

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3638048号  
(P3638048)

(45) 発行日 平成17年4月13日(2005.4.13)

(24) 登録日 平成17年1月21日(2005.1.21)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

A61H 1/02

F I

A61H 1/02

G

請求項の数 12 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平7-346503                  (22) 出願日 平成7年12月11日(1995.12.11)                  (65) 公開番号 特開平9-154900                  (43) 公開日 平成9年6月17日(1997.6.17)                  審査請求日 平成13年12月4日(2001.12.4)</p>	<p>(73) 特許権者 000006622                  株式会社安川電機                  福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号                  (72) 発明者 永田 広治                  福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号                  株式会社安川電機内                  (72) 発明者 榊 泰輔                  福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号                  株式会社安川電機内                  (72) 発明者 坂本 武志                  福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号                  株式会社安川電機内                    審査官 一ノ瀬 薫</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 肢体駆動装置の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

肢体に装着した装置の動作によって肢体を動かす目的で、装置に取り付けられた力センサまたは位置・角度センサのセンシング情報をもとに、力制御または位置制御によって装置の動作を制御する肢体駆動装置の制御装置において、

駆動装置の動作中に、装置に装着した肢体への負荷を、常に監視する負荷推定部と、肢体への過負荷付近により目標インピーダンスの各パラメータ定数が変更できるインピーダンス定数変換部と、

前記負荷推定部により得られる肢体への負荷が、設定した肢体への過負荷値  $F_{limit}$  に対しその値より小さく設定された値  $F_{start}$  に到達した時点で、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数を、前記過負荷値  $F_{limit}$  へ肢体負荷値が近づくに応じて変化させ、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく制御手段と、

を備えたことを特徴とする肢体駆動装置の制御装置。

【請求項2】

監視対象を関節負荷または筋力負荷とする手段を備えたことを特徴とする請求項1記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項3】

前記負荷推定部により得られる現在の肢体への負荷が、前記  $F_{limit}$  と前記  $F_{start}$  の間の領域にあれば、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向において、その

インピーダンス定数である仮想バネ定数または仮想粘性定数を、前記  $F_{start}$  から前記  $F_{limit}$  へ関節負荷が大きくなるに応じて徐々に減らし、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 4】

前記負荷推定部により得られる現在の肢体への負荷が、前記  $F_{limit}$  と前記  $F_{start}$  の間の領域にある場合、装置の負荷計測手段における最大の負荷方向に対し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 5】

肢体に取り付けられた前記力センサおよび肢体のパラメータを用いた運動学により肢体への負荷を算出する負荷推定部を持つことを特徴とする請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 6】

肢体への負荷の算出を、肢体駆動装置の肢体への装着部に加わる負荷を計測する計測手段によって肢体への負荷とする負荷推定部を持つことを特徴とする請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 7】

関節負荷の推定算出を、肢体に取り付けた計測手段により計測し算出する負荷推定部を持つ請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 8】

駆動装置が持つ仮想フリー機能を 2 自由度以上、全自由度以下の自由度方向において実行する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 9】

肢体に装着した装置の動作によって肢体を動かす目的で、装置に取り付けられた力センサまたは位置・角度センサのセンシング情報をもとに、力制御または位置制御によって装置の動作を制御する肢体駆動装置の制御装置において、

駆動装置の動作中に、肢体の動作位置を肢体に取り付けられたセンサにより計測し常に監視する肢体位置算出部と、

前記肢体動作位置の可動域限界付近において目標インピーダンスの各パラメータ定数が変更できるインピーダンス定数変換部と、

前記肢体位置算出部により得られる現在位置が、設定した肢体の可動限界位置  $L_{limit}$  に対しその位置より手前に設定された位置  $L_{start}$  に入った時点で、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数を、前記  $L_{start}$  から前記  $L_{limit}$  へ肢体位置が向かう距離に応じて変更し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく制御手段と、

を備えたことを特徴とする肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 10】

前記制御手段は、前記肢体位置算出部により得られる現在位置が、前記  $L_{limit}$  と前記  $L_{start}$  の間の領域にあれば、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数である仮想バネ定数または仮想粘性定数を、前記  $L_{start}$  から前記  $L_{limit}$  へ肢体位置が向かう距離に応じて徐々に減らし、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えたことを特徴とする請求項 9 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 11】

肢体の位置算出を、前記肢体駆動装置の運動学および肢体のパラメータによる運動学により推定計算する肢体位置算出部を持つ請求項 9 記載の肢体駆動装置の制御装置。

【請求項 12】

前記肢体運動装置が持つ仮想フリー機能を 2 自由度以上、全自由度以下の自由度方向において実行する請求項 9 ないし請求項 11 のうちいずれかの項に記載の肢体駆動装置の制御装置。

10

20

30

40

50

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【産業上の利用分野】**

本発明は、肢体運動を考慮した駆動装置において、人間の関節あるいはその他の治療対象への過負荷をなくし、装置の安全性を高めることを目的とした、肢体軌道を考慮した肢体駆動装置の制御装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

