(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年1月4日(04.01.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/003886 A1

(51) 国際特許分類:
B60B 19/00 (2006.01)　*B60B 33/08* (2006.01)
B60B 19/14 (2006.01)　*B62K 1/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2017/023822

(22) 国際出願日：　2017年6月28日(28.06.2017)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(30) 優先権データ：
特願 2016-132090　2016年7月1日(01.07.2016)　JP
特願 2016-170938　2016年9月1日(01.09.2016)　JP

(71) 出願人: 学校法人東京理科大学(**TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE FOUNDATION**) [JP/JP]; 〒1628601 東京都新宿区神楽坂一丁目３番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 星野 祐(**HOSHINO, Tasuku**); 〒1628601 東京都新宿区神楽坂一丁目３番地 学校法人東京理科大学内 Tokyo (JP).

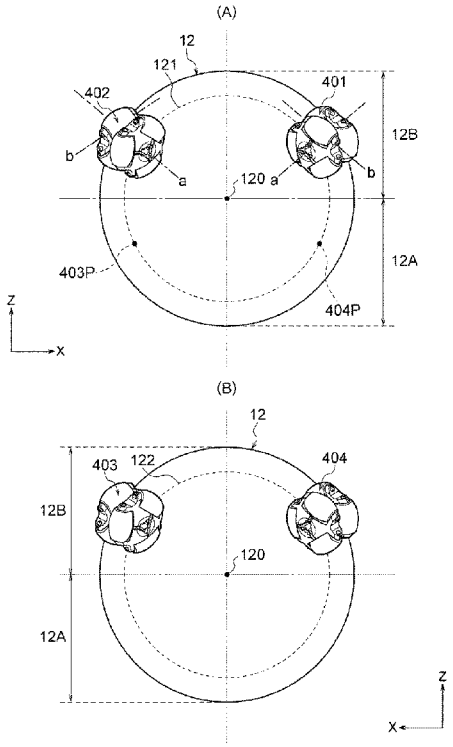
(74) 代理人: 中島 淳, 外 (**NAKAJIMA, Jun** et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿４丁目３番１７号 ＨＫ新宿ビル７階 太陽国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

(54) **Title:** OMNIDIRECTIONAL MOVEMENT DEVICE AND ORIENTATION CONTROL METHOD

(54) 発明の名称： 全方向移動装置及びその姿勢制御方法



(57) **Abstract:** This omnidirectional movement device is provided with a spherical rotational solid (12), and omni-wheels (401)-(404) serving as wheels. A plurality of wheels are disposed in contact with a surface of the rotational solid (12) about an axis (121) of a rotating shaft (120) that causes the rotational solid (12) to roll and move along a straight line, the wheels rotate in a circumferential direction to transfer motive power to the rotational solid (12), and the wheels are capable of rolling the rotational solid (12) in a direction intersecting the circumferential direction.

(57) 要約：全方向移動装置は、球状の回転体（１２）と、ホイールとしてのオムニホイール（４０１）～（４０４）とを備えている。ホイールは、回転体１２を転動させて直進方向に移動させる回転軸１２０の軸周り１２１において回転体１２の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して回転体１２に動力を伝達し、かつ、円周方向とは交差する方向に回転体１２を転動可能とする。

WO 2018/003886 A1

［続葉有］

TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 全方向移動装置及びその姿勢制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、全方向移動装置及びその姿勢制御方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献１には、搬送装置及び駆動機構が開示されている。この搬送装置は、１つの球状回転体と、３個のオムニホイールとを備えている。オムニホイールは、球状回転体に接して球状回転体を転動させ、更に球状回転体を転動する方向と異なる方向への移動を可能としている。３個のオムニホイールは、球状回転体の上半球において球状回転体の垂直軸（Z 軸）周りに等間隔で配置されている。オムニホイールのそれぞれにはホイール駆動部が接続されている。球状回転体上にはフレーム部を介して荷台が設けられ、ホイール駆動部はフレーム部に固定されている。

[0003] 上記搬送装置では、荷台の姿勢を傾けて、傾けた方向へ前後左右に移動することができ、更に旋回することができる。すなわち、搬送装置は、全方向へ自由度の高い動きを可能としている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００９－２３４５２４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、上記搬送装置では、すべてのホイール駆動部の出力が同一の場合、旋回のときに最大出力が得られるものの、本来、搬送装置として出力が必要とされる前進や左右の移動のときに最大出力を得ることができない。例えば、前進の移動では、旋回のときの約半分の出力しか得ることができない。このため、改善の余地があった。

[0006] 本発明は、上記課題を考慮し、最大出力により回転体を直進方向へ移動さ

せることができる全方向移動装置及び車体の姿勢を安定に維持することができる全方向移動装置の姿勢制御方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するため、本発明の第１実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の軸周りにおいて回転体の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向とは交差する方向に回転体を転動可能とするホイールと、を備えている。

[0008] 第１実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体の表面に接して配設されたホイールとを備える。ホイールは、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向とは交差する方向に回転体を転動可能とする。

[0009] ここで、ホイールは、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の軸周りにおいて回転体の表面に複数配設される。このため、直進方向の移動に際して、ホイールから回転体へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0010] 本発明の第２実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする第１ホイールと、回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の下半球の表面の特定位置に対する、回転体の中心対称位置の表面に接して配設され、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする第２ホイールと、を備えている。

[0011] 第２実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体の表面に接して配設された第１ホイール及び第２ホイールとを備える。第１ホイール及び第２ホイールは、いずれも、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする。

[0012] ここで、第１ホイールは、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に複数配設される。一方、第２ホイールは、回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の下半球の表面の特定位置に対する、回転体の中心対称位置の表面に配設される。このため、直進方向の移動に際して、第１ホイール、第２ホイールのそれぞれから回転体へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0013] 本発明の第３実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする第１ホイールと、回転軸の他端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に接して配設され、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする第２ホイールと、を備えている。

[0014] 第３実施態様に係る全方向移動装置は、球状の回転体と、回転体の表面に接して配設された第１ホイール及び第２ホイールとを備える。第１ホイール及び第２ホイールは、いずれも、円周方向に回転して回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする。

[0015] ここで、第１ホイールは、回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に複数配設される。一方、第２ホイールは、回転軸の他端側の軸周りにおいて回転体の上半球の表面に配設される。このため、直進方向の移動に際して、第１ホイール、第２ホイールのそれぞれから回転体へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0016] 本発明の第４実施態様に係る全方向移動装置では、第２実施態様又は第３実施態様に係る全方向移動装置において、第１ホイール及び第２ホイールは、オムニホイール又はメカナムホイールである。

[0017] 第４実施態様に係る全方向移動装置によれば、第１ホイール及び第２ホイ

ールがオムニホイール又はメカナムホイールとされるので、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができ、かつ、直進方向以外の方向へも回転体を転動させることができる。

[0018] 本発明の第５実施態様に係る全方向移動装置では、第２実施態様又は第３実施態様に係る全方向移動装置において、第１ホイールは２個配設され、第２ホイールは１個又は２個配設されている。

[0019] 第５実施態様に係る全方向移動装置によれば、第１ホイールは２個、第２ホイールは１個又は２個配設されるので、最小限のホイール数により、部品点数並びに重量を最小限として、回転体を全方向へ転動させることができる。

[0020] 本発明の第６実施態様に係る全方向移動装置では、第２実施態様又は第３実施態様に係る全方向移動装置において、第１ホイール及び第２ホイールは、回転体との接点の位置ベクトルと接点における接線ベクトルとで決まる動力伝達行列の行列要素のうち、回転軸の行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置に配設されている。

[0021] 第６実施態様に係る全方向移動装置によれば、動力伝達行列の行列要素のうち、回転体を直進方向に移動させる回転軸の行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置に第１ホイール及び第２ホイールが配設される。このため、直進方向の移動に際して、第１ホイール、第２ホイールのそれぞれから回転体へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0022] 本発明の第７実施態様に係る全方向移動装置では、第６実施態様に係る全方向移動装置において、動力伝達行列は、角速度を表す伝達行列を含んでいる。

[0023] 第７実施態様に係る全方向移動装置によれば、動力伝達行列は角速度を表す伝達行列を含む。回転体を直進方向に移動させる回転軸の角速度を表す伝達行列において行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置に、第１ホイール、第２ホイールがそれぞれ配設される。このため、直進方向の移動に際して

、第１ホイール、第２ホイールのそれぞれから回転体へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0024] 本発明の第８実施態様に係る全方向移動装置は、第２実施態様又は第３実施態様に係る全方向移動装置において、回転体の下半球の表面に接して又は近接させて、円周方向に回転し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする補助輪を更に備えている。

[0025] 第８実施態様に係る全方向移動装置は、回転体の下半球の表面に接して又は近接させて補助輪を備える。補助輪は、円周方向に回転し、かつ、円周方向と交差する方向に回転体を転動可能とする。このため、回転体の上半球が第１ホイール及び第２ホイールに接し、回転体の下半球に補助輪が設けられるので、回転体を全方向へ転動可能としつつ、回転体の抜けを防ぐことができる。

[0026] 本発明の第９実施態様に係る全方向移動装置では、第２実施態様又は第３実施態様に係る全方向移動装置において、回転体上に設けられた車体と、車体に取り付けられ、かつ、第１ホイールを回転させる第１駆動装置と、車体に取り付けられ、かつ、第２ホイールを回転させる第２駆動装置と、車体に配設され、車体の姿勢を安定に維持する姿勢安定システムと、を更に備えている。

[0027] 第９実施態様に係る全方向移動装置によれば、回転体上には車体が設けられる。第１ホイールの回転軸には第１駆動装置が接続され、第１駆動装置は車体に取り付けられる。また、第２ホイールの回転軸には第２駆動装置が接続され、第２駆動装置は車体に取り付けられる。第１ホイール、第２ホイールはいずれも回転体の上半球の表面に接する。このため、車体の荷重が第１駆動装置を介して第１ホイール及び第２駆動装置を介して第２ホイールにより支えられ、姿勢安定システムにより車体の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0028] 本発明の第１０実施態様に係る全方向移動装置では、第９実施態様に係る全方向移動装置において、姿勢安定システムは、車体に装着され、車体の姿

勢角度及び姿勢角度の変化に伴う第１角速度を検出する姿勢角度検出部と、第１ホイール及び第２ホイールの回転数を検出する回転数検出部と、回転数検出部による回転数の検出結果に基づいて、回転体が転動する第２角速度を検出する角速度検出部と、姿勢角度検出部により検出される姿勢角度情報、第１角速度情報及び角速度検出部により検出される第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持する第１ホイール及び第２ホイールのホイール操作トルクを算出し、このホイール操作トルク情報に従って第１駆動装置及び第２駆動装置を作動させる演算処理部と、を備えている。

[0029] 第１０実施態様に係る全方向移動装置によれば、姿勢安定システムは、姿勢角度検出部と、回転数検出部と、角速度検出部と、演算処理部とを備える。姿勢角度検出部は、車体に装着され、車体の姿勢角度及び姿勢角度の変化に伴う第１角速度を検出する。回転数検出部は、第１ホイール及び第２ホイールの回転数を検出する。角速度検出部は、回転数検出部による回転数の検出結果に基づいて、回転体が転動する第２角速度を検出する。

[0030] ここで、演算処理部は、姿勢角度検出部により検出される姿勢角度情報、第１角速度情報及び角速度検出部により検出される第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持する第１ホイール及び第２ホイールのホイール操作トルクを算出する。そして、演算処理部は、このホイール操作トルク情報に従って第１駆動装置及び第２駆動装置を作動させる。このため、姿勢安定システムでは、車体の姿勢を安定に維持する動力が第１ホイール及び第２ホイールから回転体へ伝達されるので、車体の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0031] 本発明の第１１実施態様に係る全方向移動装置では、第１０実施態様に係る全方向移動装置において、演算処理部は、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持させる、回転体が転動する角加速度の目標値及び車体が旋回する角加速度の目標値を算出し、目標値に一致させる回転体の第３角加速度を算出し、第３角加速度に基づいて回転体を操作する回転体操作トルクを算出し、回転体操作トルク情報に基づいて

、第１ホイール及び第２ホイールを操作するホイール操作トルクを算出する。

[0032] 第１１実施態様に係る全方向移動装置によれば、演算処理部では、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持させる、回転体が転動する角加速度の目標値及び車体が旋回する角加速度の目標値が算出される。演算処理部では、更に目標値に一致させる回転体の第３角加速度が算出され、第３角加速度に基づいて回転体を操作する回転体操作トルクが算出される。この回転体操作トルク情報に基づいて、演算処理部では、第１ホイール及び第２ホイールを操作するホイール操作トルクが算出される。この結果、演算処理部において、車体の姿勢を安定に維持する動力が算出される。このため、動力が第１ホイール及び第２ホイールから回転体へ伝達されるので、車体の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができる。

[0033] 本発明の第１２実施態様に係る全方向移動装置の姿勢制御方法では、第１０実施態様に係る全方向移動装置の姿勢安定システムが、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報を取得し、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持させる、回転体が転動する角加速度の目標値及び車体が旋回する角加速度の目標値を算出し、目標値に一致させる回転体の第３角加速度を算出し、第３角加速度に基づいて回転体を操作する回転体操作トルクを算出し、回転体操作トルク情報に基づいて、第１ホイール及び第２ホイールを操作するホイール操作トルクを算出する。

[0034] 第１２実施態様に係る全方向移動装置の姿勢制御方法によれば、姿勢安定システムが、まず最初に、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報を取得する。次に、姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体の姿勢を維持させる、回転体が転動する角加速度の目標値及び車体が旋回する角加速度の目標値が算出される。次に、目標値に一致させる回転体の第３角加速度が算出され、更に第３角加速度に基づいて回転体を

操作する回転体操作トルクが算出される。そして、回転体操作トルク情報に基づいて、第１ホイール及び第２ホイールを操作するホイール操作トルクが算出される。この結果、姿勢安定システムにおいて、車体の姿勢を安定に維持する動力が算出される。

[0035] このため、動力が第１ホイール及び第２ホイールから回転体へ伝達されるので、全方向移動装置では、最大出力により回転体を直進方向へ転動させることができ、車体の姿勢を安定に維持することができる。

発明の効果

[0036] 本発明によれば、最大出力により回転体を直進方向へ移動させることができる全方向移動装置及び車体の姿勢を安定に維持することができる全方向移動装置の姿勢制御方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0037] [図1]本発明の第１実施の形態に係る全方向移動装置の外観構成図であり、（Ａ）は左側面図、（Ｂ）は進行方向から見た正面図、（Ｃ）は背面図、（Ｄ）は底面図である。

