

(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2月11日(11.02.2021)



(10) 国際公開番号

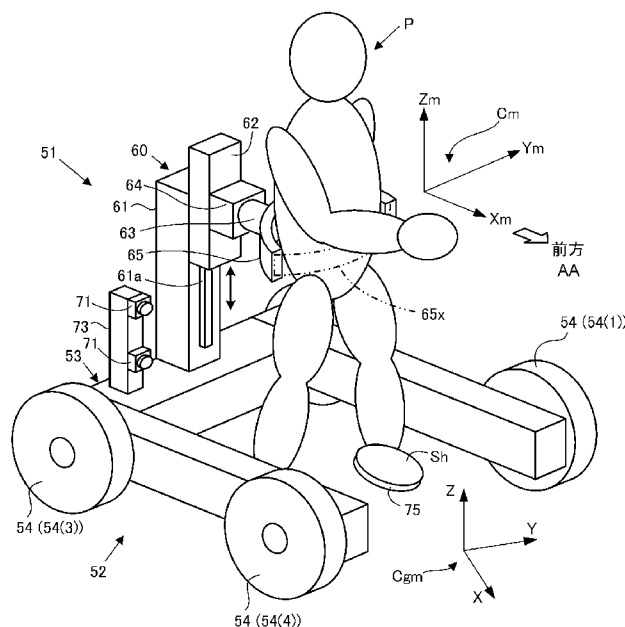
WO 2021/024593 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 3/00 (2006.01) *B25J 5/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/021739
- (22) 国際出願日: 2020年6月2日(02.06.2020)
- (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 2019-143080 2019年8月2日(02.08.2019) JP
- (71) 出願人: 本田技研工業株式会社 (HONDA MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1078556 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 竹中 透(TAKENAKA Toru); 〒3510193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 城倉 信也(SHIROKURA Shinya); 〒3510193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人創成国際特許事務所 (SATO & ASSOCIATES); 〒1600023 東京都新宿区西新宿6-24-1 西新宿三井ビルディング 18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,

(54) Title: OPERATION SYSTEM FOR MOBILE OBJECT

(54) 発明の名称: 移動体の操縦システム

FIG.4



(57) Abstract: A master device 51 for operating a slave device 1 having two legs 3 includes: an upper body supporting part 65 mounted on an upper body of an operator P so as to be movable with a movement of the operator P; and upper body supporting part drive mechanisms 52, 60 capable of giving a lateral translational force to the upper body supporting part 65. Movement of the upper body supporting part drive mechanism 52 of the master device 51 is controlled such that the operator P is acted upon, through the upper body supporting part 65, by the lateral translational force in a direction to

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, 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))

reduce a deviation, from a predetermined target correspondence relation, of a relation between an actual lateral position of the upper body of the operator P and an actual lateral position of the upper body of the slave device 1.

(57) 要約: 2つの脚3を有するスレーブ装置1を操縦するマスター装置51は、操縦者Pの移動に伴い移動し得るように操縦者Pの上体に装着される上体支持部65と上体支持部65に横方向の並進力を付与し得る上体支持部駆動機構52、60とを含む。操縦者Pの上体の実際の横方向位置とスレーブ装置1の上体の実際の横方向位置との関係の、所定の目標対応関係からのずれを低減させる向きの横方向の並進力を上体支持部65から操縦者Pに作用させるようにマスター装置51の上体支持部駆動機構52の移動制御を行う。

明 細 書

発明の名称：移動体の操縦システム

技術分野

[0001] 本発明は、2つの脚を有する移動体の操縦システムに関する。

背景技術

[0002] 人型ロボット等の2つの脚を有する移動体（脚式移動体）の移動制御を行う技術としては、従来、例えば、特許文献1～5等に見られるものが従来より一般に知られている。これらの技術では、移動体の動力学モデルを用いて、ZMP（Zero Moment Point）等に関する動力的な所要の条件を満たし得るように移動体の目標歩容が生成され、この目標歩容に従って移動体の移動動作が行われる。

[0003] また、人型ロボット等の脚式移動体の遠隔操縦を行う技術としては、従来、例えば特許文献6，7に見られる如き操縦装置が知られている。この操縦装置は、サドルに腰かけた操縦者の左右の足に装着する足平支持機構を有する。そして、該操縦装置では、操縦者が足平支持機構を歩行動作を行うように動かすことで、バイラテラル制御によって、移動体の両脚を動かす。これにより、移動体の歩行動作が行われる。また、操縦者が、例えばリモコンを操縦操作することで、移動体の移動を行わせる技術も従来より一般に知られている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平10-277969号公報

特許文献2：特許第4246638号公報

特許文献3：米国特許第6969965号明細書

特許文献4：特許第4126061号公報

特許文献5：米国特許第8005573号明細書

特許文献6：特開平10-217159号公報

特許文献7：米国特許第5 8 4 1 2 5 8号明細書

発明の概要

- [0005] 人型ロボットの如き、2つの脚を有する移動体を、遠隔操縦によって様々な環境で移動させる場合、該移動体は、特許文献1～5に見られる如き制御を行っても、床面の予期しない凹凸や、障害物との接触等の様々な外乱の影響で、姿勢を崩してしまう状況が発生しやすい。
- [0006] このため、該移動体の姿勢の崩れが発生した状況では、操縦者が適切な対応処置を実施することができるようにするために、当該状況（以降、姿勢崩れ状況ということがある）の発生を操縦者がリアルタイムで速やかに認識し得ることが望まれる。
- [0007] ここで、前記特許文献6，7に開示されている操縦装置では、バイラテラル制御によって、移動体の各足部に作用する床反力に応じた力が、操縦者の足部に作用し、また、移動体の上体の傾きに応じてサドルが傾くようになっている。
- [0008] しかるに、特許文献6，7に見られる操縦装置の如く、操縦者がサドルに腰かけた状態で、該操縦者の各足部に上記の如く力が作用したり、あるいは、サドルの傾きが発生しても、操縦者は、各足部に作用した力や、サドルの傾きが、移動体の姿勢崩れ状況の発生に起因するものであるのか否かを区別して素早く認識することは一般には困難である。
- [0009] また、特許文献6，7に見られる操縦装置は、操縦者の足部に装着する足平支持機構を空間的に動かすための機構と多数のアクチュエータとを必要とするため、装置構成が複雑で大型のものとなると共に、高価なものとなりやすい。
- [0010] 本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、移動体の姿勢の崩れが発生した場合に、操縦者がそのことを速やかに適切に認識することができる操縦システムを提供することを目的とする。また、かかる操縦システムを簡易な構成で実現し得ることを目的とする。
- [0011] 本発明の移動体の操縦システムは、上記の目的を達成するために、上体と

該上体から延設された2つの脚とを有する脚式移動体であるスレーブ装置を移動させる操縦を行い得る操縦システムであって、

操縦者が移動するに伴い、該操縦者と共に移動し得るように該操縦者の上体に装着される上体支持部と、該上体支持部を横方向に移動させる並進力を該上体支持部に付与し得るように該上体支持部に取付けられた上体支持部駆動機構とを含むマスター装置と、

前記スレーブ装置の各脚の目標運動である目標スレーブ脚運動と前記スレーブ装置の上体の目標運動である目標スレーブ上体運動とを含むスレーブ側動作目標と、前記マスター装置の上体支持部駆動機構の動作目標であるマスター側動作目標とを決定する動作目標決定部と、

前記決定されたマスター側動作目標に応じて前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うマスター側制御部と、

前記決定されたスレーブ側動作目標に応じて前記スレーブ装置の作動制御を行うスレーブ側制御部とを備えており、

前記上体支持部、前記操縦者の上体、及び前記操縦者の重心のうちのいずれか1つの横方向位置をマスター側基準部横方向位置と定義し、前記スレーブ装置の上体及び重心のうちのいずれか1つの横方向位置をスレーブ側基準部横方向位置と定義したとき、

前記動作目標決定部は、

前記操縦者がその脚の運動によって移動するに伴い、前記スレーブ装置をその脚の運動によって移動させるように、少なくとも前記操縦者の各脚の運動状態の観測値を用いて前記目標スレーブ脚運動を決定する第1処理部と、

実際の前記マスター側基準部横方向位置と実際の前記スレーブ側基準部横方向位置との間の関係が所定の第1目標対応関係を満たす状態に近づき、且つ、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値を実際の前記スレーブ側基準部横方向位置に一致させ、又は近づけるように、前記マスター側基準部横方向位置及び前記スレーブ側基準部横方向位置のそれぞれの観測値を用いて前記目標スレーブ上体運動と前記マ

スター側動作目標とを決定する第2処理部とを含むように構成されていることを特徴とする（第1発明）。

[0012] なお、本明細書において、任意の物体の運動、力等の任意の状態量の「観測値」は、適宜の検出器もしくはセンサによる該状態量の検出値、あるいは、該状態量と一定の相関関係を有する他の1つ以上の状態量の検出値もしくは推定値から、該相関関係に基づいて推定してなる推定値、あるいは、該状態量の実際の値と一致もしくはほぼ一致するとみなし得る疑似的な推定値を意味する。

また、「上下方向」は、鉛直方向又は、ほぼ鉛直な方向を意味し、「横方向」は、水平方向又はほぼ水平な方向を意味する。

[0013] 上記第1発明によれば、操縦者が、前記上体支持部を自身の上体に装着した状態で、自身の脚の運動（例えば歩行動作）によって床面上を移動すると、これに応じて、スレーブ装置を、その脚の運動によって移動させるように、スレーブ側動作目標のうちの目標スレーブ脚運動が決定される。

[0014] また、実際のマスター側基準部横方向位置と実際のスレーブ側基準部横方向位置との間の関係が所定の第1目標対応関係を満たす状態に近づき、且つ、スレーブ側動作目標により規定されるスレーブ側基準部横方向位置の目標値を実際のスレーブ側基準部横方向位置に一致させ、又は近づけるように、スレーブ側動作目標のうちの目標スレーブ上体運動とマスター側動作目標とが決定される。

[0015] なお、前記第1目標対応関係としては、例えば、マスター側基準部横方向位置及びスレーブ側基準部横方向位置が互いに一致するという関係、あるいは、一方が他方に比例するという関係、あるいは、一方が他方の一次関数により表されるという関係等を採用し得る。

[0016] そして、上記の如く決定された目標スレーブ脚運動及び目標スレーブ上体運動を含むスレーブ側動作目標に応じてスレーブ装置の作動制御が行われると共に、上記の如く決定されたマスター側動作目標に応じてマスター装置の作動制御が行われる。

- [0017] この場合、スレーブ装置は、基本的には、操縦者の移動に追従するような形態で移動する。ただし、操縦者が姿勢を崩すことなく通常の姿勢で移動している状態であっても、スレーブ装置の移動環境の床面の凹凸や、スレーブ装置と障害物との接触等の外乱の影響で、スレーブ装置がその姿勢を崩してしまう場合がある。ひいては、実際のスレーブ側基準部横方向位置が、実際のマスター側基準部横方向位置に対して第1目標対応関係を満たす状態からずれてしまう場合がある。
- [0018] このとき、目標スレーブ上体運動は、操縦者の上体や上体支持部の横方向の位置によらずに、スレーブ側基準部横方向位置の目標値を実際のスレーブ側基準部横方向位置に一致させ、又は近づけるように決定される。一方、マスター側動作目標は、実際のマスター側基準部横方向位置と実際のスレーブ側基準部横方向位置との関係を第1目標対応関係に近づけるように決定される。
- [0019] このため、スレーブ装置の姿勢の崩れが発生した場合には、実際のマスター側基準部横方向位置を、姿勢を崩したスレーブ装置の実際のスレーブ側基準部横方向位置に対して第1目標関係を満たす位置に向かって変位させようとする横方向の並進力が上体支持部から操縦者に作用するように、マスター装置の作動制御が行われる。例えばスレーブ装置が、前のめり方向に姿勢を崩した場合には、操縦者の上体に上体支持部から前方方向への並進力が作用するようにマスター装置の作動制御が行われる。
- [0020] このため、操縦者の移動に伴うスレーブ装置の移動中に、スレーブ装置の姿勢の崩れが発生した場合には、操縦者は、その上体に、自身の姿勢を崩すような横方向の並進力を上体支持部から受ける。これにより、操縦者は、スレーブ装置が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置のどの向きに生じたのかを、適切かつ迅速に認識することが可能となる。よって、第1発明によれば、スレーブ装置（移動体）の姿勢の崩れが発生した場合に、操縦者がそのことを速やかに適切に認識することができる。
- [0021] 補足すると、目標スレーブ脚運動を決定する前記第1処理部の処理として

は、例えば、操縦者の各脚の先端部（足部）の位置と、スレーブ装置の各脚（操縦者の脚に対応する脚）の先端部の位置との間の関係が、マスター側基準部横方向位置とスレーブ側基準部横方向位置との間の第1目標対応関係と同じ目標対応関係を満たすように、スレーブ装置の各脚の先端部の目標位置を、操縦者の脚の先端部の位置の観測値に応じて決定する処理を採用し得る。

[0022] また、目標スレーブ脚運動のうちのスレーブ装置の各脚の先端部の姿勢に関しては、例えば、操縦者の各脚の先端部（足部）の姿勢と、スレーブ装置の各脚（操縦者の脚に対応する脚）の先端部の姿勢との間の関係が、所定の目標対応関係を満たすように、スレーブ装置の各脚の先端部の目標姿勢を、操縦者の脚の先端部の姿勢の観測値に応じて決定する処理を採用し得る。

[0023] 上記第1発明では、前記動作目標決定部が決定する前記マスター側動作目標は、前記上体支持部の目標横方向位置を含み、前記第2処理部は、前記上体支持部の目標横方向位置により規定される前記マスター側基準部横方向位置と、前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値との間の関係が前記第1目標対応関係を満たす状態になるように、該スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値を用いて前記上体支持部の目標横方向位置を決定する第201処理部を含むように構成され、前記マスター側制御部は、前記上体支持部の実際の横方向位置を前記決定された目標横方向位置に追従させるように前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うように構成されているという態様を採用し得る（第2発明）。

[0024] これによれば、上体支持部の横方向位置が、スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値に対して上記の如き決定される目標横方向位置に追従するように制御される。このため、スレーブ装置の姿勢の崩れに応じて、上体支持部から操縦者の上体に横方向の並進力を付与することを適切に実現できる。

[0025] 上記1発明又は第2発明では、前記第2処理部は、前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値を、該スレーブ側基準部横方向位置の観測値に一致させ

るように、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を該スレーブ側基準部横方向位置の観測値を用いて決定する第202処理部を含むように構成されているという態様を採用し得る（第3発明）。

[0026] これによれば、スレーブ装置の上体の目標横方向位置は、実際のマスター側機基準部横方向位置に依存することなく、目標スレーブ側動作目標により規定されるスレーブ側基準部横方向位置の目標値が実際の位置に一致するように決定される。このため、スレーブ装置の姿勢の崩れによって、実際のスレーブ側基準部横方向位置とマスター側基準部横方向位置との間の関係が第1目標対応関係からずれると、スレーブ装置の姿勢の崩れを操縦者に認識させ得るように、上体支持部から操縦者の上体に横方向の並進力を付与することを速やかに実現できる。

[0027] 上記第1発明又は第2発明では、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記スレーブ装置の動力学を表す第1の動力学モデルにおいて前記スレーブ装置に作用させる第1仮想外力を決定する第4処理部とを含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって該スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力及び前記決定された第1仮想外力の合力に前記第1の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の横方向の目標並進加速度を決定し、さらに該目標並進加速度を積分することにより、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を決定する第203処理部を含むように構成され、

前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記

スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第4処理部は、前記第1偏差をゼロに近づけるように、該第1偏差の算出値を用いて前記第1仮想外力を決定するように構成されているという態様を採用することもできる（第4発明）。

[0028] これによれば、前記第1仮想外力が、上記第1偏差をゼロに近づけるように決定される。また、スレーブ装置の上体の横方向の目標並進加速度は、スレーブ側動作目標により規定されるスレーブ装置の目標運動によって該スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、目標スレーブ床反力及び第1仮想外力の合力に第1の動力学モデル上で釣り合うように決定される、さらに、この目標並進加速度を積分することによりスレーブ装置の上体の目標横方向位置が決定される。

[0029] このため、スレーブ装置の姿勢の崩れの発生等に起因して上記第1偏差が発生すると、スレーブ装置の上体の実際の運動と目標スレーブ上体運動とが大きく乖離することを防止し得るように、スレーブ側動作目標を決定できる。ひいては、スレーブ装置の動作の急激な変化を抑制し得るように、スレーブ側動作目標を決定し得る。その結果、スレーブ装置の運動を滑らかに行うことが可能となる。

[0030] また、スレーブ装置の上体の目標横方向位置は、該目標横方向位置を含むスレーブ装置の目標運動が、第1の動力学モデル上で目標スレーブ床反力に加えて第1仮想外力を作用させたスレーブ装置において、動力的に成立し得るように決定される。このため、例えばマスター装置とスレーブ装置との間の通信不良等により、操縦者の実際の運動状態に応じてスレーブ側動目標を決定することができない状態になっても、ある程度は、スレーブ装置の適切な動作を行い得るように、スレーブ側動作目標を決定することが可能となる。

[0031] 補足すると、目標スレーブ床反力を決定する第3処理部の処理では、決定する目標スレーブ床反力は、スレーブ装置に作用する床反力のうちの一部の

構成要素の目標値であってもよい。例えば、スレーブ装置に作用する全体の床反力の圧力中心点（COP）としての全床反力中心点の目標位置だけを第3処理で決定してもよい。このことは、後述する発明においても同様である。

[0032] また、目標スレーブ床反力として、スレーブ装置の各脚に作用する床反力（並進力およびモーメントの両方又は一方）の目標値を決定する場合には、例えば、スレーブ装置の2つの脚のうちの第1脚に作用する床反力と操縦者の2つの脚のうちの第1脚（スレーブ装置の第1脚に対応する脚）に作用する床反力との比率、及び、スレーブ装置の2つの脚のうちの第2脚に作用する床反力と操縦者の2つの脚のうちの第2脚（スレーブ装置の第2脚に対応する脚）に作用する床反力との比率が、それぞれ所定値になるという関係を満たすように、目標スレーブ床反力のうち、スレーブ装置の各脚に作用する床反力の目標値を前記操縦者床反力の観測値を用いて決定し得る。この場合、上記比率に関する所定値としては、例えば、スレーブ装置の全体の質量と操縦者の全体の質量との比率を使用し得る。

[0033] 上記第1発明では、前記第2処理部は、前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と、実際の前記マスター側基準部横方向位置との間の関係が前記第1目標対応関係を満たす状態になるように、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を、前記マスター側基準部横方向位置の観測値を用いて決定する第204処理部と、前記マスター側基準部横方向位置の観測値と前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値との間の関係の、前記第1目標対応関係からのずれ度合いをゼロに近づけるように、該ずれ度合いの算出値を用いて前記マスター側動作目標を決定する第205処理部とを含むように構成されているという態様を採用することもできる（第5発明）。

[0034] なお、上記「ずれ度合い」としては、例えば、前記マスター側基準部横方向位置の観測値に対して前記第1目標対応関係を満たすスレーブ側基準部横方向位置の値と、スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、あるいは

、前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値に対して前記第1目標対応関係を満たすマスター側基準部横方向位置の値と、マスター側基準部横方向位置の観測値との偏差、あるいは、これらの偏差に対して単調に変化する関数値等を使用し得る。

[0035] 上記第5発明によれば、前記ずれ度合いをゼロに近づけるように（換言すれば、実際のマスター側基準部横方向位置と実際のスレーブ側基準部横方向位置との関係を第1目標対応関係に近づけるように）、マスター側動作目標が決定される。このため、スレーブ装置の姿勢の崩れの発生によって、上記ずれ度合いが大きくなると、操縦者の上体に該ずれ度合いを低減する向きの横方向の並進力が上体支持部から作用するようにマスター装置の作動制御が行われる。これにより、操縦者はスレーブ装置の姿勢の崩れの発生を認識できる。

[0036] また、マスター装置の上記の作動制御によって、実際のマスター側基準部横方向位置は、結果的に、実際のスレーブ側基準部横方向位置に対して前記第1目標対応関係を満たす位置に近づくように操作される。そして、スレーブ装置の上体の目標横方向位置は、マスター側基準部横方向位置の観測値を用いて上記の如く決定される。このため、目標スレーブ上体運動は、結果的に、スレーブ側基準部横方向位置の目標値を実際のスレーブ側基準部横方向位置に近づけるように決定される。

[0037] 上記第5発明では、前記第205処理部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける横方向の反力の目標値である目標上体支持部横方向反力を前記マスター側動作目標として決定するように構成され、前記マスター側制御部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける実際の横方向の反力を、前記決定された目標上体支持部横方向反力に追従させるように前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うように構成されているという態様を採用し得る（第6発明）。

[0038] これによれば、前記ずれ度合いを低減するように、目標上体支持部反力を決定して、該目標上体支持部反力を発生するようにマスター装置の作動制御

を行うことができる。ひいては、操縦者の上体に、前記ずれ度合いを低減させ得る横方向の並進力を上体支持部から作用させることを適切に実現できる。

[0039] 上記第1～第6発明では、前記第2処理部は、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置を、前記上体支持部もしくは前記操縦者の上体の実際の上下方向位置に対して所定の第2目標対応関係を満たすように、該上体支持部もしくは該操縦者の上体の上下方向位置の観測値を用いて前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置を決定し、又は、前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置をあらかじめ定めた所定値に決定する第206処理部を含むように構成されているという態様を採用し得る（第7発明）。

[0040] これによれば、スレーブ装置の上体の実際の上下方向位置を、マスター装置の上体支持部もしくは操縦者の上体の実際の上下方向位置に対して所定の第2目標対応関係を満たすように制御することができる。

[0041] なお、前記第2目標対応関係としては、例えば、上体支持部もしくは操縦者の上体の上下方向位置とスレーブ装置の上体の上下方向位置とが互いに一致するという関係、あるいは、一方が他方の比例するという関係、あるいは、一方が他方の一次関数により表されるという関係等を採用し得る。

[0042] 上記第1～第7発明では、前記第2処理部は、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を、前記操縦者の上体の実際の姿勢に対して所定の第3目標対応関係を満たすように、該操縦者の上体の姿勢の観測値を用いて前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第207処理部を含むように構成されているという態様を採用し得る（第8発明）。

[0043] これによれば、スレーブ装置の上体の実際の姿勢を、マスター装置の上体支持部もしくは操縦者の上体の実際の姿勢に対して所定の第3目標対応関係を満たすように制御することができる。

[0044] なお、第8発明において、スレーブ装置の上体の姿勢は、該スレーブ装置のロール方向（該スレーブ装置の前後方向の軸周り方向）の姿勢と、ピッチ

方向（スレーブ装置の左右方向の軸周り方向）の姿勢と、ヨー方向（上下方向の軸周り方向）の姿勢とのうちの全ての方向の姿勢でもよいが、これらの姿勢のうちの1つ又は2つの方向の姿勢だけであってもよい。このことは、操縦者の上体の姿勢についても同様である。また、このことは後述する他の発明についても同様である。

[0045] また、前記第3目標対応関係としては、例えば、操縦者の上体の姿勢とスレーブ装置の上体の姿勢とが互いに一致するという関係、あるいは、一方が他方の比例するという関係、あるいは、一方が他方の一次関数により表されるという関係等を採用し得る。

[0046] 上記第1～第7発明では、前記上体支持部駆動機構は、前記上体支持部を横方向に移動させる並進力と、該上体支持部を回転させる回転力とを該上体支持部に付与し得るように構成されていると共に、前記上体支持部は、前記操縦者の上体に装着された状態で前記上体支持部駆動機構から付与される回転力が前記操縦者の上体の姿勢を変化させる力として該操縦者の上体に伝達し得るように構成され得る。

[0047] この場合、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部を含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって前記スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力に、前記スレーブ装置の動力学を表す第2の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の目標角加速度を決定し、さらに、該目標角加速度を積分することにより前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第208処理部と、前記スレーブ装置の上体の実際の姿勢と、前記操縦者の上体の実際の姿勢との間の関係が所定の第3目標対応関係を満たす状態になるように、前記上体支持部の回転動作に関する前

記上体支持部駆動機構の動作目標である上体支持部回転動作目標を前記スレーブ装置の上体の姿勢の観測値又は前記決定された目標姿勢を用いて決定する第210処理部とを含むように構成されており、

前記マスター側制御部は、前記決定された上体支持部回転動作目標に応じて前記上体支持部を回転させる回転力を発生するように構成されているという態様を採用し得る（第9発明）。

[0048] これによれば、スレーブ装置の上体の目標角加速度は、スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって前記スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、操縦者床反力の観測値を用いて決定された目標スレーブ床反力に、前記スレーブ装置の動力学を表す第2の動力学モデル上で釣り合うように決定される。そして、この目標角加速度を積分することで、スレーブ装置の上体の目標姿勢が決定される。すなわち、スレーブ装置の上体の目標姿勢は、該目標姿勢を含むスレーブ装置の目標運動が、第2の動力学モデル上で目標スレーブ床反力を作用させたスレーブ装置において、動力的に成立し得るように決定される。

[0049] そして、スレーブ装置の上体の実際の姿勢と、操縦者の上体の実際の姿勢との間の関係が所定の第3目標対応関係を満たす状態になるように、上体支持部回転動作目標がスレーブ装置の上体の姿勢の観測値又は目標姿勢を用いて決定される。さらに、この上体支持部回転動作目標に応じて上体支持部を回転させる回転力を発生するようにマスター装置の作動制御が行われる。

[0050] これにより、操縦者の上体には、スレーブ装置の上体の姿勢の変化に追従させて、操縦者の上体の姿勢を変化させるように回転力が作用する。このため、操縦者は、スレーブ装置の上体の姿勢の変化を体感的に認識することができる。

[0051] 補足すると、第9発明を前記第4発明と組み合わせる場合には、第4発明における第1の動力学モデルと、第9発明における第2の動力学モデルとは、同じ動力学モデルであってもよい。さらに、第4発明における第203処理部と第9発明における第208処理部とを統合し、その統合した処理部よ

って、スレーブ装置の上体の目標角加速度と、横方向の目標並進加速度との両方を、同じ動力学モデルを用いて決定し得るようにしてもよい。

[0052] また、上記第1～第7発明では、前記上体支持部駆動機構を、前記第9発明と同様に構成した場合には、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記スレーブ装置の動力学を表す第3の動力学モデルにおいて前記スレーブ装置に作用させる第2仮想外力を決定する第5処理部とを含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって該スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力及び前記決定された第2仮想外力の合力に前記第3の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の目標角加速度を決定し、さらに、該目標角加速度を積分することにより前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第209処理部と、前記スレーブ装置の上体の姿勢と、前記操縦者の上体の姿勢との間の関係が所定の第3目標対応関係を満たす状態になるように、前記上体支持部の回転動作に関する前記上体支持部駆動機構の動作目標である上体支持部回転動作目標を前記スレーブ装置の上体の実際の姿勢の観測値又は前記決定された目標姿勢を用いて決定する第210処理部とを含むように構成されており、

前記マスター側制御部は、前記決定された上体支持部回転動作目標に応じて前記上体支持部を回転させる回転力を発生するように構成されており、

前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第5処理部は、前記第1偏差をゼロに近づけるように、該第

1 偏差の算出値を用いて前記第2仮想外力を決定するように構成されているという態様を採用することもできる（第10発明）。

[0053] これによれば、スレーブ装置の上体の目標角加速度は、スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって前記スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、操縦者床反力の観測値を用いて決定された目標スレーブ床反力と前記第1偏差の算出値を用いて決定された第2仮想外力との合力に、前記スレーブ装置の動力学を表す第3の動力学モデル上で釣り合うように決定される。そして、この目標角加速度を積分することで、スレーブ装置の上体の目標姿勢が決定される。すなわち、スレーブ装置の上体の目標姿勢は、該目標姿勢を含むスレーブ装置の目標運動が、第3の動力学モデル上で目標スレーブ床反力に加えて第2仮想外力を作用させたスレーブ装置において、動力的に成立し得るように決定される。

[0054] そして、第9発明と同様に上体支持部回転動作目標が決定され、さらに、この上体支持部回転動作目標に応じて上体支持部を回転させる回転力を発生するようにマスター装置の作動制御が行われる。

[0055] これにより、操縦者の上体には、スレーブ装置の上体の姿勢の変化に追従させて、操縦者の上体の姿勢を変化させるように回転力が作用する。このため、操縦者は、スレーブ装置の上体の姿勢の変化を体感的に認識することができる。

[0056] また、前記第2仮想外力が、前記第1偏差をゼロに収束させるように決定されるので、スレーブ装置の上体の実際の運動と目標スレーブ上体運動とが大きく乖離することを防止し得るように、スレーブ側動作目標を決定できる。ひいては、スレーブ装置の動作の急激な変化を抑制し得るように、スレーブ側動作目標を決定し、スレーブ装置の運動を滑らかに行うことが可能となる。

[0057] 補足すると、第10発明を前記第4発明と組み合わせる場合には、第4発明における第1の動力学モデルと、第10発明における第3の動力学モデル

とは、同じ動力学モデルであってもよい。さらに、第4発明における第203処理部と第10発明における第209処理部とを統合し、その統合した処理部によって、スレーブ装置の上体の目標角加速度と、横方向の目標並進加速度との両方を、同じ動力学モデルを用いて決定し得るようにしてもよい。

[0058] 上記第1～第10発明では、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部を含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を前記決定された目標スレーブ床反力に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第102処理部とを含み、該第102処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定するように構成されているという態様を採用することもできる（第11発明）。

[0059] これによれば、操縦者の各脚の実際の運動状態に応じてスレーブ装置の各脚の運動を行わせつつ、スレーブ装置に実際に作用する床反力が目標スレーブ床反力から乖離しないように目標スレーブ脚運動を決定できる。ひいては、スレーブ装置の姿勢の安定性を高めることができる。

[0060] また、上記第1～第10発明では、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記マスター側基準部横方向位置の観測値と前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値との間の関係の前記第1目標対応関係からのずれ度合いと、前記操縦者が前記上体支持部から受ける反力である上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように、前記決定され

た目標スレーブ床反力に付加すべき床反力である補償床反力を、前記ずれ度合いの算出値と前記上体支持部反力の横方向並進力の観測値とのうちの少なくとも一方を用いて決定する第6処理部とを含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の実際の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を、前記目標スレーブ床反力に前記補償床反力を付加した目標値に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第103処理部とを含み、該第103処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定するように構成されているという態様を採用することもできる（第12発明）。

[0061] これによれば、操縦者の各脚の実際の運動状態に応じてスレーブ装置の各脚の運動を行わせつつ、操縦者床反力の観測値に応じて決定した目標スレーブ床反力に補償床反力を付加した床反力をスレーブ装置に作用させ得るように、目標スレーブ脚位置姿勢を決定できる。

[0062] この場合、補償床反力は、前記ずれ度合いと、上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように決定される。ここで、前記ずれ度合いをゼロに近づけるように補償床反力を決定した場合には、実際のマスター側基準部横方向位置と実際のスレーブ側基準部横方向位置との間の関係が第1目標関係から乖離するのを極力抑制し得るように（換言すれば、当該乖離を生ぜしめるスレーブ装置の姿勢の崩れを極力回避し得るように）、目標スレーブ脚位置姿勢を決定し、該目標スレーブ脚位置姿勢に応じてスレーブ装置の脚の運動を行わせることができる。

[0063] また、上体支持部反力の横方向並進力をゼロに近づけるように、補償床反力を決定した場合には、スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の調整によって、スレーブ装置がその姿勢の崩れを回避し得る状況では、スレーブ

装置の姿勢の崩れを操縦者に認識させ得る力が操縦者の上体に上体支持部から作用するのを抑制することができる。

従って、操縦者の上体に、スレーブ装置の姿勢の崩れを操縦者に認識させ得る力が必要以上に頻繁に作用するのを防止することができる。

[0064] 上記第1～第10発明では、前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第1偏差と、前記操縦者が前記上体支持部から受ける反力である上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように、前記決定された目標スレーブ床反力に付加すべき床反力である補償床反力を、前記第1偏差の算出値と前記上体支持部反力の横方向並進力の観測値とのうちの少なくとも一方を用いて決定する第7処理部とを含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の実際の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を、前記目標スレーブ床反力に前記補償床反力を付加した目標値に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第103処理部とを含み、該第103処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定するように構成されているという態様を採用することもできる（第13発明）。

[0065] これによれば、操縦者の各脚の実際の運動状態に応じてスレーブ装置の各

脚の運動を行わせつつ、操縦者床反力の観測値に応じて決定した目標スレーブ床反力に補償床反力を付加した床反力をスレーブ装置に作用させ得るように、目標スレーブ脚位置姿勢を決定できる。

[0066] この場合、補償床反力は、前記第1偏差と、上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように決定される。ここで、前記第1偏差をゼロに近づけるように補償床反力を決定した場合には、実際のスレーブ側基準部横方向位置、あるいはスレーブ装置の上体の実際の傾きが目標値から乖離するのを極力抑制し得るように（換言すれば、当該乖離を生ぜしめるスレーブ装置の姿勢の崩れを極力回避し得るように）、目標スレーブ脚位置姿勢を決定し、該目標スレーブ脚位置姿勢に応じてスレーブ装置の脚の運動を行わせることができる。

[0067] また、上体支持部反力の横方向並進力をゼロに近づけるように、補償床反力を決定した場合には、スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の調整によって、スレーブ装置がその姿勢の崩れを回避し得る状況では、スレーブ装置の姿勢の崩れを操縦者に認識させ得る力が操縦者の上体に上体支持部から作用するのを抑制することができる。

[0068] 従って、前記第12発明と同様に、操縦者の上体に、スレーブ装置の姿勢の崩れを操縦者に認識させ得る力が必要以上に頻繁に作用するのを防止することができる。

[0069] 上記第1～第13発明では、前記上体支持部駆動機構は、前記上体支持部を横方向に移動させる並進力と、該上体支持部を上下方向に移動させる並進力とを付与し得るように構成されており、前記マスター側制御部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける上下方向の並進力が所定値となるように前記上体支持部駆動機構の作動制御を行う機能を有するように構成されているという態様を採用することができる（第14発明）。

[0070] なお、上記上下方向の並進力に関する「所定値」としては、例えばゼロ、あるいは、該並進力が上向きになるようにゼロからオフセットさせた値を採用し得る。このことは後述する第17発明においても同様である。

[0071] 上記第14発明によれば、操縦者は、自身の上体に装着した上体支持部から、上下方向の反力を受けない状態、もしくはほとんど受けない状態、もしくは、自身に作用する重力を支えるための力が軽減される状態で移動することができる。ひいては、操縦者は、通常の歩行時と同様の感覚で、あるいは、重力に対する自身の脚の負荷が軽減された状態で、床面上を移動することが可能となる。

[0072] 上記第1～第14発明では、前記上体支持部駆動機構は、前記操縦者が移動する床面上を移動し得るように構成された移動機構と、該床面に対する該移動機構の移動駆動力を発生可能な第1アクチュエータとを備えており、前記上体支持部は、前記移動機構と共に移動し得るように該移動機構に搭載されており、前記マスター側制御部は、前記マスター側動作目標に応じて前記第1アクチュエータの作動制御を行うことにより、前記移動機構の移動動作を制御するように構成されているという態様を採用し得る（第15発明）。

[0073] これによれば、上体支持部駆動機構を、操縦者の移動に伴い移動させることができるので、操縦者の移動環境が広くても、上体支持部駆動機構の構成を小型なものとすることが可能となる。また、前記第1アクチュエータの制御によって、上体支持部に付与する横方向の並進力を制御するための上体支持部駆動機構の動作を適切に制御することが可能となる。

[0074] また、第9発明又は第10発明（上体支持部を回転させる回転力を該上体支持部に付与し得るように上体支持部駆動機構が構成された発明）では、前記上体支持部駆動機構は、前記操縦者が移動する床面上を移動し得るように構成された移動機構と、該床面に対する該移動機構の移動駆動力を発生可能な第1アクチュエータと、前記上体支持部を回転させる回転力を発生可能な第2アクチュエータとを備えており、前記マスター側制御部は、前記マスター側動作目標に応じて前記第1アクチュエータの作動制御を行うと共に、前記上体支持部回転動作目標に応じて前記第2アクチュエータの作動制御を行うように構成されているという態様を採用し得る（第16発明）。

[0075] これによれば、第15発明と同様に、上体支持部駆動機構を、操縦者の移

動に伴い移動させることができるので、操縦者の移動環境が広くても、上体支持部駆動機構の構成を小型なものとするのが可能となる。また、前記第 1 アクチュエータ及び第 2 アクチュエータの制御によって、上体支持部に付与する横方向の並進力、及び回転力の制御のための上体支持部駆動機構の動作を適切に制御することが可能となる。なお、第 16 発明は、前記第 11 ～ 14 発明と組み合わせてもよい。

[0076] 上記第 15 発明又は第 16 発明では、前記上体支持部駆動機構は、前記移動機構に対して前記上体支持部を昇降させ得るように支持する昇降機構と、該上体支持部を前記移動機構に対して昇降させる駆動力を発生可能な第 3 アクチュエータとをさらに備えており、前記マスター側制御部は、さらに前記操縦者が前記上体支持部から受ける上下方向の並進力が所定値となるように該上下方向の並進力の観測値に応じて前記第 3 アクチュエータの作動制御を行うように構成されているという構成を採用し得る（第 17 発明）。

[0077] これによれば、前記操縦者が前記上体支持部から受ける上下方向の並進力が所定値となるように該上下方向の並進力を制御することを、第 3 アクチュエータの制御によって適切に実現できる。

[0078] 上記第 1 ～ 第 16 発明では、前記上体支持部は、上下方向に移動自在な状態になるように前記上体支持部駆動機構に取付けられているという態様を採用することもできる（第 18 発明）。

[0079] これによれば、上体支持部を操縦者の上体に装着することで、該上体支持部を上下方向に駆動するアクチュエータを必要とすることなく、操縦者の上体の上下動に追従させて上体支持部を上下動させることができる。

[0080] 上記第 1 ～ 第 16 発明では、前記上体支持部は、上下方向に弾性的に移動し得るように前記上体支持部駆動機構に取付けられているという態様を採用することもできる（第 19 発明）。

[0081] なお、「上下方向に弾性的に移動し得る」というのは、上体支持部の上下方向の基準の位置からの変位に応じて、該上体支持部を該基準の位置に戻す方向の付勢力を該上体支持部に作用させ得ることを意味する。

[0082] これによれば、上体支持部の重さが操縦者の上体に作用するのを軽減もしくは解消することが可能となる。あるいは、操縦者に作用する重力に対する該操縦者の脚の負担を軽減することも可能である。

[0083] 上記第1～第8発明では、前記上体支持部は、前記操縦者のロール方向に、又は前記操縦者のピッチ方向に、又は該ロール方向とピッチ方向とに回転自在な状態となるように前記上体支持部駆動機構に取付けられているという態様を採用することもできる（第20発明）。なお、第20発明は、前記第11～第15発明、第17～第19発明と組み合わせることも可能である。

[0084] これによれば、操縦者は、その歩行時に上体をロール方向に傾けたり、あるいは、ピッチ方向に傾けたり、あるいは、ロール方向及びピッチ方向に傾けたりすることを、抵抗感なく、円滑に行うことが可能となる。ひいては、操縦者は歩行による移動を円滑に行うことが可能となる。

[0085] また、本発明の移動体の操縦システムは、上体と該上体から延設された2つの脚とを有する脚式移動体であるスレーブ装置を移動させる操縦を行い得る操縦システムであって、

操縦者が移動するに伴い、該操縦者と共に移動し得るように該操縦者の上体に装着される上体支持部と、該上体支持部を横方向に移動させる並進力を該上体支持部に付与し得るように該上体支持部に取付けられた上体支持部駆動機構とを含むマスター装置と、

前記スレーブ装置の動作目標であるスレーブ側動作目標と、前記マスター装置の上体支持部駆動機構の動作目標であるマスター側動作目標とを決定する動作目標決定部と、

前記決定されたマスター側動作目標に応じて前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うマスター側制御部と、

前記決定されたスレーブ側動作目標に応じて前記スレーブ装置の作動制御を行うスレーブ側制御部とを備えており、

前記上体支持部、前記操縦者の上体、及び前記操縦者の重心のうちのいずれか1つの横方向位置をマスター側基準部横方向位置と定義し、前記スレー

ブ装置の上体及び重心のうちのいずれか１つの横方向位置をスレーブ側基準部横方向位置と定義したとき、

前記動作目標決定部は、

前記操縦者の移動に伴い、前記スレーブ装置を移動させるように前記スレーブ側動作目標を決定すると共に、実際の前記マスター側基準部横方向位置と、実際の前記スレーブ側基準部横方向位置との間の関係の、所定の第１目標対応関係からのずれを低減させる向きの横方向の並進力を前記上体支持部から前記操縦者に作用させるように前記マスター側動作目標を決定するように構成されているという態様を採用し得る（第２１発明）。

[0086] かかる第２１発明によれば。スレーブ装置の姿勢の崩れに起因して、実際の前記マスター側基準部横方向位置と、実際の前記スレーブ側基準部横方向位置との間の関係が、所定の第１目標対応関係からずれた場合に、それを低減させる向きの横方向の並進力が、上体支持部から前記操縦者に作用する。このため、操縦者は、スレーブ装置が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置のどの向きに生じたのかを、適切かつ迅速に認識することが可能となる。よって、第２１発明によれば、スレーブ装置（移動体）の姿勢の崩れが発生した場合に、操縦者がそのことを速やかに適切に認識することができる。

図面の簡単な説明

[0087] [図１]本発明の実施形態における移動体としてのスレーブ装置の構成を示す斜視図。

[図２]第１実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図３]第１～６実施形態におけるマスター装置の構成を示す斜視図。

[図４]第１～６実施形態におけるマスター装置と操縦者とを示す斜視図。

[図５]第１実施形態におけるマスター装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図６]図５に示すマスター制御部の処理を示すフローチャート。

[図7]図5に示すマスター制御部の処理に関する説明図。

[図8]図2に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図9]第2実施形態におけるマスター装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図10]第2実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図11]第3実施形態におけるマスター装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図12]第3実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図13]図12に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図14]図13のSTEP18aで使用する動力学モデルの説明図。

[図15]第4実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図16]第5実施形態におけるマスター装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図17]図16に示すマスター制御部の処理を示すフローチャート。

[図18]第5実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図19]図18に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図20]第6実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図21]図21Aは第7～第12実施形態におけるマスター装置の要部構成の平面図、図21Bは該要部構成の側面図。

[図22]第7～第12実施形態におけるマスター装置の動作制御に関する要部構成を示すブロック図。

[図23]第7実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図24]図 2 3 に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図25]図 2 4 の S T E P 1 9 で使用する動力学モデルの説明図。

[図26]第 8 実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図27]第 9 実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図28]図 2 7 に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図29]第 1 0 実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図30]第 1 1 実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図31]図 3 0 に示すスレーブ動作目標決定部の処理を示すフローチャート。

[図32]第 1 2 実施形態におけるスレーブ装置の動作制御に関する構成を示すブロック図。

[図33]第 1 4 実施形態における昇降機構の要部の構成を示す図。

[図34]マスター装置の他の構成例を示す図。

[図35]マスター装置の他の構成例を示す図。

発明を実施するための形態

[0088] [第 1 実施形態]

本発明の第 1 実施形態を図 1 ～図 8 を参照して以下に説明する。本実施形態では、図 1 に例示するスレーブ装置 1 を、図 3 及び図 4 に例示するマスター装置 5 1 により操縦する操縦システムを一例として説明する。

[0089] [スレーブ装置の構成]

図 1 を参照して、本実施形態のスレーブ装置 1 は、例えば人型の脚式移動体であり、基体としての上体 2 と、上体 2 の下部から延設された左右一対の（2つの）脚 3, 3 と、上体 2 の上部から延設された左右一対の（2つの）腕 1 0, 1 0 と、上体 2 の上端部に取付けられた頭部 1 7 とを備える。なお、図 1 では、紙面に垂直な方向がスレーブ装置 1 の前後方向である。

[0090] 各脚 3 は、その構成要素のリンクとして大腿部 4、下腿部 5 及び足部 6 を有し、該大腿部 4、下腿部 5 及び足部 6 を、上体 2 側から順番に、股関節機構 7、膝関節機構 8、足首関節機構 9 を介して連結して構成されている。各脚 3 の関節機構 7、8、9 のそれぞれは、1 つ又は複数の関節（図示省略）により構成される。

[0091] 例えば、上記関節として、1 軸の回転自由度を有する公知の構造の関節（1 つの回転軸周りに互いに相対回転し得るように連結された 2 つの部材により構成される関節）を使用し得る。そして、各脚 3 の股関節機構 7、膝関節機構 8、及び足首関節機構 9 は、それぞれ、例えば 3 つの関節、1 つの関節、2 つの関節により構成される。これにより、各脚 3 は、その足部 6 が上体 2 に対して 6 自由度の運動自由度を有するように構成される。

[0092] 各腕 10 は、その構成要素のリンクとして、上腕部 11、前腕部 12 及びハンド部 13 を有し、該上腕部 11、前腕部 12 及びハンド部 13 を、上体 2 側から順番に、肩関節機構 14、肘関節機構 15、手首関節機構 16 を介して連結して構成されている。各腕 10 の関節機構 14、15、16 のそれぞれは、1 つ又は複数の関節（図示省略）により構成される。

[0093] 例えば、各腕 10 の肩関節機構 14、肘関節機構 15、及び手首関節機構 16 は、各脚 3 と同様に、1 軸の回転自由度を有する関節を使用して、それぞれ、3 つの関節、1 つの関節、2 つの関節により構成され得る。これにより、各腕 10 は、そのハンド部 13 が上体 2 に対して 6 自由度の運動自由度を有するように構成される。

[0094] また、各腕 10 のハンド部 13 は、物体の把持等、所用の作業を行い得るように構成される。例えば、各ハンド部 13 は、クランプ機構、あるいは、人の手指と同様の動作を行い得る複数の指機構、あるいは、工具等により構成され得る。

[0095] 頭部 17 は、上体 2 の上端部に首関節機構 18 を介して取り付けられている。首関節機構 18 は、例えば、1 軸、2 軸、又は 3 軸の回転自由度を有するように 1 つ以上の関節により構成され得る。あるいは、頭部 17 は、上体

2の上端部に固定されていてもよい。

[0096] 上記の如く構成されたスレーブ装置1は、例えば人の歩行動作と同様に、各脚3の足部6の空中移動と床面への着地（接地）とを交互に行うように各脚3を動かすことで床面上を移動（歩行）することができる。なお、本明細書では、「床面」は、通常の意味での床面に限らず、地面もしくは路面等であってもよい。また、「床面」は平坦面に限らず、凹凸や段差等を有する面であってもよい。

[0097] 補足すると、スレーブ装置1の脚3及び腕10のそれぞれは、6自由度の運動自由度に限らず、例えば7自由度以上の運動自由度を有するように構成されていてもよい。また、脚3及び腕10のそれぞれは、回転型の関節に限らず、直動型の関節を含んでいてもよい。また、スレーブ装置1は、2つの腕10、10を有する移動体に限らず、1つ又は3つ以上の腕を有する移動体、あるいは、腕を備えない移動体であってもよい。また、スレーブ装置1は、頭部17を備えない移動体であってもよい。また、スレーブ装置1の上体2は、例えば、その上部と下部とが互いに相対変位し得るように、該上部と下部との間に1つ以上の関節を備えるように構成されていてもよい。

[0098] 図2を参照して、スレーブ装置1はさらに、各関節を駆動する関節アクチュエータ21を備える。また、スレーブ装置1は、該スレーブ装置1の動作状態を検出するための検出器として、各関節の変位（本実施形態では回転角）を検出するための関節変位検出器22と、上体2の姿勢を検出するための上体姿勢検出器23と、各足部6が接地した床面から受ける床反力を検出するための床反力検出器25とを備える。

[0099] 関節アクチュエータ21及び関節変位検出器22は、それぞれ、スレーブ装置1の各関節毎に備えられ、床反力検出器25は、各脚3毎に備えられている。ただし、図2では、関節アクチュエータ21、関節変位検出器22及び床反力検出器25のそれぞれの1つだけを代表的に図示している。

