

(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2009-107030

(P2009-107030A)

(43) 公開日 平成21年5月21日(2009.5.21)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 2 5 J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08	3 C 0 0 7
B 2 5 J 5/00 (2006.01)	B 2 5 J 5/00	F

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-278682 (P2007-278682)
 (22) 出願日 平成19年10月26日(2007.10.26)

(71) 出願人 899000068
 学校法人早稲田大学
 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地
 (74) 代理人 100080089
 弁理士 牛木 護
 (74) 代理人 100137800
 弁理士 吉田 正義
 (74) 代理人 100148253
 弁理士 今枝 弘充
 (74) 代理人 100148079
 弁理士 梅村 裕明
 (72) 発明者 高西 淳夫
 東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校
 法人早稲田大学 理工学術院内

最終頁に続く

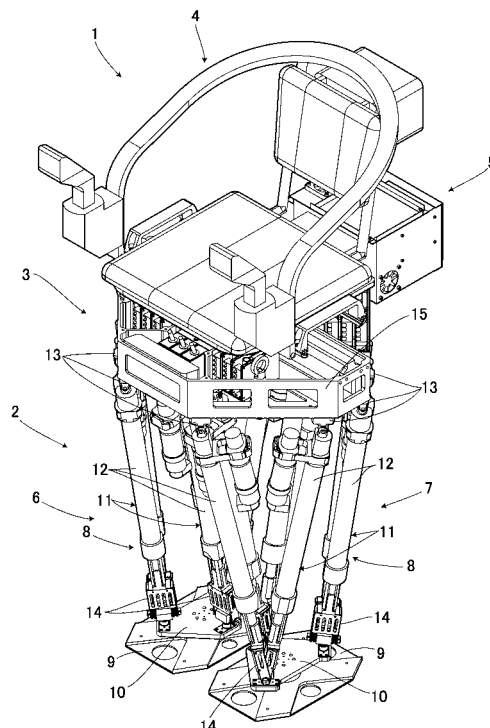
(54) 【発明の名称】 制御装置、制御方法、及び2足歩行ロボット

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】搭乗者によって加えられる外力に対応することができる制御装置、制御方法、及び2足歩行ロボットを提供する。

【解決手段】制御装置5は、腰部補償軌道算出手段に加え、設定ZMP軌道変更量算出手段と、着地位置変更量算出手段とを備えることとした。これにより、制御装置5は、設定ZMP軌道を変更すると共に、着地位置を変更することにより、腰部3の軌道の発散を遅延又は収束させることができる。従って、制御装置5は、設定ZMP軌道変更量算出手段、及び着地位置変更量算出手段のうちいずれか一方を用いる従来に比べ、大きい外乱に対応でき、安定性を向上することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

足部を有する脚部、及び腰部を有する 2 足歩行ロボットの制御装置において、
前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基いて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成手段と、
歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させるための腰部補償軌道を算出する腰部補償軌道算出手段と、
所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出手段と、
前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出手段と
を備えることを特徴とする制御装置。

10

【請求項 2】

前記足部に生じる足部反力に基づいて実測 Z M P 軌道を算出する実測 Z M P 算出手段を備え、
前記腰部補償軌道算出手段は、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P 軌道を、前記実測 Z M P 軌道から減じた Z M P 偏差に基いて、前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 1 記載の制御装置。

【請求項 3】

搭乗者が発生した力を前記腰部における座面反力として計測し、
前記外力は、前記座面反力を用いることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の制御装置。

20

【請求項 4】

前記歩行パターン生成手段は、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定し、
前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分抽出手段を備え、
前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 3 記載の制御装置。

【請求項 5】

足部を有する脚部、及び腰部を有する 2 足歩行ロボットの制御方法において、
前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基いて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成ステップと、
歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させるための腰部補償軌道を算出する腰部補償軌道算出ステップと、
所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出ステップと、
前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出ステップと
を備えることを特徴とする制御方法。

30

【請求項 6】

前記足部に生じる足部反力に基づいて実測 Z M P 軌道を算出する実測 Z M P 算出ステップを備え、
前記腰部補償軌道算出ステップは、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P 軌道を、前記実測 Z M P 軌道から減じた Z M P 偏差に基いて、腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 5 記載の制御方法。

40

【請求項 7】

搭乗者が発生した力を前記腰部における座面反力として計測し、
前記外力は、前記座面反力を用いることを特徴とする請求項 5 又は 6 記載の制御方法。

【請求項 8】

前記歩行パターン生成ステップは、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定する理論座面反力設定ステップを有し、
前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分抽出ステッ

50

ブを備え、

前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 7 記載の制御方法。

【請求項 9】

足部を有する脚部、腰部、及び制御装置を有する 2 足歩行ロボットにおいて、
前記制御装置は、

前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基づいて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成手段と、

歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させるための腰部補償軌道を算出する腰部補償軌道算出手段と、

所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出手段と、

前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出手段とを備えることを特徴とする 2 足歩行ロボット。

【請求項 10】

前記足部に足部反力センサを設け、

前記足部反力センサによって計測した足部反力に基づいて実測 Z M P を算出する実測 Z M P 算出手段を備え、

前記腰部補償軌道算出手段は、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P を、前記実測 Z M P から減じた Z M P 偏差に基づいて、腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 9 記載の 2 足歩行ロボット。

【請求項 11】

前記腰部の上部に搭乗者用シートを有し、

前記搭乗者用シートと前記腰部との間に座面反力計測センサを設け、

前記座面反力計測センサにより前記外力を計測する

ことを特徴とする請求項 9 又は 10 記載の 2 足歩行ロボット。

【請求項 12】

前記歩行パターン生成手段は、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定し、

前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分の抽出手段を備え、

前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする請求項 11 記載の 2 足歩行ロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御装置、制御方法、及び 2 足歩行ロボットに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、2 足歩行ロボットとして、例えば、パラレルリンク機構や、シリアルリンク型脚機構を用いた人間搭乗型ロボットが開示されている。パラレルリンク機構を採用した早稲田大学の W L - 1 6 R I V は軽量、かつ小型化を実現しており、積載重量比は、1 . 2 5 (最大搭乗者体重 7 5 k g 、ロボット重量 6 0 k g) である。これに対し、シリアルリンク型脚機構を採用したトヨタ自動車株式会社の i - f o o t は、0 . 3 (最大搭乗者体重 6 0 k g 、ロボット重量 2 0 0 k g) 、韓国科学技術院 (K A I S T) の H U B O は、0 . 6 7 (最大搭乗者体重 1 0 0 k g 、ロボット重量 1 5 0 k g) となっており、パラレルリンク機構の方が、シリアルリンク型脚機構に比べ、ロボットの積載重量比が高い。

【0003】

ロボットの積載重量比が高いことは、人間の住環境で稼動する 2 足歩行車椅子の実現のためには非常に優位性の高いことであるが、積載重量比が高いことはそれだけ搭乗者の運

10

20

30

40

50

動がロボットの安定性に及ぼす影響が大きくなることを意味する。

【 0 0 0 4 】

積載重量比の高い人間搭乗型 2 足歩行ロボットの安定化手法としては、ロボットの歩行中において、搭乗者がロボットの腰部の揺れによって受動的に揺動する運動を事前にモデル（受動的力学モデル）化しておき、その搭乗者の受動的運動を考慮した上で安定な歩行パターンをオフラインで生成するものが開示されている（例えば、非特許文献 1）。

