

明 細 書

発明の名称： 訓練装置

技術分野

[0001] 本発明は、モータにより駆動される操作ロッドを備え、所定の訓練プログラムに従って、患者の上肢および下肢等のリハビリテーションを支援する訓練装置に関する。

背景技術

[0002] 脳卒中患者の片麻痺した上肢や下肢の運動機能回復を目的とするリハビリテーションは、一般に作業療法士や理学療法士によって行われるため、リハビリテーションの効率的な提供の面においては限界がある。たとえば、上肢の運動機能回復を目的としたリハビリテーションでは、主には麻痺した上肢の正確な動作を、現状よりも僅かに広い動作範囲で、他動的及び能動的に、可能な限り反復することが求められる。これらの運動機能回復に関するリハビリテーションをベースに、作業療法士又は理学療法士は患者に正確な動作を教授し、手技によって患者の上肢に対して、他動的負荷を加えながら、能動的な動作を誘導する。

かかるリハビリテーションでは、療法士が疲労することにより、動作の反復回数が制限される。また、療法士の経験によって、リハビリテーションの医学的な質についても差が生ずる可能性がある。よって、療法士による訓練を補助して、疲労による制約を無くし、かつ、その医学的な質をできるだけ均質化するために、例えば、特許文献1のような、腕などの肢が不自由な患者のリハビリテーションを支援するための訓練装置が、知られている。この装置は、床面上に配置可能な固定フレームと、全方向に傾動可能な固定フレームに支持された可動フレームと、可動フレームに伸縮自在に装着され、訓練を受ける人の手で操作される操作ロッドと、を備えた上肢訓練装置として開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2012／117488号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に開示されたような訓練装置は、主に、訓練を受ける人が訓練すべき肢、例えば上肢、を訓練プログラムに従って訓練する場合、訓練すべき上肢の動きが操作ロッドの動作に追従しているかどうかをモニターし、必要に応じて操作ロッドの動きを訓練装置の使用者に対して、視覚的又は聴覚的情報を基にして教示している。この場合、従来の訓練装置は、装置内部での演算処理によって、例えば訓練プログラムにより指示された操作ロッドの傾動すべき角度と、実際の操作ロッドの傾動角度との偏差（位置偏差）の大きさだけに基づいて、訓練すべき上肢の動きが訓練プログラムによって指示された操作ロッドの動きとして追従しているかを評価していた。しかし、このような位置偏差の大きさだけに基づく評価方法では、短時間に発生した急激な位置偏差を、ゆっくりと徐々に変化する位置偏差から区別できない。また、従来の訓練装置は上記の2種類の位置偏差を区別できないため、装置の使用者にとっても、その位置偏差がどのような理由によって発生したかを判別できない。そのため、従来の訓練装置においては、装置の使用者は適切な訓練プログラムを享受できない恐れがある。

[0005] また、訓練装置においては、訓練中における患者への負荷を適切に把握し、訓練にフィードバックするために前記の位置偏差と同時に、操作ロッドが上肢を動作させるために必要とする負荷量をモニターする機能が必要である。しかしながら、位置偏差の大きさは、傾動すべき指示角度と実際の傾動角度との偏差であるので、この測定値のみに基づいて当該負荷量を正確にモニターすることは困難であり、別の指標によってモニターする必要がある。

[0006] 本発明の課題は、位置偏差の時間的な変化の違いと、操作ロッドが訓練すべき肢を動作させるために必要とする負荷量とを同時に正確にモニターして、適切に操作ロッドを制御するリハビリテーション支援のための訓練装置を

提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 以下に、課題を解決するための手段として複数の態様を説明する。これらの態様は、必要に応じて任意に組み合わせることができる。

本発明の一見地に係る訓練装置は、訓練プログラムに従って、患者の上肢及び下肢の四肢を訓練する訓練装置である。訓練装置は、固定フレームと、操作ロッドと、モータと、回転情報出力センサと、傾動角度算出部と、フィードバック電流検出部と、位置偏差算出部と、判断部と、を備える。固定フレームは、床面上又は床面上に近接して載置される。操作ロッドは、固定フレームに少なくとも1自由度で傾動軸回りに傾動可能に支持される。そして、操作ロッドは肢を保持する。モータは、操作ロッドを傾動軸回りに傾動させる。回転情報出力センサはモータの回転量を出力する。傾動角度算出部は、モータの回転量に基づいて、操作ロッドの傾動角度を算出する。フィードバック電流検出部は、モータのフィードバック電流値を検出する。位置偏差算出部は、位置偏差を所定時間である第1の時間の経過毎に算出する。ここで、位置偏差とは、操作ロッドの実際の傾動角度と、訓練プログラムにおいて指示された操作ロッドの傾動角度である指示傾動角度との差のことをいう。判断部は、第1の時間の間に生じた位置偏差が第1の閾値以上であるか、又は、フィードバック電流値が、所定時間である第2の時間以上において、第1電流値以上である場合にエラーと判断する。

[0008] この訓練装置では、モータが操作ロッドを制御するときに、位置偏差算出部が、第1の時間毎に位置偏差を算出する。そして、判断部は、第1の時間の間に生じた位置偏差が第1の閾値以上になった場合に、訓練装置になんらかの不具合がある、あるいは、短時間に急激に位置偏差が変化すると判断し、エラーとして検出する。

一方、同じくモータが操作ロッドを制御するときに、フィードバック電流検出部が、モータに供給されるフィードバック電流値をモニターする。そして、判断部は、フィードバック電流値が第1電流値以上である状態が第2の

時間以上続いた場合に、同じく訓練装置になんらかの不具合がある、あるいは、ゆっくりとした位置偏差が長時間継続したと判断し、エラーとして検出する。

[0009] このように、この訓練装置においては、第1の時間あたりの位置偏差の変化量がモニターされている。そのため、判断部は、第1の時間の位置偏差の変化量が大きければ、第1の時間を基準にして短時間に急激に変化した位置偏差であると判断できる。そして、判断部は、短時間の急激な位置偏差の変化が発生したときにエラーとして検出できる。

[0010] また、訓練装置においては、モータに入力されるフィードバック電流値をモニターすることにより、モータが操作ロッドを傾動させるために必要とするトルクをモニターできる。

さらに、訓練装置は操作ロッドを訓練プログラムによって指示された傾動角度に制御しているため、フィードバック電流値は、位置偏差の変化の大きさに応じて変化する。したがって、フィードバック電流値に基づいて、予め決めた判断時間を基に、ゆっくりと変化する位置偏差の変化が発生しているか、又は、急激に変化する位置偏差が発生しているかがモニターできる。

また、判断部は、フィードバック電流値が第1電流値以上である状態が第2の時間以上続いた場合にエラーを発生させる。これにより、判断部は、判断時間において位置偏差が一定範囲内の場合、つまりはモータ（操作ロッド）が患者の肢に無理な負荷をかけていない場合、又は、位置偏差がゆっくりと変化している場合（患者の肢が操作ロッドの動きにある程度追従して訓練の継続が可能な場合）には、第2の時間までは訓練を持続するように、訓練装置を制御できる。

[0011] 操作ロッドは、長手軸線方向に伸縮してもよい。ここで、長手軸線方向とは、操作ロッドの長さ方向のことをいう。操作ロッドが長手軸線方向に伸縮可能であることにより、上肢又は下肢の、操作ロッドの長さ方向に対する訓練も可能となる。

[0012] 訓練装置は、情報提供部をさらに備えてもよい。情報提供部は、判断部に

よってエラーを判断したときに、患者、訓練補助者及び医療従事者等を含む使用者に対して視覚的情報又は聴覚的情報を提供する。

これにより、訓練装置の状態、すなわち、訓練装置においてエラーが発生していること、及び／又は、エラー発生の原因を患者や訓練装置の使用者に知らせることができる。

[0013] 情報提供部は、患者が、訓練プログラムにおいて設定された訓練ルートにおいて予め設定した通過点に操作ロッドを到達させたときに、使用者に情報提供してもよい。これにより、使用者は、操作ロッドを訓練プログラム通りに操作できたことを知ることができる。また、使用者が予め設定した通過点に操作ロッドを到達させたときに、使用者に視覚的情報又は聴覚的情報を提供することにより、患者が訓練を続けるためのモチベーションを維持できる。

[0014] 判断部によってエラーと判断したときに、モータの回転を停止してもよい。これにより、エラーが発生したときに、訓練装置を確実に停止できる。

[0015] 訓練装置は、フィードバック電流制限部をさらに備えていてもよい。フィードバック電流制限部は、判断部においてエラーが発生した場合に、モータのフィードバック電流値を予め適切に設定した第2電流値に制限する。

これにより、訓練装置においてエラーが生じた場合に、モータから出力されるトルクを制限できる。その結果、患者に対して訓練中に過度の負荷をかけることなく、操作ロッドを制御してリハビリテーションを行うことができる。

[0016] 第2電流値は、モータへ入力可能な定格電流の1より小さい所定の倍数の電流値であってもよい。これにより、定格電流が長時間にわたってモータに供給されなくなる。その結果、患者に対して過度の負荷をかけることなく、操作ロッドを制御できる。

また、訓練装置の制御部に過剰な電気負荷が加わることを避けることができる。

[0017] 訓練装置は、累計時間計測部をさらに備えてもよい。累計時間計測部は、

第1の時間の間に生じた位置偏差が、第1の閾値よりも小さい第2の閾値以上、かつ、第1の閾値未満である累計時間を計測する。この場合、判断部は、この累計時間が第3の時間以上である場合にエラーと判断してもよい。

第1の時間の間に生じた位置偏差が、第2の閾値以上、かつ、第1の閾値未満である時間を、累計時間計測部が計測することにより、ゆっくりと変化する位置偏差が継続している時間（累計時間）を測定できる。また、判断部が、累計時間が所定時間の第3の時間以上の場合にエラーを発生させることにより、ゆっくりと変化する位置偏差に対して、第3の時間までは訓練を継続できる。第2の閾値は患者の肢に過度な負荷をかけていないと判断される閾値であるので、このとき発生するエラーは、その患者にとって、設定された訓練プログラムの難易度が高く、その訓練プログラムを適切に実施できていない場合や、装置内の部品が徐々に故障に至る予兆を検出することに対して好適に利用できる。この判断によって、患者はその症状に応じて、適切な訓練プログラムを実施することができる。

[0018] 訓練装置は、指令作製部と、モータ駆動部とをさらに備えていてもよい。指令作製部は、訓練プログラムに従って、モータの速度を制御するための指令である速度指令を作製する。モータ駆動部は、速度指令に基づいて、モータを駆動させる。また、速度指令は、少なくとも、モータを加速させる指令である加速指令と、モータを減速させる減速指令と、のいずれかを含んでいてもよい。さらに、モータ駆動部は、加速指令実行時において、位置偏差を累積保持するようにモータを駆動してもよい。

指令作製部により作製された、加速指令と減速指令とを少なくとも含む速度指令を用いて、モータを駆動することにより、モータは訓練プログラムと患者の操作に対応して、スムーズに動作できる。その結果、患者は、操作ロッドを意図したように操作することができる。

また、モータ駆動部が、加速指令実行時において位置偏差を累積保持するようにモータを駆動することにより、特に短時間における位置偏差が生じやすい加速指令実行時に、患者による操作ロッド始動時や停止時などにおいて

位置偏差が生じた場合でも、患者は、訓練装置を用いて、訓練を継続できる。また、位置偏差を累積保持することにより、位置偏差の累積保持量に基づいて、訓練中における患者の肢の状況を把握できる。

[0019] 速度指令は、定速指令をさらに含んでもよい。定速指令は、モータを一定速度で回転させる指令である。また、定速指令は、加速指令又は減速指令の前後のいずれかに配置される。また、モータ駆動部は、定速指令実行時において、位置偏差を累積保持するようにモータを駆動してもよい。

速度指令が定速指令をさらに含むことにより、操作ロッドが大きな傾動角度にて動作する場合にも、フィードバック電流値に基づいて、モータを一定速度でスムーズに動作できる。また、定速指令実行時において位置偏差を累積保持するようにモータを駆動することにより、相対的に大きなモータトルクを必要とし位置偏差が生じやすい、例えば操作ロッドが大きな傾動角度にて動作する場合においても、患者は、訓練装置を用いて訓練を継続できる。

[0020] モータ駆動部は、加速指令及び／又は定速指令実行時において、速度指令のみに追従するようにモータを駆動してもよい。これにより、加速指令実行時及び／又は定速指令実行時に、位置偏差に関わらずモータを駆動できる。その結果、相対的に大きなモータトルクを必要とし位置偏差が生じやすい、例えば操作ロッドが大きな傾動角度にて動作する場合においても、患者は、訓練装置を用いて訓練を継続できる。

[0021] 指令作製部は、訓練プログラムに従って、操作ロッドの傾動角度を制御するための指令である位置指令をさらに作製してもよい。また、モータ駆動部は、減速指令実行時において、速度指令及び位置指令に追従するよう、モータを駆動してもよい。

これにより、モータ駆動部は、操作ロッドが訓練プログラムに指示された目標傾動角度まで極力偏差を少なくして到達するよう、モータを制御できる。その結果、患者に対して、操作ロッドの位置情報を視覚的情報としてフィードバックする場合においても、この位置情報を好適に利用することができる。

[0022] モータ駆動部は、操作ロッドの傾動角度が減速開始位置に到達したときに、累積保持した位置偏差をリセットしてもよい。ここで、累積保持した位置偏差をリセットするとは、累積保持された位置偏差を0とすることである。これにより、減速時において、モータの速度が位置指令によって、過剰に上昇することを抑制できる。その結果、患者は、訓練装置を用いて、訓練ができる。

発明の効果

[0023] 位置偏差の時間的な変化の違いと、操作ロッドが上肢および下肢等の肢を動作させるために必要とする負荷量とを正確にモニターできることによって、患者に適切なりハビリテーションを提供することができる。また、これらのモニター情報に基づき、適切に操作ロッドを制御できるので、その患者の状態に応じて、適切な訓練プログラムを提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1]訓練装置を模式的に示した図。
[図2]制御部と、操作ロッド傾動機構の全体構成を示す図。
[図3]操作ロッドの構成を示す図。
[図4]制御部の全体構成を示す図。
[図5A]三角速度軌道型の速度指令を時間－速度座標上に表した図。
[図5B]台形速度軌道型の速度指令を時間－速度座標上に表した図。
[図6]位置指令を時間－傾動角度座標上に表した図。
[図7A]モータ制御部の基本的な構成を示した図。
[図7B]累計時間計測部を有したモータ制御部の構成を示した図。
[図7C]累計時間計測部及びフィードバック電流制限部を有したモータ制御部の構成を示した図。
[図8]モータ駆動部の構成を示す図。
[図9]訓練装置の基本動作を示すフローチャート。
[図10]モータの制御方法を示したフローチャート。
[図11]操作ロッドの傾動角度が減速指令を実行すべき傾動角度であるかどうか

