

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年1月28日(28.01.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/014668 A1

- (51) 国際特許分類:
A61H 1/02 (2006.01) A61B 5/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006565
- (22) 国際出願日: 2020年2月19日(19.02.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-134127 2019年7月19日(19.07.2019) JP
- (71) 出願人: 株式会社安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 河野 貴之 (KAWANO Takayuki); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 筒井 崇 (TSUTSUI Takashi); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社

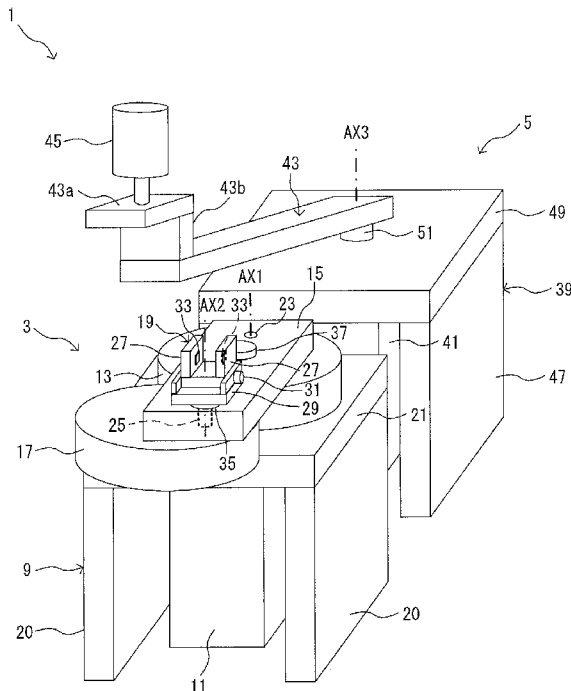
安川電機内 Fukuoka (JP). 潮田 貴之 (SHIOTA Takayuki); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 金谷 洋希 (KANAYA Hiroki); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).

(74) 代理人: 益田 博文, 外 (MASUDA Hirofumi et al.); 〒1100015 東京都台東区東上野1-7-13 東上野上村ビル2階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: FINGER EXERCISE DEVICE

(54) 発明の名称: 指訓練装置



(57) Abstract: [Problem] To provide a finger exercise device on which the motion of a finger can be regulated using a simple structure. [Solution] A finger exercise device 1 has: a brace 19 which keeps a tip 63 of a finger 53 in place; an arm 15 that turns about a turning shaft 23 so as to move the brace 19 around the turning shaft 23; a fixed gear 13 that is disposed so as to be fixed to the position of the turning shaft 23; and a planetary gear 17 that meshes with the fixed gear 13, that makes an orbital motion around the fixed gear 13 while revolving on the axis thereof, and that is linked to a rotary shaft 25 so as to rotate the brace 19 about the rotary shaft 25.

(57) 要約: 【課題】簡素な構造で手指の動作を規定できる指訓練装置を提供する。【解決手段】指訓練装置1は、手指53の指先部63を保持する装具19と、回転軸23周りに回転し、装具19を回転軸23周りに移動させるアーム15と、回転軸23の位置に固定して配置された固定歯車13と、固定歯車13に噛み合い、自転しつつ固定歯車13の周りを公転する、回転軸25が連結され装具19を回転軸25周りに回転させる遊星歯車17と、を有する。

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：指訓練装置

技術分野

[0001] 開示の実施形態は、指訓練装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 には、片麻痺指機能回復訓練装置が記載されている。この片麻痺指機能回復訓練装置は、訓練対象者の指に他動的屈曲と自動的伸展を行わせるための指屈伸機構を有する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2 0 1 5 - 2 4 5 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 手指は指ごとに複数の関節を有しており、その動作は複雑である。上記従来技術の片麻痺指機能回復訓練装置は、手指の動作を規定するために多数の回転機構やリンク機構を組み合わせて構成されている。このため、構造が複雑となるという課題があった。

[0005] 本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、簡素な構造で手指の動作を規定できる指訓練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

[0006] 上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、手指の運動機能を回復させるための訓練を行う指訓練装置であって、前記手指の指先部を保持する装具と、第 1 回転軸周りに回転し、前記装具を前記第 1 回転軸周りに移動させる第 1 回転部材と、前記第 1 回転部材の回転と連動して回転し、前記装具を回転軸周りに回転させる回転部材と、を有する指訓練装置が適用される。

[0007] また、上記課題を解決するため、本発明の別の観点によれば、手指の運動

機能を回復させるための訓練を行う指訓練装置であって、前記手指の指先部を保持する装具と、第1 回転軸周りに回転し、前記装具を前記第1 回転軸周りに移動させる第1 回転部材と、前記第1 回転部材を前記第1 回転軸周りに回転させる第1 モータと、第2 回転軸周りに回転し、前記第1 回転部材及び前記第1 モータを前記第2 回転軸周りに移動させる第2 回転部材と、前記第2 回転部材を前記第2 回転軸周りに回転させる第2 モータと、を有する、指訓練装置が適用される。

発明の効果

[0008] 本発明の指訓練装置によれば、簡素な構造で手指の動作を規定できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]第1 実施形態に係る指訓練装置の全体構成の一例を示す説明図である。

[図2]歯車機構の動作の一例を示す説明図である。

[図3]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図4]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図5]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図6]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図7]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図8]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図9]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図10]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図11]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図12]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図13]アームの回転動作及び装具の回転動作の一例を示す説明図である。

[図14]コントローラの機能構成の一例を表す説明図である。

[図15]訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」又は「掌側外転」である場合の第1 駆動モータの回転速度の変化の一例を表す説明図である。

[図16]訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」である場合の第1 駆動モータの回転速度の変化の一例を表す説明図である。

[図17]訓練種別が「屈曲」である場合のタッチパネルの表示の一例を表す説明図である。

[図18]訓練種別が「伸展」である場合のタッチパネルの表示の一例を表す説明図である。

[図19]コントローラのCPUにより実行される処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図20]他動運動処理の処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図21]自動運動処理の処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図22]旋回軸と回転軸の軸方向を水平方向とする変形例における、指訓練装置の指動作機構の構成の一例を示す説明図である。

[図23]固定歯車及び遊星歯車の両方を回転中心歯車とした変形例における、歯車機構の動作の一例を示す説明図である。

[図24]固定歯車及び遊星歯車の両方を円形歯車とした変形例における、歯車機構の動作の一例を示す説明図である。

[図25]第2実施形態に係る指訓練装置の全体構成の一例を示す説明図である。

[図26]歯車機構の動作の一例を示す説明図である。

[図27]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図28]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図29]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図30]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図31]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図32]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図33]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図34]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図35]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図36]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図37]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図38]指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作の一例を示す説明図である。

[図39]コントローラの機能構成の一例を表す説明図である。

[図40]訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」又は「掌側外転」である場合の第2駆動モータの回転速度の変化の一例を表す説明図である。

[図41]訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」である場合の第2駆動モータの回転速度の変化の一例を表す説明図である。

[図42]コントローラのCPUにより実行される処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図43]他動運動処理の処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図44]自動運動処理の処理手順の一例を表すフローチャートである。

[図45]コントローラのハードウェア構成の一例を表す説明図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

[0011] <1. 第1実施形態>

(1-1. 指訓練装置の構成)

まず、図1及び図2を参照しつつ、第1実施形態に係る指訓練装置の構成の一例について説明する。図1は本実施形態に係る指訓練装置の全体構成の一例を示す斜視図、図2は歯車機構の動作の一例を示す説明図である。

[0012] 指訓練装置1は、訓練対象者の手指の運動機能を回復させたり、手指の筋力を増強するための訓練を行う装置である。訓練対象者は、例えば脳卒中などの脳血管疾患や整形外科疾患等による運動機能障害を有する患者等である。

[0013] 図1に示すように、指訓練装置1は、指動作機構3と、タッピング機構5と、コントローラ7（後述の図14参照）とを有する。指動作機構3とタッピング機構5とは隣接して配置されている。なお、図1ではコントローラ7の図示を省略している。

[0014] 指動作機構3は、訓練対象者の手指に対して各種動作（屈曲、伸展、掌側外転、掌側内転）の訓練を行うための機構である。指動作機構3は、架台9

と、第1駆動モータ11と、固定歯車13と、アーム15と、遊星歯車17と、装具19とを有する。なお、図1では固定歯車13と遊星歯車17の歯、及び、訓練対象者の手掌を支持する支持台等の図示を省略している。

[0015] 架台9は、一对の脚部20と、台座部21とを有する。なお、脚部20は例えば4本脚構造とするなど一对以外の構造としてもよい。

[0016] 第1駆動モータ11（第1モータの一例）は、回転型のモータであり、アーム15を回転軸23（第1回転軸の一例）の回転軸心AX1周りに回転させる。第1駆動モータ11は、台座部21の下部に取り付けられており、一对の脚部20の間に配置されている。第1駆動モータ11の出力軸は回転軸23に連結され、当該回転軸23がアーム15の一端に連結されている。なお、第1駆動モータ11の出力軸を減速機を介して回転軸23に連結してもよい。第1駆動モータ11の回転位置は、エンコーダ24（回転位置センサの一例。後述の図14参照）により検出される。第1駆動モータ11は、コントローラ7により、エンコーダ24の検出結果に基づいて位置、速度及びトルクの少なくとも1つを制御されるサーボモータである。なお、例えばレゾルバやポテンシオメータ等、エンコーダ以外の回転位置センサを用いてもよい。

[0017] 固定歯車13は、台座部21の上部に固定して配置されている。つまり、固定歯車13は台座部21に対して回転しないように固定されている。図2に示すように、固定歯車13は円形状の平歯車である。なお、図2では固定歯車13の歯数が30である場合を一例として示しているが、歯数はこれに限定されるものではない。固定歯車13には、歯車中心O1から所定距離d1だけオフセットした位置に、回転軸23が略上下方向に回転可能に挿通されている。回転軸23は、固定歯車13に設けられた軸受（図示省略）により回転可能に支持されている。

[0018] アーム15（第1回転部材の一例）は、固定歯車13の上部に配置され、回転軸23（回転軸心AX1）周りに回転し、装具19を回転軸23周りに移動させる。アーム15の一方側の端部近傍には回転軸23が連結されてい

る。また、アーム 15 の他方側の端部近傍には遊星歯車 17 の回転軸 25 が回転可能に挿通されている。アーム 15 は、他方側の下部に回転軸 25 を回転可能に支持している。

[0019] 遊星歯車 17（回転部材の一例）は、アーム 15 の旋回と連動して回転し、装具 19 を回転軸 25 の回転軸心 A X 2 周りに回転させる。図 2 に示すように、遊星歯車 17 は楕円形状の平歯車（半径が不均一な歯車の一例）であり、固定歯車 13 に噛み合い、自転しつつ固定歯車 13 の周りを公転する。なお、図 2 では遊星歯車 17 の歯数が 30 である場合を一例として示しているが、歯数はこれに限定されるものではない。例えば、固定歯車 13 の歯数と遊星歯車 17 の歯数を異ならせてもよい。遊星歯車 17 には、歯車中心 O 2 から長軸方向に所定距離 d 2 だけオフセットした位置に、回転軸 25 が略上下方向に立設して連結されている。回転軸 25 は、アーム 15 に設けられた軸受（図示省略）により回転可能に支持されている。遊星歯車 17 は、アーム 15 により回転可能に吊り下げ支持されている。

[0020] 装具 19 は、訓練対象者の手指の指先部を保持する。「指先部」とは、各指の第 1 関節より先端側の部分をいう。なお、本実施形態では、各指の先端から 1 番目の関節を第 1 関節、2 番目の関節を第 2 関節、3 番目の関節を第 3 関節という。つまり、母指の場合には第 1 関節は I P 関節、第 2 関節は M P 関節、第 3 関節は C M 関節である。母指以外の四指（示指、中指、環指、小指）の場合には、第 1 関節は D I P 関節、第 2 関節は P I P 関節、第 3 関節は M P 関節である。

[0021] 装具 19 は、指先部を保持する一对の保持部 27 と、当該保持部 27 をアーム 15 の延設方向に移動可能な移動機構 29 とを有する。保持部 27 は、指先部を挟んで固定する。保持部 27 は、例えばゴム、樹脂、ウレタン等の柔軟な材料で構成されており、指の太さや形状に応じて変形し、指先部を適切に保持することができる。移動機構 29 は、例えばネジ 31 を緩めることにより保持部 27 の移動を許容し、所望の位置でネジ 31 を締めることにより保持部 27 を固定する。このような構成により、装具 19 は指先部の保持

位置をアーム 1 5 の延設方向に所定の範囲で移動することが可能である。

[0022] なお、一对の保持部 2 7 の各々の内側に、装具 1 9 が指先部から受ける力を測定する力センサ 3 3（測定部、センサの一例）をそれぞれ設けてもよい。図 1 は、力センサ 3 3 を設けた場合を図示している。力センサ 3 3 を設けた場合には、指先部の軌道に対して概略接線方向の力を測定できるので、訓練対象者の随意運動による力や、腱や筋肉による戻ろうとする力等を、精度良く測定できる。なお、力センサの代わりに、例えば回転軸 2 5 の撓みを測定するひずみゲージを設けてもよい。

[0023] また、アーム 1 5 には、装具 1 9 を着脱可能な第 1 着脱部 3 5 と第 2 着脱部 3 7 が設けられている。第 1 着脱部 3 5 は、アーム 1 5 の他方側の端部近傍に配置され、回転軸 2 5 の上部に連結されている。装具 1 9 は、第 1 着脱部 3 5 に装着されることにより、手指の伸展又は屈曲が可能な位置に配置される（後述の図 3 ～図 1 1 参照）。なお、図 1 は、装具 1 9 が第 1 着脱部 3 5 に装着された状態を示している。また、第 2 着脱部 3 7 は、アーム 1 5 の延設方向中間位置に配置されている。装具 1 9 は、第 2 着脱部 3 7 に装着されることにより、母指の掌側外転又は掌側内転が可能な位置に配置される（後述の図 1 2 及び図 1 3 参照）。なお、第 1 着脱部 3 5 及び第 2 着脱部 3 7 の着脱方式は特に限定されるものではないが、例えばマグネットやネジによる着脱方式とすることが可能である。

[0024] タッピング機構 5 は、指動作機構 3 により手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、訓練対象の手指の付け根位置近傍をタッピングするための機構である。タッピング機構 5 は、架台 3 9 と、第 3 駆動モータ 4 1 と、アーム 4 3 と、接触部 4 5 とを有する。

[0025] 架台 3 9 は、一对の脚部 4 7 と、台座部 4 9 とを有する。なお、脚部 4 7 は例えば 4 本脚構造とするなど一对以外の構造としてもよい。

[0026] 第 3 駆動モータ 4 1（第 3 モータの一例）は、回転型のモータであり、アーム 4 3 を回転軸 5 1 の回転軸心 A X 3 周りに回転させる。第 3 駆動モータ 4 1 は、台座部 4 9 の下部に取り付けられており、一对の脚部 4 7 の間に配

置されている。第3駆動モータ41の出力軸は回転軸51に連結され、当該回転軸51がアーム43の一端に連結されている。なお、第3駆動モータ41の出力軸を減速機を介して回転軸51に連結してもよい。第3駆動モータ41は、コントローラ7により制御される。

[0027] アーム43は、台座部49の上部に配置され、回転軸51周りに回転し、接触部45を回転軸51（回転軸心AX3）周りに移動させる。アーム43の一方側の端部近傍には回転軸51が連結されている。また、アーム43の他方側の先端部43aは、中間部に設けられた屈曲部43bにより高さが調節されている。

[0028] 接触部45は、例えば円柱形状に形成されており、アーム43の先端部43aに立設されている。接触部45は、例えばゴム、樹脂、ウレタン等の柔軟な材料で構成されており、第3駆動モータ41により訓練対象の手指の付け根位置近傍にタッピングするように接触する。タッピングにより、訓練対象者に指の動作タイミングを意識させることが可能となり、訓練の効果をより高めることができる。

[0029] （1－2．歯車機構によるアームの回転動作及び装具の回転動作）

次に、図2及び図3～図13を参照しつつ、指訓練装置1の歯車機構によるアーム15の回転動作及び装具19の回転動作の一例について説明する。図3～図13はアーム15の回転動作及び装具19の回転動作を表す説明図である。

[0030] 図2に、遊星歯車17が自転しつつ固定歯車13の周りを公転する様子を示す。図2に示すように、遊星歯車17が固定歯車13の周りを1周する間、回転軸25（回転軸心AX2）と回転軸23（回転軸心AX1）との距離は半径Rで一定である。つまり、遊星歯車17の回転軸25（回転軸心AX2）は、回転軸23（回転軸心AX1）を中心に半径Rの円の軌跡を描く。

[0031] 図2では、遊星歯車17が回転軸25（回転軸心AX2）周りに90度ずつ回転（自転）した状態を示している。ここでは説明の便宜上、遊星歯車17が、回転軸25（回転軸心AX2）が長軸上において回転軸23（回転軸

心AX1)との間に歯車中心O2を挟むように位置した状態を、遊星歯車17Aとする。また、遊星歯車17Aが、回転軸25(回転軸心AX2)周りに反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17Bとする。同様に、遊星歯車17Bが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17C、遊星歯車17Cが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17D、遊星歯車17Dが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17E、遊星歯車17Eが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17F、遊星歯車17Fが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17G、遊星歯車17Gが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17H、遊星歯車17Hが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車17Aとする。

[0032] 遊星歯車17A, 17B, 17C, 17D, 17E, 17F, 17G, 17Hのそれぞれにおける回転半径は、 $R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f, R_g, R_h$ となる。なお、ここでいう「回転半径」とは、回転軸25(回転軸心AX2)と旋回軸23(旋回軸心AX1)とを結ぶ直線上における、回転軸25(回転軸心AX2)から遊星歯車17と固定歯車13との接触位置までの距離のことをいう。各回転半径の大小関係は、 $R_a > R_b = R_h > R_c = R_g > R_d = R_f > R_e$ である。そして、アーム15の旋回角速度を一定とした場合、遊星歯車17A~17Hのそれぞれにおける回転軸25(回転軸心AX2)の円周方向の速度Vも一定となることから、遊星歯車17の回転軸25(回転軸心AX2)周りの角速度 ω は、回転半径 $R_a \sim R_h$ が小さいほど大きくなる。したがって、遊星歯車17A, 17B, 17C, 17D, 17E, 17F, 17G, 17Hのそれぞれにおける角速度を $\omega_a, \omega_b, \omega_c, \omega_d, \omega_e, \omega_f, \omega_g, \omega_h$ とすると、大小関係は、 $\omega_e > \omega_d = \omega_f > \omega_c = \omega_g > \omega_b = \omega_h > \omega_a$ となる。

[0033] このようにして、アーム15を同一角速度で旋回させながら、遊星歯車17の角速度を変化させることができる。その結果、アーム15の旋回範囲を図2に示す角度範囲のどの範囲に設定するかに応じて、遊星歯車17に固定

された装具 19 の回転速度（角度変化）にも所望の変化を生じさせ、装具 19 に保持された指先部の軌道を可変にできる。

[0034] 例えば、図 3～図 5 に、アーム 15 を遊星歯車 17A～17C の角度範囲で旋回させる場合のアーム 15 の旋回動作及び装具 19 の回転動作の一例を示す。図 3、図 4 及び図 5 の順に動作する場合は、手指（この例では示指、中指、環指、小指の四指）を屈曲させる動作となり、反対に図 5、図 4 及び図 3 の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。前者の屈曲動作は、遊星歯車 17 の回転半径が最大の回転半径 R_a となる位置（回転半径が最も短くなる角度位置よりも最も長くなる角度位置に近い角度位置の一例）を旋回開始位置とし、回転半径が最も短くなる角度位置（回転半径 R_e となる位置）に向けて旋回する場合の一例である。また、後者の伸展動作は、遊星歯車 17 の回転半径が回転半径 R_c となる位置（回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置の一例）を旋回開始位置とし、回転半径が最も長くなる角度位置（回転半径 R_a となる位置）に向けて旋回する場合の一例である。

[0035] なお、図 3～図 5 では、説明の便宜上、手指 53、手掌 55、手指 53 が有する第 1 関節 57、第 2 関節 59、第 3 関節 61 及び指先部 63 を概念的に破線で示す。また、移動機構 29 等の図示を省略している。図 3～図 5 に示すように、手指 53 は、第 1 関節 57 が概略回転軸 25（回転軸心 $A \times 2$ ）上に位置し、旋回軸 23（旋回軸心 $A \times 1$ ）が概略第 2 関節 59 と第 3 関節 61 との間に位置するように、移動機構 29 により適宜の位置に移動された装具 19 に装着される。前述のように、遊星歯車 17A～17C の角速度の大小関係は $\omega_c > \omega_b > \omega_a$ であることから、図 3、図 4 及び図 5 の順に手指 53 を屈曲動作させる場合は、遊星歯車 17 の回転速度を低速から高速に徐々に変化させることができる。その結果、屈曲の際に指先部 63 の角度を遅く変化させる動き（第 1 関節 57 が第 2 関節 59 及び第 3 関節 61 よりも遅く曲がる動き）を実現できる。反対に、図 5、図 4 及び図 3 の順に手指 53 を伸展動作させる場合は、遊星歯車 17 の回転速度を高速から低速に徐

々に変化させることができる。その結果、伸展の際に指先部 6 3 の角度を早く変化させる動き（第 1 関節 5 7 が第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 よりも速く伸びる動き）を実現できる。

[0036] 次に、図 6～図 8 に、アーム 1 5 を遊星歯車 1 7 E～1 7 G の角度範囲で旋回させる場合のアーム 1 5 の旋回動作及び装具 1 9 の回転動作の一例を示す。図 6、図 7 及び図 8 の順に動作する場合は、手指（この例では示指、中指、環指、小指の四指）を屈曲させる動作となり、反対に図 8、図 7 及び図 6 の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。前者の屈曲動作は、遊星歯車 1 7 の回転半径が最小の回転半径 R_e となる位置（回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置の一例）を旋回開始位置とし、回転半径が最も長くなる角度位置（回転半径 R_a となる位置）に向けて旋回する場合の一例である。また、後者の伸展動作は、遊星歯車 1 7 の回転半径が回転半径 R_g となる位置（回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置の一例）を旋回開始位置とし、回転半径が最も短くなる角度位置（回転半径 R_e となる位置）に向けて旋回する場合の一例である。

[0037] 図 6～図 8 に示すように、手指 5 3 は、第 1 関節 5 7 が概略回転軸 2 5（回転軸心 $A \times 2$ ）上に位置し、旋回軸 2 3（旋回軸心 $A \times 1$ ）が概略第 2 関節 5 9 と第 3 関節 6 1 との間に位置するように、移動機構 2 9 により適宜の位置に移動された装具 1 9 に装着される。前述のように、遊星歯車 1 7 E～1 7 G の角速度の大小関係は $\omega_e > \omega_f > \omega_g$ であることから、図 6、図 7 及び図 8 の順に手指 5 3 を屈曲動作させる場合は、遊星歯車 1 7 の回転速度を高速から低速に徐々に変化させることができる。その結果、屈曲の際に指先部 6 3 の角度を早く変化させる動き（第 1 関節 5 7 が第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 よりも速く曲がる動き）を実現できる。反対に、図 8、図 7 及び図 6 の順に手指 5 3 を伸展動作させる場合は、遊星歯車 1 7 の回転速度を低速から高速に徐々に変化させることができる。その結果、伸展の際に指先部 6 3 の角度を遅く変化させる動き（第 1 関節 5 7 が第 2 関節 5 9 及び第 3 関

節 6 1 よりも遅く伸びる動き）を実現できる。

[0038] 次に、図 9～図 11 に、母指を対象として、アーム 15 を遊星歯車 17 E～17 G の角度範囲で旋回させる場合のアーム 15 の旋回動作及び装具 19 の回転動作の一例を示す。図 9、図 10 及び図 11 の順に動作する場合は、母指を屈曲させる動作となり、反対に図 11、図 10 及び図 9 の順に動作する場合は、母指を伸展させる動作となる。前者の屈曲動作は、遊星歯車 17 の回転半径が最小の回転半径 R_e （所定の半径の一例）となる位置を旋回開始位置とし、回転半径が回転半径 R_e よりも長くなる方向に向けて旋回する場合の一例である。また、後者の伸展動作は、遊星歯車 17 の回転半径が回転半径 R_g （所定の半径の一例）となる位置を旋回開始位置とし、回転半径が回転半径 R_g よりも短くなる方向に向けて旋回する場合の一例である。

[0039] 図 9～図 11 に示すように、母指 53 は、第 1 関節 57 が概略回転軸 25（回転軸心 $A \times 2$ ）上に位置し、旋回軸 23（旋回軸心 $A \times 1$ ）が概略第 2 関節 59 と第 3 関節 61 との間に位置するように、移動機構 29 により適宜の位置に移動された装具 19 に装着される。前述のように、遊星歯車 17 E～17 G の角速度の大小関係は $\omega_e > \omega_f > \omega_g$ であることから、図 9、図 10 及び図 11 の順に母指 53 を屈曲動作させる場合は、遊星歯車 17 の回転速度を高速から低速に徐々に変化させることができる。その結果、屈曲の際に指先部 63 の角度を早く変化させる動き（第 1 関節 57 が第 2 関節 59 及び第 3 関節 61 よりも速く曲がる動き）を実現できる。反対に、図 11、図 10 及び図 9 の順に母指 53 を伸展動作させる場合は、遊星歯車 17 の回転速度を低速から高速に徐々に変化させることができる。その結果、伸展の際に指先部 63 の角度を遅く変化させる動き（第 1 関節 57 が第 2 関節 59 及び第 3 関節 61 よりも遅く伸びる動き）を実現できる。なお、説明は省略するが、母指 53 に対しても、図 3～図 5 と同様に、アーム 15 を遊星歯車 17 A～17 C の角度範囲で旋回させることも可能である。

[0040] 次に、図 12 及び図 13 に、母指を対象として、掌側内転及び掌側外転をさせる場合を示す。この例では、例えばアーム 15 を遊星歯車 17 A～17

Bの角度範囲で旋回させる場合のアーム15の旋回動作及び装具19の回転動作の一例を示す。図12及び図13の順に動作する場合は、母指を掌側外転させる動作となり、反対に図13及び図12の順に動作する場合は、母指を掌側内転させる動作となる。この場合、装具19は、第1着脱部35から取り外され、第2着脱部37に装着される。その結果、装具19は遊星歯車17と連動して回転せず、アーム15の旋回と共に回転軸23（回転軸心AX1）周りを旋回する。これにより、装具19はアーム15の長手方向中間位置に配置され、母指53は、母指の掌側外転又は掌側内転が可能のように、移動機構29により適宜の位置に移動された装具19に装着される。以上から、掌側内転及び掌側外転をさせる場合には、アーム15の旋回範囲を図2に示す角度範囲のどの範囲に設定するかに関わりなく、装具19の回転速度（角度変化）はアーム15の旋回と等しくなる。

[0041] なお、指動作機構3は、アーム15の旋回範囲（旋回開始位置及び旋回終了位置）を、遊星歯車17の回転半径が所望の半径となる位置（回転半径が最も短くなる角度位置よりも最も長くなる角度位置に近い角度位置や、回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置等）に切り替え可能に構成されている。この切り替えは、例えばアーム15や遊星歯車17を取り外して向きや位置を変更する等の物理的な作業により行われてもよいし、コントローラ7における信号処理によって行われてもよい。これにより、訓練対象者の訓練状況や回復状況に応じて指先部63の軌道を可変させることが可能となり、適切な訓練を実行することができる。

[0042] （1－3．コントローラの機能構成）

次に、図14～図18を参照しつつ、コントローラ7の機能構成の一例について説明する。図14はコントローラ7の機能構成の一例を表す説明図、図15及び図16は第1駆動モータ11の回転速度の変化の一例を表す説明図、図17及び図18はコントローラ7による表示の一例を表す説明図である。