【 0 0 0 5 】

ところが、この安定化手法は、人間が搭乗した状態における 2 足歩行の安定化に有効であるものの、事前に予測することができない搭乗者の運動や外力には対応することができないという欠点があった。

【 0 0 0 6 】

一方、人間搭乗型でない通常の 2 足歩行ロボットの外力に対する安定化手法としては、外力に応じて腰部を加速し、これによる腰部軌道の発散を防ぐために目標 Z M P 軌道を変更する手法が開示されている（例えば、非特許文献 2 及び 3）。

【 0 0 0 7 】

上記非特許文献 2 は、外力を腰部に取り付けた力センサで取得し、着地位置を変更することにより目標 Z M P 軌道を変更するものである。

【 0 0 0 8 】

また、上記非特許文献 3 は、実測 Z M P から仮想外力を算出し、立脚足部内で仮想的に目標 Z M P 軌道を変更するものである。

【非特許文献 1】橋本健二、菅原雄介、川瀬正幹、太田章博、田中智明、沢戸瑛昌、林昭宏、遠藤信綱、林憲玉、高西淳夫、「脚部に平行リンク機構を用いた 2 足ロボットの開発（第 1 2 報：搭乗者の力学モデルを用いた歩行パターン生成）」、日本ロボット学会第 2 4 回学術講演会予稿集、2006

【非特許文献 2】A.Takanishi, et al., A control method for dynamic biped walking under unknown external force, Proc. of the IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 795-801,1990

【非特許文献 3】長坂他、「体幹位置コンプライアンス制御を用いた人間型ロボットの歩行安定化」、日本ロボット学会第 1 7 回学術講演会予稿集、1999

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上記非特許文献 2 では、継続する外力には適応することができず、また、上記非特許文献 3 では、比較的小さな外力にしか適応できないという問題があった。また、非特許文献 2 及び 3 のいずれにおいても、外力はロボットの外部から加わる力のみを想定しており、人間搭乗型 2 足歩行ロボットにみられるような、搭乗者によって加えられる力に対して有効ではないという問題があった。

【 0 0 1 0 】

そこで本発明は上記した問題点に鑑み、搭乗者によって加えられる外力に対応することができる制御装置、制御方法、及び 2 足歩行ロボット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】

【 0 0 1 1 】

上記目的を達成するために、請求項 1 に係る発明は、足部を有する脚部、及び腰部を有する 2 足歩行ロボットの制御装置において、前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基づいて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成手段と、歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させるための腰部補償軌道を算出する腰部補償軌道算出手段と、所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出手段と、前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出手段とを備えることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

また、請求項 2 に係る発明は、前記足部に生じる足部反力に基づいて実測 Z M P 軌道を算出する実測 Z M P 算出手段を備え、前記腰部補償軌道算出手段は、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P 軌道を、前記実測 Z M P 軌道から減じた Z M P 偏差に基いて、腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

また、請求項 3 に係る発明は、搭乗者が発生した力を前記腰部における座面反力として計測し、前記外力は、前記座面反力を用いることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

また、請求項 4 に係る発明は、前記歩行パターン生成手段は、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定し、前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分抽出手段を備え、前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 5 に係る発明は、足部を有する脚部、及び腰部を有する 2 足歩行ロボットの制御方法において、前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基いて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成ステップと、歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させるための腰部補償軌道を算出する腰部補償軌道算出ステップと、所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出ステップと、前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出ステップとを備えることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

また、請求項 6 に係る発明は、前記足部に生じる足部反力に基づいて実測 Z M P 軌道を算出する実測 Z M P 算出ステップを備え、前記腰部補償軌道算出ステップは、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P 軌道を、前記実測 Z M P 軌道から減じた Z M P 偏差に基づいて、腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 7 に係る発明は、搭乗者が発生した力を前記腰部における座面反力として計測し、前記外力は、前記座面反力を用いることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、請求項 8 に係る発明は、前記歩行パターン生成ステップは、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定する理論座面反力設定ステップを有し、前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分抽出ステップを備え、前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

また、請求項 9 に係る発明は、足部を有する脚部、腰部、及び制御装置を有する 2 足歩行ロボットにおいて、前記制御装置は、前記足部の軌道と、前記腰部の軌道とを設定すると共に、前記足部の軌道と前記腰部の軌道とに基いて設定 Z M P 軌道を設定する歩行パターン生成手段と、歩行中の前記 2 足歩行ロボットに加わった外力に応じて前記腰部を加速させる腰部補償軌道を算出するための腰部補償軌道算出手段と、所定の範囲内において前記設定 Z M P 軌道を変更する設定 Z M P 軌道の変更量を算出する設定 Z M P 軌道変更量算出手段と、前記脚部が着地する位置の変更量を算出する着地位置変更量算出手段とを備えることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

また、請求項 10 に係る発明は、前記足部に足部反力センサを設け、前記足部反力センサによって計測した足部反力に基づいて実測 Z M P を算出する実測 Z M P 算出手段を備え、前記腰部補償軌道算出手段は、前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P を、前記実測 Z M P から減じた Z M P 偏差に基いて、腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

また、請求項 11 に係る発明は、前記腰部の上部に搭乗者用シートを有し、前記搭乗者用シートと前記腰部との間に座面反力計測センサを設け、前記座面反力計測センサにより前記外力を計測することを特徴とする。

【0022】

また、請求項 12 に係る発明は、前記歩行パターン生成手段は、理想的な搭乗者が前記腰部周りに発生する理論座面反力を設定し、前記座面反力から前記理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分の抽出手段を備え、前記外乱成分に基づいて前記腰部補償軌道を算出することを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

本発明の請求項 1, 5 及び 9 に記載の発明によれば、制御装置は、設定 ZMP 軌道を変更すると共に、着地位置を変更することにより、腰部の軌道の発散を遅延又は収束させることができる。従って、制御装置は、設定 ZMP 軌道変更量算出手段、及び着地位置変更量算出手段のうちいずれか一方を用いる従来に比べ、大きい外乱に対応でき、安定性を向上することができる。

【0024】

また、請求項 2, 6 及び 10 に記載の発明によれば、搭乗者の運動による外乱以外の外乱、すなわち、路面の細かな凹凸やロボット各部のたわみなどのモデル誤差による不安定性に関しても補償できるので、安定性をより向上することができる。

【0025】

また、請求項 3, 7 及び 11 に記載の発明によれば、搭乗者用シートに着座した搭乗者が発生する外力と、その他の外力とを分離して測定することができるので、フィードバック量を減らすことができ、より安定性を向上することができる。

【0026】

また、請求項 4, 8 及び 12 に記載の発明によれば、さらにフィードバック量を減らすことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。

1. 全体構成

(1) ロボットの構成

図 1 に示す 2 足歩行ロボット 1 は、脚部 2、腰部 3、前記腰部 3 の上部に設けられた搭乗者用シート 4、及び制御装置 5 を備え、前記搭乗者用シート 4 に搭乗したユーザ（以下、搭乗者という）が想定外の外力を発生した場合でも、前記制御装置 5 で前記脚部 2 の動作を制御することにより、安定的に 2 足歩行し得るように構成されている。

