

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5024160号  
(P5024160)

(45) 発行日 平成24年9月12日(2012.9.12)

(24) 登録日 平成24年6月29日(2012.6.29)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G05D</b>	<b>1/08</b>	<b>(2006.01)</b>	G05D	1/08	Z
<b>B60L</b>	<b>15/20</b>	<b>(2006.01)</b>	B60L	15/20	S
<b>B62K</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B62K	3/00	
<b>B62K</b>	<b>17/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B62K	17/00	

請求項の数 3 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2008-92142 (P2008-92142)	(73) 特許権者	591261509 株式会社エクス・リサーチ 東京都千代田区外神田2丁目19番12号
(22) 出願日	平成20年3月31日(2008.3.31)	(74) 代理人	100116207 弁理士 青木 俊明
(65) 公開番号	特開2009-245246 (P2009-245246A)	(74) 代理人	100089635 弁理士 清水 守
(43) 公開日	平成21年10月22日(2009.10.22)	(74) 代理人	100096426 弁理士 川合 誠
審査請求日	平成22年3月23日(2010.3.23)	(72) 発明者	土井 克則 東京都千代田区外神田2丁目19番12号 株式会社エクス・リサーチ内
		審査官	青山 純

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

車体と、

該車体に回転可能に取り付けられた駆動輪と、

該駆動輪に付与する駆動トルクを制御して車体の姿勢を制御する車両制御装置とを有し

、  
該車両制御装置は、路面の段差を昇降するときに、該段差による抵抗である段差抵抗トルクに応じて決定される車両加速度の限界値に応じて、車両加速度の目標値を制限することを特徴とする車両。

【請求項2】

前記車両制御装置は、前記段差を昇降するときの車両走行制御の限界と車体姿勢制御の限界とに基づいて前記車両加速度の限界値を決定する請求項1に記載の車両。

【請求項3】

前記車体に対して移動可能に取り付けられた能動重量部を更に有し、

前記車両制御装置は、前記能動重量部の移動限界位置に応じて前記車両加速度の限界値を決定する請求項1又は2に記載の車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、倒立振り子の姿勢制御を利用した車両に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、倒立振り子の姿勢制御を利用した車両に関する技術が提案されている。例えば、同軸上に配置された2つの駆動輪を有し、運転者の重心移動による車体の姿勢変化を感知して駆動する車両、球体状の単一の駆動輪に取り付けられた車体の姿勢を制御しながら移動する車両等の技術が提案されている（例えば、特許文献1参照。）。

## 【0003】

この場合、センサで車体のバランスや動作の状態を検出しながら、回転体の動作を制御して車両を停止又は移動させるようになっている。

【特許文献1】特開2007-219986号公報

10

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、前記従来車両においては、運転者が段差を上るように指令したが段差が高くて上りきれなかった場合や、急加速しながら段差を上ったり急減速しながら段差を下ったりするような動作を運転者が指令した場合に、車体が大きく傾いたり、運転者が不自然に感じるような車両の加減速が生じたりすることがある。このとき、運転者は、これらの動作を不快に感じたり、車両の安定性や安全性について不安に感じたりする可能性がある。

## 【0005】

20

このような現象が発生する原因として、車両加速度目標値の上限値や下限値を路面の状態に依らない一定な値とし、段差による車両の加減速性能への影響を考慮していないことが考えられる。

## 【0006】

また、この問題を解決する手段の一つとして、例えば段差が高くて上りきれなかった場合に、通常走行時の制御方法から別の特別な制御方法に切り換える方法があるが、制御方法の切り換え時に運転者に与える違和感、制御アルゴリズム及びプログラムの煩雑化、制御方法を切り換える閾（しきい）値付近で断続的に切り換えが繰り返される現象の発生などが問題になることが多い。そのため、できる限り簡単に安定した制御方法によって、車体姿勢と走行状態の安定制御を実現することが望ましい。

30

## 【0007】

本発明は、前記従来車両の問題点を解決して、段差昇降時における車両加速度の限界値を適切に評価して、その限界値で車両加速度の目標値を制限することによって、高い段差に進入した場合であっても常に安定した車両動作を維持することができ、高い段差のある場所でも、安全に、かつ、快適に走行することができる車両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】

## 【0008】

そのために、本発明の車両においては、車体と、該車体に回転可能に取り付けられた駆動輪と、該駆動輪に付与する駆動トルクを制御して車体の姿勢を制御する車両制御装置とを有し、該車両制御装置は、路面の段差を昇降するときに、該段差による抵抗である段差抵抗トルクに応じて決定される車両加速度の限界値に応じて、車両加速度の目標値を制限する。

40

## 【0010】

本発明の更に他の車両においては、さらに、前記車両制御装置は、前記段差を昇降するときの車両走行制御の限界と車体姿勢制御の限界とに基づいて前記車両加速度の限界値を決定する。

## 【0011】

本発明の更に他の車両においては、さらに、前記車体に対して移動可能に取り付けられた能動重量部を更に有し、前記車両制御装置は、前記能動重量部の移動限界位置に応じて

50

前記車両加速度の限界値を決定する。

【発明の効果】

【0012】

請求項1の構成によれば、段差を昇降するときに車両加速度の目標値を制限することで、例えばとても高い段差を加速しながら通過するというような、実現不可能な目標走行状態が設定されることが無くなり、適切な目標に対する制御によって安定した車両動作を維持することができる。例えば、減速しながら段差を上っていくことになったり、段差を上りきれずに折り返すことになった場合でも、安定した車両動作を維持することができる。

【0014】

請求項2の構成によれば、車両走行制御と車体姿勢制御の限界を考慮することで、より正確に車両加速度の限界を決定することで、車両の走行状態や車体の姿勢を確実に安定状態に保つのと共に、車両の段差昇降性能を最大限に発揮することができる。

10

【0015】

請求項3の構成によれば、必要な車体重心の移動量を、車体の傾斜を伴うことなく達成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0017】

図1は本発明の第1の実施の形態における車両の構成を示す概略図であり乗員が搭乗した状態で加速前進している状態を示す図、図2は本発明の第1の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック図である。

20

【0018】

図1において、10は、本実施の形態における車両であり、車体の本体部11、駆動輪12、支持部13及び乗員15が搭乗する搭乗部14を有し、前記車両10は、車体を前後に傾斜させることができるようになっている。そして、倒立振り子の姿勢制御と同様に車体の姿勢を制御する。図1に示される例においては、車両10は矢印Aで示される方向に加速中であり、車体が進行方向に傾斜した状態が示されている。

【0019】

前記駆動輪12は、車体の一部である支持部13に対して回転可能に支持され、駆動アクチュエータとしての駆動モータ52によって駆動される。なお、駆動輪12の軸は図1に示す平面に垂直な方向に存在し、駆動輪12はその軸を中心に回転する。また、前記駆動輪12は、単数であっても複数であってもよいが、複数である場合、同軸上に並列に配設される。本実施の形態においては、駆動輪12が2つであるものとして説明する。この場合、各駆動輪12は個別の駆動モータ52によって独立して駆動される。なお、駆動アクチュエータとしては、例えば、油圧モータ、内燃機関等を使用することもできるが、ここでは、電気モータである駆動モータ52を使用するものとして説明する。

30

【0020】

また、車体の一部である本体部11は、支持部13によって下方から支持され、駆動輪12の上方に位置する。そして、本体部11には、能動重量部として機能する搭乗部14が、車両10の前後方向へ本体部11と相対的に移動可能となるように、換言すると、車体回転円の接線方向に相対的に移動可能となるように、取り付けられている。

40

【0021】

ここで、能動重量部は、ある程度の質量を有し、本体部11に対して前後に移動させることによって、車両10の重心位置を能動的に補正するものである。そして、能動重量部は、必ずしも搭乗部14である必要はなく、例えば、バッテリー等の重量のある周辺機器を本体部11に対して移動可能に取り付けた装置であってもよいし、ウェイト、錘(おもり)、バランス等の専用の重量部材を本体部11に対して移動可能に取り付けた装置であってもよい。また、搭乗部14、重量のある周辺機器、専用の重量部材等を併用するものであってもよい。

50

## 【 0 0 2 2 】

また、本実施の形態においては、説明の都合上、乗員 1 5 が搭乗した状態の搭乗部 1 4 が能動重量部として機能する例について説明するが、搭乗部 1 4 には必ずしも乗員 1 5 が搭乗している必要はなく、例えば、車両 1 0 がリモートコントロールによって操縦される場合には、搭乗部 1 4 に乗員 1 5 が搭乗していなくてもよいし、乗員 1 5 に代えて、貨物が積載されていてもよい。

## 【 0 0 2 3 】

前記搭乗部 1 4 は、乗用車、バス等の自動車に使用されるシートと同様のものであり、座面部 1 4 a、背もたれ部 1 4 b 及びヘッドレスト 1 4 c を備え、図示されない移動機構を介して本体部 1 1 に取り付けられている。

## 【 0 0 2 4 】

前記移動機構は、リニアガイド装置等の低抵抗の直線移動機構、及び、能動重量部アクチュエータとしての能動重量部モータ 6 2 を備え、該能動重量部モータ 6 2 によって搭乗部 1 4 を駆動し、本体部 1 1 に対して車両進行方向に前後させるようになっている。なお、能動重量部アクチュエータとしては、例えば、油圧モータ、リニアモータ等を使用することもできるが、ここでは、回転式の電気モータである能動重量部モータ 6 2 を使用するものとして説明する。

## 【 0 0 2 5 】

リニアガイド装置は、例えば、本体部 1 1 に取り付けられている案内レールと、搭乗部 1 4 に取り付けられ、案内レールに沿ってスライドするキャリッジと、案内レールとキャリッジとの間に介在するボール、コロ等の転動体を備える。そして、案内レールには、その左右側面部に 2 本の軌道溝が長手方向に沿って直線状に形成されている。また、キャリッジの断面はコ字状に形成され、その対向する 2 つの側面部内側には、2 本の軌道溝が、案内レールの軌道溝と各々対向するように形成されている。転動体は、軌道溝の間に組み込まれており、案内レールとキャリッジとの相対的直線運動に伴って軌道溝内を転動するようになっている。なお、キャリッジには、軌道溝の両端をつなぐ戻し通路が形成されており、転動体は軌道溝及び戻し通路を循環するようになっている。

## 【 0 0 2 6 】

また、リニアガイド装置は、該リニアガイド装置の動きを締結するブレーキ又はクラッチを備える。車両 1 0 が停車しているときのように搭乗部 1 4 の動作が不要であるときには、ブレーキによって案内レールにキャリッジを固定することで、本体部 1 1 と搭乗部 1 4 との相対的位置関係を保持する。そして、動作が必要であるときには、このブレーキを解除し、本体部 1 1 側の基準位置と搭乗部 1 4 側の基準位置との距離が所定値となるように制御される。

## 【 0 0 2 7 】

前記搭乗部 1 4 の脇（わき）には、目標走行状態取得装置としてのジョイスティック 3 1 を備える入力装置 3 0 が配設されている。乗員 1 5 は、操縦装置であるジョイスティック 3 1 を操作することによって、車両 1 0 を操縦する、すなわち、車両 1 0 の加速、減速、旋回、その場回転、停止、制動等の走行指令を入力するようになっている。なお、乗員 1 5 が操作して走行指令を入力することができる装置であれば、ジョイスティック 3 1 に代えて他の装置、例えば、ペダル、ハンドル、ジョグダイヤル、タッチパネル、押しボタン等の装置を目標走行状態取得装置として使用することもできる。

## 【 0 0 2 8 】

なお、車両 1 0 がリモートコントロールによって操縦される場合には、前記ジョイスティック 3 1 に代えて、コントローラからの走行指令を有線又は無線で受信する受信装置を目標走行状態取得装置として使用することができる。また、車両 1 0 があらかじめ決められた走行指令データに従って自動走行する場合には、前記ジョイスティック 3 1 に代えて、半導体メモリ、ハードディスク等の記憶媒体に記憶された走行指令データを読み取るデータ読取り装置を目標走行状態取得装置として使用することができる。

## 【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

また、車両10は、車両制御装置としての制御ECU( Electronic Control Unit )20を有し、該制御ECU20は、主制御ECU21、駆動輪制御ECU22及び能動重量部制御ECU23を備える。前記制御ECU20並びに主制御ECU21、駆動輪制御ECU22及び能動重量部制御ECU23は、CPU、MPU等の演算手段、磁気ディスク、半導体メモリ等の記憶手段、入出力インターフェイス等を備え、車両10の各部の動作を制御するコンピュータシステムであり、例えば、本体部11に配設されるが、支持部13や搭乗部14に配設されていてもよい。また、前記主制御ECU21、駆動輪制御ECU22及び能動重量部制御ECU23は、それぞれ、別個に構成されていてもよいし、一体に構成されていてもよい。

【0030】

そして、主制御ECU21は、駆動輪制御ECU22、駆動輪センサ51及び駆動モータ52とともに、駆動輪12の動作を制御する駆動輪制御システム50の一部として機能する。前記駆動輪センサ51は、レゾルバ、エンコーダ等から成り、駆動輪回転状態計測装置として機能し、駆動輪12の回転状態を示す駆動輪回転角及び/又は回転角速度を検出し、主制御ECU21に送信する。また、該主制御ECU21は、駆動トルク指令値を駆動輪制御ECU22に送信し、該駆動輪制御ECU22は、受信した駆動トルク指令値に相当する入力電圧を駆動モータ52に供給する。そして、該駆動モータ52は、入力電圧に従って駆動輪12に駆動トルクを付与し、これにより、駆動アクチュエータとして機能する。

【0031】

また、主制御ECU21は、能動重量部制御ECU23、能動重量部センサ61及び能動重量部モータ62とともに、能動重量部である搭乗部14の動作を制御する能動重量部制御システム60の一部として機能する。前記能動重量部センサ61は、エンコーダ等から成り、能動重量部移動状態計測装置として機能し、搭乗部14の移動状態を示す能動重量部位置及び/又は移動速度を検出し、主制御ECU21に送信する。また、該主制御ECU21は、能動重量部推力指令値を能動重量部制御ECU23に送信し、該能動重量部制御ECU23は、受信した能動重量部推力指令値に相当する入力電圧を能動重量部モータ62に供給する。そして、該能動重量部モータ62は、入力電圧に従って搭乗部14を並進移動させる推力を搭乗部14に付与し、これにより、能動重量部アクチュエータとして機能する。

【0032】

さらに、主制御ECU21は、駆動輪制御ECU22、能動重量部制御ECU23、車体傾斜センサ41、駆動モータ52及び能動重量部モータ62とともに、車体の姿勢を制御する車体制御システム40の一部として機能する。前記車体傾斜センサ41は、加速度センサ、ジャイロセンサ等から成り、車体傾斜状態計測装置として機能し、車体の傾斜状態を示す車体傾斜角及び/又は傾斜角速度を検出し、主制御ECU21に送信する。そして、該主制御ECU21は、駆動トルク指令値を駆動輪制御ECU22に送信し、能動重量部推力指令値を能動重量部制御ECU23に送信する。

【0033】

なお、主制御ECU21には、入力装置30のジョイスティック31から走行指令が入力される。そして、前記主制御ECU21は、駆動トルク指令値を駆動輪制御ECU22に送信し、能動重量部推力指令値を能動重量部制御ECU23に送信する。

