

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-148056

(P2012-148056A)

(43) 公開日 平成24年8月9日(2012.8.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 H 1/02 (2006.01)	A 6 1 H 1/02	G
	A 6 1 H 1/02	K
	A 6 1 H 1/02	N

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2011-200914 (P2011-200914)	(71) 出願人	000005821 パナソニック株式会社
(22) 出願日	平成23年9月14日 (2011.9.14)		大阪府門真市大字門真1006番地
(31) 優先権主張番号	特願2010-291238 (P2010-291238)	(74) 代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(32) 優先日	平成22年12月27日 (2010.12.27)	(74) 代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	谷口 祥平 大阪府門真市大字門真1048番地 パナソニック電工 株式会社内
		(72) 発明者	泉中 健志 大阪府門真市大字門真1048番地 パナソニック電工 株式会社内
		(72) 発明者	池島 紗知子 大阪府門真市大字門真1048番地 パナソニック電工 株式会社内

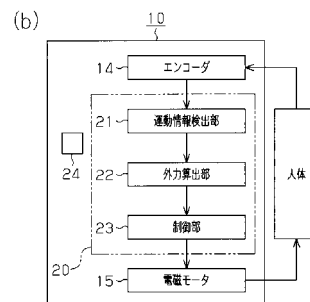
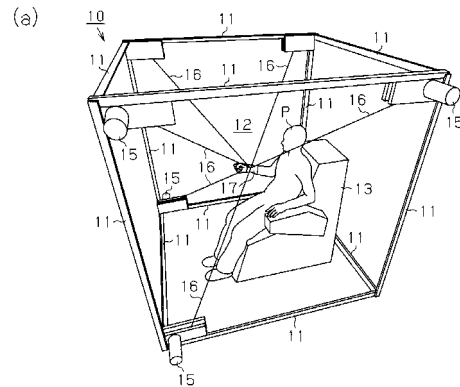
(54) 【発明の名称】 仮想環境付与装置

(57) 【要約】

【課題】 人体に外力を正確に与えることができる仮想環境付与装置を提供する。

【解決手段】 仮想環境付与装置 10 には人体に外力を与える電磁モータ 15 が設けられている。また、仮想環境付与装置 10 は、人体の運動情報を検出する運動情報検出部 21 と、人体に特定の仮想環境を与えるために運動情報を利用して外力を算出する外力算出部 22 と、当該外力算出部 22 により算出された外力が人体に与えられるように電磁モータ 15 を制御する制御部 23 とを備えている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

人体に外力を与える外力付与手段と、
人体の運動情報を検出する運動情報検出部と、
人体に特定の仮想環境を与えるために前記運動情報を利用して前記外力を算出する外力算出部と、
前記外力算出部により算出された外力が人体に与えられるように前記外力付与手段を制御する制御部と、を備えたことを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の仮想環境付与装置において、
前記仮想環境を設定可能な仮想環境設定手段をさらに備えたことを特徴とする仮想環境付与装置。

10

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の仮想環境付与装置において、
前記運動情報検出部は、前記運動情報として、人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置、速度及び加速度のうち少なくとも一つを検出することを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記運動情報検出部は、前記運動情報として、人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置、速度及び加速度のいずれか一つを検出するとともに、当該検出された運動情報を利用して他の運動情報を推定することを特徴とする仮想環境付与装置。

20

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力算出部は、前記運動情報を利用して、水中環境で人体に与えられる浮力、流体抗力及び付加慣性力のうち少なくとも一つを前記外力として算出するとともに、
前記制御部は、人体に対して水中環境を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体に前記外力を与えることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力算出部は、前記運動情報を利用して重力、慣性力、遠心力、コリオリ力のうちの少なくとも一つを前記外力として算出するとともに、
前記制御部は、人体に対して人体の質量が増減した感覚を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体に前記外力を与えることを特徴とする仮想環境付与装置。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の仮想環境付与装置において、
前記制御部は、人体の手又は足に所定の質量が付加された感覚を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体の手又は足に外力を与えることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の仮想環境付与装置において、
前記制御部は、人体に与えられる外力としての重力の方向を仮想的に変えるように前記外力付与手段を制御することを特徴とする仮想環境付与装置。

40

【請求項 9】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段は、人体の関節軸周りに前記外力としてトルクを与えることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段は、人体の手又は足に前記外力として並進力又はトルクを与えること

50

を特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 1】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段は、人体の関節軸周りに前記外力としてトルクを与えるとともに、人体の先端部位に前記外力として並進力又はトルクを与えることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 ~ 請求項 1 1 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段の動作情報を検出する動作検出手段を備え、
前記外力算出部は、前記動作情報を利用して生成される前記外力付与手段の特性を除去して前記外力を算出することを特徴とする仮想環境付与装置。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 ~ 請求項 1 1 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段により発生した外力を検出する外力検出手段を備え、
前記外力算出部は、特定の仮想環境を人体に与えるために必要な外力と、前記外力検出手段により検出された外力との偏差に基づいて外力を算出することを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 請求項 1 3 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力付与手段は電磁モータであることを特徴とする仮想環境付与装置。

20

【請求項 1 5】

請求項 2 ~ 請求項 1 4 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記仮想環境付与装置を使用者が使用している状態において、前記仮想環境の設定を前記仮想環境設定手段により切替可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 6】

請求項 2 ~ 請求項 1 5 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力の向きを前記仮想環境設定手段により設定可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 7】

請求項 2 ~ 請求項 1 6 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力の大きさを前記仮想環境設定手段により設定可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

30

【請求項 1 8】

請求項 2 ~ 請求項 1 7 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記外力を前記仮想環境設定手段により追加及び削除可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 1 9】

請求項 2 ~ 請求項 1 8 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

40

【請求項 2 0】

請求項 2 ~ 請求項 1 9 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、
前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの速度に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 2 1】

請求項 2 ~ 請求項 2 0 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、

50

前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの加速度に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 2 2】

請求項 2 ~ 請求項 2 1 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、前記仮想環境付与装置を使用者が使用している時間の経過に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【請求項 2 3】

請求項 2 ~ 請求項 2 2 のいずれか一項に記載の仮想環境付与装置において、人体が前記仮想環境付与装置に加えた外力に応じて、人体に与えられる外力の向きの設定、人体に与えられる外力の大きさの設定、及び人体に与えられる外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることを特徴とする仮想環境付与装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、人体に外力を与えて特定の仮想環境を付与する仮想環境付与装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

人体の動作を補助あるいは代行するために、パワーアシストを目的としたものとして、例えば特許文献 1 のものが挙げられる。特許文献 1 の装着式動作補助装置は、装着者に装着される動作補助装着具を有するとともに、動作補助装着具には装着者に対して補助動力を付与する駆動モータが複数設けられている。また、装着者の皮膚表面には、装着者の筋活動に伴う表面筋電位（生体信号）を検出する筋電位センサが複数貼り付けられている。そして、筋電位センサにより検出された表面筋電位に基づいて、各駆動モータに供給する駆動電流を求めるとともに、この駆動電流で駆動モータを駆動することで、アシスト力が付与されて装着者の動作を補助するようになっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 4 2 0 0 4 9 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 の装着式動作補助装置では、表面筋電位を検出するために、筋電位センサを装着者の皮膚表面に直接貼り付けなければならない。よって、例えば、装着式動作補助装置を長時間使用する場合、皮膚表面に対する筋電位センサの貼着位置がずれてしまう等、筋電位センサにおける表面筋電位の検出条件が異なってしまふことがあり、人体が同じ表面筋電位を出力していたとしても、筋電位センサによる再現性のある表面筋電位の検出ができなくなってしまう。その結果、表面筋電位に基づいて各駆動モータに供給する駆動電流を正確に求めることができず、駆動モータの駆動にばらつきが生じてしまい、アシスト力を装着者に対して正確に付与することができなくなってしまう虞がある。

【0005】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、その目的は、人体に外力を正確に与えることができる仮想環境付与装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明の仮想環境付与装置は、人体に外力を与える外力付与手段と、人体の運動情報を検出する運動情報検出部と、人体に特定の仮想環境を与えるために前記運動情報を利用して前記外力を算出する外力算出部と、前記外力算出部により算出された外力が人体に与えられるように前記外力付与手段を制御する制御部と、を備えたことを特徴とする。

【0007】

この仮想環境付与装置において、前記仮想環境を設定可能な仮想環境設定手段をさらに備えたことが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記運動情報検出部は、前記運動情報として、人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置、速度及び加速度のうちの少なくとも一つを検出することが好ましい。

10

【0008】

この仮想環境付与装置において、前記運動情報検出部は、前記運動情報として、人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置、速度及び加速度のいずれか一つを検出するとともに、当該検出された運動情報を利用して他の運動情報を推定することが好ましい。

【0009】

この仮想環境付与装置において、前記外力算出部は、前記運動情報を利用して、水中環境で人体に与えられる浮力、流体抗力及び付加慣性力のうちの少なくとも一つを前記外力として算出するとともに、前記制御部は、人体に対して水中環境を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体に前記外力を与えることが好ましい。

20

【0010】

この仮想環境付与装置において、前記外力算出部は、前記運動情報を利用して重力、慣性力、遠心力、コリオリ力のうちの少なくとも一つを前記外力として算出するとともに、前記制御部は、人体に対して人体の質量が増減した感覚を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体に前記外力を与えることが好ましい。

【0011】

この仮想環境付与装置において、前記制御部は、人体の手又は足に所定の質量が付加された感覚を与えるために前記外力付与手段を制御することで人体の手又は足に外力を与えることが好ましい。

30

【0012】

この仮想環境付与装置において、前記制御部は、人体に与えられる外力としての重力の方向を仮想的に変えるように前記外力付与手段を制御することが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段は、人体の関節軸周りに前記外力としてトルクを与えることが好ましい。

【0013】

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段は、人体の手又は足に前記外力として並進力又はトルクを与えることが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段は、人体の関節軸周りに前記外力としてトルクを与えると同時に、人体の先端部位に前記外力として並進力又はトルクを与えることが好ましい。

40

【0014】

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段の動作情報を検出する動作検出手段を備え、前記外力算出部は、前記動作情報を利用して生成される前記外力付与手段の特性を除去して前記外力を算出することが好ましい。

【0015】

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段により発生した外力を検出する外力検出手段を備え、前記外力算出部は、特定の仮想環境を人体に与えるために必要な外力と、前記外力検出手段により検出された外力との偏差に基づいて外力を算出することが好ま

