

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5386282号
(P5386282)

(45) 発行日 平成26年1月15日(2014.1.15)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int. Cl.	F I	
B 6 2 K 17/00 (2006.01)	B 6 2 K 17/00	
B 6 2 K 1/00 (2006.01)	B 6 2 K 1/00	
B 6 0 L 15/20 (2006.01)	B 6 0 L 15/20	S
G 0 5 D 1/08 (2006.01)	G 0 5 D 1/08	Z
A 6 1 H 3/04 (2006.01)	A 6 1 H 3/04	

請求項の数 4 (全 54 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2009-217925 (P2009-217925)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成21年9月18日(2009.9.18)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2011-63219 (P2011-63219A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成23年3月31日(2011.3.31)	(74) 代理人	100064908
審査請求日	平成23年11月24日(2011.11.24)		弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100146835
			弁理士 佐伯 義文
		(74) 代理人	100094400
			弁理士 鈴木 三義
		(74) 代理人	100107836
			弁理士 西 和哉
		(74) 代理人	100108453
			弁理士 村山 靖彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 歩行補助装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

自立した状態で床面上を移動する第1および第2の倒立振り子型移動体を備え、前記第1および第2の倒立振り子型移動体が利用者の左右に位置して前記利用者の歩行を補助する歩行補助装置において、

前記第1および第2の倒立振り子型移動体のそれぞれは、

他移動体の現在の状態を表す状態情報を取得する情報取得手段と、

前記状態情報に基づき、前記他移動体の現在の状態に対する自移動体の状態が該自移動体と前記他移動体とを連携動作させるために規定された所定の条件を満たすように、前記自移動体の移動を制御する移動制御手段と

を備え、

前記情報取得手段は、前記状態情報として、前記自移動体と前記他移動体との間の距離を表す位置情報を取得し、

前記移動制御手段は、前記自移動体と前記他移動体との間の距離が目標値に収束すると共に前記自移動体と前記他移動体との間の前後方向の距離がゼロに収束し、且つ、前記自移動体の前後方向の軸の回りの傾斜角と前記他移動体の前後方向の軸の回りの傾斜角とが相互に符号の異なる所定値となることを前記所定の条件として、前記自移動体の移動を制御することを特徴とする歩行補助装置。

【請求項2】

前記自移動体の基体に作用する水平方向の外力を検知する外力検知手段を更に備え、

前記移動制御手段は、前記外力検知手段により検知された外力が減少する方向に前記自移動体が移動するように、前記移動体の移動をフィードバック制御することを特徴とする請求項1記載の歩行補助装置。

【請求項3】

前記自移動体の基体に作用する鉛直方向の荷重を検知する荷重検知手段を更に備え、前記移動制御手段は、前記荷重検知手段により検知された荷重の増大に対し、前記フィードバック制御のゲイン係数を減少させることを特徴とする請求項2記載の歩行補助装置。

【請求項4】

前記所定の条件として、更に、前記自移動体の左右方向の軸の回りの傾斜角度と前記他移動体の左右方向の軸の回りの傾斜角度とを一致させることが設定されたことを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載の歩行補助装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、床面上を全方向（2次元的な全方向）に移動可能な倒立振り子型移動体を備えた歩行補助装置に関し、更に詳しくは、他の移動体と連携動作可能な倒立振り子型移動体を備えた歩行補助装置に関する。

【背景技術】

【0002】

床面上を全方向（2次元的な全方向）に移動可能な倒立振り子型移動体としては、例えば、特許文献1、2に見られるように、本願出願人により提案されている全方向移動車両がある。これらの特許文献1、2に見られる全方向移動車両にあっては、床面に接地しながら該床面上を全方向に移動可能な、球体状又は車輪状又はクローラ状の移動動作部と、該移動動作部を駆動する電動モータ等を有するアクチュエータ装置とが車両の基体に組付けられている。そして、この車両は、アクチュエータ装置により移動動作部を駆動することによって、床面上を移動する。

20

【0003】

また、この種の全方向移動車両の移動動作を制御する技術としては、例えば特許文献3に見られる技術が本願出願人により提案されている。この技術では、車両の基体が球体状の移動動作部に対して前後・左右に傾動自在に設けられている。そして、基体の傾き角を計測し、この傾き角を所要の角度に保つように、移動動作部を駆動する電動モータのトルクを制御することによって、基体の傾動動作に応じて車両を移動させるようにしている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2008/132778号

【特許文献2】国際公開第2008/132779号

【特許文献3】特許第3070015号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献1、2、あるいは特許文献3に見られる如き全方向移動車両の移動制御を行なう場合、複数台の移動車両の動作を相互に連携させることや、或る移動車両の動作を他の移動車両の動作に従属的に連携させることが望ましい場合がある。例えば、倒立振り子の全方向移動車両を松葉杖のような歩行補助装置として利用する場合、利用者は、自身の両脇に位置させた2台の全方向移動車両に自身の体重を乗せ、これら2台の全方向移動車両を同時に操作して動作を協調させる必要があるが、實際上、そのような利用は困難であった。

【0006】

50

本発明は、かかる背景に鑑みてなされたものであり、他の移動体との連携動作が可能な倒立振子型移動体を備えた歩行補助装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、請求項1に記載した発明は、自立した状態で床面上を移動する第1および第2の倒立振子型移動体を備え、前記第1および第2の倒立振子型移動体が利用者の左右に位置して前記利用者の歩行を補助する歩行補助装置において、他移動体（例えば、実施形態による他移動体1000L）の現在の状態を表す状態情報を取得する情報取得手段（例えば、実施形態による通信部701、距離センサ704）と、前記状態情報に基づき、前記他移動体の現在の状態に対する自移動体（例えば、実施形態による自移動体1000R）の状態が該自移動体と前記他移動体とを連携動作させるために規定された所定の条件（例えば、実施形態による式071x, 071yの右辺の各項で与えられる条件）を満たすように、前記自移動体の移動を制御する移動制御手段（例えば、実施形態による姿勢制御演算部80）とを備え、前記情報取得手段は、前記状態情報として、前記自移動体と前記他移動体との間の距離を表す位置情報（例えば、実施形態による自移動体1000Rと他移動体1000Lとの間の距離 L_{s_xy} ）を取得し、前記移動制御手段は、前記自移動体と前記他移動体との間の距離が目標値（例えば、実施形態による目標距離 L_{target_xy} ）に収束すると共に前記自移動体と前記他移動体との間の前後方向の距離（例えば、実施形態による自移動体1000Rと他移動体1000Lとの間の距離 L_{s_x} ）がゼロに収束し、且つ、前記自移動体の前後方向の軸の回りの傾斜角と前記他移動体の前後方向の軸の回りの傾斜角とが相互に符号の異なる所定値となることを前記所定の条件として、前記自移動体の移動を制御することを特徴とする。

この構成によれば、他移動体の現在の状態に対する自移動体の状態が所定の条件を満たすように前記自移動体の移動が制御されるので、所定の条件に従って自移動体を他移動体と連携動作させることが可能になる。従って、複数台の倒立振子型移動体を連携動作させることが可能になる。

また、この構成によれば、自移動体と他移動体との間の距離が所定の条件として与えられた目標値に収束するように自移動体の移動を制御するので、自移動体と他移動体との間の距離を一定に維持することが可能になる。従って、自移動体と他移動体との間の距離を一定に維持して自移動体が他移動体と連携動作することが可能になる。

更に、この構成によれば、自移動体および他移動体の傾斜角度を、それぞれの目標傾斜角度に維持することが可能になる。

【0008】

請求項2に記載した発明は、請求項1に記載した発明に係る歩行補助装置において、前記自移動体の基体に作用する水平方向の外力を検知する外力検知手段（例えば、実施形態による外力センサ706）を更に備え、前記移動制御手段は、前記外力検知手段により検知された外力が減少する方向に前記自移動体が移動するように、前記移動体の移動をフィードバック制御することを特徴とする。

この構成によれば、外力検知手段により検知された外力が減少する方向に自移動体を移動させるので、外力の方向に応じて、自移動体の移動方向を決定することが可能になる。

【0009】

請求項3に記載した発明は、請求項2に記載した発明に係る歩行補助装置において、前記自移動体の基体に作用する鉛直方向の荷重を検知する荷重検知手段（例えば、実施形態による荷重センサ707）を更に備え、前記移動制御手段は、前記荷重検知手段により検知された荷重の増大に対し、前記フィードバック制御のゲイン係数（例えば、実施形態によるゲイン係数 $K6_{xy}$ ）を減少させることを特徴とする。

この構成によれば、荷重の増大に対し、前記フィードバック制御のゲインを減少させるので、自移動体の基体に荷重が加えられた状態では、基体に加えられる外力の変化に対して自移動体の移動の変化が抑制される。従って、荷重が存在する状態では自移動体の移動動作を穏やかに行わせることが可能になる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

前記情報取得手段は、前記状態情報として、前記他移動体の姿勢を表す姿勢情報（例えば、実施形態による他移動体 1 0 0 0 L の基体傾斜角度計測値 $b_{xy_s}(L)$ ）を取得し、前記移動制御手段は、前記自移動体および前記他移動体の各姿勢が前記所定の条件として与えられた姿勢を維持するように前記自移動体の移動を制御してもよい。

この構成によれば、自移動体および他移動体の各姿勢が所定の条件として与えられた関係を満たすように自移動体の移動を制御するので、自移動体および他移動体の各姿勢が所定の条件として規定された姿勢になる。従って、自移動体の姿勢を他移動体の姿勢に合わせて自移動体が他移動体と連携動作することが可能になる。

【 0 0 1 2 】

請求項 4 に記載した発明は、請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の発明に係る歩行補助装置において、前記所定の条件として、前記自移動体の左右方向の軸の回りの傾斜角度と前記他移動体の左右方向の軸の回りの傾斜角度とを一致させることが設定されたことを特徴とする。この構成によれば、自移動体と他移動体とを並行状に維持することが可能になる。

また、前記所定の条件として、前記自移動体の傾斜角度と前記他移動体の傾斜角度との差分が所定値となることが設定されてもよい。この構成によれば、自移動体および他移動体を相互に異なる方向に傾倒させた状態に維持することが可能になる。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

請求項 1 に記載した発明によれば、他移動体の現在の状態に対する自移動体の状態が所定の条件を満たすように前記自移動体の移動を制御するので、所定の条件に従って自移動体を他移動体と連携動作させることができる。

請求項 2 に記載した発明によれば、外力が減少する方向に自移動体を移動させるので、外力の方向に応じて自移動体の移動方向を決定することができる。

請求項 3 に記載した発明によれば、荷重の増大に対してフィードバック制御のゲイン係数を減少させるので、荷重が存在する状態では自移動体の移動動作を穏やかに行わせることができる。

請求項 4 に記載した発明によれば、自移動体と他移動体との間の距離が所定の条件として与えられた値に収束するように自移動体の移動を制御するので、自移動体と他移動体との間の距離を一定に維持するように自移動体を他移動体と連携動作させることができる。

請求項 5 に記載した発明によれば、自移動体および他移動体の各姿勢が所定の条件として与えられた姿勢を維持するように自移動体の移動を制御するので、自移動体の姿勢を他移動体の姿勢に合わせて自移動体を他移動体と連携動作させることができる。

請求項 6 に記載した発明によれば、所定の条件として、移動体の傾斜角度を一致させることが設定されたので、自移動体と他移動体とを並行状に維持することが可能になり、各移動体の姿勢を合わせることができる。

請求項 7 に記載した発明によれば、所定の条件として、自移動体の傾斜角度の差分が所定値となることが設定されたので、自移動体および他移動体を相互に異なる方向に傾倒させた状態に維持させることができる。

請求項 8 に記載した発明によれば、所定の条件として、自移動体の傾斜角度が所定値となることが設定されたので、各移動体の傾斜角度を、それぞれの目標傾斜角度に維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の正面図。

【図 2】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の側面図。

【図 3】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の下部を拡大して示す図。

【図 4】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の下部の斜視図。

10

20

30

40

50

【図5】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の移動動作部（車輪体）の斜視図。

【図6】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の移動動作部（車輪体）とフリーローラとの配置関係を示す図。

【図7】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動車両の制御ユニットの処理を示すフローチャート。

【図8】本発明による実施形態の前提技術となる全方向移動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のステップS9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78の処理機能を示すブロック図。

【図11】図10に示すリミット処理部（又は図12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76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80の処理機能を示すブロック図。

【図14】図9に示す要求重心速度生成部74の処理を示すフローチャート。

【図15】図14のステップS23のサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図16】図15のステップS23-5のサブルーチン処理の一部を示すフローチャート

。【図17】図15のステップS23-5のサブルーチン処理の残りの一部を示すフローチャート。

【図18】図15のステップS23-6のサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図19】図14のステップS24のサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図20】図14のステップS25のサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図21】本発明による実施形態の倒立振子型移動体を歩行補助装置として使用する場合の使用形態を説明するための説明図。

【図22】本発明による実施形態の変形例を説明するための説明図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明の実施形態による倒立振子型移動体は、全方向移動車両としての移動制御に関する技術を前提とし、他の移動体との連携動作を実現するための構成を特徴部として更に備える。換言すれば、本実施形態による倒立振子型移動体は、全方向移動車両としての基本的な移動制御に関する構成に加え、他の移動体と連携して動作するための構成を備える。

そこで、本実施形態では、「1.前提技術（全方向移動車両）」の項において、前提技術となる着座型の全方向移動車両について一通り説明した後に、「2.連携技術」の項において、松葉杖の様な歩行補助具に適用した場合を例として、本実施形態による倒立振子型移動体の特徴部である連携動作に関わる技術内容を説明する。

【0016】

1.前提技術（全方向移動車両）

図1～図6を参照して、本実施形態による倒立振子型移動体の前提技術となる全方向移動車両の構造を説明する。

図1及び図2に示すように、本実施形態における全方向移動車両1は、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。

【0017】

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

10

20

30

40

50

い姿勢である。

【 0 0 1 8 】

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。

【 0 0 1 9 】

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 1 1 と、この下部フレーム 1 1 の上端から上方に延設された支柱フレーム 1 3 とを備える。

支柱フレーム 1 3 の上部には、該支柱フレーム 1 3 から前方側に張り出したシートフレーム 1 5 が固定されている。そして、このシートフレーム 1 5 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 が乗員の搭乗部となっている。従って、本実施形態における全方向移動車両 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。

【 0 0 2 0 】

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 1 7 R, 1 7 L が配置され、これらのグリップ 1 7 R, 1 7 L がそれぞれ、支柱フレーム 1 3 (又はシートフレーム 1 5) から延設されたブラケット 1 9 R, 1 9 L の先端部に固定されている。

【 0 0 2 1 】

下部フレーム 1 1 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、図示を省略するパネによって、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。

【 0 0 2 2 】

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。

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。

【 0 0 2 3 】

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。

【 0 0 2 4 】

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。

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。

【 0 0 2 5 】

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Y2で示す如く車輪体5の軸心C2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。

【0026】

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21L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。

10

【0027】

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。

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。

20

【0028】

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

【0029】

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31R, 31Lを、それぞれの出力軸が各回転部材27R, 27Lと同軸心になるように各回転部材27R, 27Lに対向させて配置し、電動モータ31R, 31Lのそれぞれの出力軸を回転部材27R, 27L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。

30

【0030】

各回転部材27R, 27L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39R, 39Lとなっている。

回転部材27Rのテーパ外周面39Rの周囲には、回転部材27R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29Rが配列されている。そして、これらのフリーローラ29Rは、それぞれ、ブラケット41Rを介してテーパ外周面39Rに取付けられ、該ブラケット41Rに回転自在に支承されている。

40

【0031】

同様に、回転部材27Lのテーパ外周面39Lの周囲には、回転部材27L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29Rと同数)のフリーローラ29Lが配列されている。そして、これらのフリーローラ29Lは、それぞれ、ブラケット41Lを介してテーパ外周面39Lに取付けられ、該ブラケット41Lに回転自在に支承されている。

【0032】

前記車輪体5は、回転部材27R側のフリーローラ29Rと、回転部材27L側のフリ

50

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。

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 C 3 が車輪体 5 の軸心 C 2 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。

【 0 0 3 3 】

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 周りの方向の摩擦成分（車輪体 5 の内周の接線方向の摩擦成分）と、車輪体 5 の前記横断面中心 C 1 の周り方向の摩擦成分（円形の横断面の接線方向の摩擦成分）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。

【 0 0 3 4 】

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。

【 0 0 3 5 】

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。

【 0 0 3 6 】

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 5 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。

【 0 0 3 7 】

さらに、回転部材 27 R , 27 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。

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 27 R , 27 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。

【 0 0 3 8 】

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 31 R , 31 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 27 R , 27 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。

【 0 0 3 9 】

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

10

20

30

40

50

方向と言うことがある。

【 0 0 4 0 】

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。

【 0 0 4 1 】

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。

【 0 0 4 2 】

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。

【 0 0 4 3 】

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。

【 0 0 4 4 】

また、車両 1 を発進させる場合等において、アクチュエータ装置 7 による推進力とは別に、例えば乗員が必要に応じて自身の足により床を蹴り、それにより車両 1 の移動速度を増速させる推進力（乗員の足平と床との摩擦力による推進力）を、付加的な外力として車両 1 に作用させた場合には、それに応じて車両 1 の移動速度（より正確には、乗員及び車両の全体の重心点の移動速度）が増速するように、車輪体 5 の移動動作が制御される。なお、当該推進力の付加が停止された状態では、車両 1 の移動速度が一旦、一定速度に保持された後、減衰して、該車両 1 が停止するように、車輪体 5 の移動動作が制御される（車輪体 5 の制動制御が行なわれる）。

【 0 0 4 5 】

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。

【 0 0 4 6 】

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 b 及びその変化速度（ $= d b / dt$ ）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ーエンコーダ 5 6 R , 5 6 L がそれぞれ、車両 1 の適所に搭載されている。

【 0 0 4 7 】

この場合、制御ユニット 50 及び傾斜センサ 52 は、例えば、基体 9 の支柱フレーム 13 の内部に收容された状態で該支柱フレーム 13 に取付けられている。また、荷重センサ 54 は、シート 3 に内蔵されている。また、ロータリーエンコーダ 56 R, 56 L は、それぞれ、電動モータ 31 R, 31 L と一体に設けられている。なお、ロータリーエンコーダ 56 R, 56 L は、それぞれ、回転部材 27 R, 27 L に装着してもよい。

【0048】

上記傾斜センサ 52 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 50 に出力する。そして、制御ユニット 50 が、傾斜センサ 52 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 52 を搭載した部位（本実施形態では支柱フレーム 13）の、鉛直方向に対する傾斜角度 b の計測値とその変化速度（微分値）である傾斜角速度 $b\dot{}$ の計測値とを算出する。

10

【0049】

この場合、計測する傾斜角度 b （以降、基体傾斜角度 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 b_x と、X 軸周り方向（ロール方向）の成分 b_y とから成る。同様に、計測する傾斜角速度 $b\dot{}$ （以降、基体傾斜角速度 $b\dot{}$ ということがある）も、Y 軸周り方向（ピッチ方向）の成分 $b\dot{x}$ （ $=d b_x/dt$ ）と、X 軸周り方向（ロール方向）の成分 $b\dot{y}$ （ $=d b_y/dt$ ）とから成る。

20

【0050】

なお、本実施形態の説明では、上記基体傾斜角度 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。

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。

【0051】

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。

30

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

【0052】

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。

40

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。

【0053】

ロータリーエンコーダ 56 R は、電動モータ 31 R 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 53 R 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变化率（微分値）を電動モータ 53 R の回転角速度として計測する。電動モータ 31 L 側のロータリーエンコーダ 56 L についても同様である。

【0054】

50

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。

【0055】

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。

10

【0056】

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。

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。

【0057】

まず、ステップS1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。

次いで、ステップS2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 b の計測値 b_{xy_s} と、基体傾斜角速度 \dot{b} の計測値 \dot{b}_{xy_s} とを算出する。

なお、以降の説明では、上記計測値 b_{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。

20

【0058】

次いで、制御ユニット50は、ステップS3において、荷重センサ54の出力を取得した後、ステップS4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否かによって、車両1に乗員が搭乗しているか否か（シート3に乗員が着座しているか否か）を判断する。