[図2]図１に示される全方向移動装置の駆動ユニットの要部拡大斜視図である。

[図3]図１に示される全方向移動装置の回転体と図２に示される駆動ユニットのオムニホイールとの位置関係を示す図であり、（Ａ）は全方向移動装置の進行方向右側から見た側面図、（Ｂ）は全方向移動装置の進行方向左側から見た側面図である。

[図4]図１に示される全方向移動装置に組み込まれる姿勢安定システムを説明するブロック図である。

[図5]図４に示される姿勢安定システムの姿勢制御方法を説明するフローチャートである。

[図6]図４に示される姿勢安定システムのアルゴリズムを説明する図である。

[図7]第１実施の形態に係る動力伝達行列を説明する回転体及び３個のオムニホイールを示す概略図である。

[図8]第１実施の形態に係る動力伝達行列を説明する回転体及び４個のオムニホイールを示す概略図である。

[図9]比較例に係る動力伝達行列を説明する回転体及び３個のオムニホイールを示す概略図である。

[図10]比較例に係る動力伝達行列を説明する回転体及び４個のオムニホイールを示す概略図である。

[図11]本発明の第２実施の形態に係る全方向移動装置の動力伝達行列を説明する回転体及び４個のメカナムホイールを示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0038] （第１実施の形態）

以下、図１～図１０を用いて、本発明の第１実施の形態に係る全方向移動装置を説明する。なお、図中、適宜示される矢印X 方向は全方向移動装置の車体前方側であって進行方向を示し、矢印Y 方向は車体幅方向を示している。また、矢印Z 方向は、矢印X 方向及び矢印Y 方向に対して直交する上方向を示している。

[0039] ［全方向移動装置の構成］

図１（Ａ）～図１（Ｄ）及び図２に示されるように、本実施の形態に係る全方向移動装置１０は、単一の球状の回転体１２と、この回転体１２上に配設された車体１４とを含んで構成されている。

[0040] 回転体１２は、例えば、直径３００ｍｍ、厚さ１．５ｍｍのステンレス鋼を用いて形成された球殻を回転体本体とし、回転体本体の表面を回転体本体よりも軟質材料により被覆して形成されている。軟質材料として、例えば、厚さ５ｍｍの天然ゴム（NR：Natural Rubber）を実用的に使用することができる。

[0041] 図１（Ａ）～図１（Ｄ）に示されるように、車体１４は車体幅方向（矢印Y 方向）に一対に配設された車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂを備えている。車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂは、各々、車体前後方向（矢印X 方向）を長手方向として延在し、車体幅方向に離間して配置されている。車体本

体１４Ａ及び車体本体１４Ｂは、平面視において、回転体１２と重なる位置に配設されている。車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂには、上方向へ立設されたサドルサポート１６を介してサドル１８が取り付けられている。サドルサポート１６は管材により形成されている。サドル１８は全方向移動装置１０の搭乗者が着座する構成とされている。

[0042] 車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂの車体前方側には、車体１４を構成する車体前部１４Ｃが配設されている。車体前部１４Ｃは、上下方向において車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂの上面よりも下方向であって回転体１２の中心点付近に配置され、車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂの前壁１４Ｄに一体的に取り付けられている。車体前部１４Ｃは管材を折り曲げて形成され、車体前部１４Ｃの輪郭が平面視においてＣ字状に形成されている。

[0043] 車体前部１４Ｃ上には足置き部２０が車体幅方向に一対に配設されている。足置き部２０は搭乗者の足の置き場として使用される。また、車体前部１４Ｃには、上方向に向けてやや車体後方側に傾斜して立設されたハンドルサポート２２が配設され、ハンドルサポート２２の上端部にはハンドル２４が取り付けられている。ハンドル２４は車体幅方向外側へ向かって左右にそれぞれ突出された棒状に形成され、搭乗者はハンドル２４を把持して全方向移動装置１０を走行させる。ハンドル２４は、ここでは垂直軸（Ｚ 軸）周りに旋回しない固定式により形成されている。図示を省略しているが、全方向移動装置１０の走行の開始や停止を行う始動スイッチ、全方向移動装置１０の走行中の速度を制動するブレーキ等はハンドル２４周りに装着されている。また、保安部品として、ライト、フロントウインカ等が、ハンドル２４又はハンドルサポート２２に装着可能である。さらに、保安部品としてのリアウインカ、ブレーキランプ等が、車体１４の車体後端部の適正箇所に装着可能である。

[0044] 車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂ下において、回転体１２の周囲に沿ってリング状の枠部２６が配設されている。この枠部２６は車体幅方向両端部にそれぞれ設けられた枠サポート２８を介して車体本体１４Ａ、車体本体１

４Ｂのそれぞれに取り付けられている。

[0045] また、車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂの車体前端部には、補助輪サポート３０を介して補助輪３２が配設されている。補助輪サポート３０は車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂから回転体１２の中心点よりも下方側まで延設され、補助輪サポート３０の下端部に補助輪３２が回転自在に取り付けられている。同様に、車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂの車体後端部には、補助輪サポート３４を介して補助輪３６が配設されている。補助輪サポート３４は車体本体１４Ａ及び車体本体１４Ｂから回転体１２の中心点よりも下方側まで延設され、補助輪サポート３４の下端部に補助輪３６が回転自在に取り付けられている。補助輪３２、補助輪３６は、いずれも回転体１２の下半球１２Ａ側に回り込む位置に配置され、下半球１２Ａの表面に接するか、或いは一定のクリアランスを持って離間（近接）されている。補助輪３２及び補助輪３６を備えることにより、車体１４からの回転体１２の抜けが防止されている。本実施の形態では、補助輪３２、補助輪３６のそれぞれに、後述するホイール、ここではオムニホイールが使用されている。

[0046] 図１（Ａ）～図１（Ｄ）に示される全方向移動装置１０では、サドル１８に着座状態の搭乗者から見て車体幅方向右側において、車体本体１４Ａ下の車体前方側に、符号を省略した外装カバーにより被覆された第１駆動ユニット４０が取り付けられている。車体本体１４Ａ下の車体後方側には第２駆動ユニット４２が取り付けられている。一方、車体幅方向左側において、車体本体１４Ｂ下の車体前方側に第３駆動ユニット４４が取り付けられ、車体本体１４Ｂの車体後方側に第４駆動ユニット４６が取り付けられている。

[0047] ここで、本実施の形態では、第１駆動ユニット４０～第４駆動ユニット４６の合計４個の駆動ユニットが配設されているが、第１駆動ユニット４０～第３駆動ユニット４４の合計３個の駆動ユニットが配設される場合が含まれる。３個の駆動ユニットが配設される場合、第３駆動ユニット４４は車体本体１４Ｂの車体前後方向の中間部に配設される。

[0048] ［オムニホイールの構成］

図２に示されるように、第１駆動ユニット４０は、第１オムニホイールとしてのオムニホイール４０１と、減速機４４１と、第１駆動装置としての例えば交流（ＡＣ）サーボモータ４４２（１）とを含んで構成されている。オムニホイール４０１は、シャフト（回転軸）４３０を介して減速機４４１に連結されている。

[0049] オムニホイール４０１は、シャフト４３０の回転に従ってシャフト４３０の回転軸周りに回転し、かつ、回転軸方向に２連をなす第１ホイール４１０及び第２ホイール４２０を備えている。第１ホイール４１０の円周上には、等間隔に配設された複数の樽状のローラ（バレル）４１２～４１４が回転軸４１５を中心に回転自在に取り付けられている。ここで、等間隔とは１２０度間隔であり、３つのローラ４１２～４１４が取り付けられている。第２ホイール４２０は第１ホイール４１０の減速機４４１側とは反対側に配設されている。第２ホイール４２０の円周上には、同様に、等間隔に配設された複数の樽状のローラ４２２～４２４が回転軸４２５を中心として回転自在に取り付けられている。第２ホイール４２０のローラ４２２～４２４の配置間隔は、第１ホイール４１０のローラ４１２～４１４の配置間隔に対して、半ピッチ、具体的には６０度ずれている。このような構成により、オムニホイール４０１は、円周方向Ａに回転して回転体１２に動力を伝達し、かつ、円周方向Ａと交差する方向（ここでは直交する方向）Ｂに回転体１２を転動可能としている。

ここで、図２に示されるように、オムニホイール４０１のシャフト４３０の回転軸をａとし、ローラ４１２～４１４の回転軸４１５をｂとすれば、回転軸ｂは回転軸ａに対してねじれの位置において直交している。

[0050] 第２駆動ユニット４２、第３駆動ユニット４４、第４駆動ユニット４６のそれぞれの構成は、第１駆動ユニット４０の構成と同一である。すなわち、図２に示されるように、第２駆動ユニット４２は、第１オムニホイールとしてのオムニホイール４０２と、減速機４４１と、第１駆動装置としてのＡＣサーボモータ４４２（２）とを含んで構成されている。第３駆動ユニット４

４は、第２オムニホイールとしてのオムニホイール４０３と、減速機４４１と、第２駆動装置としてのＡＣサーボモータ４４２（３）とを含んで構成されている。第４駆動ユニット４６は、第２オムニホイールとしてのオムニホイール４０４と、減速機４４１と、第２駆動装置としてのＡＣサーボモータ４４２（４）とを含んで構成されている。

[0051] 本実施の形態に係る全方向移動装置１０では、前後方向及び左右方向への移動が可能とされ、かつ、旋回が可能とされている。勿論、斜め方向への移動、旋回しながらの前後方向、左右方向又は斜め方向の移動が可能である。そして、全方向移動装置１０では、前進方向に最大出力が得られる構成とされている。

[0052] ［オムニホイールの配置］

一般的に、複数のオムニホイールは垂直軸（Z 軸）の軸周りに等間隔に配置されている（図９及び図１０参照）。これに対して、図３（Ａ）に示されるように、全方向移動装置１０では、オムニホイール４０１及び４０２が、回転体１２を転動させて直進方向に移動させる回転軸１２０の一端側の軸周り１２１において、回転体１２の上半球１２Ｂの表面に接して配設されている。ここで、回転体１２には固定された回転軸が存在するのではなく、回転軸１２０は直進方向に回転体１２が転動された際の回転体１２の実効的な回転中心である。回転軸１２０の軸方向は、回転体１２が直進方向（矢印X 方向）に転動するので、車体幅方向（矢印Y 方向）に一致する。また、回転軸１２０の一端側の軸周り１２１は、搭乗者から見て車体幅方向右側において、回転体１２を天体と見なしたときの緯線に相当する。

[0053] オムニホイール４０３及び４０４は、図３（Ｂ）に示されるように、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２において回転体１２の上半球１２Ｂの表面に接して配設されている。回転軸１２０の他端側の軸周り１２２は、搭乗者から見て車体幅方向左側において、回転体１２を天体と見なしたときの緯線に相当する。オムニホイール４０３及び４０４の配置位置は、図３（Ａ）に示される回転軸１２０の一端側の軸周り１２１において回転体１２の下半球

１２Ａの表面の特定位置４０３Ｐ及び４０４Ｐに対する回転体１２の中心対称位置である。

[0054] 本来、オムニホイール４０３は軸周り１２１において下半球１２Ａに配置され、オムニホイール４０４は軸周り１２１において下半球１２Ａに配置される。特定位置４０３Ｐは、進行方向に最大出力を得る際に、軸周り１２１の下半球１２Ａにおいてオムニホイール４０３の配置に適した位置である。また、同様に、特定位置４０４Ｐは軸周り１２１の下半球１２Ａにおいてオムニホイール４０４の配置に適した位置である。本実施の形態では、下半球１２Ａ側に第３駆動ユニット４４及び第４駆動ユニット４６が装着し難いので、軸周り１２２において回転体１２の上半球１２Ｂ側にオムニホイール４０３及び４０４が配設されている。

[0055] なお、第１駆動ユニット４０～第３駆動ユニット４４を備える場合には、回転軸１２０の一端側の軸周り１２１において回転体１２の上半球１２Ｂに接してオムニホイール４０１及び４０２が配設される（図３（Ａ）参照）。そして、オムニホイール４０３は、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２において回転体１２の上半球１２Ｂに接してオムニホイール４０３が配設される（図３（Ｂ）参照）。この場合、回転軸１２０の軸方向から見て、オムニホイール４０３は、図３（Ｂ）に示されるオムニホイール４０３とオムニホイール４０４との中間部に配設される。

[0056] 図１（Ａ）～図１（Ｄ）に戻って、全方向移動装置１０の車体１４上であってサドル１８下にはセンサユニット５０が配設されている。また、車体１４上の車体後方側には、制御ユニット６０が配設されている。センサユニット５０及び制御ユニット６０は図４に示される姿勢安定システム６００を構築し、この姿勢安定システム６００は、車体１４の姿勢を安定に維持し、又車体１４の姿勢を安定に維持した状態において車体１４を走行させる。

[0057] ［姿勢安定システムの構成］

図４に示されるように、全方向移動装置１０の姿勢安定システム６００は、センサユニット５０及び制御ユニット６０を含んで構成されている。

センサユニット５０には姿勢角度検出部５０１が含まれている。姿勢角度検出部５０１には例えば慣性計測装置（IMU：Inertial Measurement Unit）が使用されている。この姿勢角度検出部５０１では、車体１４の姿勢角度及び車体１４の各軸周りの姿勢角度の変化に伴う第１角速度としての角速度が検出される。姿勢角度は姿勢角度情報として、角速度は第１角速度情報として、姿勢角度検出部５０１から出力される。

[0058] 制御ユニット６０は、操作表示部６０１と、演算処理部（コントローラ）６０２と、デジタルアナログ変換器（Ｄ／Ａ変換器）６０３と、角速度検出部６０４と、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）と、電源６０６とを備えている。ここで、姿勢安定システム６００には、第１駆動ユニット４０のＡＣサーボモータ４２２（１）～第４駆動ユニット４６のＡＣサーボモータ４２２（４）が回転数検出部６０７として組み込まれている。ＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）の各々には図示を省略した例えばエンコーダが装着され、エンコーダを用いてオムニホイール４０１～オムニホイール４０４の回転数が検出される。回転数検出部６０７は、ＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）と、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）とを含んで構成されている。

