

(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2004-291898

(P2004-291898A)

(43) 公開日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51) Int. Cl.⁷

B 6 1 F 5/22

F I

B 6 1 F 5/22

テーマコード (参考)

F

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-89666 (P2003-89666)
 (22) 出願日 平成15年3月28日 (2003.3.28)

(71) 出願人 000173784
 財団法人鉄道総合技術研究所
 東京都国分寺市光町2丁目8番地38
 (74) 代理人 100090033
 弁理士 荒船 博司
 (74) 代理人 100093045
 弁理士 荒船 良男
 (72) 発明者 神山 雅子
 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
 団法人鉄道総合技術研究所内
 (72) 発明者 佐々木 君章
 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
 団法人鉄道総合技術研究所内

最終頁に続く

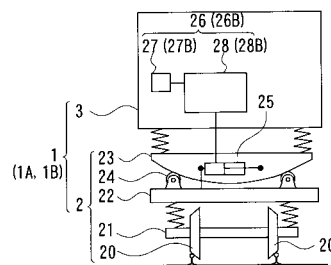
(54) 【発明の名称】 車体の傾斜角度制御装置、車体の傾斜角度制御方法及び鉄道車両

(57) 【要約】

【課題】 乗り心地を確実に向上させるように車体の傾斜角度を制御する。

【解決手段】 車体3の傾斜角度制御装置26は、車体3の傾斜角度の目標値を決定する演算処理部28と、車体3を傾斜させる動作部25とを備えている。演算処理部28は、未走行線路データを取得するデータ取得処理と、関数決定処理及び目標値決定処理からなる演算処理とを行う。関数決定処理においては、予定走行条件と未走行線路データとに基づき、傾斜角度の目標値を変数に有する関数として評価関数が決定される。目標値決定処理においては、評価関数の積分値が所定の範囲内に含まれるように目標値が決定される。動作部25は、演算処理部28の目標値決定処理によって決定された目標値に合わせて車体3を傾斜させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉄道車両における車体の傾斜角度制御装置であって、
線路全体の形状に関するデータベースから未走行区間の線路の形状に関する未走行線路データを取得するデータ取得処理と、前記車体の傾斜角度の目標値を決定する演算処理とを行う演算処理部と、

前記演算処理によって決定された前記目標値に合わせて前記車体を傾斜させる動作部とを備え、

前記演算処理は、前記未走行区間の線路上を前記鉄道車両が走行する際の前記車体の乗り心地の評価指標を推定するための評価関数を、前記未走行区間の線路上における予定走行条件と前記未走行線路データとに基づき、前記車体の傾斜角度の目標値を変数に有する関数として決定する関数決定処理と、前記評価指標の値が所定の範囲内に含まれるように前記目標値を決定する目標値決定処理とを有することを特徴とする車体の傾斜角度制御装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の車体の傾斜角度制御装置において、

前記演算処理部は、前記未走行区間の線路上を前記鉄道車両が走行するよりも前に、前記目標値を決定することを特徴とする車体の傾斜角度制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の車体の傾斜角度制御装置において、

前記評価関数は、

$$F(t) = a \max |y_p(t)| + b \max |y_j(t)| + c \max |\dot{y}_p(t)| + d \max |\dot{y}_j(t)| + e$$

(但し、 t : 時間、 $F(t)$: 前記評価関数、 $y_p(t)$: 前記車体の左右加速度、 $y_j(t)$: 前記左右加速度の時間変化率、 $\dot{y}_p(t)$: 前記車体のロール角速度、 $\dot{y}_j(t)$: 前記車体のロール角加速度、 a, b, c, d, e : 係数)

であり、

$y_p(t)$ 、 $y_j(t)$ 、 $\dot{y}_p(t)$ 及び $\dot{y}_j(t)$ は、それぞれ

20

【数 1】

$$y_p(t) = \frac{v^2}{R(t)} - \left(\frac{C(t)}{G} + \phi(t) \right) g \quad (2)$$

30

【数 2】

$$y_j(t) = y'_p(t) = -\frac{v^2}{R(t)^2} R'(t) - \left(\frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \right) g \quad (3)$$

【数 3】

$$\theta_p(t) = \frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \quad (4)$$

40

【数 4】

$$\theta_j(t) = \theta'_p(t) = \frac{C''(t)}{G} + \phi''(t) \quad (5)$$

(但し、 v : 走行速度、 $R(t)$: 線路の曲率半径、 $C(t)$: 線路のカント、 $C'(t)$: カントの時間変化率、 $C''(t)$: カントの時間変化率の時間変化率、 G : 軌間、 $\phi(t)$: 前記目標値、 $\phi'(t)$: 前記目標値の時間変化率、 $\phi''(t)$: 前記目標値の時間変化率の時間変化率、 g : 重力加速度)

として近似されて用いられることを特徴とする車体の傾斜角度制御装置。

【請求項 4】

50

請求項 1 または 2 記載の車体の傾斜角度制御装置において、
前記評価関数は、

$$F(t) = (\mu a y_p(t))^{2n} + (\mu b y_j(t))^{2n} + (\mu c \dot{\theta}_p(t))^{2n} + (\mu d \dot{\theta}_j(t))^{2n}$$

(但し、 t : 時間、 $F(t)$: 前記評価関数、 $y_p(t)$: 前記車体の左右加速度、 $y_j(t)$: 前記左右加速度の時間変化率、 $\dot{\theta}_p(t)$: 前記車体のロール角速度、 $\dot{\theta}_j(t)$: 前記車体のロール角加速度、 a, b, c, d, e, μ : 係数、 n : 正の整数)

であり、

$y_p(t)$ 、 $y_j(t)$ 、 $\dot{\theta}_p(t)$ 及び $\dot{\theta}_j(t)$ は、それぞれ

【数 5】

$$y_p(t) = \frac{v^2}{R(t)} - \left(\frac{C(t)}{G} + \phi(t) \right) g \quad (2)$$

【数 6】

$$y_j(t) = y'_p(t) = -\frac{v^2}{R(t)^2} R'(t) - \left(\frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \right) g \quad (3)$$