50

しい。

【0016】

この仮想環境付与装置において、前記外力付与手段は電磁モータであることが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記仮想環境付与装置を使用者が使用している状態において、前記仮想環境の設定を前記仮想環境設定手段により切替可能であることが好ましい。

【0017】

この仮想環境付与装置において、前記外力の向きを前記仮想環境設定手段により設定可能であることが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記外力の大きさを前記仮想環境設定手段により設定可能であることが好ましい。

【0018】

この仮想環境付与装置において、前記外力を前記仮想環境設定手段により追加及び削除可能であることが好ましい。

この仮想環境付与装置において、前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの位置に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることが好ましい。

【0019】

この仮想環境付与装置において、前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの速度に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることが好ましい。

【0020】

この仮想環境付与装置において、前記運動情報として検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの加速度に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることが好ましい。

【0021】

この仮想環境付与装置において、前記仮想環境付与装置を使用者が使用している時間の経過に応じて、前記外力の向きの設定、前記外力の大きさの設定、及び前記外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることが好ましい。

【0022】

この仮想環境付与装置において、人体が前記仮想環境付与装置に加えた外力に応じて、人体に与えられる外力の向きの設定、人体に与えられる外力の大きさの設定、及び人体に与えられる外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを前記仮想環境設定手段により行うことが可能であることが好ましい。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、人体に外力を正確に与えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】(a)第1の実施形態における仮想環境付与装置の外観図であり、(b)は仮想環境付与装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。

【図2】人の腕を近似したリンクモデルを示す図である。

【図3】第2の実施形態における人の腕に外骨格型の仮想環境付与装置が取り付けられた状態を示す図である。

【図4】物体が流体中で運動しているときの様子を模式的に示す図である。

10

20

30

40

50

【図 5】人の腕を円柱形状に近似した図である。

【図 6】人の腕を m 個の微小要素に分割したときに得られるリンクモデルを示す図である。

【図 7】(a) は別の実施形態における重力方向が下向きの場合を示す図であり、(b) は重力方向が上向きの場合を示す図である。

【図 8】別の実施形態におけるリンク系及び駆動系のリンクモデルを示す図である。

【図 9】別の実施形態における仮想環境付与装置の外観図である。

【図 10】(a) は別の実施形態における人の腕にゴニオメータが取り付けられた状態を示す図であり、(b) 別の実施形態における人の手首に加速度センサが取り付けられた状態を示す図である。

10

【図 11】別の実施形態における仮想環境付与装置が人体に取り付けられた状態を示す図である。

【図 12】別の実施形態における仮想環境付与装置が人の足に取り付けられた状態を示す図である。

【図 13】(a) は別の実施形態における仮想環境付与装置が人体に取り付けられた状態を示す図、(b) は設定部を示す図である。

【図 14】別の実施形態における設定部を示す図である。

【図 15】(a) は手が所定の仮想環境切替地点に到達していない状態を示す図であり、(b) は手が所定の仮想環境切替地点に到達した状態を示す図である。

【図 16】別の実施形態における手が所定の仮想環境切替領域内に入った状態を示す図である。

20

【図 17】別の実施形態における速度と負荷の大きさとの関係を示すグラフである。

【図 18】別の実施形態における時間の経過を示す図である。

【図 19】別の実施形態における時間の経過を示す図である。

【図 20】別の実施形態における時間の経過を示す図である。

【図 21】別の実施形態における人体が仮想環境付与装置に加えた外力と外力算出部により算出される外力との関係を示す図である。

【図 22】別の実施形態における仮想環境付与装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

30

(第1の実施形態)

以下、本発明を具体化した第1の実施形態を図面に従って説明する。

図1(a)に示すように、仮想環境付与装置10は、例えば12本のフレーム11を組み立てることで区画形成される空間12を有するとともに、空間12内には人Pが着座可能な座席13が設けられている。また、仮想環境付与装置10にはエンコーダ14が内蔵された外力付与手段としての電磁モータ15が複数(本実施形態では6つ)設けられている。各電磁モータ15は減速機(図示せず)を介してプーリ(図示せず)に接続されている。

【0026】

各プーリにはワイヤ16の一端が巻回されるとともに、ワイヤ16の他端が人Pの手首に取り付けられたワイヤ接点17に接続されることで、ワイヤ接点17から複数のワイヤ16が放射状に伸びるように設けられている。そして、各電磁モータ15の駆動により減速機を介してプーリを回転させることで各ワイヤ16が巻き取られるとともに、各電磁モータ15の駆動力で各ワイヤ16に張力を発生させることで人Pの手に外力として並進力又はトルクを与えるようになっている。ここで、本実施形態において、「手」とは手首から指先にかけての部位のことをいう。

40

【0027】

次に、仮想環境付与装置10の電氣的構成について説明する。

図1(b)に示すように、仮想環境付与装置10のCPU20は、各種プログラムやマップ等を予め記憶した読出専用メモリ(ROM)、CPU20の演算結果等を一時記憶す

50

るランダムアクセスメモリ (R A M)、タイマカウンタ、入力インターフェース、出力インターフェース等を備えたマイクロコンピュータを中心に構成されている。

【 0 0 2 8 】

C P U 2 0 は、人体の運動情報を検出する運動情報検出部 2 1 と、人体における所定の部位 (本実施形態では手) に与える外力を算出する外力算出部 2 2 と、算出された外力が人体における所定の部位に与えられるように電磁モータ 1 5 の駆動を制御する制御部 2 3 とを有している。C P U 2 0 は、エンコーダ 1 4 により計測される電磁モータ 1 5 の回転角度の計測信号を受信するとともに、当該計測信号を利用して運動情報検出部 2 1 が人体の運動情報を検出ようになっていく。また、仮想環境付与装置 1 0 には、仮想環境を設定可能な仮想環境設定手段としての設定部 2 4 が設けられている。ここで、「仮想環境」とは、人体が仮想的に特定の運動をしているような人体の動的な環境や、人体が仮想的に特定の姿勢を静止した状態で維持しているような人体の静的な環境のことをいう。

10

【 0 0 2 9 】

次に、上記構成の仮想環境付与装置 1 0 の作用について説明する。尚、本実施形態では、使用者により設定部 2 4 が操作されたことで、人 P の手で仮想的にダンベルを握ったような仮想環境になるように仮想環境付与装置 1 0 が設定されたとする。

【 0 0 3 0 】

ここで、エンコーダ 1 4 により計測される電磁モータ 1 5 の回転角度を θ 、減速機の減速比を n とすると、プーリの回転角は θ/n となる。プーリの半径を r とすると、ワイヤ 1 6 の長さ L は式 1 のようにエンコーダ 1 4 の計測値 θ から算出することができる。なお、ワイヤ 1 6 の初期値を L_0 とする。

20

【 0 0 3 1 】

【 数 1 】

$$L=L_0+r(\theta/n) \quad \dots (式1)$$

エンコーダ 1 4 は、ワイヤ 1 6 の初期値 L_0 からの相対変化を計測することができる。そして、各エンコーダ 1 4 により全てのワイヤ 1 6 の長さ L が計測されると、運動情報検出部 2 1 は、これら全てのワイヤ 1 6 の長さ L に基づいて、パラレルワイヤ駆動システムの順運動学計算により、人体の運動情報として、人体に対するワイヤ 1 6 の取り付け位置 (人 P の手) が回転又は並進したときの位置情報を検出する。

30

【 0 0 3 2 】

また、運動情報検出部 2 1 は、検出された位置情報から他の運動情報を推定することができる。例えば、運動情報検出部 2 1 は、位置情報を表す検出値に対して数値微分を行うことで人 P の手が回転又は並進したときの速度情報を推定することができる。さらに、運動情報検出部 2 1 は、算出された速度情報を数値微分することで加速度情報を推定することができる。ここで、数値微分を行う際には、ノイズ等が発生するため、より真値に近い運動情報を検出するためには、ローパスフィルタ等でフィルタリング処理をすることが望ましい。

【 0 0 3 3 】

そして、外力算出部 2 2 は、運動情報検出部 2 1 により検出された位置情報、速度情報及び加速度情報に基づいて、重力、慣性力、遠心力、コリオリ力のうちの少なくとも一つを外力として算出する。ここでは、身体運動のダイナミクスについて考える。一般に剛体リンクのダイナミクスは、関節トルクベクトル τ 、関節変位ベクトル q を用いて式 2 のように記述することができる。

40

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

$$\tau=M(q)\ddot{q}+h(q,\dot{q})+g(q) \quad \dots (式2)$$

M は慣性行列、 h は遠心力及びコリオリ力項、 g は重力項であり、どれも人体の各リンクの質量が含まれる。例えば、人 P の手に与える外力としてのトルクを τ_{ext} とし、人

50

体が能動的に発生するトルクを τ_{an} とすると、元々の人体の慣性行列、遠心力及びコリオリ力項、重力項との関係は式 3 のようになり、また、トルク τ_{ext} は式 4 にて算出できる。

【 0 0 3 5 】

【数 3】

$$\tau_{an} = M(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + g(q) + \alpha + \tau_{ext} \quad \dots (式3)$$

$$\tau_{ext} = J^T(q) f \quad \dots (式4)$$

ここで、 $+$ は、人体の粘弾性などの剛体リンクモデル以外のダイナミクス成分とする。また、 $J(q)$ は人 P の手の位置と関節位置とに関するヤコビ行列を表す。ヤコビ行列は、人体の幾何学的な情報（関節角度やリンクの長さ）で算出することができ、関節角度の関数となる。 f は人 P の手に加わる力ベクトルであり、最大 6 次元（並進 3 次元、回転 3 次元）のベクトルである。式 4 は手先の力と各関節トルクとの関係を示している。ここで、図 2 に示すような $x-y$ の 2 次元平面内の 2 関節のリンクについて考える。人体の手首に対するワイヤ 16 の取り付け座標を (X, Y) とすると、人 P の腕に対する逆運動学計算により肩関節角度 θ_1 、肘関節角度 θ_2 を算出することができる。この場合、ヤコビ行列は式 5 のようになる。

10

【 0 0 3 6 】

【数 4】

$$J(\theta) = \begin{bmatrix} -l_1 S_1 - l_2 S_{12} & -l_2 S_{12} \\ l_1 C_1 + l_2 C_{12} & l_2 C_{12} \end{bmatrix} \quad \dots (式5)$$

