

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-247802

(P2006-247802A)

(43) 公開日 平成18年9月21日(2006.9.21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 5/00 (2006.01)	B 2 5 J 5/00 A	3 C 0 0 7
B 2 5 J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 5/00 E	
B 6 2 D 61/12 (2006.01)	B 2 5 J 13/08 Z	
	B 6 2 D 61/12	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-70259 (P2005-70259)
 (22) 出願日 平成17年3月14日 (2005.3.14)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (72) 発明者 細田 祐司
 茨城県ひたちなか市堀口832番地2 株
 会社日立製作所機械研究所内
 Fターム(参考) 3C007 AS36 CS08 KS12 KS36 MS07
 MS14 WA03 WA16 WA22 WA24
 WB03 WB09 WC10 WC22

(54) 【発明の名称】 移動ロボット

(57) 【要約】

【課題】

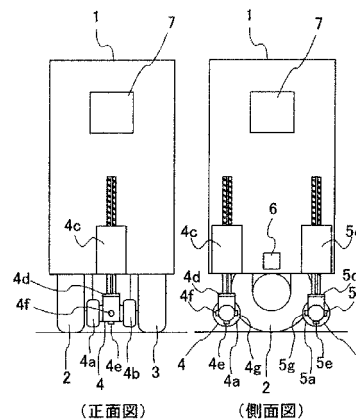
フットプリントが狭く、平地での機敏な走行性能を持ち、かつ転倒防止機能を持ち、かつ段差などの歩行環境に対応した走行が可能な人間共生作業に好適な移動ロボットを構成する。

【解決手段】

倒立振り制御により制御される主駆動輪2, 3の前方及び後方にその先端を昇降可能な支持脚4及び5を配置して、倒立二輪走行時には、走行面に対し支持脚4及び5の先端を所定の間隔をとって位置決めし、転倒が検出された場合、支持脚4及び5の位置を固定するか、転倒方向の支持脚を繰り出すことで、転倒を防止する。さらに、支持脚4, 5の先端に設けた床面距離センサ4e、5e及び側面距離センサ4f、4g、5f、5gの検出情報に基づき段差や傾斜面の存在を感知して、段差や傾斜面に対し支持脚を回避させ、着地させたもう一方の支持脚と主駆動輪2, 3により重心位置を安定に保持して、段差及び傾斜面を踏破する。

【選択図】 図1

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

倒立振子制御により前方推進方向の推力を制御する同軸二輪型の移動機構を備えた移動ロボットにおいて、少なくとも一つ以上の副車輪の前記移動機構の主駆動輪に対する相対位置を変更可能な支持脚を備えることを特徴とする移動ロボット。

【請求項 2】

前記副車輪を走行面に対して昇降可能な支持脚を前記移動機構の主駆動輪の推進方向の前方及び後方に配したことを特徴とする請求項 1 記載の移動ロボット。

【請求項 3】

前記副車輪を従動型車輪としたことを特徴とする請求項 2 記載の移動ロボット。

10

【請求項 4】

前記副車輪を駆動型車輪としたことを特徴とする請求項 2 記載の移動ロボット。

【請求項 5】

前記副車輪に操舵旋回駆動機構を備えたことを特徴とする請求項 4 記載の移動ロボット

。

【請求項 6】

前記移動機構に対し、前記副車輪を推進方向に揺動可能な回転機構と、前記回転機構の回転中心から副車輪までの距離を制御可能な繰り出し機構とから支持脚を構成することを特徴とする請求項 1 記載の移動ロボット。

【請求項 7】

前記副車輪を駆動型車輪として構成し、前記主駆動輪と同様に倒立振子制御により前方推進方向の推力を制御する手段を備えたことを特徴とする請求項 6 記載の移動ロボット。

20

【請求項 8】

前記副車輪に操舵旋回駆動機構を備えたことを特徴とする請求項 7 記載の移動ロボット

。

【請求項 9】

前記支持脚の先端と走行面との間の相互距離を計測する手段を備え、所定の相互距離を維持するように前記支持脚を位置決め制御する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の移動ロボット。

【請求項 10】

前記支持脚の内の少なくとも一つを走行面に接地させ、支持脚の接地点と前記主駆動輪との接地点を結んで形成される領域内に、重心投影位置を維持するように、接地させた支持脚の繰り出し位置を制御する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の移動ロボット。

30

【請求項 11】

前記主駆動輪を前記倒立振子制御に基づき駆動している状態で、制御系に異常が生じた場合ないしは、電源が遮断された場合ないしは、移動ロボットの姿勢が許容値以上に傾斜した場合、支持脚の位置を固定することを特徴とする請求項 9 記載の移動ロボット。

【請求項 12】

前記主駆動輪を前記倒立振子制御に基づき駆動している状態で、制御系に異常が生じた場合ないしは、電源が遮断された場合ないしは、移動ロボットの姿勢が許容値以上に傾斜した場合、移動ロボットの転倒方向の支持脚を繰り出して、転倒した姿勢を回復させる制御手段を備えたことを特徴とする請求項 9 記載の移動ロボット。

40

【請求項 13】

前記電源の他に予備の電源を備え、予備の電源により転倒防止のための支持脚の駆動制御を行うことを特徴とする請求項 12 記載の移動ロボット。

【請求項 14】

接地した前記支持脚の繰り出し量と移動ロボットの傾斜姿勢角から、走行面の傾斜角を推定し、走行面の傾斜角が所定の値より小さい場合、走行面が水平面と判定し、前記主駆動輪の前記倒立振子制御を起動することを特徴とする請求項 10 記載の移動ロボット。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、人間と共存する環境で作業を行う移動ロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

人間と共存する環境で作業を行うロボットの形態を考えた場合、ロボットの身長は、人間に対する手作業や対話作業を有効に実施するために、人間と同等のサイズであるのが理想的である。さらに、人間が混在する限られた空間で有効に移動を伴う作業を行う場合、ロボットのフットプリントを最小限にするのが望ましい。このような形態要求を実現した場合、ロボットの重心位置は必然的にフットプリントに対し高くなり、立ち姿勢の安定性を低下させる。一方、実用的な作業を実施させる場合、ロボットの機敏で安全な移動能力が求められる。この要求は、上記の重心位置の高度化と相反する。このような要求から、例えば特許文献1及び2に記載されるように、倒立振り子制御により前方推進方向の推力を制御する同軸二輪機構の提案がなされている。この機構は、フットプリントの狭い同軸二輪機構を用い、静的には不安定な倒立振り子の運動特性をもつ同軸二輪機構を、動的姿勢制御により安定に起立させ、重心の移動により、安定かつ俊敏な加減速機動が可能である。