【数 7】

$$\theta_p(t) = \frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \quad (4)$$

【数 8】

$$\theta_j(t) = \theta'_p(t) = \frac{C''(t)}{G} + \phi''(t) \quad (5)$$

(但し、 v : 走行速度、 $R(t)$: 線路の曲率半径、 $C(t)$: 線路のカント、 $C'(t)$: カントの時間変化率、 $C''(t)$: カントの時間変化率の時間変化率、 G : 軌間、 $\phi(t)$: 前記目標値、 $\phi'(t)$: 前記目標値の時間変化率、 $\phi''(t)$: 前記目標値の時間変化率の時間変化率、 g : 重力加速度)

として近似されて用いられることを特徴とする車体の傾斜角度制御装置。

【請求項 5】

請求項 3 または 4 記載の車体の傾斜角度制御装置において、

前記データベースは、前記未走行線路データを離散的に記憶し、

前記演算処理部は、所定時間 $T_0 + T_1$ 内に前記鉄道車両が走行すべき区間の線路を前記未走行区間の線路として前記データ取得処理及び前記演算処理を所定時間 T_0 ごとに行い、複数回の前記演算処理のそれぞれにおいては、前記予定走行条件を一定として前記目標値の時間変化率 $\phi'(t)$ と、前記目標値の時間変化率の時間変化率 $\phi''(t)$ とをそれぞれ

【数 9】

$$\phi'(i) \approx \frac{\phi(i) - \phi(i-1)}{\Delta t_i} \quad (11)$$

【数 10】

$$\phi''(i) \approx \frac{\phi'(i) - \phi'(i-1)}{\Delta t_i} \quad (12)$$

(但し、 $t_i = x_i / v$ 、 x_i : $i - 1$ 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点と i 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点との間隔、 i : 正の整数)

として近似して用い、前回の前記演算処理の結果に基づいて前記目標値を決定し、

10

20

30

40

50

前記動作部は、前記前回の演算処理と今回の前記演算処理とによって前記目標値が重複して決定される時間 T_1 内のうち、少なくともこの時間 T_1 の終了時点を含む所定時間 T_2 ($T_2 > T_1$) 内においては、前記前回の演算処理による前記目標値に合わせて前記鉄道車両を傾斜させることを特徴とする車体の傾斜角度制御装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の車体の傾斜角度制御装置によって車体の傾斜角度を制御することを特徴とする車体の傾斜角度制御方法。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の車体の傾斜角度制御装置を備えることを特徴とする鉄道車両。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、鉄道車両が線路の曲線部を走行する際の車体の傾斜角度を制御する車体の傾斜角度制御装置、車体の傾斜角度制御方法及び鉄道車両に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、振り子の鉄道車両は線路の曲線部を走行する際には乗り心地を悪化させないように車体を曲線部の内側に傾斜させるようになっており、このような車体の傾斜方式としては自然振り方式と制御付き振り方式とが知られている。自然振り方式は遠心力によって車体を自然に振れさせるものであり、制御付き振り方式は走行速度や線路形状に応じて車体の傾斜角度を制御するものである。これらの方式のうち、制御付き振り方式としては、所定時間経過後に走行するべき未走行区間の線路の形状を予見して車体の傾斜角度の目標値を事前に決定し、この目標値に合わせて車体の傾斜角度を制御する予見制御方式が広く採用されている（例えば、特開昭 61 - 108053 号公報）。

20

【0003】

このような予見制御方式の鉄道車両は、線路形状に関するデータベースを内部に備えており、未走行区間の線路形状に関する未走行線路データをデータベースから取得し、この未走行線路データに基づいて車体の傾斜角度を制御している。

【0004】

ところで、近年、乗客による主観的な乗り心地評価を推定するために種々の評価指標が提案されている。これらの評価指標は、乗り心地と相関の高い振動特性の測定結果に基づいて算出されている（例えば、特許文献 1 参照）。

30

【0005】

【特許文献 1】

特開 2001 - 255242 号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、これらの評価指数は振動特性の測定結果から乗り心地評価を推定するものであって乗り心地評価を予見可能とするものではないため、このような評価指数を用いて上記予見制御方式の鉄道車両における車体の傾斜角度の制御を行うことはできなかった。そのため、鉄道車両が線路の曲線部を走行した際に乗客が乗り心地の悪さを感じる場合が生じていた。

40

【0007】

本発明の課題は、乗り心地を確実に向上させるように車体の傾斜角度を制御することができる車体の傾斜角度制御装置、車体の傾斜角度制御方法及び鉄道車両を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 記載の発明は、鉄道車両における車体の傾斜角度制御装置であって、線路全体の

50

形状に関するデータベースから未走行区間の線路の形状に関する未走行線路データを取得するデータ取得処理と、前記車体の傾斜角度の目標値を決定する演算処理とを行う演算処理部と、

前記演算処理によって決定された前記目標値に合わせて前記車体を傾斜させる動作部とを備え、

前記演算処理は、前記未走行区間の線路上を前記鉄道車両が走行する際の前記車体の乗り心地の評価指標を推定するための評価関数を、前記未走行区間の線路上における予定走行条件と前記未走行線路データとに基づき、前記車体の傾斜角度の目標値を変数に有する関数として決定する関数決定処理と、前記評価指標の値が所定の範囲内に含まれるように前記目標値を決定する目標値決定処理とを有することを特徴とする。

10

【0009】

請求項1記載の発明によれば、演算処理部は、乗り心地の評価指標を推定するための評価関数を、車体の傾斜角度の目標値を変数に有する関数として決定するので、評価関数の値、つまり評価指標の推定値が所定の範囲内に含まれるように車体の傾斜角度の目標値を事前に決定することができる。従って、車体の傾斜角度を事前に制御する場合であっても、従来と異なり、実際に未走行区間の線路を鉄道車両が走行した際の乗り心地を確実に向上させることができる。

なお所定の範囲とは、一つの値のみからなるものであっても良い。

【0010】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の車体の傾斜角度制御装置において、前記演算処理部は、前記未走行区間の線路上を前記鉄道車両が走行するよりも前に、前記目標値を決定することを特徴とする。