20

ただし、 l_1 は第 1 リンク長さ、 l_2 は第 2 リンク長さ、 S_1 、 S_{12} 、 C_1 、 C_{12} はそれぞれ $\sin \theta_1$ 、 $\sin(\theta_1 + \theta_2)$ 、 $\cos \theta_1$ 、 $\cos(\theta_1 + \theta_2)$ を表す。このとき、手先の力ベクトル f は、 f_x 、 f_y の 2 成分になる。仮想的に手先に質量を付加する場合、 f_y マイナス方向に外力を生成すればよい。そして、外力算出部 22 は、式 6 にて f_x 、 f_y を算出する。

【 0 0 3 7 】

【数 5】

$$\begin{aligned} f_x &= m \ddot{x} \\ f_y &= m \ddot{y} - mg \end{aligned} \quad \dots (式6)$$

30

このように算出された手先の力ベクトル f が作用するように、制御部 23 が電磁モータ 15 の駆動を制御する。すると、人 P の手に質量 m の物体（重力）が仮想的に付加されるとともに、人 P の手で仮想的にダンベルを握ったような仮想環境を与えることができる。

【 0 0 3 8 】

次に、本実施形態の特徴的な作用効果を記載する。

(1) 運動情報検出部 21 は、人体における所定の部位（本実施形態では手）が回転又は並進したときの位置情報を検出するとともに、外力算出部 22 は、検出された位置情報に基づいて特定の仮想環境を与えるために人体に与えるべき外力を算出する。そして、算出された外力に基づいて電磁モータ 15 を駆動することで、例えば、人体の手に質量 m の物体（重力）が付加されたような感覚を与えることができる。よって、背景技術のように、表面筋電位のような生体信号を利用して駆動モータが人体に与える外力を算出する場合に比べて、人体の目に見える運動情報を利用することで、精度良く外力を算出することができる。その結果、電磁モータ 15 の駆動にばらつきが生じてしまうことが無く、人体に外力を正確に与えることができる。

40

【 0 0 3 9 】

(2) 背景技術では、装着者にアシスト力を付与する駆動モータを制御するために、筋

50

電位センサにより装着者の表面筋電位を検出する必要がある。人体は一つの関節を動かす際に複数の筋肉が活動することから、一つの関節を動かすために複数の表面筋電位が必要となり、筋電位センサにより検出される表面筋電位の情報が多くなることで制御が複雑化する。しかし、本実施形態では、人体の運動情報のみを利用して、人体に外力を付与する電磁モータ15を制御しているため、背景技術に比べて制御を簡素化することができる。

【0040】

(3) 使用者は、設定部24を操作するだけで、自分の所望する仮想環境になるように仮想環境付与装置10を設定することができるため使い勝手が良い。例えば、人Pの手に付加された仮想的な質量の大きさを所望の大きさに変更する際には、設定部24を操作する。すると、人Pの手に付加された仮想的な質量が所望の大きさになるように、外力算出部22が人Pの手に与えられる外力を算出し、算出された外力に基づいて制御部23が電磁モータ15を制御することで、人Pの手に所望の外力を付与することができる。

10

【0041】

(4) 運動情報検出部21は、検出された位置情報から他の運動情報を推定することができる。よって、位置情報、速度情報及び加速度情報を検出するためのセンサをそれぞれ別途設ける必要が無く、安価なシステムで運動情報を検出することができる。また、位置情報、速度情報及び加速度情報を同時に得ることができるため、外力算出部22により線形又は非線形な外力を複数算出することができ、より多彩な外力を人体に与えることができる。

20

【0042】

(5) 人Pの手に仮想的な質量を付加した感覚を与えることで、例えば、人Pの手で仮想的にダンベルを握った感覚を得ることができ、トレーニングやリハビリをすることができる。

【0043】

(第2の実施形態)

以下、本発明を具体化した第2の実施形態を図3～図6にしたがって説明する。尚、以下に説明する実施形態では、既に説明した第1の実施形態と同一構成について同一符号を付すなどして、その重複する説明を省略又は簡略する。

【0044】

図3に示す仮想環境付与装置30は、外骨格型で、且つ装着型の装置構成とされ、その仮想環境付与装置30を人Pの腕に取り付けることにより、肘関節軸周りに外力としてトルクを与えるようになっている。そして、第2の実施形態では、使用者に設定部24が操作されたことで、人Pが仮想的に水中環境で運動しているかのような仮想環境になるように仮想環境付与装置30が設定されたとする。なお、以下においては、人体の肘1軸を対象に説明する。ここで、人Pが仮想的に水中環境で運動している状態とは、人体が水中で仮想的に特定の運動をしているような人体の動的な環境や、人体が水中で仮想的に特定の姿勢を静止した状態で維持しているような人体の静的な環境のことをいう。

30

【0045】

一般に、人体が水中で運動している場合の運動情報と関節トルクとの関係、つまり流体ダイナミクスを求めることは容易ではない。人体が水中で運動している場合、人体の部位が3次元的に簡単でない形状をしていることや、人体の皮膚や筋肉が変形しながら動作することや、体毛の影響などがあつたりすることで、厳密に正確なダイナミクスを求めるのは困難である。そこで、ここでは人Pの腕を剛体と仮定するとともに、前腕と手とが一体となって動作する円柱形状であると仮定して流体ダイナミクスを求める。流体ダイナミクスとしては、付加慣性力、流体抗力及び浮力の3つの項について考える。ここでは、人体に外力としてトルクを与えるため、関節軸周りの流体ダイナミクスを算出する必要がある。

40

【0046】

まず、付加慣性力について説明する。

図4に示すように、一般に物体が流体中で運動する場合、周囲の流体を動かすための余

50

分な力が必要になる。これは、物体の質量があたかも増加したかのように影響するためである。この質量増加は付加慣性と呼ばれ、物体の形状に依存する。この実施形態では、図5に示すように、人Pの腕（前腕及び手）を円柱形状に近似して、図3において矢印で示すように、肘関節にトルクを与え、肘関節を駆動するために、この円柱形状がx方向、またはy方向に動作することを想定している。このとき、付加慣性 M_{add} は式7のように表せる。なお、 ρ は流体の密度である。

【0047】

【数6】

$$M_{add} = \pi \rho r^2 \omega \quad \dots (式7)$$

10

付加慣性力 F_{add} は、流速 v の時間微分を \dot{v} とすると、式8のように表せる。

【0048】

【数7】

$$F_{add} = M_{add} \dot{v} \quad \dots (式8)$$

これは、並進動作に関する付加慣性力であるが、想定している人体の動作は、回転運動であるため、付加慣性力をトルクに換算する必要がある。そのため、図6に示すように、人Pの腕を m 個の微小要素に分割して考える。微小要素の長さを dl とすると、関節中心位置から第 i 番目の微小要素までの長さは、式9にて算出される。

20

【0049】

【数8】

$$\sum_{l=1}^i dl = idl \quad \dots (式9)$$

第 i 要素に加わる力を F_{addi} とすると、第 i 要素に加わるトルク τ_{addi} は式10にて算出される。

【0050】

【数9】

$$\tau_{addi} = F_{addi} (idl) = M_{add} v_i (idl) \quad \dots (式10)$$

30

ただし、 v_i は第 i 番目で発生する流速である。流速は関節運動によって生じるとすると、第 i 要素の流速は式11のように関節角速度で表すことができる。

【0051】

【数10】

$$v_i = (idl) \dot{q} \quad \dots (式11)$$

式11の両辺を時間微分すると、式12のように加速度の関係が求められる。

【0052】

【数11】

$$\dot{v}_i = (idl) \ddot{q} \quad \dots (式12)$$

40

腕全体に加わる付加慣性力によるトルク τ_{add} は、微小要素に加わるトルクを全て足し合わせることで、式13にて算出できる。

【0053】

【数 1 2】

$$\begin{aligned}\tau_{\text{add}} &= \sum_{i=1}^m F_{\text{add}i} (i dl) \\ &= \pi \rho r^2 \sum_{i=1}^m i^2 (dl)^3 \ddot{q} \quad \dots \text{(式13)}\end{aligned}$$

以上をまとめると、式 1 4 のようになり、シンプルな形式で表すことができる。

【0 0 5 4】

【数 1 3】

$$\tau_{\text{add}} = I_{\text{add}} \ddot{q} \quad \dots \text{(式14)}$$

10

以上により、人体の運動情報として、肘の角加速度を検出して、肘の角加速度に基づいて式 1 4 により、トルク τ_{add} を算出することができる。

【0 0 5 5】

次に、流体抗力について説明する。

流体抗力は、流速の 2 乗に比例して運動と反対方向に作用する。流体抗力 F_D は一般に式 1 5 にて求められる。なお、 C_D は流体抗力係数、 A は代表面積である。

【0 0 5 6】

【数 1 4】

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 A \quad \dots \text{(式15)}$$

20

付加慣性力と同様に、図 6 に示すように、人 P の腕を m 個の微小要素に分割して、各要素に加わる流体抗力を足し合わせることで、腕全体に加わる流体抗力によるトルク τ_D を求める。第 i 番目の微小要素に加わる流体抗力を F_{D_i} とすると、トルク τ_D は式 1 6 にて算出できる。

【0 0 5 7】

【数 1 5】

$$\begin{aligned}\tau_D &= \sum_{i=1}^m F_{D_i} (i dl) \\ &= \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^m C_D v_i^2 dA (i dl) \quad \dots \text{(式16)}\end{aligned}$$

30

ここで、円柱直径を R とすると、 $dA = R dl$ となるため、式 1 7 のようになり、シンプルな形式で表すことができる。

【0 0 5 8】

【数 1 6】

$$\tau_D = \frac{1}{2} \rho R C_D \sum_{i=1}^m i^3 (dl)^4 \dot{q}^2 \quad \dots \text{(式17)}$$

40

以上により、人体の運動情報として肘の角速度を検出して、肘の角速度に基づいて式 1 7 により、トルク τ_D を算出することができる。

【0 0 5 9】

次に、浮力について説明する。

浮力は、物体が流体から受ける圧力差によって重力とは逆方向の力が作用する。浮力を F_b 、人の腕の体積を V 、浮心を l_c とすると、浮力トルク τ_b は式 1 8 にて算出できる。なお、 g は重力加速度である。

【0 0 6 0】

50

【数 17】

$$\begin{aligned}\tau_b &= l_{cw} F_b \cos \alpha \\ &= -l_{cw} \rho V g \cos \alpha \quad \dots (式18)\end{aligned}$$