【0028】

脚部 2 は、脚部としての右足ユニット 6 及び左足ユニット 7 からなる。右足ユニット 6 及び左足ユニット 7 は、それぞれ、脚機構 8、足部としての足底部 9、及び固定板 10 を有し、左右対称に構成されている。

【0029】

脚機構 8 は、3 組の脚構成部 11 を有する。3 組の脚構成部 11 は、平面視三角形の頂点に上端及び下端をそれぞれ配設するように設けられている。脚構成部 11 は、2 本の直動リンク 12 と、該直動リンク 12 の両端にそれぞれ設けられたベース部側受動ジョイント 13（本実施形態では合計 12 個）及び足底側受動ジョイント 14（本実施形態では合計 6 個）とにより構成されている。この脚構成部 11 は、2 本の直動リンク 12 を V 字状に配置し、上端が 2 つのベース部側受動ジョイント 13 を介してそれぞれ腰部 3 に連結されている。一方、脚構成部 11 は、2 本の直動リンク 12 の下端を 1 つの足底側受動ジョイント 14 に連結した上で、固定板 10 に連結されている。

【0030】

ベース部側受動ジョイント 13 と、足底側受動ジョイント 14 とは、ボールジョイントとユ

10

20

30

40

50

ニバーサルジョイントとを有する。このようにして、脚機構 8 は、パラレルリンク機構の一種であるスチュアートプラットフォームにより構成されている。

【 0 0 3 1 】

直動リンク12は、送り螺子機構からなり、特に図示しないが、主にアウトチューブ、該アウトチューブ内を進退可能に設けられたインナーロッド、及び、長手方向軸を中心として前記インナーロッドを回転させるモータで構成され、インナーロッドの外形に形成された雄ネジがインナーロッドの内周に形成された雌ネジに対し螺合されている。また、このモータは後述するモータドライバにより制御される。尚、直動リンク12は特に限定されるものではなく、油圧、水圧、及び空気圧などを用いたシリンダや直動型アクチュエータを有する機構としてもよい。

10

【 0 0 3 2 】

腰部 3 は、ベース部15を備え、前記ベース部側受動ジョイント13、搭乗者用シート 4、及びバッテリーなどを搭載し得るように構成されている。腰部 3 の背面側には制御装置 5 が取り付けられている。

【 0 0 3 3 】

制御装置 5 は、図示しないが、内部のメモリに予め記憶している動作制御プログラムなどの各種プログラムに従って各種処理を実行する。そして、制御装置 5 は、電源スイッチがオンされるなどによって電源が投入されると、メモリから基本プログラム等の各種プログラムを適宜読み出して展開することにより、これら各種プログラムによって 2 足歩行ロボット 1 全体を統括的に制御し、各種機能、例えば外乱補償制御処理を実現し得るように構成されている。

20

【 0 0 3 4 】

図 2 に示すように、腰部 3 と搭乗者用シート 4 の間には、座面反力計測センサ20が設けられている。また、足底部 9 と固定板10との間には、足部反力計測センサ21が設けられている。座面反力計測センサ20は、図 3 に示すように、6 軸力覚センサであって、各軸方向の力 3 成分と各軸周りのモーメント 3 成分を同時に且つ逐次連続的に高精度で検出することができる。

【 0 0 3 5 】

尚、所定の範囲としての支持多角形とは、路面と 2 足歩行ロボット 1 とが接地している部分である固定板10を凹にならないように囲んで形成される面積最大の凸多角形をいう。

30

【 0 0 3 6 】

また、2 足歩行ロボットが歩行中に安定な支持状態を維持するために必要な条件を考えた場合、2 足歩行ロボットが安定な支持状態を保てなくなる、つまり転倒するということは、足底部と路面との接点（3 点以上）が形成する支持多角形のある辺または点を通る路面上の直線を軸に回転運動をしていると考えられる。すなわち、支持多角形から見て外向きのモーメントが作用していると考えられる。逆に言えば、支持多角形上の全ての辺および点のまわりに外向きのモーメントが発生せず、内向きのモーメントのみ発生していれば、2 足歩行ロボットは安定な支持状態を維持できる。このときの 2 足歩行ロボットの支持状態を考えると、足底の接地点が浮かないため、全ての接地点において 2 足歩行ロボットから路面に作用する重力および慣性力による力は路面を押す向きであり、これらの合力が作用する点は足底の支持多角形内になければならない。この点回りの合力によるモーメントは明らかにゼロであり、この点を Z M P (Zero Moment Point、ゼロモーメントポイント)と呼ぶ。

40

【 0 0 3 7 】

(2) システム構成

次に、制御装置 5 のシステム構成について、図 4 を参照して説明する。図 4 に示す制御装置 5 は、歩行パターン生成手段25、外乱成分抽出手段26、実測 Z M P 算出手段27、腰部補償軌道算出手段28、設定 Z M P 軌道変更量算出手段29、着地位置変更量算出手段30、足部軌道生成手段31、座標変換手段32及び逆運動学演算手段33からなり、座面反力計測センサ20及び足部反力センサ21から計測値が入力され得るように接続されていると共に、上述

50

したモータドライバ34へ駆動信号を出力し得るように構成されている。

【0038】

制御装置5は、2足歩行ロボット1の右足ユニット6及び左足ユニット7に対する上述した一連の動作制御処理(図示しない)を内部のメモリに予め記憶している動作制御プログラムに従って実行する。

【0039】

まず、制御装置5は、例えば、右足ユニット6を動作させる場合、予め歩行パターン生成手段25で設定された足部設定パターン軌道(${}^mX_{pf}$)に基いて、足部軌道生成手段31により足部出力軌道(mX_f)を算出して、算出した足部出力軌道(mX_f)信号を座標変換手段32を介して逆運動学演算手段33に出力する。そうすると、制御装置5は、逆運動学演算手段33において、右足ユニット6の逆運動学を計算し、各リンク長さ(I_{final})を算出する。そして制御装置5は算出された各リンク長さ(I_{final})に対応して図示しないモータの出力軸を回転させるための例えば電圧値でなる駆動信号を生成すると共に、モータドライバ34へ出力する。これによりモータドライバ34は、駆動信号に基づいて、各直動リンク12のモータを駆動させることにより、アウトチューブに対しインナーロッドを進退させ、直動リンク12を伸縮させる。

【0040】

直動リンク12と腰部3または足底部9との連結部分に配設されているベース部側受動ジョイント13、及び、足部側受動ジョイントは、直動リンク12の伸縮に追従してこれを妨げることなく円滑に従動する。直動リンク12は、モータの駆動が図示しないロータリーエンコーダ等の検出器により検出され、取得された検出値は角度信号としてフィードバックされることにより、フィードバック制御される。これにより、右足ユニット6は、一歩踏み出す動作や、その場で足踏みする動作等を行うことができる。さらに、このような右足ユニット6と同様の動作を左足ユニット7に行わせ、交互に連続して行わせることにより、歩行動作を行うことができる。

