

(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2018-79094
(P2018-79094A)

(43) 公開日 平成30年5月24日(2018.5.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 3 B 21/22 (2006.01)	A 6 3 B 21/22	4 C 0 3 8
A 6 1 H 3/00 (2006.01)	A 6 1 H 3/00	B 4 C 0 4 6
A 6 1 B 5/11 (2006.01)	A 6 1 B 5/10	3 1 0 G
A 6 3 B 24/00 (2006.01)	A 6 3 B 24/00	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2016-223612 (P2016-223612)
(22) 出願日 平成28年11月16日 (2016.11.16)

(71) 出願人 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
(74) 代理人 100095407
弁理士 木村 満
(74) 代理人 100162259
弁理士 末富 孝典
(74) 代理人 100133592
弁理士 山口 浩一
(74) 代理人 100168114
弁理士 山中 生太
(72) 発明者 熊澤 典良
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
Fターム(参考) 4C038 VA04 VB14 VB31 VC20
最終頁に続く

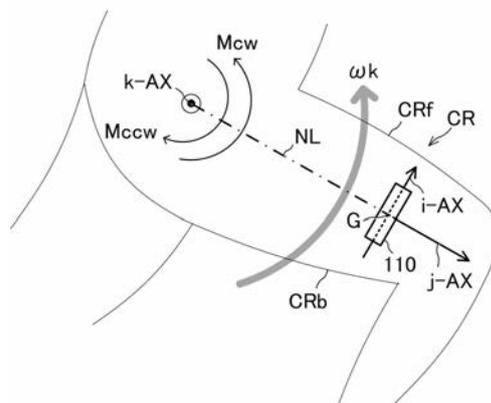
(54) 【発明の名称】 身体装着具及び制御プログラム

(57) 【要約】

【課題】身体に付与するモーメントの、身体の動きに応じた調整に遅れが生じにくい身体装着具及び制御プログラムを提供する。

【解決手段】身体装着具は、股関節に固定された仮想回転軸 $k - AX$ の周りに往復回転運動が可能な右大腿部 CR に装着される。身体装着具を構成するモーメント生成器は、右大腿部 CR に対して固定された仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに揺動可能なフライホイール 110 と、フライホイール 110 を仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転させる揺動用モータと、フライホイール 110 を自転させる自転用モータとを有し、仮想揺動軸 $i - AX$ が仮想回転軸 $k - AX$ に対してねじれの位置にあり、自転中のフライホイール 110 が仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転されたときに、仮想回転軸 $k - AX$ の周りにモーメントを生成する。右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの角速度 ω_k に基づき揺動用モータを制御する。

【選択図】 図 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

身体に対して固定された仮想回転軸の周りに往復回転運動が可能な、前記身体の往復回転運動部に装着される身体装着具であって、

前記往復回転運動部に対して固定された仮想揺動軸の周りに揺動可能なフライホイールと、前記フライホイールを前記仮想揺動軸の周りに回転させる揺動用モータと、前記フライホイールを自転させる自転用モータとを有し、前記仮想揺動軸が前記仮想回転軸に対してねじれの位置にあり、自転中の前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに回転されたときに、前記フライホイールの前記仮想揺動軸の周りの角速度に応じたモーメントを、前記仮想回転軸の周りに生成するモーメント生成器と、

10

前記往復回転運動部の、前記仮想回転軸の周りの角速度若しくは回転角、又はそれら角速度及び回転角に依存する物理量を計測する計測器と、

前記計測器の計測結果に基づいて、前記揺動用モータと前記自転用モータのうち、少なくとも前記揺動用モータを制御する制御器と、

を備える身体装着具。

【請求項 2】

前記制御器が、

前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して時計回りに回転しているか、反時計回りに回転しているかを判別する回転方向判別動作と、

前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して時計回りに回転している期間に、前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに、時計回りと反時計回りのうちいずれか一方を表す第 1 方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する第 1 制御動作と、

20

前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して反時計回りに回転している期間に、前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに、時計回りと反時計回りのうち前記第 1 方向とは逆方向の第 2 方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する第 2 制御動作と、

を行う、請求項 1 に記載の身体装着具。

【請求項 3】

前記制御器が、

前記回転方向判別動作では、前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、時計回りから反時計回りに切り替わったこと、及び反時計回りから時計回りに切り替わったことを検出し、

30

前記第 1 制御動作では、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、反時計回りから時計回りに切り替わったときに、前記フライホイールが予め定められた第 1 回転角だけ前記第 1 方向に回転するように、前記揺動用モータを制御し、

前記第 2 制御では、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、時計回りから反時計回りに切り替わったときに、前記フライホイールが予め定められた第 2 回転角だけ前記第 2 方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する、

請求項 2 に記載の身体装着具。

【請求項 4】

前記制御器が、

40

前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸周りの回転角を、予め定められた目標値に近づけるように、前記揺動用モータを制御する、

請求項 1 に記載の身体装着具。

【請求項 5】

身体に対して固定された仮想回転軸の周りに往復回転運動が可能な、前記身体の往復回転運動部に装着されるモーメント生成器であって、

前記往復回転運動部に対して固定された仮想揺動軸の周りに揺動可能なフライホイールと、前記フライホイールを前記仮想揺動軸の周りに回転させる揺動用モータと、前記フライホイールを自転させる自転用モータとを有し、前記仮想揺動軸が前記仮想回転軸に対してねじれの位置にあり、自転中の前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに回転され

50

たときに、前記フライホイールの前記仮想揺動軸の周りの角速度に応じたモーメントを、前記仮想回転軸の周りに生成するモーメント生成器、

を制御するコンピュータに、

前記往復回転運動部の、前記仮想回転軸の周りの角速度若しくは回転角、又はそれら角速度及び回転角に依存する物理量の計測結果を外部から取得する取得機能と、

取得した前記計測結果に基づいて、前記揺動用モータと前記自転用モータのうち、少なくとも前記揺動用モータを制御する制御機能と、

を実現させる制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、身体装着具及び制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1に開示されるように、ユーザの大腿部に装着され、ユーザの膝関節に、膝の動きをアシストする向きのモーメントを付与する身体装着具が知られている。この身体装着具は、フライホイールの自転によって上記モーメントを生成する。

【0003】

また、この身体装着具は、ユーザの姿勢に応じて上記モーメントを調整するために、計測器と制御器とを備える。計測器は、地面に対する大腿部の傾斜角を計測する。制御器は、計測器で計測された傾斜角に応じて、フライホイールの自転の回転数を制御する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-254741号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