以上により、人体の運動情報として、人体の肘の角度を検出して、人体の肘の角度に基づいて式 18 により、浮力トルク τ_b を算出することができる。

【0061】

上述したように、式 14、式 17 及び式 18 を用いて、外力算出部 22 は、検出された運動情報に基づいて、仮想的に水中環境で人体が運動しているかのように、浮力、流体抗力及び付加慣性力のうちの少なくとも一つを人体に与える外力として算出することができる。

10

【0062】

付加慣性力や流体抗力は、加速度運動や速度運動をしない限り発生しないが、浮力はある位置で静止していても発生する。浮力によりある程度アシストをしつつ、人体の加速度や速度の運動に合わせて、負荷になる外力が働くことになり、個人に合わせてトレーニングやリハビリを行うことができる。浮力は、体重をキャンセルする方向に働き、人体の動作をアシストすることができる。付加慣性力及び流体抗力は、人体が動作した方向と反対方向に負荷として働くため、トレーニングやリハビリを行うことができる。これら選択的に与えることで、目的に合わせて人体に最適な仮想環境を与えることができる。

20

【0063】

尚、これまでは、人体の肘 1 軸を対象にしたが、人体の運動が多関節運動になった場合、上述した計算よりもやや複雑になるが、運動情報に基づいて外力として与えるべき関節トルクの計算は、例えば、多関節ロボットの流れ体ダイナミクス計算などを参考にすれば可能である。この実施形態では、運動情報を検出して、人体に仮想環境を与えるための外力をリアルタイムで人体に与える。外力算出部 22 の計算性能にもよるが、リアルタイムの計算を実現させるためには、人体を円柱形状に近似したり、密度を一定にしたりする等、ある程度の近似により計算の簡素化が必要となる。

【0064】

したがって、第 2 の実施形態によれば以下に示す効果を得ることができる。

30

(6) 仮想環境付与装置 30 は仮想的な水中環境を人体に与えることができる。よって、例えば、浮力が体重をキャンセルする方向に働くことで人体の動作をアシストすることができる。また、付加慣性力及び流体抗力が、人体が動作した方向と反対方向に働くことで、トレーニングやリハビリができる。これらを選択することで、使用者の目的に合わせた最適な仮想環境を与えることができ、日常生活においても、無理なく安心してトレーニング、リハビリあるいはアシストをすることができる。

【0065】

(7) 人体に対して浮力、付加慣性力及び流体抗力の全てを与えると、現実の水中環境に近い仮想環境を人体に与えることができ、仮想的に水中リハビリテーションやアクアビクスといった水中運動を行うことができる。

40

【0066】

尚、本発明の実施形態は、以下のように変更してもよい。

・第 1 の実施形態において、各ワイヤ 16 を、人体の手首、足首、肘、肩、背中、腰などの人体のあらゆる部位に接続して、人体の各部位に外力を与えることで、人体の質量を増減したかのような仮想環境を人体に与えるようにしてもよい。人体の質量を増減させるためには、身体運動のダイナミクスについて考える必要がある。ここでは、人体の質量のみを増減させるため、人体の粘弾性要素を考慮する必要はなく、剛体リンクのダイナミクスを考えればよい。一般に、剛体リンクのダイナミクスは、上記式 2 のように表される。

【0067】

人体の質量を増減させるためには、慣性行列、遠心力及びコリオリ力項、重力項の 3 つ

50

の項について考えなければならない。外力により与えるトルクを $e \times t$ 、人間が能動的に発生するトルクを a_n 、外力により質量を増減させることで変化する慣性行列を $M_{e \times t}$ 、遠心力及びコリオリ力項を $h_{e \times t}$ 、重力項を $g_{e \times t}$ とし、元々の人体の慣性行列を M 、遠心力及びコリオリ力を h 、重力項を g とすると、これらの関係は、式 19 - 1 及び式 19 - 2 により表すことができる。

【 0 0 6 8 】

【 数 1 8 】

$$\tau_{an} = M(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + g(q) + M_{ext}(q) \ddot{q} + h_{ext}(q, \dot{q}) + g_{ext}(q) + a \quad \dots (式19-1)$$

10

$$\tau_{an} = M(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + g(q) + a + \tau_{ext} \quad \dots (式19-2)$$

ここで、 $+$ は、人体の粘弾性などの剛体リンクモデル以外のダイナミクス成分とする。通常、人体が単独で動作する場合は、慣性行列 $M_{e \times t}$ 、遠心力及びコリオリ力項 $h_{e \times t}$ 及び重力項 $g_{e \times t}$ がなく、人間が能動的に発生するトルク a_n によって自分自身の剛体リンク成分と粘弾性などの成分とにしたがって運動が生成される。

【 0 0 6 9 】

通常の人動作のときは、人間が能動的に発生するトルク a_n にて、元々の人体の慣性行列 M 、遠心力及びコリオリ力 h 、重力項 g 及び粘弾性などのダイナミクス にしたがって運動する。したがって、増減したい質量を式 20 の右辺で計算するとともに、式 20 により算出した外力トルク $e \times t$ を式 19 - 2 の $e \times t$ として、人体にトルクを与えれば、仮想的に人体のダイナミクスは式 19 - 1 により算出される。

20

【 0 0 7 0 】

したがって、式 20 により算出された外力トルク $e \times t$ は質量ベクトル $m = (m_{1}, m_{2}, \dots, m_{n})$ の関数となり、右辺の各項の計算時に増減させたい m を代入する。ただし、 m_{1} から m_{n} は人体の各部位の質量を表す。

【 0 0 7 1 】

【 数 1 9 】

$$\tau_{ext}(m) = M_{ext}(q) \ddot{q} + h_{ext}(q, \dot{q}) + g_{ext}(q) \quad \dots (式20)$$

30

また、式 20 は、重力、慣性力、遠心力及びコリオリ力の全てを与えているが、選択的に与えてもよい。例えば、重力項だけを与える場合、人体及び質量と同じ重力項をマイナスで与えると、仮想的に重力項の質量が 0 (零) になり、式 19 - 1 は式 21 のようになる。つまり、人体のダイナミクスから重力項を取り除くことができ、人体を軽やかに動作させることができる。

【 0 0 7 2 】

【 数 2 0 】

$$\tau_{an} = M(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + a \quad \dots (式21)$$

40

よって、例えば、体重が 10 kg 減ったときの感覚を人体に与えることで、10 kg ダイエットしたらどれだけ人体の運動が軽やかになるかを体感することができ、ダイエットのモチベーションアップに繋がる。さらには、体重が 10 kg 減った感覚を人体に与えることで、人体を軽くすることができアシストの効果を得ることができる。

【 0 0 7 3 】

また、速度、加速度を伴う運動をするときだけ、人体はトルクを発揮することになる。よって、重力項をキャンセルしてアシストしながら、速度、加速度を伴う運動をすることで、リハビリやトレーニングを行うことができる。

【 0 0 7 4 】

一方、重力項を同じ方向に加えると、式 19 - 1 は式 22 のようになる。つまり、人体

50

に対して質量が 2 倍になったような感覚を人体に与えることができる。

【0075】

【数21】

$$\tau_{an} = M(q) \ddot{a} + h(q, \dot{q}) + 2g(q) + a \quad \dots (式22)$$

これにより、人体は同じ運動をするために、重力を支えるのに必要な重力トルクが 2 倍必要になり、体重が 2 倍になったかのような感覚を与えることができる。よって、例えば、体重が 10 kg 増えたときの感覚を人体に与えることで、人体を重くすることができ、トレーニングやリハビリの効果を得ることができる。

【0076】

尚、例えば、重力項 $g \times t$ を 0 (零) にして、慣性行列 $M \times t$ 、遠心力及びコリオリ力項 $h \times t$ について仮想的に質量を増減させることもできる。例えば、質量を増加させた場合、静止中は普段の仮想環境付与装置 10 がない状態の重力トルクだけが必要となり、速度又は加速度を伴う運動中のときだけ人体が発揮する必要トルクを大きくすることができる。これにより、使用者は自分のペースで負荷を調整することができ、静止することで、いつでも仮想環境付与装置 10 がない場合と同じ状態にすることができる。

【0077】

また、人体における特定の部位だけを軽くしたり重くしたりしてもよい。これによれば、人体における特定の部位をアシスト、トレーニング又はリハビリすることができるとともに、人体における特定の部位を疲れ難くしたり、人体における特定の部位だけを鍛えたりすることができ、効果的なアシスト、トレーニング又はリハビリをすることができる。さらには、人体における特定の部位だけの質量を減少させることで、特定の部位の動作を行い易くすることができ、アシスト効果が得られる。また、人体における特定の部位だけの質量を増大させることで、人体における特定の部位の動作を行い難くすることができ、トレーニングやリハビリ効果が得られる。

【0078】

・第 1 の実施形態において、制御部 23 は、重力の方向を仮想的に y 方向上向きにしたり、あるいは x 方向に重力方向を変えたりするように電磁モータ 15 を制御してもよい。例えば、人 P の腕の運動について考える。人 P の手に質量を付加する場合を考えると、図 7 (a) に示すように、重力方向が下向きするとき、人 P の腕が伸展する方向に外力が働くため、通常のダンベル動作のようになり、主に上腕二頭筋 (図 7 (a) において斜線を付した部分) を鍛えることができる。また、図 7 (b) に示すように、重力方向が上向きするとき、人 P の腕を屈曲する方向に外力が働くため、主に上腕三頭筋 (図 7 (b) において斜線を付した部分) を鍛えることができる。このように、重力方向を任意に変えることで、狙った筋肉を同じ姿勢のまま効果的に鍛えることができる。

【0079】

・上記各実施形態において、エンコーダ 14 にて電磁モータ 15 の動作情報を検出するようにしてもよい。すなわち、エンコーダ 14 を動作検出手段として機能させてもよい。例えば、図 8 に示すリンク系と駆動系とからなるリンクモデルにより、電磁モータ 15 を用いて減速機 15 a 及びリンク 15 b を介して人体に外力を与える場合について考える。電磁モータ 15 により発生するトルクを τ_{in} 、回転角度を θ_{in} 、出力軸側の発揮トルクを τ_{out} 、回転角度を θ_{out} とする。例えば、図 3 の人体の肘の角度を q とすると、 τ_{out} と一致する。電磁モータ 15 の特性である慣性及び粘性をそれぞれ a_1 、 b_1 、減速機の特性である慣性及び粘性をそれぞれ a_2 、 b_2 とすると、駆動系ダイナミクスとして式 23 の関係が成立する。