【0041】

また、本発明に係る制御装置では、腰部補償軌道算出手段28、設定ZMP軌道変更量算出手段29、及び、着地位置変更量算出手段30によって算出した着地位置変更量(${}^mX_{lp}$)に基づいて、足部軌道生成手段31において足部出力軌道(mX_f)を算出することにより、搭乗者用シートに搭乗した搭乗者が発生した外力に対応し得るように構成されている。以下、各手段について詳細に説明する。尚、前記座標変換手段32及び逆運動学演算手段33については、既に公知の技術(例えば、特開2006-82155号公報参照)であり、特に限定されるものではないので、簡単のため説明を省略する。

【0042】

(a) 歩行パターン生成手段

まず、歩行パターン生成手段25について説明する。歩行パターン生成手段25は、足部設定パターン軌道(${}^mX_{pf}$)、腰部設定パターン軌道(${}^mX_{pw}$)、設定ZMP軌道(${}^mX_{pzmp}$)、搭乗者が座面反力計測センサ20周りに発生する理論的な外乱成分としての理論外力(${}^mF_{th}$)、及び搭乗者が座面反力計測センサ20周りに発生する理論的な外乱成分としての理論モーメント(${}^mM_{th}$)を算出し、足部設定パターン軌道(${}^mX_{pf}$)に対応した足部設定パターン信号、腰部設定パターン軌道(${}^mX_{pw}$)に対応した腰部設定パターン信号、設定ZMP軌道(${}^mX_{pzmp}$)に対応した設定ZMP信号、理論外力(${}^mF_{th}$)に対応した理論外力信号、及び、理論モーメント(${}^mM_{th}$)に対応した理論モーメント信号を生成し出力する。

【0043】

尚、ここで、理論的な外乱成分としての理論外力(${}^mF_{th}$)及び理論モーメント(${}^mM_{th}$)とは、理想的な搭乗者を想定し、この理想的な搭乗者が二足歩行ロボット1の腰部3周りに発生する外力を計算によって予め設定した理論値をいう。また、理想的な搭乗者とは、この場合、ロボットの揺れに体をまかせてシートに自然に着座している搭乗者のことをいう。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

(b) 外乱成分抽出手段

次に、外乱成分抽出手段26について説明する。外乱成分抽出手段26は、座面反力計測センサ20で搭乗者が発生する外力を検出した検出値としての実測外力 (${}^w F_{w r e a l}$)、及び、上記外力の実測モーメント (${}^w M_{w r e a l}$) を得る。そして、外乱成分抽出手段26は、実測外力 (${}^w F_{w r e a l}$) から理論外力 (${}^m F_{t h}$)、及び、上記外力の実測モーメント (${}^w M_{w r e a l}$) から理論モーメント (${}^m M_{t h}$) をそれぞれ差し引いて、搭乗者が発生する実質外力 (${}^m F_{e x}$)、及び搭乗者が発生する実質モーメント (${}^m M_{e x}$) を算出する。このようにして、搭乗者が発生した外力から、理想的な搭乗者が二足歩行ロボット1の腰部3周りに発生する外力を減算することにより、想定外の外力としての実質外力 (${}^m F_{e x}$)、及び実質モーメント (${}^m M_{e x}$) を抽出する。そして、この実質外力 (${}^m F_{e x}$)、及び実質モーメント (${}^m M_{e x}$) に基づいて腰部補償軌道 (${}^m X_w$) を算出することにより、全体としての制御量を減らすことができる。さらに、外乱成分抽出手段26は、外乱成分としての実質外力 (${}^m F_{e x}$) に対応した実質外力信号、及び、外乱成分としての実質モーメント (${}^m M_{e x}$) に対応した実質モーメント信号を生成し、腰部補償軌道算出手段28に出力する。

10

【 0 0 4 5 】

(c) 実測 Z M P 算出手段

次に、実測 Z M P 算出手段27について説明する。実測 Z M P 算出手段27は、足部反力計測センサ21で計測した力 (${}^w F_{f r e a l}$)、及び足部反力計測センサ21で計測した力のモーメント (${}^w M_{f r e a l}$) から、実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{a z m p}$) を算出し、実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{a z m p}$) に対応した実測 Z M P 信号を生成し出力する。

20

【 0 0 4 6 】

(d) 腰部補償軌道算出手段

次に、腰部補償軌道算出手段28について説明する。予め、制御装置5は、実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{a z m p}$) に対応した実測 Z M P 信号から、目標 Z M P 軌道 (${}^m X_{v z m p}$) に対応した目標 Z M P 信号を差し引いて Z M P 偏差信号を得て、Z M P 偏差信号を腰部補償軌道算出手段28に入力する。腰部補償軌道算出手段28は、さらに、実質外力信号、実質モーメント信号、目標 Z M P 信号、足部出力信号を受け取り、Z M P 偏差 (${}^m X_{a z m p} - {}^m X_{v z m p}$)、実質外力 (${}^m F_{e x}$)、実質モーメント (${}^m M_{e x}$)、足部出力軌道 (${}^m X_f$)、及び目標 Z M P 軌道 (${}^m X_{v z m p}$) から、腰部補償軌道 (${}^m X_w$) を求める。

30

【 0 0 4 7 】

尚、ここで、目標 Z M P 軌道 (${}^m X_{v z m p}$) とは、設定 Z M P 軌道 (${}^m X_{p z m p}$) から、後述する設定 Z M P 軌道変更量 (${}^m X_{z m p}$) を加算して得た、変更した後の設定 Z M P 軌道をいう。

【 0 0 4 8 】

歩行中、2足歩行ロボット1に外力Fが加わった場合(図5(A))、ロボットの転倒を防ぐため、実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{a z m p}$) を変更した後の設定 Z M P 軌道 (${}^m X_{v z m p}$) に一致させるように腰部3を加速させる必要がある(図5(B))。この腰部3を加速させる場合の腰部補償軌道 (${}^m X_w$) の算出には、搭乗者も含めた腰部質点が、腰部3の重心の一質点に集中し、2足歩行ロボット1全体として、両足底部9の2点を含む三質点近似モデルを用いる。このモデルの Z M P 周りのモーメントのつりあい式は、数1となる。尚、2足歩行ロボット1に対する外力は、座面反力計測センサ20及び足部反力計測センサ21により検知するので、外乱入力点もこの場合、座面反力計測センサ20及び足部反力計測センサ21の配置点のみとする。

40

【 0 0 4 9 】

【数 1】

$$\sum_i^{All\ Particles} m_i (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_{vzmp}) \times (\ddot{\mathbf{x}}_i + \mathbf{G}) - (\mathbf{x}_s - \mathbf{x}_{vzmp}) \times \mathbf{F}_{ex} + \mathbf{M}_{ex} + \mathbf{T}_0 = \mathbf{0}$$

この数 1 を運動座標系について考えると、数 2 のようになる。尚、運動座標系の原点は、歩行パターンの腰部原点と同じ軌道をとる。

【0 0 5 0】

【数 2】

10

$$\sum_i^{All\ Particles} m_i ({}^m\mathbf{x}_i - {}^m\mathbf{x}_{vzmp}) \times ({}^m\ddot{\mathbf{x}}_i + \ddot{\mathbf{x}}_q + {}^m\mathbf{G}) - ({}^m\mathbf{x}_s - {}^m\mathbf{x}_{vzmp}) \times {}^m\mathbf{F}_{ex} + {}^m\mathbf{M}_{ex} + {}^m\mathbf{T}_0 = \mathbf{0}$$