20

【0011】

請求項2記載の発明によれば、未走行区間の線路上を鉄道車両が走行するよりも前に前記目標値が決定されるので、動作部は、車体が傾斜した状態となる時点を遅らせることなく、線路の形状の変化に合わせて確実に車体を傾斜させ、乗り心地を向上させることができる。

【0012】

請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の車体の傾斜角度制御装置において、前記評価関数は、

30

$$F(t) = a \max |y_p(t)| + b \max |y_j(t)| + c \max |\dot{y}_p(t)| + d \max |\dot{y}_j(t)| + e$$

(但し、 t ：時間、 $F(t)$ ：前記評価関数、 $y_p(t)$ ：前記車体の左右加速度、 $y_j(t)$ ：前記左右加速度の時間変化率、 $\dot{y}_p(t)$ ：前記車体のロール角速度、 $\dot{y}_j(t)$ ：前記車体のロール角加速度、 a, b, c, d, e ：係数)

であり、

$y_p(t)$ 、 $y_j(t)$ 、 $\dot{y}_p(t)$ 及び $\dot{y}_j(t)$ は、それぞれ

【数11】

$$y_p(t) = \frac{v^2}{R(t)} - \left(\frac{C(t)}{G} + \phi(t) \right) g \quad (2)$$

40

【数12】

$$y_j(t) = y'_p(t) = -\frac{v^2}{R(t)^2} R'(t) - \left(\frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \right) g \quad (3)$$

【数13】

$$\theta_p(t) = \frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \quad (4)$$

【数14】

50

$$\theta_j(t) = \theta'_p(t) = \frac{C''(t)}{G} + \phi''(t) \quad (5)$$

(但し、 v ：走行速度、 $R(t)$ ：線路の曲率半径、 $C(t)$ ：線路のカント、 $C'(t)$ ：カントの時間変化率、 $C''(t)$ ：カントの時間変化率の時間変化率、 G ：軌間、 $\phi(t)$ ：前記目標値、 $\phi'(t)$ ：前記目標値の時間変化率、 $\phi''(t)$ ：前記目標値の時間変化率の時間変化率、 g ：重力加速度)として近似されて用いられることを特徴とする。

【0013】

ここで、未走行線路データ、具体的には未走行区間の線路のカント $C(t)$ と、曲率半径 $R(t)$ と、軌間 G とはデータベースから事前に取得可能となっている。また、鉄道車両の予定走行速度 v 等の未走行区間の線路上での予定走行条件についても事前に取得可能となっている。更に、これら未走行線路データ及び予定走行条件に基づき、カント $C(t)$ の時間変化率 $C'(t)$ と、時間変化率 $C'(t)$ の時間変化率 $C''(t)$ と、曲率半径 $R(t)$ の時間変化率 $R'(t)$ 等についても事前に取得可能となっている。

【0014】

請求項3記載の発明によれば、評価関数 $F(t)$ における車体の左右加速度 $y_p(t)$ 、左右加速度 $y_p(t)$ の時間変化率 $y_j(t)$ 、車体のロール角速度 $\rho(t)$ 及び車体のロール角加速度 $\rho_j(t)$ はそれぞれ未走行線路データと予定走行条件とからなる近似式から求められるので、乗り心地の評価指標の推定値を車体の傾斜角度の目標値に応じて事前に決定することができる。従って、評価指標の推定値が所定の範囲内に含まれるように車体の傾斜角度の目標値を事前に決定することができる。

【0015】

請求項4記載の発明は、請求項1または2記載の車体の傾斜角度制御装置において、前記評価関数は、

$$F(t) = (\mu a y_p(t))^2 + (\mu b y_j(t))^2 + (\mu c \rho(t))^2 + (\mu d \rho_j(t))^2$$

(但し、 t ：時間、 $F(t)$ ：前記評価関数、 $y_p(t)$ ：前記車体の左右加速度、 $y_j(t)$ ：前記左右加速度の時間変化率、 $\rho(t)$ ：前記車体のロール角速度、 $\rho_j(t)$ ：前記車体のロール角加速度、 a, b, c, d, e, μ ：係数、 n ：正の整数)

であり、

$y_p(t)$ 、 $y_j(t)$ 、 $\rho(t)$ 及び $\rho_j(t)$ は、それぞれ

【数15】

$$y_p(t) = \frac{v^2}{R(t)} - \left(\frac{C(t)}{G} + \phi(t) \right) g \quad (2)$$

【数16】

$$y_j(t) = y'_p(t) = -\frac{v^2}{R(t)^2} R'(t) - \left(\frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \right) g \quad (3)$$

【数17】

$$\theta_p(t) = \frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \quad (4)$$

【数18】

$$\theta_j(t) = \theta'_p(t) = \frac{C''(t)}{G} + \phi''(t) \quad (5)$$

(但し、 v ：走行速度、 $R(t)$ ：線路の曲率半径、 $C(t)$ ：線路のカント、 $C'(t)$ ：カントの時間変化率、 $C''(t)$ ：カントの時間変化率の時間変化率、 G ：軌間、

10

20

30

40

50

(t) : 前記目標値、 ' (t) : 前記目標値の時間変化率、 ' ' (t) : 前記目標値の時間変化率の時間変化率、 g : 重力加速度)
として近似されて用いられることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

ここで、 n は任意の正の整数であり、有限の値である限りにおいて値の大きいものであるほど好ましい。

請求項 4 記載の発明によれば、評価関数 F (t) における車体の左右加速度 $y_p (t)$ 、左右加速度 $y_p (t)$ の時間変化率 $y_j (t)$ 、車体のロール角速度 $\rho (t)$ 及び車体のロール角加速度 $j (t)$ はそれぞれ未走行線路データと予定走行条件とからなる近似式から求められるので、乗り心地の評価指標の推定値を車体の傾斜角度の目標値に応じて事前に決定することができる。従って、評価指標の値が所定の範囲内に含まれるように車体の傾斜角度の目標値を事前に決定することができる。