人間の肢体を動かす装置には、医療分野で使用される連続他動運動装置（CPM装置）、リハビリテーション分野で使用される訓練装置やスポーツ・トレーニング装置等がある。上記装置における関節過負荷時や肢体が動作範囲外に出ようとした時における一般的な対処方法は、主に 1 対処機能が何も付いていないもの（例えば、特開昭60-179062号公報参照）、2 停止機能を持つもの（例えば、特開昭61-170464号公報参照）、3 駆動逆転機能を持つもの（例えば、特公平4-14028号公報参照）の3種類に分けられる。

1 の「手関節部の機能回復訓練装置」では、関節に過負荷が生じて、その対処機能がない。

2 の「受動運動訓練装置」では、駆動制御回路において、感知された誤動作にตอบสนองし、所定の限界を越える駆動軸の角変位または角変位方向を変更することの失敗を感知し、過急速もしくは過低速を感知した場合に、駆動軸の動きを停止させる誤動作感知手段を備えている。

3 の「人の関節を動かす装置」では、細長い支持体上で往復運動するトラベラ手段を駆動する可逆モータ手段と組合わされて、前記トラベラ手段を介して検知された負荷にตอบสนองして、前記可逆モータ手段の回転を反転する負荷応答手段を備えている。

また他に、4 特開昭60-232158「駆動装置」では、肢体に取り付けられた駆動モータの駆動力より大きな抵抗を受けたとき、駆動アームは一旦停止し、その位置から引続き反対方向に動き始める機能を持っており、その作動方法はモータに流れる電流により制御されている。

**【0003】****【発明が解決しようとする課題】**

ところが、従来のこれらの手段では肢体の動作位置あるいは関節負荷を常に監視しながら動作することができない。

このため、実際に負荷がかかってから対処が行われたり、また肢体の可動範囲の制限については装置の動作のみを考慮して行われており、肢体の動作限界を考慮した機能がない。また、それら安全機能がない装置もある。よって、駆動装置を取り付けた肢体が動作域を外れようとする時や関節に過負荷がかかった時、その対応が遅く肢体に悪影響を及ぼしたり関節にかなりの負荷を与えることになる。

そこで、本発明は装置の安全性を高めるため、人間の肢体軌道を考慮し、関節に無理な負荷を与えないように駆動装置を動作させるのに好適な制御装置を提供することを目的とする。

**【0004】****【課題を解決するための手段】**

上記課題を解決するため、本発明は肢体に装着した装置の動作によって肢体を動かす目的で、装置に取り付けられた力センサまたは位置・角度センサのセンシング情報をもとに、力制御または位置制御によって装置の動作を制御する肢体制御装置の制御装置において、駆動装置の動作中に、装置に装着した肢体への負荷を、常に監視する負荷推定部と〔または負荷推定部に代わる、肢体に取り付けられたセンサにより計測し常に監視する肢体位置算出部と〕、肢体への過負荷付近により目標インピーダンスの各パラメータ定数を変更できるインピーダンス定数変換部と、前記負荷推定部により得られる肢体への負荷が、設定した肢体への過負荷値  $F_{limit}$ 〔または可動域限界値  $L_{limit}$ 〕に対しその値より小さく設定された値  $F_{start}$ 〔またはその手前に設置された位置の値  $L_{start}$ 〕に到達した時点

10

20

30

40

50

で、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数を、前記  $F_{limit}$  [または前記  $L_{limit}$ ] 値へ肢体負荷値が近づくとに応じて変化させ、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく制御手段と、を備えたことを特徴とする肢体駆動装置の制御装置としたものである。

この発明によれば、装置の安全性を高めるため、人間の肢体軌道を考慮し、関節に無理な負荷を与えないように駆動装置を動作させるのに好適な制御装置が得られる。

【0005】

【発明の実施の形態】

本発明の請求項 1 に記載の発明は、肢体に装着した装置の動作によって肢体を動かす目的で、装置に取り付けられた力センサまたは位置・角度センサのセンシング情報をもとに、力制御または位置制御によって装置の動作を制御する肢体制御装置の制御装置において、駆動装置の動作中に、装置に装着した肢体への負荷を、常に監視する負荷推定部と、肢体への過負荷付近により目標インピーダンスの各パラメータ定数が変更できるインピーダンス定数変換部と、前記負荷推定部により得られる肢体への負荷が、設定した肢体への過負荷値  $F_{limit}$  に対しその値より小さく設定された値  $F_{start}$  に到達した時点で、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数を、前記過負荷値  $F_{limit}$  へ肢体負荷値が近づくとに応じて変化させ、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく制御手段と、を備えたことを特徴とする肢体駆動装置の制御装置としたものである。