10

【0003】

【特許文献1】特開2003-271243号公報

【特許文献2】特許第2530652号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記特許文献1及び2に開示されている従来技術は、ロボットの水平面での走行安定性を提供する技術であったが、不測の原因による転倒事象の防止に対する配慮がなされていなかった。さらに、段差の存在する環境での歩行の実現性、歩行の安定性確保に対する配慮がなされていなかった。前者の課題は、倒立振り子制御に基づく走行に本質的に付きまとう問題であり、電源の遮断、走行制御系の異常動作により、移動機構のバランス操作力を失い容易に転倒に至る。実適用に向けては、転倒発生要因の検出を契機に転倒を防止する手段の提供が必要である。上記の後者の課題である、走行環境に対する適応性に関しては、駆動輪の直径に対して、十分高さの低い凹凸、段差、緩い傾斜面であれば、倒立振り子制御に基づく走行が可能であるが、実適用に向けて想定される路肩段差、階段等の踏破に対しては、非常に大きな直径の駆動輪が必要となり、ロボット自体のフットプリントが拡大し、倒立振り子制御を適用するという本来のメリットを失うことになる。

30

本発明の目的は、走行時の転倒防止が可能で、かつ段差、斜面が存在する走行環境での安定な走行が可能で、フットプリントが狭く人間共生作業に好適な移動ロボットを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

(1) 本発明の目的は、倒立振り子制御により前方推進方向の推力を制御する同軸二輪型の移動機構を備えた移動ロボットにおいて、少なくとも一つ以上の副車輪の前記移動機構の主駆動輪に対する相対位置を変更可能な支持脚を備えることにより達成される。

40

(2) 本発明の目的は、(1)の構成において、前記副車輪を走行面に対して昇降可能な支持脚を前記移動機構の主駆動輪の推進方向の前方及び後方に配することにより達成される。

(3) 本発明の目的は、(2)の構成において、前記副車輪を従動型車輪とすることにより達成される。

(4) 本発明の目的は、(2)の構成において、前記副車輪を駆動型車輪とすることにより達成される。

(5) 本発明の目的は、(4)の構成において、前記副車輪に操舵旋回駆動機構を備えた

50

することにより達成される。

(6) 本発明の目的は、(1)の構成において、前記移動機構に対し、前記副車輪を推進方向に揺動可能な回転機構と、前記回転機構の回転中心から副車輪までの距離を制御可能な繰り出し機構とから支持脚を構成することにより達成される。

(7) 本発明の目的は、(6)の構成において、前記副車輪を駆動型車輪として構成し、前記主駆動輪と同様に倒立振り子制御により前方推進方向の推力を制御する手段を供えることにより達成される。

(8) 本発明の目的は、(7)の構成において、前記副車輪に操舵旋回駆動機構を備えことにより達成される。

(9) 本発明の目的は、(1)の構成において、前記支持脚の先端と走行面との間の相互距離を計測する手段を備え、所定の相互距離を維持するように前記支持脚を位置決め制御する手段を備えることで達成される。

10

(10) 本発明の目的は、(1)の構成において、前記支持脚の内の少なくとも1つを走行面に接地させ、支持脚の接地点と前記主駆動輪との接地点を結んで形成される領域内に、重心投影位置を維持するように、接地させた支持脚の繰り出し位置を制御する手段を備えることで達成される。

(11) 本発明の目的は、(9)の構成において、前記主駆動輪を前記倒立振り子制御に基づき駆動している状態で、制御系に異常が生じた場合ないしは、電源が遮断された場合ないしは、移動ロボットの姿勢が許容値以上に傾斜した場合、支持脚の位置を固定することで達成される。

20

(12) 本発明の目的は、(9)の構成において、前記主駆動輪を前記倒立振り子制御に基づき駆動している状態で、制御系に異常が生じた場合ないしは、電源が遮断された場合ないしは、移動ロボットの姿勢が許容値以上に傾斜した場合、移動ロボットの転倒方向の支持脚を繰り出して、転倒した姿勢を回復させる制御手段を備えることで達成される。

(13) 本発明の目的は、(12)の構成において、前記電源の他に予備の電源を備え、予備の電源により転倒防止のための支持脚の駆動制御を行うことで達成される。

(14) 本発明の目的は、(10)の構成において、接地した前記支持脚の繰り出し量と移動ロボットの傾斜姿勢角から、走行面の傾斜角を推定し、走行面の傾斜角が所定の値より小さい場合、走行面が水平面と判定し、前記主駆動輪の前記倒立振り子制御を起動することで達成される。

30

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、以下に詳細を記載したように、倒立振り子制御により走行する同軸二輪機構の走行に対し、倒立振り子制御走行が本質的に内在する走行中の転倒発生の防止が可能であり、転倒防止処理の手段となる機構機能を転用することにより、段差、傾斜面の存在する走行環境での安定な走行が可能で、フットプリントが狭く人間共生作業に好適な移動ロボットを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

本発明に係る移動ロボットの実施例を、図面を用いて説明する。本実施例の移動ロボットは、倒立振り子制御により前方推進方向の推力を制御する同軸二輪型の移動機構を備えており、さらに、移動機構の推進方向の前後に、先端に副車輪を備え垂直方向に昇降させる支持脚と、その制御手段を備えている。支持脚の先端には、床面との距離を計測するセンサを配しており、倒立二輪走行時には、支持脚の先端と床面とのギャップを一定に維持するよう制御し、倒立二輪走行の機敏性を維持し、制御手段において制御異常を感知した場合、もしくは電源遮断の発生において、支持脚を転倒回復方向に繰り出すか、副車輪位置を機械的に固定することで、転倒を防止する。さらに、支持脚の先端には、支持脚側面と床面突起物との距離を計測するセンサを配しており、この情報に基づき、段差や急傾斜の存在及び相対位置を検出し、支持脚を進行方向の段差などから退避し、反対方向の支持脚を接地し移動ロボットの重心位置を駆動輪と設置した支持脚の副車輪の間の空間で安定

40

50

に保持することで、段差の昇降、傾斜の走行を可能とする。

【実施例】

【0008】

以下、図1から図9を用いて本発明の実施例について説明する。

図1は本実施例の移動ロボットの機構構成を説明する正面図及び側面図である。図2は、本実施例の移動ロボットの制御系の構成図である。図1及び図2において、同じ構成要素に対しては同じ構成番号を記してある。

【0009】

移動ロボット1は、倒立振り子制御により制御される主駆動輪2、3と、主駆動輪2、3の前後に配置された支持脚4、5と、重力方向に対する移動ロボット1の姿勢を検出する姿勢センサ6と、姿勢センサ6等の情報に基づき、移動ロボット1の機構を制御する制御装置7とから構成される。

10

【0010】

支持脚4の先端には、従動輪からなる副車輪4a、4bが設けられ、昇降機構4cにより副車輪4a、4bが昇降する。昇降機構4cとしては、例えばボールスプライン機構が適用可能である。もちろん、他の機構手段であっても、副車輪4a、4bを昇降することが可能であれば、同様の効果を得られることは明白である。昇降機構4cの駆動手段には、OFFブレーキ4j(図2参照)が組み込まれており、電源遮断が発生した場合、昇降位置を機械的に固定する。さらに、支持脚4の先端には、副車輪4a、4bに加わる接触反力を検出する力センサ4d、支持脚4の先端と走行面とのギャップを計測する床面距離センサ4e、床面上の構造物と支持脚4の間の相対距離を計測する側面距離センサ4f、4gが設けられている。