但し、運動座標系の回転は考慮しないものとし、簡単のため、X 軸方向の運動のみ記載することとする。

【0 0 5 1】

腰部 3 の加速度を左辺に、それ以外を右辺にまとめると、数 3 となる。数 3 中の B は、下肢質点が設定 Z M P 周りに発生するモーメント、C は外乱が設定 Z M P 周りに発生するモーメントを表す。この数 3 を 4 次のルンゲクッタ法を用いて解き、次制御周期における腰部補償軌道 (${}^m X_w$) を算出する。

20

【0 0 5 2】

【数 3】

$$\begin{aligned} {}^m\ddot{x}_w &= -\ddot{x}_q + \frac{1}{A} \left\{ m_w ({}^m x_w - {}^m x_{vzmp}) {}^m g_z - B + C \right\} \\ A &= m_w ({}^m z_w - {}^m z_{vzmp}) \\ B &= \sum_i^{All\ Foot} m_i \{ ({}^m z_i - {}^m z_{vzmp}) ({}^m \ddot{x}_i + \ddot{x}_q) \\ &\quad - ({}^m x_i - {}^m x_{vzmp}) ({}^m \ddot{z}_i + {}^m g_z) \} \\ C &= ({}^m z_s - {}^m z_{vzmp}) {}^m F_x - ({}^m x_s - {}^m x_{vzmp}) {}^m F_z + {}^m M_y \end{aligned}$$

30

さらに、歩行安定性を向上するため、腰部補償軌道 (${}^m X_w$) を算出する数 3 に実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{aZMP}$) のフィードバックを追加することとした。実際には、数 4 のように修正し、実測 Z M P 軌道 (${}^m X_{aZMP}$) から目標 Z M P 軌道 (${}^m X_{vZMP}$) を差し引いた Z M P 偏差 (${}^m X_{aZMP} - {}^m X_{vZMP}$) にゲインをかけたものを数 3 に追加した。

【0 0 5 3】

【数 4】

$$\begin{aligned} {}^m\ddot{x}_w &= -\ddot{x}_q + \frac{1}{A} \left\{ m_w ({}^m x_w - {}^m x_{vZMP}) - B + C \right\} \\ &\quad + K_p ({}^m x_{aZMP} - {}^m x_{vZMP}) \end{aligned}$$

40

【0 0 5 4】

(e) 設定 Z M P 軌道変更量算出手段

次に、設定 Z M P 軌道変更量算出手段 29 について説明する。設定 Z M P 軌道変更量算出手段 29 は、腰部補償軌道 (${}^m X_w$) に対応した腰部補償信号から、腰部設定パターン軌道 (${}^m X_{pw}$) に対応した腰部設定パターン信号を差し引いた偏差信号を受け取り、設定 Z M P 軌道変更量 (${}^m X_{ZMP}$) を求める。

【0 0 5 5】

50

設定 Z M P 軌道変更量 (${}^m X_{ZMP}$) は、数 5 を用いて求める。変更された設定 Z M P 周りに補償軌道を生成することで、腰軌道の発散を遅延又は収束させることができる (図 5 (C))。

【 0 0 5 6 】

【 数 5 】

$$\begin{aligned} {}^m \Delta x_{ZMP} &= K_p {}^m \Delta x_w + K_v {}^m \Delta \dot{x}_w \\ {}^m x_{vZMP} &= {}^m x_{pZMP} + {}^m \Delta x_{ZMP} \left(\left| {}^m \Delta x_{ZMP} \right| \leq Limit \right) \end{aligned}$$

但し、設定パターンにおける設定 Z M P は、支持多角形のほぼ中央に位置するようになっており、設定 Z M P の変更量には制限を設けた。本実施形態では、X 方向は 0 . 0 4 m、Y 方向は 0 . 0 3 m を変更量の最大値とした。

【 0 0 5 7 】

(f) 着地位置変更量算出手段

次に、着地位置変更量算出手段 30 について説明する。着地位置変更量算出手段 30 は、腰部補償軌道 (${}^m X_w$) に対応した腰部補償信号から、腰部設定パターン軌道 (${}^m X_{pw}$) に対応した腰部設定パターン信号を差し引いた偏差信号と、設定 Z M P 軌道変更量 (${}^m X_{ZMP}$) に対応した設定 Z M P 軌道変更信号とを受け取り、前記偏差信号に対応した偏差と、設定 Z M P 軌道変更量 (${}^m X_{ZMP}$) とにより、着地位置変更量 (${}^m X_{lp}$) を算出し、着地位置変更量 (${}^m X_{lp}$) に対応した着地位置変更信号を生成し出力する。

【 0 0 5 8 】

着地位置変更量 (${}^m X_{lp}$) は、設定 Z M P 軌道の変更によってもなお腰部軌道を収束できない場合、着地位置を変更することにより、設定 Z M P を変更できる範囲を発散していく方向に広げることができる。着地位置変更量 (${}^m X_{lp}$) の算出には、腰部質点が、腰部 3 の重心の一質点に集中した一質点近似モデルを用いる。このモデルにおける設定 Z M P 周りのモーメントのつり合い式は、数 6 となる。

【 0 0 5 9 】

【 数 6 】

$$\begin{aligned} m_w \left({}^m z_w - {}^m z_{vzmp} \right) \left({}^m \ddot{x}_w + \ddot{x}_q \right) \\ - m_w \left({}^m x_w - {}^m x_{vzmp} \right) {}^m g_z = 0 \end{aligned}$$

30

また、補償軌道の生成により、時刻 T_0 における設定パターンからの腰部偏差を (${}^m X_w$)、設定 Z M P 軌道変更量を (${}^m X_{ZMP}$) とすると、数 7 の偏差に関する微分方程式を得る。

【 0 0 6 0 】

【 数 7 】

$$\begin{aligned} m_w \left({}^m z_w - {}^m z_{vzmp} \right) {}^m \Delta \ddot{x}_w \\ - m_w \left({}^m \Delta x_w - {}^m \Delta x_{vzmp} \right) {}^m g_z = 0 \end{aligned}$$

40

この微分方程式は数 8 のように表すことができる。尚、この解は t 秒後の腰部偏差を表す。

【 0 0 6 1 】

【数 8】

$$\begin{aligned}
{}^m\Delta x_w &= \frac{A(X_0 - R_{p0}) + \dot{X}_0}{2A} e^{At} + \frac{A(X_0 - R_{p0}) - \dot{X}_0}{2A} e^{-At} + R_{p0} \\
{}^m\Delta \dot{x}_w &= \frac{A(X_0 - R_{p0}) + \dot{X}_0}{2} e^{At} - \frac{A(X_0 - R_{p0}) - \dot{X}_0}{2} e^{-At} \\
A^2 &= \frac{{}^m g_z}{{}^m z_w - {}^m z_{vzmp}}, \quad X_0 = {}^m\Delta x_w \Big|_{t=t_0}, \\
\dot{X}_0 &= {}^m\Delta \dot{x}_w \Big|_{t=t_0}, \quad R_{p0} = {}^m\Delta x_{vzmp} \Big|_{t=t_0}
\end{aligned}$$