フライホイールは、自転の角運動量を保持しようとする性質をもつ。従って、フライホイールの自転の回転数の調整、特に、自転方向の逆転を伴う回転数の調整は、迅速に行うことが難しい。このため、上記身体装着具は、ユーザの膝の動きが機敏な場合には、上記モーメントの調整が間に合わず、膝の動きを適切にアシストできないおそれがある。

30

【0006】

本発明の目的は、身体に付与するモーメントの、身体の動きに応じた調整に遅れが生じにくい身体装着具及び制御プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の身体装着具は、

身体に対して固定された仮想回転軸の周りに往復回転運動が可能な、前記身体の往復回転運動部に装着される身体装着具であって、

40

前記往復回転運動部に対して固定された仮想揺動軸の周りに揺動可能なフライホイールと、前記フライホイールを前記仮想揺動軸の周りに回転させる揺動用モータと、前記フライホイールを自転させる自転用モータとを有し、前記仮想揺動軸が前記仮想回転軸に対してねじれの位置にあり、自転中の前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに回転されたときに、前記フライホイールの前記仮想揺動軸の周りの角速度に応じたモーメントを、前記仮想回転軸の周りに生成するモーメント生成器と、

前記往復回転運動部の、前記仮想回転軸の周りの角速度若しくは回転角、又はそれら角速度及び回転角に依存する物理量を計測する計測器と、

前記計測器の計測結果に基づいて、前記揺動用モータと前記自転用モータのうち、少なくとも前記揺動用モータを制御する制御器と、

50

を備える。

【0008】

前記制御器が、

前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して時計回りに回転しているか、反時計回りに回転しているかを判別する回転方向判別動作と、

前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して時計回りに回転している期間に、前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに、時計回りと反時計回りのうちいずれか一方を表す第1方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する第1制御動作と、

前記往復回転運動部が前記仮想回転軸に対して反時計回りに回転している期間に、前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに、時計回りと反時計回りのうち前記第1方向とは逆方向の第2方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する第2制御動作と、
を行うように構成されていてもよい。

10

【0009】

前記制御器が、

前記回転方向判別動作では、前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、時計回りから反時計回りに切り替わったこと、及び反時計回りから時計回りに切り替わったことを検出し、

前記第1制御動作では、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、反時計回りから時計回りに切り替わったときに、前記フライホイールが予め定められた第1回転角だけ前記第1方向に回転するように、前記揺動用モータを制御し、

20

前記第2制御では、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸の周りの回転方向が、時計回りから反時計回りに切り替わったときに、前記フライホイールが予め定められた第2回転角だけ前記第2方向に回転するように、前記揺動用モータを制御する、
ように構成されていてもよい。

【0010】

前記制御器が、

前記計測器の計測結果を用いて、前記往復回転運動部の前記仮想回転軸周りの回転角を、予め定められた目標値に近づけるように、前記揺動用モータを制御する、
ように構成されていてもよい。

【0011】

30

上記目的を達成するために、本発明の制御プログラムは、

身体に対して固定された仮想回転軸の周りに往復回転運動が可能な、前記身体の往復回転運動部に装着されるモーメント生成器であって、

前記往復回転運動部に対して固定された仮想揺動軸の周りに揺動可能なフライホイールと、前記フライホイールを前記仮想揺動軸の周りに回転させる揺動用モータと、前記フライホイールを自転させる自転用モータとを有し、前記仮想揺動軸が前記仮想回転軸に対してねじれの位置にあり、自転中の前記フライホイールが前記仮想揺動軸の周りに回転されたときに、前記フライホイールの前記仮想揺動軸の周りの角速度に応じたモーメントを、前記仮想回転軸の周りに生成するモーメント生成器、

を制御するコンピュータに、

40

前記往復回転運動部の、前記仮想回転軸の周りの角速度若しくは回転角、又はそれら角速度及び回転角に依存する物理量の計測結果を外部から取得する取得機能と、

取得した前記計測結果に基づいて、前記揺動用モータと前記自転用モータのうち、少なくとも前記揺動用モータを制御する制御機能と、

を実現させる。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、フライホイールを揺動させる揺動用モータによってモーメントを調整できる。揺動用モータは、自転用モータよりも、フライホイールが自転の角運動量を保持しようとすることに起因する抵抗を受けにくいいため、自転用モータのみでモーメントを調

50

整する場合に比べて、身体の動きに応じたモーメントの調整に遅れが生じにくい。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態1に係る身体装着具の大腿部への装着態様を示す概略図。

【図2】実施形態1に係る身体装着具の本体部の構成を示す概念図。

【図3】実施形態1に係るモーメント生成部の揺動軸に平行な部分破断正面図。

【図4】実施形態1に係るフライホイールの揺動軸に垂直な側面図。

【図5】実施形態1に係るフライホイールがモーメントを生成する態様を示す概念図。

【図6】実施形態1に係る制御器が行う負荷制御の手順を示すフローチャート。

【図7】(A)は右脚を後方に振り始める瞬間のユーザの体勢を示す概念図。(B)は右脚を前方に振り始める瞬間のユーザの体勢を示す概念図。 10

【図8】実施形態2に係る身体装着具の胸部背面への装着態様を示す概略図。

【図9】実施形態2に係る制御器の構成を示す概念図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係る身体装着具について説明する。図中、同一又は対応する部分に同一の符号を付す。

【0015】

[実施形態1]

図1に示すように、本実施形態に係る一对の身体装着具600及び700は、ユーザの下肢に装着される。これら身体装着具600及び700は、ユーザの身体に、歩行又は疾走を妨げるモーメントを付与することで、ユーザのトレーニングを支援するものである。 20

【0016】

一方の身体装着具600は、ユーザの身体に対して固定された仮想回転軸 $k - AX$ の周りのモーメントを生成する本体部610と、本体部610をユーザの身体に装着するベルト620と、から構成される。

【0017】

本実施形態では、仮想回転軸 $k - AX$ は、ユーザの股関節をユーザの身体の幅方向に貫いており、この仮想回転軸 $k - AX$ の周りに往復回転運動が可能な往復回転運動部としての右大腿部CRに、本体部610が装着されている。本体部610は、ユーザの右側の股関節に、右大腿部CRの動きを妨げる向きのモーメントを付与する。 30