[0043] コントローラ7は、CPUやメモリ等を備えたコンピュータとして構成さ

れる（後述の図４５参照）。コントローラ７は、指訓練装置１専用のコントローラでもよいし、汎用ＰＣ等でもよい。コントローラ７は、訓練に関する表示や各種操作を行うためのタッチパネル６５（表示部の一例）を一体又は別体として備えている。なお、タッチパネル６５はタッチ機能を有しない単なる液晶表示部等でもよい。

[0044] 図１４に示すように、コントローラ７は、第１他動運動制御部６７と、第２他動運動制御部６９と、第１自動運動制御部７１と、訓練種別設定部７３と、第１制御切替部７５と、第１回転速度算出部７７と、第１トルク算出部７９と、第１速度指令算出部８１と、刺激付与処理部８３と、第１人体反応量算出部８５と、第１表示制御部８７と、第１可動域計測部８９と、第１自動運動量算出部９１と、第１達成率算出部９３と、第２表示制御部９５と、第１記録部９７と、第２記録部９９と、第１人体反応力算出部１０１と、第３表示制御部１０３と、タッピング実行部１０５と、タイミング設定部１０７とを有する。

[0045] 第１他動運動制御部６７は、他動運動を行う際に、第１駆動モータ１１が所定の第１設定速度Ｖ１で駆動するように第１駆動モータ１１の回転速度を制御する。「他動運動」とは、第１駆動モータ１１によりアーム１５を旋回させて、訓練対象者の手指を外力により屈曲、伸展、掌側内転又は掌側外転させることをいう。なお、第１他動運動制御部６７による制御は、速度指令に基づく速度制御でもよいし、速度が第１設定速度Ｖ１となるように位置指令を順次変更する位置制御としてもよい。

[0046] 第２他動運動制御部６９は、他動運動を行う際に、第１駆動モータ１１が所定の第２設定速度Ｖ２で駆動するように第１駆動モータ１１の回転速度を制御する。図１５に示すように、第２設定速度Ｖ２は、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）を励起させるために第１設定速度Ｖ１よりも高速に設定されている。なお、第２他動運動制御部６９による制御は、速度指令に基づく速度制御でもよいし、速度が第２設定速度Ｖ２となるように位置指令を順次変更する位置制御としてもよい。

- [0047] 第1自動運動制御部71は、自動運動を行う際に、装置の重量等による反力をキャンセルしつつ各手指に対して所定の抵抗力又はアシスト力を付与するように、第1駆動モータ11を制御する。「自動運動」とは、訓練対象者による自発的な屈曲、伸展、掌側内転又は掌側外転を受けてアーム15を旋回させることをいう。第1自動運動制御部71による制御は、後述する速度指令 V_{ref} に基づく速度制御である。
- [0048] 訓練種別設定部73は、タッチパネル65における訓練種別の選択入力に基づいて、訓練種別を、自動運動において屈曲運動を訓練する「屈曲」、自動運動において伸展運動を訓練する「伸展」、自動運動において屈曲運動と伸展運動の両方を訓練する「屈曲伸展」、自動運動において掌側内転運動を訓練する「掌側内転」、自動運動において掌側外転運動を訓練する「掌側外転」、自動運動において掌側内転運動と掌側外転運動の両方を訓練する「掌側内外転」のいずれかに設定する。
- [0049] 第1制御切替部75は、訓練種別設定部73により設定された訓練種別に応じて、制御の切り替え態様を変更する。例えば、訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」又は「掌側外転」に設定された場合には、第1制御切替部75は、エンコーダ24により検出された回転位置に基づいて、第1他動運動制御部67による制御と、第2他動運動制御部69による制御と、第1自動運動制御部71による制御とを切り替える。図15に示すように、第1制御切替部75は、まず第1他動運動制御部67による制御を実行し、検出位置が第1回転位置P1に到達した際に、第1他動運動制御部67による制御を第2他動運動制御部69による制御に切り替える。また、検出位置が第2回転位置P2に到達した際に、第2他動運動制御部69による制御を第1自動運動制御部71による制御に切り替える。そして、検出位置が第3回転位置P3に到達した際に、第1自動運動制御部71による制御を再び第1他動運動制御部67による制御に切り替える。以上の3種類の制御の実行による他動運動と自動運動の組み合わせを1サイクルとして、所定の回数のサイクルが繰り返される。

[0050] 一方、訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」に設定された場合には、第1制御切替部75は、エンコーダ24により検出された回転位置に基づいて、第2他動運動制御部69による制御と、第1自動運動制御部71による制御とを切り替える。図16に示すように、第1制御切替部75は、屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）のいずれか一方において、まず第2他動運動制御部69による制御を実行し、検出位置が第4回転位置P4に到達した際に、第2他動運動制御部69による制御を第1自動運動制御部71による制御に切り替える。また、検出位置が第5回転位置P5に到達した際に、第1自動運動制御部71による制御を第2他動運動制御部69による制御に切り替え、屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）の他方において、第2他動運動制御部69による制御を実行する。また、検出位置が第6回転位置P6に到達した際に、第2他動運動制御部69による制御を第1自動運動制御部71による制御に切り替える。そして、検出位置が第7回転位置P7に到達した際に、第1自動運動制御部71による制御を再び第2他動運動制御部69による制御に切り替える。以上の屈曲運動（掌側内転運動）及び伸展運動（掌側外転）のそれぞれにおける2種類の制御の実行による他動運動と自動運動の組み合わせを1サイクルとして、所定の回数のサイクルが繰り返される。

[0051] 第1回転速度算出部77は、エンコーダ24の検出結果に基づいて第1駆動モータ11の回転速度を算出する。例えば、第1回転速度算出部77は、エンコーダ24で検出された位置を時間で1階微分したり、検出信号（例えばインクリメンタル信号）を所定の時間カウントするなどの処理により、回転速度を算出する。当該回転速度は、訓練対象者が自発的に手指を屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）させる際の回転速度に相当する。

[0052] 第1トルク算出部79は、第1回転速度算出部77により算出された回転速度に基づいてトルクを算出する。当該トルクは、訓練対象者が自発的に手指を屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）させる際の力に相

当する。なお、回転速度からトルクを算出する他にも、装具 19 に力センサ 33 を設ける場合にはその測定値に基づいてトルクを算出してもよい。

[0053] 第 1 速度指令算出部 81 は、第 1 回転速度算出部 77 により算出された回転速度 V_{fb} と、第 1 トルク算出部 79 により算出されたトルク T_{fb} とに基づいて、速度指令 V_{ref} を算出する。具体的には、第 1 速度指令算出部 81 は次の計算式 (1) に基づいて速度指令 V_{ref} を算出する。

[0054] 【数 1】

$$V_{ref} = \left\{ \frac{\text{スキャン時間}}{\text{仮想マス}} \times (\text{トルク } T_{fb} - \text{仮想粘性} \times \text{回転速度 } V_{fb}) \right\} + \text{回転速度 } V_{fb} \quad (1)$$

[0055] なお、スキャン時間は 1 サイクルにおいてコントローラ 7 が自動運動時の処理（第 1 自動運動制御部 71 による処理）を実行する時間であり、機械諸元に基づき決定される固定値である。仮想マス及び仮想粘性はパラメータであり、これらのパラメータにより、手指に対して所定の抵抗力（仮想粘性係数を正にする場合）又はアシスト力（仮想粘性係数を負にする場合）を付与することが可能となり、筋肉の緊張を維持させて訓練効果を向上することができる。

[0056] 第 1 自動運動制御部 71 は、自動運動を行う際、第 1 速度指令算出部 81 により算出された速度指令 V_{ref} に基づいて第 1 駆動モータ 11 を制御する。

[0057] 刺激付与処理部 83 は、第 2 他動運動制御部 69 による制御から第 1 自動運動制御部 71 による制御への切り替え時に、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）を誘発する刺激を付与するように刺激付与装置 109 を制御する。これにより、他動運動から自動運動への切り替え時に人体反応がさらに生じ易くなり、訓練の効果をより高めることができる。なお、ここでいう切り替え時は、必ずしも制御の切り替えタイミングと同時である必要はない。すなわち、切り替え時は、人間の反射として同時と感じられる程度の、第 2 他動運動制御部 69 による制御及び第 1 自動運動制御部 71 による制御に跨る時間幅を有しており、その時間幅内で刺激が付与されれば、

切り替え時に刺激を付与することに相当する。

[0058] 刺激付与装置 109 は、指訓練装置 1 に付属され、手指に関連する部位に人体反応を誘発する所定の刺激を付与する装置である。刺激付与装置 109 の装置態様は特に限定されるものではないが、例えば訓練対象となる手指の動作に関連する筋肉部付近に貼り付けられる 1 又は複数の電気刺激装置（電極パッド等）又は振動発生装置として構成することができる。この場合、刺激付与装置 109 は、1 又は複数の電気刺激装置又は振動発生装置の電圧、周波数又は振動レベルを個別に制御し、例えば皮膚をタッピングするような刺激を付与したり、各電気刺激装置又は各振動発生装置に時間差を設けて刺激を発生させることで皮膚をさするような刺激を付与することにより、皮膚筋反射を誘発することができる。また例えば、電気刺激と振動刺激の両方を付与してもよい。また、その他にも、例えばノズルからエアを噴出する装置や、刷毛や棒状の部材で皮膚をさするように動作させる装置等として構成してもよい。

[0059] 第 1 人体反応量算出部 85 は、第 2 他動運動制御部 69 による制御から第 1 自動運動制御部 71 による制御へ切り替えた時点から所定時間（例えば 100ms）経過するまでの間に手指の人体反応によりアーム 15 が旋回した量（角度）である人体反応量を、エンコーダ 24 の検出結果に基づいて算出する。なお、第 1 人体反応量算出部 85 により算出された人体反応量を、訓練結果データとして所定のファイル形式（例えば CSV ファイル等）で出力可能としてもよい。

[0060] 第 1 表示制御部 87（第 1 表示制御部の一例）は、第 1 人体反応量算出部 85 により算出された人体反応量をタッチパネル 65 に表示させる（後述の図 17、図 18 参照）。訓練の実行中は、人体反応量の算出がサイクルごとに行われ、人体反応量の表示もサイクルごとに更新される。

[0061] 第 1 可動域計測部 89 は、第 1 駆動モータ 11 によりアーム 15 を旋回させて手指の可動域を計測する。例えば、第 1 可動域計測部 89 は、屈曲方向と伸展方向のそれぞれについてアーム 15 を旋回させ、第 1 駆動モータ 11

の負荷トルク（第１トルク算出部７９により算出）が所定値に到達した際の回転角度を可動域として計測する。なお、力センサ３３を設ける場合にはその測定値が所定値に到達した際の回転角度を可動域として計測してもよい。

[0062] 第１自動運動量算出部９１は、第１自動運動制御部７１による制御時（自動運動時）に、訓練対象者が自発的にアーム１５を旋回させた量（角度）である自動運動量を、エンコーダ２４の検出結果に基づいて算出する。また、第１自動運動量算出部９１は、訓練開始時からの自動運動量の平均値（平均角度）を算出する。自動運動量の検出手法は特に限定されるものではないが、例えば第１回転速度算出部７７により算出された回転速度が所定値以下となった場合、あるいは、その所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に、訓練対象者による自発的な自動運動が終了したと判定し、自動運動開始から当該時点までの回転量を自動運動量としてもよい。また例えば、第１トルク算出部７９により算出されたトルク又は力センサ３３の測定値が所定値以下となった場合、あるいは、その所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に、訓練対象者による自発的な自動運動が終了したと判定し、自動運動開始から当該時点までの回転量を自動運動量としてもよい。

[0063] 第１達成率算出部９３は、第１自動運動量算出部９１により算出された自動運動量と、第１可動域計測部８９により計測された可動域とに基づいて、自動運動量の可動域に対する割合である自動達成率（０～１００％）を算出する。なお、第１達成率算出部９３により算出された自動達成率は、訓練結果データとして所定のファイル形式（例えばＣＳＶファイル等）で出力することも可能である。

[0064] 第２表示制御部９５は、第１達成率算出部９３により算出された自動達成率と、第１自動運動量算出部９１により算出された平均自動運動量とを、タッチパネル６５に表示させる（後述の図１７、図１８参照）。訓練の実行中は、自動達成率や平均自動運動量の算出がサイクルごとに行われ、自動達成率や平均自動運動量の表示もサイクルごとに更新される。

[0065] 第１記録部９７は、第１可動域計測部８９により計測された可動域につい

て所定の準備速度（第１設定速度Ｖ１よりも遅い速度）でアーム１５を旋回させ、装具１９が指先部から受ける力（第１トルク算出部７９により算出）の事前測定値（第１測定値の一例）を記録する。なお、第１トルク算出部７９により算出されたトルクの代わりに、力センサ３３を設ける場合にはその測定値を記録してもよい。

[0066] 第２記録部９９は、第１自動運動制御部７１による制御時（自動運動時）に、所定の訓練速度でアーム１５を旋回させた際に、装具１９が指先部から受ける力（第１トルク算出部７９により算出）の訓練中測定値（第２測定値の一例）を記録する。なお、第１トルク算出部７９により算出されたトルクの代わりに、力センサ３３を設ける場合にはその測定値を記録してもよい。

[0067] 第１人体反応力算出部１０１は、第２記録部９９により記録された訓練中測定値と第１記録部９７により記録された事前測定値との差分に基づいて、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）による力を算出する。

[0068] 第３表示制御部１０３は、第１人体反応力算出部１０１により算出された人体反応力に関連する表示内容を、タッチパネル６５に表示させる（図示省略）。人体反応力に関連する表示とは、例えば人体反応力の目標値に対する達成率の表示や、達成したか否かの結果表示等である。訓練の実行中は、人体反応力の算出がサイクルごとに行われ、人体反応力に関連する表示もサイクルごとに更新される。

[0069] タッピング実行部１０５は、第１駆動モータ１１によりアーム１５を旋回させて手指を外力により運動させる他動運動から訓練対象者による手指の自発的な運動を受けてアーム１５を旋回させる自動運動に切り替わるタイミング（第２他動運動制御部６９による制御から第１自動運動制御部７１による制御へ切り替わるタイミング）で、タッピングを実行するようにタッピング機構５の第３駆動モータ４１を制御する。

[0070] タイミング設定部１０７は、例えばタッチパネル６５によるユーザの設定入力に基づいてタッピングを実行するタイミングを設定する。これにより、

ユーザが任意にタッチングのタイミングを設定することができるので、訓練対象者の状況や訓練指導者（例えば理学療法士や作業療法士等）の指導内容等に基づいてタイミングを適宜設定・変更することで、訓練の効果をより高めることができる。

[0071] 図17及び図18は、第1表示制御部87及び第2表示制御部95によるタッチパネル65の表示の一例を表す説明図である。なお、第3表示制御部103による表示内容については図示を省略する。図17に示すように、タッチパネル65には、訓練種別画面111と、運動状態画面113と、訓練状況画面115とが表示されている。訓練種別画面111では、訓練種別として、前述した「屈曲」、「伸展」、「屈曲伸展」のいずれかを選択することができる。図17に示す例では「屈曲」が選択されている。

[0072] 運動状態画面113には、第2表示制御部95により、屈曲運動と伸展運動のそれぞれについて自動達成率表示部117が表示されると共に、平均自動運動量表示部119が表示される。図17に示す例では、訓練種別で「屈曲」が選択されているので、屈曲運動に対応する自動達成率表示部117が表示され、伸展運動に対応する自動達成率表示部117は非表示（あるいは薄い表示でもよい）となっている。自動達成率表示部117は、例えば複数のメータで構成されており、第1達成率算出部93により算出された自動達成率を、その値の大きさに応じた数のメータを点灯させることによって可視化する。また、自動達成率表示部117は、自動達成率が最大値近傍（100%に近い値）である場合には、複数のメータの最上部に位置する所定のマーク121（例えばスマレマーク）を点灯させる。このように自動達成率をメータやマークで表示することによって、訓練対象者が自発的に動かした量を分かり易く可視化できる。また、平均自動運動量表示部119は、訓練開始時からの自動運動量の平均値を平均角度（この例では87°）として表示する。

[0073] 訓練状況画面115には、第1表示制御部87により、屈曲運動と伸展運動のそれぞれについて人体反応量表示部123が表示される。図17に示す

例では、訓練種別で「屈曲」が選択されているので、屈曲運動に対応する人体反応量表示部 1 2 3 が表示され、伸展運動に対応する人体反応量表示部 1 2 3 は非表示（あるいは薄い表示でもよい）となっている。人体反応量表示部 1 2 3 は、第 1 人体反応量算出部 8 5 により算出された人体反応量を、その値の大きさに応じた数のマーク 1 2 5（例えばスマイレマーク）を表示させることによって可視化する。例えば、人体反応量が 5° 以下の場合にはマーク 1 2 5 が 0 個、人体反応量が $6^{\circ} \sim 11^{\circ}$ の範囲内の場合にはマーク 1 2 5 が 1 個、人体反応量が $12^{\circ} \sim 17^{\circ}$ の範囲内の場合にはマーク 1 2 5 が 2 個、人体反応量が $18^{\circ} \sim 23^{\circ}$ の範囲内の場合にはマーク 1 2 5 が 3 個、人体反応量が $24^{\circ} \sim 29^{\circ}$ の範囲内の場合にはマーク 1 2 5 が 4 個、人体反応量が 30° 以上の場合にはマーク 1 2 5 が 5 個表示される。図 1 7 に示す例では、人体反応量が $18^{\circ} \sim 23^{\circ}$ の範囲内であり、マーク 1 2 5 が 3 個表示されている。このように人体反応量の大きさをマークの数で表示することによって、訓練対象者の人体反応の有無及びその大きさを分かり易く可視化できる。

[0074] また、訓練状況画面 1 1 5 には、人体反応量その他、訓練回数 1 2 7、残り時間 1 2 9、今回の訓練で実行したサイクル回数 1 3 1、第 1 可動域計測部 8 9 によって計測された屈曲方向の可動域 1 3 3 及び伸展方向の可動域 1 3 5、自動運動において手指を動かすべき方向を示す動作方向 1 3 7 が表示されている。

[0075] 図 1 8 は、訓練種別として「伸展」が選択された場合の表示の一例である。図 1 8 に示すように、運動状態画面 1 1 3 において、伸展運動に対応する自動達成率表示部 1 1 7 が表示され、屈曲運動に対応する自動達成率表示部 1 1 7 は非表示（あるいは薄い表示でもよい）となっている。図 1 8 に示す例では、自動達成率が最大値近傍（ 100% に近い値）であり、自動達成率表示部 1 1 7 は全てのメータと最上部に位置するマーク 1 2 1 とを点灯させている。また、訓練状況画面 1 1 5 において、伸展運動に対応する人体反応量表示部 1 2 3 が表示され、屈曲運動に対応する人体反応量表示部 1 2 3 は

非表示（あるいは薄い表示でもよい）となっている。図 18 に示す例では、人体反応量が $24^{\circ} \sim 29^{\circ}$ の範囲内であり、マーク 125 が 4 個表示されている。

[0076] なお、訓練種別で「屈曲伸展」が選択された場合には、上述した図 17 に示す表示内容と図 18 に示す表示内容とが、屈曲運動と伸展運動の切り替えに応じて交互に切り替わって表示される。

[0077] なお、上記画面構成は一例であり、上述した項目に加えて又は代えて、その他の項目を表示してもよいし、上述した項目の一部を非表示としてもよい。また、マークや記号を別の種類に変更してもよいし、人体反応量や自動達成率を例えば数値で表示してもよい。

[0078] なお、上述したコントローラ 7 の各処理部は、これらの処理の分担の例に限定されるものではなく、例えば、更に少ない数の処理部（例えば 1 つの処理部）で処理されてもよく、また、更に細分化された処理部により処理されてもよい。また、コントローラ 7 は、第 1 駆動モータ 11 に駆動電力を給電する部分（インバータ等）のみ実際の装置により実装され、その他の機能は後述する CPU 901（図 45 参照）が実行するプログラムにより実装されてもよいし、その一部又は全部が ASIC や FPGA、その他の電気回路等の実際の装置により実装されてもよい。

[0079] （1-4. コントローラの処理手順）

次に、図 19～図 21 を参照しつつ、コントローラ 7 の CPU 901 により実行される処理手順の一例について説明する。

[0080] 図 19 に示すように、ステップ S10 では、コントローラ 7 は、第 1 可動域計測部 89 により、装具 19 に訓練対象の手指を装着させた状態で第 1 駆動モータ 11 によりアーム 15 を旋回させて手指の可動域を計測する。

[0081] ステップ S20 では、コントローラ 7 は、訓練種別設定部 73 により、タッチパネル 65 における訓練種別の選択入力に基づいて、訓練種別を「屈曲」、「伸展」、「屈曲伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」、「掌側内外転」のいずれかに設定する。

- [0082] ステップS 3 0では、コントローラ7は、上記ステップS 1 0で計測した可動域について、上記ステップS 2 0で設定した訓練種別に基づいて所定の準備速度でアーム1 5を旋回させ、第1記録部9 7により装具1 9が指先部から受ける力の事前測定値（第1トルク算出部7 9により算出したトルク又は力センサ3 3で測定）を記録する。
- [0083] ステップS 1 0 0では、コントローラ7は、他動運動処理を実行する。他動運動処理の内容については後述する（図2 0参照）。
- [0084] ステップS 2 0 0では、コントローラ7は、自動運動処理を実行する。自動運動処理の内容については後述する（図2 1参照）。
- [0085] ステップS 4 0では、コントローラ7は、訓練を終了するか否かを判定する。訓練を終了するか否かは、例えば設定された訓練時間が経過したか否か、又は、設定された回数のサイクルが終了したか否か、等により判定される。訓練を終了しない場合には（ステップS 4 0：N O）、上記ステップS 1 0 0に戻り、訓練を終了するまでステップS 1 0 0及びステップS 2 0 0を繰り返す。訓練を終了する場合には（ステップS 4 0：Y E S）、本フローを終了する。
- [0086] 図2 0に、上記ステップS 1 0 0の他動運動処理の処理手順の一例を示す。なお、図2 0では、上記ステップS 2 0において訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明する。
- [0087] 図2 0に示すように、ステップS 1 1 0では、コントローラ7は、第1他動運動制御部6 7により、第1駆動モータ1 1が第1設定速度V 1で駆動するように第1駆動モータ1 1の回転速度を制御する。
- [0088] ステップS 1 2 0では、コントローラ7は、第1制御切替部7 5により、エンコーダ2 4による検出位置が第1回転位置P 1に到達したか否かを判定する。第1回転位置P 1に到達していない場合には（ステップS 1 2 0：N O）、上記ステップS 1 1 0に戻る。一方、第1回転位置P 1に到達した場合には（ステップS 1 2 0：Y E S）、ステップS 1 3 0に移る。

- [0089] ステップS 1 3 0では、コントローラ7は、第2他動運動制御部69により、第1駆動モータ11が第2設定速度V2で駆動するように第1駆動モータ11の回転速度を制御する。
- [0090] ステップS 1 4 0では、コントローラ7は、第1制御切替部75により、エンコーダ24による検出位置が第2回転位置P2に到達したか否かを判定する。第2回転位置P2に到達していない場合には（ステップS 1 4 0：N O）、上記ステップS 1 3 0に戻る。一方、第2回転位置P2に到達した場合には（ステップS 1 4 0：Y E S）、他動運動処理を終了し、ステップS 2 0 0の自動運動処理に移る。
- [0091] 図21に、上記ステップS 2 0 0の自動運動処理の処理手順の一例を示す。なお、図21では、上記ステップS 2 0において訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明する。
- [0092] 図21に示すように、ステップS 2 0 5では、コントローラ7は、第2記録部99により、装具19が指先部から受ける力（第1トルク算出部79により算出したトルク又は力センサ33で測定）の訓練中測定値の記録を開始する。
- [0093] ステップS 2 1 0では、コントローラ7は、第1人体反応量算出部85により、第2他動運動制御部69による制御から第1自動運動制御部71による制御へ切り替えた時点、すなわち自動運動処理の開始時点から予め定められた設定時間（自動運動開始の待ち時間）が経過したか否かを判定する。設定時間が経過するまで本ステップを繰り返し（ステップS 2 1 0：N O）、設定時間が経過した場合には（ステップS 2 1 0：Y E S）、ステップS 2 1 5に移る。
- [0094] ステップS 2 1 5では、コントローラ7は、第1人体反応量算出部85により、自動運動処理の開始時点から予め定められた設定時間が経過するまでの間に手指の人体反応によりアーム15が旋回した量（角度）である人体反応量を、エンコーダ24の検出結果に基づいて算出する。そして、第1表示

制御部 87 により、算出した人体反応量をタッチパネル 65 に表示させる。

[0095] ステップ S 220 では、コントローラ 7 は、第 1 自動運動制御部 71 により、速度指令 V_{ref} に基づいて第 1 駆動モータ 11 の速度制御を行う。

[0096] ステップ S 225 では、コントローラ 7 は、第 1 回転速度算出部 77 により、エンコーダ 24 の検出結果に基づいて第 1 駆動モータ 11 の回転速度を算出する。

[0097] ステップ S 230 では、コントローラ 7 は、第 1 トルク算出部 79 により、上記ステップ S 225 において算出した回転速度に基づいてトルクを算出する。なお、前述したように力センサ 33 の測定値に基づいてトルクを算出してもよい

[0098] ステップ S 235 では、コントローラ 7 は、第 1 速度指令算出部 81 により、上記ステップ S 225 において算出した回転速度と、上記ステップ S 230 において算出したトルクとに基づいて、速度指令 V_{ref} を算出する。

[0099] ステップ S 240 では、コントローラ 7 は、エンコーダ 24 による検出位置が第 3 回転位置 P3 に到達したか否か、又は、上記ステップ S 225 で算出した回転速度が 0 であることを検出したか否かを判定する。第 3 回転位置 P3 に到達しておらず、且つ、回転速度が 0 でない場合には（ステップ S 240 : NO）、先のステップ S 215 に戻る。一方、第 3 回転位置 P3 に到達したか、又は、回転速度が 0 であることを検出した場合には（ステップ S 240 : YES）、ステップ S 245 に移る。

[0100] ステップ S 245 では、コントローラ 7 は、第 1 自動運動量算出部 91 により、訓練対象者が自発的にアーム 15 を旋回させた量（角度）である自動運動量を、エンコーダ 24 の検出結果に基づいて算出する。また、第 1 達成率算出部 93 により、算出した自動運動量と、上記ステップ S 10 において計測した可動域とに基づいて、自動運動量の可動域に対する割合である自動達成率を算出する。さらに、第 2 表示制御部 95 により、算出した自動達成率をタッチパネル 65 に表示させる。

[0101] ステップ S 250 では、コントローラ 7 は、第 1 人体反応力算出部 101

により、第2記録部99により記録した訓練中測定値と、上記ステップS30において第1記録部97により記録した事前測定値との差分に基づいて、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）による力を算出する。そして、第3表示制御部103により、第1人体反応力算出部101により算出した人体反応力に関連する表示内容を、タッチパネル65に表示させる。その後、自動運動処理を終了し、前述のステップS40に移る。

[0102] なお、以上では訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明したが、訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」に設定された場合には、図19におけるステップS100及びステップS200が2回繰り返されることにより1サイクルとなる。この場合、図20において、ステップS110及びステップS120は実行せず、ステップS130及びステップS140のみ実行し、ステップS140では第4回転位置P4又は第6回転位置P6に到達したか否かを判定する。また、図21において、ステップS240では第5回転位置P5又は第7回転位置P7に到達したか否かを判定する。

