

(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
2011 年 3 月 24 日(24.03.2011)

PCT

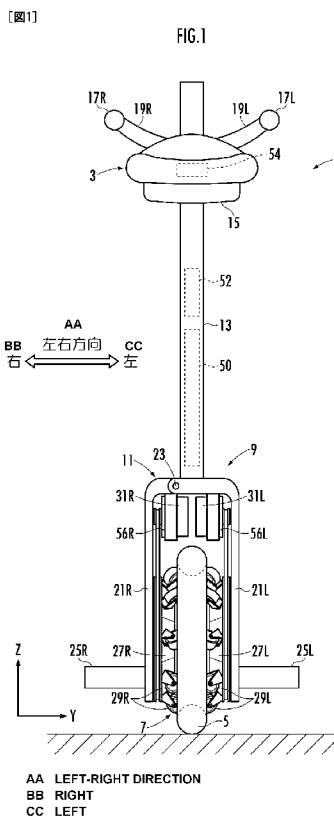
(10) 国際公開番号
WO 2011/033596 A1

- (51) 国際特許分類:
B62K 17/00 (2006.01) B62K 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/004777
- (22) 国際出願日: 2009 年 9 月 18 日(18.09.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹中 透 (TAKENAKA, Toru) [JP/JP]; 〒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). 秋元 一志 (AKIMOTO, Kazushi) [JP/JP]; 〒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). 小橋 慎一郎 (KOBASHI, Shinichiro) [JP/JP]; 〒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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: INVERTED PENDULUM-TYPE VEHICLE CONTROLLER

(54) 発明の名称: 倒立振り子型車両の制御装置



(57) Abstract: Disclosed is an inverted pendulum-type vehicle controller that, regardless of the weight of an object carried on a tiltable loading portion of the vehicle, can control the tilt angle and so on of the loading portion so that an appropriate driving force can be imparted to a movement actuating portion. Velocity command values that specify a target value for the movement velocity of a movement actuating portion (5) are consecutively determined in such a way that the tilt deviation, which is the deviation between the measured value of the tilt angle of a loading portion (3) of an inverted pendulum-type vehicle (1) and the predetermined target tilt angle value thereof, approaches "0", and an actuator device (7) is controlled in such a way that the actual movement velocity of the movement actuating portion (5) follows the target value of the movement velocity specified by the velocity command value.

(57) 要約: 倒立振り子型車両の傾動自在な搭載部に搭載される運搬対象物体の重量によらずに、該搭載部の傾斜角度等を制御する上で適切な駆動力を移動動作部に付与することができる制御装置を提供する。倒立振り子型車両 1 の搭載部 3 の傾斜角度の計測値と所定値の目標傾斜角度との偏差である傾斜偏差を "0" に近づけるように移動動作部 5 の移動速度の目標値を規定する速度指令値を逐次決定し、この速度指令値により規定される移動速度の目標値に移動動作部 5 の実際の移動速度を追従させるようにアクチュエータ装置 7 を制御する。



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 倒立振子型車両の制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、床面上を移動可能な倒立振子型車両の制御装置に関する。

背景技術

[0002] 倒立振子型車両は、床面上を移動する移動動作部と、この移動動作部を駆動するアクチュエータ装置とが組み付けられた基体に、鉛直方向に対して傾動自在な乗員の搭乗部が組み付けられた車両であり、搭乗部の傾斜角度をある目標傾斜角度に保つために（搭乗部が傾倒しないようにするために）、倒立振子の支点を動かすような形態で、移動動作部を移動させる必要がある車両である。

[0003] そして、この種の倒立振子型車両の制御技術としては、例えば、特許文献1に見られるものが本願出願人により提案されている。

[0004] この特許文献1には、乗員の搭乗部が組み付けられた車両の基体が球体状の移動動作部に対して前後方向の軸周りと左右方向の軸周りとの2軸周りに傾動自在に設けられた倒立振子型車両の制御技術が記載されている。この技術では、搭乗部の傾斜角度（前後方向及び左右方向の2軸周りの傾斜角度）の計測値を所要の目標傾斜角度に収束させ、また、車両の前後方向及び左右方向の移動速度の計測値を目標速度に収束させるように、アクチュエータとしての電動モータのトルク指令値を決定し、このトルク指令値に応じて電動モータの運転制御を行なうことで、車両を移動させるようにしている。

[0005] なお、倒立振子型車両として機能し得る車両としては、特許文献2、3に見られるものも本願出願人により提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第3070015号

特許文献2：PCT国際公開公報WO／2008／132778

特許文献3：PCT国際公開公報WO／2008／132779

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] ところで、倒立振子型車両の搭乗部の傾斜角度の計測値を所要の目標傾斜角度に収束させ、また、車両の移動速度の計測値を目標速度に収束させるために適切な移動動作部の駆動力は、車両に搭載する運搬対象物体（乗員や荷物等）の重量の影響を受ける。
- [0008] 一方、前記特許文献1に見られる制御技術では、電動モータのトルク指令値、ひいては該電動モータにより移動動作部に付与する駆動力は、搭乗部の傾斜角度の計測値と目標斜角度との偏差、並びに、車両の移動速度の計測値と目標速度との偏差に応じて決定される。従って、特許文献1に見られる制御技術では、電動モータのトルク指令値は、搭乗部に搭乗する乗員の重量が変化しても、上記偏差だけに依存して決定されることとなる。
- [0009] このため、特許文献1に見られる制御技術では、搭乗部に搭乗する乗員に重量によっては、移動動作部に電動モータから付与される駆動力の過不足を生じ易い。ひいては、搭乗部の傾斜角度や車両の移動速度の発振が生じたり、該傾斜角度や移動速度の制御の応答性が低下する恐れがある。
- [0010] そして、このことは、車両に乗員（人）が搭乗する場合に限らず、荷物等の運搬対象物体を搭載して運搬するような作業に用いられる倒立振子型車両においても同様である。
- [0011] 本発明は、かかる背景に鑑みてなされたものであり、倒立振子型車両の傾動自在な搭載部に搭載される運搬対象物体の重量によらずに、該搭載部の傾斜角度等を制御する上で適切な駆動力を移動動作部に付与することができる制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0012] 本発明の倒立振子型車両の制御装置は、かかる目的を達成するために、床面上を移動可能な移動動作部と、該移動動作部を駆動するアクチュエータ装置と、該移動動作部及びアクチュエータ装置が組付けられた基体と、鉛直方

向に対して傾動自在に前記基体に組付けられた運搬対象物体の搭載部とを備えた倒立振子型車両の制御装置であって、

前記搭載部の実際の傾斜角度に応じた出力を生成する傾斜角度計測手段と、

少なくとも、前記傾斜角度計測手段の出力が示す前記搭載部の傾斜角度の計測値と所定値の目標傾斜角度との偏差である傾斜偏差を用いて、該傾斜偏差を“0”に近づけるように前記移動動作部の移動速度の目標値を規定する速度指令値を逐次決定する速度指令値決定手段と、

該速度指令値決定手段により決定された速度指令値により規定される移動速度の目標値に前記移動動作部の実際の移動速度を追従させるように前記アクチュエータ装置を制御するアクチュエータ制御手段とを備えることを特徴とする（第1発明）。

[0013] なお、本発明において、「床」は、通常的な意味での床（屋内の床など）だけを意味するものではなく、屋外の地面もしくは路面をも含むものとして使用する。

[0014] 前記第1発明によれば、前記傾斜偏差を“0”に近づけるように前記速度指令値が決定される。すなわち、傾斜偏差を“0”に近づけるようにアクチュエータ装置を制御するための操作量（制御入力）として、前記速度指令値が決定される。そして、アクチュエータ制御手段は、この速度指令値により規定される移動速度の目標値に、前記移動動作部の実際の移動速度を追従させるように前記アクチュエータ装置を制御する。

[0015] ここで、前記搭載部に搭載される運搬対象物体の傾動動作（詳しくは、運搬対象物体を含めた車両の全体のうち、搭載部と一体に傾動可能な部分の重心点の傾動動作）は、倒立振子の挙動と同様の挙動となる。このため、前記傾斜偏差の経時的な変化の形態は、該搭載部に搭載される運搬対象物体の重量によらずに、前記移動動作部の移動速度の経時的な変化の形態、ひいては、前記速度指令値の時系列に依存するものとなる。

[0016] 従って、第1発明によれば、搭載部に搭載される運搬対象物体の重量によ

らずに、前記傾斜偏差を“0”に近づける上で適切な駆動力を移動動作部に付与することができる。

[0017] なお、第1発明において、前記速度指令値は、典型的には、移動動作部の移動速度（並進速度）そのもの指令値でよいが、例えば、該移動速度にあらかじめ定めた定数値を乗じてなる値（移動速度に比例する値）であってもよい。

[0018] また、前記目標傾斜角度としては、例えば、運搬対象物体を含めた車両の全体のうち、搭載部と一体に傾動可能な部分の全体の重心点が該搭載部の傾動中心（傾動の支点）の直上もしくはほぼ直上に位置する状態（すなわち当該重心点に作用する重力によって、該傾動中心の周りに発生するモーメントが“0”もしくはほぼ“0”となる状態）での該搭載部の傾斜角度を採用することができる。

[0019] かかる第1発明においては、前記速度指令値決定手段は、少なくとも前記傾斜偏差に応じて前記移動動作部の移動加速度の目標値を規定する加速度指令値を逐次決定し、その決定した加速度指令値を積分することにより前記速度指令値を決定することが好ましい（第2発明）。

[0020] この第2発明によれば、前記傾斜偏差に応じて加速度指令値を決定した上で、この加速度指令値を積分することによって前記速度指令値が決定される。このため、速度指令値の急激な変動を抑制して、該速度指令値を滑らかに変化させることができる。その結果、移動動作部の移動速度の変化を滑らかに行なうことができる。また、車両の運動の状態量の制御の自由度が高まる。例えば、前記搭載部の実際の傾斜角度を目標傾斜角度に近づける（前記傾斜偏差を“0”に近づける）ことに加えて、前記運搬対象物体を含めた前記車両の全体のうち、前記搭載部と一体に傾動可能な部分の所定の代表点（例えば、該搭載部と一体に傾動可能な部分の全体の重心点）の実際の移動速度を所定の目標値（例えば、“0”）に近づけるように、移動動作部の移動動作を制御する場合に、搭載部の傾斜角度の制御特性と上記代表点の移動速度の制御特性とを相互に影響を受け難いようにして設定することが可能となる。

。

[0021] なお、上記の如く搭載部の傾斜角度と上記所定の代表点の移動速度とを制御する場合には、例えば、次のような態様を採用することができる。すなわち、前記傾斜角度計測手段に加えて、さらに、前記所定の代表点の実際の移動速度（以下、代表点速度ということがある）に応じた出力を生成する代表点速度計測手段を備えておく。そして、前記速度指令値決定手段は、例えば、少なくとも、前記傾斜偏差に第1ゲイン係数を乗じてなる操作量成分と、前記代表点速度の計測値（前記代表点速度計測手段の出力が示す代表点速度の計測値）と該代表点の移動速度の所定の目標値との偏差である代表点速度偏差に第2ゲイン係数を乗じてなる操作量成分とを合成することによって、前記加速度指令値を決定する。

[0022] 補足すると、前記第1発明において、少なくとも、前記傾斜偏差に第1ゲイン係数を乗じてなる操作量成分と、上記代表点速度偏差に第2ゲイン係数を乗じてなる操作量成分とを合成することによって、前記速度指令値を決定するようにすることも可能である。但し、この場合には、前記加速度指令値を決定する場合に較べて、第1ゲイン係数及び第2ゲイン係数の値の設定の自由度が低くなる。

[0023] 上記第1発明又は第2発明では、倒立振子型車両は、その前記移動動作部が、床面上を1方向にのみ移動可能に構成されていると共に、前記搭載部が、該1方向と直交する方向の軸周りに傾動自在に前記基体に組付けられている車両でもよい。

[0024] あるいは、前記移動動作部が、床面上を互いに直交する第1の方向及び第2の方向を含む全方向に移動可能に構成されており、前記搭載部が、前記第1の方向の軸周りと第2の方向の軸周りとの2軸周りで傾動自在に前記基体に組付けられていてもよい。

[0025] このように前記移動動作部が全方向に移動可能であると共に、前記搭載部が、2軸周りで傾動自在である場合には、前記アクチュエータ装置は、例えば、前記移動動作部に駆動力を付与する2つの回転アクチュエータを備える

と共に、該2つの回転アクチュエータのそれぞれの回転速度を制御することによって前記移動動作部の移動速度の2次元ベクトルである速度ベクトルを制御可能に構成される。そして、この場合には、前記速度指令値決定手段が決定する速度指令値は、前記移動動作部の速度ベクトルを規定する指令値であり、前記アクチュエータ制御手段は、前記決定された速度指令値を前記2つの回転アクチュエータのそれぞれの回転速度を規定するアクチュエータ速度指令値に変換し、そのアクチュエータ速度指令値に応じて前記2つの回転アクチュエータを制御することが好ましい（第3発明）。

[0026] なお、第3発明において、前記移動動作部が、「第1の方向及び第2の方向を含む全方向に移動可能」ということは、該第1の方向及び第2の方向に直交する軸方向で見た場合における各瞬間での該移動動作部の速度ベクトルの向きが、前記アクチュエータ装置による移動動作部の駆動によって、上記軸方向の周りの任意の角度方向の向きを採り得るということを意味する。この場合、上記軸方向は、概ね、上下方向又は床面に垂直な方向である。また、本発明における「直交」は厳密な意味での直交であることは必須ではなく、本発明の本質を逸脱しない範囲で、厳密な意味での直交から若干のずれがあってもよい。

[0027] この第3発明によれば、前記移動動作部の速度ベクトルを構成する2つの成分（例えば前記第1の方向の成分と第2の方向の成分）のそれぞれが、前記2つの回転アクチュエータの回転速度の両方に依存するような場合であっても、その依存性によらずに前記速度指令値を決定できる。そして、この速度指令値を決定した上で、この速度指令値を変換することによって、前記2つの回転アクチュエータのアクチュエータ速度指令値を決定するので、該アクチュエータ速度指令値を決定するためのアルゴリズムの構築が容易になる。

[0028] この第3発明において、前記移動動作部及びアクチュエータ装置の構成は、例えば次のような構成を採用することができる。すなわち、例えば、前記移動動作部は、床面上を輪転自在な車輪形状に形成されると共に、その径方

向での横断面の中心軸の周りに回転可能に構成され、当該回転動作と前記中心軸の周りの回転動作とによって前記全方向に移動可能な移動動作部であり、前記アクチュエータ装置は、前記移動動作部の回転の回転軸心である回転軸心の方向での該移動動作部の両側で該回転軸心の周りに回転自在に配置された2つの回転部材と、該移動動作部と各回転部材との間で前記回転軸心の周りに配列されると共に、該回転軸心に対して傾斜した回転軸心周りに回転自在で、且つ、該回転部材と一体に前記回転軸心の周りに回転し得るように該回転部材に保持され、さらにそれぞれの外周面が前記移動動作部に圧接された複数のローラとを備え、該2つの回転部材のそれぞれを各別の前記回転アクチュエータにより回転駆動することによって、前記移動動作部を回転させる第1駆動力と該移動動作部を前記中心軸の周りに回転させる第2駆動力との合成駆動力を前記移動動作部と前記複数のローラとの間の摩擦力によって該移動動作部に付与するように構成される。

[0029] なお、上記「中心軸」はより詳しくは、移動動作部の径方向の横断面（移動動作部の回転軸心を含む横断面）の中心を通して移動動作部の周方向に延在する環状の軸線を意味する。

[0030] このように前記移動動作部及びアクチュエータ装置が構成されている場合には、前記移動動作部の速度ベクトルが、前記回転軸心の方向の速度成分を有する場合、すなわち、前記中心軸の周りでの移動動作部の回転動作が行なわれる場合に、前記第2の駆動力に応じて、前記複数のローラと移動動作部との間の滑り状態が変化する。ひいては、前記2つの回転アクチュエータの回転速度と、移動動作部の速度ベクトルのうちの前記回転軸心の方向の成分との間の関係が前記第2の駆動力に応じて変化する。

[0031] そこで、上記のように前記移動動作部及びアクチュエータ装置が構成されている場合には、前記速度指令値決定手段は、前記アクチュエータ装置によって前記移動動作部に実際に付与される前記合成駆動力のうちの前記第2駆動力を観測し、第2駆動力の観測値（検出値又は推定値）に応じて前記速度指令値を補正する手段をさらに備えることが好ましい（第4発明）。

[0032] この第 4 発明によれば、上記の滑り状態の変化の影響を補償して、移動動作部の実際の移動速度を前記速度指令値に追従させる上で適切なアクチュエータ速度指令値を決定できる。このため、移動動作部の実際の移動速度の、速度指令値に対する追従性を高めることができる。

図面の簡単な説明

- [0033] [図1]実施形態の倒立振子型車両の正面図。
[図2]実施形態の倒立振子型車両の側面図。
[図3]実施形態の倒立振子型車両の下部を拡大して示す図。
[図4]実施形態の倒立振子型車両の下部の斜視図。
[図5]実施形態の倒立振子型車両の移動動作部（車輪体）の斜視図。
[図6]実施形態の倒立振子型車両の移動動作部（車輪体）とフリーローラとの配置関係を示す図。
[図7]実施形態の倒立振子型車両の制御ユニットの処理を示すフローチャート。
[図8]実施形態の倒立振子型車両の動力学的挙動を表現する倒立振子モデルを示す図。
[図9]図 7 の S T E P 9 の処理に係わる処理機能を示すブロック図。
[図10]図 9 に示すゲイン調整部の処理機能を示すブロック図。
[図11]図 1 0 に示すリミット処理部（又は図 1 2 に示すリミット処理部）の処理機能を示すブロック図。
[図12]図 9 に示す重心速度制限部 7 6 の処理機能を示すブロック図。
[図13]図 9 に示す姿勢制御演算部 8 0 の処理機能を示すブロック図。

発明を実施するための形態

[0034] [第 1 実施形態]

本発明の第 1 実施形態を以下に説明する。まず、図 1 ～図 6 を参照して、本実施形態における倒立振子型車両の構造を説明する。

[0035] 図 1 及び図 2 に示すように、本実施形態における倒立振子型車両 1 は、該車両 1 の運搬対象物体としての乗員（運転者）の搭乗部 3 と、床面に接地し

ながら該床面上を全方向（前後方向及び左右方向を含む２次元的な全方向）に移動可能な移動動作部５と、この移動動作部５を駆動する動力を該移動動作部５に付与するアクチュエータ装置７と、これらの搭乗部３、移動動作部５及びアクチュエータ装置７が組付けられた基体９とを備える。

[0036] ここで、本実施形態の説明では、「前後方向」、「左右方向」は、それぞれ、搭乗部３に標準的な姿勢で搭乗した乗員の上体の前後方向、左右方向に一致もしくはほぼ一致する方向を意味する。なお、「標準的な姿勢」は、搭乗部３に関して設計的に想定されている姿勢であり、乗員の上体の体幹軸を概ね上下方向に向け、且つ、上体を捻ったりしていない姿勢である。

[0037] この場合、図１においては、「前後方向」、「左右方向」はそれぞれ、紙面に垂直な方向、紙面の左右方向であり、図２においては、「前後方向」、「左右方向」はそれぞれ、紙面の左右方向、紙面に垂直な方向である。また、本実施形態の説明では、参照符号に付する添え字「Ｒ」、「Ｌ」は、それぞれ車両１の右側、左側に対応するものという意味で使用する。

[0038] 基体９は、移動動作部５及びアクチュエータ装置７とが組付けられた下部フレーム１１と、この下部フレーム１１の上端から上方に延設された支柱フレーム１３とを備える。

[0039] 支柱フレーム１３の上部には、該支柱フレーム１３から前方側に張り出したシートフレーム１５が固定されている。そして、このシートフレーム１５上に、乗員が着座するシート３が装着されている。本実施形態では、このシート３が乗員の搭乗部（運搬対象物体の搭載部）となっている。従って、本実施形態における倒立振子型車両１（以降、単に車両１という）は、乗員がシート３に着座した状態で、床面上を移動するものである。

[0040] また、シート３の左右には、シート３に着座した乗員が必要に応じて把持するためのグリップ１７Ｒ、１７Ｌが配置され、これらのグリップ１７Ｒ、１７Ｌがそれぞれ、支柱フレーム１３（又はシートフレーム１５）から延設されたブラケット１９Ｒ、１９Ｌの先端部に固定されている。

[0041] 下部フレーム１１は、左右方向に間隔を存して二股状に対向するように配

置された一対のカバー部材 2 1 R, 2 1 L を備える。これらのカバー部材 2 1 R, 2 1 L の上端部（二股の分岐部分）は、前後方向の軸心を有するヒンジ軸 2 3 を介して連結され、カバー部材 2 1 R, 2 1 L の一方が他方に対して相対的にヒンジ軸 2 3 の周りに揺動可能となっている。この場合、カバー部材 2 1 R, 2 1 L は、図示を省略するバネによって、カバー部材 2 1 R, 2 1 L の下端部側（二股の先端側）が狭まる方向に付勢されている。

[0042] また、カバー部材 2 1 R, 2 1 L のそれぞれの外面部には、前記シート 3 に着座した乗員の右足を載せるステップ 2 5 R と左足を載せるステップ 2 5 L とが各々、右向き、左向きに張り出すように突設されている。

[0043] 移動動作部 5 及びアクチュエータ装置 7 は、下部フレーム 1 1 のカバー部材 2 1 R, 2 1 L の間に配置されている。これらの移動動作部 5 及びアクチュエータ装置 7 の構造を図 3 ～図 6 を参照して説明する。