20

【0011】

主駆動輪2、3の後部に設置された支持脚5の構成は支持脚4と同様であり、副車輪5a、5b、昇降機構5c、力センサ5d、床面距離センサ5e及び側面距離センサ5f、5gが設けられている。

【0012】

次に、図2を用いて、移動ロボット1の制御系の構成について説明する。走行速度制御装置11は、主駆動輪2、3に組み込まれた走行モータ2a、3a、エンコーダ2b、3bに接続し、倒立走行制御部9から発生される主駆動輪2、3の各々の速度指令値に基づき、走行速度のフィードバック制御を行う。倒立走行制御部9は、走行統括制御部8から発生される主駆動輪2、3の各々の速度差目標値、移動ロボット1の走行速度目標値に従い、倒立二輪走行の制御則に基づき、主駆動輪2、3の各々の速度指令値を生成する。倒立二輪走行の制御則は、例えば以下ようになる。

30

【0013】

$$V_{run} = V_r - (V_1 + V_2) / 2 - K_1 * \quad - K_2 * \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V_{1r} = V_r / 2 + V_{run} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$V_{2r} = V_r / 2 - V_{run} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 V_{1r} 、 V_{2r} は、走行速度制御装置11に対して出力する主駆動輪2、3の速度指令値。さらに、 V_r 及び V_r は、走行統括制御部8から発生される、走行速度目標値及び速度差目標値である。さらに、 V_1 及び V_2 は、エンコーダ2b、3bにより検出される主駆動輪2、3の走行速度である。さらに、 \quad 及び \quad は姿勢センサ6により検出される、重力方向に対する推進方向の移動ロボット1の姿勢角度およびその角速度である。 K_1 及び K_2 は、倒立二輪走行制御のためのフィードバックゲイン関数である。

40

【0014】

式(1)の K_1 及び K_2 を適切に設定することにより、主駆動輪2、3の平均速度が、走行速度目標値に追従するように走行し、同時に \quad 及び \quad を0に近づけるように制御が実施される。すなわち、二輪で倒立しながら走行を実施できる。これと同時に、式(2)、(3)で、 V_r に比例した主駆動輪2、3の速度差が設けられ、 V_r に応じた旋回走行を実施できる。さらに、後述する支持脚4、5を接地した状態での走行では、 K_1 及び K_2 を0に切

50

替設定することで、倒立二輪走行制御を解除できる。

昇降機構 4 c、5 c に設けられた、昇降モータ 4 i、5 i は、昇降位置制御装置 1 3 により制御され、エンコーダ 4 h、5 h により検出された位置をフィードバック制御に用いて、支持脚 4、5 を所定の高さに位置決めする。また、昇降機構 4 c、5 c に設けられた、ブレーキ 4 j、5 j は、駆動電源遮断時、もしくは転倒防止制御部 1 4 の指令に基づき、支持脚 4、5 の位置を機械的に固定する。

【0015】

支持姿勢制御部 1 2 は、昇降位置制御装置 1 3 に対して、支持脚 4、5 の昇降制御指令値を生成する。支持姿勢制御部 1 2 は、4 つの制御機能を有する。第 1 の制御機能は、支持脚 4 ないしは 5 の先端と走行面や段差などの突起形状面との相互距離を所定の値に維持する追従機能である。この制御機能は、床面距離センサ 4 e、5 e から得られる支持脚 4 ないしは 5 の先端と走行面や段差などの突起形状面との相互距離の情報に基づき、支持脚 4 ないしは 5 の先端繰り出し量の上限を設定することで実現する。さらに、この機能は、力センサ 4 d、5 d から得られる、副車輪 4 a、4 b ないしは 5 a、5 b に加わる接触反力の情報により、床面距離センサ 4 e、5 e により把握し切れなかった路面形状との接触に対し、支持脚 4 ないしは 5 の先端繰り出し量の上限を設定することで実現する。第 2 の制御機能は、重心支持姿勢制御の機能である。これは、移動ロボット 1 が倒立二輪走行制御を解除した状態で、支持脚 4 もしくは 5 を繰り出し、主駆動輪 2、3 と繰り出した支持脚 4 もしくは 5 の先端の 3 点で設置し、その 3 点で形成される安定領域内に移動ロボット 1 の重心投影位置を維持することで、移動ロボット 1 の姿勢の静的な安定を保つものである。この機能は、接地した支持脚 4 もしくは 5 の方向に、移動ロボット 1 を傾斜させて、姿勢センサ 6 で検出した姿勢角 を所定の目標値に追従させるように、接地させた支持脚 4 もしくは 5 の繰り出し量を制御することで実現できる。第 2 の制御機能を実行している状態では、支持脚 4 もしくは 5 の内の 1 つのみを接地させ、接地しない方の支持脚 4 もしくは 5 は、第 1 の制御機能により、走行面から先端を浮かせて走行する。第 3 の制御機能は、全脚接地姿勢制御の機能である。これは、移動ロボット 1 が倒立二輪走行制御を解除した状態で、支持脚 4 及び 5 の先端を着地させて移動ロボット 1 安定の姿勢を制御する機能である。この機能は、移動ロボット 1 を休止状態にして安定に起立させる場合に用い、また第 2 の制御機能を実施している場合、重心の移動を行い支持脚 4 と 5 との間で接地を移し変える時の遷移動作として用いる。倒立二輪走行制御の状態では、第 1 の機能で支持脚 4 と 5 の先端と走行面との間に所定のギャップを維持しているが、この機能に移行する場合は、ギャップの目標値を 0 に近づけ、支持脚 4 と 5 の反力から接地を検出した時点で支持脚 4 と 5 の繰り出しを停止し、倒立二輪走行制御の解除を行う。この状態で、重心の移動を行う場合は、支持脚 4 と 5 の繰り出しと引き込みを連動して位置制御し、主駆動輪 2、3 が走行面より浮かないようにする。第 4 の制御機能は、支持脚固定の機能である。これは、支持脚 4、5 の位置決めを現在位置にホールドして、転倒防止制御部 1 4 を介して、ブレーキ 4 j、5 j を有効にして支持脚 4 及び 5 を機械的に固定するものである。この機能は、移動ロボット 1 を休止状態にして安全に起立させておく場合に用いる。この機能を働かせた場合、電源遮断型のブレーキ 4 j、5 j により支持脚 4、5 の位置を固定するので、支持脚 4、5 及び主駆動輪 2、3 の駆動電力を全てカットした省エネ状態で待機させることができる。また、この機能は、転倒防止制御部 1 4 により、移動ロボット 1 の転倒の危険性が判断されたときに転倒防止制御部 1 4 により起動されて、支持脚 4 及び 5 を機械的に固定することで、移動ロボット 1 を支え転倒を防止する。