10

また、車体の左右加速度 $y_p (t)$ と、その時間変化率 $y_j (t)$ と、車体のロール角速度 $\rho (t)$ と、車体のロール角加速度 $j (t)$ とからなる振動特性のそれぞれを $2n$ 乗した和の値を時点 t_0 から時点 t_1 までの時間内で積分することによって評価指標が計算されるので、請求項 4 記載の発明と異なり、振動特性のそれぞれの最大値を求める必要がない分、評価関数を決定する処理を簡略化することができる。従って、車体の傾斜角度の目標値をより早く決定することができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 5 記載の発明は、請求項 3 または 4 記載の車体の傾斜角度制御装置において、前記データベースは、前記未走行線路データを離散的に記憶し、前記演算処理部は、所定時間 $T_0 + T_1$ 内に前記鉄道車両が走行するべき区間の線路を前記未走行区間の線路として前記データ取得処理及び前記演算処理を所定時間 T_0 ごとに行い、複数回の前記演算処理のそれぞれにおいては、前記予定走行条件を一定として前記目標値の時間変化率 ' (t) と、前記目標値の時間変化率の時間変化率 ' ' (t) とをそれぞれ

20

【 数 1 9 】

$$\phi'(i) \approx \frac{\phi(i) - \phi(i-1)}{\Delta t_i} \quad (11)$$

30

【 数 2 0 】

$$\phi''(i) \approx \frac{\phi'(i) - \phi'(i-1)}{\Delta t_i} \quad (12)$$

(但し、 $t_i = x_i / v$ 、 x_i : $i - 1$ 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点と i 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点との間隔、 i : 正の整数)

として近似して用い、前回の前記演算処理の結果に基づいて前記目標値を決定し、前記動作部は、前記前回の演算処理と今回の前記演算処理とによって前記目標値が重複して決定される時間 T_1 内のうち、少なくともこの時間 T_1 の終了時点を含む所定時間 T_2 ($T_2 > T_1$) 内においては、前記前回の演算処理による前記目標値に合わせて前記鉄道車両を傾斜させることを特徴とする。

40

【 0 0 1 8 】

請求項 5 記載の発明によれば、評価関数には傾斜角度の目標値に関する 1 階差分と 2 階差分とが含まれ、各演算処理においては前回の演算処理の結果に基づいて目標値が決定されるため、前回の演算処理と今回の演算処理とによって目標値が重複して決定される時間 T_1 内においては、前回の演算処理による目標値と今回の演算処理による目標値とは、異なる値とならずに同一化されることとなる。従って、傾斜角度の目標値を全ての走行区間に渡って連続させることができるため、時間 T_1 のうち少なくともこの時間 T_1 の終了時点を含む所定時間 T_2 内において前回の演算処理による目標値に合わせて動作部に車体を傾

50

斜させることにより、例えば複心曲線や反向曲線等の複雑な形状の曲線部を鉄道車両が走行する場合でも、車体の傾斜角度を連続して変化させ、乗り心地を向上させることができる。

【0019】

請求項6記載の発明は、車体の傾斜角度制御方法であって、

請求項1～5の何れか一項に記載の車体の傾斜角度制御装置によって車体の傾斜角度を制御することを特徴とする。

請求項6記載の発明によれば、請求項1～5の何れか一項に記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【0020】

請求項7記載の発明は、鉄道車両であって、請求項1～5の何れか一項に記載の車体の傾斜角度制御装置を備えることを特徴とする。

請求項7記載の発明によれば、請求項1～5の何れか一項に記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を適用した振子式の鉄道車両について図面を参照して説明する。

〔第一の実施の形態〕

振子式の鉄道車両1は、図1に示すように、線路上を走行する台車2と、台車2によって支持された車体3とからなる。

【0022】

台車2は、複数の車輪20、...と、車輪20同士を連結した複数の車軸21、...と、これら車軸21、...によって支持された台車枠22と、振子梁23等とからなる。この振子梁23と台車枠22に設けられた振子装置24とによって車体3は傾斜可能となっており、台車枠22及び振子梁23には車体3を傾斜させる動作部25が連結されている。

【0023】

動作部25は、振子装置24に対して振子梁23を揺動させることによって、車体3を傾斜させることができるようになっている。このような動作部25としては、作動流体によるアクチュエータや電気モータによるアクチュエータ等が用いられている。

この動作部25には傾斜角度制御装置26が接続されている。傾斜角度制御装置26は、線路全体の形状に関するデータベース27と、傾斜角度の目標値を決定する演算処理部28とを備えている。

データベース27は、線路の全区間の形状に関するデータとして、線路のカント $C(t)$ と、曲率半径 $R(t)$ と、軌間 G とを記憶している。なお、線路のカント $C(t)$ とは、図2に示すように、左右のレールの高低差である。また、軌間 G とは、左右のレール間の長さである。

【0024】

演算処理部28は、データベース27及び動作部25と接続されている。この演算処理部28は、現時点 t_c での鉄道車両1の地点 P_c 及び走行速度 v_c を検出可能となっている。また、演算処理部28は、未走行線路のカント $C(t)$ と、曲率半径 $R(t)$ と、軌間 G とからなる未走行線路データ (t) をデータベース27から取得可能であるとともに、未走行線路上での予定走行条件 (t) 、本実施の形態においては予定走行速度 v を取得可能となっている。ここで、未走行線路とは、現時点 t_c 以降の時点 t_0 から所定時間 T_0 後の時点 t_1 までの時間内に鉄道車両1が走行するべき未走行区間の線路である。また、演算処理部28は、取得した未走行線路データ (t) と予定走行速度 v とから、カント $C(t)$ の時間変化率 $C'(t)$ と、この時間変化率 $C'(t)$ の時間変化率 $C''(t)$ と、曲率半径 $R(t)$ の時間変化率 $R'(t)$ とを算出可能となっている。

【0025】

また、演算処理部28は、未走行線路上を鉄道車両1が走行する際の車体3の乗り心地の評価指標を推定するための評価関数を、車体3の傾斜角度の目標値 (t) を変数に有す

10

20

30

40

50

る関数 $F(\phi(t), \eta(t), \beta(t))$ 、具体的には(1)式として決定することができるようになっている。

【数21】

$$F(\phi(t), \eta(t), \beta(t)) = a \max |y_p(t)| + b \max |y_j(t)| + c \max |\theta_p(t)| + d \max |\theta_j(t)| + e \quad (1)$$