【0018】

他方の身体装着具700も同様に、仮想回転軸 $k - AX$ の周りのモーメントを生成する本体部710と、本体部710を、往復回転運動部としての左大腿部CLに装着するベルト720と、から構成される。本体部710は、ユーザの左側の股関節の周りに、左大腿部CLの動きを妨げる向きのモーメントを付与する。

【0019】

左右一对の身体装着具600及び700において、本体部610及び710の構成及び作用は同様である。そこで、以下では、代表して一方の身体装着具600の本体部610の構成及び作用について、詳細に説明する。 40

【0020】

図2に示すように、本体部610は、仮想回転軸 $k - AX$ の周りのモーメントを生成するモーメント生成器100と、右大腿部CRの仮想回転軸 $k - AX$ の周りの角速度を計測する計測器200と、ユーザによって操作される操作器300と、操作器300でなされた操作及び計測器200の計測結果に応じて、モーメント生成器100を制御する制御器400と、上記モーメント生成器100、計測器200、操作器300、及び制御器400に電力を供給するバッテリー500と、を備える。以下、まず、モーメント生成器100について具体的に説明する。

【0021】

図3に示すように、モーメント生成器100は、フライホイール110と、フライホイ 50

ール 110 を自転させる自転用モータ 120 と、フライホイール 110 及び自転用モータ 120 を保持する保持部材 130 と、自己に対して固定された仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに保持部材 130 を回転可能に保持する基枠 140 と、基枠 140 に固定され、保持部材 130 を仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転させる揺動用モータ 150 と、を有する。

【0022】

基枠 140 は、図 1 に示したベルト 620 によって、ユーザの右大腿部 CR に固定される。即ち、仮想揺動軸 $i - AX$ は、ユーザの右大腿部 CR に対して固定される。

【0023】

フライホイール 110 は、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに保持部材 130 を回転させたときに、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに傾くような向きで、保持部材 130 に取り付けられている。つまり、フライホイール 110 の自転の中心軸を表す仮想自転軸 $j - AX$ は、仮想揺動軸 $i - AX$ と平行でない。

10

【0024】

具体的には、仮想自転軸 $j - AX$ は、仮想揺動軸 $i - AX$ と交差している。より具体的には、仮想自転軸 $j - AX$ は、フライホイール 110 の重心 G の位置において、仮想揺動軸 $i - AX$ と直交している。

【0025】

揺動用モータ 150 によって、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに保持部材 130 を回転させると、仮想自転軸 $j - AX$ と仮想揺動軸 $i - AX$ とが直交関係を保ったまま、フライホイール 110 が、保持部材 130 と共に仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに傾く。保持部材 130 は仮想揺動軸 $i - AX$ の周りのいずれの回転方向にも回転可能であるため、フライホイール 110 は、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに揺動可能である。

20

【0026】

図 4 に示すように、フライホイール 110 は、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに、 $2 \cdot \theta_{amp}$ [rad] の角度の範囲内で揺動可能である。ここで、 θ_{amp} は、予め定められた角度であり（但し、 $\theta_{amp} < \pi/6$ とする。）、本実施形態では、 $\theta_{amp} = \pi/6$ である。なお、図 4 では、理解を容易にするために、身体装着具 600 の構成要素のうちのフライホイール 110 のみを代表して示した。

【0027】

次に、仮想揺動軸 $i - AX$ 及び仮想自転軸 $j - AX$ と、図 1 にも示した仮想回転軸 $k - AX$ との位置関係、及びフライホイール 110 によって生成されるモーメントの向きについて、図 5 を参照して説明する。なお、図 5 では、理解を容易にするために、身体装着具 600 については、フライホイール 110 のみを代表して示す。

30

【0028】

図 5 に示すように、フライホイール 110 は、ユーザの右大腿部 CR の、股関節から遠く、膝に近い方の端部に固定される。股関節を貫く仮想回転軸 $k - AX$ と、フライホイール 110 の重心 G との距離を表す仮想直線（以下、仮想中立線という。）NL は、右大腿部 CR と略平行に延在する。

【0029】

自転中のフライホイール 110 を、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転させたときに、仮想回転軸 $k - AX$ の周りにモーメントが発生するような向きで、図 3 に示した基枠 140 が、図 1 に示したベルト 620 によって右大腿部 CR に固定される。

40

【0030】

具体的には、仮想揺動軸 $i - AX$ は、仮想回転軸 $k - AX$ に対してねじれの位置をなす向きで、右大腿部 CR に対して固定される。図 5 には、仮想揺動軸 $i - AX$ が、仮想回転軸 $k - AX$ と直交する仮想平面内において、仮想中立線 NL と直角をなす向きで、右大腿部 CR に対して固定されている様子を示す。また、図 5 には、仮想自転軸 $j - AX$ が、仮想中立線 NL の延長線上に位置している状態を示す。

【0031】

以下、フライホイール 110 によって仮想回転軸 $k - AX$ の周りに生成されるモーメン

50

トの向きを説明するために、まず、各軸のプラス方向 / マイナス方向と、各軸に対する時計回り / 反時計回りの方向とを定義する。

【 0 0 3 2 】

仮想回転軸 $k - AX$ のプラス方向とは、ユーザにとって左から右に向かう方向を指す。その逆の方向を仮想回転軸 $k - AX$ のマイナス方向とする。図 1 及び図 4 では、プラス方向を向いた矢印によって仮想回転軸 $k - AX$ を表した。

【 0 0 3 3 】

また、仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りとは、右ねじを仮想回転軸 $k - AX$ のプラス方向に螺進させるために、右ねじを回す方向を指す。その逆の方向を仮想回転軸 $k - AX$ に対して反時計回りとする。

10

【 0 0 3 4 】

仮想揺動軸 $i - AX$ のプラス方向とは、右大腿部 CR の背面 CRb から前面 CRf に向かう方向、換言すると、仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りの方向を指す。その逆の方向を仮想揺動軸 $i - AX$ のマイナス方向とする。図 3 及び図 5 では、プラス方向を向いた矢印によって仮想揺動軸 $i - AX$ を表した。

【 0 0 3 5 】

また、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して時計回りとは、右ねじを仮想揺動軸 $i - AX$ のプラス方向に螺進させるために、右ねじを回す方向を指す。その逆の方向を仮想揺動軸 $i - AX$ に対して反時計回りとする。