[0059] 操作表示部６０１は、姿勢安定システム６００の起動及び終了の操作、姿勢安定システム６００の動作状態の表示等を行う。

[0060] 演算処理部６０２には、例えばmini-ITX規格準拠の組込み用パーソナルコンピュータが使用されている。演算処理部６０２では、少なくとも下記処理（Ａ）～処理（Ｄ）が実行される。

（Ａ）車体１４の姿勢角度を検出して得られる姿勢角度情報及び姿勢角度の変化に伴う角速度を検出して得られる第１角速度情報が姿勢角度検出部５０１から取得される。

（Ｂ）回転数検出部６０７ではオムニホイール４０１～４０４の回転数が検出される。この回転数の検出結果が回転数検出部６０７から取得され、この

検出結果に基づいて、回転体１２が転動する第２角速度としての角速度が算出される。この第２角速度は第２角速度情報として取得される。

（Ｃ）姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体１４の姿勢を安定に維持するオムニホイール４０１～オムニホイール４０４のホイール操作トルクが算出される。

（Ｄ）ホイール操作トルク情報に従って第１駆動ユニット４０～第４駆動ユニット４６が作動される。

[0061] さらに、演算処理部６０２では、処理（Ｄ）において、下記処理（ａ）～処理（ｄ）が実行される。

（ａ）姿勢角度情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体１４の姿勢を安定に維持させる、回転体１２が転動する角加速度の目標値及び車体１４が旋回する角加速度の目標値が算出される。

（ｂ）目標値に一致させる回転体１２の第３角加速度としての角加速度が算出される。

（ｃ）第３角加速度情報に基づいて、回転体１２を操作する回転体操作トルクが算出される。

（ｄ）回転体操作トルク情報に基づいて、オムニホイール４０１～オムニホイール４０４を操作するホイール操作トルクが算出される。

[0062] 演算処理部６０２から出力されるホイール操作トルク情報（デジタル情報）はトルク指令としてデジタルアナログ変換器６０３へ出力される。デジタルアナログ変換器６０３ではトルク指令がアナログ情報に変換され、アナログ情報に変換されたトルク指令はデジタルアナログ変換器６０３からサーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）の各々へ出力される。また、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）には演算処理部６０２からシーケンス指令が出力される。サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）は、トルク指令に従ってＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）のそれぞれを制御する。

[0063] 一方、回転数検出部６０７においてＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣ

サーボモータ４２２（４）の各々の回転数が検出されると、この検出結果はサーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）のそれぞれを介して角速度検出部６０４へ出力される。角速度検出部６０４は、ここではパルスカウンタにより構成され、単位時間当たりの回転数をカウントして角速度情報を生成する。この角速度情報は演算処理部６０２へ出力される。

[0064] そして、姿勢安定システム６００には着脱自在とされる電源６０６が搭載されている。電源６０６には二次電池、具体的にはバッテリが使用されている。また、電源６０６は、制御系に電源を供給する二次電池と、動力系に電源を供給する二次電池とを含んで構成されている。詳しく説明すると、制御系には、姿勢角度検出部５０１、操作表示部６０１、演算処理部６０２、デジタルアナログ変換器６０３及び角速度検出部６０４が含まれている。一方、動力系には、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）及びＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）が含まれている。

[0065] ［全方向移動装置の姿勢制御方法］

前述の全方向移動装置１０の姿勢制御方法は以下の通りである。ここで、図５は姿勢制御方法を説明するフローチャートである。図６は姿勢制御方法を実現するアルゴリズムである。また、姿勢制御方法の説明では、適宜、図１～図４が参酌される。

[0066] １．３個のオムニホイールを有する全方向移動装置の姿勢制御方法

（１）車体の姿勢角度及び第１角速度の取得

まず最初に、図４及び図６に示される姿勢角度検出部５０１を用いて、車体１４の姿勢角度θ_b及び姿勢角度の変化に伴う車体１４の第１角速度（θ_bの１回微分）が検出される。図４～図６に示されるように、演算処理部６０２は、姿勢角度検出部５０１から姿勢角度情報及び第１角速度情報を取得する（Ｓ１０）。

[0067] （２）オムニホイールの回転数の取得

次に、図４に示される回転数検出部６０７のＡＣサーボモータ４２２（１

）～ＡＣサーボモータ４２２（３）を用いて、オムニホイール４０１～４０３の回転数が検出される。検出された回転数は、図４及び図６に示されるように、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（３）を介して角速度検出部６０４に出力される。角速度検出部６０４では、角速度情報θ_0としてオムニホイール４０１～４０３の回転数を取得する。図５に示されるように、演算処理部６０２は、角速度検出部６０４から角速度情報θ_0を取得する（Ｓ１１）。

[0068] （３）回転体の第２角速度の取得

ここで、図７に、全方向移動装置１０の回転体１２に対する３個のオムニホイール４０１～４０３の配置位置を、原点0_0とするX_0軸、Y_0軸及びZ_0軸を含む３次元座標系により表した概略図が示されている。

回転体１２に対するオムニホイール４０１～４０３の各々の配置位置及び駆動力は、回転体１２とオムニホイール４０１～４０３の各々との接点の位置ベクトルp_kと、接点における接線ベクトルt_kにより表される。ｎをオムニホイールの数として、ｋは１からｎの整数である。位置ベクトルp_1は、回転体１２の中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０１との接点までの位置ベクトルである。同様に、位置ベクトルp_2は中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０２との接点までの位置ベクトル、位置ベクトルp_3は中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０３との接点までの位置ベクトルである。

接線ベクトルt_1は、回転体１２とオムニホイール４０１との接点における単位接線ベクトルである。同様に、接線ベクトルt_2は回転体１２とオムニホイール４０２との接点における単位接線ベクトル、接線ベクトルt_3は回転体１２とオムニホイール４０３との接点における単位接線ベクトルである。

[0069] 回転体１２の角速度ベクトルω_sは、回転体１２の車体前後方向の軸周りの角速度をω_xとし、回転体１２の車体幅方向の軸周りの角速度をω_yとし、回転体１２の車体上下方向の軸周りの角速度をω_zとすると、下記式（１）により表される（図６参照）。

[数1]

$$\boldsymbol{\omega}_s := \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

[数2]

オムニホイール４０１～オムニホイール４０３の角速度を纏めた角速度ベクトル $\dot{\boldsymbol{\theta}}_o$ は、オムニホイール４０１～４０３の各々の角速度を $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3$ とすると、下記式（２）により表される（図６参照）。

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}_o := \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

[0070] 動力伝達行列T は、位置ベクトルp_1 , p_2 , p_3、接線ベクトルt_1 , t_2 , t_3 及びオムニホイール４０１～４０３の半径r_0 から、下記式（３）により表される。

[数3]

$$\boldsymbol{T} := \frac{1}{r_o} \begin{bmatrix} (\boldsymbol{p}_1 \times \boldsymbol{t}_1)^T \\ (\boldsymbol{p}_2 \times \boldsymbol{t}_2)^T \\ (\boldsymbol{p}_3 \times \boldsymbol{t}_3)^T \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

[数4]

式（３）に表される動力伝達行列 $\boldsymbol{T}$ により、角速度ベクトル $\dot{\boldsymbol{\theta}}_o$ と角速度ベクトル $\boldsymbol{\omega}_s$ の関係が下記式（４）により表される。

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}_o = \boldsymbol{T}\boldsymbol{\omega}_s \quad \cdots (4)$$

[0071] また、式（４）は、動力伝達行列T の一般化逆行列を用いると、下記式（５）により表される（図６参照）。

[数5]

$$\boldsymbol{\omega}_s = (\boldsymbol{T}^T\boldsymbol{T})^{-1}\boldsymbol{T}^T\dot{\boldsymbol{\theta}}_o \quad \cdots (5)$$

上記式（５）により、オムニホイール４０１～オムニホイール４０３の角速度から回転体１２の第２角速度が算出される。図６に示されるように、第

２角速度は演算処理部６０２を用いて算出され、図５に示されるように、演算処理部６０２は第２角速度を第２角速度情報として取得する（Ｓ１２）。

[0072] （４）目標値の算出

車体１４の姿勢を回転体１２上において安定に維持するには、車体１４の姿勢角度と車体１４の第１角速度とに基づいて、車体１４の姿勢を補正する回転体１２の転動の際の角加速度の目標値及び車体１４の旋回の際の角加速度の目標値が必要になる。目標値をu とすれば、目標値u は下記式（６）により算出される（図６参照）。

[数6]

$$u = K_d x_d \qquad \cdots (6)$$

[0073] 目標値u は、下記式（７）に示されるように、車体１４の旋回の目標角加速度u_1 と、回転体１２の車体前後方向の軸周りの目標角加速度u_2 と、回転体１２の車体幅方向の軸周りの目標角加速度u_3 とを纏めたベクトルである。

[数7]

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \qquad \cdots (7)$$

[0074] ロール角をγ、ピッチ角をβ、ヨー角をαとすると、式（６）のx_d は下記式（８）により表される。

[数8]

$$x_d := \begin{bmatrix} \gamma \\ \beta \\ \dot{\gamma} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} \qquad \cdots (8)$$

[0075] また、K_d は、フィードバックゲイン行列であり、車体１４と回転体１２の質量、重心位置、慣性モーメント等に基づいて決定される。

図５及び図６に示されるように、目標値u 、すなわち回転体１２が転動する角加速度の目標値及び車体１４が旋回する角加速度の目標値は演算処理部

６０２を用いて算出される（Ｓ１３）。

[0076] （５）回転体の操作角加速度の算出

[0077] 車体１４の姿勢を回転体１２上で安定化する際に外乱の影響を低減する必要がある。このため、目標値u にPID 制御（Proportional Integral Differential Controller）が付加され、新たな角加速度の操作量が算出される（図６参照）。

[数9]

操作量を $\tilde{u}$ とすると、操作量 $\tilde{u}$ は下記式（９）により表される。

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 + K_I \int_0^t (\theta_{xd} - \theta_x)dt + K_P(\theta_{xd} - \theta_x) + K_D(\omega_{xd} - \omega_x) \\ u_3 + K_I \int_0^t (\theta_{yd} - \theta_y)dt + K_P(\theta_{yd} - \theta_y) + K_D(\omega_{yd} - \omega_y) \end{bmatrix} \quad \cdots (9)$$

[0078] ω_{xd}は回転体１２の車体前後方向の軸周りの目標角速度であり、目標角速度 ω_{xd} は下記式（１０）により表される。

[数10]

$$\omega_{xd} = \int_0^t u_2 dt \quad \cdots (10)$$

[0079] θ_{xd}は回転体１２の車体前後方向の軸周りの目標角度であり、この目標角度 θ_{xd} は下記式（１１）により表される。

[数11]

$$\theta_{xd} = \int_0^t \omega_{xd} dt \quad \cdots (11)$$

θ_xは回転体１２の車体前後方向の軸周りの角度であり、角度 θ_x は回転体１２の車体前後方向の軸周りの角速度 ω_x から下記式（１２）により表される。

[数12]

$$\theta_x = \int_0^t \omega_x dt \qquad \cdots (12)$$

[0080] ω_{yd}は回転体１２の車体幅方向の軸周りの目標角速度であり、目標角速度ω_{yd}は下記式（１３）により表される。

[数13]

$$\omega_{yd} = \int_0^t u_3 dt \qquad \cdots (13)$$

θ_{yd}は回転体１２の車体幅方向の軸周りの目標角度であり、この目標角度θ_{yd}は下記式（１４）により表される。

[数14]

$$\theta_{yd} = \int_0^t \omega_{yd} dt \qquad \cdots (14)$$

[0081] θ_yは回転体１２の車体幅方向の軸周りの角度であり、角度θ_yは回転体１２の車体幅方向の軸周りの角速度ω_yから下記式（１５）により表される。

[数15]

$$\theta_y = \int_0^t \omega_y dt \qquad \cdots (15)$$

回転体１２の操作角加速度は、第３角加速度として、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１４）。

[0082] （６）回転体の操作トルクの算出

[数16]

回転体１２と車体１４の旋回の角加速度の操作量 $\tilde{u}$ に基づいて、回転体１２のトルク τ_y は下記式（１６）を用いて算出される（図６参照）。

$$\tau_y = \overline{B}_2^{-1}(\overline{M}_{22} - \overline{M}_{12}^T \overline{M}_{11}^{-1} \overline{M}_{12})\tilde{u} - \overline{B}_2^{-1} \overline{M}_{12}^T \overline{M}_{11}^{-1} \overline{H}_1 \theta_1 \qquad \cdots (16)$$

[0083] ここで、慣性行列の部分行列は、下記式（１７）、式（１８）及び式（１

９）により表される。

[数17]

$$\overline{\overline{M}}_{11} := \begin{bmatrix} I_s + I_{bxx} + 2m_b s_z r_s & I_{bxy} \\ I_{bxy} & I_s + I_{byy} + 2m_b s_z r_s \end{bmatrix} \quad \cdots (17)$$

[数18]

$$\overline{\overline{M}}_{12} := \begin{bmatrix} I_{bxz} & I_s + m_b r_s s_z & 0 \\ I_{byz} & 0 & I_s + m_b r_s s_z \end{bmatrix} \quad \cdots (18)$$

[数19]

$$\overline{\overline{M}}_{22} := \begin{bmatrix} I_{bzz} & 0 & 0 \\ 0 & I_s & 0 \\ 0 & 0 & I_s \end{bmatrix} \quad \cdots (19)$$

[0084] また、重力項は下記式（２０）により表される。下記式（２１）は入力軸の入れ替えを表す行列である。

[数20]

$$\overline{\overline{H}}_1 := \begin{bmatrix} -m_b s_z g & 0 \\ 0 & -m_b s_z g \end{bmatrix} \quad \cdots (20)$$

[数21]

$$\overline{\overline{B}}_2 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (21)$$

[0085] 上記式（１７）、式（１８）において、I_sは回転体１２と地面との接点周りの回転体１２の慣性モーメントである。慣性モーメントI_sは下記式（２２）により表される。

[数22]

$$I_s := \hat{I}_s + (m_s + m_b) r_s^2. \quad \cdots (22)$$

ここで、I_{bxx}，I_{bxy}，I_{bxz}，I_{byy}，I_{byz}，I_{bzz}は車体１４の慣性モーメントと

慣性乗積である。m_b は車体１４の質量である。s_z は回転体１２の中心0_b から車体１４の重心までの距離である。r_s は回転体１２の半径である。g は重力加速度定数である。m_s は回転体１２の質量である。

[数23]