この請求項 1 に記載の発明は、肢体への負荷を常に監視しながら、肢体への負荷値が可動限界に設定された肢体への過負荷値  $F_{limit}$  からその位置より手前に設定された値  $F_{start}$  の内側にある場合には、通常のインピーダンス制御が行われるが、関節負荷が  $F_{start}$  値になり  $F_{limit}$  へ近づくとつれて、駆動装置が持つ全自由度中のある自由度方向のインピーダンス定数を変更し、その軸を仮想的にフリーにする結果、肢体への負荷が大きくなるとうとする時、無理な負荷をかけず、また装置自体にも安全性を持たせながら動作可能となり、さらに、過負荷をさけるために、装置の動作中、インピーダンス定数を常に小さくしておくような必要がなくなり、治療のために設定した目標軌道をインピーダンス定数が小さいために達成できないという問題が解決でき、さらにまたインピーダンス定数の設定が容易になるという作用を有する。

本発明の請求項 2 に記載の発明は、監視対象を関節負荷または筋力負荷とする手段を備えた請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、この請求項 2 に記載の発明は、監視対象を関節負荷または筋力負荷とする手段を構えたことから、負荷の力変化を把握し易いという作用を有する。

【0006】

本発明の請求項 3 に記載の発明は、前記負荷推定部により得られる現在の肢体への負荷が、前記  $F_{limit}$  と前記  $F_{start}$  の間の領域にあれば、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向において、そのインピーダンス定数である仮想バネ定数または仮想粘性定数を、前記  $F_{start}$  から前記  $F_{limit}$  へ関節負荷が大きくなるに応じて徐々に減らし、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えた請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものである。

この請求項 3 に記載の発明は、インピーダンス定数変換部が仮想バネ定数のみの変化、また仮想粘性定数のみの変化および仮想バネ定数と仮想粘性定数の組み合わせによる変化で構成され得るという作用を有する。

本発明の請求項 4 に記載の発明は、前記負荷推定部により得られる現在の肢体への負荷が、前記  $F_{limit}$  と前記  $F_{start}$  の間の領域にある場合、装置の負荷計測手段における最大の負荷方向に対し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えた請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものである。

この請求項 4 に記載の発明は、肢体に過負荷がかかろうとする場合に、装置の負荷計測手段における最大の負荷方向に対し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていくことができるという作用を有する。

本発明の請求項 5 に記載の発明は、肢体に取り付けられた前記力センサおよび肢体のパラメータを用いた運動学により肢体への負荷を算出する負荷推定部を持つ請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、この請求項 5 に記載の発明は、制御装置に取り付けられた力センサおよび肢体のパラメータを用いた運動学により肢体への負荷を算出する負荷推定部を持つ制御手段が得られるという作用を有する。

【0007】

本発明の請求項 6 に記載の発明は、肢体への負荷の算出を、肢体駆動装置の肢体への装着部に加わる負荷を計測する計測手段によって肢体への負荷とする負荷推定部を持つ請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、この請求項 6 に記載の発明は、肢体への負荷を、上記の力センサおよび肢体パラメータを用いた運動学による推定は行わず、装置に取り付けられた計測手段で簡易的に算出する負荷推定部を持つ制御手段が得られるという作用を有する。

10

本発明の請求項 7 に記載の発明は、関節負荷の推定算出を、肢体に取り付けた計測手段により計測し算出する負荷推定部を持つ請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、この請求項 7 に記載の発明は、肢体に取り付けられたトルクセンサ、圧力センサ、触覚センサ等により、肢体への負荷を計測し算出する負荷推定部を持つ制御手段を得られるという作用を有する。

【0008】

本発明の請求項 8 に記載の発明は、駆動装置が持つ仮想フリー機能を 2 自由度以上、全自由度以下の自由度方向において実行する手段を備えた請求項 1 記載の肢体駆動装置の制御装置としたものである。

20

この請求項 8 に記載の発明は、仮想バネ変換領域に肢体が入った場合に、駆動装置が持つ 2 自由度以上、全自由度以下の仮想バネ定数を変化させることにより、肢体動作領域外時において、さらに滑らかに装置が動作でき、安全性も向上するという作用を有する。

【0009】

本発明の請求項 9 に記載の発明は、肢体に装着した装置の動作によって肢体を動かす目的で、装置に取り付けられた力センサまたは位置・角度センサのセンシング情報をもとに、力制御または位置制御によって装置の動作を制御する肢体駆動装置の制御装置において、制御装置の動作中に、肢体の動作位置を肢体に取り付けられたセンサにより計測し常に監視する肢体位置算出部と、前記肢体動作位置の可動域限界付近において目標インピーダンスの各パラメータ定数が変更できるインピーダンス定数変換部と、前記肢体位置算出部により得られる現在位置が、設定した肢体の可動限界位置  $L_{limit}$  に対しその位置より手前に設定された位置  $L_{start}$  に入った時点で、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数を、前記  $L_{start}$  から前記  $L_{limit}$  へ肢体位置が向かう距離に応じて変更し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく制御手段と、を備えた肢体駆動の制御装置としたものである。