【0016】

走行統括制御部 8 は、倒立走行制御部 9、支持姿勢制御部 1 2 に対し指令を与え、走行運動全体の制御を司る。走行統括制御部 8 は、側面距離センサ 4 f、4 g、5 f、5 g、床面距離センサ 4 e、5 e、力センサ 4 d、5 d により検出され、支持脚 4、5 と走行環境との相互位置情報に基づき、倒立二輪走行と、支持脚 4、5 による接地支持を用いた対環境走行制御を実施する。倒立二輪走行を実施する判断は、平面検出処理部 1 0 の処理結果による。図 3 は、平面検出処理部 1 0 において実施される、等価走行面の傾斜を算出す

るための計算モデルである。図3において、主駆動輪2, 3の中心の座標を(0, 0)とした場合、主駆動輪2, 3と走行面18の接点P1の座標は、(Rsin θ , -Rcos θ)、また、副車輪4aと走行面18の接点P2の座標は、(-Bcos θ +hsin θ +rsin θ , -Bsin θ +hcos θ -rcos θ)となる。この関係から、走行面18の傾斜角 θ は、次のように算出される。

$$\theta = \tan^{-1}(((R-r)\sin\theta + B\cos\theta - h\sin\theta) / ((r-R)\cos\theta + B\sin\theta - h\cos\theta)) \dots (4)$$

ここで、Rは主駆動輪2, 3の半径、rは副車輪4aの半径、 θ は移動ロボット1の傾斜角度、hは主駆動輪2, 3の中心を基準とした接地状態の支持脚4の副車輪4aの中心の繰り出し距離、Bは主駆動輪2, 3の中心と副車輪4aの中心との間の水平方向の軸間距離である。hは、床面距離センサ4eにより検出される。平面検出処理部10により推定された走行面18の傾斜角 θ が所定の値以下の場合、走行統括制御部8は、倒立走行制御部9に対し、倒立二輪走行の実施を指示で、支持姿勢制御部12に対し、第1の制御機能の実施を指示する。側面距離センサ4f、4g、5f、5gにより、走行面18上に突起物を発見した場合、倒立走行制御部9に対し、まず第3の機能の実施を指示し、倒立二輪走行の解除を実施し、後述する走行環境に応じた走行シーケンスを発生する。システム異常監視部15は、制御装置7を構成する制御ハードの健全性を判断し、姿勢センサ6で検出される移動ロボット1の姿勢角 θ が許容限界値を越えたか否かを判断し、更に、電源部17の出力が正常化否かを判断する。これらの判断を総合し、移動ロボット1の転倒が予測された場合は、転倒防止制御部14に非常停止指令を与え、転倒防止制御部14は、走行速度制御装置11、非常停止指示を与える。さらに、転倒防止制御部14は、非常停止の要求が、姿勢角 θ の限界越えに起因する場合は、支持姿勢制御部12に対し、第3の制御機能の実施を指示し、転倒方向にある支持脚4もしくは5を繰り出して、転倒に向けて過度に傾斜した姿勢を回復させる運動を発生する。それ以外の要因による非常停止の要求は、制御システムの問題が生じたとして、支持脚4及び5の繰り出し位置を現在値に維持し、さらに、ブレーキ4j、5jの電源を遮断し、支持脚4、5の位置を機械的に固定し、転倒防止を実施する。非常電源部16は、電源部17より供給される電力を一時保存しており、電源部17の異常により制御装置7全体がダウンした場合、転倒防止制御部14に対、電力を供給し、非常停止処理を完遂させる。

【0017】

次に、図4～図9を用いて、本実施例の動作について説明する。

図4は、b)に示す移動ロボット1による倒立二輪走行に対する走行状態の変更の状況を示している。移動ロボット1が停止して休止状態の場合は、a)に示すように、第3及び第4の制御機能を実施し、支持脚4、5を走行面18に接地し機械的に固定状態として、静的に安全な起立姿勢で停止している。c)はb)に示す、姿勢傾斜を伴う倒立二輪走行途中で、姿勢角度が限界値を越えた場合の処理として、支持脚4を繰り出して、進行方向への転倒を防止する様子を示す。d)はb)に示す倒立二輪走行途中で電源部17のトラブルで電源が遮断された場合、ブレーキ4j、5jにより支持脚4、5の電源遮断時の位置を保ち転倒を防止する状況を示す。

【0018】

図5、6は、移動ロボット1による段差20の昇段及び降段の動作シーケンスを示したものである。昇段シーケンスは、図5に示すように、a)倒立二輪走行状態で段差20に接近し、側面距離センサ4fにより進行方向の段差20を検出する。そこで、b)に示すように、支持脚4を上昇し、支持脚4と段差20の接触を回避し、床面距離センサ4eにより、段差20の端面の通過を検出する。ここで、c)に示すように、倒立二輪走行状態を解除し、第2の制御機能により支持脚5を接地して、静的安定を保つ。この状態で前進して、d)に示すように主駆動輪2、3の駆動トルクにより段差20に乗り上げる。次に、e)に示すように、側面距離センサ5fにより段差20の端面検出した時点で、主駆動輪2、3が段差20の上面に位置すると判断し、f)に示すように、第2の制御機能により支持脚5の駆動を用いて移動ロボット1の姿勢を起立させ、第3の制御機能を介して、支持脚4、5による姿勢安定化を図った後に、g)に示すように倒立二輪走行に移行する。降段のシーケンスは、図6に示すように、まず段差20上で倒立二輪走行で走行し、a