【0026】

ここで、 t は時間、 a, b, c, d, e は係数である。また、 $y_p(t), y_j(t), \dot{y}_p(t), \dot{y}_j(t)$ は、以下の式で表される振動特性の近似値であり、具体的にはそれぞれ、図2に示すように、車体3の左右加速度 [m/s^2]、左右加速度の時間変化率 [m/s^3]、車体3のロール角速度 [$^\circ/s$]、車体3のロール角加速度 [$^\circ/s^2$]である。なお、車体3の左右加速度 $y_p(t)$ は、図2に示されるように、車体3が左右方向に並進振動する際の左右方向の加速度である。また、車体3のロール角速度 $\dot{\theta}_p(t)$ は、車体3が垂直面内で回転する際の角度 $\theta_r(t)$ [$^\circ$] (図2参照)の時間変化率である。傾斜角度の目標値 $\phi(t)$ [$^\circ$]は、動作部25の作用により、台車枠22に対して振り梁23が回転する際の傾斜角(以下、振り傾斜角とする)の目標値である。

10

【数22】

$$y_p(t) = \frac{v^2}{R(t)} - \left(\frac{C(t)}{G} + \phi(t) \right) g \quad (2)$$

20

【数23】

$$y_j(t) = y'_p(t) = -\frac{v^2}{R(t)^2} R'(t) - \left(\frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \right) g \quad (3)$$

【数24】

$$\theta_p(t) = \frac{C'(t)}{G} + \phi'(t) \quad (4)$$

【数25】

$$\theta_j(t) = \theta'_p(t) = \frac{C''(t)}{G} + \phi''(t) \quad (5)$$

30

ただし、 g は重力加速度 [m/s^2]である。

【0027】

この評価関数によれば、例えば上記特許文献1に開示のように係数 $a \sim e$ の値を設定することにより、乗客による乗り心地の評価を複数段階の尺度で推定することができる。具体的には、例えば評価関数の値が $0 \sim 1, 1 \sim 2, 2 \sim 3, 3 \sim 4$ の範囲内であれば、乗客による乗り心地の評価をそれぞれ「全く問題ない」、「やや気になる程度」、「不快であるが許容範囲内にある」、「不快であり許容できない」と推定することができる。

【0028】

また、演算処理部28は、次の(6)式に示すように、評価関数 F を一定区間で積分した評価指標を計算し、この値が所定の範囲内、例えば最小値となる場合における振り傾斜角の目標値 $\phi_m(t)$ を $m(t)$ として決定することができるようになっている。

40

【数26】

$$\phi_m(t) = \arg \min_{\phi(t)} \int F(\phi(t), \eta(t), \beta(t)) dt \quad (6)$$

【0029】

なお、本実施の形態においては、上記(6)式として具体的には次の(7)式を用いている。

【数27】

50

$$\phi_m(t) = \arg \min_{\phi(t)} \int_{t_0}^{t_1} [a \max |y_p(t)| + b \max |y_j(t)| + c \max |\theta_p(t)| + d \max |\theta_j(t)|] dt \quad (7)$$

また、振子傾斜角の目標値 $m(t)$ が実現不可能な値となることを防ぐべく、 $m(t)$ は、以下の条件式を満たすように決定されている。

$$g(m(t)) \geq 0$$

このような $g(m(t))$ としては、例えば $g(m(t)) = |m(t)| - \theta_{\max}$ (θ_{\max} は実数) 等を挙げることができる。この条件式によれば、振子傾斜角が θ_{\max} [°] 以上の実現不可能な角度になることを防ぐことができる。

【0030】

また、演算処理部 28 は、(7) 式によって決定された目標値 $m(t)$ と振子傾斜角とが等しくなるように、動作部 25 を制御することができるようになっている。なお、演算処理部 28 には、実際の振子傾斜角がフィードバックされるようになっている。

【0031】

次に、上記の傾斜角度制御装置 26 が振子傾斜角を制御する手順について説明する。

まず、図 3 に示すように、演算処理部 28 が現時点 t_c での鉄道車両 1 の地点 P_c を検出する。また、演算処理部 28 は、鉄道車両 1 が時点 t_0 , t_1 において到達する地点 P_0 , P_1 を、それぞれ $P_0 = P_c + v_c \times T_p$, $P_1 = P_0 + v_c \times T_0$ から計算する。なお時間 T_p は、演算処理部 28 における演算時間と動作部 25 における応答遅れ時間との合計時間よりも長くなっている。

次に、演算処理部 28 は、地点 P_0 から地点 P_1 までの間の未走行線路の形状に関する未走行線路データ (t) をデータベース 27 から取得するとともに、この未走行線路上における予定走行条件 (t) を取得する(データ取得処理)。なお、この場合における予定走行条件 (t) とは、現時点 t_c における走行速度 v_c である。

【0032】

次に、演算処理部 28 は、データ取得処理の結果に基づいて振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定する(演算処理)。なお、演算処理は、以下の関数決定処理と目標値決定処理とからなるものである。

具体的には、まず、演算処理部 28 が未走行線路データ (t) と予定走行条件 (t) とを上記(2)~(5)式に代入し、各振動特性を振子傾斜角の目標値 (t) の関数として決定する。次に、演算処理部 28 は車体 3 の左右加速度 $y_p(t)$ と、その時間変化率 $y_j(t)$ と、車体 3 のロール角速度 $\theta_p(t)$ と、車体 3 のロール角加速度 $\theta_j(t)$ とのそれぞれの推定式を(1)式に代入し、評価関数 F を振子傾斜角の目標値 (t) の関数として決定する(関数決定処理)。

【0033】

次に、演算処理部 28 は所定時間 T_0 内での評価関数 F の値を積分し、この値が最小値となる場合における振子傾斜角の目標値 (t) を(7)式に基づき $m(t)$ として決定する(目標値決定処理)。

【0034】

以降、傾斜角度制御装置 26 が上記データ取得処理から演算処理までを時間 T_0 ごとに繰り返すことにより、各時点での目標値 $m(t)$ からなる目標値パターンが、図 3 に示すように決定される。なお、各関数決定処理における予定走行条件 (t) は、それぞれ一定の条件として設定されている。

