

## 明 細 書

**発明の名称**： ロボットの脚構造

### 技術分野

[0001] 本開示は、ロボットの脚構造に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、例えば下記の特許文献1には、人工足機構に関し、人体の脛骨に相当する脛骨部材と、人体の足に相当する足部材とを備え、足部材を、弾性材料で形成すると共に、その上端を上記脛骨部材の下端部に結合し、少なくとも下端部を下端に行くに従い前方に変位するように湾曲させ、足部材には、その幅方向においてバネ定数が異なるようにバネ定数調節手段を取着することが記載されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開平11-291189号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、上記特許文献に記載された構造では、足部材を弾性部材で形成したことにより、足が地面に接触した際に弾性部材に振動が生じる問題がある。このような構造をロボットに適用した場合、ロボットの挙動が不安定になるとともに、ロボットが転倒する虞も生じる。

[0005] 特に、ロボットは平地のみならず、坂道や凹凸路、階段など様々な場所を通行する。このような場合に、ロボットに振動が生じると、ロボットの歩行に支障が生じる可能性がある。

[0006] そこで、ロボットの脚の動作を安定させることが求められていた。

#### 課題を解決するための手段

[0007] 本開示によれば、膝関節から下に延在するリンクと、地面に接地する接地部と、前記リンクと前記接地部とを連結する弾性部材と、前記弾性部材と隣

接して配置され、前記リンクと前記接地部とを連結する減衰部材と、を備える、ロボットの脚構造が提供される。

### 図面の簡単な説明

[0008] [図1]本開示の一実施形態に係るロボットの脚構造1000を示す模式図である。

[図2A]板バネが、膝関節と接地点を結んだ線を股関節側に45°以上回転させた線の方向に延在するように配置された構成を示す模式図である。

[図2B]階段状の不整地を踏破する際に、階段の突起の位置に板バネが配置されることが無いため、脚構造と階段との干渉を回避できる様子を示す模式図である。

[図3]板バネ300の捩じり方向に応じた衝撃吸収性能を示す模式図である。

[図4]減衰部材400として、ゴム部品の代わりにダンパ性の機能部品として、油圧もしくは空気圧等の流体を用いたロッド410を使用した場合の変形例を示す模式図である。

[図5]減衰部材400として、ゴム部品の代わりに摩擦力を用いたワイヤロープ防振機430を使用した変形例を示す模式図である。

[図6]流体を用いたダンパと摩擦によるダンパを組み合わせた機能性ロッド430を使用した変形例を示す模式図である。

[図7]ジャミング構造440を使用した変形例を示す模式図である。

[図8A]3軸力センサのベース部と膝下リンクの先端部の位置の相関関係を測定することで、板バネの変形量を推定し、板バネの設計値から接地点における力を検出する変形例を示す模式図である。

[図8B]3軸力センサのベース部と膝下リンクの先端部の位置の相関関係を測定することで、板バネの変形量を推定し、板バネの設計値から接地点における力を検出する変形例を示す模式図である。

[図9]膝下リンク500の先端部510にカメラ570を配置した変形例を示す模式図である。

[図10]板バネ300が撓んでいない状態で、接地点01と膝関節200の回

転中心を結ぶ線分L3を定義した場合に、接地点O1は、板バネ300が撓むと、線分L1に対して股関節100と反対側の領域に移動する様子を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0009] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0010] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 前提
2. 本実施形態に係るロボットの脚構造
  2. 1. 全体構成
  2. 2. 具体的構成
3. 変形例

[0011] 1. 前提

ロボットなどの移動体の脚の機構においては、関節を駆動するアクチュエータが設けられる。所望の駆動力を確保するためには、アクチュエータの動力を高い減速比で減速して関節に伝達する。このような高減速比の機構を有する脚ロボットにおいては、軽量の構造で衝撃負荷から各関節の減速機を保護する技術が求められる。これは、減速比が高い故に、衝撃が加わった場合にアクチュエータに係る負荷が増大するためである。

[0012] 衝撃吸収構造として、一般的には車で使うような油圧サスペンションで用いられるものがあるが、軽量のロボットへの適用は困難が伴う。また、軽量の義足の板バネ構造を搭載した脚ロボットの研究が行われているものの、振動が大きく、振れ方向の負荷にも脆弱なため制御が難しい課題がある。さらに、板バネ構造を搭載した構造では、階段状の不整地で脚が干渉する場合もある。

[0013] 2. 本実施形態に係るロボットの脚構造

## 2. 1. 全体構成

本実施形態では、ロボットの脚構造において、膝下関節以下に弧形状の板バネを配置し、ダンパ成分を有する減衰部材を弧形状の板バネと並列して配置する。好適に、減衰部材は板バネの弧の内側に配置される。

[0014] 図1は、本開示の一実施形態に係るロボットの脚構造1000を示す模式図である。図1の右側の図は、ロボットの脚構造1000の全体像を示している。また、図1の左側の図は、ロボットの脚構造1000の先端部分を拡大して示している。図1に示すように、ロボットの脚構造1000は、股関節100（Hip関節ともいう）および膝（knee）関節200を有し、膝関節200よりも下側に、弧形状の板バネ300と、板バネ300と並列して配置された減衰部材400とが備えられている。板バネ300と減衰部材400は、膝関節200から下方に延在する膝下リンク500と、地面と接触する接地部600との間を連結する。減衰部材400は、例えば、減衰機能（ダンパ成分）を有するゴム部品から構成されている。なお、図1において、ロボットは、基本的には紙面左方向に移動するものとする。板バネ300は、その板面がロボットの進行方向に向いている。また、板バネ300は、ロボットの進行方向に向けて凸状に湾曲している。

[0015] このような構成によれば、板バネ300により、衝撃吸収構造の軽量化を達成することができ、減衰部材400のダンピング効果により、板バネ300の振動抑制に伴う制御性の向上を実現できる。また、特徴的な弧形状の板バネ300により、階段状の不整地などで地面との干渉回避を同時に実現している。

## [0016] 2. 2. 具体的構成

図1に示すように、脚構造1000の関節配置は、股関節100および膝関節200で構成され、膝下リンク500の主な構造体は、膝関節200と接地点602を結んだ線Lよりも股関節100側を通る構造となっている。

