

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5055506号  
(P5055506)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int.Cl.	F 1
A 6 3 B 24/00 (2006.01)	A 6 3 B 24/00
A 6 3 B 69/00 (2006.01)	A 6 3 B 69/00 C
A 6 3 B 23/04 (2006.01)	A 6 3 B 23/04 A
A 6 3 B 21/22 (2006.01)	A 6 3 B 21/22

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-57092 (P2006-57092)	(73) 特許権者	304021288 国立大学法人長岡技術科学大学 新潟県長岡市上富岡町1603-1
(22) 出願日	平成18年3月3日(2006.3.3)	(74) 代理人	100064414 弁理士 磯野 道造
(65) 公開番号	特開2007-229323 (P2007-229323A)	(74) 復代理人	100111545 弁理士 多田 悦夫
(43) 公開日	平成19年9月13日(2007.9.13)	(72) 発明者	石井 博 東京都千代田区外神田一丁目18番13号 株式会社日立製作所 トータルソリューション事業部内
審査請求日	平成21年2月13日(2009.2.13)	(72) 発明者	林 郁男 東京都千代田区外神田一丁目18番13号 株式会社日立製作所 トータルソリューション事業部内 最終頁に続く
<p>(出願人による申告)平成17年度 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発事業、人間支援型ロボット実用化基盤技術開発リハビリ支援ロボット及び実用化技術の開発委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>			
前置審査			

(54) 【発明の名称】 トレーニングシステム、トレーニングマシンの制御方法および制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

運動者に対する目標負荷値を生成する制御装置と、当該目標負荷値に基づいて負荷を発生させるトレーニングマシンと、を備えたトレーニングシステムであって、

前記トレーニングマシンは、

受信した電流値情報に基づいて電流を発生させるドライバと、

前記ドライバから供給された電流の大きさに応じた負荷を発生させる可変負荷発生手段と、

前記運動者の動きに関する加速度情報について演算する演算部と、を備え、

前記制御装置は、

予め与えられたトレーニングプログラムに基づいて前記目標負荷値を生成する負荷値生成部と、

前記目標負荷値を、前記可変負荷発生手段がその目標負荷値の負荷を実現するための電流値に変換し、その電流値情報を前記ドライバに送信する負荷調整部と、を備え、

前記負荷調整部は、

前記負荷値生成部で生成した目標負荷値の力によって与えられるべき前記可変負荷発生手段の加速度を算出する加速度変換部と、

前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定する外乱推定機構と

、  
 少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報と、予め行った実験によって与えられている前記可変負荷発生手段による発生負荷の大きさと前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との関係情報と、に基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定する力覚推定機構と、を有し、

第1の処理において、

前記外乱推定機構は、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定し、

10

前記負荷調整部は、前記推定した合力を電流値に変換し、前記加速度変換部が算出した加速度に基づき生成された電流値に、当該変換した電流値を加算し、当該加算された電流値を前記トレーニングマシンに送信し、

第2の処理において、

前記力覚推定機構は、少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報と、前記関係情報と、に基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定し、

前記負荷調整部は、前記負荷値生成部が生成した目標負荷値から、前記力覚推定機構により推定された前記運動者による力を減算して偏差を算出し、当該偏差を前記加速度変換部によって加速度に変換し、当該変換した加速度を電流値に変換し、当該変換した電流値を前記トレーニングマシンに送信し、

20

前記第1の処理と、前記第2の処理とを繰り返すことによって、前記目標負荷値から前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力を減じた大きさの負荷を前記可変負荷発生手段に発生させる

ことを特徴とするトレーニングシステム。

【請求項2】

前記可変負荷発生手段は、サーボモータであることを特徴とする請求項1に記載のトレーニングシステム。

【請求項3】

30

前記トレーニングマシンは、さらに、前記可動部の位置を検出する位置センサを備え、  
 前記演算部は、前記位置センサが検出した前記可動部の位置に基づいて前記可動部の加速度情報を算出し、その加速度情報を前記外乱推定機構および前記力覚推定機構に、前記運動者の動きに関する加速度情報として送信することを特徴とする請求項1または請求項2に記載のトレーニングシステム。

【請求項4】

前記演算部は、前記位置センサが検出した前記可動部の位置に基づいて前記可動部の速度情報を算出し、

前記負荷値生成部は、前記演算部が検出した前記可動部の位置と、前記演算部が算出した前記可動部の速度情報を使用して、前記目標負荷値を生成することを特徴とする請求項3に記載のトレーニングシステム。

40

【請求項5】

前記トレーニングマシンは、前記可動部が前記運動者とともに動く構成となっており、  
 前記外乱推定機構は、予め入力された体重データに基づき、前記運動者がその体重であるものと仮定して前記合力を推定することを特徴とする請求項1または請求項2に記載のトレーニングシステム。

【請求項6】

運動者に対する目標負荷値を生成する制御装置と、当該目標負荷値に基づいて負荷を発生させるトレーニングマシンと、を備えたトレーニングシステムにおけるトレーニングマシンの制御方法であって、

50

前記トレーニングマシンは、  
受信した電流値情報に基づいて電流を発生させるドライバと、  
前記ドライバから供給された電流の大きさに応じた負荷を発生させる可変負荷発生手段  
と、

前記運動者の動きに関する加速度情報について演算する演算部と、を備えており、  
前記制御装置は、

予め与えられたトレーニングプログラムに基づいて前記目標負荷値を生成する負荷値生  
成部と、

前記目標負荷値を、前記可変負荷発生手段がその目標負荷値の負荷を実現するための電  
流値に変換し、その電流値情報を前記ドライバに送信する負荷調整部と、を備えており、

前記負荷調整部は、

前記負荷値生成部で生成した目標負荷値の力によって与えられるべき前記可変負荷発生  
手段の加速度を算出する加速度変換部と、

前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信  
する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による  
力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定する外乱推定機構と  
と、