)に示すように床面距離センサ4 eで、段差2 0の終端を検出し、副車輪4 aが降下できる程度に進行した時点で、b)に示すように支持脚4を走行面1 8に着地させる。この一連の動作は、第1の制御機能及び第3の制御機能により実現される。この後、c)からd)に示すように第2の制御機能により、支持脚4で移動ロボット1の重心1 9を安定に支持して、段差2 0を降段する。その後、e)に示すように、走行面1 8の平面検出が成立した時点で、第2の制御機能による重心支持走行から倒立二輪走行へ走行形態を変更する。図7はより奥行き幅の短い段差2 1の走行に対する昇段及び降段のシーケンスを示したものである。この例は、段差2 1の幅が、概略図3に示す寸法B以下になり、主駆動輪2 , 3が段差2 1に乗り上げた時点で、床面距離センサ4 eによる段差2 1の端部の検出が既に終了しており、狭幅段差上での倒立二輪走行のリスクを避けたいケースである。図7 a)では、図5 d)までと同様のプロセスで段差2 1に乗り上げ、b)では、床面距離センサ4 eにより走行面1 8を検出し、側面距離センサ5 fで段差2 1の端面を検出することを契機に、支持脚5による重心支持走行から、第3の制御機能を適用し、c)に示すように支持脚4、5の両者を着地させて、重心1 9を後方から前方に移動する。その後d) e)に示すように、支持脚5を第1の制御機能を適用し、走行面1 8より離脱させ、支持脚4による重心支持走行に切替えて段差2 1を通過する。次に、図8及び図9を用いて、傾斜面の走行手順について説明する。図8、9は、移動ロボット1による斜面2 2の登り及び下り走行の動作シーケンスを示したものである。登り走行シーケンスは、図8に示すように、a)倒立二輪走行状態で段差2 0に接近し、床面距離センサ4 eの情報に基づく走行面の漸近的な接近の検出と側面距離センサ4 fの斜面2 2の漸近的な接近の検出により進行方向の斜面2 2を検出する。そこで、b)に示すように、倒立二輪走行状態を解除し、第2の制御機能により支持脚5を接地して、静的安定を保つ。この状態で前進して、c) d)に示すように斜面2 2を登りつめて平面が検出された時点で、倒立二輪走行状態に切り替える。下り走行シーケンスは、図9に示すように、まず斜面2 2の端まで倒立二輪走行で走行し、a)に示すように床面距離センサ4 eで、斜面2 2の開始位置を検出し、b)に示すように支持脚5を斜面2 2に着地させる。この一連の動作は、第1の制御機能及び第3の制御機能により実現される。この後、c)に示すように第2の制御機能により、支持脚5で移動ロボット1の重心1 9を安定に支持して、斜面2 2を下りる。その後、d) e)に示すように、斜面2 2の終端の平面検出が成立した時点で、第2の制御機能による重心支持走行から倒立二輪走行へ走行形態を変更する。

10

20

30

【0019】

以上説明した本実施例によれば、倒立二輪走行時に、主駆動輪の前後に配置された支持脚の先端を走行面の起伏に沿ってわずかなギャップを残して追従昇降させることが出来るので、移動ロボットの転倒が発生しそうな場合、支持脚の昇降動作をロックすることで、転倒を未然に防ぐことが出来る。また、支持脚先端に設けたセンサにより、段差、斜面を検出し、支持脚と主駆動輪の接地による静的に安定な走行形態に移行することで、段差や斜面を踏破するための安定な走行シーケンスを実行できる。

【0020】

次に、図10及び図11を用いて本発明の他の実施例について説明する。

図10は本実施例の移動ロボットの機構構成を説明する正面図及び側面図である。移動ロボット2 3は、倒立振り子制御により制御される主駆動輪2 4、2 5と、主駆動輪2 4、2 5の前後に配置された支持脚2 6, 2 7, 2 8, 2 9(但し2 9は図示されていない)と、重力方向に対する移動ロボット1の姿勢を検出する姿勢センサ3 0と、姿勢センサ3 0等の情報に基づき、移動ロボット1の機構を制御する制御装置3 1とから構成される。

40

【0021】

支持脚2 6の先端には、モータ2 6 bにより走行駆動される副車輪2 6 aが設けられ、副車輪2 6 aは昇降旋回機構2 6 cにより昇降し、更に昇降方向軸周りに旋回する。昇降旋回機構2 6 cとしては、例えばボールスプライン機構が適用可能である。もちろん、他の機構手段であっても、副車輪2 6 aを昇降かつ旋回することが可能であれば、同様の効果を得られることは明白である。昇降旋回機構2 6 cの駆動手段には、図示されていない

50

がOFFブレーキが組み込まれており、電源遮断が発生した場合、昇降位置を機械的に固定する。さらに、支持脚26の先端には、副車輪26aに加わる接触反力を検出する力センサ26d、支持脚26の先端と走行面とのギャップを計測する床面距離センサ26e、床面上の構造物と支持脚26の間の相対距離を計測する側面距離センサ26f、26gが設けられている。主駆動輪24, 25の前部に設置された支持脚27及び後部に設置された支持脚28, 29(29は図示されていない)の構成は支持脚26と同様であり、各々に副車輪27a、28a、29a、モータ27b、28b、29b、昇降旋回機構27c、28c、29c、力センサ27d、28d、29d、床面距離センサ27e、28e、29e、側面距離センサ27f、27g、28f、28g、29f、29gが設けられている。制御装置31は、副車輪26a, 27a, 28a及び29aの駆動制御及び昇降旋回機構26c, 27c, 28c及び29cの旋回駆動制御の機能を備え、基本的に第1の実施例で述べた第1から4の制御機能を備えている。従って、第1の実施例で説明した、移動ロボット1による、転倒防止制御、段差踏破、斜面走行制御は、基本的に、本実施例の構成でも実施可能である。

10

20

30

40

50

【0022】

次に本実施例により新たに可能となる階段走行の動作を説明する。図11は、移動ロボット23による階段33の移動の過程を示したものである。この過程において、階段33の各段の奥行きは、副車輪26a, 27aの前端部から主駆動輪24, 25の中心までの間隔以上の寸法を有することを条件とする。まず、a)において、倒立二輪走行で、階段33に接近し、支持脚26及び27の側面距離センサ26f及び27fにより階段33に対し所定の距離近づいた事を検出したら停止し、b)に示すように支持脚26及び27を上限まで上昇させる。次に、前進し、支持脚26及び27の床面距離センサ26e及び27eにより階段33の段上に支持脚26及び27が到達したことを検出した時点で、c)に示すように支持脚26、27、28及び29を降下し接地させる。支持脚26、27、28及び29が接地した後、主駆動輪24, 25の倒立二輪走行制御を解除し停止状態とする。次に、d)に示すように、支持脚26、27、28及び29の昇降旋回機構26c、27c、28c及び29cの駆動により、主駆動輪24, 25の下端部が階段33の段よりも上に位置するまで、移動ロボット23本体を持ち上げる。次に、この状態で支持脚26、27、28及び29の副車輪26a、27a、28a及び29aの駆動により移動ロボット23を前進させ、e)に示すように、支持脚26、27の側面距離センサ26fもしくは27f、もしくは支持脚28、29の側面距離センサ26gもしくは27gにより、階段33の段への所定の接近が確認された時点で停止する。この動作が終了した時点で、主駆動輪24, 25の倒立二輪走行制御を復帰させて、f)に示すように、支持脚26、27、28及び29を上昇させて、倒立二輪走行制御により主駆動輪24, 25のみで、階段33上に起立させる。以上述べたa)からf)の動作を反復することにより、階段33の昇段を実施する。階段33の降段は、基本的にf)からa)へと逆動作過程を実施することで実現する。但し、各段での支持脚26、27、28及び29の昇降制御のタイミングは、床面距離センサ26e、27e、28e及び29eによる段差通過の検出に基づき制御される。本実施例では、第1の実施例で説明した段差踏破の他に、図11に示す階段33を1段の階段とみなして、同一の制御過程で実施することが可能である。第1の実施例で説明した段差踏破方法は、主駆動輪2, 3のグリップ力で段差を乗り越えるために、踏破可能な段差の高さは、原理的に主駆動輪2, 3の半径以下に制限され、実際的には、主駆動輪2, 3の半径の30%程度の高さの党派が限界と考えられる。これに対して、本実施例の上記した段差踏破方式では、踏破可能な段差の高さは、主駆動輪24, 25の直径に左右されず、昇降旋回機構26c、27c、28c、29cの昇降ストロークにより支配されるため、第1の実施例に比べより高い段差の踏破が可能となる。図11の走行動作では詳細を省いて説明したが、本実施例では、副車輪26a、27a、28a及び29aは、昇降旋回機構26c、27c、28c及び29cにより、独自に回転させることが可能であり、全方向移動の機能を備えている。この機能を用いて、階段33に対し移動ロボット23を正対させたり、段差に対し横移動することが可能である。もちろん、こ