[0017] 股関節100は波動歯車を介した駆動源（アクチュエータ）で動作するように構成され、膝関節200は直動弾性アクチュエータ（SEA）を回転変

換した駆動源で動作するように構成されている。

- [0018] 接地部600には、3軸力センサ610が設けられている。膝下リンク500の先端部510は、弧状の板バネ300の根元部310と締結され、板バネ300先端部320は3軸力センサ610と締結されている。
- [0019] また、3軸力センサ610のベース部612と膝下リンク500の先端部510との間は、減衰部材400で連結されている。これにより、板バネ300の振動抑制が実現される。
- [0020] また、3軸力センサ610のベース部612にはストッパ614が設けられ、膝下リンク500の先端部510には、ストッパ512が設けられている。板バネ300が撓んだ際に、ストッパ614とストッパ512が当接することで、板バネ300が過負荷で永久変形することが抑止される。
- [0021] 図2Aに示すように、弧状の板バネ300は、膝関節200と接地点602を結んだ線Lを股関節100側に45°以上回転させた線L'の方向に延在するように配置されている。好適には、板バネ300は、線L'よりもロボットの移動方向の前側に配置されている。また、膝下リンク500は、上方に向けて凸形状を成し、下側に逃げ構造520が設けられている。また、股関節100と膝関節200はリンク550によって連結されている。
- [0022] このような構成により、図2Bの一点鎖線の領域A1に示すように、階段状の不整地を踏破する際に、階段の突起の位置に板バネ300が配置されることが無いため、脚構造1000と階段との干渉を確実に回避できる。また、図2B中の矢印A2に示すように、階段に対する接地点602の配置自由度が高くなるため、階段の踏み外しのリスクの抑制することができる。
- [0023] 図3は、板バネ300の捩じり方向に応じた衝撃吸収性能を示す模式図である。板バネ300は、弧状の形状を有することにより、図3に示すように、衝撃吸収性能が必要な捩じり方向の負荷に対しては剛性が低くされる一方、衝撃吸収性能が不要な捩り方向の負荷に対しては高剛性が保たれている。換言すれば、板バネ300は、図1に示すロボットの移動方向の前側からの負荷に対しては剛性が比較的 low、ロボットの移動方向と直交する方向（紙

面垂直方向)からの負荷に対しては高剛性が保たれている。これにより、負荷に対する制御性を向上することができる。

[0024] また、3軸力センサ610を接地点602と板バネ300の先端部320の間に配置していることで、図3に示す板バネ300の変形モデルと、3軸力センサ610の出力値の相関から、負荷がかかった際の板バネ300の変形量を推定することが可能である。

[0025] 3. 変形例

以下では、本実施形態のいくつかの変形例について説明する。図4は、減衰部材400として、ゴム部品の代わりにダンパ性の機能部品として、油圧もしくは空気圧等の流体を用いたロッド410を使用した場合の変形例を示す模式図である。3軸力センサ610のベース部612と膝下リンク500の間を、ダンパ機能を有するロッド410で連結する構造を用いることで、粘性係数を大きくし、減衰率を大きくすることが可能となる。これにより、振動を大幅に抑制する効果が得られる。

[0026] 図5は、減衰部材400として、ゴム部品の代わりに摩擦力を用いたワイヤロープ防振機430を使用した変形例を示す模式図である。この例では、3軸力センサ610のベース部612と膝下リンク500との間をワイヤロープ防振機430で連結する。これにより、ダンパ機能を有する減衰部材400の耐久性を向上することができる。

[0027] 図6は、図4に示すロッド410の代わりに用いられる、流体を用いたダンパと摩擦によるダンパを組み合わせた機能性ロッド430を使用した変形例を示す模式図である。図4と同様に、機能性ロッド430は、3軸力センサ610のベース部612と膝下リンク500の間を連結する。機能性ロッド430は、直動を回転に変換する伝達機構に滑りネジナット432と滑りネジ434を搭載し、滑りネジナット432のロッド長手方向の動きを滑りネジ434の回転運動に変換する。そして、滑りネジ434の回転部に回転型の流体ダンパ436が装備された直動ロッドの構造とされている。

[0028] これにより、滑りネジナット432及び滑りネジ434の摩擦成分と、回

転側の流体ダンパ436の粘性成分を直動に変換した粘性成分が合わさったダンパ機能部品が実現され、小型な構造で所望の減衰率を実現可能となっている。

[0029] 図7は、減衰部材400として、ゴム部品の代わりにジャミング構造440を使用した変形例を示す模式図である。ジャミング構造440を使用する場合は、ジャミング構造440が、パイプ442を通じてレギュレータ444およびコンプレッサ446と連結される。ジャミング構造440は、空気を抜くと弾性率が上がり、空気を封入すると、弾性率が下がる構造となっている。ジャミング構造440への空気の出し入れは、レギュレータ444、コンプレッサ446によって行われる。これにより、地面の状態に合わせて衝撃吸収機能に寄与する弾性率を変化させることが実現可能である。

[0030] 図8A及び図8Bは、3軸力センサ610のベース部612と膝下リンク500の先端部510の位置の相関関係を測定することで、板バネ300の変形量を推定し、板バネ300の設計値から接地点602における力を検出する変形例を示す模式図である。図8Aに示す構成では、膝下リンク500の先端部510に測距センサ514を配置し、3軸力センサ610のベース部612に反射材616を配置し、2点間の距離の変位を検出する。また、図8Bに示す構成では、膝下リンク500の先端部510にレーザユニット516を配置し、3軸力センサ610のベース部に受光素子612を配置することで、2点の相対位置関係を三次元で測定することが可能である。板バネ300の変形量が測定できると、制御装置900が板バネ300の変形量に基づいて、股関節100、膝関節200のアクチュエータを制御する。これにより、板バネ300の変形量に基づいて、接地点602における力を利用して股関節100、膝関節200を最適に制御することができる。

[0031] 図9は、膝下リンク500の先端部510にカメラ570を配置した変形例を示す模式図である。図9に示す例では、板バネ300が地面に直接接する構成とされている。膝下リンク500先端部510のカメラ570で板バネ300が地面に接触する部分の裏側の画像を観察することで、板バネ300

0の裏側の特徴点の移動量を3次元方向で検出することができる。更に、板バネ300の裏側の背景の周辺画像に基づいて、地面の状況を把握することも可能である。これにより、画像解析から板バネ300の変形量を求めることができ、図8A及び図8Bの例と同様に、板バネ300の設計値から接地点602における力を検出することができる。従って、接地点における力を利用したロボットの制御を行うことができる。

[0032] 上述したように、股関節100には、その駆動源として、波動歯車で減速されたアクチュエータが配置されている。また、膝関節200には、その駆動源として、直列弾性アクチュエータ（SEA）が配置されている。この構成により、接地部600などへの衝撃付加時において、膝関節200への負荷を直列弾性アクチュエータで主に軽減するとともに、股関節100への負荷を膝下関節以下の弧形状の板バネ300で主に軽減することができる。