30

この請求項 9 に記載の発明は、人間の肢体動作位置を常に監視し、肢体が可動限界域に近づいた場合、仮想的にフリーな動作自由度をつくることで、人間の関節に無理な負荷を与えず滑らかに駆動装置を動作させる事ができ、しかも装置自体の安全性も向上するという作用を有する。

40

【0010】

本発明の請求項 10 に記載の発明は、前記肢体位置算出部により得られる現在位置が、前記  $L_{limit}$  と前記  $L_{start}$  の間の領域にあれば、駆動装置の動作が持つ全自由度のうち、ある自由度方向のインピーダンス定数である仮想バネ定数または仮想粘性定数を、前記  $L_{start}$  から前記  $L_{limit}$  へ肢体位置が向かう距離に応じて徐々に減らし、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていく手段を備えた請求項 9 記載の肢体制御装置の制御装置としたものである。

この請求項 10 に記載の発明は、インピーダンス定数変換部が仮想バネ定数のみの変化、また仮想粘性定数のみの変化および仮想バネ定数と仮想粘性定数の組み合わせによる変化で構成され得るという作用を有する。

50

## 【0011】

本発明の請求項11に記載の発明は、肢体の算出を、前記肢体駆動装置の運動学および肢体のパラメータによる運動学により推定計算する肢体位置算出部を持つ請求項9記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、肢体位置算出部においてセンシング機能は使わず、装置の各軸の角度から順運動学を用いて装置の先端位置を求め、その位置から肢体に取り付けられたスプリント位置、すなわち肢体の絶対位置まで座標変換を行い、その肢体の絶対位置をもとに肢体位置の推定を行う手段、またはその肢体の絶対位置から肢体のパラメータおよび肢体位置の基準点（固定点）をもとに、肢体の逆運動学を用いて肢体の各関節角度を求め、肢体位置の推定を行えるという作用を有する。

## 【0012】

本発明の請求項12に記載の発明は、前記肢体運動装置が持つ仮想フリー機能を2自由度以上、全自由度以下の自由度方向において実行する請求項9ないし請求項11のうちいずれかの項に記載の肢体駆動装置の制御装置としたものであり、仮想バネ変換領域に肢体が入った場合に、駆動装置が持つ2自由度以上、全自由度以下の仮想バネ定数を変化させることにより、肢体動作領域外時において、さらに滑らかに装置が動作でき、安全性も向上するという作用を有する。

次に、本発明の実施の形態を各図に基づいて説明する。

全ての図面において、同一符号は同一もしくは相当部材とする。

## 【0013】

（実施の形態1）

以下、本発明の実施の形態1を図を追って述べる。

本発明を含む制御手段の回路構成ブロック図を図1に示す。

ここで説明を簡略化するため、肢体負荷の監視を膝関節とし[請求項2で記述]、インピーダンス定数変換部が仮想バネ定数のみ変化する場合とし[請求項3で記述]、負荷推定を肢体に取り付けられた力センサおよび肢体のパラメータを用いた運動学により算出する場合[請求項6で記述]について、これを例にとる。

## 【0014】

図1において、101は駆動装置のアーム、102は対象物（人間の肢体）、103はアーム101の手先位置に取り付けられたスプリント（手先位置）、104はアーム101の先端に取り付けられ力およびモーメントを検出する力センサ、105はアーム101を駆動するモータ、106は駆動モータ105の回転角度を検出する回転角検出部、107は力センサ104の力およびモーメント信号をデジタル値に変換するアナログ/デジタル変換器、108は力信号を手先位置103の変位に変換する変位演算処理部、109は手先位置103からモータ105の目標角度を算出する逆運動学計算部、110aは手先位置103の目標軌道を設定する目標軌道設定部、111は回転角検出部106の出力をデジタル値に変換する回転角変換回路、112はゲイン積分器、113はゲイン積分器112の出力をアナログ値に変換するデジタル/アナログ変換器、114はD/A変換器113の出力に従って駆動モータ105を動かすサーボンプ、115aは肢体の動作負荷を推定計算する負荷推定部、116は関節負荷に応じて仮想バネ定数を変更するインピーダンス定数変換部である。

## 【0015】

肢体を運動させるために設定した目標軌道に従って装置が動作する際に、負荷推定部115aにより常に肢体102の関節負荷を監視し、関節負荷に応じた仮想ばね定数をインピーダンス定数変換部116により生成し、変位演算処理部108へ常に送る。

その過程のもとで、力センサ104により得られた力信号は、A/D変換回路107によってデジタル値に変換され、変位演算処理部108に入力される。インピーダンス定数変換部116で設定されている慣性および粘性パラメータと負荷推定部115aで推定した関節負荷に応じた弾性パラメータ（仮想バネ定数）をもとに手先負荷103の目標軌道からの変位が算出される。