[0103] また、前述の刺激付与処理部83による手指の人体反応を誘発する刺激を訓練対象者に付与する処理、及び、タッピング実行部105によりタッピング機構5を駆動させてタッピングを実行する処理は、上述したフローチャートとは異なる別のルーチンにて実行される。

[0104] （1－5．第1実施形態による効果）

以上説明したように、本実施形態の指訓練装置1は、手指53の指先部63を保持する装具19と、回転軸23周りに回転し、装具19を回転軸23周りに移動させるアーム15と、アーム15の回転と連動して回転し、装具19を回転軸25周りに回転させる遊星歯車17と、を有する。

[0105] これにより、アーム15の回転動作により指先部63の位置を規定することができ、遊星歯車17の回転動作により指先部63の角度を規定することができる。これにより、指先部63の軌道を規定することが可能となるので、アーム15と遊星歯車17とを連動させた簡素な構造で手指53の動作を

規定できる。

[0106] また、本実施形態では特に、指訓練装置 1 は、旋回軸 2 3 の位置に固定して配置された固定歯車 1 3 をさらに有し、遊星歯車 1 7 は、固定歯車 1 3 に噛み合い、自転しつつ固定歯車 1 3 の周りを公転する、回転軸 2 5 が連結された遊星歯車であり、アーム 1 5 は、一端に旋回軸 2 3 が連結され、他端に回転軸 2 5 が回転可能に挿通されている。

[0107] このような構造により、アーム 1 5 が旋回軸 2 3 周りに旋回すると固定歯車 1 3 と噛み合った遊星歯車 1 7 が回転する。これにより、アーム 1 5 の旋回（装具 1 9 の旋回）と遊星歯車 1 7 の回転（装具 1 9 の回転）とを連動させた機構を実現できる。

[0108] また、本実施形態では特に、遊星歯車 1 7 は、楕円形状の歯車である。

[0109] これにより、アーム 1 5 を同一角速度で旋回させながら、遊星歯車 1 7 の回転速度を変化させることができる。その結果、遊星歯車 1 7 に固定された装具 1 9 の角度変化にも変化を生じさせることができるので、装具 1 9 に保持された指先部 6 3 の軌道を可変にすることができる。

[0110] また、本実施形態では特に、アーム 1 5 は、遊星歯車 1 7 の回転半径が最も短くなる角度位置よりも最も長くなる角度位置に近い角度位置を旋回開始位置とし、回転半径が最も短くなる角度位置に向けて旋回する。

[0111] これにより、遊星歯車 1 7 の回転速度を低速から高速に徐々に変化させることができる。したがって、手指 5 3 の伸展・屈曲の際に指先部 6 3 の角度を遅く変化させる動き（伸展の際に第 1 関節 5 7 が第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 よりも遅く伸び、屈曲の際に第 1 関節 5 7 が第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 よりも遅く曲がる動き）を実現できる。

[0112] また、本実施形態では特に、アーム 1 5 は、遊星歯車 1 7 の回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置を旋回開始位置とし、回転半径が最も長くなる角度位置に向けて旋回する。

[0113] これにより、遊星歯車 1 7 の回転速度を高速から低速に徐々に変化させることができる。したがって、手指 5 3 の伸展・屈曲の際に指先部 6 3 の角度

を早く変化させる動き（伸展の際に第１関節５７が第２関節５９及び第３関節６１よりも速く伸び、屈曲の際に第１関節５７が第２関節５９及び第３関節６１よりも速く曲がる動き）を実現できる。

[0114] また、本実施形態では特に、指訓練装置１は、アーム１５の旋回開始位置を、遊星歯車１７の回転半径が所望の半径となる位置に切り替え可能に構成されている。

[0115] これにより、訓練対象者の訓練状況や回復状況に応じて指先部６３の軌道を可変させることが可能となり、適切な訓練を実行することができる。

[0116] また、本実施形態では特に、装具１９は、指先部６３の保持位置をアーム１５の延設方向に移動可能な移動機構２９を有する。

[0117] これにより、訓練種別や訓練対象者の体格差（手指の長さ、太さ等）に応じて装具１９の位置を変更することができ、適切に指先部６３を保持することができる。

[0118] また、本実施形態では特に、指訓練装置１は、アーム１５を旋回軸２３周りに旋回させる第１駆動モータ１１と、第１駆動モータ１１を制御するコントローラ７と、装具１９が指先部６３から受ける力を測定する第１トルク算出部７９（力センサ３３でもよい）と、をさらに有し、コントローラ７は、所定の準備速度でアーム１５を旋回させた際に、第１トルク算出部７９（力センサ３３でもよい）で測定した事前測定値を記録する第１記録部９７と、所定の訓練速度でアーム１５を旋回させた際に、第１トルク算出部７９（力センサ３３でもよい）で測定した訓練中測定値を記録する第２記録部９９と、訓練中測定値と事前測定値との差分に基づいて、手指５３の人体反応による力を算出する第１人体反応力算出部１０１と、を有する。

[0119] 手指５３には、可動範囲ごとに腱や筋肉による戻ろうとする力が生じる。これを訓練の実行前に事前測定値として記録しておき、訓練中に測定した訓練中測定値と事前測定値との差分をとることにより、上記腱や筋肉による戻ろうとする力をキャンセルさせて、人体反応（伸張反射）による力を算出することができる。これにより、詳細な人体反応の測定が可能となり、訓練対

象者の回復状態がより詳細に分かる訓練装置を実現できる。

[0120] また、本実施形態において、装具 19 又は回転軸 25 に、装具 19 が指先部 63 から受ける力を測定する力センサ 33 を設けた場合には、次のような効果を得る。

[0121] これにより、指先部 63 の軌道に対して概略接線方向の力を測定できるので、訓練対象者の随意運動による力や、腱や筋肉による戻ろうとする力等を、精度良く測定できる。また、当該測定結果を用いてインピーダンス制御を行うことにより、訓練対象者が自動運動を行う際に、装置の重量等による反力をキャンセルしつつ各手指 53 に対して所定の抵抗力又はアシスト力を付与し、筋肉の緊張を維持させて訓練効果を向上することが可能となる。

[0122] また、本実施形態では特に、指訓練装置 1 は、回転軸 25 に配置され、手指 53 の伸展又は屈曲が可能な位置に装具 19 を着脱可能な第 1 着脱部 35 と、アーム 15 に配置され、母指 53 の掌側外転又は掌側内転が可能な位置に装具 19 を着脱可能な第 2 着脱部 37 と、をさらに有する。

[0123] これにより、単体の訓練装置において、母指を含む 5 本の手指に対する伸展・屈曲動作と、母指に対する掌側外転・掌側内転動作を訓練することが可能となる。したがって、各手指の複雑な動作に対応できる訓練装置を実現できる。

[0124] また、本実施形態では特に、指訓練装置 1 は、手指 53 の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、手指 53 の付け根位置近傍をタッピングするタッピング機構 5 をさらに有する。

[0125] 例えば脳血管疾患等により手指が麻痺した訓練対象者は、伸展動作がし難い状況になる。このため、伸展動作前に、訓練対象の手指の付け根付近をタッピングすることで、訓練対象者に指の動作タイミングを意識させることが可能となり、訓練の効果をより高めることができる。

[0126] また、本実施形態では特に、指訓練装置 1 は、タッピング機構 5 を駆動する第 3 駆動モータ 41 をさらに有し、コントローラ 7 は、第 1 駆動モータ 11 によりアーム 15 を旋回させて手指 53 を外力により運動させる他動運動

から訓練対象者による手指５３の自発的な運動を受けてアーム１５を旋回させる自動運動に切り替わるタイミングで、タッピングを実行するように第３駆動モータ４１を制御するタッピング実行部１０５を有する。

[0127] これにより、他動運動から自動運動への切り替え時に人体反応（例えば伸張反射等）を誘発することが可能となり、訓練の効果をより高めることができる。

[0128] また、本実施形態では特に、コントローラ７は、ユーザの設定入力に基づいてタッピングを実行するタイミングを設定するタイミング設定部１０７を有する。

[0129] これにより、ユーザが任意にタッピングのタイミングを設定することができるので、訓練対象者の状況や訓練指導者（例えば理学療法士や作業療法士等）の指導内容等に基づいてタイミングを適宜設定・変更することで、訓練の効果をより高めることができる。

[0130] また、本実施形態では特に、指訓練装置１は、手指５３の動作に関連する人体部位に所定の刺激を付与する刺激付与装置１０９と、刺激付与装置１０９を制御するコントローラ７と、をさらに有し、コントローラ７は、第１駆動モータ１１によりアーム１５を旋回させて手指５３を外力により運動させる他動運動から訓練対象者による手指５３の自発的な運動を受けてアーム１５を旋回させる自動運動に切り替わるタイミングで、刺激を付与するように刺激付与装置１０９を制御する刺激付与処理部８３を有する。

[0131] これにより、他動運動から自動運動への切り替え時に、様々な刺激により人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）を誘発することが可能となり、訓練の効果をより高めることができる。

[0132] また、本実施形態では特に、指訓練装置１は、第１駆動モータ１１の回転位置を検出するエンコーダ２４をさらに有し、コントローラ７は、第１駆動モータ１１によりアーム１５を旋回させて手指５３を外力により運動させる他動運動を行う際に、第１駆動モータ１１を第１設定速度Ｖ１で駆動させる第１他動運動制御部６７と、他動運動を行う際に、第１駆動モータ１１を第

１ 設定速度 V_1 よりも高速の第２ 設定速度 V_2 で駆動させる第２ 他動運動制御部 ６ ９ と、訓練対象者による手指 ５ ３ の自発的な運動を受けてアーム １ ５ を旋回させる自動運動を行う第１ 自動運動制御部 ７ １ と、エンコーダ ２ ４ により検出された回転位置に基づいて、第１ 他動運動制御部 ６ ７ による制御と、第２ 他動運動制御部 ６ ９ による制御と、第１ 自動運動制御部 ７ １ による制御とを切り替える第１ 制御切替部 ７ ５ と、を有する。

[0133] このように、他動運動において自動運動への切り替え前に第１ 駆動モータ １ １ が比較的高速な第２ 設定速度 V_2 で駆動するように回転速度を制御することで、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）を励起させ、その後自動運動へ切り替えた際に訓練対象者の人体反応を利用して筋肉を刺激することが可能となり、運動機能を回復させる効果を高めることができる。

[0134] また、本実施形態では特に、指訓練装置 １ は、訓練に関する表示を行うタッチパネル ６ ５ をさらに有し、コントローラ ７ は、第１ 制御切替部 ７ ５ により第２ 他動運動制御部 ６ ９ による制御から第１ 自動運動制御部 ７ １ による制御へ切り替えた時点から所定時間経過するまでの間に手指 ５ ３ の人体反応によりアーム １ ５ が旋回した量である人体反応量を、エンコーダ ２ ４ の検出結果に基づいて算出する第１ 人体反応量算出部 ８ ５ と、人体反応量をタッチパネル ６ ５ に表示させる第１ 表示制御部 ８ ７ と、を有する。

[0135] これにより、人体反応の有無や人体反応量を可視化することができる。その結果、訓練対象者の訓練に対するモチベーションを向上できると共に、訓練指導者（例えば理学療法士や作業療法士等）が表示内容を活用することでより適切な訓練を行うことができる。

[0136] （１－６．変形例）

以上、添付図面を参照しながら第１ 実施の形態について詳細に説明した。しかしながら、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範囲は、ここで説明した実施の形態に限定されるものではない。本実施形態の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、技術的思想の範囲内において、

様々な変更や修正、組み合わせなどを行うことに想到できることは明らかである。従って、これらの変更や修正、組み合わせなどが行われた後の技術も、当然に技術的思想の範囲に属するものである。

[0137] (1-6-1. 旋回軸と回転軸の軸方向を水平方向とする場合)

上記第1実施形態では、アーム15の旋回軸23や遊星歯車17の回転軸25の軸方向が略上下方向となるように指訓練装置1を構成したが、これに限定されるものではない。例えば、旋回軸23や回転軸25が略水平方向となるように指訓練装置を構成してもよい。

[0138] 図22に、本変形例に係る指訓練装置1Aの指動作機構3Aの構成の一例を示す。なお、図22において前述の図1と同様の構成には同符号を付し、説明を省略する。また、図22ではタッピング機構5及び訓練対象者の手掌を支持する支持台等の図示を省略している。

[0139] 図22に示すように、指動作機構3Aは、架台139と、第1駆動モータ11と、固定歯車13と、アーム15と、遊星歯車17と、支持軸141と、装具143とを有する。架台139は、一对の側板145と、天板147とを有する。固定歯車13は、一方の側板145の側面に固定して配置されている。固定歯車13には、旋回軸23が略水平方向に回転可能に挿通されている。アーム15は、固定歯車13の側方に配置され、旋回軸23（旋回軸心AX1）周りに旋回し、支持軸141及び装具143を旋回軸23周りに移動させる。遊星歯車17には、回転軸25（回転軸心AX2）が略水平方向に連結されている。遊星歯車17は、アーム15により固定歯車13の周囲を回転可能に支持されている。

[0140] 支持軸141は、第1着脱部35を介して回転軸25に着脱可能に連結されている。支持軸141の先端には、訓練対象者の手指の指先部を保持する装具143が設けられている。装具143は、この例では円環状に形成されており、訓練対象の手指の指先部が挿通される。図示は省略するが、装具143の内側に力センサを設けてもよい。また、力センサの代わりに、例えば支持軸141の撓みを測定するひずみゲージを設けてもよい。

[0141] 本変形例の構成においても、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0142] (1-6-2. 固定歯車と遊星歯車を回転中心歯車とする場合)

上記第1実施形態では、指訓練装置1の固定歯車13及び遊星歯車17の両方が共に非回転中心歯車（旋回軸や回転軸が歯車中心からオフセットした歯車）である場合を一例として説明したが、歯車機構はこれに限定されるものではない。例えば、固定歯車及び遊星歯車の両方を回転中心歯車（旋回軸や回転軸が歯車中心位置にある歯車）とすることも可能である。

[0143] 図23に、本変形例の歯車機構の動作の一例を示す。図23に示すように、本変形例の固定歯車130は、楕円形状の平歯車（半径が不均一な歯車の一例）である。固定歯車130には、歯車中心位置に、旋回軸23（旋回軸心AX1）が回転可能に挿通されている。遊星歯車170は、この例では固定歯車130と同じ形状、歯数の楕円形状の平歯車（半径が不均一な歯車の一例）である。なお、固定歯車130と遊星歯車170の歯数を異ならせてもよい。遊星歯車170には、歯車中心位置に、回転軸25（回転軸心AX2）が連結されている。

[0144] 遊星歯車170が固定歯車130の周りを1周する間、回転軸25（回転軸心AX2）と旋回軸23（旋回軸心AX1）との距離は半径 r で一定である。つまり、遊星歯車170の回転軸25（回転軸心AX2）は、旋回軸23（旋回軸心AX1）を中心に半径 r の円の軌跡を描く。

[0145] 図23では、遊星歯車170が回転軸25（回転軸心AX2）周りに90度ずつ回転（自転）した状態を示している。ここでは説明の便宜上、遊星歯車170の長軸が固定歯車130の短軸と同一軸上の位置した状態の一方を、遊星歯車170Aとする。また、遊星歯車170Aが、回転軸25（回転軸心AX2）周りに反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車170Bとする。同様に、遊星歯車170Bが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車170C、遊星歯車170Cが反時計回り方向に90度回転した状態を遊星歯車170D、遊星歯車170Dが反時計回り方向に90度回

転した状態を遊星歯車 170E、遊星歯車 170E が反時計回り方向に 90 度回転した状態を遊星歯車 170F、遊星歯車 170F が反時計回り方向に 90 度回転した状態を遊星歯車 170G、遊星歯車 170G が反時計回り方向に 90 度回転した状態を遊星歯車 170H、遊星歯車 170H が反時計回り方向に 90 度回転した状態を遊星歯車 170A とする。

[0146] 遊星歯車 170A, 170B, 170C, 170D, 170E, 170F, 170G, 170H のそれぞれにおける回転半径は、 $r_a, r_b, r_c, r_d, r_e, r_f, r_g, r_h$ となる。各回転半径の大小関係は、 $r_a = r_e > r_b = r_d = r_f = r_h > r_c = r_g$ である。そして、アーム 15 の旋回角速度を一定とした場合、遊星歯車 170A ~ 170H のそれぞれにおける回転軸 25 (回転軸心 AX2) の円周方向の速度 V も一定となることから、遊星歯車 170 の回転軸 25 (回転軸心 AX2) 周りの角速度 ω は、回転半径 $R_a \sim R_h$ が小さいほど大きくなる。したがって、遊星歯車 170A, 170B, 170C, 170D, 170E, 170F, 170G, 170H のそれぞれにおける角速度を $\omega_a, \omega_b, \omega_c, \omega_d, \omega_e, \omega_f, \omega_g, \omega_h$ とすると、大小関係は、 $\omega_c = \omega_g > \omega_b = \omega_d = \omega_f = \omega_h > \omega_a = \omega_e$ となる。

[0147] したがって、本変形例においても、アーム 15 を同一角速度で旋回させながら、遊星歯車 170 の角速度を変化させることができる。その結果、アーム 15 の旋回範囲を図 23 に示す角度範囲のどの範囲に設定するかに応じて、遊星歯車 170 に固定された装具 19 の回転速度 (角度変化) にも所望の変化を生じさせ、装具 19 に保持された指先部の軌道を可変にできる。

[0148] 例えば、アーム 15 を、遊星歯車 170 が長軸近傍で固定歯車 130 と噛み合う位置 (遊星歯車 170A, 170E) を旋回開始位置とし、遊星歯車 170 が短軸近傍で固定歯車 130 と噛み合う位置 (遊星歯車 170C, 170G) に向けて旋回させる場合、遊星歯車 170 の回転速度を低速から高速に徐々に変化させることができる。したがって、手指 53 の伸展・屈曲の際に指先部 63 の角度を遅く変化させる動き (伸展の際に第 1 関節 57 が第

2関節59及び第3関節61よりも遅く伸び、屈曲の際に第1関節57が第2関節59及び第3関節61よりも遅く曲がる動き）を実現できる。

[0149] また反対に、アーム15を、遊星歯車170が短軸近傍で固定歯車130と噛み合う位置（遊星歯車170C, 170G）を旋回開始位置とし、遊星歯車170が長軸近傍で固定歯車130と噛み合う位置（遊星歯車170A, 170E）に向けて旋回させる場合、遊星歯車170の回転速度を高速から低速に徐々に変化させることができる。したがって、手指53の伸展・屈曲の際に指先部63の角度を早く変化させる動き（伸展の際に第1関節57が第2関節59及び第3関節61よりも速く伸び、屈曲の際に第1関節57が第2関節59及び第3関節61よりも速く曲がる動き）を実現できる。

[0150] （1-6-3. 歯車形状のバリエーション）

上記第1実施形態では、固定歯車を円形状、遊星歯車を楕円形状とした場合について説明したが、反対に、固定歯車を楕円形状、遊星歯車を円形状としてもよい。また、装具19の回転速度（角度変化）に所望の変化を生じさせるためには、固定歯車又は遊星歯車の少なくとも一方を半径が不均一な歯車とすればよく、以上の第1実施形態等で説明した楕円形状は一例であり、その他にも例えば三角形や四角形等の多角形状とすることも可能である。

[0151] さらに、固定歯車及び遊星歯車は必ずしも半径が不均一な歯車である必要はなく、例えば図24に示すように、固定歯車230及び遊星歯車270の両方を回転中心歯車且つ円形状の歯車としてもよい。遊星歯車270が固定歯車230の周りを1周する間、回転軸25（回転軸心AX2）と旋回軸23（旋回軸心AX1）との距離は半径 r で一定である。つまり、遊星歯車270の回転軸25（回転軸心AX2）は、旋回軸23（旋回軸心AX1）を中心に半径 r の円の軌跡を描く。この場合、アーム15の旋回角速度を一定とすると装具19の回転速度（角度変化）も一定となるが、アーム15の旋回角速度を変化させることで、装具19の回転速度（角度変化）に所望の変化を生じさせてもよい。

[0152] <2. 第2実施形態>

(2-1. 指訓練装置の構成)

次に、図25及び図26を参照しつつ、第2実施形態に係る指訓練装置の構成の一例について説明する。図25は本実施形態に係る指訓練装置の全体構成の一例を示す斜視図、図26は歯車機構の動作の一例を示す説明図である。なお、以下において、指訓練装置の構成の説明の便宜上、図25に示す上下左右前後等の方向を適宜使用する場合があるが、指訓練装置の各構成の位置関係を限定するものではない。

[0153] 図25に示すように、指訓練装置501は、フレーム503と、指動作機構505と、コントローラ507（後述の図39参照）とを有する。なお、図25ではコントローラ507の図示を省略している。

[0154] フレーム503は、略矩形枠状のベースフレーム509と、ベースフレーム509上に立設された複数（この例では5本）の支柱フレーム511a～511eと、支柱フレーム511a～511e間に架け渡された複数（この例では4本）の梁フレーム513a～513dとを有する。支柱フレーム511aは、ベースフレーム509の右前側の角に立設され、支柱フレーム511bは、ベースフレーム509の前側の左右方向中間位置に立設され、支柱フレーム511cは、ベースフレーム509の左前側の角に立設され、支柱フレーム511dは、ベースフレーム509の左後側の角に立設され、支柱フレーム511eは、ベースフレーム509の右後側の角に立設されている。また、梁フレーム513dは、支柱フレーム511dの上部と支柱フレーム511eの上部を連結し、梁フレーム513aは、支柱フレーム511aの上部と支柱フレーム511eの上部を連結し、梁フレーム513bは、支柱フレーム511bの上部と梁フレーム513dの左右方向中間位置を連結し、梁フレーム513cは、支柱フレーム511cの上部と支柱フレーム511dの上部を連結する。なお、図25では、指動作機構505の構造を明示するために、支柱フレーム511b、511c及び梁フレーム513b、513cの一部の図示を省略している。また、上述したフレーム503の構成は一例であり、上記以外の構成としてもよい。

- [0155] 指動作機構 505 は、第 1 指動作機構 515 と、第 2 指動作機構 517 とを有する。第 1 指動作機構 515 は、主として手指の第 1 関節及び第 2 関節の伸展及び屈曲の動作を実行し、第 2 指動作機構 517 は、主として手指の第 3 関節の伸展及び屈曲の動作を実行する。
- [0156] 第 1 指動作機構 515 は、ベース 519 と、第 1 駆動モータ 521 と、固定歯車 523 と、アーム 525 と、遊星歯車 527 と、複数の連結部材 529a～529c と、装具 531 とを有する。
- [0157] 第 1 駆動モータ 521（第 1 モータの一例）は、回転型のモータであり、アーム 525 を回転軸 533（第 1 回転軸の一例）の回転軸心 AX4 周りに回転させる。第 1 駆動モータ 521 は、板状のベース 519 の右側面に取り付けられ、回転軸方向が左右方向（水平方向）に沿うように横向きに配置されている。第 1 駆動モータ 521 の出力軸は回転軸 533 に連結され、当該回転軸 533 がアーム 525 の一端に連結されている。なお、第 1 駆動モータ 521 の出力軸を減速機を介して回転軸 533 に連結してもよい。第 1 駆動モータ 521 の回転位置は、エンコーダ 524（第 1 回転位置センサの一例。後述の図 39 参照）により検出される。第 1 駆動モータ 521 は、コントローラ 507 により、エンコーダ 524 の検出結果に基づいて位置、速度及びトルクの少なくとも 1 つを制御されるサーボモータである。なお、例えばレゾルバやポテンシオメータ等、エンコーダ以外の回転位置センサを用いてもよい。
- [0158] 固定歯車 523 は、ベース 519 の左側面に固定して配置されている。つまり、固定歯車 523 はベース 519 に対して回転しないように固定されている。図 26 に示すように、固定歯車 523 は円形状の平歯車である。なお、図 26 に示す固定歯車 523 の歯数是一例であり、これに限定されるものではない。固定歯車 523 の中心位置には、回転軸 533 が略左右方向に回転可能に挿通されている。回転軸 533 は、固定歯車 523 に設けられた軸受（図示省略）により回転可能に支持されている。
- [0159] アーム 525（第 1 回転部材の一例）は、固定歯車 523 の左側に配置さ

れ、旋回軸 5 3 3（旋回軸心 A X 4）周りに旋回し、装具 5 3 1 を旋回軸 5 3 3 周りに移動させる。アーム 5 2 5 の一方側の端部近傍には旋回軸 5 3 3 が連結されている。また、アーム 5 2 5 の他方側の端部近傍には遊星歯車 5 2 7 の回転軸 5 3 5 が回転可能に挿通されている。アーム 5 2 5 は、他方側の端部に回転軸 5 3 5 を回転可能に支持している。

[0160] 遊星歯車 5 2 7（回転部材の一例）は、アーム 5 2 5 の旋回と連動して回転し、連結部材 5 2 9 a～5 2 9 c を介して装具 5 3 1 を回転軸 5 3 5 の回転軸心 A X 5 周りに回転させる。図 2 6 に示すように、遊星歯車 5 2 7 は円形状の平歯車であり、固定歯車 5 2 3 に噛み合い、自転しつつ固定歯車 5 2 3 の周りを公転する。なお、図 2 6 に示す例では遊星歯車 5 2 7 の歯数を固定歯車 5 2 3 と同じ数としているが、歯数を異ならせてもよい。遊星歯車 5 2 7 の中心位置には、回転軸 5 3 5 が略左右方向に立設して連結されている。回転軸 5 3 5 は、アーム 5 2 5 に設けられた軸受（図示省略）により回転可能に支持されている。遊星歯車 5 2 7 は、アーム 5 2 5 により回転可能に支持されている。

[0161] 連結部材 5 2 9 a～5 2 9 c は、訓練対象者が手指の指先部を装具 5 3 1 に装着しやすいように、装具 5 3 1 を適宜の位置に配置するために設けられている。連結部材 5 2 9 a は棒状の部材であり、一方側の端部が回転軸 5 3 5 に連結されることで、遊星歯車 5 2 7 の自転に伴って回転軸 5 3 5 の回転軸心 A X 5 周りに旋回する。連結部材 5 2 9 b は棒状（例えば円柱状）の部材であり、左右方向（水平方向）に沿って配置され、一方側（右側）の端部が連結部材 5 2 9 a の他方側の端部に連結されている。連結部材 5 2 9 c は棒状の部材であり、一方側の端部が連結部材 5 2 9 b の他方側の端部に連結されている。装具 5 3 1 は、連結部材 5 2 9 c の他方側の端部の前側に、回転軸 5 3 7 周りに回転可能に設けられている。

[0162] なお、ベースフレーム 5 0 9 には、訓練対象者の手掌を支持する支持台 5 3 9 が、連結部材 5 2 9 b を前後方向に跨るように設置される。訓練対象者は、手掌を支持台 5 3 9 に載せた状態で、訓練対象である手指の指先部を装

具 5 3 1 に装着する。なお、支持台 5 3 9 はベースフレーム 5 0 9 に対して着脱可能に設置されており、左右の手のいずれを訓練するか、及び、どの手指を訓練するか等に応じて、支持台 5 3 9 の位置を例えば左右方向に変更したり、傾斜を変更したり、他の種類の支持台に交換する等が可能である。

[0163] 装具 5 3 1 は、例えばリング状の部材であり、挿入された訓練対象者の手指の指先部を保持する。装具 5 3 1 の内側には、例えばゴム、樹脂、ウレタン等の柔軟な材料が設けられており、指の太さや形状に応じて変形し、指先部を適切に保持することができる。また、装具 5 3 1 は、上述のように回転軸 5 3 7 周りに回転可能であり、指先部の傾斜に応じた角度で指先部を保持することが可能である。