少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ド  
ライバが受信する前記電流値情報と、予め行った実験によって与えられている前記可変負  
荷発生手段による発生負荷の大きさと前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力と  
の関係情報と、に基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推  
定する力覚推定機構と、を有しており、

第1の処理において、

前記外乱推定機構は、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と  
、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えら  
れる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推  
定し、

前記負荷調整部は、前記推定した合力を電流値に変換し、前記加速度変換部が算出した  
加速度に基づき生成された電流値に、当該変換した電流値を加算し、当該加算された電流  
値を前記トレーニングマシンに送信し、

第2の処理において、

前記力覚推定機構は、少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する  
加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報と、前記関係情報と、に基づいて  
、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定し、

前記負荷調整部は、前記負荷値生成部が生成した目標負荷値から、前記力覚推定機構に  
より推定された前記運動者による力を減算して偏差を算出し、当該偏差を前記加速度変換  
部によって加速度に変換し、当該変換した加速度を電流値に変換し、当該変換した電流値  
を前記トレーニングマシンに送信し、

前記第1の処理と、前記第2の処理とを繰り返すことによって、前記目標負荷値から前  
記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力を減じた大きさの負荷を前記可変負荷発生  
手段に発生させる

ことを特徴とするトレーニングマシンの制御方法。

【請求項7】

運動者に対する目標負荷値を生成する制御装置と、当該目標負荷値に基づいて負荷を  
発生させるトレーニングマシンと、を備えたトレーニングシステムにおける前記制御装置で  
あって、

前記トレーニングマシンは、

受信した電流値情報に基づいて電流を発生させるドライバと、

前記ドライバから供給された電流の大きさに応じた負荷を発生させる可変負荷発生手段  
と、

10

20

30

40

50

前記運動者の動きに関する加速度情報について演算する演算部と、を備え、  
前記制御装置は、  
予め与えられたトレーニングプログラムに基づいて前記目標負荷値を生成する負荷値生成部と、

前記目標負荷値を、前記可変負荷発生手段がその目標負荷値の負荷を実現するための電流値に変換し、その電流値情報を前記ドライバに送信する負荷調整部と、を備え、

前記負荷調整部は、  
前記負荷値生成部で生成した目標負荷値の力によって与えられるべき前記可変負荷発生手段の加速度を算出する加速度変換部と、

前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定する外乱推定機構と

10

、  
少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報と、予め行った実験によって与えられている前記可変負荷発生手段による発生負荷の大きさと前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との関係情報と、に基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定する力覚推定機構と、を有し、

第1の処理において、  
前記外乱推定機構は、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定し、

20

前記負荷調整部は、前記推定した合力を電流値に変換し、前記加速度変換部が算出した加速度に基づき生成された電流値に、当該変換した電流値を加算し、当該加算された電流値を前記トレーニングマシンに送信し、

第2の処理において、  
前記力覚推定機構は、少なくとも、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する加速度情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報と、前記関係情報と、に基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定し、

30

前記負荷調整部は、前記負荷値生成部が生成した目標負荷値から、前記力覚推定機構により推定された前記運動者による力を減算して偏差を算出し、当該偏差を前記加速度変換部によって加速度に変換し、当該変換した加速度を電流値に変換し、当該変換した電流値を前記トレーニングマシンに送信し、

前記第1の処理と、前記第2の処理とを繰り返すことによって、前記目標負荷値から前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力を減じた大きさの負荷を前記可変負荷発生手段に発生させる

ことを特徴とする制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、トレーニングシステム、トレーニングマシンの制御方法および制御装置に関し、より詳しくは、トレーニングマシンで正確な負荷を発生させる技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、健康志向の高まりなどにもなあって、フィットネスジムなどでトレーニングマシンを使用した運動を行う人々が増加している。また、国の施策として、あるいは、個人的にも、健康の維持や体力低下の防止のためにトレーニングマシンによる運動を行う高齢者が増えてきている。そして、トレーニングマシンとしては、たとえば、足の筋肉を鍛えるためのレッグプレスマシンや、胸や腕の筋肉を鍛えるためのチェストプレスマシンなどが

50

ある。

【0003】

そのようなトレーニングマシンとして、金属製などの重量プレートを用いたものがあるが、その場合、重量変更が面倒だったり、1回のトレーニング中の負荷が一定なので運動者の脈拍が上がり過ぎているときなどでも負荷を下げたりすることができない、という問題があった。

【0004】

そのため、重量プレートの代わりに、モータやバネなどを使って運動者に対する負荷を自由に変化させることができるトレーニングマシンが多く開発されている。

たとえば、特許文献1では、トルクモータによって負荷を発生させ、運動者の動きが弱まった場合に負荷を徐々に下げるトレーニングマシンに関する技術が開示されている。

【特許文献1】特開2005-198847号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1などの従来技術では、トレーニングマシンにおいて、可動部(ワイヤや滑車など)の摩擦や経時劣化などにより、与えようとする負荷(目標負荷)と実際の負荷(現実負荷)とが異なっている場合があるという問題があった。そうなり、運動者に予定よりも大きな負荷を与えてしまうことにもなりかねなく、好ましくない。

また、力覚検知センサ(圧力センサなど)を用いれば正確な現実負荷を実現することができるが、そうすると、費用、設置スペース、故障などの様々な問題が発生してしまう。

【0006】

そこで、本発明は、前記問題点に鑑みてなされたものであり、力覚検知センサを用いなくても、目標負荷と現実負荷とをほぼ一致させることができるトレーニングマシンを備えたトレーニングシステム、トレーニングマシンの制御方法および制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は、運動者に対する目標負荷値を生成する制御装置と、当該目標負荷値に基づいて負荷を発生させるトレーニングマシンと、を備えたトレーニングシステムである。