の機能により平地走行においても、任意方向の移動が可能となる。

【0023】

以上述べた本実施例によれば、第1の実施例で述べた、転倒防止制御、段差、傾斜面の踏破制御が可能なることに加え、階段走行が可能であり、主駆動輪の直径に依存しない高さの高い段差の踏破が可能となる。また、副駆動輪による全方向移動が可能であり、平地での狭隘な環境での移動が容易であり、階段上での移動位置・方向の微調整が容易に実行できる。

【0024】

次に、図12から図15を用いて本発明の他の実施例について説明する。

図12は本実施例の移動ロボットの機構構成を説明する正面図及び側面図である。移動ロボット34は、倒立振り子制御により制御される主駆動輪35、36と、主駆動輪35、36で挟む形で配置された支持脚37及び多自由度の腕43及び44を備える。支持脚37は、先端に倒立振り子制御により制御される副車輪41、42、副車輪41、42を旋回させる旋回機構40、支持脚37を前後に揺動位置決めする支持脚旋回機構38、支持脚37の先端を繰り出し引き込み動作させる伸縮機構39を備える。

10

【0025】

本構成における移動ロボット34の、転倒防止動作を図13を用いて説明する。図13 a)は、主駆動輪35、36による倒立二輪走行での停止姿勢、b)は走行姿勢を示す。c)は転倒防止運動の状況を示しており、移動ロボット34は転倒の予兆を検出した場合、支持脚37を進行方向に振り出し副車輪41、42の接地により姿勢を保持し転倒を防止する。次に、図14を用いて、階段移動の手順を説明する。a)において、主駆動輪35、36による倒立二輪走行で階段47の段上に起立する。次にb)に示すように、支持脚37を伸展させて、副車輪41、42を接地させ、副車輪41、42の倒立二輪走行制御により移動ロボット34起立させ、さらに支持脚37を伸展させて主駆動輪35、36を持ち上げる。次にc)に示すように、支持脚旋回機構38の駆動により移動ロボット34本体を傾斜させて、主駆動輪35、36を次の段上に移動する。この間、移動ロボット34の姿勢は、副車輪41、42の倒立二輪走行制御により転倒しないように安定に維持されている。次にd)に示すように、主駆動輪35、36を接地させる。ここで、主駆動輪35、36及び副車輪41、42の倒立二輪走行制御を解除し、e)に示すように、支持脚37を伸展させ、重心45が主駆動輪35、36の中心上にくるまでを前方に移動し、これが終了した後、f)に示すように主駆動輪35、36の倒立二輪走行制御を起動し、これにより移動ロボット34全体を起立させ、支持脚37を引き込み、g)の初期状態に戻る。これら、a)からg)の過程を反復することにより、階段47を踏破することが出来る。階段47の降段動作は、上記の昇段動作の逆過程を実施すれば良い。第1、2の実施例で示した段差の踏破は、上記の段差を1段の階段とみなして実現できる。斜面走行に関しては、図14e)に示す主駆動輪35、36及び副車輪41、42の倒立二輪走行制御を解除し同時に接地させる走行形態をとれば、安定な走行が可能である。本実施例では、新たに、転倒状態からの起立回復が実現できる。その過程を、図15を用いて説明する。a)に示すように、転倒防止制御がうまく働かず移動ロボット34が横倒しになった場合、腕43及び44の操作により、移動ロボット34をうつ伏せ状態にする。次にb)に示すように腕43及び44の操作により移動ロボット34の上体を持ち上げる。c)のように上体を最大限に持ち上げたところで、支持脚37を繰り出し、次にd)e)に示すように、支持脚37の伸展推力で、移動ロボット34を起立させる。この後主駆動輪35、36の倒立振り子制御を再開し支持脚37を引き込む。この実施例においても、支持脚37の先端に旋回機構40を設けており、主駆動輪35、36と副車輪41、42の接地の入れ替えを行う、図14のa)からb)の間で、副車輪41、42を接地させる前に副車輪41、42の方向を旋回させることで、第2の実施例で示した、段上での位置・方向修正を実施できる。この走行動作は、平地でも実施可能であり、第2の実施例で言及したのと同様に全方向移動が可能である。

20

30

40

【0026】

50

以上説明した本実施例によれば、第 1、第 2 の実施例で実施した全ての走行が可能で、更に、転倒状態からの自立復帰が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

- 【図 1】本発明の移動ロボットの実施例の機構の構成図。
- 【図 2】本発明の移動ロボットの実施例の制御系の構成図。
- 【図 3】本発明の移動ロボットの実施例の平面検出演算の説明図。
- 【図 4】本発明の移動ロボットの実施例の転倒防止動作の説明図。
- 【図 5】本発明の移動ロボットの実施例の段差走行動作の説明図。
- 【図 6】本発明の移動ロボットの実施例の段差走行動作の説明図。
- 【図 7】本発明の移動ロボットの実施例の段差走行動作の説明図。
- 【図 8】本発明の移動ロボットの実施例の傾斜面走行動作の説明図。
- 【図 9】本発明の移動ロボットの実施例の傾斜面走行動作の説明図。
- 【図 10】本発明の移動ロボットの他の実施例の機構の構成図。
- 【図 11】本発明の移動ロボットの他の実施例の階段走行動作の説明図。
- 【図 12】本発明の移動ロボットの他の実施例の機構の構成図。
- 【図 13】本発明の移動ロボットの他の実施例の転倒防止動作の説明図。
- 【図 14】本発明の移動ロボットの他の実施例の階段走行動作の説明図。
- 【図 15】本発明の移動ロボットの他の実施例の転倒復帰動作の説明図。