[0033] 以上のような機能を発揮するため、図10に示すように、板バネ300が撓んでいない状態で、接地点01と膝関節200の回転中心を結ぶ線分L3を定義した場合に、接地点01は、板バネ300が撓むと、線分L1に対して股関節100と反対側の領域に移動し、02まで移動する。つまり、接地点01から接地点02までの移動方向は、線分L3の方向に沿っている。このような構成によれば、図10のように板バネ300が撓むことで、股関節100に負荷が実際に伝わるまでの間に時間を要するため、股関節100に係る衝撃を確実に吸収することができる。

[0034] より具体的には、図10に示すように、仮に板バネ300が撓んだ場合に接地点01が股関節100に向けてストロークSだけ移動するとすると、ストロークSの線分L1方向の成分S'が膝関節200に係ることになる。成分S'の方向には、板バネ300の変形による弾性力が十分に作用しないため、股関節100には短時間で衝撃が伝わることになる。この場合、板バネ300が撓む際に加えられた衝撃が大きいと、波動歯車で減速されたアクチュエータを備える股関節100が破損する可能性がある。

[0035] 一方、本実施形態によれば、板バネ300が撓む際の接地点の移動方向が



接地点〇１と膝関節２００の回転中心を結ぶ線分Ｌ３の方向であるため、線分Ｌ３の方向に接地点が移動する間に、板バネ３００の変形による弾性力が十分に作用し、股関節１００にはより時間をかけて衝撃が伝わることになる。従って、股関節１００にかかる衝撃を板バネ３００で確実に吸収することが可能である。これにより、波動歯車で減速されたアクチュエータを有し、衝撃に比較的弱い股関節１００を衝撃から確実に保護することができる。

[0036] また、直列弾性アクチュエータを駆動源としているため、衝撃負荷は直列弾性アクチュエータの弾性部で吸収されることになる。従って、股関節１００、膝関節２００のいずれにおいても、確実に衝撃負荷を抑制することができる。

[0037] 上述した例では、ロボットの脚構造１０００に本実施形態に係る板バネ３００、減衰部材４００、接地部６００を設けた例を示したが、ドローンなどの移動体にこれらを設けることもできる。例えば、ドローンの表面に板バネ３００及び減衰部材４００を介在させて接地部６００を連結し、衝撃吸収構造とすることで、重量を大幅に増加させることなく、高速に着地した場合や落下した場合でもドローン本体に加わる衝撃を軽減することが可能となる。

[0038] また、例えばハンマーや太鼓を打つ動作を行うロボット、テニス等を行うような、アームを備えたロボットにおいて、アーム先端に減衰部材４００、接地部６００を設けることで、アーム先端に高い衝撃負荷が生じた場合に、衝撃を吸収することができる。このような場合にも、関節に加わる負荷は、一定方向の負荷に限定されるため、アームの根元関節の減速機の保護に有効である。

[0039] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0040] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0041] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

- (1) 脚関節から下に延在するリンクと、  
地面に接地する接地部と、  
前記リンクと前記接地部とを連結する弾性部材と、  
前記弾性部材と隣接して配置され、前記リンクと前記接地部とを連結する減衰部材と、  
を備える、ロボットの脚構造。
- (2) 前記弾性部材は、前記接地部が地面に接地することで湾曲する板バネから構成される、前記(1)に記載のロボットの脚構造。
- (3) 前記板バネの板面がロボットの進行方向に向いている、前記(2)に記載のロボットの脚構造。
- (4) 前記板バネが前記進行方向に向けて凸状に湾曲している、前記(3)に記載のロボットの脚構造。
- (5) 前記減衰部材はゴム材料から構成される、前記(1)～(4)のいずれかに記載のロボットの脚構造。
- (6) 前記減衰部材は、油圧又は空気圧を利用して減衰を行う、前記(1)～(4)のいずれかに記載のロボットの脚構造。
- (7) 前記減衰部材は、摩擦を利用して減衰を行う。前記(1)～(4)のいずれかに記載のロボットの脚構造。
- (8) 前記減衰部材は、直線方向の動きを回転方向の動きに変換して減衰を行う、前記(1)～(4)のいずれかに記載のロボットの脚構造。
- (9) 前記減衰部材は、空気の導入により剛性が変化するジャミング構造である、前記(1)～(4)のいずれかに記載のロボットの脚構造。
- (10) 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記脚関節に向

けてロボットの移動方向と反対側に延び、

前記リンクは、上方に向けて凸状に湾曲している、前記（１）～（９）のいずれかに記載のロボットの脚構造。

（１１） 前記弾性部材が撓んだ場合に、前記リンクと前記接地部との直接的な接触を避けるためのストッパを備える、前記（１）～（１１）のいずれかに記載のロボットの脚構造。

（１２） 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記脚関節に向けてロボットの移動方向と反対側に延び、

前記板バネは、前記接地点と前記脚関節の回転中心を結ぶ線分を、前記接地点を回転中心としてロボットの進行方向に $45^\circ$ 回転した位置に配置される、前記（２）に記載のロボットの脚構造。

（１３） 前記板バネは、前記線分を $45^\circ$ 回転した位置よりもロボットの進行方向寄りに配置される、前記（１２）に記載のロボットの脚構造。

（１４） 前記脚関節は、

前記リンクの前記接地部との連結箇所と反対側が接続された第１の関節と

、

前記第１の関節で前記リンクに接続され、前記第１の関節よりも上方に延びる第２リンクと、

前記第２リンクの前記第１の関節側と反対側が接続された第２の関節と、  
を含み、

前記第１の関節は、直列弾性アクチュエータを駆動源とし、

前記第２の関節は、波動歯車で減速された駆動源を有する、前記（２）に記載のロボットの脚構造。

（１５） 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記第１の関節に向けてロボットの移動方向と反対側に延び、