そして、トレーニングマシンは、受信した電流値情報に基づいて電流を発生させるドライバと、前記ドライバから供給された電流の大きさに応じた負荷を発生させる可変負荷発生手段と、前記運動者の動きに関する情報について演算する演算部と、を備えている。

また、制御装置は、予め与えられたトレーニングプログラムに基づいて前記目標負荷値を生成する負荷値生成部と、前記目標負荷値を、前記可変負荷発生手段がその目標負荷値の負荷を実現するための電流値に変換し、その電流値情報を前記ドライバに送信する負荷調整部と、を備えている。

さらに、負荷調整部は、前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力と前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力との合力を推定する外乱推定機構と、少なくとも前記演算部から受信した前記運動者の動きに関する情報と、前記ドライバが受信する前記電流値情報とに基づいて、前記可変負荷発生手段に加えられる前記運動者による力を推定する力覚推定機構と、を有している。

また、負荷調整部は、前記外乱推定機構と前記力覚推定機構が推定したそれぞれの値に基づき、前記目標負荷値から前記トレーニングマシンの機構に起因する抵抗力を減じた大きさの負荷を前記可変負荷発生手段に発生させる電流値情報を前記ドライバに送信する。

その他の手段については後記する。

【発明の効果】

【0008】

10

20

30

40

50

本発明によれば、力覚検知センサを用いなくても、目標負荷と現実負荷とをほぼ一致させることができるトレーニングマシンを備えたトレーニングシステム、トレーニングマシンの制御方法および制御装置を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

本発明の実施形態に係るトレーニングシステムについて、適宜図面を参照しながら説明する。まず、図1を参照しながら、トレーニングシステムの構成について説明する。図1は、トレーニングシステムの構成図である。

【0010】

図1に示すように、トレーニングシステムSは、1台の管理装置Mと、複数のトレーニングユニットUを備えて構成される。

なお、便宜上、トレーニングシステムS、トレーニングユニットUという表現を使い分けているが、トレーニングユニットUをトレーニングシステムと呼んでも(みなしても)かまわない。

【0011】

管理装置Mは、複数のトレーニングユニットUを総合的に管理する装置であり、たとえば、PC(Personal Computer)から構成される。管理装置Mは、各トレーニングユニットUに対して、そのトレーニングユニットUを使用する者(以下「運動者」という)に合わせたトレーニングプログラムを送信し、また、各トレーニングユニットUからトレーニング結果を受信し、記録する。

【0012】

トレーニングプログラムは、実際の重量プレートに換算した負荷(30kgなど)、反復回数(10回)、および、セット数(5セット)などから構成される。トレーニング結果についても同様である。なお、運動者の識別は、ID(Identification)カードや暗証番号などにより行えばよいが、それらの手段などについては図示や詳細な説明を省略する。

【0013】

トレーニングユニットUは、制御装置1とトレーニングマシン2を備えて構成される。

制御装置1は、処理部11、負荷値生成部12および負荷調整部13を備えて構成される。制御装置1は、たとえば、PC(Personal Computer)によって実現することができ、CPU(Central Processing Unit)、ROM(Read Only Memory)、RAM(Random Access Memory)、HD(Hard Disk)などによって、処理部11~負荷調整部13の機能を実現する。

【0014】

ここで、図1の説明の途中であるが、便宜のため、図2について説明する(適宜図1参照)。図2は、トレーニングマシン(レッグプレスマシン)の構成図である。

図2に示すように、トレーニングマシン2は、ドライバ21、サーボモータ22(可変負荷発生手段)、位置センサ23、演算部24、イス201、押圧部202(可動部)、レール203、ワイヤ204および滑車205を備えて構成される。

【0015】

ドライバ21は、サーボモータ22の駆動電流を発生する手段である。

サーボモータ22は、ドライバ21が生成した駆動電流により駆動し、その駆動電流の大きさに応じた力でワイヤ204を引っ張る。

位置センサ23は、サーボモータ22の動き、ワイヤ204の動き、押圧部202の動きなどのいずれかを検出することにより、押圧部202の位置を検出する手段である。

演算部24は、位置センサ23が検出した押圧部202の位置に基づき、押圧部202の速度や加速度を算出する。

【0016】

イス201は、運動者Eがトレーニング中に座るものである。

押圧部202は、トレーニングをする運動者Eが足の力で押圧する部分である。運動者

10

20

30

40

50

Eが押圧部202を足で押圧すると、押圧部202はレール203の上を図2の左方向に移動する。そのとき、サーボモータ22に巻き取られていたワイヤ204は、その分、引き出される。ワイヤ204は、図2の右端で滑車205に引っ掛けられている。

【0017】

図1に戻って(適宜図2参照)、処理部11は、管理装置Mからトレーニングプログラムを受信し、また、トレーニングマシン2の演算部24からトレーニングマシン2の押圧部202の位置情報や速度情報を受信し、それらを負荷値生成部12に送信する。

【0018】

負荷値生成部12は、重量変換部121、速度情報演算部122および位置情報演算部123を備えて構成される。

10

重量変換部121は、処理部11から受信した負荷情報を力の大きさに変換する。たとえば、処理部11から受信した負荷情報( $M_f$ )が「30kg」(実際の重量プレートに換算した負荷)であるとすると、その $M_f$ に $g$ (地球の重力加速度 $9.8\text{m/s}^2$ )を乗算することで、 $30(\text{kg}) \times 9.8(\text{m/s}^2) = 294\text{N}$ (ニュートン)という力の大きさに変換することができる。

【0019】

速度情報演算部122は、トレーニングマシン2の押圧部202の速度情報( $v$ )によってトレーニングマシン2の負荷を変化させるときに、 $v$ に $D_f$ (ダンピングファクタ:押圧部202の速度に応じて負荷を変化させるために $v$ に乘算する係数)を乗算することでその変化量を算出する。