[0100] なお、以降の説明では、位置、姿勢、力等の任意の状態量の検出値又は推定値を総称的に観測値ということがある。また、任意の状態量の名称の先頭

に、「実」を付したものは、該状態量の実際の値又はその観測値を意味し、任意の状態量の名称の先頭に、「目標」を付したものは、該状態量の目標値を意味する。

[0101] 各関節アクチュエータ 21 は、例えば電動モータにより構成され、駆動対象の関節を、図示しない減速機等の適宜の動力伝達機構を介して駆動するように、該関節に接続されている。なお、各関節アクチュエータ 21 は、電動モータに限らず、例えば、油圧アクチュエータにより構成されていてもよい。また、各関節アクチュエータ 21 は、回転型のアクチュエータに限らず、直動型のアクチュエータであってもよい。

[0102] 各関節変位検出器 22 は、例えばロータリエンコーダ、レゾルバ、ポテンシオメータ等により構成され、検出対象の関節の実際の変位（回転角）である実関節変位を検出し得るように、該関節（又は該関節の変位に連動して回転する回転部材）に接続されている。

[0103] 上体姿勢検出器 23 は、例えば、3 軸の加速度（3 次元の並進加速度ベクトル）を検出可能な加速度センサ 23 a と、3 軸の角速度（3 次元の角速度ベクトル）を検出可能な角速度センサ 23 b とを含む慣性センサを有し、上体 2 に生じる加速度及び角速度を検出し得るように上体 2 に搭載されている。

[0104] この上体姿勢検出器 23 は、本実施形態では、加速度センサ 23 a 及び角速度センサ 23 b のそれぞれで検出された加速度及び角速度から、上体 2 の実際の姿勢のうちの傾きである実上体傾きを推定する処理を実行する姿勢推定部 23 c を含む。該姿勢推定部 23 c は、例えばマイクロコンピュータもしくはプロセッサ、メモリ、インターフェース回路等を含む電子回路ユニットにより構成される。そして、姿勢推定部 23 c は、加速度及び角速度のそれぞれの観測値から、例えばストラップダウン方式等の公知に手法の演算処理により実上体傾きを推定し、その推定値（観測値）を出力する。

[0105] ここで、「姿勢」に関して補足すると、スレーブ装置 1 の上体 2 等、任意の物体の「姿勢」は、該物体の空間的な向きを意味する。また、物体の「姿

勢」のうち、上下方向（鉛直方向又はほぼ鉛直な方向）の軸周りの方向（所謂、ヨー方向という）での物体の姿勢を、該物体の「向き」と称し、横方向（水平方向又はほぼ水平な方向）の軸周りの方向（例えば、ピッチ方向、もしくはロール方向）での物体の姿勢を、該物体の「傾き」と称する。これらの「向き」及び「傾き」は、例えばオイラー角を用いて表現される。

[0106] 従って、上記上体姿勢検出器 23 の姿勢推定部 23c が推定する実上体傾きは、換言すれば、横方向の軸周りの方向での上体 2 の実際の姿勢である。この場合、姿勢推定部 23c が推定する実上体傾きは、より詳しくは、互いに直交する 2 つの横方向の軸（例えば後述するスレーブ側グローバル座標系 Cgs の X 軸及び Y 軸）のそれぞれの軸周り方向での上体 2 の傾きの組である。

[0107] 補足すると、姿勢推定部 23c は、加速度センサ 23a 及び角速度センサ 23b の搭載位置から離れた位置でスレーブ装置 1 に搭載されていてもよい。また、姿勢推定部 23c

[0108] は、後述するスレーブ制御部 31 に含まれていてもよい。また、姿勢推定部 23c は、スレーブ装置 1 の上体 2 の傾きだけでなく、上体 2 の向きを含めた姿勢を推定し得るように構成することも可能である。また、上体姿勢検出器 23 は、例えば、カメラによるスレーブ装置 1 の撮影映像を使用して、公知のモーションキャプチャの処理により上体 2 の傾き（又は、向きを含めた上体 2 の姿勢）を推定し得るように構成されていてもよい。この他、上体 2 の傾き（又は向きを含めた姿勢）を推定する手法としては、任意の物体の自己位置及び姿勢を推定可能な公知の様々な手法を採用し得る。

[0109] 各床反力検出器 25 は、例えば 3 軸の並進力（3 次元の並進力ベクトル）及び 3 軸のモーメント（3 次元のモーメントベクトル）を検出可能な 6 軸力センサにより構成され、各脚 3 の足部 6 に実際に作用する床反力（並進力及びモーメント）である実足部床反力を検出し得るようにスレーブ装置 1 に取り付けられている。例えば、図 1 に示す如く、各床反力検出器 25 は、各脚 3 の足部 6 と足首関節機構 9 との間に介装されている。なお、本明細書では、

「モーメント」は、特にことわらない限り、「力のモーメント」を意味する。

[0110] スレーブ装置 1 は、さらに、スレーブ装置 1 の全体の動作目標の決定処理等を実行する機能を有するスレーブ制御部 3 1 と、各関節の作動を関節アクチュエータ 2 1 を介して制御する機能を有する関節制御部 3 2 と、後述するマスター制御部 8 1 との間で無線通信を行うための通信装置 3 3 とを備える。これらは、上体 2 等、スレーブ装置 1 の任意の適所に搭載される。

[0111] スレーブ制御部 3 1 及び関節制御部 3 2 のそれぞれは、例えば、マイクロコンピュータ、メモリ、インターフェース回路等を含む電子回路ユニットにより構成される。スレーブ制御部 3 1 には、上体姿勢検出器 2 3 及び各床反力検出器 2 5 のそれぞれにより検出又は推定された観測データが入力されると共に、スレーブ装置 1 の動作に関する指令情報が後述するマスター制御部 8 1 から通信装置 3 3 を介して入力される。なお、スレーブ制御部 3 1 に入力される観測データや指令情報は、ローパスフィルタ等のフィルタリング処理を施したフィルタリング値であってもよい。

[0112] そして、スレーブ制御部 3 1 は、実装されたハードウェア構成及びプログラム（ソフトウェア構成）の両方又は一方により実現される機能として、マスター制御部 8 1 から入力される指令情報等に基づいて、スレーブ装置 1 の基本の動作目標を決定するスレーブ動作目標決定部 3 1 a と、該基本の動作目標のうち、各脚 3 の運動に関する動作目標をコンプライアンス制御の処理を用いて適宜修正する複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b と、スレーブ装置 1 の動作目標に応じて各関節の変位（回転角）の目標値である目標関節変位を決定する関節変位決定部 3 1 c と、スレーブ装置 1 の上体 2 の実際の横方向位置である実スレーブ上体横方向位置を推定する上体横方向位置推定部 3 1 d とを含む。

[0113] 本実施形態では、スレーブ動作目標決定部 3 1 a が決定する基本の動作目標には、上体 2 の目標運動である目標スレーブ上体運動と、各脚 3 の目標運動である目標スレーブ脚運動と、スレーブ装置 1 に床面から作用する床反力

の目標値である目標スレーブ床反力とが含まれる。

[0114] この場合、目標スレーブ上体運動は、詳しくは、上体 2 の位置及び姿勢の組の目標値である目標上体位置姿勢の時系列により表され、目標スレーブ脚運動は、詳しくは、各脚 3 の足部 6 の位置及び姿勢の組の目標値である目標足部位置姿勢の時系列により表される。

[0115] ここで、本明細書では、スレーブ装置 1 の上体 2 等、任意の物体の「位置」は、該物体のあらかじめ設定（定義）された代表点の空間的な位置を意味する。そして、任意の物体の「位置姿勢」は、該物体の位置と姿勢との組を意味する。

[0116] また、スレーブ装置 1 の上体 2 及び各足部 6 のそれぞれの目標位置及び目標姿勢は、特にことわらない限り、スレーブ装置 1 の動作環境に対して設計的に設定（定義）されるグローバル座標系（ワールド座標系）で見た位置及び姿勢のそれぞれの目標値として表現される。該グローバル座標系（以降、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} という）としては、例えば図 1 に例示する如き 3 軸直交座標系 C_{gs} （上下方向を Z 軸方向、Z 軸に直交し、且つ互いに直交する 2 つの横方向を X 軸方向及び Y 軸方向とする X Y Z 座標系）が用いられる。なお、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の原点の位置や、X 軸方向及び Y 軸方向の向きは、スレーブ装置 1 の移動に伴い、随時更新（再設定）され得る。

[0117] この場合、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の Z 軸方向が上下方向、X 軸方向及び Y 軸方向が横方向であるので、Z 軸周りの方向（ヨー方向）での上体 2 の姿勢が、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た上体 2 の向きを表し、X 軸及び Y 軸のそれぞれの軸周りの方向での上体 2 の姿勢が、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た上体 2 の傾きを表す。このことは、各足部 6 の姿勢（向き及び傾き）についても同様である。

[0118] また、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た、スレーブ装置 1 の上体 2 等の任意の物体の「横方向位置」は、該スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の横方向の座標軸である X 軸及び Y 軸のそれぞれの座標軸方向の位置（X 軸方

向の位置及びY軸方向の位置)の組として表される。

[0119] また、スレーブ動作目標決定部31aが決定する基本の動作目標のうちの目標スレーブ床反力は、本実施形態では、スレーブ装置1に床面から作用する全床反力の目標値である目標全床反力と、目標全床反力の圧力中心点(COP)の目標位置としての目標全床反力中心点と、スレーブ装置1の各足部6に床面から作用する床反力の目標値である目標足部床反力と、各足部6での目標足部床反力の圧力中心点(COP)の目標位置としての目標足部床反力中心点とのそれぞれの時系列により表される。なお、上記「全床反力」は、スレーブ装置1の2つの足部6、6のそれぞれに作用する床反力の合力である。また、スレーブ装置1が床以外から外力を受けない場合には、目標全床反力中心点は、ZMP (Zero Moment Point) の目標位置である。

[0120] なお、図2での図示は省略したが、本実施形態のスレーブ装置1は、上体2に対して可動な腕10及び頭部17を備えることから、スレーブ動作目標決定部31aは、さらに、各腕10の目標運動である目標スレーブ腕運動と、頭部17の目標運動である目標スレーブ頭部運動とを決定する機能も含む。

[0121] この場合、目標スレーブ腕運動は、例えば、各腕10のハンド部13の上体2に対する相対的な目標位置姿勢(上体2に対して設定されたローカル座標系で見た目標位置姿勢)の時系列により表される。同様に、目標スレーブ頭部運動は、例えば、頭部17の上体2に対する相対的な目標位置姿勢(上体2に対して設定されたローカル座標系で見た目標位置姿勢)の時系列により表される。

[0122] あるいは、目標スレーブ腕運動は、例えば、各腕10の各関節の目標関節変位の時系列により構成されていてもよい、同様に、目標スレーブ頭部運動は、例えば、首関節機構18の各関節の目標関節変位の時系列により構成されていてもよい、

[0123] 関節制御部32には、各関節変位検出器22で検出された各関節の実関節変位(観測値)が入力されると共に、スレーブ制御部31で決定された各関

節の目標関節変位が入力される。そして、関節制御部 32 は、実装されたハードウェア構成及びプログラム（ソフトウェア構成）により実現される機能によって、各関節毎に、実関節変位を目標関節変位に追従させるように各関節アクチュエータ 21 を制御する。

[0124] 具体的には、関節制御部 32 は、各関節毎に、目標関節変位と、関節変位検出器 22 により検出された実関節変位との偏差を用いて、フィードバック制御則により該偏差をゼロに収束させるように関節アクチュエータ 21 の目標駆動力を決定する。そして、関節制御部 32 は、決定した目標駆動力を関節アクチュエータ 21 から出力させるように、該関節アクチュエータ 21 を制御する。この場合、フィードバック制御則としては、例えば P 則（比例則）、P D 則（比例・微分則）、P I D 則（比例・積分・微分則）等の公知のフィードバック制御則を使用し得る。

[0125] [マスター装置の構成]

次にマスター装置 51 の構成を図 3～図 5 を参照して説明する。なお、以降の説明では、マスター装置 51 の「前後方向」、「左右方向」、「上下方向」は、それぞれ、図 3 又は図 4 に例示する 3 軸直交座標系 C_m の X_m 軸方向、 Y_m 軸方向、 Z_m 軸方向である。該座標系 C_m は、マスター装置 51 に対して設定（定義）されたローカル座標系であり、以降、マスター座標系 C_m という。

[0126] 図 3 及び図 4 を参照して、マスター装置 51 は、スレーブ装置 1 を操縦する操縦者 P（図 4 に示す）の動作環境の床面上を移動し得る移動機構 52 と、操縦者 P の上体に装着される上体支持部 65 とを備える。なお、以降の説明では、操縦者 P をオペレータ P という。

[0127] 移動機構 52 は、基台 53 と、基台 53 に取付けられた複数の移動接地部 54 とを備え、基台 53 と床面との間に間隔を有する状態で、複数の移動接地部 54 が床面上に接地される。なお、基台 53 は、図示例では、上方から見た形状が、前方に向かって二股状に開いた形状（略 U 字形状）のものであるが、該基台 53 の形状は任意の形状でよい。

移動機構 5 2 は、複数の移動接地部 5 4 として、例えば 4 つの移動接地部 5 4 (1), 5 4 (2), 5 4 (3), 5 4 (4) を備える。そして、基台 5 3 の前部の左右の両側に 2 つの移動接地部 5 4 (1), 5 4 (4) が取り付けられ、基台 5 3 の後部の左右の両側に 2 つの移動接地部 5 4 (2), 5 4 (3) が取り付けられている。

[0128] 各移動接地部 5 4 は、図 3 及び図 4 では簡略的に車輪状に記載されているが、詳しくは、床面に接地した状態で該床面上を全方向に移動し得るように構成されている。具体的には、各移動接地部 5 4 は、例えば特開 2 0 1 3 - 2 3 7 3 2 9 号公報に記載された主輪と同じ構造のものである。このため、本明細書での各移動接地部 5 4 及びその駆動機構の構成の詳細な説明は省略する。

[0129] かかる移動接地部 5 4 を備える移動機構 5 2 には、詳細な図示は省略するが、各移動接地部 5 4 毎に、その移動用の動力源としての 2 つの電動モータ 5 5 a, 5 5 b (図 5 に示す) を有する移動駆動機構 5 5 (図 5 に示す) が搭載されている。なお、図 5 では、1 つの移動接地部 5 4 に対応する移動駆動機構 5 5 だけを代表的に図示している。

[0130] 各移動接地部 5 4 に対応する移動駆動機構 5 5 は、上記特開 2 0 1 3 - 2 3 7 3 2 9 号公報に記載されている如く、2 つの電動モータ 5 5 a, 5 5 b から該移動接地部 5 4 への動力伝達を行うことで、該移動接地部 5 4 を全方向に移動させ得るように構成されている。

[0131] この場合、各移動接地部 5 4 は、その移動速度ベクトルのうち、マスター装置 5 1 の前後方向 (X_m 軸方向) の速度成分が 2 つの電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの回転速度の和に比例する速度になり、左右方向 (Y_m 軸方向) の速度成分が 2 つの電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの回転速度の差に比例する速度になるように駆動される。

[0132] なお、全方向に移動可能な各移動接地部 5 4 の構成は、上記特開 2 0 1 3 - 2 3 7 3 2 9 号公報に記載されたものに限らず、オムニホイール (登録商

標)等、他の構造のものであってもよい。また、移動機構52に備える移動接地部54の個数は、4個に限らず、例えば3個、あるいは5個以上であってもよい。また、各移動接地部54の動力源としては、電動モータ55a, 55bに限らず、例えば油圧モータを使用することも可能である。

[0133] 基台53には、昇降機構60を介して上体支持部65が取り付けられている。該昇降機構60は、基台53の後部の中央部(左右方向での中央部)から上方に向かって立設された支柱61と、該支柱61に対して上下方向に移動(昇降)し得るように組付けられたスライド部材62とを備える。

[0134] 支柱61に対するスライド部材62の移動を案内するガイド機構として、例えば上下方向に延在するガイドレール61aが支柱61の前面部に取り付けられている。そして、スライド部材62は、ガイドレール61aに沿って昇降し得るように該ガイドレール61aに係合されている。なお、ガイド機構は上記と異なるものであってもよい。

[0135] また、詳細な図示は省略するが、マスター装置51には、スライド部材62を支柱61に対して昇降させるためのアクチュエータであるスライド駆動アクチュエータ66(図5に示す)が搭載されている。該スライド駆動アクチュエータ66は、例えば、電動モータにより構成される。

[0136] 該スライド駆動アクチュエータ66は、スライド部材62を支柱61に対して昇降させる駆動力を、例えばボールネジ機構等の回転・直動変換機構(図示省略)を介してスライド部材62に付与することで、該スライド部材62を昇降させるように支柱61又はスライド部材62に取付けられている。なお、スライド駆動アクチュエータ66としては、電動モータに限らず、例えば、油圧モータ、あるいは、油圧シリンダを使用することも可能である。

[0137] 上体支持部65は、本実施形態では、オペレータPの上体の所定の部位、例えば腰部の外周に背面側から沿わせることができるように構成されている。例えば、上体支持部65は、概略半円弧形状(もしくはU字形状)に湾曲形成された板状部材により構成される。そして、該上体支持部65は、スライド部材62に、支軸63及び力検出器64を介して取り付けられている。

- [0138] より詳しくは、支軸 6 3 は、その軸心を前後方向（X m 軸方向）に向けた状態で、スライド部材 6 2 に力検出器 6 4 を介して取り付けられている。該力検出器 6 4（以降、上体力検出器 6 4 という）は、オペレータ P の腰部が上体支持部 6 5 から実際に受ける反力（接触反力）である実上体支持部反力を検出するための検出器であり、スレーブ装置 1 の床反力検出器 2 5 と同様に、例えば 6 軸力センサにより構成される。
- [0139] そして、上体支持部 6 5 は、その両端間の中央部が支軸 6 3 に取付けられている。この場合、上体支持部 6 5 は、スライド部材 6 2 及び上体力検出器 6 4 に対して、支軸 6 3 の軸心周りに（換言すれば、ロール方向に）、フリー回転し得るように支軸 6 3 に支持されている。
- [0140] かかる上体支持部 6 5 は、オペレータ P がスレーブ装置 1 を操縦するとき、図 4 に示す如く、オペレータ P の上体の腰部の外周に、その背面側から沿わせるように配置される。
- [0141] そして、上体支持部 6 5 の両端部には、オペレータ P の腰部の前面側の外周に沿わせるように配設される可撓性のベルト 6 5 x（図 4 に二点鎖線で示す）が連結される。
- [0142] これにより、上体支持部 6 5 とベルト 6 5 x とにより、オペレータ P の上体の腰部の周囲を囲むようにして、上体支持部 6 5 がオペレータ P の腰部にベルト 6 5 x を介して装着される。この場合、上体支持部 6 5 は、マスター装置 5 1 の前後方向（X m 軸方向）及び左右方向（Y m 軸方向）のそれぞれがオペレータ P の前後方向及び左右方向のそれぞれとほぼ同方向に向く状態で、オペレータ P の腰部に装着される。
- [0143] また、上体支持部 6 5 は、スライド部材 6 2 を適宜、上下に動かすことで、上体支持部 6 5 の高さ（上下方向の位置）を調整することが可能である。また、上体支持部 6 5 の内周面には、図示しないパッド等の弾性部材が取り付けられており、該弾性部材がオペレータ P の腰部の周囲に当接される。
- [0144] このように上体支持部 6 5 をオペレータ P の腰部に装着した状態では、オペレータ P が、歩行動作（各足部の空中移動と床面への着地（接地））とを交

互に行う動作）によって床面上を移動するに伴い、該オペレータ P と共に上体支持部 6 5 及び移動機構 5 2 が移動し得る状態になる。この場合、オペレータ P は、その上体を前後左右に傾けることが可能である。また、オペレータ P の腰部が上体支持部 6 5 から受ける反力（実上体支持部反力）が上体力検出器 6 4 で検出される。

[0145] 図 5 を参照して、マスター装置 5 1 は、前記上体力検出器 6 4 の他、さらに、各移動駆動機構 5 5 による各移動接地部 5 4 の駆動状態を検出するための検出器としてのモータ回転検出器 5 6 と、スライド部材 6 2 の変位（上下方向位置）を検出するためのスライド変位検出器 6 7 と、オペレータ P の運動状態を検出するためのオペレータ運動検出器 7 0 と、オペレータ P の各足部に床面から作用する床反力を検出するための床反力検出器 7 5 とを備える。

[0146] モータ回転検出器 5 6 は、例えば、各移動駆動機構 5 5 毎の電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの回転軸（またはこれに連動して回転する回転部材）の実際の回転角である実モータ回転角を、移動駆動機構 5 5 の駆動状態を示す状態量として検出する検出器である。

[0147] 該モータ回転検出器 5 6 は、例えば、ロータリエンコーダ、レゾルバ、ポテンシオメータ等により構成され、各移動駆動機構 5 5 毎の電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの回転軸（又はこれに連動して回転する回転部材）に接続されている。なお、モータ回転検出器 5 6 は、各移動駆動機構 5 5 の電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれ毎に備えられているが、図 5 では、1 つのモータ回転検出器 5 6 だけを代表的に図示している。

[0148] スライド変位検出器 6 7 は、例えば公知の接触式あるいは非接触式の変位センサにより構成され、支柱 6 1 に対するスライド部材 6 2 の実際の相対的な変位である実スライド変位を検出し得るようにマスター装置 5 1 に搭載されている。なお、例えば、スライド部材 6 2 の変位が、スライド駆動アクチュエータ 6 6 の回転軸の回転角に比例するように、スライド駆動アクチュエータ 6 6 からスライド部材 6 2 への動力伝達機構が構成されている場合には

、該スライド駆動アクチュエータ 6 6 の回転軸（又はこれに連動して回転する回転部材）の回転角を検出可能な検出器を、スライド変位検出器 6 7 として使用することも可能である。この場合、スライド変位検出器 6 7 は、前記モータ回転検出器 5 6 と同様の検出器でよい。

[0149] オペレータ運動検出器 7 0 は、本実施形態では、1 つ以上のカメラ 7 1 を含む。該カメラ 7 1 は、例えば、図 3 及び図 4 に示す如く基台 5 3 に立設された支柱 7 3 に取付けられている。この場合、支柱 7 3 には、上体支持部 6 5 を腰部に装着したオペレータ P の上体の動きと各脚の動きとを各々 1 つ以上のカメラ 7 1 により撮影し得るように複数のカメラ 7 1 が取り付けられている。なお、カメラ 7 1 の配置位置は、図 1 に示した位置に限らず、他の位置であってもよい。また、上体支持部 6 5 を装着したオペレータ P の周囲の複数個所にカメラ 7 1 が配置されていてもよい。また、オペレータ P の上体や各脚にマーカが付されていてもよい。

[0150] オペレータ運動検出器 7 0 は、カメラ 7 1 の撮影映像から、オペレータ P の運動状態を推定する処理を実行する運動推定部 7 2 を含む。該運動推定部 7 2 は、例えば、マイクロコンピュータもしくはプロセッサ、メモリ、インターフェース回路等を含む電子回路ユニットにより構成され、基台 5 3 等、マスター装置 5 1 の任意の適所に搭載されている。なお、運動推定部 7 2 は、後述するマスター制御部 8 1 に含まれていてもよい。

[0151] この運動推定部 7 2 は、カメラ 7 1 から入力される撮影映像から、例えば公知のモーションキャプチャの処理を実行することで、オペレータ P の運動状態を推定し、その推定した運動状態を示すデータを出力する。この場合、本実施形態では、運動推定部 7 2 が推定する運動状態は、オペレータ P の上体の実際の姿勢である実オペレータ上体姿勢のうちの傾き（実オペレータ上体傾き）と、オペレータ P の各足部の実際の位置姿勢である実オペレータ足部位置姿勢とを含む。

[0152] この場合、運動推定部 7 2 が推定する実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢は、オペレータ P が移動する動作環境に対して設計的に設

定（定義）されるグローバル座標系（ワールド座標系）で見た実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢である。

[0153] 該グローバル座標系（以降、マスター側グローバル座標系 C_{gm} という）としては、例えば図 3 及び図 4 に例示する如き 3 軸直交座標系 C_{gm} （上下方向を Z 軸方向、Z 軸に直交し、且つ互いに直交する 2 つの横方向を X 軸方向及び Y 軸方向とする X Y Z 座標系）が用いられる。なお、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} と同様に、マスター側グローバル座標系 C_{gm} の原点の位置や、X 軸方向及び Y 軸方向の向きは、上体支持部 65 を装着したオペレータ P の移動に伴い、随時更新され得る。

[0154] なお、運動推定部 72 は、実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢に加えて、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見たオペレータ P の上体の実際の向きである実オペレータ上体向きを推定し得るように構成することも可能である。

[0155] また、運動推定部 72 が推定する実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢は、例えば、マスター装置 51 に対して設定されるローカル座標系であるマスター座標系 C_m で見た実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢であってもよい。この場合、マスター座標系 C_m で見た実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢の観測値を、例えば、後述するマスター制御部 81 により推定される上体支持部 65 の実際の位置及び向き（マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た位置及び向き）に応じて座標変換を行うことで、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た実オペレータ上体傾き及び実オペレータ足部位置姿勢の推定値を求めることができる。

[0156] 補足すると、オペレータ運動検出器 70 によりオペレータ P の上体及び各足部の運動状態を推定する手法は、カメラ 71 の撮影映像を使用するモーションキャプチャ以外の手法であってもよい。例えば、オペレータ P の上体と各足部とに、各々、加速度センサ及び角速度センサを含む慣性センサを装着してもよい。そして、この慣性センサにより検出される加速度及び角速度から、ストラップダウン方式等の公知の手法により、オペレータ P の上体及び

各足部の運動状態（実オペレータ上体傾き、実オペレータ上体向き、及び実オペレータ足部位置姿勢）を推定することも可能である。この他、オペレータ P の上体及び各足部の運動状態を推定する手法として、物体の自己位置及び姿勢の推定を行い得る様々な公知の手法を使用し得る。

[0157] また、例えばオペレータ P の各脚の各関節（股関節、膝関節及び足首関節）のそれぞれの変位を検出可能な関節変位センサを各脚に装着してもよい。そして、各脚の関節の変位の検出値から、各脚の剛体リンクモデルを用いて、オペレータ P の上体に対する各足部の相対的な位置姿勢を推定してもよい。そして、オペレータの各足部の相対的な位置姿勢の観測値と、モーションキャプチャ等の適宜の手法で推定したオペレータ P の上体の実際の位置姿勢（実オペレータ上体位置姿勢）の観測値とから、実オペレータ足部位置姿勢を推定してもよい。

[0158] 床反力検出器 75 は、スレーブ装置 1 の床反力検出器 25 と同様に、例えば 6 軸力センサにより構成される。そして、床反力検出器 75 は、オペレータ P の各足部に作用する実際の床反力（並進力及びモーメント）である実オペレータ足部床反力を検出し得るように、オペレータ P の各足部に取付けられる。例えば、各床反力検出器 75 は、図 4 に示す如く、オペレータ P の各足部に装着する靴 Sh の底部に取付けられる。なお、図 4 及び図 5 では、オペレータ P の一方の足部に対応する 1 つの床反力検出器 75 だけを代表的に図示している。

[0159] マスター装置 51 は、さらに、移動駆動機構 55 及び昇降機構 60 の作動制御を行う機能や、スレーブ装置 1 の動作に関する指令情報をスレーブ制御部 31 に出力（送信）する機能等を有するマスター制御部 81 と、前記スレーブ制御部 31 との間で無線通信を行うための通信装置 83 とを備える。これらは、基台 53 等、マスター装置 51 の任意の適所に搭載される。

[0160] マスター制御部 81 は、例えば、マイクロコンピュータ、メモリ、インターフェース回路等を含む電子回路ユニットにより構成される。該マスター制御部 81 には、上体力検出器 64、各モータ回転検出器 56、スライド変位

検出器 6 7、オペレータ運動検出器 7 0、及び各床反力検出器 7 5 のそれぞれにより検出又は推定された観測データが入力されると共に、スレーブ制御部 3 1 から通信装置 8 3 を介して実スレーブ上体横方向位置の観測値が入力される。なお、マスター制御部 8 1 に入力される各観測データは、ローパスフィルタ等のフィルタリング処理を施したフィルタリング値であってもよい。

[0161] そして、マスター制御部 8 1 は、実装されたハードウェア構成及びプログラム（ソフトウェア構成）の両方又は一方により実現される機能として、移動駆動機構 5 5 及び昇降機構 6 0 の作動制御を行うマスター移動制御部 8 1 a と、上体支持部 6 5 の目標運動である目標上体支持部運動を決定する目標上体支持部運動決定部 8 1 b とを含む。

[0162] ここで、目標上体支持部運動決定部 8 1 b が決定する目標上体支持部運動は、本実施形態では、上体支持部 6 5 の目標位置である目標上体支持部位置と、上体支持部 6 5 の目標向きである目標上体支持部向きとを含む。これらの目標上体支持部位置及び目標上体支持部向きは、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た目標位置及び目標向きである。

[0163] また、マスター制御部 8 1 は、スレーブ装置 1 の動作に関する指令情報として、オペレータ P の上体の実際の姿勢である実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）と、上体支持部 6 5 の実際の高さ（上下方向位置）である実上体支持部高さ（又はオペレータ P の上体の実際の高さ（上下方向位置）である実オペレータ上体高さ）と、オペレータ P の各足部の実オペレータ足部位置姿勢と、オペレータ P の各足部の実オペレータ足部床反力とのそれぞれの観測値を通信装置 8 3 を介してスレーブ制御部 3 1 に送信する機能を有する。

[0164] [制御処理及び作動]

次に、前記スレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 の制御処理の詳細と、スレーブ装置 1 及びマスター装置 5 1 の作動とを説明する。ここで、以降の説明における参照符号に関して補足すると、任意の状態量（位置、姿勢、力等）の実際の値、又はその観測値を示す参照符号として、「_act」とい

う添え字を付加した参照符号を用い、任意の状態量の目標値を示す参照符号として、「_aim」という添え字を付加した参照符号を用いる。また、スレーブ制御部 31 の制御処理に関する座標軸（X 軸、Y 軸、Z 軸）は特にことわらない限り、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の座標軸を意味する。同様に、マスター制御部 81 の制御処理に関する座標軸（X 軸、Y 軸、Z 軸）は特にことわらない限り、マスター側グローバル座標系 C_{gm} の座標軸を意味する。

[0165] [マスター制御部の制御処理]

まず、マスター制御部 81 の制御処理を説明する。マスター制御部 81 は、所定の制御処理周期で図 6 のフローチャートに示す制御処理を逐次実行する。STEP 1 において、マスター制御部 81 は、目標上体支持部運動決定部 81b により、目標上体支持部運動（目標上体支持部位置及び目標上体支持部向き）を決定する。

[0166] この場合、目標上体支持部運動決定部 81b は、スレーブ装置 1 のスレーブ制御部 31 から、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た実スレーブ上体横方向位置の観測値を通信装置 83 を介して取得（受信）する。そして、目標上体支持部運動決定部 81b は、マスター側グローバル座標系 C_{gm} において、実上体支持部横方向位置（上体支持部 65 の実際の横方向位置）と実スレーブ上体横方向位置とが、次式（1a）、（1b）により示される所定の関係を満たすことを目標として（該所定の関係を目標対応関係として）、スレーブ制御部 31 から取得した実スレーブ上体横方向位置の観測値に応じて、目標上体支持部位置のうちの横方向位置である目標上体支持部横方向位置を決定する。なお、本明細書では、乗算を表す算術記号として、「*」を使用する。

$$P_mb_x_act = K_pmb * P_sb_x_act + C_pmb_x$$

..... (1a)

$$P_mb_y_act = K_pmb * P_sb_y_act + C_pmb_y$$

..... (1b)

[0167] ここで、式（１ａ），（１ｂ）の K_{pmb} 、 C_{pmb_x} 、 C_{pmb_y} は、あらかじめ設定された所定値の定数である。なお、 C_{pmb_x} 、 C_{pmb_y} のそれぞれはゼロであってもよい。

[0168] また、 $P_{mb_x_act}$ 、 $P_{mb_y_act}$ は、それぞれ、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た実上体支持部横方向位置のうちの X 軸方向位置、 Y 軸方向位置であり、 $P_{sb_x_act}$ 、 $P_{sb_y_act}$ は、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た実スレーブ上体横方向位置の X 軸方向位置、 Y 軸方向位置である。

[0169] 従って、目標上体支持部運動決定部８１ｂは、スレーブ制御部３１から取得した現在の実スレーブ上体横方向位置（ $P_{sb_x_act}$ 、 $P_{sb_y_act}$ ）の観測値から、次式（２ａ），（２ｂ）により目標上体支持部横方向位置（ $P_{mb_x_aim}$ 、 $P_{mb_y_aim}$ ）を決定する。

$$P_{mb_x_aim} = K_{pmb} * P_{sb_x_act} + C_{pmb_x} \\ \dots\dots (2a)$$

$$P_{mb_y_aim} = K_{pmb} * P_{sb_y_act} + C_{pmb_y} \\ \dots\dots (2b)$$

[0170] ここで、 $P_{mb_x_aim}$ 、 $P_{mb_y_aim}$ は、それぞれ、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た目標上体支持部横方向位置のうちの X 軸方向位置、 Y 軸方向位置である。

[0171] なお、本実施形態では、マスター装置５１によるスレーブ装置１の移動操縦の開始時や、その後の適宜のタイミングで、マスター装置５１の前後方向に対するマスター側グローバル座標系 C_{gm} の X 軸方向（又は Y 軸方向）のヨー方向での向きと、スレーブ装置１の前後方向に対するスレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の X 軸方向（又は Y 軸方向）のヨー方向での向きとが、互いに同じ向きになるように、各グローバル座標系 C_{gm} 、 C_{gs} の X 軸方向（又は Y 軸方向）が設定される。例えば、マスター側グローバル座標系 C_{gm} 及びスレーブ側グローバル座標系 C_{gs} のそれぞれの X 軸方向が、マスター装置５１及びスレーブ装置１のそれぞれの前後方向に一致するように設定される。

[0172] ただし、マスター装置５１の前後方向に対するマスター側グローバル座標

系C_{gm}のX軸方向（又はY軸方向）のヨー方向での向きと、スレーブ装置1の前後方向に対するスレーブ側グローバル座標系C_{gs}のX軸方向（又はY軸方向）のヨー方向での向きとは異なってもよい。この場合には、これらの向きに基づいて、スレーブ側グローバル座標系C_{gs}で見た実スレーブ上体横方向位置の観測値を、マスター側グローバル座標系C_{gm}で見た横方向位置に座標変換すればよい。

[0173] 補足すると、上記式（2 a）,（2 b）の右辺の演算により求められる横方向位置をオペレータPの上体の目標横方向位置である目標オペレータ上体横方向位置として決定し、該目標横方向位置に応じて目標上体支持部横方向位置を決定してもよい。

[0174] この場合、上記式（2 a）,（2 b）により目標上体支持部横方向位置を決定する処理は、換言すれば、式（2 a）,（2 b）の右辺の演算により目標オペレータ上体横方向位置を決定し、その目標オペレータ上体横方向位置をそのまま、目標上体支持部横方向位置として決定する処理と言える。

[0175] 一方、上体支持部65とオペレータPの上体との間に介在するパッド等の弾性部材が、上体支持部65とオペレータPの上体との間で作用する力に応じて弾性変形し、この弾性変形により、上体支持部65の横方向位置とオペレータPの上体の横方向位置とが相対変位する。

[0176] そこで、このことを考慮して、上記式（2 a）,（2 b）の右辺の演算により決定した目標オペレータ上体横方向位置を、上体力検出器64により検出される実上体支持部反力のうちの横方向の並進力（X軸方向及びY軸方向の並進力）に応じて補正することで、目標上体支持部横方向位置を決定してもよい。

具体的には、例えば、次式（2 a-1）,（2 b-1）により目標上体支持部横方向位置（P_{mb_x_aim}, P_{mb_y_aim}）を決定してもよい。

$$P_{mb_x_aim}$$

$$= P_{opb_x_aim} + k_{spring_fx} * F_{mb_x_act}$$

$$= (K_{pmb} * P_{sb_x_act} + C_{pmb_x}) + k_{spring_fx} * F_{mb_x_act}$$

$$\dots\dots (2a-1)$$

$P_{mb_y_aim}$

$$= P_{opb_y_aim} + k_{spring_fy} * F_{mb_y_act}$$

$$= (K_{pmb} * P_{sb_y_act} + C_{pmb_y}) + k_{spring_fy} * F_{mb_y_act}$$

$$\dots\dots (2b-1)$$

[0177] ここで、 $P_{opb_x_aim}$ 、 $P_{opb_y_aim}$ は、それぞれ、オペレータPの上体の目標横方向位置のうちのX軸方向位置、Y軸方向位置、 $F_{mb_x_act}$ 、 $F_{mb_y_act}$ は、それぞれ、上体力検出器64より検出される実上体支持部反力のうちのX軸方向の並進力、Y軸方向の並進力、 k_{spring_fx} は、オペレータPの上体と上体支持部65との間で発生するX軸方向の並進力に関するバネ定数（剛性）の逆数としてあらかじめ設定された値、 k_{spring_fy} は、オペレータPの上体と上体支持部65との間で発生するY軸方向の並進力に関するバネ定数（剛性）の逆数としてあらかじめ設定された値である。

[0178] また、目標上体支持部運動決定部81bは、本実施形態では、上体力検出器64により検出される実上体支持部反力のうちの上下方向（Z軸方向）の並進力である実上体支持部上下方向反力 $F_{mb_z_act}$ の観測値と、実上体支持部反力のうちのヨー方向（Z軸周りの方向）のモーメントである実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ の観測値とを取得する。

[0179] そして、目標上体支持部運動決定部81bは、実上体支持部上下方向反力 $F_{mb_z_act}$ の観測値を用いて、目標上体支持部位置のうちの上下方向の位置（床面からの高さ）である目標上体支持部高さ $P_{mb_z_aim}$ を決定すると共に、実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ の観測値を用いて、目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_aim}$ を決定する。

[0180] さらに詳細には、目標上体支持部高さ $P_{mb_z_aim}$ を決定する処理では、目標上体支持部運動決定部81bは、実上体支持部上下方向反力 $F_{mb_z_act}$ が次式（3）の関係を満たすように（ $F_{mb_z_act}$ が C_z に収束するように）、目標上体支持部高さ $P_{mb_z_aim}$ を決定する。

$$F_{mb_z_act} - C_z = 0 \dots\dots (3)$$

- [0181] ここで、 C_z は、オペレータPの脚の負荷を軽減するために上体支持部65からオペレータPに作用させる上向きの並進力の目標値（所定値）である。該目標値 C_z は、例えば、オペレータPに作用する重力の所定割合の大きさに設定され得る。ただし、該目標値 C_z はゼロでもよい。
- [0182] 具体的には、目標上体支持部運動決定部81bは、実上体支持部上下方向反力 $F_{mb_z_act}$ の観測値と、その目標値（ $=C_z$ ）との偏差（式（3）の左辺の値）に応じて、フィードバック制御則（例えばP則、PD則、PID則等）により該偏差をゼロに収束させるように、上体支持部65の上下方向の目標並進速度 $V_{mb_z_aim}$ を決定する。
- [0183] そして、目標上体支持部運動決定部81bは、決定した目標並進速度 $V_{mb_z_aim}$ を積分することにより、目標上体支持部高さ $P_{mb_z_aim}$ を決定する。これにより、実上体支持部上下方向反力 $F_{mb_z_act}$ が、その目標値（ $=C_z$ ）に収束するように、目標上体支持部高さ $P_{mb_z_aim}$ が決定される。
- [0184] また、目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_act}$ を決定する処理では、目標上体支持部運動決定部81bは、実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ がゼロに収束するように目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_act}$ を決定する。
- [0185] この場合、目標上体支持部運動決定部81bは、実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ をフィードバック制御則（例えばP則、PD則、PID則等）によりゼロに収束させるように、該実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ の観測値に応じて上体支持部65のヨー方向の目標角速度 $\omega_{mb_z_aim}$ を決定する。
- [0186] そして、目標上体支持部運動決定部81bは、決定した目標角速度 $\omega_{mb_z_aim}$ を積分することにより、目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_aim}$ を決定する。これにより、実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ がゼロに収束するように、目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_aim}$ が決定される。
- [0187] STEP1では、以上の如く、目標上体支持部運動として、目標上体支持部位置（ $P_{mb_x_aim}$, $P_{mb_y_aim}$, $P_{mb_z_aim}$ ）と、目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_aim}$ とが決定される。

[0188] 補足すると、目標上体支持部運動のうちの目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ の決定手法は、上記の手法に限られない。例えば、オペレータ P を撮影するカメラや、オペレータ P の上体等に装着した慣性センサを使用したモーションキャプチャの処理により、オペレータ P の上体の実際の向き（マスター側グローバル座標系 Cgm で見た向き）である実オペレータ上体向きを推定してもよい。そして、該実オペレータ上体向きの推定値を目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ として決定してもよい。なお、この場合、実オペレータ上体向きは、前記オペレータ運動検出器 70 で推定してもよい。

[0189] また、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ の決定手法も上記の手法に限られない。例えば、オペレータ P の各足部毎に床反力検出器 75 により検出される床反力のうちの上下方向の並進力に基づいて、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ を決定してもよい。

[0190] 具体的には、目標上体支持部運動決定部 81b は、オペレータ P の足部のそれぞれに作用する床反力の合力（以降、オペレータ全床反力という）の観測値を、オペレータ P のそれぞれの足部の床反力検出器 75 により検出される床反力を基に求める。

[0191] 次いで、目標上体支持部運動決定部 81b は、実際のオペレータ全床反力の上下方向並進力 $F_opf_total_z_act$ が次式（3-1）の関係を満たすように（ $F_opf_total_z_act$ が $C_totalfz$ に収束するように）、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ を決定する。

$$F_opf_total_z_act - C_totalfz = 0 \dots\dots (3-1)$$

[0192] ここで、 $C_totalfz$ は、床からオペレータ P の脚に作用させる全床反力の上下方向並進力成分の目標値（所定値）である。該目標値 $C_totalfz$ は、例えば、オペレータ P に作用する重力の所定割合の大きさに設定され得る。

[0193] 具体的には、目標上体支持部運動決定部 81b は、実オペレータ全床反力の上下方向並進力 $F_opf_total_z_act$ の観測値と、その目標値（ $=C_totalfz$ ）との偏差（式（3-1）の左辺の値）に応じて、フィードバック制御則（例えば P 則、PD 則、PID 則等）により該偏差をゼロに収束させるように

、上体支持部 6 5 の上下方向の目標並進速度 $V_mb_z_aim$ を決定する。

[0194] そして、目標上体支持部運動決定部 8 1 b は、決定した目標並進速度 $V_mb_z_aim$ を積分することにより、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ を決定する。これにより、実オペレータ全床反力の上下方向並進力 $F_opf_total_z_act$ が、その目標値 ($= C_totalfz$) に収束するように、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ が決定される。

[0195] 次に、マスター制御部 8 1 は、マスター移動制御部 8 1 a により STEP 2 ~ 5 の処理を実行する。STEP 2 では、マスター移動制御部 8 1 a は、モータ回転検出器 5 6 により検出される実モータ回転角と、スライド変位検出器 6 7 により検出される実スライド変位とを用いて、上体支持部 6 5 の実際の運動状態である実上体支持部運動を推定する。

[0196] さらに詳細には、マスター移動制御部 8 1 a が推定する実上体支持部運動は、本実施形態では、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た上体支持部 6 5 の実際の位置である実上体支持部位置と、該上体支持部 6 5 の実際の向きである実上体支持部向きとを含む。

[0197] そして、マスター移動制御部 8 1 a は、まず、各移動駆動機構 5 5 毎に、電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの実モータ回転角の観測値の時間的変化率 (微分値) を求める微分処理によって、該電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの回転軸の実際の回転速度 (角速度) である実モータ回転速度を推定する。この場合、実モータ回転角の観測値の高周波ノイズ成分の影響を抑制するために、上記微分処理として、疑似微分 (換言すれば、不完全微分) の処理を用いることが好ましい。

[0198] 以降の説明では、マスター装置 5 1 の 4 つの移動接地部 5 4 (n) ($n = 1, 2, 3, 4$) のそれぞれに対応する移動駆動機構 5 5 の電動モータ 5 5 a, 5 5 b のそれぞれの実モータ回転速度を表す参照符号として、それぞれ、 $\omega_mw_mota_act(n)$, $\omega_mw_motb_act(n)$ ($n = 1, 2, 3, 4$) を用いる。

[0199] さらに、マスター移動制御部 8 1 a は、各移動接地部 5 4 (n) 毎に、図 3 及び図 4 に示したマスター座標系 C_m の X_m 軸方向 (マスター装置 5 1 の前後

方向)での移動接地部54(n)の実並進速度 $V_mw_local_x_act(n)$ と、該マスター座標系 C_m の Y_m 軸方向(マスター装置51の前左右方向)での移動接地部4(n)の実並進速度 $V_mw_local_y_act(n)$ とを、電動モータ55a, 55bのそれぞれの実モータ回転速度 $\omega_mw_mota_act(n)$, $\omega_mw_motb_act(n)$ の観測値から、次式(4a), (4b)により算出する。

$$\begin{aligned} & V_mw_local_x_act(n) \\ &= C_{mwx} * (\omega_mw_mota_act(n) + \omega_mw_motb_act(n)) \\ & \dots\dots (4a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & V_mw_local_y_act(n) \\ &= C_{mwy} * (\omega_mw_mota_act(n) - \omega_mw_motb_act(n)) \\ & \dots\dots (4b) \end{aligned}$$

[0200] なお、上記係数 C_{mwx} , C_{mwy} はそれぞれ、移動駆動機構55の構造等に依存して規定される所定値の係数である。

[0201] そして、マスター移動制御部81aは、4つの移動接地部54(1)~54(4)のそれぞれの X_m 軸方向(前後方向)の実並進速度 $V_mw_local_x_act(1) \sim V_mw_local_x_act(4)$ と、4つの移動接地部4(1)~4(4)のそれぞれの Y_m 軸方向の実並進速度 $V_mw_local_y_act(1) \sim V_mw_local_y_act(4)$ とを基に、マスター座標系 C_m の X_m 軸方向での上体支持部65の実並進速度 $V_mb_local_x_act$ とマスター座標系 C_m の Y_m 軸方向での上体支持部65の実並進速度 $V_mb_local_y_act$ とを、それぞれ次式(5a), (5b)により推定する。

$$\begin{aligned} & V_mb_local_x_act \\ &= (-V_mw_local_x_act(1) * L_{mwy}(4) + V_mw_local_x_act(4) * L_{mwy}(1)) \\ & / (2 * (L_{mwy}(1) - L_{mwy}(4))) \\ & + (-V_mw_local_x_act(2) * L_{mwy}(3) + V_mw_local_x_act(3) * L_{mwy}(2)) \\ & / (2 * (L_{mwy}(2) - L_{mwy}(3))) \\ & \dots\dots (5a) \end{aligned}$$

$$V_mb_local_y_act$$

$$\begin{aligned}
&= (-V_mw_local_y_act(1) * Lmwx(2) + V_mw_local_y_act(2) * Lmwx(1)) \\
&/ (2 * (Lmwx(1) - Lmwx(2))) \\
&+ (-V_mw_local_y_act(4) * Lmwx(3) + V_mw_local_y_act(3) * Lmwx(4)) \\
&/ (2 * (Lmwx(4) - Lmwx(3))) \\
&\dots\dots (5\ b)
\end{aligned}$$