## 【0016】

この変位は目標軌道設定部110aの出力に加算され、手先位置103の位置指令となり、逆運

10

20

30

40

50

動学計算部109 によって各関節の角度指令に変換する。

またその時、回転角検出部106 によって検出された駆動モータの回転角を回転角変換回路111 によりデジタル値に変換し、上記角度指令と比較する。

その出力を受けて、この差分にゲイン積分器112 を介し、D/A変換器113 によってアナログ信号に変換され、サーボアンプ114 によって駆動モータ105 に出力されることによって、駆動装置のアーム101 が駆動される。

脚を取り付けた駆動装置を例に、負荷推定部115aおよびインピーダンス定数変換部116 の動作について述べることにする。まず負荷推定部について図2 を用いて説明する。

【0017】

図2 は負荷推定部における負荷推定動作を側面から見た説明図である。

10

図2 において、201 は脚（肢体）、202 は駆動装置、203 は駆動装置に取り付けられた力センサ、204 は駆動装置のスプリント、205 は下腿長、206 は上腿長 $L1$ 、207aは肢体の基準点、208 は膝関節、209 は股関節の角度 $\theta_1$ 、210 は膝関節の角度 $\theta_2$ 、211 は股関節にかかる負荷（トルク） $t_1$ 、212 は膝関節にかかる負荷（トルク） $t_2$ 、213 は膝関節208 からスプリント204 の中心位置までの長さ $L2$  である。

図3 は、関節負荷の推定算出を行う過程の流れを表す説明図である。

まず、脚のパラメータである下腿長205、上腿長206 および脚の基準点207a（駆動装置の原点座標からの位置）を決める[ステップ1]。

【0018】

脚を2自由度のマニピュレータと考えると、駆動装置202 に取り付けられた力センサ203 により得られる力・モーメント情報から、上記のパラメータをもとにヤコビアン行列 $J$  を使い、関節トルク（負荷）を推定する。

20

例えば、並進2自由度、回転1自由度の垂直平面内3自由度を持つ駆動装置に取り付けられた脚の関節負荷を求める[ステップ2]。

力センサ203 から得られる情報が並進方向の力（ $F_x$ 、 $F_z$ ）のみとし、回転方向の力（モーメント $M_y$ ）が検出されない場合を想定する。この時、股関節負荷211（ $t_1$ ）と膝関節負荷212（ $t_2$ ）はヤコビアン $J$ の転置行列を用いて[ステップ3]、以下の[数1]のように演算の結果として、関節負荷推定を行う[ステップ4]。

【数1】

$$\begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \end{pmatrix} = J^T \begin{pmatrix} F_x \\ F_z \end{pmatrix}$$

但し、 $J^T$  は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} L1\cos\theta_1 + L2\cos(\theta_1 + \theta_2) & -L1\sin\theta_1 - L2\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ L2\cos(\theta_1 + \theta_2) & -L2\sin(\theta_1 + \theta_2) \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_1 = \{(L1\cos\theta_1 + L2\cos(\theta_1 + \theta_2)) F_x \\ \quad - \{L1\sin\theta_1 + L2\sin(\theta_1 + \theta_2)\} F_z \\ t_2 = L2\cos(\theta_1 + \theta_2) F_x - L2\sin(\theta_1 + \theta_2) F_z \end{array} \right.$$

#### 【0019】

次いで、インピーダンス定数変換部について図4を用いて説明する。

図4は、関節負荷に対する仮想バネ定数値に関する説明図である。

関節過負荷値  $F_{limit}$  とその手前に設定する位置  $F_{start}$  を、関節の患部状態により、あらかじめ設定する。負荷推定部で得られる値を  $F$  とすれば、

$F < F_{start}$  の場合

仮想バネ定数は、あらかじめ設定されている値  $K_0$  で一定である。

$F_{start} < F < F_{limit}$  の場合

仮想バネ定数は、関節負荷座標の最大値  $F$  の距離に応じて

比例係数 =  $-K_0 / (F_{limit} - F_{start})$  で単調連続的に変化する。

この方法で、関節負荷推定値  $F$  とこれに対応したインピーダンス定数変換を行い、あとは通常のインピーダンス制御と同様に制御を行う。

#### 【0020】

本発明によれば、関節過負荷値  $F$  が  $F_{start}$  より離れている場合（つまり  $F < F_{start}$  ）

、インピーダンスパラメータである仮想バネ定数は、あらかじめ設定されてある一定値  $K_0$  になる。従ってこの場合通常のインピーダンス制御になる。F が  $F_{start}$  内に入った場合 ( $F_{start} < F < F_{limit}$ )、駆動装置が持つ全自由度中のある 1 自由度について、仮想ばね定数を上記比例係数のもとで、関節負荷座標の最大値 F が  $F_{limit}$  に近づくとつれ除々に小さくし、仮想的にその軸をフリーにする。これにより、肢体の関節に無理な負荷がかからず安全に動作可能となる。また、その自由度以外は通常のインピーダンス制御を行うこととなる。

