し、 E は梁部 102 の縦弾性係数であり、 I は梁部 102 の断面 2 次モーメントであり、 H は梁部 102 の高さである。

40

【0004】

このような構成の従来之力覚センサにおいて、感度を高めるためには、構造体 111 の剛性を低くする必要がある。しかしながら、構造体 111 の剛性を低くすると、過剰な力入力があった場合、センサが容易に破壊されてしまう。即ち、感度と剛性を両立させることは困難である。

【0005】

【特許文献 1】特開 2004 - 45044 号公報

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、剛性を低くしなくても感度を向上させることができ、好ましくは3軸方向における感度を均等にすることができる力覚センサ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】

【0007】

本願発明者は、前記課題を解決すべく鋭意検討を重ねた結果、以下に示す発明の諸態様に想到した。

【0008】

本発明に係る力覚センサは、外部からの力が作用する第1の梁部材と、前記第1の梁部材よりも剛性が低い材料から構成され、前記第1の梁部材の前記力が作用する領域を間に挟む位置に一端が回転可能に取り付けられ、対を成す第2の梁部材と、前記第2の梁部材の他端を回転可能に固定する固定手段と、を有し、前記対を成す第2の梁部材の各たわみの大きさに応じて前記外部からの力の大きさと方向が検出されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、第2の梁部材において第1の梁部材よりも大きな歪が発生するため、第1の梁部材の剛性を維持したまま高い感度を得ることができる。従って、力覚センサ全体として、剛性を低下させることなく高い感度を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の実施形態について添付の図面を参照して具体的に説明する。図1は、本発明の実施形態に係る力覚センサの外観を示す図であり、図2は、力覚センサの内部構造を示す図である。

【0011】

この力覚センサ1には、平面形状が十字型の梁部(第1の梁部材)2及びこの梁部2の中心から突出する突出部3を備えた構造体11が設けられている。構造体11は、例えばステンレス製である。梁部2の4つの端部は、夫々弾性梁(第2の梁部材)4に回転可能に連結されている。弾性梁4は、例えばジュラルミン製である。即ち、各弾性梁4の下端及び梁部2の各端部には、これらを貫通する穴が形成されており、この穴の中にシャフト12(図5参照)が挿入されている。そして、これらが筐体5に収納されている。筐体5の内側には、4つの固定部(固定手段)51(図4A~図4C参照)が設けられており、この固定部51の各々に各弾性梁4が回転可能に固定されている。即ち、各弾性梁4の上端及び各固定部51には、これらを貫通する穴が形成されており、この穴の中にシャフト13(図5参照)が挿入されている。

【0012】

次に、弾性梁4について説明する。図3は、弾性梁4を示す模式図である。弾性梁4には、構造体11との連結の際にシャフト12が貫通する穴45が形成された下端部41、筐体5の固定部51への固定の際にシャフト13が貫通する穴46が形成された上端部44、並びに、下端部41及び上端部44間に位置する基部42及びくびれ部43が設けられている。くびれ部43には、歪ゲージ(図示せず)が貼り付けられている。基部42はくびれ部43よりも下端部41側に設けられており、その径は、くびれ部43の径よりも大きい。なお、例えば、穴45の断面形状は直径がシャフト12の直径と同程度の円形であり、穴46の断面形状は、上端部44がシャフト13に相対して弾性梁4の長手方向に移動可能なように、長方形の両端に半円が付された形状である。

【0013】

ここで、構造体11及び弾性梁4の変形について説明する。図4Aは、突出部3に力が作用していない状態を示す模式図であり、図4Bは、突出部3に突出部が延びる方向と平行な方向から力 F_z が作用している状態を示す模式図であり、図4Cは、突出部3に突出