[0044] なお、本実施形態で例示する移動動作部 5 及びアクチュエータ装置 7 は、例えば前記特許文献 2 の図 1 に開示されているものと同じ構造のものである。従って、本実施形態の説明においては、移動動作部 5 及びアクチュエータ装置 7 の構成に関して、前記特許文献 2 に記載された事項については、簡略的な説明に留める。

[0045] 本実施形態では、移動動作部 5 は、ゴム状弾性材により円環状に形成された車輪体であり、ほぼ円形の横断面形状を有する。この移動動作部 5（以降、車輪体 5 という）は、その弾性変形によって、図 5 及び図 6 の矢印 Y 1 で示す如く、円形の横断面の中心 C 1（より詳しくは、円形の横断面中心 C 1 を通って、車輪体 5 の軸心と同心となる円周線）の周りに回転可能となっている。

[0046] この車輪体 5 は、その軸心 C 2（車輪体 5 全体の直径方向に直交する軸心 C 2）を左右方向に向けた状態で、カバー部材 2 1 R, 2 1 L の間に配置され、該車輪体 5 の外周面の下端部にて床面に接地する。

[0047] そして、車輪体 5 は、アクチュエータ装置 7 による駆動（詳細は後述する）によって、図 5 の矢印 Y 2 で示す如く車輪体 5 の軸心 C 2 の周りに回転す

る動作（床面上を輪転する動作）と、車輪体5の横断面中心C1の周りに回転する動作とを行なうことが可能である。その結果、車輪体5は、それらの回転動作の複合動作によって、床面上を全方向に移動することが可能となっている。

[0048] 補足すると、軸心C2は、本発明における輪転軸心に相当し、横断面中心C1は、本発明における中心軸に相当するものである。

[0049] アクチュエータ装置7は、車輪体5と右側のカバー部材21Rとの間に介装される回転部材27R及びフリーローラ29Rと、車輪体5と左側のカバー部材17Lとの間に介装される回転部材27L及びフリーローラ29Lと、回転部材27R及びフリーローラ29Rの上方に配置されたアクチュエータとしての電動モータ31Rと、回転部材27L及びフリーローラ29Lの上方に配置されたアクチュエータとしての電動モータ31Lとを備える。なお、電動モータ31R、31Lは本発明における2つの回転アクチュエータに相当するものである。

[0050] 電動モータ31R、31Lは、それぞれのハウジングがカバー部材21R、21Lに各々取付けられている。なお、図示は省略するが、電動モータ31R、31Lの電源（蓄電器）は、支柱フレーム13等、基体9の適所に搭載されている。

[0051] 回転部材27Rは、左右方向の軸心を有する支軸33Rを介してカバー部材21Rに回転可能に支持されている。同様に、回転部材27Lは、左右方向の軸心を有する支軸33Lを介してカバー部材21Lに回転可能に支持されている。この場合、回転部材27Rの回転軸心（支軸33Rの軸心）と、回転部材27Lの回転軸心（支軸33Lの軸心）とは同軸心である。

[0052] 回転部材27R、27Lは、それぞれ電動モータ31R、31Lの出力軸に、減速機としての機能を含む動力伝達機構を介して接続されており、電動モータ31R、31Lからそれぞれ伝達される動力（トルク）によって回転駆動される。各動力伝達機構は、例えばプーリ・ベルト式のものである。すなわち、図3に示す如く、回転部材27Rは、プーリ35Rとベルト37R

とを介して電動モータ 31 R の出力軸に接続されている。同様に、回転部材 27 L は、プーリ 35 L とベルト 37 L とを介して電動モータ 31 L の出力軸に接続されている。

[0053] なお、上記動力伝達機構は、例えば、スプロケットとリンクチェーンとにより構成されるもの、あるいは、複数のギヤにより構成されるものであってもよい。また、例えば、電動モータ 31 R, 31 L を、それぞれの出力軸が各回転部材 27 R, 27 L と同軸心になるように各回転部材 27 R, 27 L に対向させて配置し、電動モータ 31 R, 31 L のそれぞれの出力軸を回転部材 27 R, 27 L に各々、減速機（遊星歯車装置等）を介して連結するようにしてもよい。

[0054] 各回転部材 27 R, 27 L は、車輪体 5 側に向かって縮径する円錐台と同様の形状に形成されており、その外周面がテーパ外周面 39 R, 39 L となっている。

[0055] 回転部材 27 R のテーパ外周面 39 R の周囲には、回転部材 27 R と同心の円周上に等間隔で並ぶようにして、複数のフリーローラ 29 R が配列されている。そして、これらのフリーローラ 29 R は、それぞれ、ブラケット 41 R を介してテーパ外周面 39 R に取付けられ、該ブラケット 41 R に回転自在に支承されている。

[0056] 同様に、回転部材 27 L のテーパ外周面 39 L の周囲には、回転部材 27 L と同心の円周上に等間隔で並ぶようにして、複数（フリーローラ 29 R と同数）のフリーローラ 29 L が配列されている。そして、これらのフリーローラ 29 L は、それぞれ、ブラケット 41 L を介してテーパ外周面 39 L に取付けられ、該ブラケット 41 L に回転自在に支承されている。

[0057] 前記車輪体 5 は、回転部材 27 R 側のフリーローラ 29 R と、回転部材 27 L 側のフリーローラ 29 L との間に挟まれるようにして、回転部材 27 R, 27 L と同軸心に配置されている。

[0058] この場合、図 1 及び図 6 に示すように、各フリーローラ 29 R, 29 L は、その軸心 C3 が車輪体 5 の軸心 C2 に対して傾斜すると共に、車輪体 5 の

直径方向（車輪体 5 をその軸心 C 2 の方向で見たときに、該軸心 C 2 と各フリーローラ 29 R, 29 L とを結ぶ径方向）に対して傾斜する姿勢で配置されている。そして、このような姿勢で、各フリーローラ 29 R, 29 L のそれぞれの外周面が車輪体 5 の内周面に斜め方向に圧接されている。

[0059] より一般的に言えば、右側のフリーローラ 29 R は、回転部材 27 R が軸心 C 2 の周りに回転駆動されたときに、車輪体 5 との接触面で、軸心 C 2 周りの方向の摩擦力成分（車輪体 5 の内周の接線方向の摩擦力成分）と、車輪体 5 の前記横断面中心 C 1 の周り方向の摩擦力成分（円形の横断面の接線方向の摩擦力成分）とを車輪体 5 に作用させ得るような姿勢で、車輪体 5 の内周面に圧接されている。左側のフリーローラ 29 L についても同様である。

[0060] なお、上記軸心 C 2 周りの方向の摩擦力成分と、上記横断面中心 C 1 の周り方向の摩擦力成分とは、それぞれ、本発明における第 1 の駆動力、第 2 の駆動力に相当するものである。

[0061] この場合、前記したように、カバー部材 21 R, 21 L は、図示しないバネによって、カバー部材 21 R, 21 L の下端部側（二股の先端側）が狭まる方向に付勢されている。このため、この付勢力によって、右側のフリーローラ 29 R と左側のフリーローラ 29 L との間に車輪体 5 が挟持されると共に、車輪体 5 に対する各フリーローラ 29 R, 29 L の圧接状態（より詳しくはフリーローラ 29 R, 29 L と車輪体 5 との間で摩擦力が作用し得る圧接状態）が維持される。

[0062] 以上説明した構造を有する車両 1 においては、電動モータ 31 R, 31 L によりそれぞれ、回転部材 27 R, 27 L を同方向に等速度で回転駆動した場合には、車輪体 5 が回転部材 27 R, 27 L と同方向に軸心 C 2 の周りに回転することとなる。これにより、車輪体 5 が床面上を前後方向に輪転して、車両 1 の全体が前後方向に移動することとなる。なお、この場合は、車輪体 5 は、その横断面中心 C 1 の周りには回転しない。

[0063] また、例えば、回転部材 27 R, 27 L を互いに逆方向に同じ大きさの速度で回転駆動した場合には、車輪体 5 は、その横断面中心 C 1 の周りに回転

することとなる。これにより、車輪体 4 がその軸心 C 2 の方向（すなわち左右方向）に移動し、ひいては、車両 1 の全体が左右方向に移動することとなる。なお、この場合は、車輪体 5 は、その軸心 C 2 の周りには回転しない。

[0064] さらに、回転部材 2 7 R, 2 7 L を、互いに異なる速度（方向を含めた速度）で、同方向又は逆方向に回転駆動した場合には、車輪体 5 は、その軸心 C 2 の周りに回転すると同時に、その横断面中心 C 1 の周りに回転することとなる。

[0065] この時、これらの回転動作の複合動作（合成動作）によって、前後方向及び左右方向に対して傾斜した方向に車輪体 5 が移動し、ひいては、車両 1 の全体が車輪体 5 と同方向に移動することとなる。この場合の車輪体 5 の移動方向は、回転部材 2 7 R, 2 7 L の回転方向を含めた回転速度（回転方向に応じて極性が定義された回転速度ベクトル）の差に依存して変化するものとなる。

[0066] 以上のように車輪体 5 の移動動作が行なわれるので、電動モータ 3 1 R, 3 1 L のそれぞれの回転速度（回転方向を含む）を制御し、ひいては回転部材 2 7 R, 2 7 L の回転速度を制御することによって、車両 1 の移動速度及び移動方向を制御できることとなる。

[0067] なお、シート（搭乗部）3 及び基体 9 は、車輪体 5 の軸心 C 2 を支点として、左右方向の軸心 C 2 周りに傾動自在となっていると共に、車輪体 5 の接地面（下端面）を支点として、前後方向の軸周りに該車輪体 5 と共に傾動自在となっている。

[0068] 次に、本実施形態の車両 1 の動作制御のための構成を説明する。なお、以降の説明では、図 1 及び図 2 に示すように、前後方向の水平軸を X 軸、左右方向の水平軸を Y 軸、鉛直方向を Z 軸とする X Y Z 座標系を想定し、前後方向、左右方向をそれぞれ X 軸方向、Y 軸方向と言うことがある。

[0069] まず、車両 1 の概略的な動作制御を説明すると、本実施形態では、基本的には、シート 3 に着座した乗員がその上体を傾けた場合（詳しくは、乗員と車両 1 とを合わせた全体の重心点の位置（水平面に投影した位置）を動かす

ように上体を傾けた場合)に、該上体を傾けた側に基体 9 がシート 3 と共に傾動する。そして、この時、基体 9 が傾いた側に車両 1 が移動するように、車輪体 5 の移動動作が制御される。例えば、乗員が上体を前傾させ、ひいては、基体 9 をシート 3 と共に前傾させると、車両 1 が前方に移動するように、車輪体 5 の移動動作が制御される。

[0070] すなわち、本実施形態では、乗員が上体を動かし、ひいては、シート 3 と共に基体 9 を傾動させるという動作が、車両 1 に対する 1 つの基本的な操縦操作（車両 1 の動作要求）とされ、その操縦操作に応じて車輪体 5 の移動動作がアクチュエータ装置 7 を介して制御される。

[0071] ここで、本実施形態の車両 1 は、その全体の接地面としての車輪体 5 の接地面が、車両 1 とこれに搭乗する乗員との全体を床面に投影した領域に比して面積が小さい単一の局所領域となり、その単一の局所領域だけに床反力が作用する。このため、基体 9 が傾倒しないようにするためには、乗員及び車両 1 の全体の重心点が車輪体 5 の接地面のほぼ真上に位置するように、車輪体 5 を動かす必要がある。

[0072] そこで、本実施形態では、乗員及び車両 1 の全体の重心点が、車輪体 5 の中心点（軸心 C 2 上の中心点）のほぼ真上に位置する状態（より正確には当該重心点が車輪体 5 の接地面のほぼ真上に位置する状態）での基体 9 の姿勢を目標姿勢とし、基本的には、基体 9 の実際の姿勢を目標姿勢に収束させるように、車輪体 5 の移動動作が制御される。

[0073] さらに、車両 1 に乗員が搭乗していない状態では、車両 1 の単体の重心点が、車輪体 5 の中心点（軸心 C 2 上の中心点）のほぼ真上に位置する状態（より正確には当該重心点が車輪体 5 の接地面のほぼ真上に位置する状態）での基体 9 の姿勢を目標姿勢とし、該基体 9 の実際の姿勢を目標姿勢に収束させ、ひいては、基体 9 が傾倒することなく車両 1 が自立するように、車輪体 5 の移動動作が制御される。

[0074] また、車両 1 に乗員が搭乗している状態と搭乗していない状態とのいずれの状態においても、基体 9 の実際の姿勢の目標姿勢からずれが大きいほど、

車両 1 の移動速度が速くなると共に、基体 9 の実際の姿勢の目標姿勢に一致する状態では、車両 1 の移動が停止するように車輪体 5 の移動動作が制御される。

[0075] 補足すると、「姿勢」は空間的な向きを意味する。本実施形態では、基体 9 がシート 3 と共に傾動することで、基体 9 やシート 3 の姿勢が変化する。また、本実施形態では、基体 9 とシート 3 とは一体的に傾動するので、基体 9 の姿勢をその目標姿勢に収束させるということは、シート 3 の姿勢を該シート 3 に対応する目標姿勢（基体 9 の姿勢が基体 9 の目標姿勢に一致する状態でのシート 3 の姿勢）に収束させるということと等価である。

[0076] 本実施形態では、以上の如き車両 1 の動作制御を行なうために、図 1 及び図 2 に示すように、マイクロコンピュータや電動モータ 3 1 R, 3 1 L のドライブ回路ユニットなどを含む電子回路ユニットにより構成された制御ユニット 5 0 と、基体 9 の所定の部位の鉛直方向（重力方向）に対する傾斜角度 θb 及びその変化速度（ $=d\theta b/dt$ ）を計測するための傾斜センサ 5 2 と、車両 1 に乗員が搭乗しているか否かを検知するための荷重センサ 5 4 と、電動モータ 3 1 R, 3 1 L のそれぞれの出力軸の回転角度及び回転角速度を検出するための角度センサとしてのロータリエンコーダ 5 6 R, 5 6 L とがそれぞれ、車両 1 の適所に搭載されている。

[0077] この場合、制御ユニット 5 0 及び傾斜センサ 5 2 は、例えば、基体 9 の支柱フレーム 1 3 の内部に收容された状態で該支柱フレーム 1 3 に取付けられている。また、荷重センサ 5 4 は、シート 3 に内蔵されている。また、ロータリエンコーダ 5 6 R, 5 6 L は、それぞれ、電動モータ 3 1 R, 3 1 L と一体に設けられている。なお、ロータリエンコーダ 5 6 R, 5 6 L は、それぞれ、回転部材 2 7 R, 2 7 L に装着してもよい。

[0078] 上記傾斜センサ 5 2 は、より詳しくは、加速度センサとジャイロセンサ等のレートセンサ（角速度センサ）とから構成され、これらのセンサの検出信号を制御ユニット 5 0 に出力する。そして、制御ユニット 5 0 が、傾斜センサ 5 2 の加速度センサ及びレートセンサの出力を基に、所定の計測演算処理

（これは公知の演算処理でよい）を実行することによって、傾斜センサ 5 2 を搭載した部位（本実施形態では支柱フレーム 1 3）の、鉛直方向に対する傾斜角度 θ_b の計測値とその変化速度（微分値）である傾斜角速度 $\dot{\theta}_b$ の計測値とを算出する。

[0079] この場合、計測する傾斜角度 θ_b （以降、基体傾斜角度 θ_b ということがある）は、より詳しくは、それぞれ、Y 軸周り方向（ピッチ方向）の成分 θ_{b_x} と、X 軸周り方向（ロール方向）の成分 θ_{b_y} とから成る。同様に、計測する傾斜角速度 $\dot{\theta}_b$ （以降、基体傾斜角速度 $\dot{\theta}_b$ ということがある）も、Y 軸周り方向（ピッチ方向）の成分 $\dot{\theta}_{b_x}$ （ $=d\theta_{b_x}/dt$ ）と、X 軸周り方向（ロール方向）の成分 $\dot{\theta}_{b_y}$ （ $=d\theta_{b_y}/dt$ ）とから成る。

[0080] 補足すると、本実施形態では、基体 9 の支柱フレーム 1 3 と一体にシート 3 が傾動するので、基体傾斜角度 θ_b は、搭乗部 3 の傾斜角度としての意味も持つ。

[0081] なお、本実施形態の説明では、上記基体傾斜角度 θ_b など、X 軸及び Y 軸の各方向（又は各軸周り方向）の成分を有する運動状態量等の変数、あるいは、該運動状態量に関連する係数等の変数に関しては、その各成分を区別して表記する場合に、該変数の参照符号に、添え字 “_x” 又は “_y” を付加する。

[0082] この場合において、並進速度等の並進運動に係わる変数については、その X 軸方向の成分に添え字 “_x” を付加し、Y 軸方向の成分に添え字 “_y” を付加する。

[0083] 一方、角度、回転速度（角速度）、角加速度など、回転運動に係わる変数については、並進運動に係わる変数と添え字を揃えるために、便宜上、Y 軸周り方向の成分に添え字 “_x” を付加し、X 軸周り方向の成分に添え字 “_y” を付加する。

[0084] さらに、X 軸方向の成分（又は Y 軸周り方向の成分）と、Y 軸方向の成分（又は X 軸周り方向の成分）との組として変数を表記する場合には、該変数の参照符号に添え字 “_xy” を付加する。例えば、上記基体傾斜角度 θ_b を、

Y軸周り方向の成分 θ_{b_x} とX軸周り方向の成分 θ_{b_y} の組として表現する場合には、「基体傾斜角度 θ_{b_xy} 」というように表記する。

[0085] 前記荷重センサ54は、乗員がシート3に着座した場合に該乗員の重量による荷重を受けるようにシート3に内蔵され、その荷重に応じた検出信号を制御ユニット50に出力する。そして、制御ユニット50が、この荷重センサ54の出力により示される荷重の計測値に基づいて、車両1に乗員が搭乗しているか否かを判断する。

[0086] なお、荷重センサ54の代わりに、例えば、乗員がシート3に着座したときにONとなるようなスイッチ式のセンサを用いてもよい。

[0087] ロータリエンコーダ56Rは、電動モータ31Rの出力軸が所定角度回転する毎にパルス信号を発生し、このパルス信号を制御ユニット50に出力する。そして、制御ユニット50が、そのパルス信号を基に、電動モータ53Rの出力軸の回転角度を計測し、さらにその回転角度の計測値の時間的変化率（微分値）を電動モータ53Rの回転角速度として計測する。電動モータ31L側のロータリエンコーダ56Lについても同様である。

[0088] 制御ユニット50は、上記の各計測値を用いて所定の演算処理を実行することによって、電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度の目標値である速度指令を決定し、その速度指令に従って、電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度をフィードバック制御する。

[0089] なお、電動モータ31Rの出力軸の回転角速度と、回転部材27Rの回転角速度との間の関係は、該出力軸と回転部材27Rとの間の一定値の減速比に応じた比例関係になるので、本実施形態の説明では、便宜上、電動モータ31Rの回転角速度は、回転部材27Rの回転角速度を意味するものとする。同様に、電動モータ31Lの回転角速度は、回転部材27Lの回転角速度を意味するものとする。

[0090] 以下に、制御ユニット50の制御処理をさらに詳細に説明する。

[0091] 制御ユニット50は、所定の制御処理周期で図7のフローチャートに示す処理（メインルーチン処理）を実行する。

- [0092] まず、STEP 1において、制御ユニット50は、傾斜センサ52の出力を取得する。
- [0093] 次いで、STEP 2に進んで、制御ユニット50は、取得した傾斜センサ52の出力を基に、基体傾斜角度 θb の計測値 θb_{xy_s} と、基体傾斜角速度 $\theta bdot$ の計測値 $\theta bdot_{xy_s}$ とを算出する。
- [0094] なお、以降の説明では、上記計測値 θb_{xy_s} など、変数（状態量）の実際の値の観測値（計測値又は推定値）を参照符号により表記する場合に、該変数の参照符号に、添え字“_s”を付加する。
- [0095] 次いで、制御ユニット50は、STEP 3において、荷重センサ54の出力を取得した後、STEP 4の判断処理を実行する。この判断処理においては、制御ユニット50は、取得した荷重センサ54の出力が示す荷重計測値があらかじめ設定された所定値よりも大きいかな否かによって、車両1に乗員が搭乗しているかな否か（シート3に乗員が着座しているかな否か）を判断する。
- [0096] そして、制御ユニット50は、STEP 4の判断結果が肯定的である場合には、基体傾斜角度 θb の目標値 θb_{xy_obj} を設定する処理と、車両1の動作制御用の定数パラメータ（各種ゲインの基本値など）の値を設定する処理とを、それぞれSTEP 5、6で実行する。
- [0097] STEP 5においては、制御ユニット50は、基体傾斜角度 θb の目標値 θb_{xy_obj} として、あらかじめ定められた搭乗モード用の目標値を設定する。
- [0098] ここで、「搭乗モード」は、車両1に乗員が搭乗している場合での車両1の動作モードを意味する。この搭乗モード用の目標値 θb_{xy_obj} は、車両1とシート3に着座した乗員との全体の重心点（以降、車両・乗員全体重心点という）が車輪体5の接地面のほぼ真上に位置する状態となる基体9の姿勢において、傾斜センサ52の出力に基づき計測される基体傾斜角度 θb の計測値 θb_{xy_s} に一致又はほぼ一致するようにあらかじめ設定されている。
- [0099] また、STEP 6においては、制御ユニット50は、車両1の動作制御用の定数パラメータの値として、あらかじめ定められた搭乗モード用の値を設

定する。なお、定数パラメータは、後述する h_x , h_y , $K_{i_a_x}$, $K_{i_b_x}$, $K_{i_a_y}$, $K_{i_b_y}$ ($i = 1, 2, 3$) 等である。