【0035】

そして、決定された目標値 $m(t)$ に合わせて動作部 25 が車体 3 を傾斜させる(傾斜処理)。なお動作部 25 を駆動させる信号は、鉄道車両 1 が地点 P_0 に到達する時点 t_0 よりも時間 T_p だけ前から動作部 25 に入力されている。

【0036】

以上のような鉄道車両 1 によれば、乗り心地の評価指標を推定するための評価関数 F を、振子傾斜角の目標値 (t) を変数に有する関数として決定するので、評価関数 F の積分

10

20

30

40

50

値、つまり評価指標の推定値が所定の範囲内に含まれるように振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を事前に決定することができる。従って、振子傾斜角を事前に制御する場合であっても、従来と異なり、実際に未走行区間の線路を鉄道車両 1 が走行した際の乗り心地を確実に向上させることができる。

【0037】

また、未走行区間の線路上を鉄道車両 1 が走行するよりも前に振子傾斜角の目標値 $m(t)$ が決定されるので、車体 3 が傾斜した状態となる時点を遅らせることなく、線路の形状の変化に合わせて確実に車体 3 を傾斜させ、乗り心地を向上させることができる。

【0038】

また、評価関数 F における車体 3 の左右加速度 $y_p(t)$ 、左右加速度 $y_p(t)$ の時間変化率 $y_j(t)$ 、車体 3 のロール角速度 $\rho(t)$ 及び車体 3 のロール角加速度 $j(t)$ をそれぞれ未走行線路データ (t) と予定走行条件 (t) とからなる近似式として用いるので、乗り心地の評価指標の推定値を振子傾斜角の目標値 $m(t)$ に応じて事前に決定することができる。従って、評価指標の推定値が所定の範囲内に含まれるように振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を事前に決定することができる。

【0039】

なお、上記第一の実施の形態においては、時間 T_0 内に鉄道車両 1 が走行するべき区間の線路を未走行区間の線路として演算処理を時間 T_0 ごとに行うこととして説明したが、これに限らず、例えば図 4 に示すように、時間 $T_0 + T_1$ 内に鉄道車両 1 が走行するべき区間の線路を未走行区間の線路として演算処理を所定時間 T_0 ごとに行うこととしても良い。なお、この場合には、前回の演算処理と今回の演算処理とによって目標値 $m(t)$ が重複して決定される時間 T_1 内においては前回の演算処理による目標値 $m(t)$ に合わせて車体 3 を傾斜させることが好ましい。

【0040】

〔第一の実施の形態の変形例〕

次に、上記第一の実施の形態の変形例について説明する。なお、上記第一の実施の形態と同様の構成要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0041】

本変形例における鉄道車両 1 A は、振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定する際に上記(1)、(7)式の代わりに次の(8)、(9)式を用いる点において上記第一の実施の形態における鉄道車両 1 と異なる。

【数 28】

$$F(\phi(t), \eta(t), \beta(t)) = (\mu a y_p(t))^{2n} + (\mu b y_j(t))^{2n} + (\mu c \theta_p(t))^{2n} + (\mu d \theta_j(t))^{2n} \quad (8)$$

【数 29】

$$\phi_m(t) = \arg \min_{\phi(t)} \int_{t_0}^{t_1} [(\mu a y_p(t))^{2n} + (\mu b y_j(t))^{2n} + (\mu c \theta_p(t))^{2n} + (\mu d \theta_j(t))^{2n}] dt \quad (9)$$

ここで、 n は正の整数であり、 n の値は大きいものほど好ましい。また、 μ は係数であり、1 以上の実数である。

【0042】

このような鉄道車両 1 A によれば、車体 3 の左右加速度 $y_p(t)$ と、その時間変化率 $y_j(t)$ と、車体 3 のロール角速度 $\rho(t)$ と、車体 3 のロール角加速度 $j(t)$ とからなる振動特性のそれぞれを $2n$ 乗した和の値を時点 t_0 から時点 t_1 までの時間内で積分することによって評価指標が計算される。従って、上記第一の実施の形態と異なり、振動特性のそれぞれの最大値を求める必要がない分、評価関数 F を決定する処理を簡略化することができる。従って、振子傾斜角の目標値をより早く決定することができる。

【0043】

〔第二の実施の形態〕

次に、本発明に係る鉄道車両の第二の実施の形態について説明する。なお、上記第一の実

施の形態と同様の構成要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0044】

本第二の実施の形態における鉄道車両1Bは、上記傾斜角度制御装置26の代わりに傾斜角度制御装置26Bを備える点において上記第一の実施の形態における鉄道車両1と異なる。以下、この点について詳しく説明する。

【0045】

傾斜角度制御装置26Bは、データベース27Bと演算処理部28Bとを備えている。データベース27Bは、線路の形状に関するデータを離散的に記憶しており、より詳細には、予定走行速度 v で時間 $T_0 + T_1$ 内に鉄道車両1Bが走行する距離[m]ごとの地点に対応する未走行線路データを順番に記憶している。

10

【0046】

演算処理部28Bは、振り傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定する際に上記(1)式の代わりに上記(8)式を、上記(7)式の代わりに次の(10)式を用いる点等において上記演算処理部28と異なっている。

【数30】

$$\phi_m(i) = \arg \min_{\phi(i)} \sum_{i=N_0}^{N_1} \mu^{2n} \left[(ay_p(i))^{2n} + (by_j(i))^{2n} + (c\theta_p(i))^{2n} + (d\theta_j(i))^{2n} \right] \quad (10)$$

なお、本第二の実施の形態においては $n=1$ とし、かつ前記関数 g を(1)の線形関数とした場合には、(10)式は線形2次計画問題となるため、振り傾斜角の目標値 $m(t)$ を容易に解くことができる。

20

【0047】

ここで、 $\phi'(t)$ 、 $\phi''(t)$ はそれぞれ以下の(11)、(12)式で近似されている。これにより、評価関数には振り傾斜角の目標値 $m(t)$ に関する1階差分と2階差分とが含まれた状態となっている。