10

20

30

40

50

部が伸びる方向と垂直な方向から力 F_x が作用している状態を示す模式図である。

【 0 0 1 4 】

図 4 A に示すような定常状態にある力覚センサ 1 に対して、図 4 B に示すように、力 F_z が作用すると、弾性梁 4 の上端部 4 4 が固定部 5 1 に回転可能に固定されているため、構造体 1 1 の梁部 2 の中央がへこむようにたわむと共に、弾性梁 4 もたわむ。このとき、弾性梁 4 では、くびれ部 4 3 において幅が最も狭いため、たわみ変形はくびれ部 4 3 に集中する。

【 0 0 1 5 】

また、図 4 C に示すように、力 F_x が作用した場合には、梁部 2 が波状に 2 箇所互いに異なる方向にたわむと共に、弾性梁 4 のくびれ部 4 3 もたわむ。但し、一部の弾性梁 4 においては、そのくびれ部 4 3 のたわみ変形の方向が、力 F_z が作用した場合とは相違する。

10

【 0 0 1 6 】

ここで、構造体 1 1 に作用する力の大きさと弾性梁 4 のたわみ変形との関係について説明する。図 5 は、弾性梁 4 のたわみ変形を示す図である。図 6 は、くびれ部 4 3 のたわみを示す図である。図 7 は、弾性梁 4 のたわみ変形を模式的に示す図である。以下の説明では、くびれ部 4 3 の長さを a_x 、シャフト 1 2 の中心からくびれ部 4 3 の中心までの距離を a_1 、シャフト 1 3 の中心からくびれ部 4 3 の中心までの距離を a_2 、くびれ部 4 3 の幅を h 、くびれ部 4 3 のたわみ角を α 、くびれ部 4 3 のたわみ変形における曲率半径を ρ とする。

20

【 0 0 1 7 】

くびれ部 4 3 のたわみ角 α は、図 7 に示すように、たわみ変形前にくびれ部 4 3 の軸があった位置と変形後に軸がある位置とのなす角度 α 及び Φ を用いて表すことができる。

【 0 0 1 8 】

図 7 では、数 1 に示す関係が成り立っている。

【 0 0 1 9 】

【数 1】

$$a_1 \sin \Phi = a_2 \sin \alpha$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a_1 \sin \Phi}{a_2} \right)$$

30

【 0 0 2 0 】

たわみ角 Θ は、角度 α 及び Φ の和であるため、数 2 で表される。

【 0 0 2 1 】

【数 2】

$$\Theta = \alpha + \Phi = \sin^{-1} \left(\frac{a_1 \sin \Phi}{a_2} \right) + \Phi$$

【 0 0 2 2 】

40

ここで、くびれ部 4 3 の表面長さの変化量を Δa とすると、くびれ部 4 3 の歪 ε は、数 3 で表される。

【 0 0 2 3 】

【数 3】

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a_x} = \frac{(\rho + h/2)\Theta - \rho\Theta}{a_x} = \frac{h}{2a_x} \cdot \Theta$$

【 0 0 2 4 】

数 3 に数 2 の Θ を代入すると、数 4 が得られる。

【 0 0 2 5 】

50

【数 4】

$$\varepsilon = \frac{h}{2a_x} \Theta = \frac{h}{2a_x} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{a_1}{a_2} \sin \Phi \right) + \Phi \right\}$$

【0026】

たわみ角は微小 ($\ll 1$) であるため、 \sin 、 \cos 1 と近似することができる。従って、数 4 は数 5 と変形することができる。

【0027】

【数 5】

$$\Phi \left(\frac{a_1}{a_2} + \cos \frac{2a_x \varepsilon}{h} \right) = \sin \left(\frac{2a_x \varepsilon}{h} \right)$$

10

【0028】

従って、くびれ部 43 を $(2a_x) / h$ が微小 ($(2a_x) / h \ll 1$) になるように形成されている場合には、数 6 の関係が成り立つ。