前記第２リンクは、前記第１の関節から前記第２の関節に向けてロボットの移動方向に延び、

前記板バネが撓んでいない状態で、前記接地点と前記第１の関節の回転中

心を結ぶ線分を定義した場合に、前記接地点は、前記板バネが撓むと、前記線分に対して前記第2の関節と反対側の領域に移動する、前記（14）に記載のロボットの脚構造。

### 符号の説明

[0042]	100	股関節
	200	膝関節
	300	板バネ
	400	減衰部材
	600	接地部
	1000	脚構造

## 請求の範囲

- [請求項1] 脚関節から下に延在するリンクと、  
地面に接地する接地部と、  
前記リンクと前記接地部とを連結する弾性部材と、  
前記弾性部材と隣接して配置され、前記リンクと前記接地部とを連結する減衰部材と、  
を備える、ロボットの脚構造。
- [請求項2] 前記弾性部材は、前記接地部が地面に接地することで湾曲する板バネから構成される、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項3] 前記板バネの板面がロボットの進行方向に向いている、請求項2に記載のロボットの脚構造。
- [請求項4] 前記板バネが前記進行方向に向けて凸状に湾曲している、請求項3に記載のロボットの脚構造。
- [請求項5] 前記減衰部材はゴム材料から構成される、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項6] 前記減衰部材は、油圧又は空気圧を利用して減衰を行う、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項7] 前記減衰部材は、摩擦を利用して減衰を行う。請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項8] 前記減衰部材は、直線方向の動きを回転方向の動きに変換して減衰を行う、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項9] 前記減衰部材は、空気の導入により剛性が変化するジャミング構造である、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項10] 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記脚関節に向けてロボットの移動方向と反対側に延び、  
前記リンクは、上方に向けて凸状に湾曲している、請求項1に記載のロボットの脚構造。
- [請求項11] 前記弾性部材が撓んだ場合に、前記リンクと前記接地部との直接的

な接触を避けるためのストッパを備える、請求項 1 に記載のロボットの脚構造。

[請求項12] 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記脚関節に向けてロボットの移動方向と反対側に延び、

前記板バネは、前記接地点と前記脚関節の回転中心を結ぶ線分を、前記接地点を回転中心としてロボットの進行方向に  $45^\circ$  回転した位置に配置される、請求項 2 に記載のロボットの脚構造。

[請求項13] 前記板バネは、前記線分を  $45^\circ$  回転した位置よりもロボットの進行方向寄りに配置される、請求項 1 2 に記載のロボットの脚構造。

[請求項14] 前記脚関節は、

前記リンクの前記接地部との連結箇所と反対側が接続された第 1 の関節と、

前記第 1 の関節で前記リンクに接続され、前記第 1 の関節よりも上方に延びる第 2 リンクと、

前記第 2 リンクの前記第 1 の関節側と反対側が接続された第 2 の関節と、

を含み、

前記第 1 の関節は、直列弾性アクチュエータを駆動源とし、

前記第 2 の関節は、波動歯車で減速された駆動源を有する、請求項 2 に記載のロボットの脚構造。

[請求項15] 前記リンクは、前記接地部と地面との接地点から前記第 1 の関節に向けてロボットの移動方向と反対側に延び、

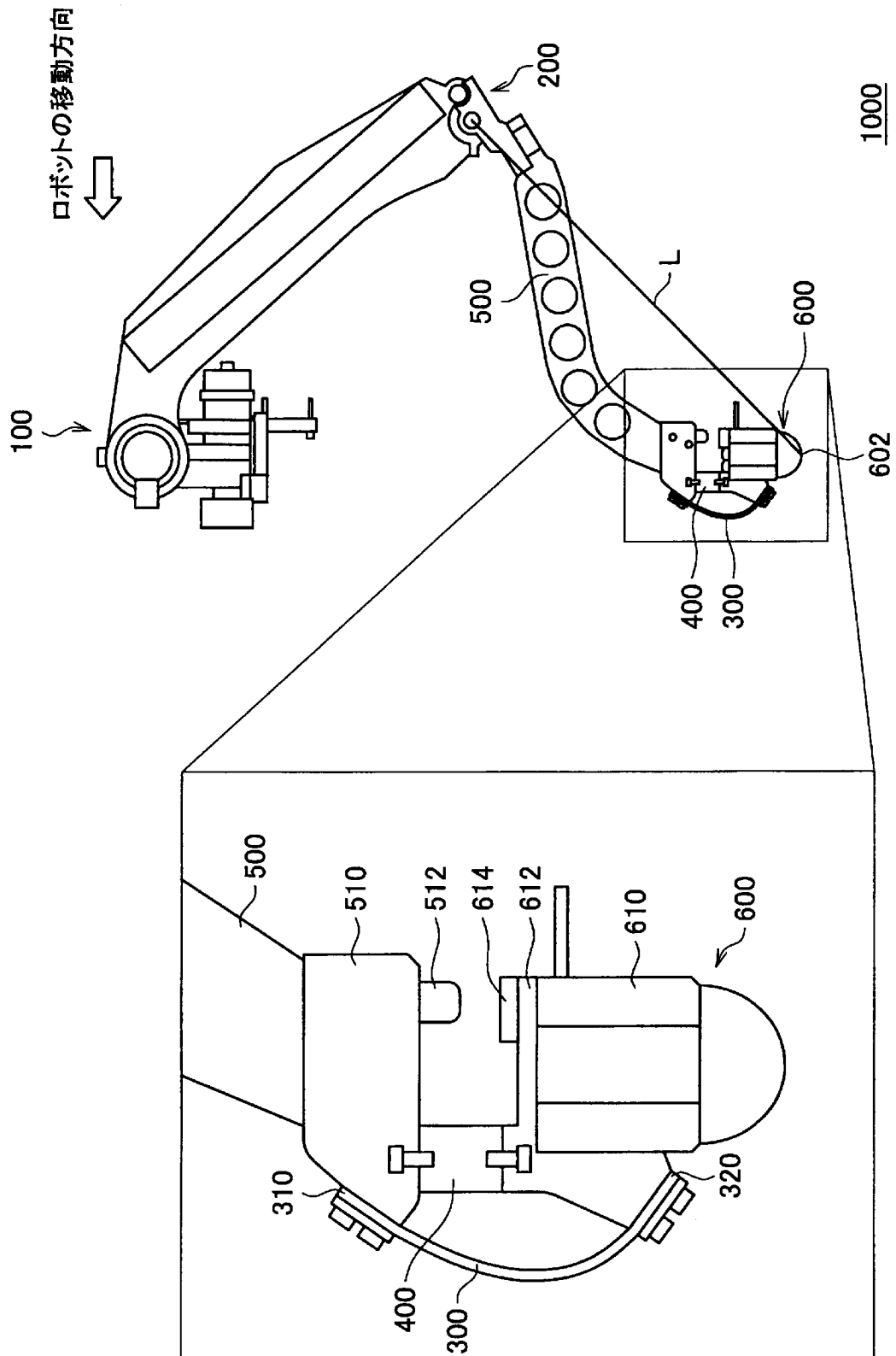
前記第 2 リンクは、前記第 1 の関節から前記第 2 の関節に向けてロボットの移動方向に延び、