そして、制御ユニット50は、ステップS4の判断結果が肯定的である場合には、基体傾斜角度 b の目標値 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（各種ゲインの基本値など）の値を設定する処理とを、それぞれステップS5、6で実行する。

30

【0059】

ステップS5においては、制御ユニット50は、基体傾斜角度 b の目標値 b_{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。

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 b_{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 b の計測値 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。

40

【0060】

また、ステップS6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。

一方、ステップS4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 b_{xy} の目標値 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、ステップS7、8で実行する。

【0061】

50

ステップS7においては、制御ユニット50は、傾斜角度 b の目標値 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。

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 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 b の計測値 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 b_{xy_obj} は、搭乗モード用の目標値 b_{xy_obj} と一般的には異なる。

【0062】

また、ステップS8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。

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。

【0063】

以上のステップS4～8の処理によって、搭乗モード及び自立モードの動作モード毎に個別に、基体傾斜角度 b_{xy} の目標値 b_{xy_obj} と定数パラメータの値とが設定される。

なお、ステップS5, 6の処理、又はステップS7, 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、ステップS4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。

【0064】

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 $b\dot{}$ のY軸周り方向の成分 $b\dot{}_x$ の目標値とX軸周り方向の成分 $b\dot{}_y$ 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 $b\dot{}_{xy}$ の目標値を設定する処理は不要である。

【0065】

以上の如くステップS5, 6の処理、又はステップS7, 8の処理を実行した後、制御ユニット50は、次にステップS9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31R, 31L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。

【0066】

次いで、ステップS10に進んで、制御ユニット50は、ステップS9で決定した速度指令に応じて電動モータ31R, 31L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、ステップS9で決定した電動モータ31Rの速度指令と、ロータリーエンコーダ56Rの出力に基づき計測した電動モータ31R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31R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31Rに出力させるように該電動モータ31Rの通電電流を制御する。左側の電動モータ31Lの動作制御についても同様である。

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。

【0067】

次に、上記ステップS9の車両制御演算処理の詳細を説明する。

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。

【0068】

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

10

20

30

40

50

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。

また、X軸方向の速度及び加速度に関しては、前方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。

【0069】

本実施形態では、前記車両系重心点の動力学的な挙動（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、倒立振り子モデルの挙動（倒立振り子の動力学的挙動）によって表現されるものとして、ステップS9の車両制御演算処理が行なわれる。

【0070】

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り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り子モデルに対応する参照符号である。

この場合、Y軸方向から見た挙動を表現する倒立振り子モデルは、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を有して床面上を回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。

【0071】

この倒立振り子モデルでは、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 be_x がY軸周り方向での基体傾斜角度計測値 b_{x_s} と基体傾斜角度目標値 $b_{x_{obj}}$ との偏差 $be_{x_s} (= b_{x_s} - b_{x_{obj}})$ に一致するものとされる。また、ロッド64_xの傾斜角度 be_x の変化速度 ($= d be_x / dt$) がY軸周り方向の基体傾斜角速度計測値 $b_{dot_{x_s}}$ 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。

【0072】

同様に、X軸方向から見た挙動を表現する倒立振り子モデル（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を有して床面上を回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。

【0073】

この倒立振り子モデルでは、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 be_y がX軸周り方向での基体傾斜角度計測値 b_{y_s} と基体傾斜角度目標値 $b_{y_{obj}}$ との偏差 $be_{y_s} (= b_{y_s} - b_{y_{obj}})$ に一致するものとされる。また、ロッド64_yの傾斜角度 be_y の変化速度 ($= d be_y / dt$) がX軸周り方向の基体傾斜角速度計測値 $b_{dot_{y_s}}$ 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。

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。

【0074】

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

【0075】

10

20

30

40

50

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

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

【0076】

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。

ここで、図8に示す倒立振子モデルの動力学は、次式03x、03yにより表現される。なお、式03x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03y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。

【0077】

$$d^2 \theta_x / dt^2 = -\omega_x \cdot \theta_x + \dot{\omega}_x \quad \dots\dots \text{式 } 03x$$

$$d^2 \theta_y / dt^2 = -\omega_y \cdot \theta_y + \dot{\omega}_y \quad \dots\dots \text{式 } 03y$$

【0078】

式03xにおける $\dot{\omega}_x$ は仮想車輪62_xの回転角加速度（回転角速度 ω_x の1階微分値）、 ω_x は、質点60_xの質量や高さ h_x に依存する係数、 θ_x は、仮想車輪62_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03yにおける $\dot{\omega}_y$ 、 ω_y 、 θ_y についても上記と同様である。

【0079】

これらの式03x、03yから判るように、倒立振子の質点60_x、60_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62_xの回転角加速度 $\dot{\omega}_x$ 、仮想車輪62_yの回転角加速度 $\dot{\omega}_y$ に依存して規定される。

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操作量（制御入力）として、仮想車輪62_xの回転角加速度 $\dot{\omega}_x$ 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操作量（制御入力）として、仮想車輪62_yの回転角加速度 $\dot{\omega}_y$ を用いる。

【0080】

そして、ステップS9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、操作量としての上記回転角加速度 $\dot{\omega}_x$ 、 $\dot{\omega}_y$ の指令値（目標値）である仮想車輪回転角加速度指令 $\dot{\omega}_x_{cmd}$ 、 $\dot{\omega}_y_{cmd}$ 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 $\dot{\omega}_x_{cmd}$ 、 $\dot{\omega}_y_{cmd}$ 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 ω_x 、 ω_y の指令値（目標値）である仮想車輪回転角速度指令 ω_x_{cmd} 、 ω_y_{cmd} として決定する。

【0081】

そして、制御ユニット50は、仮想車輪回転角速度指令 ω_x_{cmd} に対応する仮想車輪62_xの移動速度（ $= R_{w_x} \cdot \omega_x_{cmd}$ ）と、仮想車輪回転角速度指令 ω_y_{cmd} に対応する仮想車輪62_yの移動速度（ $= R_{w_y} \cdot \omega_y_{cmd}$ ）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 ω_R_{cmd} 、 ω_L_{cmd} を決定する。

【0082】

なお、後述する他の移動体との連携動作を考慮に入れなければ、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 $\dot{\omega}_x_{cmd}$ 、 $\dot{\omega}_y_{cmd}$ は、それぞれ、後述する式07x、07y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。

【0083】

制御ユニット50は、上記の如き、ステップS9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。

なお、図9において、符号70、72、74、76、78、80、82、84が付された要素は、本実施形態による倒立振子型移動体の全方向移動車両としての基本的な移動制

10

20

30

40

50

御に関わる要素であり、その他の符号 701 ~ 708 が付された要素は、本実施形態による倒立振子の連携動作に関わる要素である。ここでは、図 9 の上記要素のうち、全方向移動車両としての基本的な移動制御に関わる要素のみについて説明するものとし、連携動作に関わる要素の詳細については、後述の「2. 連携技術」の項で説明する。

【0084】

制御ユニット 50 は、基体傾斜角度計測値 b_{xy_s} と基体傾斜角度目標値 b_{xy_obj} との偏差である基体傾斜角度偏差計測値 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、乗員等による車両 1 の操縦操作（車両 1 に推進力を付加する操作）によって要求されていると推定される上記重心速度 $V_{b_{xy}}$ の要求値としての要求重心速度 V_{xy_aim} を生成する要求重心速度生成部 74 と、これらの重心速度推定値 $V_{b_{xy_s}}$ 及び要求重心速度 V_{xy_aim} から、電動モータ 31R, 31L 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。

10

【0085】

制御ユニット 50 は、さらに、前記仮想車輪回転角速度指令 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 w_{xy_cmd} を、右側の電動モータ 31R の速度指令 $_R_cmd$ （回転角速度の指令値）と左側の電動モータ 31L の速度指令 $_L_cmd$ （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。

20

【0086】

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 80 が制御処理周期毎に算出する仮想車輪回転角速度指令 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 w_{xy_cmd} の前回値 $w_{xy_cmd_p}$ を出力する。

【0087】

前記ステップ S9 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。

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。

30

【0088】

偏差演算部 70 には、前記ステップ S2 で算出された基体傾斜角度計測値 b_{xy_s} (b_{x_s} 及び b_{y_s}) と、前記ステップ S5 又はステップ S7 で設定された目標値 b_{xy_obj} (b_{x_obj} 及び b_{y_obj}) とが入力される。そして、偏差演算部 70 は、 b_{x_s} から b_{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 be_{x_s} ($= b_{x_s} - b_{x_obj}$) を算出すると共に、 b_{y_s} から b_{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 be_{y_s} ($= b_{y_s} - b_{y_obj}$) を算出する。

なお、偏差演算部 70 の処理は、ステップ S9 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、前記ステップ S5 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。

40

【0089】

前記重心速度算出部 72 には、前記ステップ S2 で算出された基体傾斜角速度計測値 $b\dot{xy}_s$ ($b\dot{x}_s$ 及び $b\dot{y}_s$) の今回値が入力されると共に、仮想車輪速度指令 w_{xy_cmd} の前回値 $w_{xy_cmd_p}$ ($w_{x_cmd_p}$ 及び $w_{y_cmd_p}$) 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 $V_{b_{xy_s}}$ ($V_{b_{x_s}}$ 及び $V_{b_{y_s}}$) を算出する。

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

50

【 0 0 9 0 】

$$Vb_x_s = Rw_x \cdot w_x_cmd_p + h_x \cdot bdot_x_s \quad \dots\dots 0\ 5\ x$$

$$Vb_y_s = Rw_y \cdot w_y_cmd_p + h_y \cdot bdot_y_s \quad \dots\dots 0\ 5\ y$$

【 0 0 9 1 】

これらの式 0 5 x , 0 5 y において、 Rw_x , Rw_y は、前記したように、仮想車輪 6 2 _x , 6 2 _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、それぞれ倒立振り子モデルの質点 6 0 _x , 6 0 _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、前記ステップ S 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。

10

【 0 0 9 2 】

上記式 0 5 x の右辺の第 1 項は、仮想車輪 6 2 _xの速度指令の前回値 $w_x_cmd_p$ に対応する該仮想車輪 6 2 _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 0 5 x の右辺の第 2 項は、基体 9 が Y 軸周りに $bdot_x_s$ 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 0 5 y についても同様である。

【 0 0 9 3 】

なお、前記ロータリーエンコーダ 5 6 R , 5 6 L の出力を基に計測される電動モータ 3 1 R , 3 1 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 6 2 _x , 6 2 _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 0 5 x , 0 5 y の $w_x_cmd_p$ 、 $w_y_cmd_p$ 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 $w_x_cmd_p$ 、 $w_y_cmd_p$ を使用することが有利である。

20

【 0 0 9 4 】

次に、制御ユニット 5 0 は、要求重心速度生成部 7 4 の処理とゲイン調整部 7 8 の処理とを実行する。この場合、要求重心速度生成部 7 4 及びゲイン調整部 7 8 には、それぞれ、重心速度算出部 7 2 で上記の如く算出された重心速度推定値 Vb_xy_s (Vb_x_s 及び Vb_y_s) が入力される。

30

【 0 0 9 5 】

そして、要求重心速度生成部 7 4 は、詳細は後述するが、車両 1 の動作モードが搭乗モードである場合に、入力された重心速度推定値 Vb_xy_s (Vb_x_s 及び Vb_y_s) を基に、要求重心速度 V_xy_aim (V_x_aim , V_y_aim) を決定する。なお、本実施形態では、車両 1 の動作モードが自立モードである場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、要求重心速度 V_x_aim 及び V_y_aim をいずれも “ 0 ” とする。

【 0 0 9 6 】

また、ゲイン調整部 7 8 は、入力された重心速度推定値 Vb_xy_s (Vb_x_s 及び Vb_y_s) を基に、前記ゲイン調整パラメータ Kr_xy (Kr_x 及び Kr_y) を決定する。

このゲイン調整部 7 8 の処理を図 1 0 及び図 1 1 を参照して以下に説明する。

40

【 0 0 9 7 】

図 1 0 に示すように、ゲイン調整部 7 8 は、入力された重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s をリミット処理部 8 6 に入力する。このリミット処理部 8 6 では、重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s に、電動モータ 3 1 R , 3 1 L の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 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 を生成する。出力値 Vw_x_lim1 は、前記仮想車輪 6 2 _xの X 軸方向の移動速度 Vw_x の制限後の値、出力値 Vw_y_lim1 は、前記仮想車輪 6 2 _yの Y 軸方向の移動速度 Vw_y の制限後の値としての意味を持つ。

【 0 0 9 8 】

このリミット処理部 8 6 の処理を、図 1 1 を参照してさらに詳細に説明する。なお、図

50

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。

【0099】

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 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 w_{y_s} ($= V_{b_y_s} / R_{w_y}$)を算出する。

【0100】

次いで、リミット処理部86は、 w_{x_s} 、 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 $_R_s$ と電動モータ31Lの回転角速度 $_L_s$ との組に変換する。

この変換は、本実施形態では、前記式01a、01bの w_x 、 w_y 、 $_R$ 、 $_L$ をそれぞれ、 w_{x_s} 、 w_{y_s} 、 $_R_s$ 、 $_L_s$ に置き換えて得られる連立方程式を、 $_R_s$ 、 $_L_s$ を未知数として解くことにより行なわれる。

【0101】

次いで、リミット処理部86は、XY-RL変換部86bの出力値 $_R_s$ 、 $_L_s$ 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、 $_R_s$ 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、 $_R_s$ をそのまま出力値 $_R_lim1$ として出力する。また、リミッタ86c_Rは、 $_R_s$ 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 $_R_s$ に近い方の境界値を出力値 $_R_lim1$ として出力する。これにより、リミッタ86c_Rの出力値 $_R_lim1$ は、右モータ用許容範囲内の値に制限される。

【0102】

同様に、リミッタ86c_Lは、 $_L_s$ 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、 $_L_s$ をそのまま出力値 $_L_lim1$ として出力する。また、リミッタ86c_Lは、 $_L_s$ 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 $_L_s$ に近い方の境界値を出力値 $_L_lim1$ として出力する。これにより、リミッタ86c_Lの出力値 $_L_lim1$ は、左モータ用許容範囲内の値に制限される。

【0103】

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。

【0104】

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 $_R_lim1$ 、 $_L_lim1$ の組を、RL-XY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 w_{x_lim1} 、 w_{y_lim1} の組に変換する。

この変換は、前記XY-RL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 w_x 、 w_y 、 $_R$ 、 $_L$ をそれぞれ、 w_{x_lim1} 、 w_{y_lim1} 、 $_R_lim1$ 、 $_L_lim1$ に置き換えて得られる連立方程式を、 w_{x_lim1} 、 w_{y_lim1} を未知数として解くことにより行なわれる。

【0105】

次いで、リミット処理部86は、RL-XY変換部86dの出力値 w_{x_lim1} 、 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、 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、 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、 w_{y_lim1} を仮想車輪62_yの移

10

20

30

40

50

動速度 $Vw_y_lim1 (= w_y_lim1 \cdot Rw_y)$ に変換する。

【 0 1 0 6 】

以上のリミット処理部 8 6 の処理によって、仮想車輪 6 2 _x の X 軸方向の移動速度 Vw_x と、仮想車輪 6 2 _y の Y 軸方向の移動速度 Vw_y とをそれぞれ重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_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、 Vb_x_s , Vb_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 3 1 R , 3 1 L のそれぞれの回転角速度 $_R_s$, $_L_s$ が、両方とも、許容範囲内に収まっている場合には、 Vb_x_s , Vb_y_s にそれぞれ一致する出力値 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 の組がリミット処理部 8 6 から出力される。

10

【 0 1 0 7 】

一方、電動モータ 3 1 R , 3 1 L のそれぞれの回転角速度 $_R_s$, $_L_s$ 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 3 1 R , 3 1 L のそれぞれの回転角速度 $_R_lim1$, $_L_lim1$ の組に対応する、X 軸方向及び Y 軸方向の移動速度 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 の組がリミット処理部 8 6 から出力される。

【 0 1 0 8 】

従って、リミット処理部 8 6 は、その出力値 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 の組に対応する電動モータ 3 1 R , 3 1 L 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_lim1 , Vw_y_lim1 をそれぞれ Vb_x_s , Vb_y_s に一致させるように、出力値 Vw_x_lim1 , Vw_y_lim1 の組を生成する。

20

【 0 1 0 9 】

図 1 0 の説明に戻って、ゲイン調整部 7 8 は、次に、演算部 8 8 _x , 8 8 _y の処理を実行する。演算部 8 8 _x には、X 軸方向の重心速度推定値 Vb_x_s と、リミット処理部 8 6 の出力値 Vw_x_lim1 とが入力される。そして、演算部 8 8 _x は、 Vw_x_lim1 から Vb_x_s を減算してなる値 $Vover_x$ を算出して出力する。また、演算部 8 8 _y には、Y 軸方向の重心速度推定値 Vb_y_s と、リミット処理部 8 6 の出力値 Vw_y_lim1 とが入力される。そして、演算部 8 8 _y は、 Vw_y_lim1 から Vb_y_s を減算してなる値 $Vover_y$ を算出して出力する。

30

【 0 1 1 0 】

この場合、リミット処理部 8 6 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には、 $Vw_x_lim1 = Vb_x_s$ 、 $Vw_y_lim1 = Vb_y_s$ となるので、演算部 8 8 _x , 8 8 _y のそれぞれの出力値 $Vover_x$, $Vover_y$ はいずれも “ 0 ” となる。

【 0 1 1 1 】

一方、リミット処理部 8 6 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には、 Vw_x_lim1 の Vb_x_s からの修正量 ($= Vw_x_lim1 - Vb_x_s$) と、 Vw_y_lim1 の Vb_y_s からの修正量 ($= Vw_y_lim1 - Vb_y_s$) とがそれぞれ、演算部 8 8 _x , 8 8 _y から出力される。

【 0 1 1 2 】

次いで、ゲイン調整部 7 8 は、演算部 8 8 _x の出力値 $Vover_x$ を処理部 9 0 _x , 9 2 _x に順番に通すことによって、ゲイン調整パラメータ Kr_x を決定する。また、ゲイン調整部 7 8 は、演算部 8 8 _y の出力値 $Vover_y$ を処理部 9 0 _y , 9 2 _y に順番に通すことによって、ゲイン調整パラメータ Kr_y を決定する。なお、ゲイン調整パラメータ Kr_x , Kr_y は、いずれも “ 0 ” から “ 1 ” までの範囲内の値である。

40

【 0 1 1 3 】

上記処理部 9 0 _x は、入力される $Vover_x$ の絶対値を算出して出力する。また、処理部 9 2 _x は、その出力値 Kr_x が入力値 $|Vover_x|$ に対して単調に増加し、且つ、飽和特性を有するように Kr_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。

50

【 0 1 1 4 】

この場合、本実施形態では、処理部 9 2_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 9 2_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、 $|V_{over_x}|$ と比例係数との積が“ 1 ”になるように設定されている。

また、処理部 9 0_y, 9 2_yの処理は、それぞれ上記した処理部 9 0_x, 9 2_xの処理と同様である。

【 0 1 1 5 】

以上説明したゲイン調整部 7 8 の処理によって、リミット処理部 8 6 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、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 V_{w_x} , V_{w_y} を、それぞれ、重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ に一致させるように電動モータ 3 1 R, 3 1 L を動作させても、電動モータ 3 1 R, 3 1 L 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 K_{r_x} , K_{r_y} はいずれも“ 0 ”に決定される。

【 0 1 1 6 】

一方、リミット処理部 8 6 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、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 V_{w_x} , V_{w_y} を、それぞれ、重心速度推定値 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ に一致させるように電動モータ 3 1 R, 3 1 L を動作させると、電動モータ 3 1 R, 3 1 L 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 V_{over_x} , V_{over_y} のそれぞれの絶対値に応じて、ゲイン調整パラメータ K_{r_x} , K_{r_y} の値がそれぞれ決定される。この場合、 K_{r_x} は、“ 1 ”を上限値して、修正量 V_{x_over} の絶対値が大きいほど、大きな値になるように決定される。このことは、 K_{r_y} についても同様である。