【0034】

また、前記制御ECU20は、車両10の走行状態及び車体姿勢の時間変化に基づいて段差抵抗トルクを推定する段差抵抗トルク推定手段として機能する。また、目標走行状態及び段差抵抗トルクに応じて目標とする車体姿勢、すなわち、車体傾斜状態及び/又は能動重量部移動状態を決定する目標車体姿勢決定手段として機能する。さらに、各センサによって取得した車両10の走行状態及び車体姿勢、並びに、目標走行状態、目標車体姿勢及び段差抵抗トルクに応じて各アクチュエータの出力を決定するアクチュエータ出力決定手段として機能する。具体的には、段差抵抗トルクに応じて追加する駆動トルクを決定す

10

20

30

40

50

る段差昇降トルク決定手段、及び、段差昇降トルクに応じて車体の重心補正量を決定する重心補正量決定手段として機能する。

【 0 0 3 5 】

なお、各センサは、複数の状態量を取得するものであってもよい。例えば、車体傾斜センサ 4 1 として加速度センサとジャイロセンサとを併用し、両者の計測値から車体傾斜角と車体傾斜角速度を決定してもよい。

【 0 0 3 6 】

次に、前記構成の車両 1 0 の動作について説明する。まず、走行及び姿勢制御処理の概要について説明する。

【 0 0 3 7 】

図 3 は本発明の第 1 の実施の形態における車両の段差昇降動作を示す概略図、図 4 は本発明の第 1 の実施の形態における車両の走行及び姿勢制御処理の動作を示すフローチャートである。なお、図 3 ( a ) は比較のための従来技術による動作例を示し、図 3 ( b ) は本実施の形態による動作を示している。

【 0 0 3 8 】

「背景技術」の項で説明したような従来の場合、図 3 ( a ) に示されるように、段差に乗り上げるために駆動輪 1 2 に付与した駆動トルクの反作用、すなわち、反トルクが車体に作用するので、車体が後方に傾いてしまう。そのため、段差に乗り上げるときに、安定した車体姿勢及び走行の制御を行うことができない。

【 0 0 3 9 】

これに対し、本実施の形態においては、搭乗部 1 4 が能動重量部として機能し、図 3 ( b ) に示されるように、搭乗部 1 4 を前方に移動させることによって、車両 1 0 の重心位置を前方に移動させる。これにより、車体を前方に傾けようとする重力トルクが作用するため、段差に乗り上げるための駆動トルクを駆動輪 1 2 に付与したときの反作用、すなわち、反トルクが車体に作用しても、前記重力トルクによって作用を打ち消されるため、車体が後方に傾いてしまうことがない。したがって、段差に乗り上げるときにも安定した車体姿勢及び走行の制御を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

なお、本実施の形態は、停止状態及び低速走行状態から段差に進入する場合、すなわち、段差との接触による車両の減速に伴い車体に作用する慣性力が小さい場合において、特に効果的である。

【 0 0 4 1 】

また、段差に乗り上げるための駆動トルクを、乗り上げ動作の間、リアルタイムで推定して駆動輪 1 2 に付与する。これにより、任意の段差形状及び車両速度に対して、安定した乗り上げが可能となる。

【 0 0 4 2 】

すなわち、本実施の形態においては、車両 1 0 の重心位置補正や駆動トルクの付与を含む走行及び姿勢制御処理を実行することによって、車両 1 0 は安定して段差を昇降することができる。

【 0 0 4 3 】

走行及び姿勢制御処理において、制御 E C U 2 0 は、まず、状態量の取得処理を実行し (ステップ S 1)、各センサ、すなわち、駆動輪センサ 5 1、車体傾斜センサ 4 1 及び能動重量部センサ 6 1 によって、駆動輪 1 2 の回転状態、車体の傾斜状態及び搭乗部 1 4 の移動状態を取得する。

【 0 0 4 4 】

次に、制御 E C U 2 0 は、段差昇降トルクの決定処理を実行し (ステップ S 2)、状態量の取得処理で取得した状態量、すなわち、駆動輪 1 2 の回転状態、車体の傾斜状態及び又は搭乗部 1 4 の移動状態と、各アクチュエータの出力値、すなわち、駆動モータ 5 2 及び / 又は能動重量部モータ 6 2 の出力値に基づき、オブザーバによって段差抵抗トルクを推定し、段差昇降トルクを決定する。ここで、前記オブザーバは、力学的なモデルに基づ

10

20

30

40

50

いて、制御系の内部状態を観測する方法であり、ワイヤードロジック又はソフトロジックで構成される。

【 0 0 4 5 】

次に、制御 ECU 20 は、目標走行状態の決定処理を実行し（ステップ S 3 ）、ジョイスティック 31 の操作量に基づいて、車両 10 の加速度の目標値、及び、駆動輪 12 の回転角速度の目標値を決定する。

【 0 0 4 6 】

次に、制御 ECU 20 は、目標車体姿勢の決定処理を実行し（ステップ S 4 ）、段差昇降トルクの決定処理によって決定された段差昇降トルクと、目標走行状態の決定処理によって決定された車両 10 の加速度の目標値に基づいて、車体姿勢の目標値、すなわち、車体傾斜角及び能動重量部位置の目標値を決定する。

10

【 0 0 4 7 】

最後に、制御 ECU 20 は、アクチュエータ出力の決定処理を実行し（ステップ S 5 ）、状態量の取得処理によって取得された各状態量、段差昇降トルクの決定処理によって決定された段差昇降トルク、目標走行状態の決定処理によって決定された目標走行状態、及び、目標車体姿勢の決定処理によって決定された目標車体姿勢に基づいて、各アクチュエータの出力、すなわち、駆動モータ 52 及び能動重量部モータ 62 の出力を決定する。

【 0 0 4 8 】

次に、走行及び姿勢制御処理の詳細について説明する。まず、状態量の取得処理について説明する。

20

【 0 0 4 9 】

図 5 は本発明の第 1 の実施の形態における車両の力学モデル及びそのパラメータを示す図、図 6 は本発明の第 1 の実施の形態における状態量の取得処理の動作を示すフローチャートである。

【 0 0 5 0 】

本実施の形態においては、状態量やパラメータを次のような記号によって表す。なお、図 5 には状態量やパラメータの一部が示されている。

- $w$  : 駆動輪回転角（2つの駆動輪の平均）〔rad〕
- $\theta_1$  : 車体傾斜角（鉛直軸基準）〔rad〕
- $s$  : 能動重量部位置（車体中心点基準）〔m〕
- $w$  : 駆動トルク（2つの駆動輪の合計）〔Nm〕
- $S_s$  : 能動重量部推力〔N〕
- $g$  : 重力加速度〔m/s<sup>2</sup>〕
- $m_w$  : 駆動輪質量（2つの駆動輪の合計）〔kg〕
- $R_w$  : 駆動輪接地半径〔m〕
- $I_w$  : 駆動輪慣性モーメント（2つの駆動輪の合計）〔kgm<sup>2</sup>〕
- $D_w$  : 駆動輪回転に対する粘性減衰係数〔Nm s / rad〕
- $m_1$  : 車体質量（能動重量部を含む）〔kg〕
- $l_1$  : 車体重心距離（車軸から）〔m〕
- $I_1$  : 車体慣性モーメント（重心周り）〔kgm<sup>2</sup>〕
- $D_1$  : 車体傾斜に対する粘性減衰係数〔Nm s / rad〕
- $m_s$  : 能動重量部質量〔kg〕
- $l_s$  : 能動重量部重心距離（車軸から）〔m〕
- $I_s$  : 能動重量部慣性モーメント（重心周り）〔kgm<sup>2</sup>〕
- $D_s$  : 能動重量部並進に対する粘性減衰係数〔Ns / rad〕

30

40

状態量の取得処理において、主制御ECU21は、まず、センサから各状態量を取得する(ステップS1-1)。この場合、駆動輪センサ51から駆動輪回転角 $\theta_w$ 及び/又は回転角速度 $\dot{\theta}_w$ を取得し、車体傾斜センサ41から車体傾斜角 $\theta_1$ 及び/又は傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ を取得し、能動重量部センサ61から能動重量部位置 $\lambda_s$ 及び/又は移動速度 $\dot{\lambda}_s$ を取得する。

続いて、主制御ECU21は、残りの状態量を算出する(ステップS1-2)。この場合、取得した状態量を時間微分又は時間積分することにより、残りの状態量を算出する。例えば、取得した状態量が駆動輪回転角 $\theta_w$ 、車体傾斜角 $\theta_1$ 及び能動重量部位置 $\lambda_s$ である場合には、これらを時間微分することにより、回転角速度 $\dot{\theta}_w$ 、傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ 及び移動速度 $\dot{\lambda}_s$ を得ることができる。また、例えば、取得した状態量が回転角速度 $\dot{\theta}_w$ 、傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ 及び移動速度 $\dot{\lambda}_s$ である場合には、これらを時間積分することにより、駆動輪回転角 $\theta_w$ 、車体傾斜角 $\theta_1$ 及び能動重量部位置 $\lambda_s$ を得ることができる。

#### 【0051】

次に、段差昇降トルクの決定処理について説明する。

#### 【0052】

図7は本発明の第1の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

#### 【0053】

段差昇降トルクの決定処理において、主制御ECU21は、まず、段差抵抗トルク $\tau_D$ を推定する(ステップS2-1)。この場合、状態量の取得処理で取得した各状態量と、前回(一つ前の時間ステップ)の走行及び姿勢制御処理におけるアクチュエータ出力の決定処理で決定した各アクチュエータの出力に基づき、次の式(1)により、段差抵抗トルク $\tau_D$ を推定する。

#### 【0054】

#### 【数1】

$$\tau_D = \tau_w - R_w \left( \tilde{M} R_w \ddot{\theta}_w + m_l \ell_1 \ddot{\theta}_1 + m_s \ddot{\lambda}_s \right) \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $M = m_l + m_w$ 、 $\tilde{M} = M + \frac{I_w}{R_w^2}$ である。

また、加速度 $\ddot{\theta}_w$ 、 $\ddot{\theta}_1$ 及び $\ddot{\lambda}_s$ は、駆動輪回転角速度 $\dot{\theta}_w$ 、車体傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ 及び能動重量部移動速度 $\dot{\lambda}_s$ の時間微分によって求められる。

なお、前記式(1)において、 $\left( \tilde{M} R_w \ddot{\theta}_w + m_l \ell_1 \ddot{\theta}_1 + m_s \ddot{\lambda}_s \right)$ は慣性力を表している。

この中で、 $\tilde{M} R_w \ddot{\theta}_w$ は車両並進慣性力、 $m_l \ell_1 \ddot{\theta}_1$ は車体傾斜慣性力、 $m_s \ddot{\lambda}_s$ は能動重量部移動慣性力に相当する。このように、 $m_l \ell_1 \ddot{\theta}_1$ 及び $m_s \ddot{\lambda}_s$ を加えることによって、車体姿勢の変化を考慮している。

#### 【0055】

続いて、主制御 ECU 21 は、段差昇降トルク  $C_c$  を決定する（ステップ S2-2）。この場合、推定した段差抵抗トルク  $D_d$  の値を段差昇降トルク  $C_c$  の値とする。すなわち、 $C_c = D_d$  とする。

【0056】

このように、本実施の形態においては、駆動モータ 52 が出力する駆動トルクと、状態量としての車両並進加速度を示す駆動輪回転角加速度、車体傾斜角加速度及び能動重量部移動加速度とに基づいて段差抵抗トルクを推定する。この場合、駆動輪 12 の回転状態を示す駆動輪回転角加速度だけでなく、車体姿勢の変化を示す車体傾斜角加速度及び能動重量部移動加速度も考慮している。すなわち、倒立振り子の姿勢制御を利用した車両、いわゆる倒立型車両に特有の要素である車体姿勢の変化を考慮している。

10

【0057】

従来においては、駆動トルクと駆動輪回転角加速度とに基づいて段差抵抗トルクを推定するため、特に車体の姿勢が変化しているとき、段差抵抗トルクの推定値に大きな誤差が生じることがあった。しかし、本実施の形態においては、車体の姿勢変化を示す車体傾斜角加速度及び能動重量部移動加速度をも考慮して段差抵抗トルクを推定するので、大きな誤差が生じることがなく、高い精度で段差抵抗トルクを推定することができる。

【0058】

一般的に、倒立型車両では、駆動輪と相対的に車体の重心が前後に移動するので、駆動輪が停止していても、車両の重心が前後に移動することがある。したがって、重心の加速度と駆動力、あるいは、駆動トルクとから段差抵抗トルクを高い精度で推定するためには、このような影響を考慮する必要がある。一般的な倒立型車両においては、車両全体に対する車体の重量比率が高く、かつ、段差昇降動作中の姿勢変化が大きいので、このような影響が大きくなる。

20

【0059】

また、本実施の形態においては、段差の昇降動作中に変化する段差抵抗トルクを常に推定している。例えば、段差の昇降動作中に一定の駆動トルクを駆動輪 12 に付与すると、昇降終了直前に、車両 10 が不必要に加減速してしまうことがある。これは、例えば、段差に乗り上げる場合、車両 10 が段差を上ると共に段差抵抗トルクが小さくなるためである。そこで、本実施の形態においては、段差昇降状態と共に変化する段差抵抗トルクの推定をリアルタイムで行い、その値を常に更新することで、常に段差の昇降動作に適した段差昇降トルクを付与するようになっている。

30

【0060】

なお、段差抵抗トルクの推定値にローパスフィルタをかけることによって、推定値の高周波成分を除去することもできる。この場合、推定に時間遅れが生じるが、高周波成分に起因する振動を抑制することができる。

【0061】

本実施の形態においては、駆動トルクと慣性力のみを考慮しているが、駆動輪 12 の転がり抵抗や回転軸の摩擦による粘性抵抗、あるいは、車両 10 に作用する空気抵抗などを副次的な影響として考慮してもよい。

【0062】

また、本実施の形態においては、駆動輪 12 の回転運動に関する線形モデルを使用しているが、より正確な非線形モデルを使用してもよいし、車体傾斜運動や能動重量部並進運動についてのモデルを使用してもよい。なお、非線形モデルについては、マップの形式で関数を適用することもできる。

40

【0063】

さらに、計算の簡略化のために、車体姿勢の変化を考慮しなくてもよい。

【0064】

次に、目標走行状態の決定処理について説明する。

【0065】

図 8 は本発明の第 1 の実施の形態における目標走行状態の決定処理の動作を示すフロー

50

チャートである。

【 0 0 6 6 】

目標走行状態の決定処理において、主制御 ECU 2 1 は、まず、操縦操作量を取得する（ステップ S 3 - 1）。この場合、乗員 1 5 が、車両 1 0 の加速、減速、旋回、その場回転、停止、制動等の走行指令を入力するために操作したジョイスティック 3 1 の操作量を取得する。

【 0 0 6 7 】

続いて、主制御 ECU 2 1 は、取得したジョイスティック 3 1 の操作量に基づいて、車両加速度の目標値を決定する（ステップ S 3 - 2）。例えば、ジョイスティック 3 1 の前後方向への操作量に比例した値を車両加速度の目標値とする。