10

このようにして数 8 を T_0 から数えて三步目で腰部偏差（位置・速度）が 0 となるように境界値問題として解き、次の一步の着地位置変更量を求める。すなわち、着地位置を前方へずらすなどして制御量を収束させる（図 5（D））。

【0062】

（g）足部軌道生成手段

次に、足部軌道生成手段31について説明する。足部軌道生成手段31は、着地位置変更量（ ${}^m X_{1p}$ ）に対応した着地位置変更信号と、足部設定パターン軌道（ ${}^m X_{pf}$ ）に対応した足部設定パターン信号を受け取り、着地位置変更量（ ${}^m X_{1p}$ ）と足部設定パターン軌道（ ${}^m X_{pf}$ ）とにより、足部出力軌道（ ${}^m X_f$ ）算出し、足部出力軌道（ ${}^m X_f$ ）に対応した足部出力信号を生成し出力する。

20

【0063】

足部軌道生成手段31は、着地位置変更量（ ${}^m X_{1p}$ ）の算出を受けて足部軌道の生成を行う。本実施形態では、Z軸の軌道は設定パターンを用いており、X軸及びY軸についてのみ、毎制御周期5次関数補間を用いて、足部出力軌道（ ${}^m X_f$ ）を算出し、足部出力軌道（ ${}^m X_f$ ）に対応した足部出力信号を生成して座標変換手段32に出力している。尚、上記した式に使用された記号の説明を数 9 に示す。

【0064】

【数 9】

${}^m\mathbf{x}_{pw} = [{}^m x_{pw}, {}^m y_{pw}, {}^m z_{pw}]^T$	腰部設定パターン軌道
${}^m\mathbf{x}_w = [{}^m x_w, {}^m y_w, {}^m z_w]^T$	腰部補償軌道
${}^m\mathbf{x}_{pZMP} = [{}^m x_{pzmp}, {}^m y_{pzmp}, {}^m z_{pzmp}]^T$	設定ZMP軌道
${}^m\Delta\mathbf{x}_{ZMP} = [{}^m \Delta x_{zmp}, {}^m \Delta y_{zmp}, {}^m \Delta z_{zmp}]^T$	設定ZMP軌道変更量
${}^m\mathbf{x}_{vZMP} = [{}^m x_{vzmp}, {}^m y_{vzmp}, {}^m z_{vzmp}]^T$	目標ZMP軌道
${}^m\mathbf{x}_{aZMP} = [{}^m x_{azmp}, {}^m y_{azmp}, {}^m z_{azmp}]^T$	実測ZMP軌道
${}^m\mathbf{x}_{pf} = [{}^m x_{pf}, {}^m y_{pf}, {}^m z_{pf}]^T$	足部設定パターン軌道
${}^m\mathbf{x}_f = [{}^m x_f, {}^m y_f, {}^m z_f]^T$	足部出力軌道
${}^m\Delta\mathbf{x}_p = [{}^m \Delta x_p, {}^m \Delta y_p, {}^m \Delta z_p]^T$	着地位置変更量
${}^m\mathbf{x}_s = [{}^m x_s, {}^m y_s, {}^m z_s]^T$	6軸力覚センサの位置ベクトル

10

${}^{ws}\mathbf{F}_{wreal} = [{}^{ws} F_{wreal_x}, {}^{ws} F_{wreal_y}, {}^{ws} F_{wreal_z}]^T$	座面反力計測センサで測定される実測外力
${}^{ws}\mathbf{M}_{wreal} = [{}^{ws} M_{wreal_x}, {}^{ws} M_{wreal_y}, {}^{ws} M_{wreal_z}]^T$	座面反力計測センサで測定される実測モーメント
${}^{ws}\mathbf{F}_{freal} = [{}^{ws} F_{freal_x}, {}^{ws} F_{freal_y}, {}^{ws} F_{freal_z}]^T$	足部反力計測センサで測定される力
${}^{ws}\mathbf{M}_{freal} = [{}^{ws} M_{freal_x}, {}^{ws} M_{freal_y}, {}^{ws} M_{freal_z}]^T$	足部反力計測センサで測定されるモーメント
${}^m\mathbf{F}_{th} = [{}^m F_{th_x}, {}^m F_{th_y}, {}^m F_{th_z}]^T$	搭乗者が座面反力計測センサ周りに発生する理論的な外乱成分としての理論力
${}^m\mathbf{M}_{th} = [{}^m M_{th_x}, {}^m M_{th_y}, {}^m M_{th_z}]^T$	搭乗者が座面反力計測センサ周りに発生する理論的な外乱成分としての理論モーメント
${}^m\mathbf{F}_{ex} = [{}^m F_x, {}^m F_y, {}^m F_z]^T$	搭乗者が発生する実質外力
${}^m\mathbf{M}_{ex} = [{}^m M_x, {}^m M_y, {}^m M_z]^T$	搭乗者が発生する実質モーメント
$\mathbf{x}_q = [x_q, y_q, z_q]^T$	絶対座標系から見た原点が腰部付近を移動する運動座標系の原点の位置ベクトル
$\mathbf{G} = [0, 0, g_z]^T$	重力加速度
\mathbf{l}_{final}	各リンク長

20

30

\sum	:絶対座標系
\sum_m	:原点が腰部付近を移動する運動座標系
\sum_{ws}	:原点が腰部に固定された運動座標系

40

【0 0 6 5】

2. 動作及び作用

次に、外乱補償制御処理手順について説明する。尚、以下の説明において、i は、相数であり、j は、補間点である。

【0 0 6 6】

制御装置 5 は、動作制御処理を開始すると、図 6 に示す外乱補償制御手順 R T 1 を開始する。制御装置 5 は、この外乱補償制御手順 R T 1 を開始すると、ステップ S P 1 において、i が全相数より小さいか否かを判別する。このステップ S P 1 において肯定結果が得

50

られると、次のステップ S P 2 に移る。ステップ S P 2 において制御コンピュータは、j が補間点数より小さいか否かを判別する。このステップ S P 2 において肯定結果が得られると、次のステップ S P 3 に移る。ステップ S P 3 において制御装置 5 は、設定 Z M P 軌道変更量算出処理を実行して、次のステップ S P 4 へ移る。ステップ S P 4 において制御装置 5 は、外乱成分抽出処理を実行して、次のステップ S P 5 へ移る。ステップ S P 5 において制御装置 5 は、腰部補償軌道算出処理を実行して、次のステップ S P 6 へ移る。ステップ S P 6 において制御装置 5 は、着地位置変更量算出処理を実行して、次のステップ S P 7 へ移る。ステップ S P 7 において制御装置 5 は、足部軌道生成処理を実行して、次のステップ S P 8 へ移る。このステップ S P 8 を終了した段階で、制御装置 5 は、上記ステップ S P 3 ~ ステップ S P 6 までの処理によって算出した制御量としての着地位置変更量 (${}^m X_{1p}$) を、足部出力軌道 (${}^m X_f$) に反映させることにより、上記動作制御処理にフィードバックさせることができる。