【0029】

【数 6】

$$\varepsilon = \frac{(a_1 + a_2)h}{2a_x a_2} \cdot \Phi$$

20

【0030】

また、2点支持梁においては、その長さを L 、縦弾性係数を E 、断面 2 次モーメントを I とすると、中心に力 F_1 が作用した時に支点から x の位置に生じるたわみ角 Φ' は、数 7 で表される。

【0031】

【数 7】

$$\Phi' = \frac{x^2 - L^2/4}{4EI} \cdot F_1$$

【0032】

本実施形態では、力 F_1 が 4 個の弾性梁 4 に伝達されるため、弾性梁 4 のくびれ部 43 におけるたわみ角 Φ' は $\Phi' / 4$ となる。このため、数 6 及び数 7 より、歪 ε_0 は、数 8 で表される。

30

【0033】

【数 8】

$$\varepsilon = \frac{(a_1 + a_2)h}{2a_x a_2} \cdot \frac{\Phi'}{4} = \frac{(a_1 + a_2)h}{2a_x a_2} \cdot \frac{x^2 - L^2/4}{16EI} \cdot F_1 = \frac{(a_1 + a_2)h}{32a_x a_2} \cdot \frac{x^2 - L^2/4}{EI} \cdot F_1$$

【0034】

一方、構造体 11 のみに着目した場合、梁部 2 の高さを H とすると、中心に力 F_1 が作用した時に支点から x の位置に生じる歪 ε_0 は、数 9 で表される。

40

【0035】

【数 9】

$$\varepsilon_0 = -\frac{F_1 x}{EI} \cdot \frac{H}{8}$$

【0036】

数 8 で表される歪 ε と数 9 で表される ε_0 とを比較すると、数 10 のようになる。

【0037】

50

【数 10】

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = -\frac{(l_1+l_2)h}{32l_x l_2} \cdot \frac{x^2 - L^2/4}{EI} \cdot F_1 \cdot \frac{EI}{F_1 x} \cdot \frac{8}{H} = -\frac{(l_1+l_2)h}{4l_x l_2} \cdot \frac{x^2 - L^2/4}{xH}$$

【0038】

この数 10 は、 $\gamma_0 > 1$ が満たされれば、本実施形態によって従来の力覚センサよりも高い感度を得られることを示している。

【0039】

数 10 は、突出部 3 が延びる方向に平行な方向から力が作用した場合に成り立つ式であるが、突出部 3 が延びる方向に直交する方向から力が作用した場合にも、歪 γ_0 よりも大きくすることが可能である。

10

【0040】

また、Z 方向（突出部 3 が延びる方向に平行な方向）と X 方向及び Y 方向（突出部 3 が延びる方向に直交する方向）との感度の関係に関し、本実施形態によれば、弾性梁 4 の材料及び形状等を適宜調節することにより、これらの 3 軸方向における感度を均一なものとすることも可能である。これらの感度を均一なものとすることにより、出力データの解析が容易になる等の効果が得られる。

【0041】

次に、本願発明者が実際に作製した力覚センサ 1 の性能について説明する。この力覚センサ 1 では、構造体 11 をステンレス製とし、その梁部 2 の長さ L を 10.0 mm、高さ H を 2.00 mm とした。また、弾性梁 4 をジュラルミン製とし、そのくびれ部 43 に關する長さ a1 を 9 mm、長さ a2 を 3.25 mm、長さ a_x を 3.50 mm、幅 h を 1.00 mm とした。また、くびれ部 43 に歪ゲージを貼り付け、歪 γ_0 の大きさに比例する電圧を測定可能にした。

20

【0042】

そして、突出部 3 の先端に、500 g、1 kg 及び 2 kg の 3 種類の重りを個別に吊るし、各重りが吊るされた時の電圧の測定を行った。なお、重りを吊るす方向は、突出部 3 が延びる方向に垂直な方向（X 方向）、及び突出部 3 が延びる方向に平行な方向（Z 方向）の 2 方向とした。この測定結果を表 1 に示す。