10

【 0 0 6 8 】

続いて、主制御 ECU 2 1 は、決定した車両加速度の目標値から、駆動輪回転角速度の目標値を算出する（ステップ S 3 - 3）。例えば、車両加速度の目標値を時間積分し、駆動輪接地半径  $R_w$  で除した値を駆動輪回転角速度の目標値とする。

【 0 0 6 9 】

次に、目標車体姿勢の決定処理について説明する。

【 0 0 7 0 】

図 9 は本発明の第 1 の実施の形態における能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値の変化を示すグラフ、図 1 0 は本発明の第 1 の実施の形態における目標車体姿勢の決定処理の動作を示すフローチャートである。

20

【 0 0 7 1 】

目標車体姿勢の決定処理において、主制御 ECU 2 1 は、まず、能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値を決定する（ステップ S 4 - 1）。この場合、目標走行状態の決定処理によって決定された車両加速度の目標値と、段差昇降トルクの決定処理によって取得された段差昇降トルク  $c$  とに基づき、次の式（ 2 ）及び（ 3 ）により、能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値を決定する。

【 0 0 7 2 】

## 【数 2】

車両加速度の目標値を  $\alpha^*$  [G] とすると、能動重量部位置の目標値  $\lambda_{s,a}^*$  は次の式 (2) で表される。

$$\lambda_{s,a}^* = \begin{cases} -\lambda_{s,Max} & \left( \lambda_{s,a}^* + \lambda_{s,C} \leq -\lambda_{s,Max} \right) \\ \lambda_{s,a}^* + \lambda_{s,C} & \left( -\lambda_{s,Max} < \lambda_{s,a}^* + \lambda_{s,C} < \lambda_{s,Max} \right) \\ \lambda_{s,Max} & \left( \lambda_{s,a}^* + \lambda_{s,C} \geq \lambda_{s,Max} \right) \end{cases} \quad \dots \text{式 (2)}$$

10

ここで、 $\lambda_{s,a}^* = \frac{m_l \ell_l + \widetilde{MR}_w}{m_s} \alpha^*$ 、 $\lambda_{s,C} = \frac{\tau_c}{m_s g}$  である。

また、 $\lambda_{s,Max}$  は、能動重量部移動限界であり、能動重量部である搭乗部 14 を移動させる移動機構の構造等により、あらかじめ設定されている。

さらに、 $\lambda_{s,a}^*$  は、車両加速度に伴う慣性力と駆動モータ反トルクとに対して車体のバランスをとるために必要な能動重量部移動量、すなわち、車両 10 の加減速による影響を打ち消す移動量である。

20

一方、 $\lambda_{s,C}$  は、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じた段差昇降トルク  $\tau_c$  の反トルクに対して車体のバランスをとるのに必要な能動重量部移動量、すなわち、段差抵抗トルク  $\tau_D$  による影響を打ち消す移動量である。

## 【0073】

30

## 【数 3】

車体傾斜角の目標値  $\theta_{I}^*$  は、次の式 (3) で表される。

$$\theta_{I}^* = \begin{cases} \theta_{I,\alpha}^* + \theta_{I,C} + \theta_{S,Max} & \left( \lambda_{S,\alpha}^* + \lambda_{S,C} \leq -\lambda_{S,Max} \right) \\ 0 & \left( -\lambda_{S,Max} < \lambda_{S,\alpha}^* + \lambda_{S,C} < \lambda_{S,Max} \right) \\ \theta_{I,\alpha}^* + \theta_{I,C} - \theta_{S,Max} & \left( \lambda_{S,\alpha}^* + \lambda_{S,C} \geq \lambda_{S,Max} \right) \end{cases} \quad \dots \text{式 (3)}$$

$$\text{ここで、} \theta_{I,\alpha}^* = \frac{m_I \ell_I + MR_W}{m_I \ell_I} \tilde{\alpha}^*, \quad \theta_{I,C} = \frac{\tau_C}{m_I g \ell_I}, \quad \theta_{S,Max} = \frac{m_S \lambda_{S,Max}}{m_I \ell_I} \quad \text{10}$$

ある。

$\theta_{S,Max}$  は、能動重量部である搭乗部 14 を能動重量部移動限界  $\lambda_{S,Max}$  まで移動させた効果を車体傾斜角に換算した値であり、搭乗部 14 が動いた分を減算する部分である。

また、 $\theta_{I,\alpha}^*$  は、車両加速度に伴う慣性力と駆動モータ反トルクとに対して車体のバランスをとるために必要な車体傾斜角、すなわち、車両 10 の加減速による影響を打ち消す傾斜角である。 20

一方、 $\theta_{I,C}$  は、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じた段差昇降トルク  $\tau_C$  の反トルクに対して車体のバランスをとるのに必要な車体傾斜角、すなわち、段差抵抗トルク  $\tau_D$  による影響を打ち消す傾斜角である。 30

## 【0074】

続いて、主制御 ECU 21 は、残りの目標値を算出する (ステップ S4 - 2)。すなわち、各目標値を時間微分又は時間積分することにより、駆動輪回転角、車体傾斜角速度及び能動重量部移動速度の目標値を算出する。

## 【0075】

このように、本実施の形態においては、車両加速度に伴って車体に作用する慣性力及び駆動モータ反トルクだけでなく、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じた段差昇降トルク  $\tau_C$  に伴って車体に作用する反トルクも考慮して、車体姿勢の目標値、すなわち、能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値を決定する。

## 【0076】

このとき、車体に作用して車体を傾斜させようとするトルク、すなわち、車体傾斜トルクを重力の作用によって打ち消すように、車体の重心を移動させる。例えば、車両 10 が段差を上るときには、搭乗部 14 を前方へ移動させ、あるいは、更に車体を前方へ傾ける。また、車両 10 が段差を下るときには、搭乗部 14 を後方へ移動させ、あるいは、更に車体を後方へ傾ける。 40

## 【0077】

本実施の形態においては、図 9 に示されるように、まず、車体を傾斜させずに搭乗部 14 を移動させ、該搭乗部 14 が能動重量部移動限界に達すると、車体の傾斜を開始させる。そのため、細かい加減速に対しては車体が前後に傾かないので、乗員 15 にとっての乗り心地が向上する。また、格別に高い段差でなければ、段差の上でも車体が直立状態を維 50

持するので、乗員 15 にとっての視界の確保が容易となる。さらに、格別に高い段差でなければ、段差の上でも車体が大きく傾斜することがないので、車体の一部が路面に接触することが防止される。

【0078】

なお、本実施の形態においては、能動重量部移動限界が前方と後方とで等しい場合を想定しているが、前方と後方とで異なる場合には、各々の限界に応じて、車体の傾斜の有無を切り替えるようにしてもよい。例えば、加速性能よりも制動性能を高く設定する場合、後方の能動重量部移動限界を前方の限界よりも遠くに設定する必要がある。

【0079】

また、本実施の形態においては、加速度が低いときや段差が低いときには、搭乗部 14 の移動だけで対応させているが、その車体傾斜トルクの一部又は全部を車体の傾斜で対応させてもよい。車体を傾斜させることにより、乗員 15 に作用する前後方向の慣性力を軽減することができる。

【0080】

さらに、本実施の形態においては、線形化した力学モデルに基づいた式を使用しているが、より正確な非線形モデル又は粘性抵抗を考慮したモデルに基づいた式を使用してもよい。なお、式が非線形になる場合には、マップの形式で関数を適用することもできる。

【0081】

次に、アクチュエータ出力の決定処理について説明する。

【0082】

図 11 は本発明の第 1 の実施の形態におけるアクチュエータ出力の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【0083】

アクチュエータ出力の決定処理において、主制御 ECU 21 は、まず、各アクチュエータのフィードフォワード出力を決定する（ステップ S5-1）。この場合、各目標値と段差昇降トルク  $\tau_c$  とから、次の式（4）により駆動モータ 52 のフィードフォワード出力を決定し、また、次の式（5）により能動重量部モータ 62 のフィードフォワード出力を決定する。

【0084】

【数 4】

駆動モータ 52 のフィードフォワード出力  $\tau_{w,FF}$  は、次の式（4）で表される。

$$\tau_{w,FF} = \tilde{M} R_w g \alpha^* + \tau_c \quad \dots \text{式 (4)}$$

$\tilde{M} R_w g \alpha^*$  は、車両加速度の目標値  $\alpha^*$  を実現するのに必要な駆動トルクを示し、

$\tau_c$  は、段差の昇降に必要な駆動トルク、すなわち、段差昇降トルクを示している。

【0085】

このように、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じた段差昇降トルク  $\tau_c$  を自動的に追加することにより、つまり、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じて駆動トルクを補正することにより、段差の昇降の際にも、平地と同様の操縦感覚を提供することができる。すなわち、平地と同様の操縦操作で段差を乗り降りすることができる。また、ジョイスティック 31 の一定の操縦操作に対して、段差の昇降の際に、車両 10 が不必要に加減速することがない。

【0086】

10

20

30

40

## 【数5】

能動重量部モータ62のフィードフォワード出力  $S_{s,FF}$  は、次の式(5)で表される。

$$S_{s,FF} = -m_s g \theta_i^* + m_s g \alpha^* \quad \dots \text{式(5)}$$

$-m_s g \theta_i^*$  は、車体傾斜角の目標値  $\theta_i^*$  に対して搭乗部14を目標位置に留めるのに必要な搭乗部推力を示し、 $m_s g \alpha^*$  は、車両加速度の目標値  $\alpha^*$  に伴う慣性力に対して搭乗部14を目標位置に留めるのに必要な搭乗部推力を示している。

10

## 【0087】

このように、本実施の形態においては、理論的にフィードフォワード出力を与えることによって、より高精度な制御を実現する。

## 【0088】

なお、必要に応じて、フィードフォワード出力を省略することもできる。この場合、フィードバック制御により、定常偏差を伴いつつ、フィードフォワード出力に近い値が間接的に与えられる。また、前記定常偏差は、積分ゲインを適用することによって低減させることができる。

## 【0089】

続いて、主制御ECU21は、各アクチュエータのフィードバック出力を決定する(ステップS5-2)。この場合、各目標値と実際の状態量との偏差から、次の式(6)により駆動モータ52のフィードバック出力を決定し、また、次の式(7)により能動重量部モータ62のフィードバック出力を決定する。

20

## 【0090】

## 【数6】

駆動モータ52のフィードバック出力  $\tau_{w,FB}$  は、次の式(6)で表される。

$$\begin{aligned} \tau_{w,FB} = & -K_{w1}(\theta_w - \theta_w^*) - K_{w2}(\dot{\theta}_w - \dot{\theta}_w^*) - K_{w3}(\theta_i - \theta_i^*) \\ & - K_{w4}(\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_i^*) - K_{w5}(\lambda_s - \lambda_s^*) - K_{w6}(\dot{\lambda}_s - \dot{\lambda}_s^*) \quad \dots \text{式(6)} \end{aligned}$$

30

ここで、 $K_{w1} \sim K_{w6}$  は、フィードバックゲインであり、その値としては、例えば、最適レギュレータの値をあらかじめ設定しておくものとする。なお、\*は目標値であることを示している。

また、能動重量部モータ62のフィードバック出力  $S_{s,FB}$  は、次の式(7)で表される。

$$\begin{aligned} S_{s,FB} = & -K_{s1}(\theta_w - \theta_w^*) - K_{s2}(\dot{\theta}_w - \dot{\theta}_w^*) - K_{s3}(\theta_i - \theta_i^*) \\ & - K_{s4}(\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_i^*) - K_{s5}(\lambda_s - \lambda_s^*) - K_{s6}(\dot{\lambda}_s - \dot{\lambda}_s^*) \quad \dots \text{式(7)} \end{aligned}$$

40

ここで、 $K_{s1} \sim K_{s6}$  は、フィードバックゲインであり、その値としては、例えば、最適レギュレータの値をあらかじめ設定しておくものとする。なお、\*は目標値であることを示している。

50

## 【0091】

なお、スライディングモード制御等の非線形のフィードバック制御を導入することもできる。また、より簡単な制御として、 $K_{W2}$ 、 $K_{W3}$ 及び $K_{S5}$ を除くフィードバックゲインのいくつかをゼロとしてもよい。さらに、定常偏差をなくすために、積分ゲインを導入してもよい。

## 【0092】

最後に、主制御ECU21は、各要素制御システムに指令値を与える（ステップS5-3）。この場合、主制御ECU21は、前述のように決定したフィードフォワード出力とフィードバック出力との和を駆動トルク指令値及び能動重量部推力指令値として、駆動輪制御ECU22及び能動重量部制御ECU23に送信する。

10

## 【0093】

このように、本実施の形態においては、段差抵抗トルク $T_D$ をオブザーバによって推定し、段差昇降トルク $T_C$ を与えるとともに、搭乗部14を段差の上段方向に移動させる。そのため、段差の上でも車体を直立に保持することができ、段差の昇降にも対応することができる。また、段差を計測する装置が不要となり、システム構成を簡素化してコストを低減することができる。

## 【0094】

さらに、車体の姿勢を示す車体傾斜角 $\theta_1$ 及び能動重量部位置 $s$ を考慮して段差昇降トルク $T_C$ を推定するので、大きな誤差が生じることなく、極めて高い精度で段差昇降トルク $T_C$ を推定することができる。

20

## 【0095】

なお、本実施の形態は、段差を上るときだけでなく、段差を降りるときにも有効であることを注記する。段差昇降トルクの付与によって段差降下時の車両の加速を抑えるのと共に、搭乗部14を後方に移動させることにより車体を直立に保持する。これは、以降で説明する他の実施の形態でも同様である。

## 【0096】

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

## 【0097】

図12は本発明の第2の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック図、図13は本発明の第2の実施の形態における車両の段差の昇降における動作を示す概略図である。

30

## 【0098】

前記第1の実施の形態においては、搭乗部14が、車両10の前後方向に本体部11に対して相対的に並進可能となるように取り付けられ、能動重量部として機能する。この場合、能動重量部モータ62を備える移動機構が配設され、これにより搭乗部14を並進させるので、構造の複雑化、コストや重量の増加と共に、制御システムも複雑化する。また、前記第1の実施の形態は、搭乗部14を移動させる移動機構を有していない倒立型車両に適用することは不可能である。

40

## 【0099】

そこで、本実施の形態においては、搭乗部14を移動させる移動機構が省略されている。また、図12に示されるように、制御システムからも、能動重量部制御システム60が省略され、能動重量部制御ECU23、能動重量部センサ61及び能動重量部モータ62が省略されている。なお、その他の点の構成については、前記第1の実施の形態と同様であるので、その説明は省略する。

## 【0100】

そして、本実施の形態においては、図13に示されるように、段差を昇降する際には、段差を昇降するための駆動輪12に付与する駆動トルク、すなわち、段差昇降トルクの反作用として車体に作用する反トルクとしての車体傾斜トルクに対し、車体を段差昇降トル

50

クに応じた角度だけ段差の上段方向に傾けることにより、車体傾斜トルクを重力の作用で打ち消してバランスを保つようになっている。

【0101】

なお、「背景技術」の項でも説明したように、例えば、段差に乗り上げるとき、必要な駆動トルクを駆動輪に付与すると、その反作用が車体に働くので、車体が段差と逆の方向、すなわち、段差の下段方向に大きく傾いてしまう。一方、車体の姿勢を直立に維持しようとする、必要な駆動トルクを駆動輪に付与することができないので、段差に乗り上げることができなくなってしまう。また、段差を降りるときにも同様の現象が発生し、車体が前方に傾いてしまう。