【 0 0 6 7 】

ステップ S P 8 において制御装置 5 は、j を 1 だけ増加させてステップ S P 2 へ戻る。ステップ S P 2 で否定結果がえられると、このことはステップ S P 3 ~ ステップ S P 8 を補間点数繰り返したことを表し、ステップ S P 9 へ移る。ステップ 9 において制御装置 5 は、i を 1 だけ増加させてステップ S P 1 へ戻る。制御装置 5 は、ステップ S P 1 において否定結果が得られると、このことは全相数分だけ外乱補償制御処理を終了したことを表している。従って、制御装置 5 はステップ S P 10 に移って、かかる外乱補償制御手順 R T 1 を終了する。

【 0 0 6 8 】

制御装置 5 は、歩行中に 2 足歩行ロボット 1 に外乱が加わった場合、転倒を防止するため、腰部補償軌道算出手段 28 により算出した腰部補償軌道変更量に基づき 2 足歩行ロボット 1 の腰部 3 を加速させる。

【 0 0 6 9 】

因みに、腰部補償軌道算出手段 28 で求まる解は、初期値問題の解となるので、必ず発散解となるので、2 足歩行ロボットの制御量は、そのままでは発散してしまうこととなる。

【 0 0 7 0 】

これに対し、本願発明に係る制御装置 5 は、腰部補償軌道算出手段 28 に加え、設定 Z M P 軌道変更量算出手段 29 と、着地位置変更量算出手段 30 とを備えることとした。これにより、制御装置 5 は、設定 Z M P 軌道を変更すると共に、着地位置を変更することにより、腰部 3 の軌道の発散を遅延又は収束させることができる。従って、制御装置 5 は、設定 Z M P 軌道変更量算出手段 29、及び着地位置変更量算出手段 30 のうちいずれか一方を用いる従来に比べ、大きい外乱に対応でき、安定性を向上することができる。

【 0 0 7 1 】

また、制御装置 5 は、前記脚部 2 に生じる足部反力に基いて実測 Z M P 軌道を算出する実測 Z M P 算出手段 27 を備え、前記腰部補償軌道算出手段 28 は、前記実測 Z M P 軌道から前記設定 Z M P 軌道を変更した目標 Z M P 軌道を減じた Z M P 偏差に基いて、腰部補償軌道を算出する。これにより、制御装置 5 は、搭乗者の運動による外乱以外の外乱、すなわち、路面の細かな凹凸やロボット各部のたわみなどのモデル誤差による不安定性に関して補償できるので、安定性をより向上することができる。

【 0 0 7 2 】

さらに、制御装置 5 は、前記外力として前記 2 足歩行ロボット 1 の前記腰部 3 における座面反力を用いる。これにより、搭乗者用シート 4 に着座した搭乗者が発生する外力と、その他の外力とを分離して測定することができるので、フィードバック量を減らすことができ、より安定性を向上することができる。

【 0 0 7 3 】

また、制御装置 5 は、前記歩行パターン生成手段 25 は、搭乗者が理論どおりにふるまった場合の理論座面反力を設定する理論座面反力設定手段を有し、前記外力から前記理論座面反力設定手段によって算出した理論座面反力を減じて、外乱成分を抽出する外乱成分抽

出手段26を備える。これにより、制御装置5は、さらにフィードバック量を減らすことができる。尚、理論座面反力の算出に用いるモデルには、上記従来技術の欄で説明した搭乗者の受動的力学モデルを用いることにより、より精度の高い理論座面反力を計算することができる。

【0074】

本発明は、本実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能である。例えば、上記2足歩行ロボット1は、腰部3に搭乗者用シート4を備えた人間搭乗型の2足方向ロボットについて説明したが、本発明はこれに限らず、搭乗者用シート4を備えていない、例えば、荷物搭載型2足歩行ロボット1に適用することもできる。

10

【産業上の利用可能性】

【0075】

本発明は、上述したように搭乗者による外乱を補償する制御を実現することができるので、より安定性の高い人間搭乗型2足歩行ロボット1を提供することができる。これにより階段を昇降することができる2足歩行型車椅子など有用なデバイスを実現できる。

【0076】

また、本発明の一部は通常の人間型2足歩行ロボット1の安定化にも有効であり、その場合にもより安定的に2足歩行させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0077】

20

【図1】本実施形態に係る2足歩行ロボットを示す全体斜視図である。

【図2】同上、(A)正面図、(B)側面図である。

【図3】同上、搭乗者用シートを取り外した状態を示す斜視図である。

【図4】同上、制御装置のシステム構成を示すブロック図である。

【図5】同上、2足歩行ロボットの動作を段階的に示す図であり、(A)外力が加わった状態、(B)腰部補償軌道を変更して腰部を加速させた状態、(B)設定ZMP軌道を変更した状態、(D)着地位置を変更した状態を示す図である。