$\hat{I}_s$ は回転体１２の中心周りの慣性モーメントである。

[0086] 回転体１２の操作トルクは、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１５）。

[0087] （７）オムニホイールの操作トルクの算出

回転体１２にトルクを生じさせるために、各オムニホイール４０１～４０３が発生すべき操作トルクτ_oは下記式（２３）により算出される。

[数24]

$$\tau_o = T(T^T T)^{-1}\tau_s + \hat{I}_o\ddot{\theta}_o \quad \cdots (23)$$

$\hat{I}_o$ はオムニホイール４０１～４０３の慣性モーメントである。

[0088] オムニホイール４０１～４０３の操作トルクτ_oは、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１６）。この操作トルクτ_oは、ホイール操作トルクとして、ＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（３）を介してオムニホイール４０１～４０３に伝達される。

以上説明した姿勢制御方法の手順が実行されると、全方向移動装置１０では、車体１４の姿勢を回転体１２上において安定に維持することができる。そして、車体１４の姿勢を安定に維持した状態において、全方向移動装置１０を走行させることができる。

[0089] ２．４個のオムニホイールを有する全方向移動装置の姿勢制御方法

４個のオムニホイール４０１～４０４を有する全方向移動装置１０の姿勢制御方法は、基本的には３個のオムニホイール４０１～４０３を有する全方向移動装置１０の姿勢制御方法とほぼ同一である。ここでの姿勢制御方法の説明は、図４～図６を用いて、重複する説明を極力省略しつつ、異なる手順

だけを簡潔に説明する。

[0090] （１）車体の姿勢角度及び第１角速度の取得

図４及び図６に示される姿勢角度検出部５０１を用いて、車体１４の姿勢角度及び車体１４の第１角速度が検出される。図４～図６に示されるように、演算処理部６０２は、姿勢角度検出部５０１から姿勢角度情報及び第１角速度情報を取得する（Ｓ１０）。

[0091] （２）オムニホイールの回転数の取得

次に、図４に示される回転数検出部６０７のＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）を用いて、オムニホイール４０１～４０４の回転数が検出される。検出された回転数は、図４及び図６に示されるように、サーボアンプ６０５（１）～サーボアンプ６０５（４）を介して角速度検出部６０４に出力される。図５に示されるように、演算処理部６０２は角速度検出部６０４から角速度情報θ_0を取得する（Ｓ１１）。

[0092] （３）回転体の第２角速度の取得

ここで、図８に、全方向移動装置１０の回転体１２に対する４個のオムニホイール４０１～４０４の配置位置を３次元座標系により表した概略図が示されている。

回転体１２に対するオムニホイール４０１～４０４の各々の配置位置及び駆動力は、回転体１２とオムニホイール４０１～４０４の各々との接点の位置ベクトルp_kと、接点における接線ベクトルt_kにより表される。位置ベクトルp_1は、回転体１２の中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０１との接点までの位置ベクトルである。同様に、位置ベクトルp_2は中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０２との接点までの位置ベクトル、位置ベクトルp_3は中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０３との接点までの位置ベクトルである。そして、位置ベクトルp_4は中心0_bから回転体１２とオムニホイール４０４との接点までの位置ベクトルである。

接線ベクトルt_1は、回転体１２とオムニホイール４０１との接点における単位接線ベクトルである。同様に、接線ベクトルt_2は回転体１２とオムニホ

イール４０２との接点における単位接線ベクトル、接線ベクトルt_3は回転体１２とオムニホイール４０３との接点における単位接線ベクトルである。そして、接線ベクトルt_4は回転体１２とオムニホイール４０４との接点における単位接線ベクトルである。

[0093] 回転体１２の角速度ベクトルω_sは、回転体１２の車体前後方向の軸周りの角速度をω_xとし、回転体１２の車体前後方向の軸周りの角速度をω_yとし、回転体１２の車体前後方向の軸周りの角速度をω_zとすると、前述の式（１）により表される。

[数25]

オムニホイール４０１～オムニホイール４０４の角速度を纏めた角速度ベクトル $\dot{\theta}_0$ は、オムニホイール４０１～４０４の各々の角速度を $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4$ とすると、下記式（２４）により表される（図６参照）。

$$\dot{\theta}_0 := \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} \quad \cdots (24)$$

[0094] 動力伝達行列T は、位置ベクトルp_1, p_2, p_3, p_4、接線ベクトルt_1, t_2, t_3, t_4及びオムニホイール４０１～４０４の半径r_0から、下記式（２５）により表される。

[数26]

$$T := \frac{1}{r_0} \begin{bmatrix} (p_1 \times t_1)^T \\ (p_2 \times t_2)^T \\ (p_3 \times t_3)^T \\ (p_4 \times t_4)^T \end{bmatrix} \quad \cdots (25)$$

前述の式（４）に基づいて、式（２５）に表される動力伝達行列T の一般化逆行列を用いると、前述の式（５）が得られ、オムニホイール４０１～オムニホイール４０４の角速度から回転体１２の第２角速度が算出される。図６に示されるように、第２角速度は演算処理部６０２を用いて算出され、図５に示されるように、演算処理部６０２は第２角速度情報を取得する（Ｓ１２）。

[0095] （４）目標値の算出

車体１４の姿勢角度と車体１４の第１角速度とに基づいて、回転体１２の転動の際の角加速度の目標値及び車体１４の旋回の際の角加速度の目標値が算出される。目標値はu とされる。図５及び図６に示されるように、目標値uは、演算処理部６０２を用いて前述の式（６）により算出される（Ｓ１３）。

[0096] （５）回転体の操作角加速度の算出

目標値u にPID 制御が付加され、新たな角加速度の操作量が算出される（図６参照）。回転体１２の操作角加速度は、第３角加速度として、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１４）。

[0097] （６）回転体の操作トルクの算出

回転体１２のトルクτ_sは前述の式（１６）を用いて算出される（図６参照）。ここで、慣性行列の部分行列は前述の式（１７）、式（１８）及び式（１９）により表され、又重力項は前述の式（２０）、式（２１）により表される。

回転体１２の操作トルクは、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１５）。

[0098] （７）オムニホイールの操作トルクの算出

各オムニホイール４０１～４０４が発生すべき操作トルクτ_oは前述の式（２３）により算出される。操作トルクτ_oは、図５及び図６に示されるように、演算処理部６０２を用いて算出される（Ｓ１６）。この操作トルクτ_oは、ホイール操作トルクとして、ＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）を介してオムニホイール４０１～４０４に伝達される。

以上説明した姿勢制御方法の手順が実行されると、全方向移動装置１０では、車体１４の姿勢を回転体１２上において安定に維持することができる。そして、車体１４の姿勢を安定に維持した状態において、全方向移動装置１０を走行させることができる。

[0099] （本実施の形態の作用及び効果）

図１（Ａ）～図１（Ｄ）に示される全方向移動装置１０は、図２、図３（Ａ）及び図３（Ｂ）に示されるように、球状の回転体１２と、回転体１２の表面に接して配設されたホイールとしてのオムニホイール４０１及び４０２、又はオムニホイール４０３及び４０４とを備える。オムニホイール４０１～４０４は、円周方向Ａに回転して回転体１２に動力を伝達し、かつ、円周方向Ａとは交差する方向Ｂに回転体１２を転動可能とする。

[0100] ここで、オムニホイール４０１及び４０２は、回転体１２を転動させて直進方向に移動させる回転軸１２０の軸周り１２１において回転体１２の表面に複数配設される。また、オムニホイール４０３及び４０４は、回転体１２を転動させて直進方向に移動させる回転軸１２０の軸周り１２２において回転体１２の表面に複数配設される。

このため、直進方向の移動に際して、オムニホイール４０１及び４０２、又はオムニホイール４０３及び４０４から回転体１２へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0101] また、図１（Ａ）～図１（Ｄ）に示される全方向移動装置１０は、図２、図３（Ａ）及び図３（Ｂ）に示されるように、球状の回転体１２と、回転体１２の表面に接して配設された第１オムニホイールとしてのオムニホイール４０１及び４０２と第２オムニホイールとしてのオムニホイール４０３及び４０４とを備える。オムニホイール４０１～４０４は、いずれも、円周方向Ａに回転して回転体１２に動力を伝達し、円周方向Ａと交差する方向Ｂに回転体１２を転動可能する。

[0102] ここで、図３（Ａ）に示されるように、オムニホイール４０１及び４０２は、回転体１２を転動させて直進方向に移動させる回転軸１２０の一端側の軸周り１２１において回転体１２の上半球１２Ｂの表面に複数配設される。一方、オムニホイール４０３及び４０４は、回転軸１２０の一端側の軸周り１２１において回転体１２の下半球１２Ａの表面の特定位置４０３Ｐ、４０４Ｐに対する、回転体１２の中心対称位置の表面に配設される。また、オムニホイール４０３及び４０４は、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２にお

いて回転体１２の上半球１２Ｂの表面に配設される。

[0103] 図９に、比較例に係る回転体R_bと３個のオムニホイール$0h_1$～$0h_3$との配置関係が示されている。回転体R_bを駆動するオムニホイール$0h_1$～$0h_3$の配置に関するパラメータは位置ベクトルp_k及び単位接線ベクトルt_kである。ここで、位置ベクトルp_kは、回転体R_bの中心0_bを始点とする、k番目のオムニホイール$0h_k$の回転体R_bとの接点の位置ベクトルである。kは１以上の整数である。単位接線ベクトルt_kは、接点におけるk番目のオムニホイール$0h_k$の単位接線ベクトルである。

[0104] 垂直軸Z_b周りおいて回転体R_bの上半球R_{bu}に３個のオムニホイール$0h_1$～$0h_3$が等配されたときの位置ベクトルp_kは、垂直軸Z_bに対して位置ベクトルp_kが４５度の傾きに設定されたとき、下記式（２６）により表される。

[数27]

$$p_1 = r_s\begin{bmatrix}0\\-1/\sqrt{2}\\1/\sqrt{2}\end{bmatrix},\quad p_2 = r_s\begin{bmatrix}\sqrt{3}/(2\sqrt{2})\\1/(2\sqrt{2})\\1/(2\sqrt{2})\end{bmatrix},\quad p_3 = r_s\begin{bmatrix}-\sqrt{3}/(2\sqrt{2})\\1/(2\sqrt{2})\\1/(2\sqrt{2})\end{bmatrix} \quad \cdots (26)$$

ここで、r_sは回転体R_bの半径である。

[0105] また、単位接線ベクトルt_kは下記式（２７）により表される。

[数28]

$$t_1 = \begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix},\quad t_2 = \begin{bmatrix}-1/2\\\sqrt{3}/2\\0\end{bmatrix},\quad t_3 = \begin{bmatrix}-1/2\\-\sqrt{3}/2\\0\end{bmatrix} \quad \cdots (27)$$

[0106] 回転体R_bの角速度とオムニホイール$0h_1$～$0h_3$の角速度との関係は下記式（２８）により表される。

[数29]

$$\dot{\theta}_0 = T\omega_b,\quad T = \frac{r_b}{r_0}\begin{bmatrix}0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2}\\-\sqrt{3}/(2\sqrt{2}) & -1/(2\sqrt{2}) & 1/\sqrt{2}\\\sqrt{3}/(2\sqrt{2}) & -1/(2\sqrt{2}) & 1/\sqrt{2}\end{bmatrix} \quad \cdots (28)$$

ここで、r_0はオムニホイール$0h_1$～$0h_3$の半径である。

[0107]

[数30]

また、ω_bは回転体R_bの角速度ベクトル、$\dot{\theta}_o$はオムニホイールOh_1～Oh_3の角速度を纏めたベクトルである。

T は動力伝達行列である。

[0108] 図９に示される比較例では、上記式（２８）の動力伝達行列T の３列目の行列要素の絶対値が等しくなるので、旋回軸（垂直軸Z_b）の出力が最大になる。進行方向の出力は半減されている。

[0109] 上記比較例に対して、図７に、本実施の形態に係る回転体１２と３個のオムニホイール４０１～４０３との配置関係が示されている。回転軸１２０の一端側の軸周り１２１の上半球１２Ｂに２個のオムニホイール４０１及び４０２が配置され（図３（Ａ）参照）、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２の上半球１２Ｂに１個のオムニホイール４０３が配置されている（図３（Ｂ）参照）。

このときの位置ベクトルp_kは、回転軸１２０に対して位置ベクトルp_kが４５度の傾きに設定されたとき、下記式（２９）により表される。

[数31]

$$p_1 = r_b \begin{bmatrix} 0 \\ 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}, \quad p_2 = r_b \begin{bmatrix} \sqrt{3}/(2\sqrt{2}) \\ -1/(2\sqrt{2}) \\ 1/(2\sqrt{2}) \end{bmatrix}, \quad p_3 = r_b \begin{bmatrix} -\sqrt{3}/(2\sqrt{2}) \\ -1/(2\sqrt{2}) \\ 1/(2\sqrt{2}) \end{bmatrix} \qquad \cdots (29)$$

また、単位接線ベクトルt_kは下記式（３０）により表される。

[数32]

$$t_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad t_2 = \begin{bmatrix} -1/2 \\ 0 \\ \sqrt{3}/2 \end{bmatrix}, \quad t_3 = \begin{bmatrix} -1/2 \\ 0 \\ -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \qquad \cdots (30)$$

[0110] そして、回転体１２の角速度とオムニホイール４０１～４０３の角速度との関係は下記式（３１）により表される。

[数33]

$$\dot{\theta}_o = T\omega_b, \quad T = \frac{r_b}{r_o} \begin{bmatrix} 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ -\sqrt{3}/(2\sqrt{2}) & -1/\sqrt{2} & -1/(2\sqrt{2}) \\ \sqrt{3}/(2\sqrt{2}) & -1/\sqrt{2} & 1/(2\sqrt{2}) \end{bmatrix} \qquad \cdots (31)$$

[0111] 図７に示される本実施の形態では、上記式（３１）の動力伝達行列T の２列目の行列要素の絶対値が等しくなるので、回転軸１２０（水平軸Y_b）の出力が最大になる。すなわち、進行方向の出力が最大となる。このように、直進方向の移動に際して、オムニホイール４０１～４０３のそれぞれから回転体１２へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0112] また、図１０に、比較例に係る回転体R_bと４個のオムニホイール$0h_1$～$0h_4$との配置関係が示されている。垂直軸Z_b周りおいて回転体R_bの上半球R_{bu}に４個のオムニホイール$0h_1$～$0h_4$が等配されたときの位置ベクトルp_kは、垂直軸Z_bに対して位置ベクトルp_kが４５度の傾きに設定されたとき、下記式（３２）により表される。単位接線ベクトルt_kは、下記式（３３）により表される。