【0102】

これに対し、本実施の形態においては、段差の高さに適した角度だけ車体を段差の上段方向に意図的に傾けるので、段差の昇降の際にも、安定した車体の姿勢を保つことができ、段差のある場所でも安全に、かつ、快適に走行することができる。

【0103】

次に、本実施の形態における走行及び姿勢制御処理の詳細について説明する。なお、走行及び姿勢制御処理の概要及び目標走行状態の決定処理については、前記第1の実施の形態と同様であるので、説明を省略し、状態量の取得処理、段差昇降トルクの決定処理、目標車体姿勢の決定処理及びアクチュエータ出力の決定処理についてのみ説明する。まず、状態量の取得処理について説明する。

【0104】

図14は本発明の第2の実施の形態における状態量の取得処理の動作を示すフローチャートである。

状態量の取得処理において、主制御ECU21は、まず、センサから各状態量を取得する(ステップS1-11)。この場合、駆動輪センサ51から駆動輪回転角 $\theta_w$ 及び/又は回転角速度 $\dot{\theta}_w$ を取得し、車体傾斜センサ41から車体傾斜角 $\theta_1$ 及び/又は傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ を取得する。

続いて、主制御ECU21は、残りの状態量を算出する(ステップS1-12)。この場合、取得した状態量を時間微分又は時間積分することにより、残りの状態量を算出する。例えば、取得した状態量が駆動輪回転角 $\theta_w$ 及び車体傾斜角 $\theta_1$ である場合には、これらを時間微分することにより、回転角速度 $\dot{\theta}_w$ 及び傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ を得ることができる。また、例えば、取得した状態量が回転角速度 $\dot{\theta}_w$ 及び傾斜角速度 $\dot{\theta}_1$ である場合には、これらを時間積分することにより、駆動輪回転角 $\theta_w$ 及び車体傾斜角 $\theta_1$ を得ることができる。

【0105】

次に、段差昇降トルクの決定処理について説明する。

【0106】

図15は本発明の第2の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

【0107】

段差昇降トルクの決定処理において、主制御ECU21は、段差抵抗トルク $T_D$ を推定する(ステップS2-11)。この場合、状態量の取得処理で取得した各状態量と、前回(一つ前の時間ステップ)の走行及び姿勢制御処理におけるアクチュエータ出力の決定処理で決定した各アクチュエータの出力とに基づき、次の式(8)により、段差抵抗トルク $T_D$ を推定する。

【0108】

10

20

30

40

## 【数 7】

$$\tau_D = \tau_W - R_W \left( \tilde{M} R_W \ddot{\theta}_W + m_I \ell_I \ddot{\theta}_I \right) \quad \dots \text{式 (8)}$$

ここで、 $M = m_I + m_W$ 、 $\tilde{M} = M + \frac{I_W}{R_W^2}$ である。

また、加速度 $\ddot{\theta}_W$ 及び $\ddot{\theta}_I$ は、駆動輪回転角速度 $\dot{\theta}_W$ 及び車体傾斜角速度 $\dot{\theta}_I$ の時間微分によって求められる。

10

なお、前記式(8)において、 $\left( \tilde{M} R_W \ddot{\theta}_W + m_I \ell_I \ddot{\theta}_I \right)$ は慣性力を表している。この中で、 $\tilde{M} R_W \ddot{\theta}_W$ は車両並進慣性力、 $m_I \ell_I \ddot{\theta}_I$ は車体傾斜慣性力に相当する。このように、 $m_I \ell_I \ddot{\theta}_I$ を加えることによって、車体姿勢の変化を考慮している。

## 【0109】

20

続いて、主制御ECU21は、段差昇降トルク $c_c$ を決定する(ステップS2-12)。この場合、推定した段差抵抗トルク $D$ の値を段差昇降トルク $c_c$ の値とする。すなわち、 $c_c = D$ とする。

## 【0110】

このように、本実施の形態においては、駆動モータ52が出力する駆動トルクと、状態量としての駆動輪回転角加速度及び車体傾斜角加速度に基づいて段差抵抗トルクを推定する。この場合、駆動輪12の回転状態を示す駆動輪回転角加速度だけでなく、車体姿勢の変化を示す車体傾斜角加速度も考慮している。すなわち、倒立振り子の姿勢制御を利用した車両、いわゆる倒立型車両に特有の要素である車体姿勢の変化を考慮している。

## 【0111】

30

従来においては、駆動トルクと駆動輪回転角加速度とに基づいて段差抵抗トルクを推定するため、特に車体の姿勢が大きく変化するとき、段差抵抗トルクの推定値に大きな誤差が生じることがあった。しかし、本実施の形態においては、車体の姿勢変化を示す車体傾斜角加速度を考慮して段差抵抗トルクを推定するので、大きな誤差が生じることがなく、高い精度で段差抵抗トルクを推定することができる。

## 【0112】

また、本実施の形態においては、段差の昇降動作中に変化する段差抵抗トルクを常に推定している。例えば、段差の昇降動作中に一定の駆動トルクを駆動輪12に付与すると、昇降終了直前に、車両10が不必要に加減速してしまうことがある。これは、例えば、段差に乗り上げる場合、車両10が段差を上ると共に段差抵抗トルクが小さくなるためである。そこで、本実施の形態においては、段差昇降状態と共に変化する段差抵抗トルクの推定をリアルタイムで行い、その値を常に更新することで、常に段差の昇降動作に適した段差昇降トルクを付与するようになっている。

40

## 【0113】

なお、前記第1の実施の形態と同様に、段差抵抗トルクの推定値にローパスフィルタをかけることによって、推定値の高周波成分を除去することもできる。この場合、推定に時間遅れが生じるが、高周波成分に起因する振動を抑制することができる。

## 【0114】

本実施の形態においては、慣性力のみを考慮しているが、駆動輪12の転がり抵抗や回転軸の摩擦による粘性抵抗、あるいは、車両10に作用する空気抵抗などを、副次的な影

50

響として考慮してもよい。

【0115】

また、より正確な非線形モデルを使用してもよいし、車体傾斜運動についてのモデルを使用してもよい。なお、非線形モデルについては、マップの形式で関数を適用することもできる。

【0116】

さらに、計算の簡略化のために、車体姿勢の変化を考慮しなくてもよい。

【0117】

次に、目標車体姿勢の決定処理について説明する。

【0118】

図16は本発明の第2の実施の形態における目標車体姿勢の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【0119】

目標車体姿勢の決定処理において、主制御ECU21は、まず、車体傾斜角の目標値を決定する(ステップS4-11)。この場合、目標走行状態の決定処理によって決定された車両加速度の目標値と、段差昇降トルクの決定処理によって取得された段差昇降トルク $\tau_c$ とに基づき、次の式(9)により、車体傾斜角の目標値を決定する。

【0120】

【数8】

車体傾斜角の目標値 $\theta_{I}^*$ は、次の式(9)で表される。

$$\theta_{I}^* = \theta_{I,\alpha}^* + \theta_{I,c} \quad \dots \text{式(9)}$$

$$\text{ここで、} \theta_{I,\alpha}^* = \frac{m_I \ell_{I1} + \widetilde{MR}_w}{m_I \ell_{I1}} \alpha^*, \quad \theta_{I,c} = \frac{\tau_c}{m_I g \ell_{I1}} \text{である。}$$

また、 $\theta_{I,\alpha}^*$ は、車両加速度に伴う慣性力と駆動モータ反トルクとに対して車体のバランスをとるために必要な車体傾斜角、すなわち、車両10の加減速による影響を打ち消す傾斜角である。

一方、 $\theta_{I,c}$ は、段差抵抗トルク $\tau_D$ に応じた段差昇降トルク $\tau_c$ の反トルクに対して車体のバランスをとるのに必要な車体傾斜角、すなわち、段差抵抗トルク $\tau_D$ による影響を打ち消す傾斜角である。

【0121】

続いて、主制御ECU21は、残りの目標値を算出する(ステップS4-12)。すなわち、各目標値を時間微分又は時間積分することにより、駆動輪回転角及び車体傾斜角速度の目標値を算出する。

【0122】

このように、本実施の形態においては、車両加速度に伴って車体に作用する慣性力及び駆動モータ反トルクだけでなく、段差抵抗トルク $\tau_D$ に応じた段差昇降トルク $\tau_c$ に伴って車体に作用する反トルクも考慮して、車体姿勢の目標値、すなわち、車体傾斜角の目標値を決定する。

【0123】

このとき、車体傾斜トルクを重力の作用によって打ち消すように、車体の重心を移動さ

10

20

30

40

50

せる。例えば、車両 10 が加速するとき及び段差を上るときには車体を前方へ傾ける。また、車両 10 が減速するとき及び段差を下るときには車体を後方へ傾ける。

【 0 1 2 4 】

なお、本実施の形態においては、線形化した力学モデルに基づいた式を使用しているが、より正確な非線形モデル又は粘性抵抗を考慮したモデルに基づいた式を使用してもよい。なお、式が非線形になる場合には、マップの形式で関数を適用することもできる。

【 0 1 2 5 】

次に、アクチュエータ出力の決定処理について説明する。

【 0 1 2 6 】

図 17 は本発明の第 2 の実施の形態におけるアクチュエータ出力の決定処理の動作を示すフローチャートである。

10

【 0 1 2 7 】

アクチュエータ出力の決定処理において、主制御 ECU 21 は、まず、アクチュエータのフィードフォワード出力を決定する（ステップ S5 - 11）。この場合、目標値と段差昇降トルク  $\tau_c$  とから、前記第 1 の実施の形態において説明した前記式（4）により駆動モータ 52 のフィードフォワード出力を決定する。

【 0 1 2 8 】

前記式（4）に表されるように、段差抵抗トルク  $\tau_D$  に応じた段差昇降トルク  $\tau_c$  を自動的に追加することにより、段差の昇降の際にも、平地と同様の操縦感覚を提供することができる。すなわち、平地と同様の操縦操作で段差を乗り降りすることができる。また、ジョイスティック 31 の一定の操縦操作に対して、段差の昇降の際に、車両 10 が不必要に加減速することがない。

20

【 0 1 2 9 】

なお、本実施の形態においては、理論的にフィードフォワード出力を与えることによって、より高精度な制御を実現するが、必要に応じて、フィードフォワード出力を省略することもできる。この場合、フィードバック制御により、定常偏差を伴いつつ、フィードフォワード出力に近い値が間接的に与えられる。また、前記定常偏差は、積分ゲインを適用することによって低減させることができる。

【 0 1 3 0 】

続いて、主制御 ECU 21 は、アクチュエータのフィードバック出力を決定する（ステップ S5 - 12）。この場合、各目標値と実際の状態量との偏差から、次の式（10）により駆動モータ 52 のフィードバック出力を決定する。

30

【 0 1 3 1 】

【数 9】

駆動モータ 52 のフィードバック出力  $\tau_{WFB}$  は、次の式（10）で表される。

$$\tau_{WFB} = -K_{W1}(\theta_w - \theta_w^*) - K_{W2}(\dot{\theta}_w - \dot{\theta}_w^*) - K_{W3}(\theta_l - \theta_l^*) - K_{W4}(\dot{\theta}_l - \dot{\theta}_l^*) \quad \dots \text{式 (10)}$$

ここで、 $K_{W1} \sim K_{W4}$  は、フィードバックゲインであり、その値としては、例えば、最適レギュレータの値をあらかじめ設定しておくものとする。なお、\* は目標値であることを示している。

40

【 0 1 3 2 】

なお、スライディングモード制御等の非線形のフィードバック制御を導入することもできる。また、より簡単な制御として、 $K_{W2}$  及び  $K_{W3}$  を除くフィードバックゲインのいくつかをゼロとしてもよい。さらに、定常偏差をなくすために、積分ゲインを導入してもよい。

【 0 1 3 3 】

最後に、主制御 ECU 21 は、要素制御システムに指令値を与える（ステップ S5 - 1

50

3)。この場合、主制御 ECU 21 は、前述のように決定したフィードフォワード出力とフィードバック出力との和を駆動トルク指令値として、駆動輪制御 ECU 22 に送信する。

【0134】

このように、本実施の形態においては、車体を段差の上段方向に傾けて、段差の昇降の際にバランスを保つことができる。したがって、搭乗部 14 を移動させる移動機構を有していない倒立型車両に適用することができ、構造及び制御システムを簡素化することで、安価で軽量の倒立型車両でも安定した段差の乗り降りを実現することができる。

【0135】

次に、本発明の第 3 の実施の形態について説明する。なお、第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

【0136】

図 18 は本発明の第 3 の実施の形態における車両の構成を示す概略図であり段差手前で段差を検出している状態を示す図、図 19 は本発明の第 3 の実施の形態における車両の段差の昇降における動作を示す概略図、図 20 は本発明の第 3 の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック図である。なお、図 18 において、(b) は (a) の要部拡大図、図 19 において、(a) ~ (c) は一連の動作を示す図である。

【0137】

段差の昇降動作中に一定の駆動トルクを駆動輪 12 に付与すると、昇降終了直前に、車両 10 が不必要に加減速してしまうことがある。これは、例えば、段差に乗り上げる場合、車両 10 が段差を上ると共に段差抵抗トルクが小さくなるためである。

【0138】

そこで、本実施の形態においては、車両 10 の進行方向の段差をセンサによって検出し、該センサによって計測した段差の位置と高さ、及び、段差の昇降状態に相当する駆動輪回転角に応じて、段差昇降トルクを変化させるようになっている。

【0139】

そのため、本実施の形態において、車両 10 は、図 18 に示されるように、段差計測センサとしての距離センサ 71 を有する。該距離センサ 71 は、例えば、レーザ光を利用したものであるが、いかなる種類のセンサであってもよい。図 18 に示される例においては、2つの距離センサ 71 が、互いに前後に離れて、搭乗部 14 の下面に配設され、各々が下面から前方及び後方の路面までの距離を計測する。そして、各距離センサ 71 の計測値の変化から、路面の段差を検出し、検出した段差の位置及び高さを取得することができる。望ましくは、一方の距離センサ 71 が駆動輪 12 の路面に接地する部位よりも前方に位置し、他方の距離センサ 71 が駆動輪 12 の路面に接地する部位よりも後方に位置するように配設される。このように、2つの距離センサ 71 が駆動輪 12 の接地点から前後に離れた位置において路面までの距離を計測するので、車両 10 の前後の段差を検出することができる。

【0140】

また、車両 10 は、図 20 に示されるように、距離センサ 71 を含む段差計測システム 70 を有する。そして、距離センサ 71 は、前後の 2 点において、路面までの距離としての対地距離を検出して主制御 ECU 21 に送信する。

【0141】

これにより、例えば、段差に乗り上げる場合、図 19 に示されるように、車両 10 が上昇するのに応じて搭乗部 14 の移動量、段差に乗り上げるための駆動トルク等を変化させ、安定した車体姿勢及び走行の制御を行うことができる。