前記板バネが撓んでいない状態で、前記接地点と前記第 1 の関節の回転中心を結ぶ線分を定義した場合に、前記接地点は、前記板バネが撓むと、前記線分に対して前記第 2 の関節と反対側の領域に移動する、請求項 1 4 に記載のロボットの脚構造。

## 要 約 書

脚関節から下に延在するリンク500と、地面に接地する接地部600と、リンク500と接地部600とを連結する板バネ300と、板バネ300と隣接して配置され、リンク500と接地部600とを連結する減衰部材400と、を備える。この構成により、減衰部材400が板バネ300による振動を減衰させるため、ロボットの脚の動作を確実に安定させることができる。

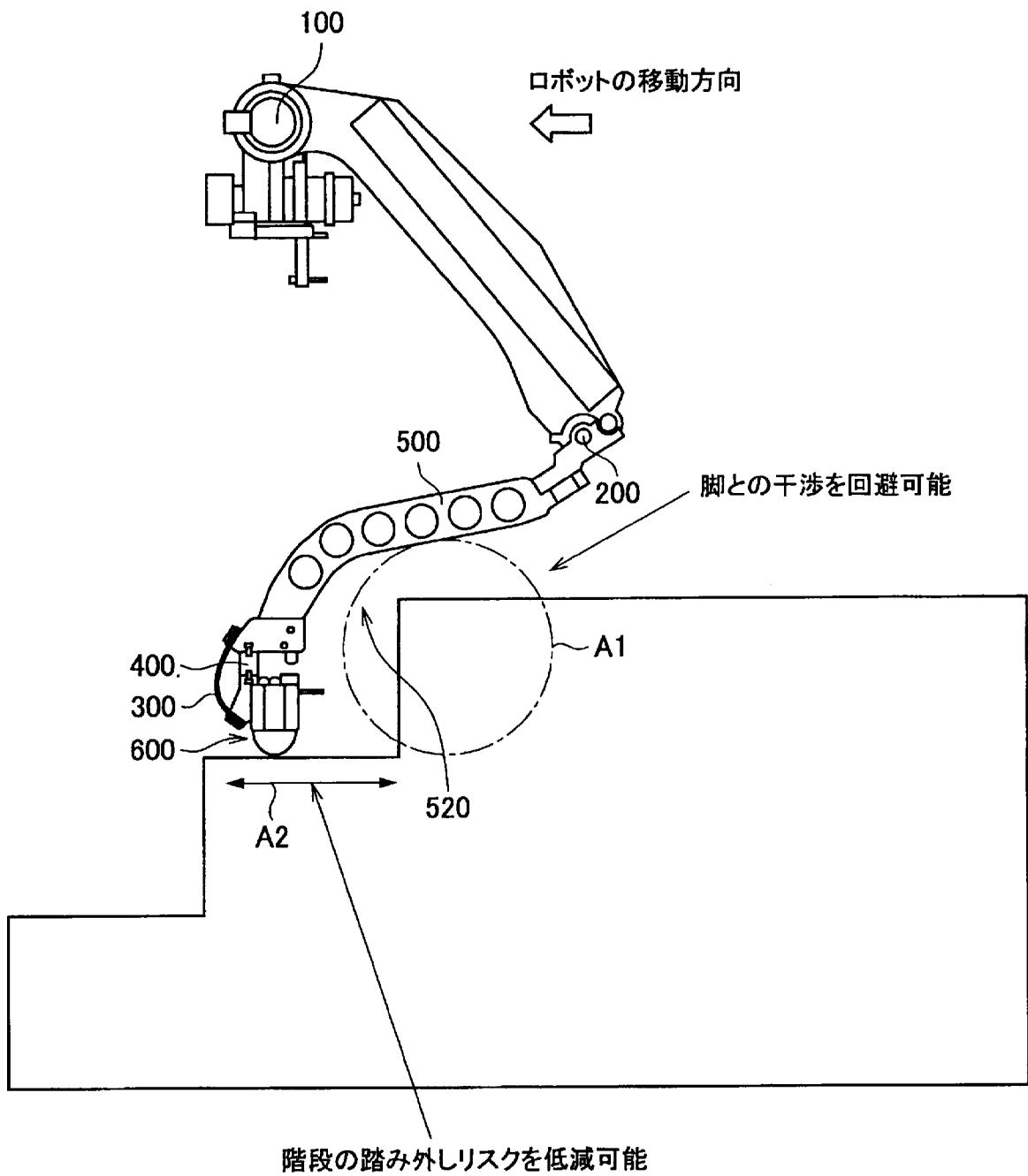
[図1]



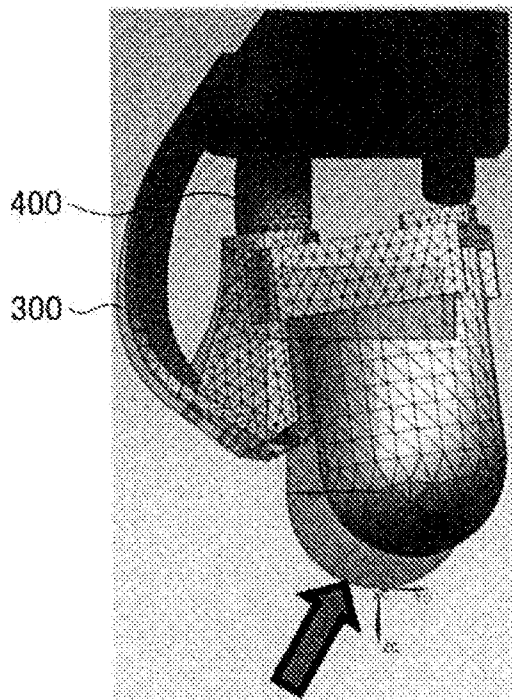




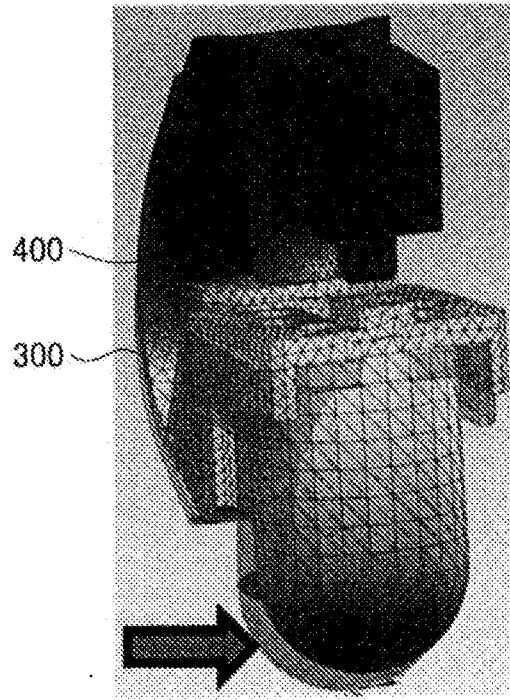
[図2B]