【 0 1 1 7 】

図 9 の説明に戻って、制御ユニット 5 0 は、重心速度算出部 7 2 及び要求重心速度生成部 7 4 の処理を前記した如く実行した後、次に、重心速度制限部 7 6 の処理を実行する。

この重心速度制限部 7 6 には、重心速度算出部 7 2 で算出された重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ ($V_{b_x_s}$ 及び $V_{b_y_s}$) と、要求重心速度生成部 7 4 で決定された要求重心速度 V_{xy_aim} (V_{x_aim} 及び V_{y_aim}) とが入力される。そして、重心速度制限部 7 6 は、これらの入力値を使用して、図 1 2 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 V_{xy_mdfd} (V_{x_mdfd} 及び V_{y_mdfd}) を決定する。

【 0 1 1 8 】

具体的には、重心速度制限部 7 6 は、まず、定常偏差算出部 9 4_x, 9 4_yの処理を実行する。

この場合、定常偏差算出部 9 4_xには、X 軸方向の重心速度推定値 $V_{b_x_s}$ が入力されると共に、X 軸方向の制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$ の前回値 $V_{b_x_mdfd_p}$ が遅延要素 9 6_xを介して入力される。そして、定常偏差算出部 9 4_xは、まず、入力される $V_{b_x_s}$ が比例・微分補償要素 (PD 補償要素) 9 4_a_xに入力する。この比例・微分補償要素 9 4_xは、その伝達関数が $1 + K_d \cdot S$ により表される補償要素であり、入力される $V_{b_x_s}$ と、その微分値 (時間的変化率) に所定値の係数 K_d 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。

【 0 1 1 9 】

次いで、定常偏差算出部 9 4_xは、入力される $V_{b_x_mdfd_p}$ を、比例・微分補償要素 9 4_xの出力値から減算してなる値を演算部 9 4_b_xにより算出した後、この演算部 9 4_b_xの出力値を、位相補償機能を有するローパスフィルタ 9 4_c_xに入力する。このローパスフィルタ 9 4_c_xは、伝達関数が $(1 + T_2 \cdot S) / (1 + T_1 \cdot S)$ により表されるフィルタである。そして、定常偏差算出部 9 4_xは、このローパスフィルタ 9 4_c_xの出力値

10

20

30

40

50

Vb_x_prdを出力する。

【0120】

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_mdffdの前回値Vb_y_mdffd_pが遅延要素96_yを介して入力される。

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。

【0121】

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りモデルの質点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_mdffd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りモデルの質点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_mdffd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。

【0122】

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、定常偏差算出部94_xの出力値Vb_x_prdに要求重心速度Vb_x_aimを加算する処理と、定常偏差算出部94_yの出力値Vb_y_prdに要求重心速度Vb_y_aimを加算する処理とをそれぞれ、演算部98_x, 98_yにより実行する。

【0123】

従って、演算部98_xの出力値Vb_x_tは、X軸方向の重心速度定常偏差予測値Vb_x_prdに、X軸方向の要求重心速度Vb_x_aimを付加した速度となる。同様に、演算部98_yの出力値Vb_y_tは、Y軸方向の重心速度定常偏差予測値Vb_y_prdに、Y軸方向の要求重心速度Vb_y_aimを付加した速度となる。

【0124】

なお、車両1の動作モードが自立モードである場合等、X軸方向の要求重心速度Vb_x_aimが“0”である場合には、X軸方向の重心速度定常偏差予測値Vb_x_prdがそのまま、演算部98_xの出力値Vb_x_tとなる。同様に、Y軸方向の要求重心速度Vb_y_aimが“0”である場合には、Y軸方向の重心速度定常偏差予測値Vb_y_prdがそのまま、演算部98_yの出力値Vb_y_tとなる。

【0125】

次いで、重心速度制限部76は、演算部98_x, 98_yのそれぞれの出力値Vb_x_t, Vb_y_t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。

【0126】

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_t, Vb_y_t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 w_x_t, w_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 w_x_t, w_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 _R_t, _L_tの組に変換される。

【0127】

さらに、これらの回転角速度 _R_t, _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 _R_lim2, _L_lim2が、RL-XY変換部86dによって、仮

10

20

30

40

50

想車輪 6 2_x, 6 2_yの回転角速度 w_{x_lim2} , w_{y_lim2} に変換される。

【 0 1 2 8 】

次いで、この各回転角速度 w_{x_lim2} , w_{y_lim2} に対応する各仮想車輪 6 2_x, 6 2_yの移動速度 Vw_{x_lim2} , Vw_{y_lim2} がそれぞれ処理部 8 6_{e_x}, 8 6_{e_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 1 0 0 から出力される。

【 0 1 2 9 】

以上のリミット処理部 1 0 0 の処理によって、リミット処理部 1 0 0 は、リミット処理部 8 6 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 3 1 R, 3 1 L 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。

10

【 0 1 3 0 】

なお、リミット処理部 1 0 0 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 8 6 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。

【 0 1 3 1 】

図 1 2 の説明に戻って、重心速度制限部 7 6 は、次に、演算部 1 0 2_x, 1 0 2_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 1 0 2_xは、リミット処理部 1 0 0 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 1 0 2_yは、リミット処理部 1 0 0 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。

20

【 0 1 3 2 】

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 1 0 0 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、演算部 9 8_xの出力値 Vb_{x_t} と演算部 9 8_yの出力値 Vb_{y_t} とに一致させるように電動モータ 3 1 R, 3 1 L を動作させても、電動モータ 3 1 R, 3 1 L 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、要求重心速度 Vb_{x_aim} , Vb_{y_aim} がそれぞれ、そのまま、制御用目標重心速度 Vb_{x_mdfd} , Vb_{y_mdfd} として決定される。

30

【 0 1 3 3 】

なお、この場合、X 軸方向の要求重心速度 Vb_{x_aim} が“ 0 ”であれば、X 軸方向の制御用目標重心速度 Vb_{x_mdfd} も“ 0 ”となり、Y 軸方向の要求重心速度 Vb_{y_aim} が“ 0 ”であれば、Y 軸方向の制御用目標重心速度 Vb_{y_mdfd} も“ 0 ”となる。

【 0 1 3 4 】

一方、リミット処理部 1 0 0 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、演算部 9 8_xの出力値 Vb_{x_t} と演算部 9 8_yの出力値 Vb_{y_t} とに一致させるように電動モータ 3 1 R, 3 1 L を動作させると、電動モータ 3 1 R, 3 1 L 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 1 0 0 の出力値 Vw_{x_lim2} の入力値 Vb_{x_t} からの修正量 (= $Vw_{x_lim2} - Vb_{x_t}$)だけ、要求重心速度 Vb_{x_aim} を補正してなる値(当該修正量を Vb_{x_aim} に加算した値)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。

40

【 0 1 3 5 】

また、Y 軸方向については、リミット処理部 1 0 0 の出力値 Vw_{y_lim2} の入力値 Vb_{y_t} からの修正量 (= $Vw_{y_lim2} - Vb_{y_t}$)だけ、要求重心速度 Vb_{y_aim} を補正してなる値(当該修正量を Vb_{y_aim} に加算した値)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。

50

【 0 1 3 6 】

この場合において、例えば X 軸方向の速度に関し、要求重心速度 Vb_x_aim が “ 0 ” でない場合には、制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd は、要求重心速度 Vb_x_aim よりも “ 0 ” に近づくか、もしくは、要求重心速度 Vb_x_aim と逆向きの速度となる。また、要求重心速度 Vb_x_aim が “ 0 ” である場合には、制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd は、定常偏差算出部 9 4_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。これらのことは、Y 軸方向の速度に関しても同様である。

以上が、重心速度制限部 7 6 の処理である。

【 0 1 3 7 】

図 9 の説明に戻って、制御ユニット 5 0 は、以上の如く重心速度算出部 7 2、重心速度制限部 7 6、ゲイン調整部 7 8、及び偏差演算部 7 0 の処理を実行した後、次に、姿勢制御演算部 8 0 の処理を実行する。

10

【 0 1 3 8 】

この姿勢制御演算部 8 0 の処理を、以下に図 1 3 を参照して説明する。

なお、図 1 3 において、符号 8 0 a ~ 8 0 f が付された要素は、本実施形態による倒立振子型移動体の全方向移動車両としての基本的な移動制御に関わる要素であり、その他の符号 8 0 g ~ 8 0 j が付された要素は、本実施形態による倒立振子型移動体の連携動作に関わる要素である。ここでは、図 1 3 の上記要素のうち、全方向移動車両としての基本的な移動制御に関わる要素のみについて説明するものとし、連携動作に関わる要素の詳細については、後述の「 2 . 連携技術」の項で説明する。

20

【 0 1 3 9 】

また、図 1 3 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 6 2_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 w_x_com 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 6 2_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 w_y_com を決定する処理に係わる参照符号である。

【 0 1 4 0 】

姿勢制御演算部 8 0 には、偏差演算部 7 0 で算出された基体傾斜角度偏差計測値 be_xy_s と、前記ステップ S 2 で算出された基体傾斜角速度計測値 bdot_xy_s と、重心速度算出部 7 2 で算出された重心速度推定値 Vb_xy_s と、重心速度制限部 7 6 で算出された目標重心速度 Vb_xy_cmd と、ゲイン調整部 7 8 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。

30

【 0 1 4 1 】

なお、姿勢制御演算部 8 0 には、上記の入力値のほか、連携動作を制御するための入力値として、図 9 に示す後述の偏差演算部 7 0 2 により算出された基体傾斜角度計測値の偏差 (b_xy_s(R) - b_xy_s(L)) と、偏差演算部 7 0 3 により算出された基体傾斜角速度計測値の偏差 (bdot_xy_s(R) - bdot_xy_s(L)) と、偏差演算部 7 0 5 により算出された距離の偏差 (Ls - Ltarget) と、外力センサ 7 0 6 により検知された外力 Fhand の値と、ゲイン調整部 7 0 8 により生成されたゲイン Kw_xy が姿勢制御演算部 8 0 に与えられるが、その詳細については「 2 . 連携技術」の項で説明するものとし、ここでは、説明の便宜上、連携動作を制御するための入力値を考慮しないで説明することとする。

40

【 0 1 4 2 】

姿勢制御演算部 8 0 は、まず、これらの入力値 (連携動作を制御するための入力値を除く) を用いて、次式 0 7 x , 0 7 y により、仮想車輪回転角加速度指令 dotw_xy_com を算出する。

【 0 1 4 3 】

$$\begin{aligned}
 \text{wdot_x_cmd} &= K1_x \cdot \text{be_x_s} + K2_x \cdot \text{bdot_x_s} \\
 &\quad + K3_x \cdot (Vb_x_s - Vb_x_mdfd) \quad \dots\dots \text{式 } 0 7 x \\
 \text{wdot_y_cmd} &= K1_y \cdot \text{be_y_s} + K2_y \cdot \text{bdot_y_s} \\
 &\quad + K3_y \cdot (Vb_y_s - Vb_y_mdfd) \quad \dots\dots \text{式 } 0 7 y
 \end{aligned}$$

50

【 0 1 4 4 】

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 dotw_xcom 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 dotw_ycom 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。

【 0 1 4 5 】

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 に応じて可变的に設定され、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 に応じて可变的に設定される。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 $K3_x$ とすることがある。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。

【 0 1 4 6 】

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。

【 0 1 4 7 】

$$Ki_x = (1 - Kr_x) \cdot Ki_{a_x} + Kr_x \cdot Ki_{b_x} \quad \dots\dots \text{式 } 09x$$

$$Ki_y = (1 - Kr_y) \cdot Ki_{a_y} + Kr_y \cdot Ki_{b_y} \quad \dots\dots \text{式 } 09y$$

($i = 1, 2, 3$)

【 0 1 4 8 】

ここで、式09xにおける Ki_{a_x}, Ki_{b_x} は、それぞれ、第iゲイン係数 Ki_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 Ki_{a_y}, Ki_{b_y} についても同様である。

【 0 1 4 9 】

従って、式07xの演算に用いる各第iゲイン係数 $Ki_x (i = 1, 2, 3)$ は、それぞれに対応する定数値 Ki_{a_x}, Ki_{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、 Ki_{a_x}, Ki_{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、 $Ki_x = Ki_{a_x}$ となり、 $Kr_x = 1$ である場合には、 $Ki_x = Ki_{b_x}$ 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 Ki_x は Ki_{a_x} から Ki_{b_x} 近づいていく。

【 0 1 5 0 】

同様に、式07yの演算に用いる各第iゲイン係数 $Ki_y (i = 1, 2, 3)$ は、それぞれに対応する定数値 Ki_{a_y}, Ki_{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、 Ki_{a_y}, Ki_{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、 Ki_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 Ki_y の値が、 Ki_{a_y} と Ki_{b_y} との間で変化する。

補足すると、上記定数値 Ki_{a_x}, Ki_{b_x} 及び $Ki_{a_y}, Ki_{b_y} (i = 1, 2, 3)$ は、前記ステップS6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。

【 0 1 5 1 】

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62_xに係わる仮想車輪回転角加速度指令 wdot_xcmd を算出する。

【 0 1 5 2 】

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

10

20

30

40

50

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 $b\dot{x}_s$ 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80a, 80b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80d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80c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80eにて加え合わせるにより、仮想車輪回転角加速度指令 $w\dot{x}_com$ を算出する。

【0153】

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07yの演算を行なうことで、Y軸方向に輪転する仮想車輪62_yに係わる仮想車輪回転角加速度指令 $w\dot{y}_cmd$ を算出する。 10

【0154】

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 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 $b\dot{y}_s$ 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80a, 80b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80d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80c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80eにて加え合わせるにより、仮想車輪回転角加速度指令 $w\dot{x}_com$ を算出する。 20

【0155】

ここで、式07x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、Y軸周り方向での基体傾斜角度偏差計測値 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 b_x_s を目標値 b_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。

【0156】

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。 30

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。

【0157】

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 $w\dot{x}_com, w\dot{y}_com$ を算出した後、次に、これらの $w\dot{x}_com, w\dot{y}_com$ 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 w_x_com, w_y_com を決定する。

以上が、連携動作に関連する処理を除いた姿勢制御演算部80の処理の詳細である。 40

【0158】

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 $w\dot{x}_com$ 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 $w\dot{y}_com$ を算出するようにしてよい。

【0159】

また、本実施形態では、車両系重心点の挙動を制御するための操作量(制御入力)として、仮想車輪62_x, 62_yの回転角加速度指令 w_x_cmd, w_y_cmd を用いるようにし 50

たが、例えば、仮想車輪 6 2_x , 6 2_yの駆動トルク、あるいは、この駆動トルクに各仮想車輪 6 2_x , 6 2_yの半径 R_{w_x} , R_{w_y} を乗じてなる並進力（すなわち仮想車輪 6 2_x , 6 2_yと床面との間の摩擦力）を操作量として用いるようにしてもよい。

【 0 1 6 0 】

図 9 の説明に戻って、制御ユニット 5 0 は、次に、姿勢制御演算部 8 0 で上記の如く決定した仮想車輪回転速度指令 w_{x_com} , w_{y_com} をモータ指令演算部 8 2 に入力し、該モータ指令演算部 8 2 の処理を実行することによって、電動モータ 3 1 R の速度指令 $_R_com$ と電動モータ 3 1 L の速度指令 $_L_com$ とを決定する。このモータ指令演算部 8 2 の処理は、前記リミット処理部 8 6（図 1 1 参照）の X Y - R L 変換部 8 6 b の処理と同じである。

10

【 0 1 6 1 】

具体的には、モータ指令演算部 8 2 は、前記式 0 1 a , 0 1 b の w_x , w_y , $_R$, $_L$ をそれぞれ、 w_{x_com} , w_{y_com} , $_R_cmd$, $_L_cmd$ に置き換えて得られる連立方程式を、 $_R_cmd$, $_L_cmd$ を未知数として解くことによって、電動モータ 3 1 R , 3 1 L のそれぞれの速度指令 $_R_com$, $_L_com$ を決定する。

以上により前記ステップ S 9 の車両制御演算処理が完了する。

【 0 1 6 2 】

以上説明した如く制御ユニット 5 0 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、基体 9 の姿勢が、前記基体傾斜角度偏差計測値 be_{x_s} , 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）に保たれるように、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）の位置が、車輪体 5 の接地面のほぼ真上に位置する状態に保たれるように、操作量（制御入力）としての仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_{xy_com}$ が決定される。より詳しく言えば、基体 9 の姿勢を前記基本姿勢に保ちつつ、車両系重心点の移動速度の推定値としての重心速度推定値 Vb_{xy_s} を制御用目標重心速度 Vb_{xy_mdfd} に収束させるように、仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_{xy_com}$ が決定される。なお、制御用目標重心速度 Vb_{xy_mdfd} は、通常は（詳しくは搭乗モードで乗員等が車両 1 の付加的な推進力を付与しない限り）、“ 0 ”である。この場合には、基体 9 の姿勢を前記基本姿勢に保ちつつ、車両系重心点がほぼ静止するように、仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_{xy_com}$ が決定されることとなる。

20

30

【 0 1 6 3 】

そして、 $dotw_{xy_com}$ の各成分を積分してなる仮想車輪回転角速度指令 w_{xy_com} を変換してなる電動モータ 3 1 R , 3 1 L のそれぞれの回転角速度が、電動モータ 3 1 R , 3 1 L の速度指令 $_R_cmd$, $_L_cmd$ として決定される。さらに、その速度指令 $_R_cmd$, $_L_cmd$ に従って、各電動モータ 3 1 R , 3 1 L 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、 w_{x_com} に対応する仮想車輪 6 2_xの移動速度と、 w_{y_com} 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。

【 0 1 6 4 】

このため、例えば、Y 軸周り方向で、実際の基体傾斜角度 b_x が目標値 b_{x_obj} から前傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ be_{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 b_x が目標値 b_{x_obj} から後傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ be_{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。

40

【 0 1 6 5 】

また、例えば、X 軸周り方向で、実際の基体傾斜角度 b_y が目標値 b_{y_obj} から右傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ be_{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 b_y が目標値 b_{y_obj} から左傾側にずれると、そのずれを解消すべく（ be_{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。

50

【 0 1 6 6 】

さらに、実際の基体傾斜角度 b_x , b_y の両方が、それぞれ目標値 b_{x_obj} , b_{y_obj} からずれると、 b_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、 b_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。

【 0 1 6 7 】

このようにして、基体9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。

10

【 0 1 6 8 】

なお、制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$, $V_{b_y_mdfd}$ が“ 0 ”である場合には、基体9の姿勢が基本姿勢に収束すると、車輪体5の移動もほぼ停止する。また、例えば、基体9のY軸周り方向の傾斜角度 b_x を基本姿勢から傾いた一定の角度に維持すると、車輪体5のX軸方向の移動速度は、その角度に対応する一定の移動速度(制御用目標重心速度 $V_{b_x_mdfd}$ と一定の定常偏差を有する移動速度)に収束する。このことは、基体9のX軸周り方向の傾斜角度 b_y を基本姿勢から傾いた一定の角度に維持した場合も同様である。

【 0 1 6 9 】

また、例えば、前記要求重心速度生成部74で生成される要求重心速度 $V_{b_x_aim}$, $V_{b_y_aim}$ の両方が“ 0 ”となっている状況において、基体9の前記基本姿勢からの傾き量(基体傾斜角度偏差計測値 be_{x_s} , be_{y_s})が比較的大きくなり、それを解消し、もしくはその傾き量を維持するために必要な車輪体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12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31R , 31Lの一方又は両方の回転角速度を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、基体9の前記基本姿勢からの傾き量が過大になるのを予防し、ひいては、電動モータ31R , 31L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。

20

30

【 0 1 7 0 】

さらに、前記ゲイン調整部78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、基体9の前記基本姿勢からの傾きを解消し、もしくはその傾き量を維持するために必要な車輪体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恐れがある状況では、その逸脱が顕著になるほど(詳しくは、図10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 K_{r_x} , K_{r_y} の一方又は両方が“ 0 ”から“ 1 ”に近づけられる。