[0202] 上記式 (5 a) の $Lmwy(1)$ 、 $Lmwy(2)$ 、 $Lmwy(3)$ 、 $Lmwy(4)$ はそれぞれ、図 7 に示す如く、マスター装置 5 1 に対して設定された所定の基準点であるマスター基準点 Q_m と、基台 5 3 の左側前部の移動接地部 4 (1)、左側後部の移動接地部 4 (2)、右側後部の移動接地部 4 (3)、及び右側前部の移動接地部 4 (4) のそれぞれの接地部分との間の Y_m 軸方向 (左右方向) の距離である。なお、この場合、 $Lmwy(1)$ 、 $Lmwy(2)$ 、 $Lmwy(3)$ 、 $Lmwy(4)$ のそれぞれの正負の極性は、 $Lmwy(1) > 0$ 、 $Lmwy(2) > 0$ 、 $Lmwy(3) < 0$ 、 $Lmwy(4) < 0$ と定義している。また、マスター基準点 Q_m は、例えば、前記支軸 6 3 の軸心上で、上体支持部 6 5 の左右の両側部の間の中間点 (上体支持部 6 5 を装着したオペレータ P の腰部の中心付近の点) に設定され得る。

[0203] 上記式 (5 b) の $Lmwx(1)$ 、 $Lmwx(2)$ 、 $Lmwx(3)$ 、 $Lmwx(4)$ はそれぞれ、図 7 に示す如く、前記マスター基準点 Q_m と、基台 5 3 の左側前部の移動接地部 4 (1)、左側後部の移動接地部 4 (2)、右側後部の移動接地部 4 (3)、及び右側前部の移動接地部 4 (4) のそれぞれの接地部分との間の X_m 軸方向 (前後方向) の距離である。なお、この場合、 $Lmwx(1)$ 、 $Lmwx(2)$ 、 $Lmwx(3)$ 、 $Lmwx(4)$ のそれぞれの正負の極性は、 $Lmwx(1) > 0$ 、 $Lmwx(2) < 0$ 、 $Lmwx(3) < 0$ 、 $Lmwx(4) > 0$ と定義している。

[0204] また、マスター移動制御部 8 1 a は、マスター座標系 C_m の Z_m 軸方向 (上下方向) の軸周り方向 (ヨ一方向) での基台 5 3 の実角速度 $\omega_mb_local_z_act$ を次式 (6) により推定する。

$$\begin{aligned}
&\omega_mb_local_z_act \\
&= (V_mw_local_x_act(4) - V_mw_local_x_act(1)) \\
&/ (2 * (Lmwy(1) - Lmwy(4)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + (V_mw_local_x_act(3) - V_mw_local_x_act(2)) \\ & / (2 * (Lmwy(2) - Lmwy(3))) \\ & \dots\dots (6) \end{aligned}$$

[0205] ここで、本実施形態では、マスター側グローバル座標系CgmのZ軸方向は、マスター座標系CmのZm軸方向と同方向（上下方向）であるので、上記式（6）により算出される実角速度 $\omega_mb_local_z_act$ の推定値は、マスター側グローバル座標系Cgmで見た上体支持部65のヨー方向の実際の角速度である実上体支持部ヨー方向角速度 $\omega_mb_z_act$ に一致する。従って、式（6）により、実上体支持部ヨー方向角速度 $\omega_mb_z_act$ の推定値が求められる。

[0206] そして、マスター移動制御部81aは、上記の如く求めた実上体支持部ヨー方向角速度 $\omega_mb_z_act$ を積分する処理によって、マスター側グローバル座標系Cgmで見た実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ を推定する。

[0207] さらに、マスター移動制御部81aは、前記式（5a）、（5b）により求めた並進速度 $V_mb_local_x_act$ 、 $V_mb_local_y_act$ を2成分とするベクトル（マスター座標系CmのXmYm座標平面上での2次元ベクトル）を、上記の如く求めた実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ に一致する角度だけ、ヨー方向（Z軸周り方向）に回転変換することによって、マスター側グローバル座標系Cgmで見た上体支持部65の横方向の実際の並進速度である実上体支持部横方向速度 $V_mb_x_act$ 、 $V_mb_y_act$ を推定する。ここで、 $V_mb_x_act$ は、マスター側グローバル座標系Cgmで見た実上体支持部横方向速度のうちのX軸方向の成分、 $V_mb_y_act$ は、マスター側グローバル座標系Cgmで見た実上体支持部横方向速度のうちのY軸方向の成分である。

[0208] そして、マスター移動制御部81aは、実上体支持部横方向速度 $V_mb_x_act$ 、 $V_mb_y_act$ のそれぞれを積分する処理によって、マスター側グローバル座標系Cgmで見た実上体支持部位置のうちの横方向位置（実上体支持部横方向位置）のX軸方向の位置 $P_mb_x_act$ と、Y軸方向の位置 $P_mb_y_act$ との組を推定する。

[0209] また、マスター移動制御部81aは、スライド変位検出器67により検出

される実スライド変位の検出値から、実上体支持部位置のうちの上下方向（Z軸方向）の位置（換言すれば、床面からの高さ）である実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ を推定する。具体的には、実スライド変位がゼロであるときの上体支持部 65 の高さ（所定値）に、実スライド変位の検出値を加算することで、実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ が推定される。

[0210] 本実施形態では、以上説明したSTEP 2 の処理によって、実上体支持部運動（実上体支持部位置 $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$, $P_mb_z_act$ 、及び実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ ）が推定される。補足すると、実上体支持部位置 $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$, $P_mb_z_act$ 、及び実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ は、積分誤差の蓄積等を防止するために、マスター装置 51 の周囲のランドマーク等の環境認識情報に基づいて、随時補正してもよい。また、例えば、上体支持部 65 を撮影可能なカメラや、上体支持部 65 に装着した慣性センサ等を使用して、モーションキャプチャの処理により、実上体支持部運動を推定してもよい。

[0211] 次いで、STEP 3 において、マスター移動制御部 81 a は、目標上体支持部運動のうちの目標上体支持部横方向位置 $P_mb_x_aim$, $P_mb_y_aim$ と、目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ とを実現するように、移動機構 52 の各移動接地部 54 の目標並進速度を決定する。そして、マスター移動制御部 81 a は、その目標並進速度を実現するように、各移動接地部 54 に対応する電動モータ 55 a, 55 b を制御する。

[0212] 具体的には、マスター移動制御部 81 a は、実上体支持部横方向位置（ $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$ の観測値と、目標上体支持部横方向位置（ $P_mb_x_aim$, $P_mb_y_aim$ ）とから、次式（7 a）, （7 b）により上体支持部横方向位置偏差 $P_mb_x_err$, $P_mb_y_err$ を求める。

$$P_mb_x_err = P_mb_x_act - P_mb_x_aim \quad \cdots \cdots (7 a)$$

$$P_mb_y_err = P_mb_y_act - P_mb_y_aim \quad \cdots \cdots (7 b)$$

[0213] そして、マスター移動制御部 81 a は、上記の如く決定した上体支持部横方向位置偏差 $P_mb_x_err$, $P_mb_y_err$ を、STEP 2 で推定された実上体

支持部向き $\theta_mb_z_act$ の (−1) 倍の角度 ($= -\theta_mb_z_act$) だけ、ヨ一方向 (Z 軸周り方向) に回転変換することにより、マスター座標系 C m の X m 軸方向及び Y m 軸方向のそれぞれの軸方向における上体支持部横方向位置偏差 $P_mb_local_x_err$, $P_mb_local_y_err$ を求める。

[0214] 次いで、マスター移動制御部 8 1 a は、マスター座標系 C m の X m 軸方向での上体支持部 X 方向位置偏差 $P_mb_local_x_err$ をフィードバック制御則 (例えば P 則、P D 則、P I D 則等) によりゼロに近づけるように、該偏差 $P_mb_local_x_err$ の算出値に応じて、X m 軸方向での上体支持部 6 5 の目標並進速度である目標上体支持部横方向速度 $V_mb_local_x_aim$ を決定する。同様にマスター移動制御部 8 1 a は、マスター座標系 C m の Y m 軸方向での上体支持部位置偏差 $P_mb_local_y_err$ をフィードバック制御則 (例えば P 則、P D 則、P I D 則等) によりゼロに近づけるように、該偏差 $P_mb_local_y_err$ の算出値に応じて、Y m 軸方向での目標上体支持部横方向速度 $V_mb_local_y_aim$ を決定する。

[0215] また、マスター移動制御部 8 1 a は、実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ の観測値と、目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ とから、次式 (8) により上体支持部向き偏差 $\theta_mb_z_err$ を求める。

$$\theta_mb_z_err = \theta_mb_z_act - \theta_mb_z_aim \quad \dots\dots (8)$$

[0216] そして、マスター移動制御部 8 1 a は、上記上体支持部向き偏差 $\theta_mb_z_err$ をフィードバック制御則 (例えば P 則、P 則、P D 則、P I D 則等) によりゼロに近づけるように、該偏差 $\theta_mb_z_err$ の算出値に応じて目標上体支持部ローカルヨ一方向角速度 $\omega_mb_local_z_aim$ を決定する。なお、STEP 1 で、目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ を上体支持部 6 5 のヨ一方向の目標角速度の積分により決定した場合には、STEP 1 で決定された目標角速度 $\omega_mb_z_aim$ をそのまま、目標上体支持部ローカルヨ一方向角速度 $\omega_mb_local_z_aim$ として決定してもよい。

[0217] そして、マスター移動制御部 8 1 a は、マスター座標系 C m で見た目標上体支持部横方向速度 $V_mb_local_x_aim$, $V_mb_local_y_aim$ と、目標上体支

持部ローカルヨー方向角速度 $\omega_mb_local_z_aim$ とを実現するように、次式（9 a），（9 b）により、マスター座標系 C_m で見た各移動接地部54（n）（ $n = 1, 2, 3, 4$ ）の X_m 軸方向の目標並進速度 $V_mw_local_x_aim(n)$ と Y_m 軸方向の目標並進速度 $V_mw_local_y_aim(n)$ とを決定する。

$$\begin{aligned} & V_mw_local_x_aim(n) \\ &= V_mb_local_x_aim - L_{mwy}(n) * \omega_mb_local_z_aim \\ & \dots\dots (9 a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & V_mw_local_y_aim(n) \\ &= V_mb_local_y_aim + L_{mwx}(n) * \omega_mb_local_z_aim \\ & \dots\dots (9 b) \end{aligned}$$

[0218] さらに、マスター移動制御部81 aは、各移動接地部54（n）毎に、上記目標並進速度 $V_mw_local_x_aim(n)$ ， $V_mw_local_y_aim(n)$ を実現するための電動モータ55 a，55 bのそれぞれの回転速度の目標値である目標モータ回転速度 $\omega_mw_mota_aim(n)$ ， $\omega_mw_motb_aim(n)$ を、前記式（4 a），（4 b）から得られる次式（10 a），（10 b）により算出する。

$$\begin{aligned} & \omega_mw_mota_aim(n) \\ &= (C_{mwy} * V_mw_local_x_aim(n) \\ & \quad + C_{mwx} * V_mw_local_y_aim(n)) / (2 * C_{mwx} * C_{mwy}) \\ & \dots\dots (10 a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \omega_mw_motb_aim(n) \\ &= (C_{mwy} * V_mw_local_x_aim(n) \\ & \quad - C_{mwx} * V_mw_local_y_aim(n)) / (2 * C_{mwx} * C_{mwy}) \\ & \dots\dots (10 b) \end{aligned}$$

[0219] 次に、マスター移動制御部81 aは、各移動接地部54（n）毎に、電動モータ55 a，55 bのそれぞれの実モータ回転速度 $\omega_mw_mota_act(n)$ ， $\omega_mw_motb_act(n)$ を、目標モータ回転速度 $\omega_mw_mota_aim(n)$ ， $\omega_mw_motb_aim(n)$ に追従させるための電動モータ55 a，55 bのそれぞれの駆動力（回転駆動力）の目標値である目標モータ駆動力 $Tq_mw_mota_aim(n)$ ， Tq_mw_motb

$_aim(n)$ を、例えば、次式 (11a), (11b) により決定する。これらの目標モータ駆動力 $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ ($n = 1, 2, 3, 4$) が、図5に示す目標移動駆動力である。

$$\begin{aligned} Tq_mw_mota_aim(n) \\ = Kv_mw_mota * (\omega_mw_mota_aim(n) - \omega_mw_mota_act(n)) \\ \dots\dots (11a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tq_mw_motb_aim(n) \\ = Kv_mw_motb * (\omega_mw_motb_aim(n) - \omega_mw_motb_act(n)) \\ \dots\dots (11b) \end{aligned}$$

[0220] なお、 Kv_sw_mota , Kv_sw_motb は、所定値のゲインである。また、実モータ回転速度 $\omega_mw_mota_act(n)$, $\omega_mw_motb_act(n)$ は、前記STEP2と同様に、実モータ回転角の検出値の微分処理により推定される。

[0221] 補足すると、式 (11a), (11b) は、 $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ を、フィードバック制御則の一例としてのP則（比例則）により決定する式であるが、他のフィードバック制御則（例えば、PD則、PID則等）により $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ を決定してもよい。

[0222] 次いで、マスター移動制御部81aは、各移動接地部54(n)に対応する電動モータ55a, 55bのそれぞれを、上記の如く決定した目標モータ駆動力 $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ を出力させるように作動させる。これにより、目標上体支持部横方向速度 $V_mb_x_aim$, $V_mb_y_aim$ と、目標上体支持部角速度 $\omega_mb_z_aim$ とが実現されるように、移動機構52の移動制御が行われる。ひいては、実上体支持部横方向位置 $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$ と実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ とが、それぞれ、目標上体支持部横方向位置 $P_mb_x_aim$, $P_mb_y_aim$ と目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ とのそれぞれに追従するように、移動機構52の移動制御が行われる。

[0223] さらに、STEP4において、マスター移動制御部81aは、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ を実現するように、スライド駆動アクチュエータ66を制御する。具体的には、マスター移動制御部81aは、STEP1で決定さ

れた目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ と、STEP 2 で求めた実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ との偏差から、フィードバック制御則（例えば、P 則、PD 則、PID 則等）により、上体支持部 65 の上下方向（Z 軸方向）の目標並進速度である目標上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_aim$ を決定する。

[0224] そして、マスター移動制御部 81a は、上記の如く決定した目標上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_aim$ と、STEP 2 で求めた実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ を微分する処理により算出される上体支持部 65 の実際の上下方向の並進速度である実上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_act$ との偏差に応じて、フィードバック制御則（例えば、P 則、PD 則、PID 則等）により該偏差をゼロに収束させるように、スライド駆動アクチュエータ 66 の目標駆動力を決定する。そして、マスター移動制御部 81a は、この目標駆動力を発生させるようにスライド駆動アクチュエータ 66 を制御する。

[0225] これにより、実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ が、目標上体支持部高さ $P_mb_z_aim$ に追従するように、スライド駆動アクチュエータ 66 が制御される。

[0226] 次いで、STEP 5 において、マスター移動制御部 81a は、実オペレータ上体向き（オペレータ P の上体の実際の向き）を推定する。この処理では、マスター移動制御部 81a は、例えば、STEP 2 で求めた実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ の推定値と、上体力検出器 64 により検出された実上体支持部反力のうちのヨー方向のモーメント $M_mb_z_act$ （実上体支持部ヨー方向モーメント）とから、次式（12）により実オペレータ上体向き $\theta_opb_z_act$ を推定する。

$$\theta_opb_z_act = \theta_mb_z_act - kspring_mz * M_mb_z_act$$

..... (12)

[0227] ここで、 $kspring_mz$ は、オペレータ P の上体と上体支持部 65 との間で発生するヨー方向の回転力に関するバネ定数（剛性）の逆数としてあらかじめ設定された値である。補足すると、実オペレータ上体向きの推定手法は、上記の手法に限られず、他の手法を採用してもよい。例えば、オペレータ P を撮影するカメラや、オペレータ P の上体等に装着した慣性センサを使用した

モーションキャプチャの処理により、実オペレータ上体向きを推定することも可能である。

[0228] あるいは、例えば、上体支持部 65 に対するオペレータ P の上体のヨ一方向での相対変位（相対回転角）を、上体支持部 65 等に備えた適宜の変位センサにより検出し、該相対変位の観測値を実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ に加算することで、実オペレータ上体向きを推定することも可能である。

[0229] あるいは、例えば、オペレータ P の上体の複数個所までの距離を計測可能な測距装置を用い、該測距装置による距離の観測値を基に、実オペレータ上体向きを推定することも可能である。

[0230] なお、前記オペレータ運動検出器 70 が、マスター側グローバル座標系 C_g m で見た実オペレータ上体向きを推定し得る検出器である場合には、STEP 5 の処理は省略し得る。

[0231] マスター制御部 81 は、以上の如く、マスター移動制御部 81 a の処理（STEP 2～5 の処理）を実行した後、次に STEP 6 において、スレーブ制御部 31 にスレーブ装置 1 の動作に関する指令情報を送信する。

[0232] 具体的には、マスター制御部 81 は、前記 STEP 6 で推定した実オペレータ上体向き（又はオペレータ運動検出器 70 により推定された実オペレータ上体向き）と、オペレータ運動検出器 70 により推定された実オペレータ上体傾きとの組としての実オペレータ上体姿勢と、オペレータ運動検出器 70 により推定された実オペレータ足部位置姿勢と、床反力検出器 75 により検出された実オペレータ足部床反力と、前記 STEP 2 で推定した実上体支持部高さとを指令情報の構成要素としてスレーブ制御部 31 に送信する。

[0233] この場合、マスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 に出力する各指令情報（実オペレータ上体姿勢、実オペレータ足部位置姿勢、実オペレータ足部床反力、及び実上体支持部高はのそれぞれの観測値）は、マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た観測値である。

[0234] なお、マスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 に出力（送信）する各指令情報（観測値）は、ローパスフィルタ等のフィルタリング処理を施した

フィルタリング値であってもよい。

- [0235] また、オペレータ P の上体に装着した慣性センサの出力や、モーションキャプチャの手法等により、実オペレータ上体高さを推定し得る場合には、前記実上体支持部高さの代わりに、実オペレータ上体高さの観測値をスレーブ制御部 31 に送信してもよい。あるいは、実オペレータ上体高さ $P_opb_z_act$ を、STEP 2 で推定した実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ と、上体力検出器 64 により検出された上体支持部反力のうちの上下方向の並進力 $F_mb_z_act$ とから例えば、次式 (13) により推定し、該実オペレータ上体高さ $P_opb_z_act$ の推定値を実上体支持部高さの代わりにスレーブ制御部 31 に送信してもよい。

$$P_opb_z_act = P_mb_z_act - kspring_fz * F_mb_z_act \quad \cdots \cdots (13)$$

- [0236] ここで、 $kspring_fz$ は、オペレータ P の上体と上体支持部 65 との間で上下方向に発生する並進力に関するバネ定数（剛性）の逆数としてあらかじめ設定された値である。

本実施形態では、マスター制御部 81 の制御処理は以上の如く実行される。

- [0237] [スレーブ制御部の制御処理]

次に、スレーブ制御部 31 の制御処理を説明する。スレーブ制御部 31 は、前記した各機能部の処理を所定の制御処理周期で逐次実行する。なお、以降の説明では、スレーブ装置 1、マスター装置 51 及びオペレータ P のそれぞれの左右の構成要素及びそのそれぞれに関する状態量を区別するために、必要に応じて適宜、左側の構成要素及び該構成要素に関する状態量の参照符号と、右側の構成要素及び該構成要素に関する状態量の参照符号とにそれぞれ「L」、「R」を付加する。例えば、ある状態量 A が、スレーブ装置 1 の左側の構成要素に関する状態量である場合には、その参照符号を「A_L」というように表記し、右側の構成要素に関する状態量である場合には、その参照符号を「A_R」というように表記する。

- [0238] また、位置、姿勢、床反力等の状態量を、マスター側グローバル座標系 Cg

mなどの座標系の3つの座標軸成分により構成される3次元のベクトルとして表現する場合に、該状態量の参照符号の先頭に、「↑」という符号を付加する。例えば、ある状態量Aを、マスター側グローバル座標系C_{gm}又はスレーブ側グローバル座標系C_{gs}で見た3次元のベクトルとして表現する場合に、「状態量↑A」というように表記する。この場合、「状態量↑A」は、座標系C_{gm}又はC_{gs}のX軸方向の成分A_xと、Y軸方向の成分A_yと、Z軸方向の成分A_zとを3つの成分とするベクトルを意味する。

[0239] また、以降の説明では、スレーブ装置1に係る状態量の実際の値または目標値を表す場合に、「実」又は「目標」と、該状態量の名称との間に「スレーブ」を付加して表記する場合がある。例えば、スレーブ装置1の目標足部位置姿勢を目標スレーブ足部位置姿勢と表記する場合がある。

[0240] [スレーブ動作目標決定部の処理]

まず、スレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31aの処理を説明する。スレーブ動作目標決定部31aには、図2に示すように、マスター制御部81から通信装置33を介して受信される実オペレータ上体姿勢（向き、傾き）、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢、及び実オペレータ足部床反力のそれぞれの観測値が逐次入力されると共に、上体横方向位置推定部31dにより後述する如く推定される実スレーブ上体横方向位置の観測値とが逐次入力される。

[0241] そして、スレーブ動作目標決定部31aは、所定の制御処理周期で、図8のフローチャートに示す処理を実行する。STEP11において、スレーブ動作目標決定部31aは、オペレータPの左右の各足部の実オペレータ足部位置姿勢と、スレーブ装置1の左右の各足部6L、6Rの実スレーブ足部位置姿勢とが、次式(21a)～(21d)により示される所定の関係を満たすことを目標として、マスター制御部81から受信したオペレータPの左右の各足部の実オペレータ足部位置姿勢（観測値）に応じて、スレーブ装置1の左右の各足部6L、6Rの目標スレーブ足部位置姿勢を決定する。

[0242] すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、オペレータPの左右の各足

部の実オペレータ足部位置姿勢の観測値から、次式（21a-1）～（21d-1）によりスレーブ装置1の左右の各足部6L, 6Rの目標スレーブ足部位置姿勢を決定する。

$$\uparrow P_sf_act_L = Kpsf * \uparrow P_opf_act_L + \uparrow Cpsf$$

$$\dots\dots (21a)$$

$$\uparrow P_sf_act_R = Kpsf * \uparrow P_opf_act_R + \uparrow Cpsf$$

$$\dots\dots (21b)$$

$$\uparrow \theta_sf_act_L = \uparrow \theta_opf_act_L \quad \dots\dots (21c)$$

$$\uparrow \theta_sf_act_R = \uparrow \theta_opf_act_R \quad \dots\dots (21d)$$

$$\uparrow P_sf_aim_L = Kpsf * \uparrow P_opf_act_L + \uparrow Cpsf$$

$$\dots\dots (21a-1)$$

$$\uparrow P_sf_aim_R = Kpsf * \uparrow P_opf_act_R + \uparrow Cpsf$$

$$\dots\dots (21b-1)$$

$$\uparrow \theta_sf_aim_L = \uparrow \theta_opf_act_L \quad \dots\dots (21c-1)$$

$$\uparrow \theta_sf_aim_R = \uparrow \theta_opf_act_R \quad \dots\dots (21d-1)$$

[0243] ここで、 $\uparrow P_sf_act_L$, $\uparrow P_sf_act_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの実際の位置（実スレーブ足部位置）、 $\uparrow \theta_sf_act_L$, $\uparrow \theta_sf_act_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの実際の姿勢（実スレーブ足部姿勢）、 $\uparrow P_sf_aim_L$, $\uparrow P_sf_aim_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの目標位置（目標スレーブ足部位置）である。

[0244] また、 $\uparrow \theta_sf_act_L$, $\uparrow \theta_sf_act_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの実際の姿勢（実スレーブ足部姿勢）、 $\uparrow \theta_sf_aim_L$, $\uparrow \theta_sf_aim_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの目標姿勢（目標スレーブ足部姿勢）である。

[0245] また、 $\uparrow P_opf_act_L$ 、 $\uparrow P_opf_act_R$ は、それぞれ、オペレータPの左側及び右側のそれぞれの足部の実際の位置（実オペレータ足部位置）、 $\uparrow \theta_opf_act_L$ 、 $\uparrow \theta_opf_act_R$ は、それぞれ、オペレータPの左側及び右側のそれぞれの足部の実際の姿勢（実オペレータ足部姿勢）である。

[0246] また、 K_{psf} は、所定値の係数、又は、所定値の対角成分を有する対角行列、 $\uparrow C_{psf}$ は所定値の成分を有する定数ベクトルである。この $\uparrow C_{psf}$ はゼロベクトルであってもよい。なお、 $\uparrow \theta_sf_aim_L$ 、 $\uparrow \theta_sf_aim_L$ のそれぞれと $\uparrow \theta_opf_act_L$ 、 $\uparrow \theta_opf_act_R$ のそれぞれとの間の所定の関係は、例えば、式（21a）又は式（21b）と同様の形態の一次関数により表される関係であってもよい。

[0247] 次にSTEP12において、スレーブ動作目標決定部31aは、オペレータPの左右の各足部の実足部床反力と、スレーブ装置1の左右の各足部6L、6Rの実スレーブ床反力とが、次式（22a）～（22d）により示される所定の関係を満たすことを目標として、マスター制御部81から受信したオペレータPの左右の各足部の実オペレータ足部床反力（観測値）に応じて、スレーブ装置1の左右の各足部6L、6Rの目標スレーブ足部位置姿勢を決定する。

[0248] すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、オペレータPの左右の各足部の実オペレータ足部床反力の観測値から、次式（22a-1）～（22d-1）によりスレーブ装置1の左右の各足部6L、6Rの目標スレーブ足部床反力を決定する。

$$\uparrow F_sf_act_L = mtotal_ratio * \uparrow F_opf_act_L$$

..... (22a)

$$\uparrow F_sf_act_R = mtotal_ratio * \uparrow F_opf_act_R$$

..... (22b)

$$\uparrow M_sf_act_L = mtotal_ratio * \uparrow F_opf_act_R$$

..... (22c)

$$\uparrow F_sf_act_L = mtotal_ratio * \uparrow F_opf_act_R$$

..... (22 d)

$$\uparrow F_{sf_aim_L} = mtotal_ratio * \uparrow F_{opf_act_L}$$

..... (22 a - 1)

$$\uparrow F_{sf_aim_R} = mtotal_ratio * \uparrow F_{opf_act_R}$$

..... (22 b - 1)

$$\uparrow M_{sf_aim_L} = mtotal_ratio * \uparrow F_{opf_act_R}$$

..... (22 c - 1)

$$\uparrow F_{sf_aim_L} = mtotal_ratio * \uparrow F_{opf_act_R}$$

..... (22 d - 1)

[0249] ここで、 $\uparrow F_{sf_act_L}$ 、 $\uparrow F_{sf_act_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6 L、6 Rの実スレーブ足部床反力のうちの並進力（実スレーブ足部並進力）、 $\uparrow F_{sf_aim_L}$ 、 $\uparrow F_{sf_aim_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6 L、6 Rの目標スレーブ足部床反力のうちの並進力（目標スレーブ足部並進力）である。

[0250] また、 $\uparrow M_{sf_act_L}$ 、 $\uparrow M_{sf_act_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6 L、6 Rの実スレーブ足部床反力のうちのモーメント（実スレーブ足部モーメント）、 $M_{sf_aim_L}$ 、 $\uparrow M_{sf_aim_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6 L、6 Rの目標スレーブ足部床反力のうちのモーメント（目標スレーブ足部モーメント）である。

[0251] また、 $\uparrow F_{opf_act_L}$ 、 $\uparrow F_{opf_act_R}$ は、それぞれ、オペレータPの左側及び右側のそれぞれの足部の実オペレータ足部床反力のうちの並進力（実オペレータ足部並進力）、 $\uparrow M_{opf_act_L}$ 、 $\uparrow M_{opf_act_R}$ は、それぞれ、オペレータPの左側及び右側のそれぞれの足部の実オペレータ足部床反力のうちのモーメント（実オペレータ足部モーメント）である。

[0252] また、 $mtotal_ratio$ は、スレーブ装置1の全体の質量であるスレーブ全質量と、オペレータPの全体の質量であるオペレータ全質量との質量比率（＝

スレーブ全質量／オペレータ全質量）である。

[0253] 次に、スレーブ動作目標決定部 31a は、STEP 13～15 のそれぞれにおいて、目標スレーブ床反力のうちの目標スレーブ足部床反力中心点、目標スレーブ全床反力、及び目標スレーブ全床反力中心点をそれぞれ決定する。

[0254] 具体的には、STEP 13 では、スレーブ動作目標決定部 31a は、STEP 12 で決定した目標スレーブ足部床反力 ($\uparrow F_{sf_aim_L}$, $\uparrow F_{sf_aim_R}$, $\uparrow M_{sf_aim_L}$, $\uparrow M_{sf_aim_R}$) から、スレーブ装置 1 の左右の各足部 6L, 6R の目標スレーブ足部床反力中心点の横方向位置を求める。この場合、各足部 6 の床反力中心点 (COP) は、横方向 (スレーブ側グローバル座標系 Cgs の X 軸方向及び Y 軸方向) の軸周りのモーメントがゼロになる点である。従って、左右の各足部 6L, 6R の目標スレーブ足部床反力中心点の横方向位置は、次式 (23a) ～ (23d) により算出される。

$$COP_{sf_x_aim_L} = M_{sf_y_aim_L} / F_{sf_z_aim_L} \quad \dots\dots (23a)$$

$$COP_{sf_x_aim_R} = M_{sf_y_aim_R} / F_{sf_z_aim_R} \quad \dots\dots (23b)$$

$$COP_{sf_y_aim_L} = -M_{sf_x_aim_L} / F_{sf_z_aim_L} \quad \dots\dots (23c)$$

$$COP_{sf_y_aim_R} = -M_{sf_x_aim_R} / F_{sf_z_aim_R} \quad \dots\dots (23d)$$

[0255] ここで、 $COP_{sf_x_aim_L}$, $COP_{sf_x_aim_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置 1 の左側及び右側のそれぞれの足部 6L, 6R の目標スレーブ足部床反力中心点の X 軸方向の目標位置、 $COP_{sf_y_aim_L}$, $COP_{sf_y_aim_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置 1 の左側及び右側のそれぞれの足部 6L, 6R の目標スレーブ足部床反力中心点の Y 軸方向の目標位置である。

[0256] また、 $M_{sf_y_aim_L}$, $M_{sf_y_aim_R}$ は、それぞれ、スレーブ装置 1 の左側及び右側のそれぞれの足部 6L, 6R の目標スレーブ足部モーメント $\uparrow M_{sf}$

$_aim_L$, $\uparrow M_sf_aim_R$ のY軸周り方向の成分、 $Msf_x_aim_L$, $Msf_x_aim_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの目標スレーブ足部モーメント $\uparrow M_sf_aim_L$, $\uparrow M_sf_aim_R$ のX軸周り方向の成分、 $F_s_z_aim_L$, $F_sf_z_aim_R$ は、それぞれ、スレーブ装置1の左側及び右側のそれぞれの足部6L, 6Rの目標スレーブ足部並進力 $\uparrow F_sf_aim_L$, $\uparrow F_sf_aim_R$ のZ軸方向(上下方向)の成分である。

[0257] STEP 14では、スレーブ動作目標決定部31aは、STEP 12で決定した目標スレーブ足部床反力($\uparrow F_sf_aim_L$, $\uparrow F_sf_aim_R$, $\uparrow M_sf_aim_L$, $\uparrow M_sf_aim_R$)から、次式(24a), (24b)により、目標スレーブ全床反力(並進力 $\uparrow F_sf_total_aim$ 及びモーメント $\uparrow M_sf_total_aim$)を求める。すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、左右の足部6L, 6Rのそれぞれの目標スレーブ足部床反力の合力を目標スレーブ全床反力として求める。なお、 $\uparrow F_sf_total_aim$, $\uparrow M_sf_total_aim$ は、それぞれ、目標スレーブ全床反力並進力、モーメントである。

$$\uparrow F_sf_total_aim = \uparrow F_sf_aim_L + \uparrow F_sf_aim_R$$

$$\dots\dots (24a)$$

$$\uparrow M_sf_total_aim = \uparrow M_sf_aim_L + \uparrow M_sf_aim_R$$

$$\dots\dots (24b)$$

[0258] STEP 15では、スレーブ動作目標決定部31aは、STEP 14で求めた目標スレーブ全床反力($\uparrow F_sf_total_aim$, $\uparrow M_sf_total_aim$)から、前記STEP 13で使用した式(23a)~(23d)と同様の式である次式(25a), (25b)により、目標スレーブ全床反力中心点の横方向位置を求める。なお、 $COP_sf_total_x_aim$, $COP_sf_total_y_aim$ は、それぞれ、目標スレーブ全床反力中心点のX軸方向位置、Y軸方向位置である。

$$COP_sf_total_x_aim = M_sf_total_y_aim / F_sf_total_z_aim$$

$$\dots\dots (25a)$$

$$COP_sf_total_y_aim = -M_sf_total_x_aim_L / F_sf_total_z_aim$$

…… (25b)

[0259] 次に、STEP 16において、スレーブ動作目標決定部31aは、実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）と、実スレーブ上体姿勢（向き及び傾き）とが、例えば次式（26）により示される所定の関係を満たすことを目標として、マスター制御部81から受信した実オペレータ上体姿勢（実オペレータ上体向き及び実オペレータ上体傾き）の観測値に応じて、目標スレーブ上体姿勢を決定する。

すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、実オペレータ上体姿勢の観測値から、例えば、次式（26-1）により目標スレーブ上体姿勢を決定する。

$$\uparrow \theta_{sb_act} = \uparrow \theta_{opb_act} \quad \dots\dots (26)$$

$$\uparrow \theta_{sb_aim} = \uparrow \theta_{opb_act} \quad \dots\dots (26-1)$$

[0260] ここで、 $\uparrow \theta_{sb_act}$ は、実スレーブ上体姿勢、 $\uparrow \theta_{sb_aim}$ は、目標スレーブ上体姿勢、 $\uparrow \theta_{opb_act}$ は、実オペレータ上体姿勢である。この場合、 $\uparrow \theta_{opb_act}$ のX軸周り方向及びY軸周り方向の成分の値として、実オペレータ上体傾きの観測値が用いられ、 $\uparrow \theta_{opb_act}$ のZ軸周り方向（ヨー方向）の成分の値として、実オペレータ上体向きの観測値が用いられる。

[0261] なお、 $\uparrow \theta_{sb_act}$ と、 $\uparrow \theta_{opb_act}$ との間の所定の関係は、例えば、前記式（21a）又は式（21b）と同様の形態の一次関数により表される関係であってもよい。

[0262] 次に、STEP 17において、スレーブ動作目標決定部31aは、マスター装置51の実上体支持部高さ（上体支持部65の実際の上下方向位置）と、実スレーブ状態高さ（スレーブ装置1の上体2の実際の上下方向位置）とが、例えば次式（27）により示される所定の関係を満たすことを目標として、マスター制御部81から受信した実上体支持部高さの観測値に応じて、目標スレーブ上体位置のうちの高さ（目標スレーブ上体高さ）を決定する。

すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、実上体支持部高さの観測値から次式（27-1）により目標スレーブ上体高さを決定する。

$$P_sb_z_act = Kpsb_z * P_mb_z_act + Cpsb_z$$

..... (27)

$$P_sb_z_aim = Kpsb_z * P_mb_z_act + Cpsb_z$$

..... (27-1)

[0263] ここで、 $P_sb_z_act$ は、実スレーブ上体高さ、 $P_sb_z_aim$ は、目標スレーブ上体高さ、 $P_mb_z_act$ は、実上体支持部高さ、 $Kpsb_z$ 、 $Cpsb_z$ があらかじめ設定された所定値の定数である。なお、 $Cpsb_z$ はゼロであってもよい。

[0264] 補足すると、マスター制御部81が、実オペレータ上体高さ $P_opb_z_act$ の観測値を取得し得る場合には、実オペレータ上体高さ $P_opb_z_act$ と、実スレーブ上体高さ $P_sb_z_act$ とが、例えば前記式(27)の $P_mb_z_act$ を $P_opb_z_act$ に置き換えた関係を満たすように、 $P_opb_z_act$ の観測値に応じて目標スレーブ上体高さ $P_sb_z_aim$ を決定してもよい。すなわち、式(27-1)の $P_mb_z_act$ を $P_opb_z_act$ に置き換えた式により、目標スレーブ上体高さ $P_sb_z_aim$ を決定してもよい。

[0265] 次に、STEP18において、スレーブ動作目標決定部31aは、上体横方向位置推定部31dにより後述する如く推定される実スレーブ上体横方向位置の最新値を、目標スレーブ上体位置の横方向位置である目標スレーブ上体横方向位置として決定する。すなわち、スレーブ動作目標決定部31aは、実スレーブ上体横方向位置の観測値(最新値)から、次式(28a)、(28b)により、目標スレーブ上体横方向位置を決定する。

$$P_sb_x_aim = P_sb_x_act \quad \text{..... (28a)}$$

$$P_sb_y_aim = P_sb_y_act \quad \text{..... (28b)}$$

[0266] ここで、 $P_sb_x_aim$ は、目標スレーブ上体横方向位置のうちのX軸方向位置、 $P_sb_y_aim$ は、目標スレーブ上体横方向位置のうちのY軸方向位置、 $P_sb_x_act$ は、実スレーブ上体横方向位置のうちのX軸方向位置、 $P_sb_y_act$ は、実スレーブ上体横方向位置のうちのY軸方向位置である。

[0267] スレーブ動作目標決定部31aの処理は、以上の如く実行される。従って

、本実施形態では、スレーブ装置 1 の左右の各足部 6 L, 6 R の目標スレーブ足部位置姿勢は、前記式 (21a) ~ (21d) により示される一定の線形関係を目標として、実オペレータ足部位置姿勢の観測値に応じて決定される。

[0268] また、目標スレーブ上体姿勢及び目標スレーブ上体高さのそれぞれは、前記式 (26), (27) により示される一定の線形関係を目標として、実オペレータ上体姿勢と、実上体支持部高さ (又は実オペレータ上体高さ) とのそれぞれの観測値に応じて決定される。

[0269] 一方、目標スレーブ上体横方向位置については、オペレータ P の上体や上体支持部 65 の実際の横方向位置によらずに、実スレーブ上体横方向位置がそのまま目標スレーブ上体横方向位置として決定される。

[0270] また、目標スレーブ床反力のうちの左右の各足部 6 L, 6 R の目標スレーブ足部床反力 (並進力及びモーメント) は、オペレータ P の左右の各足部の実オペレータ足部床反力に、スレーブ装置 1 とオペレータ P との質量比率 (=スレーブ全質量/オペレータ全質量) で比例するように決定される。そして、目標スレーブ足部床反力中心点、目標スレーブ全床反力、及び目標スレーブ全床反力中心点は、各足部 6 L, 6 R の目標スレーブ足部床反力と所定の必要関係を満たすように決定される。

[0271] 従って、目標スレーブ上体横方向位置以外の目標スレーブ上体運動と、目標スレーブ脚運動と、目標スレーブ床反力とは、それぞれ、オペレータ P の上体の実際の運動と、オペレータ P の各足部の実際の運動と、オペレータ P に作用する実際の床反力とのそれぞれと同じパターンで変化するように決定される。

[0272] 補足すると、本実施形態では、目標スレーブ上体高さ $P_{sb_z_aim}$ を、実上体支持部高さ $P_{mb_z_act}$ (又は実オペレータ上体高さ $P_{opb_z_act}$) の観測値に応じて決定した。ただし、目標スレーブ上体高さ $P_{sb_z_aim}$ を、例えば、実上体支持部高さ $P_{mb_z_act}$ (又は実オペレータ上体高さ $P_{opb_z_act}$) によらずに、あらかじめ定めた所定値に設定してもよい。この場合には、実

上体支持部高さ $P_mb_z_act$ （又は実オペレータ上体高さ $P_opb_z_act$ ）の観測値をマスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 に出力（送信）することは不要である。

[0273] また、図 8 のフローチャートでの説明は省略したが、本実施形態では、スレーブ装置 1 は、上体 2 に対して可動な腕 10 及び頭部 17 を有するので、スレーブ動作目標決定部 31 a は、各腕 10 及び頭部 17 の目標運動も決定する。この場合、オペレータ P の操縦によるスレーブ装置 1 の移動時には、各腕 10 及び頭部 17 の目標運動は、例えば、各腕 10 のハンド部 13 と頭部 17 とを上体 2 に対して一定の位置姿勢に保つように決定され得る。

[0274] ただし、例えば、各腕 10 を、脚 3 の運動に同期させて、上体 2 に対して前後に振る等の運動を行わせるように各腕 10 の目標運動を決定してもよい。また、頭部 17 を適宜、上体 2 に対して動かすように該頭部 17 の目標運動を決定してもよい。また、例えば、オペレータ P の各腕や頭部の実際の運動を、オペレータ運動検出器 70 と同様の検出器により推定し、スレーブ装置 1 の各腕 10 や頭部 17 の目標運動（上体 2 に対する目標運動）を、オペレータ P の各腕や頭部の実際の運動と同様の運動に決定してもよい。

[0275] [上体横方向位置推定部の処理]

次に、上体横方向位置推定部 31 d の処理を説明する。上体横方向位置推定部 31 d には、図 2 に示す如く、上体姿勢検出器 23 で検出された実上体傾きと、スレーブ動作目標決定部 31 a で決定された目標スレーブ上体位置姿勢のうちの傾き（目標上体傾き）と、横方向位置（目標上体横方向位置）とが逐次入力される。そして、上体横方向位置推定部 31 d は、これらの入力値を用いて実スレーブ上体横方向位置を推定する。

[0276] ここで、スレーブ装置 1 は、基本的には、スレーブ動作目標決定部 31 a で決定される目標スレーブ上体位置姿勢及び目標スレーブ足部位置姿勢に概ね従うように動作するが、床面の凹凸状態や、後述するコンプライアンス制御による目標スレーブ足部位置姿勢の修正等に起因して、上体 2 の実際の姿勢のうちの傾きが、目標スレーブ上体傾きに対してずれを生じることがあ

る。そして、上体 2 の傾きの当該ずれが生じると、上体 2 の実際の横方向位置が目標スレーブ上体横方向位置に対してずれを生じる。

[0277] そこで、上体横方向位置推定部 3 1 d は、例えば、次式 (2 9 a) , (2 9 b) により、実スレーブ上体横方向位置を推定する。

$$\begin{aligned} P_sb_x_act \\ = P_sb_x_aim + P_sb_z_act * \sin(\theta_sb_y_act - \theta_sb_y_aim) \\ \dots\dots (29a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_sb_y_act \\ = P_sb_y_aim - P_sb_z_act * \sin(\theta_sb_x_act - \theta_sb_x_aim) \\ \dots\dots (29b) \end{aligned}$$

[0278] ここで、 $P_sb_x_act$, $P_sb_y_act$ は、それぞれ、実スレーブ上体横方向位置のうちの X 軸方向位置及び Y 軸方向位置の観測値、 $P_sb_x_aim$, $P_sb_y_aim$ は、それぞれ、目標スレーブ上体横方向位置のうちの X 軸方向位置及び Y 軸方向位置、 $P_sb_z_act$ は、実スレーブ上体高さ、 $\theta_sb_x_aim$, $\theta_sb_y_aim$ は、それぞれ、目標スレーブ上体傾きのうちの X 軸周り方向の傾き及び Y 軸周り方向の傾き、 $\theta_sb_x_act$, $\theta_sb_y_act$ は、それぞれ、実スレーブ上体傾きのうちの X 軸周り方向の傾き及び Y 軸周り方向の傾きの観測値である。

[0279] この場合、目標スレーブ上体横方向位置 $P_sb_x_aim$, $P_sb_y_aim$ の値としては、上体横方向位置推定部 3 1 d の今回の制御処理の前の制御処理周期でスレーブ動作目標決定部 3 1 a により決定された目標値が用いられる。また、実スレーブ上体傾き $\theta_sb_x_act$, $\theta_sb_y_act$ の値としては、前記上体姿勢検出器 2 3 による推定値が用いられる。

[0280] また、実スレーブ上体高さ $P_sb_z_act$ の値としては、例えば、スレーブ装置 1 の左右の脚 3 L, 3 R のうち、いずれかの接地状態の脚 3 の各関節の実関節変位の検出値から、運動学の演算により推定してなる推定値が用いられる。なお、両方の脚 3 L, 3 R が接地状態である場合には、例えば、それぞれの脚 3 L, 3 R 毎に運動学の演算により上体 2 の高さを推定してもよい。

そして、それぞれの脚 3 L, 3 R 毎の推定値の平均値を、実スレーブ上体高さ $P_sb_z_act$ の値として用いてもよい。あるいは、実スレーブ上体高さ $P_sb_z_act$ の代わりに、例えば、スレーブ動作目標決定部 3 1 a で決定された目標スレーブ上体高さ $P_sb_z_aim$ を用いてもよい。

[0281] なお、目標スレーブ上体傾きと実スレーブ上体傾きとの Y 軸周り方向の偏差 ($= \theta_sb_y_act - \theta_sb_y_aim$) 又は X 軸周り方向の偏差 ($= \theta_sb_x_act - \theta_sb_x_aim$) の絶対値が十分に小さい場合には、 $\sin(\theta_sb_y_act - \theta_sb_y_aim) \div \theta_sb_y_act - \theta_sb_y_aim$ 、又は $\sin(\theta_sb_x_act - \theta_sb_x_aim) \div \theta_sb_x_act - \theta_sb_x_aim$ という近似関係を用いて、式 (29 a) 又は式 (29 b) の右辺の演算を行ってもよい。

[0282] 補足すると、実スレーブ上体横方向位置を推定する手法は、上記の手法に限られない。例えば、前記上体姿勢検出器 2 3 の加速度センサ 2 3 a により検出される横方向の並進加速度を積分 (2 階積分) することにより、実スレーブ上体横方向位置を推定することも可能である。

[0283] また、例えば、前記式 (29 a), (29 b) による推定手法と、加速度センサ 2 3 a を使用した推定手法とをカルマンフィルタを用いて融合する処理により、実スレーブ上体横方向位置を推定することも可能である。この他、物体の自己位置推定を行い得る様々な公知の手法により、実スレーブ上体横方向位置を推定することが可能である。

[0284] [複合コンプライアンス動作決定部の処理]

次に、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b の処理を説明する。複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b には、図 2 に示す如く、スレーブ動作目標決定部 3 1 a で決定された目標スレーブ脚運動 (目標スレーブ足部位置姿勢) と、目標スレーブ床反力 (目標スレーブ足部床反力、目標スレーブ足部床反力中心点、目標スレーブ全床反力、目標スレーブ全床反力中心点) とが逐次入力される。そして、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b は、これらの入力値を用いて、コンプライアンス制御の処理により、目標スレーブ足部位置姿勢を修正することで、修正目標スレーブ脚運動 (修正目標スレーブ足

部位置姿勢)を決定する。

- [0285] この複合、複合コンプライアンス動作決定部31bの処理(コンプライアンス制御の処理)は、それを一般化していえば、スレーブ装置1が移動する床面の予期しない凹凸や障害物等に起因して、各足部6に過大な床反力が作用したり、あるいは、スレーブ装置1の全体の姿勢が崩れるのを防止するために、スレーブ装置1に実際に作用する床反力である実スレーブ床反力に係る所要の状態量(所定方向の並進力、所定の軸周り方向のモーメント、各足部6の床反力中心点の位置、全床反力中心点の位置等)を、スレーブ動作目標決定部31aが決定した目標スレーブ床反力等により規定される所要の目標値に近づけるように、スレーブ装置1の全体の目標運動のうちの目標スレーブ足部位置姿勢を修正する処理である。
- [0286] 本実施形態では、かかる複合コンプライアンス動作決定部31bの処理として、例えば、特開平10-277969号公報の段落0123~0207に説明されている公知の制御処理が実行される。このため、本明細書での複合コンプライアンス動作決定部31bの処理の詳細な説明は省略する。ただし、本実施形態の複合コンプライアンス動作決定部31bの処理では、特開平10-277969号公報に記載されている「補償全床反力モーメント M_{dmd} 」はゼロに設定される。
- [0287] かかる複合コンプライアンス動作決定部31bの処理では、スレーブ装置1の両足部6L, 6Rを、目標スレーブ全床反力中心点(換言すれば、目標ZMP)を中心として、X軸周り方向及びY軸周り方向に回転させる動作と、目標スレーブ全床反力中心点を中心として、各足部6L, 6RをX軸周り方向及びY軸周り方向で、互いに逆向きに並進移動させる動作との複合動作によって、目標スレーブ全床反力中心点周りで発生する実際の床反力のモーメント(X軸周り方向及びY軸周り方向のモーメント)をゼロに近づけるように、各足部6の目標スレーブ足部位置姿勢(スレーブ動作目標決定部31aにより決定された目標スレーブ足部位置姿勢)が修正される。これにより、各足部6の修正目標スレーブ足部位置姿勢が決定される。