かをチェックする様子を模式的に示した図。

[図12]累積保持された位置偏差を模式的に示した図。

[図13]位置偏差過大判定方法を示すフローチャート。

[図14]フイードバック電流値を用いた過負荷継続検出方法を示したフローチャート。

[図15]モータの実際の回転速度と速度指令との関係、及び、速度偏差の発生に起因するフイードバック電流の時間変化について模式的に示した図。

[図16]長時間に亘り速度偏差が大きい速度変化が発生した場合のフイードバック電流の時間変化を示した図。

[図17]位置偏差を用いた過負荷継続検出方法を示したフローチャート。

[図18]図15に示したような速度変化が発生したときの、操作ロッドの実際の傾動角度と、位置指令に示されている指示傾動角度との関係を示した図。

発明を実施するための形態

[0025] 1. 第1実施形態

(1) 訓練装置の全体構成

第1実施形態に係る訓練装置100の全体構成を、図1を用いて説明する。図1は、訓練装置100を模式的に示した図である。訓練装置100は、所定の訓練プログラムに従って、患者の肢の運動機能回復を目的とした訓練を行うための訓練装置である。

訓練装置100は、固定フレーム1と、操作ロッド3と、訓練指示部5、とを主に備える。固定フレーム1は、訓練装置100を設置する床面上又は床面に近接して載置される。また、固定フレーム1は、訓練装置100の本体筐体を形成している。操作ロッド3は、固定フレーム1内部に備えられた操作ロッド傾動機構13(図2)を介して、固定フレーム1に取り付けられている。この結果、操作ロッド3は、操作ロッド傾動機構13により、少なくとも1自由度において、固定フレーム1の長さ方向に平行なX軸、及び、固定フレーム1の幅方向に平行なY軸(図1及び図2)方向に傾動可能となる。また、操作ロッド3は、内部に操作ロッド3を長手軸方向に伸縮させる

伸縮機構（図３）を備えてもよい。このとき、操作ロッド３は、操作ロッド３の長さ方向にも伸縮可能となるので、操作ロッド傾動機構と合わせて少なくとも２自由度又は３自由度にて動作できる。

[0026] また、操作ロッド３は、その上端部に肢支持部材３１（後述）を有している。患者の肢を肢支持部材３１に支持することにより、操作ロッド３によって患者の肢を動かすことを可能とする。または、患者が自ら操作ロッド３を動かすことを可能とする。

[0027] 訓練指示部５は、固定部材７を介して、固定フレーム１に固定されている。訓練指示部５は、予め設定した訓練プログラムを実行し、必要に応じて、制御部１１（図２）に操作ロッド３を動作させるための操作ロッド動作指令を送信する。また、訓練指示部５は、予め設定された訓練プログラムによって、訓練ルートと実際の患者の肢の訓練動作を視覚的情報又は聴覚的情報によって提供する。これにより、患者は、訓練プログラムにより設定された訓練動作と実際の動作とをフィードバックしながら、肢の訓練を行える。

[0028] また、訓練指示部５は、判断部１１３４（図７Ａ～図７Ｃ）がエラーと判断したときに、使用者に対して、エラー発生を知らせる視覚的情報又は聴覚的情報を提供する。これにより、使用者に対して、訓練装置１００の状態、すなわち、エラーが発生していること、及び／又は、エラー発生の原因などを知らせることができる。

[0029] さらに、訓練指示部５は、患者が訓練プログラムにおいて設定された訓練ルートにおいて予め設定した通過点（目標傾動角度と呼ぶこともある）に操作ロッド３を到達させたときに、使用者に対して、訓練プログラムの達成などを知らせる視覚的情報又は／及び聴覚的情報を提供する。これにより、使用者は、操作ロッド３を訓練プログラム通りに操作できたことを知ることができる。また、使用者に対して、患者が予め設定した通過点に操作ロッド３を到達させたことを視覚的情報又は聴覚的情報により知らせることにより、患者が訓練を続けるためのモチベーションを維持できる。

[0030] 訓練指示部５としては、液晶ディスプレイなどの表示装置と、ＣＰＵ（Ｃ

entral Processing Unit) と、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、ハードディスク (Hard Disk) などの記憶装置と、必要に応じてタッチパネルなどの入力装置と、を備えた、一体型コンピュータシステムを用いることができる。また、訓練指示部 5 は、表示装置と、その他のコンピュータシステムとが分離して構成されている。この場合、固定フレーム 1 に固定部材 7 を介して固定されるのは、表示装置である。

[0031] 訓練指示部 5 において実行される訓練プログラムは、例えば、(i) ガイ

ッドモード (Guided Mode)、(ii) イニシエータモード (Initiated Mode)、(iii) ステップイニシエータモード (Step Initiated Mode)、(iv) フローアシストモード (Flow Assist Mode)、(v) フリーモード (Free Mode) という、5 つの訓練モードを有している。ガイッドモードは、操作ロッド 3 が患者の肢の動きに関係なく、肢を予め決められた方向に一定速度で動かす訓練モードである。イニシエータモードは、訓練プログラムにおいて予め設定された訓練ルートに対して、

患者が肢により操作ロッド 3 を初動位置にて正しい方向に動かそうとした力 (力覚トリガーと呼ぶこともある) を検出した場合に、操作ロッド 3 が患者の肢を予め決められた訓練ルートの方角に一定速度で動かす訓練モードである。ステップイニシエータモードは、操作ロッド 3 の訓練ルート中の所定の箇所において、力覚トリガーを検出したとき、訓練ルートにおける一定距離だけ、操作ロッド 3 が患者の肢を動かす訓練モードである。フローアシストモードは、所定周期毎に力覚トリガーを検出して、検出した力覚トリガーの大きさに応じて、操作ロッド 3 の速度を変化させる訓練モードである。フリーモードは、患者の肢の動きに従従するように操作ロッド 3 を動かす訓練モードである。

[0032] また、訓練装置 100 は、患者が訓練中に腰掛けるための椅子 9 をさらに

備えていてもよい。椅子 9 は、椅子接続部材 9 1 を介して、固定フレーム 1 に接続されていることにより、訓練装置 1 0 0 の安定性を確保できる。また、椅子接続部材 9 1 を再現良く固定することにより、患者が毎回訓練を同じ位置で実施することができる。

[0033] (2) 制御部及び操作ロッド傾動機構の構成

1. 全体構成

次に、制御部 1 1 と、操作ロッド傾動機構 1 3 の全体構成について図 2 を用いて説明する。図 2 は、固定フレーム 1 内に配置された制御部 1 1 と、操作ロッド傾動機構 1 3 の全体構成を示す図である。

制御部 1 1 と、操作ロッド傾動機構 1 3 は、固定フレーム 1 内に配置されている。制御部 1 1 は、訓練指示部 5 と信号送受信可能に接続されている。制御部 1 1 は、訓練指示部 5 から送信される操作ロッド動作指令を受信する。また、制御部 1 1 は、X 軸方向傾動モータ 1 3 5 b (後述)、Y 軸方向傾動モータ 1 3 5 a (後述)、及び伸縮モータ 3 5 9 (図 3) に電氣的に接続されている。したがって、制御部 1 1 は、操作ロッド動作指令に基づいて、上記 3 つのモータを駆動する。なお、制御部 1 1 の構成及び動作については、後ほど詳しく説明する。

操作ロッド傾動機構 1 3 は、固定フレーム 1 に固定された操作ロッド傾動機構固定部材 1 5 a、1 5 b を介して、固定フレーム 1 に傾動可能に取り付けられている。これにより、操作ロッド傾動機構 1 3 は、操作ロッド 3 を X 軸方向及び Y 軸方向 (2 自由度) に傾動可能とする。以下に、操作ロッド傾動機構 1 3 の構成について、詳細に説明する。

なお、操作ロッド傾動機構 1 3 は、操作ロッド 3 を X 軸方向又は Y 軸方向のみ (1 自由度) に傾動可能となるよう構成されていてもよい。又は、操作ロッド傾動機構 1 3 は、設定により、操作ロッド 3 を 1 自由度にて傾動させるか、2 自由度にて傾動させるかを選択可能になっていてもよい。

[0034] 1 1. 操作ロッド傾動機構の構成

ここで、本実施形態の操作ロッド傾動機構 1 3 の構成について、図 2 を用

いて説明する。操作ロッド傾動機構 13 は、2 軸を可動させる「ジンバル」機構により、操作ロッド 3 を X 軸方向及び Y 軸方向に傾動可能とする機構である。また、本実施形態の操作ロッド傾動機構 13 は、同時に X 軸方向及び Y 軸方向の両方（すなわち斜め方向）に傾動可能でもある。ここで、X 軸方向とは、図 2 において、固定フレーム 1 の長さ方向に平行な水平方向である。Y 軸方向とは、図 2 において、固定フレーム 1 の幅方向に平行な水平方向である。

操作ロッド傾動機構 13 は、X 軸方向傾動部材 131 と、Y 軸方向傾動部材 133 と、それぞれに対応する X 軸方向傾動モータ 135b と、Y 軸方向傾動モータ 135a と、を有している。

なお、操作ロッド傾動機構 13 が操作ロッド 3 を 1 自由度にて傾動させる場合、操作ロッド傾動機構 13 は、X 軸方向傾動部材 131 と X 軸方向傾動モータ 135b とのみを備えるか、又は、Y 軸方向傾動部材 133 と Y 軸方向傾動モータ 135a とのみを備えていれば十分である。あるいは、操作ロッド傾動機構 13 が上記 4 つの部材及びモータを備えている場合であっても、いずれかの部材とモータとの組み合わせを無効にすることにより、操作ロッド傾動機構 13 は、操作ロッド 3 を 1 自由度にて傾動可能となる。

[0035] X 軸方向傾動部材 131 は、Y 軸方向傾動部材 133 の空間の内側に配置されている。また、X 軸方向傾動部材 131 は、Y 軸に平行な法線を有する 2 つの側面から外側に伸びる 2 つの軸 131a、131b を有している。この 2 つの軸 131a、131b のそれぞれが、Y 軸方向傾動部材 133 の Y 軸に平行な法線を有する 2 つの側面のそれぞれに、X 軸方向傾動部材 131 を Y 軸回りに回動可能なように支持されている。これにより、X 軸方向傾動部材 131 は、X 軸方向傾動部材 131 に固定された操作ロッド 3 と X 軸とがなす角度を変化させることができる。ここで、操作ロッド 3 と X 軸とがなす角度を変化可能にすることを、「X 軸方向に傾動する」と呼ぶこともある。

なお、操作ロッド 3 は、X 軸方向傾動部材 131 の空間 S に一部が挿入さ

れた状態で、X軸方向傾動部材131に固定される。

[0036] 同様に、Y軸方向傾動部材133は、X軸に平行な法線を有する2つの側面から外側へ伸びる2つの軸133a、133bを有している。この2つの軸133a、133bのそれぞれが、操作ロッド傾動機構固定部材15a、15bに、Y軸方向傾動部材133をX軸回りに回動可能なように支持されている。これにより、Y軸方向傾動部材133は、操作ロッド傾動機構固定部材15a、15bに対して、X軸回りに回動可能となる。その結果、Y軸方向傾動部材133は、X軸方向傾動部材131に固定された操作ロッド3とY軸とがなす角度を変化させることができる。ここで、操作ロッド3とY軸とがなす角度を変化可能にすることを、「Y軸方向に傾動する」と呼ぶこともある。

[0037] このように、Y軸方向傾動部材133は、操作ロッド3をY軸方向に傾動させ、X軸方向傾動部材131は、操作ロッド3をX軸方向に傾動させる。このため、操作ロッド傾動機構13は、操作ロッド3を2次元の自由度にて傾動できる。

なお、図2ではX軸方向傾動部材131は、Y軸方向傾動部材133の空間の内側に配置されているが、X軸方向傾動部材131を、Y軸方向傾動部材133の空間の外側に配置し、それに対応する部材を傾動できるように設計変更してもよい。

[0038] Y軸方向傾動モータ135aは、操作ロッド傾動機構固定部材15aに固定されている。また、Y軸方向傾動モータ135aの出力回転軸は、図示されない減速機構を介して、Y軸方向傾動部材133から伸びる軸133aと、軸133aを回動可能なように接続されている。このため、Y軸方向傾動モータ135aは、Y軸方向傾動部材133をX軸回りに回動させる。さらに、Y軸方向傾動モータ135aは、制御部11と電氣的に接続されている。したがって、Y軸方向傾動モータ135aは、制御部11による制御により、操作ロッド3をY軸方向に傾動できる。

[0039] X軸方向傾動モータ135bは、Y軸方向傾動部材133の4つの側面の

うち、X軸方向傾動部材131から伸びる軸131aを軸支している側面に固定されている。また、X軸方向傾動モータ135bの出力回転軸は、図示されない減速機構を介して、X軸方向傾動部材131から伸びる軸131aと、軸131aを回動可能なように接続されている。このため、X軸方向傾動モータ135bは、X軸方向傾動部材131をY軸回りに回動可能となっている。さらに、X軸方向傾動モータ135bは、制御部11と電氣的に接続されている。したがって、X軸方向傾動モータ135bは、制御部11による制御により、操作ロッド3をX軸方向に傾動できる。

[0040] このように、Y軸方向傾動モータ135a及びX軸方向傾動モータ135bは、制御部11による制御により、操作ロッド3を、X軸方向及びY軸方向各々に対し1自由度で傾動させる。すなわち、X軸方向傾動モータ135b及びY軸方向傾動モータ135aを具備することにより、操作ロッド3を2次元にて制御できる。

[0041] Y軸方向傾動モータ135a及びX軸方向傾動モータ135bとしては、例えば、サーボモータやブラシレスモータなどの、電動モータを用いることができる。

[0042] (3) 操作ロッドの構成

1. 全体構成

次に、操作ロッド3の構成について、図3を用いて説明する。まず、操作ロッド3の全体構成について説明する。図3は、操作ロッド3の構成を示す図である。操作ロッド3は、肢支持部材31と、固定ステイ33と、伸縮機構35と、を備えている。肢支持部材31は、伸縮機構35のカバー353（後述）の上端部に固定されている。肢支持部材31は、患者の肢を支持する部材である。固定ステイ33は、操作ロッド3の本体を形成している。また、固定ステイ33は、伸縮機構35の可動ステイ351（後述）を収納する空間S'を有している。さらに、固定ステイ33は、操作ロッド3を操作ロッド傾動機構13のX軸方向傾動部材131に固定するための固定部材（図示せず）を有している。固定ステイ33の当該固定部材により固定ステイ

３３をＸ軸方向傾動部材１３１に固定することにより、操作ロッド３は、操作ロッド傾動機構１３に固定される。

[0043] 伸縮機構３５は、固定ステイ３３の長さ方向に沿って移動可能なように、固定ステイ３３に設けられる。これにより、操作ロッド３は、操作ロッド３の長さ方向に伸縮可能となる。以下、伸縮機構３５の構成について詳しく説明する。

[0044] １１．伸縮機構の構成

次に、伸縮機構３５の構成について、図３を用いて説明する。伸縮機構３５は、可動ステイ３５１と、カバー３５３と、ナット３５５と、ねじ軸３５７（後述）と、伸縮モータ３５９と、を有している。