【数31】

$$\phi'(i) \approx \frac{\phi(i) - \phi(i-1)}{\Delta t_i} \quad (11)$$

【数32】

$$\phi''(i) \approx \frac{\phi'(i) - \phi'(i-1)}{\Delta t_i} \quad (12)$$

30

但し、 $t_i = x_i / v$ であり、 x_i は、 $i-1$ 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点と i 番目の未走行線路データによって形状が示される未走行線路の地点との間隔[m]である。また、 i は正の整数である。

【0048】

また、 $R'(t)$ 、 $C'(t)$ 及び $C''(t)$ は、それぞれ以下の(13)~(15)式で近似されている。

【数33】

$$R'(i) \approx \frac{R(i) - R(i-1)}{\Delta t_i} \quad (13)$$

40

【数34】

$$C'(i) \approx \frac{C(i) - C(i-1)}{\Delta t_i} \quad (14)$$

【数35】

$$C''(i) \approx \frac{C'(i) - C'(i-1)}{\Delta t_i} \quad (15)$$

【0049】

次に、傾斜角度制御装置26Bが振子傾斜角を制御する手順について説明する。なお、本第2の実施の形態においては、鉄道車両1Bは、例えば図5(a)、(b)に示すような形状の未走行線路上を走行するものとする。

【0050】

まず、演算処理部28Bは、時間 $T_0 + T_1$ 内に走行予定の未走行線路の形状に関する未走行線路データ (t) をデータベース27Bから取得するとともに、この未走行線路上における予定走行条件 (t) を取得する(データ取得処理)。なお、この場合における予定走行条件 (t) とは、現時点における走行速度である。また、本第2の実施の形態においては、時間 T_0 は3[秒]、時間 T_1 は1[秒]となっている。

【0051】

次に、演算処理部28Bは、データ取得処理の結果に基づいて振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定する(演算処理)。なお、この演算処理は、以下の関数決定処理と目標値決定処理とからなるものである。

具体的には、まず、演算処理部28Bは未走行線路データ (t) と予定走行条件 (t) とを上記(2)~(5)式に代入し、各振動特性を振子傾斜角の目標値 (t) の関数として決定する。このとき、 $'(t)$ 、 $''(t)$ 、 $R'(t)$ 、 $C'(t)$ 及び $C''(t)$ の値に関しては上記(11)~(15)式による近似値を用いる。

【0052】

次に、演算処理部28Bは車体3の左右加速度 $y_p(t)$ と、その時間変化率 $y_j(t)$ と、車体3のロール角速度 $\rho(t)$ と、車体3のロール角加速度 $j(t)$ とのそれぞれの推定式を(1)式に代入し、評価関数Fを振子傾斜角の目標値 (t) の関数として決定する(関数決定処理)。

【0053】

次に、演算処理部28Bは所定時間 T_0 内での評価関数Fの値を積分し、この値が最小値となる場合における振子傾斜角の目標値 (t) を(7)式に基づき $m(t)$ として決定する(目標値決定処理)。これにより、各時点での目標値 $m(t)$ からなる目標値パターンが決定される。

【0054】

以降、図5(c)~(g)に示すように、傾斜角度制御装置26Bが上記データ取得処理から演算処理までを時間 T_0 ごとに繰り返し、前回の演算処理と今回の演算処理とによって時間 T_1 内で振子傾斜角の目標値 $m(t)$ を重複して決定する。なお、各関数決定処理における予定走行条件 (t) は、それぞれ一定の条件として設定されている。ここで、傾斜角度制御装置26Bは複数回の演算処理のそれぞれにおいては前回の演算処理の結果に基づいて目標値を決定しており、かつ評価関数には振子傾斜角の目標値 $m(t)$ に関する1階差分と2階差分とが含まれるため、目標値 $m(t)$ が重複して決定される時間 T_1 内においては、前回の演算処理による目標値と今回の演算処理による目標値とは、異なる値とならずに同一化されることとなる。これにより、図6(a)に示すように、各時点での目標値 $m(t)$ からなる目標値パターンが、全ての走行区間に渡って連続して決定されることとなる。

【0055】

そして、決定された目標値 $m(t)$ に合わせて動作部25が車体3を傾斜させる(傾斜処理)。なお、目標値 $m(t)$ が重複して決定される時間 T_1 内においては、動作部25は前回の演算処理による目標値 $m(t)$ に合わせて鉄道車両1を傾斜させる。

【0056】

以上のような鉄道車両1Bによれば、全ての走行区間に渡って目標値パターンが連続して決定されるので、前記時間 T_1 内において、前回の演算処理による目標値 $m(t)$ に合

わせて動作部 25 に車体 3 を傾斜させることにより、例えば複心曲線や反向曲線等の複雑な形状の曲線部を鉄道車両 1B が走行する場合でも、振り傾斜角を連続して変化させ、図 6 (b) に示すように乗り心地を向上させることができる。なお、図 6 (b) は、図 6 (a) の目標値パターンの通りに車体 3 を傾斜させて鉄道車両 1B が走行する場合の乗り心地評価指標と、車体 3 を傾斜させずに鉄道車両 1B が走行する場合の乗り心地評価指標とを示す図である。

【0057】

また、上記 (10) 式で表される非線型最適化問題を解くことにより振り傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定することができる。従って、線路の形状に関するデータが連続せずに離散化されてデータベース 27B に記憶されている場合であっても鉄道車両 1B の乗り心地を確実に向上させることができる。

10

【0058】

なお、上記第一及び第二の実施の形態においては、台車 2 は図 1 に示すものとして説明したが、車体を傾斜させる機構があれば良く、例えばリンク式や空気ばね伸縮式などであっても良い。

【0059】

また、演算処理部 28 は、(1) 式の値の積分値が最小値となるように振り傾斜角の目標値 $m(t)$ を決定することとして説明したが、例えば 0 ~ 1 等、所定の範囲内に含まれるように決定することとしても良い。

更に、評価関数 F としては、他の評価関数を用いることとしても良い。

20

【0060】

【発明の効果】

請求項 1 記載の発明によれば、車体の傾斜角度を事前に制御する場合であっても従来と異なり、実際に未走行区間の線路を鉄道車両が走行した際の乗り心地を確実に向上させることができる。