【0080】

10

20

30

40

【数 2 2】

$$\tau_{in} = a_1 \frac{d^2 \theta_{in}}{dt^2} + b_1 \frac{d\theta_{in}}{dt} + \frac{1}{n} \tau_{out} \quad \dots (式23)$$

$$\tau_{out} = a_2 \frac{d^2 \theta_{out}}{dt^2} + b_2 \frac{d\theta_{out}}{dt}$$

out = in / nであることを考慮して、式 2 3 をまとめると、駆動系ダイナミクスとして式 2 4 が得られる。

【0081】

10

【数 2 3】

$$\tau_{in} = \left(a_1 + \frac{a_2}{n^2}\right) \ddot{\theta}_{in} + \left(b_1 + \frac{b_2}{n^2}\right) \dot{\theta}_{in} \quad \dots (式24)$$

これを out について書き直すと、式 2 5 が得られる。

【0082】

【数 2 4】

$$\tau_{out} = (n^2 a_1 + a_2) \ddot{\theta}_{out} + (n^2 b_1 + b_2) \dot{\theta}_{out} \quad \dots (式25)$$

out = q、out = a であることと、 $n^2 a_1 + a_2 = I_a$ 、 $n^2 b_1 + b_2 = D_a$ とすると、駆動系ダイナミクス a は式 2 6 にて与えられる。 20

【0083】

【数 2 5】

$$\tau_a = I_a \ddot{q} + D_a \dot{q} \quad \dots (式26)$$

ここで、駆動系ダイナミクス a を人体に与えたい仮想環境のための外力トルク ext に付加することで、電磁モータ 1 5 と減速機のダイナミクスを除去することができる。また、式 2 6 は、電磁モータ 1 5 と減速機の慣性及び粘性のみを考慮したモデルになっているが、例えば、式 2 7 のように、電磁モータ 1 5 と減速機の慣性及び粘性に加えて、クーロン摩擦を考慮してもよい。なお、fa はクーロン摩擦係数、sign () は符号関数 30

【0084】

【数 2 6】

$$\tau_a = I_a \ddot{q} + D_a \dot{q} + f_a \text{sign}(\dot{q}) \quad \dots (式27)$$

I a、D a、f a のようなパラメータは、電磁モータ 1 5 や減速機のカタログ値を用いたり、予めパラメータ同定などを行ったことで得ることができる。そして、外力算出部 2 2 は、式 2 8 により外力を算出するとともに、電磁モータ 1 5 により算出された外力を人体に与える。

【0085】

40

【数 2 7】

$$\tau_a + \tau_{ext} \quad \dots (式28)$$

これによれば、外力算出部 2 2 は、電磁モータ 1 5 と減速機自体の慣性、粘性及び摩擦などのダイナミクスを除去しつつ人体に与える外力を算出することができ、電磁モータ 1 5 により正確に人体に所望の外力を与えることができる。

【0086】

・上記各実施形態において、図 9 に示すように、人体接触部に外力検出手段としてのロードセル 4 1 を設けて電磁モータ 1 5 の駆動により発生した外力を検出するようにしてもよい。図 9 に示す仮想環境付与装置 4 0 は、パラレルワイヤ駆動システム 4 0 a と外骨格 50

型装置 40b とを組み合わせる。これにより、人体の肘関節軸周りや人 P の手に対して所望の外力を与えることができる。

【0087】

そして、外力算出部 22 は、ロードセル 41 により検出した外力 f_{ext} と、特定の仮想環境を人体に与えるために必要な外力 f_{extd} との偏差に基づいて、式 29 のようなフィードバック制御則により、電磁モータ 15 への指令値を算出する。ただし、 v_{input} は手先の座標系における電磁モータ 15 への指令値、 K_f は力フィードバックゲインである。

【0088】

【数 28】

$$v_{input} = K_f (f_{extd} - f_{ext}) \quad \dots (式29)$$

電磁モータ 15 の制御入力をワイヤ 16 の張力とすると、式 29 による電磁モータ 15 への指令値 v_{input} を電磁モータ 15 の幾何学的関係から各電磁モータ 15 への制御入力に変換して制御することで、人体に与える外力のフィードバック制御が可能となる。また、外力として与える関節トルク τ_{ext} を外力算出部 22 により算出したとき、上記式 4 の関係を用いて、関節トルク τ_{ext} からロードセル 41 により検出した外力 f_{ext} を式 30 にて算出することができる。

【0089】

【数 29】

$$f_{ext} = J^T(q) \tau_{ext} \quad \dots (式30)$$

人 P の手に与えるべき外力 f_{ext} は、式 4 を用いて、各電磁モータ 15 をトルク制御することで人体に与えることもできる。また、ロードセル 41 で人 P の手に与えるべき外力 f_{ext} を検出する場合は式 29 を用いて、式 4 の関係から各電磁モータ 15 のトルクを式 31 により決定することができる。

【0090】

【数 30】

$$\tau = J^T(q) K_f (f_{extd} - f_{ext}) \quad \dots (式31)$$

・図 10 (a) に示す実施形態では、人 P の腕に関節角度計の一種であるゴニオメータ 51 が取り付けられている。そして、このゴニオメータ 51 により人体の関節角度を検出するようにしてもよい。そして、CPU 20 は、ゴニオメータ 51 により検出された人体の関節角度の検出信号を受信するとともに、当該検出信号を利用して運動情報検出部 21 が人体の運動情報を検出する。

【0091】

・図 10 (b) に示す実施形態では、人体の手首に加速度センサ 61 が取り付けられている。そして、この加速度センサ 61 により、運動情報として、手先が回転又は並進したときの加速度を検出するようにしてもよい。そして、CPU 20 は、加速度センサ 61 により検出された加速度の検出信号を受信するとともに、当該検出信号を利用して運動情報検出部 21 が人体の運動情報を検出する。また、検出された加速度を表す検出値を数値積分することで速度情報及び位置情報を検出してもよい。

【0092】

・例えば、速度センサを用いて、運動情報として、手先の回転又は並進したときの速度を検出してもよい。この場合、速度センサは、運動情報検出部として機能する。そして、検出された速度を表す検出値を数値微分することで加速度情報を検出してもよく、さらには、検出された速度を数値積分することで位置情報を検出してもよい。

【0093】

・図 11 に示す実施形態では、人 P の腰に仮想環境付与装置 70 の土台部 71 を取り付けるとともに、土台部 71 から延在する仮想環境付与装置 70 のリンク部 72 の先端が人

10

20

30

40

50

体の手首に取り付けられている。そして、リンク部 7 2 に設けられた複数（この実施形態では 7 つ）の電磁モータ 1 5 を駆動させることで、人 P の手、または関節と関節とを結ぶリンク部 7 2 に対して並進力又はトルクを与えることができる。また、このような装着型の仮想環境付与装置 7 0 を用いることで、装着した状態で動作が可能となり、自由に動き回ることができ、仮想環境付与装置 7 0 を装着しながら日常生活を送ることができる。

【 0 0 9 4 】

・上記各実施形態において、電磁モータ 1 5 をトルク制御モードで使用してもよい。これによれば、人体に与えられる外力を検出するためのセンサを別途設ける必要が無く、電磁モータ 1 5 をトルク制御モードで使用することで、人体に対して所望の外力を与えることができる。

10

【 0 0 9 5 】

・上記各実施形態において、設定部 2 4 を削除してもよい。

・第 2 の実施形態において、例えば、図 1 2 に示すように、仮想環境付与装置 8 0 を人 P の足に装着し、人 P が歩行することで水中を歩行している感覚を人体に与えるようにしてもよい。

【 0 0 9 6 】

・上記各実施形態では、使用者が仮想環境付与装置 1 0 を使用している使用状態において、使用者が設定部 2 4 を操作して自分の所望する仮想環境になるように仮想環境付与装置 1 0 のモードを切り替えてもよい。ここで、「使用者が仮想環境付与装置 1 0 を使用している状態」とは、「人体に対して外力が付与されている状態」のことをいう。

20

【 0 0 9 7 】

例えば、図 1 3 (a) に示すように、仮想環境付与装置 9 0 は装着型となっており、床面に載置された土台部 9 1 から延在するリンク部 9 2 の先端に装着部 9 2 a が設けられている。装着部 9 2 a は人体の腰に装着される。リンク部 9 2 には複数の電磁モータ 1 5 が配設されており、各電磁モータ 1 5 を駆動させることで、人 P の腰に対して並進力又はトルクを与えることができる。

【 0 0 9 8 】

図 1 3 (b) に示すように、仮想環境付与装置 9 0 には仮想環境設定手段としての設定部 9 4 が設けられている。設定部 9 4 には、仮想環境付与装置 9 0 のモードを切替可能な仮想環境モード切替スイッチ S W 1 が設けられている。そして、この実施形態では、使用者によって仮想環境モード切替スイッチ S W 1 が押されたことで、仮想環境付与装置 9 0 のモードが水中環境に設定された状態を示している。

30

【 0 0 9 9 】

また、設定部 9 4 には、人体に水中環境を与えるために必要な外力の要素である付加慣性力、流体抗力及び浮力を ON / OFF にするための ON / OFF 切替スイッチ S W 2 , S W 3 , S W 4 が設けられている。さらに、設定部 9 4 には、付加慣性力、流体抗力及び浮力の項の向きを正転又は反転に設定可能な向き設定スイッチ S W 5 が設けられている。また、設定部 9 4 には、付加慣性力、流体抗力及び浮力の項の大きさを、0 . 5 倍、1 . 0 倍、2 . 0 倍に設定可能な大きさ設定スイッチ S W 6 が設けられている。

【 0 1 0 0 】

そして、使用者は、ON / OFF 切替スイッチ S W 2 , S W 3 , S W 4 を操作することで、付加慣性力、流体抗力及び浮力を ON 又は OFF に切り替える。例えば、使用者は、付加慣性力及び流体抗力を OFF にして、浮力のみを ON にする。すると、人体には浮力のみが付与されることになり、高齢者などの筋肉が少なく力が出せない使用者には、身体を軽くして使用者に対する負担を減らすように外力を与えることができる。また、例えば、使用者は、付加慣性力及び流体抗力を ON にして、浮力のみを OFF にする。すると、人体には付加慣性力及び流体抗力が付与されることになり、筋肉が多い使用者に対してさらに負荷を大きくすることができ、より効果的に筋肉を鍛えることができる。このように、付加慣性力、流体抗力及び浮力を追加及び削除することで、使用者にとって付与される仮想環境のバリエーションが増え、使用者は飽きずに仮想環境付与装置 9 0 を使用し続け