[0164] なお、装具 5 3 1 の内側に、装具 5 3 1 が指先部から受ける力を測定する力センサ 5 4 1（測定部、センサの一例。後述の図 3 9 参照）を設けてもよい。力センサ 5 4 1 を設けた場合には、指先部の軌道に対して概略接線方向の力を測定できるので、訓練対象者の随意運動による力や、腱や筋肉による戻ろうとする力等を、精度良く測定できる。なお、力センサの代わりに、例えば回転軸 5 3 5 の撓みを測定するひずみゲージを設けてもよい。

[0165] なお、上述した第 1 指動作機構 5 1 5 の構成は一例であり、上記以外の構成としてもよい。例えば、連結部材 5 2 9 a ~ 5 2 9 c の代わりに他の連結構造を採用したり、連結部材 5 2 9 a ~ 5 2 9 c を設けずに、装具 5 3 1 をアーム 5 2 5 に配置してもよい。

[0166] 第 2 指動作機構 5 1 7 は、第 2 駆動モータ 5 4 3 と、ウォームギア 5 4 5 と、カップリング 5 4 7 と、旋回軸 5 4 9 と、一对の支持アーム 5 5 1 と、一对の旋回アーム 5 5 3 とを有する。

[0167] 第 2 駆動モータ 5 4 3（第 2 モータの一例）は、回転型のモータであり、旋回アーム 5 5 3 を旋回軸 5 4 9 の旋回軸心 A X 6 周りに回転させる。第 2 駆動モータ 5 4 3 は、固定部材（図示省略）によりフレーム 5 0 3 の適宜の部位（例えば支柱フレーム 5 1 1 a 又は梁フレーム 5 1 3 a）に固定され、回転軸方向が略上下方向に沿うように縦向きに配置されている。第 2 駆動モ

ータ543の出力軸は、第2駆動モータ543の下方に配置されたウォームギア545に連結されている。ウォームギア545は、第2駆動モータ543の動力の伝達方向を上下方向から左右方向に変更するとともに、回転速度を減速する。ウォームギア545の出力軸は、カップリング547を介して、回転軸549に連結されている。

[0168] 第2駆動モータ543の回転位置は、エンコーダ555（第2回転位置センサの一例。後述の図39参照）により検出される。第2駆動モータ543は、コントローラ507により、エンコーダ555の検出結果に基づいて位置、速度及びトルクの少なくとも1つを制御されるサーボモータである。第1駆動モータ521及び第2駆動モータ543は、コントローラ507により独立して制御される。なお、例えばレゾルバやポテンショメータ等、エンコーダ以外の回転位置センサを用いてもよい。

[0169] 回転軸549（第2回転軸の一例）は、左右方向に所定の距離をあけて配置された一对の支持アーム551により、回転軸心AX6周りに回転可能に支持されている。一对の支持アーム551は、ベース部557を介してフレーム503の適宜の部位（例えば支柱フレーム511b）に固定されている。

[0170] 一对の旋回アーム553（第2旋回部材の一例）は、ベース部559の長手方向の両端に連結されており、所定の距離をあけて対向するように配置されている。ベース部559は、長手方向の略中心位置が回転軸549に連結されている。これにより、ベース部559と一对の旋回アーム553は、回転軸549の回転に伴って回転軸心AX6周りに旋回する。一对の旋回アーム553は、第1駆動モータ521等が取り付けられたベース519を挟むように支持している。これにより、一对の旋回アーム553は、アーム525、固定歯車523、遊星歯車527、及び第1駆動モータ521等を含む第1指動作機構515を、回転軸549（回転軸心AX6）周りに移動させることが可能である。なお、一对の旋回アーム553の各々の内側には、ベース519が嵌合される溝553aが形成されており、ベース519を旋回

アーム 5 5 3 の延設方向に沿って移動させ、例えばネジ（図示省略）等により適宜の位置で固定することが可能である。これにより、第 1 指動作機構 5 1 5 の旋回軸 5 3 3 又は回転軸 5 3 5 の旋回軸 5 4 9 に対する旋回半径を調整可能となっている。

[0171] なお、上述した第 2 指動作機構 5 1 7 の構成は一例であり、上記以外の構成としてもよい。例えば、ウォームギア 5 4 5 を設けずに、第 2 駆動モータ 5 4 3 を横向きに配置してもよい。但し、本実施形態のようにウォームギア 5 4 5 を介して第 2 駆動モータ 5 4 3 を縦向きに配置することで、指訓練装置 5 0 1 の左右方向の寸法を小型化できる。

[0172] なお、図 2 5 では図示を省略したが、前述の第 1 実施形態と同様に、指訓練装置 5 0 1 に、指動作機構 5 0 5 により手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、訓練対象の手指の付け根位置近傍をタッピングするためのタッピング機構を設けてもよい。この場合、タッピング機構の接触部、アーム、駆動モータ等を、例えば旋回アーム 5 5 3 等に設置してもよい。

[0173] 図 2 6 に示すように、固定歯車 5 2 3 及び遊星歯車 5 2 7 は、共に回転中心歯車且つ円形状の平歯車である。遊星歯車 5 2 7 が固定歯車 5 2 3 の周りを 1 周する間、回転軸 5 3 5（回転軸心 A X 5）と旋回軸 5 3 3（旋回軸心 A X 4）との距離は半径 r で一定である。つまり、遊星歯車 5 2 7 の回転軸 5 3 5（回転軸心 A X 5）は、旋回軸 5 3 3（旋回軸心 A X 4）を中心に半径 r の円の軌跡を描く。本実施形態では、アーム 5 2 5 の旋回角速度を一定とすると装具 5 3 1 の回転速度（角度変化）も一定となるが、アーム 5 2 5 の旋回角速度を変化させることで、装具 5 3 1 の回転速度（角度変化）に所望の変化を生じさせてもよい。

[0174] （2－2．指訓練装置による手指の屈曲・伸展動作）

次に、図 2 7～図 3 8 を参照しつつ、指訓練装置 5 0 1 による手指の屈曲・伸展動作の一例について説明する。図 2 7～図 3 8 は手指の屈曲・伸展動作の一例を表す説明図である。なお、図 2 7～図 3 8 では、説明の便宜上、手指 5 3、手掌 5 5、手指 5 3 が有する第 1 関節 5 7、第 2 関節 5 9、第 3

関節 6 1 及び指先部 6 3 を概念的に破線で示す。また、指動作機構 5 0 5 の装具 5 3 1 以外の図示を省略している。

[0175] まず、図 2 7 ～図 2 9 に、母指以外の四指（示指、中指、環指、小指）の主として第 1 関節 5 7（D I P 関節）及び第 2 関節 5 9（P I P 関節）の屈曲及び伸展を行う場合の一例を示す。図 2 7、図 2 8 及び図 2 9 の順に動作する場合は、手指を屈曲させる動作となり、反対に図 2 9、図 2 8 及び図 2 7 の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。

[0176] 図 2 7 ～図 2 9 に示すように、手指 5 3 の指先部 6 3 が装具 5 3 1 に装着された状態で、第 1 駆動モータ 5 2 1 によりアーム 5 2 5 が旋回軸 5 3 3 周りに旋回される。これにより、指先部 6 3 の旋回軸 5 3 3 周りの位置が規定されると共に、遊星歯車 5 2 7 の回転動作により指先部 6 3 の角度が規定され、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 が相対的に大きく屈曲・伸展動作するように指先部 6 3 の軌道が規定される。一方、図 2 7 ～図 2 9 に示す例では、第 2 駆動モータ 5 4 3 は駆動されず、装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 は旋回軸 5 4 9 周りに旋回されない。これにより、第 3 関節 6 1 については、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 に比べて相対的に小さく屈曲・伸展動作するか、あるいは、屈曲・伸展動作しない。その結果、主として第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0177] 次に、図 3 0 ～図 3 2 に、母指以外の四指の主として第 3 関節 6 1（M P 関節）の屈曲及び伸展を行う場合の一例を示す。図 3 0、図 3 1 及び図 3 2 の順に動作する場合は、手指を屈曲させる動作となり、反対に図 3 2、図 3 1 及び図 3 0 の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。

[0178] 図 3 0 ～図 3 2 に示すように、手指 5 3 の指先部 6 3 が装具 5 3 1 に装着された状態で、第 2 駆動モータ 5 4 3 により装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 が旋回軸 5 4 9 周りに旋回される。これにより、指先部 6 3 の旋回軸 5 4 9 周りの位置及び角度が規定され、第 3 関節 6 1 が相対的に大きく屈曲・伸展動作するように指先部 6 3 の軌道が規定される。一方、図 3 0 ～図 3 2 に示す例では、第 1 駆動モータ 5 2 1 は駆動されず、アーム 5 2 5 は旋

回転軸 5 3 3 周りに旋回されない。これにより、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 については、第 3 関節 6 1 に比べて相対的に小さく屈曲・伸展動作するか、あるいは、屈曲・伸展動作しない。その結果、主として第 3 関節 6 1 の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0179] 次に、図 3 3～図 3 5 に、母指以外の四指の第 1 関節 5 7（D I P 関節）、第 2 関節 5 9（P I P 関節）及び第 3 関節 6 1（M P 関節）の全ての関節の屈曲及び伸展を行う場合の一例を示す。図 3 3、図 3 4 及び図 3 5 の順に動作する場合は、手指を屈曲させる動作となり、反対に図 3 5、図 3 4 及び図 3 3 の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。

[0180] 図 3 3 及び図 3 4 に示すように、手指 5 3 の指先部 6 3 が装具 5 3 1 に装着された状態で、第 1 駆動モータ 5 2 1 によりアーム 5 2 5 が回転軸 5 3 3 周りに旋回される。これにより、指先部 6 3 の回転軸 5 3 3 周りの位置が規定されると共に、遊星歯車 5 2 7 の回転動作により指先部 6 3 の角度が規定され、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 が相対的に大きく屈曲・伸展動作するように指先部 6 3 の軌道が規定される。この例では、この時点までは第 2 駆動モータ 5 4 3 は駆動されず、装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 は回転軸 5 4 9 周りに旋回されない。これにより、第 3 関節 6 1 については、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 に比べて相対的に小さく屈曲・伸展動作するか、あるいは、屈曲・伸展動作しない。その結果、図 3 3 及び図 3 4 においては、主として第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0181] その後、図 3 5 に示すように、第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動と並行して第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動が開始され、装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 が回転軸 5 4 9 周りに旋回される。これにより、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の動作と共に第 3 関節 6 1 が屈曲・伸展動作するように指先部 6 3 の軌道が規定される。その結果、図 3 5 においては、第 1 関節 5 7、第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 の全ての関節の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0182] なお、上記では、第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動後に第 2 駆動モータ 5 4 3

の駆動を開始し、先に第1関節57及び第2関節59の屈曲動作を開始するようにしたが、各モータの駆動タイミングは上記に限定されるものではない。例えば、上記とは反対に第2駆動モータ543の駆動後に第1駆動モータ521の駆動を開始するようにし、先に第3関節61の屈曲動作を開始してもよい。また、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の駆動開始タイミングを略同時とし、第1関節57、第2関節59及び第3関節61の全ての関節の屈曲動作を最初から行うようにしてもよい。

[0183] また、上記において、伸展動作を行う場合には、第2駆動モータ543の駆動後に第1駆動モータ521の駆動を開始し、先に第3関節61の伸展動作を開始し、その後第1関節57及び第2関節59の伸展動作を行う。但し、各モータの駆動タイミングは上記に限定されるものではない。例えば、上記とは反対に第1駆動モータ521の駆動後に第2駆動モータ543の駆動を開始するようにし、先に第1関節57及び第2関節59の伸展動作を開始してもよい。また、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の駆動開始タイミングを略同時とし、第1関節57、第2関節59及び第3関節61の全ての関節の伸展動作を最初から行うようにしてもよい。

[0184] 次に、図36～図38に、母指の第1関節57（IP関節）、第2関節59（MP関節）及び第3関節61（CM関節）の全ての関節の屈曲及び伸展を行う場合の一例を示す。図36、図37及び図38の順に動作する場合は、手指を屈曲させる動作となり、反対に図38、図37及び図36の順に動作する場合は、手指を伸展させる動作となる。

[0185] 図36及び図37に示すように、手指53の指先部63が装具531に装着された状態で、第1駆動モータ521によりアーム525が旋回軸533周りに旋回される。これにより、指先部63の旋回軸533周りの位置が規定されると共に、遊星歯車527の回転動作により指先部63の角度が規定され、第1関節57及び第2関節59が相対的に大きく屈曲・伸展動作するように指先部63の軌道が規定される。この例では、この時点までは第2駆動モータ543は駆動されず、装具531を含む第1指動作機構515は旋

回転軸 5 4 9 周りに旋回されない。これにより、第 3 関節 6 1 については、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 に比べて相対的に小さく屈曲・伸展動作するか、あるいは、屈曲・伸展動作しない。その結果、図 3 6 及び図 3 7 においては、主として第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0186] その後、図 3 8 に示すように、第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動と並行して第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動が開始され、装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 が回転軸 5 4 9 周りに旋回される。これにより、第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の動作と共に第 3 関節 6 1 が屈曲・伸展動作するように指先部 6 3 の軌道が規定される。その結果、図 3 8 においては、第 1 関節 5 7、第 2 関節 5 9 及び第 3 関節 6 1 の全ての関節の屈曲及び伸展動作が行われる。

[0187] なお、上記では、第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動後に第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動を開始するようにしたが、反対に第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動後に第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動を開始してもよい。また、第 1 駆動モータ 5 2 1 と第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動開始タイミングを略同時としてもよい。

[0188] また、上記において、伸展動作を行う場合には、第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動後に第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動を開始し、先に第 3 関節 6 1 の伸展動作を開始し、その後第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の伸展動作を行う。但し、反対に第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動後に第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動を開始してもよい。また、第 1 駆動モータ 5 2 1 と第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動開始タイミングを略同時としてもよい。

[0189] また、図 3 6 ～図 3 8 では、母指の全ての関節の屈曲及び伸展を行う場合について例示したが、前述の母指以外の四指の場合と同様に、主に第 1 駆動モータ 5 2 1 を駆動することにより主として第 1 関節 5 7 及び第 2 関節 5 9 の屈曲及び伸展を行ってもよいし、主に第 2 駆動モータ 5 4 3 を駆動することにより主として第 3 関節 6 1 の屈曲及び伸展を行ってもよい。

[0190] また、図示は省略するが、本実施形態の指訓練装置 5 0 1 においても、装具 5 3 1 を適宜の位置及び姿勢でアーム 5 2 5 に取り付けることにより、母

指の掌側外転又は掌側内転を行うことが可能である。

[0191] (2-3. コントローラの機能構成)

次に、図39～図41を参照しつつ、コントローラ507の機能構成の一例について説明する。図39はコントローラ507の機能構成の一例を表す説明図、図40及び図41は第2駆動モータ543の回転速度の変化の一例を表す説明図である。なお、図39において前述の図14と同様の機能については適宜説明を省略する。

[0192] コントローラ507は、CPUやメモリ等を備えたコンピュータとして構成される(後述の図45参照)。コントローラ507は、指訓練装置501専用のコントローラでもよいし、汎用PC等でもよい。コントローラ507は、訓練に関する表示や各種操作を行うためのタッチパネル561(表示部の一例)を一体又は別体として備えている。なお、タッチパネル561はタッチ機能を有しない単なる液晶表示部等でもよい。

[0193] 図39に示すように、コントローラ507は、第1他動運動制御部563と、第2他動運動制御部565と、第1自動運動制御部567と、訓練種別設定部569と、第1制御切替部571と、第1回転速度算出部573と、第1トルク算出部575と、第1速度指令算出部577と、第3他動運動制御部579と、第4他動運動制御部581と、第2自動運動制御部583と、第2制御切替部585と、第2回転速度算出部587と、第2トルク算出部589と、第2速度指令算出部591と、第2人体反応量算出部593と、第4表示制御部595と、第2可動域計測部597と、第2自動運動量算出部599と、第2達成率算出部601と、第5表示制御部603と、第3記録部605と、第4記録部607と、第2人体反応力算出部609と、第6表示制御部611とを有する。

[0194] 上記第1他動運動制御部563、第2他動運動制御部565、第1自動運動制御部567、訓練種別設定部569、第1制御切替部571、第1回転速度算出部573、第1トルク算出部575、及び第1速度指令算出部577については、前述の図14に示す、第1他動運動制御部67、第2他動運

動制御部 6 9、第 1 自動運動制御部 7 1、訓練種別設定部 7 3、第 1 制御切替部 7 5、第 1 回転速度算出部 7 7、第 1 トルク算出部 7 9、及び第 1 速度指令算出部 8 1 とそれぞれ同様であるため、説明を省略する。

[0195] 第 3 他動運動制御部 5 7 9 は、他動運動を行う際に、第 2 駆動モータ 5 4 3 が所定の第 3 設定速度 V_3 で駆動するように第 2 駆動モータ 5 4 3 の回転速度を制御する。「他動運動」とは、第 2 駆動モータ 5 4 3 により装具 5 3 1 を含む第 1 指動作機構 5 1 5 を旋回させて、訓練対象者の手指を外力により屈曲、伸展、掌側内転又は掌側外転させることをいう。なお、第 3 他動運動制御部 5 7 9 による制御は、速度指令に基づく速度制御でもよいし、速度が第 3 設定速度 V_3 となるように位置指令を順次変更する位置制御としてもよい。また、第 3 他動運動制御部 5 7 9 は、第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動開始タイミングを、第 1 他動運動制御部 5 6 3 による第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動開始タイミングと異ならせる。例えば、前述のように第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動後に第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動を開始してもよいし、反対に第 2 駆動モータ 5 4 3 の駆動後に第 1 駆動モータ 5 2 1 の駆動を開始してもよい。但し、両モータの駆動開始タイミングを略同時としてもよい。また、第 3 他動運動制御部 5 7 9 は、手指の指先部 6 3 が所望の軌道を描くように装具 5 3 1 の動作を規定するために、第 3 設定速度 V_3 を第 1 駆動モータ 5 2 1 の第 1 設定速度 V_1 と異なる回転速度に設定する。但し、第 3 設定速度 V_3 を第 1 設定速度 V_1 と略等しい回転速度としてもよい。

[0196] 第 4 他動運動制御部 5 8 1 は、他動運動を行う際に、第 2 駆動モータ 5 4 3 が所定の第 4 設定速度 V_4 で駆動するように第 2 駆動モータ 5 4 3 の回転速度を制御する。図 4 0 に示すように、第 4 設定速度 V_4 は、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）を励起させるために第 3 設定速度 V_3 よりも高速に設定されている。なお、第 4 他動運動制御部 5 8 1 による制御は、速度指令に基づく速度制御でもよいし、速度が第 4 設定速度 V_4 となるように位置指令を順次変更する位置制御としてもよい。また、第 4 他動運動制御部 5 8 1 は、手指の指先部 6 3 が所望の軌道を描くように装具 5 3

1の動作を規定するために、第4設定速度 V_4 を第1駆動モータ521の第2設定速度 V_2 と異なる回転速度に設定する。但し、第4設定速度 V_4 を第2設定速度 V_2 と略等しい回転速度としてもよい。

[0197] 第2自動運動制御部583は、自動運動を行う際に、装置の重量等による反力をキャンセルしつつ各手指に対して所定の抵抗力又はアシスト力を付与するように、第2駆動モータ543を制御する。「自動運動」とは、訓練対象者による自発的な屈曲、伸展、掌側内転又は掌側外転を受けて旋回アーム553等（第1指動作機構515）を旋回させることをいう。第2自動運動制御部583による制御は、後述する速度指令 V_{ref} に基づく速度制御である。

[0198] 第2制御切替部585は、訓練種別設定部569により設定された訓練種別に応じて、制御の切り替え態様を変更する。例えば、訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」又は「掌側外転」に設定された場合には、第2制御切替部585は、エンコーダ555により検出された回転位置に基づいて、第3他動運動制御部579による制御と、第4他動運動制御部581による制御と、第2自動運動制御部583による制御とを切り替える。図40に示すように、第2制御切替部585は、まず第3他動運動制御部579による制御を実行し、検出位置が第11回転位置 P_{11} に到達した際に、第3他動運動制御部579による制御を第4他動運動制御部581による制御に切り替える。また、検出位置が第12回転位置 P_{12} に到達した際に、第4他動運動制御部581による制御を第2自動運動制御部583による制御に切り替える。そして、検出位置が第13回転位置 P_{13} に到達した際に、第2自動運動制御部583による制御を再び第3他動運動制御部579による制御に切り替える。以上の3種類の制御の実行による他動運動と自動運動の組み合わせを1サイクルとして、所定の回数のサイクルが繰り返される。

[0199] 一方、訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」に設定された場合には、第2制御切替部585は、エンコーダ555により検出された回転位置に基づいて、第4他動運動制御部581による制御と、第2自動運動制御部5

８３による制御とを切り替える。図４１に示すように、第２制御切替部５８５は、屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）のいずれか一方において、まず第４他動運動制御部５８１による制御を実行し、検出位置が第１４回転位置Ｐ１４に到達した際に、第４他動運動制御部５８１による制御を第２自動運動制御部５８３による制御に切り替える。また、検出位置が第１５回転位置Ｐ１５に到達した際に、第２自動運動制御部５８３による制御を第４他動運動制御部５８１による制御に切り替え、屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）の他方において、第４他動運動制御部５８１による制御を実行する。また、検出位置が第１６回転位置Ｐ１６に到達した際に、第４他動運動制御部５８１による制御を第２自動運動制御部５８３による制御に切り替える。そして、検出位置が第１７回転位置Ｐ１７に到達した際に、第２自動運動制御部５８３による制御を再び第４他動運動制御部５８１による制御に切り替える。以上の屈曲運動（掌側内転運動）及び伸展運動（掌側外転）のそれぞれにおける２種類の制御の実行による他動運動と自動運動の組み合わせを１サイクルとして、所定の回数のサイクルが繰り返される。

[0200] 第２回転速度算出部５８７は、エンコーダ５５５の検出結果に基づいて第２駆動モータ５４３の回転速度を算出する。例えば、第２回転速度算出部５８７は、エンコーダ５５５で検出された位置を時間で１階微分したり、検出信号（例えばインクリメンタル信号）を所定の時間カウントするなどの処理により、回転速度を算出する。当該回転速度は、訓練対象者が自発的に手指を屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）させる際の回転速度に相当する。

[0201] 第２トルク算出部５８９は、第２回転速度算出部５８７により算出された回転速度に基づいてトルクを算出する。当該トルクは、訓練対象者が自発的に手指を屈曲運動（掌側内転運動）又は伸展運動（掌側外転）させる際の力に相当する。なお、回転速度からトルクを算出する他にも、装具５３１に力センサ５４１を設ける場合にはその測定値に基づいてトルクを算出してもよ

い。

[0202] 第2速度指令算出部591は、第2回転速度算出部587により算出された回転速度 V_{fb} と、第2トルク算出部589により算出されたトルク T_{fb} とに基づいて、前述の計算式(1)に基づいて速度指令 V_{ref} を算出する。

[0203] 第2自動運動制御部583は、自動運動を行う際、第2速度指令算出部591により算出された速度指令 V_{ref} に基づいて第2駆動モータ543を制御する。

[0204] 第2人体反応量算出部593は、第2他動運動制御部565による制御から第1自動運動制御部567による制御へ切り替えた時点から所定時間（例えば100ms）経過するまでの間に手指の人体反応によりアーム525が旋回した量（角度）と、第4他動運動制御部581による制御から第2自動運動制御部583による制御へ切り替えた時点から所定時間（例えば100ms）経過するまでの間に手指の人体反応により旋回アーム553が旋回した量（角度）との合計である人体反応量を、エンコーダ524及びエンコーダ555の検出結果に基づいて算出する。なお、人体反応量を、アーム525が旋回した量（第1関節57及び第2関節59の人体反応量）と旋回アーム553が旋回した量（第3関節61の人体反応量）とに分けて算出してもよい。また、第2人体反応量算出部593により算出された人体反応量を、訓練結果データとして所定のファイル形式（例えばCSVファイル等）で出力可能としてもよい。

[0205] 第4表示制御部595（第2表示制御部の一例）は、第2人体反応量算出部593により算出された人体反応量をタッチパネル561に表示させる（前述の図17及び図18参照）。なお、人体反応量を、第1関節57及び第2関節59による人体反応量と、第3関節61による人体反応量とに分けて表示してもよい（図示省略）。訓練の実行中は、人体反応量の算出がサイクルごとに行われ、人体反応量の表示もサイクルごとに更新される。

[0206] 第2可動域計測部597は、第1駆動モータ521によりアーム525を

旋回させると共に、第2駆動モータ543により旋回アーム553を旋回させて手指の可動域を計測する。例えば、第2可動域計測部597は、屈曲方向と伸展方向のそれぞれについてアーム525及び旋回アーム553を旋回させ、第1駆動モータ521の負荷トルク（第1トルク算出部575により算出）及び第2駆動モータ543の負荷トルク（第2トルク算出部589により算出）がそれぞれ所定値に到達した際の回転角度を可動域として計測する。なお、アーム525及び旋回アーム553の両方を旋回させてもよいし、いずれか一方のみを旋回させてもよい。また、可動域を、第1関節57及び第2関節59による可動域と、第3関節61による可動域とに分けて算出してもよい。また、力センサ541を設ける場合にはその測定値が所定値に到達した際の回転角度を可動域として計測してもよい。

[0207] 第2自動運動量算出部599は、第1自動運動制御部567及び第2自動運動制御部583による制御時（自動運動時）に、訓練対象者が自発的にアーム525及び旋回アーム553の少なくとも一方を旋回させた量（角度）である自動運動量を、エンコーダ524及びエンコーダ555の少なくとも一方の検出結果に基づいて算出する。また、第2自動運動量算出部599は、訓練開始時からの自動運動量の平均値（平均角度）を算出する。自動運動量の検出手法は特に限定されるものではないが、例えば第1回転速度算出部573及び第2回転速度算出部587により算出された回転速度が所定値以下となった場合、あるいは、その所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に、訓練対象者による自発的な自動運動が終了したと判定し、自動運動開始から当該時点までの回転量を自動運動量としてもよい。また例えば、第1トルク算出部575により算出されたトルク及び第2トルク算出部589により算出されたトルク、又は、力センサ541の測定値が所定値以下となった場合、あるいは、その所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に、訓練対象者による自発的な自動運動が終了したと判定し、自動運動開始から当該時点までの回転量を自動運動量としてもよい。なお、自動運動量及び自動運動量の平均値を、第1関節57及び第2関節59による自動

運動量及び自動運動量の平均値と、第3関節61による自動運動量及び自動運動量の平均値とに分けて算出してもよい。

[0208] 第2達成率算出部601は、第2自動運動量算出部599により算出された自動運動量と、第2可動域計測部597により計測された可動域とに基づいて、自動運動量の可動域に対する割合である自動達成率（0～100%）を算出する。なお、自動達成率を、第1関節57及び第2関節59による自動達成率と、第3関節61による自動達成率とに分けて算出してもよい。また、第2達成率算出部601により算出された自動達成率は、訓練結果データとして所定のファイル形式（例えばCSVファイル等）で出力することも可能である。

[0209] 第5表示制御部603は、第2達成率算出部601により算出された自動達成率と、第2自動運動量算出部599により算出された平均自動運動量とを、タッチパネル561に表示させる（前述の図17、図18参照）。なお、自動達成率及び平均自動運動量を、第1関節57及び第2関節59による自動達成率及び平均自動運動量と、第3関節61による自動達成率及び平均自動運動量とに分けて表示してもよい（図示省略）。練の実行中は、自動達成率や平均自動運動量の算出がサイクルごとに行われ、自動達成率や平均自動運動量の表示もサイクルごとに更新される。