#### 【0021】

装置の仮想フリー機能をさらに滑らかに動作させるためには、 $F_{start}$  から  $F_{limit}$  の幅を大きくとり、仮想バネ定数変更領域を増やせば良い。また、仮想バネ変更領域において、定数の変化を比例的に設定しているが、指数变化的に設定すれば、さらなる滑らかな動作機能が期待できる。

10

また請求項 2 で示した手段では、監視対象を関節負荷または筋力負荷等とし、動作させる請求項 1 記載の制御手段である。

そして請求項 3 で示した手段では、インピーダンス定数変換部が上記で説明した仮想バネ定数のみの変化、また仮想粘性定数のみの変化および仮想バネ定数と仮想粘性定数の組み合わせによる変化で構成された制御手段である。

#### 【0022】

そしてまた請求項 4 で示した手段では、肢体に過負荷がかかろうとする場合に、装置の負荷計測手段における最大の負荷方向に対し、その自由度方向の動作を仮想的にフリーにしていくことを特徴とする請求項 1 記載の制御手段である。

20

さらに請求項 5 で示した手段では、上記実施例で示したように、装置に取り付けられた力センサおよび肢体のパラメータを用いた運動学により肢体への負荷を算出する負荷推定部を持つ制御手段である。

さらにまた請求項 6 で示した手段では、肢体への負荷を、上記の力センサおよび肢体パラメータを用いた運動学による推定は行わず、装置に取り付けられた計測手段で簡易的に算出する負荷推定部を持つ制御手段である。

#### 【0023】

かつ請求項 7 で示した手段では、肢体に取り付けられたトルクセンサ、圧力センサ、触覚センサ等により、肢体への負荷を計測し算出する負荷推定部を持つ制御手段である。

30

また請求項 8 で示した手段では、仮想バネ変換領域に肢体が入った場合に、駆動装置が持つ 2 自由度以上、全自由度以下の仮想バネ定数を変化させる手段である。これにより、肢体動作領域外時において、さらに滑らかに装置が動作でき、安全性も向上する。

なお、これまでに説明した手段の請求項 1, 請求項 2, 請求項 3, 請求項 4, 請求項 5, 請求項 6, 請求項 7 および請求項 8 のそれぞれの組み合わせの機能・用途を持つ制御手段もまた有用適切である。

なおかつ請求項 1 で示した手段は、リハビリテーション装置あるいはスポーツ・トレーニング装置としての動作を行う手段としても適当である。

#### 【0024】

(実施の形態 2)

40

以下、本発明の実施の形態 2 を図に従って説明する。

またここで説明を簡略化するため、インピーダンス定数変換部が仮想バネ定数のみ減らす場合 [請求項 11 で記述] について、これを例にとる。

本発明を含む制御手段の回路構成を表すブロック図を図 5 に示す。

図 5 において、110b は手先位置 103 の目標位置を設定する目標位置設定部、115b は肢体の動作位置を推定計算する肢体位置算出部、116 は肢体位置に応じて仮想バネ定数を変更するインピーダンス定数変換部、117 は肢体の動作位置を検出する肢体位置計測センサである。

#### 【0025】

装置動作中、肢体位置計測センサ 117 を介し、肢体位置算出部 115b により常に肢体 102 の

50

位置を監視し、肢体位置に応じた仮想ばね定数をインピーダンス定数変換部116により生成し、変位演算処理部108へ常を送る過程のもとで、力センサ104により得られた力信号は、A/D変換回路107によってデジタル値に変換され、変位演算処理部108に入力される。

インピーダンス定数変換部116で設定されている慣性および粘性パラメータと肢体位置算出部115bで推定した肢体位置に応じた弾性パラメータ(仮想バネ定数)をもとに手先位置103の目標位置からの変位が算出される。

#### 【0026】

この変位は目標位置設定部110bの出力に加算され、手先位置103の位置指令となり、逆運動学計算部109によって各関節の角度指令に変換する。

10

またその時、回転角検出部106によって検出された駆動モータの回転角を回転角変換回路111によりデジタル値に変換し、上記角度指令と比較する。

その出力を受けて、この差分にゲイン積分器112を介し、D/A変換器113によってアナログ信号に変換され、サーボアンプ114によって駆動モータ105に出力されることによって、駆動装置のアーム101が駆動される。

#### 【0027】

図6は肢体位置算出部に関する肢体位置を側面から見た説明図である。

この図6において、214は肢体位置計測センサにより得られる脚201の動作位置座標の最大値、215は脚201の可動限界位置L limitからその位置より手前に設定された位置L startの距離幅(仮想バネ定数変更領域)、204は駆動装置のスプリント、216は駆動装置の手先位置座標、207bは脚201の動作支点座標を示す。

20

図7は、肢体の動作位置に対する仮想バネ定数値に関する説明図である。

ここで、肢体位置算出部115b及びインピーダンス定数変換部116の動作を図6および図7を用いて説明する。

肢体位置計測センサであるゴニオメータ、ポテンシオメータおよび測距センサ等により肢体の動作位置を計測することで、動作座標の最大値214は求まる。

#### 【0028】

いま例えば、上記センサを使い、治療行為前に装置を肢体に取り付け、事前に肢体を動かしておけば、肢体の可動領域はあらかじめ推測できる。よって、可動域限界値L limitとその手前に設定された位置L startは定められる。この時、肢体位置座標の最大値214をXとすれば、