[0100] 一方、STEP 4 の判断結果が否定的である場合には、制御ユニット 50 は、基体傾斜角度 θ_{b_xy} の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ を設定する処理と、車両 1 の動作制御用の定数パラメータの値を設定する処理とを、STEP 7、8 で実行する。

[0101] STEP 7 においては、制御ユニット 50 は、傾斜角度 θ_b の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ として、あらかじめ定められた自立モード用の目標値を設定する。

[0102] ここで、「自立モード」は、車両 1 に乗員が搭乗していない場合での車両 1 の動作モードを意味する。この自立モード用の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ は、車両 1 単体の重心点（以降、車両単体重心点という）が車輪体 5 の接地面のほぼ真上に位置する状態となる基体 9 の姿勢において、傾斜センサ 52 の出力に基づき計測される基体傾斜角度 θ_b の計測値 $\theta_{b_xy_s}$ に一致又はほぼ一致するようにあらかじめ設定されている。この自立モード用の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ は、搭乗モード用の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ と一般的には異なる。

[0103] また、STEP 8 においては、制御ユニット 50 は、車両 1 の動作制御用の定数パラメータの値として、あらかじめ定められた自立モード用の値を設定する。この自立モード用の定数パラメータの値は、搭乗モード用の定数パラメータの値と異なる。

[0104] 搭乗モードと自立モードとで、上記定数パラメータの値を異ならせるのは、それぞれのモードで上記重心点の高さや、全体質量等が異なることに起因して、制御入力に対する車両 1 の動作の応答特性が互いに異なるからである。

[0105] 以上の STEP 4 ~ 8 の処理によって、搭乗モード及び自立モードの各動作モード毎に各別に、基体傾斜角度 θ_{b_xy} の目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ と定数パラメータの値とが設定される。

[0106] なお、STEP 5, 6 の処理、又は STEP 7, 8 の処理は、制御処理周期毎に実行することは必須ではなく、STEP 4 の判断結果が変化した場合

にだけ実行するようにしてもよい。

[0107] 補足すると、搭乗モード及び自立モードのいずれにおいても、基体傾斜角速度 $\theta \dot{b}$ の Y 軸周り方向の成分 $\theta \dot{b}_x$ の目標値と X 軸周り方向の成分 $\theta \dot{b}_y$ の目標値とは、いずれも “0” である。このため、基体傾斜角速度 $\theta \dot{b}_{ot_xy}$ の目標値を設定する処理は不要である。

[0108] 以上の如く S T E P 5, 6 の処理、又は S T E P 7, 8 の処理を実行した後、制御ユニット 50 は、次に S T E P 9 において、車両制御演算処理を実行することによって、電動モータ 31 R, 31 L のそれぞれの速度指令を決定する。この車両制御演算処理の詳細は後述する。

[0109] 次いで、S T E P 10 に進んで、制御ユニット 50 は、S T E P 9 で決定した速度指令に応じて電動モータ 31 R, 31 L の動作制御処理を実行する。この動作制御処理では、制御ユニット 50 は、S T E P 9 で決定した電動モータ 31 R の速度指令と、ロータリエンコーダ 56 R の出力に基づき計測した電動モータ 31 R の回転速度の計測値との偏差に応じて、該偏差を “0” に収束させるように電動モータ 31 R の出力トルクの目標値（目標トルク）を決定する。そして、制御ユニット 50 は、その目標トルクの出力トルクを電動モータ 31 R に出力させるように該電動モータ 31 R の通電電流を制御する。より詳しくは、制御ユニット 50 は、目標トルクに応じて電動モータ 31 R の通電電流の指令値を決定し、その決定した通電電流の指令値に、実際の通電電流を一致させるように該通電電流をフィードバック制御する。電動モータ 31 L の動作制御についても同様である。

[0110] 以上が、制御ユニット 50 が実行する全体的な制御処理である。

[0111] 次に、上記 S T E P 9 の車両制御演算処理の詳細を説明する。

[0112] なお、以降の説明においては、前記搭乗モードにおける車両・乗員全体重心点と、前記自立モードにおける車両単体重心点とを総称的に、車両系重心点という。該車両系重心点は、車両 1 の動作モードが搭乗モードである場合には、車両・乗員全体重心点を意味し、自立モードである場合には、車両単体重心点を意味する。

- [0113] また、以降の説明では、制御ユニット 50 が各制御処理周期で決定する値（更新する値）に関し、現在の（最新の）制御処理周期で決定する値を今回値、その 1 つ前の制御処理周期で決定した値を前回値ということがある。そして、今回値、前回値を特にことわらない値は、今回値を意味する。
- [0114] また、X 軸方向の速度及び加速度に関しては、前向きを正の向きとし、Y 軸方向の速度及び加速度に関しては、左向きを正の向きとする。
- [0115] 本実施形態では、前記車両系重心点の動力的な挙動（詳しくは、Y 軸方向からこれに直交する面（XZ 平面）に投影して見た挙動と、X 軸方向からこれに直交する面（YZ 平面）に投影して見た挙動）が、近似的に、図 8 に示すような、倒立振子モデルの挙動（倒立振子の動力的挙動）によって表現されるものとして、STEP 9 の車両制御演算処理が行なわれる。
- [0116] なお、図 8 において、括弧を付していない参照符号は、Y 軸方向から見た倒立振子モデルに対応する参照符号であり、括弧付きの参照符号は、X 軸方向から見た倒立振子モデルに対応する参照符号である。
- [0117] この場合、Y 軸方向から見た挙動を表現する倒立振子モデルは、車両系重心点に位置する質点 60_x と、Y 軸方向に平行な回転軸 62_a_x を有して床面上を輪転自在な仮想的な車輪 62_x（以降、仮想車輪 62_x という）とを備える。そして、質点 60_x が、仮想車輪 62_x の回転軸 62_a_x に直線状のロッド 64_x を介して支持され、該回転軸 62_a_x を支点として該回転軸 62_a_x の周りに揺動自在とされている。
- [0118] この倒立振子モデルでは、質点 60_x の運動が、Y 軸方向から見た車両系重心点の運動に相当する。また、鉛直方向に対するロッド 64_x の傾斜角度 θ_{be_x} が Y 軸周り方向での基体傾斜角度計測値 $\theta_{b_x_s}$ と基体傾斜角度目標値 $\theta_{b_x_obj}$ との偏差 $\theta_{be_x_s}$ ($= \theta_{b_x_s} - \theta_{b_x_obj}$) に一致するものとされる。また、ロッド 64_x の傾斜角度 θ_{be_x} の変化速度 ($= d\theta_{be_x}/dt$) が Y 軸周り方向の基体傾斜角速度計測値 $\theta_{b_dot_x_s}$ に一致するものとされる。また、仮想車輪 62_x の移動速度 V_{w_x} (X 軸方向の並進移動速度) は、車両 1 の車輪体 5 の X 軸方向の移動速度に一致するものとされる。

[0119] 同様に、X軸方向から見た挙動を表現する倒立振子モデル（図8の括弧付きの符号を参照）は、車両系重心点に位置する質点60_yと、X軸方向に平行な回転軸62_a_yを有して床面上を輪転自在な仮想的な車輪62_y（以降、仮想車輪62_yという）とを備える。そして、質点60_yが、仮想車輪62_yの回転軸62_a_yに直線状のロッド64_yを介して支持され、該回転軸62_a_yを支点として該回転軸62_a_yの周りに揺動自在とされている。

[0120] この倒立振子モデルでは、質点60_yの運動が、X軸方向から見た車両系重心点の運動に相当する。また、鉛直方向に対するロッド64_yの傾斜角度 θ_{be_y} がX軸周り方向での基体傾斜角度計測値 $\theta_{b_y_s}$ と基体傾斜角度目標値 $\theta_{b_y_obj}$ との偏差 $\theta_{be_y_s}$ （ $=\theta_{b_y_s}-\theta_{b_y_obj}$ ）に一致するものとされる。また、ロッド64_yの傾斜角度 θ_{be_y} の変化速度（ $=d\theta_{be_y}/dt$ ）がX軸周り方向の基体傾斜角速度計測値 $\theta_{b_dot_y_s}$ に一致するものとされる。また、仮想車輪62_yの移動速度 V_{w_y} （Y軸方向の並進移動速度）は、車両1の車輪体5のY軸方向の移動速度に一致するものとされる。

[0121] なお、仮想車輪62_x、62_yは、それぞれ、あらかじめ定められた所定値 R_{w_x} 、 R_{w_y} の半径を有するものとされる。

[0122] また、仮想車輪62_x、62_yのそれぞれの回転角速度 ω_{w_x} 、 ω_{w_y} と、電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度 ω_R 、 ω_L （より正確には、回転部材27R、27Lのそれぞれの回転角速度 ω_R 、 ω_L ）との間には、次式01a、01bの関係が成立するものとされる。

[0123]

$$\omega_{w_x} = (\omega_R + \omega_L) / 2 \quad \cdots \cdots \text{式01a}$$

$$\omega_{w_y} = C \cdot (\omega_R - \omega_L) / 2 \quad \cdots \cdots \text{式01b}$$

なお、式01bにおける“C”は、前記フリーローラ29R、29Lと車輪体5との間の機構的な関係や滑りに依存する所定値の係数である。また、 ω_{w_x} 、 ω_R 、 ω_L の正の向きは、仮想車輪62_xが前方に向かって輪転する場合の該仮想車輪62_xの回転方向、 ω_{w_y} の正の向きは、仮想車輪62_yが

左向きに輪転する場合の該仮想車輪 6 2 _y の回転方向である。

[0124] ここで、図 8 に示す倒立振子モデルの動力学は、次式 0 3 x, 0 3 y により表現される。なお、式 0 3 x は、Y 軸方向から見た倒立振子モデルの動力学を表現する式、式 0 3 y は、X 軸方向から見た倒立振子モデルの動力学を表現する式である。

[0125]

$$d^2 \theta_{be_x} / dt^2 = \alpha_x \cdot \theta_{be_x} + \beta_x \cdot \omega_{w_dot_x} \quad \cdots \cdots \text{式 0 3 x}$$

$$d^2 \theta_{be_y} / dt^2 = \alpha_y \cdot \theta_{be_y} + \beta_y \cdot \omega_{w_dot_y} \quad \cdots \cdots \text{式 0 3 y}$$

式 0 3 x における $\omega_{w_dot_x}$ は仮想車輪 6 2 _x の回転角加速度（回転角速度 ω_{w_x} の 1 階微分値）、 α_x は、質点 6 0 _x の質量や高さ h_x に依存する係数、 β_x は、仮想車輪 6 2 _x のイナーシャ（慣性モーメント）や半径 R_{w_x} に依存する係数である。式 0 3 y における $\omega_{w_dot_y}$ 、 α_y 、 β_y についても上記と同様である。なお、式 0 3 x における α_x 、 β_x は、質点 6 0 _x の高さ h_x がほぼ一定値であれば、質点 6 0 _x の質量（車両系重心点の質量）にほとんど依存しない値となる。同様に、式 0 3 y における α_y 、 β_y は、質点 6 0 _y の高さ h_y がほぼ一定値であれば、質点 6 0 _y の質量（車両系重心点の質量）にほとんど依存しない値となる。

[0126] これらの式 0 3 x, 0 3 y から判るように、倒立振子の質点 6 0 _x, 6 0 _y の運動（ひいては車両系重心点の運動）は、それぞれ、仮想車輪 6 2 _x の回転角加速度 $\omega_{w_dot_x}$ 、仮想車輪 6 2 _y の回転角加速度 $\omega_{w_dot_y}$ に依存して規定される。

[0127] そこで、本実施形態では、Y 軸方向から見た車両系重心点の運動を制御するための基本の操作量（制御入力）として、仮想車輪 6 2 _x の回転角加速度 $\omega_{w_dot_x}$ を用いると共に、X 軸方向から見た車両系重心点の運動を制御するための基本の操作量（制御入力）として、仮想車輪 6 2 _y の回転角加速度 $\omega_{w_dot_y}$ を用いる。

[0128] そして、STEP 9 の車両制御演算処理を概略的に説明すると、制御ユニ

ット50は、X軸方向で見た質点60_xの運動と、Y軸方向で見た質点60_yの運動とが、車両系重心点の所望の運動に対応する運動となるように、基本の操作量としての上記回転角加速度 $\omega\dot{w}_{dot_x}$ 、 $\omega\dot{w}_{dot_y}$ の指令値（目標値）である仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ 、 $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ を決定する。さらに、制御ユニット50は、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ 、 $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ をそれぞれ積分してなる値を、仮想車輪62_x、62_yのそれぞれの回転角速度 $\omega w_{_x}$ 、 $\omega w_{_y}$ の指令値（目標値）である仮想車輪回転角速度指令 $\omega w_{_x_cmd}$ 、 $\omega w_{_y_cmd}$ として決定する。

[0129] そして、制御ユニット50は、仮想車輪回転角速度指令 $\omega w_{_x_cmd}$ に対応する仮想車輪62_xの移動速度（ $=Rw_{_x} \cdot \omega w_{_x_cmd}$ ）と、仮想車輪回転角速度指令 $\omega w_{_y_cmd}$ に対応する仮想車輪62_yの移動速度（ $=Rw_{_y} \cdot \omega w_{_y_cmd}$ ）とを、それぞれ、車両1の車輪体5のX軸方向の目標移動速度、Y軸方向の目標移動速度とし、それらの目標移動速度を実現するように、電動モータ31R、31Lのそれぞれの速度指令 $\omega_{_R_cmd}$ 、 $\omega_{_L_cmd}$ を決定する。

[0130] なお、本実施形態では、操作量（制御入力）としての上記仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ 、 $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ は、それぞれ、後述する式07_x、07_yに示す如く、3個の操作量成分を加え合わせることで決定される。

[0131] 補足すると、本実施形態における基本の操作量（制御入力）としての上記仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ 、 $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ のうち、 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ は、X軸方向に移動する仮想車輪62_xの回転角速度の目標値であるから、車輪体5のX軸方向の移動加速度の目標値（ $=Rw_{_x} \cdot \omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ ）を規定する加速度指令値として機能するものとなる。また、 $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ は、Y軸方向に移動する仮想車輪62_yの回転角速度であるから、車輪体5のY軸方向の移動加速度の目標値（ $=Rw_{_y} \cdot \omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ ）を規定する加速度指令値として機能するものとなる。そして、 $\omega\dot{w}_{dot_x_cmd}$ を積分してなる仮想車輪回転角速度指令 $\omega w_{_x_cmd}$ と $\omega\dot{w}_{dot_y_cmd}$ を積分してなる仮想車輪回転角速度指令 $\omega w_{_y_cmd}$ とが、それぞれ、車輪体5のX軸方向、Y軸方向の移動速度の

目標値（換言すれば、車輪体 5 の速度ベクトルの目標値）を規定する速度指令値として機能するものとなる。本実施形態では、これらの仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ の組が、電動モータ 31 R, 31 L の制御用の操作量として用いられる。

[0132] 制御ユニット 50 は、上記の如き、STEP 9 の車両制御演算処理を実行するための機能として、図 9 のブロック図で示す機能を備えている。

[0133] すなわち、制御ユニット 50 は、基体傾斜角度計測値 $\theta_{b_xy_s}$ と基体傾斜角度目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ との偏差である基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_xy_s}$ を算出する偏差演算部 70 と、前記車両系重心点の移動速度である重心速度 V_{b_xy} の観測値としての重心速度推定値 $V_{b_xy_s}$ を算出する重心速度算出部 72 と、電動モータ 31 R, 31 L の回転角速度の許容範囲に応じた制限を加味して、重心速度 V_{b_xy} の目標値としての制御用目標重心速度 $V_{b_xy_mdfd}$ を決定する重心速度制限部 76 と、後述する式 07x, 07y のゲイン係数の値を調整するためのゲイン調整パラメータ K_{r_xy} を決定するゲイン調整部 78 とを備える。

[0134] 制御ユニット 50 は、さらに、前記仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ を算出する姿勢制御演算部 80 と、この仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ を、右側の電動モータ 31 R の速度指令 ω_{R_cmd} （回転角速度の指令値）と左側の電動モータ 31 L の速度指令 ω_{L_cmd} （回転角速度の指令値）との組に変換するモータ指令演算部 82 とを備える。

[0135] なお、図 9 中の参照符号 84 を付したものは、姿勢制御演算部 70 が制御処理周期毎に算出する仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ を入力する遅延要素を示している。該遅延要素 84 は、各制御処理周期において、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ の前回値 $\omega_{w_xy_cmd_p}$ を出力する。

[0136] 前記 STEP 9 の車両制御演算処理では、これらの上記の各処理部の処理が以下に説明するように実行される。

[0137] すなわち、制御ユニット 50 は、まず、偏差演算部 70 の処理と重心速度算出部 72 の処理とを実行する。

[0138] 偏差演算部 70 には、前記 STEP 2 で算出された基体傾斜角度計測値 θb_{xy_s} (θb_{x_s} 及び θb_{y_s}) と、前記 STEP 5 又は STEP 7 で設定された目標値 θb_{xy_obj} (θb_{x_obj} 及び θb_{y_obj}) とが入力される。そして、偏差演算部 70 は、 θb_{x_s} から θb_{x_obj} を減算することによって、Y 軸周り方向の基体傾斜角度偏差計測値 θbe_{x_s} ($= \theta b_{x_s} - \theta b_{x_obj}$) を算出すると共に、 θb_{y_s} から θb_{y_obj} を減算することによって、X 軸周り方向の基体傾斜角度偏差計測値 θbe_{y_s} ($= \theta b_{y_s} - \theta b_{y_obj}$) を算出する。

[0139] なお、偏差演算部 70 の処理は、STEP 9 の車両制御演算処理の前に行なうようにしてもよい。例えば、前記 STEP 5 又は 7 の処理の中で、偏差演算部 70 の処理を実行してもよい。

[0140] 前記重心速度算出部 72 には、前記 STEP 2 で算出された基体傾斜角速度計測値 $\theta bdot_{xy_s}$ ($\theta bdot_{x_s}$ 及び $\theta bdot_{y_s}$) の今回値が入力されると共に、仮想車輪速度指令 ωw_{xy_cmd} の前回値 $\omega w_{xy_cmd_p}$ ($\omega w_{x_cmd_p}$ 及び $\omega w_{y_cmd_p}$) が遅延要素 84 から入力される。そして、重心速度算出部 72 は、これらの入力値から、前記倒立振子モデルに基づく所定の演算式によって、重心速度推定値 Vb_{xy_s} (Vb_{x_s} 及び Vb_{y_s}) を算出する。

[0141] 具体的には、重心速度算出部 72 は、次式 05 x, 05 y により、 Vb_{x_s} 及び Vb_{y_s} をそれぞれ算出する。

[0142]

$$Vb_{x_s} = Rw_x \cdot \omega w_{x_cmd_p} + h_x \cdot \theta bdot_{x_s} \quad \cdots \cdots 05 x$$

$$Vb_{y_s} = Rw_y \cdot \omega w_{y_cmd_p} + h_y \cdot \theta bdot_{y_s} \quad \cdots \cdots 05 y$$

これらの式 05 x, 05 y において、 Rw_x , Rw_y は、前記したように、仮想車輪 62_x, 62_y のそれぞれの半径であり、これらの値は、あらかじめ設定された所定値である。また、 h_x , h_y は、それぞれ倒立振子モデルの質点 60_x, 60_y の高さである。この場合、本実施形態では、車両系重心点の高さは、ほぼ一定に維持されるものとされる。そこで、 h_x , h_y の値としては、それぞれ、あらかじめ設定された所定値が用いられる。補足す

ると、高さ h_x , h_y は、前記 STEP 6 又は 8 において値を設定する定数パラメータに含まれるものである。

[0143] 上記式 05 x の右辺の第 1 項は、仮想車輪 62_x の速度指令の前回値 $\omega_{w_x_cmd_p}$ に対応する該仮想車輪 62_x の X 軸方向の移動速度であり、この移動速度は、車輪体 5 の X 軸方向の実際の移動速度の現在値に相当するものである。また、式 05 x の右辺の第 2 項は、基体 9 が Y 軸周り方向に $\theta_{b_dot_x_s}$ の傾斜角速度で傾動することに起因して生じる車両系重心点の X 軸方向の移動速度（車輪体 5 に対する相対的な移動速度）の現在値に相当するものである。これらのことは、式 05 y についても同様である。

[0144] なお、前記ロータリエンコーダ 56 R, 56 L の出力を基に計測される電動モータ 31 R, 31 L のそれぞれの回転角速度の計測値（今回値）の組を、仮想車輪 62_x, 62_y のそれぞれの回転角速度の組に変換し、それらの回転角速度を、式 05 x、05 y の $\omega_{w_x_cmd_p}$ 、 $\omega_{w_y_cmd_p}$ の代わりに用いてもよい。ただし、回転角速度の計測値に含まれるノイズの影響を排除する上では、目標値である $\omega_{w_x_cmd_p}$ 、 $\omega_{w_y_cmd_p}$ を使用することが有利である。

[0145] 次に、制御ユニット 50 は、重心速度制限部 76 の処理とゲイン調整部 78 の処理とを実行する。この場合、重心速度制限部 76 及びゲイン調整部 78 には、それぞれ、重心速度算出部 72 で上記の如く算出された重心速度推定値 $V_{b_xy_s}$ ($V_{b_x_s}$ 及び $V_{b_y_s}$) が入力される。

[0146] そして、ゲイン調整部 78 は、入力された重心速度推定値 $V_{b_xy_s}$ ($V_{b_x_s}$ 及び $V_{b_y_s}$) を基に、前記ゲイン調整パラメータ K_{r_xy} (K_{r_x} 及び K_{r_y}) を決定する。