40

【 0 1 7 1 】

この場合、前記式09xにより算出される各第iゲイン係数 K_{i_x} ($i = 1, 2, 3$)は、 K_{r_x} が“ 1 ”に近づくほど、最小側の定数値 $K_{i_a_x}$ から最大側の定数値 $K_{i_b_x}$ 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 K_{i_y} ($i = 1, 2, 3$)についても同様である。

【 0 1 7 2 】

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の傾きの変化に対する操作量(仮想車輪回転角加速度指令 \dot{w}_{x_cmd} , \dot{w}_{y_cmd})の感度が高まる。従って、基体9の基本姿勢からの傾き量が大きくなるとすると、それ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

50

大きく傾く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 3 1 R , 3 1 L の一方又は両方の回転角速度を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。

【 0 1 7 3 】

また、搭乗モードにおいて、要求重心速度生成部 7 4 が、乗員等の操縦操作による要求に応じて要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim (Vb_x_aim , Vb_y_aim の一方又は両方が “ 0 ” でない要求重心速度) を生成した場合には、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許容範囲を逸脱するような高速の回転角速度にならない限り (詳しくは図 1 2 に示す Vw_x_lim2 , Vw_y_lim2 が Vb_x_t , Vb_y_t にそれぞれ一致する限り)、要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim がそれぞれ前記制御用目標重心速度 Vb_x_mdfd , Vb_y_mdfd として決定される。このため、要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim を実現するように (実際の重心速度が要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim に近づくように)、車輪体 5 の移動速度が制御される。

10

【 0 1 7 4 】

次に、説明を後回しにした、前記要求重心速度生成部 7 4 の処理の詳細を説明する。

要求重心速度生成部 7 4 は、本実施形態では、車両 1 の動作モードが自立モードである場合には、前記したように、要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim を “ 0 ” とする。

一方、要求重心速度生成部 7 4 は、車両 1 の動作モードが搭乗モードである場合には、乗員等による車両 1 の操縦操作 (車両 1 に推進力を付加する操作) に応じて、該操作により要求されると推定される要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim を決定する。

20

【 0 1 7 5 】

ここで、例えば、車両 1 の乗員が、車両 1 の発進時等において、車両 1 の移動速度 (車両系重心点の移動速度) を積極的に増速させようとする場合には、自身の足により床を蹴り、それにより車両 1 に移動速度を増速させる推進力 (乗員の足平と床との摩擦力による推進力) を車両 1 に付加する。あるいは、例えば、車両 1 の乗員の要求に応じて、外部の補助者等が、車両 1 にその移動速度を増速させる推進力を付加する場合もある。

【 0 1 7 6 】

このような場合に、要求重心速度生成部 7 4 は、車両系重心点の実際の速度ベクトル (以降、重心速度ベクトル Vb という) の大きさ (絶対値) の時間的変化率に基づいて、車両 1 の移動速度を増加させる要求としての加速要求が発生したか否かを判断しつつ、それに応じて、 Vb の目標値としての要求重心速度ベクトル Vb_aim (要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim を 2 つの成分とする速度ベクトル) を逐次決定する。

30

【 0 1 7 7 】

その処理を概略的に説明すると、上記加速要求が発生した場合には、該加速要求が解消するまでの間、要求重心速度ベクトル Vb_aim の大きさを増加させるように、要求重心速度ベクトル Vb_aim が決定される。そして、上記加速要求が解消すると、要求重心速度ベクトル Vb_aim の大きさを段階的に減衰させていくように、要求重心速度ベクトル Vb_aim が決定される。この場合、本実施形態では、基本的には、加速要求が解消してから、所定時間の期間、要求重心速度ベクトル Vb_aim の大きさが一定に保たれる。そして、その後、要求重心速度ベクトル Vb_aim の大きさが “ 0 ” まで連続的に減衰させられる。なお、この減衰時には、適宜、要求重心速度ベクトル Vb_aim の向きが X 軸方向に近づけられる。

40

【 0 1 7 8 】

このような処理を実行する要求重心速度生成部 7 4 を、図 1 4 ~ 図 2 0 のフローチャートを参照して以下に詳細に説明する。

図 1 4 を参照して、要求重心速度生成部 7 4 は、まず、ステップ S 2 1 の処理を実行する。この処理では、要求重心速度生成部 7 4 は、入力される重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s を 2 つの成分とする速度ベクトル (実際の重心速度ベクトル Vb の観測値) である推定重心速度ベクトル Vb_s の大きさ $|Vb_s|$ ($=\sqrt{Vb_x_s^2 + Vb_y_s^2}$) の時間的変化率 (微分値) DVb_s を算出する。この DVb_s は、実際の重心速度ベクトル Vb の

50

大きさの時間的変化率の観測値（推定値）としての意味を持つ。以降、 DVb_s を推定重心速度絶対値変化率 DVb_s という。なお、上記 $\sqrt{\quad}$ は、平方根関数である。

【0179】

さらに、ステップS21では、要求重心速度生成部74は、入力される重心速度推定値 Vb_{x_s} 、 Vb_{y_s} のそれぞれの時間的変化率（微分値）である重心加速度推定値 $Vb\dot{x}_s$ 、 $Vb\dot{y}_s$ を算出する。なお、 $Vb\dot{x}_s$ 、 $Vb\dot{y}_s$ を2つの成分とするベクトルは、車両系重心点の実際の加速度ベクトルの観測値を意味する。

次いで、ステップS22に進んで、要求重心速度生成部74は、要求重心速度 $Vb_{x_{aim}}$ を算出するための現在の演算処理モードが、どのモードであるかを判断する。

【0180】

ここで、本実施形態では、要求重心速度生成部74は、要求重心速度ベクトル Vb_{aim} の基本値（以降、基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} という）を決定した上で、この基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} に要求重心速度ベクトル Vb_{aim} を追従させるように（定常的には一致させるように）、要求重心速度ベクトル Vb_{aim} を決定する。

上記演算処理モードは、上記基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} の決定の仕方の種別を表すものである。そして、本実施形態では、該演算処理モードとしては、制動モード、速度追従モード、速度ホールドモードの3種類のモードがある。

【0181】

制動モードは、基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} の大きさを“0”に減衰させていくか、又は“0”に保持するように Vb_{aim1} を決定するモードである。また、速度追従モードは、基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} を、推定重心速度ベクトル Vb_s に追従させるように（一致又はほぼ一致させるように）決定するモードである。また、速度ホールドモードは、基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} の大きさを一定に保つように Vb_{aim1} を決定するモードである。

なお、制御ユニット50の起動時等に該制御ユニット50が初期化された状態での演算処理モード（初期演算処理モード）は、制動モードである。

【0182】

要求重心速度生成部74は、上記ステップS22において、現在の演算処理モードが制動モードである場合と、速度追従モードである場合と、速度ホールドモードである場合とで、それぞれ、次に、ステップS23の演算処理、ステップS24の演算処理、ステップS25の演算処理を実行し、基本要求重心速度ベクトル Vb_{aim1} を決定する。

【0183】

これらの各モードに対応する演算処理は、次のように実行される。

ステップS23における制動モードの演算処理は、図15のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、要求重心速度生成部74は、まず、前記ステップS21で算出した推定重心速度絶対値変化率 DVb_s と、重心加速度推定値 $Vb\dot{x}_s$ 、 $Vb\dot{y}_s$ とに関して、 $DVb_s > DV1$ 、且つ、 $|Vb\dot{x}_s| > a1 * |Vb\dot{y}_s|$ という条件が成立するか否かをステップS23-1で判断する。この判断処理は、車両1の移動速度を車両1の概略前後方向で増速させようとする加速要求が有るか否かを判断する処理である。

【0184】

ここで、上記 $DV1$ は、あらかじめ設定された正の値の第1閾値 $DV1 (> 0)$ である。そして、 $DVb_s > DV1$ であるということは、実際の重心速度ベクトル Vb の大きさ $|Vb|$ が第1閾値 $DV1$ よりも大きな時間的変化率で増加している状況を意味する。

【0185】

また、上記 $a1$ は、あらかじめ設定された正の値の係数値である。そして、 $|Vb\dot{x}_s| > a1 * |Vb\dot{y}_s|$ であるということは、車両系重心点の実際の加速度ベクトルが“0”でないX軸方向の成分を有し、且つ、該加速度ベクトルのX軸方向に対する鋭角側の角度 $(= \tan^{-1}(|Vb\dot{y}_s| / |Vb\dot{x}_s|))$ が、所定角度 $(= \tan^{-1}(1 / a1))$ よりも“0”に近い状況であることを意味する。本実施形態では、 $a1$ は、例えば“1”又はこれに近い値に設定されている。

10

20

30

40

50

従って、ステップS 2 3 - 1の判断結果が肯定的になる状況は、乗員あるいは外部の補助者等により概略前後方向での重心速度ベクトル V_b の大きさを増加させようとする操縦操作（車両1に概略前後方向の推進力を付加する操縦操作）が行なわれている状況である。

【0186】

ステップS 2 3 - 1の判断結果が否定的となる場合、すなわち、車両1の加速要求（概略前後方向での車両1の加速要求）が無い場合には、要求重心速度生成部74は、次に、ステップS 2 3 - 4の判断処理を実行する。

【0187】

ステップS 2 3 - 4の判断処理では、要求重心速度生成部74は、ステップS 2 1で算出した推定重心速度絶対値変化率 DVb_s が、あらかじめ設定された負の値の第3閾値 $DV3$ （ < 0 ）よりも小さいか否かを判断する。この判断処理は、車両1の乗員が重心速度ベクトル V_b の大きさを積極的に減少させようとする減速要求が発生したか否かを判断するものである。この場合、車両1の乗員が意図的に自身の足を接地させ、自身の足と床との間に車両1の制動方向の摩擦力を発生させたような場合にステップS 2 3 - 4の判断結果が肯定的になる。

【0188】

そして、要求重心速度生成部74は、ステップS 2 3 - 4の判断結果が否定的である場合（減速要求が発生していない場合）には、ステップS 2 3 - 5で第1制動演算処理を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} の大きさ $|V_{b_aim1}|$ （以降、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ という）と方位角 vb_aim1 （以降、基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 という）とを決定し、図15の処理を終了する。また、ステップS 2 3 - 4の判断結果が肯定的である場合（減速要求が発生した場合には）、要求重心速度生成部74は、ステップS 2 3 - 6で第2制動演算処理を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定し、図15の処理を終了する。

【0189】

なお、本実施形態では、基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 は、 $\sin(vb_aim1) = V_{b_x_aim1} / |V_{b_aim1}|$ 、 $\cos(vb_aim1) = V_{b_y_aim1} / |V_{b_aim1}|$ となる角度（ $180^\circ - vb_aim1$ ）として定義される。また、 $|V_{b_aim1}| = 0$ である場合には、 $vb_aim1 = 0^\circ$ であるとする。

上記ステップS 2 3 - 5の第1制動演算処理は、図16及び図17のフローチャートに示す如く実行される。

【0190】

この第1制動演算処理では、要求重心速度生成部74は、まず、ステップS 2 3 - 5 - 1において基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ の前回値 $|V_{b_aim_p}|$ からあらかじめ設定された正の所定値 $Vb1$ だけ減少させてなる値を、 $|V_{b_aim1}|$ の候補値 ABS_Vb として算出する。 $Vb1$ は、制御処理周期毎の $|V_{b_aim1}|$ の減少量（ひいては $|V_{b_aim1}|$ の時間的変化率）を規定する設定値である。

【0191】

次いで、要求重心速度生成部74は、ステップS 2 3 - 5 - 2において、この候補値 ABS_Vb と、“0”とのうちの大きい方の値 $\max(0, ABS_Vb)$ を、 $|V_{b_aim1}|$ の今回値として決定する。従って、 $ABS_Vb = 0$ である場合には、 ABS_Vb がそのまま $|V_{b_aim1}|$ の今回値として決定され、 $ABS_Vb < 0$ である場合には、 $|V_{b_aim1}|$ の今回値は“0”とされる。

【0192】

次いで、要求重心速度生成部74は、上記の如く決定した $|V_{b_aim1}|$ が“0”であるか否かをステップS 2 3 - 5 - 3で判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部74は、次に、ステップS 2 3 - 5 - 4において、 vb_aim1 の今回値を 0° とし、図16の処理を終了する。

10

20

30

40

50

【 0 1 9 3 】

ステップ S 2 3 - 5 - 3 の判断結果が否定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 3 - 5 - 5 からの処理によって、 vb_aim1 の前回値 vb_aim1_p の値が、 $0^\circ < vb_aim1_p < th1+$ 、 $th1- < vb_aim1_p < 0^\circ$ 、 $th2+ < vb_aim1_p < 180^\circ$ 、 $-180^\circ < vb_aim1_p < th2-$ 、 $th1+ < vb_aim1_p < th2+$ 、 $th2- < vb_aim1_p < th1-$ のいずれの範囲内の値であるかに応じて、 vb_aim1 の今回値を決定する。

【 0 1 9 4 】

ここで、 $th1+$ は、 0° と 90° との間の値であらかじめ設定された正の方位角閾値、 $th1-$ は、 0° と -90° との間の値であらかじめ設定された負の方位角閾値、 $th2+$ は、 90° と 180° との間の値であらかじめ設定された正の方位角閾値、 $th2-$ は、 -90° と -180° との間の値であらかじめ設定された負の方位角閾値である。本実施形態では、 $th1+$ と $th1-$ とは、それらの絶対値が互いに同一の値（例えば 45° もしくはその近辺の角度値）に設定されている。また、 $th2+$ と $th2-$ とは、それらの絶対値が互いに同一の値（例えば 135° もしくはその近辺の角度値）に設定されている。なお、 $th1+$ と $th1-$ との差（ $= (th1+) - (th1-)$ ）と、 $th2+$ と $th2-$ との差（ $= (th2+) - (th2-)$ ）とは、互いに同一である必要はない。

【 0 1 9 5 】

ステップ S 2 3 - 5 - 5 からの処理は以下に説明する如く実行される。すなわち、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 5 において、 $0^\circ < vb_aim1_p < th1+$ であるか否かを判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 6 において、 vb_aim1 の前回値 vb_aim1_p からあらかじめ設定された正の所定値 $vb1$ だけ減少させてなる値を、 vb_aim1 の候補値 ANG_Vb として算出する。 $vb1$ は、制御処理周期毎の vb_aim1 の変化量（ひいては vb_aim1 の時間的变化率）を規定する設定値である。

【 0 1 9 6 】

そして、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 7 において、この候補値 ANG_Vb と、 0° とのうちの大きい方の角度値 $\max(0, ANG_Vb)$ を vb_aim1 の今回値として決定し、図 1 6 の処理を終了する。従って、 $ANG_Vb = 0^\circ$ である場合には、 ANG_Vb がそのまま vb_aim1 の今回値として決定され、 $ANG_Vb < 0^\circ$ である場合には、 vb_aim1 の今回値は 0° とされる。

【 0 1 9 7 】

ステップ S 2 3 - 5 - 5 の判断結果が否定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 3 - 5 - 8 において、 $th1- < vb_aim1_p < 0^\circ$ であるか否かを判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 9 において、 vb_aim1 の前回値 vb_aim1_p から前記所定値 $vb1$ だけ増加させてなる値を、 vb_aim1 の候補値 ANG_Vb として算出する。

【 0 1 9 8 】

そして、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 0 において、この候補値 ANG_Vb と、 0° とのうちの小さい方の角度値 $\min(0, ANG_Vb)$ を vb_aim1 の今回値として決定し、図 1 6 の処理を終了する。従って、 $ANG_Vb = 0^\circ$ である場合には、 ANG_Vb がそのまま vb_aim1 の今回値として決定され、 $ANG_Vb > 0^\circ$ である場合には、 vb_aim1 の今回値は 0° とされる。

【 0 1 9 9 】

ステップ S 2 3 - 5 - 8 の判断結果が否定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、図 1 7 のステップ S 2 3 - 5 - 1 1 において、 $th2+ < vb_aim1_p < 180^\circ$ であるか否かを判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 2 において、 vb_aim1 の前回値 vb_aim1_p から前記所定値 $vb1$ だけ増加させてなる値を、 vb_aim1 の候補値 ANG_Vb として算出する。

【 0 2 0 0 】

10

20

30

40

50

そして、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 3 において、この候補値 ANG_Vb と、 0° とのうちの小さい方の角度値 $\min(180, \text{ANG_Vb})$ を vb_aim1 の今回値として決定し、図 1 7 の処理を終了する。従って、ANG_Vb 180° である場合には、ANG_Vb がそのまま vb_aim1 の今回値として決定され、ANG_Vb $> 180^\circ$ である場合には、vb_aim1 の今回値は 180° とされる。

【0201】

ステップ S 2 3 - 5 - 1 1 の判断結果が否定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 3 - 5 - 1 4 において、 -180° vb_aim1_p th2- であるか否かを判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 5 において、vb_aim1 の前回値 vb_aim1_p から前記所定値 vb1 だけ減少させてなる値を、vb_aim1 の候補値 ANG_Vb として算出する。

10

【0202】

そして、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 6 において、この候補値 ANG_Vb と、 -180° とのうちの大きい方の角度値 $\max(180, \text{ANG_Vb})$ を vb_aim1 の今回値として決定し、図 1 7 の処理を終了する。従って、ANG_Vb -180° である場合には、ANG_Vb がそのまま vb_aim1 の今回値として決定され、ANG_Vb $< -180^\circ$ である場合には、vb_aim1 の今回値は -180° とされる。

【0203】

ステップ S 2 3 - 5 - 1 4 の判断結果が否定的である場合、すなわち、 $\text{th1+} < \text{vb_aim1_p} < \text{th2+}$ 又は $\text{th2-} < \text{vb_aim1_p} < \text{th1-}$ である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 5 - 1 7 において、vb_aim1 の今回値を、前回値 vb_aim1_p と同じ値に決定し、図 1 7 の処理を終了する。

20

以上が、ステップ S 2 3 - 5 の第 1 制動演算処理の詳細である。

【0204】

一方、前記ステップ S 2 3 - 6 の第 2 制動演算処理は、図 1 8 のフローチャートに示す如く実行される。

この第 2 制動演算処理では、要求重心速度生成部 7 4 は、まず、ステップ S 2 3 - 6 - 1 において基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|\text{Vb_aim1}|$ の前回値 $|\text{Vb_aim_p}|$ からあらかじめ設定された正の所定値 Vb2 だけ減少させてなる値を、 $|\text{Vb_aim1}|$ の候補値 ABS_Vb として算出する。Vb2 は、第 2 制動演算処理での、制御処理周期毎の $|\text{Vb_aim1}|$ の減少量（ひいては $|\text{Vb_aim1}|$ の時間的変化率）を規定する設定値である。この場合、Vb2 は、前記第 1 制動演算処理で使用する所定値 Vb1 よりも大きな値に設定されている。

30

【0205】

次いで、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 6 - 2 において、前記ステップ S 2 3 - 5 - 2 と同様の処理を実行し、ステップ S 2 3 - 6 - 1 で算出した候補値 ABS_Vb と、“0” とのうちの大きい方の値 $\max(0, \text{ABS_Vb})$ を、 $|\text{Vb_aim1}|$ の今回値として決定する。

【0206】

次いで、要求重心速度生成部 7 4 は、上記の如く決定した $|\text{Vb_aim1}|$ が“0”であるか否かをステップ S 2 3 - 6 - 3 で判断する。この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 3 - 6 - 4 において、vb_aim1 の今回値を“0”とし、図 1 8 の処理を終了する。

40

【0207】

また、ステップ S 2 3 - 6 - 3 の判断結果が否定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 3 - 6 - 5 において、vb_aim1 の今回値を、前回値 vb_aim1_p と同じ値に決定し、図 1 8 の処理を終了する。

以上が、ステップ S 2 3 - 6 の第 2 制動演算処理の詳細である。

【0208】

図 1 5 の説明に戻って、前記ステップ S 2 3 - 1 の判断結果が肯定的である場合、すな

50

わち、概略前後方向での車両 1 の加速要求が有る場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 2 で基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定する。要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 3 - 3 で演算処理モードを制動モードから速度追従モードに変更し、図 1 5 の処理を終了する。