30

$X < L start$  の場合

仮想バネ定数は、あらかじめ設定されている値 $K0$ で一定である。

$L start < X < L limit$  の場合

仮想バネ定数は、肢体位置座標の最大値Xの距離に応じて比例係数 $= -K0 / (L limit - L start)$ で単調連続的に変化する。

この方法で、肢体位置算出とこれに対応したインピーダンス定数変換を行い、あとは通常のインピーダンス制御と同様に制御を行う。

#### 【0029】

上記手段により、肢体の動作位置を常に監視しながら、肢体位置が可動限界に設定された可動限界位置L limitからその位置より手前に設定された位置L startの内側にある場合には、通常のインピーダンス制御が行われるが、肢体動作がL start内に入りL limitとの距離が縮まるにつれて、駆動装置が持つ全自由度中のある自由度方向のインピーダンス定数を変更し、その軸を仮想的にフリーにする。

40

その結果、肢体が動作範囲外に近づきつつある時、関節に無理な負荷をかけず、また装置自体にも安全性を持たせながら動作可能となる。

#### 【0030】

本発明によれば、肢体位置座標の最大値XがL startより離れている場合( $X < L start$ )、インピーダンスパラメータである仮想バネ定数は、あらかじめ設定されてある一定値 $K0$ になる。従ってこの場合通常のインピーダンス制御になる。XがL start内に入った

50

場合 ( $L_{start} < X < L_{limit}$ )、駆動装置が持つ全自由度中のある1自由度について、仮想ばね定数を上記例係数のもとで、肢体位置座標の最大値  $X$  が  $L_{limit}$  に近づくにつれ徐々に小さくし、仮想的にその軸をフリーにする。

#### 【0031】

これにより、肢体の関節に無理な負荷がかからず安全に動作可能となる。また、その自由度以外は通常のインピーダンス制御を行うこととなる。

装置の仮想フリー機能をさらに滑らかに動作させるためには、 $L_{start}$  から  $L_{limit}$  の幅を大きくとり、仮想ばね定数変更領域を増やせば良い。また、仮想ばね変更領域において、定数の変化を比例的に設定しているが、指数変化的に設定すれば、さらなる滑らかな動作機能が期待できる。

10

#### 【0032】

そして請求項10で示した装置は、インピーダンス定数変換部が上記で説明した仮想ばね定数のみの変化、また仮想粘性定数のみの変化および仮想ばね定数と仮想粘性定数の組み合わせによる変化で構成されたものである。

また請求項11で示した装置では、肢体位置算出部115においてセンシング機能は使わず、装置の各軸の角度から順運動学を用いて装置の先端位置を求め、その位置から肢体に取り付けられたスプリント位置、すなわち肢体の絶対位置まで座標変換を行い、その肢体の絶対位置をもとに肢体位置の推定を行う方式、またはその肢体の絶対位置から肢体のパラメータおよび肢体位置の基準点(固定点)をもとに、肢体の逆運動学を用いて肢体の各関節角度を求め、肢体位置の推定を行うものである。

20

#### 【0033】

そしてまた請求項12で示した装置では、仮想ばね変換領域に肢体が入った場合に、駆動装置が持つ2自由度以上、全自由度以下の仮想ばね定数を変化させる。これにより、肢体動作領域外時において、さらに滑らかに装置が動作でき、安全性も向上する。

さらにこの実施の形態2で説明し請求項9で示した手段のすべてを持つ装置は、請求項1で示した機能と同様に、リハビリテーション分野での使用すなわちリハビリテーション装置あるいはスポーツ・トレーニング装置としての動作を行う手段としてもまた望ましい。

請求項9ないし請求項12を合わせ持つ制御手段も、これまた好ましい肢体制御装置の制御装置である。

#### 【0034】

30

#### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば人間の肢体関節負荷を常に監視し、関節にかかる負荷が過負荷領域に近づいた場合、仮想的にフリーな動作自由度をつくることで、人間の関節に無理な負荷を与えず滑らかに駆動装置を動作させることができ、しかも装置自体の安全性も向上するという効果がある。また、過負荷をさけるために、装置の動作中、インピーダンス定数を常に小さくしておくような必要がなくなり、治療のために設定した目標軌道をインピーダンス定数が小さいために達成できないという問題が解決でき、またインピーダンス定数の設定が容易になる。

さらに、本発明によれば人間の肢体動作位置を常に監視し、肢体が可動限界域に近づいた場合、仮想的にフリーな動作自由度をつくることで、人間の関節に無理な負荷を与えず滑らかに駆動装置を動作させる事ができ、しかも装置自体の安全性も向上するという効果がある。