[0210] 第3記録部605は、第2可動域計測部597により計測された可動域について、所定の準備速度（第1設定速度V1よりも遅い速度）でアーム525を旋回させると共に所定の準備速度（第3設定速度V3よりも遅い速度）で旋回アーム553を旋回させ、装具531が指先部から受ける力（第1トルク算出部575及び第2トルク算出部589により算出）の事前測定値（第3測定値の一例）を記録する。なお、事前測定値を、第1関節57及び第2関節59による事前測定値（第1トルク算出部575により算出）と、第3関節61による事前測定値（第2トルク算出部589により算出）とに分けて記録してもよい。また、アーム525及び旋回アーム553の両方を旋回させてもよいし、いずれか一方のみを旋回させてもよい。また、第1トル

ク算出部５７５及び第２トルク算出部５８９により算出されたトルクの代わりに、力センサ５４１を設ける場合にはその測定値を記録してもよい。

[0211] 第４記録部６０７は、第１自動運動制御部５６７及び第２自動運動制御部５８３による制御時（自動運動時）に、所定の訓練速度でアーム５２５及び旋回アーム５５３を旋回させた際に、装具５３１が指先部から受ける力（第１トルク算出部５７５及び第２トルク算出部５８９により算出）の訓練中測定値（第４測定値の一例）を記録する。なお、訓練中測定値を、第１関節５７及び第２関節５９による訓練中測定値（第１トルク算出部５７５により算出）と、第３関節６１による訓練中測定値（第２トルク算出部５８９により算出）とに分けて記録してもよい。また、アーム５２５及び旋回アーム５５３の両方を旋回させてもよいし、いずれか一方のみを旋回させてもよい。また、第１トルク算出部５７５及び第２トルク算出部５８９により算出されたトルクの代わりに、力センサ５４１を設ける場合にはその測定値を記録してもよい。

[0212] 第２人体反応力算出部６０９は、第３記録部６０５により記録された訓練中測定値と第４記録部６０７により記録された事前測定値との差分に基づいて、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）による力を算出する。なお、人体反応力を、第１関節５７及び第２関節５９による人体反応力と第３関節６１による人体反応力とに分けて算出してもよい。

[0213] 第６表示制御部６１１は、第２人体反応力算出部６０９により算出された人体反応力に関連する表示内容を、タッチパネル５６１に表示させる（図示省略）。人体反応力に関連する表示とは、例えば人体反応力の目標値に対する達成率の表示や、達成したか否かの結果表示等である。訓練の実行中は、人体反応力の算出がサイクルごとに行われ、人体反応力に関連する表示もサイクルごとに更新される。

[0214] なお、図示は省略するが、指訓練装置５０１に刺激付与装置やタッピング機構を設ける場合には、前述の第１実施形態におけるコントローラ７と同様に、コントローラ５０７が刺激付与処理部、タッピング実行部、タイミング

設定部等を有してもよい。

[0215] なお、上述したコントローラ507の各処理部は、これらの処理の分担の例に限定されるものではなく、例えば、更に少ない数の処理部（例えば1つの処理部）で処理されてもよく、また、更に細分化された処理部により処理されてもよい。また、コントローラ507は、第1駆動モータ521や第2駆動モータ543に駆動電力を給電する部分（インバータ等）のみ実際の装置により実装され、その他の機能は後述するCPU901（図45参照）が実行するプログラムにより実装されてもよいし、その一部又は全部がASICやFPGA、その他の電気回路等の実際の装置により実装されてもよい。

[0216] （2-4. コントローラの処理手順）

次に、図42～図44を参照しつつ、コントローラ507のCPU901により実行される処理手順の一例について説明する。

[0217] 図42に示すように、ステップS310では、コントローラ507は、第2可動域計測部597により、装具531に訓練対象の手指を装着させた状態で第1駆動モータ521によりアーム525を旋回させると共に第2駆動モータ543により旋回アーム553を旋回させて手指の可動域を計測する。

[0218] ステップS320では、コントローラ507は、訓練種別設定部569により、タッチパネル561における訓練種別の選択入力に基づいて、訓練種別を「屈曲」、「伸展」、「屈曲伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」、「掌側内外転」のいずれかに設定する。

[0219] ステップS330では、コントローラ507は、上記ステップS310で計測した可動域について、上記ステップS320で設定した訓練種別に基づいて所定の準備速度でアーム525及び旋回アーム553を旋回させ、第3記録部605により装具531が指先部から受ける力の事前測定値（第1トルク算出部575及び第2トルク算出部589により算出したトルク又は力センサ541で測定）を記録する。

[0220] ステップS400では、コントローラ507は、他動運動処理を実行する

。他動運動処理の内容については後述する（図４３参照）。

[0221] ステップＳ５００では、コントローラ５０７は、自動運動処理を実行する。自動運動処理の内容については後述する（図４４参照）。

[0222] ステップＳ３４０では、コントローラ５０７は、訓練を終了するか否かを判定する。訓練を終了するか否かは、例えば設定された訓練時間が経過したか否か、又は、設定された回数のサイクルが終了したか否か、等により判定される。訓練を終了しない場合には（ステップＳ３４０：ＮＯ）、上記ステップＳ４００に戻り、訓練を終了するまでステップＳ４００及びステップＳ５００を繰り返す。訓練を終了する場合には（ステップＳ３４０：ＹＥＳ）、本フローを終了する。

[0223] 図４３に、上記ステップＳ４００の他動運動処理の処理手順の一例を示す。なお、図４３では、上記ステップＳ３２０において訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明する。また、図４３では、第１駆動モータ５２１の駆動後に第２駆動モータ５４３の駆動を開始する場合について説明する。

[0224] 図４３に示すように、ステップＳ４１０では、コントローラ５０７は、第１他動運動制御部５６３により、第１駆動モータ５２１が第１設定速度Ｖ１で駆動するように第１駆動モータ５２１の回転速度を制御する。

[0225] ステップＳ４２０では、コントローラ５０７は、第３他動運動制御部５７９により、第２駆動モータ５４３が第３設定速度Ｖ３で駆動するように第２駆動モータ５４３の回転速度を制御する。

[0226] ステップＳ４３０では、コントローラ５０７は、第１制御切替部５７１及び第２制御切替部５８５により、エンコーダ５２４による検出位置が第１回転位置Ｐ１に到達し、且つ、エンコーダ５５５による検出位置が第１１回転位置Ｐ１１に到達したか否かを判定する。第１回転位置Ｐ１及び第１１回転位置Ｐ１１のいずれかに到達していない場合には（ステップＳ４３０：ＮＯ）、上記ステップＳ４１０に戻る。一方、第１回転位置Ｐ１及び第１１回転位置Ｐ１１の両方に到達した場合には（ステップＳ４３０：ＹＥＳ）、ステ

ップS 4 4 0に移る。

[0227] ステップS 4 4 0では、コントローラ5 0 7は、第2他動運動制御部5 6 5により、第1駆動モータ5 2 1が第2設定速度V 2で駆動するように第1駆動モータ5 2 1の回転速度を制御すると共に、第4他動運動制御部5 8 1により、第2駆動モータ5 4 3が第4設定速度V 4で駆動するように第2駆動モータ5 4 3の回転速度を制御する。

[0228] ステップS 4 5 0では、コントローラ5 0 7は、第1制御切替部5 7 1及び第2制御切替部5 8 5により、エンコーダ5 2 4による検出位置が第2回転位置P 2に到達し、且つ、エンコーダ5 5 5による検出位置が第1 2回転位置P 1 2に到達したか否かを判定する。第2回転位置P 2及び第1 2回転位置P 1 2のいずれかに到達していない場合には（ステップS 4 5 0：NO）、上記ステップS 4 4 0に戻る。一方、第2回転位置P 2及び第1 2回転位置P 1 2の両方に到達した場合には（ステップS 4 5 0：YES）、他動運動処理を終了し、ステップS 5 0 0の自動運動処理に移る。

[0229] 図4 4に、上記ステップS 5 0 0の自動運動処理の処理手順の一例を示す。なお、図4 4では、上記ステップS 3 2 0において訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明する。

[0230] 図4 4に示すように、ステップS 5 0 5では、コントローラ5 0 7は、第4記録部6 0 7により、装具5 3 1が指先部から受ける力（第1トルク算出部5 7 5及び第2トルク算出部5 8 9により算出したトルク又は力センサ5 4 1で測定）の訓練中測定値の記録を開始する。

[0231] ステップS 5 1 0では、コントローラ5 0 7は、第2人体反応量算出部5 9 3により、第2他動運動制御部5 6 5による制御から第1自動運動制御部5 6 7による制御へ切り替えた時点、及び、第4他動運動制御部5 8 1による制御から第2自動運動制御部5 8 3による制御へ切り替えた時点、すなわち自動運動処理の開始時点から予め定められた設定時間（自動運動開始の待ち時間）が経過したか否かを判定する。設定時間が経過するまで本ステップ

を繰り返し（ステップS 5 1 0 : N O）、設定時間が経過した場合には（ステップS 5 1 0 : Y E S）、ステップS 5 1 5に移る。

[0232] ステップS 5 1 5では、コントローラ5 0 7は、第2人体反応量算出部5 9 3により、自動運動処理の開始時点から予め定められた設定時間が経過するまでの間に手指の人体反応によりアーム5 2 5が旋回した量（角度）と旋回アーム5 5 3が旋回した量（角度）の合計である人体反応量を、エンコーダ5 2 4及びエンコーダ5 5 5の検出結果に基づいて算出する。そして、第4表示制御部5 9 5により、算出した人体反応量をタッチパネル5 6 1に表示させる。

[0233] ステップS 5 2 0では、コントローラ5 0 7は、第1自動運動制御部5 6 7により、速度指令V r e fに基づいて第1駆動モータ5 2 1の速度制御を行うと共に、第2自動運動制御部5 8 3により、速度指令V r e fに基づいて第2駆動モータ5 4 3の速度制御を行う。

[0234] ステップS 5 2 5では、コントローラ5 0 7は、第1回転速度算出部5 7 3により、エンコーダ5 2 4の検出結果に基づいて第1駆動モータ5 2 1の回転速度を算出すると共に、第2回転速度算出部5 8 7により、エンコーダ5 5 5の検出結果に基づいて第2駆動モータ5 4 3の回転速度を算出する。

[0235] ステップS 5 3 0では、コントローラ5 0 7は、第1トルク算出部5 7 5により、上記ステップS 5 2 5において算出した回転速度に基づいて第1駆動モータ5 2 1のトルクを算出すると共に、第2トルク算出部5 8 9により、上記ステップS 5 2 5において算出した回転速度に基づいて第2駆動モータ5 4 3のトルクを算出する。なお、前述したように力センサ5 4 1の測定値に基づいてトルクを算出してもよい

[0236] ステップS 5 3 5では、コントローラ5 0 7は、第1速度指令算出部5 7 7により、上記ステップS 5 2 5において算出した回転速度と、上記ステップS 5 3 0において算出したトルクとに基づいて、第1駆動モータ5 2 1の速度指令V r e fを算出すると共に、第2速度指令算出部5 9 1により、上記ステップS 5 2 5において算出した回転速度と、上記ステップS 5 3 0に

において算出したトルクとに基づいて、第2駆動モータ543の速度指令 V_{ref} を算出する。

[0237] ステップS540では、コントローラ507は、エンコーダ524による検出位置が第3回転位置P3に到達し、且つ、エンコーダ555による検出位置が第13回転位置P13に到達したか否か、又は、上記ステップS525で算出した第1駆動モータ521及び第2駆動モータ543の回転速度が共に0であることを検出したか否かを判定する。第3回転位置P3又は第13回転位置P13に到達しておらず、且つ、第1駆動モータ521又は第2駆動モータ543の回転速度が0でない場合には（ステップS540：NO）、先のステップS515に戻る。一方、第3回転位置P3及び第13回転位置P13に到達したか、又は、第1駆動モータ521及び第2駆動モータ543の回転速度が共に0であることを検出した場合には（ステップS540：YES）、ステップS545に移る。

[0238] ステップS545では、コントローラ507は、第2自動運動量算出部599により、訓練対象者が自発的にアーム525及び旋回アーム553を旋回させた量（角度）である自動運動量を、エンコーダ524及びエンコーダ555の検出結果に基づいて算出する。また、第2達成率算出部601により、算出した自動運動量と、上記ステップS310において計測した可動域とに基づいて、自動運動量の可動域に対する割合である自動達成率を算出する。さらに、第5表示制御部603により、算出した自動達成率をタッチパネル561に表示させる。

[0239] ステップS550では、コントローラ507は、第2人体反応力算出部609により、第4記録部607により記録した訓練中測定値と、上記ステップS330において第3記録部605により記録した事前測定値との差分に基づいて、手指の人体反応（例えば伸張反射や腱、筋肉のバネ等）による力を算出する。そして、第6表示制御部611により、第2人体反応力算出部609により算出した人体反応力に関連する表示内容を、タッチパネル561に表示させる。その後、自動運動処理を終了し、前述のステップS340

に移る。

[0240] なお、以上では訓練種別が「屈曲」、「伸展」、「掌側内転」、「掌側外転」のいずれかに設定された場合について説明したが、訓練種別が「屈曲伸展」又は「掌側内外転」に設定された場合には、図42におけるステップS400及びステップS500が2回繰り返されることにより1サイクルとなる。この場合、図43において、ステップS410～ステップS430は実行せず、ステップS440及びステップS450のみ実行し、ステップS450では第4回転位置P4及び第14回転位置P14、又は、第6回転位置P6及び第16回転位置P16に到達したか否かを判定する。また、図44において、ステップS540では第5回転位置P5及び第15回転位置P15、又は、第7回転位置P7及び第17回転位置P17に到達したか否かを判定する。

[0241] また、以上では他動運動処理において第1駆動モータ521の駆動後に第2駆動モータ543の駆動を開始する場合について説明したが、前述のように、各モータの駆動タイミングは上記に限定されるものではない。例えば、上記とは反対に第2駆動モータ543の駆動後に第1駆動モータ521の駆動を開始する場合には、図43においてステップS410とステップS420の順番を反対とすればよい。また、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の駆動開始タイミングを略同時とする場合には、図43においてステップS410とステップS420を同時に実行すればよい。

[0242] (2-5. 第2実施形態による効果)

以上説明したように、本実施形態の指訓練装置501は、手指の指先部63を保持する装具531と、回転軸533周りに回転し、装具531を回転軸533周りに移動させるアーム525と、アーム525を回転軸533周りに回転させる第1駆動モータ521と、回転軸549周りに回転し、アーム525及び第1駆動モータ521を回転軸549周りに移動させる回転アーム553と、回転アーム553を回転軸549周りに回転させる第2駆動モータ543と、を有する。

[0243] 本実施形態では、第1駆動モータ521によりアーム525を旋回させることにより、指先部63の位置と角度を規定できると共に、それらの第1指動作機構515をさらに第2駆動モータ543及び旋回アーム553により旋回させることにより、より複雑な手指の動作を規定できる。これにより、本実施形態のように、第1駆動モータ521により主として手指の第1関節57及び第2関節59の伸展及び屈曲の動作を実行し、第2駆動モータ543により主として手指の第3関節61の伸展及び屈曲の動作を実行する等、手指の各関節の動作を2つのモータ521、543に分けて実行させることが可能となる。

[0244] また、本実施形態では特に、第1駆動モータ521及び第2駆動モータ543を独立して制御するコントローラ507をさらに有し、コントローラ507は、手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の駆動開始タイミングを異ならせる。

[0245] これにより、第1駆動モータ521及び第2駆動モータ543の各々の駆動開始タイミングを手指に所望の動作をさせるように最適化することが可能となり、より複雑な手指の動作を規定できる。

[0246] また、本実施形態では特に、コントローラ507は、手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の回転速度を異ならせる。

[0247] これにより、第1駆動モータ521と第2駆動モータ543の回転速度を手指に所望の動作をさせるように最適化することが可能となり、より複雑な手指の動作を規定できる。

[0248] (2-6. 変形例)

上記第2実施形態では、固定歯車523及び遊星歯車527の両方を回転中心歯車且つ円形状の歯車とした場合について説明したが、固定歯車及び遊星歯車の形状は円形に限定されるものではない。例えば、固定歯車又は遊星歯車の少なくとも一方を半径が不均一な歯車として、装具531の回転速度(角度変化)に所望の変化を生じさせてもよい。例えば、前述の第1実施形

態のように、固定歯車を円形状、遊星歯車を楕円形状としてもよいし、反対に固定歯車を楕円形状、遊星歯車を円形状としてもよい。また、固定歯車と遊星歯車の両方を楕円形状としてもよい。なお、装具 5 3 1 の回転速度（角度変化）に所望の変化を生じさせるためには、固定歯車又は遊星歯車の少なくとも一方を半径が不均一な歯車とすればよく、楕円形状以外にも、例えば三角形や四角形等の多角形状とすることも可能である。

[0249] <3. コントローラのハードウェア構成例>

次に、図 4 5 を参照しつつ、上記で説明した CPU 9 0 1 が実行するプログラムにより実装された各処理を実現するコントローラ 7, 5 0 7 のハードウェア構成例について説明する。なお、図 4 5 中では、コントローラ 7, 5 0 7 のモータに駆動電力を給電する機能に係る構成を適宜省略して図示している。

[0250] 図 4 5 に示すように、コントローラ 7, 5 0 7 は、例えば、CPU 9 0 1 と、ROM 9 0 3 と、RAM 9 0 5 と、ASIC 又は FPGA 等の特定の用途向けに構築された専用集積回路 9 0 7 と、入力装置 9 1 3 と、出力装置 9 1 5 と、記録装置 9 1 7 と、ドライブ 9 1 9 と、接続ポート 9 2 1 と、通信装置 9 2 3 とを有する。これらの構成は、バス 9 0 9 や入出力インターフェース 9 1 1 を介し相互に信号を伝達可能に接続されている。

[0251] プログラムは、例えば、ROM 9 0 3 や RAM 9 0 5、ハードディスク等の記録装置 9 1 7 等に記録しておくことができる。

[0252] また、プログラムは、例えば、フレキシブルディスクなどの磁気ディスク、各種の CD・MO ディスク・DVD 等の光ディスク、半導体メモリ等のリムーバブルな記録媒体 9 2 5 に、一時的又は永続的に記録しておくこともできる。このような記録媒体 9 2 5 は、いわゆるパッケージソフトウェアとして提供することもできる。この場合、これらの記録媒体 9 2 5 に記録されたプログラムは、ドライブ 9 1 9 により読み出されて、入出力インターフェース 9 1 1 やバス 9 0 9 等を介し上記記録装置 9 1 7 に記録されてもよい。

[0253] また、プログラムは、例えば、ダウンロードサイト・他のコンピュータ・

他の記録装置等（図示せず）に記録しておくこともできる。この場合、プログラムは、LANやインターネット等のネットワークNWを介し転送され、通信装置923がこのプログラムを受信する。そして、通信装置923が受信したプログラムは、入出力インターフェース911やバス909等を介し上記記録装置917に記録されてもよい。

[0254] また、プログラムは、例えば、適宜の外部接続機器927に記録しておくこともできる。この場合、プログラムは、適宜の接続ポート921を介し転送され、入出力インターフェース911やバス909等を介し上記記録装置917に記録されてもよい。

[0255] そして、CPU901が、上記記録装置917に記録されたプログラムに従い各種の処理を実行することにより、前述の各処理が実現される。この際、CPU901は、例えば、上記記録装置917からプログラムを直接読み出して実行してもよいし、RAM905に一旦ロードした上で実行してもよい。更にCPU901は、例えば、プログラムを通信装置923やドライブ919、接続ポート921を介し受信する場合、受信したプログラムを記録装置917に記録せずに直接実行してもよい。

[0256] また、CPU901は、必要に応じて、例えばマウス・キーボード・マイク（図示せず）等の入力装置913から入力する信号や情報に基づいて各種の処理を行ってもよい。

[0257] そして、CPU901は、上記の処理を実行した結果を、例えば表示装置や音声出力装置等の出力装置915から出力してもよく、さらにCPU901は、必要に応じてこの処理結果を通信装置923や接続ポート921を介し送信してもよく、上記記録装置917や記録媒体925に記録させてもよい。

[0258] なお、以上の説明において、「垂直」「平行」「平面」等の記載がある場合には、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「垂直」「平行」「平面」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に垂直」「実質的に平行」「実質的に平面」という意味である。

[0259] また、以上の説明において、外観上の寸法や大きさが「同一」「等しい」「異なる」等の記載がある場合は、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「同一」「等しい」「異なる」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に同一」「実質的に等しい」「実質的に異なる」という意味である。

[0260] 但し、例えばしきい値（図20、図21、図42、図43のフローチャート参照）や基準値等、所定の判定基準となる値あるいは区切りとなる値の記載がある場合は、それらに対しての「同一」「等しい」「異なる」等は、上記とは異なり、厳密な意味である。

符号の説明

[0261]	1	指訓練装置
	1 A	指訓練装置
	5	タッピング機構
	7	コントローラ
	1 1	第1駆動モータ（第1モータ）
	1 3	固定歯車
	1 5	アーム（第1回転部材）
	1 7	遊星歯車（回転部材）
	1 9	装具
	2 3	回転軸（第1回転軸）
	2 4	エンコーダ（第1回転位置センサ）
	2 5	回転軸
	2 9	移動機構
	3 3	力センサ（測定部、センサ）
	3 5	第1着脱部
	3 7	第2着脱部
	4 1	第3駆動モータ（第3モータ）
	5 3	手指

6 3	指先部
6 5	タッチパネル（表示部）
6 7	第 1 他動運動制御部
6 9	第 2 他動運動制御部
7 1	第 1 自動運動制御部
7 5	第 1 制御切替部
8 3	刺激付与処理部
8 5	第 1 人体反応量算出部
8 7	第 1 表示制御部
9 7	第 1 記録部
9 9	第 2 記録部
1 0 1	第 1 人体反応力算出部
1 0 5	タッピング実行部
1 0 7	タイミング設定部
1 0 9	刺激付与装置
1 3 0	固定歯車
1 4 3	装具
1 7 0	遊星歯車
2 3 0	固定歯車
2 7 0	遊星歯車
5 0 1	指訓練装置
5 0 7	コントローラ
5 2 1	第 1 駆動モータ（第 1 モータ）
5 4 3	第 2 駆動モータ（第 2 モータ）
5 2 3	固定歯車
5 2 5	アーム（第 1 旋回部材）
5 2 7	遊星歯車（回転部材）
5 3 1	装具

5 3 3	旋回軸（第 1 旋回軸）
5 2 4	エンコーダ（第 1 回転位置センサ）
5 3 5	回転軸
5 4 1	力センサ（測定部、センサ）
5 4 3	第 2 駆動モータ（第 2 モータ）
5 4 9	旋回軸（第 2 旋回軸）
5 5 3	旋回アーム（第 2 旋回部材）
5 6 1	タッチパネル（表示部）
5 6 3	第 1 他動運動制御部
5 6 5	第 2 他動運動制御部
5 6 7	第 1 自動運動制御部
5 7 1	第 1 制御切替部
5 7 9	第 3 他動運動制御部
5 8 1	第 4 他動運動制御部
5 8 3	第 2 自動運動制御部
5 8 5	第 2 制御切替部
5 9 3	第 2 人体反応量算出部
5 9 5	第 4 表示制御部（第 2 表示制御部）
6 0 5	第 3 記録部
6 0 7	第 4 記録部
6 0 9	第 2 人体反応力算出部
R a ~ R h	回転半径
V 1	第 1 設定速度
V 2	第 2 設定速度
V 3	第 3 設定速度
V 4	第 4 設定速度

請求の範囲

- [請求項1] 手指の運動機能を回復させるための訓練を行う指訓練装置であって、
- 、
- 前記手指の指先部を保持する装具と、
- 第1 旋回軸周りに旋回し、前記装具を前記第1 旋回軸周りに移動させる第1 旋回部材と、
- 前記第1 旋回部材の旋回と連動して回転し、前記装具を回転軸周りに回転させる回転部材と、
- を有する、指訓練装置。
- [請求項2] 前記第1 旋回軸の位置に固定して配置された固定歯車をさらに有し、
- 、
- 前記回転部材は、
- 前記固定歯車に噛み合い、自転しつつ前記固定歯車の周りを公転する、前記回転軸が連結された遊星歯車であり、
- 前記第1 旋回部材は、
- 一端に前記第1 旋回軸が連結され、他端に前記回転軸が回転可能に挿通されている、
- 請求項1 に記載の指訓練装置。
- [請求項3] 前記第1 旋回部材を前記第1 旋回軸周りに旋回させる第1 モータと、
- 、
- 第2 旋回軸周りに旋回し、前記第1 旋回部材、前記固定歯車、前記遊星歯車及び前記第1 モータを前記第2 旋回軸周りに移動させる第2 旋回部材と、
- 前記第2 旋回部材を前記第2 旋回軸周りに旋回させる第2 モータと、
- 、
- をさらに有する、
- 請求項2 に記載の指訓練装置。
- [請求項4] 手指の運動機能を回復させるための訓練を行う指訓練装置であって

、
前記手指の指先部を保持する装具と、
第 1 旋回軸周りに旋回し、前記装具を前記第 1 旋回軸周りに移動させる第 1 旋回部材と、
前記第 1 旋回部材を前記第 1 旋回軸周りに旋回させる第 1 モータと、
、
第 2 旋回軸周りに旋回し、前記第 1 旋回部材及び前記第 1 モータを前記第 2 旋回軸周りに移動させる第 2 旋回部材と、
前記第 2 旋回部材を前記第 2 旋回軸周りに旋回させる第 2 モータと、
、
を有する、指訓練装置。

[請求項5] 前記第 1 旋回軸の位置に固定して配置された固定歯車と、
前記固定歯車に噛み合い、自転しつつ前記固定歯車の周りを公転することにより、前記第 1 旋回部材の旋回と連動して回転し、前記装具を回転軸周りに回転させる遊星歯車と、をさらに有し、
前記第 1 旋回部材は、
一端に前記第 1 旋回軸が連結され、他端に前記回転軸が回転可能に挿通されている、
請求項 4 に記載の指訓練装置。

[請求項6] 前記第 1 モータ及び前記第 2 モータを独立して制御するコントローラをさらに有し、
前記コントローラは、
前記手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、前記第 1 モータと前記第 2 モータの駆動開始タイミングを異ならせる、
請求項 3～5 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

[請求項7] 前記コントローラは、
前記手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、前記第 1 モータと前記第 2 モータの回転速度を異ならせる、

請求項 6 に記載の指訓練装置。

[請求項 8] 前記固定歯車又は前記遊星歯車の少なくとも一方は、
半径が不均一な歯車である、
請求項 2, 3, 5 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

[請求項 9] 前記遊星歯車は、
楕円形状の歯車である
ことを特徴とする請求項 8 に記載の指訓練装置。

[請求項 10] 前記第 1 旋回部材は、
前記遊星歯車の回転半径が最も短くなる角度位置よりも最も長くなる角度位置に近い角度位置を旋回開始位置とし、前記回転半径が最も短くなる角度位置に向けて旋回する
ことを特徴とする請求項 9 に記載の指訓練装置。

[請求項 11] 前記第 1 旋回部材は、
前記遊星歯車の回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置を旋回開始位置とし、前記回転半径が最も長くなる角度位置に向けて旋回する
ことを特徴とする請求項 9 に記載の指訓練装置。

[請求項 12] 前記第 1 旋回部材の旋回開始位置を、前記遊星歯車の回転半径が最も短くなる角度位置よりも最も長くなる角度位置に近い角度位置と、前記回転半径が最も長くなる角度位置よりも最も短くなる角度位置に近い角度位置との間で切り替え可能に構成されている
ことを特徴とする請求項 9 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

[請求項 13] 前記装具は、
前記指先部の保持位置を前記第 1 旋回部材の延設方向に移動可能な移動機構を有する
ことを特徴とする請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