【 0 0 3 6 】

図 4 に戻り、ここで、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの揺動動作について補足説明する。フライホイール 110 は、仮想自転軸 $j - AX$ が、仮想中立線 NL の延長線上に位置した状態（以下、非傾斜状態という。）を基準として、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して、時計回り及び反時計回りのいずれの回転方向にも、最大で角度振幅 a_{mp} だけ回転可能である。既述のように、本実施形態では、 $a_{mp} = \quad / 6$ である。

20

【 0 0 3 7 】

なお、仮想揺動軸 $i - AX$ が仮想中立線 NL と直角をなさないために、仮想自転軸 $j - AX$ が、仮想中立線 NL の延長線上に位置しえない場合もありうる。その場合は、仮想自転軸 $j - AX$ と仮想中立線 NL とのなす最大角が最も小さくなる状態を、上記非傾斜状態とみなすものとする。

30

【 0 0 3 8 】

次に、仮想自転軸 $j - AX$ のプラス方向 / マイナス方向と、仮想自転軸 $j - AX$ に対する時計回り / 反時計回りの方向を定義する。仮想自転軸 $j - AX$ のプラス方向とは、フライホイール 110 の非傾斜状態において、仮想回転軸 $k - AX$ から遠ざかる方向を指す。その逆の方向を仮想自転軸 $j - AX$ のマイナス方向とする。図 3 ~ 図 5 では、プラス方向を向いた矢印によって仮想自転軸 $j - AX$ を表した。

【 0 0 3 9 】

また、仮想自転軸 $j - AX$ に対して時計回りとは、右ねじを仮想自転軸 $j - AX$ のプラス方向に螺進させるために、右ねじを回す方向を指す。その逆の周方向を仮想自転軸 $j - AX$ に対して反時計回りとする。

40

【 0 0 4 0 】

図 5 に戻り、次に、フライホイール 110 によって仮想回転軸 $k - AX$ の周りに生成されるモーメントの大きさ及び向きについて説明する。

【 0 0 4 1 】

仮想自転軸 $j - AX$ の周りに自転中のフライホイール 110 を、仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転させたとき、仮想回転軸 $k - AX$ の周りに、 $I_j \cdot \quad_j \cdot \quad_i$ に比例するモーメントが発生する。

【 0 0 4 2 】

ここで、 I_j は、フライホイール 110 の仮想自転軸 $j - AX$ の周りの慣性モーメントである。 \quad_j は、フライホイール 110 の仮想自転軸 $j - AX$ の周りの角速度であり、仮

50

想自転軸 $j - AX$ に対して時計回りを正、反時計回りを負とする。 ω_i は、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの角速度であり、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して時計回りを正、反時計回りを負とする。

【0043】

モーメントは、正の値のとき、仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りであり、負の値のとき、反時計回りであることを意味する。即ち、フライホイール 110 の自転の回転方向のみならず、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの回転方向によっても、モーメントの向きを調整できる。

【0044】

例えば、仮想自転軸 $j - AX$ に対して時計回りに自転中のフライホイール 110 を、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して時計回りに回転させると、仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りのモーメント M_{cw} が発生する。この状態から、フライホイール 110 を仮想揺動軸 $i - AX$ に対して反時計回りに回転させると、仮想回転軸 $k - AX$ に対して反時計回りのモーメント M_{ccw} が発生する。このように、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの回転方向によって、ユーザに付与するモーメントの向きを調整できる。

10

【0045】

そこで、右大腿部 CR の動きに応じて、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの回転方向を制御することで、ユーザの動きに追従させた負荷の付与が可能となる。なお、ユーザの動きは、右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの角速度 ω_k の値によって観測できる。

20

【0046】

具体的には、次のような負荷制御が可能となる。角速度 ω_k が正の値の期間、即ち右大腿部 CR が仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りに回転している期間に、フライホイール 110 を仮想揺動軸 $i - AX$ に対して反時計回りに回転させることで、ユーザにモーメント M_{ccw} を付与する。一方、角速度 ω_k が負の値の期間、即ち右大腿部 CR が仮想回転軸 $k - AX$ に対して反時計回りに回転している期間には、フライホイール 110 を仮想揺動軸 $i - AX$ に対して時計回りに回転させることで、ユーザにモーメント M_{cw} を付与する。

【0047】

このようにして、ユーザの身体に歩行又は疾走を妨げるモーメントを付与することで、ユーザのトレーニングを支援できる。図 2 に示した計測器 200 及び制御器 400 によって、このような負荷制御が実現される。

30

【0048】

図 2 に戻り、具体的に説明する。計測器 200 が、上述した、右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの角速度 ω_k を計測する。制御器 400 は、計測器 200 で計測された角速度 ω_k の値に基づいて、揺動用モータ 150 を制御することにより、上記負荷制御を実現する。

【0049】

なお、本実施形態では、制御器 400 は、自転用モータ 120 の制御は行うが、計測器 200 の計測結果に基づいた自転用モータ 120 の制御は行わない。制御器 400 は、上記負荷制御を行う間は、自転用モータ 120 を定速で回転させる。

40

【0050】

制御器 400 は、制御プログラム 410 を記憶している。制御プログラム 410 には、上記負荷制御の手順が記述されている。制御器 400 は、制御プログラム 410 を実行することにより、上記負荷制御を実現するマイクロプロセッサを内蔵している。以下、制御プログラム 410 によって実現される負荷制御について、図 6 及び図 7 を参照し、具体的に説明する。

【0051】

前提として、フライホイール 110 は、上記非傾斜状態を基準として、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して反時計回りに ω_{amp} だけ回転した状態にあるものとする。また、ユーザは

50

、操作器 300 に対して、負荷制御を開始する旨の操作を行い、直立状態から、右大腿部 CR を前方に振り出すことで、疾走を開始するものとする。

【0052】

図 6 において、制御器 400 は、負荷制御を開始する旨の操作が操作器 300 においてなされたことを検出すると（ステップ S1；YES）、自転用モータ 120 を ON し、フライホイール 110 の仮想自転軸 $j - AX$ に対する時計回りの定速回転運動を開始させると共に、フラグ F に 1 を代入する（ステップ S2）。

【0053】

次に、制御器 400 は、計測器 200 で計測された、右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの角速度 k が正であるか、負であるかを判別する（ステップ S3）。このステップ S3 は、角速度 k の値によって、右大腿部 CR が仮想回転軸 $k - AX$ に対して時計回りに回転しているか、反時計回りに回転しているかを判別する回転方向判別動作を表す。