可動ステイ３５１は、固定ステイ３３に設けられた空間Ｓ’に挿入されている。また、可動ステイ３５１は、図示しないスライドユニットを有している。このスライドユニットは、固定ステイ３３の内壁に設けられた案内レール３７に摺動可能に係合している。その結果、可動ステイ３５１は、固定ステイ３３に設けられた空間Ｓ’内を案内レール３７に沿って移動可能となる。カバー３５３は、可動ステイ３５１の上端部に固定されている。これにより、カバー３５３は、可動ステイ３５１の移動に応じて、操作ロッド３の長さ方向に移動できる。また、カバー３５３は、上端部に肢支持部材３１を備えている。そのため、カバー３５３は、固定ステイ３３の長さ方向に肢支持部材３１を移動できる。

[0045] ナット３５５は、可動ステイ３５１の底部に取り付けられている。ナット３５５は、ねじ軸３５７を螺合する。ねじ軸３５７は、固定ステイ３３の長さ方向と平行な方向に伸びる、ねじ山が設けられた部材である。また、ねじ軸３５７は、ナット３５５に螺合されている。よって、ねじ軸３５７は、回転することにより、ナット３５５をねじ軸３５７の長さ方向（すなわち、固定ステイ３３の長さ方向（長手軸線方向））に沿って移動できる。

上述したように、ナット３５５は可動ステイ３５１の底部に固定されているため、ナット３５５がねじ軸３５７の長さ方向に沿って移動することによ

り、可動ステイ 351 は固定ステイ 33 の長さ方向に沿って移動可能となる。

[0046] 伸縮モータ 359 は、固定ステイ 33 の底部に固定されている。また、伸縮モータ 359 の出力回転軸は、ねじ軸 357 の長さ方向の端部に、ねじ軸 357 を軸回りに回転可能なように接続されている。さらに、伸縮モータ 359 は、制御部 11 と電氣的に接続されている。このため、伸縮モータ 359 は、制御部 11 からの制御により、ねじ軸 357 を、ねじ軸 357 の軸回りに回転できる。

上述したように、ナット 355 はねじ軸 357 に螺合されているため、ナット 355 は、ねじ軸 357 の回転に応じて、ねじ軸 357 の長さ方向に沿って移動可能となっている。そのため、可動ステイ 351 は、伸縮モータ 359 の回転に応じて、固定ステイ 33 の長さ方向（長手軸線方向）に沿って移動可能となる。

[0047] （４）制御部の構成

Ⅰ．全体構成

次に、制御部 11 の全体構成について、図 4 を用いて説明する。図 4 は、制御部 11 の全体構成を示す図である。制御部 11 としては、例えば、CPU と、RAM、ROM、ハードディスク装置、SSD などの記憶装置と、電気信号を変換するインターフェースなどを備えたマイコンシステムなどを用いることができる。また、以下に説明する制御部 11 の機能の一部又は全部は、マイコンシステムにおいて実行可能なプログラムとして実現されていてもよい。また、当該プログラムは、マイコンシステムの記憶装置に記憶されていてもよい。さらに、制御部 11 の機能の一部又は全部は、カスタム IC などにより実現されていてもよい。

制御部 11 は、指令作製部 111 と、モータ制御部 113 a、113 b、113 c と、を有する。

[0048] 指令作製部 111 は、訓練指示部 5 と、モータ制御部 113 a、113 b、113 c とに信号送受信可能に接続されている。指令作製部 111 は、訓

練指示部 5 から送信される操作ロッド動作指令に基づいて、モータ制御部 1 1 3 a、1 1 3 b、1 1 3 c のそれぞれが、Y 軸方向傾動モータ 1 3 5 a、X 軸方向傾動モータ 1 3 5 b、及び伸縮モータ 3 5 9 を駆動するための指令を作製する。

[0049] 指令作製部 1 1 1 において作製される指令には、速度指令と位置指令とがある。速度指令とは、モータの回転速度（操作ロッド 3 の単位時間あたりの傾動角度又は伸縮する長さの変化量）を制御するための指令のことである。また、位置指令とは、操作ロッド 3 の傾動角度又は伸縮長さを制御するための指令のことである。

後述するように、モータ制御部 1 1 3 a、1 1 3 b、1 1 3 c が速度指令に基づいて上記モータを制御するとき、上記モータは速度指令に指示された速度に追従するように制御される。すなわち、速度指令に指示された速度と実際のモータの回転速度との間に差（速度偏差）が存在するときに、モータ制御部 1 1 3 a、1 1 3 b、1 1 3 c は、速度偏差を解消するように上記モータを制御する。

[0050] 一方、モータ制御部 1 1 3 a、1 1 3 b、1 1 3 c が位置指令に基づいて上記モータを制御するとき、上記モータは、操作ロッド 3 の傾動角度又は伸縮長さを位置指令に指示された傾動角度（指示傾動角度）又は伸縮長さ（指示伸縮長さ）に追従させるように制御される。すなわち、位置指令に指示された傾動角度と操作ロッド 3 の実際の傾動角度、又は位置指令に指示された伸縮長さと操作ロッド 3 の実際の伸縮長さとの間に差（位置偏差）が存在するときに、モータ制御部 1 1 3 a、1 1 3 b、1 1 3 c は、位置偏差を解消するように上記モータを制御する。

[0051] なお、指令作製部 1 1 1 において作製される速度指令及び位置指令は、時間の関数である。一方、訓練指示部 5 から送信される操作ロッド動作指令は、少なくとも操作ロッド 3 をどの傾動角度まで移動させるかに関する情報（目標位置情報）と、操作ロッド 3 の単位時間あたりの傾動角度又は伸縮長さの変化量（傾動角度速度ないしは伸縮長さ速度）に関する情報（目標速度情

報)とを含み、さらには操作ロッド3の傾動角度速度又は伸縮長さ速度を所望の傾動角度速度又は伸縮長さ速度まで到達させるための加速度に関する情報(加速度情報)と、操作ロッド3を動作状態から停止状態にするための減速度に関する情報(減速度情報)と、を含む。

[0052] すなわち、速度指令及び位置指令を作製する元となる操作ロッド動作指令には、時間に関する情報が含まれていない。しかし、操作ロッド動作指令には、距離に関する情報(目標位置情報に対応)、速度に関する情報(目標速度情報に対応)が含まれており、さらには加速度に関する情報(加速度情報及び減速度情報に対応)が含まれている。したがって、これらの情報から、時間に関する情報は算出できる。

よって、指令作製部111は、操作ロッド動作指令に含まれる目標位置情報、目標速度情報、さらには加速度情報、及び減速度情報も適切に組み合わせて計算することにより、時間の関数である速度指令及び位置指令を作製できる。

[0053] また、指令作製部111において作製される速度指令には、図5A及び図5Bに示すような、2種類の速度指令がある。1つは、図5Aに示されるように、モータを一定の加速度にて加速させる加速指令と、モータを一定の減速度にて減速させる減速指令とのみを含んだ速度指令である。このような速度指令を、時間を横軸に速度を縦軸にした座標上に表すと、三角形形状のグラフになる。したがって、このような速度指令を、三角速度軌道型の速度指令と呼ぶこともある。速度指令が三角速度軌道となる場合は、例えば、現在の操作ロッド3の傾動角度から、訓練指示部5において指示された操作ロッド3の目標傾動角度までの間に移動する操作ロッド3の移動距離が短い場合や、操作ロッド動作指令に指示されたモータの加速度や減速度が小さい場合などである。

このように、速度指令に加速指令と減速指令とが含まれることにより、モータ制御部113a、113b、113cは、モータをスムーズに制御できる。

[0054] もう1つは、図5Bに示されるように、加速指令と、減速指令とに加えて、モータを一定速度で回転させる定速指令をさらに含む速度指令である。このような速度指令を、時間を横軸に速度を縦軸にした座標上に表すと、台形状のグラフになる。したがって、このような速度指令を、台形速度軌道型の速度指令と呼ぶこともある。速度指令が台形速度軌道となる場合は、例えば、現在の操作ロッド3の傾動角度から、訓練指示部5において指示された操作ロッド3の目標傾動角度までの間に移動する操作ロッド3の移動距離が大きい場合や、モータの加速度や減速度が大きい場合などである。

このように、速度指令が定速指令をさらに含むことにより、操作ロッド3が大きな傾動角度にて動作する場合にも、モータ制御部113a、113b、113cは、モータをスムーズに動作できる。

[0055] 一方、指令作製部111において作製される位置指令は、時間を横軸に位置（傾動角度）を縦軸にした座標上に表すと、図6に示すような形状となる。位置指令は、速度指令の時間の積分値に対応する。図6に示す位置指令は、図5Bに示した台形速度軌道型の速度指令に対応する位置指令である。したがって、台形速度軌道型の速度指令において、正の傾きで速度が増加する時間が0から t_1 まで（加速指令区間）の間、位置指令は、時間が0のときに頂点となる下に凸の放物線形状となる。速度指令において速度が水平軸と平行な直線となるまでの、時間が t_1 から t_2 まで（定速指令区間）の間、位置指令は正の傾きで直線的に増加する。そして、速度指令において速度が負の傾きで減少する、時間 t_2 から t_3 まで（減速指令区間）の間、位置指令は、時間が t_3 のときに頂点となる上に凸の放物線形状となる。

[0056] モータ制御部113a、113b、113cは、指令作製部111と信号送受信可能に接続されている。このため、モータ制御部113a、113b、113cは、指令作製部111から速度指令及び位置指令を受信できる。また、モータ制御部113a、113b、113cは、それぞれ、Y軸方向傾動モータ135a、X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359と、電氣的に接続されている。したがって、モータ制御部113a、113b、

113cは、速度指令及び／又は位置指令に基づき、上記のモータを制御で
きる。

さらに、モータ制御部113a、113b、113cは、それぞれ、Y軸
方向傾動モータ135a用の第1回転情報出力センサ135a-1、X軸方
向傾動モータ135b用の第2回転情報出力センサ135b-1、伸縮モ
ータ359用の第3回転情報出力センサ359-1に、信号送受信可能に接続
されている。

[0057] 第1回転情報出力センサ135a-1、第2回転情報出力センサ135b
-1、第3回転情報出力センサ359-1は、それぞれ、Y軸方向傾動モ
ータ135aの出力回転軸、X軸方向傾動モータ135bの出力回転軸、伸縮
モータ359の出力回転軸に、固定されるのが通例である。これにより、第
1回転情報出力センサ135a-1、第2回転情報出力センサ135b-1
、第3回転情報出力センサ359-1は、それぞれ、Y軸方向傾動モータ1
35aの回転量、X軸方向傾動モータ135bの回転量、伸縮モータ359
の回転量を出力できる。

第1回転情報出力センサ135a-1、第2回転情報出力センサ135b
-1、第3回転情報出力センサ359-1としては、モータの出力回転軸の
回転量が測定可能なセンサを用いることができる。このようなセンサとして
、例えば、インクリメンタル型のエンコーダや、アブソリュート型のエンコ
ーダなどのエンコーダを好適に用いることができる。

センサにエンコーダを使用した場合、第1回転情報出力センサ135a-
1、第2回転情報出力センサ135b-1、及び第3回転情報出力センサ3
59-1は、それぞれ、Y軸方向傾動モータ135aの回転量、X軸方向傾
動モータ135bの回転量、伸縮モータ359の回転量に応じたパルス信号
を出力する。

[0058] このように、モータ制御部113a、113b、113cが、モータの出
力回転軸の回転量を測定する第1回転情報出力センサ135a-1、第2回
転情報出力センサ135b-1、第3回転情報出力センサ359-1と接続

されることにより、モータ制御部 113a、113b、113c は、実際のモータの回転量などを考慮して、上記のモータを制御できる。

[0059] 次に、モータ制御部 113a、113b、113c について詳しく説明する。以下の説明においては、モータ制御部 113a を例として用いて説明する。なぜなら、他のモータ制御部 113b、113c も、モータ制御部 113a と同じ構成を有し、同じ動作を行うからである。

[0060] 11. モータ制御部の構成

モータ制御部 113a の構成について、図 7A を用いて説明する。図 7A は、モータ制御部 113a の基本的な構成を示した図である。

モータ制御部 113a は、傾動角度算出部 1131 と、位置偏差算出部 1132 と、フィードバック電流検出部 1133 と、判断部 1134 と、モータ駆動部 1135 と、を有する。

傾動角度算出部 1131 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 と信号送受信可能に接続されている。これにより、傾動角度算出部 1131 には、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 にて測定された Y 軸方向傾動モータ 135a の出力回転軸の回転量に応じて出力されたパルス信号が入力される。そして、傾動角度算出部 1131 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 から出力されたパルス信号に含まれたパルス数から、操作ロッド 3 の傾動角度を算出する。

[0061] 位置偏差算出部 1132 は、傾動角度算出部 1131 と信号送受信可能に接続されている。これにより、位置偏差算出部 1132 には、傾動角度算出部 1131 において算出された操作ロッド 3 の傾動角度が入力される。また、位置偏差算出部 1132 は、指令作製部 111 と信号送受信可能に接続されている。これにより、位置偏差算出部 1132 には、指令作製部 111 にて作製された位置指令が入力される。

位置偏差算出部 1132 は、傾動角度算出部 1131 において算出された実際の操作ロッド 3 の傾動角度と、位置指令において指示された操作ロッド 3 の傾動角度（指示傾動角度）との差を、位置偏差として算出する。また、

位置偏差算出部 1132 は、予め設定された第 1 の時間 T_1 毎に、位置偏差を算出する。なお、位置偏差を算出するタイミングを決定する第 1 の時間 T_1 は、必要に応じて任意に設定可能としておいてもよい。

[0062] フィードバック電流検出部 1133 は、モータ駆動部 1135（後述）の出力に電氣的に接続されている。これにより、フィードバック電流検出部 1133 は、モータ駆動部 1135 から Y 軸方向傾動モータ 135a に出力されるフィードバック電流 I の電流値を検出できる。この場合、フィードバック電流検出部 1133 としては、モータの巻線に流れる電流値を測定可能な装置を用いることができる。例えば、フィードバック電流検出部 1133 としては、シャント抵抗、クランプ電流計、又はトランスカレントなどを用いることができる。

又は、フィードバック電流検出部 1133 は、速度制御部 1135-1（図 8）及び／又は位置制御部 1135-2（図 8）から出力され、電力供給部 1135-4（図 8）を制御するための第 1 制御量及び／又は第 2 制御量の信号値を検出してもよい。この場合、フィードバック電流検出部 1133 は、モータ駆動部 1135 の電力供給部 1135-4（図 8）の入力に信号送受信可能に接続される。この場合、フィードバック電流検出部 1133 は、合成部 1135-7（図 8）から出力される、第 1 制御量と第 2 制御量の合成制御量を検出する。これにより、フィードバック電流検出部 1133 は、モータの巻線に流れる電流値を測定する装置を必要とすることなく、フィードバック電流 I の電流値を予測できる。

また、フィードバック電流検出部 1133 は、フィードバック電流 I の電流値が第 1 電流値 I_1 以上であるかどうかを判定するための、判定部（図示せず）を有している。