[0288] この場合、目標スレーブ足部位置姿勢の修正量は、床反力検出器 25 により検出される実スレーブ足部床反力の観測値と、スレーブ動作目標決定部 31 a により決定された目標スレーブ床反力（目標スレーブ足部床反力、目標スレーブ足部床反力中心点、目標スレーブ全床反力、目標スレーブ全床反力中心点）とを用いて決定される。

[0289] [関節変位決定部の処理]

次に、関節変位決定部 31 c の処理を説明する。関節変位決定部 31 c には、図 2 に示す如く、スレーブ動作目標決定部 31 a で決定された目標スレーブ上体運動（目標スレーブ上体位置姿勢）と、複合コンプライアンス動作決定部 31 b で決定された修正目標スレーブ脚運動（修正目標スレーブ足部位置姿勢）とが逐次入力される。そして、関節変位決定部 31 c は、目標スレーブ上体位置姿勢と、各足部 6 の目標スレーブ足部位置姿勢とから、逆運動学の演算により、スレーブ装置 1 の各脚 3 の各関節の目標関節変位を決定する。

[0290] また、図 2 での図示は省略しているが、本実施形態では、関節変位決定部 31 c には、さらに、スレーブ動作目標決定部 31 a で決定されたスレーブ装置 1 の各腕 10 の目標運動と、頭部 17 の目標運動とが入力される。そして、関節変位決定部 31 c は、各腕 10 の目標運動に応じて各腕 10 の各関節の目標関節変位を決定すると共に、頭部 17 の目標運動に応じて、首関節機構 18 の各関節の目標関節変位を決定する。

[0291] この場合、各腕 10 の目標運動が、例えば各腕 10 のハンド部 13 の目標位置姿勢（上体 2 に対する相対的な目標位置姿勢）である場合には、逆運動学の演算処理により、各腕 10 の各関節の目標関節変位を決定し得る。また、各腕 10 の目標運動が、例えば各腕 10 の各関節の目標関節変位により構成される場合には、該目標関節変位がそのまま各関節の目標関節変位として決定される。このことは、頭部 17 についても同様である。

[0292] スレーブ制御部 31 の各機能部の制御処理は、以上の如く実行される。そして、スレーブ制御部 31 は、関節変位決定部 31 c で決定した各関節の目

標関節変位を前記関節制御部 3 2 に出力する。また、スレーブ制御部 3 1 は、上体横方向位置推定部 3 1 d で推定された実スレーブ上体横方向位置を通信装置 3 3 を介してマスター制御部 8 1 に出力（送信）する。

[0293] なお、本実施形態では、目標スレーブ上体横方向位置は、実スレーブ上体横方向位置に一致するように決定されるので、実スレーブ上体横方向位置の観測値をマスター制御部 8 1 に出力（送信）する代わりに、目標スレーブ上体横方向位置をマスター制御部 8 1 に出力してもよい。

[0294] [発明との対応関係について]

ここで、以上説明した本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、マスター装置 5 1 の移動機構 5 2 及び電動モータ 5 5 a, 5 5 b と、昇降機構 6 0 及びスライド駆動アクチュエータ 6 6 とにより、本発明における上体支持部駆動機構が構成される。この場合、電動モータ 5 5 a, 5 5 b が本発明における第 1 アクチュエータに相当し、スライド駆動アクチュエータ 6 6 が本発明における第 3 アクチュエータに相当する。

[0295] また、マスター制御部 8 1 の目標上体支持部運動決定部 8 1 b とスレーブ制御部 3 1 のスレーブ動作目標決定部 3 1 a 及び複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b とにより、本発明における動作目標決定部が構成される。この場合、目標上体支持部運動決定部 8 1 b が決定する目標上体支持部運動（目標上体支持部位置及び目標上体支持部向き）が、本発明におけるマスター側動作目標に相当する。そして、目標上体支持部運動決定部 8 1 b が目標上体支持部横方向位置を決定する機能によって、本発明における第 2 0 1 処理部が実現される。

[0296] また、スレーブ動作目標決定部 3 1 a により決定される目標スレーブ上体運動、目標スレーブ腕運動、目標スレーブ頭部運動、および目標スレーブ床反力目標スレーブと、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b により決定される修正目標スレーブ脚運動との組が本発明におけるスレーブ側動作目標に相当する。

[0297] また、スレーブ装置 1 の上体 2 の横方向位置が本発明におけるスレーブ側基準部横方向位置に相当し、上体支持部 6 5 の横方向位置（又はオペレータ P の上体の横方向位置）が本発明におけるマスター側基準部横方向位置に相当する。そして、上体支持部 6 5 の横方向位置がマスター側基準部横方向位置である場合、前記式（1 a）,（1 b）により表される関係が本発明における第 1 目標対応関係に相当し、オペレータ P の上体の横方向位置がマスター側基準部横方向位置である場合、前記式（1 a）,（1 b）の左辺をオペレータ P の上体の横方向位置に置き換えた式により表される関係が本発明における第 1 目標対応関係に相当する。

[0298] また、スレーブ動作目標決定部 3 1 a は、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b と併せて、本発明における第 1 処理部としての機能を有すると共に、目標上体支持部運動決定部 8 1 b と併せて、本発明における第 2 処理部としての機能を有する。さらに、スレーブ動作目標決定部 3 1 a は、本発明における第 3 処理部としての機能を有する。

[0299] この場合、スレーブ動作目標決定部 3 1 a が、目標スレーブ足部位置姿勢を決定する処理が、本発明における第 1 処理部のうちの第 1 0 1 処理部の処理に相当し、この処理により得られる目標スレーブ足部位置姿勢が本発明における基本目標スレーブ脚位置姿勢に相当する。また、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b の処理が、本発明における第 1 処理部のうちの第 1 0 2 処理部の処理に相当し、この処理により得られる修正目標足部位置姿勢が、本発明における修正後の目標スレーブ脚位置姿勢に相当する。

[0300] また、スレーブ動作目標決定部 3 1 a が、目標スレーブ上体横方向位置（上体 2 の目標横方向位置）を決定する処理と、目標スレーブ上体高さ（上体 2 の目標上下方向位置）を決定する処理と、目標スレーブ上体姿勢（上体 2 の目標姿勢）を決定する処理とが、本発明における第 2 0 2 処理部の処理と、第 2 0 6 処理部の処理と、第 2 0 7 処理部の処理とに各々相当する。

[0301] この場合、前記式（2 7）により示される関係が本発明における第 2 目標対応関係に相当し、前記式（2 6）により示される関係が本発明における第

3目標対応関係に相当する。また、スレーブ動作目標決定部31aが、目標スレーブ床反力を決定する処理が、本発明における第3処理部の処理に相当する。

[0302] また、マスター制御部81のマスター移動制御部81aが本発明におけるマスター側制御部に相当し、スレーブ制御部31の関節制御部32が本発明におけるスレーブ側制御部に相当する。

[0303] [作用効果について]

以上説明した第1実施形態によれば、基本的には、オペレータPが歩行動作によって床面上を移動するに伴い、スレーブ装置1がオペレータPと同じような歩行動作によって床面上を移動する。この移動時に、スレーブ装置1が、床面の凹凸や障害物との接触等の外乱の影響を受けて、該スレーブ装置1の姿勢が崩れる場合がある。

[0304] ここで、本実施形態では、目標上体支持部横方向位置は、実上体支持部横方向位置（又は実オペレータ上体横方向位置）と、実スレーブ上体横方向位置とが前記（1a）、（1b）により表される関係（又は前記（1a）、（1b）の左辺の実オペレータ横方向位置に置き換えた式により表される関係）を満たすことを目標として決定される。また、スレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31aの処理では、目標スレーブ上体横方向位置は、上体支持部65、あるいは、オペレータPの上体の横方向位置によらずに、実スレーブ上体横方向位置の観測値に一致するように決定される。

[0305] このため、スレーブ装置1の姿勢の崩れが発生した場合、その崩れた姿勢での実スレーブ上体横方向位置に応じて、目標上体支持部横方向位置が決定される。ひいては、オペレータPの上体には、スレーブ装置1の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力（オペレータPの姿勢をスレーブ装置1と同様に崩そうとする並進力）が上体支持部65から作用する。例えばスレーブ装置1が、前のめり方向に姿勢を崩した場合には、オペレータPの上体に上体支持部65から前方方向への並進力が作用する。

[0306] これにより、オペレータPは、スレーブ装置1が姿勢を崩したことや、そ

の姿勢の崩れがスレーブ装置１のどの向きに生じたのかを、適切かつ迅速に体感的に認識することができる。

[0307] [第２実施形態]

次に、本発明の第２実施形態を図９及び図１０を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター制御部８１及びスレーブ制御部３１の一部の制御処理だけが第１実施形態と相違する。このため、本実施形態の説明では、第１実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0308] まず、図９を参照して、本実施形態では、マスター制御部８１のマスター移動制御部８１ａ２は、第１実施形態のマスター移動制御部８１ａの機能に加えて、オペレータＰの上体の実際の横方向位置である実オペレータ上体横方向位置（マスター側グローバル座標系Cgmで見たX軸方向位置P_opb_x_act及びY軸方向位置P_opb_y_actの組）を推定する機能を有する。

[0309] この場合、マスター移動制御部８１ａ２は、例えば、前記STEP２の処理により推定される実上体支持部横方向位置（X軸方向位置P_mb_x_act及びY軸方向位置P_mb_y_act）と、上体力検出器６４により検出された実上体支持部反力のうちの横方向の並進力（X軸方向の並進力F_mb_x_act及びY軸方向の並進力F_mb_y_act）とから、次式（３１ａ）、（３１ｂ）により、実オペレータ上体横方向位置P_opb_x_act, P_opb_y_actを推定する。

$$P_opb_x_act = P_mb_x_act - kspring_fx * F_mb_x_act$$

..... (31a)

$$P_opb_y_act = P_mb_y_act - kspring_fy * F_mb_y_act$$

..... (31b)

[0310] ここで、kspring_fx, kspring_fyは前記式（１ａ－１）、（１ｂ－１）に示したものと同一（バネ定数の逆数の設定値）である。補足すると、実オペレータ上体横方向位置の推定手法は、上記の手法に限られず、他の手法を採用してもよい。例えば、オペレータＰを撮影するカメラや、オペレータＰの上体等に装着した慣性センサを使用したモーションキャプチャの処理により

、実オペレータ上体横方向位置を推定することも可能である。

[0311] あるいは、例えば、上体支持部 65 に対するオペレータ P の上体のヨー方向での相対変位（相対回転角）を、上体支持部 65 等に備えた適宜の変位センサにより検出してもよい。そして、該相対変位の観測値を実上体支持部向き $\theta_mb_z_act$ に加算することで、実オペレータ上体向きを推定することも可能である。

[0312] あるいは、例えば、オペレータ P の上体の複数個所までの距離を計測可能な測距装置を用い、該測距装置による距離の観測値を基に、実オペレータ上体向きを推定することも可能である。なお、実オペレータ上体横方向位置を前記オペレータ運動検出器 70 で検出してもよい。

[0313] 本実施形態では、マスター制御部 81 は、上記の如く推定した実オペレータ上体横方向位置を、実オペレータ上体向き、実オペレータ足部位置姿勢、及び実オペレータ足部床反力と共に、指令情報としてスレーブ制御部 31 に出力（送信）する。

[0314] 次に図 10 を参照して、スレーブ制御部 31 は、本実施形態では、第 1 実施形態で説明した機能に加えて、補償床反力決定部 31e を備える。該補償床反力決定部 31e は、本実施形態では、実スレーブ上体横方向位置 $P_sb_x_act$ 、 $P_sb_y_act$ が、実オペレータ上体横方向位置 $P_opb_x_act$ 、 $P_opb_y_act$ に対して次式（32a）、（32b）により示される所定の対応関係を満たす状態からずれた場合に、そのずれを低減し得るように、スレーブ装置 1 に付加的に作用させるべき床反力を決定する処理部である。

$$P_opb_x_act = K_pmb * P_sb_x_act + C_pmb_x$$

..... (32a)

$$P_opb_y_act = K_pmb * P_sb_y_act + C_pmb_y$$

..... (32b)

[0315] ここで、式（32a）、（32b）の K_pmb 、 C_pmb_x 、 C_pmb_y は、前記式（1a）、（1b）に示した所定値の定数である。

[0316] 本実施形態では、スレーブ装置 1 に付加的に作用させるべき床反力は、例

例えば、目標全床反力中心点（換言すれば目標ZMP）周りで横方向の軸周り方向（X軸周り方向及びY軸周り方向）に発生させるモーメントである。以降、該モーメントを補償全床反力モーメントという。また、補償全床反力モーメントのX軸周り方向の成分をM_{dmd_x}、Y軸周り方向の成分をM_{dmd_y}と表記する。

[0317] 補償床反力決定部31eには、マスター制御部81から受信された実オペレータ上体横方向位置P_{opb_x_act}の観測値と、上体横方向位置推定部31dが推定した実スレーブ上体横方向位置P_{sb_x_act}の観測値とが逐次入力される。

[0318] そして、補償床反力決定部31eは、実オペレータ上体横方向位置P_{opb_x_act}の観測値と、実スレーブ上体横方向位置P_{sb_x_act}の観測値との対応関係の、式(32a)、(32b)により示される所定の関係からのずれ度合いを表す指標値としてのずれ量（X軸方向でのずれ量Err_xと、Y軸方向でのずれ量Err_yとの組）を、例えば次式(33a)、(33b)により算出する。

$$Err_x = P_{sb_x_act} - (P_{opb_x_act} - C_{pmb}) / K_{pmb}$$

..... (33a)

$$Err_y = P_{sb_y_act} - (P_{opb_y_act} - C_{pmb}) / K_{pmb}$$

..... (33b)

[0319] 式(33a)の右辺の第2項は、X軸方向での実オペレータ上体横方向位置P_{opb_x_act}の観測値に対して、式(1a)の関係を満たすために必要なスレーブ上体横方向位置のX軸方向位置（目標位置）を意味する。また、式(33b)の右辺の第2項は、Y軸方向での実オペレータ上体横方向位置P_{opb_y_act}の観測値に対して、式(21b)の関係を満たすために必要なスレーブ上体横方向位置のY軸方向位置（目標位置）を意味する。

[0320] 従って、式(33a)、(33b)により算出されるずれ量Err_x、Err_yは、換言すれば、実スレーブ上体横方向位置P_{sb_x_act}、P_{sb_y_act}の観測値と、実オペレータ上体横方向位置P_{opb_x_act}、P_{opb_y_act}の観測値

に対して、前記式（３２ａ）、（３２ｂ）により示される所要の関係（目標対応関係）を満たし得る、スレーブ上体横方向位置の目標値との偏差である。

[0321] そして、補償床反力決定部３１ｅは、上記ずれ量 Err_x 、 Err_y をフィードバック制御則によりゼロに収束させるように、補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} を決定する。例えば補償床反力決定部３１ｅは、ＰＤ則を用いて、次式（３４ａ）、（３４ｂ）により、補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} を決定する。

$$M_{dmd_x} = K_{pdmd} * Err_y + K_{vdmd} * d Err_y / dt$$

……（３４ａ）

$$M_{dmd_y} = -K_{pdmd} * Err_x - K_{vdmd} * d Err_x / dt$$

……（３４ｂ）

[0322] ここで、 K_{pdmd} 、 K_{vdmd} は、あらかじめ定められた所定値のゲインであり、 $d Err_x / dt$ 、 $d Err_y / dt$ はそれぞれ、 Err_x 、 Err_y の微分値（時間的変化率）である。なお、ＰＤ則以外のフィードバック制御則（例えばＰ則、ＰＩＤ則）により補償全床反力モーメントを決定してもよい。

[0323] また、ずれ量 Err_x 、 Err_y は、前記式（３３ａ）、（３３ｂ）の代わりに、例えば次式（３５ａ）、（３５ｂ）により決定してもよい。

$$Err_x = (K_{pmb} * P_{sb_x_act} + C_{pmb}) - P_{opb_x_act}$$

……（３５ａ）

$$Err_y = (K_{pmb} * P_{sb_y_act} + C_{pmb}) - P_{opb_y_act}$$

……（３５ｂ）

[0324] この場合、式（３５ａ）の右辺の第２項は、Ｘ軸方向での実スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_x_act}$ の観測値に対して、式（３２ａ）の関係を満たすために必要なオペレータ上体横方向位置のＸ軸方向位置（目標位置）を意味する。また、式（３５ｂ）の右辺の第２項は、Ｙ軸方向での実スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_y_act}$ の観測値に対して、式（３２ｂ）の関係を満たすために必要なオペレータ上体横方向位置のＹ軸方向位置（目標位置）を意味する。

[0325] 従って、式(35a)、(35b)により算出されるずれ量 Err_x 、 Err_y は、換言すれば、実スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_x_act}$ 、 $P_{sb_y_act}$ の観測値に対して、前記式(32a)、(32b)により示される所要の関係(目標対応関係)を満たし得るオペレータ上体横方向位置の目標値と、実オペレータ上体横方向位置 $P_{opb_x_act}$ 、 $P_{opb_y_act}$ の観測値との偏差である。

[0326] 本実施形態では、上記の如く補償床反力決定部31eが決定した補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} が複合コンプライアンス動作決定部31bに入力される。そして、複合コンプライアンス動作決定部31bでは、目標スレーブ全床反力中心点周りで発生する実際の床反力のモーメント(X軸周り方向及びY軸周り方向のモーメント)を補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} に近づけるように、各足部6の目標スレーブ足部位置姿勢(スレーブ動作目標決定部31aにより決定された目標スレーブ足部位置姿勢)が修正される。

[0327] 本実施形態は、以上説明した事項以外は前記第1実施形態と同じである。ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、補償床反力決定部31eが本発明における第6処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部31bが本発明における第103処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第1実施形態と本願発明の対応関係と同様である。

[0328] 以上説明した本実施形態によれば、スレーブ装置1の姿勢の崩れが発生した場合に、第1実施形態と同様に、オペレータPの上体に、スレーブ装置1の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力を上体支持部65から作用させることができる。これにより、オペレータPは、スレーブ装置1が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置1のどの向きに生じたのかを、体感的に適切かつ迅速に認識することができる。

[0329] また、前記ずれ量 Err_x 、 Err_y をゼロに近づけるように決定した補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} を、目標スレーブ全床反力中心点の周

りに発生させるように、スレーブ装置 1 の各脚 3 の運動を行わせることができる。このため、スレーブ装置 1 は、各足部 6 の位置姿勢の調整によって、ある程度、自力で前記ずれ量 Err_x , Err_y を低減し得るように動作することができる。そして、スレーブ装置 1 が、自力で前記ずれ量 Err_x , Err_y を低減し得るように動作することができる状況（換言すれば、スレーブ装置 1 がその姿勢の崩れを自力で回復させ得る状況）では、オペレータ P の上体に、上体支持部 65 から横方向の並進力が作用するのを抑制することができる。

[0330] [第 3 実施形態]

次に、本発明の第 3 実施形態を図 11 ~ 図 13 を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター制御部 81 及びスレーブ制御部 31 の一部の制御処理だけが第 1 実施形態と相違する。このため、本実施形態の説明では、第 1 実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0331] まず、図 11 を参照して、本実施形態では、マスター制御部 81 は、実スレーブ上体横方向位置の代わりに、スレーブ制御部 31 で決定されるスレーブ装置 1 の上体 2 の目標上体運動のうちの目標スレーブ上体横方向位置を通信装置 83 を介して受信する。なお、目標スレーブ上体位置姿勢は、第 1 実施形態と異なる処理（詳細は後述する）により決定される。

[0332] そして、マスター制御部 81 の目標上体支持部運動決定部 81b3 は、本実施形態では、目標上体支持部運動のうちの目標上体支持部横方向位置を、スレーブ制御部 31 から受信した目標スレーブ上体横方向位置に応じて決定する。具体的には、目標上体支持部運動決定部 81b3 は、目標上体支持部横方向位置が、目標スレーブ上体横方向位置に対して前記式 (1a), (1b) と同じ関係を満たすように目標上体支持部横方向位置を決定する。すなわち、目標上体支持部運動決定部 81b3 は、次式 (1a-2), (1b-2) により目標上体支持部横方向位置 ($P_{mb_x_aim}$, $P_{mb_y_aim}$) を決定する。

$$P_{mb_x_aim} = K_{pmb} * P_{sb_x_aim} + C_{pmb_x}$$

..... (1 a - 2)

$$P_mb_y_aim = K_pmb * P_sb_y_aim + C_pmb_y$$

..... (1 b - 2)

[0333] 本実施形態では、マスター制御部 81 の制御処理は、以上説明した事項以外は第 1 実施形態と同じである。

[0334] 次に、図 12 を参照して、本実施形態では、スレーブ制御部 31 は、第 1 実施形態のスレーブ動作目標決定部 31 a と異なる処理（スレーブ装置 1 の動力学モデルを使用する処理）によりスレーブ装置 1 の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部 31 a 3 と、スレーブ動作目標決定部 31 a 3 で用いる動力学モデル上でスレーブ装置 1 に仮想的に作用させる仮想外力を決定する仮想外力決定部 31 f と、仮想外力決定部 31 f に対する入力を算出する演算部 31 g と、第 1 実施形態で説明した複合コンプライアンス動作決定部 31 b 及び関節変位決定部 31 c とを備える。

[0335] そして、本実施形態では、スレーブ制御部 31 は、実スレーブ上体横方向位置の推定値の代わりに、スレーブ動作目標決定部 31 a 3 で決定される目標スレーブ上体運動のうちの目標スレーブ上体横方向位置を、通信装置 33 を介してマスター制御部 81 に送信する。このため、本実施形態のスレーブ制御部 31 では、第 1 実施形態で説明した上体横方向位置推定部 31 d が省略されている。

[0336] 前記演算部 31 g、仮想外力決定部 31 f 及びスレーブ動作目標決定部 31 a 3 の処理を以下に具体的に説明する。これらの処理は、所定の制御処理周期で次のように実行される。演算部 31 g には、上体姿勢検出器 23 で推定された実スレーブ上体傾きと、スレーブ動作目標決定部 31 a 3 で決定された目標スレーブ上体運動のうちの目標スレーブ上体傾きとが入力される。そして、演算部 31 g は、実スレーブ上体傾きと目標スレーブ上体傾きとの偏差（＝実スレーブ上体傾き－目標スレーブ上体傾き）である上体傾き偏差を算出する。該上体傾き偏差は、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の X 軸周

り方向の傾き偏差と、Y軸周り方向の傾き偏差とから構成される。

[0337] 仮想外力決定部31fには、演算部31gで算出された上体傾き偏差が入力される。そして、仮想外力決定部31fは、入力された上体傾き偏差から、公知のフィードバック制御則（例えばP則、PD則、PID則等）により、該上体傾き偏差をゼロに収束させるように仮想外力を決定する。

[0338] ここで、本実施形態では、上記仮想外力は、例えば目標スレーブ全床反力中心周りで横方向の軸周り方向（X軸周り方向及びY軸周り方向）に発生するモーメントであり、以降、仮想外力モーメントという。そして、仮想外力モーメントのX軸周り方向の成分及びY軸周り方向の成分のそれぞれが、上体傾き偏差のX軸周り方向の成分及びY軸周り方向の成分のそれぞれからフィードバック制御則により決定される。

[0339] スレーブ動作目標決定部31a3には、第1実施形態と同様に、スレーブ制御部31がマスター制御部81から受信した指令情報（実オペレータ上体姿勢（向き、傾き）、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢、及び実オペレータ足部床反力のそれぞれの観測値）が入力される。また、本実施形態では、スレーブ動作目標決定部31a3には、実スレーブ上体横方向位置の代わりに、仮想外力決定部31fで決定された仮想外力モーメントが入力される。

[0340] そして、スレーブ動作目標決定部31a3は、図13のフローチャートに示す処理を所定の制御処理周期で実行する。この場合、スレーブ動作目標決定部31a3は、STEP11～17で第1実施形態のスレーブ動作目標決定部31aと同じ処理を実行する。これにより、目標スレーブ上体横方向位置以外の目標スレーブ上体運動と、目標スレーブ脚運動と、目標スレーブ床反力とが決定される。

[0341] 次いで、STEP18aにおいて、スレーブ動作目標決定部31a3は、スレーブ装置1の動力学モデル上で、目標スレーブ全床反力中心点（目標ZMP）の周りに、仮想外力決定部31fで決定された仮想外力モーメントを発生させるように、目標スレーブ上体横方向位置を決定する。

[0342] スレーブ装置 1 の動力学モデルとしては、例えば特許第 4 2 4 6 6 3 8 号の段落 0 1 2 8 ~ 0 1 3 4 及び図 1 0 に説明されている動力学モデル、あるいは、例えば特許第 4 1 2 6 0 6 1 号公報の段落 0 1 6 3 ~ 0 1 6 8 及び図 1 2 に説明されている動力学モデル、あるいは、これらに類似する動力学モデル等を使用し得る。図 1 4 は、本実施形態で使用する一例の動力学モデルを模式的に示している。なお、該動力学モデルは、特許第 4 2 4 6 6 3 8 号で説明されているものと同じである。

[0343] この動力学モデルは、スレーブ装置 1 の上体 2 の並進運動に応じて並進移動する質点である上体質点 Q 1 と、各脚 3 の足部 6 の並進運動に応じて並進移動する質点である脚質点 Q 2 と、スレーブ装置 1 のロール方向（前後方向の軸周り方向）での上体 2 の傾きの運動に応じてロール方向に回転するフライホイール F H 1 と、スレーブ装置 1 のピッチ方向（左右方向の軸周り方向）での上体 2 の傾きの運動に応じてピッチ方向に回転するフライホイール F H 2 とを有する。

[0344] 上体質点 Q 1 および各脚質点 Q 2 には、質量があらかじめ定義され、フライホイール F H 1 , F H 2 には、イナーシャが定義されている。この場合、上体質点 Q 1 の質量と、2つの脚質点 Q 2 , Q 2 のそれぞれの質量とは、その総和の質量がスレーブ装置 1 の全体の質量に一致するように設定される。また、上体質点 Q 1 の位置は、上体 2 の位置（又は位置及び姿勢）に応じて規定され、各脚質点 Q 2 の位置は、各脚 3 の足部 6 の位置（又は位置及び姿勢）に応じて規定される。なお、フライホイール F H 1 , F H 2 は、質量を持たない。

[0345] この動力学モデルでのスレーブ装置 1 の動力学は、上体質点 Q 1 及び各脚質点 Q 2 のそれぞれの並進加速度に応じて発生する慣性力（並進慣性力）と、上体質点 Q 1 及び各脚質点 Q 2 のそれぞれに作用する重力との全体の合力（並進力）が、スレーブ装置 1 に作用する全床反力のうちの並進力に釣り合うという関係を表す方程式、並びに、上記合力と、フライホイール F H 1 , F H 2 のそれぞれの回転角加速度に応じて発生する慣性力モーメントとによ

って、任意の作用点（例えば目標スレーブ全床反力中心点等）の周りに発生する全体のモーメントが、スレーブ装置 1 に作用する全床反力によって、該作用点の周りに発生するモーメントに釣り合うという関係を表す方程式とにより表現される。

[0346] この場合、STEP 18 a の処理は、例えば次のように実行され得る。なお、ここでの説明では、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} は、説明の便宜上、例えばその X 軸方向がスレーブ装置 1 の前後方向と同方向もしくはほぼ同方向になるように（スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} の X 軸周り方向及び Y 軸周り方向が、それぞれ図 14 に示す如く、スレーブ装置 1 のロール方向、ピッチ方向になるように）、適宜、該 X 軸方向の向きが更新されているものとする。ただし、スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} と、スレーブ装置 1 の前後方向に座標軸方向を合わせた座標系との間の座標変換を適宜行うことも可能である。

[0347] 目標スレーブ上体傾きの時系列に基づいて、動力学モデルのフライホイール $FH1$ 、 $FH2$ のそれぞれの回転角加速度が算出され、該回転角加速度に応じてフライホイール $FH1$ 、 $FH2$ が発生する慣性力モーメント（X 軸周り方向及び Y 軸周り方向の慣性力モーメント）である上体傾き対応モーメントが算出される。

[0348] また、スレーブ装置 1 の各足部 6 の目標スレーブ足部位置姿勢の時系列に基づいて、動力学モデルの各脚質点 $Q2$ の並進加速度が算出され、該並進加速度に応じて各脚質点 $Q2$ が発生する慣性力と、各脚質点 $Q2$ に作用する重力との合力によって目標スレーブ全床反力中止点周りに発生するモーメントである脚運動対応モーメントが算出される。

[0349] また、目標スレーブ上体高さの時系列に基づいて、動力学モデルの上体質点 $Q1$ の上下方向（Z 軸方向）の並進加速度が算出される。なお、上体質点 $Q1$ の上下方向の並進加速度は、例えば、該並進加速度に応じて上体質点 $Q1$ が発生する上下方向の慣性力と、目標スレーブ足部位置姿勢の時系列から算出される各脚質点 $Q2$ の上下方向の並進加速度に応じて各脚質点 $Q2$ が発

生する上下方向の慣性力と、スレーブ装置 1 の全体重心に作用する重力との合力が、目標スレーブ全床反力の上下方向の並進力に釣り合うように算出してもよい。

[0350] そして、上体質点 Q 1 の横方向の並進加速度を未知数として、該上体質点の横方向の並進加速度と、該上体質点 Q 1 の上下方向の並進加速度とに応じて発生する慣性力と、該上体質点 Q 1 に作用する重力との合力とによって目標スレーブ全床反力中心点周りに発生するモーメントである上体運動対応モーメントと、上記上体傾き対応モーメントと、上記脚運動対応モーメントとの合力モーメントのうちの X 軸周り方向及び Y 軸周り方向の成分が、仮想外力決定部 31f で決定された仮想外力モーメントに一致するという条件を満たし得るように、上体質点 Q 1 の横方向の並進加速度が算出される。

[0351] そして、上体質点 Q 1 の横方向の並進加速度を積分（2 階積分）することにより、上体質点の横方向位置が決定され、さらに該上体質点 Q 1 の横方向位置から目標スレーブ上体横方向位置が決定される。

[0352] STEP 18a では、以上説明した処理により、動力学モデル上で、目標スレーブ全床反力中心点（目標 ZMP）の周りで、仮想外力決定部 31f で決定された仮想外力モーメントが発生するように（詳しくは、スレーブ装置 1 の運動によって発生する慣性力とスレーブ装置 1 に作用する重力との合力によって、目標スレーブ全床反力中心点（目標 ZMP）の周りに発生するモーメントが仮想外力モーメントに一致するように）、目標スレーブ上体横方向位置が決定される。

[0353] 本実施形態は、以上説明した事項以外は、前記第 1 実施形態と同じである。ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、スレーブ制御部 31 の仮想外力決定部 31f が本発明における第 4 処理部に相当し、該仮想外力決定部 31f に入力される上体傾き偏差が本発明における第 1 偏差に相当し、該仮想外力決定部 31f で決定される仮想外力モーメントが本発明における第 1 仮想外力に相当する。

[0354] また、スレーブ動作目標決定部 31a3 の処理のうち、目標スレーブ床反

力を決定する処理が、本発明における第3処理部の処理に相当する。また、スレーブ動作目標決定部31a3の処理のうち、目標スレーブ上体横方向位置を決定する処理が、本発明における第203処理部の処理に相当し、この処理で使用する動力学モデル（図14に示した動力学モデル）が本発明における第1の動力学モデルに相当する。上記以外の対応関係は、前記第1実施形態と本願発明との対応関係と同様である。

[0355] 以上説明した本実施形態によれば、スレーブ装置1の姿勢の崩れが発生した場合に、第1実施形態と同様に、オペレータPの上体に、スレーブ装置1の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力を上体支持部65から作用させることができる。これにより、オペレータPは、スレーブ装置1が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置1のどの向きに生じたのかを、体感的に適切かつ迅速に認識することができる。

[0356] また、本実施形態では、動力学モデルを用いて目標スレーブ上体運動を決定できるので、マスター制御部81とスレーブ制御部31との間の通信切断や通信不良等によって、スレーブ制御部31がマスター制御部81から指令情報を取得することができなくなっても、例えば、スレーブ装置1の移動を停止させるためのスレーブ装置1の目標運動を適切に（動力的に成立し得るように）決定することが可能である。

[0357] [第4実施形態]

次に、本発明の第4実施形態を図15を参照して説明する。なお、本実施形態は、前記第3実施形態と、スレーブ制御部31の一部の制御処理だけが相違する。このため、本実施形態の説明では、第3実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0358] 図15を参照して、本実施形態のスレーブ制御部31は、第3実施形態で説明した機能に加えて、補償床反力決定部31hを備える。この補償床反力決定部31hは、本実施形態では、上体姿勢検出器23により推定される実スレーブ上体傾きが、スレーブ動作目標決定部31a3で決定された目標ス

スレーブ上体傾きからずれた場合に、そのずれを低減し得るように、スレーブ装置 1 に付加的に作用させるべき床反力を決定する処理部である。

[0359] 本実施形態では、スレーブ装置 1 に付加的に作用させるべき床反力は、第 2 実施形態で説明した前記補償全床反力モーメントと同様に、目標全床反力中心点（目標 Z M P）周りで横方向の軸周り方向（X 軸周り方向及び Y 軸周り方向）に発生させるモーメントである。そこで、本実施形態においても、補償床反力決定部 3 1 h が決定する床反力を補償全床反力モーメントと称する。

[0360] 本実施形態の補償床反力決定部 3 1 h には、前記演算部 3 1 g で算出される上体傾き偏差が、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 3 で決定された目標スレーブ上体傾きに対する実スレーブ上体傾きのずれ量として入力される。そして、補償床反力決定部 3 1 h は、入力された上体傾き偏差に応じて、フィードバック制御則により上体傾き偏差をゼロに収束させるように、補償全床反力モーメントを決定する。

[0361] 例えば、前記第 2 実施形態の補償床反力決定部 3 1 e と同様に、P D 則を用いて補償全床反力モーメントが決定される。この場合、前記式（3 4 a）、（3 4 b）の Err_x 、 Err_y のそれぞれを、Y 軸周り方向の上体傾き偏差 θ_{err_y} と X 軸周り方向の上体傾き偏差の（-1）倍の値（ $= -\theta_{err_x}$ ）とのそれぞれに置き換えた式によって、補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} を決定できる。なお、P D 則以外のフィードバック制御則（例えば P 則、P I D 則）により補償全床反力モーメントを決定してもよい。

[0362] 上記の如く補償床反力決定部 3 1 h が決定した補償全床反力モーメントが複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b に入力される。そして、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b では、目標スレーブ全床反力中心点周りで発生する実際の床反力のモーメント（X 軸周り方向及び Y 軸周り方向のモーメント）を補償全床反力モーメントに近づけるように、各足部 6 の目標スレーブ足部位置姿勢（スレーブ動作目標決定部 3 1 a により決定された目標スレーブ足部位置姿勢）が修正される。

[0363] 本実施形態は、以上説明した事項以外は前記第3実施形態と同じである。

ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、補償床反力決定部31hが本発明における第7処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部31bが本発明における第103処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第3実施形態と本願発明の対応関係と同様である。

[0364] 以上説明した本実施形態によれば、スレーブ装置1の姿勢の崩れが発生した場合に、第1実施形態と同様に、オペレータPの上体に、スレーブ装置1の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力を上体支持部65から作用させることができる。これにより、オペレータPは、スレーブ装置1が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置1のどの向きに生じたのかを、体感的に適切かつ迅速に認識することができる。

[0365] また、前記上体傾き偏差をゼロに近づけるように決定した補償全床反力モーメント M_{dmd_x} 、 M_{dmd_y} を、目標スレーブ全床反力中心点の周りに発生させるように、スレーブ装置1の各脚3の運動を行わせることができる。このため、スレーブ装置1は、各足部6の位置姿勢の調整によって、ある程度、自力で前記上体傾き偏差を低減し得るように動作することができる。そして、スレーブ装置1が、自力で前記上体傾き偏差を低減し得るように動作することができる状況（換言すれば、スレーブ装置1がその姿勢の崩れを自力で回復させ得る状況）では、オペレータPの上体に、上体支持部65から横方向の並進力が作用するのを抑制することができる。

[0366] [第5実施形態]

次に、本発明の第5実施形態を図16～図19を参照して説明する。なお、本実施形態は、前記第1実施形態と、マスター制御部81及びスレーブ制御部31の一部の制御処理だけが相違する。このため、本実施形態の説明では、第1実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0367] 図16を参照して、本実施形態では、マスター制御部81は、前記目標上体支持部運動決定部81bの代わりに、オペレータPが上体支持部65から

受ける反力（詳しくは並進力）の目標値である目標上体支持部反力を決定する機能を有する目標上体支持部反力決定部 81c を備える。また、本実施形態では、マスター制御部 81 のマスター移動制御部 81a5 は、目標上体支持部反力決定部 81c で決定された目標上体支持部反力を用いて各移動接地部 54 に対応する移動駆動機構 55 の電動モータ 55a, 55b と昇降機構 60 のスライド駆動アクチュエータ 66 とを制御するように構成されている。

[0368] これらのマスター移動制御部 81a5 及び目標上体支持部反力決定部 81c を有する本実施形態のマスター制御部 81 は、所定の制御処理周期で図 17 のフローチャートに示す処理を実行する。STEP 1a において、マスター制御部 81 は、目標上体支持部反力決定部 81c により、目標上体支持部反力（横方向及び上下方向の並進力）を決定する。

[0369] この場合、目標上体支持部反力決定部 81c には、スレーブ制御部 31 からマスター制御部 81 に送信される実スレーブ上体横方向位置と、前回の制御処理周期でマスター移動制御部 81a5 の後述する STEP 5a の処理により推定された実オペレータ上体横方向位置とが入力される。

[0370] そして、目標上体支持部反力決定部 81c は、実スレーブ上体横方向位置と実オペレータ上体横方向位置との関係を、前記第 2 実施形態で説明した前記式 (32a), (32b) により示される所定の関係を満たす状態に収束させ得るように目標上体支持部反力のうちの横方向（X 軸方向及び Y 軸方向）の並進力である目標上体支持部横方向並進力を決定する。

[0371] 具体的には、目標上体支持部反力決定部 81c は、実オペレータ上体横方向位置 $P_{opb_x_act}$, $P_{opb_y_act}$ の観測値と、実スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_x_act}$, $P_{sb_y_act}$ の観測値との対応関係の、式 (32a), (32b) により示される所定の関係からのずれ量（X 軸方向でのずれ量 Err_x と、Y 軸方向でのずれ量 Err_y との組）を、例えば前記第 2 実施形態で説明した式 (35a), (35b) により算出する。

[0372] なお、ずれ量 Err_x , Err_y を前記式 (33a), (33b) により算出

してもよい。また、実オペレータ上体横方向位置 $P_opb_x_act$, $P_opb_y_act$ の観測値の代わりに、実上体支持部横方向位置 $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$ の観測値を用いて、式 (35 a), (35 b) あるいは、式 (33 a), (33 b) の $P_opb_x_act$, $P_opb_y_act$ をそれぞれ $P_mb_x_act$, $P_mb_y_act$ に置き換えた式によって、ずれ量 Err_x , Err_y を算出してもよい。

[0373] そして、目標上体支持部反力決定部 81 c は、上記ずれ量 Err_x , Err_y をフィードバック制御則によりゼロに収束させるように、目標上体支持部横方向並進力 (X 軸方向の並進力 $F_mb_x_aim$ 及び Y 軸方向の並進力 $F_mb_y_aim$) を決定する。例えば目標上体支持部反力決定部 81 c は、PD 則を用いて、次式 (40 a), (40 b) により、目標上体支持部横方向並進力 $F_mb_x_aim$, $F_mb_y_aim$ を決定する。

$$F_mb_x_aim = Kpfvir * Err_x + Kvfvir * dErr_x / dt$$

..... (40 a)

$$F_mb_y_aim = Kpfvir * Err_y + Kvfvir * dErr_y / dt$$

..... (40 b)

[0374] ここで、 $Kpfvir$, $Kvfvir$ は、あらかじめ定められた所定値のゲインであり、 $dErr_x / dt$, $dErr_y / dt$ はそれぞれ、 Err_x , Err_y の微分値 (時間的変化率) である。なお、PD 則以外のフィードバック制御則 (例えば P 則、PID 則) により目標上体支持部横方向並進力を決定してもよい。

[0375] また、目標上体支持部反力決定部 81 c は、目標上体支持部反力のうちの上下方向の並進力である目標上体支持部上下方向並進力 $F_mb_z_aim$ を、次式 (41) に示す如く、所定値 Cz に設定する。 Cz は、前記式 (3) に関して説明した如く、オペレータ P の脚の負荷を軽減するために上体支持部 65 からオペレータ P に作用させる上向きの並進力の目標値である。ただし、 Cz はゼロでもよい。

$$F_mb_z_aim = Cz \quad \text{..... (41)}$$

[0376] STEP 1 a では、目標上体支持部反力決定部 81 c は、さらに、目標上体支持部向きを決定する処理も実行する。この場合、目標上体支持部向きを

決定する処理は、第1実施形態のSTEP1での処理と同じである。すなわち、上体力検出器64により検出される実上体支持部ヨー方向モーメントがゼロに収束するように目標上体支持部向きが決定される。あるいは、実オペレータ上体向きをモーションキャプチャ等の適宜の手法により推定し、その推定値を目標上体支持部向きとして決定してもよい。

[0377] STEP1aでは、以上の如く、目標上体支持部反力($F_{mb_x_aim}$, $F_{mb_y_aim}$, $F_{mb_z_aim}$)と目標上体支持部向きとが決定される。

[0378] 次に、マスター制御部81は、マスター移動制御部81a5によりSTEP2~5aの処理を実行する。STEP2では、マスター移動制御部81a5は、モータ回転検出器56により検出される実モータ回転角と、スライド変位検出器67により検出される実スライド変位とを用いて、実上体支持部運動（実上体支持部位置及び実上体支持部向き）を推定する。この処理は、第1実施形態と同じである。

[0379] 次いで、STEP3aにおいて、マスター移動制御部81a5は、目標上体支持部反力の横方向並進力（目標上体支持部横方向並進力）と、目標上体支持部向きとを実現するように、各移動接地部54の目標並進速度を決定し、その目標並進速度を実現するように、各移動接地部54に対応する電動モータ55a, 55bを制御する。

[0380] 具体的には、マスター移動制御部81a5は、STEP1aで決定された目標上体支持部横方向並進力（X軸方向の並進力 $F_{mb_x_aim}$ 及びY軸方向の並進力 $F_{mb_y_aim}$ ）と、上体力検出器64で検出された実上体支持部反力のうちの横方向並進力である実上体支持部横方向並進力（X軸方向の並進力 $F_{mb_x_act}$ 及びY軸方向の並進力 $F_{mb_y_act}$ ）とを取得する。なお、実上体支持部横方向並進力 $F_{mb_x_act}$, $F_{mb_y_act}$ は、上体力検出器64に対して設定されたローカル座標系で見た並進力の検出値をマスター側グローバル座標系で見た値に座標変換することで得られる。

[0381] そして、マスター移動制御部81a5は、目標上体支持部横方向並進力 $F_{mb_x_aim}$, $F_{mb_y_aim}$ と、実上体支持部横方向並進力 $F_{mb_x_act}$, $F_{mb_y_act}$

v_{act} との偏差に応じて、フィードバック制御則により該偏差をゼロに収束させるように、上体支持部65の横方向の目標並進速度である目標上体支持部横方向速度（X軸方向の速度 $V_{mb_x_aim}$ 及びY軸方向の速度 $V_{mb_y_aim}$ ）を決定する。例えば、マスター移動制御部81a5は、P則を用いて、次式（42a）、（42b）により、目標上体支持部横方向速度 $V_{mb_x_aim}$ 、 $V_{mb_y_aim}$ を決定する。

$$V_{mb_x_aim} = K_{pdr} * (F_{mb_x_aim} - F_{mb_x_act})$$

..... (42a)

$$V_{mb_y_aim} = K_{pdr} * (F_{mb_y_aim} - F_{mb_y_act})$$

..... (42b)

[0382] ここで、 K_{pdr} は所定値のゲインである。なお、P則以外のフィードバック制御則（例えばPD則、PID則等）により目標上体支持部横方向速度を決定してもよい。

[0383] そして、マスター移動制御部81a5は、上記の如く決定した目標上体支持部横方向速度 $V_{mb_x_aim}$ 、 $V_{mb_y_aim}$ を、STEP2で推定された実上体支持部向き $\theta_{mb_z_act}$ の（-1）倍の角度（ $= -\theta_{mb_z_act}$ ）だけ、ヨー方向（Z軸周り方向）に回転変換することにより、マスター座標系 C_m の X_m 軸方向及び Y_m 軸方向のそれぞれの軸方向における目標上体支持部横方向速度 $V_{mb_local_x_aim}$ 、 $V_{mb_local_y_aim}$ を求める。

[0384] また、マスター移動制御部81a5は、第1実施形態のSTEP3での処理と同様に、STEP1aで決定された目標上体支持部向き $\theta_{mb_z_aim}$ と、STEP2で求めた実上体支持部向き $\theta_{mb_z_act}$ の推定値との偏差に応じて、フィードバック制御則（例えば、P則、PD則、PID則等）により該偏差をゼロに収束させるように、上体支持部65のヨー方向の目標角速度である目標上体支持部ローカルヨー方向角速度 $\omega_{mb_local_z_aim}$ を決定する。

[0385] なお例えば、上体力検出器64により検出される実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_act}$ をフィードバック制御則（例えばP則、PD則、PID則等）によりゼロに収束させるように、実上体支持部ヨー方向モーメント $M_{mb_z_aim}$ を決定する。

mb_z_act の観測値に応じて目標上体支持部ローカルヨー方向角速度 $\omega_mb_local_z_aim$ を決定してもよい。この場合には、STEP 1 aで目標上体支持部向きを決定する処理を省略し得る。

[0386] 以後は、マスター移動制御部81 a 5は、前記第1実施形態のSTEP 3の処理と同様に、前記式(9 a), (9 b), (10 a), (10 b), (11 a), (11 b)の演算処理を経て、各移動接地部54 (n) (n = 1, 2, 3, 4)に対応する電動モータ55 a, 55 bのそれぞれの目標モータ駆動力 $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ を決定する。

さらに、マスター移動制御部81 a 5は、各移動接地部54 (n)に対応する電動モータ

[0387] 55 a, 55 bのそれぞれを、目標モータ駆動力 $Tq_mw_mota_aim(n)$, $Tq_mw_motb_aim(n)$ を出力させるように作動させる。これにより、目標上体支持部横方向並進力 $F_mb_x_aim$, $F_mb_y_aim$ と、目標上体支持部向き $\theta_mb_z_aim$ とが実現されるように、移動機構52の移動制御が行われる。

[0388] 次に、STEP 4 aにおいて、マスター移動制御部81 a 5は、目標上体支持部反力のうちの上下方向並進力（実上体支持部上下方向並進力）を実現するように、スライド駆動アクチュエータ66を制御する。具体的には、マスター移動制御部81 a 5は、上体力検出器64により検出される実上体支持部上下方向並進力と、STEP 1 aで決定された目標上体支持部上下方向並進力(=Cz)との偏差に応じて、フィードバック制御則（例えば、P則、PD則、PID則等）により該偏差をゼロに収束させるように、上体支持部65の上下方向（Z軸方向）の目標並進速度である目標上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_aim$ を決定する。

[0389] そして、マスター移動制御部81 a 5は、上記の如く決定した目標上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_aim$ と、STEP 2で求めた実上体支持部高さ $P_mb_z_act$ の時間変化率を求める微分処理により算出される上体支持部65の実際の上下方向の並進速度である実上体支持部上下方向速度 $V_mb_z_act$ との偏差に応じて、フィードバック制御則（例えば、P則、PD則、PID則等）

により、該偏差をゼロに収束させるように、スライド駆動アクチュエータ 66 の目標駆動力を決定する。

[0390] そして、マスター移動制御部 81a5 は、この目標駆動力を発生させるようにスライド駆動アクチュエータ 66 を制御する。これにより、目標上体支持部上下方向並進力が実現されるように、スライド駆動アクチュエータ 66 が制御される。