10

【0054】

上述のように、ユーザは、右大腿部 CR を前方に振り出す動作から疾走を開始するため、疾走の開始直後は、角速度 k が正の値を示す。制御器 400 は、角速度 k が正の場合（ステップ S3； $k > 0$ ）、フラグ F がゼロであるか否かを判定する（ステップ S4）。

【0055】

制御器 400 は、ステップ S2 でフラグ F に 1 を代入したため、ステップ S4 で、NO と判別する。次に、制御器 400 は、負荷制御を終了する旨の操作が操作器 300 でなされたか否かを判別し（ステップ S7）、負荷制御を終了しない場合（ステップ S7；NO）、ステップ S3 に戻る。このようにして、疾走の開始直後は、ステップ S3 S4 S7 S3 のフローが繰り返される。

20

【0056】

図 7 (A) に示すように、ユーザが右脚を振る向きを前方から後方に切り替えた瞬間、即ち、ユーザが右脚を後方に振り始めた瞬間に、角速度 k が、正の値から負の値に切り替わる。つまり、制御器 400 は、角速度 k が正から負に切り替わったことをもって、右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの回転方向が、時計回りに切り替わったことを検出する。

30

【0057】

図 6 に戻り、制御器 400 は、角速度 k が正から負に切り替わったことを検出すると（ステップ S3； $k < 0$ ）、フラグ F が 1 であるか否かを判定する（ステップ S8）。制御器 400 は、ステップ S2 でフラグ F に 1 を代入したため、ステップ S8 で、YES と判別する。

【0058】

次に、制御器 400 は、フライホイール 110 が、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して時計回りに角度 $2 \cdot \theta_{amp}$ だけ回転するように、揺動用モータ 150 を制御する第 1 制御動作を行う（ステップ S9）。これにより、図 7 (A) に示した体勢にあるユーザの、股関節の周りに、右大腿部 CR の後方への振り出しを妨げる向きのモーメント M_{cw} が付与される。

40

【0059】

次に、制御器 400 は、フラグ F にゼロを代入し（ステップ S10）、まだ負荷制御を終了しない場合（ステップ S7；NO）、ステップ S3 に戻る。次に、制御器 400 は、ステップ S3 で k が負であることを判別し、先のステップ S10 でフラグ F にゼロを代入したため、ステップ S8 では NO と判別する。このようにして、ユーザにモーメント M_{cw} を付与した直後は、ステップ S7 S3 S8 のフローが繰り返される。

【0060】

図 7 (B) に示すように、ユーザが右脚を振る向きを後方から前方に切り替えた瞬間、即ち、ユーザが右脚を前方に振り始めた瞬間に、角速度 k が負から正に切り替わる。つ

50

まり、制御器 400 は、角速度 ω_k が負から正に切り替わったことをもって、右大腿部 CR の仮想回転軸 $k - AX$ の周りの回転方向が、反時計回りに時計回りに切り替わったことを検出できる。

【0061】

図 6 に戻り、制御器 400 は、角速度 ω_k の値が、負の値から正の値に切り替わったことを検出すると（ステップ S3； $\omega_k > 0$ ）、フラグ F がゼロであるか否かを判定する（ステップ S8）。制御器 400 は、先のステップ S10 でフラグ F にゼロを代入したため、ステップ S4 で、YES と判別する。

【0062】

次に、制御器 400 は、フライホイール 110 が、仮想揺動軸 $i - AX$ に対して反時計回りに角度 $2 \cdot \theta_{amp}$ だけ回転するように、揺動用モータ 150 を制御する第 2 制御動作を行う（ステップ S5）。これにより、図 7（B）に示した体勢にあるユーザの股関節の周りに、右大腿部 CR の前方への振り出しを妨げる向きのモーメント M_{ccw} が付与される。

【0063】

次に、制御器 400 は、フラグ F に 1 を代入し（ステップ S6）、負荷制御を終了するか否かの判定に移行する（ステップ S7）。以上のようにして、制御器 400 は、ユーザが疾走する過程で、図 7（A）と（B）の各体勢のユーザに、疾走を妨げる向きのモーメントを付与する。

【0064】

制御器 400 は、負荷制御を終了する旨の操作が操作器 300 でなされたことを検出すると（ステップ S7；YES）、自転用モータ 120 を OFF し、負荷制御を終了する。

【0065】

以上、右大腿部 CR に装着される身体装着具 600 について説明した。以上の説明を参照すれば、同様にして、左大腿部 CL の往復回転運動に負荷を与えるように、図 1 に示す身体装着具 700 を構成できることは、当業者に理解できるであろう。

【0066】

以上説明したように、本実施形態によれば、ユーザの身体に付与するモーメントの向きを、フライホイール 110 を揺動させる揺動用モータ 150 によって調整できる。揺動用モータ 150 は、自転用モータ 120 よりも、フライホイール 110 が自転の角運動量を保持しようとすることに起因する抵抗を受けにくい。このため、自転用モータ 120 のみでモーメントの向きを調整する場合に比べて、ユーザ身体の動きに応じたモーメントの調整に遅れが生じにくい。従って、ユーザが疾走する場合等、ユーザの動きが機敏な場合であっても、ユーザのトレーニングを適切に支援できる。

【0067】

[実施形態 2]

上記実施形態 1 では、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの回転角の大きさを予め定められた値に固定したが、この回転角の大きさを、計測器 200 の計測結果に応じて可変に制御することで、モーメント生成器 100 が身体に付与するモーメントの大きさを調整できるようにしてもよい。以下、その具体例を説明する。

【0068】

図 8 に示すように、本実施形態では、仮想回転軸 $k - AX$ は、着座したユーザの腰椎を身体の幅方向に貫くように想定される。身体装着具 900 は、仮想回転軸 $k - AX$ の周りにモーメントを生成する本体部 910 と、本体部 910 を、仮想回転軸 $k - AX$ の周りに往復回転運動が可能な往復回転運動部としての胸部 BU に装着するベルト 920 と、から構成される。

【0069】

本体部 910 を構成するモーメント生成器 100 は、ユーザに対して前後方向に延びる仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに揺動可能なフライホイール 110 と、フライホイール 110 を仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転させる揺動用モータ 150 と、フライホイール 110

10

20

30

40

50

を自転させる自転用モータ 120 とを有する。

【0070】

自転中のフライホイール 110 が、揺動用モータ 150 によって仮想揺動軸 $i - AX$ の周りに回転されたときに、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの角速度に応じたモーメントが、仮想回転軸 $k - AX$ の周りに生成される。