[0147] このゲイン調整部 78 の処理を図 10 及び図 11 を参照して以下に説明する。

[0148] 図 10 に示すように、ゲイン調整部 78 は、入力された重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ をリミット処理部 86 に入力する。このリミット処理部 86 では、重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ に、電動モータ 31 R, 31 L のそれ

それぞれの回転角速度の許容範囲に応じた制限を適宜、加えることによって、出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ を生成する。出力値 $V_{w_x_lim1}$ は、前記仮想車輪62_xのX軸方向の移動速度 V_{w_x} の制限後の値、出力値 $V_{w_y_lim1}$ は、前記仮想車輪62_yのY軸方向の移動速度 V_{w_y} の制限後の値としての意味を持つ。

[0149] このリミット処理部86の処理を、図11を参照してさらに詳細に説明する。なお、図11中の括弧付きの参照符号は、後述する重心速度制限部76のリミット処理部104の処理を示すものであり、リミット処理部86の処理に関する説明では無視してよい。

[0150] リミット処理部86は、まず、重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ をそれぞれ処理部86a_x、86a_yに入力する。処理部86a_xは、 $V_{b_x_s}$ を仮想車輪62_xの半径 R_{w_x} で除算することによって、仮想車輪62_xのX軸方向の移動速度を $V_{b_x_s}$ に一致させたと仮定した場合の該仮想車輪62_xの回転角速度 $\omega_{w_x_s}$ を算出する。同様に、処理部86a_yは、仮想車輪62_yのY軸方向の移動速度を $V_{b_y_s}$ に一致させたと仮定した場合の該仮想車輪62_yの回転角速度 $\omega_{w_y_s}$ ($=V_{b_y_s}/R_{w_y}$) を算出する。

[0151] 次に、リミット処理部86は、 $\omega_{w_x_s}$ 、 $\omega_{w_y_s}$ の組を、XY-RL変換部86bにより、電動モータ31Rの回転角速度 ω_{R_s} と電動モータ31Lの回転角速度 ω_{L_s} との組に変換する。

[0152] この変換は、本実施形態では、前記式01a、01bの ω_{w_x} 、 ω_{w_y} 、 ω_R 、 ω_L をそれぞれ、 $\omega_{w_x_s}$ 、 $\omega_{w_y_s}$ 、 ω_{R_s} 、 ω_{L_s} に置き換えて得られる連立方程式を、 ω_{R_s} 、 ω_{L_s} を未知数として解くことにより行なわれる。

[0153] 次に、リミット処理部86は、XY-RL変換部86bの出力値 ω_{R_s} 、 ω_{L_s} をそれぞれ、リミッタ86c_R、86c_Lに入力する。このとき、リミッタ86c_Rは、 ω_{R_s} が、あらかじめ設定された所定値の上限値 (>0) と下限値 (<0) とを有する右モータ用許容範囲内に収まっている場合には、 ω_{R_s} をそのまま出力値 ω_{R_lim1} として出力する。また、リミッタ86c_

Rは、 ω_{R_s} が、右モータ用許容範囲から逸脱している場合には、該右モータ用許容範囲の上限値と下限値とのうちの ω_{R_s} に近い方の境界値を出力値 ω_{R_lim1} として出力する。これにより、リミッタ86c_Rの出力値 ω_{R_lim1} は、右モータ用許容範囲内の値に制限される。

[0154] 同様に、リミッタ86c_Lは、 ω_{L_s} が、あらかじめ設定された所定値の上限値(>0)と下限値(<0)とを有する左モータ用許容範囲内に収まっている場合には、 ω_{L_s} をそのまま出力値 ω_{L_lim1} として出力する。また、リミッタ86c_Lは、 ω_{L_s} が、左モータ用許容範囲から逸脱している場合には、該左モータ用許容範囲の上限値と下限値とのうちの ω_{L_s} に近い方の境界値を出力値 ω_{L_lim1} として出力する。これにより、リミッタ86c_Lの出力値 ω_{L_lim1} は、左モータ用許容範囲内の値に制限される。

[0155] 上記右モータ用許容範囲は右側の電動モータ31Rの回転角速度(絶対値)が高くなり過ぎないようにし、ひいては、電動モータ31Rが出力可能なトルクの最大値が低下するのを防止するために設定された許容範囲である。このことは、左モータ用許容範囲についても同様である。

[0156] 次いで、リミット処理部86は、リミッタ86c_R, 86c_Lのそれぞれの出力値 ω_{R_lim1} , ω_{L_lim1} の組を、RL-X Y変換部86dにより、仮想車輪62_x, 62_yのそれぞれの回転角速度 $\omega_{w_x_lim1}$, $\omega_{w_y_lim1}$ の組に変換する。

[0157] この変換は、前記X Y-R L変換部86bの変換処理の逆変換の処理である。この処理は、前記式01a, 01bの ω_{w_x} , ω_{w_y} , ω_R , ω_L をそれぞれ、 $\omega_{w_x_lim1}$, $\omega_{w_y_lim1}$, ω_{R_lim1} , ω_{L_lim1} に置き換えて得られる連立方程式を、 $\omega_{w_x_lim1}$, $\omega_{w_y_lim1}$ を未知数として解くことにより行なわれる。

[0158] 次いで、リミット処理部86は、RL-X Y変換部86dの出力値 $\omega_{w_x_lim1}$, $\omega_{w_y_lim1}$ をそれぞれ処理部86e_x, 86e_yに入力する。処理部86e_xは、 $\omega_{w_x_lim1}$ に仮想車輪62_xの半径 R_{w_x} を乗じることによって、 $\omega_{w_x_lim1}$ を仮想車輪62_xの移動速度 $V_{w_x_lim1}$ に変換する。同様に、処理部

86e_yは、 $\omega_{w_y_lim1}$ を仮想車輪62_yの移動速度 $V_{w_y_lim1}$ ($=\omega_{w_y_lim1} \cdot R_{w_y}$)に変換する。

[0159] 以上のリミット処理部86の処理によって、仮想車輪62_xのX軸方向の移動速度 V_{w_x} と、仮想車輪62_yのY軸方向の移動速度 V_{w_y} とをそれぞれ重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ に一致させたと仮定した場合（換言すれば、車輪体5のX軸方向の移動速度とY軸方向の移動速度とをそれぞれ、 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ に一致させたと仮定した場合）に、それらの移動速度を実現するために必要な電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度 ω_{R_s} 、 ω_{L_s} が、両方とも、許容範囲内に収まっている場合には、 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ にそれぞれ一致する出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ の組がリミット処理部86から出力される。

[0160] 一方、電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度 ω_{R_s} 、 ω_{L_s} の両方又は一方が許容範囲から逸脱している場合には、その両方又は一方の回転角速度が強制的に許容範囲内に制限された上で、その制限後の電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度 ω_{R_lim1} 、 ω_{L_lim1} の組に対応する、X軸方向及びY軸方向の移動速度 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ の組がリミット処理部86から出力される。

[0161] 従って、リミット処理部86は、その出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ の組に対応する電動モータ31R、31Lのそれぞれの回転角速度が許容範囲を逸脱しないことを必須の必要条件として、その必要条件下で可能な限り、出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ をそれぞれ $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ に一致させるように、出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ の組を生成する。

[0162] 図10の説明に戻って、ゲイン調整部78は、次に、演算部88_x、88_yの処理を実行する。演算部88_xには、X軸方向の重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ と、リミット処理部86の出力値 $V_{w_x_lim1}$ とが入力される。そして、演算部88_xは、 $V_{w_x_lim1}$ から $V_{b_x_s}$ を減算してなる値 V_{over_x} を算出して出力する。また、演算部88_yには、Y軸方向の重心速度推定値 $V_{b_y_s}$ と、リミット処理部86の出力値 $V_{w_y_lim1}$ とが入力される。そして、演算部88_y

yは、 $V_{w_y_lim1}$ から $V_{b_y_s}$ を減算してなる値 V_{over_y} を算出して出力する。
。

[0163] この場合、リミット処理部86での出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ の強制的な制限が行なわれなかった場合には、 $V_{w_x_lim1} = V_{b_x_s}$ 、 $V_{w_y_lim1} = V_{b_y_s}$ となるので、演算部88_x、88_yのそれぞれの出力値 V_{over_x} 、 V_{over_y} はいずれも“0”となる。

[0164] 一方、リミット処理部86の出力値 $V_{w_x_lim1}$ 、 $V_{w_y_lim1}$ が、入力値 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ に対して強制的な制限を施して生成された場合には、 $V_{w_x_lim1}$ の $V_{b_x_s}$ からの修正量(= $V_{w_x_lim1} - V_{b_x_s}$)と、 $V_{w_y_lim1}$ の $V_{b_y_s}$ からの修正量(= $V_{w_y_lim1} - V_{b_y_s}$)とがそれぞれ、演算部88_x、88_yから出力される。

[0165] 次いで、ゲイン調整部78は、演算部88_xの出力値 V_{over_x} を処理部90_x、92_xに順番に通すことによって、ゲイン調整パラメータ K_{r_x} を決定する。また、ゲイン調整部78は、演算部88_yの出力値 V_{over_y} を処理部90_y、92_yに順番に通すことによって、ゲイン調整パラメータ K_{r_y} を決定する。なお、ゲイン調整パラメータ K_{r_x} 、 K_{r_y} は、いずれも“0”から“1”までの範囲内の値である。

[0166] 上記処理部90_xは、入力される V_{over_x} の絶対値を算出して出力する。また、処理部92_xは、その出力値 K_{r_x} が入力値 $|V_{over_x}|$ に対して単調に増加し、且つ、飽和特性を有するように K_{r_x} を生成する。該飽和特性は、入力値がある程度大きくなると、入力値の増加に対する出力値の変化量が“0”になるか、もしくは、“0”に近づく特性である。

[0167] この場合、本実施形態では、処理部92_xは、入力値 $|V_{over_x}|$ があらかじめ設定された所定値以下である場合には、該入力値 $|V_{over_x}|$ に所定値の比例係数を乗じてなる値を K_{r_x} として出力する。また、処理部92_xは、入力値 $|V_{over_x}|$ が所定値よりも大きい場合には、“1”を K_{r_x} として出力する。なお、上記比例係数は、 $|V_{over_x}|$ が所定値に一致するときに、 $|V_{over_x}|$ と比例係数との積が“1”になるように設定されている。

- [0168] また、処理部 90_y, 92_yの処理は、それぞれ上記した処理部 90_x, 92_xの処理と同様である。
- [0169] 以上説明したゲイン調整部 78の処理によって、リミット処理部 86での出力値 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 の強制的な制限が行なわれなかった場合、すなわち、車輪体 5のX軸方向及びY軸方向のそれぞれの移動速度 Vw_x , Vw_y を、それぞれ、重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s に一致させるように電動モータ 31R, 31Lを動作させても、電動モータ 31R, 31Lのそれぞれの回転角速度が許容範囲内に収まるような場合には、ゲイン調整パラメータ Kr_x , Kr_y はいずれも“0”に決定される。従って、通常は、 $Kr_x=Kr_y=0$ である。
- [0170] 一方、リミット処理部 86の出力値 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 が、入力値 Vb_x_s , Vb_y_s に対して強制的な制限を施して生成された場合、すなわち、車輪体 5のX軸方向及びY軸方向のそれぞれの移動速度 Vw_x , Vw_y を、それぞれ、重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s に一致させるように電動モータ 31R, 31Lを動作させると、電動モータ 31R, 31Lのいずれかの回転角速度が許容範囲を逸脱してしまう場合（いずれかの回転角速度の絶対値が高くなり過ぎる場合）には、前記修正量 $Vover_x$, $Vover_y$ のそれぞれの絶対値に応じて、ゲイン調整パラメータ Kr_x , Kr_y の値がそれぞれ決定される。この場合、 Kr_x は、“1”を上限値して、修正量 Vx_over の絶対値が大きいくほど、大きな値になるように決定される。このことは、 Kr_y についても同様である。
- [0171] また、前記重心速度制限部 76は、入力された重心速度推定値 Vb_xy_s (Vb_x_s 及び Vb_y_s)を使用して、図12のブロック図で示す処理を実行することによって、制御用目標重心速度 Vb_xy_mdfd (Vb_x_mdfd 及び Vb_y_mdfd)を決定する。
- [0172] 具体的には、重心速度制限部 76は、まず、定常偏差算出部 94_x, 94_yの処理を実行する。
- [0173] この場合、定常偏差算出部 94_xには、X軸方向の重心速度推定値 Vb_x_s

が入力されると共に、X軸方向の制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd の前回値 $Vb_x_mdfd_p$ が遅延要素96_xを介して入力される。そして、定常偏差算出部94_xは、まず、入力される Vb_x_s が比例・微分補償要素（PD補償要素）94a_xに入力する。この比例・微分補償要素94_xは、その伝達関数が $1 + Kd \cdot S$ により表される補償要素であり、入力される Vb_x_s と、その微分値（時間的变化率）に所定値の係数 Kd を乗じてなる値とを加算し、その加算結果の値を出力する。

[0174] 次いで、定常偏差算出部94_xは、入力される $Vb_x_mdfd_p$ を、比例・微分補償要素94_xの出力値から減算してなる値を演算部94b_xにより算出した後、この演算部94b_xの出力値を、位相補償機能を有するローパスフィルタ94c_xに入力する。このローパスフィルタ94c_xは、伝達関数が $(1 + T2 \cdot S) / (1 + T1 \cdot S)$ により表されるフィルタである。そして、定常偏差算出部94_xは、このローパスフィルタ94c_xの出力値 Vb_x_prd を出力する。

[0175] また、定常偏差算出部94_yには、Y軸方向の重心速度推定値 Vb_y_s が入力されると共に、Y軸方向の制御用目標重心速度 Vb_y_mdfd の前回値 $Vb_y_mdfd_p$ が遅延要素96_yを介して入力される。

[0176] そして、定常偏差算出部94_yは、上記した定常偏差算出部94_xと同様に、比例・微分補償要素94a_y、演算部94b_y及びローパスフィルタ94c_yの処理を順次実行し、ローパスフィルタ94c_yの出力値 Vb_y_prd を出力する。

[0177] ここで、定常偏差算出部94_xの出力値 Vb_x_prd は、Y軸方向から見た車両系重心点の現在の運動状態（換言すればY軸方向から見た倒立振子モデルの質点60_xの運動状態）から推測される、将来のX軸方向の重心速度推定値の収束予測値の制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd に対する定常偏差としての意味を持つものである。同様に、定常偏差算出部94_y出力値 Vb_y_prd は、X軸方向から見た車両系重心点の現在の運動状態（換言すればX軸方向から見た倒立振子モデルの質点60_yの運動状態）から推測される、将来のY軸

方向の重心速度推定値の収束予測値の制御用目標重心速度 Vb_y_mdfd に対する定常偏差としての意味を持つものである。以降、定常偏差算出部 94_x, 94_y のそれぞれの出力値 Vb_x_prd , Vb_y_prd を重心速度定常偏差予測値という。

[0178] 重心速度制限部 76 は、上記の如く定常偏差算出部 94_x, 94_y の処理を実行した後、上記重心速度定常偏差予測値 Vb_x_prd , Vb_y_prd をリミット処理部 100 に入力する。このリミット処理部 100 の処理は、前記したゲイン調整部 78 のリミット処理部 86 の処理と同じである。この場合、図 11 に括弧付きに参照符号で示す如く、リミット処理部 100 の各処理部の入力値及び出力値だけがリミット処理部 86 と相違する。

[0179] 具体的には、リミット処理部 100 では、前記仮想車輪 62_x, 62_y のそれぞれの移動速度 Vw_x , Vw_y を、 Vb_x_prd , Vb_y_prd にそれぞれ一致させたと仮定した場合の各仮想車輪 62_x, 62_y の回転角速度 ωw_x_t , ωw_y_t がそれぞれ処理部 86a_x, 86a_y により算出される。そして、この回転角速度 ωw_x_t , ωw_y_t の組が、XY-RL 変換部 86b により、電動モータ 31R, 31L の回転角速度 ω_R_t , ω_L_t の組に変換される。

[0180] さらに、これらの回転角速度 ω_R_t , ω_L_t が、リミッタ 86c_R, 86c_L によって、それぞれ、右モータ用許容範囲内の値と左モータ用許容範囲内の値とに制限される。そして、この制限処理後の値 ω_R_lim2 , ω_L_lim2 が、RL-XY 変換部 86d によって、仮想車輪 62_x, 62_y の回転角速度 ωw_x_lim2 , ωw_y_lim2 に変換される。

[0181] 次に、この各回転角速度 ωw_x_lim2 , ωw_y_lim2 に対応する各仮想車輪 62_x, 62_y の移動速度 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 がそれぞれ処理部 86e_x, 86e_y によって算出され、これらの移動速度 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 がリミット処理部 100 から出力される。

[0182] 以上のリミット処理部 100 の処理によって、リミット処理部 100 は、リミット処理部 86 と同様に、その出力値 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 の組に対応する電動モータ 31R, 31L のそれぞれの回転角速度が許容範囲を逸脱

しないことを必須の必要条件として、その必要条件下で可能な限り、出力値 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 をそれぞれ Vb_x_t , Vb_y_t に一致させるように、出力値 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 の組を生成する。

[0183] なお、リミット処理部 100 における右モータ用及び左モータ用の各許容範囲は、リミット処理部 86 における各許容範囲と同一である必要はなく、互いに異なる許容範囲に設定されていてもよい。

[0184] 図 12 の説明に戻って、重心速度制限部 76 は、次に、演算部 102_x, 102_y の処理を実行することによって、それぞれ制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd , Vb_y_mdfd を算出する。この場合、演算部 102_x は、リミット処理部 100 の出力値 Vw_x_lim2 から、X 軸方向の重心速度定常偏差予測値 Vb_x_prd を減算してなる値を X 軸方向の制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd として算出する。同様に、演算部 102_y は、リミット処理部 100 の出力値 Vw_y_lim2 から、Y 軸方向の重心速度定常偏差予測値 Vb_y_prd を減算してなる値を Y 軸方向の制御用目標重心速度 Vb_y_mdfd として算出する。

[0185] 以上のようにして決定される制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd , Vb_y_mdfd は、リミット処理部 100 での出力値 V_x_lim2 , V_y_lim2 の強制的な制限が行なわれなかった場合、すなわち、車輪体 5 の X 軸方向及び Y 軸方向のそれぞれの移動速度を、それぞれ、重心速度定常偏差予測値 Vb_x_prd , Vb_y_prd に一致させるように電動モータ 31R, 31L を動作させても、電動モータ 31R, 31L のそれぞれの回転角速度が許容範囲内に収まるような場合には、制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd , Vb_y_mdfd はいずれも “0” に決定される。従って、通常は、 $Vb_x_mdfd = Vb_y_mdfd = 0$ である。

[0186] 一方、リミット処理部 100 の出力値 Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 が、入力値 Vb_x_t , Vb_y_t に対して強制的な制限を施して生成された場合、すなわち、車輪体 5 の X 軸方向及び Y 軸方向のそれぞれの移動速度を、それぞれ、重心速度定常偏差予測値 Vb_x_prd , Vb_y_prd に一致させるように電動モータ 31R, 31L を動作させると、電動モータ 31R, 31L のいずれかの回転角速度が許容範囲を逸脱してしまう場合（いずれかの回転角速度の絶対値

が高くなり過ぎる場合)には、X軸方向については、リミット処理部100の出力値 Vw_x_lim2 の入力値 Vb_x_prd からの修正量(= $Vw_x_lim2 - Vb_x_prd$)が、X軸方向の制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd として決定される。

[0187] また、Y軸方向については、リミット処理部100の出力値 Vw_y_lim2 の入力値 Vb_y_prd からの修正量(= $Vw_y_lim2 - Vb_y_prd$)が、Y軸方向の制御用目標重心速度 Vb_y_mdfd として決定される。

[0188] この場合において、例えばX軸方向の速度に関し、制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd は、定常偏差算出部94_xが出力するX軸方向の重心速度定常偏差予測値 Vb_x_prd と逆向きの速度となる。このことは、Y軸方向の速度に関しても同様である。

[0189] 以上が、重心速度制限部76の処理である。

[0190] 図9の説明に戻って、制御ユニット50は、以上の如く重心速度制限部76、ゲイン調整部78、及び偏差演算部70の処理を実行した後、次に、姿勢制御演算部80の処理を実行する。

[0191] この姿勢制御演算部80の処理を、以下に図13を参照して説明する。なお、図13において、括弧を付していない参照符号は、X軸方向に輪転する仮想車輪62_xの回転角速度の目標値である前記仮想車輪回転角速度指令 ωw_x_cmd を決定する処理に係わる参照符号であり、括弧付きの参照符号は、Y軸方向に輪転する仮想車輪62_yの回転角速度の目標値である前記仮想車輪回転角速度指令 ωw_y_cmd を決定する処理に係わる参照符号である。

[0192] 姿勢制御演算部80には、偏差演算部70で算出された基体傾斜角度偏差計測値 θbe_xy_s と、前記STEP2で算出された基体傾斜角速度計測値 $\theta bd_ot_xy_s$ と、重心速度算出部72で算出された重心速度推定値 Vb_xy_s と、重心速度制限部76で算出された制御用目標重心速度 Vb_xy_mdfd と、ゲイン調整部78で算出されたゲイン調整パラメータ Kr_xy とが入力される。

[0193] そして、姿勢制御演算部80は、まず、これらの入力値を用いて、次式07x, 07yにより、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega dot w_xy_cmd$ を算出する。

[0194]

$$\begin{aligned}\omega\dot{w}_x_cmd &= K1_x \cdot \theta be_x_s + K2_x \cdot \theta bdot_x_s \\ &\quad + K3_x \cdot (Vb_x_s - Vb_x_mdfd) \quad \cdots \cdots \text{式 } 07x\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega\dot{w}_y_cmd &= K1_y \cdot \theta be_y_s + K2_y \cdot \theta bdot_y_s \\ &\quad + K3_y \cdot (Vb_y_s - Vb_y_mdfd) \quad \cdots \cdots \text{式 } 07y\end{aligned}$$