【0142】

次に、本実施の形態における走行及び姿勢制御処理の詳細について説明する。なお、走行及び姿勢制御処理の概要、状態量の取得処理、目標走行状態の決定処理、目標車体姿勢

10

20

30

40

50

の決定処理及びアクチュエータ出力の決定処理については、前記第 1 の実施の形態と同様であるので、説明を省略し、段差昇降トルクの決定処理についてのみ説明する。

【 0 1 4 3 】

図 2 1 は本発明の第 3 の実施の形態における上りの段差を測定するときの幾何学的条件を示す図、図 2 2 は本発明の第 3 の実施の形態における上りの段差の段差昇降抵抗率の変化を示す図、図 2 3 は本発明の第 3 の実施の形態における下りの段差を測定するときの幾何学的条件を示す図、図 2 4 は本発明の第 3 の実施の形態における下りの段差の段差昇降抵抗率の変化を示す図、図 2 5 は本発明の第 3 の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

【 0 1 4 4 】

段差昇降トルクの決定処理において、主制御 ECU 2 1 は、まず、距離センサ 7 1 の計測値を取得する（ステップ S 2 - 2 1）。この場合、前後 2 つの距離センサ 7 1 から対地距離の計測値を取得する。

【 0 1 4 5 】

続いて、主制御 ECU 2 1 は、段差の位置と高さとを決定する（ステップ S 2 - 2 2）。この場合、各距離センサ 7 1 から取得した対地距離の時間履歴と、車体傾斜角  $\eta_1$  と、搭乗部 1 4 の位置、すなわち、能動重量部位置  $s_0$  とに基づき、段差の位置と高さとを決定する。

【 0 1 4 6 】

続いて、主制御 ECU 2 1 は、段差抵抗トルク  $\tau_D$  を決定する（ステップ S 2 - 2 3）。この場合、段差抵抗トルク  $\tau_D$  を、次の式（1 1）により算出する。

$$\tau_D = \tau_{D,Max} \cdot \xi \quad \dots \text{式 (1 1)}$$

ここで、 $\tau_{D,Max}$  は最大段差抵抗トルクであり、 $\xi$  は段差昇降抵抗率である。

【 0 1 4 7 】

図 2 1 に示されるように、段差が上り、すなわち、昇段である場合、最大段差抵抗トルク  $\tau_{D,Max}$  及び段差昇降抵抗率  $\xi$  は、次の式（1 2）及び（1 3）で表される。なお、図 2 1 において、X は段差検出時における段差までの距離であり、H は段差の高さである。昇段の場合、H はゼロ以上となる。

【 0 1 4 8 】

【 数 1 0 】

$$\tau_{D,Max} = Mg R_w \sin \eta_0 \quad \dots \text{式 (1 2)}$$

$$\xi = \begin{cases} \frac{\sin(\eta_0 - \Delta \theta_w)}{\sin \eta_0} & (0 \leq \Delta \theta_w \leq \eta_0) \\ 0 & (\Delta \theta_w < 0, \Delta \theta_w > \eta_0) \end{cases} \quad \dots \text{式 (1 3)}$$

$$\text{ここで、} \eta_0 = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{H}{R_w} \right), \Delta \theta_w = \theta_w - \theta_{w,s},$$

$$\theta_{w,s} = \theta_{w,0} + \frac{X}{R_w} \sin \eta_0 \text{ である。}$$

【 0 1 4 9 】

なお、 $\eta_0$  は、仮想登坂角であり、段差を上るために必要な駆動輪回転角に相当する。また、 $\theta_{w,s}$  は駆動輪 1 2 が段差に接触した時点の駆動輪回転角であり、 $\theta_{w,0}$  は段差を検出した時点の駆動輪回転角である。さらに、 $\theta_w$  は段差接触以降の駆動輪回転角（相対駆動輪回転角）であり、その値は、駆動輪 1 2 が段差に接触した時点でゼロになる。

【 0 1 5 0 】

10

20

30

40

50

そして、段差抵抗トルク  $D$  の値は、図 2 2 に示されるように変化する。すなわち、駆動輪 1 2 が段差に接触した時点で最大値である  $D_{Max}$  となり、昇段中に徐々に減少し、昇段を終了した時点で最小値であるゼロになる。

【 0 1 5 1 】

また、図 2 3 に示されるように、段差が下り、すなわち、降段である場合、最大段差抵抗トルク  $D_{Max}$  及び段差昇降抵抗率  $\xi$  は、次の式 ( 1 4 ) 及び ( 1 5 ) で表される。なお、図 2 3 においても、 $X$  は段差検出時における段差までの距離であり、 $H$  は段差の高さであるが、降段の場合、 $H$  はゼロ未満、すなわち、マイナスとなる。

【 0 1 5 2 】

【 数 1 1 】

$$\tau_{D,Max} = -MgR_w \sin \eta_0 \quad \dots \text{式 ( 1 4 )}$$

$$\xi = \begin{cases} \frac{\sin \Delta \theta_w}{\sin \eta_0} & ( 0 \leq \Delta \theta_w < \eta_0 ) \\ 0 & ( \Delta \theta_w < 0, \Delta \theta_w \geq \eta_0 ) \end{cases} \quad \dots \text{式 ( 1 5 )}$$

$$\text{ここで、} \eta_0 = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{-H}{R_w} \right), \quad \Delta \theta_w = \theta_w - \theta_{w,S},$$

$$\theta_{w,S} = \theta_{w,0} + \frac{X}{R_w} \text{である。}$$

【 0 1 5 3 】

そして、段差抵抗トルク  $D$  の値は、図 2 4 に示されるように変化する。すなわち、駆動輪 1 2 が段差に接触した時点で最小値であるゼロであり、降段中に徐々に減少し、降段を終了する時点の直前で最大値である  $D_{Max}$  となる。

【 0 1 5 4 】

最後に、主制御 ECU 2 1 は、段差昇降トルク  $C$  を決定する ( ステップ S 2 - 2 4 ) 。この場合、推定した段差抵抗トルク  $D$  の値を段差昇降トルク  $C$  の値とする。すなわち、 $C = D$  とする。

【 0 1 5 5 】

このように、段差昇降トルクの決定処理においては、段差の高さ  $H$  に応じて段差抵抗トルク  $D$  の大きさを変えるようになっている。つまり、段差の高さ  $H$  の値が大きいほど段差抵抗トルク  $D$  の値を大きくする。

【 0 1 5 6 】

また、車両 1 0 の段差昇降状態に応じて段差抵抗トルク  $D$  の大きさを変えるようになっている。つまり、駆動輪回転角  $w$  から車両 1 0 の昇降状態を推定し、段差昇降抵抗率の値を変化させる。これにより、車両 1 0 の速度変化にも対応することができる。

【 0 1 5 7 】

具体的には、段差を上る場合、すなわち、段差の高さ  $H$  がゼロ以上の場合、駆動輪回転角  $w$  の増加とともに、段差抵抗トルク  $D$  ( 段差昇降抵抗率 ) を減少させる。これは、段差を上るにつれて、車両 1 0 を支持するために必要な駆動トルクが減少するからである。

【 0 1 5 8 】

一方、段差を下る場合、すなわち、段差の高さ  $H$  がゼロ未満の場合、駆動輪回転角  $w$  の増加とともに、段差抵抗トルク  $D$  ( 段差昇降抵抗率 ) を増加させる。これは、段差を下るにつれて、車両 1 0 を支持するために必要な駆動トルクが増加するからである。

【 0 1 5 9 】

10

20

30

40

50

これにより、段差昇降時における車両 10 の走行状態を安定的に制御することができる。

【0160】

なお、本実施の形態においては、車両 10 の前方に位置する段差に前進して突入した場合についてのみ説明したが、車両 10 の後方に位置する段差に後進して突入した場合についても、同様の制御を実施することができる。

【0161】

また、本実施の形態においては、段差の昇降動作中に距離センサ 71 を使用しない場合について説明したが、車両 10 の段差昇降状態をより正確に把握するために、距離センサ 71 の計測値を利用することもできる。これにより、駆動輪 12 がスリップしても安定した制御を行うことが可能となる。

10

【0162】

さらに、本実施の形態においては、段差昇降抵抗率 の決定式に不連続な関数を使用した場合について説明したが、不連続部分を連続に修正した関数を使用することもできる。また、不連続部分における制御のチャタリング又は車両動作のハンチングを防止するために、ヒステリシス制御（例えば、2つの閾値を設定し、駆動輪 12 の回転方向に応じて閾値を変える制御）を導入してもよい。

【0163】

さらに、本実施の形態においては、非線形の力学モデルに基づく決定式を使用した場合について説明したが、簡略化のために、線形近似した式を使用してもよい。また、駆動輪 12 の変形、転がり摩擦、スリップ条件等を考慮した、より高度な決定式を使用してもよい。

20

【0164】

このように、本実施の形態においては、車両 10 の進行方向の段差を距離センサ 71 によって検出し、該距離センサ 71 によって計測した段差の位置及び高さ  $H$  並びに駆動輪回転角  $\omega_w$  に応じて、段差昇降トルク  $T_c$  の値を変化させるようになっている。したがって、段差の昇降時にも車体の倒立姿勢を安定に保つことができる。これにより、車両 10 は、段差のある場所でも安全に、かつ、快適に走行することができる。

【0165】

なお、本実施の形態においては、2つの距離センサ 71 によって段差の検出、並びに、段差の位置及び高さ  $H$  を計測した場合について説明したが、他の装置や方法を使用することもできる。例えば、カメラによって車両 10 の進行方向の画像を取得し、取得した画像を解析することによって、段差の検出、並びに、段差の位置及び高さ  $H$  を計測してもよい。また、例えば、GPS (Global Positioning System) を利用して車両 10 の位置を取得する車両位置取得システムと、路面と段差に関する情報を含む地図データとに基づいて、車両 10 の周囲に存在する段差の情報を取得してもよい。

30

【0166】

次に、本発明の第 4 の実施の形態について説明する。なお、第 1 ~ 第 3 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 ~ 第 3 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

40

【0167】

図 26 は本発明の第 4 の実施の形態における段差乗り上げ時の車体と段差の幾何学的関係を示す図、図 27 は本発明の第 4 の実施の形態における目標状態の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【0168】

車両 10 が高い段差を上り下りする場合、段差が高すぎて上りきれなかった場合、急加速しながら段差を上ったり急減速しながら段差を下ったりするような動作を乗員 15 がジョイスティック 31 によって指令した場合などにおいて、車体が大きく傾いたり、乗員 15 が不自然と感じるような車両 10 の加減速が生じたりすることがある。

50

## 【 0 1 6 9 】

このような現象は、乗員 1 5 がジョイスティック 3 1 によって要求する車両加速度の目標値が、その限界を超えた値、すなわち、実現不能な値である場合、想定される車両 1 0 の状態と実際の車両 1 0 の状態との差が大きくなり、実際の状態に適した車両走行状態及び車体姿勢の制御が実行されない場合に発生する。

## 【 0 1 7 0 】

また、車両加速度の限界値は、車両走行性能の限界と車体姿勢制御の限界とによって決定され、それぞれの限界は段差に応じて変化する。車両走行性能の限界は、段差の昇降又は加減速に必要な駆動トルクの限界値に相当し、車両走行性能の限界に基づく車両加速度の限界値は、段差抵抗トルクに応じて変化する。また、車体姿勢制御の限界は、段差の昇降又は加減速に必要な駆動トルクに伴って車体に作用する反トルク、及び、加減速に伴って車体に作用する慣性力に対して、車体姿勢を保持するために必要な車体重心移動量（車体傾斜角と能動重量部移動量）の限界に相当し、車体姿勢制御の限界に基づく車両加速度の限界値は、段差抵抗トルク及び段差高さに応じて変化する。

10

## 【 0 1 7 1 】

例えば、高い段差を上げる場合、大きな段差抵抗トルクに比べて駆動モータ 5 2 の最大トルクが低い場合、駆動モータ 5 2 が最大トルクを発生させても、車両 1 0 は減速する。すなわち、車両加速度は、車両走行性能の限界により、ある負の値を上限として制限される。また、大きな段差抵抗トルクに対抗する段差昇降トルクを発生させたとき、その反作用として車体に作用する反トルクを打ち消すために、車体の重心を前方に大きく移動させる必要があるが、能動重量部の前方への移動量には車体構造上の限界があり、また、車体の前方への傾斜は路面との接触を回避するために制限される。特に、段差が高い場合には、その段差との接触を避ける必要があるため、車体傾斜はより厳しく制限される。したがって、車体の重心移動による重力トルクだけではなく、車両 1 0 を減速させ、減速に伴う慣性力によって反トルクに対抗する必要がある。すなわち、車両加速度は、車体姿勢制御の限界により、ある負の値を上限として制限される。

20

## 【 0 1 7 2 】

したがって、高い段差の昇降時においても安定した車両動作を実現するためには、段差によって複雑に変化する車両加速度の限界値を適切に評価し、その限界値により車両加速度の目標値を適切に制限する必要がある。

30

## 【 0 1 7 3 】

そこで、本実施の形態では、段差昇降時において、段差抵抗トルクに基づいて車両走行性能の限界と車体姿勢制御の限界を評価し、それらに応じて車両加速度の限界値を決定し、その限界値で車両加速度の目標値を制限する。なお、車体姿勢制御の限界を評価するときには、段差の存在による車体傾斜角可変域の変化を考慮する。

## 【 0 1 7 4 】

これにより、車両 1 0 が高い段差に進入した場合であっても、常に安定した車両動作を維持することができ、乗員 1 5 にとって安全で快適な走行を実現することができる。

## 【 0 1 7 5 】

次に、本実施の形態における走行及び姿勢制御処理の詳細について説明する。なお、走行及び姿勢制御処理の概要、状態量の取得処理、段差昇降トルクの決定処理、目標車体姿勢の決定処理及びアクチュエータ出力の決定処理については、前記第 1 の実施の形態と同様であるので、説明を省略し、目標走行状態の決定処理についてのみ説明する。

40

## 【 0 1 7 6 】

まず、主制御 ECU 2 1 は、操縦操作量を取得する（ステップ S 3 - 3 1）。この場合、乗員 1 5 が、車両 1 0 の加速、減速、旋回、その場回転、停止、制動等の走行指令を入力するために操作したジョイスティック 3 1 の操作量を取得する。

## 【 0 1 7 7 】

続いて、主制御 ECU 2 1 は、取得したジョイスティック 3 1 の操作量及び段差抵抗トルクに基づいて、車両加速度の目標値を決定する（ステップ S 3 - 3 2）。この場合、次

50

の式(16)により、車両加速度の目標値  $\alpha^*$  を決定する。

【0178】

【数12】

$$\alpha^* = \begin{cases} \alpha_{Min} & (\alpha_d^* < \alpha_{Min}) \\ \alpha_d^* & (\alpha_{Min} \leq \alpha_d^* \leq \alpha_{Max}) \\ \alpha_{Max} & (\alpha_d^* > \alpha_{Max}) \end{cases} \quad \dots \text{式(16)}$$

ここで、 $\alpha_d^*$ は、ジョイスティック31の操作量に応じた車両加速度の目標値である。

10

【0179】

また、 $\alpha_{Max}$  及び  $\alpha_{Min}$  は、それぞれ、車両加速度の上限値及び下限値であり、次の式(17)及び(18)により決定される。