- [請求項14] 前記装具又は前記回転軸に配置され、前記装具が前記指先部から受ける力を測定するセンサをさらに有することを特徴とする請求項1～3, 5, 8～12のいずれか1項に記載の指訓練装置。
- [請求項15] 前記回転軸に配置され、前記手指の伸展又は屈曲が可能な位置に前記装具を着脱可能な第1着脱部と、
前記第1旋回部材に配置され、母指の掌側外転又は掌側内転が可能な位置に前記装具を着脱可能な第2着脱部と、をさらに有することを特徴とする請求項1～3, 5, 8～12, 14のいずれか1項に記載の指訓練装置。
- [請求項16] 前記手指の伸展又は屈曲の動作を訓練する際に、前記手指の付け根位置近傍をタッピングするタッピング機構をさらに有することを特徴とする請求項1～15のいずれか1項に記載の指訓練装置。
- [請求項17] 前記タッピング機構を駆動する第3モータと、
前記第3モータを制御するコントローラと、をさらに有し、
前記コントローラは、
第1モータにより前記第1旋回部材を回転させて前記手指を外力により運動させる他動運動から訓練対象者による前記手指の自発的な運動を受けて前記第1旋回部材を回転させる自動運動に切り替わるタイミングで、前記タッピングを実行するように前記第3モータを制御するタッピング実行部を有することを特徴とする請求項16に記載の指訓練装置。
- [請求項18] 前記コントローラは、
ユーザの設定入力に基づいて前記タッピングを実行するタイミングを設定するタイミング設定部を有することを特徴とする請求項17に記載の指訓練装置。
- [請求項19] 前記手指の動作に関連する人体部位に所定の刺激を付与する刺激付

与装置と、

前記刺激付与装置を制御するコントローラと、をさらに有し、

前記コントローラは、

第1モータにより前記第1旋回部材を旋回させて前記手指を外力により運動させる他動運動から訓練対象者による前記手指の自発的な運動を受けて前記第1旋回部材を旋回させる自動運動に切り替わるタイミングで、前記刺激を付与するように前記刺激付与装置を制御する刺激付与処理部を有する

ことを特徴とする請求項1～18のいずれか1項に記載の指訓練装置。

[請求項20]

前記第1旋回部材を前記第1旋回軸周りに旋回させる第1モータと、

前記第1モータを制御するコントローラと、

前記装具が前記指先部から受ける力を測定する測定部と、をさらに有し、

前記コントローラは、

所定の準備速度で前記第1旋回部材を旋回させた際に、前記測定部で測定した第1測定値を記録する第1記録部と、

所定の訓練速度で前記第1旋回部材を旋回させた際に、前記測定部で測定した第2測定値を記録する第2記録部と、

前記第2測定値と前記第1測定値との差分に基づいて、前記手指の人体反応による力を算出する第1人体反応力算出部と、を有する

ことを特徴とする請求項1～19のいずれか1項に記載の指訓練装置。

[請求項21]

前記第1旋回部材を前記第1旋回軸周りに旋回させる第1モータと、

前記第1モータの回転位置を検出する第1回転位置センサと、

前記第1回転位置センサの検出結果に基づいて前記第1モータを制

御するコントローラと、をさらに有し、

前記コントローラは、

前記第 1 モータにより前記第 1 旋回部材を旋回させて前記手指を外力により運動させる他動運動を行う際に、前記第 1 モータを第 1 設定速度で駆動させる第 1 他動運動制御部と、

前記他動運動を行う際に、前記第 1 モータを前記第 1 設定速度よりも高速の第 2 設定速度で駆動させる第 2 他動運動制御部と、

訓練対象者による前記手指の自発的な運動を受けて前記第 1 旋回部材を旋回させる自動運動を行う第 1 自動運動制御部と、

前記第 1 回転位置センサにより検出された回転位置に基づいて、前記第 1 他動運動制御部による制御と、前記第 2 他動運動制御部による制御と、前記第 1 自動運動制御部による制御とを切り替える第 1 制御切替部と、を有する

ことを特徴とする請求項 1 ～ 20 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

[請求項22]

前記訓練に関する表示を行う表示部をさらに有し、

前記コントローラは、

前記第 1 制御切替部により前記第 2 他動運動制御部による制御から前記第 1 自動運動制御部による制御へ切り替えた時点から所定時間経過するまでの間に前記手指の人体反応により前記第 1 旋回部材が旋回した量である人体反応量を、前記第 1 回転位置センサの検出結果に基づいて算出する第 1 人体反応量算出部と、

前記人体反応量を前記表示部に表示させる第 1 表示制御部と、を有する

ことを特徴とする請求項 21 に記載の指訓練装置。

[請求項23]

前記装具が前記指先部から受ける力を測定する測定部をさらに有し、

前記コントローラは、

所定の準備速度で前記第1旋回部材及び前記第2旋回部材の少なくとも一方を旋回させた際に、前記測定部で測定した第3測定値を記録する第3記録部と、

所定の訓練速度で前記第1旋回部材及び前記第2旋回部材の少なくとも一方を旋回させた際に、前記測定部で測定した第4測定値を記録する第4記録部と、

前記第3測定値と前記第4測定値との差分に基づいて、前記手指の人体反応による力を算出する第2人体反応力算出部と、を有する

ことを特徴とする請求項6又は7に記載の指訓練装置。

[請求項24]

前記第1モータの回転位置を検出する第1回転位置センサと、

前記第2モータの回転位置を検出する第2回転位置センサと、をさらに有し、

前記コントローラは、

前記第1回転位置センサの検出結果に基づいて前記第1モータを制御すると共に、前記第2回転位置センサの検出結果に基づいて前記第2モータを制御し、

前記第1モータにより前記第1旋回部材を旋回させて前記手指を外力により運動させる他動運動を行う際に、前記第1モータを第1設定速度で駆動させる第1他動運動制御部と、

前記他動運動を行う際に、前記第1モータを前記第1設定速度よりも高速の第2設定速度で駆動させる第2他動運動制御部と、

訓練対象者による前記手指の自発的な運動を受けて前記第1旋回部材を旋回させる自動運動を行う第1自動運動制御部と、

前記第1回転位置センサにより検出された回転位置に基づいて、前記第1他動運動制御部による制御と、前記第2他動運動制御部による制御と、前記第1自動運動制御部による制御とを切り替える第1制御切替部と、

前記第2モータにより前記第2旋回部材を旋回させて前記手指を外

力により運動させる他動運動を行う際に、前記第 2 モータを第 3 設定速度で駆動させる第 3 他動運動制御部と、

前記他動運動を行う際に、前記第 2 モータを前記第 3 設定速度よりも高速の第 4 設定速度で駆動させる第 4 他動運動制御部と、

訓練対象者による前記手指の自発的な運動を受けて前記第 2 旋回部材を旋回させる自動運動を行う第 2 自動運動制御部と、

前記第 2 回転位置センサにより検出された回転位置に基づいて、前記第 3 他動運動制御部による制御と、前記第 4 他動運動制御部による制御と、前記第 2 自動運動制御部による制御とを切り替える第 2 制御切替部と、を有する

ことを特徴とする請求項 6， 7， 23 のいずれか 1 項に記載の指訓練装置。

[請求項25]

前記訓練に関する表示を行う表示部をさらに有し、

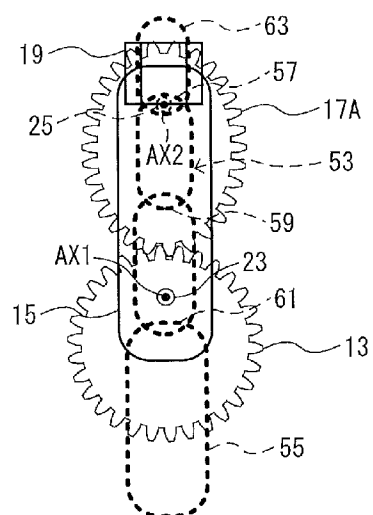
前記コントローラは、

前記第 1 制御切替部により前記第 2 他動運動制御部による制御から前記第 1 自動運動制御部による制御へ切り替えた時点から所定時間経過するまでの間に前記手指の人体反応により前記第 1 旋回部材が旋回した量、及び、前記第 2 制御切替部により前記第 4 他動運動制御部による制御から前記第 2 自動運動制御部による制御へ切り替えた時点から所定時間経過するまでの間に前記手指の人体反応により前記第 2 旋回部材が旋回した量、の少なくとも一方である人体反応量を、前記第 1 回転位置センサ及び前記第 2 回転位置センサの少なくとも一方の検出結果に基づいて算出する第 2 人体反応量算出部と、

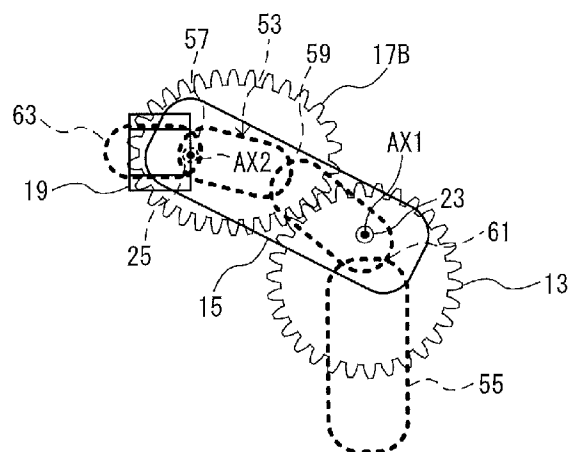
前記人体反応量を前記表示部に表示させる第 2 表示制御部と、を有する

ことを特徴とする請求項 24 に記載の指訓練装置。

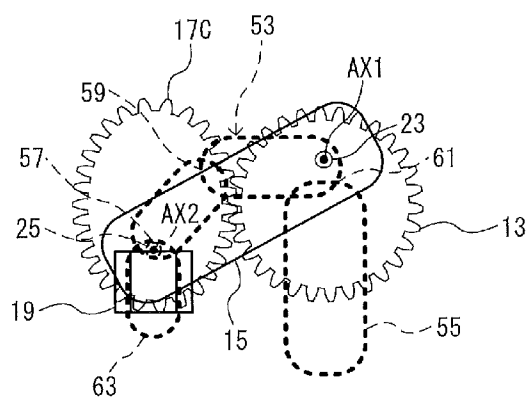
[図3]



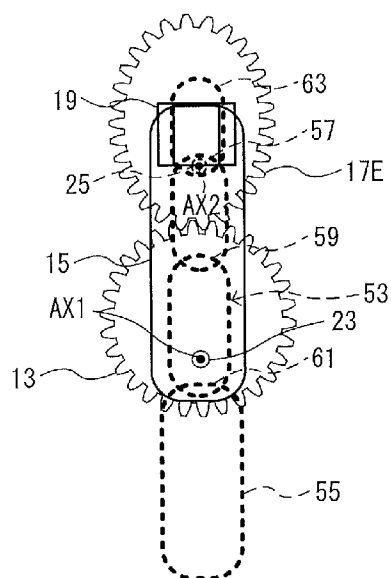
[図4]



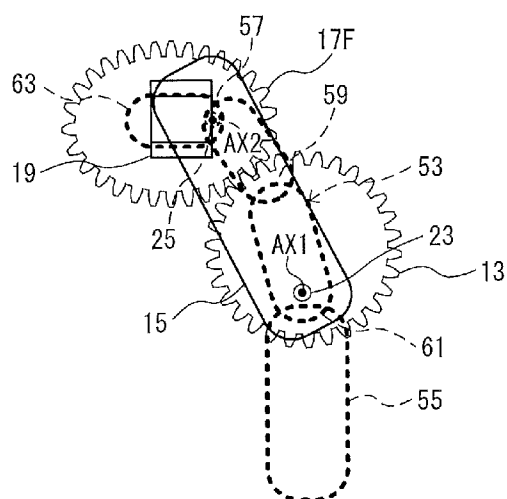
[図5]



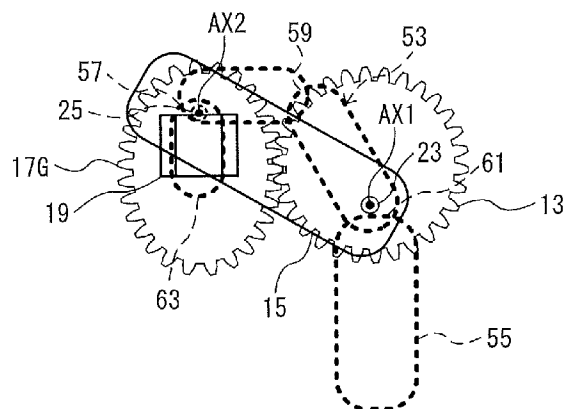
[図6]



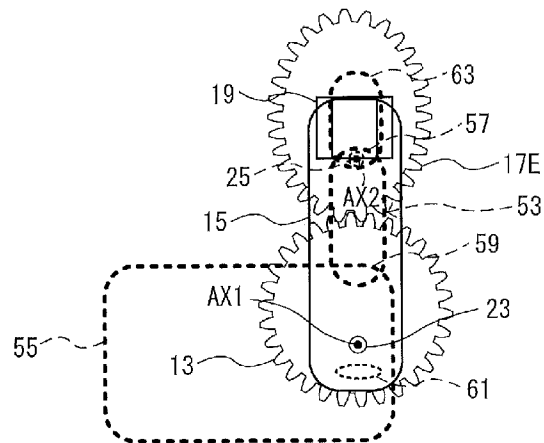
[図7]



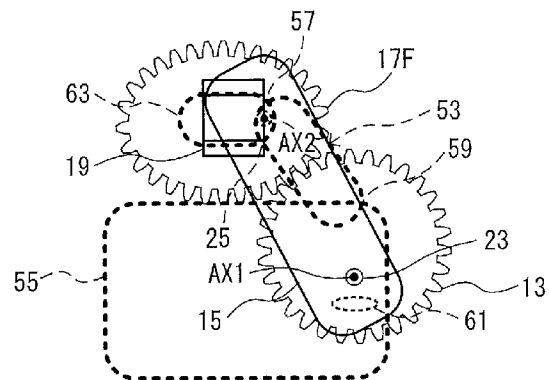
[図8]



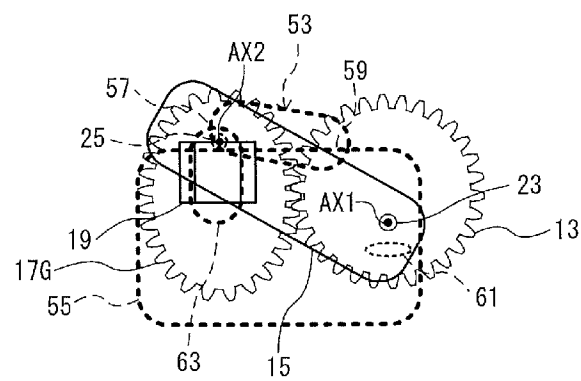
[図9]



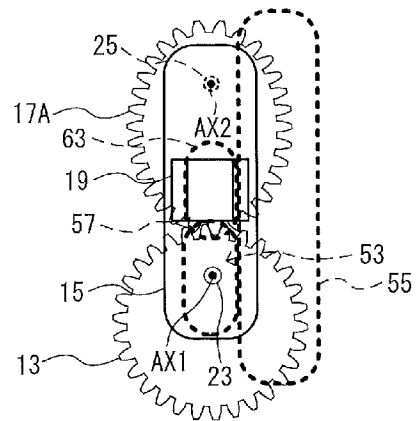
[図10]



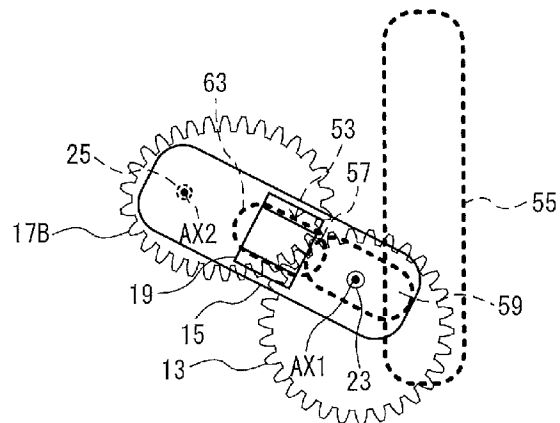
[図11]



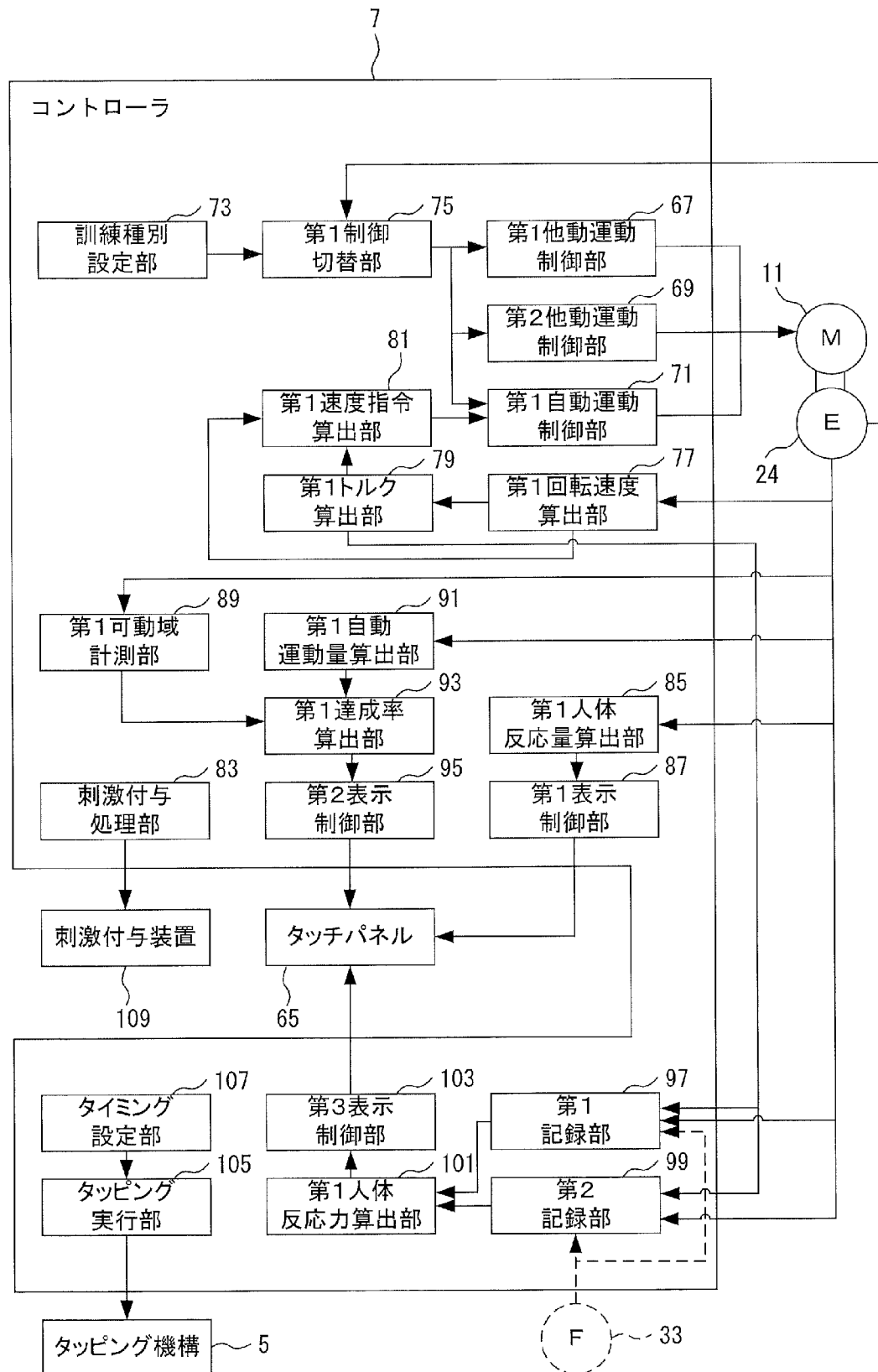
[図12]



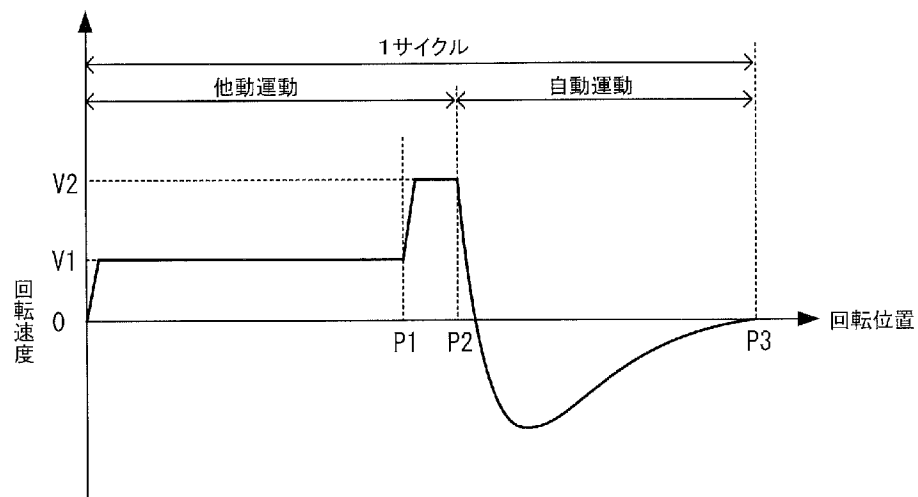
[図13]



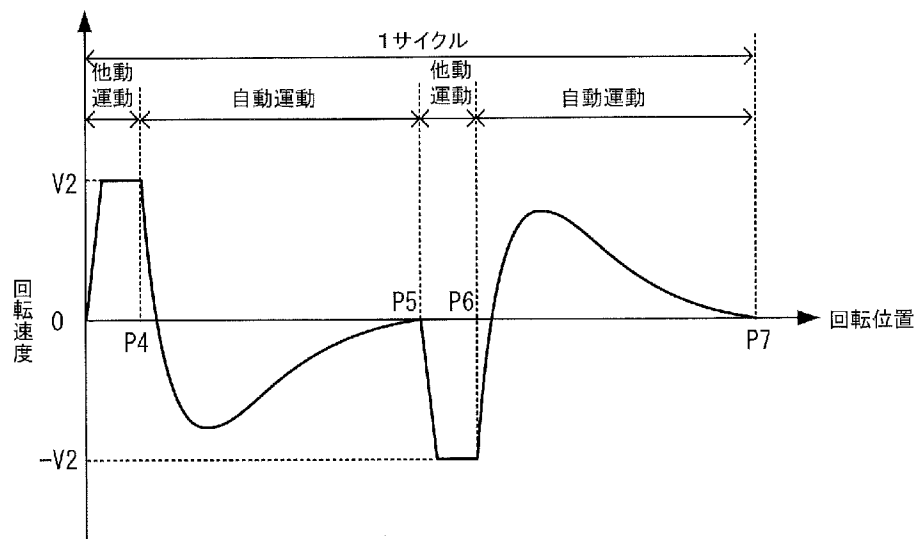
[図14]



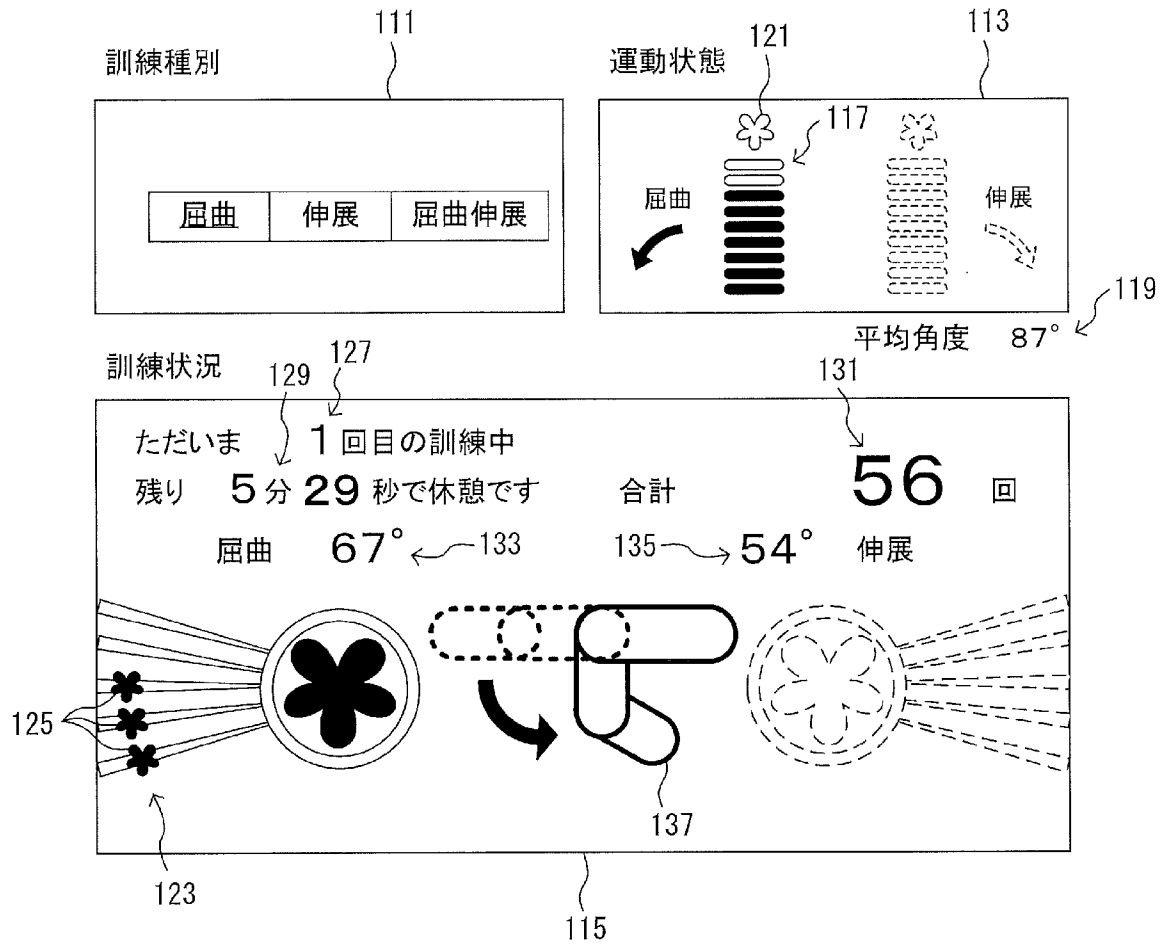
[図15]