20

押圧部202の速度情報( $v$ )によってトレーニングマシン2の負荷を変化させる必要がないときは、 $D_f$ をゼロにしておけばよい。

【0020】

位置情報演算部123は、トレーニングマシン2の押圧部202の位置情報( $x$ )によってトレーニングマシン2の負荷を変化させるときに、 $x$ に $K_f$ (位置定数:押圧部202の位置に応じて負荷を変化させるために $x$ に乘算する係数)を乗算することで、その変化量を算出する。

押圧部202の位置情報( $x$ )によってトレーニングマシン2の負荷を変化させる必要がないときは、 $K_f$ をゼロにしておけばよい。

【0021】

30

負荷値生成部12は、重量変換部121、速度情報演算部122および位置情報演算部123により算出した値の合計を、目標負荷値として負荷調整部13に出力する。なお、ここでは、目標負荷値を、力(たとえば単位がN(ニュートン))であるものとしているが、トレーニングマシン2のサーボモータ22に対する目標トルク(たとえば単位がN・m(ニュートンメートル))などであってもよい。

【0022】

負荷調整部13は、加速度変換部131、電流変換部132、外乱推定機構133、電流変換部134、力覚推定機構135、減算部136および加算部137を備えて構成される。

減算部136は、負荷値生成部12が生成した目標負荷値から力覚推定機構135により推定された運動者の力覚入力 $P$ を減じ、偏差を算出する。

40

【0023】

加速度変換部131は、その偏差を、トレーニングマシン2の押圧部202(可動部)の質量(kg)で除算することで、その偏差の力によって与えられるべき押圧部202の加速度を算出する。たとえば、その偏差がゼロであれば、加速度変換部131が算出する加速度もゼロとなる。

電流変換部132は、加速度変換部131で算出した加速度に $1/K_{tn}$ を乗算することで、その加速度を電流値に変換するものである。なお、 $K_{tn}$ は、サーボモータ22のトルク定数である。

【0024】

50

加算部 137 は、電流変換部 132 が変換した電流値（電流値情報）と、電流変換部 134 が変換した電流値（電流値情報）を加算するものである。

外乱推定機構 133 は、加算部 137 が算出した電流値と、演算部 24 から受信した押圧部 202 の加速度情報に基づき、サーボモータ 22 の回転に対する抵抗力（運動者の力覚入力 P と摩擦力 F の和）を推定するものであり、いわゆる外乱オブザーバとしての機能を有する。なお、外乱推定機構 133 は、ワイヤ 204 の振動を抑制するためなどに用いられる、いわゆる状態オブザーバとしての機能を備えていてもよい。

【0025】

なお、外乱オブザーバ（外乱推定機構 133 および力覚推定機構 135 における一機能）については、特開 2005 - 212054 号公報などに、その詳細な記載がある。ただし、従来の外乱オブザーバは、産業用ロボットなど、予め決められた作業に関する制御に対して用いられていたものであり、本実施形態のように、人（運動者 E）による不確定な力覚入力に対して用いられたものではない。

10

【0026】

つまり、本実施形態の外乱オブザーバは、外乱オブザーバとしての根本的な動作原理自体は従来のものと同様であるが、トレーニングマシンという適用分野や、不確定な力覚入力に対応するアルゴリズムなどの点で、従来のものと大きく異なっている。

【0027】

なお、トレーニングマシン 2 の機構に起因する抵抗力としては、摩擦力 F のほかに、構成部品の経時劣化など他の要因も考えられるが、ここでは便宜的に、それらすべてをまとめて「摩擦力 F」と表記する。

20

【0028】

電流変換部 134 は、外乱推定機構 133 が推定した抵抗力に  $1 / K_{tn}$  を乗算することで、その抵抗力を電流値に変換するものである。なお、 $K_{tn}$  は、サーボモータ 22 のトルク定数である。

【0029】

力覚推定機構 135 は、加算部 137 が算出した電流値と、演算部 24 から受信した押圧部 202 の加速度情報と、予めサーボモータ 22 について行った実験結果（回転速度と摩擦力 F との関係）に基づき、サーボモータ 22 の回転に対する抵抗力のうち、運動者の力覚入力 P だけを推定するものであり、いわゆる外乱オブザーバとしての機能を有する。なお、力覚推定機構 135 は、ワイヤ 204 の振動を抑制するためなどに用いられる、いわゆる状態オブザーバとしての機能を備えていてもよい。

30

【0030】

トレーニングマシン 2 については、図 2 とともにすでに説明しているので、重複説明を適宜省略し、補足説明のみを行う。

サーボモータ 22 に対しては、その回転の抵抗力として、運動者の力覚入力 P および摩擦力 F が加えられる。

【0031】

演算部 24 は、位置センサ 23 が検出した押圧部 202 の位置に基づき、押圧部 202 の速度や加速度を算出し、制御装置 1 の処理部 11 にはその位置情報と速度情報を、負荷調整部 13 の外乱推定機構 133 と力覚推定機構 135 にはその加速度情報を送信する。

40

【0032】

続いて、図 3 および図 4 を参照しながら、トレーニングシステムにおける制御装置とトレーニングマシンの処理について説明する（適宜図 1、図 2 参照）。図 3 および図 4 は、制御装置とトレーニングマシンの処理の流れを示したフローチャートである。

まず、制御装置 1 の処理部 11 は、管理装置 M からトレーニングプログラム（30 kg × 10 回 × 5 セットなど）を受信する（ステップ S1）。

【0033】

次に、負荷値生成部 12 は、処理部 11 からトレーニングプログラムを受信し、それに応じて目標負荷値を生成する（ステップ S2）。たとえば、トレーニングプログラムの負

50



荷情報 ( $M_f$ ) が「30 kg」であるとする、目標負荷値は、その「30 kg」に  $g$  ( $9.8\text{m/s}^2$ ) を乗算することで  $294\text{N}$  と算出することができる。