40

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1を表す制御手段の回路構成を示すブロック図

【図2】本発明の実施の形態1における負荷推定部を示す説明図

【図3】本発明の実施の形態1は関節負荷の推定算出を行う流れ図

【図4】本発明の実施の形態1における肢体の動作位置に対する仮想ばね定数値の変換を示す図

【図5】本発明の実施の形態2を表す制御手段の回路構成を示すブロック図

【図6】本発明の実施の形態2における肢体位置算出部を示す説明図

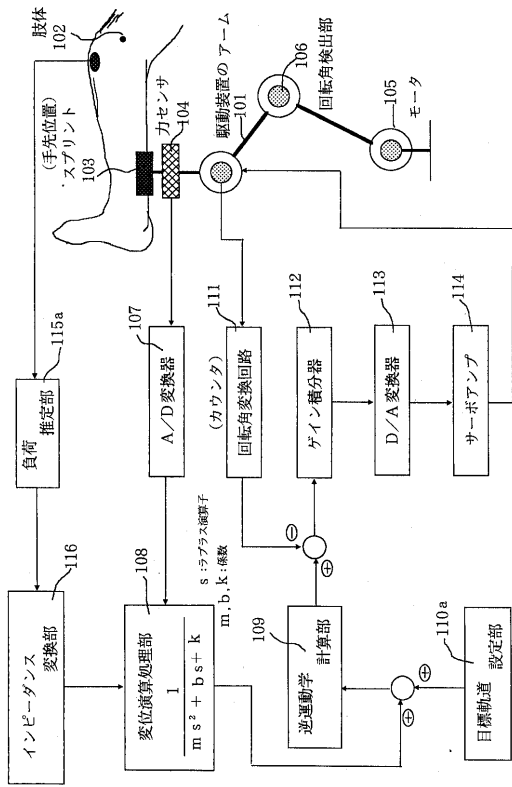
50

【図7】本発明の実施の形態2における肢体の動作位置に対する仮想バネ定数値の変換を示す図

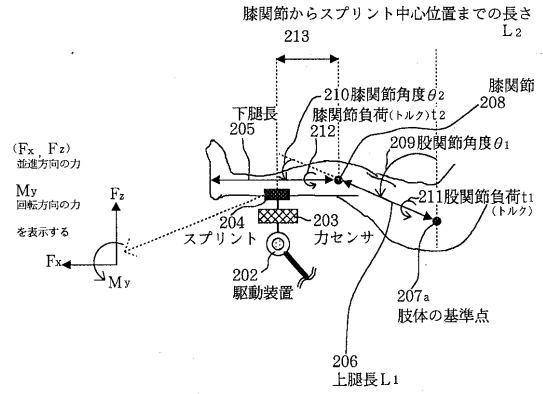
【符号の説明】

101	駆動装置のアーム	
102	肢体	
103,204	スプリント(手先位置)	
104,203	力センサ	
105	モータ	
106	回転角検出部	
107	アナログ/デジタル変換器	10
108	変位演算処理部	
109	逆運動学計算部	
110a	目標軌道設定部	
110b	目標位置設定部	
111	回転角変換回路	
112	ゲイン積分器	
113	デジタル/アナログ変換器	
114	サーボアンプ	
115a	負荷推定部	
115b	肢体位置算出部	20
116	インピーダンス定数変換部	
117	関節負荷計測センサ	
118	インピーダンス定数変換部	
119	肢体位置計測センサ	
201	脚	
202	駆動装置	
205	下腿長	
206	上腿長 L1	
207a	肢体の基準点	
207b	動作支点座標	30
208	膝関節	
209	股関節角度 1	
210	膝関節角度 2	
211	股関節負荷 t1	
212	膝関節負荷 t2	
213	膝関節からスプリント中心位置までの長さ L2	
214	動作位置座標の最大値	
215	仮想バネ定数変更領域	
216	手先位置座標	

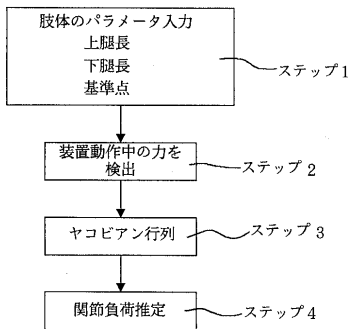
【 図 1 】



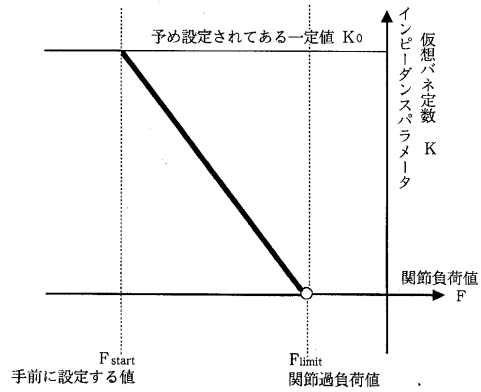
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】





フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-019145(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

A61H 1/02

A63B 23/035