【0180】

【数13】

$$\alpha_{Max} = \begin{cases} \min\{\alpha_{Max,W}, \alpha_{Max,\theta}\} & (\alpha_{Max,W} \geq \alpha_{Min,\theta} \text{ and } \alpha_{Min,W} \leq \alpha_{Max,\theta}) \\ \alpha_{Min,\theta} & (\alpha_{Max,W} < \alpha_{Min,\theta}) \\ \alpha_{Max,\theta} & (\alpha_{Min,W} > \alpha_{Max,\theta}) \end{cases} \quad \dots \text{式(17)}$$

20

$$\alpha_{Min} = \begin{cases} \max\{\alpha_{Min,W}, \alpha_{Min,\theta}\} & (\alpha_{Max,W} \geq \alpha_{Min,\theta} \text{ and } \alpha_{Min,W} \leq \alpha_{Max,\theta}) \\ \alpha_{Min,\theta} & (\alpha_{Max,W} < \alpha_{Min,\theta}) \\ \alpha_{Max,\theta} & (\alpha_{Min,W} > \alpha_{Max,\theta}) \end{cases} \quad \dots \text{式(18)}$$

【0181】

【数14】

ここで、 $\alpha_{Max,W}$ 及び $\alpha_{Min,W}$ は車両走行性能の限界に基づく車両加速度の上限値及び下限値であり、 $\alpha_{Max,\theta}$ 及び $\alpha_{Min,\theta}$ は、車体姿勢制御の限界に基づく車両加速度の上限値及び下限値である。

30

式(17)及び(18)における第1式の条件式は、車両走行性能の限界に基づく車両加速度の許容範囲 $\alpha_{Min,W} \leq \alpha \leq \alpha_{Max,W}$ の一部が車体姿勢制御の限界に基づく車両加速度の許容範囲 $\alpha_{Min,\theta} \leq \alpha \leq \alpha_{Max,\theta}$ の一部と重複する条件を表し、走行状態の安定制御と車体姿勢の安定制御との両立が可能である条件を意味する。

40

この条件を満足する場合には、2つの許容範囲の重複部分を最終的な許容範囲とするように車両加速度の上限値及び下限値を決定する。

【0182】

一方、前記式(17)及び式(18)における第2式及び第3式の条件式は、二つの許容範囲に重複域が存在しない、すなわち、二つの安定制御の両立が不可能である条件を意味する。この条件を満足する場合には、車体姿勢制御の限界の方を重視し、車体姿勢制御の限界に基づく許容範囲内で、かつ、車両走行性能の限界に基づく許容範囲に最も近い値を最適値と判断し、車両加速度の上限値と下限値を共にその最適値に設定することで、車両加速度の目標値を自動的に最適値に設定する。

50

## 【 0 1 8 3 】

車両走行性能の限界に基づく車両加速度の上限値  $\alpha_{Max,W}$  及び下限値  $\alpha_{Min,W}$  は、それぞれ、次の式 (19) 及び (20) により決定される。

## 【 0 1 8 4 】

## 【 数 1 5 】

$$\alpha_{Max,W} = \alpha_{Max,W,0} - \frac{\tau_D}{g \tilde{M}R_W} \quad \dots \text{式 (19)}$$

$$\alpha_{Min,W} = -\alpha_{Max,W,0} - \frac{\tau_D}{g \tilde{M}R_W} \quad \dots \text{式 (20)}$$

10

ここで、 $\alpha_{Max,W,0}$  は、段差のない水平な路面上における車両走行性能の限界に基づく車両加速度の限界値であり、最大駆動トルク  $\tau_{W,Max}$  に基づいて、次の式 (21) であらかじめ与えられる。

$$\alpha_{Max,W,0} = \frac{\tau_{W,Max}}{g \tilde{M}R_W} \quad \dots \text{式 (21)}$$

## 【 0 1 8 5 】

なお、前記式 (19) 及び (20) における右辺第 2 項が車両走行性能へ段差が及ぼす影響を表す。段差抵抗トルク  $\tau_D$  が正である場合、すなわち、前方の段差を上るときには、段差抵抗トルク  $\tau_D$  の大きさに応じて車両加速度の上限値  $\alpha_{Max,W}$  と下限値  $\alpha_{Min,W}$  を共に低くし、段差抵抗トルク  $\tau_D$  が負である場合、すなわち、前方の段差を下るときには、段差抵抗トルク  $\tau_D$  の大きさに応じて車両加速度の上限値  $\alpha_{Max,W}$  と下限値  $\alpha_{Min,W}$  を共に高くする。

20

## 【 0 1 8 6 】

## 【 数 1 6 】

一方、車体姿勢制御の限界に基づく車両加速度の上限値  $\alpha_{Max,\theta}$  及び下限値  $\alpha_{Min,\theta}$  は、それぞれ、次の式 (22) 及び (23) により決定される。

30

$$\alpha_{Max,\theta} = \alpha_{Max,\theta,0} - \frac{\tau_D}{g(m_1 \ell_1 + \tilde{M}R_W)} - \frac{m_1 \ell_1}{m_1 \ell_1 + \tilde{M}R_W} \Delta \theta_{1,f} \quad \dots \text{式 (22)}$$

$$\alpha_{Min,\theta} = -\alpha_{Max,\theta,0} - \frac{\tau_D}{g(m_1 \ell_1 + \tilde{M}R_W)} - \frac{m_1 \ell_1}{m_1 \ell_1 + \tilde{M}R_W} \Delta \theta_{1,b} \quad \dots \text{式 (23)}$$

ここで、 $\alpha_{Max,\theta,0}$  は、段差のない水平な路面上における車体姿勢制御の限界に基づく車両加速度の限界値であり、同路面上における最大車体傾斜角  $\theta_{1,Max,0}$  及び最大能動重量部移動量  $\lambda_{S,Max}$  に基づいて、次の式 (24) であらかじめ与えられる。

40

$$\alpha_{Max,\theta,0} = \frac{m_1 \ell_1}{m_1 \ell_1 + \tilde{M}R_W} \left( \theta_{1,Max,0} + \frac{m_S \lambda_{S,Max}}{m_1 \ell_1} \right) \quad \dots \text{式 (24)}$$

## 【 0 1 8 7 】

また、 $\theta_{1,f}$  及び  $\theta_{1,b}$  は、それぞれ、段差による前方車体傾斜角制限量及び後方車体傾斜角制限量であり、段差の無い路面上における最大車体傾斜角と、段差昇降時に上段側の面に車体の下端が接触する車体傾斜角との差で定義される。すなわち、どの程度車体傾斜を抑えれば車体が段差に接触しないか、その車体傾斜角の低減量を表す。これらの値は幾何学的条件によって決定され、例えば、次の式 (25) 及び (26) のように表され

50

る。

【 0 1 8 8 】

【 数 1 7 】

$$\Delta\theta_{1,f} = \begin{cases} h/\ell & (\tau_D > 0) \\ 0 & (\tau_D \leq 0) \end{cases} \quad \dots \text{式 (25)}$$

$$\Delta\theta_{1,b} = \begin{cases} 0 & (\tau_D \geq 0) \\ -h/\ell & (\tau_D < 0) \end{cases} \quad \dots \text{式 (26)}$$

10

【 0 1 8 9 】

ここで、 $h$ は実質段差高さであり、段差昇降途中における駆動輪の底面（路面に平行で、駆動輪の下側で接する平面）と段差上面との距離を表す。また、 $l$ は車体傾斜中心から路面接触点までの距離であり、車体傾斜中心である車軸から、実際に車体が傾いたときに段差に最初に接触する車体表面の点までの距離（車軸に平行な方向の成分を除く）を表す。なお、図26に示される例において、車両10の搭乗部14は、乗員15の足を載置するステップ部14dを備え、該ステップ部14dの下端が路面接触点に相当する。なお、 $h$ は、段差抵抗トルクの値から推定することが可能であり、次の式(27)により表される。

$$h = R_w (1 - \cos \theta) \quad \dots \text{式 (27)}$$

20

ここで、 $\theta$ は仮想登坂角であり、次の式(28)により表される。

【 0 1 9 0 】

【 数 1 8 】

$$\eta = \sin^{-1} \left( \frac{\tau_D}{MgR_w} \right) \quad \dots \text{式 (28)}$$

なお、前記式(22)及び(23)における第2項が段差抵抗トルクに対抗する段差昇降トルクを加えたときに車体に作用する反トルクの影響を表し、第3項が段差との接触回避に必要な車体傾斜角低減量が車体姿勢制御の限界能力に及ぼす影響を表す。段差抵抗トルク $\tau_D$ が正である場合、すなわち、前方の段差を上るときには、段差抵抗トルク $\tau_D$ の大きさに応じて車両加速度の上限値 $\alpha_{Max,\theta}$ 及び下限値 $\alpha_{Min,\theta}$ を共に低くし、段差抵抗トルク $\tau_D$ が負である場合、すなわち、前方の段差を下るときには、段差抵抗トルク $\tau_D$ の大きさに応じて車両加速度の上限値 $\alpha_{Max,\theta}$ 及び下限値 $\alpha_{Min,\theta}$ を共に高くする。

30

【 0 1 9 1 】

40

最後に、主制御ECU21は、決定した車両加速度の目標値から、駆動輪回転角速度の目標値を算出する(ステップS3-33)。例えば、車両加速度の目標値を時間積分し、駆動輪接地半径 $R_w$ で除した値を駆動輪回転角速度の目標値とする。

【 0 1 9 2 】

なお、ここでは、車両10の前方に位置する段差に前進して進入した場合についてのみの説明したが、車両10の後方に位置する段差に後進して進入する場合についても、同様の制御を実施することができる。

【 0 1 9 3 】

このようにして、目標走行状態の決定処理において、車両加速度の目標値及び駆動輪回転角速度の目標値が決定されると、次に実行される目標車体姿勢の決定処理において、前

50

記車両加速度の目標値に対応する車体姿勢の目標値、すなわち、能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値が決定される。そして、次に実行されるアクチュエータ出力の決定処理において、目標走行状態の決定処理及び目標車体姿勢の決定処理において決定された各目標値を実現するのに必要なアクチュエータ、すなわち、駆動モータ52及び能動重量部モータ62の出力が決定される。

【0194】

以上の方法により、車両10がいかなる段差昇降状態にあっても、段差の影響を考慮した車両加速度の限界値で車両加速度の目標値を適切に制限することで、車両10の走行状態や車体姿勢を安定に保つことができる。例えば、乗員15が段差を上るように指令したが、段差が非常に高くて上りきれなかった場合でも、安定した車両動作を維持することができる。

10

【0195】

以下に、本実施の形態による具体的な車両動作の例として、車両10が緩やかに加速しながら高い段差に進入したが、駆動トルクの限界によって前記段差を上りきれなかった場合について説明する。

【0196】

図28は本発明の第4の実施の形態における段差を上りきれなかった動作時の各状態を示す図である。また、図29は本発明の第4の実施の形態における段差を上りきれなかった動作時の段差昇降状態及び車体姿勢を示す図である。なお、図28において、(a)は段差抵抗トルク、(b)は車両加速度の目標値、(c)は駆動輪回転角速度、(d)は能動重量部位置の目標値を示す。また、図29において、(a)~(c)は一連の動作を示す。

20

【0197】

本動作例では、車両10が前進して段差に進入し、時刻 $t = t_1$ で段差の乗り上げを開始し、時刻 $t = t_2$ で最高地点に到達したが、駆動トルクの限界によってそれ以上前進することができずに降下を開始し、時刻 $t = t_3$ で再び下段に着地するまでの動作を示す。なお、本動作例は、減速に伴う慣性力が車体に及ぼす影響が、駆動トルクの反トルクが車体に及ぼす影響に比べて小さく、かつ、そのときに必要な車体重心の移動量が、車体の傾斜を伴うことなく、能動重量部の移動のみで達成することができる場合を想定している。

【0198】

車両10の駆動輪が段差に接触する前( $t < t_1$ )、乗員15が一定のジョイスティック入力量を与えることで、図28(b)に示すような一定の車両加速度の目標値 $d^*$ が設定される。そして、その目標状態を実現するように駆動トルクが付加されることで、図28(c)に示すように、車両10は一定の加速度で加速する。同時に、図28(d)に示すように、車両加速度の目標値に応じて能動重量部位置の目標値を適切に設定することで、加速に伴う慣性力や反トルクを、能動重量部が前方に移動することで発生する重力トルクによって打ち消し、安定した車体姿勢を維持することができる。

30

【0199】

車両10の駆動輪が段差に接触すると( $t = t_1$ )、図28(a)に示すように、段差抵抗トルクが急激に上昇する。この段差抵抗トルクが駆動トルク最大値を上回ると、図28(b)に示すように、乗員15が段差接触前から車両加速度 $d^*$ を指令し続けても、車両加速度の目標値は、車両走行性能の限界に基づく上限 $Max$ によって制限され、 $d^* = Max < d^*$ となる。すなわち、乗員15が加速を指令しても、主制御ECU21は車両10の減速に相当する負の車両加速度の目標値を設定する。そして、図28(c)に示すように、その車両加速度の目標値と一致するように駆動トルクを発生させて駆動輪の減速を制御すると共に、図28(d)に示すように、減速を指令する車両加速度の目標値に応じて、その減速度に伴って車体を前方に傾けるように作用する慣性力を打ち消すように能動重量部を後方に移動させる能動重量部位置の目標値を設定する。このように、物理的に実現不可能な車両加速度 $d^*$ ではなく、実現可能な車両加速度 $Max$ を目標値とすることで、通常走行時と同様に、適切な走行状態と車体姿勢の安定制御が自動的に実行

40

50

される。

【0200】

段差接触後、車両10は、図28(b)及び図28(c)に示すように、車両走行性能の限界に基づいて制限された車両加速度の目標値 $a^* = a_{Max}$ に従って減速し、段差の乗り上げを完遂する前に一時的に停止した( $t = t_2$ )後、駆動輪を逆方向に回転させながら段差を降下する。ちなみに、段差接触直後から段差抵抗トルクが徐々に減少しているのは、車両10が段差を上るのに従って、実質的な段差高さ(乗り上げまでの残りの高さ)が小さくなるためである。

【0201】

車両10が再び段差の下段に着地して段差から離れると( $t = t_3$ )、図28(a)に示すような段差抵抗トルクの低下に伴い、図28(b)に示すように車両加速度の上限値 $a_{Max}$ が増加し、車両加速度の目標値の制限が緩和される。そして、乗員15が要求する正の車両加速度の目標値 $a_d^*$ に再び従い、段差からの降下に伴う後方への車両速度を低減させるのと同時に、その目標値に従って、能動重量部を前方に動かすように能動重量部位置の目標値を決定する。

10

【0202】

このように、車両10が段差を途中まで上った後に折り返して降下するような複雑な段差昇降状態においても、車両10の走行状態と車体姿勢を安定に制御することができる。

【0203】

このような制御を実現する別の手段の一つとして、例えば、段差が高くて上りきれなかった場合に、通常走行時の制御方法から別の特別な制御方法に切り換える手段があるが、段差昇降可否の誤判定、制御方法の切り換え時に運転者に与える違和感、制御アルゴリズム及びプログラムの煩雑化、制御方法を切り換える閾値付近で断続的に切替が繰り返される現象の発生など、その制御手段を導入することにより発生する課題も多い。