なお、トレーニングマシン 2 の押圧部 202 の速度情報 ( $v$ ) や位置情報 ( $x$ ) によってトレーニングマシン 2 の負荷を変化させるときは、速度情報演算部 122 や位置情報演算部 123 も演算を行うことになる。

【0034】

続いて、負荷調整部 13 の加速度変換部 131 は、負荷値生成部 12 で算出した目標負荷値 (たとえば  $294\text{N}$ ) を、トレーニングマシン 2 の押圧部 202 (可動部) の質量 ( $kg$ ) で除算することで、その目標負荷値の力によって与えられるべき押圧部 202 の加速度を算出する (ステップ S3)。

10

なお、このステップ S3 は、2 周目以降では、後記するステップ S16 とステップ S17 の処理を行うことになる。

【0035】

次に、電流変換部 132 は、加速度変換部 131 で算出した加速度に  $1/K_{tn}$  を乗算することで、その加速度を電流値に変換し、その電流値を、加算部 137 を経由して、トレーニングマシン 2 のドライバ 21 に送信する (ステップ S4)。

【0036】

続いて、トレーニングマシン 2 のドライバ 21 は、受信した電流値に応じて、サーボモータ 22 の駆動電流を生成する (ステップ S5)。

その後、サーボモータ 22 は、ドライバ 21 が生成した駆動電流により駆動し (ステップ S6)、その駆動電流の大きさに応じた力でワイヤ 204 を引っ張る。

20

【0037】

運動者 E は、サーボモータ 22 の駆動力に逆らってトレーニングマシン 2 の押圧部 202 を足の力で押圧し、位置センサ 23 は、所定時間 (たとえば  $1/10000$  秒) ごとにその押圧部 202 の位置を検出する (ステップ S7)。

次に、演算部 24 は、位置センサ 23 から得た押圧部 202 の位置情報から、押圧部 202 の加速度を算出し、その加速度情報を外乱推定機構 133 に送信する (ステップ S8)。

【0038】

続いて、外乱推定機構 133 は、加算部 137 から受信した電流値と、演算部 24 から受信した押圧部 202 の加速度情報に基づき、サーボモータ 22 の回転に対する抵抗力 (運動者の力覚入力  $P$  と摩擦力  $F$  の和) を推定する (ステップ S9)。

30

【0039】

そして、負荷調整部 13 は、ステップ S9 で推定した抵抗力を、電流変換部 134 でその値に  $1/K_{tn}$  を乗算することで、電流値に変換し、電流変換部 132 で変換した電流値と加算し、ドライバ 21 にその合計値を送信する (ステップ S10)。

つまり、外乱推定機構 133 によってサーボモータ 22 の回転に対する抵抗力を推定し、その抵抗力に相当する電流値をドライバ 21 に送信することで、サーボモータ 22 には、その抵抗力を完全に打ち消し、さらに、加速度変換部 131 が算出した加速度を実現するために必要な電流が供給されることになる。

40

【0040】

ドライバ 21 は、そのような大きさの駆動電流を生成し (ステップ S11)、その駆動電流によってサーボモータ 22 が駆動する (ステップ S12)。

運動者 E は、サーボモータ 22 の駆動力に逆らってトレーニングマシン 2 の押圧部 202 を足の力で押圧し、位置センサ 23 は、所定時間 (たとえば  $1/10000$  秒) ごとにその押圧部 202 の位置を検出する (ステップ S13)。

【0041】

次に、演算部 24 は、位置センサ 23 から得た押圧部 202 の位置情報から、押圧部 202 の加速度を算出し、その加速度情報を力覚推定機構 135 に送信する (ステップ S14)。

50

続いて、力覚推定機構 1 3 5 は、加算部 1 3 7 から受信した電流値と、演算部 2 4 から受信した押圧部 2 0 2 の加速度情報と、予めサーボモータ 2 2 について行った実験結果（回転速度と摩擦力  $F$  との関係）に基づき、サーボモータ 2 2 の回転に対する抵抗力のうち、運動者の力覚入力  $P$  だけを推定する（ステップ  $S 1 5$ ）。

【 0 0 4 2 】

次に、減算部 1 3 6 は、負荷値生成部 1 2 が生成した目標負荷値から力覚推定機構 1 3 5 により推定された運動者の力覚入力  $P$  を減じ、その偏差を算出する（ステップ  $S 1 6$ ）。

【 0 0 4 3 】

そして、加速度変換部 1 3 1 は、その偏差を、トレーニングマシン 2 の押圧部 2 0 2 の質量（ $kg$ ）で除算することで、加速度に変換する、すなわち、その偏差の力によって与えられるべき押圧部 2 0 2 の加速度を算出する（ステップ  $S 1 7$ ）。

【 0 0 4 4 】

すなわち、ステップ  $S 1 0$  で、電流変換部 1 3 4 から加算部 1 3 7 に対して、サーボモータ 2 2 の回転に対する抵抗力に相当する電流値を入力していることで、このステップ  $S 1 6$  および  $S 1 7$  に基づいた処理では、摩擦力  $F$  の存在や大きさと関係なく、負荷値生成部 1 2 が生成した目標負荷値と力覚推定機構 1 3 5 が推定した運動者の力覚入力  $P$  を減算部 1 3 6 において純粋に比較して、その偏差を算出し、その偏差によってサーボモータ 2 2 を制御することができる。

換言すれば、この後のステップ  $S 2 0$  までの処理を行うことで、運動者  $E$  は、摩擦力  $F$  の存在や大きさと関係なく、負荷値生成部 1 2 が生成する目標負荷値に相当する負荷によるトレーニングを行うことができる。

【 0 0 4 5 】

次に、電流変換部 1 3 2 は、加速度変換部 1 3 1 で算出した加速度に  $1 / K_{t_n}$  を乗算することで、その加速度を電流値に変換し、その電流値を、加算部 1 3 7 を経由して、トレーニングマシン 2 のドライバ 2 1 に送信する（ステップ  $S 1 8$ ）。