【0071】

本体部 910 はまた、着座したユーザの胸部 BU の、仮想回転軸 $k - AX$ の周りの回転角 θ_k を計測する計測器 200' と、計測器 200' で計測された回転角 θ_k に基づいて、揺動用モータ 150 を制御する制御器 800 と、を有する。

【0072】

計測器 200' は、鉛直に延びる仮想鉛直軸 VL に対する胸部 BU の回転角 θ_v を計測する。回転角 θ_v の値は、仮想鉛直軸 VL を基準として、仮想回転軸 $k - AX$ に対し時計回りと反時計回りのいずれか一方の方向をプラス、他方の方向をマイナスとする。

【0073】

図 9 に示すように、制御器 800 は、胸部 BU の回転角 θ_v の目標値 d_v を記憶した目標値記憶部 810 と、その目標値 d_v と計測器 200' で計測された回転角 θ_v との偏差 $d_v - \theta_v$ を算出する比較部 820 と、比較部 820 で算出される偏差 $d_v - \theta_v$ がゼロに近づくように、アクチュエータとしてのモーメント生成器 100 を制御する制御部 830 と、を有する。

【0074】

具体的には、制御部 830 は、モーメント生成器 100 における揺動用モータ 150 を制御する。本実施形態では、揺動用モータ 150 は、PWM (Pulse Width Modulation) 制御が可能である。そして、制御部 830 は、揺動用モータ 150 を駆動するパルス電圧のデューティ比 $duty$ によって、フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの角速度 ω_i を制御する。

【0075】

フライホイール 110 の仮想揺動軸 $i - AX$ の周りの角速度 ω_i を制御することで、身体 SY の仮想回転軸 $k - AX$ の周りに生成されるモーメント M が調整される。すると、モーメント M が調整されたことで、胸部 BU の回転角 θ_k が変化し、変化した回転角 θ_k の値が比較部 820 にフィードバックされる。

【0076】

そして、再び制御部 830 が、揺動用モータ 150 を駆動するパルス電圧のデューティ比 $duty$ を、偏差 $d_v - \theta_v$ がゼロに近づくように制御する。このようにして、偏差 $d_v - \theta_v$ をゼロに近づけるフィードバック制御が行われる。

【0077】

具体的には、制御部 830 は、偏差 $d_v - \theta_v$ に比例してフライホイール 110 の角速度 ω_i を決定する比例制御、偏差 $d_v - \theta_v$ の過去の値の総和に比例してフライホイール 110 の角速度 ω_i を決定する積分制御、及び偏差 $d_v - \theta_v$ の前回の値との差分に比例してフライホイール 110 の角速度 ω_i を決定する微分制御、から選択される 1 つ以上の制御を行う。

【0078】

ここで、前回の値とは、計測器 200' の 1 サンプリング周期だけ過去の値という意味である。また、比例制御、積分制御、及び微分制御から選ばれる複数の制御を行う場合は、各制御による決定値にゲインを掛けて加算した加重和によって角速度 ω_i が決定される。

【0079】

本実施形態では、目標値 d_v は、0 [rad] である。図 8 において、制御器 800 が行うフィードバック制御により、回転角 θ_k が 0 [rad] に収束し、ユーザの胸部 BU が仮想鉛直軸 VL 上に位置するように、ユーザの姿勢が矯正される。

【0080】

10

20

30

40

50

本実施形態によれば、ユーザに付与するモーメントを、自転用モータ120ではなく、揺動用モータ150によって調整するため、ユーザの動きに応じたモーメントの調整に遅れが生じにくい。この結果、回転角にハンティングが生じにくく、ユーザの姿勢をすみやかに矯正できる。

【0081】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれらに限られない。例えば、以下の变形も可能である。

【0082】

(1) 上記実施形態1では、計測器200の計測結果に基づいて、揺動用モータ150のみを制御したが、計測器200の計測結果に基づいて、揺動用モータ150及び自転用モータ120を制御してもよい。その場合でも、自転用モータ120のみでモーメントの向きを調整する場合に比べて、身体の動きに応じたモーメントの調整に遅れが生じにくい。

10

【0083】

(2) 上記実施形態1では、理解を容易にするために、図4で、フライホイール110が仮想揺動軸*i*-AXの周りに2 [rad]以上回転しないこととしたが、フライホイール110が仮想揺動軸*i*-AXの周りに2 [rad]以上回転する構成としてもよい。その場合、仮想自転軸*j*-AXにプラス方向/マイナス方向を定義できないが、フライホイール110の自転の向きは、角運動量ベクトルの向きで特定される。フライホイール110の仮想自転軸*j*-AXの周りの角運動量ベクトルを L_j 、フライホイール110の仮想揺動軸*i*-AXの周りの角運動量ベクトルを L_i とすると、 $L_j \times L_i$ の方向を向くベクトルで表されるモーメントが、仮想回転軸*k*-AXの周りに生じる。ここで“ \times ”は外積を表す。従って、 L_i によって、モーメントの向き及び大きさを制御できる。

20

【0084】

また、生成されるモーメントが $L_j \times L_i$ の方向を向くベクトルで表されることから、身体の所望の位置に想定した仮想回転軸*k*-AXの周りにモーメントを生成するにあたり、仮想揺動軸*i*-AXと仮想自転軸*j*-AXをどのような向きに設定すればよいかは、当業者に理解できるであろう。

【0085】

(3) 上記実施形態1では、身体装着具600及び700が、ユーザの動きを妨げる向きのモーメントをユーザの身体に付与したが、ユーザの動きをアシストする向きのモーメントをユーザの身体に付与するようにしてもよい。

30

【0086】

(4) 上記実施形態1では、計測器200が右大腿部CRの角速度を計測したが、要は、計測器200の計測結果によって角速度が特定できればよい。計測器200が第1次的にいかなる物理量を計測するかは、特に限定されない。例えば、計測器200は、右大腿部CRの加速度を計測してもよい。加速度を角速度に換算できる。

【0087】

実施形態2に係る計測器200'についても同様、要は、計測器200'の計測結果によって回転角が特定できればよい。従って、例えば、計測器200'は角速度や角加速度を計測してもよく、それらの積分によって回転角を特定できる。