20

【0204】

これに対して、本実施の形態は、車両10のいかなる段差昇降状態においても、通常走行時の制御に目標車両加速度の適切な制限を加えるだけで、車両10の走行状態と車体姿勢を安定に制御することができる、かつ、簡単でロバストな制御を実現している。

【0205】

このように、主制御ECU21は、段差昇降時において、車両の段差昇降状態によって変化する車両加速度の限界値を正しく評価する。

30

【0206】

具体的には、段差抵抗トルクに基づいて、車両加速度上限値と下限値を決定する。これにより、段差が車両動作に及ぼす影響を考慮し、段差昇降状態に応じた車両加速度制限値を設定することができる。

【0207】

そして、車両走行性能の限界と車体姿勢制御の限界を考慮して、車両加速度限界値を決定する。すなわち、各々の限界について車両加速度限界値を求め、走行性能の限界及び車体姿勢制御の限界のうち、より厳しい条件の値を車両加速度段差昇降の限界値とする。具体的には、車両走行性能の限界による車両加速度上限値と車体姿勢制御の限界による車両加速度上限値を比較し、低い方を車両加速度上限値とする。また、車両走行性能の限界による車両加速度下限値と車体姿勢制御の限界による車両加速度下限値を比較し、高い方を車両加速度下限値とする。これにより、段差昇降中の走行状態と車体姿勢を安定に保つことが可能なように、車両加速度の制限値を設定することができる。

40

【0208】

さらに、駆動モータの駆動トルク限界である駆動トルク最大値と段差抵抗トルクに基づいて、車両走行性能の限界による車両加速度上限値と下限値を決定する。具体的には、段差の無い水平な路面上における車両加速度限界値(基準値)から、段差抵抗トルクに比例した量だけ減少させた値を、車両走行性能の限界に基づく車両加速度限界値とする。これにより、段差による走行性能限界の変化を考慮し、段差昇降時における車両加速度限界値

50

を正しく評価することができる。

【0209】

例えば、段差を上るとき、上る段差が高いほど、加速が困難になるのと同時に減速が容易になる。また、段差の高さがある値よりも大きくなると、車両加速度上限値が負の値になる。すなわち、最大の駆動トルクを与えても車両は減速する。そして、段差進入時の車両速度が低いと、車両は、段差乗り上げ中に減速した結果、停止した後に後退を始める。本実施の形態では、このような現象及びそのメカニズムを車両加速度とその限界値に基づいて考慮することで、任意の段差昇降状態において、その走行状態と車体姿勢を安定に保つことを実現している。

【0210】

また、車体重心移動量の限界を決定する能動重量部移動量最大値と車体傾斜角最大値、車体傾斜トルクに係る段差抵抗トルク、及び、段差による車体傾斜角制限値に基づいて、車体姿勢制御の限界による車両加速度上限値と下限値を決定する。具体的には、段差の無い水平な路面上における車両加速度限界値（基準値）から、段差抵抗トルクに比例した量だけ減少させた値を、車体姿勢制御の限界による車両加速度限界値とする。これにより、段差による姿勢制御限界の変化を考慮し、段差昇降時における車両加速度限界値を正しく評価することができる。

【0211】

加えて、段差の高さと車体下部形状に応じて、車体姿勢制御の限界による車両加速度限界値を修正する。具体的には、前方の上り段差に進入する場合、段差と車体との接触を避けるために、車体傾斜角上限値を車体傾斜角制限値だけ減少させ、その減少量に応じて車両加速度上限値も減少させる。また、前方の下り段差に侵入する場合、段差と車体との接触を避けるために、車体傾斜角下限値を車体傾斜角制限値だけ減少させ、その減少量に応じて車両加速度下限値も減少させる。なお、本実施の形態では、段差抵抗トルクの推定値に基づいて実質段差高さを推定し、それに基づいて段差接触回避に必要な車体傾斜角軽減量を求める。これにより、車体が段差と接触することを確実に防ぐことができる。

【0212】

例えば、段差を上るとき、段差抵抗トルクに対抗する段差昇降トルクを付加すると、その反トルクが車体に作用するので、これを打ち消すために車体重心を前方に移動させる必要がある。車体重心移動量は、搭乗部の可動域、及び、車体が路面に接触する傾斜限界によって制限されるため、段差昇降トルクが大きくなると、すなわち、上る段差が高いほど、車両が加速するため（加速に必要な駆動トルクの反作用と加速度に伴う慣性力を打ち消すため）に必要な車体重心移動許容量の余剰分が少なくなる。そして、段差の高さがある値よりも大きくなると、車体重心の移動が不十分になり、車体が後方に大きく傾いてしまう。そこで、車両を減速させ、車体を前方に傾けようとする慣性力を作用させることで、反トルクを打ち消して車体姿勢を安定に保つことができる。すなわち、高い段差を上るとき、車体姿勢保持のためには、車両加速度上限値を負の値で制限する必要がある。本実施例では、このような現象、及び、そのメカニズムを車両加速度とその限界値に基づいて考慮することで、任意の段差昇降状態において、その走行状態と車体姿勢を安定に保つことができる。

【0213】

そして、主制御 ECU 21 は、段差昇降時において、車両加速度の目標値を適切に制限する。

【0214】

具体的には、段差抵抗トルクに応じて決定された車両加速度限界値によって、乗員の操縦装置操作量に応じた車両加速度の目標値を制限する。すなわち、乗員の要求する車両加速度が車両加速度上限値よりも高い場合には、車両加速度の目標値を車両加速度上限値とする。また、乗員の要求する車両加速度が車両加速度下限値よりも低い場合には、車両加速度の目標値を車両加速度下限値とする。これにより、車体姿勢を安定に保持できる範囲内で、乗員の要求に最も近い車両走行状態を実現することができる。

10

20

30

40

50

## 【0215】

また、車両走行性能の限界による車両加速度の制限条件と、車体姿勢制御の限界による車両加速度の制限条件のどちらか一方を満足できない場合には、完全制御不可と判断し、車体姿勢制御の限界による制限条件のみを考慮して、車両加速度の目標値を決定する。すなわち、車両走行性能の限界による車両加速度の上限値が車体姿勢制御の限界による車両加速度の下限値以下である場合には、車両加速度の目標値を車体姿勢制御の限界による車両加速度の下限値とする。また、車両走行性能の限界による車両加速度の下限値が車体姿勢制御の限界による車両加速度の上限値以上である場合には、車両加速度の目標値を車体姿勢制御の限界による車両加速度の上限値とする。これにより、特に高い段差の昇降時において、車体傾斜の乱れを最小限に抑えることができる。

10

## 【0216】

ここで、完全制御不可の状態は、駆動トルクによって調整することができる車両加速度の範囲において、能動重量部移動及び車体傾斜の限界によって、その加速度に伴う慣性力に対応できるような車体重心移動量を達成できない状態に相当する。言い換えれば、駆動トルクの限界によって、車体姿勢制御（重心位置制御）が対応できるような車両加速度を達成できない状態に相当する。例えば、車両がとても高い段差に接触した場合、段差接触と共に車両は急減速を余儀なくされ、限界まで車体重心を移動させても急減速に伴う慣性力の作用を打ち消すことができないときには、車体は前方に傾く。本実施の形態においては、このような状態において、車体姿勢制御の限界による車両加速度の限界値を車両加速度の目標値とすることで、車体姿勢制御の能力を最大限発揮させる。例えば、前述の例においては、車体重心を限界まで後方に移動させることで、前方への車体傾斜をできるだけ抑えることができる。

20

## 【0217】

なお、本実施の形態においては、乗員のジョイスティック操作量に基づいて乗員が要求する車両加速度の目標値を決定しており、ジョイスティック操作量を乗員要求車両加速度目標値に変換する関係式は車両の段差昇降状態に依らないが、この関係式自体を段差昇降状態又は車両加速度限界値によって変化させてもよい。例えば、ジョイスティックの前方への最大入力量を段差の影響を考慮した車両加速度上限値に、ジョイスティックの後方への最大入力量を同下限値に設定してもよい。これにより、乗員の要求する車両加速度目標値が常に許容範囲内にあるのと同時に、乗員が操縦できる自由度をより大きく確保することができる。

30

## 【0218】

また、本実施の形態においては、完全制御不可判定時において、姿勢制御を優先させるような目標車両加速度に決定することで車体姿勢の乱れを最小限に抑えているが、完全制御不可判定時に他の制御を実行あるいは追加してもよい。例えば、完全制御不可判定が所定時間以上継続した場合、警告音などによる乗員への危険状態の報知や車体接触防止用ストッパの突出による車体と路面との接触回避制御を実行してもよい。

## 【0219】

さらに、本実施の形態においては、段差による車体傾斜角制限量について、実質段差高さと同様に車体傾斜中心から路面接触点までの距離との比によって評価しているが、より厳密な方法を用いてもよい。例えば、各段差高さに対して車体の一部が実際に接触する車体傾斜角を実際に計測し、あるいは、図面から求め、それによって得られた車体傾斜角制限量の関数をマップとしてあらかじめ具備し、それを用いて車体傾斜角制限量を決定してもよい。

40

## 【0220】

さらに、本実施の形態においては、段差による車体傾斜角制限量の決定に必要な実質段差高さを、段差抵抗トルクに基づいて理論的に推定しているが、段差を計測するセンサを有し、その計測値を用いて決定してもよい。また、その計測値に基づいて段差抵抗トルクの値を推定してもよい。さらに、上り段差進入時において、駆動輪が段差に接触する前に、センサの計測値に基づいて段差による車体傾斜角制限量を決定してもよい。これにより

50

、車体を大きく前方に傾けて加速しながら上り段差に進入した場合に、駆動輪が段差に接触する前に車体が段差に接触することを防止することができる。

【0221】

さらに、本実施の形態においては、各条件に基づく車両加速度限界値を決定する際に線形の関数を用いているが、より厳密な非線形の関数を用いても良い。一方、実質段差高さを決定する際に非線形の関数を用いているが、それを近似した線形の関数を用いることで計算を簡単化してもよい。また、マップの形で非線形の関数を適用してもよい。

【0222】

なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々変形させることが可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

10

【図面の簡単な説明】

【0223】

【図1】本発明の第1の実施の形態における車両の構成を示す概略図であり乗員が搭乗した状態で加速前進している状態を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における車両の段差昇降動作を示す概略図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態における車両の走行及び姿勢制御処理の動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第1の実施の形態における車両の力学モデル及びそのパラメータを示す図である。

20

【図6】本発明の第1の実施の形態における状態量の取得処理の動作を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第1の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第1の実施の形態における目標走行状態の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図9】本発明の第1の実施の形態における能動重量部位置の目標値及び車体傾斜角の目標値の変化を示すグラフである。

【図10】本発明の第1の実施の形態における目標車体姿勢の決定処理の動作を示すフローチャートである。

30

【図11】本発明の第1の実施の形態におけるアクチュエータ出力の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図12】本発明の第2の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第2の実施の形態における車両の段差の昇降における動作を示す概略図である。

【図14】本発明の第2の実施の形態における状態量の取得処理の動作を示すフローチャートである。

【図15】本発明の第2の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

40

【図16】本発明の第2の実施の形態における目標車体姿勢の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図17】本発明の第2の実施の形態におけるアクチュエータ出力の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図18】本発明の第3の実施の形態における車両の構成を示す概略図であり段差手前で段差を検出している状態を示す図である。

【図19】本発明の第3の実施の形態における車両の段差の昇降における動作を示す概略図である。

【図20】本発明の第3の実施の形態における車両の制御システムの構成を示すブロック

50

図である。

【図21】本発明の第3の実施の形態における上りの段差を測定するときの幾何学的条件を示す図である。

【図22】本発明の第3の実施の形態における上りの段差の段差昇降抵抗率の変化を示す図である。

【図23】本発明の第3の実施の形態における下りの段差を測定するときの幾何学的条件を示す図である。

【図24】本発明の第3の実施の形態における下りの段差の段差昇降抵抗率の変化を示す図である。

【図25】本発明の第3の実施の形態における段差昇降トルクの決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図26】本発明の第4の実施の形態における段差乗り上げ時の車体と段差の幾何学的関係を示す図である。

【図27】本発明の第4の実施の形態における目標状態の決定処理の動作を示すフローチャートである。

【図28】本発明の第4の実施の形態における段差を上りきれなかった動作時の各状態量を示す図である。

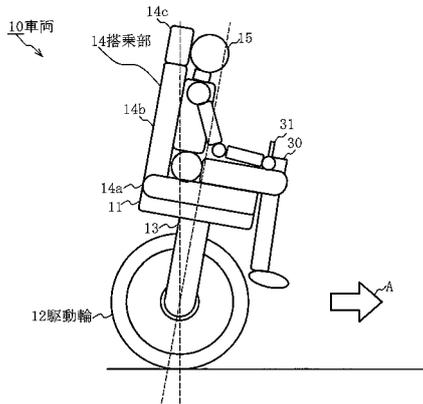
【図29】本発明の第4の実施の形態における段差を上りきれなかった動作時の段差昇降状態及び車体姿勢を示す図である。