[数34]

$$p_1 = r_b \begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}, \quad p_2 = r_b \begin{bmatrix} -1/2 \\ 1/2 \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}, \quad p_3 = r_b \begin{bmatrix} -1/2 \\ -1/2 \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}, \quad p_4 = r_b \begin{bmatrix} 1/2 \\ -1/2 \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad \cdots (32)$$

[数35]

$$t_1 = \begin{bmatrix} -1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad t_2 = \begin{bmatrix} -1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad t_3 = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad t_4 = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (33)$$

[0113] 回転体R_bの角速度とオムニホイール$0h_1$～$0h_4$の角速度との関係は下記式（３４）により表される。

[数36]

$$\dot{\theta}_b = T\omega_s, \quad T = \frac{r_s}{r_o} \begin{bmatrix} -1/2 & -1/2 & 1/\sqrt{2} \\ 1/2 & -1/2 & 1/\sqrt{2} \\ 1/2 & 1/2 & 1/\sqrt{2} \\ -1/2 & 1/2 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad \cdots (34)$$

図１０に示される比較例では、上記式（３４）の動力伝達行列の１列目～３列目の行列要素の列毎に絶対値が等しくなるので、左右方向への回転軸（水平軸X_b）、前進方向への回転軸（水平軸Y_b）、旋回軸（垂直軸Z_b）のそれぞれの出力が最大になる。

[0114] 上記比較例に対して、図８に、本実施の形態に係る回転体１２と４個のオムニホイール４０１～４０４との配置関係が示されている。回転軸１２０の一端側の軸周り１２１の上半球１２Ｂに２個のオムニホイール４０１及び４０２が配置され（図３（Ａ）参照）、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２の上半球１２Ｂに２個のオムニホイール４０３及び４０４が配置されている（図３（Ｂ）参照）。

このときの位置ベクトルp_kは、回転軸１２０に対して位置ベクトルp_kが４５度の傾きに設定されたとき、下記式（３５）により表される。

[数37]

$$p_1 = r_b\begin{bmatrix}1/2\\-1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_2 = r_b\begin{bmatrix}-1/2\\-1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_3 = r_b\begin{bmatrix}1/2\\1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_4 = r_b\begin{bmatrix}-1/2\\-1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix} \quad \cdots (35)$$

また、単位接線ベクトルt_kは下記式（３６）により表される。

[数38]

$$t_1 = \begin{bmatrix}-1/\sqrt{2}\\0\\1/\sqrt{2}\end{bmatrix},\quad t_2 = \begin{bmatrix}-1/\sqrt{2}\\0\\-1/\sqrt{2}\end{bmatrix},\quad t_3 = \begin{bmatrix}1/\sqrt{2}\\0\\-1/\sqrt{2}\end{bmatrix},\quad t_4 = \begin{bmatrix}1/\sqrt{2}\\0\\1/\sqrt{2}\end{bmatrix} \quad \cdots (36)$$

[0115] そして、回転体１２の角速度とオムニホイール４０１～４０４の角速度との関係は下記式（３７）により表される。

[数39]

$$\dot{\theta}_b = T\omega_b,\quad T = \frac{r_s}{r_b}\begin{bmatrix}-1/2 & -1/\sqrt{2} & -1/2\\1/2 & -1/\sqrt{2} & -1/2\\-1/2 & 1/\sqrt{2} & -1/2\\1/2 & 1/\sqrt{2} & -1/2\end{bmatrix} \quad \cdots (37)$$

[0116] 図８に示される本実施の形態では、上記式（３７）の動力伝達行列T の１列目～３列目の行列要素の列毎に絶対値がすべて等しくなるので、回転軸１２０（水平軸Y_b）の出力が最大になるばかりか、左右方向の回転軸（水平軸X_b）及び旋回軸（垂直軸Z_b）の出力も最大になる。このように、直進方向の移動に際して、オムニホイール４０１～４０４のそれぞれから回転体１２へ動

力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0117] さらに、本実施の形態に係る全方向移動装置１０では、図２に示されるように、ホイールはオムニホイール４０１～４０４とされる。オムニホイール４０１～４０４では、図３（Ａ）及び図３（Ｂ）に示されるように、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができ、かつ、直進方向以外の方向へも回転体１２を転動させることができる。

[0118] また、本実施の形態に係る全方向移動装置１０では、図７及び図８に示されるように、第１ホイールとして２個のオムニホイール４０１及び４０２が配設され、第２ホイールとして１個のオムニホイール４０３、或いは２個のオムニホイール４０３及び４０４が配設される。このため、最小限のホイール数により、部品点数並びに重量を最小限として、回転体１２を全方向へ転動させることができる。

[0119] さらに、本実施の形態に係る全方向移動装置１０によれば、動力伝達行列Tの行列要素のうち、回転体１２を直進方向に移動させる回転軸１２０の行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置にオムニホイール４０１～４０４（又は４０１～４０３）が配設される。このため、直進方向の移動に際して、オムニホイール４０１～４０４のそれぞれから回転体１２へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0120] また、全方向移動装置１０によれば、動力伝達行列T は角速度を表す伝達行列を含む。回転体１２を直進方向に移動させる回転軸１２０の角速度を表す伝達行列において行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置に、オムニホイール４０１～４０４（又は４０１～４０３）がそれぞれ配設される。このため、直進方向の移動に際して、オムニホイール４０１～４０４から回転体１２へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0121] さらに、全方向移動装置１０は、図１（Ａ）～図１（Ｄ）に示されるように、回転体１２の下半球１２Ａの表面に接して、又は近接させて補助輪３２

及び３６を備える。補助輪３２及び３６は、図２に示されるオムニホイール４０１～４０４と同様に、円周方向Ａに回転し、かつ、円周方向Ａと交差する方向に回転体１２を転動可能とする。このため、回転体１２の上半球１２Ｂがオムニホイール４０１～４０４に接し、回転体１２の下半球１２Ａに補助輪３２及び３６が設けられるので、回転体１２を全方向へ転動可能としつつ、回転体１２の抜けを防ぐことができる。

[0122] また、図１及び図２に示されるように、全方向移動装置１０によれば、回転体１２上には車体１４が設けられる。オムニホイール４０１及び４０２のシャフト４３０にはＡＣサーボモータ４２２（１）及び４２２（２）が接続され、ＡＣサーボモータ４２２（１）及び４２２（２）は車体１４に取り付けられる。また、オムニホイール４０３及び４０４のシャフト４３０にはＡＣサーボモータ４２２（３）及び４２２（４）が接続され、ＡＣサーボモータ４２２（３）及び４２２（４）は車体１４に取り付けられる。オムニホイール４０１～４０４はいずれも回転体１２の上半球１２Ｂの表面に接する。このため、車体１４の荷重がＡＣサーボモータ４２２（１）～４２２（４）を介してオムニホイール４０１～４０４により支えられ、図４及び図６に示される姿勢安定システム６００により車体１４の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0123] さらに、図４に示されるように、全方向移動装置１０によれば、姿勢安定システム６００は、姿勢角度検出部５０１と、回転数検出部６０７と、角速度検出部６０４と、演算処理部６０２とを備える。姿勢角度検出部５０１は、図１に示される車体１４に装着され、車体１４の姿勢角度及び姿勢角度の変化に伴う第１角速度を検出する。回転数検出部６０７は、オムニホイール４０１～オムニホイール４０４の回転数を検出する。角速度検出部６０４は、回転数検出部６０７による回転数の検出結果に基づいて、回転体１２が転動する第２角速度を検出する。

[0124] ここで、演算処理部６０２は、図４～図６に示されるように、車体１４の

姿勢を維持するオムニホイール４０１～４０４のホイール操作トルクを算出する（Ｓ１６）。このホイール操作トルクは、姿勢角度検出部５０１により検出される姿勢角度情報、第１角速度情報（Ｓ１０）及び角速度検出部６０４により検出される第２角速度情報（Ｓ１２）に基づいて、算出される。演算処理部６０２は、このホイール操作トルク情報に従って、図２及び図４に示されるＡＣサーボモータ４２２（１）～ＡＣサーボモータ４２２（４）を作動させる。

このため、姿勢安定システム６００では車体１４の姿勢を安定に維持する動力がオムニホイール４０１～４０４から回転体１２へ伝達されるので、車体１４の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0125] また、図４～図６に示されるように、全方向移動装置１０によれば、演算処理部６０２では、車体１４の姿勢を維持させる、回転体１２が転動する角加速度の目標値及び車体１４が旋回する角加速度の目標値が算出される（Ｓ１３）。目標値は姿勢角度情報、第１角速度情報（Ｓ１０）及び第２角速度情報（Ｓ１２）に基づいて算出される。演算処理部６０２では、更に目標値に一致させる回転体１２の第３角加速度が算出され（Ｓ１４）、第３角加速度に基づいて回転体１２を操作する回転体操作トルクが算出される（Ｓ１５）。この回転体操作トルクに基づいて、演算処理部６０２では、オムニホイール４０１～４０４を操作するホイール操作トルクが算出される（Ｓ１６）。

この結果、演算処理部６０２において、車体１４の姿勢を安定に維持する動力が算出される。このため、動力がオムニホイール４０１～４０４から回転体１２へ伝達されるので、車体１４の姿勢が安定に維持された状態において、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0126] さらに、全方向移動装置１０の姿勢制御方法によれば、図５に示されるように、姿勢安定システム６００が、まず最初に、姿勢角度情報、第１角加速度情報及び第２角速度情報を取得する（Ｓ１０、Ｓ１２）。次に、姿勢角度

情報、第１角速度情報及び第２角速度情報に基づいて、車体１４の姿勢を維持させる、回転体１２が転動する角加速度の目標値及び車体１４が旋回する角加速度の目標値が算出される（Ｓ１３）。次に、目標値に一致させる回転体１２の第３角加速度が算出され（Ｓ１４）、更に第３角加速度情報に基づいて回転体１２を操作する回転体操作トルクが算出される（Ｓ１５）。そして、回転体操作トルク情報に基づいて、オムニホイール４０１～４０４を操作するホイール操作トルクが算出される。

[0127] この結果、姿勢安定システム６００において、車体１４の姿勢を安定に維持する動力が算出される。このため、動力がオムニホイール４０１～４０４から回転体１２へ伝達されるので、全方向移動装置１０では、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができ、しかも車体１４の姿勢を安定に維持することができる。

[0128] 加えて、全方向移動装置１０の姿勢制御方法では、図６に示されるように、動力伝達行列T に基づいて、車体１４の姿勢が制御される。詳しく説明すると、演算処理部６０２の演算処理の入力段では、前述の式（５）に基づいて、動力伝達行列T の一般化逆行列から回転体１２の角速度ベクトルω_sが算出される（図５のＳ１２）。一方、演算処理部６０２の演算処理の出力段では、前述の式（２３）に基づいて、動力伝達行列T の一般化逆行列から回転体１２に伝達するオムニホイール４０１～４０４のホイール操作トルクとしての操作トルクτ_oが算出される（図５のＳ１６）。

このため、オムニホイール４０１～４０４の配置間隔、回転体１２の表面に対するオムニホイール４０１～４０４の接触角度等に関係なく、車体１４の姿勢を安定に維持することができる。表現を代えれば、本実施の形態に係る姿勢制御方法は、本実施の形態に係る全方向移動装置１０の姿勢制御に適切な方法であると共に、他の装置の姿勢制御にも適用可能である。

[0129] （第２実施の形態）

図１１を用いて、本発明の第２実施の形態に係る全方向移動装置１０を説明する。ここで、本実施の形態の説明において、第１実施の形態に係る全方

向移動装置１０の構成要素と同一又は実質的に同一の構成要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

[0130] 本実施の形態に係る全方向移動装置１０では、基本的に第１実施の形態に係る全方向移動装置１０と同一構成とされているが、ホイールにメカナムホイール４０５～４０８（図１１参照）が使用されている。ここでは、４個のメカナムホイール４０５～４０８が配設される例を説明するが、第１実施の形態に係る全方向移動装置１０と同様に、メカナムホイールは３個とされてもよい。

詳細な構造は省略するが、図２に示されるオムニホイール４０１～４０４と同様に、メカナムホイール４０５～４０８は、円周方向Ａに回転して回転体１２に駆動力を伝達し、かつ、円周方向Ａと交差する方向Ｂに回転体１２を転動可能とする。

[0131] 図１１に、本実施の形態に係る回転体１２と４個のメカナムホイール４０５～４０８との配置関係が示されている。回転軸１２０の一端側の軸周り１２１の上半球１２Ｂに２個のメカナムホイール４０５及び４０６が配置され、回転軸１２０の他端側の軸周り１２２の上半球１２Ｂに２個のメカナムホイール４０７及び４０８が配置されている。

[0132] メカナムホイール４０５～４０８では、回転体１２との接点p_1～p_4における単位接線ベクトルt_kが、円周上の接線に対して、ここでは４５度をなす。回転体１２の半径をr_sとすると、位置ベクトルp_kは式（３８）により表され、単位接線ベクトルt_kは式（３９）により表される。

[数40]

$$p_1 = r_s\begin{bmatrix}1/2\\1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_2 = r_s\begin{bmatrix}-1/2\\1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_3 = r_s\begin{bmatrix}-1/2\\-1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix},\quad p_4 = r_s\begin{bmatrix}1/2\\-1/\sqrt{2}\\1/2\end{bmatrix}\quad\cdots(38)$$

[数41]

$$t_1 = \begin{bmatrix}(2-\sqrt{2})/4\\1/2\\-(2+\sqrt{2})/4\end{bmatrix},\quad t_2 = \begin{bmatrix}(2-\sqrt{2})/4\\-1/2\\(2+\sqrt{2})/4\end{bmatrix},\quad t_3 = \begin{bmatrix}-(2-\sqrt{2})/4\\-1/2\\-(2+\sqrt{2})/4\end{bmatrix},\quad t_4 = \begin{bmatrix}-(2-\sqrt{2})/4\\1/2\\(2+\sqrt{2})/4\end{bmatrix}\cdots(39)$$