40

50

ることができる。

【0101】

また、例えば、図13(b)に示すように、付加慣性力及び浮力をONにし、流体抗力のみをOFFにした状態において、使用者により向き設定スイッチSW5が押されて設定が正転から反転に切り換えられると、ONになっている付加慣性力及び浮力の向きが正転から反転に切り換えられる。すると、使用者の運動方向と人体に付与される外力の方向とを反対の向きにすることができ、効果的にトレーニングすることができる。

【0102】

また、使用者は、大きさ設定スイッチSW6を操作することで、ONになっている付加慣性力及び浮力の大きさを0.5倍、1.0倍、2.0倍等に切り換えることができる。例えば、使用者は、大きさ設定スイッチSW6を操作して、仮想環境付与装置90の使用開始時には付加慣性力及び浮力の大きさを0.5倍に設定しておく。そして、使用者は、仮想環境付与装置90の使用途中で大きさ設定スイッチSW6を操作して、付加慣性力及び浮力の大きさを1.0倍、2.0倍に切り換える。さらに、仮想環境付与装置90の使用を終了する前に、使用者は大きさ設定スイッチSW6を操作して、付加慣性力及び浮力の大きさを0.5倍に戻すように切り換える。このようにすれば、ウォーミングアップからクールダウンまでの一連の動作を実現することができ、トレーニング効果を効率良く得ることができる。

【0103】

尚、付加慣性力、流体抗力及び浮力の向き及び大きさをそれぞれ独立に切り換えられるように、向き設定スイッチ及び大きさ設定スイッチを付加慣性力、流体抗力及び浮力ごとに設けてもよい。また、大きさ設定スイッチSW6を操作することで、付加慣性力、流体抗力及び浮力の大きさを0.5倍、1.0倍、2.0倍以外の倍率に設定できるようにしてもよい。

【0104】

また、図11に示す実施形態のように、例えば、人Pの手に質量を付加する場合を考える。図14では、使用者によって仮想環境モード切替スイッチSW1が押されたことで、仮想環境付与装置10のモードが、人Pの手で仮想的にダンベルを握ったような仮想環境である仮想手先質量環境に設定された状態を示している。この場合、設定部94には、人Pの手に仮想的に与えられる質量の大きさを設定可能な質量設定スイッチSW11が設けられている。また、設定部94には、人Pの手に仮想的に与えられる形状を設定可能な形状設定スイッチSW12が設けられている。さらに、設定部94には、形状設定スイッチSW12を操作することで設定された形状の長さ、幅、奥行きを設定可能な長さ設定スイッチSW13、幅設定スイッチSW14及び奥行き設定スイッチSW15が設けられている。

【0105】

そして、使用者は、質量設定スイッチSW11を操作することで、人Pの手に仮想的に与えられる質量の大きさを1.0kg、2.0kg、3.0kg等に設定する。これによれば、例えば、高齢者などの筋肉が少なく力が出せない使用者に対しては質量を小さく設定したり、筋肉が多い使用者に対しては質量を大きく設定したりすることができる。

【0106】

また、使用者は、形状設定スイッチSW12を操作することで、人Pの手に仮想的に与えられる形状を質点、円柱、角柱のいずれかに設定する。形状は、手先に仮想物体を持たせる場合に、慣性モーメントが影響する。質点では慣性モーメントは0(零)であり、円柱及び角柱は、所定の慣性モーメントを有する。慣性モーメントは物体の形状に依存するため、その寸法によって慣性モーメントの大きさが変化する。よって、使用者は、形状設定スイッチSW12によって形状を設定した後に、その設定された形状の長さ、幅、奥行きを設定するために、長さ設定スイッチSW13、幅設定スイッチSW14及び奥行き設定スイッチSW15を操作する。このように、物体の形状を設定することで、人Pの手に仮想的に与えられる外力のパリエーションを増やすことができ、使用者は飽きずに仮想環

10

20

30

40

50

境付与装置 10 を使用し続けることができる。尚、人 P の手に仮想的に与えられる形状としては、質点、円柱、角柱に限らず、例えば、球、三角柱等の形状であったり、円柱の先に球が取り付けられた形状であったり、円柱の先に当該円柱の軸方向と直交する方向に延びる円柱が取り付けられた形状であったりしてもよい。

【0107】

尚、設定部 94 により、水中環境と仮想手先質量環境とが組み合わさった仮想環境が使用者に付与されるように設定してもよい。例えば、設定部 94 により、水中でダンベルを握ったような仮想環境が使用者に与えられるように設定してもよい。

【0108】

・運動情報検出部 21 により検出された人体に対するワイヤ 16 の取り付け位置が回転又は並進したときの位置情報に応じて、人体に与えられる外力の向きの設定、外力の大きさの設定、及び外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部 24 により行えるようにしてもよい。この場合、例えば、設定部 24 には、運動情報検出部 21 により検出された人体に対するワイヤ 16 の取り付け位置が回転又は並進したときの位置情報に応じて、外力の向きの設定を行うプログラム、外力の大きさの設定を行うプログラム、及び外力の追加と削除を行うプログラムの 3 つのプログラムが組み込まれている。尚、当該 3 つのプログラムのうち一つだけが組み込まれた設定部 24 であってもよいし、3 つのプログラムのうち二つのプログラムが組み込まれた設定部 24 であってもよい。

10

【0109】

例えば、図 15 (a) に示すように、人 P の手に下向きの重力が付与されている状態において、図 15 (b) に示すように、通常のダンベル動作を行うことで、ワイヤ 16 の取り付け位置(手の位置)が所定の仮想環境切替地点 Z1 に到達したとする。このとき、設定部 24 により、人 P の手に付与されている重力の向きが下向きから上向きに自動的に切り替えられる。つまり、この場合、設定部 24 により重力の頂の向きが正転から反転に自動的に切り替えられる。これによれば、運動方向と負荷の方向を同じ向きにしたり、反対の向きにしたりすることができ、より効果的にトレーニング、リハビリ又は人 P の動作をアシストすることができる。なお、設定部 24 は、ワイヤ 16 の取り付け位置が所定の仮想環境切替地点 Z1 に到達したときに、例えば、重力の大きさを自動的に切り替えるようにしてもよいし、重力以外の外力である慣性力、遠心力及びコリオリ力の向きや大きさを適宜切り替えるようにしてもよい。

20

30

【0110】

また、ワイヤ 16 の取り付け位置が所定の仮想環境切替地点 Z1 に到達したときに、重力、慣性力、遠心力及びコリオリ力の向き及び大きさのうちの少なくとも一つを設定部 24 により自動的に切り替えるようにしたが、これに限らない。例えば、図 16 に示すように、ワイヤ 16 の取り付け位置(手の位置)が所定の仮想環境切替領域 Z2 内に入ったときに、重力、慣性力、遠心力及びコリオリ力の向き及び大きさのうちの少なくとも一つを設定部 24 により自動的に切り替えるようにしてもよい。

【0111】

尚、仮想環境として人体に水中環境が付与されている場合には、運動情報検出部 21 により検出された人体における所定の部位の位置が仮想環境切替地点 Z1 に到達したり、仮想環境切替領域 Z2 内に入ったりしたときに、付加慣性力、流体抗力及び浮力の向き、大きさ、及び追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部 24 により行えるようにしてもよい。

40

【0112】

・運動情報検出部 21 により検出された人体に対するワイヤ 16 の取り付け位置が回転又は並進したときの速度情報に応じて、人体に与えられる外力の向きの設定、外力の大きさの設定、及び外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部 24 により行えるようにしてもよい。この場合、例えば、設定部 24 には、運動情報検出部 21 により検出された人体に対するワイヤ 16 の取り付け位置が回転又は並進したときの速度情報に応じて、外力の向きの設定を行うプログラム、外力の大きさの設定を行うプログラム、及び外力の

50

追加と削除を行うプログラムの3つのプログラムが組み込まれている。尚、当該3つのプログラムのうち一つだけが組み込まれた設定部24であってもよいし、3つのプログラムのうち二つのプログラムが組み込まれた設定部24であってもよい。

【0113】

そして、例えば、ダンベル動作を考える。例えば、人体に1kgの負荷が与えられたダンベル動作では、図17に示すように、ダンベル動作の基準速度V1が予め設定されている。そして、基準速度V1よりも速い速度でダンベル動作ができる使用者には、例えば、重力の大きさを2倍、3倍と不連続に大きくすることで、使用者に大きな負荷を与えることができ、より効果的にトレーニングすることができる。一方、基準速度V1よりも遅い速度でダンベル動作を行っている使用者に対しては、例えば、重力の大きさを半分にする

10

【0114】

また、図17に示すように、速度と負荷の大きさとを関係付けた特性線L1を予め設定しておき、その特性線L1に応じて負荷の大きさが連続的に変化するようにしてもよい。さらには、速度が正のときには負荷の大きさを2倍、3倍と大きくし、速度が負のときは負荷の大きさが0(零)になるように設定してもよい。また、速度が正のときには特性線L1に応じて負荷の大きさが連続的に変化するようにし、速度が負のときは負荷の大きさを半分にするようにしてもよい。

【0115】

また、速度は運動の向きを表す。よって、速度情報に応じて重力の項の向きを正転から反転に自動的に切り替えるようにしてもよい。尚、速度情報に応じて、重力以外の外力である慣性力、遠心力及びコリオリ力の向きや大きさを適宜切り替えるようにしてもよい。

20

【0116】

さらには、仮想環境として人体に水中環境が付与されている場合には、運動情報検出部21により検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの速度情報に応じて、付加慣性力、流体抗力及び浮力の向き、大きさ、及び追加と削除の少なくとも一つを設定部24により行えるようにしてもよい。

【0117】

・運動情報検出部21により検出された人体に対するワイヤ16の取り付け位置が回転又は並進したときの加速度情報に応じて、外力の向きの設定、外力の大きさの設定、及び外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部24により行えるようにしてもよい。この場合、例えば、設定部24には、運動情報検出部21により検出された人体に対するワイヤ16の取り付け位置が回転又は並進したときの加速度情報に応じて、外力の向きの設定を行うプログラム、外力の大きさの設定を行うプログラム、及び外力の追加と削除を行うプログラムの3つのプログラムが組み込まれている。尚、当該3つのプログラムのうち一つだけが組み込まれた設定部24であってもよいし、3つのプログラムのうち二つのプログラムが組み込まれた設定部24であってもよい。