[0063] 判断部 1134 は、位置偏差算出部 1132 及びフィードバック電流検出部 1133 と、信号送受信可能に接続されている。判断部 1134 は、（i）位置偏差算出部 1132 において算出された第 1 の時間 T_1 （後述）の間に生じた位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 （後述）以上であるか、及び、（ii）フィ

ードバック電流検出部 1133 において検出された、フィードバック電流 I の電流値が第 1 電流値 I_1 (後述) 以上である時間が、第 2 の時間 T_2 (後述) 以上持続しているかを判断する。そして、上記条件 (i) 又は (ii) が「真」である場合に、エラーと判断する。

[0064] モータ駆動部 1135 は、位置指令と速度指令を与える指令作製部 111 (指令作製部 111 と位置指令および速度指令の関係は図示されていない) と信号送受信可能に接続されている。このため、モータ駆動部 1135 には、指令作製部 111 から位置指令及び速度指令が入力される。また、モータ駆動部 1135 は、Y 軸方向傾動モータ 135a と電氣的に接続されている。さらに、モータ駆動部 1135 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 と、信号送受信可能に接続されている。

このため、モータ駆動部 1135 は、速度指令及び／又は位置指令と、Y 軸方向傾動モータ 135a の回転量に基づいて、Y 軸方向傾動モータ 135a を制御できる。なお、モータ駆動部 1135 の詳細については、後ほど説明する。

[0065] モータ制御部 113a は、図 7B に示す第 1 変形例として、累計時間計測部 1136 をさらに有していてもよい。累計時間計測部 1136 は、位置偏差算出部 1132 に信号送受信可能に接続されている。累計時間計測部 1136 は、位置偏差算出部 1132 において算出された第 1 の時間 T_1 の間に生じた位置偏差が、第 2 の閾値 ϕ_2 (後述) 以上、かつ、第 1 の閾値 ϕ_1 未満である時間 (累計時間 t_A) を計測する。

また、累計時間計測部 1136 は、判断部 1134 に信号送受信可能に接続されている。これにより、累計時間計測部 1136 は、計測した累計時間 t_A を判断部 1134 に出力できる。

[0066] モータ制御部 113a が累計時間計測部 1136 を有する第 1 変形例では、判断部 1134 は、累計時間 t_A が第 3 の時間 T_3 (後述) 以上である場合に、エラーと判断する。これにより、第 1 の閾値 ϕ_1 よりも小さな値を有する第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差、すなわち、ゆっくりと変化する位置偏差に

対して、第3の時間 T_3 までは訓練を継続できる。

また、ゆっくりと変化する位置偏差から、判断部1134は、Y軸方向傾動モータ135aが操作ロッド3を動作させるために必要な負荷を予測できる。そのため、フィードバック電流値の検出が不可能となった場合でも、累計時間計測部1136においてゆっくりと変化する位置偏差が継続する時間を計測することにより、Y軸方向傾動モータ135aにある所定の値以上の負荷がかかっている状態が継続する時間を計測できる。

[0067] モータ制御部113aは、図7Cに示す第2変形例として、フィードバック電流制限部1137を有していてもよい。フィードバック電流制限部1137は、判断部1134とモータ駆動部1135に信号送受信可能に接続されている。フィードバック電流制限部1137は、判断部1134においてエラーを判断したとき、モータ駆動部1135から出力されるフィードバック電流値を制限する。フィードバック電流制限部1137においてフィードバック電流値が制限されると、モータ駆動部1135からは、Y軸方向傾動モータ135aの定格電流値以下の電流値、すなわち、定格電流 I_R の1より小さい所定の倍数 a の電流値($a \times I_R$)を有する第2電流値 I_2 であるフィードバック電流 I が出力される。

[0068] 111. モータ駆動部の構成

次に、モータ駆動部1135の構成について、図8を用いて説明する。図8は、モータ駆動部1135の構成を示す図である。モータ駆動部1135は、速度制御部1135-1と、位置制御部1135-2と、速度算出部1135-3と、電力供給部1135-4と、電流制限部1135-5と、第1偏差算出部1135-6aと、第2偏差算出部1135-6bと、合成部1135-7と、切替部1135-8と、位置偏差設定部1135-9と、を有する。

速度制御部1135-1は、第2偏差算出部1135-6bに信号送受信可能に接続されている。よって、速度制御部1135-1は、第2偏差算出部1135-6bにおいて算出される、速度指令にて指示された速度（指示

速度)とY軸方向傾動モータ135aの実際の速度との差(速度偏差)を入力する。

[0069] 速度制御部1135-1は、入力された速度偏差に基づいて、電力供給部1135-4を制御するための第1制御量を算出する。このとき、速度制御部1135-1は、入力された速度偏差を無くするように、第1制御量を算出する。すなわち、速度制御部1135-1は、実際のモータの速度を指示速度に追従させるような第1制御量を算出する。

速度制御部1135-1としては、例えば、制御理論に基づいて速度偏差を無くするような制御量を算出する制御装置を用いることができる。このような制御装置としては、例えば、PID(Proportional Integral Differential)制御理論を用いた制御装置などがある。本実施形態においては、速度制御部1135-1として、PI(Proportional Integral)制御理論を用いた制御装置を用いる。

速度制御部1135-1がPI制御理論を用いた制御装置である場合、第1制御量は、速度偏差を Δv とすると、 $K_{pv} \times \Delta v + K_{iv} \times \text{Int}(\Delta v)$ と表現される。ここで、 $\text{Int}(\Delta v)$ は、速度偏差 Δv の時間積分値である。 K_{pv} 、 K_{iv} は、制御ゲインと呼ばれる定数である。

[0070] 位置制御部1135-2は、第1偏差算出部1135-6aに信号送受信可能に接続されている。よって、位置制御部1135-2には、第1偏差算出部1135-6aにおいて算出される、位置指令にて指示された傾動角度(指示傾動角度)と操作ロッド3の実際の傾動角度との差(位置偏差)を入力する。

また、位置制御部1135-2は、位置偏差に基づいて、電力供給部1135-4を制御するための第2制御量を算出する。すなわち、位置制御部1135-2は、操作ロッド3の実際の傾動角度を指示傾動角度に追従させるような(位置偏差を無くするような)第2制御量を算出する。

位置制御部1135-2としては、速度制御部1135-1と同様、制御

理論に基づいた制御を行う制御装置を用いることができる。本実施形態においては、位置制御部 1135-2 として、PI 制御理論を用いた制御装置を用いる。

この場合、第 2 制御量は、位置偏差を $\Delta\theta$ とすると、 $K_{pp} \times \Delta\theta + K_{ip} \times \text{Int}(\Delta\theta)$ と表現される。ここで、 $\text{Int}(\Delta\theta)$ は、位置偏差 $\Delta\theta$ の時間積分値である。 K_{pp} 、 K_{ip} は、制御ゲインと呼ばれる定数である。

[0071] 速度算出部 1135-3 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 と信号送受信可能に接続されている。これにより、速度算出部 1135-3 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 から出力されるパルス信号から、Y 軸方向傾動モータ 135a の回転速度を算出する。なお、Y 軸方向傾動モータ 135a の回転速度は、パルス信号中の単位時間あたりのパルス数から算出できる。

[0072] 電力供給部 1135-4 は、合成部 1135-7 を介して、速度制御部 1135-1 と接続されている。また、電力供給部 1135-4 は、合成部 1135-7 及び切替部 1135-8 を介して、位置制御部 1135-2 に接続されている。

これにより、電力供給部 1135-4 には、速度制御部 1135-1 から出力される第 1 制御量のみが入力されるか、又は、第 1 制御量と位置制御部 1135-2 から出力される第 2 制御量とが、合成部 1135-7 において合成されて入力される。

[0073] 電力供給部 1135-4 に第 1 制御量のみが入力される場合、電力供給部 1135-4 は、Y 軸方向傾動モータ 135a の速度（回転速度）を指示速度に追従させる第 1 制御量のみに基づいて、フィードバック電流 I を出力する。これにより、モータ駆動部 1135 は、モータの回転速度を指示速度に追従させるよう、Y 軸方向傾動モータ 135a を駆動できる。

[0074] 一方、第 1 制御量と第 2 制御量の両方が合成部 1135-7 において合成されて電力供給部 1135-4 に入力される場合、電力供給部 1135-4 は、モータの回転速度を指示速度に追従させ、かつ、操作ロッド 3 の傾動角

度を指示傾動角度に追従させるようなフィードバック電流 I を出力する。これにより、モータ駆動部1135は、モータの回転速度を指示速度に追従させるだけでなく、操作ロッド3の傾動角度を指示傾動角度に追従させるよう、Y軸方向傾動モータ135aを駆動できる。

[0075] なお、本実施形態において、電力供給部1135-4からは、第1制御量及び／又は第2制御量に基づいて制御された電流（フィードバック電流 I ）が出力される。しかし、電力供給部1135-4から出力されるのは、フィードバック電流に限らない。例えば、電力供給部1135-4から、第1制御量及び／又は第2制御量に基づいて、電圧値及び／又はデューティ比が制御された電圧が出力されてもよい。

[0076] 電流制限部1135-5は、電力供給部1135-4の出力とY軸方向傾動モータ135aに、電氣的に接続されている。また、電流制限部1135-5は、フィードバック電流制限部1137と、信号送受信可能に接続されている。よって、電流制限部1135-5が、フィードバック電流制限部1137からフィードバック電流 I を制限する指令を受信したとき、電流制限部1135-5は、電力供給部1135-4から出力されたフィードバック電流値が予め設定された第2電流値 I_2 以上とならないように、フィードバック電流値を制限する。

このとき、電流制限部1135-5においては、第2電流値 I_2 として、Y軸方向傾動モータ135aの定格電流 I_R の1より小さい所定の倍数 a の電流値（ $a \times I_R$ ）が設定されている。これにより、判断部1134においてエラーが発生したときに、Y軸方向傾動モータ135aに入力されるフィードバック電流 I を定格電流値以下に制限できる。

[0077] 第1偏差算出部1135-6a、第2偏差算出部1135-6bは、それぞれ、2つの入力（「+」が付された入力と「-」が付された入力）を有する。第1偏差算出部1135-6a及び第2偏差算出部1135-6bの「+」が付された入力は、指令作製部111と信号送受信可能のように接続されている。そして、第1偏差算出部1135-6aの「+」が付された入力

には位置指令が、第2偏差算出部1135-6bの「+」が付された入力には速度指令がそれぞれ、指令作製部111から入力される。

また、第1偏差算出部1135-6aの「-」が付された入力には、第1回転情報出力センサ135a-1が信号送受信可能に接続されている。これにより、第1偏差算出部1135-6aの「-」が付された入力には、速度算出部1135-3において算出されたY軸方向傾動モータ135aの回転量に応じて出力されたパルス信号が入力される。そして、第2偏差算出部1135-6bの「-」が付された入力は、速度算出部1135-3の出力と信号送受信可能に接続されている。これにより、第2偏差算出部1135-6bの「-」が付された入力には、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が入力される。

[0078] したがって、第1偏差算出部1135-6aにおいては、位置指令に指示された指示傾動角度と操作ロッド3の実際の傾動角度との差、すなわち、位置偏差が算出される。一方、第2偏差算出部1135-6bにおいては、速度指令に指示された指示速度とY軸方向傾動モータ135aの回転速度との差、すなわち、速度偏差が算出される。

[0079] 合成部1135-7は、速度制御部1135-1から出力された第1制御量及び位置制御部1135-2から出力された第2制御量を合成（合成制御量）し、電力供給部1135-4へ出力する。ここで、合成制御量とは、第1制御量及び第2制御量に適切な重み付けをして加算した制御量のことを言う。第1制御量に付する重み付けと、第2制御量に付する重み付けの大きさを適切に調節することにより、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度を指示速度に追従させるような制御（速度制御）をより重視するか、操作ロッド3の傾動角度を指示傾動角度に追従させるような制御（位置制御）をより重視するかを調整できる。

[0080] 切替部1135-8は、位置制御部1135-2の出力と、合成部1135-7の入力に接続されている。また、切替部1135-8は、指令作製部111及び第1回転情報出力センサ135a-1に信号送受信可能に接続さ

れている。これにより、切替部 1135-8 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 から出力されるパルス数（すなわち、操作ロッド 3 の実際の傾動角度）が、速度指令に指示された減速開始位置に対応する値となったときに、切替部 1135-8 のスイッチを ON にする。すなわち、切替部 1135-8 は、Y 軸方向傾動モータ 135a の回転量が、速度指令に指示された減速開始位置に対応する値となったときに、位置制御部 1135-2 からの出力である第 2 制御量を合成部 1135-7 に入力可能にする。

これにより、切替部 1135-8 は、速度指令が減速指令のときにのみ、位置制御部 1135-2 から出力される第 2 制御量を Y 軸方向傾動モータ 135a の制御に反映できる。その結果、操作ロッド 3 は、減速指令の実行時に、目標傾動角度まで極力偏差を小さくして到達できる。

[0081] 位置偏差設定部 1135-9 は、第 1 偏差算出部 1135-6a の出力と位置制御部 1135-2 の入力に信号送受信可能に接続されている。また、位置偏差設定部 1135-9 は、指令作製部 111 と第 1 回転情報出力センサ 135a-1 に、信号送受信可能に接続されている。これにより、位置偏差設定部 1135-9 は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 から出力されるパルス数が減速開始位置に対応する値となったときに、第 1 偏差算出部 1135-6a から出力される位置偏差を 0 にする（リセットする）。Y 軸方向傾動モータ 135a の回転速度を減速するときに、（累積された）位置偏差を 0 とする（リセットする）ことにより、モータ減速時に、一時的に位置偏差が増大することによって、その位置偏差を補正するためにモータの回転速度が過剰に上昇することを抑制できる。

[0082] （５）訓練装置の動作

Ⅰ．訓練装置の基本動作

次に、訓練装置 100 の動作について説明する。まず、訓練装置 100 の基本動作について図 9 を用いて説明する。図 9 は、訓練装置 100 の基本動作を示すフローチャートである。なお、以下においては、訓練モードをガイドモードに設定したときの訓練装置 100 の動作を例にとって、訓練装

置 100 の動作を説明する。また、以下に説明する例においては、モータ制御部 113a は、図 7C に示すように、累計時間計測部 1136 と、フィードバック電流制限部 1137 とを有しているとする。また、ここでは、Y 軸方向傾動モータ 135a をモータ制御部 113a により制御する際の動作を例にとり、訓練装置 100 の動作を説明する。なぜなら、X 軸方向傾動モータ 135b、伸縮モータ 359 をそれぞれ、モータ制御部 113b、113c により制御する際も、同様の制御が行われるからである。

まず、使用者が、訓練装置 100 の各種初期設定を、訓練指示部 5 などを用いて行う（ステップ S1）。この時、訓練装置 100 の使用者は、訓練指示部 5 を用いて、上記の訓練モードをガイドドモードに設定する。そして、訓練装置 100 の使用者は、訓練指示部 5 を用いて、ガイドドモードにおける患者の肢の訓練プログラムを設定する。

[0083] 次に、訓練指示部 5 は、設定された訓練プログラムに基づいて、操作ロッド動作指令を作製する。そして、訓練指示部 5 は、操作ロッド動作指令（上位指令）を制御部 11 の指令作製部 111 に送信する（ステップ S2）。