【0209】

上記ステップ S 2 3 - 2 では、具体的には、前記推定重心速度ベクトル Vb_s (今回値) の大きさ $|Vb_s|$ ($=\sqrt{Vb_x_s^2 + Vb_y_s^2}$) に、あらかじめ設定された所定値の比率を乗じてなる値が、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ として決定される。上記比率は、本実施形態では、“1”よりも若干小さい正の値(例えば 0.8)に設定されている。

10

【0210】

さらに、ステップ S 2 3 - 2 では、推定重心速度ベクトル Vb_s の方位角 vb_s ($=\sin^{-1}(Vb_x_s / |Vb_s|)$) がそのまま、基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 として決定される。従って、ステップ S 2 3 - 2 では、結果的には、推定重心速度ベクトル Vb_s に上記比率を乗じてなるベクトルが、基本要求重心速度ベクトル Vb_aim1 として決定されることとなる。

【0211】

このようなステップ S 2 3 - 2 の処理は、 $|Vb_x_aim1|$ と vb_aim1 との決定の仕方を、次回の制御処理サイクルから開始する速度追従モードに合わせるものである。

20

なお、上記比率の値が“1”よりも若干小さいことは必須ではなく、例えば、該比率の値を“1”あるいはそれよりも若干大きい値に設定してもよい。本実施形態では、乗員が体感的(感覚的)に認識する車両 1 の移動速度が、実際の移動速度に比べて高速であるかのように認識されるのを防止するために、比率の値を“1”よりも若干小さい値に設定している。

以上が、ステップ S 2 3 における制動モードの演算処理である。

【0212】

なお、ステップ S 2 3 - 1 の判断結果が否定的となる場合には、演算処理モードは変更されないので、次回の制御処理周期においても、演算処理モードは、制動モードに維持されることとなる。

30

【0213】

次に、ステップ S 2 4 における速度追従モードの演算処理は、図 1 9 のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、要求重心速度生成部 7 4 は、まず、ステップ S 2 4 - 1 において、前記ステップ S 2 3 - 4 と同じ判断処理、すなわち、車両 1 の減速要求が発生したか否かの判断処理を実行する。

【0214】

この判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次に、ステップ S 2 4 - 6 において、前記ステップ S 2 3 - 6 と同じ処理(図 1 8 のフローチャートに示す処理)を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定する。さらに、要求重心速度生成部 7 4 は、ステップ S 2 4 - 7 において、演算処理モードを速度追従モードから制動モードに変更し、図 1 9 の処理を終了する。

40

【0215】

一方、前記ステップ S 2 4 - 1 の判断結果が否定的である場合、すなわち、車両 1 の減速要求が発生していない場合には、要求重心速度生成部 7 4 は、次にステップ S 2 4 - 2 の処理を実行する。このステップ S 2 4 - 2 では、要求重心速度生成部 7 4 は、前記ステップ S 2 3 - 2 と同じ処理を実行し、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定する。すなわち、 $|Vb_x_s|$ * が $|Vb_aim1|$ として決定される共に、 vb_s が vb_aim1 として決定される。

【0216】

50

次いで、要求重心速度生成部74は、ステップS24-3において、前記推定重心速度絶対値変化率DVb_s(ステップS21で算出した値)が、あらかじめ設定された第2閾値DV2よりも小さいか否かを判断する。この第2閾値DV2は、本実施形態では、前記第3閾値DV3よりも大きい(DV3よりも“0”に近い)負の所定値に設定されている。なお、第2閾値DV2は、“0”もしくは“0”よりも若干大きい正の値(ただし、前記第1閾値DV1よりも小さい値)に設定されていてもよい。

【0217】

このステップS24-3の判断処理は、速度追従モードから、前記速度ホールドモードへの移行タイミングを判断するものである。そして、要求重心速度生成部74は、ステップS24-3の判断結果が否定的である場合には、そのまま図19の処理を終了する。この場合には、演算処理モードは変更されないので、次の制御処理周期においても、演算処理モードは、速度追従モードに維持されることとなる。

10

【0218】

また、ステップS24-3の判断結果が肯定的である場合には、要求重心速度生成部74は、車両1の加速要求が完了したものとみなして、ステップS24-4において、カウントダウンタイマを初期化する。そして、要求重心速度生成部74は、ステップS24-5にて演算処理モードを速度追従モードから速度ホールドモードに変更し、図19の処理を終了する。

【0219】

上記カウントダウンタイマは、次の制御処理周期から開始する速度ホールドモードの開始後の経過時間を計時するタイマである。そして、ステップS24-4では、該タイマの計時値CNTに、あらかじめ設定された初期値Tmがセットされる。初期値Tm_xは、速度ホールドモードを継続させようとする時間の設定値を意味する。

20

以上が、ステップS24における速度追従モードの演算処理である。

【0220】

次に、ステップS25における速度ホールドモードの演算処理は、図20のフローチャートに示す如く実行される。具体的には、要求重心速度生成部74は、まず、ステップS25-1において、前記ステップS23-4と同じ判断処理、すなわち、車両1の減速要求が発生したか否かの判断処理を実行する。

【0221】

そして、このステップS25-1の判断結果が肯定的である場合(車両1の減速要求が発生した場合)には、要求重心速度生成部74は、次に、ステップS25-2において、前記ステップS23-6と同じ処理(図18のフローチャートに示す処理)を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定する。さらに、要求重心速度生成部74は、ステップS25-3において、演算処理モードを速度ホールドモードから制動モードに変更し、図20の処理を終了する。

30

【0222】

一方、前記ステップS25-1の判断結果が否定的である場合(車両1の減速要求が発生していない場合)には、要求重心速度生成部74は、前記ステップS23-1と同じ判断処理、すなわち概略前後方向での車両1の加速要求が有るか否かの判断処理をステップS25-4で実行する。

40

【0223】

そして、ステップS25-4の判断結果が肯定的である場合(概略前後方向での車両1の加速要求が再び発生した場合)には、要求重心速度生成部74は、ステップS25-5において、前記ステップS23-2と同じ処理を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim1|$ と基本要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim1 とを決定する。すなわち、 $|Vb_x_s| * \text{ }$ が $|Vb_aim1|$ として決定される共に、 vb_s が vb_aim1 として決定される。

【0224】

50

さらに、要求重心速度生成部 74 は、ステップ S 25 - 6 において、演算処理モードを速度ホールドモードから速度追従モードに変更し、図 20 の処理を終了する。

前記ステップ S 25 - 4 の判断結果が否定的である場合（概略前後方向での加速要求が無い状態が継続している場合）には、要求重心速度生成部 74 は、ステップ S 25 - 7 において、前記カウントダウンタイマの計時値 CNT をデクリメントする。すなわち、計時値 CNT の現在値から所定値 T（制御処理周期の時間）を差し引くことによって、計時値 CNT を更新する。

【 0 2 2 5 】

次いで、要求重心速度生成部 74 は、カウントダウンタイマの計時値 CNT が “ 0 ” よりも大きいか否か、すなわち、カウントダウンタイマの計時が終了したか否かをステップ S 25 - 8 にて判断する。

10

【 0 2 2 6 】

このステップ S 25 - 8 の判断結果が肯定的である場合は、速度ホールドモードが開始してから、カウントダウンタイマの前記初期値 T_m により表される時間が未だ経過していない場合である。この場合には、要求重心速度生成部 74 は、演算処理モードを速度ホールドモードに維持するものとして、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ と基本要求重心速度方位角 vb_aim1 とをステップ S 25 - 9 にて決定し、図 20 の処理を終了する。

【 0 2 2 7 】

この場合、ステップ S 25 - 9 では、 $|V_{b_aim1}|$ の今回値は、前回値 $|V_{b_aim1_p}|$ と同じ値に決定される。また、 vb_aim1 の今回値は、前回値 vb_aim1_p と同じ値に決定される。従って、基本要求重心速度ベクトル $V_{b_aim1_p}$ の前回値がそのまま、 V_{b_aim1} の今回値の速度ベクトルとして決定される。

20

なお、ステップ S 25 - 8 の判断結果が肯定的である場合には、演算処理モードは変更されないので、次の制御処理周期においても、演算処理モードは、速度ホールドモードに維持されることとなる。

【 0 2 2 8 】

前記ステップ S 25 - 8 の判断結果が否定的となった場合、すなわち、速度ホールドモードが開始してから、カウントダウンタイマの前記初期値 T_m により表される所定時間が経過した場合には、要求重心速度生成部 74 は、ステップ S 25 - 10 において、前記ステップ S 23 - 5 と同じ処理（図 16 及び図 17 のフローチャートの処理）を実行することによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ と基本要求重心速度方位角 vb_aim1 とを決定する。

30

【 0 2 2 9 】

さらに、要求重心速度生成部 74 は、ステップ S 25 - 11 にて、演算処理モードを速度ホールドモードから制動モードに変更し、図 20 の処理を終了する。

以上が、ステップ S 25 における速度ホールドモードの演算処理である。

【 0 2 3 0 】

図 14 の説明に戻って、要求重心速度生成部 74 は、以上の如くステップ S 23 ~ 25 のいずれかの演算処理を実行した後、次に、その演算処理により決定した $|V_{b_aim1}|$ と vb_aim1 とをそれぞれフィルタに入力する処理（フィルタリング処理）をステップ S 26 にて実行する。

40

【 0 2 3 1 】

ここで、 $|V_{b_aim1}|$ と vb_aim1 とをそれぞれ入力するフィルタは、特に、演算処理モードが制動モードから速度追従モードに変更された直後に、要求重心速度ベクトル V_{b_aim} の大きさ $|V_{b_aim}|$ と方位角 vb_aim とがステップ状に急変するのを防止するための一次遅れ特性のローパスフィルタである。この場合、 $|V_{b_aim}|$ を入力するフィルタの時定数は比較的短い時定数に設定されており、 $|V_{b_aim1}|$ が急変した直後以外の状況では該フィルタの出力値が $|V_{b_aim1}|$ に一致又はほぼ一致するようになっている。 vb_aim1 を入力するフィルタについても同様である。

50

【0232】

そして、ステップS26では、 vb_aim1 を入力したフィルタの出力値が、そのまま、要求重心速度ベクトル Vb_aim の方位角 vb_aim (以降、要求重心速度ベクトル方位角 vb_aim という)として決定される。

【0233】

次いで、ステップS27に進んで、要求重心速度生成部74は、 $|Vb_aim1|$ を入力したフィルタの出力値を、リミッタに通してなる値を、最終的に要求重心速度ベクトル Vb_aim の大きさ $|Vb_aim|$ (以降、要求重心速度ベクトル絶対値 $|Vb_aim|$ という)として決定する。この場合、該リミッタは、 $|Vb_aim|$ が過大になるのを防止するためのものであり、 $|Vb_aim1|$ を入力したフィルタの出力値があらかじめ設定された所定の上限値以下である場合には、該フィルタの出力値をそのまま $|Vb_aim|$ として出力する。また、該リミッタは、フィルタの出力値が上記上限値を超えている場合には、該上限値を $|Vb_aim|$ として出力する。換言すれば、該リミッタは、フィルタの出力値と上記上限値とのうちの小さい方の値を $|Vb_aim|$ として出力する。

10

【0234】

次いで、ステップS28に進んで、要求重心速度生成部74は、上記の如く決定した $|Vb_aim|$ と vb_aim とから、要求重心速度ベクトル Vb_aim のX軸方向成分(X軸方向の要求重心速度) Vb_x_aim と、Y軸方向の成分(Y軸方向の要求重心速度) Vb_y_aim とを算出する。より詳しくは、 $|Vb_aim| * \sin(vb_aim)$ が Vb_x_aim として算出され、 $|Vb_aim| * \cos(vb_aim)$ が Vb_y_aim として算出される。

20

以上が要求重心速度生成部74の処理の詳細である。

【0235】

以上説明した要求重心速度生成部74の処理によって、要求重心速度ベクトル Vb_aim は(ひいては要求重心速度 Vb_x_aim , Vb_y_aim)は、以下のような態様で決定されることとなる。

すなわち、例えば、車両1の移動速度を増速するために、乗員が自身の足平で床を蹴ることによって、あるいは、補助者等が車両1を押すことによって、車両1に対して、概略X軸方向の推進力(詳しくは、前記ステップS23-1の判断結果が肯定的となるような推進力)を付加した場合を想定する。

【0236】

なお、推進力を付加する前の演算処理モードは、前記制動モードであるとする。また、ここでは、理解の便宜上、図14のステップS26で $|Vb_aim1|$ を入力するフィルタの出力値は、ステップS27でのリミッタによる強制的な制限がかからない程度の範囲内に収まる値(該リミッタの上限値以下の値)であるとする。同様に、重心速度推定値 Vb_x_s , Vb_y_s が、前記リミット処理部104での出力値 V_x_lim2 , V_y_lim2 の強制的な制限が行なわれない程度の範囲内に収まるものとする。

30

【0237】

この場合、車両1に推進力を付加することによって、前記ステップS23-1の判断結果が肯定的となると、図15のステップS23-3の処理によって、演算処理モードが制動モードから速度追従モードに変更されることとなる。

40

【0238】

この速度追従モードでは、減速要求が発生しない状況(ステップS24-1の判断結果が否定的となる状況)で、推定重心速度ベクトル Vb_s の今回値(現在値)に、所定値の比率を乗じてなるベクトル、すなわち、 Vb_s よりも大きさが若干小さく、且つ、 Vb_s と同じ向き(速度ベクトル)が、基本要求重心速度ベクトル Vb_aim1 として逐次決定される。

【0239】

このため、要求重心速度生成部74が逐次決定する要求重心速度ベクトル Vb_aim は、車両1に付加された推進力によって増速する(大きさが増加する)実際の重心速度ベクトル Vb にほぼ一致する速度ベクトル $Vb_aim1 (= * Vb_s)$ に追従するように、

50

決定されることとなる。

【0240】

そして、このように決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} の X 軸方向成分と Y 軸方向成分とが前記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。さらに、各仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_x_cmd$, $dotw_y_cmd$ にそれぞれ含まれる操作量成分 u_{3_x} , u_{3_y} は、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 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ を各々収束させるように決定される。

【0241】

この結果、乗員が車両 1 に付加した推進力による車両系重心点の実際の移動速度の増速（概略前後方向での増速）が該推進力による要求に即して速やかに行なわれるように、車輪体 5 の移動速度が制御されることとなる。従って、車両 1 が付加された推進力によって円滑に加速することとなる。

10

【0242】

なお、速度追従モードにおいて、車両 1 に制動力を付加することによって、図 19 のステップ S 2 4 - 1 の判断結果が肯定的になると（減速要求が発生すると）、演算処理モードが前記制動モードに変化する。このため、車両 1 の移動速度が減衰していくこととなる。この場合、減速要求の発生中は、ステップ S 2 3 - 6 の第 2 制動演算処理（図 18 の処理）によって、 $|V_{b_aim1}|$ と vb_aim1 とが決定されるので、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} 、あるいはこれに追従する要求重心速度ベクトル V_{b_aim} は、その向きを一定に保ったまま、大きさが一定の時間的変化率（前記所定値 V_{b2} により規定される時間的変化率）で減衰していくように決定されることとなる。

20

【0243】

次に、速度追従モードにおいて、車両 1 への推進力の付加が終了し、推定重心速度絶対値変化率 DV_{b_s} が前記第 2 閾値 $DV2$ よりも小さくなると（図 19 のステップ S 2 4 - 3 の判断結果が肯定的になると）、図 19 のステップ S 2 4 - 5 の処理によって、演算処理モードが速度追従モードから速度ホールドモードに変更されることとなる。

【0244】

この速度ホールドモードでは、加速要求及び減速要求が発生しない状況（図 19 のステップ S 2 5 - 1、2 5 - 4 の判断結果がいずれも否定的となる状況）で、カウントダウンタイマの計時が終了するまで、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} は、前回値の速度ベクトル $V_{b_aim1_p}$ と同じ速度ベクトルに設定される。

30

【0245】

従って、速度ホールドモードの開始後、カウントダウンタイマの計時が終了するまでの所定時間（カウントダウンタイマの初期値 T_m の時間）の期間において、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} は、速度ホールドモードが開始する直前に決定された速度ベクトルと同じ速度ベクトルで一定に保持されることとなる。

【0246】

このため、 V_{b_aim1} に追従するように決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} も、一定の速度ベクトル（速度ホールドモードが開始する直前に決定された V_{b_aim} と一致又はほぼ一致する速度ベクトル）に保たれるように決定されることとなる。

40

【0247】

そして、上記の如く決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} の X 軸方向成分と Y 軸方向成分とが前記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。さらに、各仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_x_cmd$, $dotw_y_cmd$ にそれぞれ含まれる操作量成分 u_{3_x} , u_{3_y} は、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 $V_{b_x_s}$, $V_{b_y_s}$ を各々収束させるように決定される。

【0248】

この結果、車両 1 の増速後に、カウントダウンタイマの計時が終了するまでの期間（前記初期値 T_m により表される時間の期間）において、乗員の上体の姿勢の頻繁な調整を必要とすることなく、車両系重心点の実際の速度ベクトル V_b の大きさ及び向きが一定に

50

保たれるように該車輪体 5 の移動速度が制御されることとなる。従って、この状況での車両 1 の実際の走行状態は、乗員がその上体を積極的に動かすような操縦操作をせずとも、ほぼ一定の速度ベクトルで滑走するような状態となる。

【 0 2 4 9 】

なお、速度ホールドモードにおいて、再び車両 1 に概略前後方向の推進力を付加することによって、図 20 のステップ S 2 5 - 4 の判断結果が肯定的になると（加速要求が発生すると）、演算処理モードが前記速度追従モードに戻る。このため、車両 1 が再び概略前後方向で加速することとなる。

【 0 2 5 0 】

また、速度ホールドモードにおいて、車両 1 に制動力を付加することによって、図 20 のステップ S 2 5 - 1 の判断結果が肯定的になると（減速要求が発生すると）、演算処理モードが前記制動モードに変化する。このため、車両 1 の移動速度が減衰していくこととなる。この場合、速度追従モードで減速要求が発生した場合と同様に、減速要求の発生中は、ステップ S 2 3 - 6 の第 2 制動演算処理（図 1 8 の処理）によって、 $|V_{b_aim1}|$ と vb_aim1 とが決定される

【 0 2 5 1 】

次に、速度ホールドモードにおいて、加速要求及び減速要求が発生しない状況（図 20 のステップ S 2 5 - 1、2 5 - 4 の判断結果がいずれも否定的となる状況）が保たれたまま、前記カウントダウンタイマの計時が終了すると、図 20 のステップ S 2 5 - 1 1 の処理によって、演算処理モードが速度ホールドモードから制動モードに変更されることとなる。

【 0 2 5 2 】

この制動モードでは、加速要求及び減速要求が発生しない状況（図 1 5 のステップ S 2 3 - 1、2 3 - 4 の判断結果がいずれも否定的となる状況）で、図 1 6 のステップ S 2 3 - 5 - 1、2 3 - 5 - 2 の処理が制御処理周期毎に実行されることによって、基本要求重心速度ベクトル絶対値 $|V_{b_aim1}|$ が、“0”まで一定の時間的変化率（前記 V_{b1} により規定される時間的変化率）で連続的に減衰していくこととなる。そして、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”まで減衰した後には、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”に保持される。

【 0 2 5 3 】

さらに、制動モードでは、加速要求及び減速要求が発生しない状況で、図 1 6 のステップ S 2 3 - 5 - 3 以降の処理が制御処理周期毎に実行される。この場合、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} の向き（図 20 のステップ S 2 5 - 8 の判断結果が否定的となる制御処理周期の 1 つ前の制御処理周期で決定された V_{b_aim1} の向き）が、X 軸方向と異なり、且つ、比較的 X 軸方向に近い向きである場合（より正確には、移行直前に決定された V_{b_aim1} の方位角 vb_aim1 が、 $0^\circ < vb_aim1_p_th1+$ 、 $th1- < vb_aim1_p < 0^\circ$ 、 $th2+ < vb_aim1_p < 180^\circ$ 、 $-180^\circ < vb_aim1_p < th2-$ のいずれかの範囲内の角度値である場合）には、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”に減衰するまでの期間内において、 vb_aim1 が一定の時間的変化率で収束目標角度値としての 0° 又は 180° 又は -180° に近づいていき、最終的に、該収束目標角度値に保持される。従って、制動モードの開始後、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”に減衰するまでの期間内において、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim} の向きが、連続的に X 軸方向に近づいていくこととなる。換言すれば、当該期間内において、基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim} の X 軸方向成分 $V_{b_x_aim1}$ の絶対値に対する Y 軸方向成分 $V_{b_y_aim1}$ の絶対値の比率が、“0”に近づいていくこととなる。そして、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”に減衰するまでに、 V_{b_aim1} の向きが X 軸方向と同じ向きに到達すると（ $V_{b_y_aim1} = 0$ になると）、 V_{b_aim1} の向きが X 軸方向と同じ向きに保持される。