30

【0118】

急加速、急減速といった筋肉への負担が大きい運動に対しては、急加速、急減速といった絶対値の大きな加速度を検知して、人Pに付与する外力を小さくすることで、筋肉を痛めることを緩和することができる。また、仮想環境付与装置10自体にも過大な力が加わることを防ぐことができ、仮想環境付与装置10の耐久性を向上させることができる。

40

【0119】

さらには、仮想環境として人体に水中環境が付与されている場合には、運動情報検出部21により検出された人体における所定の部位が回転又は並進したときの加速度情報に応じて、付加慣性力、流体抗力及び浮力の向き、大きさ、及び追加と削除の少なくとも一つを設定部24により行えるようにしてもよい。

【0120】

・運動情報検出部21により検出された位置、速度、加速度の条件を組み合わせ、予め定められた位置で、且つ予め定められた速度以上のときに、仮想環境に関する設定を自

50

動的に切り替えてもよい。また、予め定められた加速度で所定の位置を通過した場合に、仮想環境に関する設定を自動的に切り替えてもよい。これによれば、人体に与える仮想環境のバリエーションをさらに増やすことができ、さらに効果的なトレーニング、リハビリ、アシストが可能となる。

【0121】

・使用時間の経過に応じて、外力の向きの設定、外力の大きさの設定、及び外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部24により行えるようにしてもよい。この場合、例えば、設定部24には、使用時間の経過に応じて、外力の向きを設定を行うプログラム、外力の大きさの設定を行うプログラム、及び外力の追加と削除を行うプログラムの3つのプログラムが組み込まれている。尚、当該3つのプログラムのうち一つだけが組み込まれた設定部24であってもよいし、3つのプログラムのうち二つのプログラムが組み込まれた設定部24であってもよい。ここで、「使用時間の経過」とは、人体に対して外力が付与され始めてから、人体に対して外力が付与されなくなるまでの時間の経過のことをいう。

10

【0122】

例えば、仮想環境として水中環境が人体に付与されている場合を考える。図18に示すように、時間 t_0 から時間 t_1 の間には浮力のみを人体に付与し、時間 t_1 から時間 t_2 の間には浮力に加えて流体抗力を人体に付与する。さらに、時間 t_2 から時間 t_3 の間には浮力及び流体抗力に加えて付加慣性力を人体に付与する。続けて、時間 t_3 から時間 t_4 の間には付加慣性力を削除して浮力及び流体抗力を人体に付与し、時間 t_4 から時間 t_5 の間には流体抗力を削除して浮力のみを人体に付与する。これによれば、時間 t_0 から時間 t_2 の間でウォーミングアップをし、時間 t_2 から時間 t_3 の間で本格的にトレーニングをし、時間 t_3 から時間 t_5 の間でクールダウンをするといったようなトレーニングコースを作成することができ、使い勝手を向上させることができる。

20

【0123】

また、使用時間の経過に応じて、人体に与える仮想環境自体を設定部24により自動的に切り替えてもよい。例えば、図19に示すように、時間 t_0 から時間 t_1 の間には仮想手先質量の仮想環境を人体に付与し、時間 t_1 から時間 t_2 の間には水中環境を人体に仮想環境として付与する。さらに、時間 t_2 から時間 t_3 の間には人体の質量が増減したかのような仮想環境を人体に付与してもよい。

30

【0124】

また、使用時間の経過に応じて、外力の向きを設定部24により自動的に切り替えるようにしてもよい。例えば、人Pの手に質量を付加する場合を考える。図20に示すように、時間 t_0 から時間 t_1 の間では、重力の向きを下向きにして上腕二頭筋を鍛え、時間 t_1 から時間 t_2 の間では、重力の向きを反転させて上向きにして上腕三頭筋を鍛える。このようにすれば、屈筋、伸筋をバランス良く鍛えることができる。また、例えば、伸筋を鍛える時間よりも屈筋を鍛える時間のほうが長いコースである「屈筋コース」といったコース名を設定部24にスイッチとして配設することで、使い勝手をより向上させることができる。

【0125】

また、使用時間の経過に応じて、外力の大きさを設定部24により自動的に切り替えるようにしてもよい。例えば、時間が10秒経過する毎に重力の大きさを1%ずつ増やすといったようなことをすれば、連続的に人体に与える負荷を可変にすることが可能となる。

40

【0126】

・人体が仮想環境付与装置10, 30, 40, 70, 80, 90に加えた外力に応じて、外力の向きの設定、外力の大きさの設定、及び外力の追加と削除のうちの少なくとも一つを設定部24により行えるようにしてもよい。この場合、例えば、設定部24には、人体が仮想環境付与装置10, 30, 40, 70, 80, 90に加えた外力に応じて、外力の向きを設定を行うプログラム、外力の大きさの設定を行うプログラム、及び外力の追加と削除を行うプログラムの3つのプログラムが組み込まれている。尚、当該3つのプログ

50

ラムのうち一つだけが組み込まれた設定部 24 であってもよいし、3つのプログラムのうち二つのプログラムが組み込まれた設定部 24 であってもよい。

【0127】

例えば、図9に示す仮想環境付与装置40では、人体が仮想環境付与装置40に加えた外力を、ロードセル41により検出することができる。ロードセル41は、電磁モータ15の駆動により発生した外力を検出できるが、作用・反作用の法則により、人体が電磁モータ15に加えた外力を検出することも可能である。例えば、人体が静止している状態において、電磁モータ15の駆動力で各ワイヤ16に張力を発生させて、人Pの手に外力として並進力又はトルクを与える場合、ロードセル41は、人体に加わった並進力又はトルクを検出する。一方、電磁モータ15が停止している状態において、人体が各ワイヤ16

10

【0128】

そして、例えば、使用者が、各ワイヤ16に対して急激に力を加えたときには、ロードセル41により検出される外力は急激に増加した値が検出される。設定部24は、この検出された外力に応じて、例えば、遠心力及びコリオリ力の大きさを小さくしたり、遠心力及びコリオリ力の向きを反転させたりする。これによれば、使用者の筋への負担を緩和させることができ、さらには、各ワイヤ16を介して電磁モータ15にかかる負担を緩和させることができる。

20

【0129】

また、使用者は、ロードセル41により検出される外力の上限値 max 及び下限値 min を設定部24に予め設定しておく。そして、この外力の上限値 max 及び下限値 min に応じて、外力の項の向き及び大きさのうちの少なくとも一つを設定部24により自動的に切り替えるようにしてもよい。具体的には、図21に示すように、設定部24は、ロードセル41により検出された外力が下限値 min (図21では下限値 $min = 0$) よりも小さいときは、使用者に与えられる外力を0(零)に設定する。また、ロードセル41により検出された外力が0(零)から max までの間では、設定部24は、例えば、重力を追加し、その後、重力に代えて遠心力及びコリオリ力を加え、その後、重力、遠心力及びコリオリ力を加える。さらに、設定部24は、ロードセル41により検出

30

【0130】

・図22に示すように、仮想環境付与装置95には、床面に載置された土台部96から延在するリンク部97の先端に、人Pが着座可能な座部98が設けられている。リンク部97には複数の電磁モータ15が配設されている。そして、人Pが座部98に着座した状態で、各電磁モータ15を駆動させると、人体に対して並進力又はトルクを与えることができ、座部98に着座している使用者が得られる感覚を変化させることができる。尚、これら並進力及びトルクの向きは設定部24により任意に変更可能になっている。

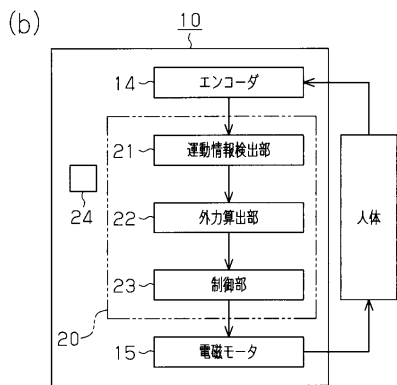
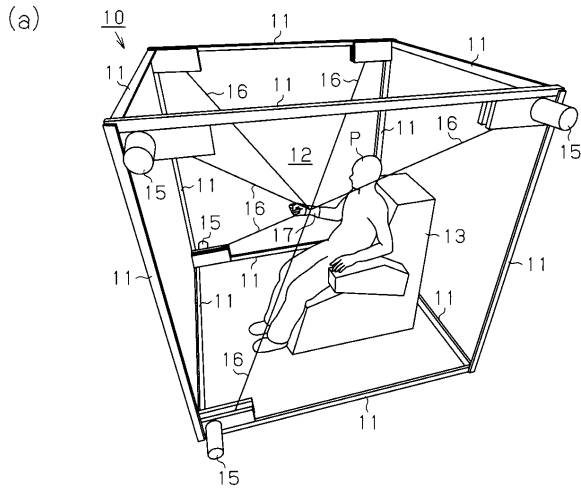
40

【符号の説明】

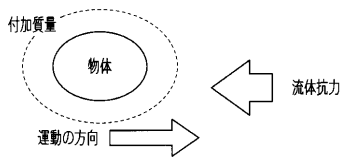
【0131】

10, 30, 40, 70, 80, 90, 95...仮想環境付与装置、14...動作検出手段としてのエンコーダ、15...外力付与手段としての電磁モータ、21...運動情報検出部、22...外力算出部、23...制御部、24, 94...仮想環境設定手段としての設定部、41...外力検出手段としてのロードセル。