40

【0088】

要するに、計測器200及び200'は、角速度若しくは回転角、又はそれら角速度及び回転角に依存する物理量を計測するものであればよい。

【0089】

(5) 上記実施形態1及び2では、それぞれユーザにとって前後方向に往復回転運動する右大腿部CR及び胸部BUに身体装着具600及び900を装着したが、往復回転運動の概念には、仮想回転軸の周りのねじり運動も含まれるものとする。即ち、身体装着具は、例えば、ユーザの身体を鉛直に貫く仮想回転軸の周りにねじり運動が可能な、体幹部に装着され、そのねじり運動に負荷を与えたり、そのねじり運動をアシストしたり、そのね

50

じり角度が目標値に収束するよう姿勢の矯正を行うものであってもよい。

【0090】

(6) 上記実施形態1及び2では、人の身体に装着される身体装着具600、700、及び900について説明したが、身体装着具は、人以外の動物のトレーニングやアシストのために、その動物の身体に装着されるものであってもよい。

【0091】

本発明は、その広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施形態及び変形が可能とされる。上記実施形態は、本発明を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。本発明の範囲は、実施形態ではなく、請求の範囲によって示される。請求の範囲内及びそれと同等の範囲内で施される変形が、本発明の範囲内とみなされる。

10

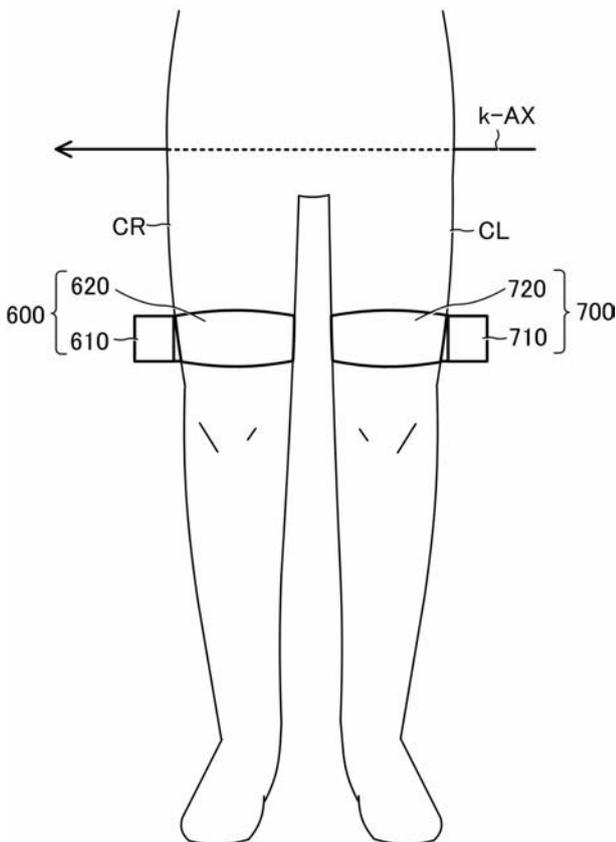
【符号の説明】

【0092】

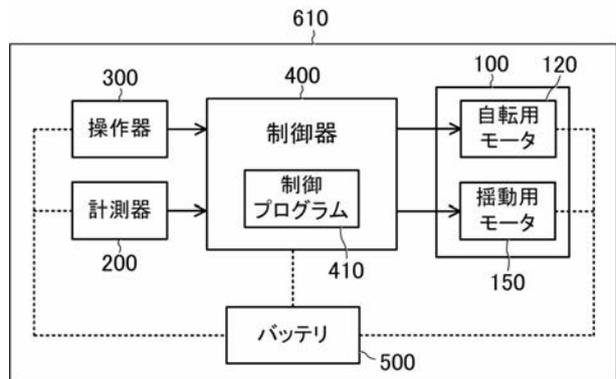
100...モータ生成器、110...フライホイール、120...自転用モータ、130...保持部材、140...基枠、150...揺動用モータ、200, 200'...計測器、300...操作器、400...制御器、410...制御プログラム、500...バッテリー、600, 700, 900...身体装着具、610, 710, 910...本体部、620, 720, 920...ベルト、800...制御器、810...目標値記憶部、820...比較部、830...制御部、k-AX...仮想回転軸、i-AX...仮想揺動軸、j-AX...仮想自転軸、NL...仮想中立線、VL...仮想鉛直軸、SY...身体、CR...右大腿部(往復回転運動部)、CRb...背面、CRf...前面、CL...左大腿部(往復回転運動部)、BU...胸部(往復回転運動部)、G...重心、amp...角度振幅(第1角度、第2角度)、M, M_{CW}, M_{CCW}...モーメント、 ω_k ...右大腿部の角速度、 θ ...胸部の回転角、 d_v ...目標値、 $duty$...デューティ比。