【 0 2 5 4 】

従って、 V_{b_aim1} は、その大きさが減衰しつつ、その向きが X 軸方向に近づく（収束する）ように決定される。このように V_{b_aim1} が決定される状況では、 V_{b_aim1} に追

10

20

30

40

50

従するように決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} も、その大きさが減衰しつつ、その向きがX軸方向に近づくように決定されることとなる。

【0255】

また、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} の向きが、X軸方向と異なり、且つ、X軸方向から比較的乖離した向きである場合（より正確には、上記移行直前に決定された V_{b_aim1} の方位角 vb_aim1 が、 $th1+ < vb_aim1_p < th2+$ 、 $th2- < vb_aim1_p < th1-$ のいずれかの範囲内の角度値である場合）には、 $|V_{b_aim1}|$ が“0”に減衰するまでの期間内において、 vb_aim1 が、上記移行直前に決定された V_{b_aim1} の方位角 vb_aim1 と同じ角度値で一定に保持される。

10

【0256】

従って、 V_{b_aim1} は、その大きさが減衰しつつ、その向きが一定に保たれるように決定される。このように V_{b_aim1} が決定される状況では、 V_{b_aim1} に追従するように決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} も、その大きさが減衰しつつ、その向きが一定に保たれるように決定されることとなる。

【0257】

なお、本実施形態では、速度ホールドモードでは、 V_{b_aim1} は、その大きさ及び向きが一定に保持されるので、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} は、結果的には、速度追従モードから速度ホールドモードへの移行直前に決定された V_{b_aim1} （本実施形態では、図19のステップS24-3の判断結果が肯定的となる制御処理周期で決定された V_{b_aim1} ）に一致する。

20

【0258】

そして、制動モードで上記の如く決定される要求重心速度ベクトル V_{b_aim} のX軸方向成分とY軸方向成分とが前記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。さらに、各仮想車輪回転角加速度指令 $dotw_x_cmd$ 、 $dotw_y_cmd$ にそれぞれ含まれる操作量成分 $u3_x$ 、 $u3_y$ は、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 $V_{b_x_s}$ 、 $V_{b_y_s}$ を各々収束させるように決定される。

【0259】

この結果、前記制動モードの前の演算処理モードが速度ホールドモードである場合に、乗員がその上体の動きによる積極的な操縦操作を行わずとも、車両系重心点の実際の速度ベクトルの大きさが速度ホールドモードでの大きさから連続的に減衰していくように車輪体5の移動速度が制御されることとなる。

30

【0260】

この場合、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された V_{b_aim1} （=速度追従モードから速度ホールドモードへの移行直前に決定された V_{b_aim1} ）の向きが、X軸方向と異なり、且つ、比較的X軸方向に近い向きである場合には、乗員がその上体の動きによる積極的な操縦操作を行わずとも、車両系重心点の速度ベクトルの大きさが減衰しながら、該速度ベクトルの向きが自動的にX軸方向（乗員の前後方向）に近づいていくこととなる。従って、乗員の前後方向に対する車両1の直進性が高まる。

【0261】

40

ここで、車両1を加速しようとする場合、多くの場合、特に乗員の前後方向で車両1を加速することが要求される。この場合、本実施形態の車両1は、上記の如く前後方向に対する直進性が高いので、車両1に付加する推進力の向きが、前後方向から多少ずれていても、その後の速度ホールドモードに続く制動モードにおいて、自動的に車両系重心点の速度ベクトルが、前後方向に向くように車輪体5の移動速度が制御される。

【0262】

このため、車両1の移動方向のばらつきが生じにくく、乗員の前後方向に対して高い直進性を有する車両1（乗員の前後方向に進み易い車両1）が実現されている。ひいては、車両1を前後方向に移動させる場合に、車両1に付加する推進力を正確に前後方向に向けずとも、該車両1を前後方向に移動させることができる。その結果、車両1を前後方向に

50

移動させる操縦操作が容易になる。

【0263】

また、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された基本要求重心速度ベクトル V_{b_aim1} (= 速度追従モードから速度ホールドモードへの移行直前に決定された V_{b_aim1}) の向きが、X 軸方向と異なり、且つ、X 軸方向から比較的乖離した向きである場合には、乗員がその上体の動きによる積極的な操縦操作を行わずとも、車両系重心点の速度ベクトルの大きさが減衰しながら、該速度ベクトルの向きがほぼ一定に保たれる。すなわち、速度ホールドモードから制動モードへの移行直前に決定された V_{b_aim1} の向きが、X 軸方向から比較的乖離した向きである場合には、速度追従モードで最終的に乗員が意図した車両系重心の速度ベクトルの向きが、X 軸方向と異なる向きである可能性が高い。従って、速度追従モード以後に、車両系重心点が、乗員が意図する方向と乖離する向きに移動しようとするのを防止できる。

10

以上が、本実施形態による倒立振り子型移動体の前提となる全方向移動車両 1 の詳細である。

【0264】

2. 連携技術

以下では、上述した全方向移動車両の移動制御に関する基本的機能を前提として、本発明の実施形態による倒立振り子型移動体が他の移動体と連携動作するための技術内容について、一对の松葉杖のように機能する歩行補助装置に適用した場合を例として説明する。

【0265】

20

なお、複数台の移動体が連携動作する形態としては、例えば、各移動体間の位置（距離）を一定に保持するように連携動作する形態、各移動体の姿勢（傾斜角度）を合わせるように連携動作する形態、これらを組み合わせた連携動作の形態等が挙げられる。ここでは、説明の便宜上、各移動体の姿勢（傾斜角度）を一致させるように連携動作する形態を中心に説明し、その他の連携動作の形態については変形例として説明することとする。

【0266】

図 2 1 に、本実施形態による倒立振り子型移動体が適用された歩行補助装置 1000 の使用形態を示す。同図において、歩行補助装置 1000 は、2 台の倒立振り子型移動体 1000R, 1000L から構成される。このうち、倒立振り子型移動体 1000R は、利用者に対して右側（紙面左側）に位置する松葉杖に対応し、倒立振り子型移動体 1000L は、この利用者に対して左側（紙面右側）に位置する松葉杖に対応している。これら倒立振り子型移動体 1000R, 1000L のそれぞれは、前提技術として前述した全方向移動車両 1 と同様に、倒立振り子モデルの動力学に基づく重心運動の制御を実施することにより、自立した状態で床面上を移動するように構成されている。

30

【0267】

倒立振り子型移動体 1000R, 1000L のそれぞれは、連携動作に関する機能を除けば、基本的には前述の全方向移動車両 1 と同様に構成されるが、歩行補助装置としての機能の必要上、図 1 に示すシート 3、グリップ 17R, 17L、ステップ 25R, 25L 等に代えて、図 2 1 に示す脇当部 1000a および把持部 1000b が設けられている。後述するように、これら 2 台の倒立振り子型移動体 1000R, 1000L が互いに連携動作することにより、歩行補助装置 1000 が松葉杖のように機能し、利用者の歩行を補助するものとなっている。

40

【0268】

なお、以下では、2 台の倒立振り子型移動体 1000R, 1000L のうち、利用者の右側に位置する倒立振り子型移動体 1000R に着目して各構成要素を説明するものとし、特に明示しない限り、各要素は、倒立振り子型移動体 1000R の要素を表すものとする。ただし、左右の概念を入れ替えれば、利用者の左側に位置する倒立振り子型移動体 1000L は倒立振り子型移動体 1000R と同じである。

【0269】

また、適宜、2 台の倒立振り子型移動体 1000R, 1000L のうち、本実施形態の説

50

明で着目する構成要素が設けられた倒立振子型移動体 1000R を「自移動体 1000R」と称し、この倒立振子型移動体 1000R と連携動作する他方の倒立振子型移動体 1000L を「他移動体 1000L」と称す。ここで、「自移動体」なる用語は、連携動作を制御するための構成要素から見て、その構成要素が備えられた制御対象の移動体を意味する。例えば、倒立振子型移動体 1000R に備えられた姿勢制御演算部 80 から見れば、自移動体は倒立振子型移動体 1000R を意味し、また、倒立振子型移動体 1000L に備えられた姿勢制御演算部 80 から見れば、自移動体は倒立振子型移動体 1000L を意味する。また、「他移動体」なる用語は、「自移動体」と連携動作する関係にある他の移動体を意味する。このような「自移動体」および「他移動体」の用語の意味は、本発明が規定される請求項においても同様である。

10

【0270】

次に、前述の図 9 および図 13 を参照して、連携動作に関連する構成を説明する。

図 9 において、制御ユニット 50 は、前述の図 7 に示すステップ S9 の車両制御演算処理において連携動作に関する処理に必要とされる要素として、通信部 701 (情報取得手段)、偏差演算部 702, 703, 705、距離センサ 704 (情報取得手段)、外力センサ 706 (外力検知手段)、荷重センサ 707 (荷重検知手段)、ゲイン調整部 708 を備えている。

【0271】

ここで、通信部 701 は、他移動体 1000L から、他移動体 1000L の現在の状態を表す状態情報を取得するためのものであり (情報取得手段)、ここでは、上記状態情報として、他移動体 1000L の現在の姿勢を表す姿勢情報を取得する。具体的には、通信部 701 は、上記姿勢情報として、他移動体 1000L の取得鉛直方向に対する基体傾斜角度計測値 $b_{xy_s}(L)$ と基体傾斜角速度計測値 $\dot{b}_{xy_s}(L)$ とを取得する。なお、通信部 701 は、無線と有線を問わず、他移動体 1000L から情報を取得することができるものであれば、どのような手段により実現されてもよい。

20

【0272】

特に図示していないが、通信部 701 により、自移動体 1000R の状態 (姿勢) を表す状態情報として、自移動体 1000R の基体傾斜角度計測値 b_{xy_s} (以下、基体傾斜角度計測値 $b_{xy_s}(R)$ と表記する) と、基体傾斜角速度計測値 \dot{b}_{xy_s} (以下、基体傾斜角速度計測値 $\dot{b}_{xy_s}(R)$ と表記する) とが他移動体 1000L に送信され、他移動体 1000L における同様の処理に使用される。

30

【0273】

偏差演算部 702 は、自移動体 1000R の基体傾斜角度計測値 $b_{xy_s}(R)$ と他移動体 1000L の基体傾斜角度計測値 $b_{xy_s}(L)$ との偏差 ($b_{xy_s}(R) - b_{xy_s}(L)$) を算出するためのものである。偏差演算部 703 は、自移動体 1000R の基体傾斜角速度計測値 $\dot{b}_{xy_s}(R)$ と他移動体 1000L の基体傾斜角速度計測値 $\dot{b}_{xy_s}(L)$ との偏差 ($\dot{b}_{xy_s}(R) - \dot{b}_{xy_s}(L)$) を算出するためのものである。

【0274】

距離センサ 704 は、他移動体 1000L の現在の状態を表す状態情報として、自移動体 1000R に対する他移動体 1000L の位置を表す位置情報 (または、他移動体 1000L に対する自移動体 1000R の位置を表す位置情報) を取得するためのものである (情報取得手段)。この距離センサ 704 は、上記位置情報として、図 22 (a) に示すように、自移動体 1000R と他移動体 1000L との間の距離 L_{s_xy} を計測する。偏差演算部 705 は、距離センサ 704 により測定された距離 L_{s_xy} と、予め設定された目標距離 L_{target_xy} との間の偏差 ($L_{s_xy} - L_{target_xy}$) を算出するためのものである。

40

【0275】

目標距離 L_{target_xy} は、利用者によって適宜設定されるものとしてもよい。また、距離センサ 704 は、赤外線センサ等の公知技術を用いて実現されてもよく、自移動体 1000R に対する他移動体 1000L の位置を把握することができれば、どのような手段により実現されてもよい。

50

なお、距離センサ 704 および偏差演算部 705 は、移動体間の距離を一定に維持する後述の第 1 の変形例における連携動作において必要とされるものであり、距離を一定に維持する必要のない連携動作の場合には省略してもよい。

【0276】

外力センサ 706 は、自移動体 1000R の基体 9 に作用する水平方向の外力 F_{hand} を検知するためのものである（外力検知手段）。すなわち、この外力センサ 706 は、利用者が倒立振り子型移動体 1000R の把持部 1000b に意図的に加える水平方向の外力 F_{hand} を検知する。利用者が把持部 1000b に水平方向に外力 F_{hand} を加えることにより、後述するように、利用者により倒立振り子型移動体 1000R に移動方向を指示することが可能とされている。

10

【0277】

荷重センサ 707 は、自移動体 1000R の基体 9 に作用する鉛直方向の荷重 F_{weight} を検知するためのものである（荷重検知手段）。この荷重センサ 707 は、倒立振り子型移動体 1000R の上端に配置された脇当部 1000a に装着されており、この脇当部 1000a に上方から加えられる利用者の体重による鉛直方向の荷重 F_{weight} を検知する。

【0278】

ゲイン調整部 708 は、倒立振り子型移動体 1000R の移動制御におけるフィードバックのゲイン調整パラメータ K_{w_xy} を生成するためのものである。このゲイン調整パラメータ K_{w_xy} は、荷重センサ 707 により検知された荷重 F_{weight} の増大に対し、後述の図 13 に示すゲイン係数 K_{6_xy} を減少させるためのものであるが、このゲイン係数 K_{6_xy} の意味の詳細については後述する。

20

【0279】

上述の偏差演算部 702 により算出された基体傾斜角度計測値の偏差 ($b_{xy_s}(R) - b_{xy_s}(L)$) と、偏差演算部 703 により算出された基体傾斜角速度計測値の偏差 ($b_{dot_xy_s}(R) - b_{dot_xy_s}(L)$) と、偏差演算部 705 により算出された距離の偏差 ($L_s - L_{target}$) と、外力センサ 706 により検知された外力 F_{hand} の値と、ゲイン調整部 708 により生成されたゲイン K_{w_xy} とが、他移動体 1000L との連携動作を制御するための入力値として姿勢制御演算部 80（移動制御手段）に与えられる。

【0280】

姿勢制御演算手段 80 は、上記の状態情報に基づき自移動体 1000R の移動を制御する移動制御手段を構成し、他移動体 1000L の現在の状態に対する自移動体 1000R の状態が所定の条件を満たすように移動を制御する。ここで、所定の条件は、自移動体と他移動体とを連携動作させるために規定された条件であり、具体的には、後述する式 071x, 071y の右辺の第 4 項ないし第 7 項によって与えられる条件である。

30

【0281】

続いて、図 13 を参照して、連携動作に関する姿勢制御演算部 80 の構成を説明する。本実施形態による倒立振り子型移動体の前提となる全方向移動車両の説明で述べたように、姿勢制御演算部 80 は、各入力値に対して、仮想車輪回転角加速度指令 $w_{dot_x_com}$, $w_{dot_y_com}$ を算出するが、ここでは、連携動作に関与する入力値に対する姿勢制御演算部 80 の処理を説明する。ただし、全方向移動車両の基本的な移動制御に関する前述の式 07x および式 07y に含まれる項に関わる説明は省略する。

40

姿勢制御演算部 80 は、入力値を用いて、次式 071x, 071y により、連携動作に関与する入力値をフィードバック制御の操作量成分として考慮に入れて、仮想車輪回転角加速度指令 $w_{dot_xy_com}$ を算出する。

【0282】

$$\begin{aligned} w_{dot_x_cmd} = & K1_x \cdot b_{e_x_s} + K2_x \cdot b_{dot_x_s} \\ & + K3_x \cdot (V_{b_x_s} - V_{b_x_mdfd}) \\ & + K4_x \cdot (b_{x_s}(R) - b_{x_s}(L)) \\ & + K5_x \cdot (b_{dot_x_s}(R) - b_{dot_x_s}(L)) \\ & + K6_x \cdot F_{hand_x} \end{aligned}$$

50

$$+ K7_x \cdot (Ls_x - Ltarget_x) \quad \dots\dots \text{式 } 071x$$

【 0 2 8 3 】

$$\begin{aligned} \text{wdot_y_cmd} = & K1_y \cdot \text{be_y_s} + K2_y \cdot \text{bdot_y_s} \\ & + K3_y \cdot (Vb_y_s - Vb_y_mdfd) \\ & + K4_y \cdot (b_y_s(R) - b_y_s(L)) \\ & + K5_y \cdot (\text{bdot_y_s}(R) - \text{bdot_x_s}(L)) \\ & + K6_y \cdot Fhand_y \\ & + K7_y \cdot (Ls_y - Ltarget_y) \quad \dots\dots \text{式 } 071y \end{aligned}$$

【 0 2 8 4 】

式 071x および式 071y において、右辺第 1 項ないし第 3 項は、前述の式 071x および式 071y と同一であり、右辺第 4 項ないし第 7 項が新たに付加されている。 10

ここで、右辺第 4 項は、基体傾斜角度計測値の偏差 ($b_{xy_s}(R) - b_{xy_s}(L)$) に対応する項であり、右辺第 5 項は、基体傾斜角速度計測値の偏差 ($\text{bdot}_{xy_s}(R) - \text{bdot}_{xy_s}(L)$) に対応する項である。これら右辺第 4 項および第 5 項を 0 に収束させるように倒立振子型移動体 1000R の移動制御が実行される結果、自移動体 1000R と他移動体 1000L との姿勢 (傾斜角度) が一致するようになる。

【 0 2 8 5 】

また、右辺第 6 項は、把持部 1000b を介して基体 9 に作用する平行方向の外力 F_{hand_xy} に対応する項である。この第 6 項を 0 に収束させるようにフィードバック制御が実行される結果、自移動体 1000R は、基体 9 に加えられる外力 F_{hand_xy} が減少する方向、即ち外力 F_{hand} の方向と略一致する方向に移動する。従って、利用者は、把持部 1000b に水平方向の外力 F_{hand_xy} を意図的に加えることにより、倒立振子型移動体 1000R の移動方向を指示することができる。 20

【 0 2 8 6 】

右辺第 7 項は、距離の偏差 ($Ls_{xy} - Ltarget_{xy}$) に対応する項であり、自移動体 1000R と他移動体 1000L との間の距離を一定に維持させるための項である。この第 7 項を 0 に収束させるように倒立振子型移動体 1000R の移動制御が実行される結果、自移動体 1000R と他移動体 1000L との間の距離 Ls_{xy} が目標距離 $Ltarget_{xy}$ に維持されることになる。 30

【 0 2 8 7 】

前述のフィードバック制御則に従って、上述の第 1 項ないし第 7 項の全てが 0 に収束するように仮想車輪回転角加速度指令 dotw_{xy_com} が決定される。その結果、自移動体 1000R は、自身の移動制御において、他移動体 1000L との間の距離を一定に維持しながら、自移動体 1000R の傾斜角度を他移動体 1000L の傾斜角度と一致させるように、自移動体 1000L と連携動作することとなる。他移動体 1000L についても同様のことが言える。 40

【 0 2 8 8 】

この場合、式 071x における各操作量成分に係わるゲイン係数 $K1_x, K2_x, K3_x, K4_x, K5_x$ 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 071y における各操作量成分に係わるゲイン係数 $K1_y, K2_y, K3_y, K4_y, K5_y$ 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。具体的には、前述した全方向移動車両におけるゲイン係数 $K1_x, K2_x, K3_x$ と同様に、ゲイン係数 $K4_x, K5_x$ は、 $Kr_x = 0$ である場合には、 $K4_x = K4_{a_x}, K5_x = K5_{a_x}$ となり、 $Kr_x = 1$ である場合には、 $K4_x = K4_{b_x}, K5_x = K5_{b_x}$ となる。従って、 Kr_x が “ 0 ” から “ 1 ” に近づくに伴い、第 i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) ゲイン係数 Ki_x は Ki_{a_x} から Ki_{b_x} 近づいていく。 40