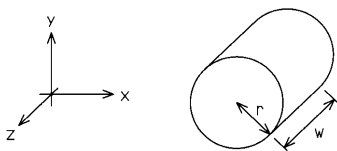
【図1】



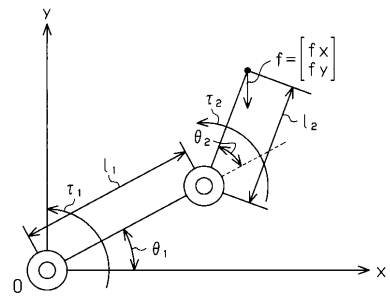
【図4】



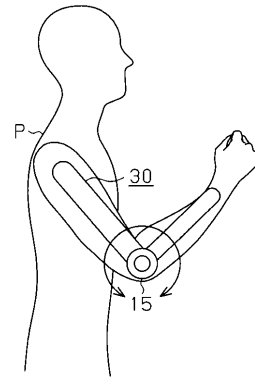
【図5】



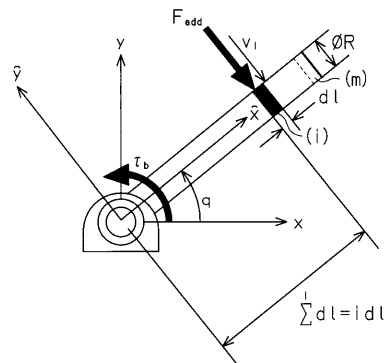
【図2】



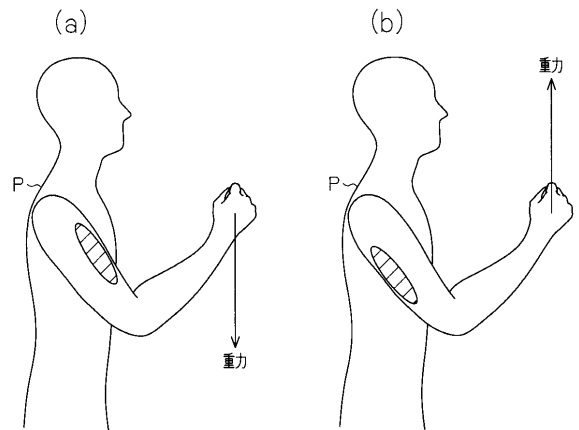
【図3】



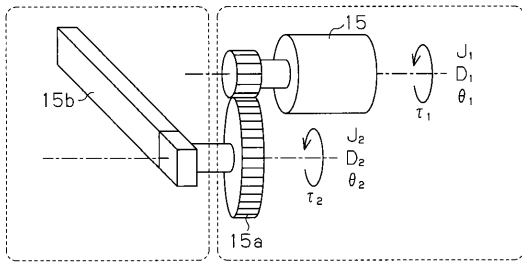
【図6】



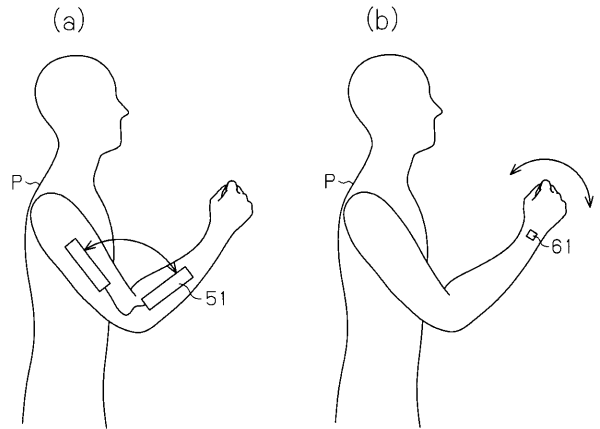
【図7】



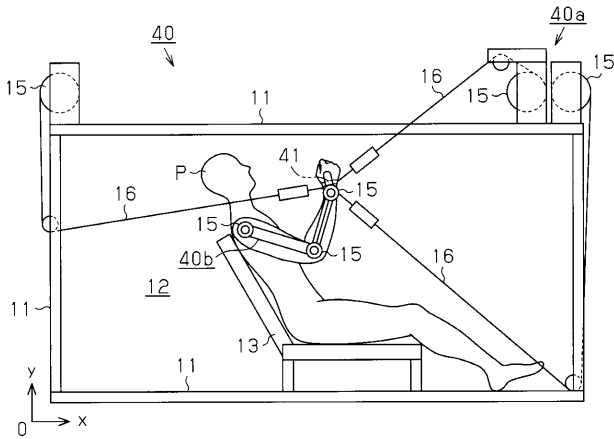
【 図 8 】



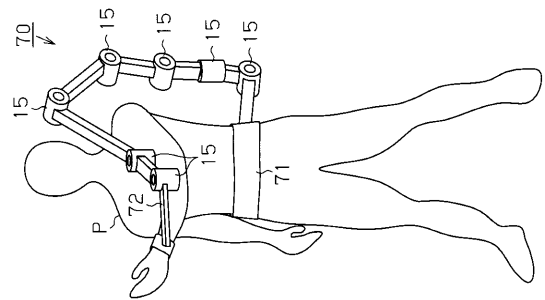
【 図 10 】



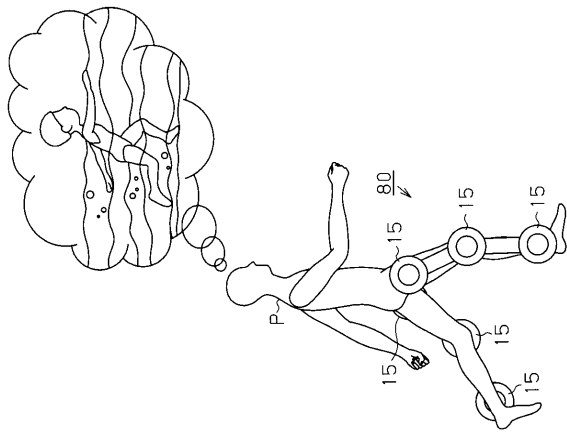
【 図 9 】



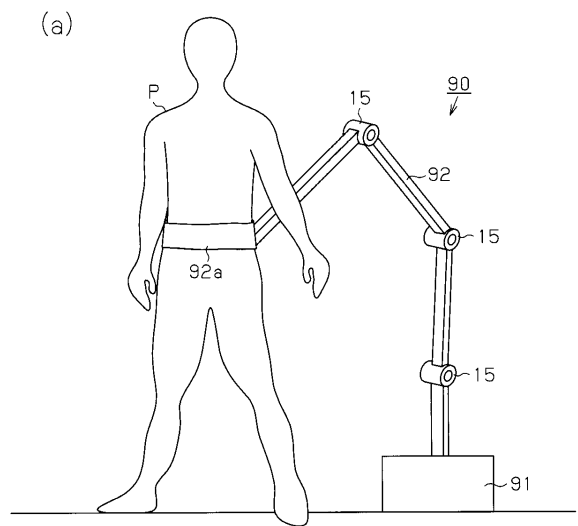
【 図 11 】



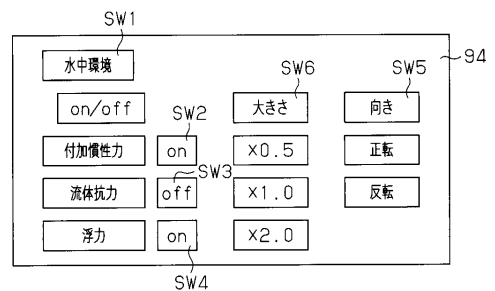
【 図 12 】



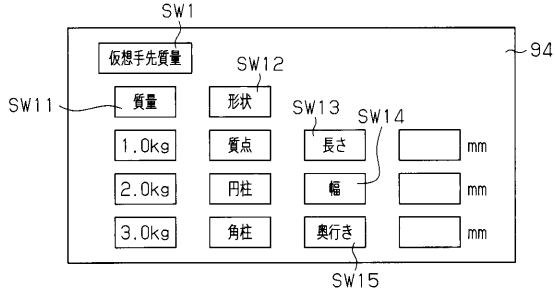
【 図 13 】



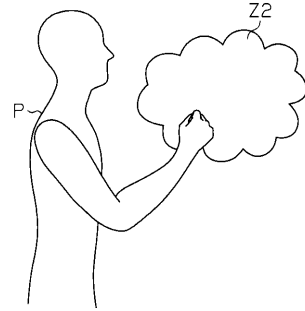
(b)



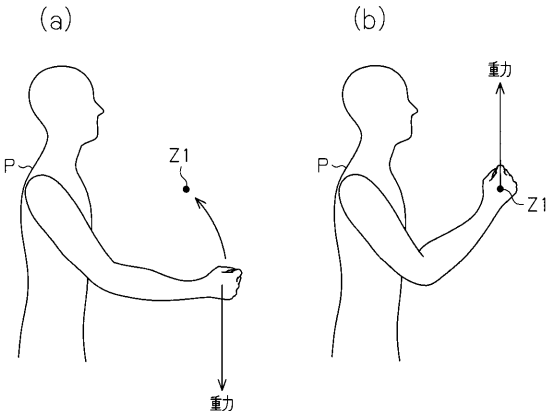
【 図 1 4 】



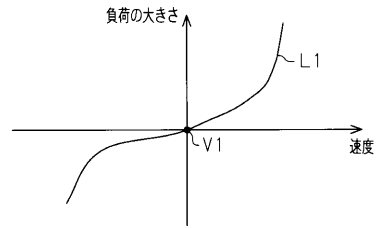
【 図 1 6 】



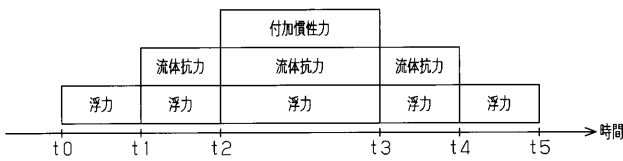
【 図 1 5 】



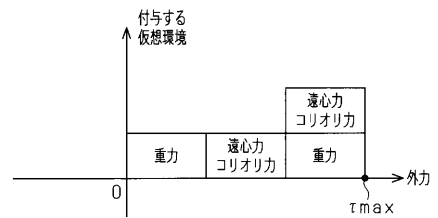
【 図 1 7 】



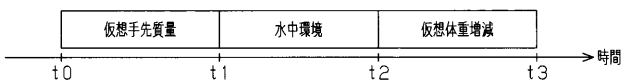
【 図 1 8 】



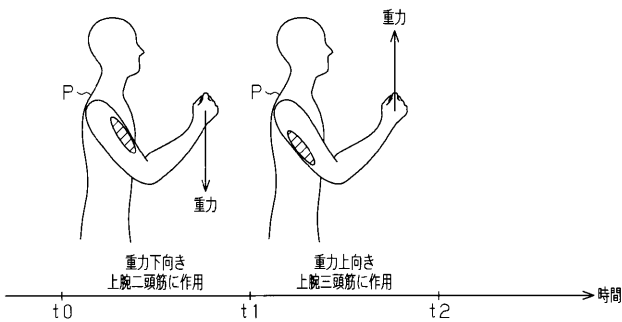
【 図 2 1 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 2 】