【0043】

30

【表 1】

重りの質量	500g	1kg	2kg
X 方向	53.874	102.929	190.709
Z 方向	18.304	40.319	106.585

【0044】

また、比較のために、弾性梁 4 を設けずに、梁部 2 の中心に歪ゲージを貼り付け、歪 γ_0 の大きさに比例する電圧を、上記の測定と同様にして測定した。この結果を表 2 に示す。

【0045】

40

【表 2】

重りの質量	500g	1kg	2kg
X 方向	15.595	32.266	64.850
Z 方向	2.154	4.620	9.958

【0046】

表 1 及び表 2 に示す結果から、 γ_0 を求めると表 3 のようになる。

【0047】

【表 3】

重りの質量	500g	1kg	2kg
X方向	3.455	3.190	2.941
Z方向	8.496	8.727	10.704

【0048】

このように、弾性梁4を備えた力覚センサ1では、弾性梁4がない力覚センサと比較して、X方向で3倍程度、Z方向で9倍程度の高い出力電圧が得られた。このことは、弾性梁4を備えた力覚センサ1では、X方向で3倍程度、Z方向で9倍程度の高い感度が得られることを示している。但し、X方向とY方向とでは、構造が同一であるため、Y方向でもX方向と同程度の感度が得られる。

10

【0049】

また、本願発明者は、剛性等の確認のため、上記の重りを吊るした後、重りを吊るしてある糸を瞬時に切断し、弾性梁4を備えた力覚センサ1による測定結果をグラフ化した。この結果を図8A乃至図8C及び図9A乃至図9Cに示す。図8A乃至図8Cは、重りをX方向に吊るした時の結果を示し、図9A乃至図9Cは、重りをZ方向に吊るした時の結果を示している。また、図8A及び図9Aは、500gの重りを吊るした時の結果を示し、図8B及び図9Bは、1kgの重りを吊るした時の結果を示し、図8C及び図9Cは、2kgの重りを吊るした時の結果を示している。

【0050】

図8A乃至図8C及び図9A乃至図9Cに示すように、どの荷重及びどの懸架方向においても、オーバーシュート及び時間遅れ等は生じなかった。このことは、動特性が優れており、十分な剛性を備えていることを意味している。

20

【0051】

なお、弾性梁4の穴45及び46の直径がシャフト12及び13の直径と一致している場合、これらの間の摩擦が大きくなり、正確な測定が困難になる場合がある。逆に、弾性梁4の穴45及び46の直径がシャフト12及び13の直径よりも大きすぎる場合には、弾性梁4及び構造体11ががたついてしまって、正確な測定が困難になる。そこで、図10に示すように、下端部41については、長さ方向の中心に近づくほど直径が狭くなる穴45aを形成することが好ましい。上端部44についても同様である。

30

【0052】

また、上述の本発明の実施形態についての説明では、力が作用する方向として2方向のみを挙げているが、これらに直交する方向(Y方向)から力が作用してもよい。更に、これらの間の方向から力が作用してもよい。この場合、例えば、力の作用方向を互いに直交する3方向に分解すればよい。なお、力の作用方向が上述のX方向及びZ方向のみである場合には、梁部2の平面形状は十字型である必要はなく、1つの梁が設けられていればよい。

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】本発明の実施形態に係る力覚センサ1の外観を示す図である。

40

【図2】力覚センサ1の内部構造を示す図である。

【図3】弾性梁4を示す模式図である。

【図4A】突出部3に力が作用していない状態を示す模式図である。

【図4B】突出部3に力 F_z が作用している状態を示す模式図である。

【図4C】突出部3に力 F_x が作用している状態を示す模式図である。

【図5】弾性梁4のたわみ変形を示す図である。

【図6】くびれ部43のたわみを示す図である。

【図7】弾性梁4のたわみ変形を模式的に示す図である。

【図8A】500gの重りをX方向に吊るした時の結果を示すグラフである。

【図8B】1kgの重りをX方向に吊るした時の結果を示すグラフである。

50

- 【図8C】 2kgの重りをX方向に吊るした時の結果を示すグラフである。
- 【図9A】 500gの重りをZ方向に吊るした時の結果を示すグラフである。
- 【図9B】 1kgの重りをZ方向に吊るした時の結果を示すグラフである。
- 【図9C】 2kgの重りをZ方向に吊るした時の結果を示すグラフである。
- 【図10】 シャフトが貫通する穴の例を示す断面図である。
- 【図11】 従来の方覚センサを示す模式図である。