[0133] そして、メカナムホイール４０５～４０８の半径をr_mとすると、動力伝達行列T は下記式（４０）により表される。

[数42]

$$\dot{\theta}_w = T\omega_v, \quad T = \frac{\sqrt{2}}{r_w}\begin{bmatrix}(p_1 \times t_1)^T \\ (p_2 \times t_2)^T \\ (p_3 \times t_3)^T \\ (p_4 \times t_4)^T\end{bmatrix} = \frac{r_b}{r_w}\begin{bmatrix}-(1+\sqrt{2})/2 & 1/\sqrt{2} & (-1+\sqrt{2})/2 \\ (1+\sqrt{2})/2 & 1/\sqrt{2} & (-1+\sqrt{2})/2 \\ (1+\sqrt{2})/2 & -1/\sqrt{2} & (-1+\sqrt{2})/2 \\ -(1+\sqrt{2})/2 & -1/\sqrt{2} & (-1+\sqrt{2})/2\end{bmatrix} \cdots (40)$$

図１１に示される本実施の形態では、上記式（４０）の動力伝達行列T の１列目～３列目の行列要素の列毎に絶対値がすべて等しくなる。

[0134] また、トルク伝達行列T（$T^T T$）$^{-1}$は、下記式（４１）により表される。

[数43]

$$\tau_w = T(T^T T)^{-1}\tau_v, \quad T(T^T T)^{-1} = \frac{r_w}{r_b}\begin{bmatrix}(1-\sqrt{2})/2 & 1/(2\sqrt{2}) & (1+\sqrt{2})/2 \\ -(1-\sqrt{2})/2 & 1/(2\sqrt{2}) & (1+\sqrt{2})/2 \\ -(1-\sqrt{2})/2 & -1/(2\sqrt{2}) & (1+\sqrt{2})/2 \\ (1-\sqrt{2})/2 & -1/(2\sqrt{2}) & (1+\sqrt{2})/2\end{bmatrix} \cdots (41)$$

トルク伝達行列T（$T^T T$）$^{-1}$の１列目～３列目の行列要素の列毎に絶対値がすべて等しくなる。

[0135] 以上説明したように、本実施の形態に係る全方向移動装置１０では、ホイールとしてメカナムホイール４０５～４０８が採用されても、回転軸１２０（水平軸Y_b）の出力が最大になるばかりか、左右方向の回転軸（水平軸X_b）及び旋回軸（垂直軸Z_b）の出力も最大になる。このように、直進方向の移動に際して、メカナムホイール４０５～４０８のそれぞれから回転体１２へ動力が効率良く伝達され、最大出力により回転体１２を直進方向へ転動させることができる。

[0136] また、本実施の形態に係る全方向移動装置１０及びその姿勢制御方法によれば、第１実施の形態に係る全方向移動装置１０及びその姿勢制御方法により得られる作用効果と同様の作用効果を得ることができる。

[0137] （その他の実施の形態）

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変形可能である。例えば、本発明は、３個のオムニ

ホイール４０１～４０３の場合、回転体１２の回転軸１２０の一端側と他端側とを入れ替えてもよい。また、本発明は、５以上のオムニホイールを備えてもよい。なお、全方向移動装置の小型化並びに軽量化を図るためにはオムニホイールは３個又は４個とすることが好ましい。

[0138] また、上記実施の形態では、３個のオムニホイール４０１～４０３或いは４個のオムニホイール４０１～４０４が等間隔において配置されている。本発明では、動力伝達行列の行列要素のうち、回転体１２を直進方向に転動させる回転軸１２０の行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置であれば、オムニホイール４０１～４０４の間隔は等間隔に限らない。

[0139] さらに、上記実施の形態では、オムニホイール４０１～４０４は２連のホイール４１０及び４２０により構成されているが、本発明では、１連又は３連以上のホイールによりオムニホイール４０１～４０４が構成されてもよい。加えて、本発明では、ホイール４１０に４個以上のローラが配設され、ホイール４２０に４個以上のローラが配設されてもよい。

[0140] また、上記実施の形態では、回転体１２を直進方向に転動させる回転軸１２０の一端側、他端側のそれぞれにオムニホイール４０１～４０４が配設されているが、回転軸１２０の一端側或いは他端側の一方の軸周りに動力を伝達するオムニホイール４０１～４０４が配設されてもよい。他端側の軸周りには、補助輪を配設することが好ましい。

さらに、上記変形例は、メカナムホイール４０５～４０８についても同様である。

符号の説明

[0141] １０ 全方向移動装置

１２ 回転体

１４ 車体

４０、４２、４４、４６ 駆動ユニット

４０１、４０２ オムニホイール（第１オムニホイール）

４０３、４０４ オムニホイール（第２オムニホイール）

４０５～４０８　メカナムホイール

４４２（１）～４４２（４）　ＡＣサーボモータ（駆動装置）

５０１　姿勢角度検出部

６００　姿勢安定システム

６０２　演算処理部

６０４　角速度検出部

６０５、６０５（１）～６０５（４）　サーボアンプ

６０７　回転数検出部

請求の範囲

[請求項1] 球状の回転体と、

前記回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の軸周りにおいて前記回転体の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して前記回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に前記回転体を転動可能とするホイールと、

を備えた全方向移動装置。

[請求項2] 球状の回転体と、

前記回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて前記回転体の上半球の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して前記回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に前記回転体を転動可能とする第１ホイールと、

前記回転軸の一端側の軸周りにおいて前記回転体の下半球の表面の特定位置に対する、前記回転体の中心対称位置の表面に接して配設され、円周方向に回転して前記回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に前記回転体を転動可能とする第２ホイールと、

を備えた全方向移動装置。

[請求項3] 球状の回転体と、

前記回転体を転動させて直進方向に移動させる回転軸の一端側の軸周りにおいて前記回転体の上半球の表面に接して複数配設され、円周方向に回転して前記回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に前記回転体を転動可能とする第１ホイールと、

前記回転軸の他端側の軸周りにおいて前記回転体の上半球の表面に接して配設され、円周方向に回転して前記回転体に動力を伝達し、かつ、円周方向と交差する方向に前記回転体を転動可能とする第２ホイールと、

を備えた全方向移動装置。

[請求項4] 前記第１ホイール及び前記第２ホイールは、オムニホイール又はメ

カナムホイールである請求項２又は請求項３に記載の全方向移動装置。

[請求項5] 前記第１ホイールは２個配設され、前記第２ホイールは１個又は２個配設されている請求項２又は請求項３に記載の全方向移動装置。

[請求項6] 前記第１ホイール及び前記第２ホイールは、前記回転体との接点の位置ベクトルと前記接点における接線ベクトルとで決まる動力伝達行列の行列要素のうち、前記回転軸の行列要素の列毎に絶対値が等しくなる位置に配設されている請求項２又は請求項３に記載の全方向移動装置。

[請求項7] 前記動力伝達行列は、角速度を表す伝達行列を含んでいる請求項６に記載の全方向移動装置。

[請求項8] 前記回転体の下半球の表面に接して又は近接させて、円周方向に回転し、かつ、円周方向とは交差する方向に前記回転体を転動可能とする補助輪を更に備えている請求項２又は請求項３に記載の全方向移動装置。

[請求項9] 前記回転体上に設けられた車体と、

前記車体に取り付けられ、かつ、前記第１ホイールを回転させる第１駆動装置と、

前記車体に取り付けられ、かつ、前記第２ホイールを回転させる第２駆動装置と、

前記車体に配設され、前記車体の姿勢を安定に維持する姿勢安定システムと、

を更に備えた請求項２又は請求項３に記載の全方向移動装置。

[請求項10] 前記姿勢安定システムは、

前記車体に装着され、前記車体の姿勢角度及び当該姿勢角度の変化に伴う第１角速度を検出する姿勢角度検出部と、

前記第１ホイール及び前記第２ホイールの回転数を検出する回転数検出部と、

前記回転数検出部による回転数の検出結果に基づいて、前記回転体が転動する第２角速度を検出する角速度検出部と、

前記姿勢角度検出部により検出される姿勢角度情報、第１角速度情報及び前記角速度検出部により検出される第２角速度情報に基づいて、前記車体の姿勢を維持する前記第１ホイール及び前記第２ホイールのホイール操作トルクを算出し、このホイール操作トルク情報に従って前記第１駆動装置及び前記第２駆動装置を作動させる演算処理部と、

を備えた請求項９に記載の全方向移動装置。

[請求項11] 前記演算処理部は、

前記姿勢角度情報、前記第１角速度情報及び前記第２角速度情報に基づいて、前記車体の姿勢を維持させる、前記回転体が転動する角加速度の目標値及び前記車体が旋回する角加速度の目標値を算出し、

前記目標値に一致させる前記回転体の第３角加速度を算出し、

当該第３角加速度に基づいて前記回転体を操作する回転体操作トルクを算出し、

前記回転体操作トルク情報に基づいて、前記第１ホイール及び前記第２ホイールを操作する前記ホイール操作トルクを算出する

請求項１０に記載の全方向移動装置。

[請求項12] 前記請求項１０に記載された全方向移動装置の姿勢安定システムが、

前記姿勢角度情報、前記第１角速度情報及び前記第２角速度情報を取得し、

前記姿勢角度情報、前記第１角速度情報及び前記第２角速度情報に基づいて、前記車体の姿勢を維持させる、前記回転体が転動する角加速度の目標値及び前記車体が旋回する角加速度の目標値を算出し、

前記目標値に一致させる前記回転体の第３角加速度を算出し、

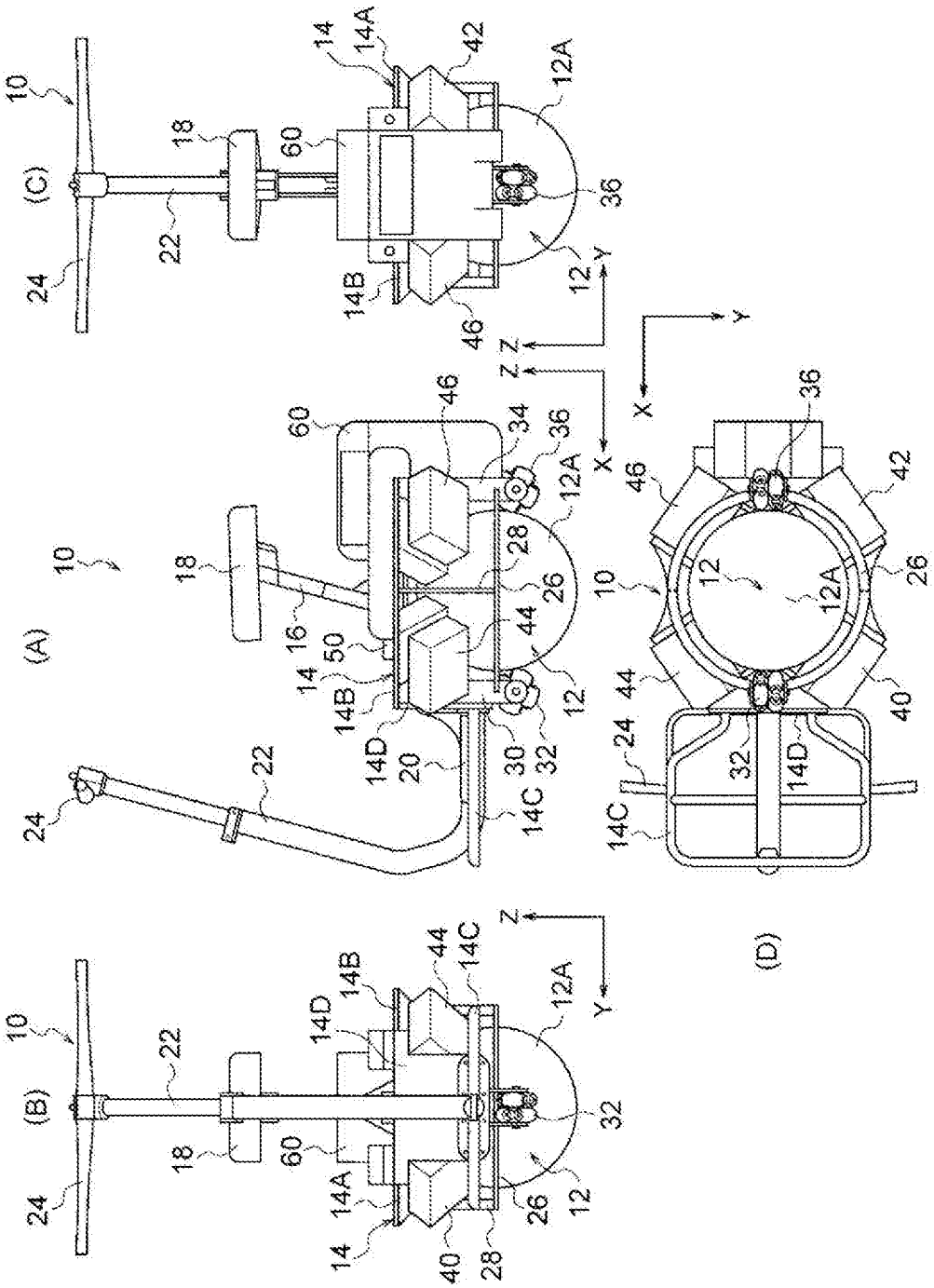
当該第３角加速度に基づいて前記回転体を操作する回転体操作トル

クを算出し、

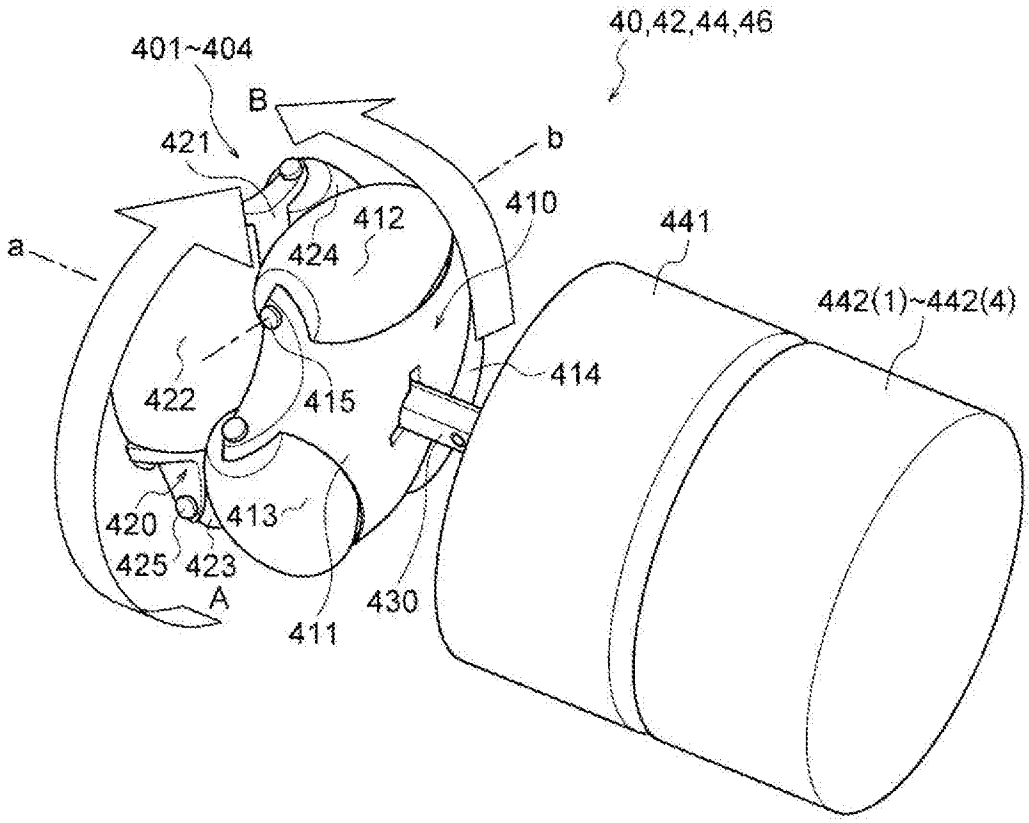
前記回転体操作トルク情報に基づいて、前記第１ホイール及び前記第２ホイールを操作する前記ホイール操作トルクを算出する