従って、本実施形態では、Y軸方向から見た倒立振子モデルの質点60_xの運動（ひいては、Y軸方向から見た車両系重心点の運動）を制御するための操作量（制御入力）としての仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_x_cmd$ と、X軸方向から見た倒立振子モデルの質点60_yの運動（ひいては、X軸方向から見た車両系重心点の運動）を制御するための操作量（制御入力）としての仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{w}_y_cmd$ とは、それぞれ、3つの操作量成分（式07x、07yの右辺の3つの項）を加え合わせることで決定される。

[0195] この場合、式07xにおける各操作量成分に係わるゲイン係数 $K1_x$ 、 $K2_x$ 、 $K3_x$ は、ゲイン調整パラメータ Kr_x に応じて可変的に設定され、式07yにおける各操作量成分に係わるゲイン係数 $K1_y$ 、 $K2_y$ 、 $K3_y$ は、ゲイン調整パラメータ Kr_y に応じて可変的に設定される。以降、式07xにおけるゲイン係数 $K1_x$ 、 $K2_x$ 、 $K3_x$ のそれぞれを第1ゲイン係数 $K1_x$ 、第2ゲイン係数 $K2_x$ 、第3ゲイン係数 $K3_x$ ということがある。このことは、式07yにおけるゲイン係数 $K1_y$ 、 $K2_y$ 、 $K3_y$ についても同様とする。

[0196] 式07xにおける第iゲイン係数 Ki_x （ $i=1, 2, 3$ ）と、式07yにおける第iゲイン係数 Ki_y （ $i=1, 2, 3$ ）とは、図13中にただし書きで示した如く、次式09x、09yにより、ゲイン調整パラメータ Kr_x 、 Kr_y に応じて決定される。

[0197]

$$Ki_x = (1 - Kr_x) \cdot Ki_a_x + Kr_x \cdot Ki_b_x \quad \cdots \cdots \text{式 } 09x$$

$$Ki_y = (1 - Kr_y) \cdot Ki_a_y + Kr_y \cdot Ki_b_y \quad \cdots \cdots \text{式 } 09y$$

$$(i = 1, 2, 3)$$

ここで、式09xにおける $K_{i_a_x}$ 、 $K_{i_b_x}$ は、それぞれ、第 i ゲイン係数 K_{i_x} の最小側（“0”に近い側）のゲイン係数値、最大側（“0”から離れる側）のゲイン係数値としてあらかじめ設定された定数値である。このことは、式09yにおける $K_{i_a_y}$ 、 $K_{i_b_y}$ についても同様である。

[0198] 従って、式07xの演算に用いる各第 i ゲイン係数 K_{i_x} （ $i=1, 2, 3$ ）は、それぞれに対応する定数値 $K_{i_a_x}$ 、 $K_{i_b_x}$ の重み付き平均値として決定される。そして、この場合、 $K_{i_a_x}$ 、 $K_{i_b_x}$ にそれぞれ掛かる重みが、ゲイン調整パラメータ Kr_x に応じて変化させられる。このため、 $Kr_x=0$ である場合には、 $K_{i_x}=K_{i_a_x}$ となり、 $Kr_x=1$ である場合には、 $K_{i_x}=K_{i_b_x}$ となる。そして、 Kr_x が“0”から“1”に近づくに伴い、第 i ゲイン係数 K_{i_x} は $K_{i_a_x}$ から $K_{i_b_x}$ 近づいていく。

[0199] 同様に、式07yの演算に用いる各第 i ゲイン係数 K_{i_y} （ $i=1, 2, 3$ ）は、それぞれに対応する定数値 $K_{i_a_y}$ 、 $K_{i_b_y}$ の重み付き平均値として決定される。そして、この場合、 $K_{i_a_y}$ 、 $K_{i_b_y}$ にそれぞれ掛かる重みが、ゲイン調整パラメータ Kr_y に応じて変化させられる。このため、 K_{i_x} の場合と同様に、 Kr_y の値が“0”から“1”の間で変化するに伴い、第 i ゲイン係数 K_{i_y} の値が、 $K_{i_a_y}$ と $K_{i_b_y}$ との間で変化する。

[0200] なお、前記したように、 Kr_x 、 Kr_y は、通常は（詳しくはゲイン調整部78のリミット処理部86での出力値 Vw_x_lim1 、 Vw_y_lim1 の強制的な制限が行なわれなかった場合）、“0”である。従って、第 i ゲイン係数 K_{i_x} 、 K_{i_y} （ $i=1, 2, 3$ ）は、通常は、それぞれ、 $K_{i_x}=K_{i_a_x}$ 、 $K_{i_y}=K_{i_a_y}$ となる。

[0201] 補足すると、上記定数値 $K_{i_a_x}$ 、 $K_{i_b_x}$ 及び $K_{i_a_y}$ 、 $K_{i_b_y}$ （ $i=1, 2, 3$ ）は、前記STEP6又は8において値が設定される定数パラメータに含まれるものである。

[0202] 姿勢制御演算部80は、上記の如く決定した第1～第3ゲイン係数 $K1_x$ 、 $K2_x$ 、 $K3_x$ を用いて前記式07xの演算を行なうことで、X軸方向に輪転

する仮想車輪 6 2_x に係わる仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{x}_{cmd}$ を算出する。

[0203] さらに詳細には、図 13 を参照して、姿勢制御演算部 80 は、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$ に第 1 ゲイン係数 $K1_x$ を乗じてなる操作量成分 $u1_x$ と、基体傾斜角速度計測値 $\theta\dot{b}_{x_s}$ に第 2 ゲイン係数 $K2_x$ を乗じてなる操作量成分 $u2_x$ とをそれぞれ、処理部 80 a, 80 b で算出する。さらに、姿勢制御演算部 80 は、重心速度推定値 Vb_x_s と制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd との偏差 ($=Vb_x_s - Vb_x_mdfd$) を演算部 80 d で算出し、この偏差に第 3 ゲイン係数 $K3_x$ を乗じてなる操作量成分 $u3_x$ を処理部 80 c で算出する。そして、姿勢制御演算部 80 は、これらの操作量成分 $u1_x$, $u2_x$, $u3_x$ を演算部 80 e にて加え合わせるにより、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{x}_{cmd}$ を算出する。

[0204] 同様に、姿勢制御演算部 80 は、上記の如く決定した第 1 ~ 第 3 ゲイン係数 $K1_y$, $K2_y$, $K3_y$ を用いて前記式 07 y の演算を行なうことで、Y 軸方向に輪転する仮想車輪 6 2_y に係わる仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{y}_{cmd}$ を算出する。

[0205] この場合には、姿勢制御演算部 80 は、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_y_s}$ に第 1 ゲイン係数 $K1_y$ を乗じてなる操作量成分 $u1_y$ と、基体傾斜角速度計測値 $\theta\dot{b}_{y_s}$ に第 2 ゲイン係数 $K2_y$ を乗じてなる操作量成分 $u2_y$ とをそれぞれ、処理部 80 a, 80 b で算出する。さらに、姿勢制御演算部 80 は、重心速度推定値 Vb_y_s と制御用目標重心速度 Vb_y_mdfd との偏差 ($=Vb_y_s - Vb_y_mdfd$) を演算部 80 d で算出し、この偏差に第 3 ゲイン係数 $K3_y$ を乗じてなる操作量成分 $u3_y$ を処理部 80 c で算出する。そして、姿勢制御演算部 80 は、これらの操作量成分 $u1_y$, $u2_y$, $u3_y$ を演算部 80 e にて加え合わせるにより、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega\dot{x}_{cmd}$ を算出する。

[0206] ここで、式 07 x の右辺の第 1 項 ($=$ 第 1 操作量成分 $u1_x$) 及び第 2 項 ($=$ 第 2 操作量成分 $u2_x$) は、X 軸周り方向での基体傾斜角度偏差計測値 θ_{be}

$_x_s$ を、フィードバック制御則としてのPD則（比例・微分則）により“0”に収束させる（基体傾斜角度計測値 θb_x_s を目標値 θb_x_obj に収束させる）ためのフィードバック操作量成分としての意味を持つ。

[0207] また、式07xの右辺の第3項（＝第3操作量成分 $u3_x$ ）は、重心速度推定値 Vb_x_s と制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd との偏差をフィードバック制御則としての比例則により“0”に収束させる（ Vb_x_s を Vb_x_mdfd に収束させる）ためのフィードバック操作量成分としての意味を持つ。

[0208] これらのことは、式07yの右辺の第1～第3項（第1～第3操作量成分 $u1_y$, $u2_y$, $u3_y$ ）についても同様である。

[0209] なお、前記したように通常は（より詳しくは、前記重心速度制限部76のリミット処理部100での出力値 V_x_lim2 , V_y_lim2 の強制的な制限が行なわれなかった場合）、制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd , Vb_y_mdfd は“0”である。そして、 $Vb_x_mdfd = Vb_y_mdfd = 0$ となる通常の場合は、第3操作量成分 $u3_x$, $u3_y$ は、それぞれ、重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s に第3ゲイン係数 $K3_x$, $K3_y$ を乗じた値に一致する。

[0210] 姿勢制御演算部80は、上記の如く、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega wdot_x_cmd$, $\omega wdot_y_cmd$ を算出した後、次に、これらの $\omega wdot_x_cmd$, $\omega wdot_y_cmd$ をそれぞれ積分器80fにより積分することによって、前記仮想車輪回転速度指令 ωw_x_cmd , ωw_y_cmd を決定する。

[0211] 以上が姿勢制御演算部80の処理の詳細である。

[0212] 補足すると、式07xの右辺の第3項を、 Vb_x_s に応じた操作量成分（＝ $K3_x \cdot Vb_x_s$ ）と、 Vb_x_mdfd に応じた操作量成分（＝ $-K3_x \cdot Vb_x_mdfd$ ）とに分離した式によって、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega dotw_x_cmd$ を算出するようにしてよい。同様に、式07yの右辺の第3項を、 Vb_y_s に応じた操作量成分（＝ $K3_y \cdot Vb_y_s$ ）と、 Vb_y_mdfd に応じた操作量成分（＝ $-K3_y \cdot Vb_y_mdfd$ ）とに分離した式によって、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega dotw_y_cmd$ を算出するようにしてよい。

[0213] 図9の説明に戻って、制御ユニット50は、次に、姿勢制御演算部80で

上記の如く決定した仮想車輪回転速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ をモータ指令演算部82に入力し、該モータ指令演算部82の処理を実行することによって、電動モータ31Rの速度指令 ω_{R_com} と電動モータ31Lの速度指令 ω_{L_cmd} とを決定する。このモータ指令演算部82の処理は、前記リミット処理部86（図11参照）のXY-RL変換部86bの処理と同じである。

[0214] 具体的には、モータ指令演算部82は、前記式01a, 01bの ω_{w_x} , ω_{w_y} , ω_R , ω_L をそれぞれ、 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$, ω_{R_cmd} , ω_{L_cmd} に置き換えて得られる連立方程式を、 ω_{R_cmd} , ω_{L_cmd} を未知数として解くことによって、電動モータ31R, 31Lのそれぞれの速度指令 ω_{R_com} , ω_{L_cmd} を決定する。

[0215] 以上により前記STEP9の車両制御演算処理が完了する。

[0216] 以上説明した如く制御ユニット50が制御演算処理を実行することによって、前記搭乗モード及び自立モードのいずれの動作モードにおいても、基本的には、シート3及び基体9の姿勢が、前記基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$, $\theta_{be_y_s}$ の両方が“0”となる姿勢（以下、この姿勢を基本姿勢という）に保たれている状態では、車両系重心点が静止するように操作量（制御入力）としての仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dotw_xy_cmd}$ が決定される。そして、シート3及び基体9の姿勢を前記基本姿勢に対して傾けると、換言すれば、車両系重心点（車両・乗員全体重心点又は車両単体重心点）の水平方向位置を、車輪体5の接地面のほぼ真上に位置する状態から変位させると、シート3及び基体9の姿勢を基本姿勢に復元させるように（ $\theta_{be_x_s}$, $\theta_{be_y_s}$ を“0”に近づけるか、もしくは“0”に保持するように）、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dotw_xy_cmd}$ が決定される。

[0217] そして、 $\omega_{dotw_xy_cmd}$ の各成分を積分してなる仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ を変換してなる電動モータ31R, 31Lのそれぞれの回転角速度が、電動モータ31R, 31Lの速度指令 ω_{R_cmd} , ω_{L_cmd} として決定される。さらに、その速度指令 ω_{R_cmd} , ω_{L_cmd} に従って、各電動モータ31R, 31Lの回転速度が制御される。ひいては車輪体5のX軸方向及びY

軸方向のそれぞれの移動速度が、 ωw_x_cmd に対応する仮想車輪 6 2_xの移動速度と、 ωw_y_cmd に対応する仮想車輪 6 2_yの移動速度とに各々一致するように制御される。

[0218] このため、例えば、Y軸周り方向で、実際の基体傾斜角度 θb_x が目標値 θb_x_obj から前傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ θbe_x_s を“0”に収束させるべく）、車輪体 5 が前方に向かって移動する。同様に、実際の θb_x が目標値 θb_x_obj から後傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ θbe_x_s を“0”に収束させるべく）、車輪体 5 が後方に向かって移動する。

[0219] また、例えば、X軸周り方向で、実際の基体傾斜角度 θb_y が目標値 θb_y_obj から右傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ θbe_y_s を“0”に収束させるべく）、車輪体 5 が右向きに移動する。同様に、実際の θb_y が目標値 θb_y_obj から左傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ θbe_y_s を“0”に収束させるべく）、車輪体 5 が左向きに移動する。

[0220] さらに、実際の基体傾斜角度 θb_x 、 θb_y の両方が、それぞれ目標値 θb_x_obj 、 θb_y_obj からずれると、 θb_x のずれを解消するための車輪体 5 の前後方向の移動動作と、 θb_y のずれを解消するための車輪体 5 の左右方向の移動動作とが合成され、車輪体 5 がX軸方向及びY軸方向の合成方向（X軸方向及びY軸方向の両方向に対して傾斜した方向）に移動することとなる。

[0221] このようにして、シート 3 及び基体 9 の姿勢が前記基本姿勢から傾くと、その傾いた側に向かって、車輪体 5 が移動することとなる。従って、例えば前記搭乗モードにおいて、乗員が意図的にその上体をシート 3 及び基体 9 と共に傾けると、その傾けた側に、車輪体 5 が移動することとなる。

[0222] そして、車輪体 5 の移動時（車両 1 全体の移動時）において、シート 3 及び基体 9 の姿勢を、基本姿勢から傾けた一定の姿勢（基体傾斜角度偏差計測値 θbe_xy_s が一定となる姿勢）に保持すると、車両系重心点の移動速度（ひいては車輪体 5 の移動速度）は、制御用目標重心速度 $V b_xy_mdfd$ と一定の偏差を有し、且つ、その偏差が基体傾斜角度偏差計測値 θbe_xy_s に依存するものとなる移動速度に収束する。

[0223] この場合、本実施系形態では、電動モータ 3 1 R, 3 1 L の回転角速度が高速になり過ぎないように移動速度で車輪体 5 の移動動作が行なわれる通常の場合（より正確には、重心速度制限部 7 6 のリミット処理部 1 0 0 の出力値 $V_{w_x_lim2}$, $V_{w_y_lim2}$ の強制的な制限がなされない場合）では、制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$, $V_{b_x_mdfd}$ は、いずれも “0” に保たれる。そして、このように $V_{b_x_mdfd}$, $V_{b_x_mdfd}$ が一定に保たれる状況において、シート 3 及び基体 9 の姿勢を、基本姿勢から傾けた一定の姿勢に保持すると、車両系重心点の移動速度（ひいては車輪体 5 の移動速度）は、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_xy_s}$ に依存する大きさ及び向きを有する移動速度に収束する。

[0224] このような作動に関してさらに詳説すると、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$, $\theta_{be_y_s}$ の両方がそれぞれ一定に保持される定常状態では、前記第 2 操作量成分 u_{2_x} , u_{2_y} は “0” となる。このため、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dotw_x_cmd}$ は、前記第 1 操作量成分 u_{1_x} と第 3 操作量成分 u_{3_x} とを加え合わせたものとなり、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dotw_y_cmd}$ は、前記第 1 操作量成分 u_{1_y} と第 3 操作量成分 u_{3_y} とを加え合わせたものとなる。

[0225] そして、上記定常状態では、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dotw_x_cmd}$, $\omega_{dotw_x_cmd}$ は、車輪体 5 の移動速度を一定に保ち得る値に収束する。ひいては、重心速度 V_{b_x} , V_{b_y} が一定値に収束することとなる。

[0226] この場合、前記式 0 7 x における右辺の第 2 項（＝ u_{2_x} ）が “0”、右辺の第 1 項（＝ $u_{1_x} = K_{1_x} \cdot \theta_{be_x_s}$ ）が一定値、左辺の $\omega_{dotw_x_cmd}$ が一定値となるので、X 軸方向の重心速度 V_{b_x} の収束値（重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ の収束値。以降、定常時収束速度 $V_{b_x_stb}$ という）は、Y 軸周り方向の基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$ に依存するものとなる。より詳しくは、 $V_{b_x_stb}$ は、 $V_{b_x_stb} = (-K_{1_x} \cdot \Delta \theta_{be_x_s} + \omega_{dotw_x_cmd}) / K_{3_x} + V_{b_x_mdfd}$ となるので、 $\theta_{be_x_s}$ に対して単調に変化する関数値となる。

[0227] 同様に、前記式 0 7 y における右辺の第 2 項（＝ u_{2_y} ）が “0”、右辺の第 1 項（＝ $u_{1_y} = K_{1_y} \cdot \theta_{be_y_s}$ ）が一定値、左辺の $\omega_{dotw_y_cmd}$ が一定

値となるので、Y軸方向の重心速度 V_{b_y} の収束値（重心速度推定値 $V_{b_y_s}$ の収束値。以降、定常時収束速度 $V_{b_y_stb}$ という）は、X軸周り方向の基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_y_s}$ に依存するものとなる。より詳しくは、 $V_{b_x_stb}$ は、 $V_{b_y_stb} = (-K1_y \cdot \Delta \theta_{be_y_s} + \omega_{dotw_y_cmd}) / K3_y + V_{b_y_mdfd}$ となるので、 $\theta_{be_y_s}$ に対して単調に変化する関数値となる。

[0228] このように $V_{b_x_mdfd}$ 、 $V_{b_y_mdfd}$ が一定に保たれる状況において、シート3及び基体9の姿勢を、基本姿勢から傾けた一定の姿勢に保持すると、車両系重心点の移動速度（ひいては車輪体5の移動速度）は、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_xy_s}$ に依存する大きさ及び向きを有する移動速度に収束することとなる。

[0229] また、本実施形態では、前記仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{wdot_x_cmd}$ 、 $\omega_{wdot_y_cmd}$ を基本の操作量として前記式07x、07yにより決定し、これらを積分することによって、電動モータ31R、31Lの制御用の操作量としての仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$ 、 $\omega_{w_y_cmd}$ が決定される。この場合、仮想車輪62_x、62_yの並進運動（ひいては、車輪体5の並進運動）と基体傾斜角度 θ_{b_xy} との間の関係、すなわち、式03x、03yにより表現される関係が、車両系重心点の質量に依存しない一定の関係となる。このため、基体傾斜角度計測値 $\theta_{b_xy_s}$ を基体傾斜角度目標値 $\theta_{b_xy_obj}$ に収束させると共に、重心速度推定値 $V_{b_xy_s}$ を制御用目標重心速度 $V_{b_xy_mdfd}$ に収束させるために適切な仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{wdot_x_cmd}$ 、 $\omega_{wdot_y_cmd}$ を、シート3に搭乗する乗員の重量に依存することなく前記式07x、07yの演算処理によって決定できる。換言すれば、シート3に搭乗する乗員の重量に応じて、前記第1～第3ゲイン係数 K_{i_xy} （ $i = 1, 2, 3$ ）の値を調整したりすることなく、前記式07x、07yの演算処理によって、基体傾斜角度 θ_{b_xy} と重心速度 V_{b_xy} とを制御する上で適切な仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{wdot_x_cmd}$ 、 $\omega_{wdot_y_cmd}$ を決定できることとなる。そして、この $\omega_{wdot_x_cmd}$ 、 $\omega_{wdot_y_cmd}$ を積分することによって、乗員の重量に依存することなく、適切な仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$ 、 $\omega_{w_y_cmd}$ を決定

できる。この結果、運搬対象物体としての乗員の重量によらずに、基体傾斜角度 θ_{b_xy} と重心速度 V_{b_xy} とを適切な応答特性で目標値に制御し得るように、車輪体 5 の移動動作を制御できることとなる。

[0230] また、電動モータ 3 1 R, 3 1 L の制御用の操作量としての仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ は、それぞれ、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{w_dot_x_cmd}$, $\omega_{w_dot_y_cmd}$ を積分したものであるから、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ の急減な変動が抑制される。このため、車輪体 5 の移動速度が滑らかに変化し、快適な乗り心地を実現できる。