【 0 0 4 6 】

続いて、図 4 に示すように、ドライバ 2 1 は、ステップ  $S 1 8$  で負荷調整部 1 3 が送信した電流値に対応する大きさの駆動電流を生成し（ステップ  $S 1 9$ ）、その駆動電流によってサーボモータ 2 2 が駆動する（ステップ  $S 2 0$ ）。

運動者  $E$  は、サーボモータ 2 2 の駆動力に逆らってトレーニングマシン 2 の押圧部 2 0 2 を足の力で押圧し、位置センサ 2 3 は、所定時間ごとにその押圧部 2 0 2 の位置を検出する（ステップ  $S 2 1$ ）。

【 0 0 4 7 】

次に、演算部 2 4 は、位置センサ 2 3 から得た押圧部 2 0 2 の位置情報から、押圧部 2 0 2 の速度を算出し、その速度情報と位置情報を制御装置 1 の処理部 1 1 に送信する（ステップ  $S 2 2$ ）。

【 0 0 4 8 】

そして、処理部 1 1 は、所定の条件（トレーニングプログラム完遂、運動者の力覚入力  $P$  がゼロ、など）により、トレーニングが終了したのか否かを判断する（ステップ  $S 2 3$ ）。

【 0 0 4 9 】

トレーニングが終了していない場合（ステップ  $S 2 3$  で  $No$ ）、処理部 1 1 は、トレーニングプログラム、および、トレーニングマシン 2 の演算部 2 4 から受信した押圧部 2 0 2 の速度情報と位置情報に基づいて、負荷値生成部 1 2 に負荷情報を送信する。それを受けて、負荷値生成部 1 2 は、ステップ  $S 2$  の場合と同様に、目標負荷値を生成し（ステップ  $S 2 4$ ）、ステップ  $S 3$  に戻る。なお、このステップ  $S 3 \sim$  ステップ  $S 3$  の処理は、たとえば  $1/10000$  秒周期で行うことができる。

トレーニングプログラムが終了している場合（ステップ  $S 2 3$  で  $Yes$ ）、処理部 1 1 は、トレーニング結果を管理装置  $M$  に送信し（ステップ  $S 2 5$ ）、処理を終了する。

10

20

30

40

50

## 【0050】

このようにして、本実施形態のトレーニングシステムSによれば、力覚検知センサを用いなくても、外乱推定機構133や力覚推定機構135などを使用した制御により、摩擦力などの外乱要因の影響を受けることなく、運動者Eに正確な負荷を与えることができる。

そして、これにより、管理装置Mで、正確なトレーニング結果を記録することができる。

## 【0051】

また、通常のフィードバック制御では、微分方程式の状態変数などに関してフィードバックを行うが、本実施形態では、運動者の力覚入力Pや摩擦力Fといった入力変数に関するフィードバックを行っているので、演算量が少なく済み、処理を高速で行うことができる。

10

## 【0052】

さらに、通常のフィードバック制御では、速度情報に関する演算を行うが、本実施形態のトレーニングシステムSでは、負荷調整部13が、速度情報でなく加速度情報に関する演算を行う。したがって、負荷調整部13などにおいて、速度情報に関する演算を行う場合に必要となる速度・加速度変換部などが不要となり、トレーニングシステムS全体の処理の高速化を実現することができる。

## 【0053】

なお、説明の都合上、外乱推定機構133による処理と力覚推定機構135による処理を交互に行うものとしたが、実際には並列してそれらの処理を行うようにしてもよい。

20

## 【0054】

次に、図5を参照しながら、トレーニングマシンによって運動者に与えられる負荷について説明する(適宜図1、図2参照)。図5は、トレーニングマシンによる負荷の大きさを経時的に表わしたタイムチャートの一例である。

図5において、縦軸は、トレーニングマシン2によって運動者Eに与えられる負荷の大きさを表わし、横軸は、時間の経過を表わしている。なお、1回目、2回目、・・・、というのは、トレーニングマシン2において運動者Eが足の伸縮運動を行った回数を表わしている。

## 【0055】

30

そして、すでに前記したように、制御装置1の負荷値生成部12は、処理部11から受信するトレーニングプログラムやトレーニングマシン2の押圧部202の速度情報や位置情報などに基づいて、運動者Eに与える負荷を自由に变化させることができる。

たとえば、トレーニングを行う場合、最初から大きな負荷をかけると運動者Eの体に過度の負担をかけてしまうことになるので、図5に示すように、1回目の負荷は小さくするのが望ましい。また、運動効果や運動者の希望などに応じて、各回ごとに、さらに、各回の運動の最中にも負荷を変えることができる。

## 【0056】

続いて、図6を参照しながら、トレーニングマシンの第1変形例について説明する(適宜図1、図2参照)。図6は、第1変形例のトレーニングマシンの構成図である。

40

図6に示すトレーニングマシン2aは、図2に示すトレーニングマシン2と比べて、サーボモータおよびドライバが2つずつある点で相違しており、その他の構成は同一であるので、重複説明を適宜省略する。

## 【0057】

図6に示すトレーニングマシン2aの場合、サーボモータ22aおよび22bがワイヤ204を両側から引っ張ることで、運動者Eのトレーニング中でもワイヤ204がたるんだり振動したりする可能性を減らすことができる。それにより、スムーズなトレーニング動作を実現し、また、ワイヤ204のたるみなどによる衝撃に起因するトレーニングマシン2aの故障を防止することができる。

## 【0058】

50

なお、このトレーニングマシン 2 a を使用する場合、図 1 に示すトレーニングユニット U において、トレーニングマシン 2 は、2 つのサーボモータ 2 2 a , 2 2 b、および、2 つのドライバ 2 1 a , 2 1 b を備えることになる。