[0391] 次いで、STEP 5a において、マスター移動制御部 81a5 は、実オペレータ上体向きと、実オペレータ上体横方向位置とを推定する。この場合、実オペレータ上体向きを推定する処理は、第 1 実施形態の STEP 4 の処理と同じである。すなわち、前記式 (12) の演算により、実オペレータ上体向きが推定される。

[0392] また、実オペレータ上体横方向位置を推定する処理は、前記第 2 実施形態で説明した処理と同じである。すなわち、前記式 (31a), (31b) により、実オペレータ上体横方向位置が推定される。

[0393] マスター制御部 81 は、以上の如く、マスター移動制御部 81a5 の処理 (STEP 2 ~ 5a の処理) を実行した後、次に STEP 6a において、スレーブ制御部 31 にスレーブ装置 1 の動作に関する指令情報を送信する。

[0394] 具体的には、マスター制御部 81 は、第 1 実施形態の STEP 6 の処理と同様に、実オペレータ上体姿勢 (向き及び傾き)、実オペレータ足部位置姿勢、実オペレータ足部床反力、及び実上体支持部高さを指令情報の構成要素としてスレーブ制御部 31 に送信する。加えて、本実施形態では、マスター制御部 81 はさらに、STEP 5a で推定した実オペレータ上体横方向位置の観測値も、指令情報の構成要素としてスレーブ制御部 31 に送信する。

[0395] なお、前記第 1 実施形態の STEP 6 の処理に関して補足した如く、マスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 に出力 (送信) する指令情報 (観測値) は、ローパスフィルタ等のフィルタリング処理を施したフィルタリング値であってもよい。また、実上体支持部高さの代わりに、実オペレータ上体高さの観測値をスレーブ制御部 31 に送信してもよい。

本実施形態では、マスター制御部 8 1 の制御処理は以上の如く実行される。

[0396] 次に、図 1 8 を参照して、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、第 1 実施形態で説明した複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c 及び上体横方向位置推定部 3 1 d を備える一方、第 1 実施形態のスレーブ動作目標決定部 3 1 a と一部の処理が異なるスレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 を備える。

[0397] このスレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 には、スレーブ制御部 3 1 がマスター制御部 8 1 から通信装置 3 3 を介して受信した実オペレータ上体姿勢（向き、傾き）、実オペレータ上体横方向位置、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢、及び実オペレータ足部床反力のそれぞれの観測値（検出値又は推定値）が入力される。

[0398] ここで、本実施形態では、上体横方向位置推定部 3 1 d で推定される実スレーブ上体横方向位置は、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 には入力されない。そして、スレーブ上体横方向位置の代わりの入力値として、実オペレータ上体横方向位置の観測値がスレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 に入力される。

[0399] そして、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 は、所定の制御処理周期で、図 1 9 のフローチャートに示す処理を実行する。この場合、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 は、STEP 1 1 ~ 1 7 で第 1 実施形態と同じ処理を実行する。これにより、目標スレーブ上体横方向位置以外の目標スレーブ上体運動（目標スレーブ上体姿勢及び目標スレーブ上体高さ）と、目標スレーブ脚運動と、目標スレーブ床反力とが第 1 実施形態と同様に決定される。

[0400] 次に、STEP 1 8 b において、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 は、マスター制御部 8 1 から受信した実オペレータ上体横方向位置の観測値に応じて、目標スレーブ上体横方向位置を決定する。

[0401] 具体的には、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 は、実オペレータ上体横方向位置と実スレーブ上体横方向位置とが、前記第 2 実施形態で説明した前記

式(32a), (32b)により示される所定の関係を満たすことを目標として、実オペレータ上体横方向位置の観測値に応じて、目標スレーブ上体横方向位置を決定する。

[0402] すなわち、スレーブ動作目標決定部31a5は、実オペレータ上体横方向位置のX軸方向位置 $P_{opb_x_act}$ 及びY軸方向位置 $P_{opb_y_act}$ から、次式(50a), (50b)により、目標スレーブ上体横方向位置のX軸方向位置 $P_{sb_x_aim}$ 及びY軸方向位置 $P_{sb_y_aim}$ を決定する。

$$P_{sb_x_aim} = (P_{opb_x_act} - C_{pmb}) / K_{pmb} \quad \dots\dots (50a)$$

$$P_{sb_y_aim} = (P_{opb_y_act} - C_{pmb}) / K_{pmb} \quad \dots\dots (50b)$$

[0403] 本実施形態のスレーブ動作目標決定部31a5の処理は、以上の如く実行される。本実施形態は、以上説明した事項以外は、第1実施形態と同じである。ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、スレーブ動作目標決定部31a5の処理のうち、目標スレーブ上体横方向位置を決定する処理が本発明における第204処理部の処理に相当し、マスター制御部81の目標上体支持部反力決定部81cが本発明における第205処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第1実施形態と本願発明との対応関係と同様である。

[0404] 以上説明した本実施形態によれば、スレーブ装置1の姿勢の崩れが発生した場合に、第1実施形態と同様に、オペレータPの上体に、スレーブ装置1の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力を上体支持部65から作用させることができる。これにより、オペレータPは、スレーブ装置1が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置1のどの向きに生じたのかを、体感的に適切かつ迅速に認識することができる。

[0405] [第6実施形態]

次に、本発明の第6実施形態を図20を参照して説明する。なお、本実施

形態は、スレーブ制御部 31 の一部の制御処理だけが第 5 実施形態と相違する。このため、本実施形態の説明では、第 5 実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0406] 図 20 を参照して、本実施形態では、スレーブ制御部 31 は、第 5 実施形態のスレーブ制御部 31 の機能に加えて、前記第 2 実施形態で説明した補償床反力決定部 31 e を備えている。該補償床反力決定部 31 e は、第 2 実施形態で説明した通り、実オペレータ上体横方向位置 $P_{opb_x_act}$ の観測値と、実スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_x_act}$ の観測値との対応関係の、前記式 (32 a), (32 b) により示される所定の関係からのずれ量 Err_x , Err_y に応じて、フィードバック制御則により（例えば前記式 (34 a), (34 b) の演算により）補償全床反力モーメントを決定する。

[0407] そして、この補償全床反力モーメントを用いて、複合コンプライアンス動作決定部 31 b の処理が第 2 実施形態と同様に実行される。本実施形態は、以上説明した事項以外は、第 5 実施形態と同じである。

[0408] ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、補償床反力決定部 31 e が本発明における第 6 処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部 31 b が本発明における第 103 処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第 5 実施形態と本願発明との対応関係と同じである。

[0409] 以上説明した本実施形態によれば、スレーブ装置 1 の姿勢の崩れが発生した場合に、第 1 実施形態と同様に、オペレータ P の上体に、スレーブ装置 1 の姿勢の崩れに応じた横方向の並進力を上体支持部 65 から作用させることができる。これにより、オペレータ P は、スレーブ装置 1 が姿勢を崩したことや、その姿勢の崩れがスレーブ装置 1 のどの向きに生じたのかを、体感的に適切かつ迅速に認識することができる。

[0410] また、前記ずれ量 Err_x , Err_y をゼロに近づけるように決定した補償全床反力モーメント M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を、目標スレーブ全床反力中心点の周りに発生させるように、スレーブ装置 1 の各脚 3 の運動を行わせることがで

きる。このため、前記第2実施形態と同様に、スレーブ装置1が、自力で前記上体傾き偏差を低減し得るように動作することができる状況（換言すれば、スレーブ装置1がその姿勢の崩れを自力で回復させ得る状況）では、オペレータPの上体に、上体支持部65から横方向の並進力が作用するのを抑制することができる。

[0411] [第7実施形態]

次に、本発明の第7実施形態を図21A～図25を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター装置51の一部の機構と、マスター制御部81及びスレーブ制御部31の一部の制御処理とが第1実施形態と相違するものであるので、第1実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0412] 図21A及び図21Bを参照して、本実施形態では、マスター装置51は、前記第1実施形態の上体支持部65と異なる構造の上体支持部65'を備える。この上体支持部65'は、スライド部材62に対してロール方向（マスター座標系CmのXm軸周り方向）に回転し得るように該スライド部材62に取付けられた半円弧形状（又はU字形状）の外側部材65aと、該外側部材65aに対してピッチ方向（マスター座標系CmのYm軸周り方向）に回転し得るように該外側部材65aに取付けられた背もたれ部材65bと、外側部材65aをロール方向に回転駆動する第1アクチュエータ68と、背もたれ部材65bをピッチ方向に回転駆動する第2アクチュエータ69とを備える。

[0413] 外側部材65aは、第1アクチュエータ68及び前記上体力検出器64を介してスライド部材62に取付けられている。この場合、第1アクチュエータ68は、例えば電動モータにより構成され、その駆動軸68aの回転軸心をマスター装置51の前後方向（マスター座標系CmのXm軸方向）に向けた状態で、上体力検出器64を介してスライド部材62に取付けられている。そして、第1アクチュエータ68の駆動軸68aに外側部材65aの中央部が固定されている。これにより、外側部材65aは、第1アクチュエータ6

8の駆動力によりロール方向に回転駆動することが可能となっている。以降、第1アクチュエータ68を第1背もたれ駆動アクチュエータ68という。

[0414] 背もたれ部材65bは、その横断面が半円弧形状（又はU字形状）を有する半筒形状に形成されており、概ね上下方向に延在し、且つ、その内周面がマスター装置51の前方に向くようにして、外側部材65aの内側に配置されている。該背もたれ部材65bの内周面はオペレータPがその上体の背面を沿わせることが可能な面である。

[0415] そして、背もたれ部材65bの下部の左右の両端部のそれぞれが、マスター装置51の左右方向（マスター座標系CmのYm軸方向）の軸心を有する支軸65cを介して外側部材65aの各端部に軸支されている。これにより、背もたれ部材65bは、外側部材65aに対してピッチ方向に回転し得るようになっている。

[0416] また、第2アクチュエータ69は、例えば電動モータにより構成される。そして、第2アクチュエータ69は、外側部材65aの一端部側の支軸65cの軸心上で外側部材65aに取り付けられていると共に、その駆動軸（図示省略）が、背もたれ部材65bを支軸65cの軸心周りに（ピッチ方向に）回転駆動し得るように該背もたれ部材65bに接続されている。以降、第2アクチュエータ69を第2背もたれ駆動アクチュエータ69という。

[0417] かかる構成の上体支持部65'では、背もたれ部材65bが、第1実施形態における上体支持部65に相当するものであり、オペレータPの上体（例えば腰部とその上側の部分）にその背面側から沿わせるようにして、図示しないベルト等を介して装着される。なお、背もたれ部材76bの内周面には、オペレータPの上体との間に介在させる図示しないパッド等の弾性部材が取り付けられている。

[0418] そして、オペレータPの上体に上体支持部65'を装着した状態では、第1背もたれ駆動アクチュエータ68から外側部材65a及び背もたれ部材65bを介してオペレータPの上体にロール方向の回転力（該上体を左右に傾ける方向の回転力）を付与することが可能である。また、第2背もたれ駆動

アクチュエータ 6 9 から背もたれ部材 6 5 b を介してオペレータ P の上体にピッチ方向の回転力（該上体を前後に傾ける方向の回転力）を付与することが可能である。

[0419] なお、第 1 背もたれ駆動アクチュエータ 6 8 から外側部材 6 5 a への動力伝達と、第 2 背もたれ駆動アクチュエータ 6 9 から背もたれ部材 6 5 b への動力伝達とは減速機等の任意の動力伝達機構を介して行うことも可能である。第 1 背もたれ駆動アクチュエータ 6 8 及び第 2 背もたれ駆動アクチュエータ 6 9 としては、電動モータに限らず、油圧アクチュエータを使用することも可能である。

[0420] 次に図 2 2 を参照して、本実施形態のマスター制御部 8 1 は、上体支持部 6 5' の第 1 背もたれ駆動アクチュエータ 6 8 及び第 2 背もたれ駆動アクチュエータ 6 9 の作動制御を行う背もたれ制御部 8 1 d と、オペレータ P の上体の傾き（X 軸周り方向及び Y 軸周り方向の傾き）の目標値である目標オペレータ上体傾きを決定する目標上体傾き決定部 8 1 e とを備える。また、図 2 2 での図示は省略したが、本実施形態のマスター制御部 8 1 は、第 1 実施形態と同じマスター移動制御部 8 1 a 及び目標上体支持部運動決定部 8 1 b を備える。

[0421] そして、本実施形態では、マスター制御部 8 1 は、スレーブ制御部 3 1 から通信装置 8 3 を介して実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得る。また、マスター制御部 8 1 は、実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）の観測値をスレーブ制御部 3 1 に送信することを省略する。なお、図 2 2 では、マスター制御部 8 1 とスレーブ制御部 3 1 との間の送受信データの詳細な図示は省略しているが、実スレーブ上体傾き及び実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）のそれぞれの観測値以外の送受信データは、第 1 実施形態と同じである。

[0422] 本実施形態では、マスター制御部 8 1 は、前記目標上体支持部運動決定部 8 1 b 及びマスター移動制御部 8 1 a の制御処理を第 1 実施形態と同様に実行することと並行して、目標上体傾き決定部 8 1 e 及び背もたれ制御部 8 1

dの制御処理を所定の制御処理周期で実行する。

[0423] この場合、目標上体傾き決定部81eには、マスター制御部81がスレーブ制御部31から受信した実スレーブ上体傾きの観測値が入力される。そして、目標上体傾き決定部81eは、実オペレータ上体傾きが、実スレーブ上体傾きに対して、前記第1実施形態で説明した前記式(26)により示される所定の関係(詳しくは、式(26)のうちの傾きの成分に関する関係)を満たす状態に収束するように、目標オペレータ上体傾きを決定する。すなわち、目標オペレータ上体傾き決定部81eは、入力された実スレーブ上体傾きのX軸周り方向の傾き $\theta_{sb_x_act}$ 及びY軸周り方向の傾き $\theta_{sb_y_act}$ の観測値から、次式(55a)、(55b)により、目標オペレータ上体傾きのX軸周り方向の傾き $\theta_{opb_x_aim}$ 及びY軸周り方向の傾き $\theta_{opb_y_aim}$ を決定する。

$$\theta_{opb_x_aim} = \theta_{sb_x_act} \quad \cdots \cdots (55a)$$

$$\theta_{opb_y_aim} = \theta_{sb_y_act} \quad \cdots \cdots (55b)$$

[0424] なお、 $\uparrow \theta_{sb_act}$ と、 $\uparrow \theta_{opb_act}$ との間の所定の関係は、例えば、前記式(1a)又は式(1b)と同様の形態の一次関数により表される関係であってもよい。その場合には、 $\theta_{opb_x_aim}$ 、 $\theta_{opb_y_aim}$ は、それぞれ、 $\theta_{opb_x_act}$ 、 $\theta_{opb_y_act}$ の一次関数により決定される。

[0425] 背もたれ制御部81dには、目標上体傾き決定部81eで決定された目標オペレータ上体傾きと、第1実施形態で説明したオペレータ運動検出器70で推定された実オペレータ上体傾きとが入力される。そして、背もたれ制御部81dは、マスター側グローバル座標系Cgmで見た目標オペレータ上体傾きと、実オペレータ上体傾きの観測値とを、マスター移動制御部81aで推定された実上体支持部向きに応じて、マスター座標系Cm(前記図3及び図4を参照)で見た値に座標変換する。

[0426] さらに、背もたれ制御部81dは、マスター座標系Cmで見た目標オペレータ上体傾きと、マスター座標系Cmで見た実オペレータ上体傾きとの偏差をフィードバック制御則(例えばP則、PD則、PID則等)によりゼロに

近づけるように、該偏差の算出値に応じて第1背もたれ駆動アクチュエータ68及び第2背もたれ駆動アクチュエータ69のそれぞれの目標駆動力を決定する。

[0427] この場合、より詳しくは、マスター座標系C_mのX_m軸周り方向（ロール方向）での目標オペレータ上体傾きと実オペレータ上体傾きとの偏差に応じて、第1背もたれ駆動アクチュエータ68の目標駆動力が決定され、マスター座標系C_mのY_m軸周り方向（ピッチ方向）での目標オペレータ上体傾きと実オペレータ上体傾きとの偏差に応じて、第2背もたれ駆動アクチュエータ69の目標駆動力が決定される。

[0428] そして、背もたれ制御部81dは、第1背もたれ駆動アクチュエータ68及び第2背もたれ駆動アクチュエータ69のそれぞれを、上記の如く決定した目標駆動力を出力させるように作動させる。これにより、上体支持部65'の背もたれ部材65bのロール方向及びピッチ方向の傾きは、実オペレータ上体傾きが、実スレーブ上体傾きに対応させて決定した目標オペレータ上体傾きに近づくように制御される。

[0429] 次に、図23を参照して。スレーブ制御部31は、第1実施形態と同じ複合コンプライアンス動作決定部31b、関節変位決定部31c及び上体横方向位置推定部31dを備える一方、第1実施形態のスレーブ動作目標決定部31aの代わりに、これと異なる処理によりスレーブ装置1の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部31a7を備える。

[0430] そして、スレーブ制御部31は、上体横方向位置推定部31dにより推定された実スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器23で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部81に逐次送信し得る。

[0431] 本実施形態のスレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31a7には、マスター制御部81から通信装置33を介して受信される実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢及び実オペレータ足部床反力のそれぞれの観測値が入力される共に、上体横方向位置推定

部 3 1 d で推定される実スレーブ上体横方向位置が入力される。

[0432] そして、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 の処理は、所定の制御処理周期で図 2 4 のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 は、STEP 1 1 ~ 1 5 及び STEP 1 7 において、第 1 実施形態と同じ処理を実行することで、目標スレーブ足部位置姿勢と目標スレーブ床反力と目標スレーブ上体高さとを決定する。なお、目標スレーブ上体高さは、例えば、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体支持部高さ）によらずに、あらかじめ定めた所定値に設定してもよい。

[0433] 次に、STEP 1 9 において、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 は、スレーブ装置 1 の動力学モデル上で、目標スレーブ全床反力中心点（目標 ZMP）の周りに発生する横方向モーメントがゼロになり、且つ、目標全床反力のうちの横方向並進力（X 軸方向及び Y 軸方向の並進力）を実現し得るように、目標スレーブ上体横方向位置及び目標上体姿勢（傾き及び向き）を決定する。

[0434] この場合、スレーブ装置 1 の動力学モデルとしては、例えば特許第 4 1 2 6 0 6 1 号公報の段落 0 1 6 3 ~ 0 1 6 8 及び図 1 2 に説明されている動力学モデル、あるいは、これに類似する動力学モデル等を使用し得る。

[0435] 図 2 5 は、本実施形態で使用する一例の動力学モデルを模式的に示している。この動力学モデルは、前記第 3 実施形態で説明した動力学モデル（図 1 4）と同様に、上体質点 Q 1、脚質点 Q 2、フライホイール F H 1, F H 2 を有することに加えて、スレーブ装置 1 のヨー方向（上下方向の軸周り方向）での上体 2 の向きの回転運動に応じてヨー方向に回転するフライホイール F H 3 をさらに有し、該フライホイール F H 3 のイナーシャが定義されている。なお、フライホイール F H 3 は、フライホイール F H 1, F H 2 と同様に、質量を持たない。

[0436] この動力学モデルでのスレーブ装置 1 の動力学は、上体質点 Q 1 及び各脚質点 Q 2 のそれぞれの並進加速度に応じて発生する慣性力（並進慣性力）と、上体質点 Q 1 及び各脚質点 Q 2 のそれぞれに作用する重力との全体の合力

(並進力)が、スレーブ装置1に作用する全床反力のうちの並進力に釣り合うという関係を表す方程式、並びに、上記合力と、フライホイールFH1, FH2, FH3のそれぞれの回転角加速度に応じて発生する慣性力モーメントとによって、任意の作用点(例えば目標全床反力中心点等)の周りに発生する全体のモーメントが、スレーブ装置1に作用する全床反力によって、該作用点の周りに発生するモーメントに釣り合うという関係を表す方程式とにより表現される。

[0437] この場合、STEP19の処理は、例えば次のように実行され得る。なお、ここでの説明では、スレーブ側グローバル座標系Cgsは、説明の便宜上、例えばそのX軸方向がスレーブ装置1の前後方向と同方向もしくはほぼ同方向になるように(スレーブ側グローバル座標系CgsのX軸周り方向及びY軸周り方向が、それぞれ図25に示す如く、スレーブ装置1のロール方向、ピッチ方向になるように)、適宜、該X軸方向の向きが更新されているものとする。ただし、スレーブ側グローバル座標系Cgsと、スレーブ装置1の前後方向に座標軸方向を合わせた座標系との間の座標変換を適宜行うことも可能である。

[0438] STEP19の処理では、例えば、目標全床反力横方向並進力をスレーブ装置1の全体の質量で除算することにより、スレーブ装置1の全体重心の横方向の並進加速度である重心横方向加速度が算出され、さらに、この重心横方向加速度を積分(2階積分)することで、スレーブ装置1の全体重心の横方向位置が算出される。そして、この全体重心の横方向位置と、目標スレーブ足部位置姿勢により規定される動力学モデルの各脚質点Q2の横方向位置とから、動力学モデルの上体質点Q1の横方向位置が算出される。

[0439] さらに、目標スレーブ足部位置姿勢の時系列から算出される各脚質点Q2の並進加速度と目標スレーブ上体位置の時系列から算出される上体質点Q1の並進加速度とによって全質点(上体質点Q1及び2つの脚質点Q2の全体)が発生する慣性力と、全質点に作用する重力との合力によって、目標スレーブ全床反力中心点(目標ZMP)周りに発生するモーメントのうちの横方

向モーメント（X軸周り方向及びY軸周り方向のモーメント）である全質点運動対応横方向モーメントが算出される。

[0440] そして、動力学モデルのフライホイールF H 1, F H 2の回転角加速度を未知数として、該回転角加速度に応じてフライホイールF H 1, F H 2のそれぞれが発生する慣性力モーメント（X軸周り方向及びY軸周り方向の慣性力モーメント）と、上記の如く算出される全質点運動対応横方向モーメントとの合力モーメントが、ゼロになるようにフライホイールF H 1, F H 2のそれぞれの回転角加速度が算出される。さらに該回転角加速度から、スレーブ装置1の上体2の傾きの目標角加速度（X軸周り方向及びY軸周り方向の目標角加速度）が算出される。そして、該目標角加速度を積分（2階積分）することで、目標スレーブ上体傾きが決定される。

[0441] また、上体質点Q 1及び脚質点Q 2のそれぞれの並進加速度によって全質点が発生する慣性力によって、スレーブ側グローバル座標系C_{gs}の原点周りでヨー方向に発生するモーメントである全質点運動対応ヨー方向モーメントが算出される。

[0442] そして、動力学モデルの前記フライホイールF H 3の回転角加速度を未知数として、該回転角加速度に応じてフライホイールF H 3が発生するヨー方向の慣性力モーメントと、上記全質点運動対応ヨー方向モーメントとの合力モーメントが、目標スレーブ全床反力のうちのヨー方向のモーメント（スレーブ側グローバル座標系C_{gs}の原点周りでヨー方向のモーメント）と釣り合うという条件を満たし得るように、フライホイールF H 3の回転角加速度が算出される。さらに該回転角加速度から、スレーブ装置1の上体2のヨー方向の目標角加速度が算出され、該目標角加速度を積分（2階積分）することで、目標スレーブ上体向きが決定される。また、上体質点Q 1の横方向位置とフライホイールF H 1, F H 2, F H 3の回転角に応じて、幾何学的関係により目標スレーブ上体横方向位置が決定される。

[0443] なお、スレーブ装置1の左右の腕10L, 10Rを、例えば人の歩行動作と同様に、左右の足部6L, 6Rの動きに同期して、上体2に対して交互に

前後に振るように各腕 10 の目標運動を決定する場合には、例えば前記特許第 4 1 2 6 0 6 1 号公報に記載されている動力学モデルの如く、左右の腕 10 L, 10 R を交互に前後に振る運動（以降、前後振り運動という）に応じてヨー方向に回転するフライホイールを図 25 に示した動力学モデルにさらに付加してもよい。

[0444] そして、この場合には、目標スレーブ上体向きを決定する処理では、上体 2 のヨー方向の回転に対応するフライホイール F H 3 の回転角加速度に応じてフライホイール F H 3 が発生するヨー方向の慣性力モーメントと、上記全質点運動対応ヨー方向モーメントと、左右の腕 10 L, 10 R の前後振り運動に対応するフライホイールが、左右の腕 10 L, 10 目標の前後振り運動に応じて発生する慣性力モーメントとの合力モーメントが、目標スレーブ全床反力のうちのヨー方向のモーメントと釣り合うという条件を満たし得るように、フライホイール F H 3 の回転角加速度が算出してもよい。

[0445] S T E P 19 では、以上説明した処理より、動力学モデル上で、目標スレーブ全床反力中心点（目標 Z M P）の周りに発生する横方向モーメントがゼロになるという条件（詳しくは、スレーブ装置 1 の運動によって発生する慣性力とスレーブ装置 1 に作用する重力との合力によって、目標スレーブ全床反力中止点周りに発生するモーメントのうちの X 軸周り方向及び Y 軸周り方向の成分がゼロになるという条件）と、目標全床反力のうちの横方向並進力（X 軸方向及び Y 軸方向の並進力）を実現し得るという条件（詳しくは、スレーブ装置 1 の運動によって発生する横方向の慣性力が、目標全床反力のうちの横方向の並進力に釣り合うという条件）とを満たし得るように、目標スレーブ上体横方向位置と目標上体傾きとが決定される。

[0446] 加えて、目標全床反力のうちのヨー方向のモーメントを実現し得るという条件（詳しくは、スレーブ装置 1 の運動によって発生するヨー方向の慣性力モーメントが全床反力のうちのヨー方向のモーメントに釣り合うという条件）を満たし得るように、目標スレーブ上体向きが決定される。なお、目標スレーブ上体向きに関しては、第 3 実施形態と同様に、実オペレータ上体傾き

の観測値の向きに応じて決定してもよい。

[0447] ここで、本実施形態では、STEP 19で決定した目標スレーブ上体横方向位置は仮値であり、次のSTEP 20において、改めて決定される。具体的には、STEP 20において、目標スレーブ上体横方向位置は、上体横方向位置推定部31dに推定された実スレーブ上体横方向位置（最新値）に決定し直される。

[0448] 本実施形態では、スレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31a7の処理は以上の如く実行される。本実施形態は、以上説明した事項以外は、前記第1実施形態と同じである。

[0449] ここで、本実施形態と本願発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、スレーブ動作目標決定部31a7の処理のうち、目標スレーブ上体姿勢を決定する処理が本発明における第208処理部の処理に相当し、この処理で使用する動力学モデル（図25に示した動力学モデル）が本発明における第2の動力学モデルに相当する。

[0450] また、マスター制御部81の目標上体傾き決定部81eが本発明における第2処理部の構成要素としての第210処理部に相当し、目標上体傾き決定部81eが決定する目標上体傾きが本発明における上体支持部回転動作目標に相当する。また、オペレータPの上体の傾きとスレーブ装置1の上体2の傾きとに関する前記式（55a），（55b）により示される関係が、本発明における第3目標対応関係に相当する。さらに、背もたれ制御部81dは、マスター移動制御部81aと併せて本発明におけるマスター側制御部を構成する。また、第1背もたれ駆動アクチュエータ68および第2背もたれ駆動アクチュエータ69が本発明における上体支持部駆動機構の構成要素としての第2アクチュエータに相当する。これら以外の対応関係は、前記第1実施形態と本願発明との対応関係と同様である。

[0451] 以上説明した本実施形態によれば、前記第1実施形態と同様の効果をすることができる。加えて、本実施形態では、前記式（55a），（55b）により示される関係を目標として、オペレータPの上体の傾きが、スレーブ装

置 1 の上体 2 の傾きに依じて制御される。このため、オペレータ P は、スレーブ装置 1 の上体 2 がどのように傾いているのかや、その傾きがどのように変化しているのかを、リアルタイムで体感的に認識することができる。

[0452] このため、オペレータ P は、スレーブ装置 1 の姿勢が崩れそうな状況を早期に認識して、該スレーブ装置 1 の姿勢の崩れを予防し得るように移動することができる。

[0453] [第 8 実施形態]

次に、本発明の第 8 実施形態を図 26 を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター装置 51 の一部の機構と、マスター制御部 81 及びスレーブ制御部 31 の一部の制御処理とが前記第 2 実施形態と相違するものであると共に、第 7 実施形態と一部の機構及び制御処理が同じである。このため、本実施形態では、第 2 実施形態又は第 7 実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0454] 図示は省略するが、本実施形態のマスター装置 51 は、第 7 実施形態のマスター装置 51 と機構的な構成は同一であり、第 2 実施形態のマスター装置 51 の上体支持部 65 の代わりに、第 7 実施形態で説明した上体支持部 65' を備える。また、図示は省略するが、本実施形態のマスター制御部 81 は、第 2 実施形態と同じマスター移動制御部 81a2 及び目標上体支持部運動決定部 81b (図 9 を参照) と、前記第 7 実施形態で説明した背もたれ制御部 81d 及び目標上体傾き決定部 81e (図 22 を参照) とを備える。

[0455] そして、マスター制御部 81 とスレーブ制御部 31 との間の送受信データについては、前記第 7 実施形態と同様に、マスター制御部 81 がスレーブ制御部 31 から実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得ると共に、マスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 への実オペレータ上体姿勢 (向き及び傾き) の観測値の送信が省略される。これ以外の送受信データは、第 2 実施形態と同じである。

[0456] かかる本実施形態のマスター制御部 81 のマスター移動制御部 81a2 及

び目標上体支持部運動決定部 8 1 b の制御処理は、第 2 実施形態と同じであり、背もたれ制御部 8 1 d 及び目標上体傾き決定部 8 1 e の制御処理は、第 7 実施形態と同じである。

[0457] 次に、図 2 6 を参照して、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、第 2 実施形態のスレーブ制御部 3 1 と同じ複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、及び補償床反力決定部 3 1 e を備える一方、第 2 実施形態のスレーブ動作目標決定部 3 1 a の代わりに、前記第 7 実施形態で説明した処理によりスレーブ装置 1 の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 を備える。

[0458] そして、スレーブ制御部 3 1 は、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 により決定された目標スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器 2 3 で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部 8 1 に逐次送信し得る。従って、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、換言すれば、第 7 実施形態のスレーブ制御部 3 1 に、第 2 実施形態の補償床反力決定部 3 1 e を付加したものである。

[0459] かかる本実施形態のスレーブ制御部 3 1 の複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、及び補償床反力決定部 3 1 e の処理は、第 2 実施形態と同じであり、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 7 の処理は、第 7 実施形態と同じである。本実施形態は、以上説明した事項以外は前記第 2 実施形態又は第 7 実施形態と同じである。

[0460] ここで、本実施形態と本発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、補償床反力決定部 3 1 e が本発明における第 6 処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b が本発明における第 1 0 3 処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第 7 実施形態と本願発明の対応関係と同様である。

以上説明した本実施形態によれば、前記第 2 実施形態と同様の効果をすることができることに加えて、前記第 7 実施形態と同様の効果を奏することが

できる。

[0461] [第9実施形態]

次に、本発明の第9実施形態を図27及び図28を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター装置51の一部の機構と、マスター制御部81及びスレーブ制御部31の一部の制御処理とが前記第3実施形態と相違するものであると共に、第7実施形態と一部の機構及び制御処理が同じである。このため、本実施形態では、第3実施形態又は第7実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0462] 図示は省略するが、本実施形態のマスター装置51は、第7実施形態のマスター装置51と機構的な構成は同一であり、第3実施形態のマスター装置51の上体支持部65の代わりに、第7実施形態で説明した上体支持部65'を備える。また、図示は省略するが、本実施形態のマスター制御部81は、第3実施形態と同じマスター移動制御部81a及び目標上体支持部運動決定部81b3（図11を参照）と、前記第7実施形態で説明した背もたれ制御部81d及び目標上体傾き決定部81e（図22を参照）とを備える。

[0463] そして、本実施形態でのマスター制御部81とスレーブ制御部31との間の送受信データについては、前記第7実施形態と同様に、マスター制御部81がスレーブ制御部31から実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得ると共に、マスター制御部81からスレーブ制御部31への実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）の観測値の送信が省略される。これ以外の送受信データは、第3実施形態と同じである。

[0464] かかる本実施形態のマスター制御部81のマスター移動制御部81a及び目標上体支持部運動決定部81b3の制御処理は、第3実施形態と同じであり、背もたれ制御部81d及び目標上体傾き決定部81eの制御処理は、第7実施形態と同じである。

[0465] 次に、図27を参照して、本実施形態のスレーブ制御部31は、第3実施形態と同じ複合コンプライアンス動作決定部31b、関節変位決定部31c

、仮想外力決定部 31 f 及び演算部 31 g を備える一方、第 3 実施形態のスレーブ動作目標決定部 31 a 3 の代わりに、これと異なる処理によりスレーブ装置 1 の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部 31 a 9 を備える。

[0466] そして、スレーブ制御部 31 は、スレーブ動作目標決定部 31 a 9 により決定された目標スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器 23 で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部 81 に逐次送信し得る。

[0467] かかる本実施形態のスレーブ制御部 31 では、複合コンプライアンス動作決定部 31 b、関節変位決定部 31 c、仮想外力決定部 31 f 及び演算部 31 g の処理は、第 3 実施形態と同じである。

[0468] 一方、本実施形態のスレーブ制御部 31 のスレーブ動作目標決定部 31 a 9 には、マスター制御部 81 から通信装置 33 を介して受信される実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢及び実オペレータ足部床反力のそれぞれの観測値が入力される共に、仮想外力決定部 31 f で決定された仮想外力モーメントが入力される。

[0469] そして、スレーブ動作目標決定部 31 a 9 の処理は、所定の制御処理周期で図 28 のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、スレーブ動作目標決定部 31 a 9 は、STEP 11～15 及び STEP 17 において、第 3 実施形態と同じ処理を実行することで、目標スレーブ足部位置姿勢と目標スレーブ床反力と目標スレーブ上体高さを決定する。なお、目標スレーブ上体高さは、例えば、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体支持部高さ）によらずに、あらかじめ定めた所定値に設定してもよい。

[0470] 次に、STEP 19 において、スレーブ動作目標決定部 31 a 9 は、第 7 実施形態と同じ処理を実行することで、目標スレーブ上体横方向位置及び目標上体姿勢（傾き及び向き）を決定する。次に、STEP 19 a において、スレーブ動作目標決定部 31 a 9 は、仮想外力決定部 31 f で決定された仮想外力モーメントに相当する目標スレーブ上体横方向位置の補正量を求め、該補正量を上記目標スレーブ上体横方向位置に加えることで、最終的な目標

スレーブ上体横方向位置を得る。

[0471] より具体的には、目標スレーブ上体横方向位置の補正量の加速度が次式（58a）、（58b）によって求められ、該加速度を積分（2階積分）することで目標スレーブ上体横方向位置の補正量が求められる。そして、該補正量を上記目標スレーブ上体横方向位置に加えることで、最終的な目標スレーブ上体横方向位置が得られる。

X軸方向の目標スレーブ上体横方向位置の補正量の加速度
＝Y軸周り方向の仮想外力モーメント

／（上体質点Q1の高さ＊Q1質量）

……（58a）

Y軸方向の目標スレーブ上体横方向位置の補正量の加速度
＝－（X軸周り方向の仮想外力モーメント）

／（上体質点Q1の高さ＊Q1質量）

……（58b）

[0472] 本実施形態のスレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31a9の処理は以上の如く実行される。本実施形態は、以上説明した事項以外は、前記第3実施形態又は第7実施形態と同じである。

[0473] ここで、本実施形態と本発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、スレーブ制御部31の仮想外力決定部31fが本発明における第4処理部及び第5処理部に相当し、該仮想外力決定部31fに入力される上体傾き偏差が本発明における第1偏差に相当し、該仮想外力決定部31fで決定される仮想外力モーメントが本発明における第1仮想外力及び第2仮想外力に相当する。

[0474] また、スレーブ動作目標決定部31a9の処理のうち、目標スレーブ上体横方向位置を決定する処理が、本発明における第203処理部の処理に相当し、目標スレーブ上体姿勢を決定する処理が、本発明における第209処理部の処理に相当し、これらの処理で使用する動力学モデル（図25に示した動力学モデル）が本発明における第1の動力学モデル及び第3の動力学モデル

ルに相当する。上記以外の対応関係は、前記第 7 実施形態と本発明との対応関係と同様である。

以上説明した本実施形態によれば、前記第 3 実施形態と同様の効果をすることができることに加えて、前記第 7 実施形態と同様の効果を奏することができる。

[0475] [第 10 実施形態]

次に、本発明の第 10 実施形態を図 29 を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター装置 51 の一部の機構と、マスター制御部 81 及びスレーブ制御部 31 の一部の制御処理とが前記第 4 実施形態と相違するものであると共に、第 7 実施形態と一部の機構及び制御処理が同じである。このため、本実施形態では、第 4 実施形態又は第 7 実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0476] 図示は省略するが、本実施形態のマスター装置 51 は、第 7 実施形態のマスター装置 51 と機構的な構成は同一であり、第 4 実施形態のマスター装置 51 の上体支持部 65 の代わりに、第 7 実施形態で説明した上体支持部 65' を備える。また、図示は省略するが、本実施形態のマスター制御部 81 は、第 3 実施形態及び第 4 実施形態と同じマスター移動制御部 81a 及び目標上体支持部運動決定部 81b3（図 11 を参照）と、前記第 7 実施形態で説明した背もたれ制御部 81d 及び目標上体傾き決定部 81e（図 22 を参照）とを備える。

[0477] そして、本実施形態でのマスター制御部 81 とスレーブ制御部 31 との間の送受信データについては、前記第 7 実施形態と同様に、マスター制御部 81 がスレーブ制御部 31 から実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得ると共に、マスター制御部 81 からスレーブ制御部 31 への実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）の観測値の送信が省略される。これ以外の送受信データは、第 4 実施形態と同じである。

[0478] 次に、図 29 を参照して、本実施形態のスレーブ制御部 31 は、第 4 実施

形態と同じ複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、仮想外力決定部 3 1 f、演算部 3 1 g 及び補償床反力決定部 3 1 h を備える一方、第 4 実施形態のスレーブ動作目標決定部 3 1 a 3 の代わりに、前記第 9 実施形態で説明した処理によりスレーブ装置 1 の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部 3 1 a 9 を備える。

[0479] そして、スレーブ制御部 3 1 は、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 9 により決定された目標スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器 2 3 で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部 8 1 に逐次送信し得る。従って、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、換言すれば、第 9 実施形態のスレーブ制御部 3 1 に、第 4 実施形態の補償床反力決定部 3 1 h を付加したものである。

[0480] かかる本実施形態のスレーブ制御部 3 1 の複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、仮想外力決定部 3 1 f、演算部 3 1 g 及び補償床反力決定部 3 1 h の処理は、第 4 実施形態と同じであり、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 9 の処理は、第 9 実施形態と同じである。本実施形態は、以上説明した事項以外は前記第 4 実施形態と同じである。

[0481] ここで、本実施形態と本発明との対応関係について補足しておく本実施形態では、補償床反力決定部 3 1 h が本発明における第 7 処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b が本発明における第 1 0 3 処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第 9 実施形態と本願発明の対応関係と同様である。

以上説明した本実施形態によれば、前記第 4 実施形態と同様の効果をすることができることに加えて、前記第 7 実施形態と同様の効果を奏することができる。

[0482] [第 1 1 実施形態]

次に、本発明の第 1 1 実施形態を図 3 0 及び図 3 1 を参照して説明する。

なお、本実施形態は、マスター装置 5 1 の一部の機構と、マスター制御部 8 1 及びスレーブ制御部 3 1 の一部の制御処理とが前記第 5 実施形態と相違するものであると共に、第 7 実施形態と一部の機構及び制御処理が同じである。このため、本実施形態では、第 5 実施形態又は第 7 実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0483] 図示は省略するが、本実施形態のマスター装置 5 1 は、第 7 実施形態のマスター装置 5 1 と機構的な構成は同一であり、第 5 実施形態のマスター装置 5 1 の上体支持部 6 5 の代わりに、第 7 実施形態で説明した上体支持部 6 5 ' を備える。また、図示は省略するが、本実施形態のマスター制御部 8 1 は、第 5 実施形態と同じマスター移動制御部 8 1 a 5 及び目標上体支持部反力決定部 8 1 c (図 1 6 を参照) と、前記第 7 実施形態で説明した背もたれ制御部 8 1 d 及び目標上体傾き決定部 8 1 e (図 2 2 を参照) とを備える。

[0484] そして、マスター制御部 8 1 とスレーブ制御部 3 1 との間の送受信データについては、前記第 7 実施形態と同様に、マスター制御部 8 1 がスレーブ制御部 3 1 から実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得ると共に、マスター制御部 8 1 からスレーブ制御部 3 1 への実オペレータ上体姿勢(向き及び傾き)の観測値の送信が省略される。これ以外の送受信データは、第 5 実施形態と同じである。

[0485] かかる本実施形態のマスター制御部 8 1 のマスター移動制御部 8 1 a 5 及び目標上体支持部反力決定部 8 1 c の制御処理は、第 5 実施形態と同じであり、背もたれ制御部 8 1 d 及び目標上体傾き決定部 8 1 e の制御処理は、前記第 7 実施形態と同じである。

[0486] 次に、図 3 0 を参照して、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、第 5 実施形態と同じ複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、及び上体横方向位置推定部 3 1 d を備える一方、第 5 実施形態のスレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 の代わりに、これと異なる処理によりスレーブ装置 1 の動作目標(目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力)を決定するスレーブ動作目標決定部 3 1 a 1 1 を備える。

- [0487] そして、スレーブ制御部 31 は、上体横方向位置推定部 31 d で推定された実スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器 23 で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部 81 に逐次送信し得る。
- [0488] かかる本実施形態のスレーブ制御部 31 では、複合コンプライアンス動作決定部 31 b、関節変位決定部 31 c、及び上体横方向位置推定部 31 d の処理は、第 5 実施形態と同じである。
- [0489] 一方、本実施形態のスレーブ制御部 31 のスレーブ動作目標決定部 31 a 11 には、マスター制御部 81 から通信装置 33 を介して受信される実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体高さ）、実オペレータ足部位置姿勢、実オペレータ足部床反力、及び実オペレータ上体横方向位置のそれぞれの観測値が入力される。
- [0490] そして、スレーブ動作目標決定部 31 a 11 の処理は、所定の制御処理周期で図 31 のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、スレーブ動作目標決定部 31 a 11 は、STEP 11～15 及び STEP 17 において、第 5 実施形態と同じ処理を実行することで、目標スレーブ足部位置姿勢と目標スレーブ床反力と目標スレーブ上体高さとを決定する。なお、目標スレーブ上体高さは、例えば、実上体支持部高さ（又は実オペレータ上体支持部高さ）によらずに、あらかじめ定めた所定値に設定してもよい。
- [0491] さらに、STEP 19 において、前記第 7 実施形態のスレーブ動作目標決定部 31 a 7 と同じ処理を動力学モデルを用いて実行することで、目標スレーブ上体横方向位置と、目標スレーブ上体姿勢（傾き及び向き）を決定する。
- [0492] ただし、本実施形態では、STEP 19 で決定した目標スレーブ上体横方向位置は仮値であり、次の STEP 20 a において、改めて決定される。具体的には、STEP 20 a において、スレーブ動作目標決定部 31 a 11 は、目標スレーブ上体横方向位置を、マスター制御部 81 から受信された実オペレータ上体横方向位置の観測値（最新値）に応じて決定し直す。具体的には、スレーブ動作目標決定部 31 a 11 は、前記第 5 実施形態で説明した前

記式(50a), (50b)により、目標スレーブ上体横方向位置 $P_{sb_x_aim}$, $P_{sb_y_aim}$ を改めて決定する。

[0493] 本実施形態のスレーブ制御部31のスレーブ動作目標決定部31a11の処理は以上の如く実行される。本実施形態は、以上説明した事項以外は、前記第5実施形態と同じである。

[0494] ここで、本実施形態と本発明との対応関係について補足しておく。本実施形態では、スレーブ動作目標決定部31a11の処理のうち、目標スレーブ上体横方向位置を決定する処理が本発明における第204処理部の処理に相当し、マスター制御部81の目標上体支持部反力決定部81cが本発明における第205処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第7実施形態と本願発明との対応関係と同様である。

以上説明した本実施形態によれば、前記第5実施形態と同様の効果をすることができることに加えて、前記第7実施形態と同様の効果を奏することができる。

[0495] [第12実施形態]

次に、本発明の第12実施形態を図32を参照して説明する。なお、本実施形態は、マスター装置51の一部の機構と、マスター制御部81及びスレーブ制御部31の一部の制御処理とが前記第6実施形態と相違するものであると共に、第7実施形態と一部の機構及び制御処理が同じである。このため、本実施形態では、第6実施形態又は第7実施形態と同一の事項については説明を省略する。

[0496] 図示は省略するが、本実施形態のマスター装置51は、第7実施形態のマスター装置51と機構的な構成は同一であり、第6実施形態のマスター装置51の上体支持部65の代わりに、第7実施形態で説明した上体支持部65'を備える。また、図示は省略するが、本実施形態のマスター制御部81は、第5実施形態及び第6実施形態と同じマスター移動制御部81a5及び目標上体支持部反力決定部81c(図16を参照)と、前記第7実施形態で説

明した背もたれ制御部 8 1 d 及び目標上体傾き決定部 8 1 e（図 2 2 を参照）とを備える。

[0497] そして、本実施形態でのマスター制御部 8 1 とスレーブ制御部 3 1 との間の送受信データについては、前記第 7 実施形態と同様に、マスター制御部 8 1 がスレーブ制御部 3 1 から実スレーブ上体傾きの観測値を受信し得ると共に、マスター制御部 8 1 からスレーブ制御部 3 1 への実オペレータ上体姿勢（向き及び傾き）の観測値の送信が省略される。これ以外の送受信データは、第 6 実施形態と同じである。

[0498] かかる本実施形態のマスター制御部 8 1 のマスター移動制御部 8 1 a 5 及び目標上体支持部反力決定部 8 1 c の制御処理は、第 6 実施形態と同じであり、背もたれ制御部 8 1 d 及び目標上体傾き決定部 8 1 e の制御処理は、前記第 7 実施形態と同じである。

[0499] 次に図 3 2 を参照して、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、第 6 実施形態と同じ複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、上体横方向位置推定部 3 1 d 及び補償床反力決定部 3 1 e を備える一方、第 6 実施形態のスレーブ動作目標決定部 3 1 a 5 代わりに、第 1 1 実施形態で説明した処理によりスレーブ装置 1 の動作目標（目標スレーブ上体運動、目標スレーブ脚運動、及び目標スレーブ床反力）を決定するスレーブ動作目標決定部 3 1 a 1 1 を備える。

[0500] そして、スレーブ制御部 3 1 は、上体横方向位置推定部 3 1 d で推定された実スレーブ上体横方向位置と、上体姿勢検出器 2 3 で推定された実スレーブ上体傾きとをマスター制御部 8 1 に逐次送信し得る。従って、本実施形態のスレーブ制御部 3 1 は、換言すれば、第 1 1 実施形態のスレーブ制御部 3 1 に、第 6 実施形態の補償床反力決定部 3 1 e を付加したものである。

[0501] かかる本実施形態のスレーブ制御部 3 1 の複合コンプライアンス動作決定部 3 1 b、関節変位決定部 3 1 c、上体横方向位置推定部 3 1 d 及び補償床反力決定部 3 1 e の処理は、第 6 実施形態と同じであり、スレーブ動作目標決定部 3 1 a 9 の処理は、第 1 1 実施形態と同じである。

[0502] 本実施形態は、以上説明した事項以外は前記第４実施形態と同じである。

ここで、本実施形態と本発明の対応関係について補足しておく。本実施形態では、補償床反力決定部３１eが本発明における第６処理部に相当し、複合コンプライアンス動作決定部３１bが本発明における第１０３処理部に相当する。これ以外の対応関係は、前記第１１実施形態と本願発明との対応関係と同じである。