その後、操作ロッド動作指令を受け取った指令作製部 111 は、操作ロッド動作指令に含まれる目標位置情報、目標速度情報、及び加速度情報に基づいて、速度指令及び位置指令を作製する（ステップ S3）。

[0084] 指令作製部 111 にて速度指令及び位置指令が作製された後、モータ制御部 113a が、速度指令又は／及び位置指令に基づき、Y 軸方向傾動モータ 135a を制御する（ステップ S4）。なお、本実施形態における、モータ制御部 113a による Y 軸方向傾動モータ 135a の駆動の詳細は後述する。

[0085] モータ制御部 113a が、Y 軸方向傾動モータ 135a の駆動を開始後、まず、判断部 1134 が、位置指令に指示されている指示傾動角度と操作ロッド 3 の実際の傾動角度との差（位置偏差）が、第 1 の閾値 ϕ_1 以上であるかどうかを判定する（ステップ S5）。すなわち、ステップ S5 においては、単位時間（第 1 の時間 T_1 ）あたりの位置偏差が過剰に大きくなった（位置偏

差過大) かどうか判定される。

第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 以上の場合 (ステップ S5 において「Yes」の場合) は、ステップ S7 に進む。一方、第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 より小さい場合 (ステップ S5 において「No」の場合) は、ステップ S6 に進む。

なお、ステップ S5 における位置偏差過大の判定方法については、後ほど詳しく説明する。

[0086] ステップ S6 において、判断部 1134 は、Y 軸方向傾動モータ 135a が患者の肢を動作させるために、肢に過剰な負荷 (過負荷) を所定の時間 (第 2 の時間 T_2) 継続してかけているかどうかを判定する。Y 軸方向傾動モータ 135a が、肢に過負荷を第 2 の時間 T_2 以上継続してかけている場合 (ステップ S6 において「Yes」の場合)、ステップ S7 に進む。一方、Y 軸方向傾動モータ 135a が、肢に過負荷をかけている時間が第 2 の時間 T_2 より小さい場合、又は、Y 軸方向傾動モータ 135a が肢に過負荷をかけていない場合 (ステップ S6 において「No」の場合)、ステップ S8 に進む。

[0087] ステップ S5 において、位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 以上であると判定された場合、又は、ステップ S6 において、肢に過負荷を第 2 の時間 T_2 以上継続してかけていると判断された場合、判断部 1134 は、エラーと判断する (ステップ S7)。

なお、判断部 1134 がエラーと判断するとき、訓練装置 100 において

は、各種エラー処理が実行される。

[0088] ステップ S7 におけるエラー処理として、モータ制御部 113a が Y 軸方向傾動モータ 135a を有している場合には、判断部 1134 は、Y 軸方向傾動モータ 135a が肢に過負荷を第 2 の時間 T_2 以上継続してかけていると判断された場合、又は、Y 軸方向傾動モータ 135a が肢に過負荷をかけていない場合 (ステップ S6 において「No」の場合)、ステップ S8 に進む。一方、Y 軸方向傾動モータ 135a が、肢に過負荷を第 2 の時間 T_2 以上継続してかけている場合 (ステップ S6 において「Yes」の場合)、ステップ S7 に進む。一方、第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 以上の場合 (ステップ S5 において「Yes」の場合) は、ステップ S7 に進む。一方、第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 より小さい場合 (ステップ S5 において「No」の場合) は、ステップ S6 に進む。

れる Y 軸方向傾動モータ 135a の電流値は、定格電流 I_R よりも小さい第 2 電流値

$1/2 (a \times 1_R (a : 1 \text{ よりも小さい正数}))$ に制限される。

[0089] 一般的に、モータのトルクは、ロータ及び/又はステータのコイル（巻線

）に流す電流値が大きくなるに従い大きくなる。したがって、判断部 113

4においてエラーを判断したときに、Y軸方向傾動モータ 135aに入力す

るフィードバック電流₁を、第2電流値_{1/2}に制限することにより、Y軸方向

傾動モータ 135aから出力されるトルクを制限できる。その結果、訓練装

置 100においてエラーが発生したときに、患者に対して過剰な負荷をかけ

ることなく操作ロボット3を制御できる。

[0090] また、ステツプS7におけるエラー処理として、訓練指示部5は、エラー

発生を知らせる視覚的情報又は聴覚的情報を提供する。これにより、使用者

は、訓練装置 100の状態、すなわち、訓練装置 100においてエラーが発

生していること、及び/又は、エラー発生の原因などを知らることができる。

[0091] ステツプS7においては、訓練装置 100の使用に際して必要に応じて、

その他のエラー処理を行うことができる。

[0092] ステツプS7におけるエラー処理の終了後、又は、ステツプS5において

「N0」となり、かつ、ステツプS6において「N0」となった場合（すな

わち、判断部 1134において、位置偏差が第1の閾値 ϕ_1 よりも小さく、か

つ、Y軸方向傾動モータ 135aが肢に過負荷をかけている時間が第2の時

間 T_2 より小さいと判断された場合。さらに言い換えると、エラーと判断され

ない場合）、モータ制御部 113aにおいて、操作ロボット3が最終的に到達

すべき傾動角度である目標傾動角度に、操作ロボット3が到達したかどうか

判断される（ステツプS8）。

操作ロボット3の傾動角度が目標傾動角度である場合（ステツプS8におい

て「Yes」の場合）、モータ制御部 113aによるY軸方向傾動モータ 1

35aの制御は終了する。

一方、操作ロボット3の傾動角度が目標傾動角度に到達していない場合（ス

テツプS8において「N0」の場合）には、ステツプS5に戻る。

[0093] なお、操作ロボット3が目標傾動角度に到達したかどうかは、第1回転情報

出力センサ 135a-1 から出力されるパルス数に基づいて判定してもよく、速度指令及び／又は位置指令が全て実行されたかどうかに基づいて判定してもよい。

[0094] 11. モータ制御方法

次に、上記のステップ S4 における、Y 軸方向傾動モータ 135a の制御方法について、図 10 を用いて説明する。図 10 は、モータの制御方法を示したフローチャートである。本実施形態において、モータ制御部 113a は、速度指令の加速指令及び／又は定速指令の実行時において、速度指令のみに追従するように Y 軸方向傾動モータ 135a を制御する。そして、減速指令実行時において、速度指令及び位置指令に追従するように、Y 軸方向傾動モータ 135a を制御する。

[0095] モータ駆動を開始すると、まず、切替部 1135-8 が、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 から出力されるパルス数から、操作ロッド 3 の傾動角度を算出する。そして、算出された操作ロッド 3 の傾動角度が、速度指令において減速指令を実行すべき傾動角度であるかをチェックする（ステップ S41）。

ここで、図 11 を用いて、ステップ S41 における動作について詳しく説明する。図 11 は、操作ロッド 3 の傾動角度が減速指令を実行すべき傾動角度であるかどうかをチェックする様子を模式的に示した図である。

[0096] 図 11 に示された位置指令及び速度指令（図 11 中では、いずれも一点鎖線にて示されている）においては、Y 軸方向傾動モータ 135a の駆動を開始してからの経過時間 t が t_{dc} となったときに、減速指令が開始される。この時、経過時間 t_{dc} における操作ロッド 3 の指示傾動角度は θ_d である。指示傾動角度 θ_d が、減速開始位置に対応する。一方、図 11 において実線にて示された、操作ロッド 3 の実際の傾動角度は、経過時間が t_{dc} においても、指示傾動角度 θ_d （減速開始位置の一例）よりも小さな傾動角度となっている。

[0097] したがって、Y 軸方向傾動モータ 135a の駆動を開始してからの経過時間が t_{dc} となったときに減速指令を実行すると、操作ロッド 3 が目標傾動角

度に到達する前に、Y軸方向傾動モータ135aの制御が停止してしまうことがある。又は、速度指令の減速指令実行時に、位置偏差を解消しようとして、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が過剰に上昇してしまうこともある。Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が過剰に上昇した場合、訓練を受けている肢に過剰な負担がかかる場合がある。

[0098] 上記のような問題点を解決するため、本実施形態のステップS4（モータの駆動）においては、操作ロッド3の実際の傾動角度が、減速開始位置に対応する傾動角度 θ_d になったときに、減速指令の実行を開始する。その結果、実際には、モータの駆動を開始してからの経過時間 t が t_{dc} よりも長い t_{da} となったときに、減速指令の実行が開始される。

これにより、モータ駆動部1135は、操作ロッド3が肢に過剰な負担をかけることなく、目標傾動角度に精度良く到達するように、Y軸方向傾動モータ135aを制御できる。

[0099] 具体的には、操作ロッド3の実際の傾動角度が、減速開始位置に対応する傾動角度 θ_d に到達していない場合（ステップS41において「No」の場合）、ステップS42に進む。一方、操作ロッド3の実際の傾動角度が、減速開始位置に対応する傾動角度 θ_d よりも目標傾動角度に近い場合、すなわち、操作ロッド3の実際の傾動角度が、速度指令において減速指令実行を行うべき傾動角度である場合（ステップS41において「Yes」の場合）、ステップS43に進む。

[0100] ステップS41において、操作ロッド3の実際の傾動角度が減速開始位置に対応する傾動角度 θ_d に到達していないと判定されたとき、切替部1135-8は、位置制御部1135-2から出力される第2制御量が合成部1135-7に入力されないよう、位置制御部1135-2と合成部1135-7とを、電氣的に切断する（ステップS42）。

これにより、速度制御部1135-1から出力される第1制御量のみが、電力供給部1135-4においてフィードバック電流を出力する際に反映される。その結果、モータ駆動部1135は、Y軸方向傾動モータ135aの

回転速度が指示速度のみに追従するように、Y軸方向傾動モータ135aを制御する（速度制御）。

[0101] なお、操作ロッド3の実際の傾動角度が、減速開始位置である傾動角度 θ_d よりも小さい時、速度指令においては、加速指令又は定速指令が実行されている。よって、速度指令において加速指令又は定速指令が実行されているときに、モータ駆動部1135は、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が指示速度のみに追従するように、Y軸方向傾動モータ135aを制御していることになる。

[0102] また、Y軸方向傾動モータ135aが速度制御のみにより制御される場合、図12に示すように、Y軸方向傾動モータ135aの実際の回転速度と指示速度との速度偏差に起因して生じる、指示傾動角度と操作ロッド3の実際の傾動角度との位置偏差は、累積して保持される。例えば、図12中の例において最初に生じた速度偏差(i)が解消した時間 t_a において、速度偏差(i)の時間積分（図中にて斜線にて示した領域の面積）に対応する位置偏差 $\Delta\theta_A$ が保持される。その後、2番目に生じた速度偏差(i_i)が解消した時間 t_b において、位置偏差 $\Delta\theta_A$ に、速度偏差(i_i)の時間積分（図中にて網掛け線にて示した領域の面積）に対応する位置偏差がさらに累積された位置偏差 $\Delta\theta_B$ が保持される。そして、時間 t_b 以降、速度偏差が解消されても、位置偏差 $\Delta\theta_B$ は不変のまま保持される。

[0103] このように、速度制御のみによりモータを制御することにより、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度は指示速度に追従する一方、位置偏差は解消されず累積保持される。なぜなら、速度制御では、速度制御部1135-1において第1制御量を算出する際に、位置偏差は考慮されていないからである。

[0104] 訓練装置100においては、肢の動作が、操作ロッド動作指令に示された操作ロッド3の動作にある程度追従できるなら、位置偏差が多少生じたとしても訓練を継続することが好ましい。よって、速度指令の加速指令及び／又は定速指令実行時に、速度制御のみによりY軸方向傾動モータ135aを制

御することにより、Y軸方向傾動モータ135aを、位置偏差を解消することなく速度指令に追従するように制御できる。その結果、多少の位置偏差があったとしても、操作ロッド3の動作速度を操作ロッド動作指令に示された動作速度に追従させつつ、肢の訓練を継続できる。

[0105] ステップS41において、操作ロッド3の実際の傾動角度が速度指令において減速指令実行を行うべき傾動角度であると判定された場合（ステップS41において「Yes」の場合）、ステップS43へ進む。

[0106] ステップS43においては、位置偏差設定部1135-9が、操作ロッド3の実際の傾動角度が減速開始位置に対応する傾動角度 θ_d であるかどうかを確認する。操作ロッド3の実際の傾動角度が θ_d である場合（ステップS43において「Yes」の場合）、ステップS44に進む。一方、操作ロッド3の実際の傾動角度が θ_d でない場合（ステップS43において「No」の場合）、ステップS46に進む。

[0107] ステップS43において、操作ロッド3の実際の傾動角度が θ_d であると判断された場合、まず、位置偏差設定部1135-9が、操作ロッド3が傾動角度 θ_d まで動作する間に累積保持された位置偏差をリセット（位置偏差を0に設定）する（ステップS44）。図11にて示す例においては、実際の傾動角度が θ_d となった経過時間 t_{da} において、累積保持された位置偏差 $\Delta\theta_{da}$ を0にする。

経過時間 t_{da} における位置偏差 $\Delta\theta_{da}$ は、例えば、経過時間 t_{da} における指示傾動角度を θ_d となるように位置指令を更新（図11の二点鎖線にて示した位置指令）することにより、リセットされる。また、それと同時に、速度指令は、経過時間 t_{da} において減速指令が開始されるように更新（図11にて二点鎖線にて示された速度指令）される。

ステップS44にて位置偏差をリセット後、切替部1135-8が、位置制御部1135-2と合成部1135-7とを電氣的に接続する（ステップS45）。すなわち、位置制御部1135-2から出力される第2制御量が、合成部1135-7へ入力可能となる。これにより、減速指令の実行時に

、第1制御量だけでなく第2制御量も、電力供給部1135-4においてフィードバック電流Iを出力する際に反映されるようになる。

- [0108] 速度指令の減速指令の実行時においては、速度制御に加えて位置制御も行っているため、減速開始位置において位置偏差をリセットしない場合、減速指令実行開始時に累積保持された位置偏差 $\Delta\theta_{da}$ を解消するようなその他の情報処理を行うべきである。この処理を実施しない場合には、減速指令実行開始時に、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が、累積保持された位置偏差 $\Delta\theta_{da}$ によって、速度指令以上の速度に過剰に上昇してしまうことがあるためである。これは、位置偏差を情報処理により解消しない場合、第2制御量の合成制御量に占める割合が高くなる可能性があるためである。このように、減速指令実行時にもかかわらず、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が過剰に上昇すると、患者の肢に過剰な負荷をかけることになる。

一方、減速開始位置において位置偏差をリセットすることにより、減速指令実行時に位置制御が行われても、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が過剰に上昇することを抑制できる。その結果、患者の肢に対して操作ロッド3から大きな負荷を与えることなく、訓練を継続することができる。

- [0109] 操作ロッド3の実際の傾動角度が θ_d でない場合（ステップS43において「No」の場合）、又は、ステップS44において位置偏差 $\Delta\theta_{da}$ をリセットした後、モータ駆動部1135は、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度を速度指令の指示速度に追従するよう、かつ、操作ロッド3の傾動角度を位置指令の指示傾動角度に追従するよう、Y軸方向傾動モータ135aを駆動する（ステップS46）。これにより、モータ駆動部1135は、操作ロッド3が目標傾動角度まで極力偏差を小さくして到達するよう、Y軸方向傾動モータ135aを制御できる。