そして、制御装置 1 から 2 つのサーボモータ 2 2 a , 2 2 b に対して、たとえば、サーボモータ 2 2 a にはワイヤ 2 0 4 にたるみを生じさせないために必要な程度の弱い負荷をかけ、サーボモータ 2 2 b には図 2 のサーボモータ 2 2 と同程度の負荷を発生させるようにすればよい。あるいは、制御装置 1 において、負荷値生成部 1 2 と負荷調整部 1 3 を 2 つずつ設けておき、2 つのサーボモータ 2 2 a , 2 2 b に対してそれぞれ独立した負荷をかけるようにしてもよい。

【 0 0 5 9 】

次に、図 7 を参照しながら、トレーニングマシンの第 2 変形例について説明する（適宜図 1、図 2 参照）。図 7 は、第 2 変形例のトレーニングマシンの構成図である。なお、図 7 に示すトレーニングマシン 2 b は、図 2 に示すトレーニングマシン 2 と比べて、押圧部 2 0 2 a が床面（不図示）に固定され、イス 2 0 1 a（可動部）がレール 2 0 3 上を可動となっている点で異なっており、その他の構成は同一であるので、重複説明を適宜省略する。

【 0 0 6 0 】

図 7 に示すトレーニングマシン 2 b の場合、負荷値生成部 1 2 が生成する目標負荷値によってトレーニングするとき、運動者 E は、その目標負荷値の負荷のほかに、可動部の重量（自身の体重とイス 2 0 1 a の重量の合計値）による慣性力にも抗って運動をすることになる。これは、たとえば、バーベルを担いでスクワット（屈伸運動）をする者が、バーベルの重量だけでなく、自身の体重にも抗って運動をすることになるのと同様である。

【 0 0 6 1 】

図 7 に示すトレーニングマシン 2 b によって運動者 E がトレーニングをする場合、トレーニング前に、外乱推定機構 1 3 3 が運動者 E の体重データとイス 2 0 1 a の重量データを把握しておく必要がある。イス 2 0 1 a の重量データは、外乱推定機構 1 3 3 に対して予め入力しておけばよい。運動者 E の体重データは、外乱推定機構 1 3 3 に対して予め入力しておいてもよいし、あるいは、トレーニング前に運動者 E がトレーニングマシン 2 b で少し運動をし、そのときの慣性データなどから外乱推定機構 1 3 3 が推定し、算出するようにしてもよい。

【 0 0 6 2 】

そして、外乱推定機構 1 3 3 は、運動者 E のその体重データに基づき、運動者 E がその体重であるものと仮定して、運動者の力覚入力 P と摩擦力 F の和を推定（算出）する。なお、制御装置 1 とトレーニングマシン 2 によるその他の処理は、すでに前記した図 3 および図 4 のフローチャートによる処理と同様であるので、説明を省略する。

【 0 0 6 3 】

また、外乱推定機構 1 3 3 に対して、運動者 E の実際の体重よりも軽い（あるいは重い）体重データ（慣性モーメントの値に換算してもよい）をパラメータとして入力しておくことで、体重が減った（あるいは増えた）場合を仮想したトレーニングが可能となる。たとえば、体重が 7 0 k g の運動者 E がトレーニングをするときに、外乱推定機構 1 3 3 に対して、体重データを 6 5 k g と入力しておけば、体重が 5 k g 減った場合のトレーニングによる負荷を実現することができ、運動者 E のトレーニングに対する動機付け向上などに寄与することができる。

【 0 0 6 4 】

以上で実施形態の説明を終えるが、本発明の態様はこれらに限定されるものではない。

たとえば、本実施形態では、ローパスフィルタ（不図示）の精度などの関係上、外乱推定機構と力覚推定機構を別々に設けるものとしたが、1 つの機構が両方の機能を実現するようにしてもよい。

さらに、本発明は、レッグプレスマシンだけでなく、チェストプレスマシン、アームカールマシンなど、負荷により運動を行うトレーニングマシン全般に適用が可能である。そ

10

20

30

40

50

の他、具体的な構成について、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】トレーニングシステムの構成図である。