[0231] また、例えば、基体 9 及びシート 3 の前記基本姿勢からの傾き量（基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$, $\theta_{be_y_s}$ ）が比較的大きくなり、その傾き量が一定に保持された場合の車輪体 5 の X 軸方向及び Y 軸方向の一方又は両方の移動速度（これらの移動速度は、それぞれ、図 1 2 に示した前記重心速度定常偏差予測値 $V_{b_x_prd}$, $V_{b_y_prd}$ に相当する）が、電動モータ 3 1 R, 3 1 L の一方又は両方の回転角速度を前記リミット処理部 1 0 0 での許容範囲から逸脱させてしまうような、過大な移動速度になるような状況では、該車輪体 5 の移動速度に対して逆向きとなる速度（詳しくは、 $V_{w_x_lim2} - V_{b_x_prd}$ 及び $V_{w_y_lim2} - V_{b_y_prd}$ ）が制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$, $V_{b_y_mdfd}$ として決定される。そして、制御入力を構成する操作量成分のうちの第 3 操作量成分 u_{3_x} , u_{3_y} が、この制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$, $V_{b_y_mdfd}$ に重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ をそれぞれ収束させるように決定される。このため、車輪体 5 の増速が抑制され、ひいては電動モータ 3 1 R, 3 1 L の一方又は両方の回転角速度が高速になり過ぎるのが防止される。

[0232] さらに、前記ゲイン調整部 7 8 では、重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ の一方又は両方が大きくなり、ひいては、車輪体 5 の X 軸方向及び Y 軸方向の一方又は両方の移動速度が、電動モータ 3 1 R, 3 1 L の一方又は両方の回転角速度を前記リミット処理部 8 6 での許容範囲から逸脱させてしまうような、過大な移動速度になる状況では、その逸脱が顕著になるほど（詳しくは、図 1 0 に示す V_{over_x} , V_{over_y} の絶対値が大きくなるほど）、前記ゲイ

ン調整パラメータ Kr_x , Kr_y の一方又は両方が “0” から “1” に近づけられる。

[0233] この場合、前記式 09x により算出される各第 i ゲイン係数 Ki_x ($i = 1, 2, 3$) は、 Kr_x が “1” に近づくほど、最小側の定数値 Ki_{a_x} から最大側の定数値 Ki_{b_x} に近づく。このことは、前記式 09y により算出される各第 i ゲイン係数 Ki_y ($i = 1, 2, 3$) についても同様である。

[0234] そして、上記ゲイン係数の絶対値が大きくなることによって、基体 9 及びシート 3 の傾きの変化（基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_xy_s}$ の変化）や、重心速度推定値 Vb_xy_s の変化に対する操作量（仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dot_w_x_cmd}$, $\omega_{dot_w_y_cmd}$ ）の感度が高まる。従って、基体 9 及びシート 3 の基本姿勢からの傾き量が増加しようとしたり、重心速度推定値 Vb_xy_s の大きさが増加しようとする、それらを素早く解消するように、車輪体 5 の移動速度が制御されることとなる。従って、基体 9 が基本姿勢から大きく傾いたり、重心速度推定値 Vb_xy_s が大きくなることが強めに抑制され、ひいては、車輪体 5 の X 軸方向及び Y 軸方向の一方又は両方の移動速度が、電動モータ 31R, 31L の一方又は両方の回転角速度を前記リミット処理部 86 の許容範囲から逸脱させてしまうような、過大な移動速度になるのを防止することができる。

[0235] ここで、本実施形態の車両 1 と本発明との対応関係を補足しておく。

[0236] 本実施形態では、車両 1 に搭乗する乗員の前後方向（X 軸方向）、左右方向（Y 軸方向）が、それぞれ、本発明における第 1 の方向、第 2 の方向に相当する。

[0237] そして、前記姿勢制御演算部 80 が実行する処理によって、本発明における速度指令値決定手段が実現される。この場合、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{dot_xy_cmd}$ が本発明における加速度指令値、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_xy_cmd}$ が本発明における速度指令値に相当する。

[0238] また、傾斜センサ 52 と、図 7 の STEP 2 の処理とによって、本発明における傾斜角度計測手段が実現される。そして、前記基体傾斜角度偏差推定

値計測値 $\theta_{be_xy_s}$ が本発明における傾斜偏差に相当する。

[0239] また、前記モータ指令演算部 82 が実行する処理と図 7 の STEP 10 の処理とによって本発明におけるアクチュエータ制御手段が実現される。この場合、電動モータ 31R, 31L の速度指令 ω_R_cmd , ω_L_cmd が本発明におけるアクチュエータ速度指令値に相当する。

[0240] [第 2 実施形態]

次に、本発明の第 2 実施形態を説明する。なお、本実施形態は、前記姿勢制御演算部 80 の一部の処理（詳しくは、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ のうち、Y 軸方向での車輪体 5 の移動速度の目標値に対応する仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd}$ の決定の仕方）のみが、第 1 実施形態と相違するものである。従って、本実施形態の説明では、第 1 実施形態と同一の構成要素又は同一の機能要素については、第 1 実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

[0241] 第 1 実施形態で説明した構造の車両 1 にあっては、車輪体（移動動作部）5 を Y 軸方向（左右方向）に移動させる場合に、各回転部材 27R, 27L にそれぞれ対応するフリーローラ 29R, 29L と車輪体 5 との間に滑りが発生し、その滑り状態が、車輪体 5 を前記横断面中心 C1 の周り方向に回転させる駆動力（詳しくは、全てのフリーローラ 29R, 29L と車輪体 5 との間に発生する摩擦力によって該車輪体 5 に作用する合力のうちの Y 軸方向の並進力成分。以降、横駆動力という）に応じて変化しやすい。そして、電動モータ 31R, 31L のそれぞれの回転角速度 ω_R , ω_L の差（ $=\omega_R - \omega_L$ ）と、車輪体 5 の Y 軸方向の実際の移動速度との間の比率（すなわち、前記式 01b の係数 C の値）が上記滑り状態に応じて変化する。このため、電動モータ 31R, 31L のそれぞれの回転角速度 ω_R , ω_L の差（ $=\omega_R - \omega_L$ ）が一定であっても、上記滑り状態に応じて（上記横駆動力に応じて）、車輪体 5 の Y 軸方向の移動速度が変化し、基本的には、該横駆動力が大きいほど、車輪体 5 の Y 軸方向の移動速度の大きさが低下する。

[0242] そこで、本実施形態では、前記姿勢制御演算部 80 は、前記第 1 実施形態

で説明した図 13 のブロック図の処理によって、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ を求めた後、これらの $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ のうちの Y 軸方向の $\omega_{w_y_cmd}$ を暫定値とし、この暫定値 $\omega_{w_y_cmd}$ を上記横駆動力に応じて補正する。そして、姿勢制御演算部 80 は、 $\omega_{w_y_cmd}$ の補正後の値（以降、補正後仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd_c}$ という）を、図 13 のブロック図の処理によって求めた X 軸方向の仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$ と共に出力する（前記モータ指令演算部 82 に入力する）。

[0243] この場合、姿勢制御演算部 80 は、Y 軸方向の仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd}$ （Y 軸方向の仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{w_dot_y_cmd}$ の積分値）の補正を次のように実行する。

[0244] すなわち、姿勢制御演算部 80 は、まず、電動モータ 31R, 31L のそれぞれの通電電流の指令値である電流指令値 I_R , I_L の前回値（又は通電電流の検出値の今回値）を基に、前記横駆動力の観測値としての横駆動力推定値 F_{y_s} を求める。

[0245] 本実施形態では、横駆動力推定値 F_{y_s} は、例えば、次式 11 によって算出される。すなわち、電動モータ 31R の電流指令値 I_R と電動モータ 31L の電流指令値 I_L との差（ $= I_R - I_L$ ）に、あらかじめ設定された所定値の係数 $KT1$ を乗じることによって、横駆動力推定値 F_{y_s} を算出する。この場合、 $KT1 \cdot I_R$, $KT1 \cdot I_L$ は、それぞれ、電動モータ 31R, 31L が発生する横駆動力としての意味を持ち、それらの差分が横駆動力推定値 F_{y_s} となる。

[0246]

$$F_{y_s} = KT1 \cdot (I_R - I_L) \quad \cdots \cdots \text{式 11}$$

なお、式 11 では、電動モータ 31R, 31L から車輪体 5 への動力伝達系の慣性モーメントを影響分を無視しているが、その影響分を考慮して、例えば、次式 13 により横駆動力推定値 F_{y_s} を求めるようにしてもよい。

[0247]

$$F_{y_s} = (KT1 \cdot I_R - KT2 \cdot IM_R \cdot \omega\dot{R_cmd}) \\ - (KT1 \cdot I_L - KT2 \cdot IM_L \cdot \omega\dot{L_cmd}) \quad \cdots \cdots \text{式 1 3}$$

この式 1 3 の KT2 は、あらかじめ設定された所定値の係数、IM_R は、電動モータ 3 1 R から車輪体 4 への動力伝達系の等価慣性モーメント（設定値）、IM_L は、電動モータ 3 1 L から車輪体 4 への動力伝達系の等価慣性モーメント（設定値）、 $\omega\dot{R_cmd}$ は、電動モータ 3 1 R の速度指令 ω_{R_cmd} の時間的変化率（前回値）、 $\omega\dot{L_cmd}$ は、電動モータ 3 1 L の速度指令 ω_{L_cmd} の時間的変化率（前回値）である。

[0248] 次いで、姿勢制御演算部 8 0 は、上記の如く求めた横駆動力推定値 F_{y_s} に応じて、Y 軸方向の仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd}$ の暫定値（図 1 3 のブロック図の処理によって求めた $\omega_{w_y_cmd}$ の今回値）を次式 1 5 により補正し、これにより、補正後仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd_c}$ を決定する。

[0249]

$$\omega_{w_y_cmd_c} = (1 + KT3 \cdot F_{y_s}) \cdot \omega_{w_y_cmd} \quad \cdots \cdots \text{式 1 5}$$

なお、この式 1 5 の KT3 はあらかじめ設定された所定値の係数である。

[0250] 従って、姿勢制御演算部 8 0 は、横駆動力推定値 F_{y_s} に応じて可変的に設定される係数 $(1 + KT3 \cdot F_{y_s})$ を仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd}$ の暫定値に乘じることによって、補正後仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd_c}$ を決定する。

[0251] 本実施形態は、以上説明した以外の事項は、前記第 1 実施形態と同一である。

[0252] かかる本実施形態によれば、車輪体（移動動作部）5 を Y 軸方向（左右方向）に移動させる場合における、各回転部材 2 7 R, 2 7 L にそれぞれ対応するフリーローラ 2 9 R, 2 9 L と車輪体 5 との間に滑りの影響を補償し、車輪体 5 の実際の移動速度を、図 1 3 のブロック図の処理により決定される仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ により精度よく追従させるこ

とができる。このため、車輪体 5 の移動動作をより適切に制御することができる。

[0253] なお、本実施形態では、前記式 11 又は 13 により横駆動力 F_y を推定するようにしたが、適宜の力センサやひずみセンサを使用して横駆動力 F_y を検出するようにしてもよい。

[0254] 補足すると、本実施形態では、姿勢制御演算部 80 が前記した如く仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_y_cmd}$ を補正する処理によって、本発明における「速度指令値を補正する手段」が実現される。この場合、前記横駆動力推定値 F_{y_s} が本発明における第 2 駆動力の観測値に相当する。これ以外は、本実施形態と本発明との対応関係は、前記第 1 実施形態と同様である。

[0255] 次に、以上説明した実施形態に係わる変形態様に関していくつか説明しておく。

[0256] 前記各実施形態では、仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{w_dot_x_cmd}$, $\omega_{w_dot_y_cmd}$ を、車輪体 5 の移動加速度の目標値を規定する加速度指令値とし、仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ を車輪体 5 の移動速度の目標値を規定する速度指令値として決定するようにした。但し、例えば、仮想車輪 62_x, 62_y の並進加速度の指令値の組を加速度指令値として決定したり、あるいは、仮想車輪 62_x, 62_y の並進速度の指令値の組を速度指令値として決定するようにしてもよい。そして、この場合、加速度指令値や、速度指令値を、例えば極座標形式で表現するようにしてもよい。

[0257] また、前記各実施形態では、車輪体 5 の移動加速度の目標値を規定する仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{w_dot_x_cmd}$, $\omega_{w_dot_y_cmd}$ を決定した上で、これを積分することによって車輪体 5 の移動速度の目標値を規定する仮想車輪回転角速度指令 $\omega_{w_x_cmd}$, $\omega_{w_y_cmd}$ を決定するようにした。但し、基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_xy_s}$ 等から直接的に（積分処理を行わずに）車輪体 5 の移動速度の目標値を規定する速度指令値を決定するようにしてもよい。

[0258] 例えば、前記図 8 に示した倒立振子モデルの挙動（ここでは代表的に Y 軸方向から見た挙動に関して説明する）は、系に含まれるイナーシャ（慣性モ

ーメント)を無視すると、近似的に次式 17 a x, 17 b xにより表現される。

[0259]

$$d\theta_{be_x}/dt = (1/h_x) \cdot Vb_x + (1/h_x) \cdot Vw_x \quad \cdots \cdots \text{式 17 a x}$$

$$dVb_x/dt = g \cdot \theta_{be_x} \quad \cdots \cdots \text{式 17 b y}$$

そこで、例えば、これらの式 17 a x, 17 b xに基づいて、車輪体5のX軸方向の移動速度の目標値を規定するものとしての仮想車輪62_xの並進速度の指令値 Vw_x_cmd ($=\omega w_x_cmd \cdot Rw_x$)を、前記基体傾斜角度偏差計測値 $\theta_{be_x_s}$ 、並びに、前記重心速度推定値 Vb_x_s と制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd (通常は $Vb_x_mdfd=0$)との偏差 ($=Vb_x_s - Vb_x_mdfd$) から、次式 19 xにより決定するようにしてもよい。

[0260]

$$Vw_x_cmd = KK1_x \cdot \theta_{be_x_s} + KK2_x \cdot (Vb_x_s - Vb_x_mdfd) \quad \cdots \cdots \text{式 19 x}$$

このことは、Y軸方向に関する仮想車輪62_yの並進速度の指令値 Vw_y_cmd ($=\omega w_y_cmd \cdot Rw_y$)についても同様であり、該指令値 Vw_y_cmd を次式 19 yにより決定するようにしてもよい。

[0261]

$$Vw_y_cmd = KK1_y \cdot \theta_{be_y_s} + KK2_y \cdot (Vb_y_s - Vb_y_mdfd) \quad \cdots \cdots \text{式 19 y}$$

なお、式 19 xにおける $KK1_x$ 、 $KK2_x$ と、式 19 yにおける $KK1_y$ 、 $KK2_y$ とは、所定値のゲイン係数である。

[0262] このようにして、式 19 x、19 yにより求めた Vw_x_cmd 、 Vw_y_cmd の組を電動モータ31R、31Lの速度指令 ω_R_cmd 、 ω_L_cmd に変換し、第

1実施形態と同様に電動モータ31R、31Lを制御することによって、基体傾斜角度 θ_{b_xy} と重心速度 V_{b_xy} とを目標値に収束させるように車輪体5の移動動作を制御できる。

[0263] 補足すると、上記式19x、19yにより指令値 $V_{w_xy_cmd}$ を決定するようにした場合には、例えばX軸方向に関しては、前記式17ax、17bxによって、 θ_{be_x} と V_{b_x} との間の関係が制限を受ける。このことは、Y軸方向に関しても同様である。このため、基体傾斜角度 θ_{b_xy} の制御特性と重心速度 V_{b_xy} の制御特性とが相互に影響を及ぼし易く、ひいては、それらの制御特性の設計が制限を受けやすい。

[0264] これに対して、前記第1実施形態及び第2実施形態の如く、車輪体5の移動加速度の目標値を規定する加速度指令値としての仮想車輪回転角加速度指令 $\omega_{w_dot_x_cmd}$ 、 $\omega_{w_dot_y_cmd}$ と決定するようにした場合には、基体傾斜角度 θ_{b_xy} の制御特性と重心速度 V_{b_xy} の制御特性とが相互に影響を受け難くなり、それらの制御特性の設計の自由度が高まる。

[0265] また、前記各実施形態では、車両系重心点（詳しくは車両・乗員全体重心点）を車両1の所定の代表点としたが、該代表点を例えば、シート3や基体9の所定の部位（例えば支持フレーム13）の点等に設定してもよい。

[0266] また、前記実施形態では、乗員を運搬対象物体とする倒立振子型車両1を例にとって説明したが、乗員以外の荷物等を運搬対象物体とし、その運搬対象物体の搭載部を前記シート3の代わりに備えるようにしてもよい。

[0267] また、前記各実施形態では、図1及び図2に示した構造の車両1を例示したが、本発明における倒立振子型車両1は、本実施形態で例示した車両に限られるものではない。

[0268] 具体的には、本実施形態の車両1の移動動作部としての車輪体5は一体構造のものであるが、例えば、前記特許文献3の図10に記載されているような構造のものであってもよい。すなわち、剛性を有する円環状の軸体に、複数のローラをその軸心が該軸体の接線方向に向くようにして回転自在に外挿し、これらの複数のローラを軸体に沿って円周方向に配列させることによっ

て、車輪体を構成してもよい。

[0269] さらに移動動作部は、例えば、特許文献 2 の図 3 に記載されているようなクローラ状の構造のものであってもよい。

[0270] あるいは、例えば、前記特許文献 2 の図 5、特許文献 3 の図 7、もしくは特許文献 1 の図 1 に記載されているように、移動動作部を球体により構成し、この球体を、アクチュエータ装置（例えば前記車輪体 5 を有するアクチュエータ装置）により X 軸周り方向及び Y 軸周り方向に回転駆動するように車両を構成してもよい。

[0271] また、本実施形態では、乗員の搭乗部としてシート 3 を備えた車両 1 を例示したが、本発明における倒立振子型車両は、例えば特許文献 3 の図 8 に見られるように、乗員が両足を載せるステップと、そのステップ上で起立した乗員が把持する部分とを基体に組付けた構造の車両であってもよい。

[0272] このように本発明は、前記特許文献 1 ～ 3 等に見られる如き、各種の構造の倒立振子型車両に適用することが可能である。

[0273] さらには、本発明における倒立振子型車両は、床面上を全方向に移動可能な移動動作部を複数（例えば、左右方向に 2 つ、あるいは、前後方向に 2 つ、あるいは、3 つ以上）備えていてもよい。

[0274] また、本発明における倒立振子型車両は、基体が乗員の搭乗部と共に傾動することは必須ではない。例えば、複数の移動動作部を有する場合に、これらの移動動作部を組付ける基体が床面に対して傾動しないようにすると共に、この基体に対して搭乗部を傾動自在に組付けるようにしてもよい。

[0275] また、本実施形態では、回転アクチュエータとして電動モータ 3 1 R, 3 1 L を備えたが、電動モータ 3 1 R, 3 1 L の代わりに例えば油圧式のロータリアクチュエータを備えるようにしてもよい。

符号の説明

[0276] 1…倒立振子型車両、3…シート（搭載部）、5…車輪体（移動動作部）、7…アクチュエータ装置、9…基体、2 7 R, 2 7 L…回転部材、2 9 R, 2 9 L…フリーローラ、3 1 R, 3 1 L…電動モータ（回転アクチュエー

タ)、52…傾斜センサ(傾斜角度計測手段)、80…姿勢制御演算部(速度指令値決定手段)、82…モータ指令演算部(アクチュエータ制御手段)、STEP2…傾斜角度計測手段、STEP10…アクチュエータ制御手段。

請求の範囲

[請求項1]

床面上を移動可能な移動動作部と、該移動動作部を駆動するアクチュエータ装置と、該移動動作部及びアクチュエータ装置が組付けられた基体と、鉛直方向に対して傾動自在に前記基体に組付けられた運搬対象物体の搭載部とを備えた倒立振子型車両の制御装置であって、

前記搭載部の実際の傾斜角度に応じた出力を生成する傾斜角度計測手段と、

少なくとも、前記傾斜角度計測手段の出力が示す前記搭載部の傾斜角度の計測値と所定値の目標傾斜角度との偏差である傾斜偏差を用いて、該傾斜偏差を“0”に近づけるように前記移動動作部の移動速度の目標値を規定する速度指令値を逐次決定する速度指令値決定手段と、

該速度指令値決定手段により決定された速度指令値により規定される移動速度の目標値に前記移動動作部の実際の移動速度を追従させるように前記アクチュエータ装置を制御するアクチュエータ制御手段とを備えることを特徴とする倒立振子型車両の制御装置。

[請求項2]

請求項1記載の倒立振子型車両の制御装置において、

前記速度指令値決定手段は、少なくとも前記傾斜偏差に応じて前記移動動作部の移動加速度の目標値を規定する加速度指令値を逐次決定し、その決定した加速度指令値を積分することにより前記速度指令値を決定することを特徴とする倒立振子型車両の制御装置。

[請求項3]

請求項1記載の倒立振子型車両の制御装置において、

前記移動動作部は、床面上を互いに直交する第1の方向及び第2の方向を含む全方向に移動可能に構成されており、

前記搭載部は、前記第1の方向の軸周りと第2の方向の軸周りとの2軸周りで傾動自在に前記基体に組付けられており、

前記アクチュエータ装置は、前記移動動作部に駆動力を付与する2つの回転アクチュエータを備えると共に、該2つの回転アクチュエー

タのそれぞれの回転速度を制御することによって前記移動動作部の移動速度の2次元ベクトルである速度ベクトルを制御可能に構成されており、

前記速度指令値決定手段が決定する速度指令値は、前記移動動作部の速度ベクトルを規定する指令値であり、

前記アクチュエータ制御手段は、前記決定された速度指令値を前記2つの回転アクチュエータのそれぞれの回転速度を規定するアクチュエータ速度指令値に変換し、そのアクチュエータ速度指令値に応じて前記2つの回転アクチュエータを制御することを特徴とする倒立振り子型車両の制御装置。

[請求項4]

請求項3記載の倒立振り子型車両の制御装置において、

前記移動動作部は、床面上を輪転自在な車輪形状に形成されると共に、その径方向での横断面の中心軸の周りに回転可能に構成され、当該輪転動作と前記中心軸の周りの回転動作とによって前記全方向に移動可能な移動動作部であり、