- [0110] 111. 位置偏差過大判定方法

次に、図9に示したフローチャート中のステップS5における位置偏差過大判定方法について、図13を用いて説明する。図13は、位置偏差過大判定方法を示すフローチャートである。

位置偏差過大判定を開始すると、まず、判断部 1134 が、 γ 軸方向傾動モータ 135a が駆動を開始してからの経過時間 t が、第 1 の時間 T_1 の整数倍であるかどうかを判断する (ステップ S51)。経過時間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍でない場合 (ステップ S51 において「No」の場合)、判断部 1134 は、位置偏差過大が発生していないと判断して (ステップ S55)、位置偏差過大判定を終了する。

[0111] 一方、経過時間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍である場合 (ステップ S51 において「Yes」の場合)、判断部 1134 は、位置偏差算出部 1132 に対して、現在累積保持されている位置偏差を算出するように指令する (ステップ S52)。そして、判断部 1134 は、算出された位置偏差を経過時間 $t = nT_1$ において累積保持された位置偏差 $\Delta\theta_n$ として、モータ制御部 113a の記憶装置などに記憶する。

[0112] 次に、判断部 1134 が、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差が第 1 の閾値 ϕ_1 以上であるかどうかを判定する (ステップ S53)。具体的には、まず、判断部 1134 は、モータ制御部 113a の記憶装置などから、前回算出された位置偏差 $\Delta\theta_{n-1}$ 、すなわち、経過時間 $t = (n-1)T_1$ 時間において累積保持された位置偏差、を読み出す。そして、経過時間 $t = nT_1$ における位置偏差 $\Delta\theta_n$ と、経過時間 $t = (n-1)T_1$ における位置偏差 $\Delta\theta_{n-1}$ との差 $\Delta\theta_n - \Delta\theta_{n-1}$ を算出する。これにより、経過時間 $t = nT_1$ において、第 1 の時間 T_1 (すなわち単位時間) あたりに生じた位置偏差が算出される。その後、判断部 1134 は、 $\Delta\theta_n - \Delta\theta_{n-1}$ が第 1 の閾値 ϕ_1 以上であるかどうかを判断する。

$\Delta\theta_n - \Delta\theta_{n-1}$ が第 1 の閾値 ϕ_1 以上の場合 (ステップ S53 において「Yes」の場合)、位置偏差過大が発生したと判断して (ステップ S54)、位置偏差過大判定を終了する。一方、 $\Delta\theta_n - \Delta\theta_{n-1}$ が第 1 の閾値 ϕ_1 よりも小さい場合 (ステップ S53 において「No」の場合)、位置偏差過大は発生していないと判断して (ステップ S55)、位置偏差過大判定を終了する。

。

[0113] このように、ある経過時間の位置偏差と、当該経過時間より第1の時間 T_1 前の位置偏差との差を算出することにより、第1の時間 T_1 （単位時間）あたりに生じた位置偏差を算出できる。そして、第1の時間 T_1 あたりの位置偏差が第1の閾値 ϕ_1 以上であるかどうかを判定することにより、判断部1134は、急激な位置偏差の変化を検出できる。

[0114] I V. 過負荷継続検出方法

次に、判断部1134において、操作ロッド3（Y軸方向傾動モータ135a）が肢に過剰な負荷（過負荷）を所定の時間（第2の時間 T_2 ）継続してかけているかどうかを判定する方法（過負荷継続検出方法）について説明する。過負荷継続検出方法には、（i）フィードバック電流値を用いた検出方法と、（ii）位置偏差を用いた検出方法と、がある。以下においては、（i）の方法、（ii）の方法それぞれについて説明する。

[0115] （i）フィードバック電流値を用いた過負荷継続検出方法

まず、フィードバック電流値を用いた過負荷継続検出方法について、図14を用いて説明する。図14は、フィードバック電流値を用いた過負荷継続検出方法を示したフローチャートである。

まず、過負荷継続検出を開始すると、フィードバック電流検出部1133が、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上であるかどうかを検出する（ステップS611）。フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上の場合（ステップS611において「Yes」の場合）、ステップS612に進む。一方、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 より小さい場合（ステップS611において「No」の場合）、判断部1134は、過負荷状態が継続していないと判断し（ステップS614）、過負荷継続の検出を終了する。

[0116] ステップS611において、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上であると判定された場合（ステップS611において「Yes」の場合）、判断部1134は、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上である状態が、第2の時間 T_2 以上継続しているかどうかを判定する（ステップS612）。フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上である状態が第2の時間 T_2 以上

継続している場合（ステップS 6 1 2において「Y e s」の場合）、判断部 1 1 3 4 は、過負荷状態が継続していると判断し（ステップS 6 1 3）、過負荷継続の検出を終了する。

一方、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上である状態の継続時間が、第2の時間 T_2 未満である場合（ステップS 6 1 2において「N o」の場合）、判断部 1 1 3 4 は、過負荷状態が継続していないと判断し（ステップS 6 1 4）、過負荷継続の検出を終了する。

[0117] ここで、フィードバック電流値を用いた過負荷継続検出について、図 1 5 を用いてさらに説明する。図 1 5 は、モータの実際の回転速度と速度指令（指示速度）との関係、及び、速度偏差の発生に起因するフィードバック電流 I の時間的变化について模式的に示した図である。今、図 1 5 に示すように、定速指令実行時において、例えば、Y 軸方向傾動モータ 1 3 5 a に3つの回転速度の変化（速度変化（i）、速度変化（i i）、及び速度変化（i i i））が発生したものとする。前述のように、定速指令実行時には、Y 軸方向傾動モータ 1 3 5 a は、速度指令のみに追従するように制御されている。

[0118] 図 1 5 中の（i）のような速度変化は、例えば、訓練装置 1 0 0 をガイドモードにて動作させた場合において、訓練中の肢にある程度の力の補助を操作ロッド 3 を介して加えることにより、肢の動作が訓練プログラムに追従できた場合などに発生する。図 1 5 中の（i i）のような速度変化は、例えば、訓練中の肢の動作が短時間ほぼ停止してしまったけれども、その後、肢が動作し始めた場合などに発生する。図 1 5 中の（i i i）のような速度変化は、訓練中の肢に力の補助を加えても、肢の動作が訓練プログラムに追従できない場合などに発生する。

[0119] まず、図 1 5 中の速度変化（i）が生じたときのフィードバック電流値の変化について説明する。ある経過時間において、訓練中の肢が訓練プログラムに追従しづらくなるなどの理由により、小さな速度偏差（i）が発生する。この時、速度制御部 1 1 3 5 - 1 からは、小さな速度変化に応じた小さな第1制御量が出力される。これは、前述の第1制御量を算出する式、 $K_{pv} \times$

$\Delta v + K_{iv} \times \Delta v$ からも明らかである。第1制御量が小さい場合、フィードバック電流 I は、ゆっくりと上昇する（図15中の（1））。なぜなら、フィードバック電流 I の上昇は、第1制御量の蓄積によって生じるからである。フィードバック電流 I の増加に応じて、Y軸方向傾動モータ135aから出力されるトルクも、ゆっくりと上昇する。なぜなら、モータから出力されるトルクは、フィードバック電流 I に応じて変化するからである。

そして、Y軸方向傾動モータ135aから出力されるトルクがある程度大きくなり、訓練中の肢の動作が訓練プログラムに追従できるようになると、速度偏差は解消する。そして、速度偏差が解消すると、フィードバック電流 I の上昇も停止する。

図15に示すように、速度偏差（ i ）が解消した後のフィードバック電流 I の電流値は、第1電流値 I_1 以下である。このことは、速度偏差（ i ）が解消した後のY軸方向傾動モータ135aから出力されるトルクは、訓練中の肢を無理に動作させるほどのトルク（過負荷）ではないことを意味している。このような場合、肢の訓練は続行されてもかまわない。

[0120] このように、フィードバック電流 I が第1電流値 I_1 以上であるかどうかを判定することにより、Y軸方向傾動モータ135aが、操作ロッド3を介して、肢に過剰な負荷をかけていないかどうかを判定できる。したがって、フィードバック電流 I の電流値が第1電流値 I_1 未満である場合には、判断部1134において過負荷状態が継続していないと判断できる。その結果、フィードバック電流 I の電流値が第1電流値 I_1 未満の場合は、Y軸方向傾動モータ135aは肢に無理な負荷をかけていないと判断し、訓練装置100は肢の訓練プログラムを続行できる。

なお、第1電流値 I_1 は、過負荷と判断する基準に基づいて、適切に設定される。したがって、第1電流値 I_1 は、訓練のレベルなどに応じて、調整可能であってもよい。

[0121] 一方、肢の動作が短時間停止したことなどにより、短時間に大きな速度偏差が生じた場合（図15中の速度変化（ i_i ）に対応）、フィードバック電

流 I の電流値は、第 1 電流値 I_1 よりも大きくなる（図 15 中の（2））。しかし、フィードバック電流 I の電流値が第 1 電流値 I_1 よりも大きい状態である期間は、第 2 の時間 T_2 よりも短い。

この場合、肢は、一時的に訓練プログラムに追従できなただけで、訓練プログラムに追従できなかった期間以外は、肢の動作は訓練プログラムに追従できている。このような場合も、訓練装置 100 は、肢の訓練を続行してもかまわない。

[0122] したがって、フィードバック電流 I の電流値が第 1 電流値 I_1 以上である時間が第 2 の時間 T_2 以下であるなら、判断部 1134 において過負荷状態が継続していないと判断し、エラーを発生させない。その結果、Y 軸方向傾動モータ 135a が、一時的に短時間だけ肢に無理な負荷をかけた場合には、訓練装置 100 は肢の訓練プログラムを続行できる。

なお、第 2 の時間 T_2 も、第 1 電流値 I_1 と同様に、過負荷が継続していると判定する基準時間に基づいて、適切に設定される。したがって、第 2 の時間 T_2 も、訓練のレベルなどに応じて、調整可能であってもよい。

[0123] 一方、速度偏差が長時間に亘って解消しない場合（図 15 中の速度変化（ $i_i i_i$ ）に対応）、フィードバック電流 I の電流値は、速度偏差が解消しない限り上昇を続ける（図 15 中の（3））。この時、肢が訓練プログラムに追従できるようになるまで、肢に対して与えられる負荷は上昇し続ける。このように、肢にいくら負荷を与えても、肢が訓練プログラムに追従できない場合には、肢に無理な負荷をかけないようにすることが好ましい。

したがって、フィードバック電流 I の電流値が、第 1 電流値 I_1 以上である状態が第 2 の時間 T_2 以上継続する場合には、判断部 1134 において過負荷状態が継続していると判断し、エラーを発生させる。そして、本実施形態においては、エラーが発生したときには、フィードバック電流 I を第 2 電流値 I_2 ($a \times I_R$) に制限している。この結果、Y 軸方向傾動モータ 135a が、長時間に亘り肢に無理な負荷をかけている場合には、フィードバック電流 I を制限して Y 軸方向傾動モータ 135a が肢に対して無理な負荷をかけな

いようにすることができる。また、訓練装置 100 の制御部 11 に過剰な電気負荷が加わることを避けることができる。

[0124] ここで、図 15 にて示した速度変化 (i) ~ (i i i) が発生した場合のフィードバック電流 I の電流値の変化と、図 16 にて示した長時間に亘り速度偏差が大きい速度変化 (i v) が発生した場合のフィードバック電流 I の電流値の変化を比較する。図 16 にて示した長時間に亘り速度偏差が大きい速度変化 (i v) は、例えば、訓練中の肢がほぼ完全に動作不可能となった場合などに発生する。

速度変化 (i v) のような速度変化が発生すると、フィードバック電流 I は、短時間のうちに Y 軸方向傾動モータ 135 a に出力可能な最大電流 I_{max} まで上昇する。そして、フィードバック電流 I は、最大電流 I_{max} から下降しなくなる。

一方、図 15 に示したように、速度変化 (i) ~ (i i i) が発生した場合のフィードバック電流 I の変化 (1) ~ (3) においては、フィードバック電流 I は比較的ゆっくりと上昇する (変化 (1) 及び (3)) か、短時間のうちに第 1 電流値 I_1 を超える電流値となる (変化 (2))。したがって、フィードバック電流 I の変化をモニターすることにより、大きな速度偏差を生じる速度変化 (位置偏差が急激に変化した) か、小さな速度偏差を生じる速度変化 (位置偏差がゆっくりと変化した) か、あるいは、大きな速度偏差ではあるが短時間であったか、を判定できる。

[0125] (i i) 位置偏差を用いた過負荷継続検出方法

次に、位置偏差を用いた過負荷継続検出方法について、図 17 を用いて説明する。図 17 は、位置偏差を用いた過負荷継続検出方法を示したフローチャートである。位置偏差を用いた過負荷継続検出方法においては、単位時間 (第 1 の時間 T_1) あたりの位置偏差の変化量が、所定の範囲内であるかどうかを判定することにより、過負荷状態が継続しているかどうかを判定する。

具体的には、まず、累計時間計測部 1136 が、経過時間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍 $n T_1$ であるかどうかを判定する (ステップ S621)。経過時

間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍 $n T_1$ の場合（ステップ S 6 2 1 にて「Y e s」の場合）、ステップ S 6 2 2 へ進む。一方、経過時間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍 $n T_1$ でない場合（ステップ S 6 2 1 にて「N o」の場合）、累計時間計測部 1 1 3 6 は、過負荷状態が継続していないと判断し（ステップ S 6 2 8）、過負荷継続の検出を終了する。

[0126] 経過時間 t が第 1 の時間 T_1 の整数倍 $n T_1$ の場合（ステップ S 6 2 1 にて「Y e s」の場合）、累計時間計測部 1 1 3 6 は、位置偏差算出部 1 1 3 2 に対して、経過時間 t が $n T_1$ のときの位置偏差 $\Delta \theta_n$ を算出するように指令する（ステップ S 6 2 2）。そして、累計時間計測部 1 1 3 6 は、算出した位置偏差を経過時間 $t = n T_1$ において累積保持された位置偏差 $\Delta \theta_n$ として、モータ制御部 1 1 3 a の記憶装置などに記憶する。

[0127] 次に、累計時間計測部 1 1 3 6 が、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差が第 2 の閾値 ϕ_2 以上であるかどうかを判定する（ステップ S 6 2 3）。具体的には、以下のようにして判定する。まず、累計時間計測部 1 1 3 6 は、モータ制御部 1 1 3 a の記憶装置などから、前回計測した、経過時間 $t = (n - 1) T_1$ 時間において累積保持された位置偏差 $\Delta \theta_{n-1}$ を読み出す。そして、経過時間 $t = n T_1$ における位置偏差 $\Delta \theta_n$ と、経過時間 $t = (n - 1) T_1$ における位置偏差 $\Delta \theta_{n-1}$ との差 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ を算出する。これにより、経過時間 $t = n T_1$ において、第 1 の時間 T_1 （すなわち単位時間）あたりに生じた位置偏差が算出される。その後、累計時間計測部 1 1 3 6 は、 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第 2 の閾値 ϕ_2 以上であるかどうかを判断する。