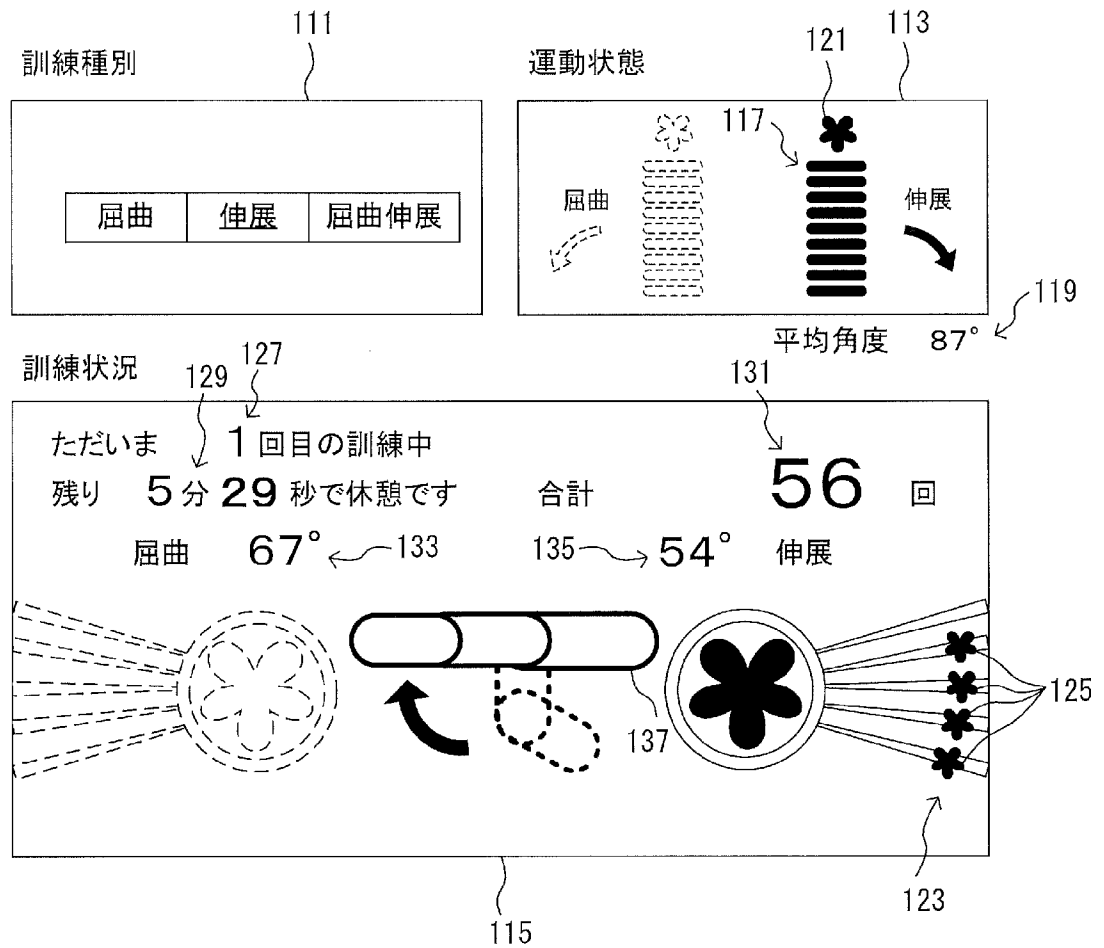
[図16]



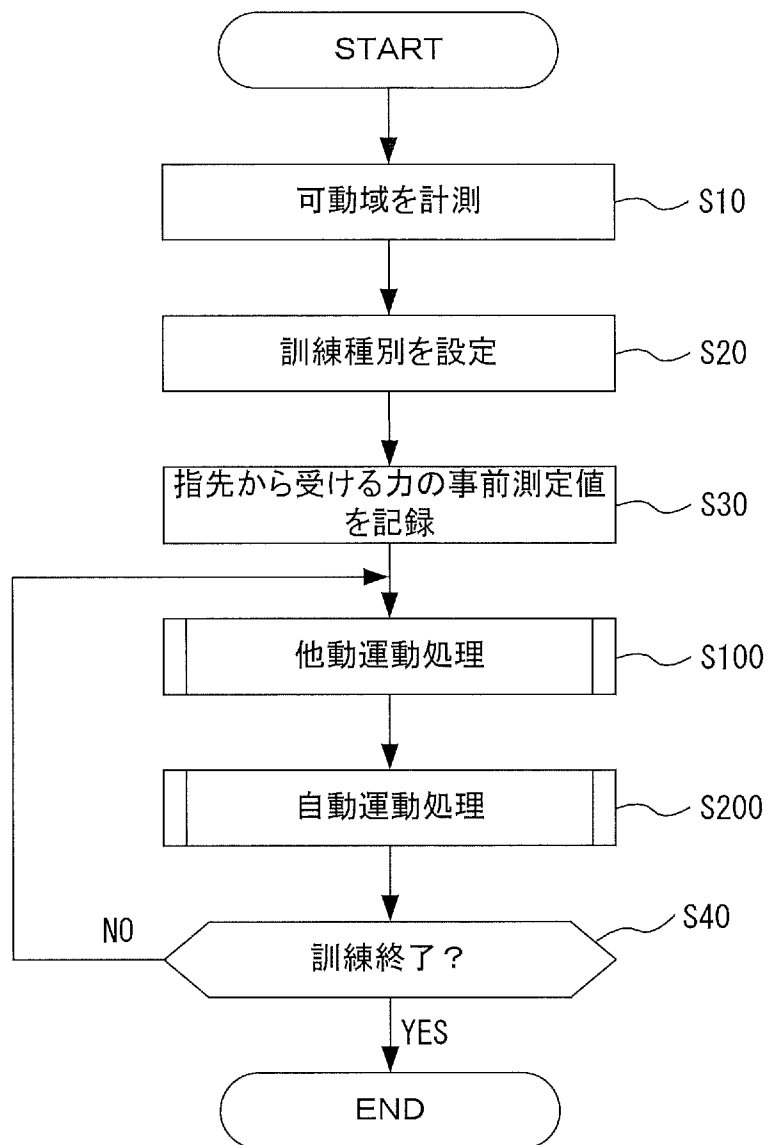
[図17]



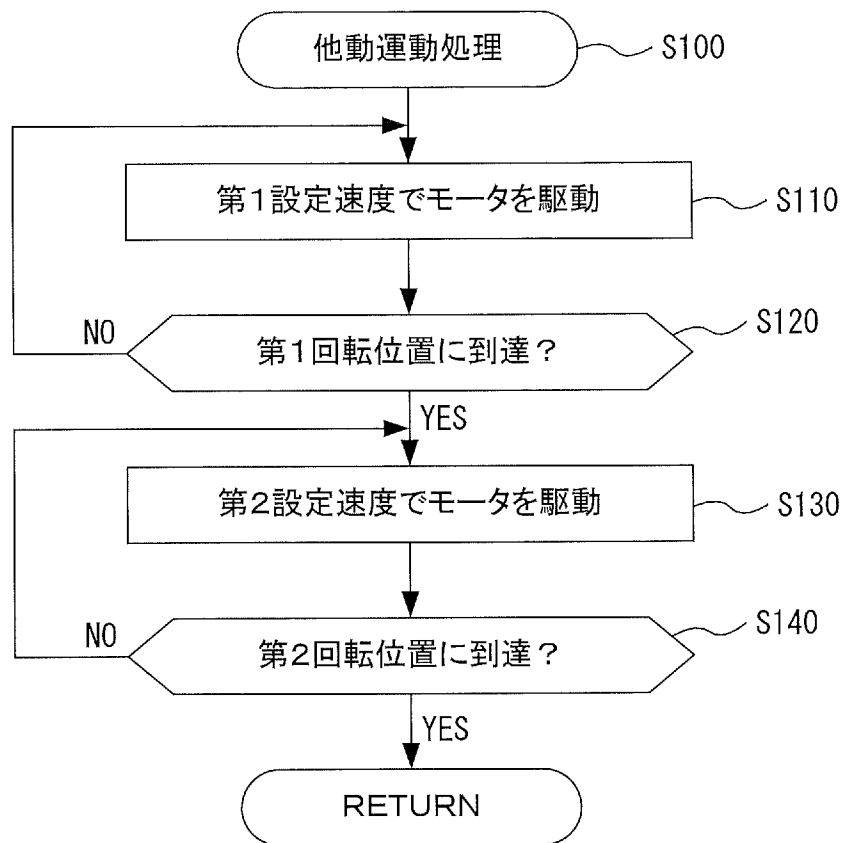
[図18]



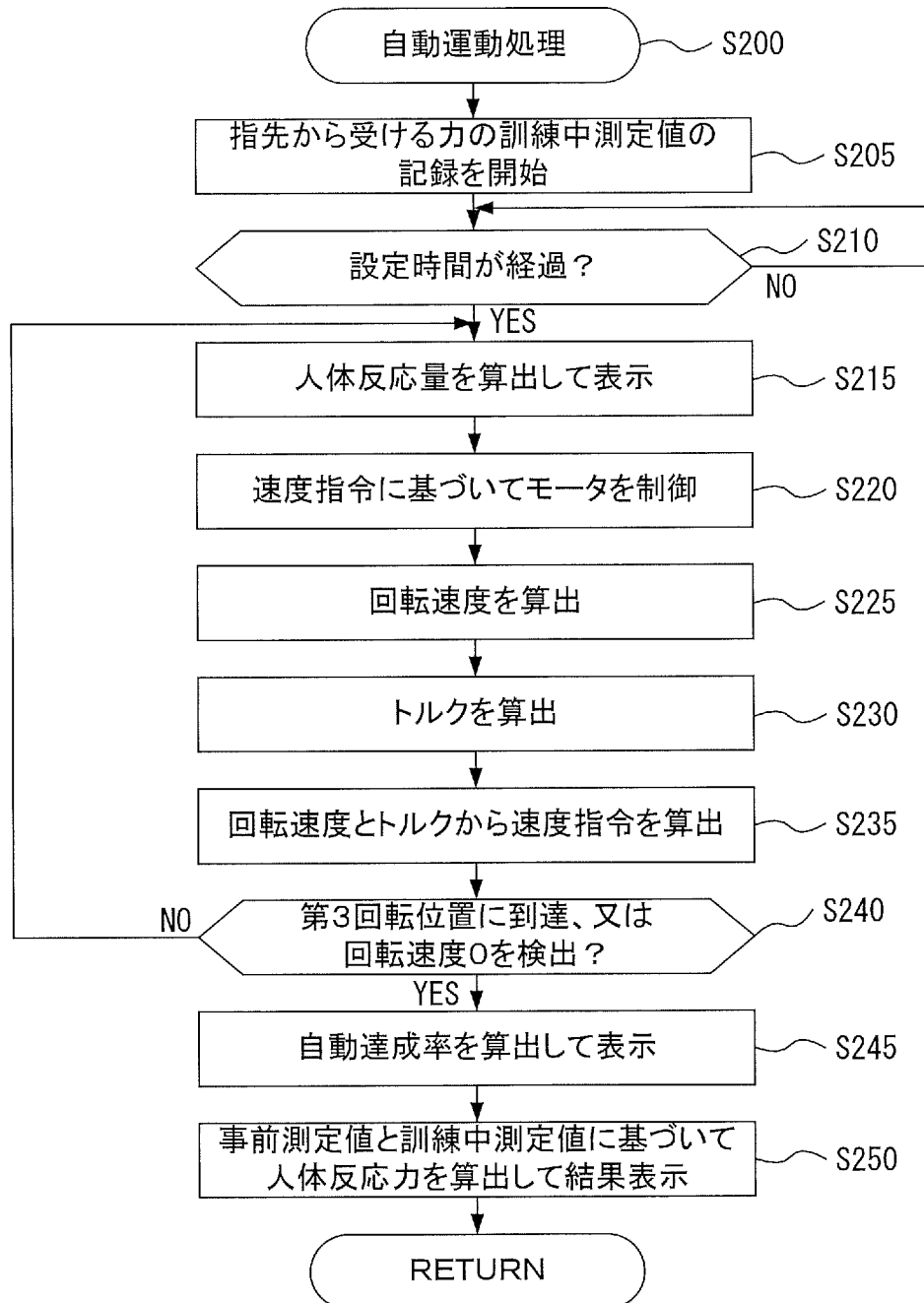
[図19]



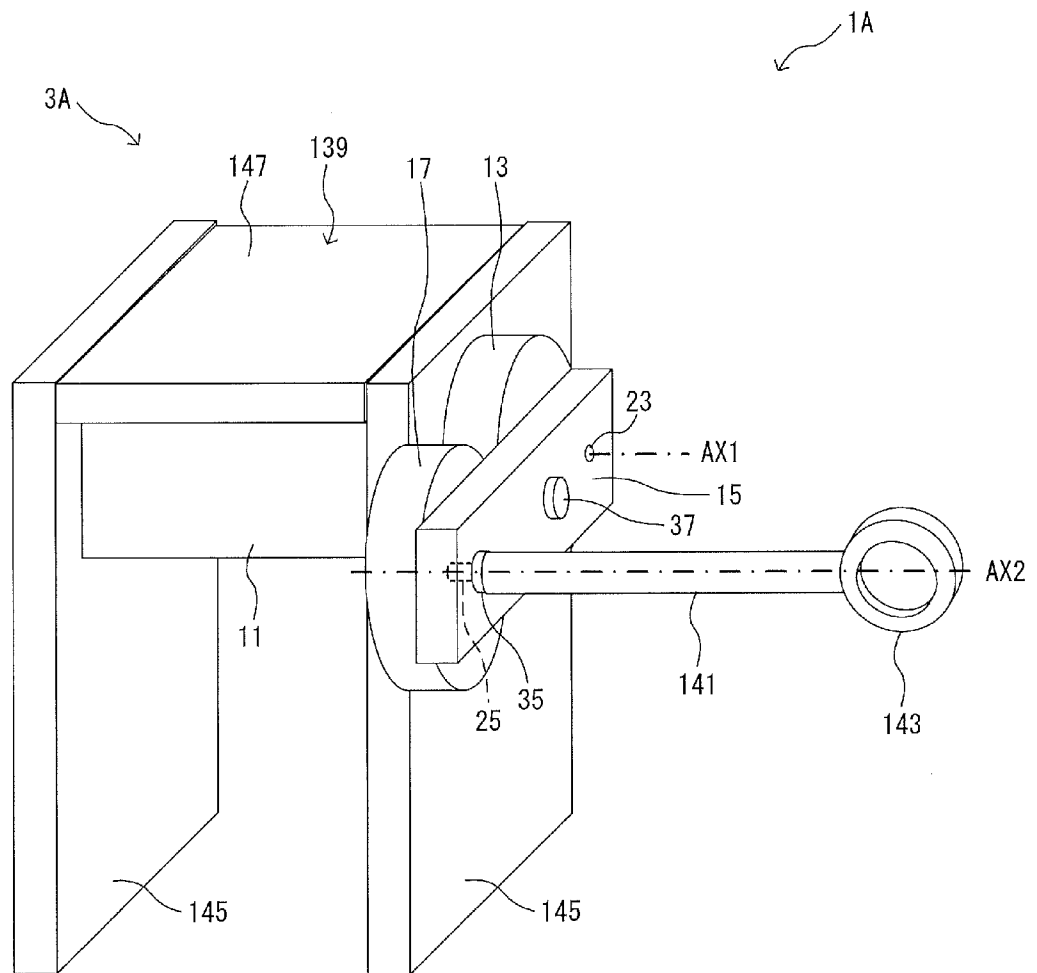
[図20]



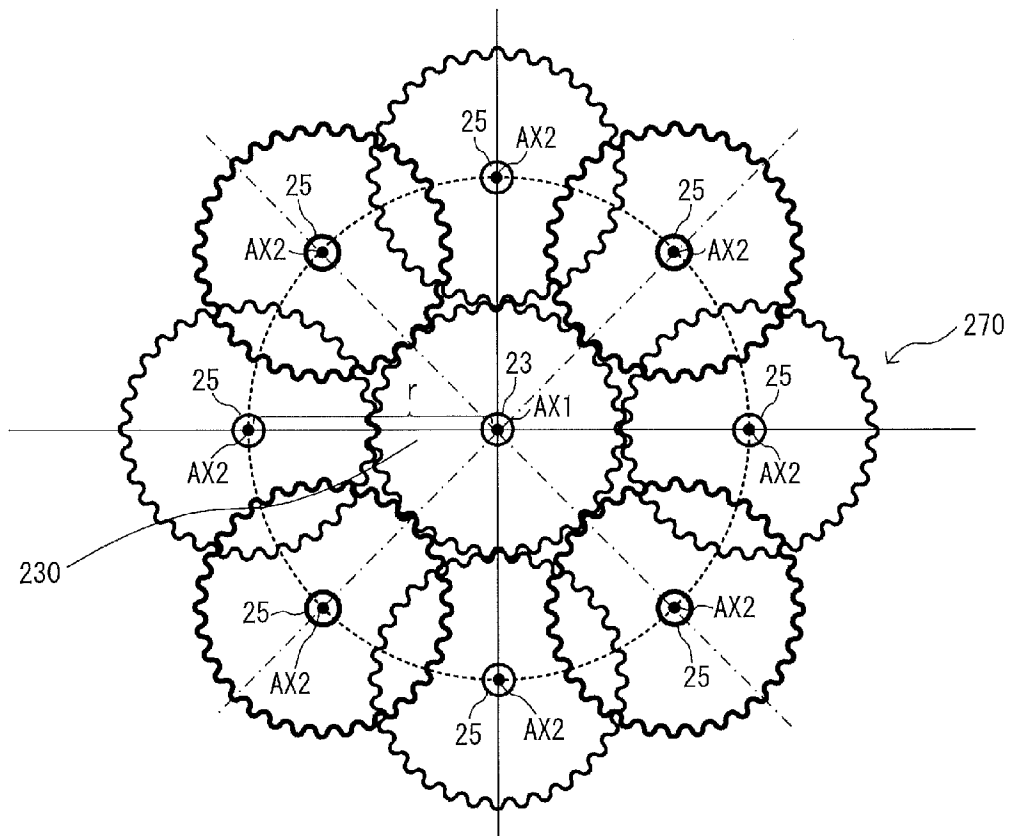
[図21]



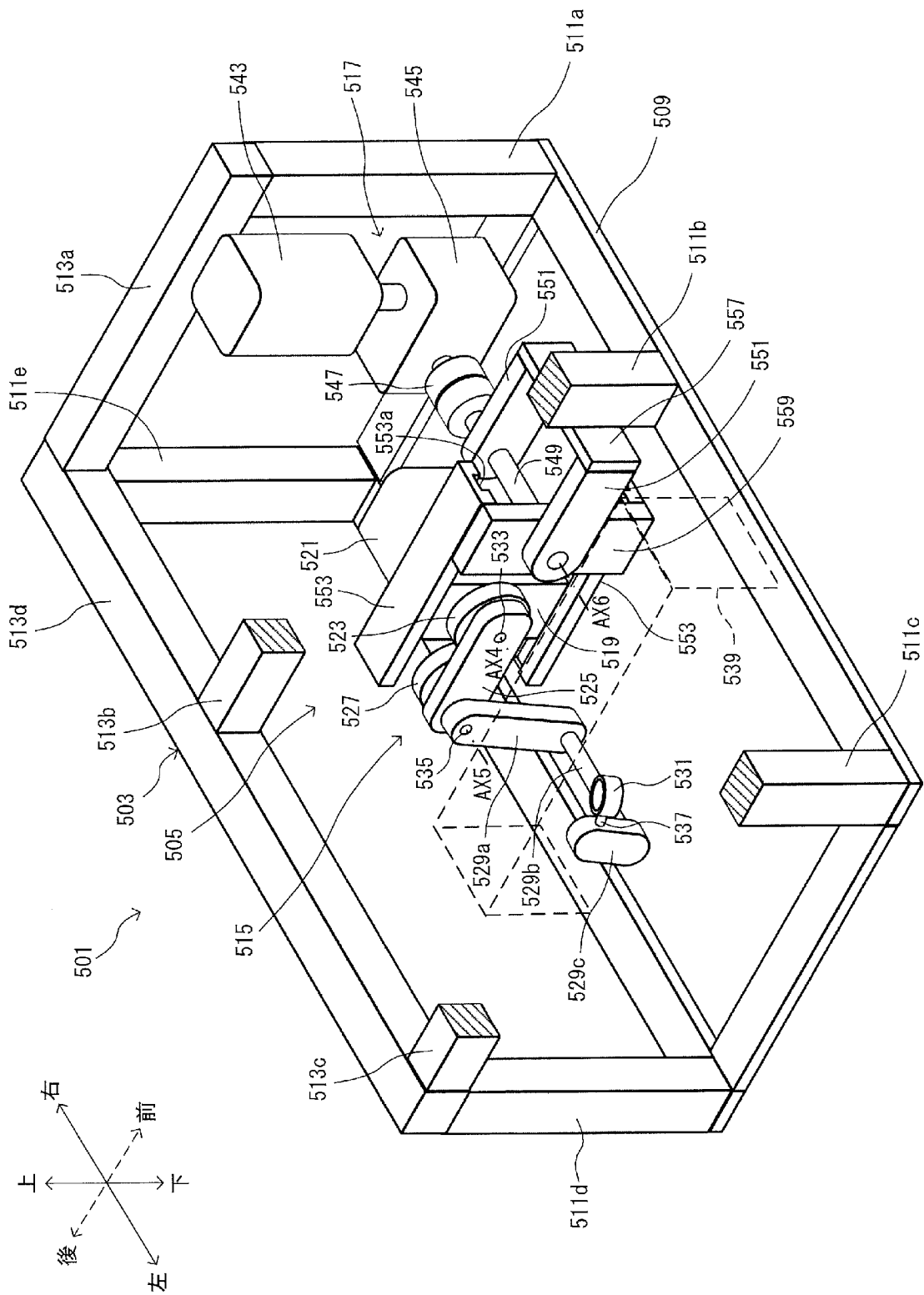
[図22]



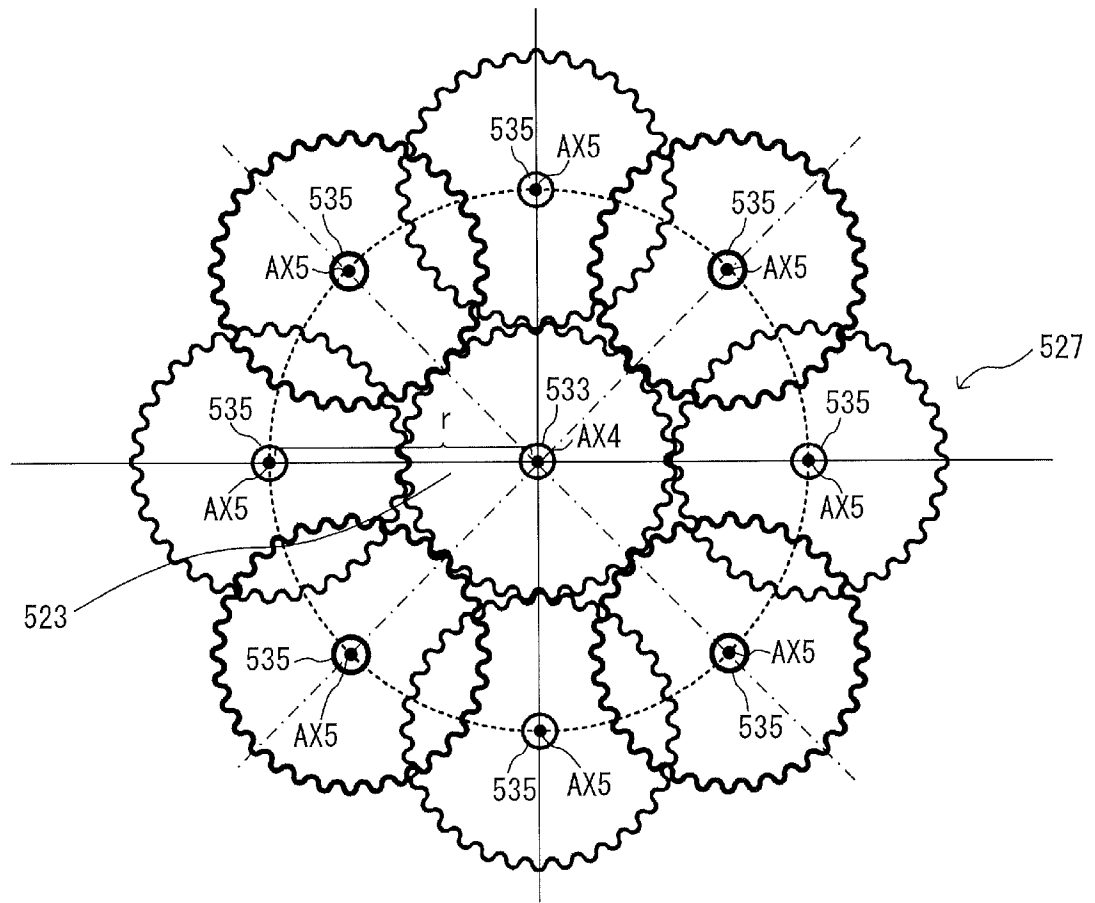
[図24]



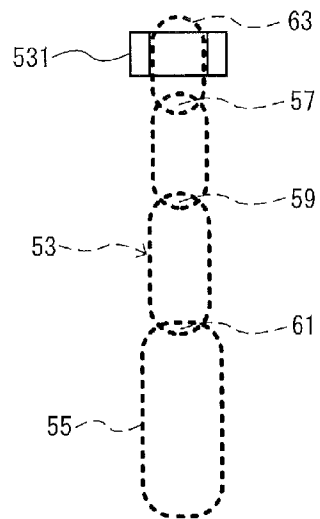
[図25]



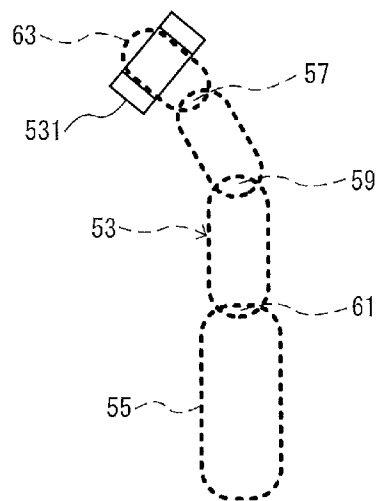
[図26]



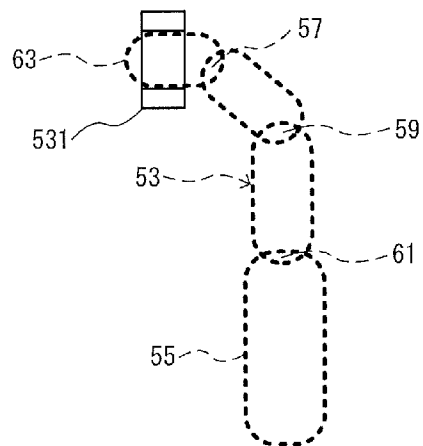
[図27]



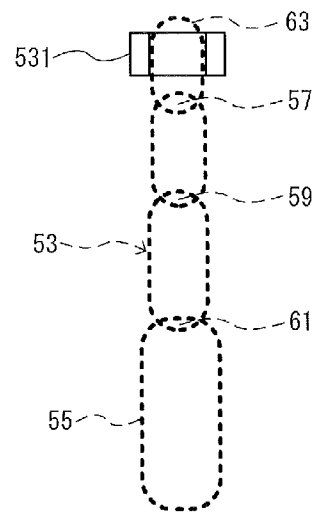
[図28]



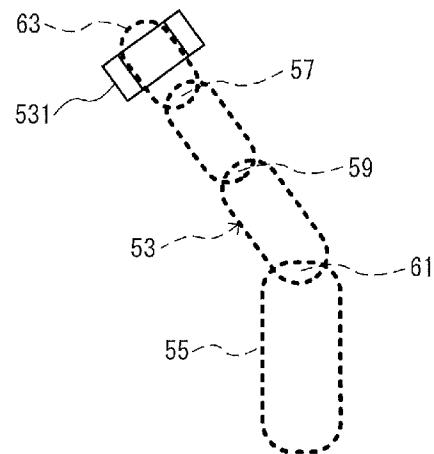
[図29]



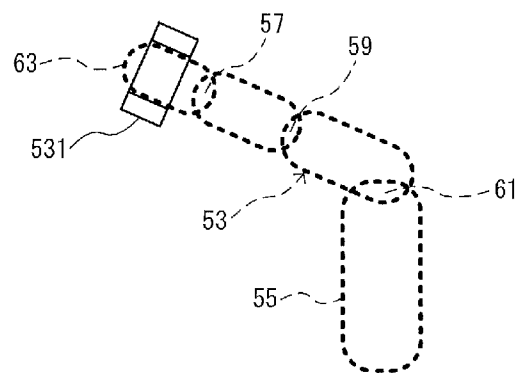
[図30]