【図2】トレーニングマシンの構成図である。

【図3】制御装置とトレーニングマシンの処理の流れを示したフローチャートである。

【図4】制御装置とトレーニングマシンの処理の流れを示したフローチャートである。

【図5】トレーニングマシンによる負荷の大きさを経時的に表わしたタイムチャートの一例である。

【図6】第1変形例のトレーニングマシンの構成図である。

10

【図7】第2変形例のトレーニングマシンの構成図である。

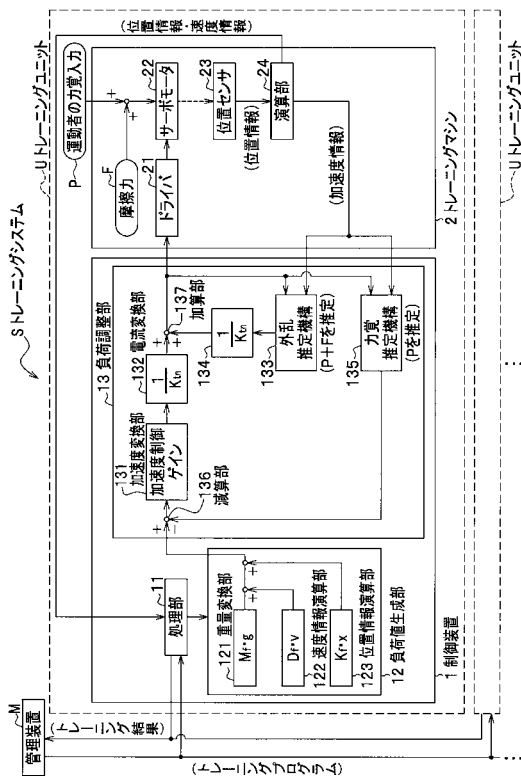
【符号の説明】

【0066】

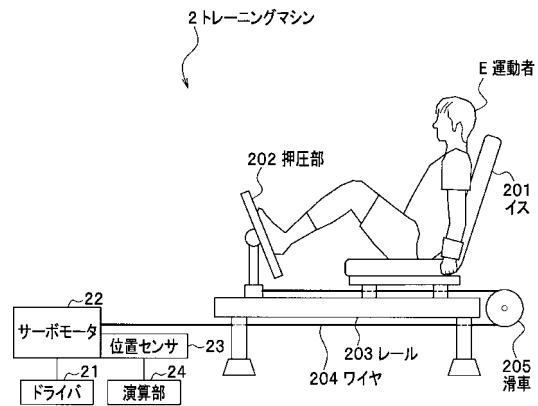
- 1 制御装置
- 2, 2a, 2b トレーニングマシン
- 11 処理部
- 12 負荷値生成部
- 13 負荷調整部
- 22, 22a, 22b サーボモータ
- 23 位置センサ
- 24 演算部
- 202, 202a 押圧部

20

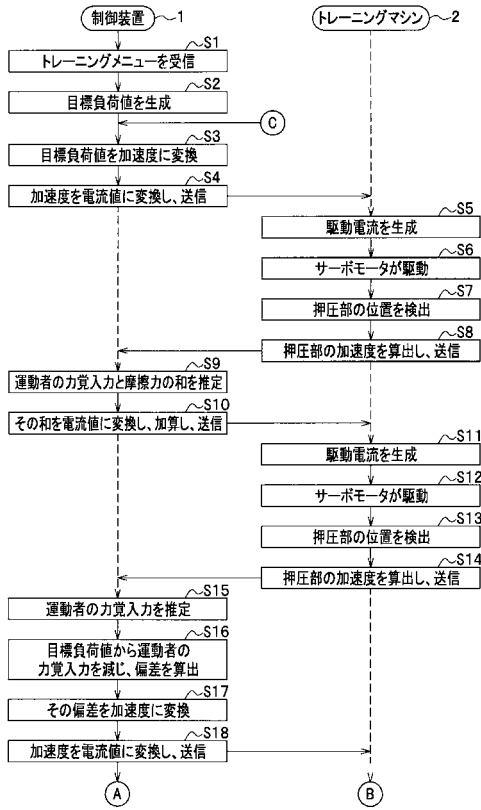
【図1】



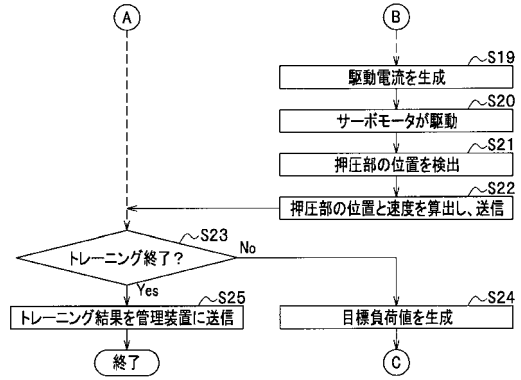
【図2】



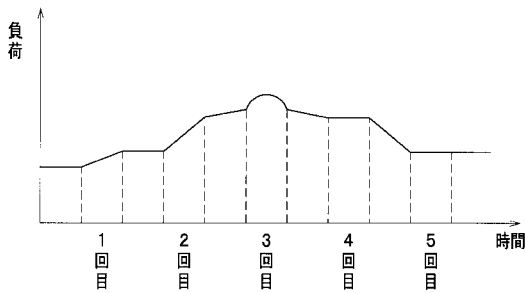
【図 3】



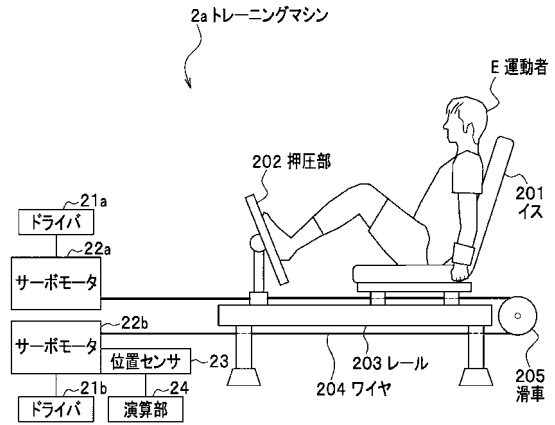
【図 4】



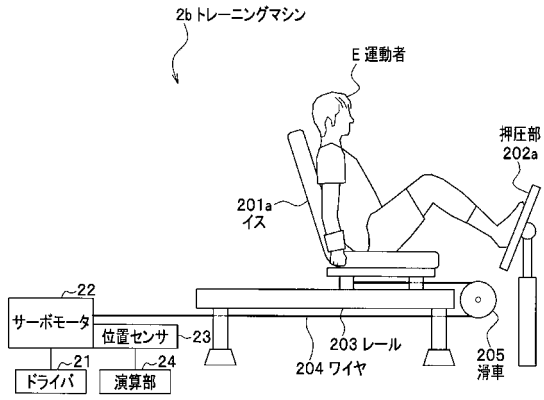
【図 5】



【図 6】



【図7】



## フロントページの続き

(72)発明者 大石 潔

新潟県長岡市上富岡町1603-1  
内

国立大学法人 長岡技術科学大学

(72)発明者 桂 誠一郎

新潟県長岡市上富岡町1603-1  
内

国立大学法人 長岡技術科学大学

審査官 酒井 保

(56)参考文献 実開平03-039062 ( J P , U )

特開2001-299957 ( J P , A )

特開2005-212054 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

A 6 3 B 2 4 / 0 0

A 6 3 B 2 1 / 2 2

A 6 3 B 2 3 / 0 4

A 6 3 B 6 9 / 0 0