以上説明した本実施形態によれば、前記第６実施形態と同様の効果をすることができることに加えて、前記第７実施形態と同様の効果を奏することができる。

[0503] [第１３実施形態]

次に、本発明の第１３実施形態を説明する。本実施形態では、マスター装置５１の一部の構成を前記第１～第１２実施形態と異ならせる。例えば、本実施形態では、マスター装置５１の昇降機構６０のスライド駆動アクチュエータ６６を省略し、スライド部材６２が支柱６１に対して所定の範囲内で上下方向に移動自在な状態になるように（フリーに移動し得るように）昇降機構６０を構成する。

[0504] そして、目標上体支持部運動決定部８１b，８１b３では、目標上体支持部運動のうちの目標上体支持部高さを決定する処理を省略し、目標上体支持部反力決定部８１cでは、目標上体支持部反力のうちの上下方向の並進力を決定する処理を省略する。また、マスター移動制御部８１a，８１a２，８１a５では、スライド駆動アクチュエータ６６の作動制御に関する処理を省略する。その他は、前記第１～第１２実施形態のいずれかと同じでよい。

[0505] かかる本実施形態によれば、マスター装置５１の上体支持部６５が上下方向にフリーに移動し得るので、アクチュエータを必要とすることなく、操縦者Pの上体の上下動に追従させて上体支持部６５を上下動させることができる。

[0506] [第 1 4 実施形態]

次に、本発明の第 1 4 実施形態を図 3 3 を参照して説明する。本実施形態では、図 3 3 に示すように、マスター装置 5 1 の昇降機構 6 0' は、スライド駆動アクチュエータ 6 6 の代わりにコイルスプリング等のバネ 7 7 を備え、このバネ 7 7 が支柱 6 1 に固定された台座部材 6 1 b と、スライド部材 6 2 との間に圧縮状態で介装されている。これにより、上体支持部 6 5 は、バネ 7 7 の弾性力により上方に付勢されると共に弾性的に上下動し得るようになっている。

[0507] この場合、バネ 7 7 の弾性力は、例えば、上体支持部 6 5 をオペレータ P の上体に装着した状態で、オペレータ P の上体に、上体支持部 6 5 等に作用する重力に起因する下向きの力が上体支持部 6 5 からほとんど作用せず、あるいは、バネ 7 7 の弾性力によって上向きの付勢力が上体支持部 6 5 から作用するように設定される。その他は、前記第 1 3 実施形態と同じでよい。

[0508] かかる本実施形態によれば、上体支持部 6 5 を装着した操縦者 P の上体に、上体支持部 6 5 及びスライド部材 6 2 と、これら間に介在する部材との重さが作用するのを軽減もしくは解消することが可能となる。あるいは、操縦者 P に作用する重力に対する該操縦者 P の脚の負担を軽減する補助力（上向きの並進力）を上体支持部 6 5 から操縦者 P に作用させることが可能となる。

[0509] なお、マスター装置 5 1 に上記の如きバネ 7 7 を備える代わりに、前記第 1 ～第 1 2 実施形態のマスター装置 5 1 に備えたスライド駆動アクチュエータ 6 6 により、スライド部材 6 2 の上下方向の変位（換言すれば、上体支持部 6 5 の上下方向の変位）に応じて、バネ 7 7 の弾性力と同様の駆動力を発生するようにしてもよい。

[0510] [他の実施形態]

本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、さらに他の実施形態を採用することもできる。以下に、他の実施形態をいくつか説明する。

前記第 1 実施形態、第 2 実施形態、第 7 実施形態もしくは第 8 実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第 1 3 実施形態もしくは第 1 4 実施形態では、マスター制御部 8 1 の目標上体支持部運動決定部 8 1 b により目標上体支持部運動を決定する処理において、実スレーブ上体横方向位置の観測値（又はそのフィルタリング値）の代わりに、スレーブ制御部 3 1 で決定される目標スレーブ上体横方向位置を用いて、目標上体支持部運動を決定してよい。

[0511] 同様に、前記第 5 実施形態、第 6 実施形態、第 1 1 実施形態もしくは第 1 2 実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第 1 3 実施形態もしくは第 1 4 実施形態では、マスター制御部 8 1 の目標上体支持部反力決定部 8 1 c により目標上体支持部反力を決定する処理において、実スレーブ上体横方向位置の観測値（又はそのフィルタリング値）の代わりに、スレーブ制御部 3 1 で決定される目標スレーブ上体横方向位置を用いて、目標上体支持部運動を決定してよい。

[0512] また、前記第 3 実施形態、第 4 実施形態、第 9 実施形態及び第 1 0 実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第 1 3 実施形態もしくは第 1 4 実施形態では、マスター制御部 8 1 の目標上体支持部運動決定部 8 1 b 3 により目標上体支持部運動を決定する処理において、目標スレーブ上体横方向位置の代わりに、実スレーブ上体横方向位置の観測値（又はそのフィルタリング値）を使用してもよい。この場合、実スレーブ上体横方向位置は、第 1 実施形態等の上体横方向位置推定部 3 1 d と同じ処理により推定すればよい。

[0513] なお、一般に、実スレーブ上体横方向位置よりも、目標スレーブ上体横方向位置の方が、高周波のノイズ成分が少ないので、目標スレーブ上体横方向位置に応じて目標上体支持部横方向位置を決定する方が、決定する目標スレーブ上体横方向位置の安定性を高める点で有利である。あるいは、実スレーブ上体横方向位置の観測値をローパスフィルタによりフィルタリングしてなるフィルタリング値を用いて目標上体支持部横方向位置を決定してもよい。

[0514] また、前記第 1 ～第 1 4 実施形態では、本発明におけるマスター側基準部

横方向位置として、上体支持部 6 5 又は 6 5' の横方向位置もしくはオペレータ P の上体の横方向位置を使用し、本発明におけるスレーブ側基準部横方向位置として、スレーブ装置 1 の上体 2 の横方向位置を採用した場合について例示した。

- [0515] ただし、例えば、マスター側基準部横方向位置として、オペレータ P の重心の横方向位置であるオペレータ重心横方向位置を採用し、また、スレーブ側基準部横方向位置として、スレーブ装置 1 の重心の横方向位置であるスレーブ重心横方向位置を採用してもよい。そして、実際のオペレータ重心横方向位置（X 軸方向位置 $P_opcog_x_act$ 及び Y 軸方向位置 $P_opcog_y_act$ ）と、実際のスレーブ重心横方向位置（X 軸方向位置 $P_sbcog_x_act$ 及び Y 軸方向位置 $P_sbcog_y_act$ ）との間の関係が、例えば前記式（1 a），（1 b）と同様の形態の次式（6 0 a），（6 0 b）の関係を満たすことを目標として、スレーブ重心横方向位置の観測値又は目標値に応じてマスター装置 5 1 の移動制御を行うようにしてもよい。

$$P_opcog_x_act = K_{pmb} * P_sbcog_x_act + C_{pmb}$$

.....（6 0 a）

$$P_opcog_y_act = K_{pmb} * P_sbcog_y_act + C_{pmb}$$

.....（6 0 b）

- [0516] より具体的には、例えば、前記第 1 ～第 4 実施形態及び第 7 ～第 10 実施形態のいずれかの実施形態、あるいは、該実施形態と組み合わせた第 13 実施形態もしくは第 14 実施形態における目標上体支持部運動決定部 8 1 b 又は 8 1 b 3 の処理において、オペレータ重心横方向位置の目標値を、スレーブ重心横方向位置の観測値又は目標値から、上記式（6 0 a），（6 0 b）に基づいて決定し得る。そして、オペレータ重心横方向位置の目標値と観測値との偏差をゼロに近づけるように、フィードバック制御則により上体支持部 6 5，6 5' の横方向の目標並進速度を決定し得る。さらに、該目標並進速度を積分することで、目標上体支持部運動のうちの目標上体支持部横方向位置を決定し得る。

[0517] この場合、実際のスレーブ重心横方向位置は、例えば、スレーブ装置 1 の上体 2 等のいずれかの部位の位置姿勢（スレーブ側グローバル座標系 C_{gs} で見た位置姿勢）をモーションキャプチャ等の公知の手法により推定し、その推定した位置姿勢と、スレーブ装置 1 の各関節の実関節変位の観測値と、スレーブ装置 1 の剛体リンクモデルとを用いて推定することができる。また、スレーブ重心横方向位置の目標値は、例えば、目標スレーブ上体運動及び目標スレーブ脚運動を含むスレーブ装置 1 の全体の目標運動と、スレーブ装置 1 の剛体リンクモデルとを用いて算出することができる。

[0518] また、実際のオペレータ重心横方向位置は、例えば、オペレータ P の上体等のいずれかの部位の位置姿勢（マスター側グローバル座標系 C_{gm} で見た位置姿勢）と、各関節の曲げ角とをモーションキャプチャ等の公知の手法により推定し、その推定した位置姿勢及び曲げ角の観測値と、オペレータ P の剛体リンクモデルとを用いて推定することができる。なお、オペレータ P の各関節又は一部の関節の曲げ角は、オペレータ P に装着した変位センサ又は慣性センサ（加速度センサ及び角速度センサ）により検出してもよい。

[0519] また、例えば、前記第 5 実施形態、第 6 実施形態、第 11 実施形態及び第 12 実施形態のいずれかの実施形態、あるいは、該実施形態と組み合わせた第 13 実施形態もしくは第 14 実施形態における目標上体支持部反力決定部 81c の処理において、オペレータ重心横方向位置の観測値と、スレーブ重心横方向位置の観測値又は目標値との間の関係の、式 (60a), (60b) により示される目標関係からのずれ量（X 軸方向及び Y 軸方向のずれ量）を、第 5 実施形態と同様の演算処理により算出し得る。そして、このずれ量をゼロに近づけるように、フィードバック制御則により目標上体支持部反力のうちの横方向並進力を決定することもできる。

[0520] また、前記補償床反力決定部 31e を備える実施形態（第 2 実施形態、第 6 実施形態、第 8 実施形態、第 12 実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第 13 実施形態もしくは第 14 実施形態）において、補償床反力決定部 31e により決定する補償全床反力モーメント M_{dmd_x} , M_{dmd_y} は、第 2

実施形態で説明したずれ量 Err_x , Err_y をゼロに近づけることに加えて、例えば、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように決定してもよい。例えば、次式(61a), (61b)に示す如く、前記ずれ量 Err_x , Err_y と、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力 $F_{mb_x_act}$, $F_{mb_y_act}$ の観測値とを線形結合してなる状態量をゼロに近づけるように、フィードバック制御則により補償全床反力モーメント M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を決定してもよい。

$$\begin{aligned} M_{dmd_x} \\ = K_e * Err_y + K_{ed} * d Err_y / dt + K_f * F_{mb_y_act} \\ \dots\dots (61a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{dmd_y} \\ = -K_e * Err_x - K_{ed} * d Err_x / dt - K_f * F_{mb_x_act} \\ \dots\dots (61b) \end{aligned}$$

[0521] なお、 K_e , K_{ed} , K_f は所定値のゲインである。また、式(61a), (61b)では、フィードバック制御則としてPD則を使用しているが、D則、PID則等の他のフィードバック制御則を用いてもよい。

[0522] さらに、補償全床反力モーメント M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を、例えば、前記ずれ量 Err_x , Err_y を用いずに、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力を、フィードバック制御則(P則、PD則、PID則等)によりゼロに近づけるように決定してもよい。例えば、前記式(61a), (61b)の Err_x , Err_y をゼロとした式によって、補償全床反力モーメント M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を決定してよい。

[0523] 上記の如く、ずれ量 Err_x , Err_y と、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力とをゼロに近づけるように M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を決定し、あるいは、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように M_{dmd_x} , M_{dmd_y} を決定した場合であっても、スレーブ装置1がその姿勢の崩れを自力で回復させ得る状況では、オペレータPの上体に、上体支持部65, 65'から横方向の並進力が作用するのを抑制することができる。

[0524] なお、第2実施形態で説明したずれ量 Err_x , Err_y の代わりに、例えば、前記したオペレータ重心横方向位置の観測値と、スレーブ重心横方向位置の観測値との間の関係の、式(60a), (60b)により示される目標関係からのずれ量を用いて補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してよい。

[0525] また、前記補償床反力決定部31hを備える実施形態(第4実施形態、第10実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第13実施形態もしくは第14実施形態)において、補償床反力決定部31hにより決定する補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y は、上記した補償床反力決定部31eの場合と同様に、前記上体傾き偏差をゼロに近づけることに加えて、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように決定してもよい。例えば、次式(62a), (62b)に示す如く、フィードバック制御則により補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してもよい。

$$\begin{aligned} M_dmd_x \\ = -K_e * \theta_{err_x} - K_{ed} * d\theta_{rr_x}/dt + K_f * F_mb_y_act \\ \dots\dots (62a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_dmd_y \\ = -K_e * \theta_{err_y} - K_{ed} * d\theta_{rr_y}/dt - K_f * F_mb_x_act \\ \dots\dots (62b) \end{aligned}$$

[0526] なお、 K_e , K_{ed} , K_f は所定値のゲインである。また、式(62a), (62b)では、フィードバック制御則としてPD則を使用しているが、D則、PID則等の他のフィードバック制御則を用いてもよい。

[0527] また、補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を、例えば、上体傾き偏差 θ_{err_x} , θ_{err_y} を用いずに、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力を、フィードバック制御則(P則、PD則、PID則等)によりゼロに近づけるように決定してもよい。例えば、前記式(62a), (62b)の K_e , K_{ed} をゼロとした式によって、補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してよい。

- [0528] 上記の如く、上体傾き偏差と、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力とをゼロに近づけるように M_dmd_x , M_dmd_y を決定し、あるいは、実上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように M_dmd_x , M_dmd_y を決定した場合であっても、スレーブ装置1がその姿勢の崩れを自力で回復させ得る状況では、オペレータPの上体に、上体支持部65, 65'から横方向の並進力が作用するのを抑制することができる。
- [0529] また、第4実施形態等に備えた補償床反力決定部31hでは、上体傾き偏差の代わりに、例えば、実スレーブ上体横方向位置の観測値と目標スレーブ上体横方向位置との偏差を用いて補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してもよい。さらに、実スレーブ上体横方向位置の観測値と目標スレーブ上体横方向位置との偏差をゼロに近づけることに加えて、上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように、補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してもよい。
- [0530] あるいは、上体傾き偏差の代わりに、例えば、スレーブ重心横方向位置の観測値と目標値との偏差を用いて補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してもよい。さらに、該重心の横方向位置の観測値と該重心の目標横方向位置との偏差をゼロに近づけることに加えて、上体支持部床反力のうちの横方向並進力をゼロに近づけるように、補償全床反力モーメント M_dmd_x , M_dmd_y を決定してもよい。
- [0531] また、前記仮想外力決定部31fを備える実施形態（第3実施形態、第4実施形態、第9実施形態、第10実施形態、あるいは、これらと組み合わせた第13実施形態もしくは第14実施形態）において、上体傾き偏差の代わりに、例えば、実スレーブ上体横方向位置の観測値と目標スレーブ上体横方向位置との偏差を用いて仮想外力モーメントを決定してもよい。あるいは、上体姿勢偏差の代わりに、例えば、スレーブ重心横方向位置の観測値と目標値との偏差に応じて仮想外力モーメントを決定してもよい。
- [0532] また、前記第7～第12実施形態に備えた上体支持部65'は、背もたれ部材65bを、第1背もたれ駆動アクチュエータ68及び第2背もたれ駆動

アクチュエータ 69 によりそれぞれロール方向、ピッチ方向に回転駆動し得るように構成されている。ただし、例えば、ロール方向、及びピッチ方向のいずれか一方にだけ、スレーブ装置 1 の上体 2 の傾きに依じて回転駆動し得るように構成されていてもよい。

[0533] また、上体支持部 65, 65' は、マスター装置 51 のスライド部材 62 に対して、電動モータ等のアクチュエータによりヨー方向に回転駆動し得るように構成されていてもよい。この場合、例えばスレーブ装置 1 の上体 2 の向きの観測値又は目標値に依じて、上体支持部 65 をヨー方向に回転駆動することで、該上体支持部 65, 65' からオペレータ P の上体にヨー方向の回転力が付与されるようにしてもよい。

[0534] 例えば次のような制御処理を採用し得る。すなわち、例えば、オペレータ P の各足部のオペレータ足部床反力の観測値に基づいて、オペレータ P に作用する床反力のうちのヨー方向のモーメントを推定する。そして、該ヨー方向のモーメントに依じて目標スレーブ床反力のうちの目標ヨー方向モーメントを決定する。

[0535] さらに、この目標ヨー方向モーメントを動力学的に実現し得るように動力学モデルを用いてスレーブ装置 1 の目標運動を決定する。そして、該目標運動のうちの上体 2 の向きの目標値に依じて、あるいは、該目標運動に依じて動作するスレーブ装置 1 の上体 2 の向きの観測値に依じて、所定の関係（上体支持部 65 の向きと上体 2 の向きとの間の所定の関係。例えば、前記式（26）により示される関係）を満たすように、目標上体支持部向きを決定し、該目標上体支持部向きを実現し得るように上体支持部 65, 65' に回転駆動力を付与する。

[0536] これにより、オペレータ P は、自身の上体の実際の向きと、スレーブ装置 1 の上体 2 の実際の向きとの間の関係が上記所定の関係からずれた場合に、そのことを上体支持部 65 から受けるヨー方向の回転力より認識することができる。

なお、上体支持部 65 の、65' の向きを上記の如く制御することは、マ

スター装置 5 1 の移動機構 5 2 の移動制御により行うことも可能である。

[0537] また、前記第 1 ～第 6 実施形態のマスター装置 5 1 は、上体支持部 6 5 の代わりに、第 7 実施形態等の上体支持部 6 5' を備えていてもよい。この場合、上体支持部 6 5' の第 1 背もたれ駆動アクチュエータ 6 8 及び第 2 背もたれ駆動アクチュエータ 6 9 を、上体支持部反力のうちのロール方向のモーメントとピッチ方向のモーメントがゼロになるように制御してもよい。

[0538]あるいは、前記第 1 ～第 6 実施形態のマスター装置 5 1 に備える上体支持部として、前記上体支持部 6 5' を同様に背もたれ部材 6 5 b を有すると共に、該背もたれ部材 6 5 b がスライド部材 6 2 に対してロール方向およびピッチ方向にフリー回転し得るように構成された上体支持部（例えば前記上体支持部 6 5' の第 1 背もたれ駆動アクチュエータ 6 8 及び第 2 背もたれ駆動アクチュエータ 6 9 を省略した構成の上体支持部）を採用してもよい。

[0539] また、前記各実施形態では、本発明における上体支持部駆動機構として、オペレータ P と共に床面上を移動し得る移動機構 5 2 と昇降機構 6 0 とを備えるものを例示した。ただし、本発明における上体支持部駆動機構は、例えば、図 3 4 に例示する構成のものであってもよい。

[0540] この例では、マスター装置 5 1' は、第 1 実施形態のものと同様の構成の昇降機構 6 0 及び上体支持部 6 5 を備える共に、オペレータ P（図示省略）が移動する環境の建物の天井部（図示省略）に設置された移動機構 1 0 0 とを備え、この移動機構 1 0 0 に昇降機構 6 0 の支柱 6 1 が支持されている（換言すれば、上体支持部 6 5 が昇降機構 6 0 を介して移動機構 1 0 0 に取付けられている）。

[0541] この場合、移動機構 1 0 0 は、天井に固定された一对の平行なレール機構 1 0 1、1 0 1 に沿って、図示しないアクチュエータの駆動力により前後方向（図示のマスター座標系 C m の X m 軸方向）に移動し得る一对の第 1 可動部 1 0 2、1 0 2 と、これらの第 1 可動部 1 0 2、1 0 2 と一体に移動し得るように第 1 可動部 1 0 2、1 0 2 の間に架け渡されたレール機構 1 0 3 と、レール機構 1 0 3 に沿って、図示しないアクチュエータの駆動力により左

右方向（マスター座標系 C_m の Y_m 軸方向）に移動し得る第2可動部104と、この第2可動部104から前方に延設された上側板状部材105と、該上側板状部材105の下側に配置され、該上側板状部材105に対して上下方向の軸心周りに（マスター座標系 C_m の Z_m 軸周りの方向に）、アクチュエータ106（例えば電動モータ）により回転し得るように該アクチュエータ106を介して板状部材105に取付けられた下側板状部材107とを備える。

[0542] そして、上体支持部65の中心付近が、アクチュエータ106の回転軸心のほぼ直下に位置するようにして、昇降機構60の支柱61の上端部が下側板状部材107に固定されている。なお、本実施形態では、上記移動機構100と昇降機構60により本発明における上体支持部駆動機構が実現される。また、上体支持部は、前記第7実施形態で説明した上体支持部65'であってもよい。

[0543] かかるマスター装置51'では、昇降機構60の支柱61は、移動機構100の動作によって横方向（上下方向と直交する方向）に移動し得ると共に、アクチュエータ106の軸心周りに（ヨー方向）に回転し得る。このため、操縦者Pは、第1実施形態と同様に床面上を移動し得る。そして、移動機構100の図示しないアクチュエータと、アクチュエータ106との作動制御によって、前記第1～第6実施形態と同様に（又は第7～第12実施形態と同様に）、上体支持部65（又は65'）の移動と、上体支持部反力のうちの横方向並進力とヨー方向モーメントとを制御することが可能である。

[0544] また、本発明における上体支持部駆動機構は、例えば、図35に例示する構成のものを採用することもできる。この例では、マスター装置51''は、前記第1実施形態と同じ構成の上体支持部65と、該上体支持部65を上体（腰部）に装着したオペレータPの移動環境の周囲に配置された複数の電動モータ110とを備える。各電動モータ110は、例えば、床面上に立設された支柱111上に取り付けられている。

[0545] そして、各電動モータ110の回転軸には、該電動モータ110により回

転駆動し得るプーリ 1 1 2 が装着されている。さらに、各電動モータ 1 1 0 に対応するプーリ 1 1 2 に巻回されたワイヤー 1 1 3 が該プーリ 1 1 2 から引き出され、その引き出されたワイヤー 1 1 3 の先端部が上体支持部 6 5 に連結されている。なお、上体支持部は、前記第 7 実施形態で説明した上体支持部 6 5' であってもよい。

[0546] かかるマスター装置 5 1' ' では、複数の電動モータ 1 1 0 とワイヤー 1 1 3 とにより本発明における上体支持部駆動が実現される。そして、このマスター装置 5 1' ' では、各電動モータ 1 1 0 の作動制御によって、オペレータ P は床面上を移動し得ると共に、前記第 1 ～第 6 実施形態と同様に（又は第 7 ～第 1 2 実施形態と同様に）、上体支持部 6 5 （又は 6 5' ）の移動と、上体支持部反力のうちの横方向並進力とヨー方向モーメントとを制御することが可能である。

なお、電動モータ 1 1 0 の代わりに、油圧モータ等のアクチュエータを使用してもよい。

[0547] また、前記各実施形態では、スレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 をスレーブ装置 1 及びマスター装置 5 1 に各々搭載したが、スレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 をスレーブ装置 1 及びマスター装置 5 1 のいずれか一方に搭載したり、あるいは、外部のサーバ等に備えるようにしてもよい。また、スレーブ制御部 3 1 の一部の機能をマスター制御部 8 1 にもたせてもよい。あるいは、マスター制御部 8 1 の一部の機能をスレーブ制御部 3 1 にもたせてもよい。

[0548] さらに、スレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 の組を、スレーブ装置 1 及びマスター装置 5 1 との両方に搭載し、スレーブ装置 1 でのスレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 の処理と、マスター装置 5 1 でのスレーブ制御部 3 1 及びマスター制御部 8 1 の処理とを、互いに同期して並列に実行するようにしてもよい。

[0549] また、マスター装置 5 1 には、例えば、スレーブ装置 1 の各腕 1 0 を、オペレータ P の各腕の動きにより操縦するためのマニピュレータが搭載されて

いてもよい。

請求の範囲

[請求項1]

上体と該上体から延設された2つの脚とを有する脚式移動体であるスレーブ装置を移動させる操縦を行い得る操縦システムであって、

操縦者が移動するに伴い、該操縦者と共に移動し得るように該操縦者の上体に装着される上体支持部と、該上体支持部を横方向に移動させる並進力を該上体支持部に付与し得るように該上体支持部に取付けられた上体支持部駆動機構とを含むマスター装置と、

前記スレーブ装置の各脚の目標運動である目標スレーブ脚運動と前記スレーブ装置の上体の目標運動である目標スレーブ上体運動とを含むスレーブ側動作目標と、前記マスター装置の上体支持部駆動機構の動作目標であるマスター側動作目標とを決定する動作目標決定部と、

前記決定されたマスター側動作目標に応じて前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うマスター側制御部と、

前記決定されたスレーブ側動作目標に応じて前記スレーブ装置の作動制御を行うスレーブ側制御部とを備えており、

前記上体支持部、前記操縦者の上体、及び前記操縦者の重心のうちのいずれか1つの横方向位置をマスター側基準部横方向位置と定義し、前記スレーブ装置の上体及び重心のうちのいずれか1つの横方向位置をスレーブ側基準部横方向位置と定義したとき、

前記動作目標決定部は、

前記操縦者がその脚の運動によって移動するに伴い、前記スレーブ装置をその脚の運動によって移動させるように、少なくとも前記操縦者の各脚の運動状態の観測値を用いて前記目標スレーブ脚運動を決定する第1処理部と、

実際の前記マスター側基準部横方向位置と実際の前記スレーブ側基準部横方向位置との間の関係が所定の第1目標対応関係を満たす状態に近づき、且つ、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値を実際の前記スレーブ側基準部横方

向位置に一致させ、又は近づけるように、前記マスター側基準部横方向位置及び前記スレーブ側基準部横方向位置のそれぞれの観測値を用いて前記目標スレーブ上体運動と前記マスター側動作目標とを決定する第2処理部とを含むように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項2]

請求項1記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記動作目標決定部が決定する前記マスター側動作目標は、前記上体支持部の目標横方向位置を含み、前記第2処理部は、前記上体支持部の目標横方向位置により規定される前記マスター側基準部横方向位置と、前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値との間の関係が前記第1目標対応関係を満たす状態になるように、該スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値を用いて前記上体支持部の目標横方向位置を決定する第201処理部を含むように構成され、

前記マスター側制御部は、前記上体支持部の実際の横方向位置を前記決定された目標横方向位置に追従させるように前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項3]

請求項1又は2記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記第2処理部は、前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値を、該スレーブ側基準部横方向位置の観測値に一致させるように、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を該スレーブ側基準部横方向位置の観測値を用いて決定する第202処理部を含むように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項4]

請求項1又は2記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定

する第3処理部と、前記スレーブ装置の動力学を表す第1の動力学モデルにおいて前記スレーブ装置に作用させる第1仮想外力を決定する第4処理部とを含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって該スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力及び前記決定された第1仮想外力の合力に前記第1の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の横方向の目標並進加速度を決定し、さらに該目標並進加速度を積分することにより、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を決定する第203処理部を含むように構成され、

前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第4処理部は、前記第1偏差をゼロに近づけるように、該第1偏差の算出値を用いて前記第1仮想外力を決定するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項5] 請求項1記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記第2処理部は、前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と、実際の前記マスター側基準部横方向位置との間の関係が前記第1目標対応関係を満たす状態になるように、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標横方向位置を、前記マスター側基準部横方向位置の観測値を用いて決定する第204処理部と、前記マスター側基準部横方向位置の観測値と前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値又は目標値との間の関係の、前記第1目標対応関係からのずれ度合いをゼロに近づけるように、該ずれ度合いの算出値を用いて

前記マスター側動作目標を決定する第205処理部とを含むように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項6]

請求項5記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記第205処理部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける横方向の反力の目標値である目標上体支持部横方向反力を前記マスター側動作目標として決定するように構成され、

前記マスター側制御部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける実際の横方向の反力を、前記決定された目標上体支持部横方向反力に追従させるように前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項7]

請求項1～6のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記第2処理部は、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置を、前記上体支持部もしくは前記操縦者の上体の実際の上下方向位置に対して所定の第2目標対応関係を満たすように、該上体支持部もしくは該操縦者の上体の上下方向位置の観測値を用いて前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置を決定し、又は、前記スレーブ装置の上体の目標上下方向位置をあらかじめ定めた所定値に決定する第206処理部を含むように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項8]

請求項1～7のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記第2処理部は、前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を、前記操縦者の上体の実際の姿勢に対して所定の第3目標対応関係を満たすように、該操縦者の上体の姿勢の観測値を用いて前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第207処理部を含むように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項9] 請求項1～7のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記上体支持部を横方向に移動させる並進力と、該上体支持部を回転させる回転力とを該上体支持部に付与し得るように構成されていると共に、前記上体支持部は、前記操縦者の上体に装着された状態で前記上体支持部駆動機構から付与される回転力が前記操縦者の上体の姿勢を変化させる力として該操縦者の上体に伝達し得るように構成されており、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部を含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって前記スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力に、前記スレーブ装置の動力学を表す第2の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の目標角加速度を決定し、さらに、該目標角加速度を積分することにより前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第208処理部と、前記スレーブ装置の上体の実際の姿勢と、前記操縦者の上体の実際の姿勢との間の関係が所定の第3目標対応関係を満たす状態になるように、前記上体支持部の回転動作に関する前記上体支持部駆動機構の動作目標である上体支持部回転動作目標を前記スレーブ装置の上体の姿勢の観測値又は前記決定された目標姿勢を用いて決定する第210処理部とを含むように構成されており、

前記マスター側制御部は、前記決定された上体支持部回転動作目標に応じて前記上体支持部を回転させる回転力を発生するように構成さ

れていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項10] 請求項1～7のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記上体支持部を横方向に移動させる並進力と、該上体支持部を回転させる回転力とを該上体支持部に付与し得るように構成されていると共に、前記上体支持部は、前記操縦者の上体に装着された状態で前記上体支持部駆動機構から付与される回転力が前記操縦者の上体の姿勢を変化させる力として該操縦者の上体に伝達し得るように構成されており、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記スレーブ装置の動力学を表す第3の動力学モデルにおいて前記スレーブ装置に作用させる第2仮想外力を決定する第5処理部とを含むように構成され、

前記第2処理部は、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の目標運動によって該スレーブ装置が発生する慣性力と該スレーブ装置に作用する重力との合力が、前記決定された目標スレーブ床反力及び前記決定された第2仮想外力の合力に前記第3の動力学モデル上で釣り合うように、前記スレーブ装置の上体の目標角加速度を決定し、さらに、該目標角加速度を積分することにより前記目標スレーブ上体運動のうちの前記スレーブ装置の上体の目標姿勢を決定する第209処理部と、前記スレーブ装置の上体の姿勢と、前記操縦者の上体の姿勢との間の関係が所定の第3目標対応関係を満たす状態になるように、前記上体支持部の回転動作に関する前記上体支持部駆動機構の動作目標である上体支持部回転動作目標を前記スレーブ装置の上体の実際の姿勢の観測値又は前記決定された目標姿勢を用いて決定する第210処理部とを含むように構成されており、

前記マスター側制御部は、前記決定された上体支持部回転動作目標に応じて前記上体支持部を回転させる回転力を発生するように構成されており、

前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第5処理部は、前記第1偏差をゼロに近づけるように、該第1偏差の算出値を用いて前記第2仮想外力を決定するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項11] 請求項1～10のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部を含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を前記決定された目標スレーブ床反力に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第102処理部とを含み、該第102処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項12] 請求項1～10のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにお

いて、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記マスター側基準部横方向位置の観測値と前記スレーブ側基準部横方向位置の観測値との間の関係の前記第1目標対応関係からのずれ度合いと、前記操縦者が前記上体支持部から受ける反力である上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように、前記決定された目標スレーブ床反力に付加すべき床反力である補償床反力を、前記ずれ度合いの算出値と前記上体支持部反力の横方向並進力の観測値とのうちの少なくとも一方を用いて決定する第6処理部とを含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の実際の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を、前記目標スレーブ床反力に前記補償床反力を付加した目標値に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第103処理部とを含み、該第103処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項13]

請求項1～10のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記動作目標決定部は、前記スレーブ装置に作用させるべき床反力である目標スレーブ床反力を、前記操縦者の各脚に作用する床反力である操縦者床反力の観測値を用いて決定する第3処理部と、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ側基準部横方向位置の

目標値と該スレーブ側基準部横方向位置の観測値との偏差、及び、前記スレーブ側動作目標により規定される前記スレーブ装置の上体の傾きの目標値と該傾きの観測値との偏差のうちのいずれか1つの偏差を第1偏差と定義したとき、前記第1偏差と、前記操縦者が前記上体支持部から受ける反力である上体支持部反力の横方向並進力とのうちの少なくとも一方をゼロに近づけるように、前記決定された目標スレーブ床反力に付加すべき床反力である補償床反力を、前記第1偏差の算出値と前記上体支持部反力の横方向並進力の観測値とのうちの少なくとも一方を用いて決定する第7処理部とを含むように構成され、

前記第1処理部は、前記操縦者の各脚の実際の運動状態の観測値から、前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の基本目標値である基本目標スレーブ脚位置姿勢を決定する第101処理部と、前記スレーブ装置に実際に作用する床反力を、前記目標スレーブ床反力に前記補償床反力を付加した目標値に近づけるように、前記基本目標スレーブ脚位置姿勢を前記スレーブ装置の各脚に作用する床反力の観測値を用いて修正する第103処理部とを含み、該第103処理部による修正後の前記スレーブ装置の各脚の先端部の位置及び姿勢の目標値である目標スレーブ脚位置姿勢を前記目標スレーブ脚運動として決定す

るよう構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項14]

請求項1～13のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記上体支持部を横方向に移動させる並進力と、該上体支持部を上下方向に移動させる並進力とを付与し得るよう構成されており、

前記マスター側制御部は、前記操縦者が前記上体支持部から受ける上下方向の並進力が所定値となるよう前記上体支持部駆動機構の作動制御を行う機能を有するよう構成されていることを特徴とする移

動体の操縦システム。

[請求項15] 請求項1～14のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記操縦者が移動する床面上を移動し得るように構成された移動機構と、該床面に対する該移動機構の移動駆動力を発生可能な第1アクチュエータとを備えており、

前記上体支持部は、前記移動機構と共に移動し得るように該移動機構に搭載されており、

前記マスター側制御部は、前記マスター側動作目標に応じて前記第1アクチュエータの作動制御を行うことにより、前記移動機構の移動動作を制御するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項16] 請求項9又は10記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記操縦者が移動する床面上を移動し得るように構成された移動機構と、該床面に対する該移動機構の移動駆動力を発生可能な第1アクチュエータと、前記上体支持部を回転させる回転力を発生可能な第2アクチュエータとを備えており、

前記マスター側制御部は、前記マスター側動作目標に応じて前記第1アクチュエータの作動制御を行うと共に、前記上体支持部回転動作目標に応じて前記第2アクチュエータの作動制御を行うように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項17] 請求項15又は16記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部駆動機構は、前記移動機構に対して前記上体支持部を昇降させ得るように支持する昇降機構と、該上体支持部を前記移動機構に対して昇降させる駆動力を発生可能な第3アクチュエータとをさらに備えており、

前記マスター側制御部は、さらに前記操縦者が前記上体支持部から受ける上下方向の並進力が所定値となるように該上下方向の並進力の

観測値に応じて前記第3アクチュエータの作動制御を行うように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項18] 請求項1～16のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部は、上下方向に移動自在な状態になるように前記上体支持部駆動機構に取付けられていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項19] 請求項1～16のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部は、上下方向に弾性的に移動し得るように前記上体支持部駆動機構に取付けられていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項20] 請求項1～8のいずれか1項に記載の移動体の操縦システムにおいて、

前記上体支持部は、前記操縦者のロール方向に、又は前記操縦者のピッチ方向に、又は該ロール方向とピッチ方向とに回転自在な状態となるように前記上体支持部駆動機構に取付けられていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[請求項21] 上体と該上体から延設された2つの脚とを有する脚式移動体であるスレーブ装置を移動

させる操縦を行い得る操縦システムであって、

操縦者が移動するに伴い、該操縦者と共に移動し得るように該操縦者の上体に装着される上体支持部と、該上体支持部を横方向に移動させる並進力を該上体支持部に付与し得るように該上体支持部に取付けられた上体支持部駆動機構とを含むマスター装置と、

前記スレーブ装置の動作目標であるスレーブ側動作目標と、前記マスター装置の上体支持部駆動機構の動作目標であるマスター側動作目標とを決定する動作目標決定部と、

前記決定されたマスター側動作目標に応じて前記上体支持部駆動機構の作動制御を行うマスター側制御部と、

前記決定されたスレーブ側動作目標に応じて前記スレーブ装置の作動制御を行うスレーブ側制御部とを備えており、

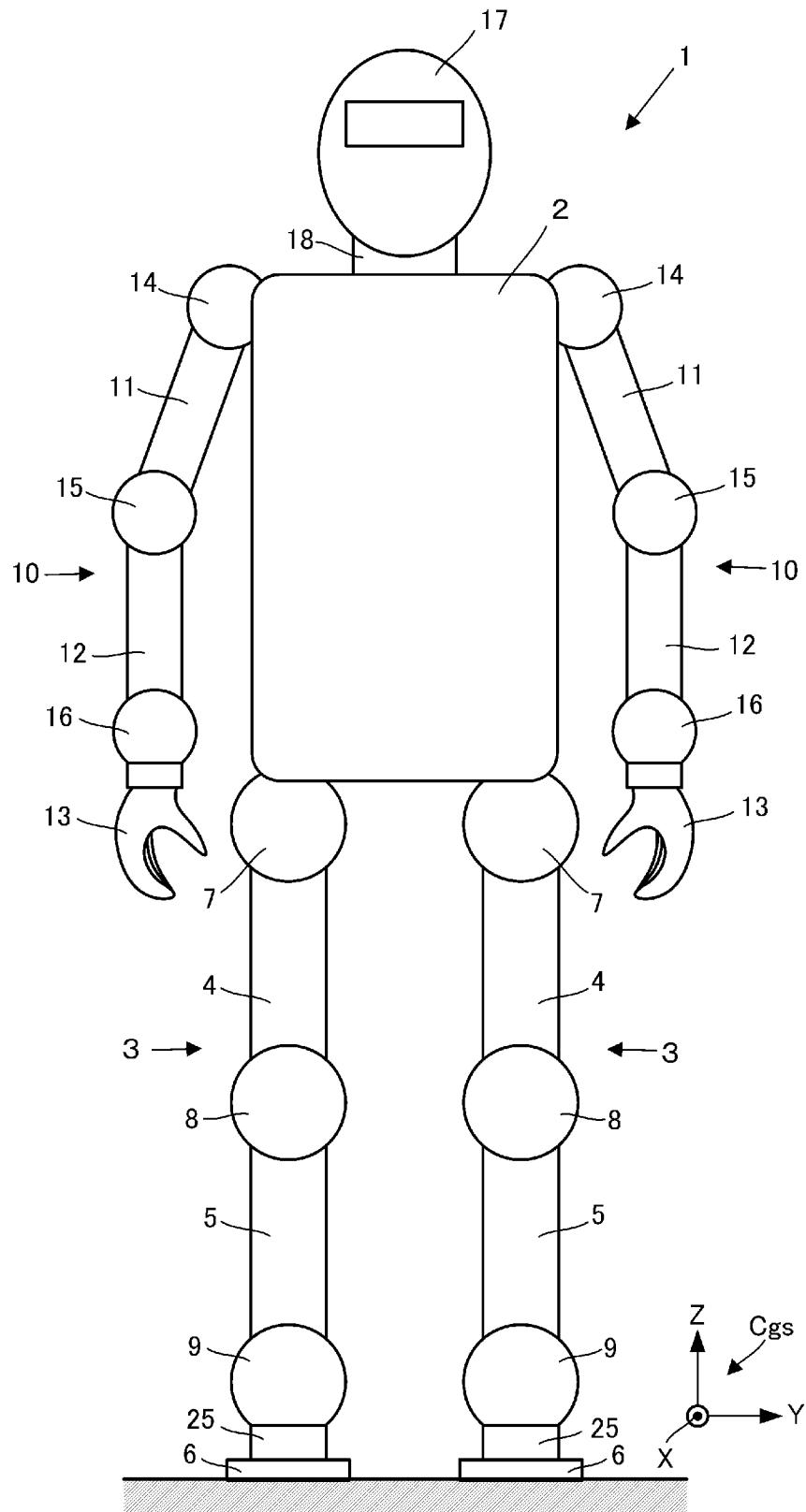
前記上体支持部、前記操縦者の上体、及び前記操縦者の重心のうちのいずれか1つの横方向位置をマスター側基準部横方向位置と定義し、前記スレーブ装置の上体及び重心のうちのいずれか1つの横方向位置をスレーブ側基準部横方向位置と定義したとき、

前記動作目標決定部は、

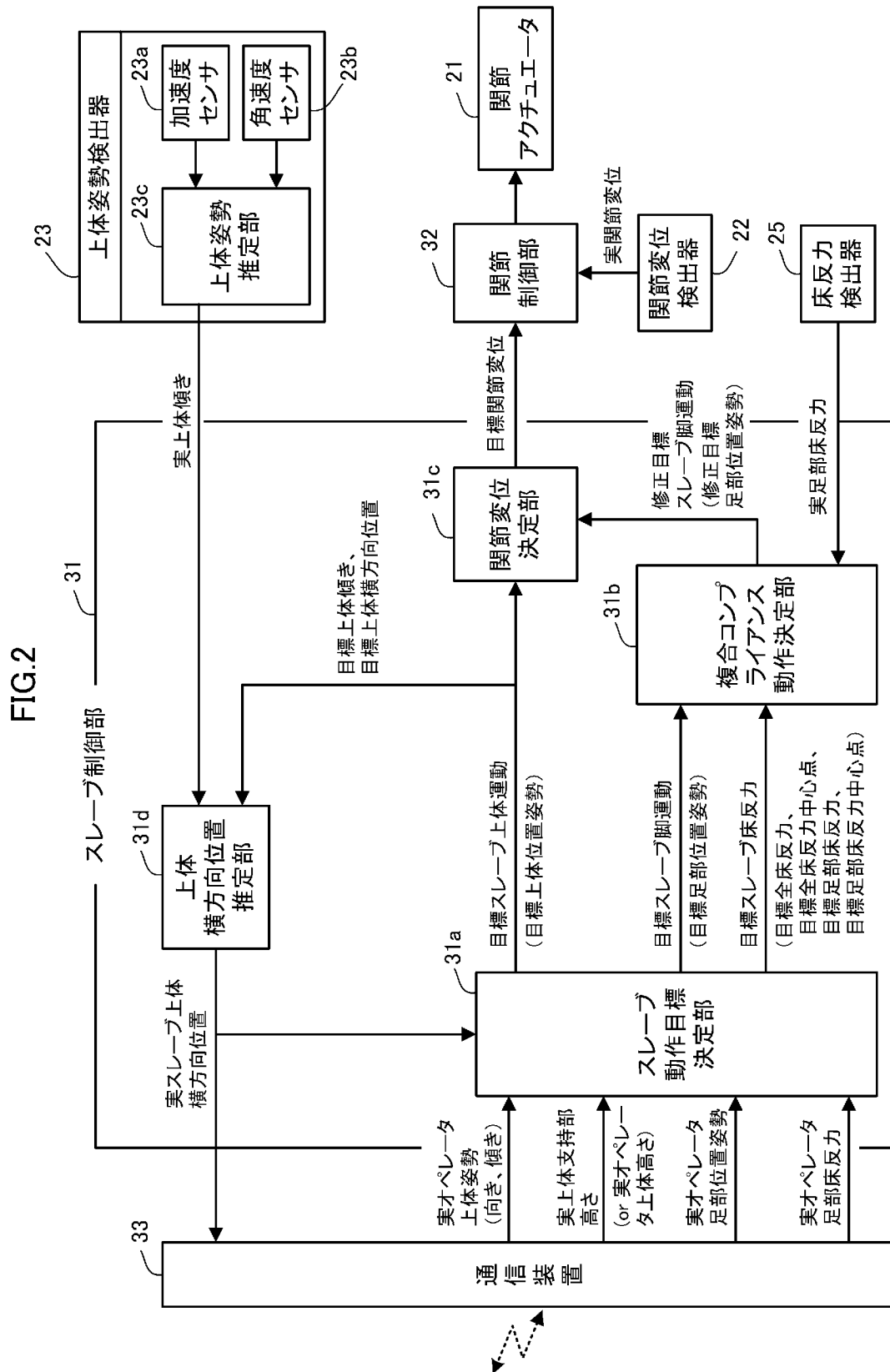
前記操縦者の移動に伴い、前記スレーブ装置を移動させるように前記スレーブ側動作目標を決定すると共に、実際の前記マスター側基準部横方向位置と、実際の前記スレーブ側基準部横方向位置との間の関係の、所定の第1目標対応関係からのずれを低減させる向きの横方向の並進力を前記上体支持部から前記操縦者に作用させるように前記マスター側動作目標を決定するように構成されていることを特徴とする移動体の操縦システム。

[図1]

FIG.1

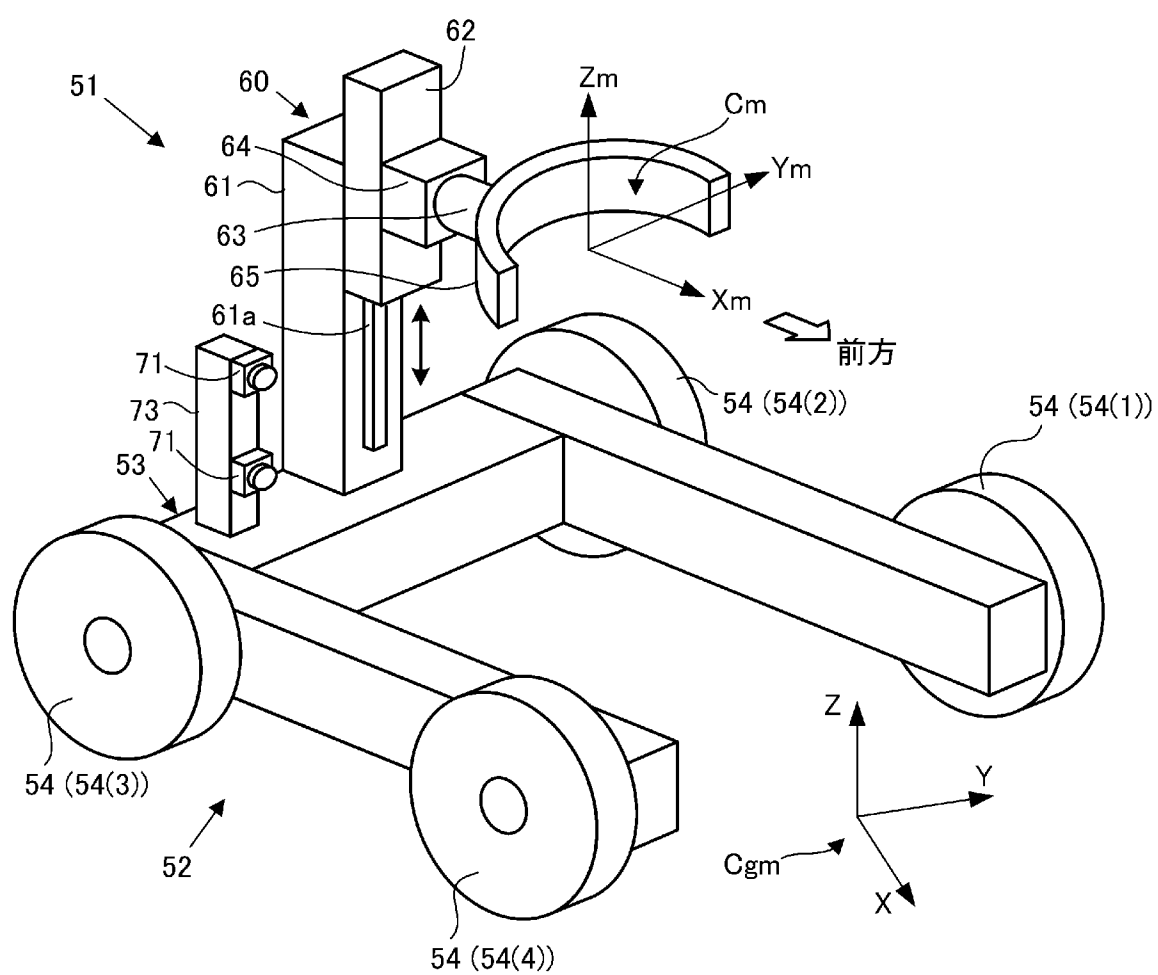


[図2]