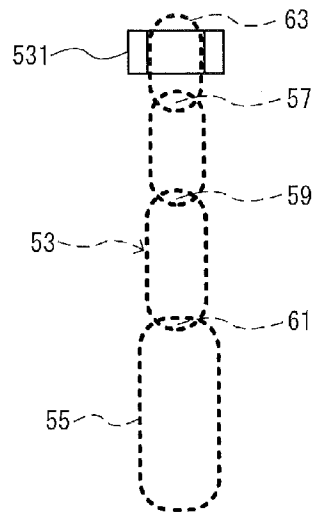
[図31]



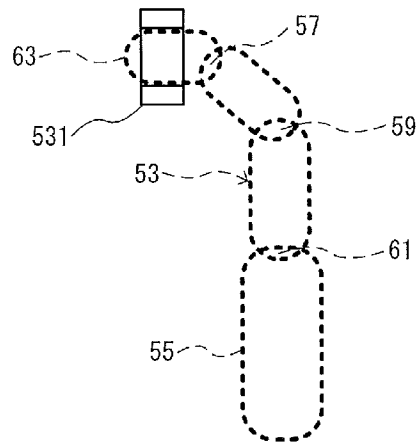
[図32]



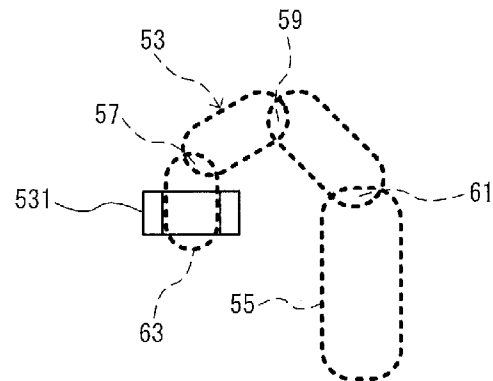
[図33]



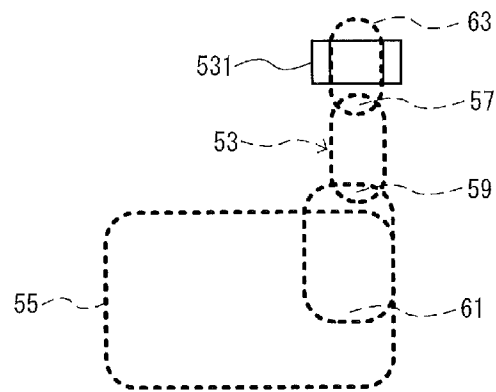
[図34]



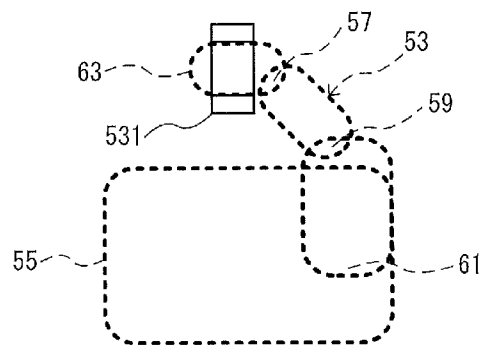
[図35]



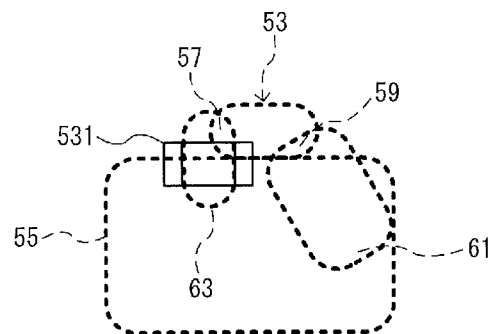
[図36]



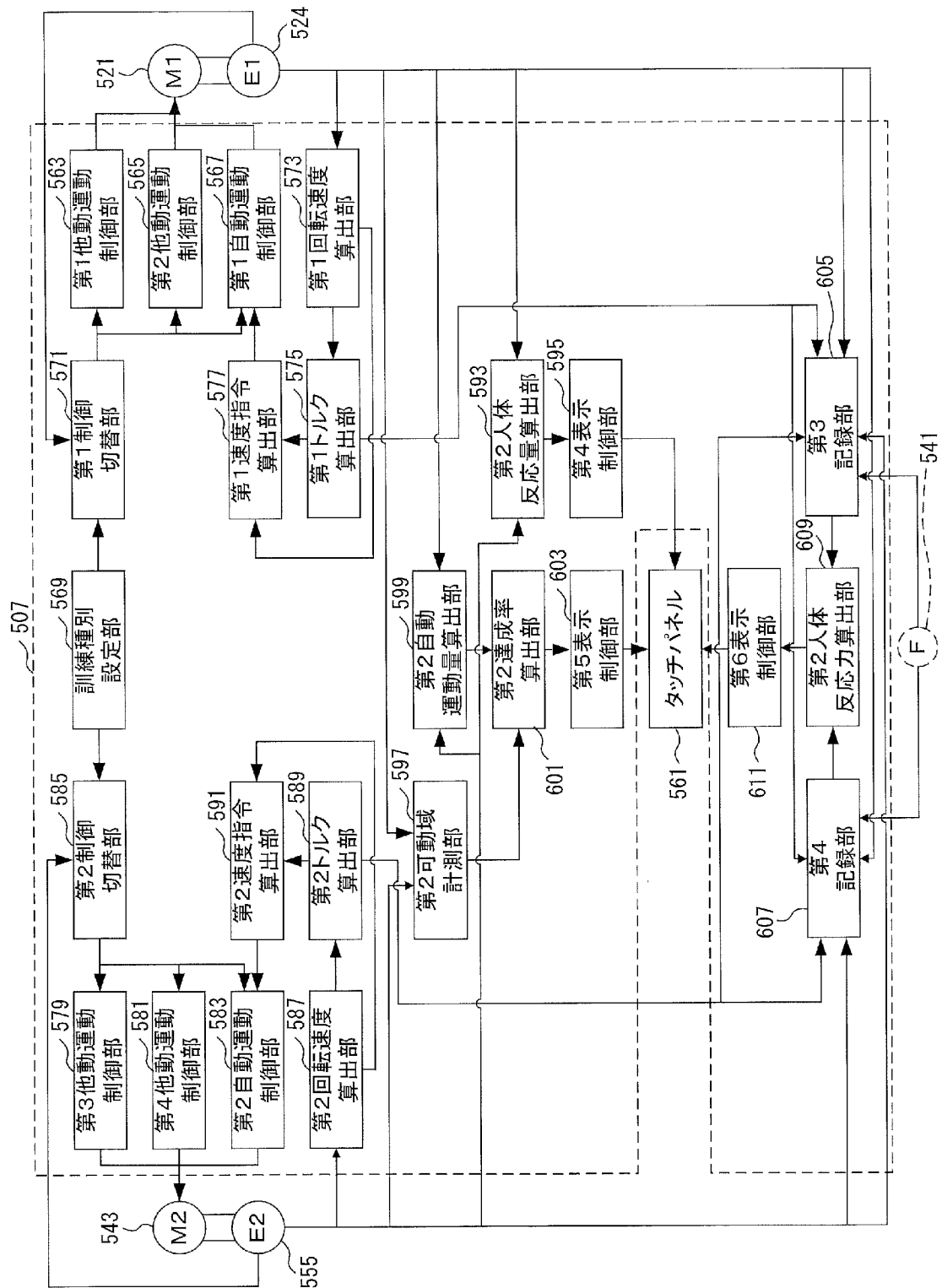
[図37]



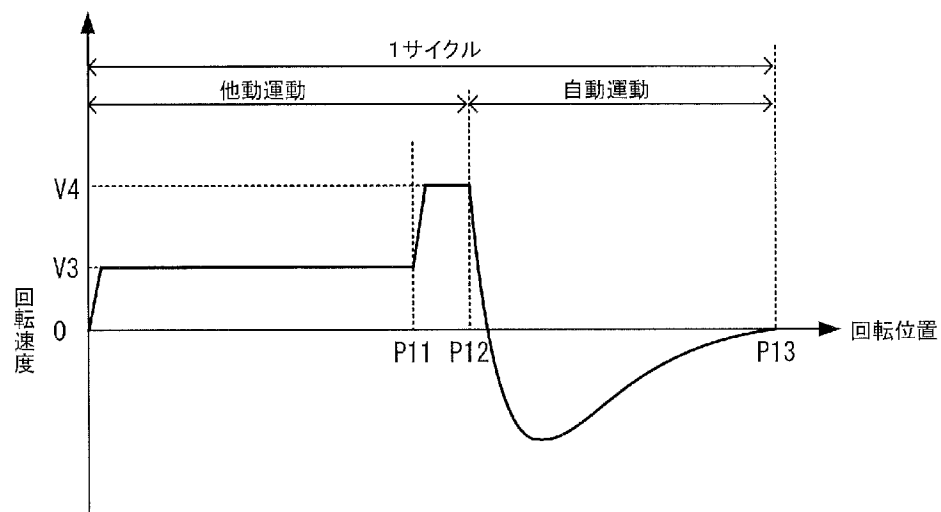
[図38]



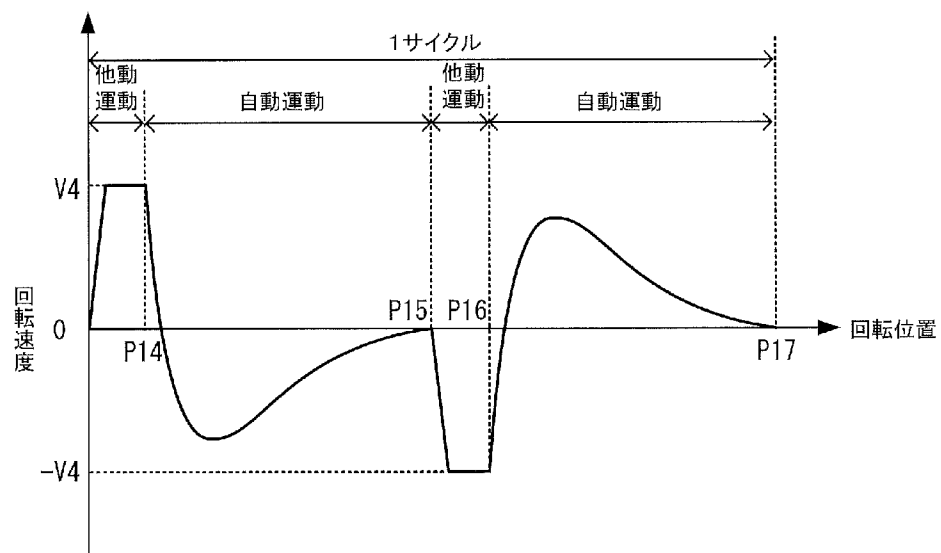
[図39]



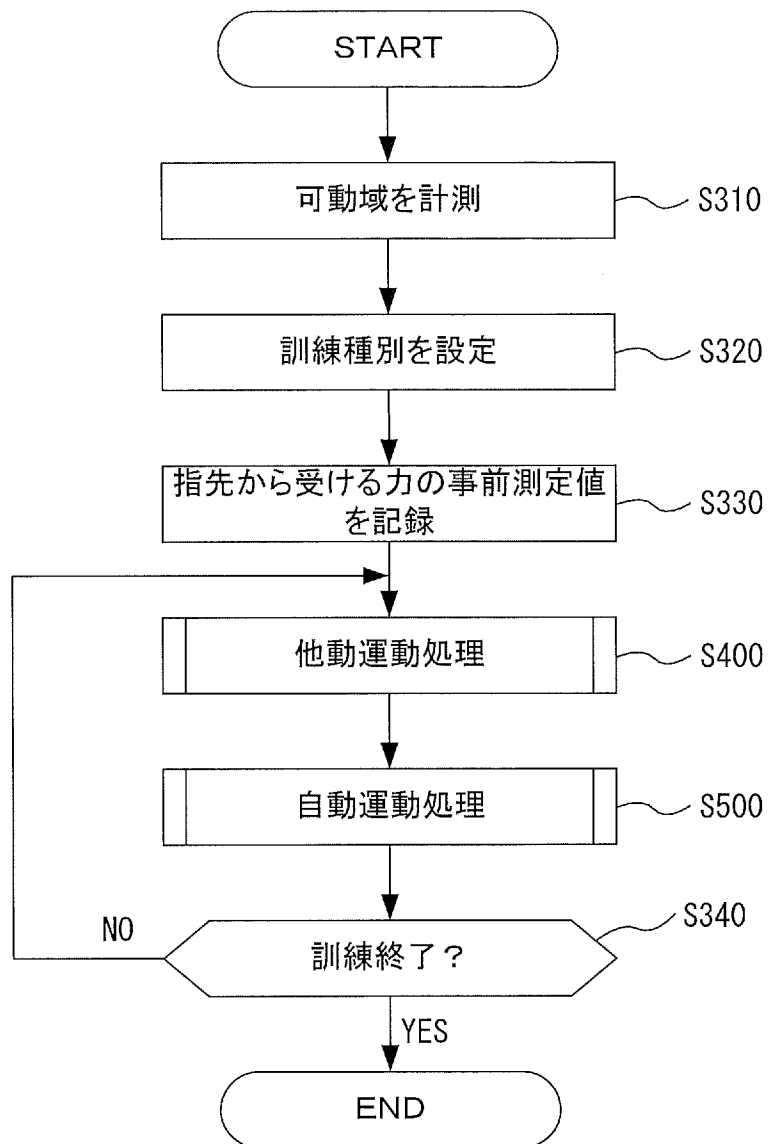
[図40]



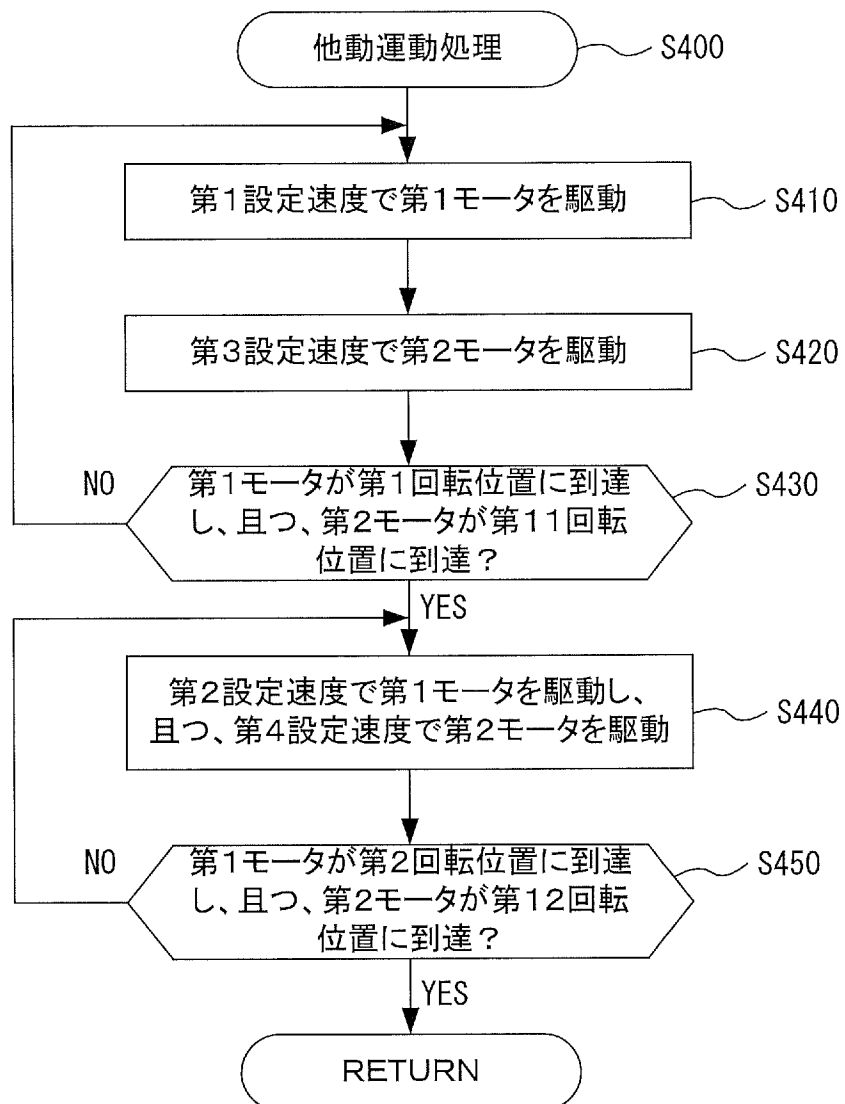
[図41]



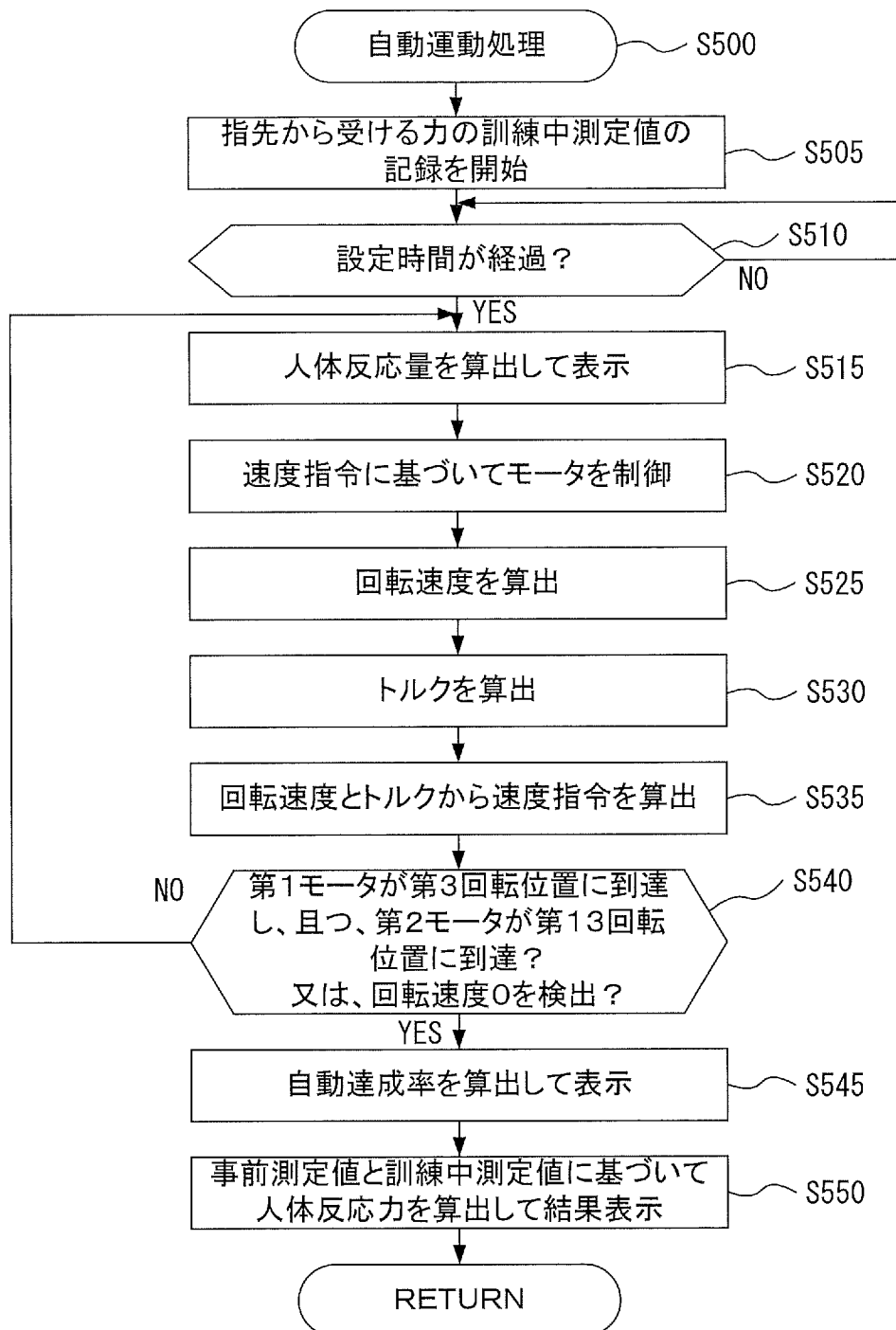
[図42]



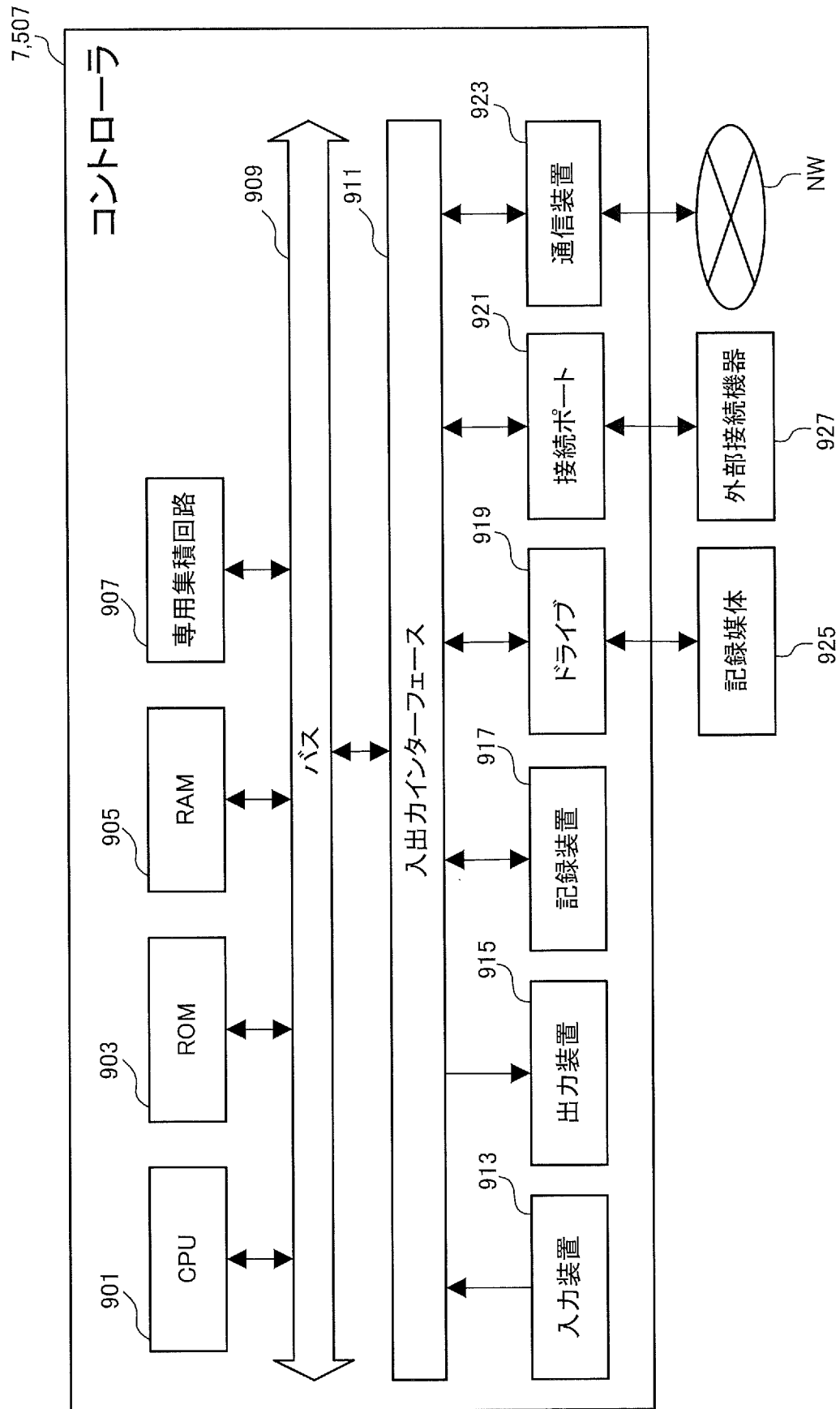
[図43]



[図44]



[図45]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006565

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61H 1/02 (2006.01) i; A61B 5/22 (2006.01) i
 FI: A61H1/02 K; A61B5/22 210

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61H1/02; A61B5/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2-297369 A (DANNINGER MEDICAL TECHNOLOGY, INC.) 07.12.1990 (1990-12-07) page 4, lower left column, line 17 to page 5, lower left column, line 14, fig. 8-11	1-2, 13 16-19 3-12, 14-15, 20-25
X Y A	US 5697892 A (SUTTER CORPORATION) 16.12.1997 (1997-12-16) column 4, line 38 to column 6, line 27, fig. 1-4	1-2 16-19 3-15, 20-25
X Y A	JP 2014-184027 A (SEIKO EPSON CORP.) 02.10.2014 (2014-10-02) paragraphs [0025]-[0071], fig. 1-10	4, 6-7, 14 16-19 1-3, 5, 8-13, 15, 20-25



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 April 2020 (13.04.2020)

Date of mailing of the international search report

21 April 2020 (21.04.2020)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006565

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2014-180298 A (SEIKO EPSON CORP.) 29.09.2014 (2014-09-29) paragraphs [0037]-[0067], fig. 1-9	4, 6-7 16-19 1-3, 5, 8-15, 20-25
Y	JP 2015-245 A (KAGOSHIMA UNIVERSITY) 05.01.2015 (2015-01-05) paragraphs [0058]-[0059]	16-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/006565

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2-297369 A	07 Dec. 1990	US 5115806 A column 4, line 57 to column 5, line 64, fig. 8-11 EP 382535 A2 (Family: none)	
US 5697892 A	16 Dec. 1997	US 2014/0288664 A1 paragraphs [0036]- [0082], fig. 1-10 EP 2783660 A1 CN 104068989 A (Family: none)	
JP 2014-184027 A	02 Oct. 2014		
JP 2014-180298 A	29 Sep. 2014		
JP 2015-245 A	05 Jan. 2015		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） A61H 1/02(2006.01)i; A61B 5/22(2006.01)i FI: A61H1/02 K; A61B5/22 210										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） A61H1/02; A61B5/22										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2020年									
日本国実用新案登録公報	1996-2020年									
日本国登録実用新案公報	1994-2020年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	JP 2-297369 A (ダニンガー・メディカル・テクノロジー・インコーポレーテッド) 07.12.1990 (1990-12-07) 4頁左下欄17行-5頁左下欄14行, 第8-11図	1-2, 13								
Y		16-19								
A		3-12, 14-15, 20-25								
X	US 5697892 A (SUTTER CORPORATION) 16.12.1997 (1997-12-16) 4欄38行-6欄27行, 図1-4	1-2								
Y		16-19								
A		3-15, 20-25								
X	JP 2014-184027 A (セイコーエプソン株式会社) 02.10.2014 (2014-10-02) [0025]-[0071], 図1-10	4, 6-7, 14								
Y		16-19								
A		1-3, 5, 8-13, 15, 20-25								
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 13.04.2020	国際調査報告の発送日 21.04.2020									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 小野田 達志 3E 3117 電話番号 03-3581-1101 内線 3346									

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2014-180298 A (セイコーエプソン株式会社) 29.09.2014 (2014 - 09 - 29) [0037]-[0067], 図1-9	4, 6-7
Y		16-19
A		1-3, 5, 8-15, 20-25
Y	JP 2015-245 A (国立大学法人 鹿児島大学) 05.01.2015 (2015 - 01 - 05) [0058]-[0059]	16-19

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/006565

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2-297369	A	07.12.1990	US 5115806 A 4欄57行-5欄64行, 第8-11図 EP 382535 A2	
US	5697892	A	16.12.1997	(ファミリーなし)	
JP	2014-184027	A	02.10.2014	US 2014/0288664 A1 [0036]-[0082], 図1-10 EP 2783660 A1 CN 104068989 A	
JP	2014-180298	A	29.09.2014	(ファミリーなし)	
JP	2015-245	A	05.01.2015	(ファミリーなし)	