全方向移動装置の姿勢制御方法。

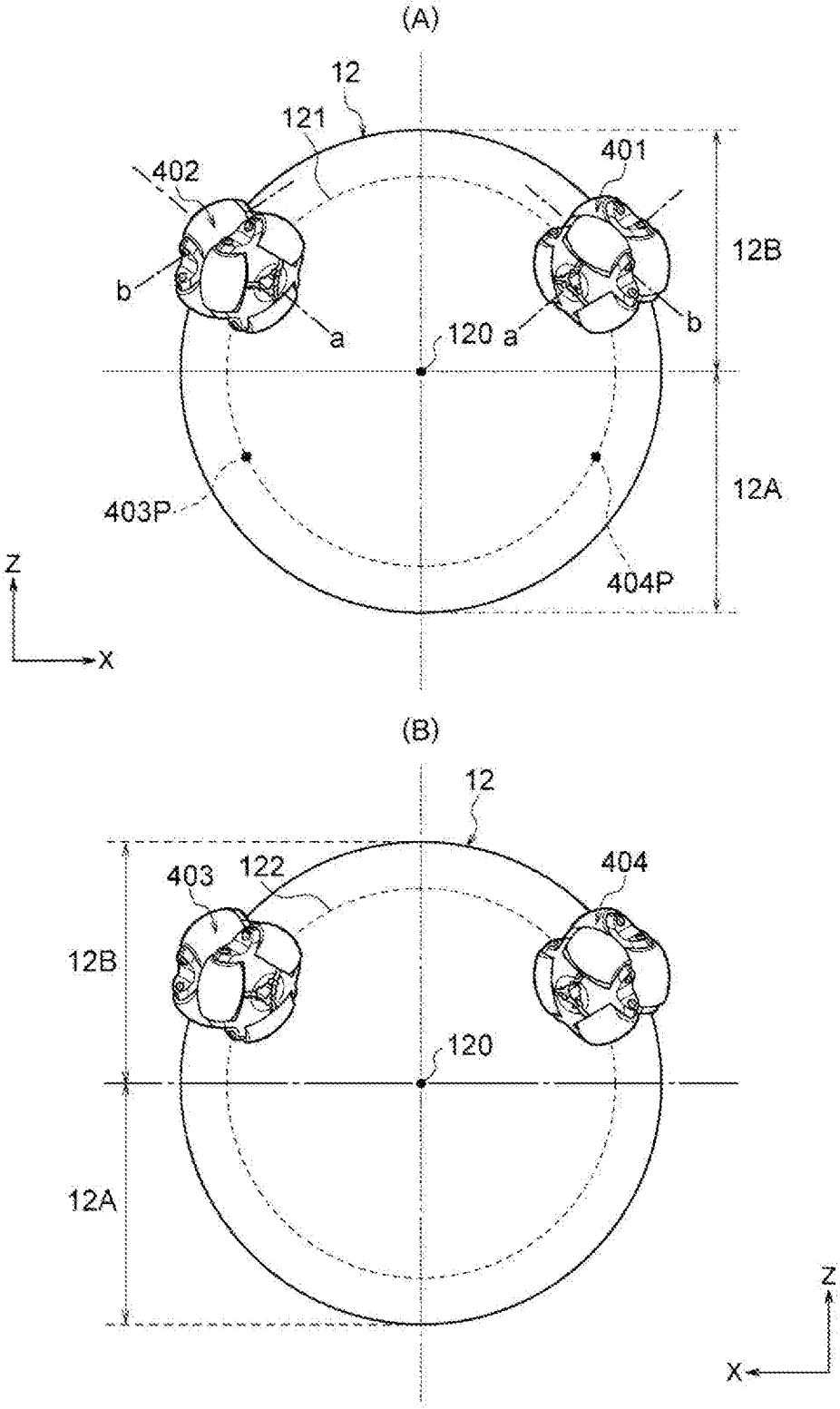
[図1]


(A)
(B)
(C)
(D)
10
12
12A
14
14A
14B
14C
14D
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
40
42
44
46
50
60
X
Y
Z

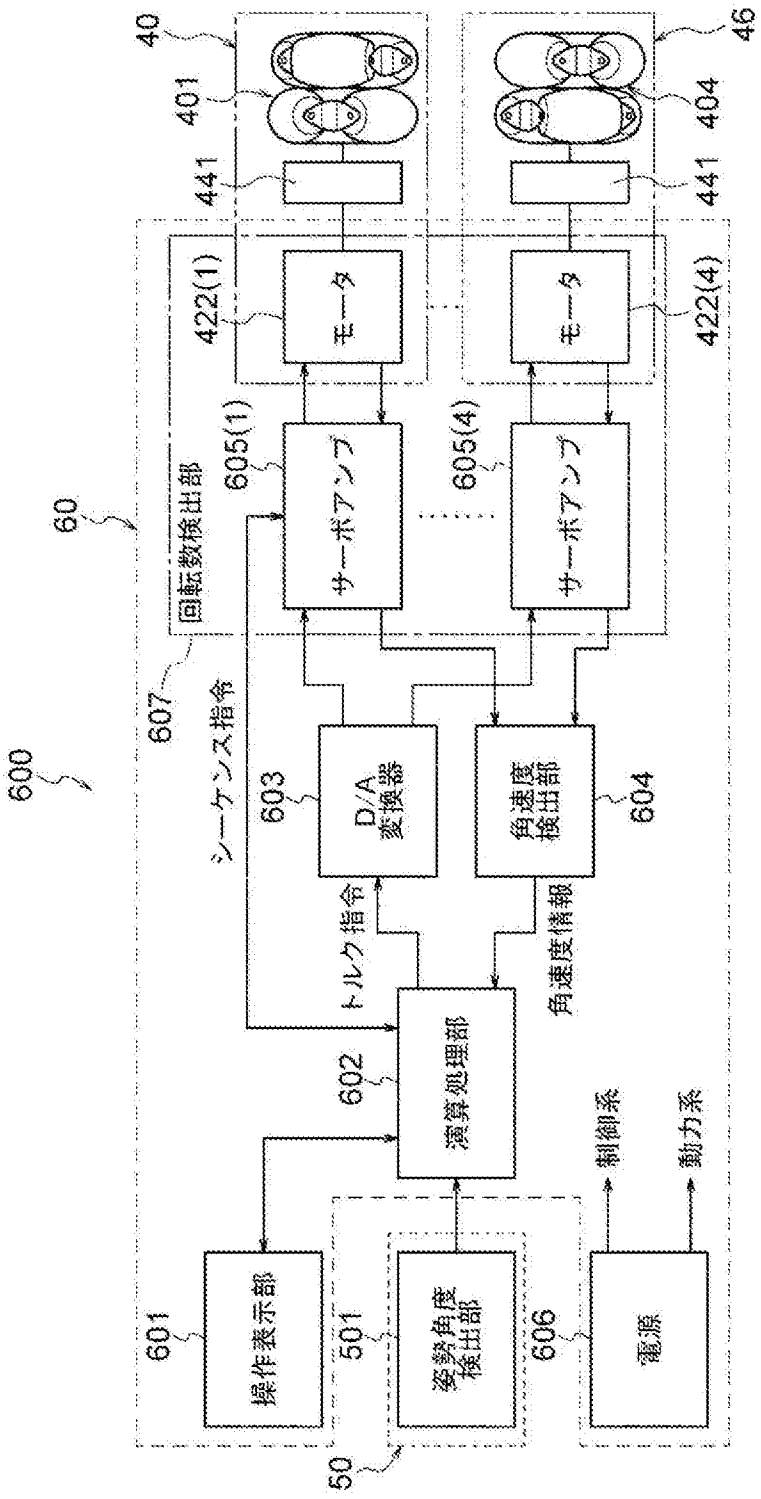
[図2]


40,42,44,46
401~404
B
421
b
410
441
a
412
424
442(1)~442(4)
414
422
415
420
413
425
423
A
430
411

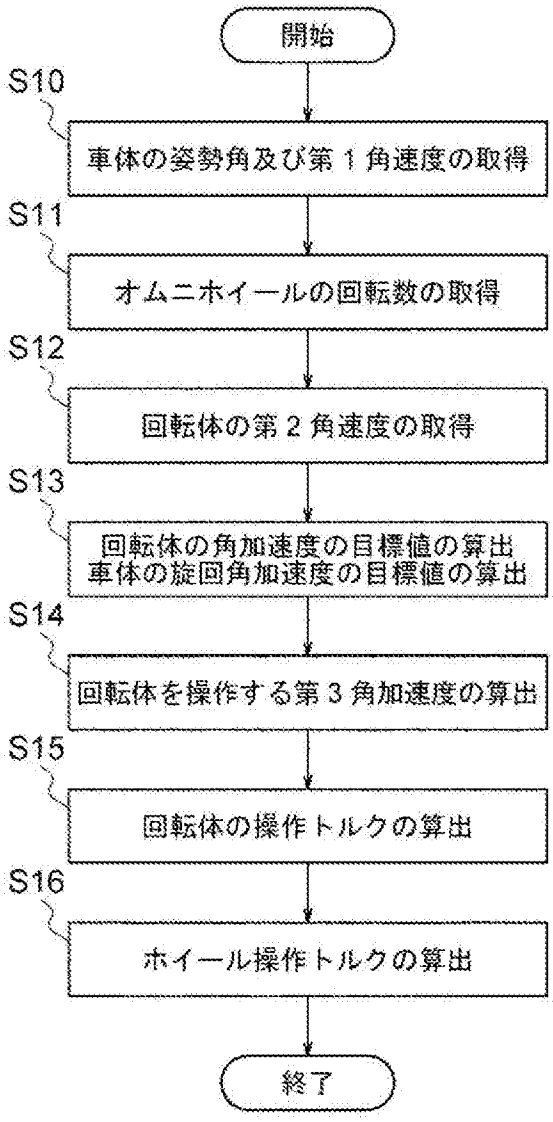
[図3]


(A)
12
121
402
401
b
a
120
a
b
12B
12A
403P
404P
Z
X
(B)
12
403
122
404
12B
120
12A
Z
X

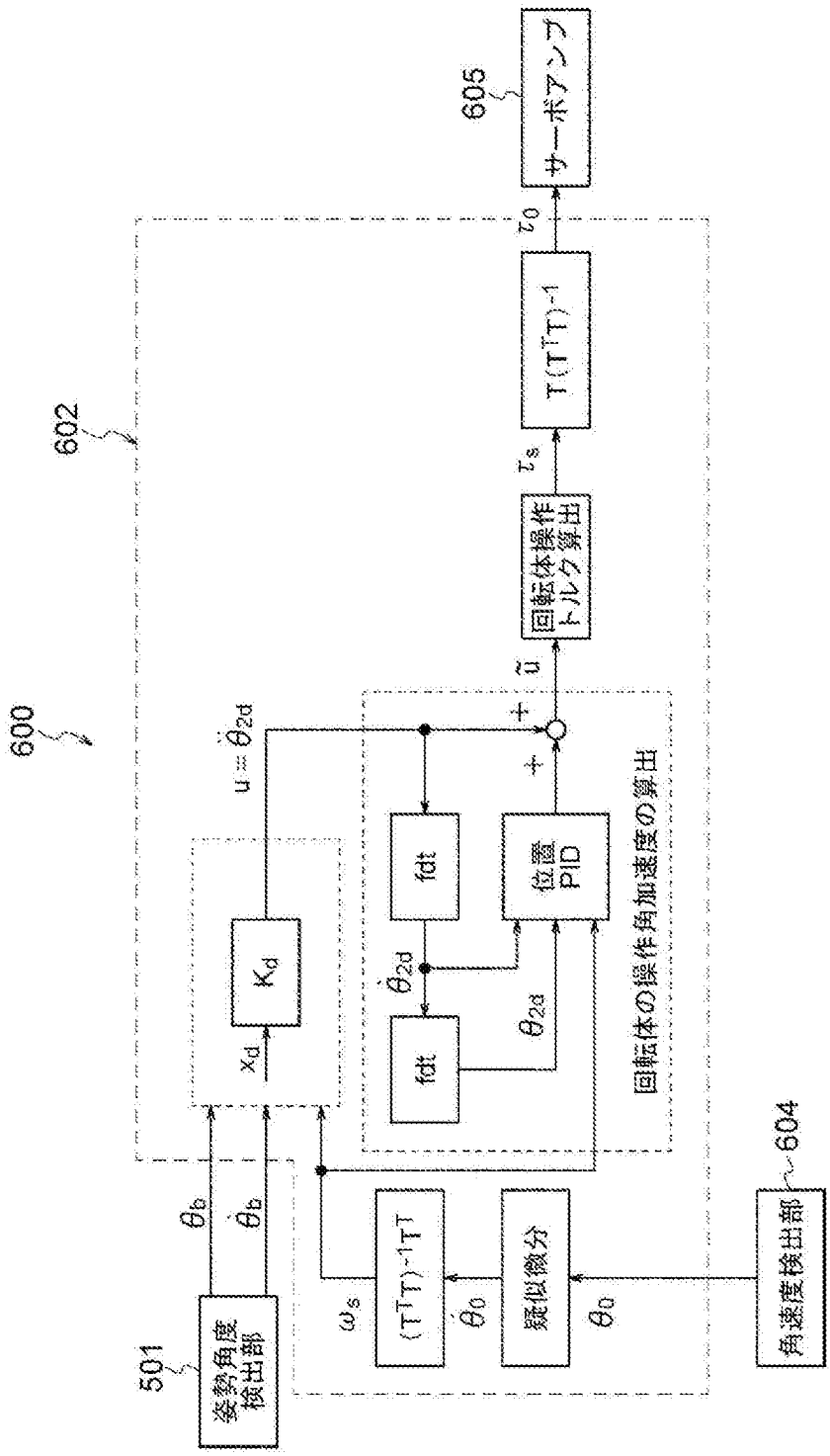
[図4]