[図3]

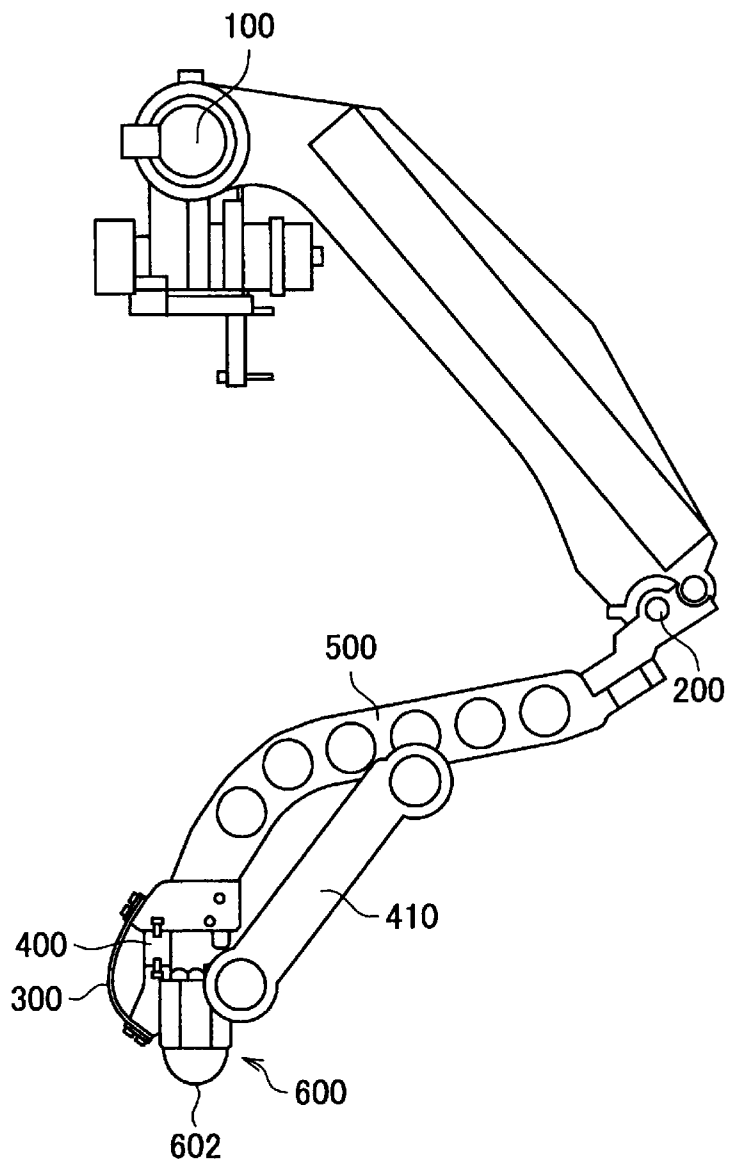


衝撃吸収したい方向には  
変形量大きい

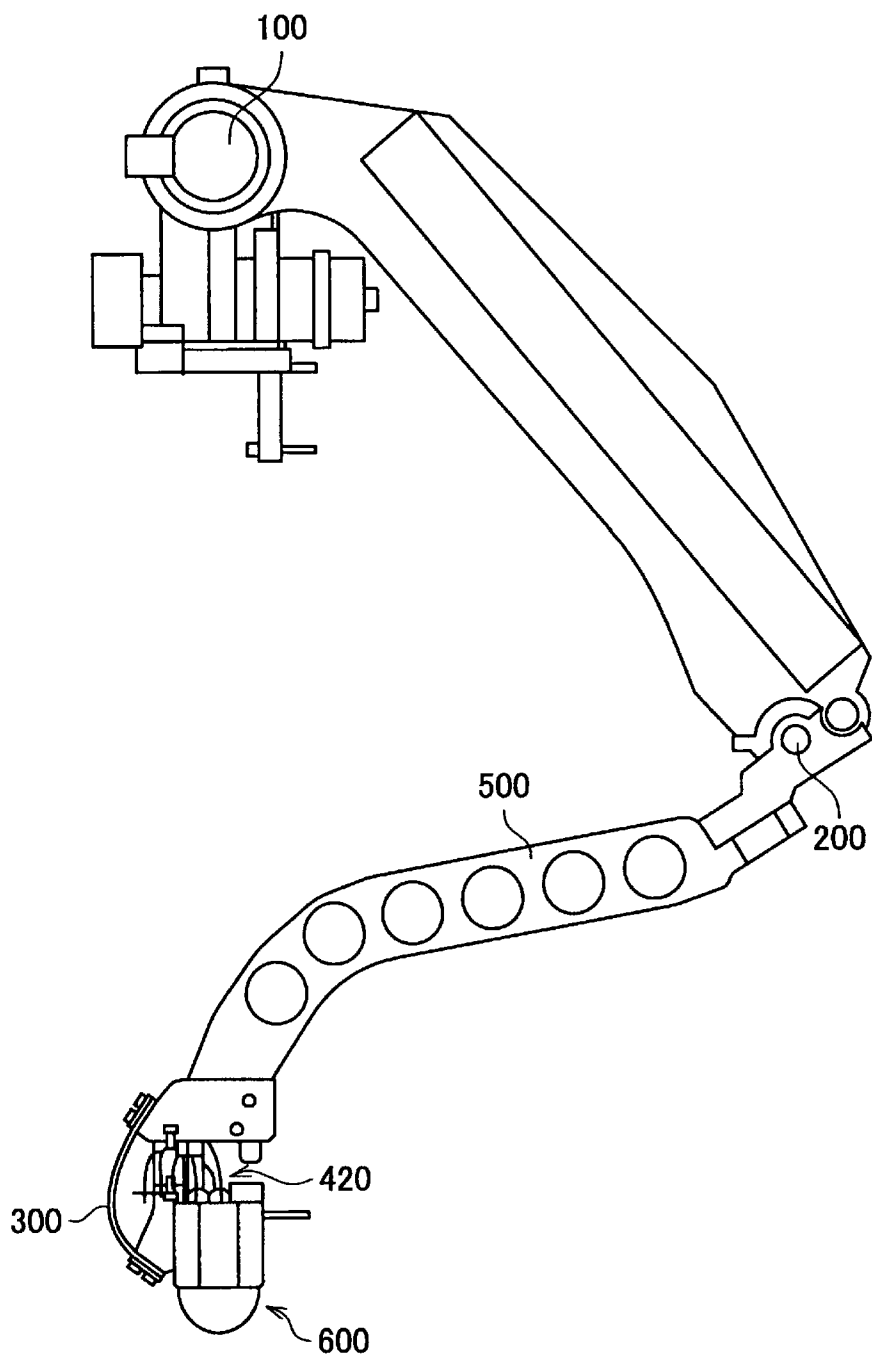


衝撃吸収が不要なねじれ方向の  
変形量は小さい