【符号の説明】

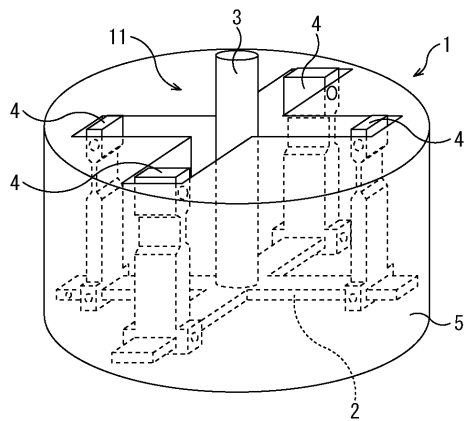
【0054】

- 1：力覚センサ
- 2：梁部
- 3：突出部
- 4：弾性梁
- 5：筐体
- 11：構造体
- 12、13：シャフト
- 41：下端部
- 42：基部
- 43：くびれ部
- 44：上端部
- 45、45a、46：穴
- 51：固定部

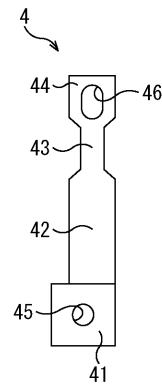
10

20

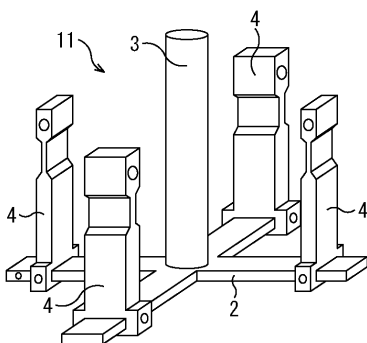
【図1】



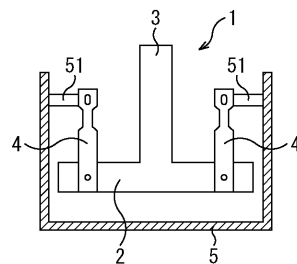
【図3】



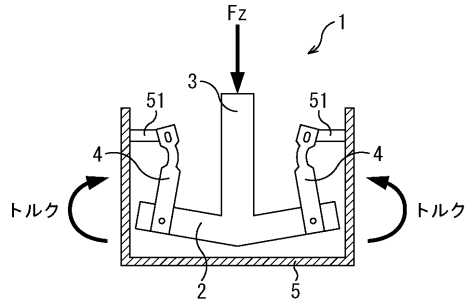
【図2】



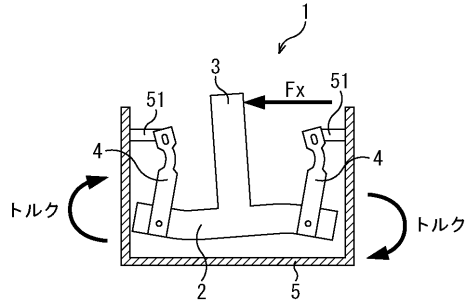
【図4A】



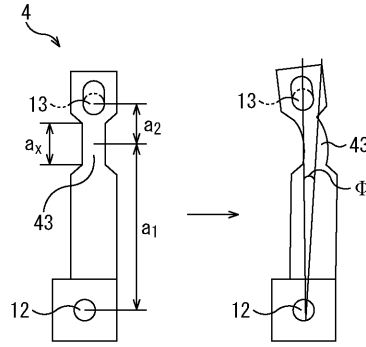
【図4B】



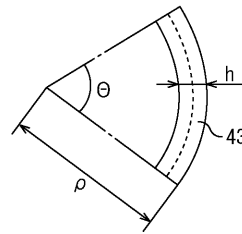
【図4C】



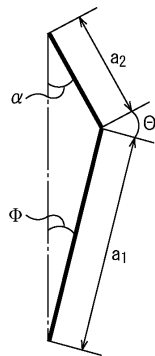
【図5】



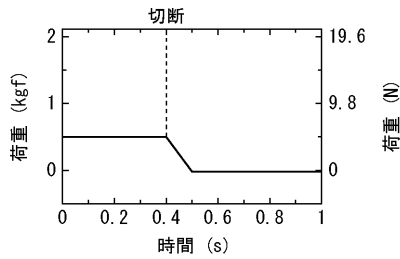