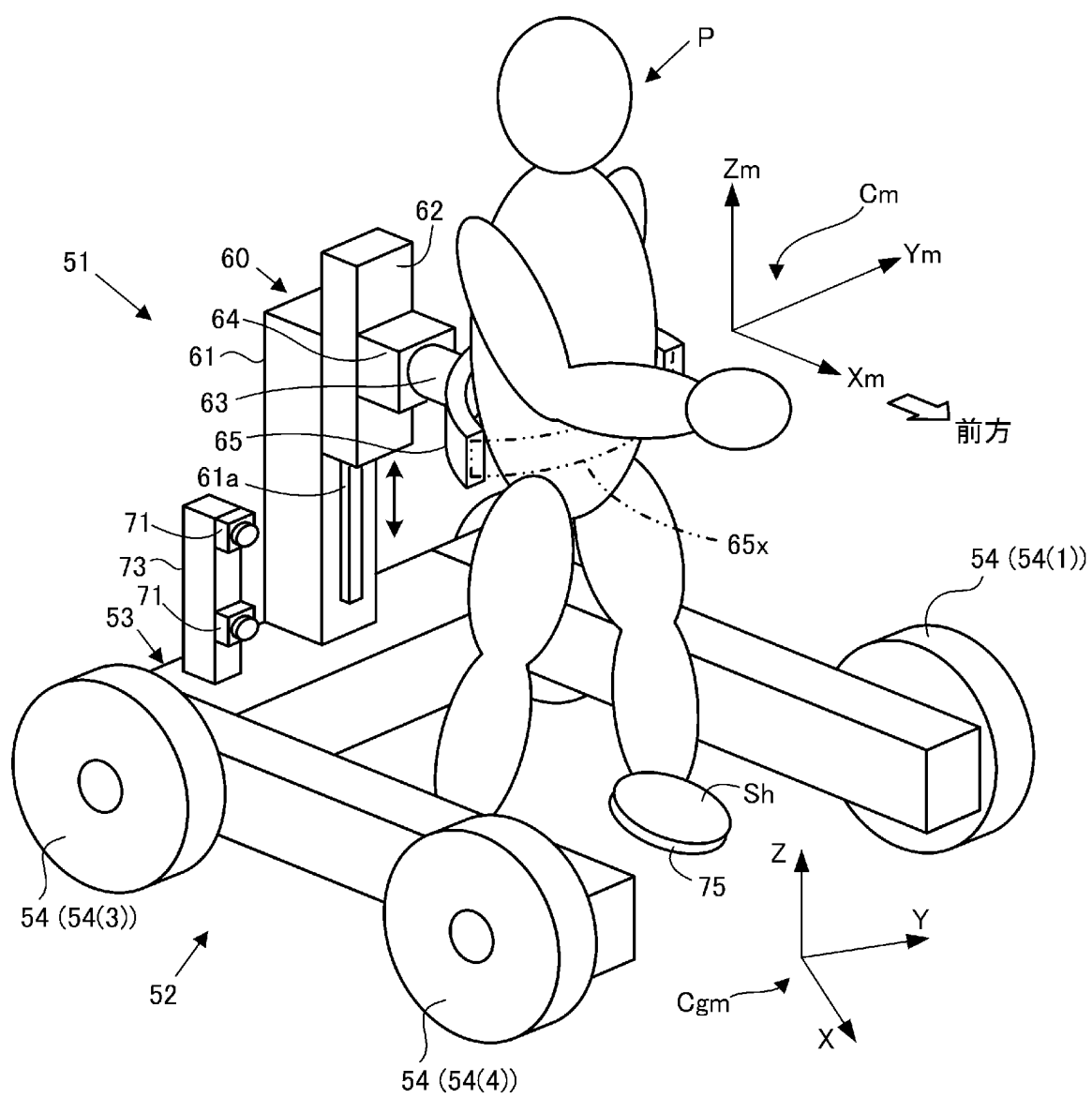
[図3]

FIG.3

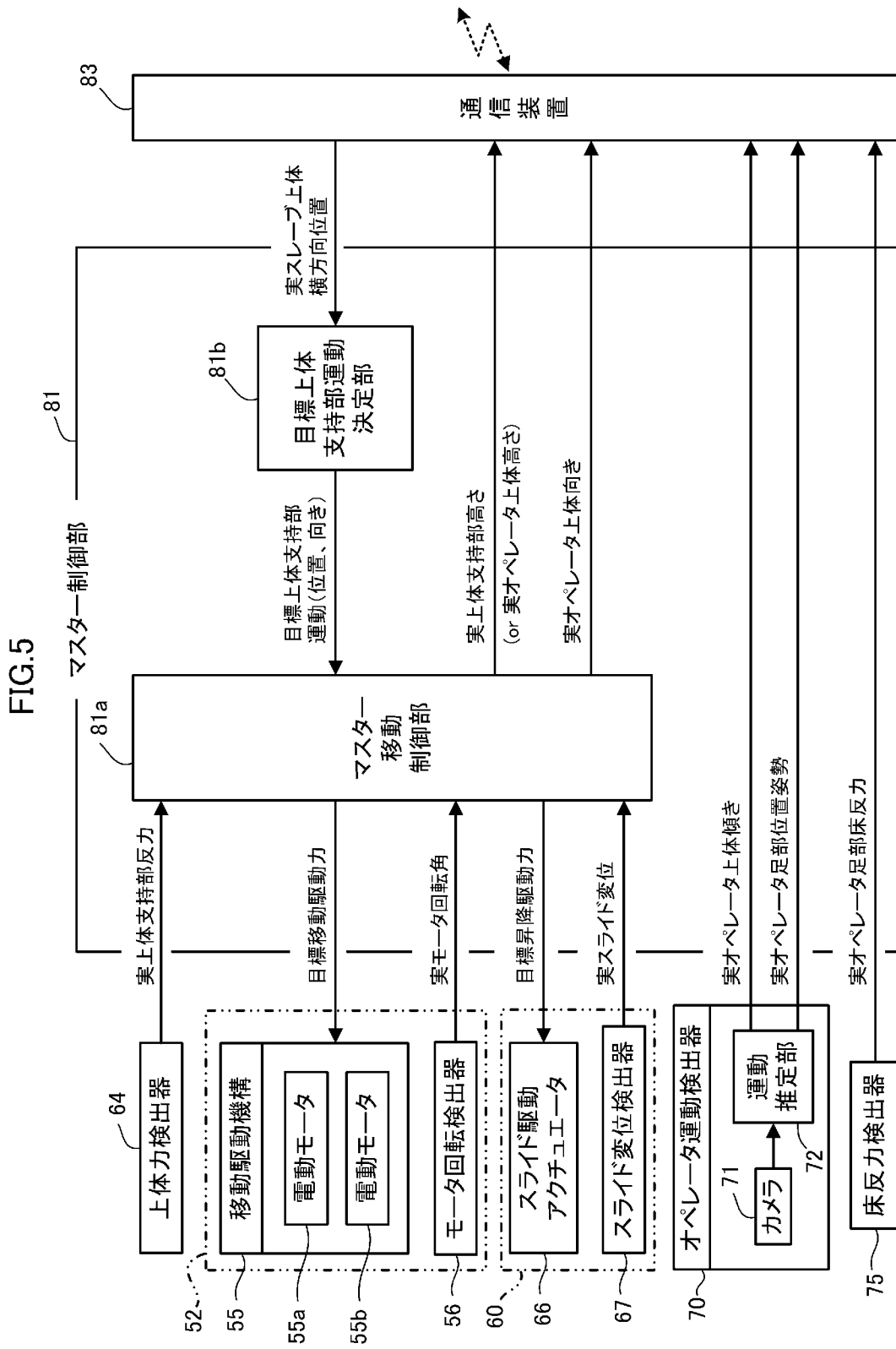


[図4]

FIG.4

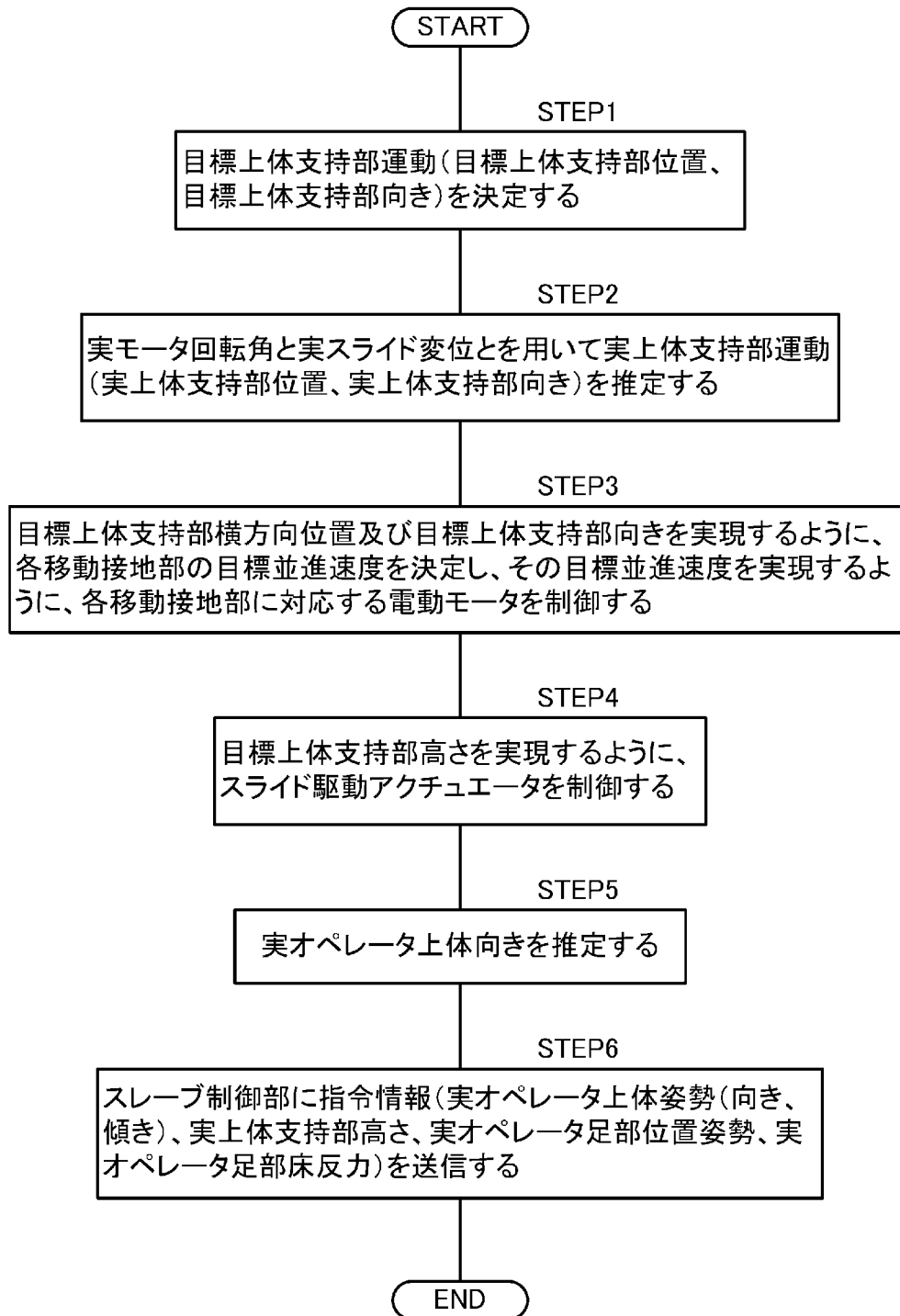


[図5]



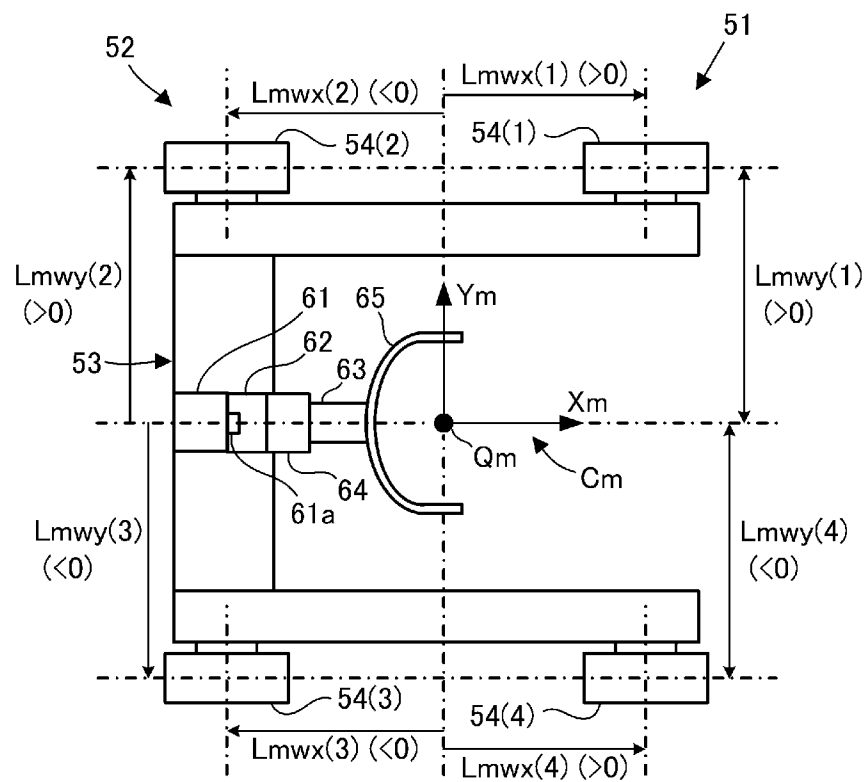
[図6]

FIG.6



[図7]

FIG.7



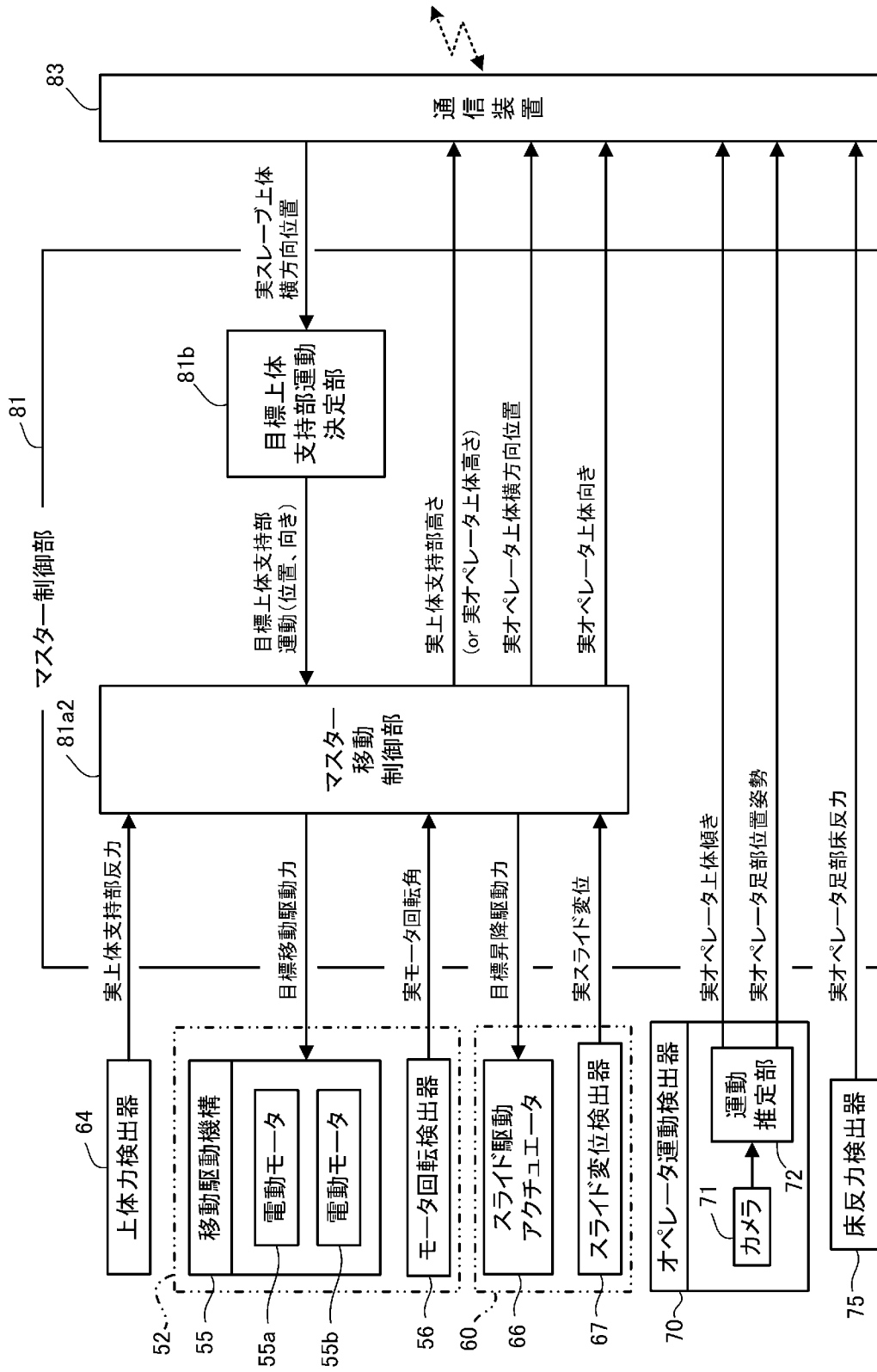
[図8]

FIG.8

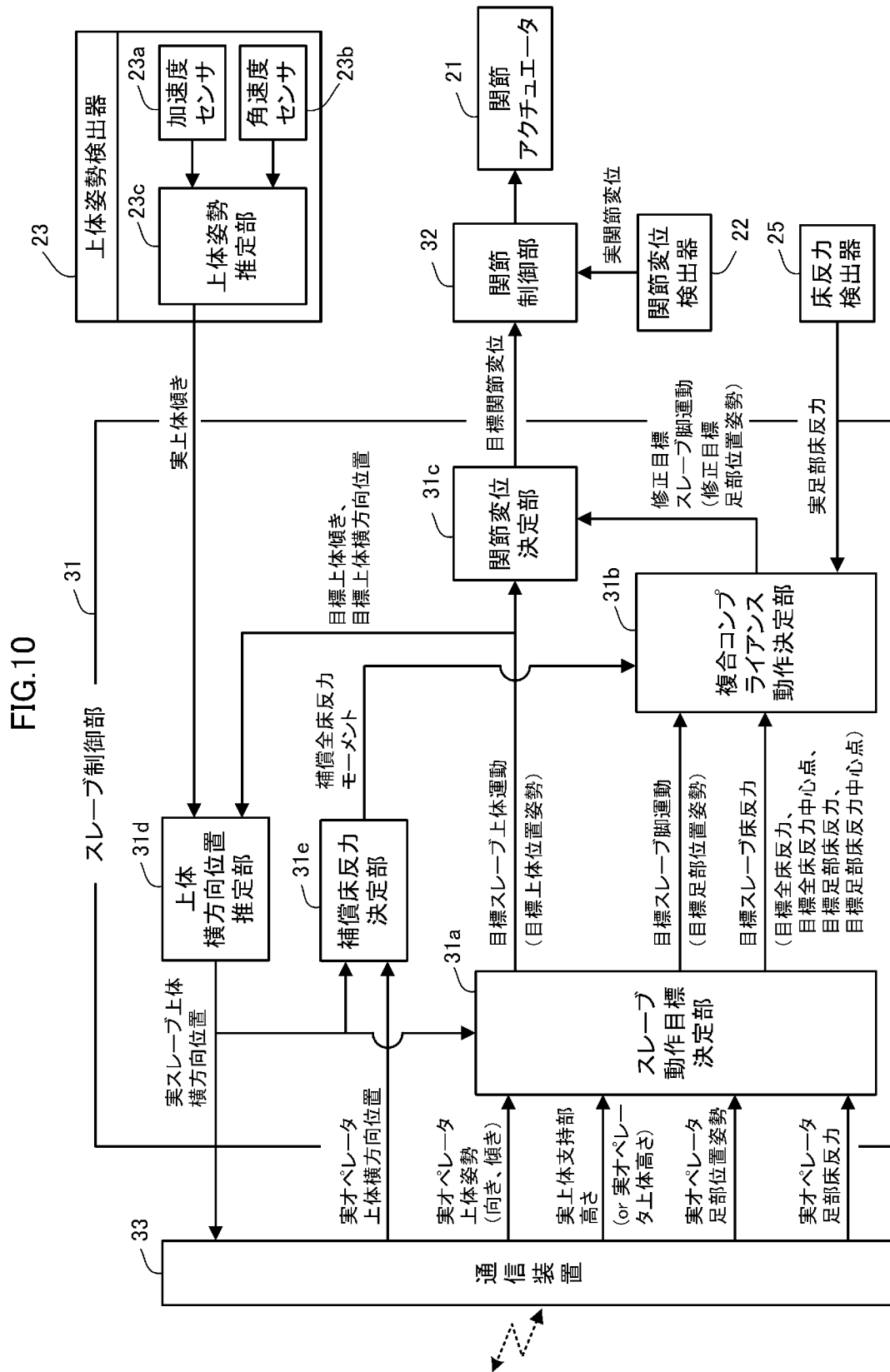


[図9]

FIG. 9

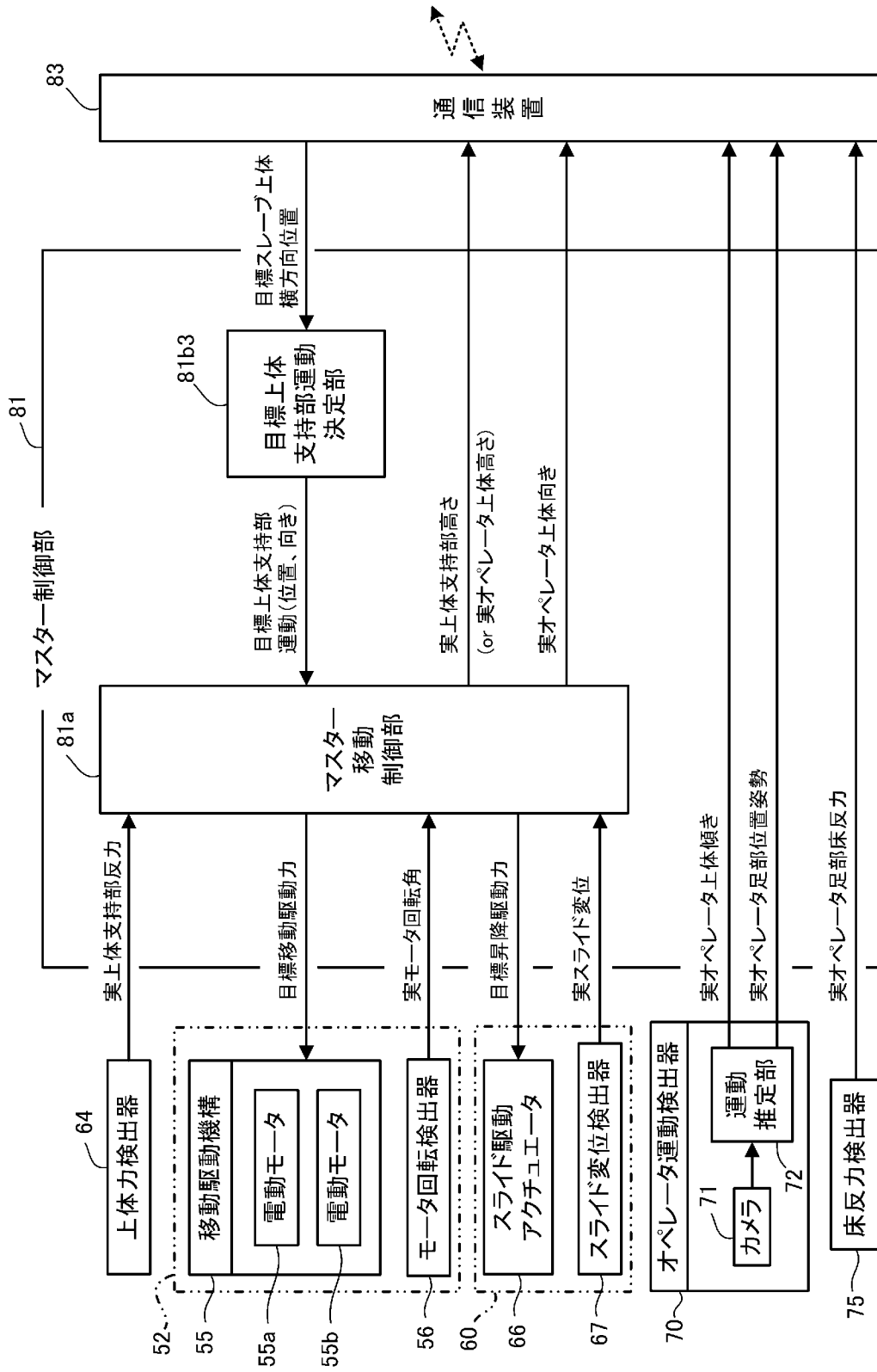


[図10]



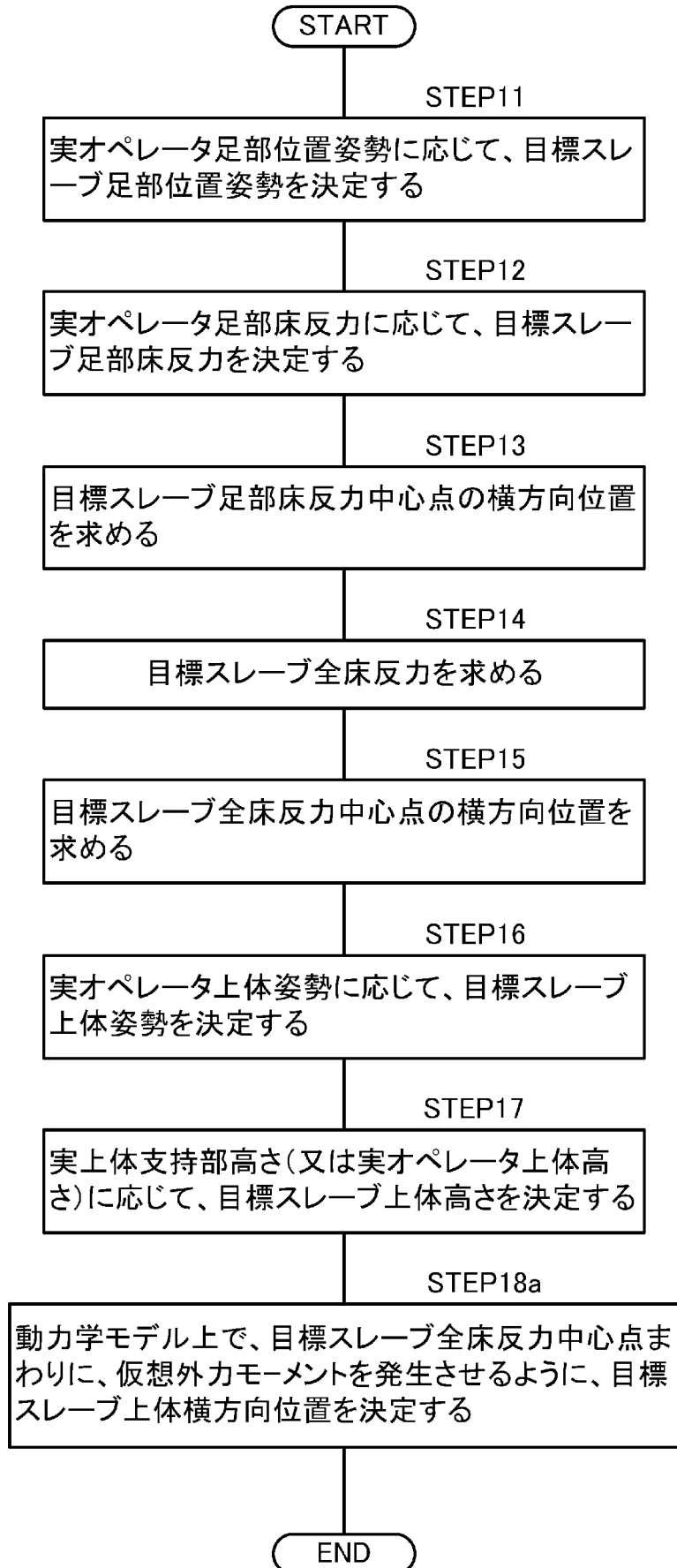
[図11]

FIG.11



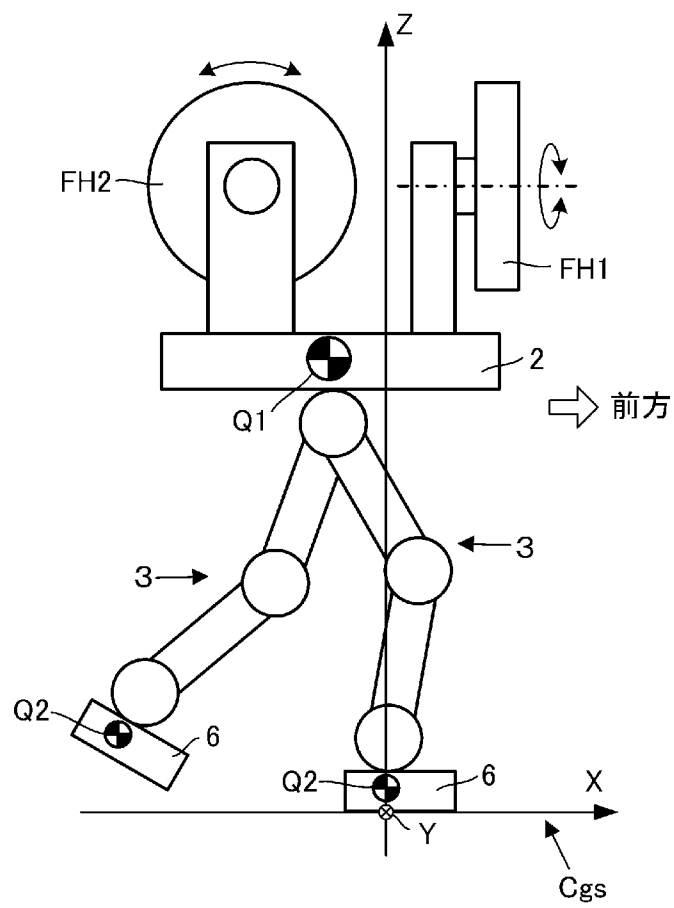
[図13]

FIG.13



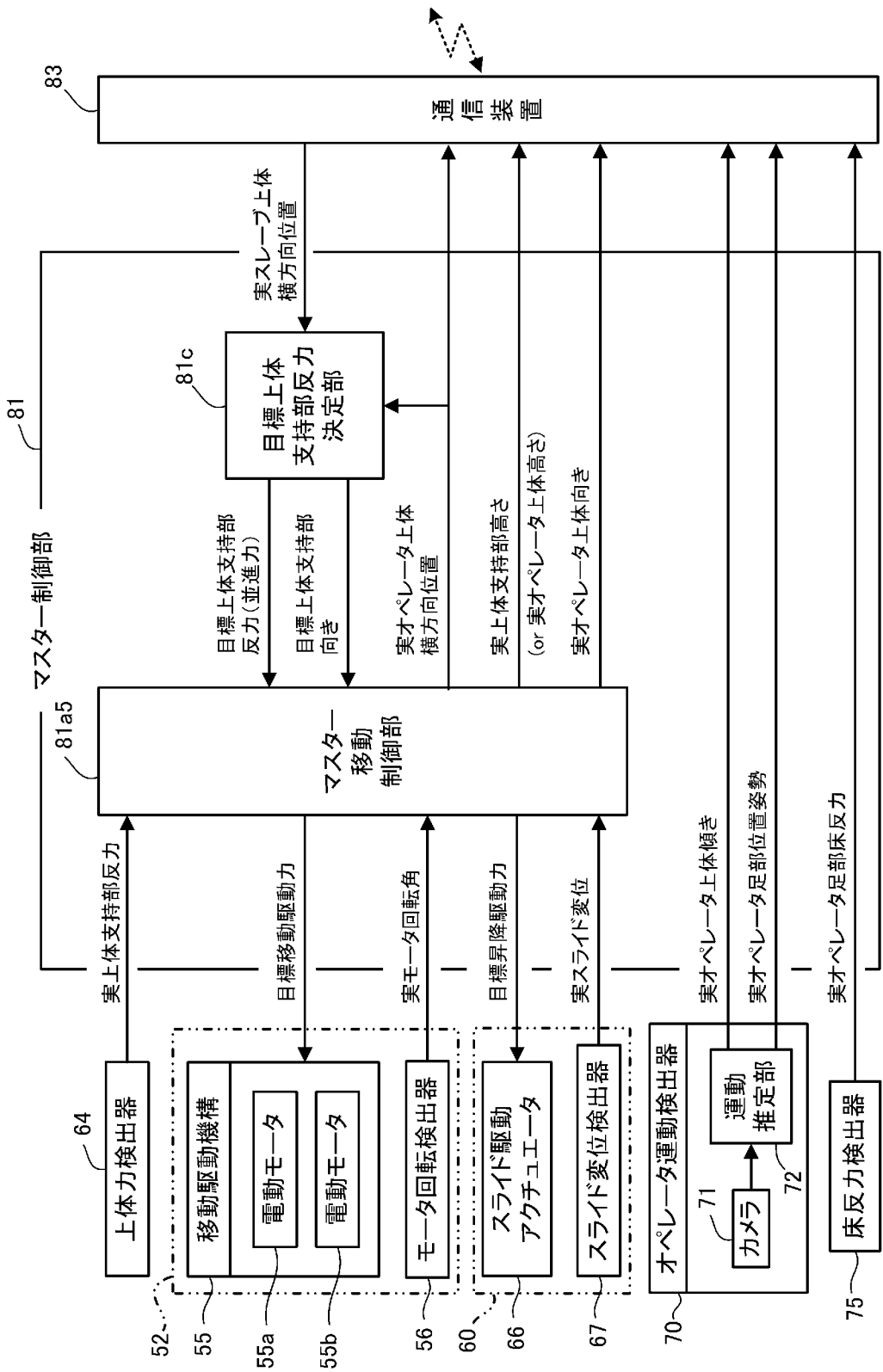
[図14]

FIG.14



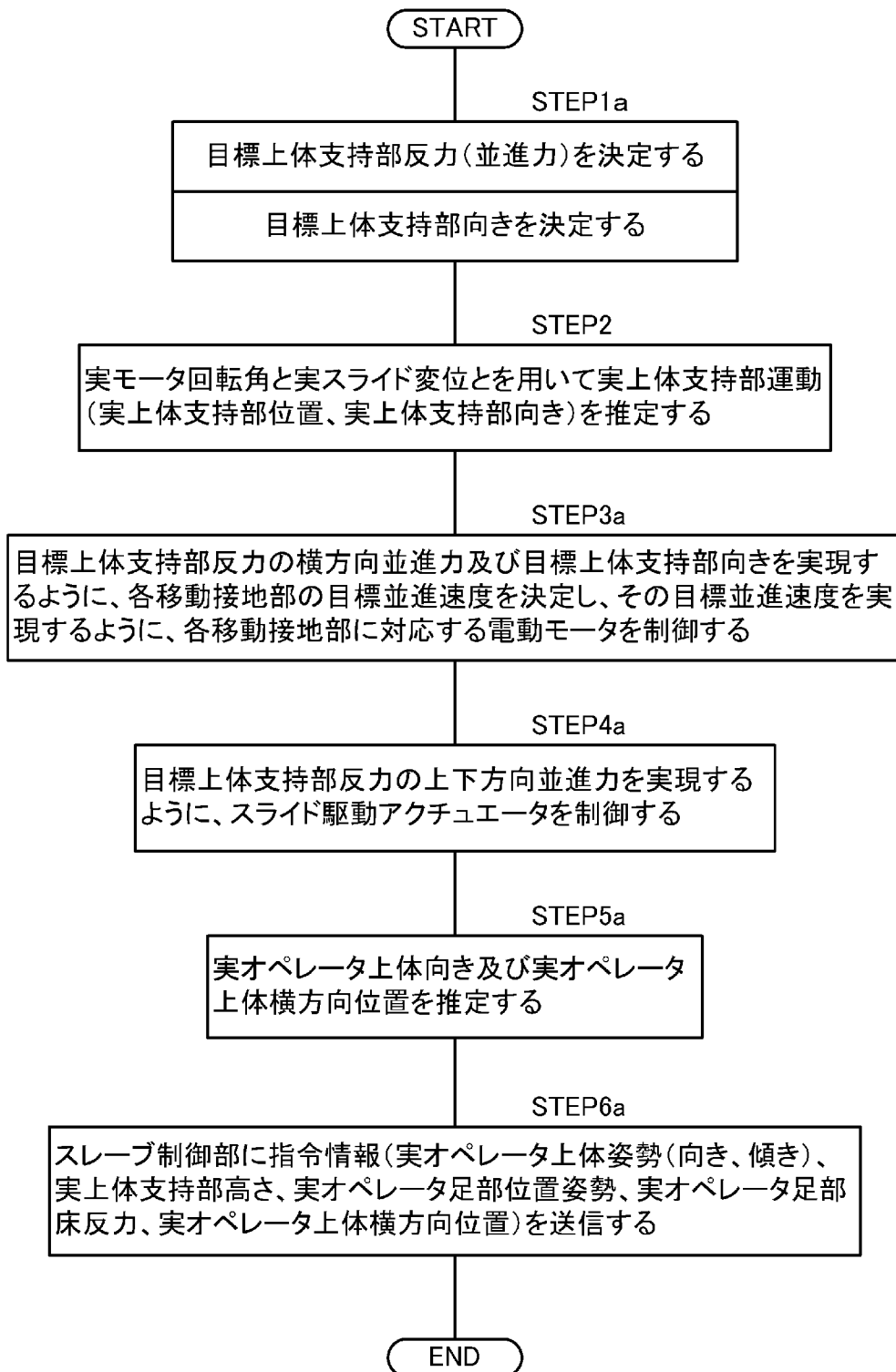
[図16]

FIG.16

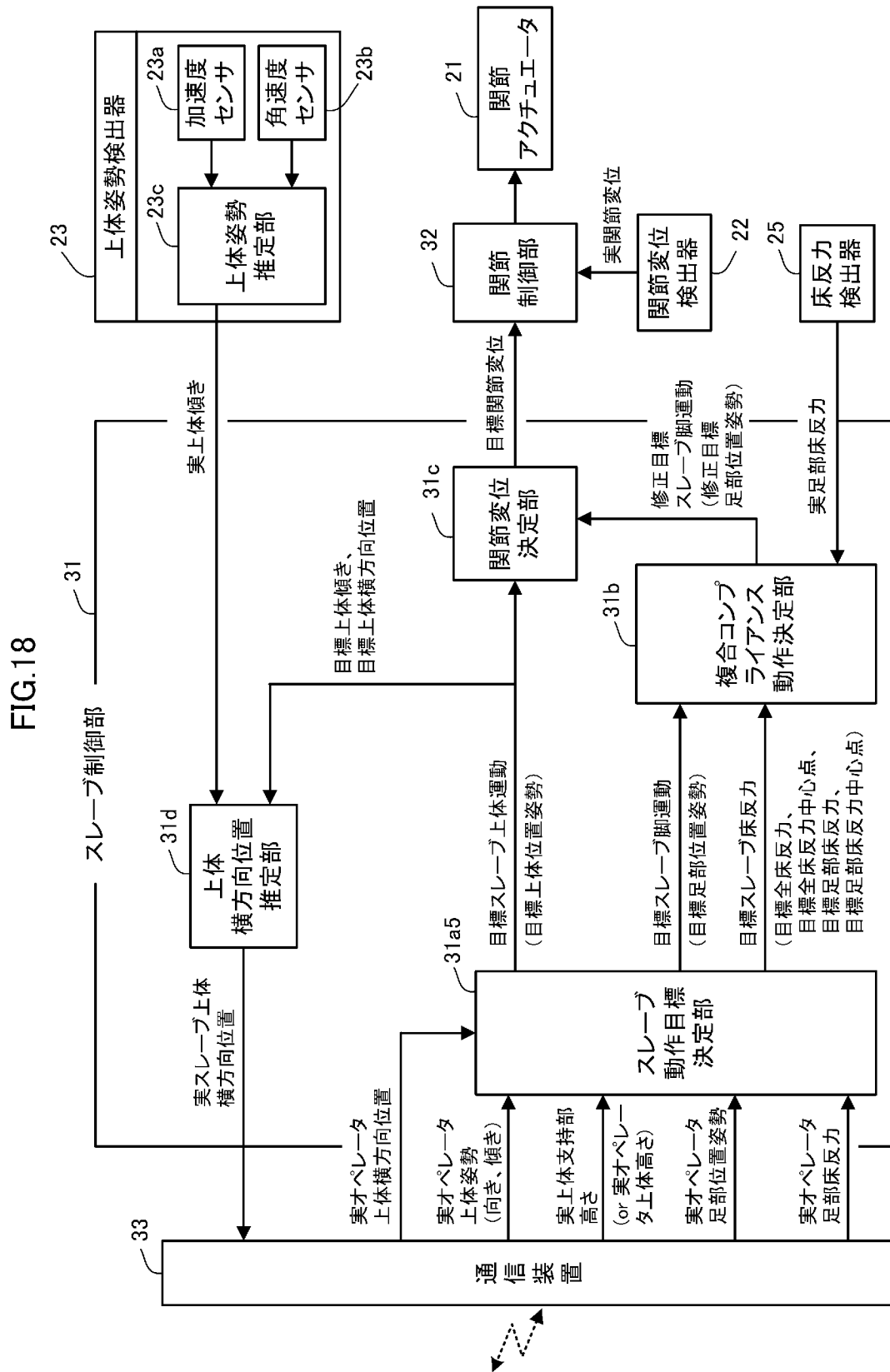


[図17]

FIG.17

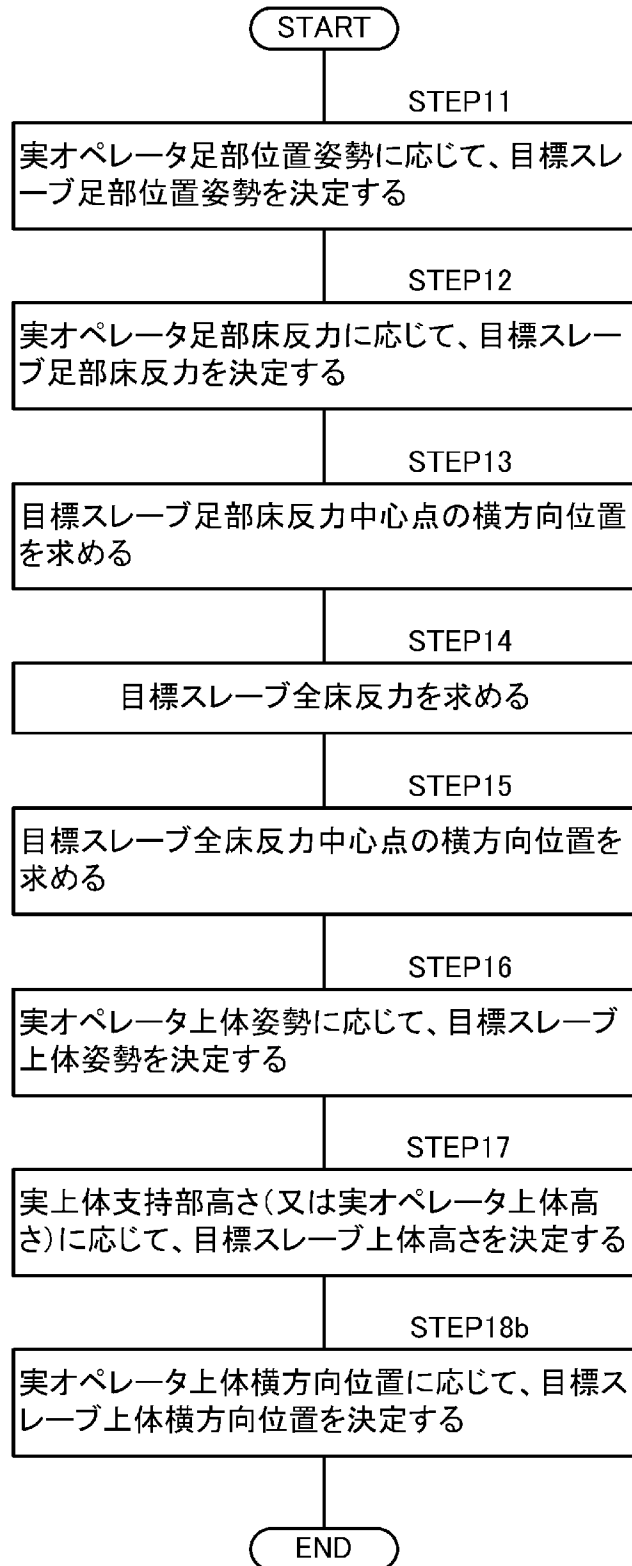


[図18]

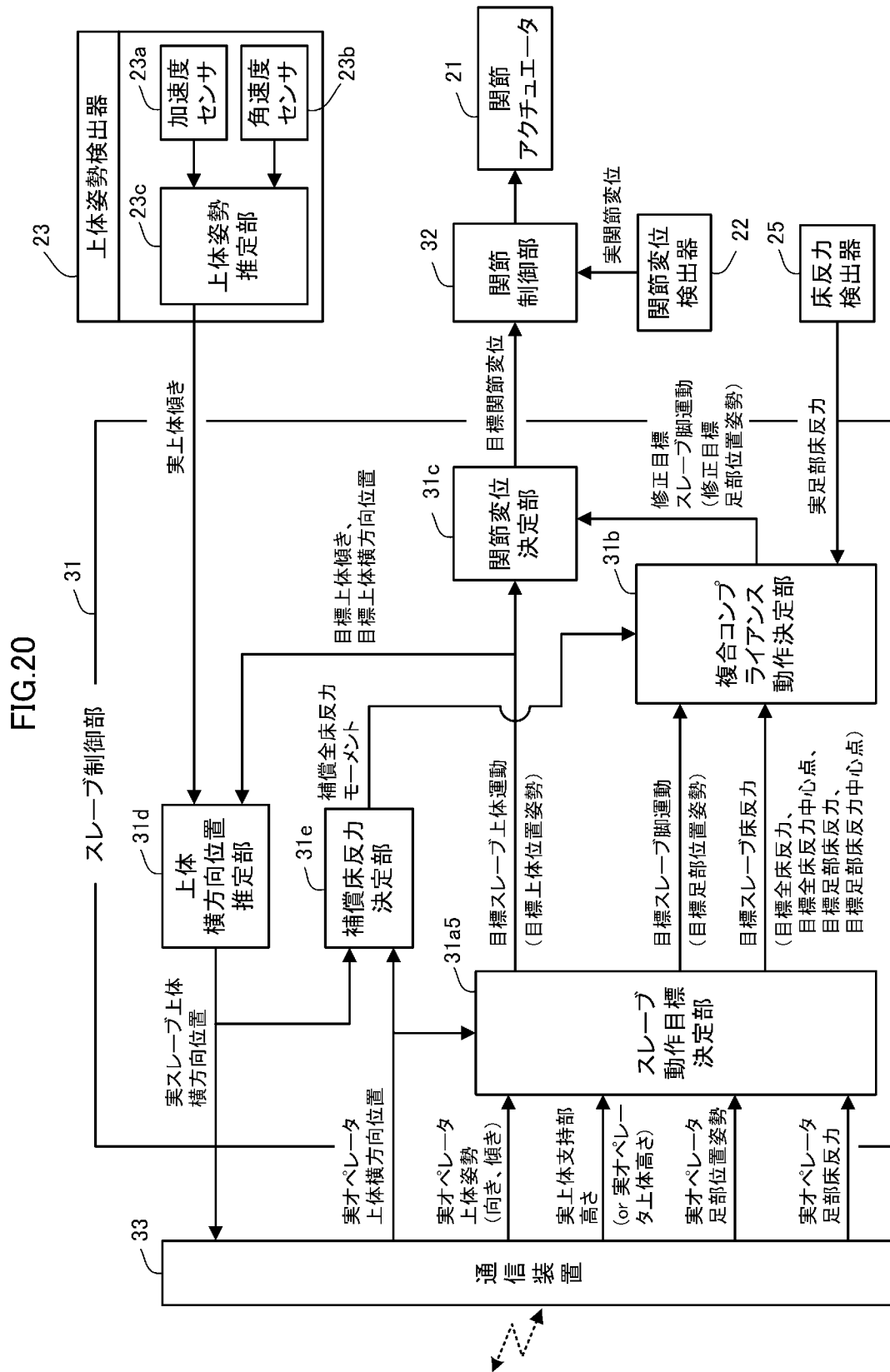


[図19]