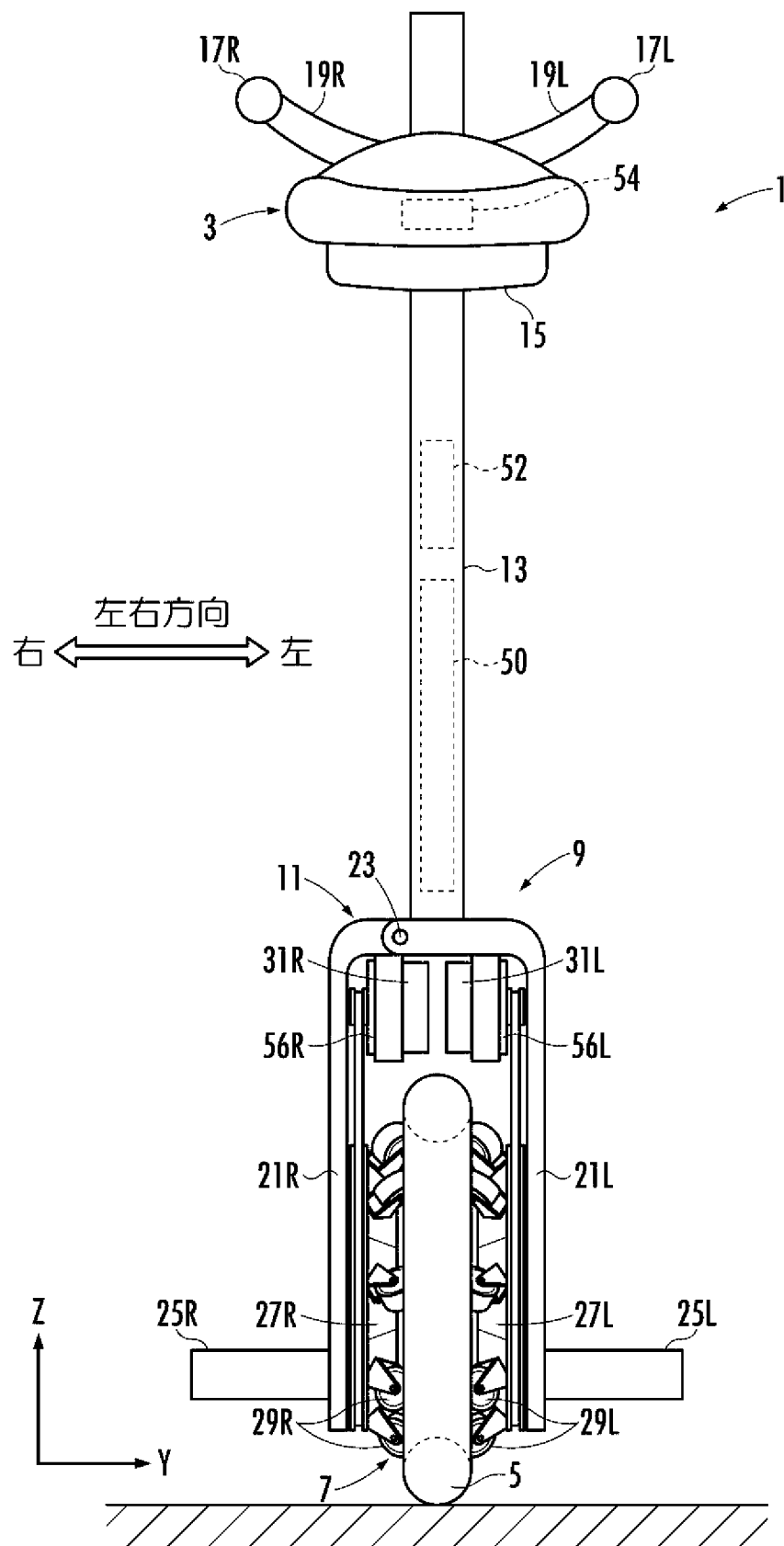
前記アクチュエータ装置は、前記移動動作部の輪転の回転軸心である輪転軸心の方向での該移動動作部の両側で該輪転軸心の周りに回転自在に配置された2つの回転部材と、該移動動作部と各回転部材との間で前記輪転軸心の周りに配列されると共に、該輪転軸心に対して傾斜した回転軸心周りに回転自在で、且つ、該回転部材と一体に前記輪転軸心の周りに回転し得るように該回転部材に保持され、さらにそれぞれの外周面が前記移動動作部に圧接された複数のローラとを備え、該2つの回転部材のそれぞれを各別の前記回転アクチュエータにより回転駆動することによって、前記移動動作部を輪転させる第1駆動力と該移動動作部を前記中心軸の周りに回転させる第2駆動力との合成駆動力を前記移動動作部と前記複数のローラとの間の摩擦力によって該移動動作部に付与するように構成されており、

前記速度指令値決定手段は、前記アクチュエータ装置によって前記

移動動作部に実際に付与される前記合成駆動力のうちの前記第 2 駆動力を観測し、第 2 駆動力の観測値に応じて前記速度指令値を補正する手段をさらに備えることを特徴とする倒立振子型車両の制御装置。

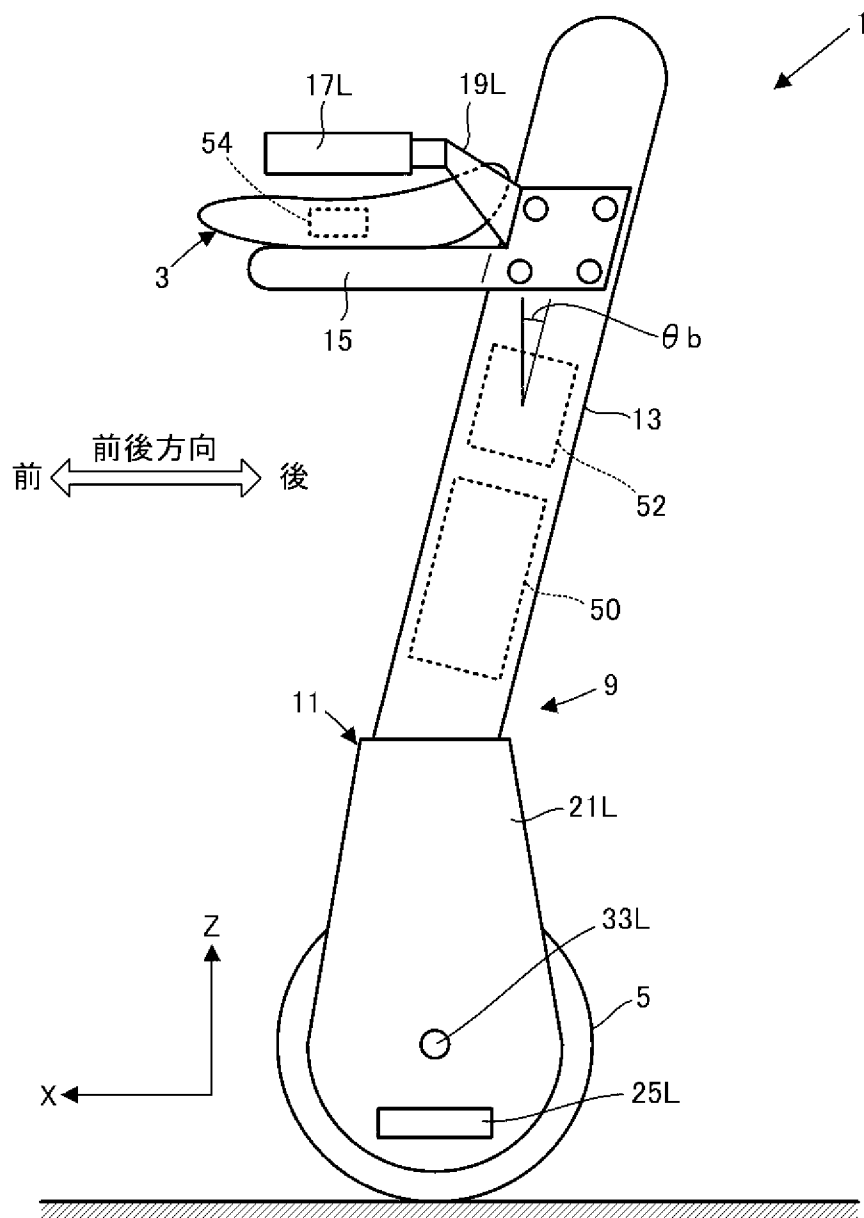
[図1]

FIG.1



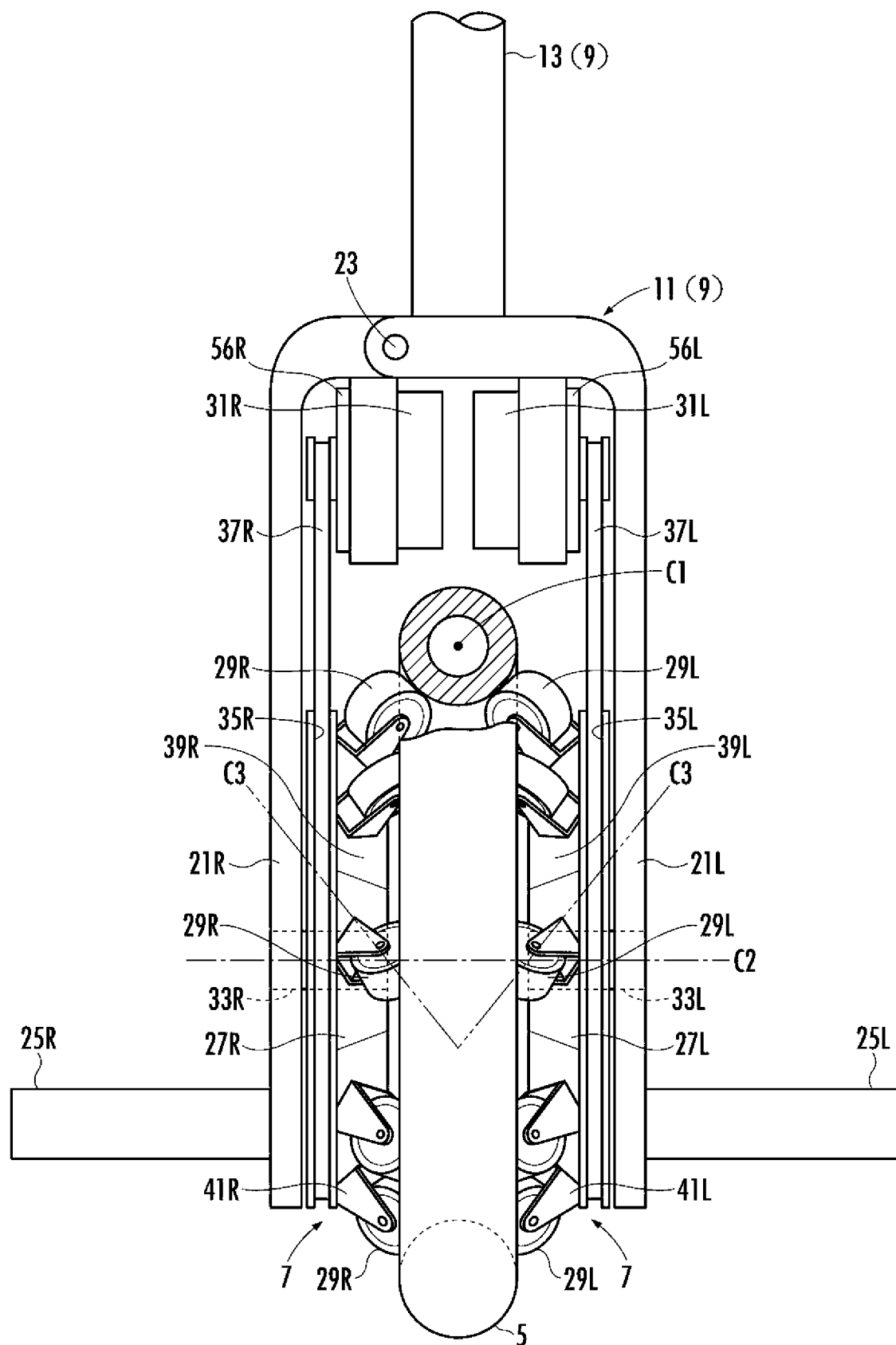
[図2]

FIG.2



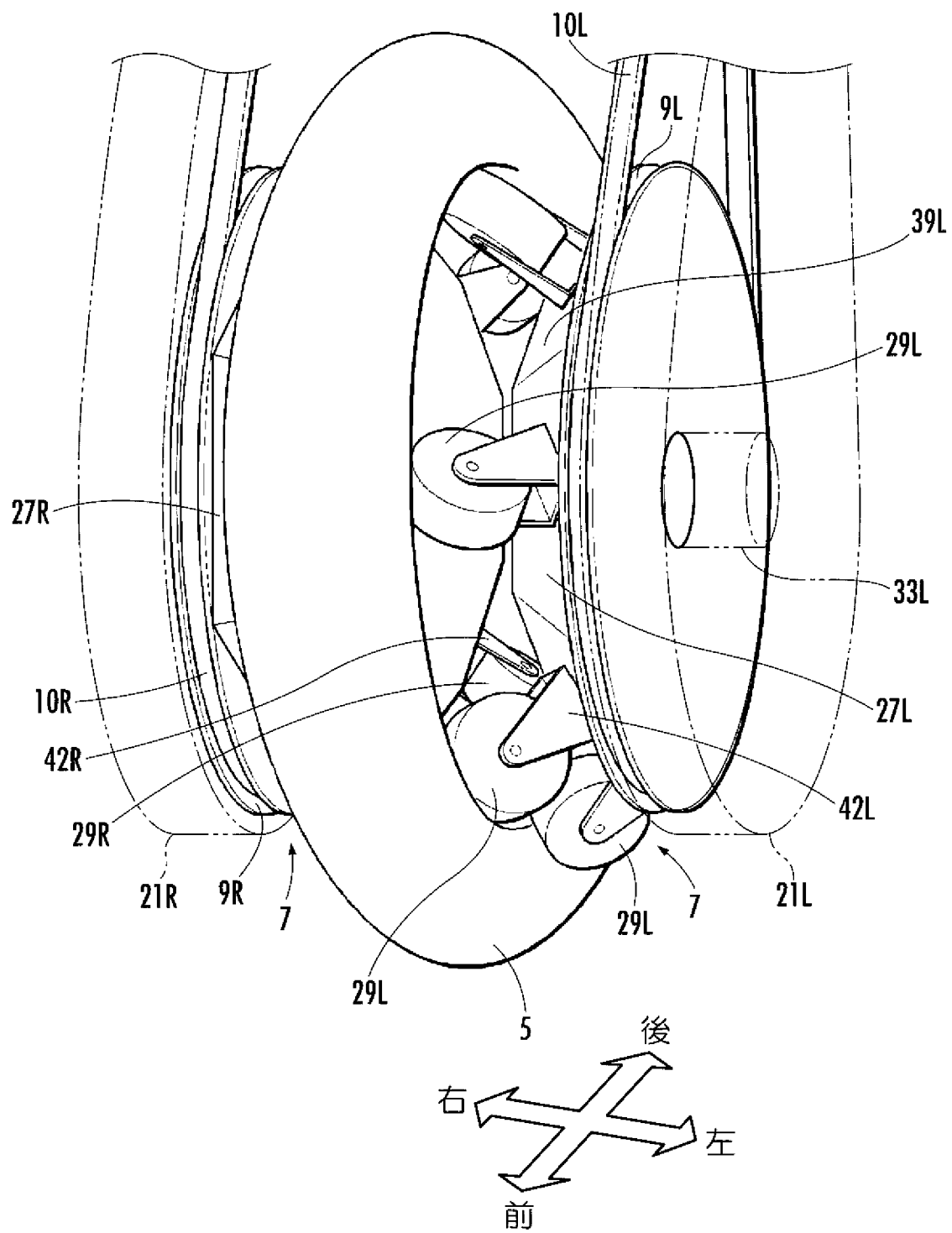
[図3]

FIG.3



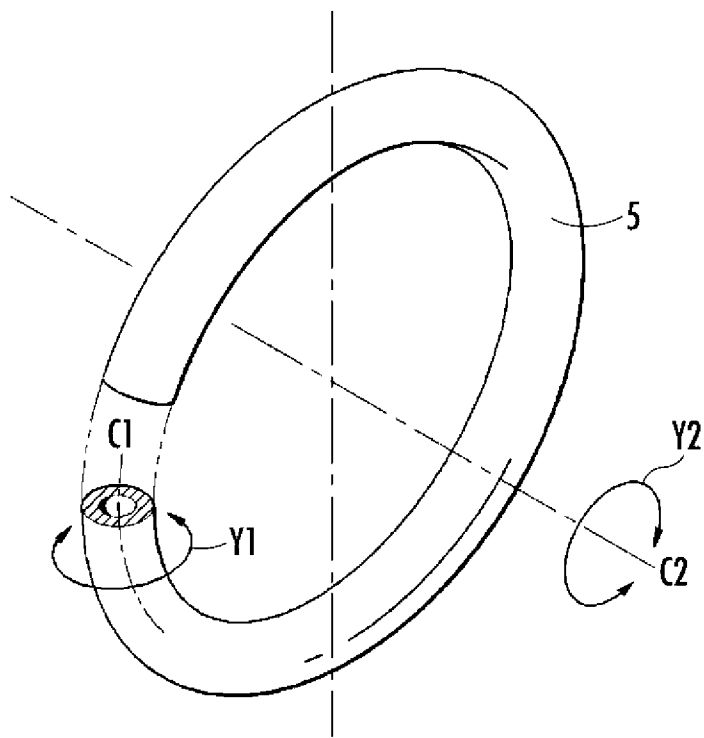
[図4]

FIG.4



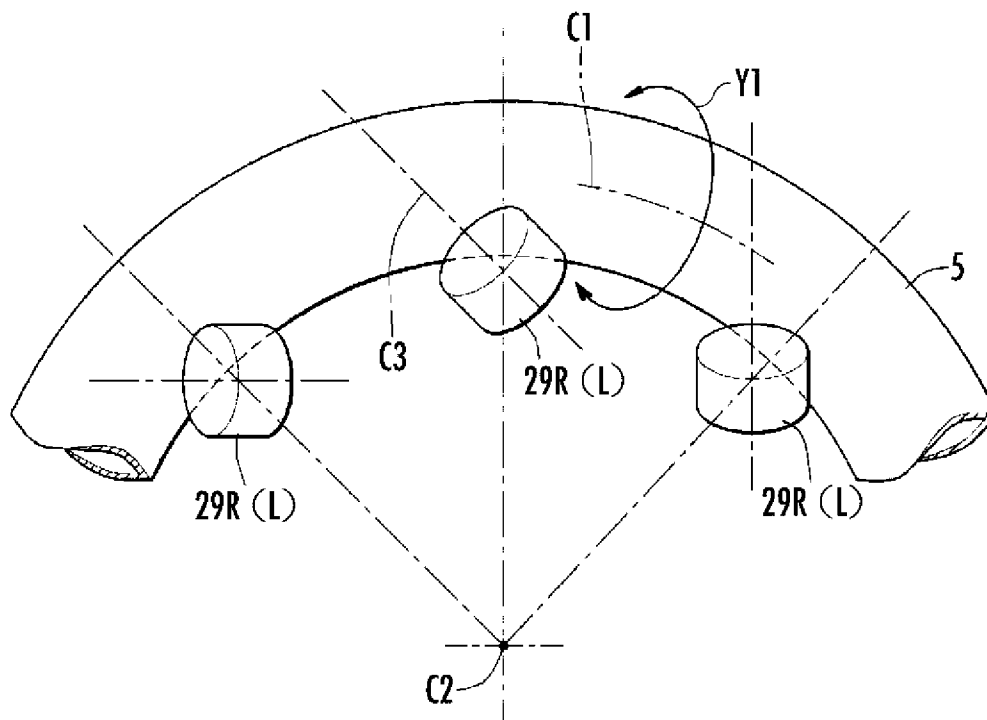
[図5]