式 071y の演算に用いる第 i ゲイン係数 Ki_y ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) についても同様である。

【 0 2 8 9 】

また、ゲイン係数 $K6_{xy}$ は、ゲイン調整パラメータ Kw_{xy} に応じて可変的に設定され、 50

荷重 F_{weight} の増大に対して減少する傾向を示すように制御される。例えば、荷重 F_{weight} が存在しない場合（すなわち、利用者が脇当部 1000a に体重を加えていない場合）には、 $K6_{xy} = K6_{a_{xy}}$ となり、利用者が脇当部 1000a に体重を徐々に加えると、荷重 F_{weight} の増大に伴ってゲイン係数 $K6_{xy}$ が $K6_{b_{xy}}$ に向かって減少する。このように、フィードバック制御におけるゲイン係数 $K6_{xy}$ を調整することにより、利用者が自身の体重を脇当部 1000a に加えた状態では、外力 F_{hand} の変化（すなわち、利用者による操作量の変化）に対して倒立振子型移動体 1000R の移動量の変化が抑制される。従って、この場合、倒立振子型移動体 1000R の挙動が穏やかになり、歩行補助装置としての操作性を向上させることができる。

【0290】

ゲイン係数 $K7_{xy}$ は定数であり、自移動体 1000R と他移動体 1000L との間の距離を一定に維持するためのフィードバック制御の応答性を定める。すなわち、ゲイン係数 $K7_{xy}$ を増大させると、他移動体 1000L との間の距離を一定に維持するためのフィードバック制御における応答性が高まり、逆に、ゲイン係数 $K7_{xy}$ を減少させると、上記の応答性が低下する。従って、ゲイン係数 $K7_{xy}$ は、上記の応答性を考慮して適切に設定されるが、利用者が調整可能なものとしてもよい。

【0291】

本実施形態において、自移動体 1000R の移動のフィードバック制御は、式 071x、071y の右辺の各項を“0”に収束させるように実施される。このことは、式 071x、071y の右辺の各項によって規定される条件が満たされるようにフィードバック制御が実施されることを意味している。本実施形態では、連携動作の条件（所定の条件）は、式 071x、071y の右辺の一部の項によって表現されている。

【0292】

すなわち、式 071x の右辺には、連携動作の条件を規定する項として、第4項 ($K4_x \cdot (b_{x_s}(R) - b_{x_s}(L))$)、第5項 ($K5_x \cdot (\dot{b}_{x_s}(R) - \dot{b}_{x_s}(L))$)、第7項 ($K7_x \cdot (Ls_x - L_{target_x})$) が含まれている。このうち、第4項および第5項は、自移動体 1000R の姿勢を他の移動体 1000L の姿勢に合わせるための条件に対応し、第7項は、自移動体 1000R と他移動体 1000L との間の距離を一定に維持するための条件に対応する。式 071y についても同様である。

【0293】

なお、上述の式 071x および式 071y の右辺第7項は、移動体間の距離を一定に維持する後述の第1の変形例において意味を有するものであるが、ここでは、移動体間の距離については連携動作の対象外としているため、上述の式 071x および式 071y の右辺第7項は不要である。そこで、強制的に $K7_{xy} = 0$ に設定し、式 071x および式 071y における右辺第7項を無視するものとする。

【0294】

姿勢制御演算部 80 は、前述したゲイン係数 $K1_x$ 、 $K2_x$ 、 $K3_x$ と共に、上記の如く決定し連携動作に関与するゲイン係数 $K4_x$ 、 $K5_x$ 、 $K6_x$ 、 $K7_x$ を用いて前記式 071x の演算を行なうことで、連携動作を考慮した X 軸方向に輪転する仮想車輪 62_x に係わる仮想車輪回転角加速度指令 \dot{w}_{x_cmd} を算出する。

【0295】

ここで、連携動作に関与する構成について、図 13 を参照して更に詳細に説明する。

同図に示すように、姿勢制御演算部 80 は、連携動作に関与する要素として、処理部 80g ~ 80j を備えている。そして、姿勢制御演算部 80 は、基体傾斜角度偏差計測値の偏差 ($b_{x_s}(R) - b_{e_{x_s}}(L)$) に第1ゲイン係数 $K4_x$ を乗じてなる操作量成分 $u4_x$ と、基体傾斜角速度計測値の偏差 ($\dot{b}_{x_s}(R) - \dot{b}_{e_{x_s}}(L)$) に第5ゲイン係数 $K5_x$ を乗じてなる操作量成分 $u5_x$ と、外力 F_{hand} の値に第6ゲイン係数 $K6_x$ を乗じてなる操作量成分 $u6_x$ を、それぞれ、処理部 80g、80h、80i で算出する。また、姿勢制御演算部 80 は、距離の偏差 ($Ls - L_{target}$) にゲイン係数 $K7_x$ を乗じてなる操作量成分 $u7_x$ を処理部 80j で算出する。そして、姿勢制御演算部 80 は、前述の移動制

10

20

30

40

50

御に關与する基本的な操作量成分 u_{1_x} 、 u_{2_x} 、 u_{3_x} と共に、連携動作に關与する操作量成分 u_{4_x} 、 u_{5_x} 、 u_{6_x} 、 u_{7_x} を演算部80eにて加え合わせることで、仮想車輪回転角加速度指令 \dot{w}_{x_com} を算出する。

【0296】

同様に、姿勢制御演算部80は、前述したゲイン係数 K_{1_y} 、 K_{2_y} 、 K_{3_y} と共に、上記の如く決定した連携動作に關与するゲイン係数 K_{4_y} 、 K_{5_y} 、 K_{6_y} 、 K_{7_y} を用いて前記式071yの演算を行なうことで、連携動作を考慮したY軸方向に輪転する仮想車輪62_yに係わる仮想車輪回転角加速度指令 \dot{w}_{y_cmd} を算出する。

【0297】

姿勢制御演算部80は、上記の如く、連携動作を考慮した仮想車輪回転角加速度指令 \dot{w}_{x_com} 、 \dot{w}_{y_com} を算出した後、次に、これらの \dot{w}_{x_com} 、 \dot{w}_{y_com} 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 w_{x_com} 、 w_{y_com} を決定する。

以上が連携動作に關与する姿勢制御演算部80の詳細である。その他については、前述の全方向移動車両と同様である。

【0298】

次に、本実施形態による倒立振子型移動体1000Rおよび倒立振子型移動体1000Lの動作（歩行補助装置としての使用形態）を説明する。

図21に示すように、右足を負傷している利用者は、静止した状態で、右側に倒立振子型移動体1000Rを位置させ、左側に倒立振子型移動体1000Lを位置させ、脇当部1000aを自己の脇に当てるようにして把持部1000bを把持する。そして、自己の体重を脇当部1000aに徐々に加えて、自己の体重を倒立振子型移動体1000R、1000Lで支えるようにする。

【0299】

この静止状態から、利用者が健常な左足で床を蹴ると、この左足が床から受ける反力により一対の倒立振子型移動体1000R、1000Lが前方に向かって加速され（速度追従モード）、移動を開始する。そして、一定時間にわたって移動速度が一定に保たれ（速度ホールドモード）、その後、徐々に減速される（制動モード）。必要に応じて、利用者が床面を再び蹴れば、同様にして移動が再開される。

【0300】

ここで、倒立振子型移動体1000R、1000Lは、移動制御の過程で、お互いの姿勢に關する情報を交換し、上述した連携動作に關する処理を実行することにより、お互いの姿勢（傾斜角度）を一致させるように連携動作する。この場合、2台の倒立振子型移動体1000R、1000Lは、互いに並行状態に維持される。したがって、利用者にとって2台の倒立振子型移動体1000R、1000Lが一対の松葉杖と同様に歩行補助装置として機能し、倒立振子型移動体1000R、1000Lが利用者の歩行を補助する。

【0301】

なお、全方向移動車両の説明で述べたように、利用者が基体9を基本姿勢から傾けるように操作によって、倒立振子型移動体1000R、1000Lを発進させ、停止させることも可能である。

【0302】

[第1の変形例]

上述の実施形態では、連携動作の条件として、自移動体1000Rと他移動体1000Lの姿勢（傾斜角度）を一致させることを設定したが、この第1の変形例では、連携動作の条件として、図22(a)に示すように、自移動体1000Rと他移動体1000Rと間の距離 L_{s_xy} を一定の目標距離 L_{target_xy} に維持することを設定する。この連携動作の条件は、上述の式071x、071yの第7項によって与えられている。

【0303】

上述の実施形態では、説明の便宜上、右辺第7項を“0”に設定し、この第7項を無視するものとしたが、この第1の変形例では、式071x、071yにおける右辺第7項の

10

20

30

40

50

ゲイン係数 $K7_{xy}$ を、フィードバック制御の応答性を考慮した “ 0 ” 以外の適切な定数に設定する。

なお、歩行補助装置としての機能を考慮すれば、Y 軸方向の目標距離 L_{target_y} を利用者の体形に応じた適切な値に設定し、X 軸方向の目標距離 L_{target_x} を “ 0 ” に設定することが望ましい。

【 0 3 0 4 】

このように式 0 7 1 x , 0 7 1 y が設定されれば、自移動体 1 0 0 0 R は、上述した姿勢（傾斜角度）を合わせる連携動作に加えて、他移動体 1 0 0 0 L との間の距離 L_{xy} を一定の目標値 L_{target_xy} に維持するように連携動作するようになる。すなわち、姿勢制御演算部 8 0 は、距離センサ 7 0 4 によって取得された距離 L_{s_xy} が、連携動作の条件として与えられた目標値 L_{target_xy} に収束するように、すなわち、式 0 7 1 x , 0 7 1 y の右辺第 7 項が “ 0 ” に収束するように、フィードバック制御を実施する。その結果、連携動作の条件が満たされ、自移動体 1 0 0 0 R と他移動体 1 0 0 0 L との間の距離 L_{s_xy} が一定の目標距離 L_{target_xy} に維持される。

10

【 0 3 0 5 】

この第 1 の変形例によれば、自移動体 1 0 0 0 R と他移動体 1 0 0 0 L との間の距離が一定に維持されるので、利用者は、自移動体 1 0 0 0 R と他移動体 1 0 0 0 L との間隔を修正するための操縦操作に煩わされることがなくなり、従って歩行補助装置としての操作性と利便性を向上させることができる。

20

【 0 3 0 6 】

なお、第 1 の変形例では、歩行補助装置としての使用形態を考慮して、X 軸および Y 軸の各方向の距離を目標値に維持するものとしたが、自移動体 1 0 0 0 R を中心として一定の範囲内に他移動体 1 0 0 0 L が位置するようにしてもよい。

【 0 3 0 7 】

[第 2 の変形例]

上述の実施形態では、自移動体 1 0 0 0 R の姿勢（傾斜角度）と他移動体 1 0 0 0 L の姿勢（傾斜角度）とを一致させる（姿勢を相互に合わせる）ものとしたが、この第 2 の変形例では、連携動作の条件として、各移動体の姿勢を設定する。具体的には、連携動作の条件として、図 2 1 (b) に示すように、移動体間の X 軸周りの傾斜角度の差分（ $b_{y_s}(R) - b_{y_s}(L)$ ）が所定値となることを設定する。この場合、前述の式 0 7 1 y は次式 0 7 2 y のように表現し直される。なお、ここでは、X 軸周りの傾斜角度の差分のみを所定値に維持するものとし、Y 軸回りについては上述の実施形態と同様とする。

30

【 0 3 0 8 】

$$\begin{aligned} \dot{w}_{y_cmd} = & K1_y \cdot b_{e_y_s} + K2_y \cdot \dot{b}_{y_s} \\ & + K3_y \cdot (V_{b_y_s} - V_{b_y_mdfd}) \\ & + K4_y \cdot (b_{y_s}(R) - b_{y_s}(L) - c_y) \\ & + K5_y \cdot (\dot{b}_{y_s}(R) - \dot{b}_{y_s}(L)) \\ & + K6_y \cdot F_{hand_y} \\ & + K7_y \cdot (L_{s_y} - L_{target_y}) \end{aligned} \quad \dots\dots \text{式 0 7 2 y}$$

【 0 3 0 9 】

ここで、式 0 7 1 y と式 0 7 2 y の違いは、傾斜角度の偏差に関連する右辺第 4 項の括弧内に定数 「 - c_y 」 が付加されている点である。この定数 「 - c_y 」 は、2 台の倒立振り子型移動体 1 0 0 0 R , 1 0 0 0 L の X 軸周りの傾斜角度の差分に対応する所定値である。

40

【 0 3 1 0 】

このように定数 「 - c_y 」 を含む式 0 7 2 y が設定されれば、第 4 項を 0 に収束させるように倒立振り子型移動体 1 0 0 0 R の移動制御が実行される結果、自移動体 1 0 0 0 R と他移動体 1 0 0 0 L との傾斜角度の差分（ $b_{y_s}(R) - b_{y_s}(L)$ ）が所定値 「 c_y 」 に一致するようになる。従って、2 台の倒立振り子型移動体 1 0 0 0 R , 1 0 0 0 L の X 軸周りの傾斜角度の差分を所定値 「 c_y 」 に維持するようして、2 台の倒立振り子型移動体

50

1 0 0 0 R, 1 0 0 0 Lの連携動作が行われることになる。

なお、Y軸周りの傾斜角度の差分を所定値に維持するものとする場合には、前述の式071yの第4項に、所定値に対応する定数「- c_x」を付加すればよい。

【0311】

第2の変形例によれば、自移動体1000Rの傾斜角度と他移動体1000Lの傾斜角度の差分を所定値に維持するようにしたので、自移動体1000Rと他移動体1000Lとを相互に異なる方向に傾倒させた状態に維持することが可能になる。従って、例えば、一对の倒立振り子型移動体の下端側の間隔を上端側の間隔よりも広くした状態に維持させることができ、歩行補助装置としての安定性を向上させることができる。

【0312】

10

[第3の変形例]

第3の変形例は、連携動作の条件として、各移動体の姿勢を設定する点では第2の変形例と共通するが、第3の変形例では、各移動体の姿勢を個々に設定する。具体的には、連携動作の条件として、図21(c)に示すように、自移動体1000Rの傾斜角度 $b_{y_s}(R)$ を所定の目標傾斜角度「+ target」に維持し、他移動体1000Lの傾斜角度 $b_{y_s}(L)$ を所定の目標傾斜角度「- target」に維持することを設定する。この場合、自移動体1000Rにおける前述の式071yは次の式073y(R)のように表現し直され、他移動体1000Lにおける前述の式071yは次の式073y(L)のように表現し直される。なお、ここでは、説明の便宜上、X軸周りの傾斜角度のみを目標傾斜角度に維持するものとし、Y軸回りについては上述の実施形態と同様とする。

20

【0313】

$$\begin{aligned} \dot{w}_{y_cmd} = & K1_y \cdot b_{e_y_s} + K2_y \cdot \dot{b}_{d_{y_s}} \\ & + K3_y \cdot (V_{b_{y_s}} - V_{b_{y_mdfd}}) \\ & + K4_y \cdot (b_{y_s}(R) - target) \\ & + K5_y \cdot (\dot{b}_{d_{y_s}}(R) - \dot{b}_{d_{y_s}}(L)) \\ & + K6_y \cdot F_{hand_y} \\ & + K7_y \cdot (L_{s_y} - L_{target_y}) \end{aligned} \quad \dots\dots \text{式073y(R)}$$

【0314】

$$\begin{aligned} \dot{w}_{y_cmd} = & K1_y \cdot b_{e_y_s} + K2_y \cdot \dot{b}_{d_{y_s}} \\ & + K3_y \cdot (V_{b_{y_s}} - V_{b_{y_mdfd}}) \\ & + K4_y \cdot (b_{y_s}(L) + target) \\ & + K5_y \cdot (\dot{b}_{d_{y_s}}(R) - \dot{b}_{d_{y_s}}(L)) \\ & + K6_y \cdot F_{hand_y} \\ & + K7_y \cdot (L_{s_y} - L_{target_y}) \end{aligned} \quad \dots\dots \text{式073y(L)}$$

30

【0315】

ここで、式071yと式073y(R)の違いは右辺第4項であり、式071yと式073y(L)の違いについても同様である。式073y(R)によれば、第4項を0に収束させるようにフィードバック制御が実行される結果、自移動体1000Rの傾斜角度($b_{y_s}(R)$)が目標傾斜角度の「+ target」に一致するようになる。一方、式073y(L)によれば、第4項を0に収束させるようにフィードバック制御が実行される結果、他移動体1000Lの傾斜角度($b_{y_s}(L)$)が目標傾斜角度の「- target」に一致するようになる。従って、2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000LのX軸周りの各傾斜角度を、それぞれの目標傾斜角度に維持するように、2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000Lの連携動作が行われる。

40

【0316】

第3の変形例によれば、2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000LのX軸周りの各傾斜角度が、それぞれの目標傾斜角度に維持されるので、利用者は、2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000Lの傾斜角度の修正に煩わされることがなくなり、歩行補助装置としての操作性と安定性を向上させることができる。

【0317】

50

なお、上述の第1の変形例と第3の変形例とを組み合わせてもよい。この場合、自移動体1000Rと他移動体1000Lとの間の距離が一定に維持されると共に、各移動体の傾斜角度が一定に維持されるので、歩行補助装置としての安定性を更に向上させることができる。

【0318】

以上、本発明の実施形態および変形例を説明したが、本発明は上述の実施形態および変形例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形が可能である。例えば、上述の実施形態において、荷重センサ704として6軸センサを採用するものとするれば、この6軸センサの各成分を分析することにより、脇当部1000aに加えられる体重による荷重Fweightと、把持部1000bに加えられる外力Fhandとの両方を推定することができる。従って、外力センサ706を省略し、構成を簡略化することが可能になる。

10

【0319】

また、上述の実施形態では、自移動体1000Rと他移動体1000Lとを相互に連携動作させるものとしたが、或る移動体に他の移動体を従属的に連携させるものとしてもよい。この例について更に説明すると、前述の図21において、移動する2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000Lに対して一定の距離を維持しながら、他の倒立振り子型移動体(図示なし)が追従するものとしてもよく、2台の倒立振り子型移動体1000R, 1000Lは、これらに追従する後続の倒立振り子型移動体(図示なし)に対しては自身の動作を何ら連携させない。この例では、倒立振り子型移動体1000R, 1000Lに追従する倒立振り子型移動体において、追従すべき対象の方向を特定する必要が生じるが、例えば、先行する倒立振り子型移動体1000Rに特定周波数の信号を発信する装置を装着しておけば、その信号の到来方向から、後続の倒立振り子型移動体が追従すべき対象の方向を把握することができ、従って倒立振り子型移動体1000Rに対する追従動作が可能になる。

20

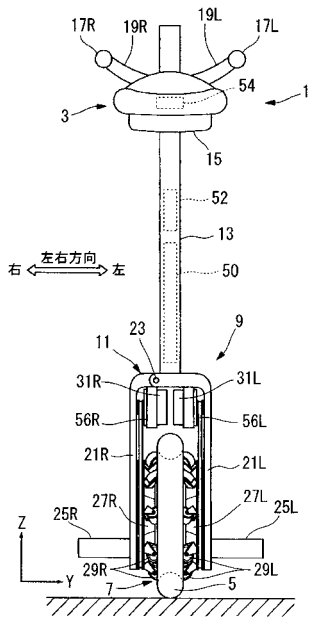
【符号の説明】

【0320】

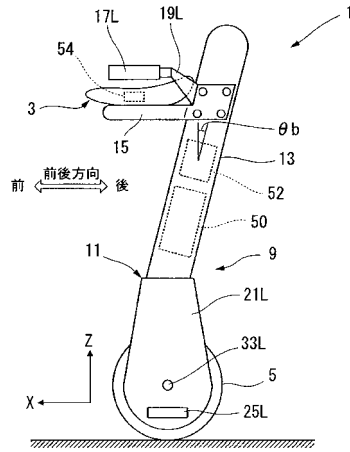
1...全方向移動車両、3...シート、5...車輪体、7...アクチュエータ装置、9...基体、74...要求重心速度生成部、76...重心速度制限部、80...姿勢制御演算部(移動制御手段)、82...モータ指令演算部、701...通信部(情報取得手段)、702, 703, 705...偏差演算部、704...距離センサ(情報取得手段)、706...外力センサ(外力検知手段)、707...荷重センサ(荷重検知手段)、708...ゲイン調整部、1000...歩行補助装置、1000R...自移動体(倒立振り子型移動体)、1000L...他移動体(倒立振り子型移動体)。