20

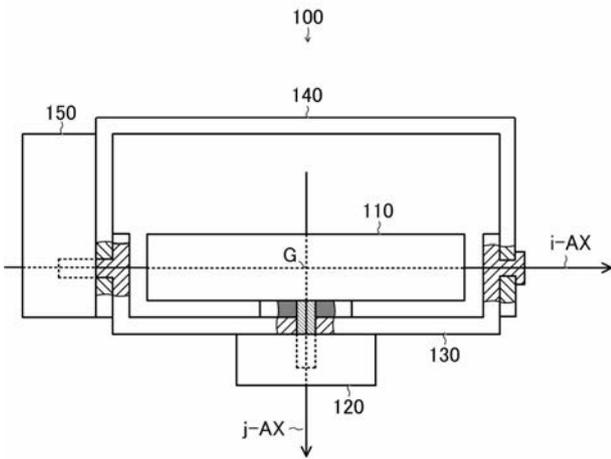
【図1】



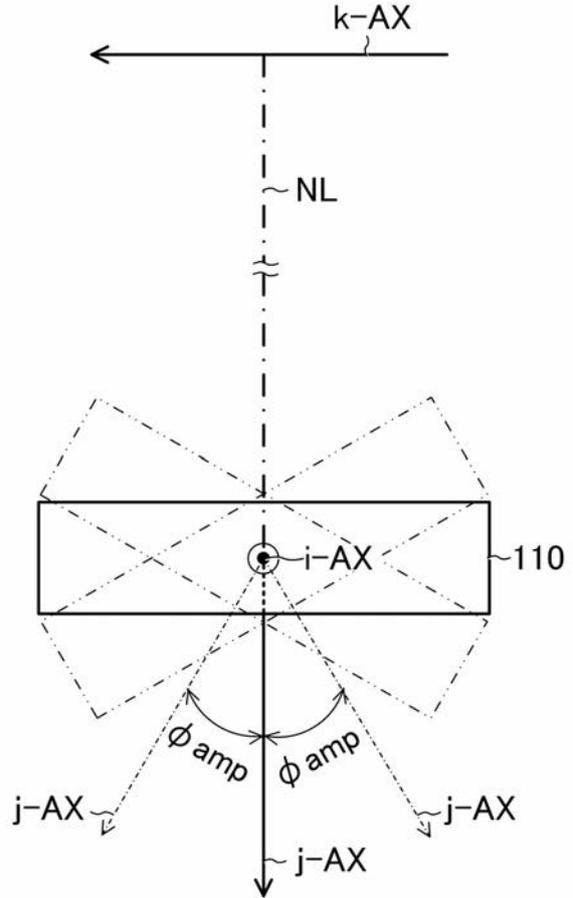
【図2】



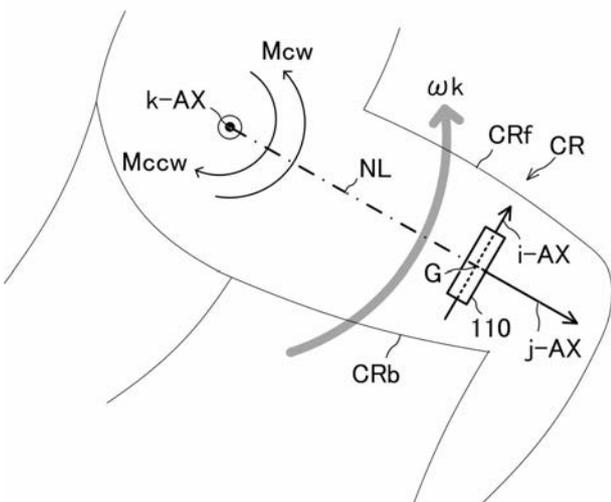
【 図 3 】



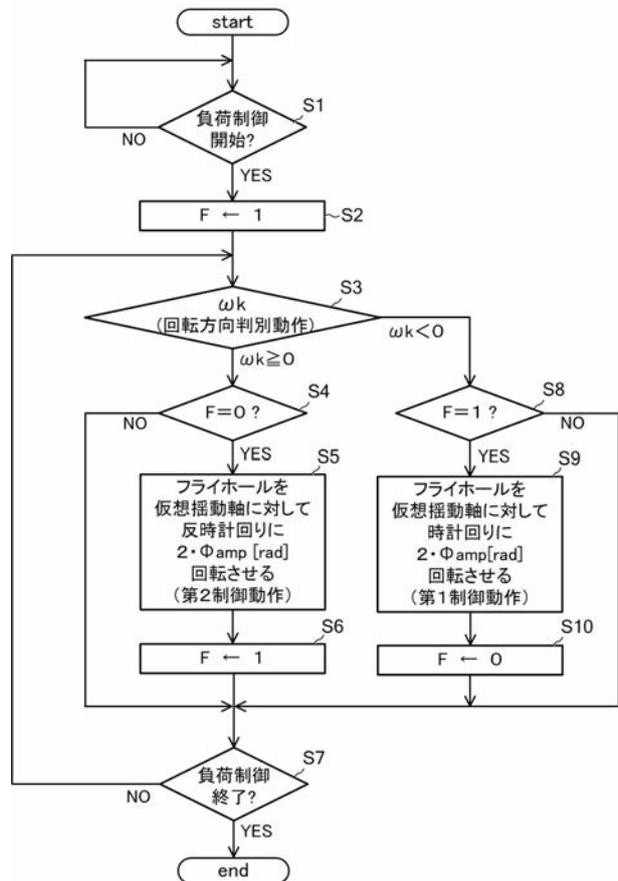
【 図 4 】



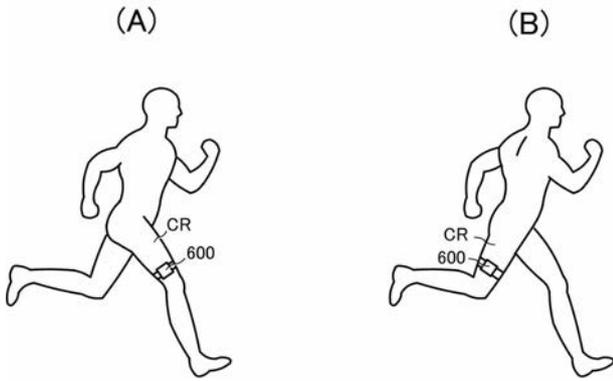
【 図 5 】



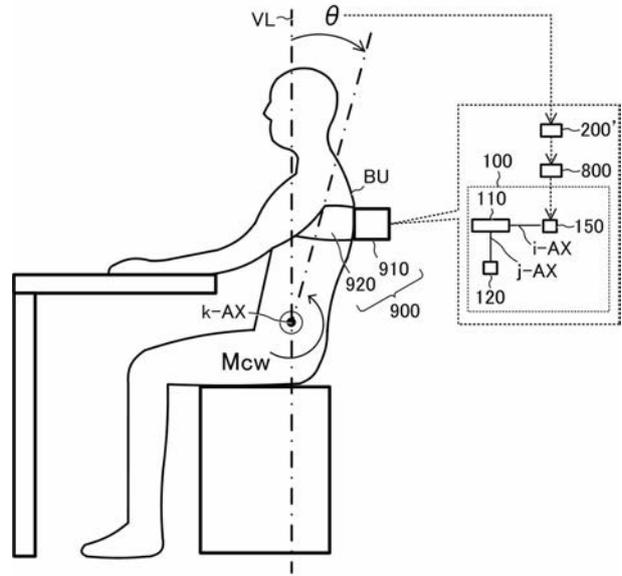
【 図 6 】



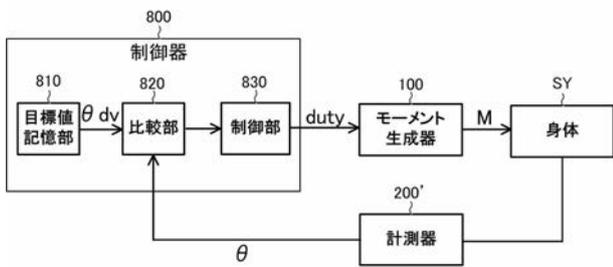
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4C046 AA44 AA45 BB08 DD02 DD39 DD41 DD47 EE02 EE03 FF08
FF22 FF23