[0128] $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第 2 の閾値 ϕ_2 以上の場合（ステップ S 6 2 3 において「Y e s」の場合）、過負荷状態であると判定する。そして、累計時間計測部 1 1 3 6 は、累計時間 t_A に T_1 を加算して新たな累計時間 t_A とする（ステップ S 6 2 4）。これにより、累計時間計測部 1 1 3 6 は、 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第 2 の閾値 ϕ_2 以上の状態（すなわち、過負荷状態）が継続している時間（累計時間 t_A ）を計測できる。累計時間 t_A を更新後、ステップ S 6 2 6 へ進む。

一方、 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第2の閾値 ϕ_2 よりも小さい場合（ステップS 6 2 3において「N o」の場合）、累計時間計測部1 1 3 6は、過負荷状態ではないと判断する。そして、累計時間計測部1 1 3 6は、累計時間 t_A を0にリセットする（ステップS 6 2 5）。累計時間 t_A をリセット後、ステップS 6 2 6へ進む。

[0129] なお、ステップS 6 2 3において、経過時間 $t = n T_1$ における位置偏差 $\Delta \theta_n$ と、経過時間 $t = (n - 1) T_1$ における位置偏差 $\Delta \theta_{n-1}$ との差 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第1の閾値 ϕ_1 未満であるかどうかを判定していない。なぜなら、過負荷継続の検出は、図9に示したフローチャートのステップS 5において位置偏差過大が生じていない（すなわち、ステップS 5において「N o」）と判断された後に、実行されるからである。すなわち、 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第1の閾値 ϕ_1 未満であることは、ステップS 5においてすでに判定されているからである。

しかしながら、これに限られず、ステップS 6 2 3において、累計時間計測部1 1 3 6が、 $\Delta \theta_n - \Delta \theta_{n-1}$ が第1の閾値 ϕ_1 未満であるかどうかも判定してよい。

[0130] ステップS 6 2 6において、判断部1 1 3 4は、累計時間 t_A が第3の時間 T_3 以上であるかどうかを判定する。累計時間 t_A が、第3の時間 T_3 以上であると判定された場合（ステップS 6 2 6において「Y e s」の場合）、判断部1 1 3 4は、過負荷状態が継続していると判断し（ステップS 6 2 7）、過負荷継続の検出を終了する。

一方、累計時間 t_A が、第3の時間 T_3 未満であると判定された場合（ステップS 6 2 6において「N o」の場合）、判断部1 1 3 4は、過負荷状態が継続していないと判断し（ステップS 6 2 8）、過負荷継続の検出を終了する。

[0131] 上記の位置偏差を用いた過負荷継続検出方法について、図1 8を用いてさらに説明する。図1 8は、図1 5に示したような速度変化（i）～（i i i）が発生したときの、操作ロッド3の実際の傾動角度と、位置指令に示され

ている指示傾動角度との関係を示した図である。図 18 において、速度変化 (i) は、経過時間 t が $2T_1$ と $3T_1$ の間に生じている。そして、経過時間 t が $2T_1$ のときの位置偏差 $\Delta\theta_2$ は 0 である。したがって、経過時間 t が $3T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに位置偏差 $\Delta\theta_3$ が生じたことになる。しかし、速度変化 (i) の時間積分値 ($\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2$ に対応) は小さいため、経過時間 t が $3T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2$ は第 2 の閾値 ϕ_2 未満の値となる。したがって、累計時間計測部 1136 は、経過時間 $t = 3T_1$ において、過負荷状態ではないと判定する。

[0132] 一方、経過時間 t が $4T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_4 - \Delta\theta_3$ は、速度変化 (ii) に対応した位置偏差であり、第 2 の閾値 ϕ_2 以上となっている。その結果、累計時間 t_A が T_1 に更新される。しかしながら、経過時間 t が $5T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_5 - \Delta\theta_4$ は、第 2 の閾値 ϕ_2 未満となっている。なぜなら、速度変化 (ii) は、短期間に生じた速度変化だからである。この場合、経過時間 $t = 5T_1$ において、累計時間 t_A が 0 にリセットされる。その結果、経過時間 $t = 5T_1$ において、判断部 1134 は、過負荷状態が継続していないと判定する。

[0133] さらに、経過時間 t が $5T_1$ 以降、速度変化 (iii) が発生している。この場合、経過時間 $t = 6T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_6 - \Delta\theta_5$ は、第 2 の閾値 ϕ_2 以上となっている。その結果、累計時間 t_A が T_1 に更新される。また、経過時間 $t = 7T_1$ となった時点においても、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_7 - \Delta\theta_6$ は、経過時間 $t = 6T_1$ となった時点において、第 1 の時間 T_1 あたりに生じた位置偏差 $\Delta\theta_6 - \Delta\theta_5$ とほぼ同じ値であり、第 2 の閾値 ϕ_2 以上となっている。その結果、経過時間 $t = 7T_1$ において、累計時間 t_A に T_1 が加算されて、累計時間 t_A が $2T_1$ に更新される。

ここで、もし、累計時間 t_A が第 3 の時間 T_3 以上である場合には、判断部

1134は、過負荷状態が継続していると判定する。

[0134] 前述した図15と図18とを比較すると、速度変化(i)～(iii)に起因して発生するフィードバック電流Iの変化(1)～(3)は、単位時間(第1の時間 T_1)あたりに生じる位置偏差の変化量によく対応していると言える。すなわち、図15に示したフィードバック電流Iの変化が、図15中の(1)や(2)の場合には、第1の時間 T_1 あたりに生じる位置偏差の変化量も小さい。一方、図15中の(3)に示すようにフィードバック電流Iの電流値が継続して増加するとき、位置偏差は増加し続ける。

このことは、フィードバック電流Iの変化は、単位時間あたりに生じる位置偏差の変化量からも予測可能であることを示している。すなわち、フィードバック電流Iの変化に起因して生じる、操作ロッド3から訓練中の肢にかかる負荷の変化は、単位時間あたりに生じる位置偏差の変化量によっても検出可能である。

[0135] このように、単位時間(第1の時間 T_1)あたりに生じる位置偏差が、第2の閾値 ϕ_2 以上(、かつ、第1の閾値 ϕ_1 未満)である時間を、累計時間計測部1136により計測することにより、ゆっくりと変化する位置偏差が継続している時間(累計時間 t_A)を測定できる。それと同時に、速度変化(i)～(iii)のような速度変化に起因して発生する、肢にかかる負荷の変化もモニターできる。そして、ゆっくりと変化する位置偏差が継続している時間(累計時間 t_A)を測定することにより、肢に無理な負荷がかかる状態(過負荷状態)が継続して発生しているかどうかを、判定できる。

[0136] なお、過負荷継続を検出するにあたり、図7Bや図7Cに示すように、フィードバック電流検出部1133及び累計時間計測部1136を両方有しているモータ制御部113a(、113b、113c)においては、フィードバック電流Iに基づいて過負荷継続を検出するか、又は、位置偏差に基づいて過負荷継続を検出するかを選択可能となってもよい。

これにより、フィードバック電流検出部1133の故障によりフィードバック電流Iが検出不可能となった場合や、又は、累計時間計測部1136(

傾動角度算出部 1131、位置偏差算出部 1132、又は、第 1 回転情報出力センサ 135a-1) の故障により位置偏差を算出不可能になった場合に、いずれか正常に検出又は算出可能な計測量に基づいて、過負荷状態が継続して発生しているかどうかを判定できる。

[0137] また、上記の第 2 の閾値 ϕ_2 は、患者の肢に過剰な負荷をかけていないと判断される閾値である。過負荷継続の判断は、(1) その患者にとって、設定された訓練プログラムの難易度が高く、その訓練プログラムを適切に実施できない場合、及び/又は、(2) 訓練装置 100 内のある構成部品の寿命が近づいており、当該構成部品が故障する予兆を示している場合、などにエラーを発生する必要があるときに好適に使用できる。

その結果、過負荷継続の判断によって、患者は、その症状に応じて、適切な訓練プログラムを実施することができる。

[0138] (6) 本実施形態の効果

以下に、本実施形態の効果について述べる。

訓練装置 100 (訓練装置の一例) は、訓練プログラム (訓練プログラムの一例) に従って、患者 (患者の一例) の上肢及び下肢の四肢を訓練する訓練装置である。訓練装置 100 は、固定フレーム 1 (固定フレームの一例) と、操作ロッド 3 (操作ロッドの一例) と、X 軸方向傾動モータ 135b (モータの一例) と、Y 軸方向傾動モータ 135a (モータの一例) と、第 1 回転情報出力センサ 135a-1 (回転情報出力センサの一例) と、第 2 回転情報出力センサ 135b-1 (回転情報出力センサの一例) と、傾動角度算出部 1131 (傾動角度算出の一例) と、フイードバック電流検出部 1133 (フイードバック電流検出部の一例) と、位置偏差算出部 1132 (位置偏差算出部の一例) と、判断部 1134 (判断部の一例) と、を備える。

固定フレーム 1 は、床面上ないしは床面に近接して載置される。操作ロッド 3 は、固定フレーム 1 に少なくとも X 軸又は Y 軸 (所定の傾動軸の一例) 回りに傾動可能に支持される。そして、操作ロッド 3 は肢を保持する。X 軸方向傾動モータ 135b、Y 軸方向傾動モータ 135a は、それぞれ、操作ロ

ッド3をX軸及びY軸回りに傾動させる。第1回転情報出力センサ135a-1、及び、第2回転情報出力センサ135b-1は、それぞれ、Y軸方向傾動モータ135aの回転量、及び、X軸方向傾動モータ135bの回転量を出力する。傾動角度算出部1131は、X軸方向傾動モータ135bの回転量、及び、Y軸方向傾動モータ135aの回転量に基づいて、操作ロッド3の傾動角度（傾動角度の一例）を算出する。フィードバック電流検出部1133は、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aのフィードバック電流Iの電流値（フィードバック電流値の一例）を検出する。位置偏差算出部1132は、位置偏差（位置偏差の一例）を第1の時間 T_1 （第1の時間の一例）が経過する毎に算出する。ここで、位置偏差とは、操作ロッド3の実際の傾動角度と、訓練プログラムにおいて指示された操作ロッド3の傾動角度である指示傾動角度（指示傾動角度の一例）との差のことをいう。判断部1134は、第1の時間 T_1 の間に生じた位置偏差が第1の閾値 ϕ_1 （第1の閾値の一例）以上であるか、又は、フィードバック電流Iの電流値が、第2の時間 T_2 （第2の時間の一例）以上、第1電流値 I_1 （第1電流値の一例）以上である場合にエラーと判断する。

[0139] 訓練装置100では、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aが操作ロッド3を制御するときに、位置偏差算出部1132が、第1の時間 T_1 毎に位置偏差を算出する。そして、判断部1134は、第1の時間 T_1 の間に生じた位置偏差が第1の閾値 ϕ_1 以上になった場合に、訓練装置100になんらかの不具合がある、あるいは、短時間に急激に位置偏差が変化したと判断し、エラーと判断する。

一方、同じく、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aが操作ロッド3を制御するときに、フィードバック電流検出部1133が、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aに供給されるフィードバック電流Iの電流値をモニターする。そして、判断部1134は、フィードバック電流Iの電流値が第1電流値 I_1 以上である状態が第2の時間 T_2 以上続いた場合に、同じく訓練装置100になんらかの不

具合がある、あるいは、ゆっくりとした位置偏差が長時間継続したと判断し

、エラーと判断する。

[0140] このように、訓練装置 100 においては、第 1 の時間 T_1 あたりの位置偏差

の変化量がモニターされている。そのため、判断部 1134 は、第 1 の時間

T_1 あたりの位置偏差の変化量が大きければ、第 1 の時間 T_1 を基準にして短

時間に急激に変化した位置偏差であると判断できる。そして、判断部 113

4 は、短時間の急激な位置偏差の変化が発生したときに、エラーと判断でき

る。

[0141] また、訓練装置 100 においては、X 軸方向傾動モータ 135b、及び、

Y 軸方向傾動モータ 135a に入力されるフイードバック電流 1 の電流値を

モニターすることにより、X 軸方向傾動モータ 135b、及び、Y 軸方向傾

動モータ 135a が操作ロット 3 を傾動させるために必要とするトルクをモ

ニターできる。

さらに、訓練装置 100 は操作ロット 3 を訓練プログラムによって指示さ

れた傾動角度に制御しているため、フイードバック電流 1 の電流値は、位置

偏差の変化の大きさに応じて変化する。したがって、フイードバック電流 1

の電流値に基づいて、予め決めた判断時間に基づいて、ゆっくりと変化する

位置偏差の変化が発生しているか、又は、急激に変化する位置偏差が発生し

ているかがモニターできる。

また、判断部 1134 は、フイードバック電流 1 の電流値が第 1 電流値 I_1

以上である状態が第 2 の時間 T_2 以上続いた場合に、エラーを発生させる。こ

れにより、判断部 1134 は、判断時間において位置偏差が一定範囲内の場

合、つまりは操作ロット 3 (X 軸方向傾動モータ 135b、及び、Y 軸方向

傾動モータ 135a) が患者の肢に無理な負荷をかけていない場合、又は、

位置偏差がゆっくりと変化している場合 (患者の肢が操作ロット 3 の動きに

ある程度追従して訓練の継続が可能な場合) には、第 2 の時間 T_2 までは訓練

を持続するように、操作ロット 3 を制御できる。

[0142] 操作ロット 3 は、長手軸線方向 (長手軸線方向の一例) に沿って伸縮可能

となっている。操作ロッド3が長手軸線方向に沿って伸縮可能であることにより、上肢又は下肢の、操作ロッド3の長さ方向の訓練も可能となる。

[0143] 訓練装置100は、訓練指示部5（情報提供部の一例）をさらに備えている。訓練指示部5は、判断部1134によってエラーを判断したときに、使用者に対して視覚的情報又は聴覚的情報を提供する。

これにより、訓練装置100の状態、すなわち、訓練装置100においてエラーが発生していること、及び／又は、エラー発生の原因を患者や訓練装置100の使用者に知らせることができる。

[0144] 訓練指示部5は、患者が、目標傾動角度（訓練プログラムにおいて設定された訓練ルートにおいて予め設定した通過点の一例）に操作ロッド3を到達させたときに、使用者に視覚的情報、及び／又は、聴覚的情報を提供している。これにより、使用者は、操作ロッド3を訓練プログラム通りに操作できることを知ることができる。また、患者が予め設定した通過点に操作ロッド3を到達させたときに、患者に視覚的情報又は聴覚的情報を提供することにより、患者が訓練を続けるためのモチベーションを維持できる。

[0145] 訓練装置100は、フイートバック電流制限部1137（フイートバック電流制限部の一例）をさらに備えている。フイートバック電流制限部1137は、判断部1134においてエラーが発生した場合に、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aのフイートバック電流1の電流値を予め適切に設定した第2電流値 I_2 （第2電流値の一例）に制限する。