FIG.19



[図20]



[図21]

FIG.21A

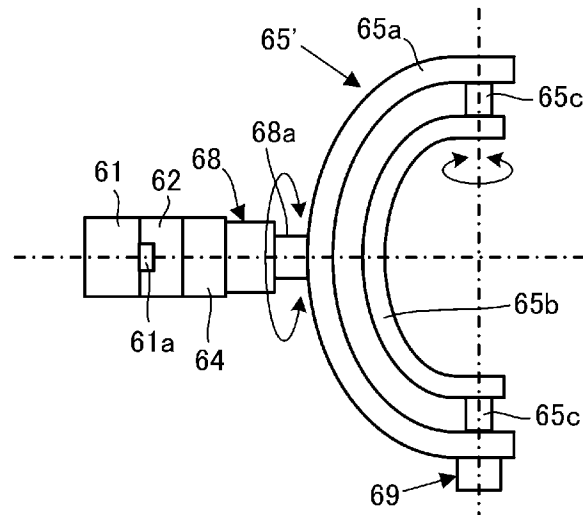
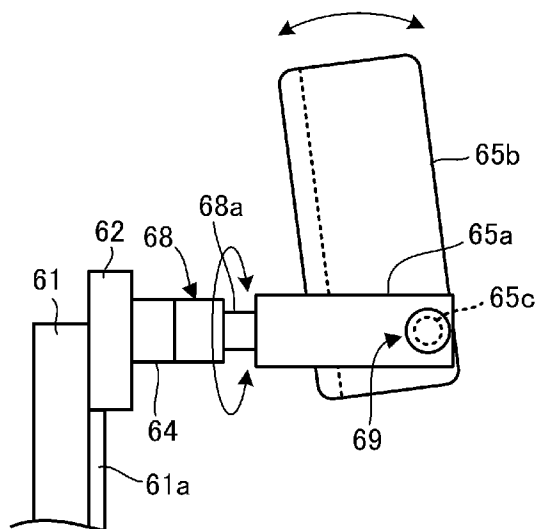
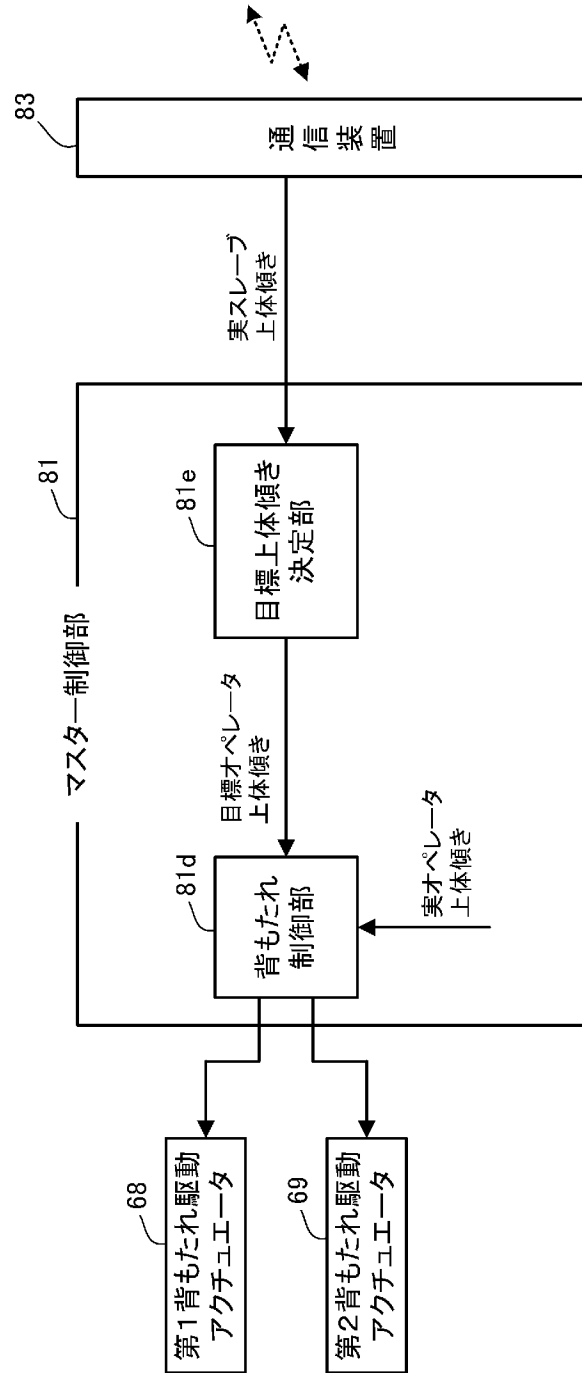


FIG.21B



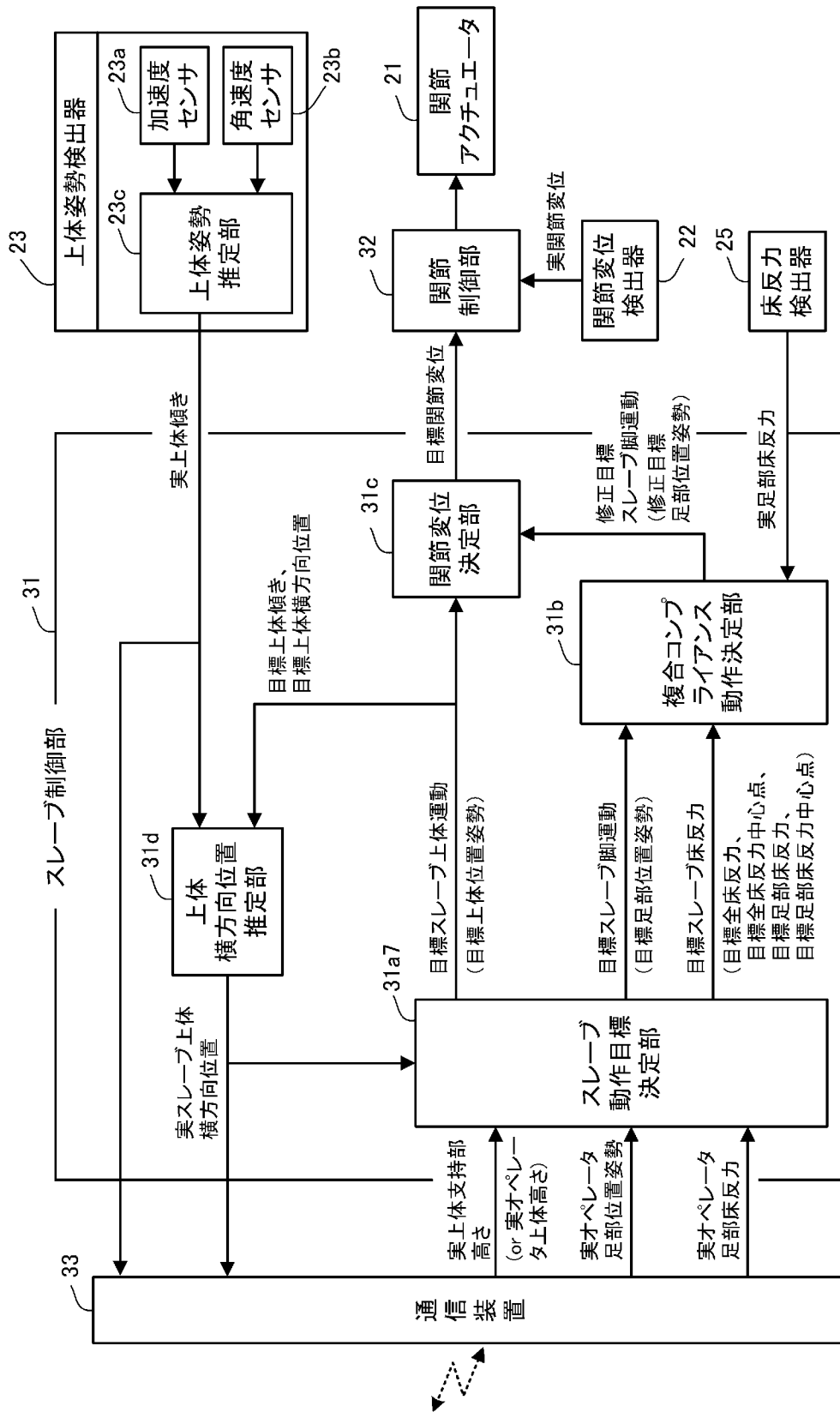
[図22]

FIG.22



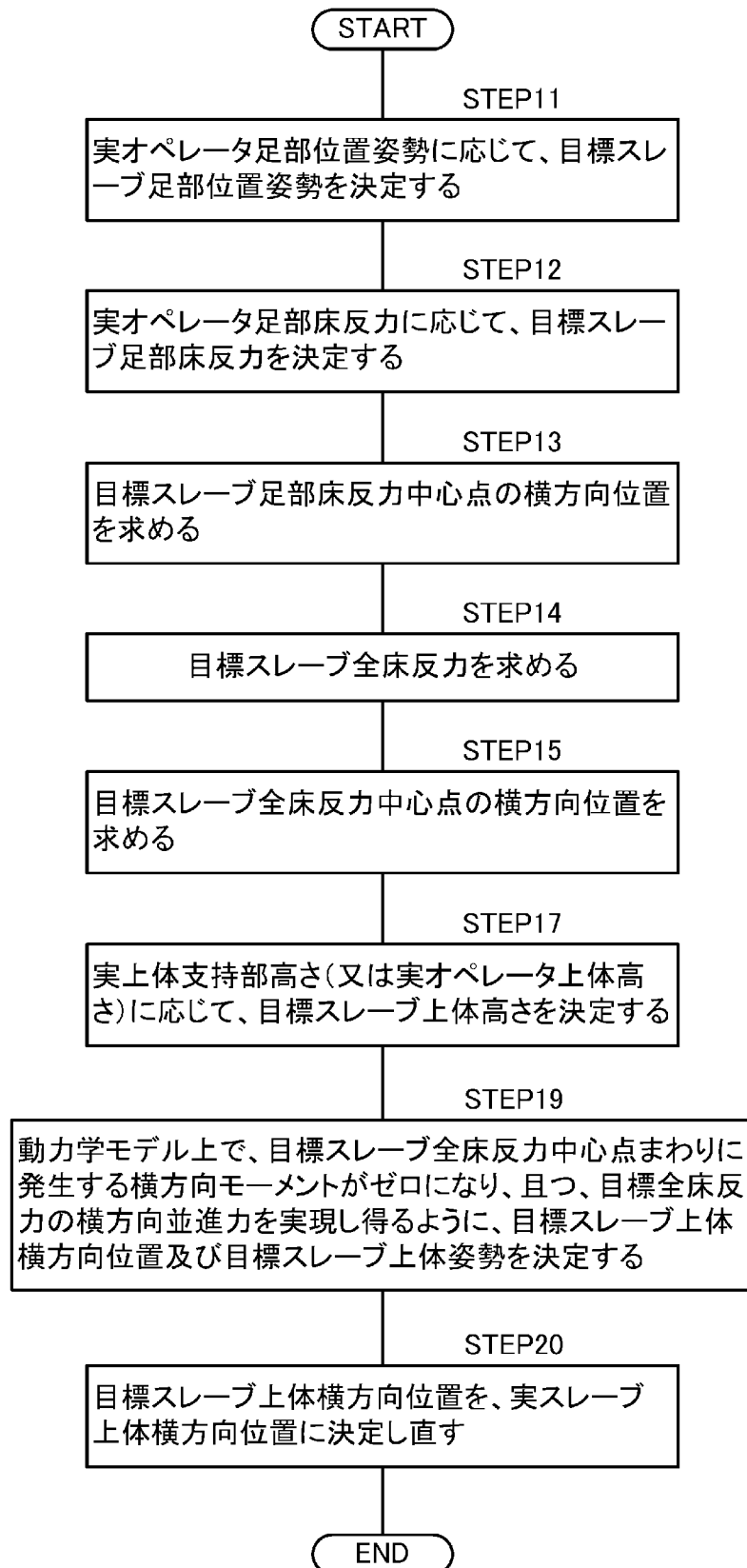
[図23]

FIG.23



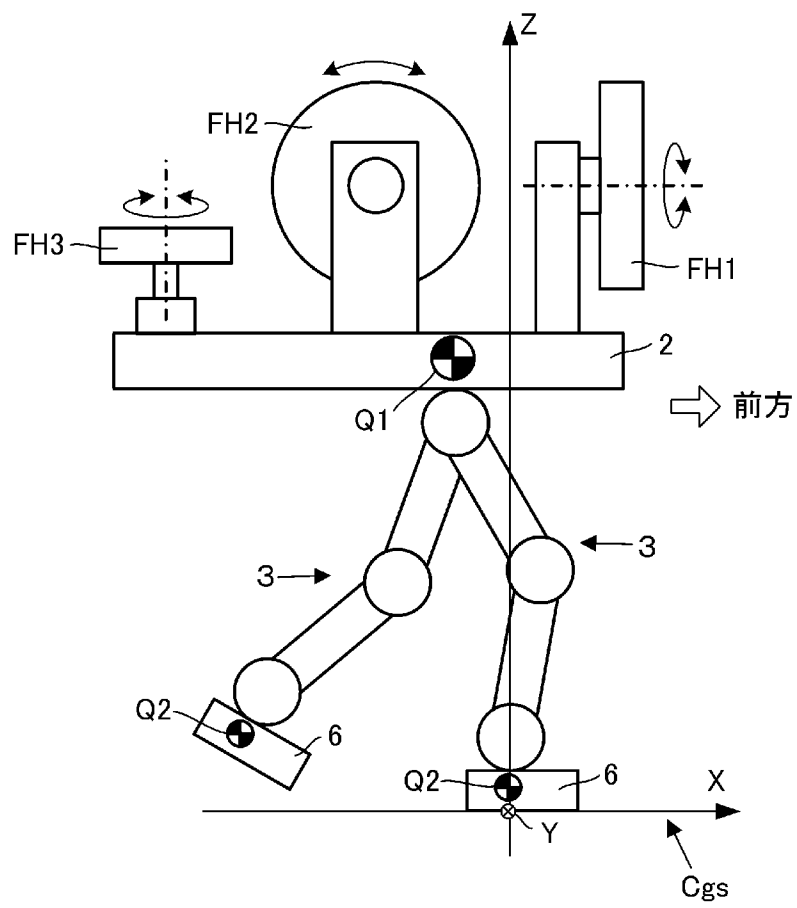
[図24]

FIG.24

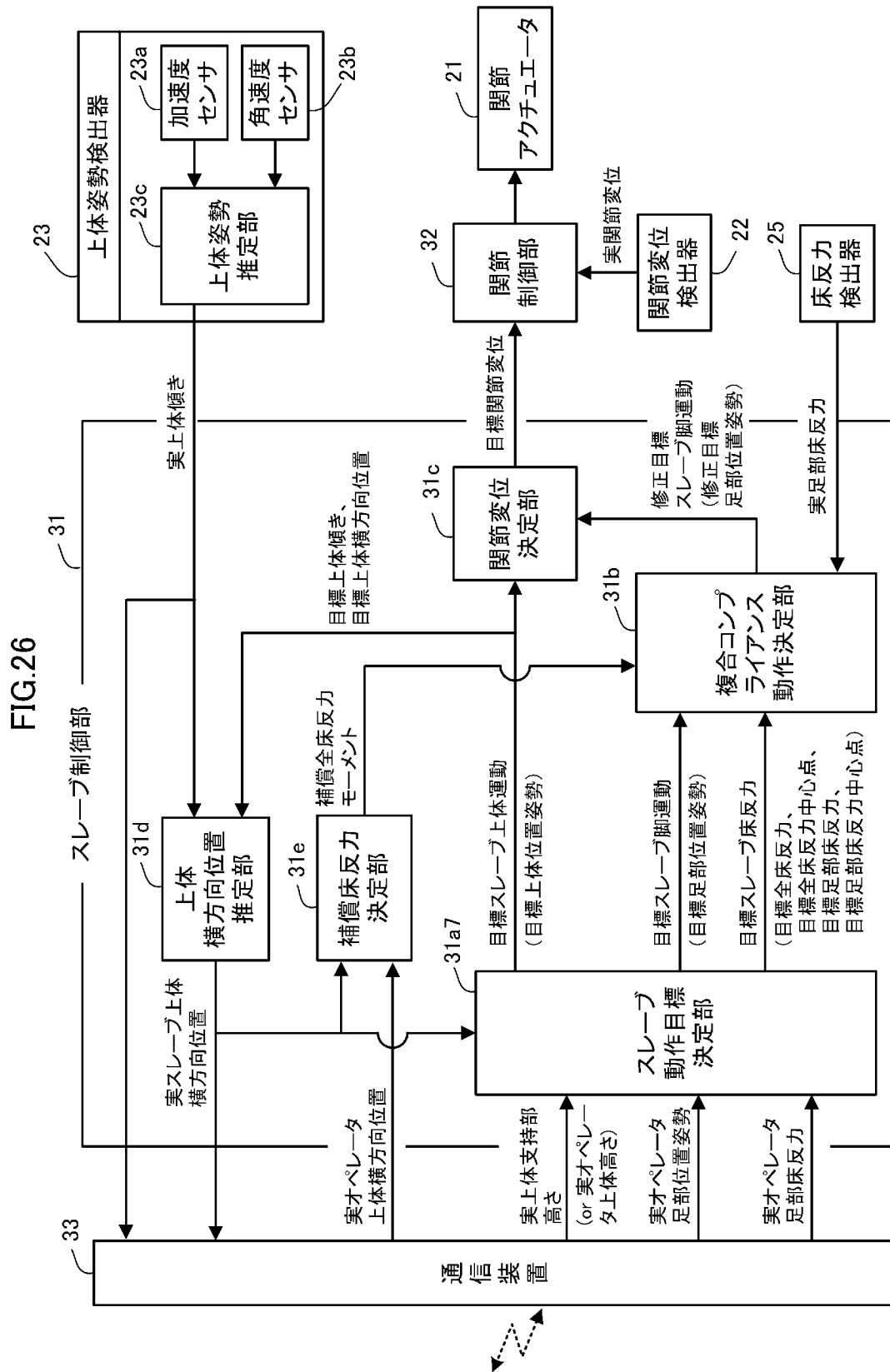


[図25]

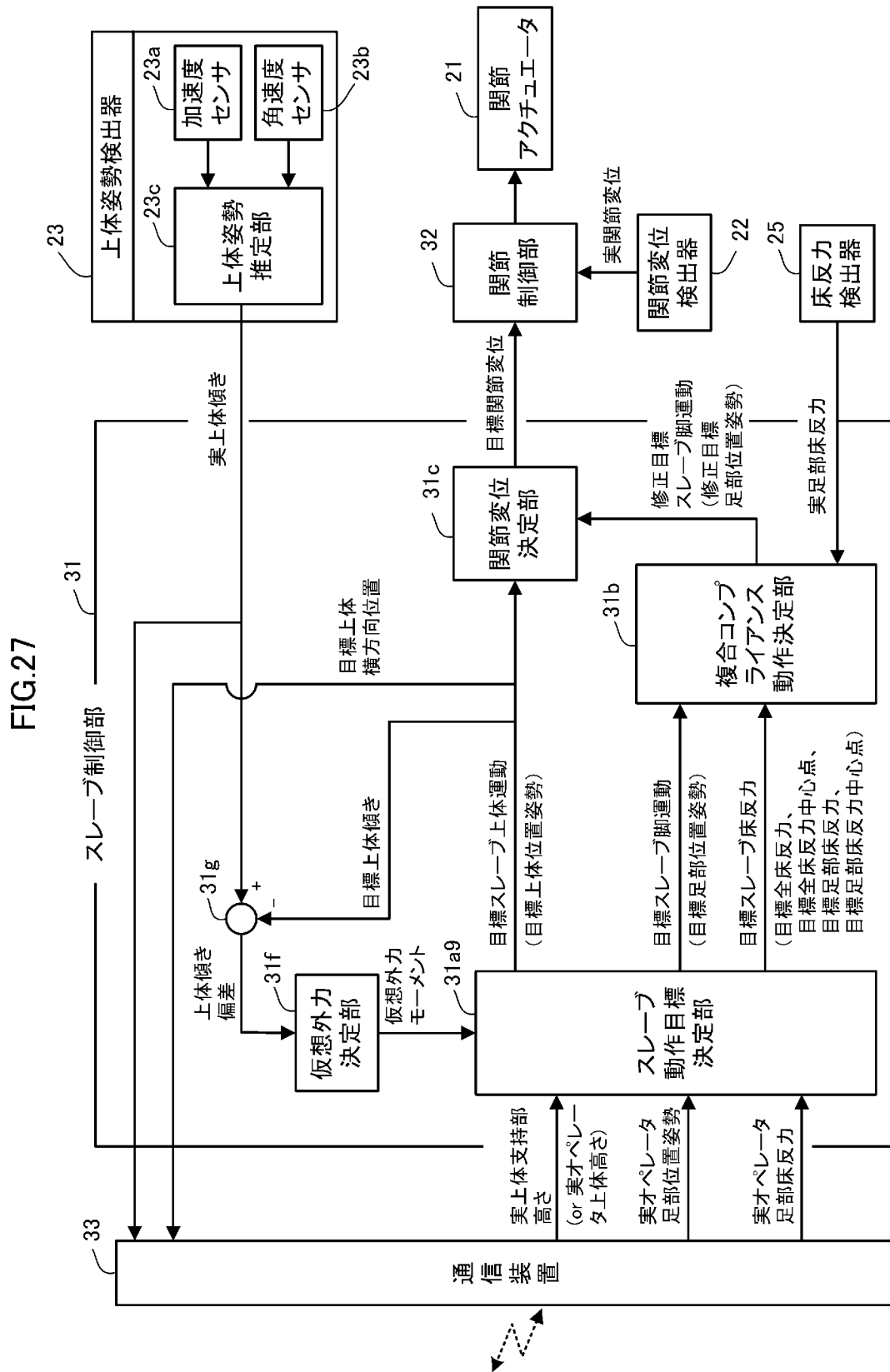
FIG.25



[図26]

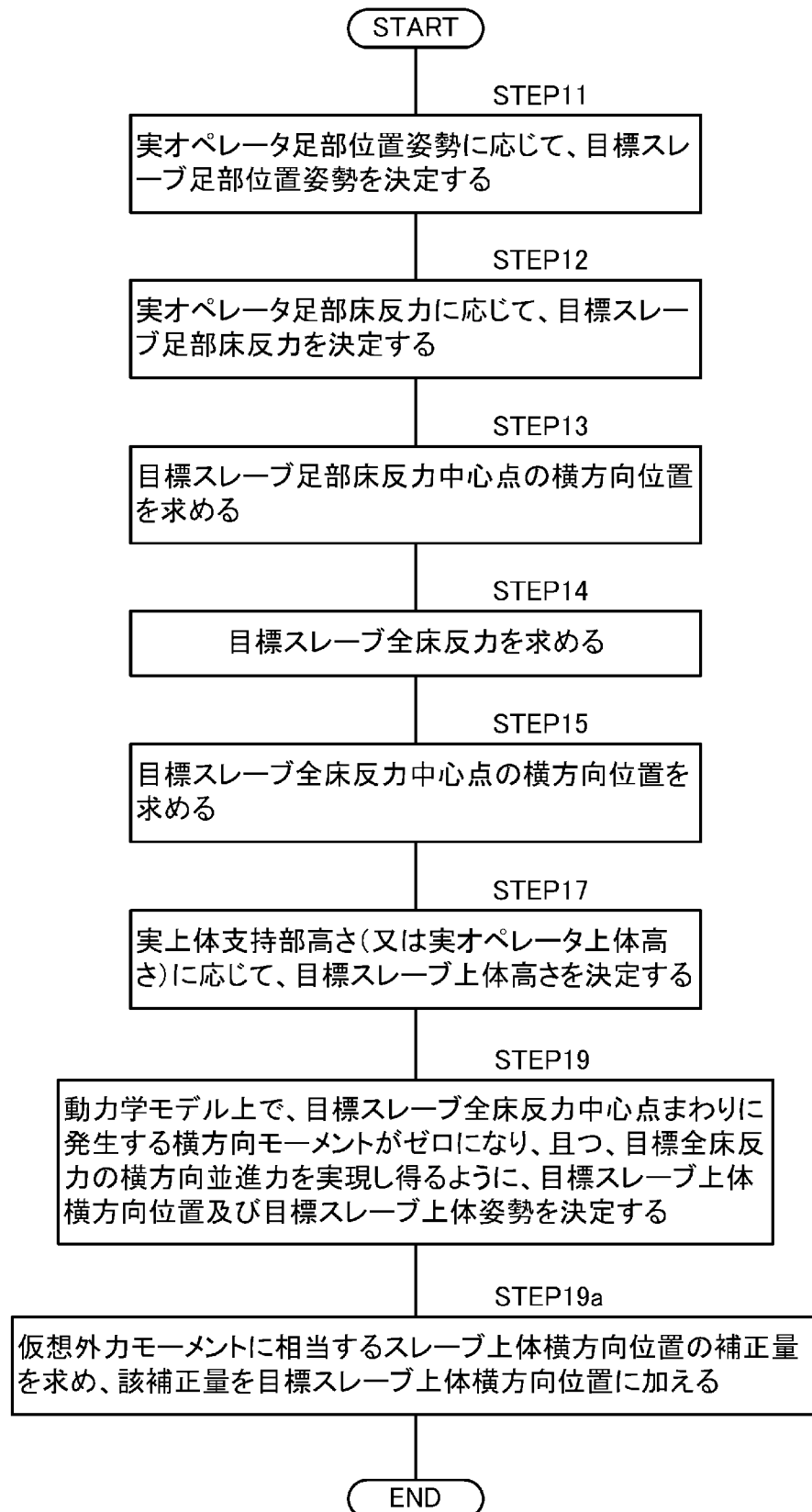


[図27]

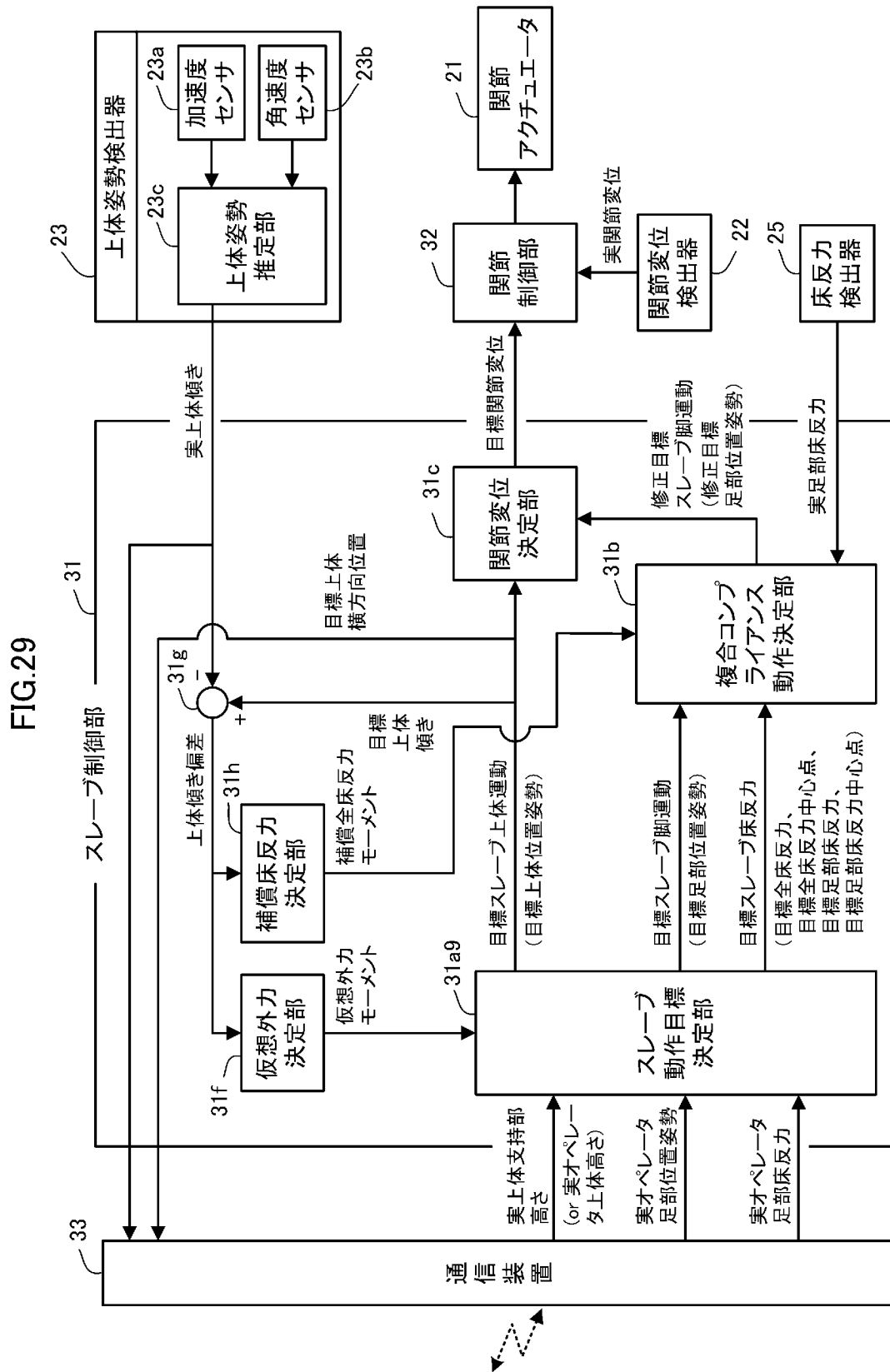


[図28]

FIG.28

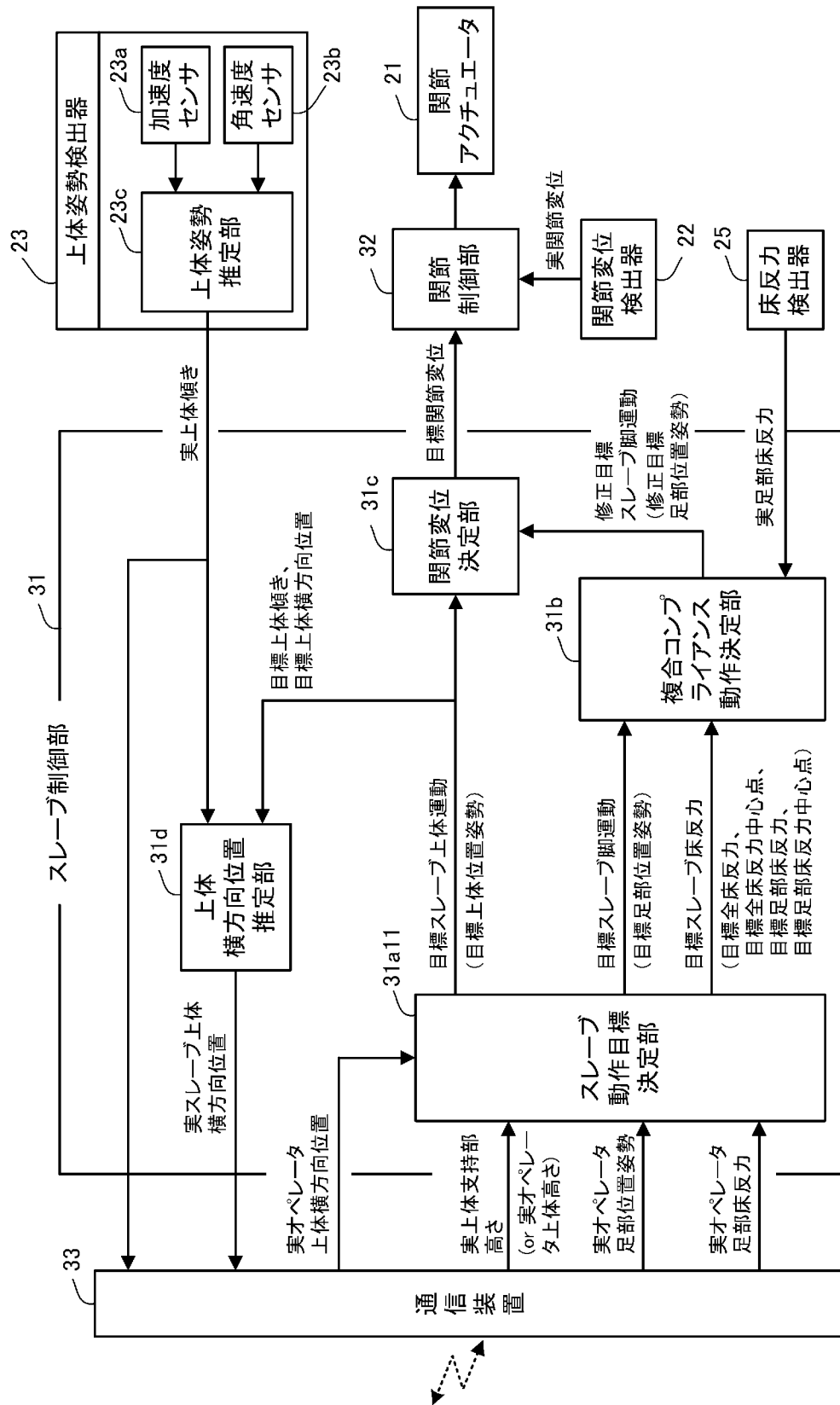


[図29]



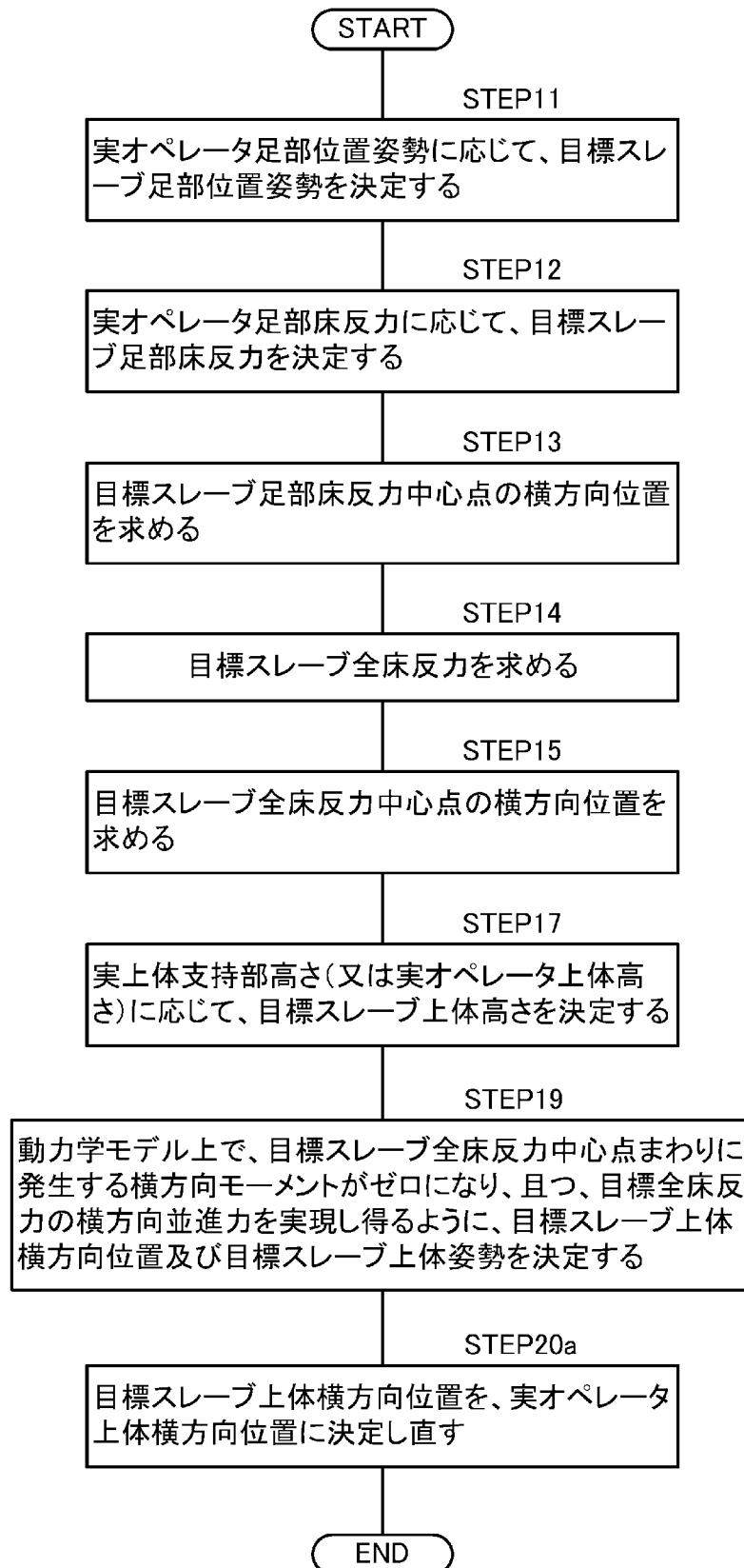
[図30]

FIG.30

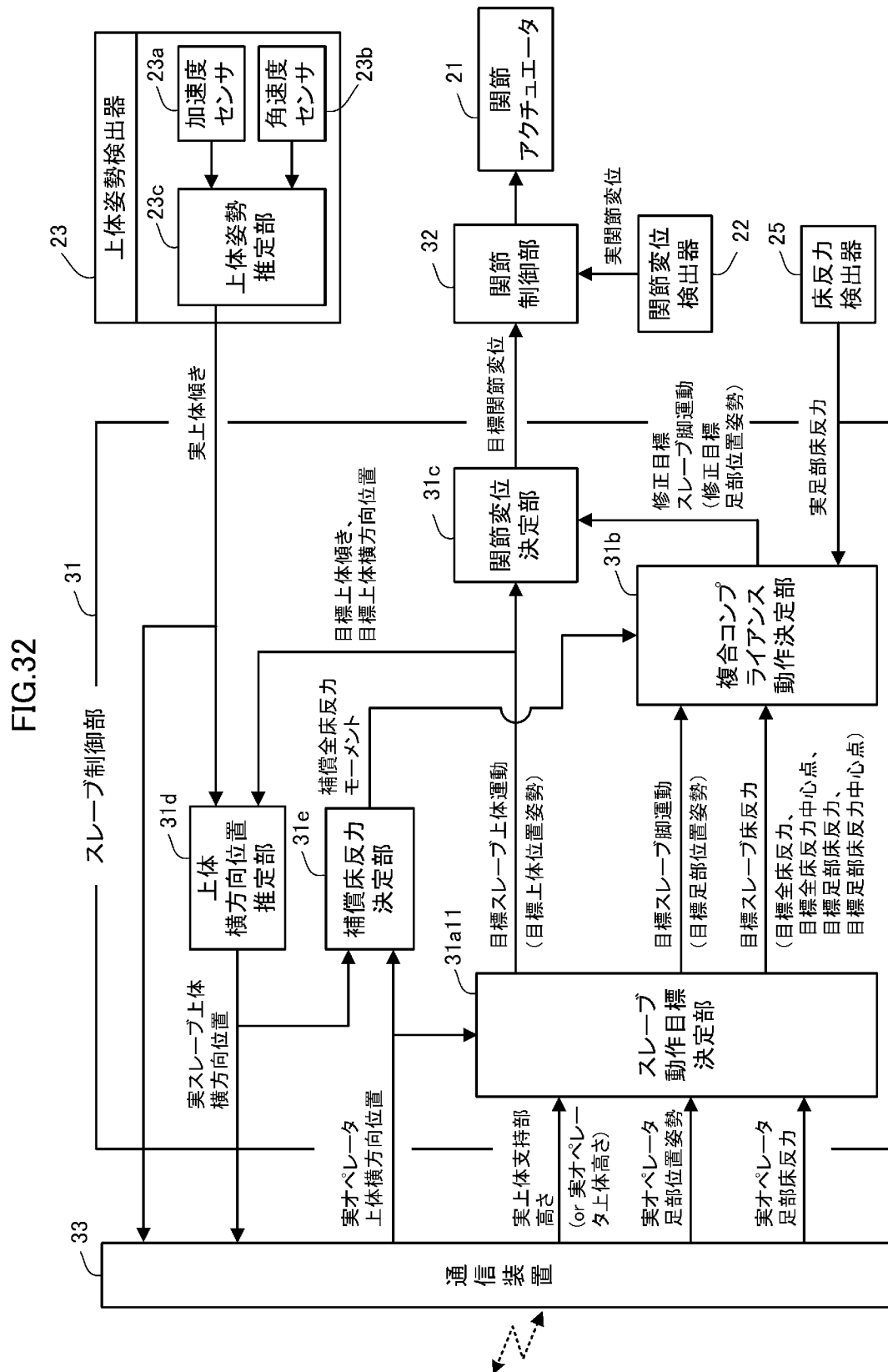


[図31]

FIG.31

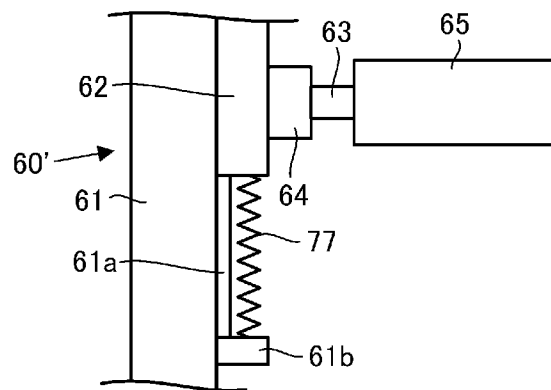


[図32]

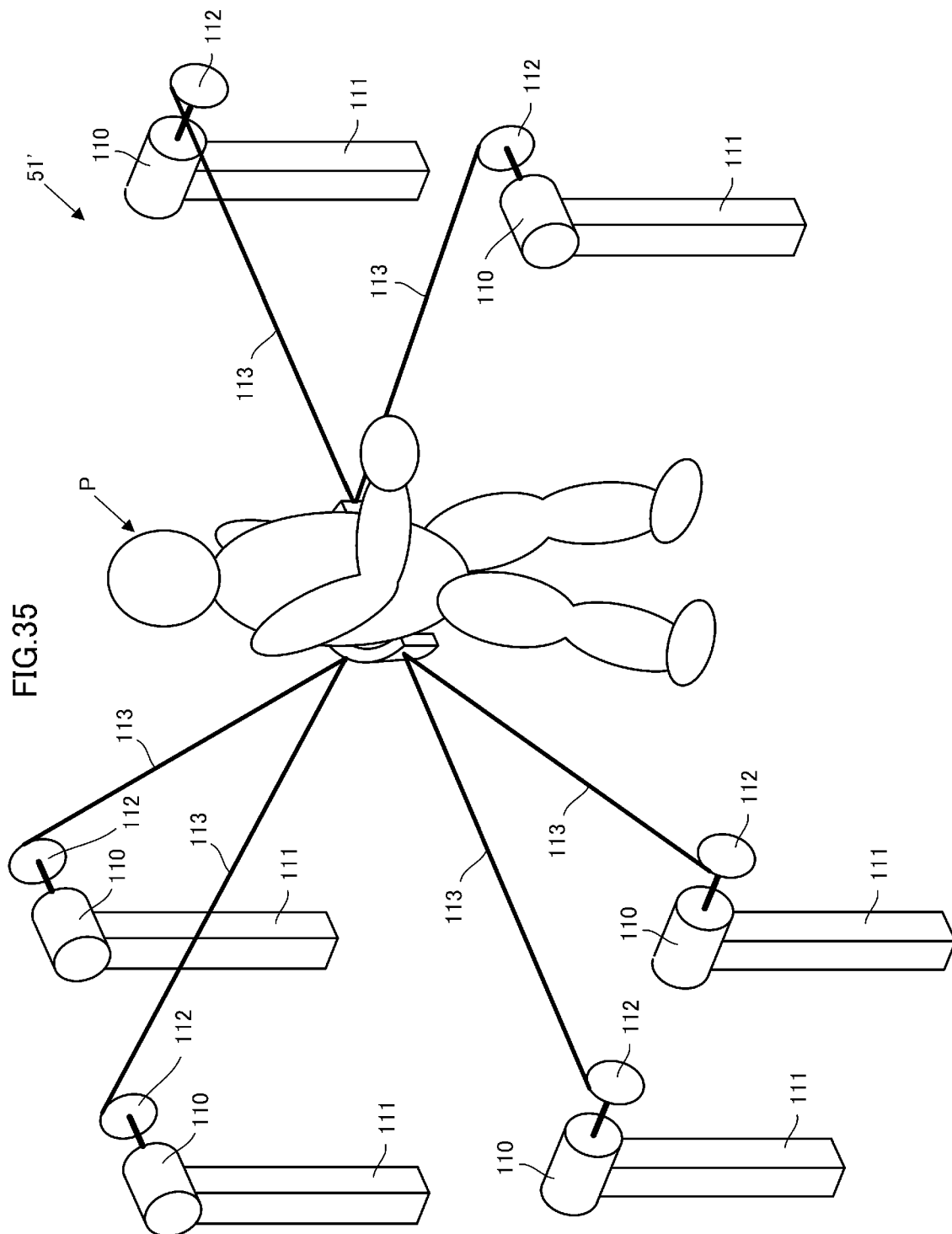


[図33]

FIG.33



[図35]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/021739

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B25J3/00(2006.01) i, B25J5/00(2006.01) i

FI: B25J3/00Z, B25J5/00F

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)

Int.Cl. B25J3/00, B25J5/00

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.
A	JP 10-217159 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 18.08.1998 (1998-08-18), entire text, all drawings	1-21
A	JP 10-277969 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 20.10.1998 (1998-10-20), entire text, all drawings	1-21
A	JP 2001-191272 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD.) 17.07.2001 (2001-07-17), entire text, all drawings	1-21

☐ 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

"T" 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
13.08.2020

Date of mailing of the international search report
25.08.2020

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

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/021739

JP 10-217159 A	18.08.1998	US 5841258 A whole document
JP 10-277969 A	20.10.1998	US 6243623 B1 whole document WO 1998/033629 A1 EP 1053835 A1 DE 69836765 T2
JP 2001-191272 A	17.07.2001	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 3/00(2006.01)i; B25J 5/00(2006.01)i FI: B25J3/00 Z; B25J5/00 F														
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）） B25J3/00; B25J5/00														
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												
A	JP 10-217159 A（本田技研工業株式会社）18.08.1998（1998 - 08 - 18） 全文、全図	1 - 2 1												
A	JP 10-277969 A（本田技研工業株式会社）20.10.1998（1998 - 10 - 20） 全文、全図	1 - 2 1												
A	JP 2001-191272 A（川崎重工業株式会社）17.07.2001（2001 - 07 - 17） 全文、全図	1 - 2 1												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 13.08.2020	国際調査報告の発送日 25.08.2020													
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） 武市 匡紘 3U 4414 電話番号 03-3581-1101 内線 3364													

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/JP2020/021739

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	10-217159	A	18.08.1998	US	5841258	A	
				Whole Document			
JP	10-277969	A	20.10.1998	US	6243623	B1	
				Whole Document			
				WO	1998/033629	A1	
				EP	1053835	A1	
				DE	69836765	T2	
JP	2001-191272	A	17.07.2001	(ファミリーなし)			