【図6】



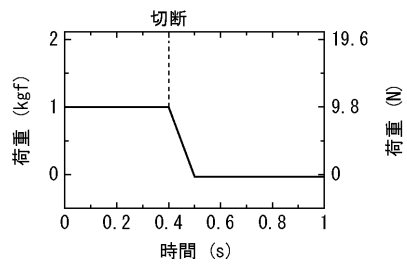
【図7】



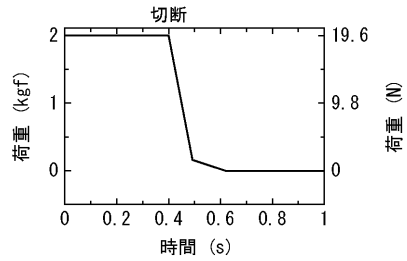
【図8A】



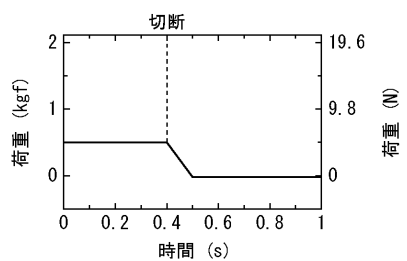
【図8B】



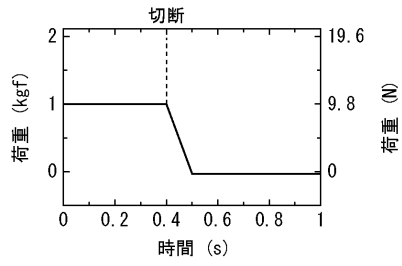
【図8C】



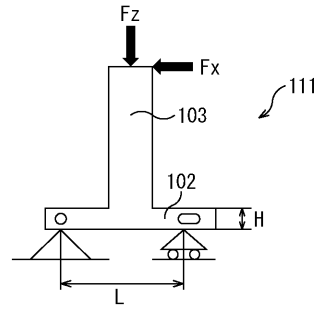
【図9A】



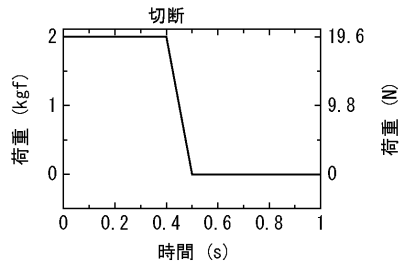
【図9B】



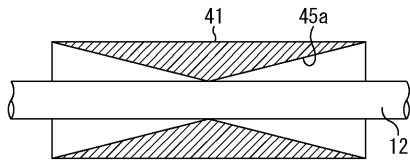
【図11】



【図9C】



【図10】



フロントページの続き

審査官 田邊 英治

- (56)参考文献 特開平06-174540(JP,A)
特開昭61-057828(JP,A)
特開昭49-113681(JP,A)
特開昭60-257335(JP,A)
特許第3168408(JP,B2)
特開2005-003494(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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