これにより、訓練装置100においてエラーが生じた場合に、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aから出力されるトルクを制限できる。その結果、患者に対して訓練中に過度の負荷をかけることなく、操作ロッド3を制御してリハビリテーションを行うことができる。

[0146] 第2電流値 I_2 は、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aへ入力可能な定格電流 I_R （定格電流の一例）の1より小さい所定の倍数 a （所定の倍数の一例）の電流値 $a \times I_R$ （電流値の一例）である。こ

れにより、定格電流 I_R が長時間にわたって X 軸方向傾動モータ 135b、及び、Y 軸方向傾動モータ 135a に供給されなくなる。その結果、患者に対して過度の負荷をかけることなく、操作ロッド 3 を制御できる。

また、訓練装置 100 の制御部 11 に過剰な電気負荷が加わることを避けることができる。

[0147] 訓練装置 100 は、累計時間計測部 1136 をさらに備えている。累計時間計測部 1136 は、第 1 の時間 T_1 の間に生じた位置偏差が、第 1 の閾値 ϕ_1 よりも小さい第 2 の閾値 ϕ_2 (第 2 の閾値の一例) 以上、かつ、第 1 の閾値 ϕ_1 未満である累計時間 t_A (累計時間の一例) を計測する。この場合、判断部 1134 は、累計時間 t_A が第 3 の時間 T_3 (第 3 の時間の一例) 以上である場合に、エラーと判断する。

第 1 の時間 T_1 の間に生じた位置偏差が、第 2 の閾値 ϕ_2 以上、かつ、第 1 の閾値 ϕ_1 未満である時間を、累計時間計測部 1136 が計測することにより、ゆっくりと変化する位置偏差が継続している時間 (累計時間 t_A) を測定できる。また、判断部 1134 が、累計時間 t_A が第 3 の時間 T_3 以上の場合にエラーと判断することにより、ゆっくりと変化する位置偏差に対して、第 3 の時間 T_3 までは訓練を継続できる。

第 2 の閾値 ϕ_2 は、患者の肢に過剰な負荷をかけていないと判断される閾値であるので、この時発生するエラーは、その患者にとって、設定された訓練プログラムの難易度が高く、その訓練プログラムを適切に実施できない場合や、装置内の部品が徐々に故障に至る予兆を検出することに対して好適に利用できる。この判断によって、患者は、その症状に応じて、適切な訓練プログラムを実施することができる。

[0148] 訓練装置 100 は、指令作製部 111 (指令作製部の一例) と、モータ駆動部 1135 (モータ駆動部の一例) とをさらに備えている。指令作製部 111 は、訓練プログラムに従って、X 軸方向傾動モータ 135b、及び、Y 軸方向傾動モータ 135a の回転速度 (速度の一例) を制御するための指令である速度指令 (速度指令の一例) を作製する。モータ駆動部 1135 は、

速度指令に基づいて、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動する。また、速度指令は、少なくとも、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを加速させる指令である加速指令（加速指令の一例）と、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを減速させる減速指令（減速指令の一例）と、を含んでいる。さらに、モータ駆動部1135は、加速指令実行時において、位置偏差を累積保持するように、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動している。

指令作製部111により作製された、加速指令と減速指令とを少なくとも含む速度指令を用いて、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動することにより、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aは、訓練プログラムと患者の操作に対応して、スムーズに動作できる。その結果、患者は、操作ロッド3を意図したように操作することができる。

また、モータ駆動部1135が、加速指令実行時において位置偏差を累積保持するように、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動することにより、特に短時間における位置偏差が生じやすい加速指令実行時に、患者による操作ロッド3始動時又は停止時などにおいて位置偏差が生じた場合でも、患者は、訓練装置100を用いて、訓練を継続できる。また、位置偏差を累積保持することにより、位置偏差の累積保持量に基づいて、訓練中における患者の肢の状況を把握できる。

[0149] 速度指令は、定速指令（定速指令の一例）をさらに含んでいる。定速指令は、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを一定の回転速度で回転させる指令である。また、定速指令は、加速指令又は減速指令の前後のいずれかに配置される。また、モータ駆動部1135は、定速指令実行時において、位置偏差を累積保持するように、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動している。

速度指令が定速指令をさらに含むことにより、操作ロッド3が大きな傾動

角度にて動作する場合にも、フィードバック電流値に基づいて、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを一定速度にてスムーズに動作できる。また、定速指令実行時において位置偏差を累積保持するように、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動することにより、相対的に大きなトルクを必要とし位置偏差が生じやすい場合、例えば、操作ロッド3が大きな傾動角度にて動作する場合においても、患者は、訓練装置100を用いて訓練を継続できる。

[0150] モータ駆動部1135は、加速指令及び／又は定速指令実行時において、速度指令のみに追従するように、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動している。これにより、加速指令実行時及び／又は定速指令実行時に、位置偏差に関わらず、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動できる。その結果、相対的に大きなモータトルクを必要とし位置偏差が生じやすい、例えば操作ロッド3が大きな傾動角度にて動作する場合においても、患者は、訓練装置100を用いて訓練を継続できる。

[0151] 指令作製部111は、訓練プログラムに従って、操作ロッド3の傾動角度を制御するための指令である位置指令（位置指令の一例）をさらに作製している。また、モータ駆動部1135は、減速指令実行時において、速度指令及び位置指令に追従するよう、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを駆動している。

これにより、モータ駆動部1135は、操作ロッド3が訓練プログラムに指示された目標傾動角度まで極力偏差を少なくして到達するよう、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aを制御できる。その結果、患者に対して、操作ロッド3の位置情報を視覚的情報としてフィードバックする場合においても、この位置情報を好適に利用することができる。

[0152] モータ駆動部1135は、傾動角度が指示傾動角度 θ_0 （減速開始位置の一例）に到達したときに、累積保持した位置偏差をリセットしている。これに

より、減速時において、位置偏差が一時的に増大することによって、その位置偏差を補正するために、X軸方向傾動モータ135b、及び、Y軸方向傾動モータ135aの回転速度が過剰に上昇することを抑制できる。その結果、患者は訓練を継続できる。

[0153] 2. 他の実施形態

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。特に、本明細書に書かれた複数の実施形態及び変形例は必要に応じて任意に組み合わせ可能である。

(A) モータの制御に関する他の実施形態

前述の第1実施形態においては、速度指令の減速指令実行時にのみ、操作ロッド3の傾動角度が位置指令に指示された指示傾動角度に追従するよう（位置制御）、Y軸方向傾動モータ135a（X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359）が制御されていた。しかし、これに限られない。速度指令の加速指令実行時及び／又は定速指令実行時においても、位置制御および速度制御により、Y軸方向傾動モータ135a（X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359）が制御されてもよい。この場合、モータ駆動部1135の切替部1135-8は、特に必要ない。

[0154] 速度指令の加速指令実行時及び／又は定速指令実行時において、位置制御により、Y軸方向傾動モータ135a（X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359）を制御する場合には、操作ロッド3の傾動角度速度が過剰に大きくならないように、制御ゲイン K_{pp} 及び K_{ip} を調整したり、合成部1135-7における第2制御量の重み付けの値を調整したりすることが好ましい。

これにより、操作ロッド3の傾動角度速度を過剰に大きくすることなく、操作ロッド3の傾動角度が指示傾動角度に追従できる。

[0155] (B) エラー発生時における処理の他の実施形態

前述の第1実施形態においては、判断部1134がエラーを発生した際、

Y軸方向傾動モータ135a（X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359）に入力するフィードバック電流 I を第2電流値 I_2 に制限していた。しかし、これに限られない。判断部1134がエラーを発生した際、Y軸方向傾動モータ135a（X軸方向傾動モータ135b、伸縮モータ359）の制御（回転）を停止してもよい。又は、訓練プログラムを中止してしてもよい。

これにより、判断部1134がエラーを発生した場合に、訓練装置100を確実に停止できる。

産業上の利用可能性

[0156] 本発明は、モータにより駆動される操作ロッドを備え、所定の訓練プログラムに従って患者の肢を訓練する訓練装置に、広く適用できる。

符号の説明

- [0157] 100 訓練装置
- 1 固定フレーム
- 11 制御部
- 111 指令作製部
- 113a、113b、113c モータ制御部
- 1131 傾動角度算出部
- 1132 位置偏差算出部
- 1133 フィードバック電流検出部
- 1134 判断部
- 1135 モータ駆動部
- 1135-1 速度制御部
- 1135-2 位置制御部
- 1135-3 速度算出部
- 1135-4 電力供給部
- 1135-5 電流制限部
- 1135-6a 第1偏差算出部

- 1 1 3 5 - 6 b 第 2 偏差算出部
- 1 1 3 5 - 7 合成部
- 1 1 3 5 - 8 切替部
- 1 1 3 5 - 9 位置偏差設定部
- 1 1 3 6 累計時間計測部
- 1 1 3 7 フィードバック電流制限部
- 1 3 操作ロッド傾動機構
- 1 3 1 X 軸方向傾動部材
- 1 3 1 a、1 3 1 b 軸
- 1 3 3 Y 軸方向傾動部材
- 1 3 3 a、1 3 3 b 軸
- 1 3 5 a Y 軸方向傾動モータ
- 1 3 5 a - 1 第 1 回転情報出力センサ
- 1 3 5 b X 軸方向傾動モータ
- 1 3 5 b - 1 第 2 回転情報出力センサ
- 1 5 a、1 5 b 操作ロッド傾動機構固定部材
- 3 操作ロッド
- 3 1 肢支持部材
- 3 3 固定ステイ
- 3 5 伸縮機構
- 3 5 1 可動ステイ
- 3 5 3 カバー
- 3 5 5 ナット
- 3 5 7 ねじ軸
- 3 5 9 伸縮モータ
- 3 5 9 - 1 第 3 回転情報出力センサ
- 3 7 案内レール
- 5 訓練指示部

7	固定部材
9	椅子
9 1	椅子接続部材
I	フィードバック電流
I ₁	第1電流値
I ₂	第2電流値
I _{max}	最大電流
I _R	定格電流
K _{pv} 、K _{iv}	速度制御における制御ゲイン
K _{pp} 、K _{pv}	位置制御における制御ゲイン
S、S'	空間
T ₁	第1時間
T ₂	第2時間
T ₃	第3時間
n	整数
t、t ₁ 、t ₂ 、t ₃ 、t ₄ 、t ₅ 、t _{dc} 、t _{da} 、t _a 、t _b	経過時間
t _A	累計時間
Δv	速度偏差
θ _d	減速開始位置に対応する（指示）傾動角度
Δθ _{da} 、Δθ _A 、Δθ _B 、Δθ _n 、Δθ _{n-1} 、Δθ ₂ 、Δθ ₃ 、Δθ ₄ 、Δθ ₅ 、 Δθ ₆ 、Δθ ₇	位置偏差
φ ₁	第1の閾値
φ ₂	第2の閾値

請求の範囲

- [請求項1] 所定の訓練プログラムに従って、使用者の上肢及び／又は下肢の四肢を訓練する訓練装置であって、
- 床面上又は床面に近接して載置される固定フレームと、
- 前記固定フレームに少なくとも1自由度で所定の傾動軸回りに傾動可能に支持され、肢を保持する操作ロッドと、
- 前記操作ロッドを前記傾動軸回りに傾動させるモータと、
- 前記モータの回転量を出力する回転情報出力センサと、
- 前記モータの前記回転量に基づいて、前記操作ロッドの傾動角度を算出する傾動角度算出部と、
- 前記モータのフィードバック電流値を検出するフィードバック電流検出部と、
- 前記操作ロッドの実際の前記傾動角度と、前記訓練プログラムにおいて指示された前記操作ロッドの傾動角度である指示傾動角度との差である位置偏差を、予め決められた第1の時間が経過する毎に算出する、位置偏差算出部と、
- 前記第1の時間の間に生じた前記位置偏差が予め決められた第1の閾値以上であるか、又は、前記フィードバック電流値が、予め決められた第2の時間以上の間、第1電流値以上であるときにエラーと判断する判断部と、
- を備えた訓練装置。
- [請求項2] 前記操作ロッドは長手軸線方向に伸縮可能である請求項1に記載の訓練装置。
- [請求項3] 前記判断部によって前記エラーを判断したときに、使用者に対して視覚的情報又は聴覚的情報を提供する情報提供部をさらに備える、請求項1又は請求項2に記載の訓練装置。
- [請求項4] 前記情報提供部は、前記使用者が、前記訓練プログラムにおいて設定された訓練ルートにおいて予め設定した通過点に前記操作ロッドを

到達させたときに、前記使用者に視覚的情報又は聴覚的情報を提供する請求項 3 に記載の訓練装置。

[請求項5] 前記判断部によって前記エラーを判断したときに、前記モータの回転を停止する請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の訓練装置。

[請求項6] 前記判断部がエラーと判断した場合に、前記モータの前記フィードバック電流値を予め決められた第 2 電流値以下に制限するフィードバック電流制限部をさらに備える、請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の訓練装置。

[請求項7] 前記第 2 電流値は、前記モータへ入力可能な定格電流の 1 より小さい所定の倍数の電流値である、請求項 6 に記載の訓練装置。

[請求項8] 前記第 1 の時間の間に生じた前記位置偏差が、前記第 1 の閾値よりも小さい第 2 の閾値以上、かつ、前記第 1 の閾値未満であるときの累計時間を計測する累計時間計測部をさらに備え、

前記判断部は、前記累計時間が予め決められた第 3 の時間以上である場合に前記エラーを発生させる、請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の訓練装置。

[請求項9] 前記訓練プログラムに従って、前記モータの速度を制御するための指令である速度指令を作製する指令作製部と、

前記速度指令に基づいて、前記モータを駆動させるモータ駆動部と、をさらに備え、

前記速度指令は、少なくとも、前記モータを加速させる指令である加速指令と、前記モータを減速させる減速指令とのいずれか、を含み、

前記モータ駆動部は、前記加速指令の実行時において、前記位置偏差を累積保持するように前記モータを駆動する、請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載の訓練装置。

[請求項10] 前記速度指令は、前記加速指令又は前記減速指令の前後のいずれかに配置され、前記モータを一定速度で回転させる定速指令をさらに含

み、

前記モータ駆動部は、さらに前記定速指令の実行時において、前記位置偏差を累積保持するように前記モータを駆動する、請求項 9 に記載の訓練装置。

[請求項11] 前記モータ駆動部は、前記加速指令及び／又は前記定速指令実行時において、前記速度指令のみに追従するように前記モータを駆動する、請求項 9 又は 10 に記載の訓練装置。

[請求項12] 前記指令作製部は、前記訓練プログラムに従って、前記操作ロッドの前記傾動角度を制御するための指令である位置指令をさらに作製し、

前記モータ駆動部は、前記減速指令の実行時において、前記速度指令及び前記位置指令に追従するよう、前記モータを駆動する、請求項 9 ～ 11 のいずれかに記載の訓練装置。

[請求項13] 前記操作ロッドの前記傾動角度が減速開始位置に到達したときに、累積保持した前記位置偏差をリセットする、請求項 9 ～ 12 のいずれかに記載の訓練装置。