FIG.5



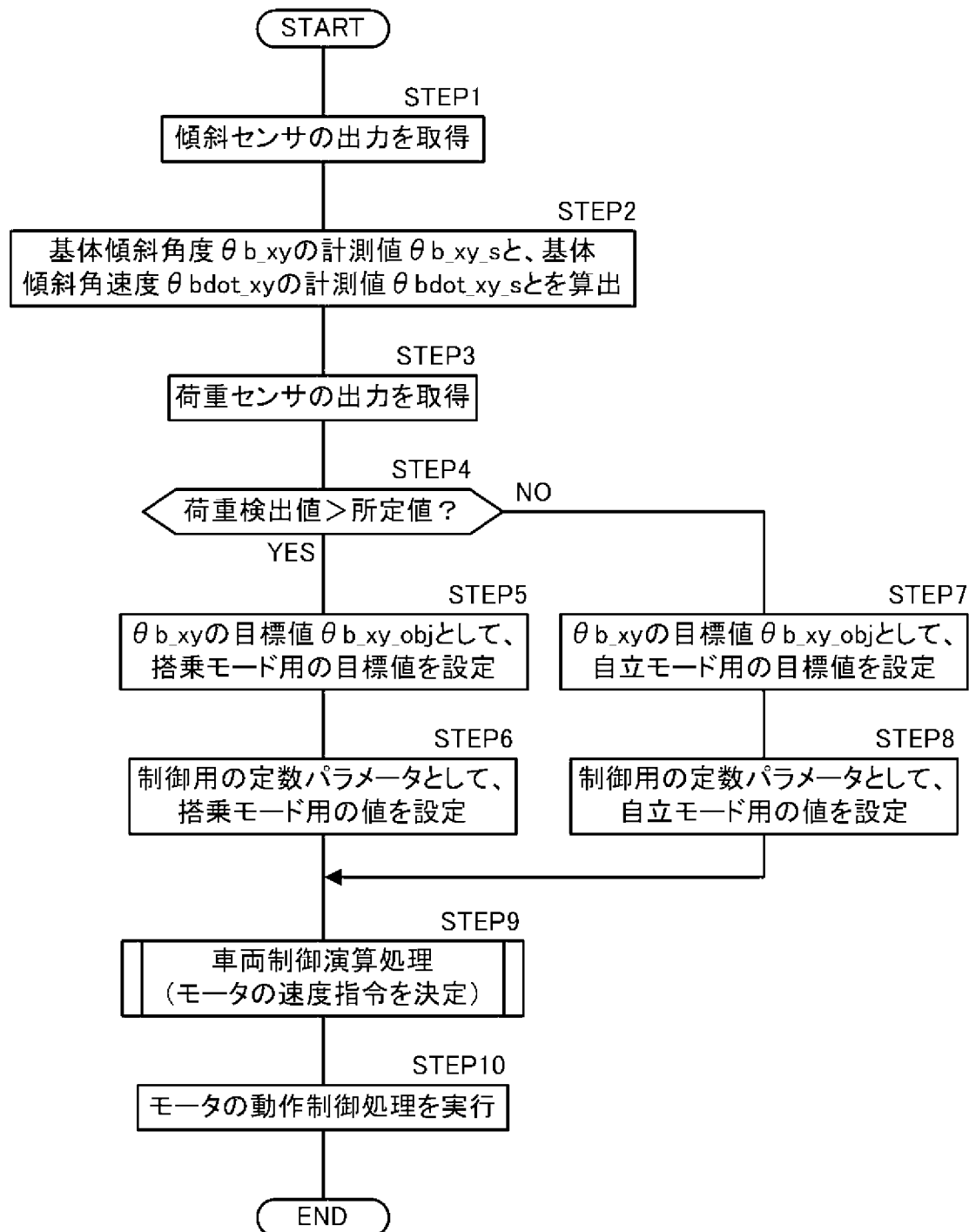
[図6]

FIG.6



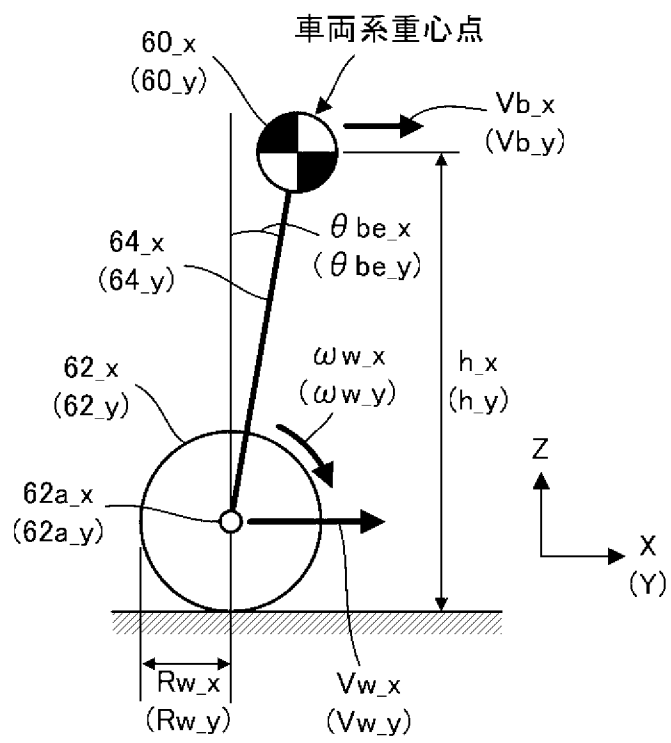
[図7]

FIG.7



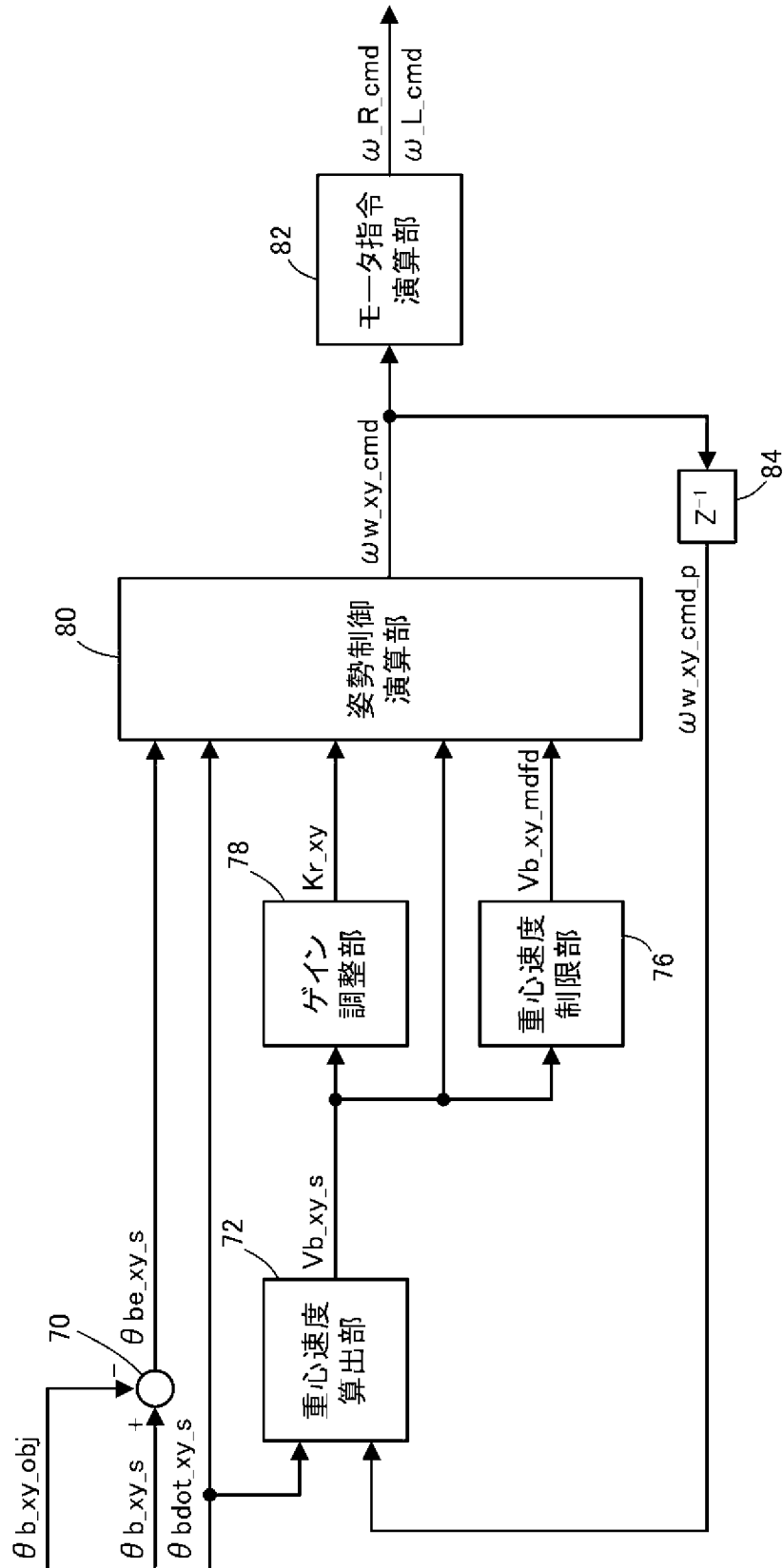
[図8]

FIG.8



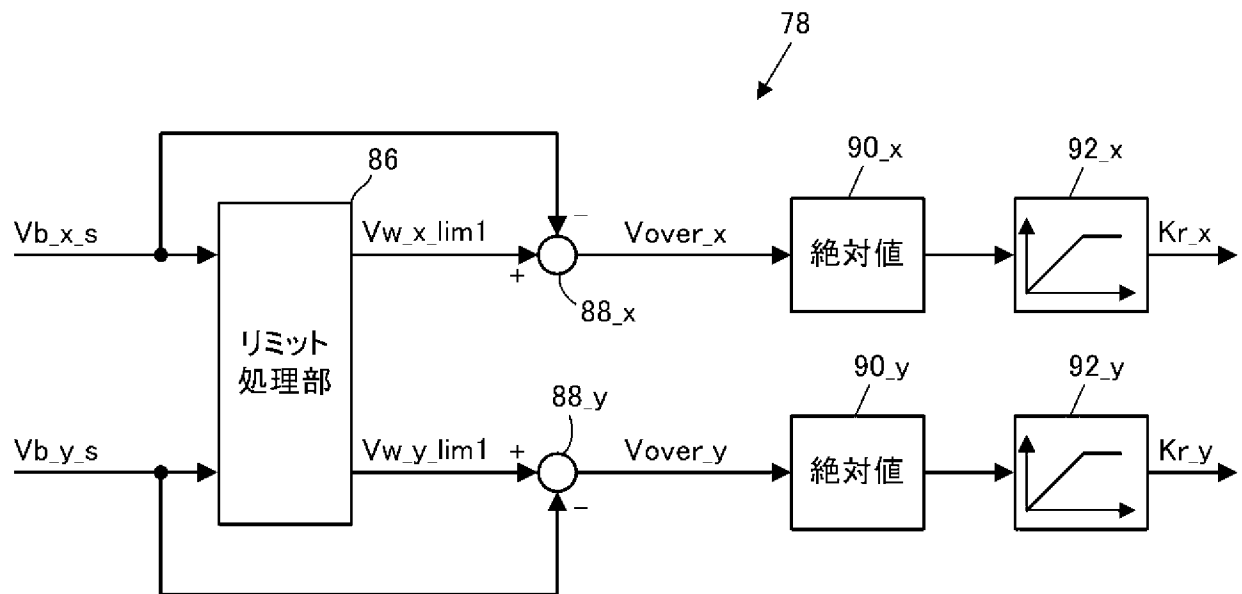
[図9]

FIG.9



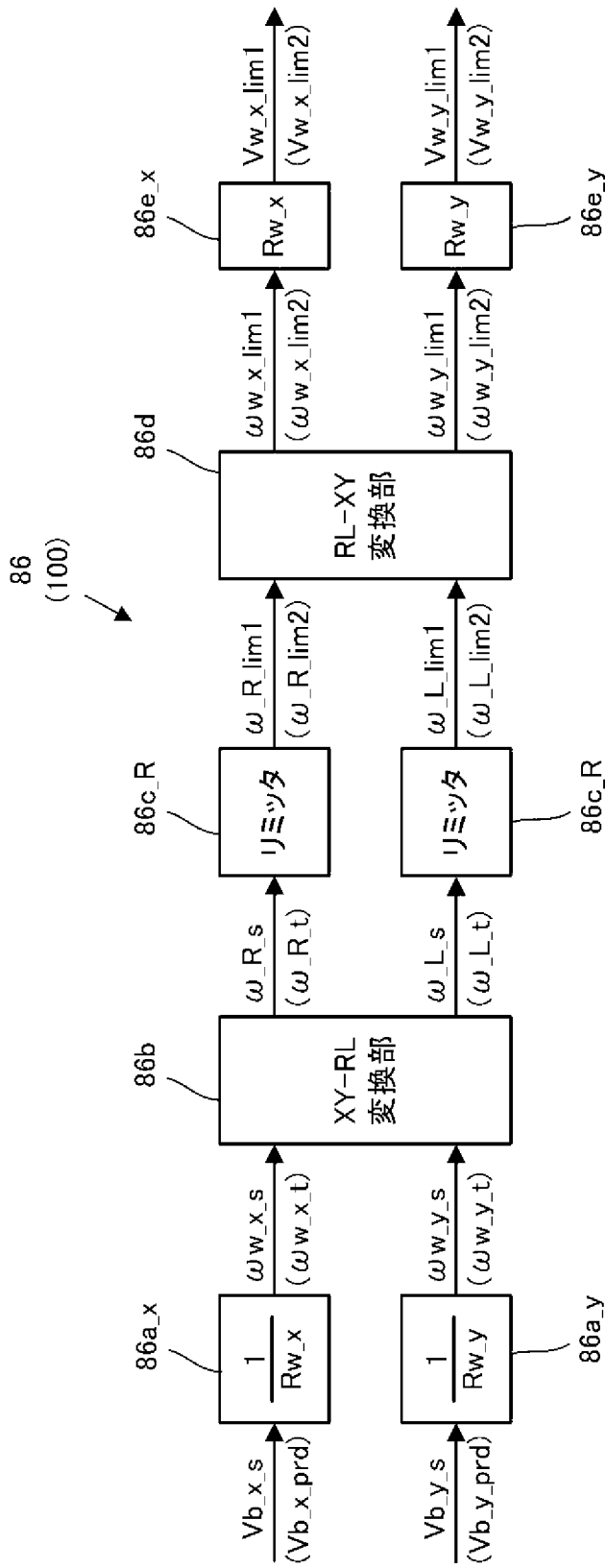
[図10]

FIG.10



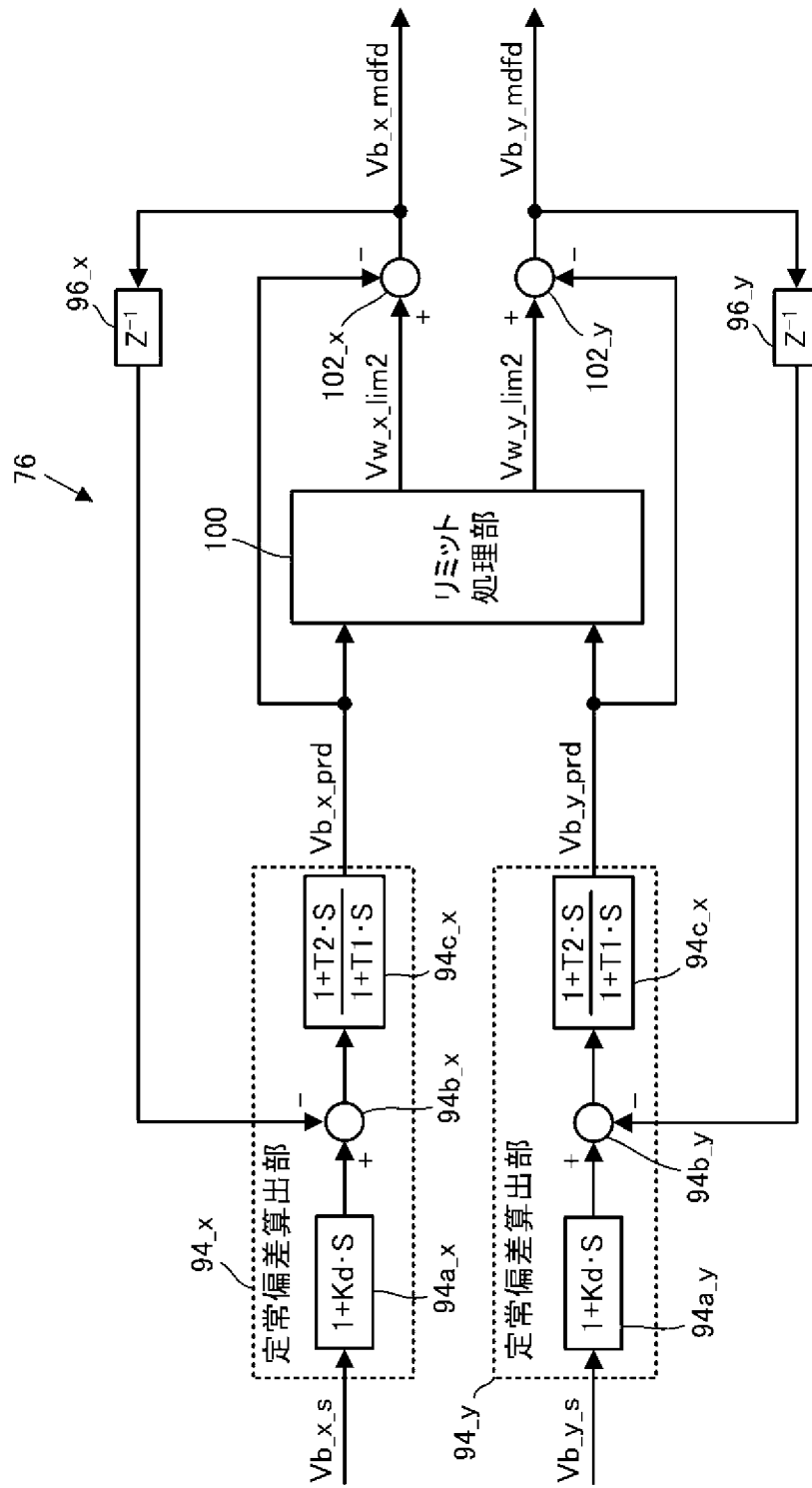
[図11]

FIG.11



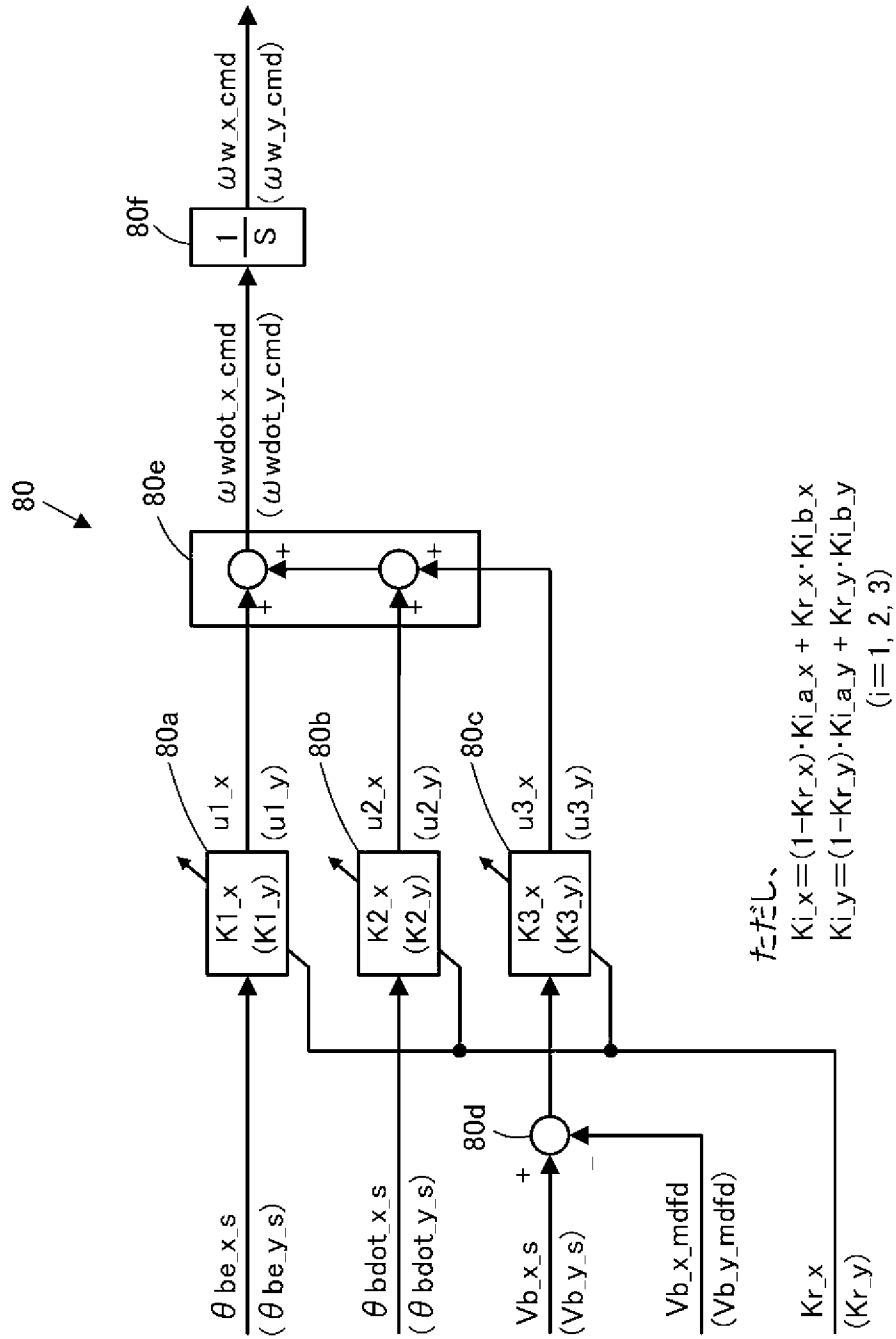
[図12]

FIG.12



[図13]

FIG.13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/004777

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B62K17/00 (2006.01) i, B62K1/00 (2006.01) i

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)

B62K17/00, B62K1/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 2008/139740 A1 (Honda Motor Co., Ltd.), 20 November 2008 (20.11.2008), entire text (particularly, paragraph [0076]); all drawings (Family: none)	1, 3 2, 4
A	JP 3070015 B2 (Honda Motor Co., Ltd.), 24 July 2000 (24.07.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2004-129435 A (Sony Corp.), 22 April 2004 (22.04.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-4

☐ 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
15 December, 2009 (15.12.09)

Date of mailing of the international search report
28 December, 2009 (28.12.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B62K17/00(2006.01)i, B62K1/00(2006.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. B62K17/00, B62K1/00

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

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2008/139740 A1 (本田技研工業株式会社) 2008. 11. 20, 全文 (特に段落【0076】)、全図 (ファミリーなし)	1, 3
A		2, 4
A	JP 3070015 B2 (本田技研工業株式会社) 2000. 07. 24, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2004-129435 A (ソニー株式会社) 2004. 04. 22, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-4

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 8 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

見目 省二

3 D

9 0 3 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 4 1