10

【符号の説明】

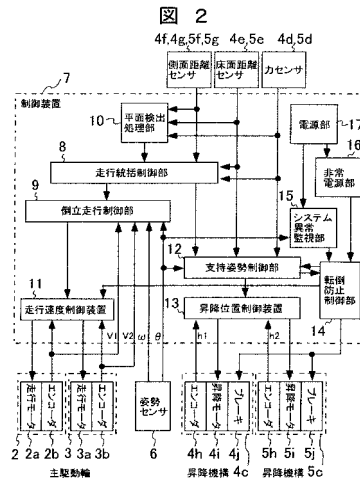
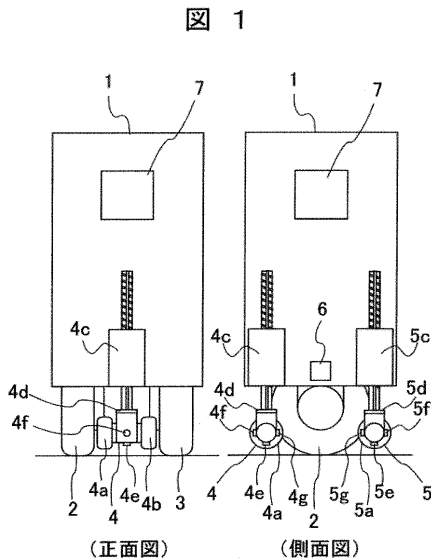
20

【0028】

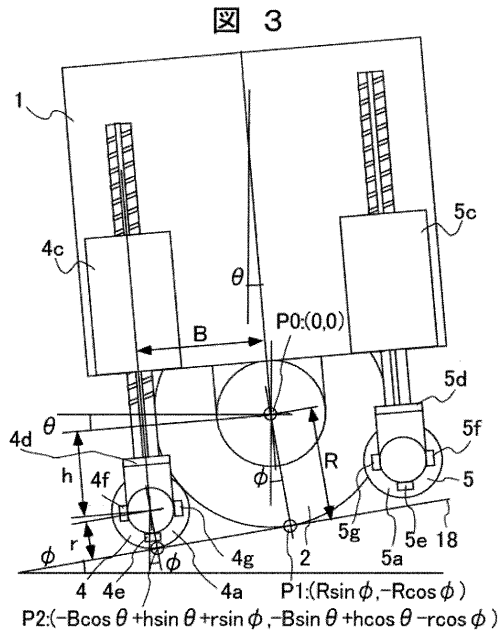
2 3、3 4 ... 移動ロボット、2、3、2 4、2 5、3 5、3 6 ... 主駆動輪、4、5、2 6、2 7、2 8、2 9、3 7 ... 支持脚、6、3 0 ... 姿勢センサ、7、3 1 ... 制御装置、4 3、4 4 ... 腕。