【図6】同上、外乱補償制御の処理手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

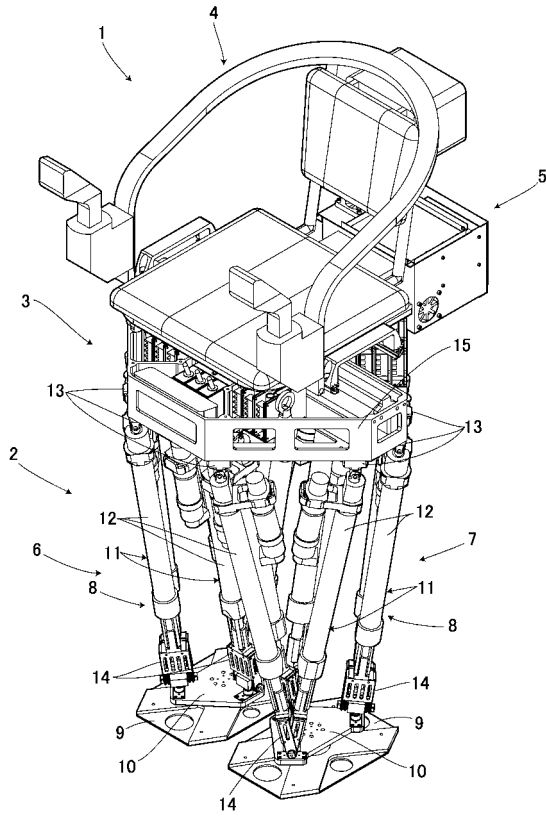
【0078】

30

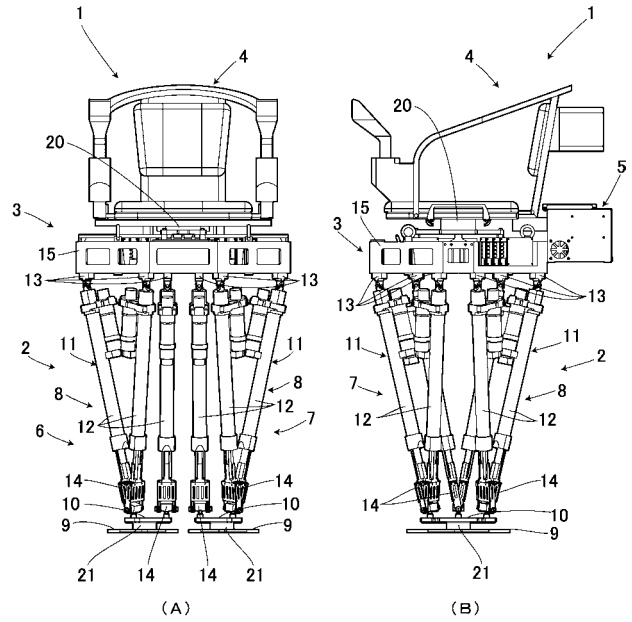
- 1 2足歩行ロボット
- 2 脚部
- 3 腰部
- 4 搭乗者用シート
- 5 制御装置
- 9 足底部(足部)
- 20 座面反力計測センサ
- 21 足部反力計測センサ
- 25 歩行パターン制御手段
- 26 外乱成分抽出手段
- 27 実測ZMP算出手段
- 28 腰部補償軌道算出手段
- 29 設定ZMP軌道変更量算出手段
- 30 着地位置変更量算出手段
- 31 足部軌道生成手段

40

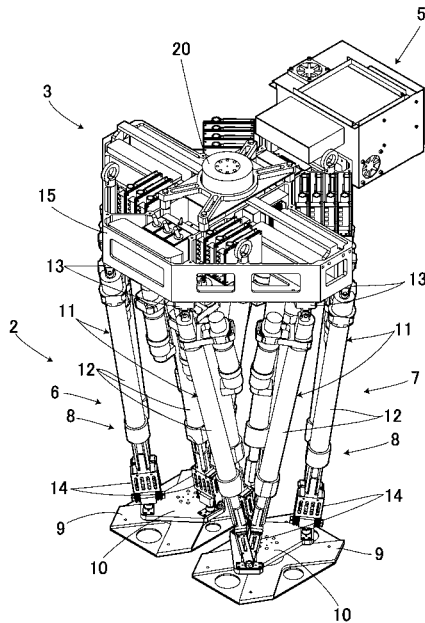
【図 1】



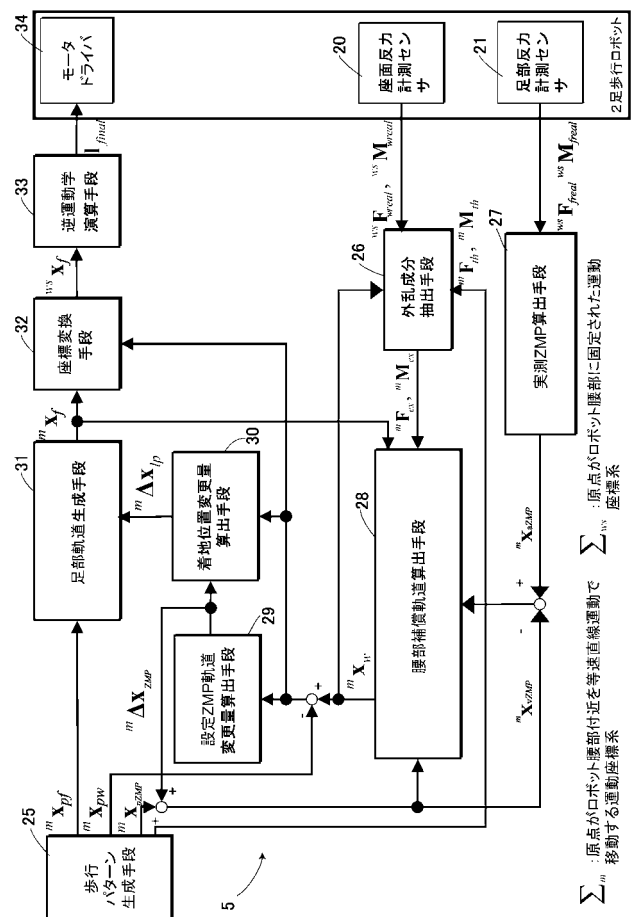
【図 2】



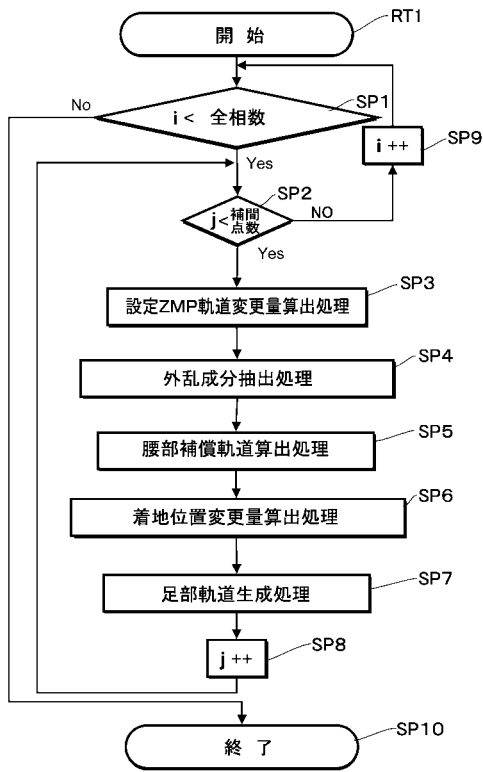
【図 3】



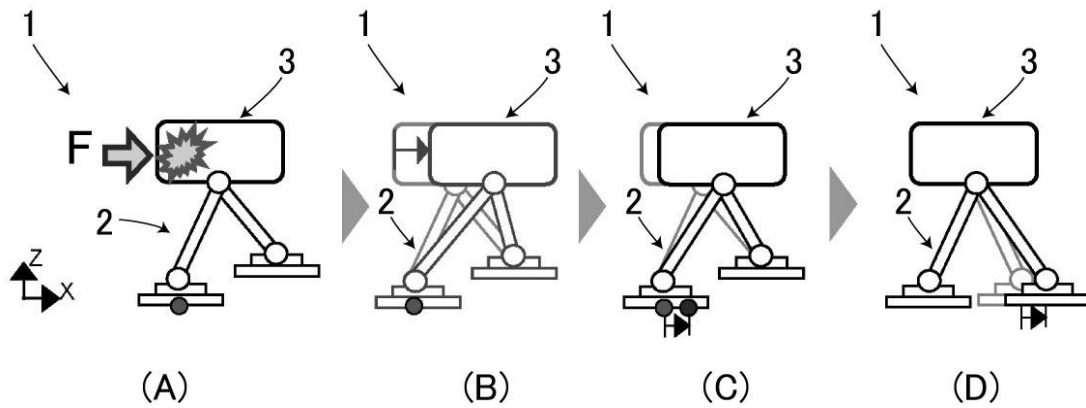
【図 4】



【 図 6 】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 田中 智明
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 橋本 健二
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 菅原 雄介
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 太田 章博
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 服部 賢太郎
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 沢戸 瑛昌
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- (72)発明者 林 昭宏
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 学校法人早稲田大学 理工学術院内
- Fターム(参考) 3C007 CS08 KS20 KS33 KX12 LS15 WA03 WA13 WB07