【符号の説明】

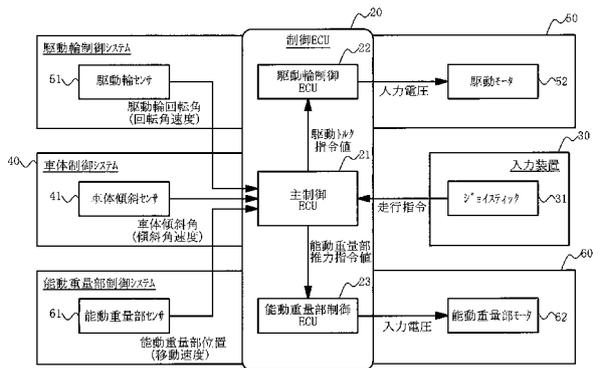
【0224】

- 10 車両
- 12 駆動輪
- 14 搭乗部
- 20 制御ECU

【図1】



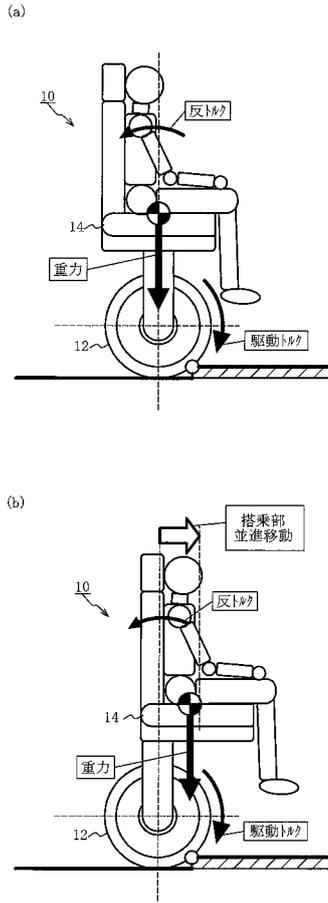
【図2】



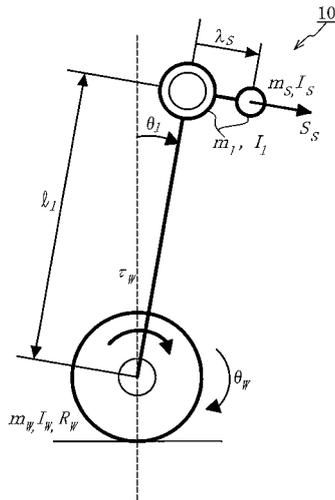
10

20

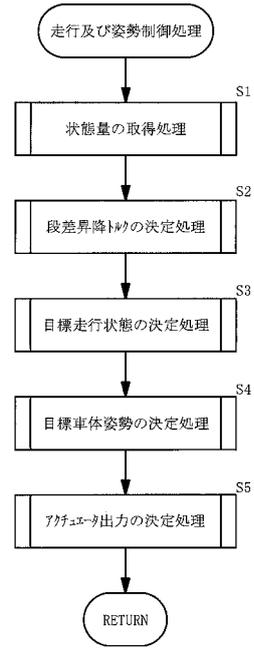
【図3】



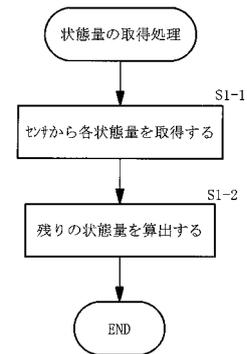
【図5】



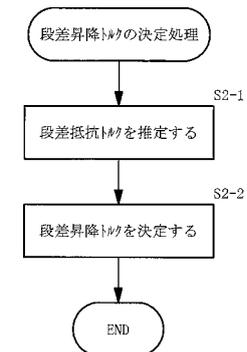
【図4】



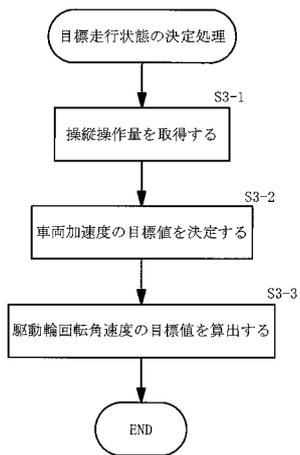
【図6】



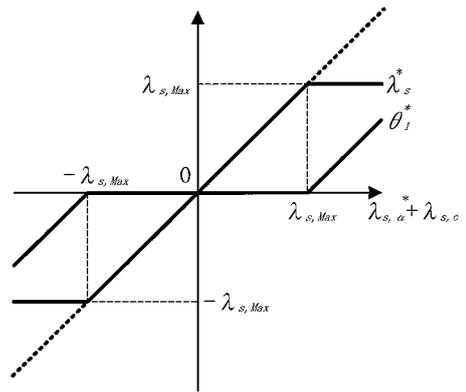
【図7】



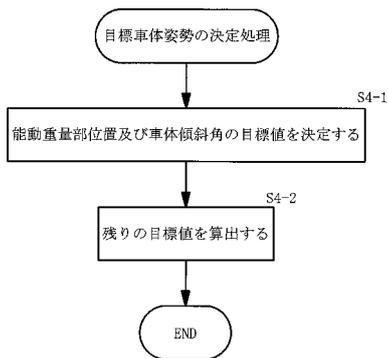
【図8】



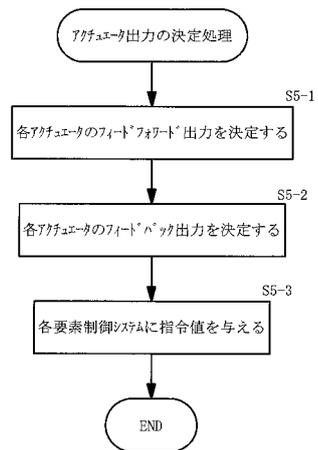
【図9】



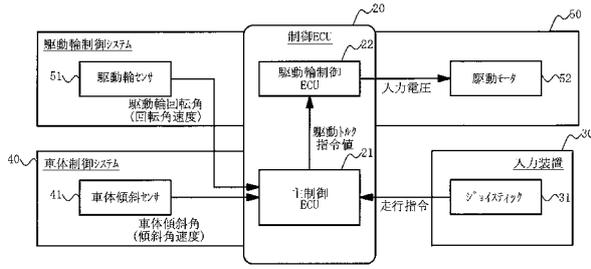
【図10】



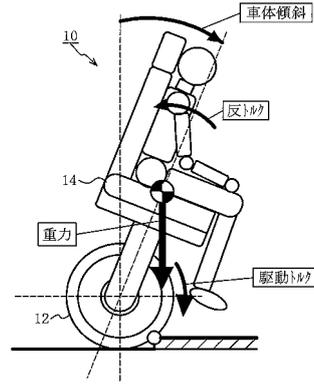
【図11】



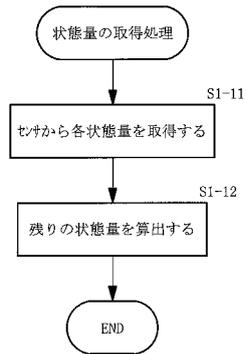
【図12】



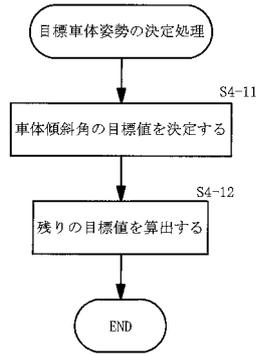
【図13】



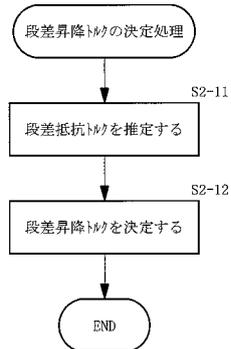
【図14】



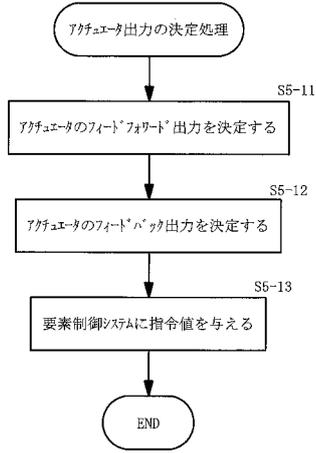
【図16】



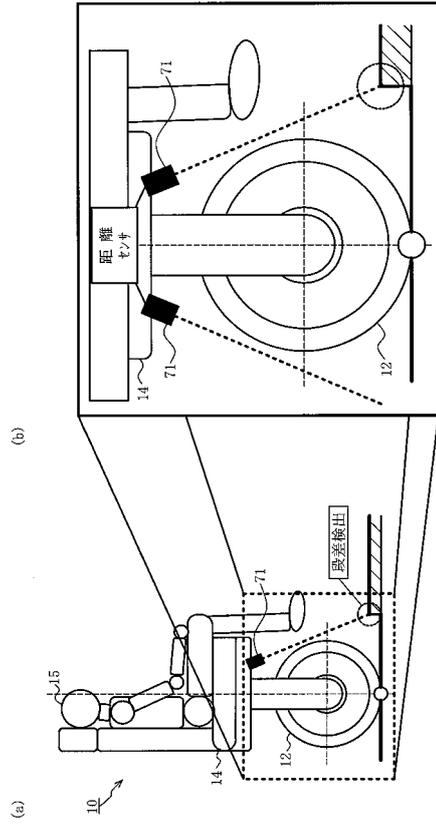
【図15】



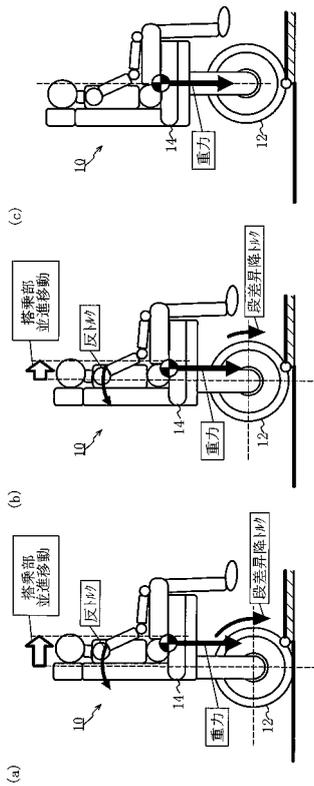
【図17】



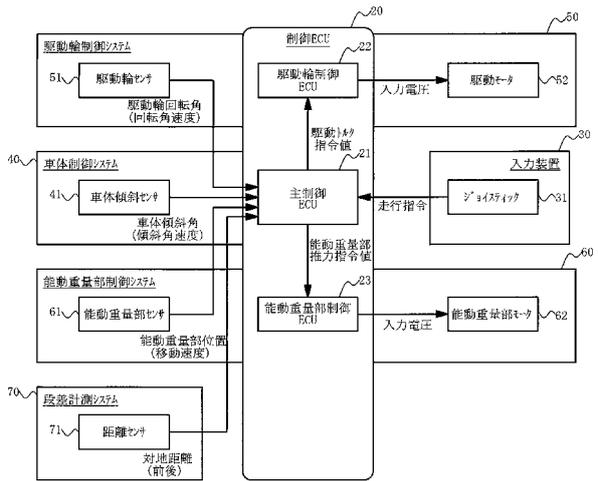
【図18】



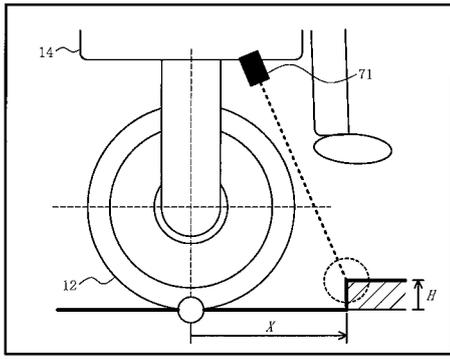
【図19】



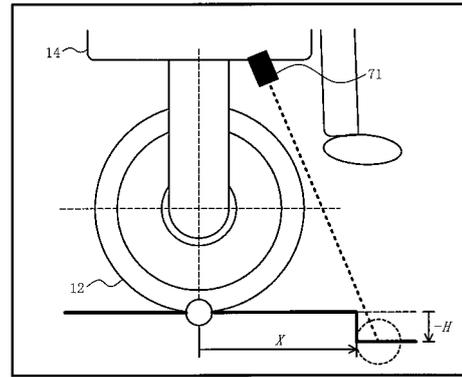
【図20】



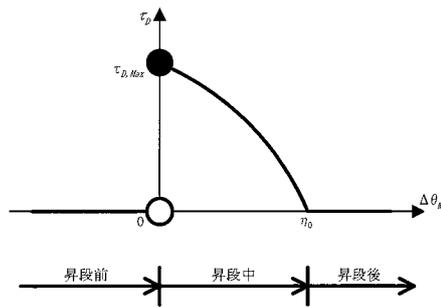
【図 2 1】



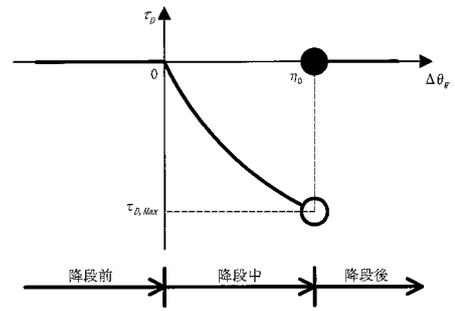
【図 2 3】



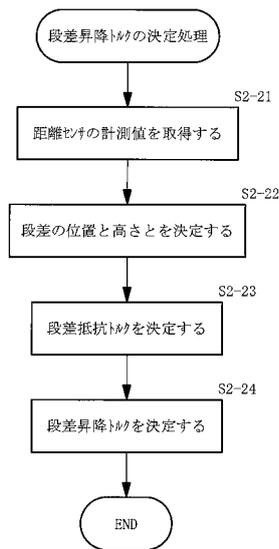
【図 2 2】



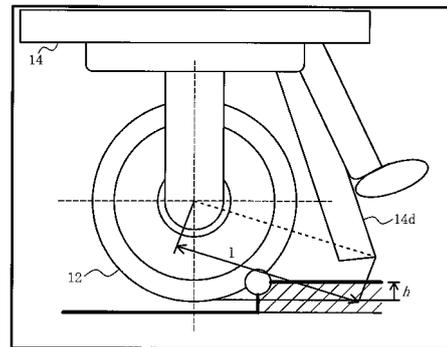
【図 2 4】



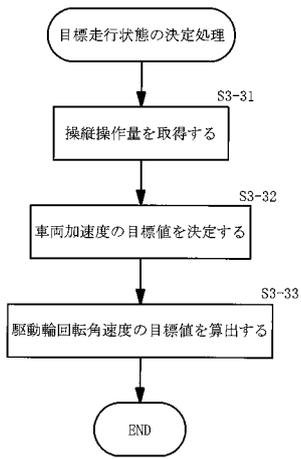
【図 2 5】



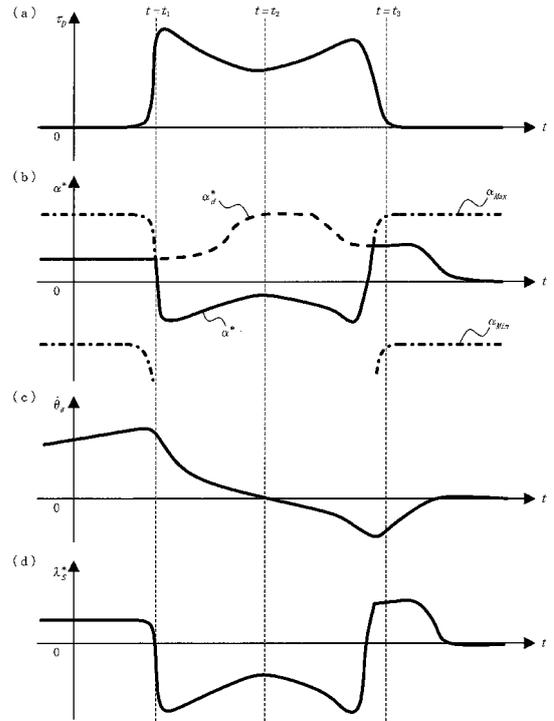
【図 2 6】



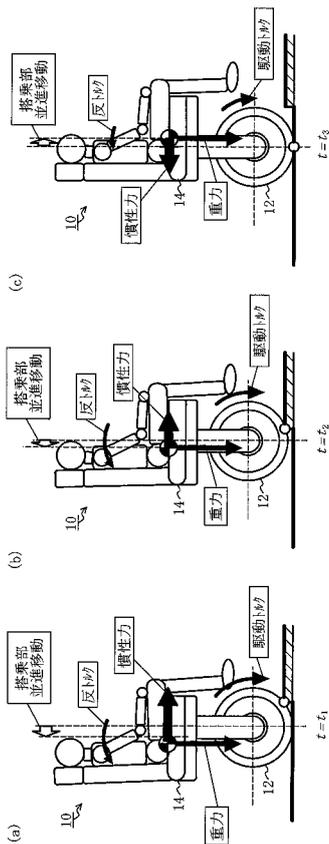
【 図 27 】



【 図 28 】



【 図 29 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-160956(JP,A)  
特開2005-138631(JP,A)  
特開2007-219986(JP,A)  
特開2006-306375(JP,A)  
特開2008-068801(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D	1/08
B60L	15/20
B62K	3/00
B62K	17/00