30

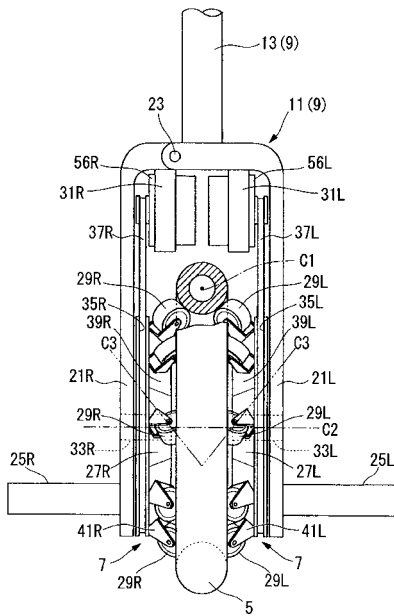
【図1】



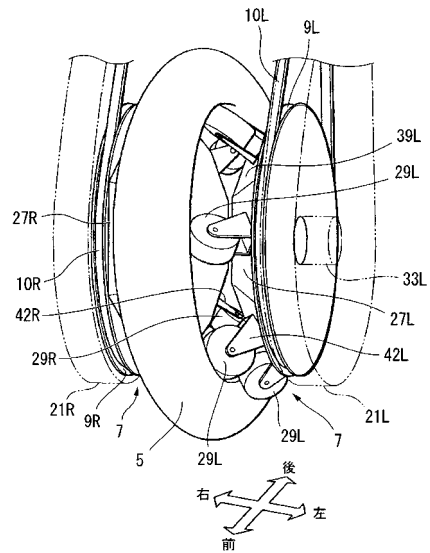
【図2】



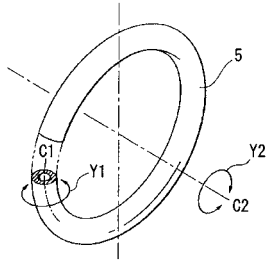
【図3】



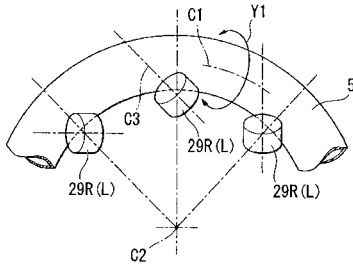
【図4】



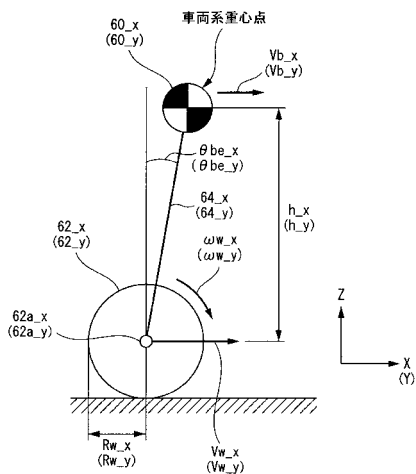
【図5】



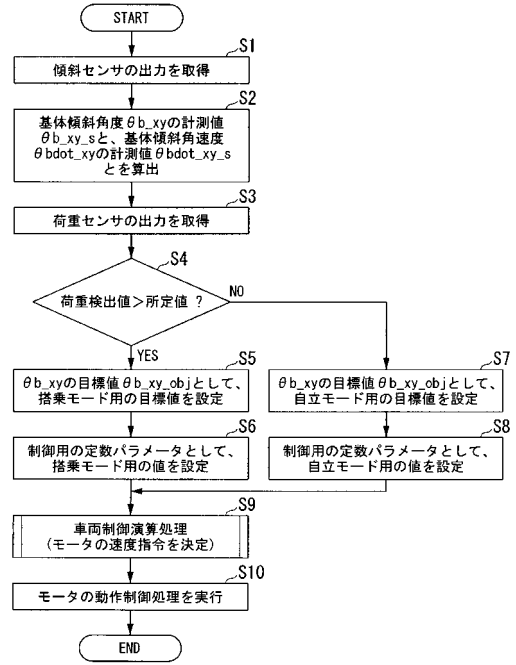
【図6】



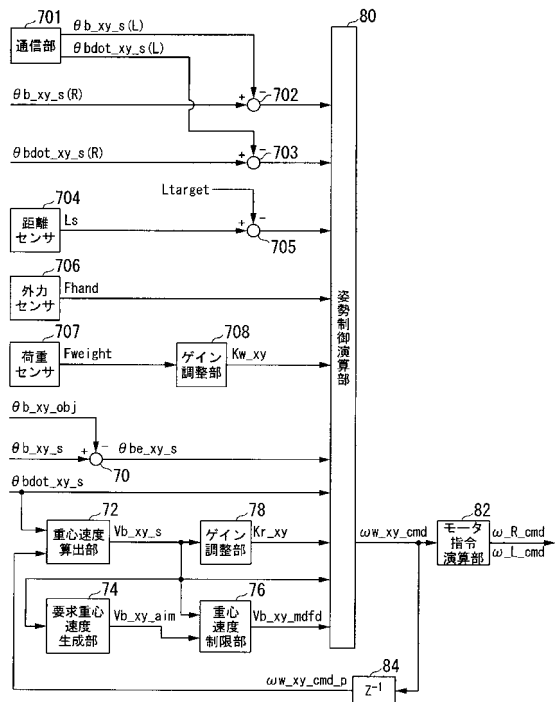
【図8】



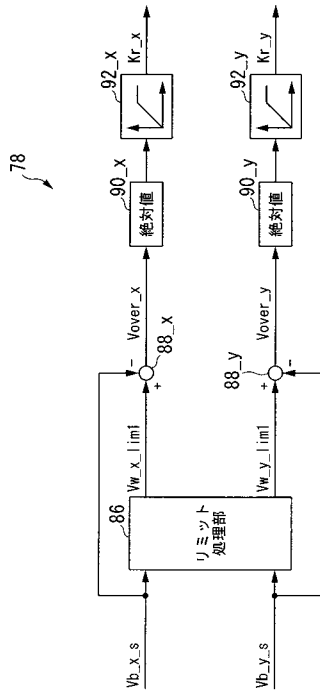
【図7】



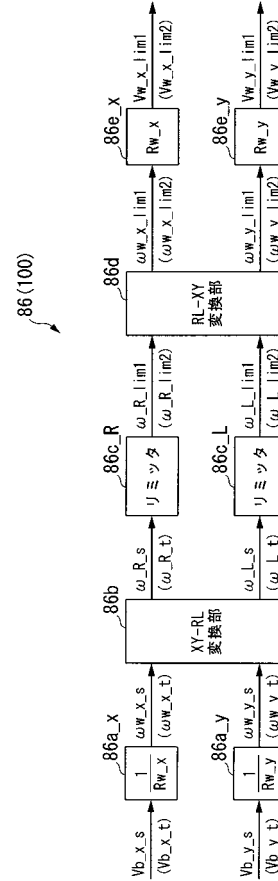
【図9】



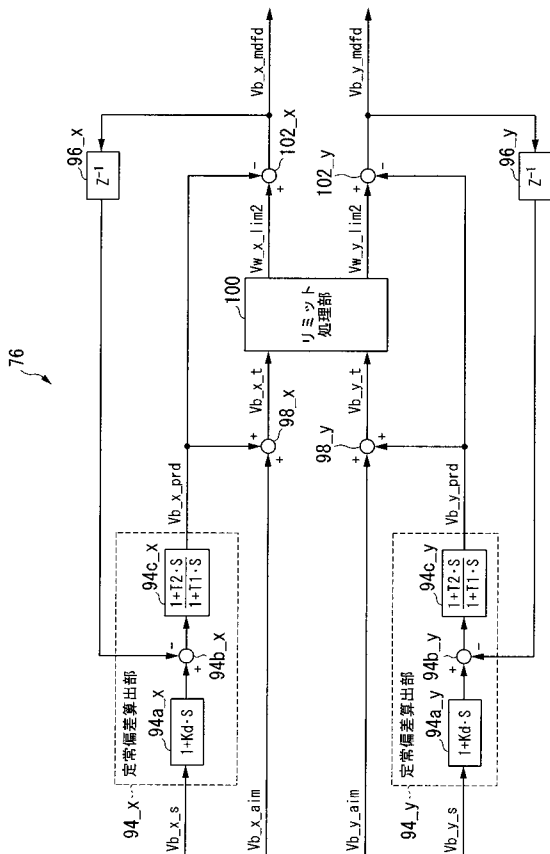
【図10】



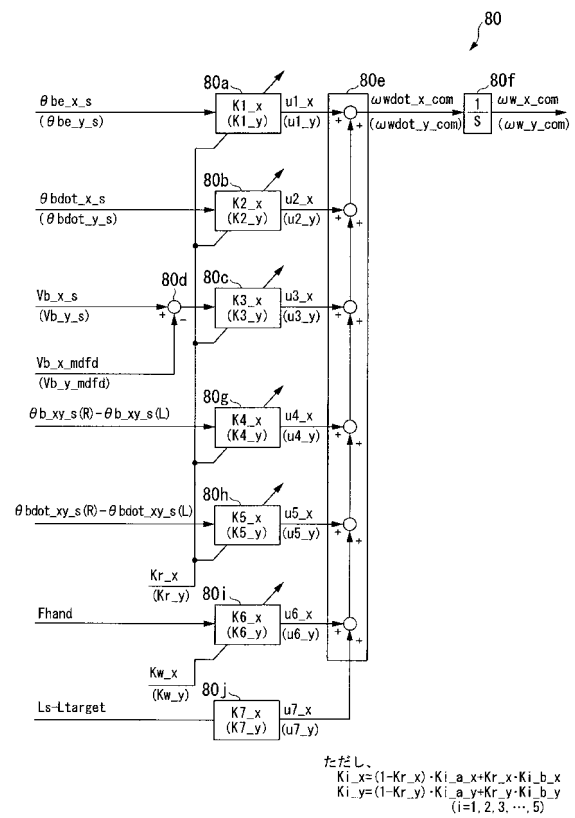
【図11】



【図12】

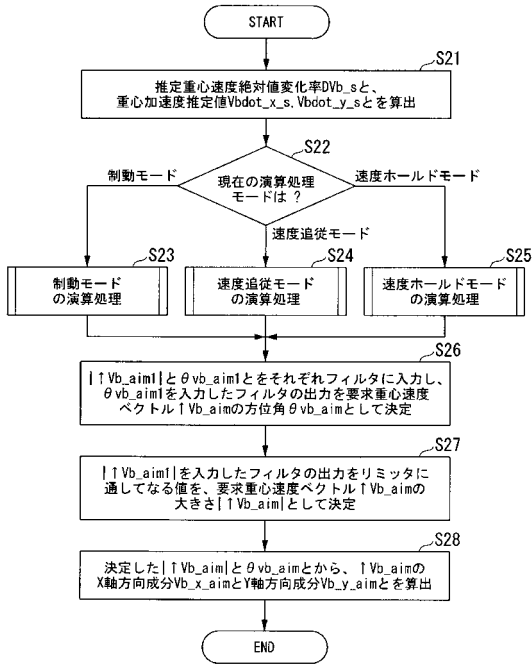


【図13】

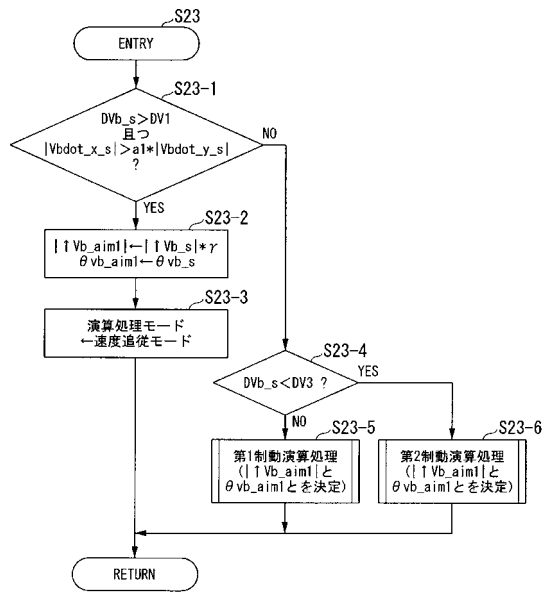


ただし、
 $K1_x = (1 - Kr_x) - Ki_a_x + Kr_x + Ki_b_x$
 $K1_y = (1 - Kr_y) - Ki_a_y + Kr_y + Ki_b_y$
(i=1, 2, 3, ..., 5)

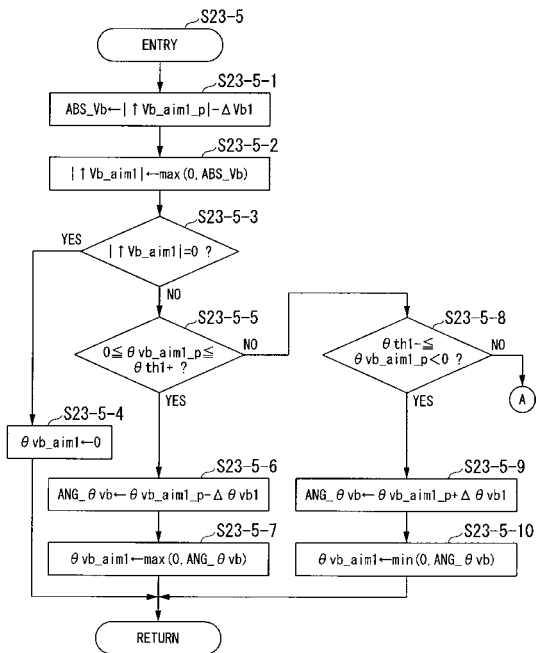
【図14】



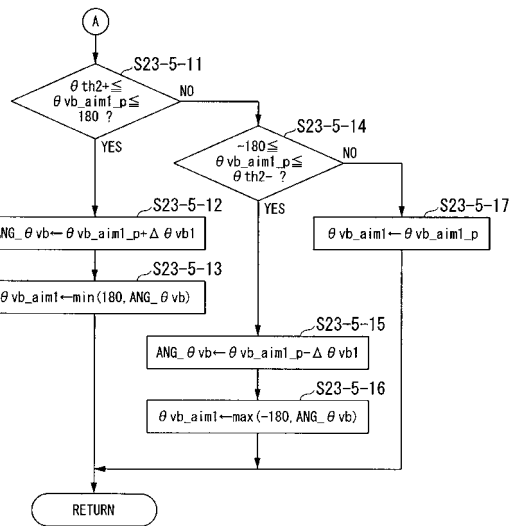
【図15】



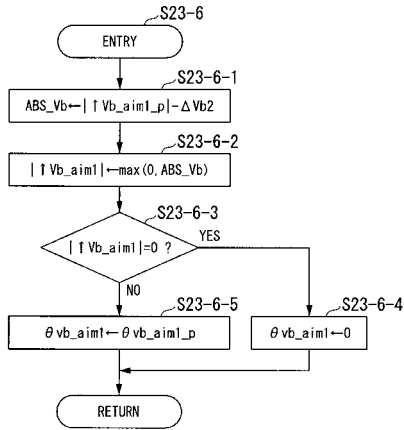
【図16】



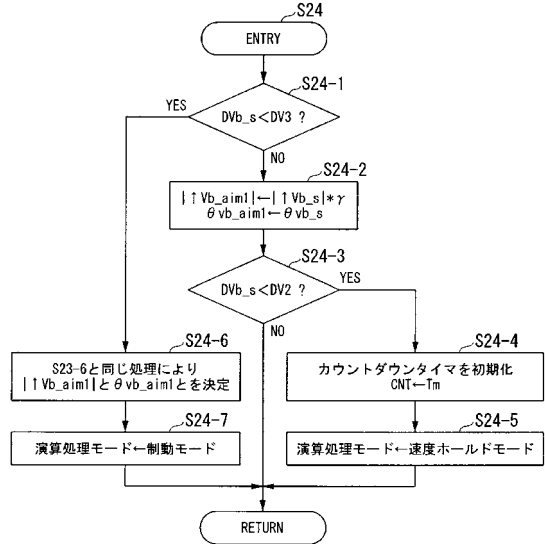
【図17】



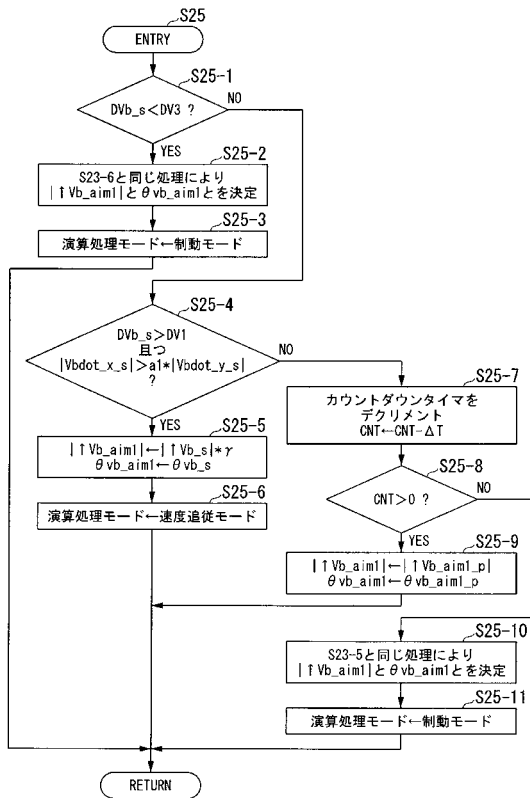
【図18】



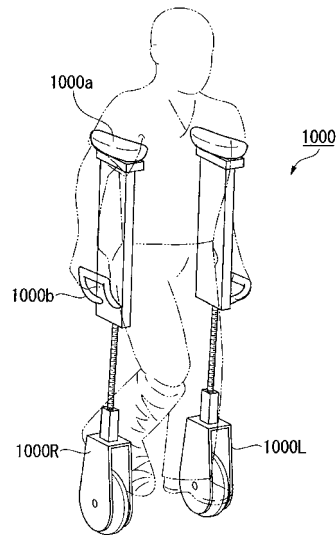
【図19】



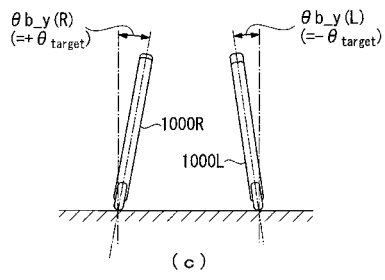
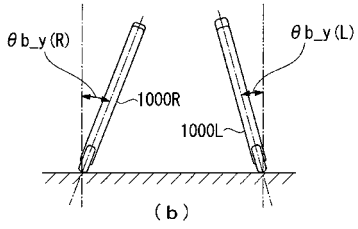
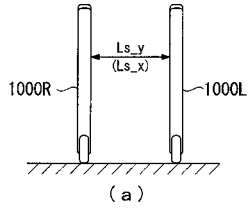
【図20】



【図21】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 A 6 1 H 3/02 (2006.01) A 6 1 H 3/02 Z

- (72)発明者 竹中 透
 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
- (72)発明者 小橋 慎一郎
 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
- (72)発明者 小山 泰司
 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
- (72)発明者 和泉 秀治
 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
- (72)発明者 桑原 和也
 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

審査官 岸 智章

- (56)参考文献 特開2009-136057(JP,A)
 特開2007-237989(JP,A)
 特開平07-052687(JP,A)
 特開2007-098553(JP,A)
 特開平05-329186(JP,A)
 特開2005-041454(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 2 K 1 / 0 0 , 1 7 / 0 0
 A 6 1 H 3 / 0 2 , 3 / 0 4
 B 6 0 L 1 5 / 2 0
 G 0 5 D 1 / 0 8