600
60
40
401
441
422(1)
モータ
605(1)
サーボアンプ
46
404
441
422(4)
モータ
605(4)
サーボアンプ
回転数検出部
607
シーケンス指令
603
D/A
変換器
604
角速度
検出部
トルク指令
角速度情報
602
演算処理部
601
操作表示部
501
姿勢角度
検出部
606
電源
制御系
動力系
50

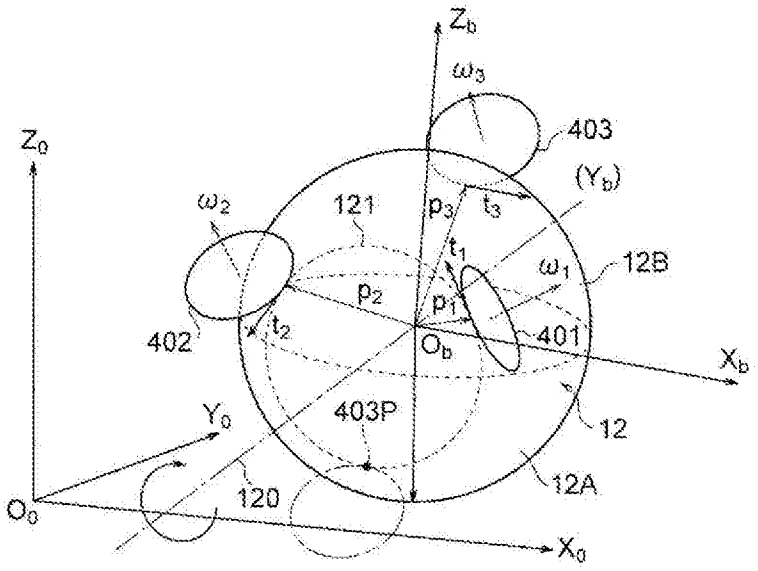
[図5]


開始
S10
車体の姿勢角及び第１角速度の取得
S11
オムニホイールの回転数の取得
S12
回転体の第２角速度の取得
S13
回転体の角加速度の目標値の算出
車体の旋回角加速度の目標値の算出
S14
回転体を操作する第３角加速度の算出
S15
回転体の操作トルクの算出
S16
ホイール操作トルクの算出
終了

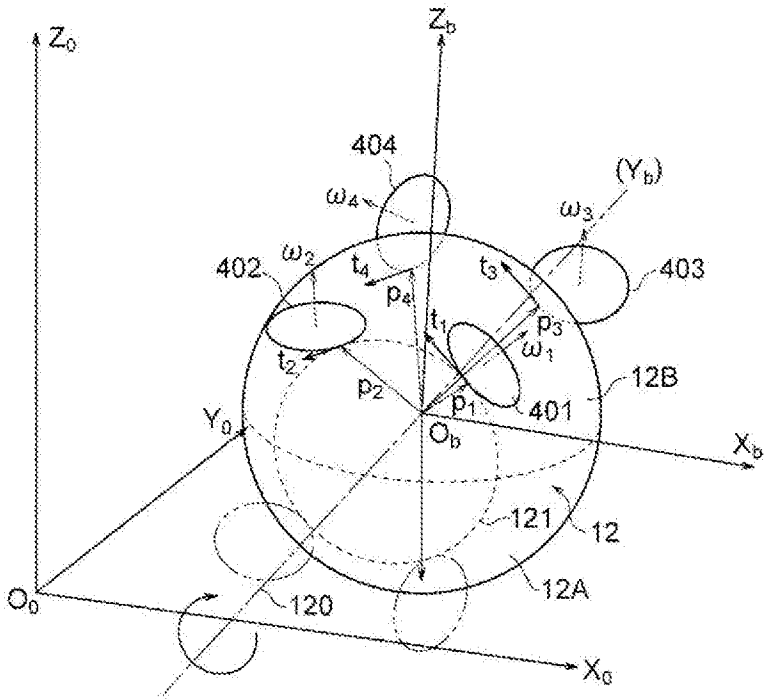
[図6]


600
602
605
サーボアンプ
τ_0
$T(T^TT)^{-1}$
τ_s
回転体操作トルク算出
$\tilde{u}$
+
+
$u = \ddot{\theta}_{2d}$
K_d
x_d
fdt
fdt
位置PID
$\dot{\theta}_{2d}$
θ_{2d}
回転体の操作角加速度の算出
604
角速度検出部
θ_0
疑似微分
$\dot{\theta}_0$
$(T^TT)^{-1}T^T$
ω_s
θ_b
$\dot{\theta}_b$
501
姿勢角度検出部

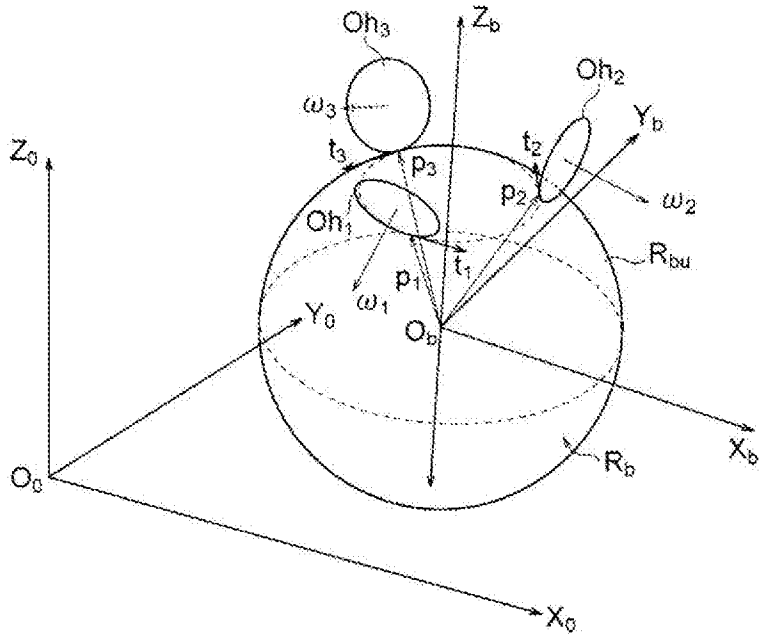
[図7]


Zb
ω3
403
Z0
(Yb)
ω2
121
p3
t3
t1
ω1
12B
p2
p1
402
t2
Ob
401
Xb
Y0
403P
12
12A
120
O0
X0

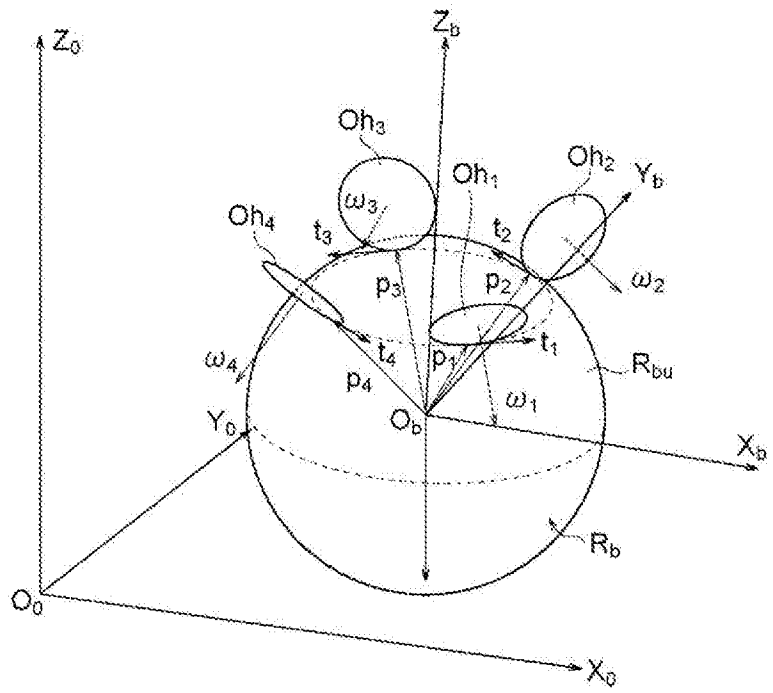
[図8]


Zb
Z0
404
(Yb)
ω4
ω3
402
ω2
t4
t3
403
p4
t1
p3
ω1
t2
12B
p2
p1
401
Y0
Ob
Xb
121
12
12A
120
O0
X0

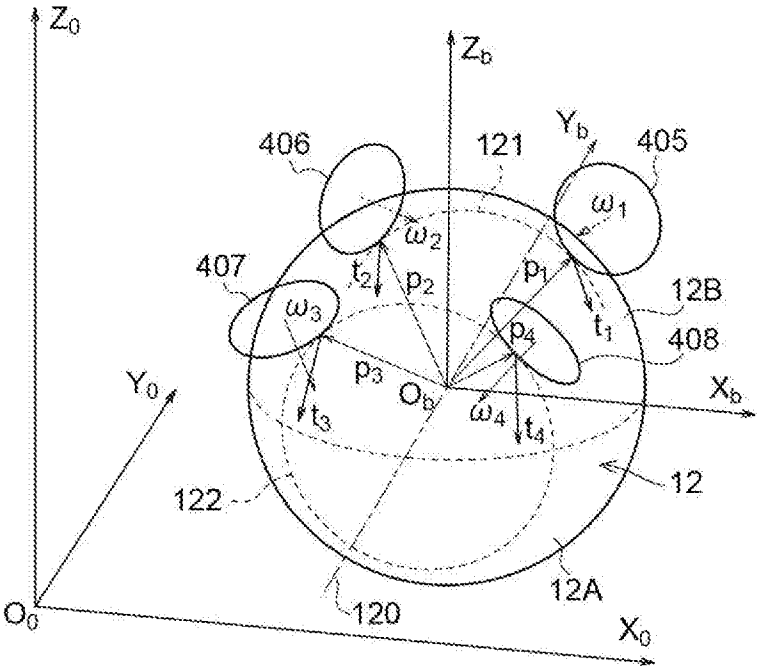
[図9]


Oh3
Zb
Oh2
ω3
Yb
t3
t2
Z0
p3
p2
ω2
Oh1
Rbu
t1
p1
ω1
Y0
Ob
Xb
Rb
O0
X0

[図10]


Z0
Zb
Oh3
Oh1
Oh2
Yb
ω3
Oh4
t3
t2
p3
p2
ω2
t4
t1
ω4
p1
Rbu
p4
ω1
Y0
Ob
Xb
Rb
O0
X0

[図11]


Z0
Zb
Yb
406
121
405
ω1
ω2
407
t2
p2
p1
12B
ω3
p4
t1
408
p3
Ob
Xb
Y0
t3
ω4
t4
12
122
12A
120
O0
X0

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/023822

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B60B19/00(2006.01)i, *B60B19/14*(2006.01)i, *B60B33/08*(2006.01)i, *B62K1/00*(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B60B19/00, B60B19/14, B60B33/08, B62K1/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2013/0257138 A1 (CHANG, Feng-Jung), 03 October 2013 (03.10.2013), fig. 1 to 9; paragraphs [0001] to [0035]; claims (Family: none)	1-3 4-12
Y	JP 2016-49921 A (Toyota Motor Corp.), 11 April 2016 (11.04.2016), claims; paragraphs [0001] to [0036]; fig. 1 to 7 (Family: none)	4-12
Y	JP 2014-161991 A (NSK Ltd.), 08 September 2014 (08.09.2014), claims; paragraphs [0001] to [0028]; fig. 1 to 11 (Family: none)	4-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 September 2017 (20.09.17)	03 October 2017 (03.10.17)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/023822

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-255673 A (Panasonic Corp.), 26 December 2013 (26.12.2013), claims; paragraphs [0001] to [0102]; fig. 1 to 16 (Family: none)	4-12
Y	US 8459383 B1 (BURGET, Daniel), 11 June 2013 (11.06.2013), fig. 1 to 4; column 1, line 10 to column 4, line 55; claims (Family: none)	8-12
Y	JP 2009-234524 A (Sony Corp.), 15 October 2009 (15.10.2009), claims; paragraphs [0001] to [0109]; fig. 1 to 18 (Family: none)	10-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２３８２２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B60B19/00(2006.01)i, B60B19/14(2006.01)i, B60B33/08(2006.01)i, B62K1/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B60B19/00, B60B19/14, B60B33/08, B62K1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

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

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	US 2013/0257138 A1 (CHANG, Feng-Jung) 2013.10.03, 図１－９, 段落０００１－００３５,請求の範囲（ファミリーなし）	1-3 4-12
Y	JP 2016-49921 A（トヨタ自動車株式会社）2016.04.11, 【特許請求の範囲】,【０００１】－【００３６】,【図１】－【図７】（ファミリーなし）	4-12

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２０．０９．２０１７	０３．１０．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｑ　９０２９
田々井　正吾
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３８１

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2014-161991 A（日本精工株式会社）2014.09.08, 【特許請求の範囲】,【０００１】－【００２８】,【図１】－【図１１】（ファミリーなし）	4-12
Y	JP 2013-255673 A（パナソニック株式会社）2013.12.26, 【特許請求の範囲】,【０００１】－【０１０２】,【図１】－【図１６】（ファミリーなし）	4-12
Y	US 8459383 B1 (BURGET, Daniel) 2013.06.11, 図１－４，第１欄第１０行－第４欄第５５行，請求の範囲（ファミリーなし）	8-12
Y	JP 2009-234524 A（ソニー株式会社）2009.10.15, 【特許請求の範囲】,【０００１】－【０１０９】,【図１】－【図１８】（ファミリーなし）	10-12