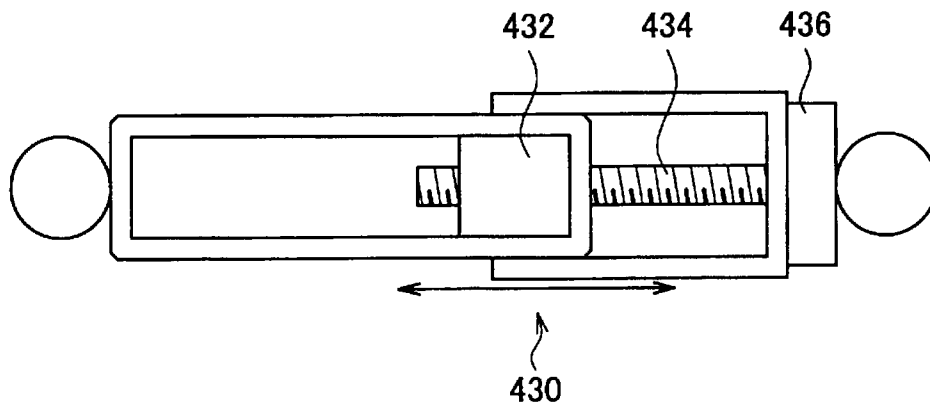
[圖4]



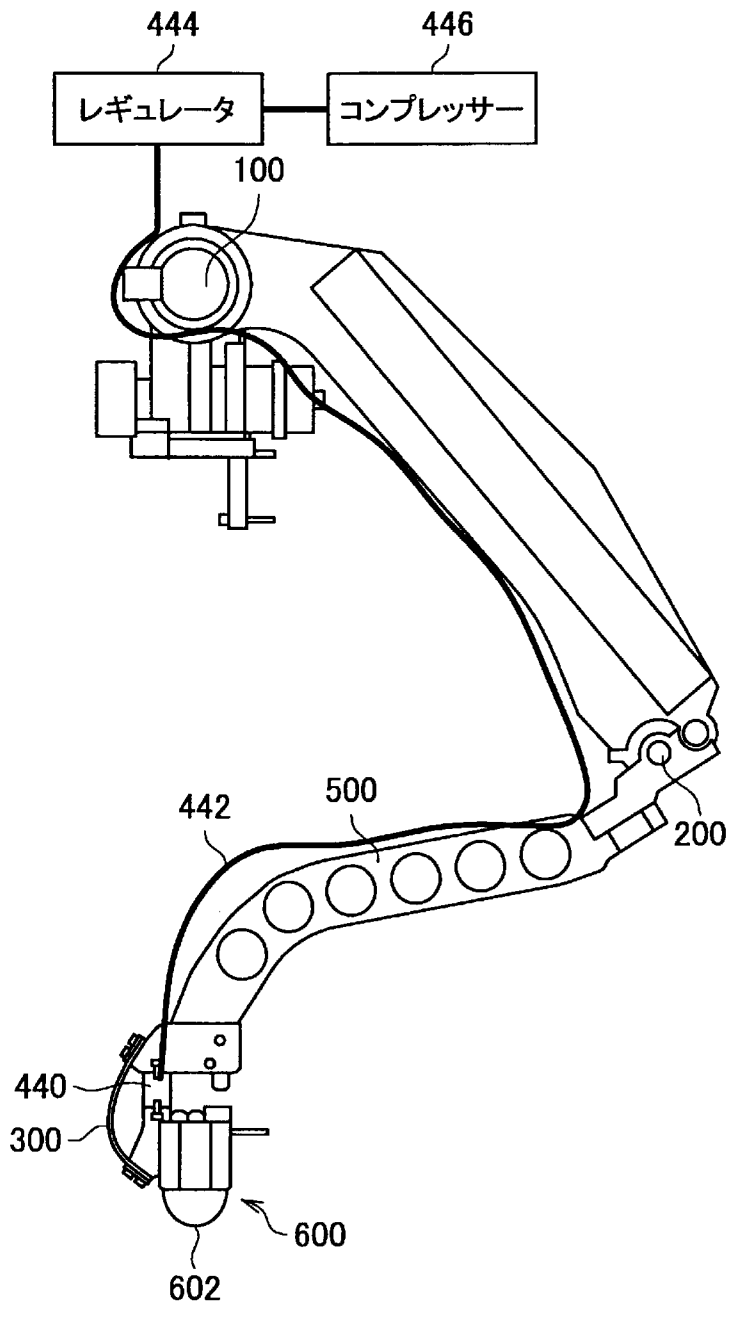
[圖5]



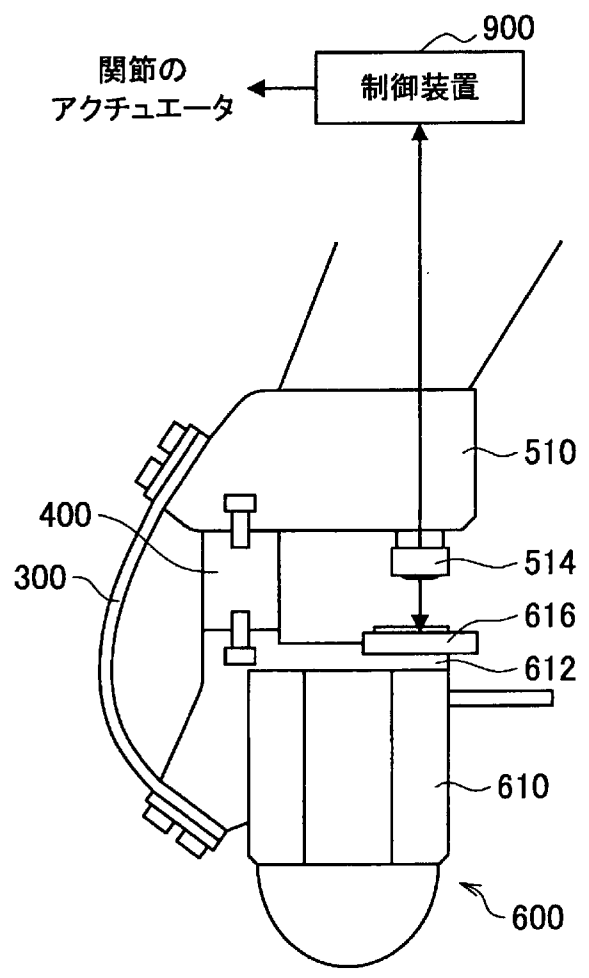
[図6]