【図 1】

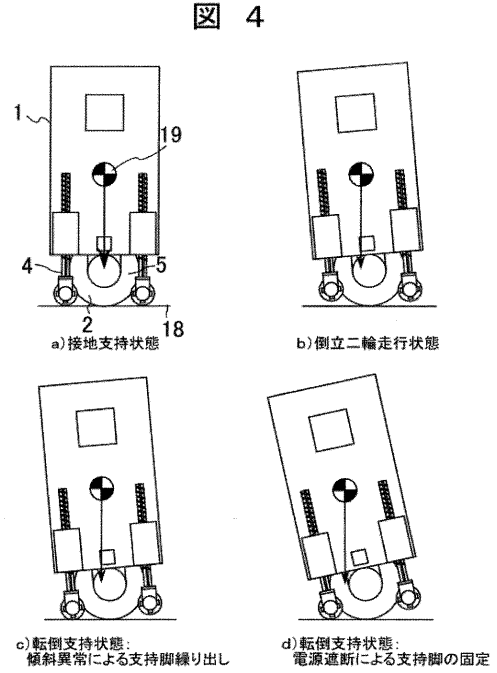
【図 2】



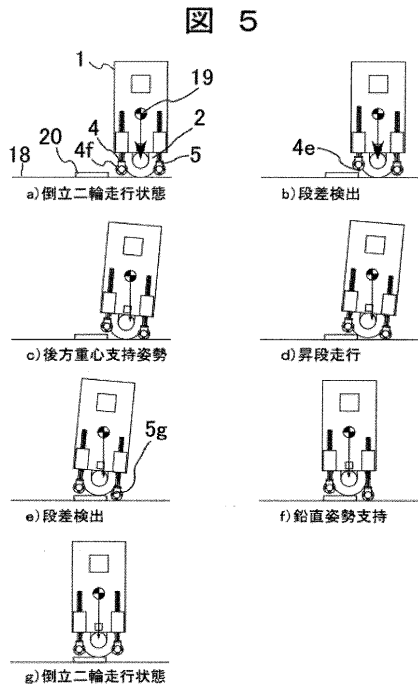
【 図 3 】



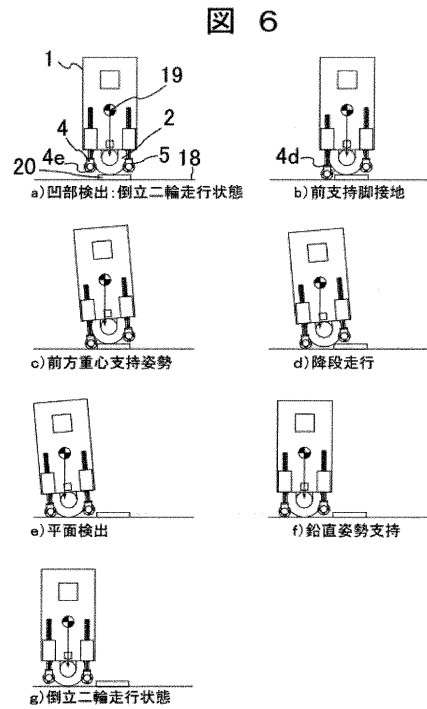
【 図 4 】



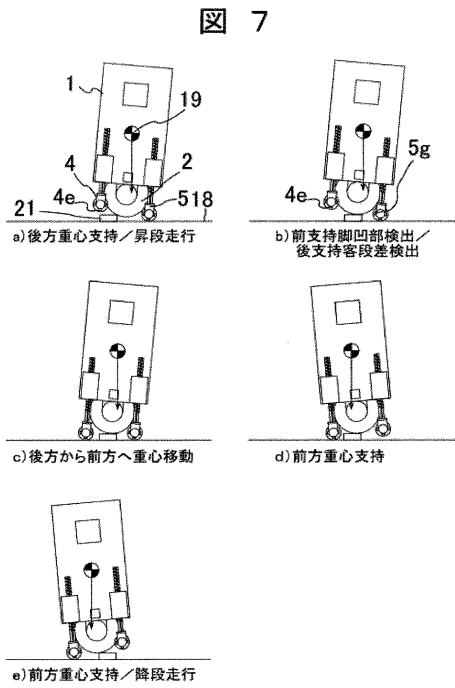
【 図 5 】



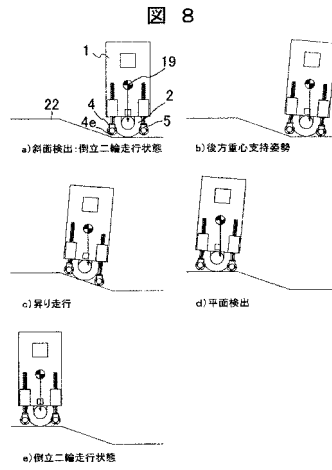
【 図 6 】



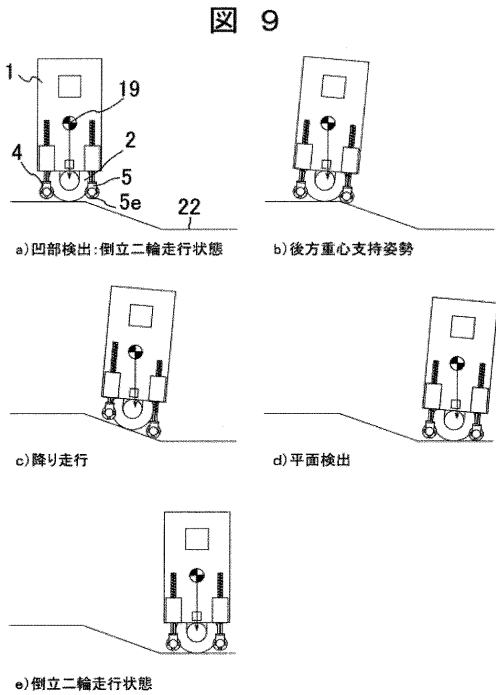
【 図 7 】



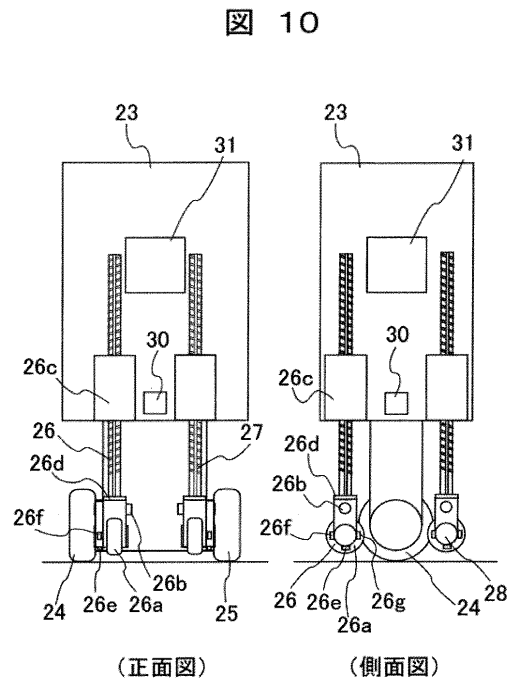
【 図 8 】



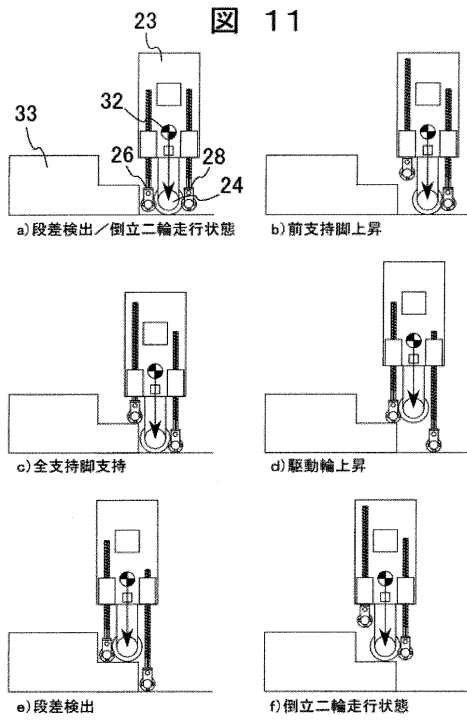
【 図 9 】



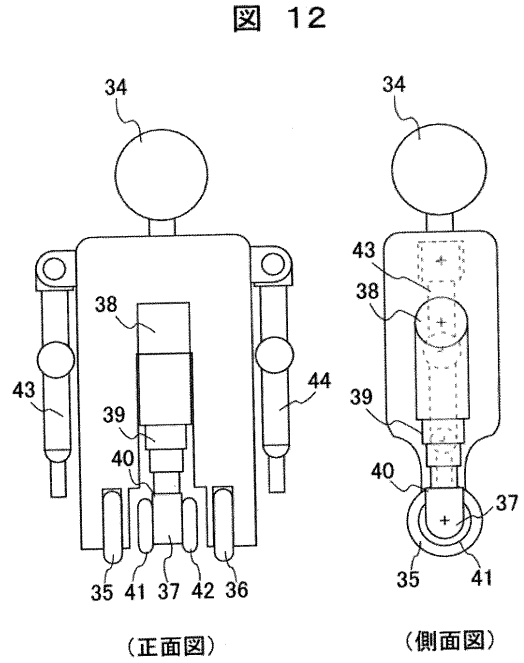
【 図 10 】



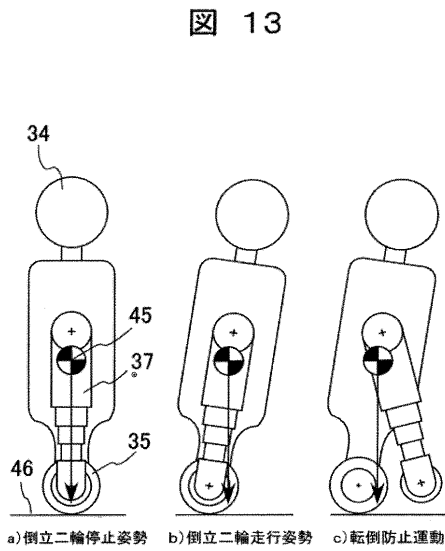
【 図 1 1 】



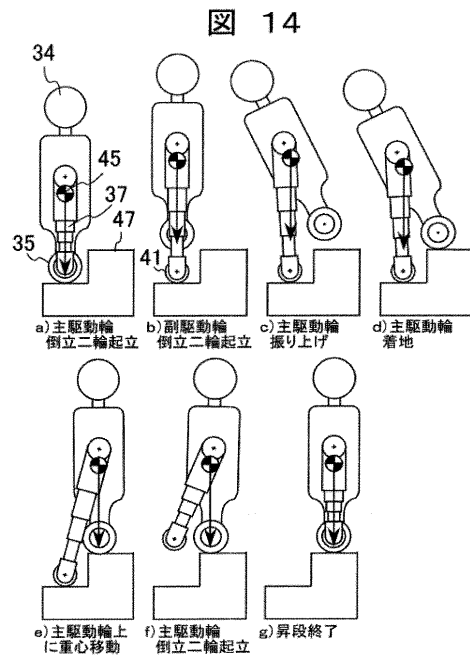
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 15 】