[図7]

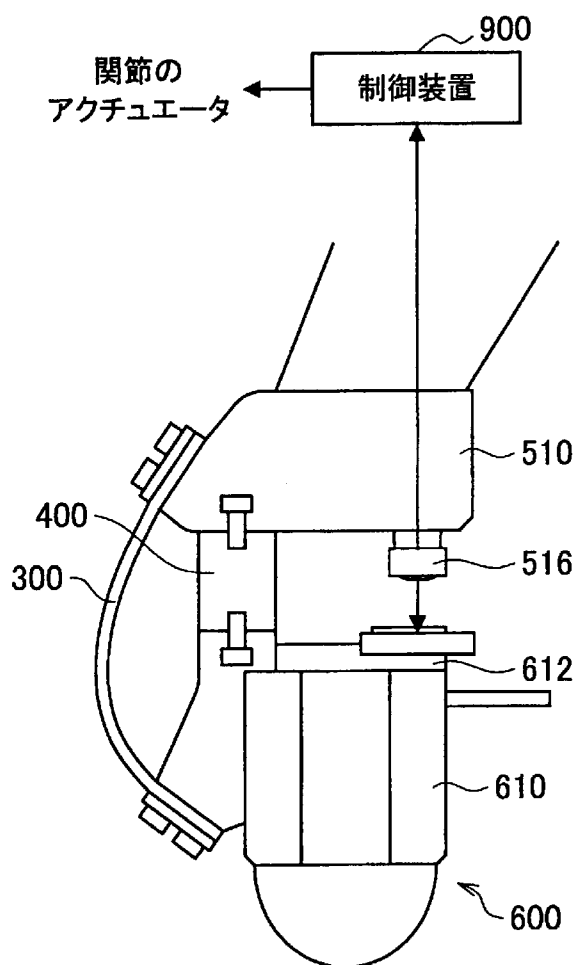


[図8A]

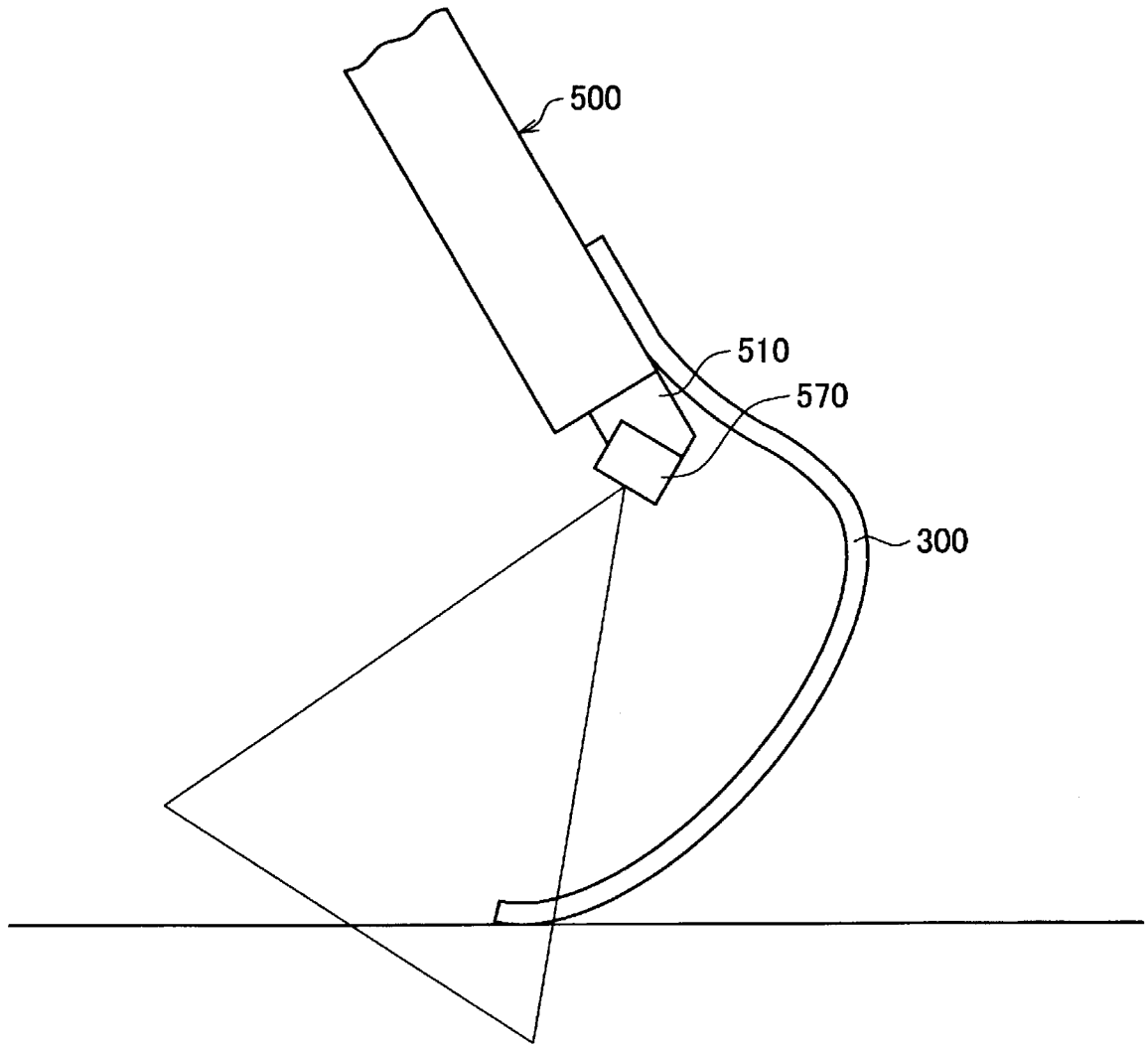




[図8B]



[圖9]



[圖10]