【0061】

請求項 2 記載の発明によれば、請求項 1 記載の発明と同様の効果が得られるのは勿論のこと、車体が傾斜した状態となる時点を遅らせることなく、線路の形状の変化に合わせて確実に車体を傾斜させ、乗り心地を向上させることができる。

【0062】

請求項 3 記載の発明によれば、請求項 1 または 2 記載の発明と同様の効果が得られるのは勿論のこと、評価指標の推定値が所定の範囲内に含まれるように車体の傾斜角度の目標値を事前に決定することができる。

30

【0063】

請求項 4 記載の発明によれば、請求項 1 または 2 記載の発明と同様の効果が得られるのは勿論のこと、評価指標の値が所定の範囲内に含まれるように車体の傾斜角度の目標値を事前に決定することができる。また、車体の傾斜角度の目標値をより早く決定することができる。

【0064】

請求項 5 記載の発明によれば、請求項 3 または 4 記載の発明と同様の効果が得られるのは勿論のこと、例えば複心曲線や反向曲線等の複雑な形状の曲線部を鉄道車両が走行する場合でも、車体の傾斜角度を連続して変化させ、乗り心地を向上させることができる。

40

【0065】

請求項 6 記載の発明によれば、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の発明と同様の効果を得ることができる。

請求項 7 記載の発明によれば、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 振り式の鉄道車両の主要部の構成を示す概略図である。

【図 2】 線路の形状、車体の傾斜角度及び鉄道車両の振動特性を説明するための図である

50

。

【図3】走行線路データと走行条件から傾斜角度の目標値を決定することを説明するための図である。

【図4】重複して決定された傾斜角度の目標値を示す図である。

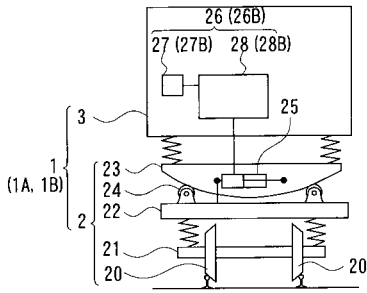
【図5】線路形状に合わせて傾斜角度の目標値パターンを形成する手順を示す図であり、(a)は線路の曲率を示す図であり、(b)は線路のカントを示す図であり、(c)~(g)は逐次決定される目標値パターンを示す図である。

【図6】(a)は決定された傾斜角度の目標値パターンを示す図であり、(b)は目標値パターンに合わせて車体を傾斜させた場合の乗り心地評価指標の推定値を示す図である。

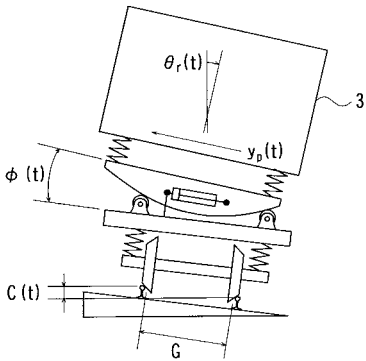
【符号の説明】

- 1, 1A, 1B 鉄道車両
- 3 車体
- 2 5 動作部
- 2 6, 2 6 B 傾斜角度制御装置
- 2 7, 2 7 B データベース
- 2 8, 2 8 B 演算処理部

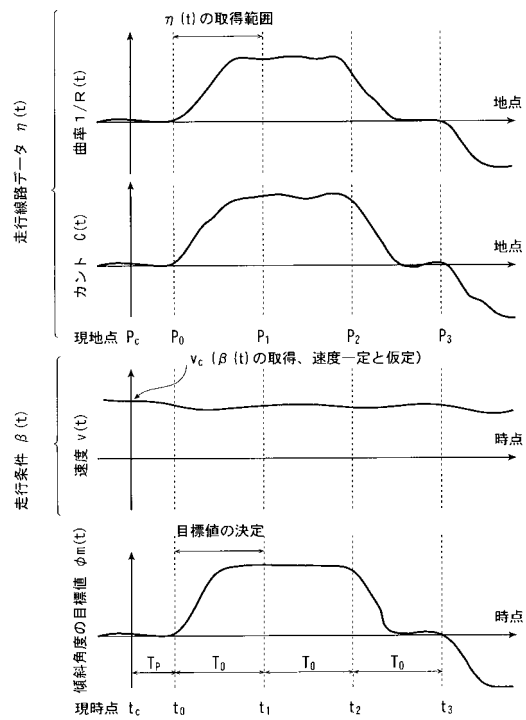
【図1】



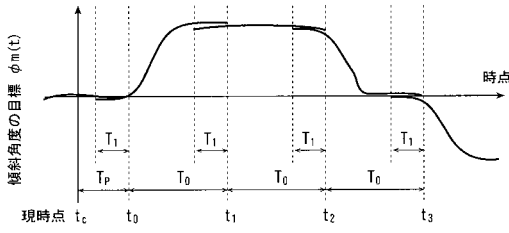
【図2】



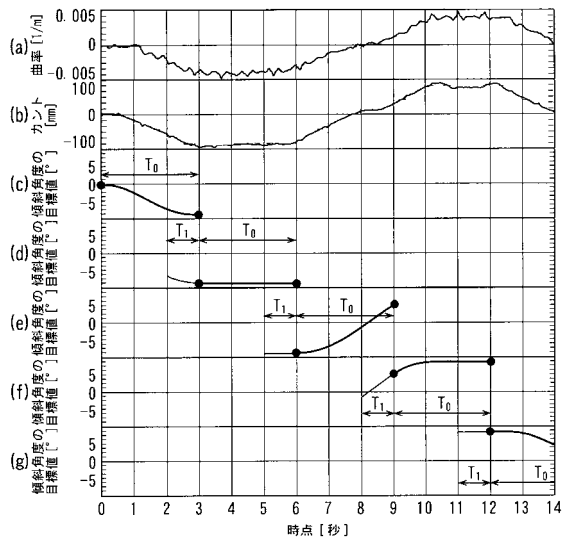
【図3】



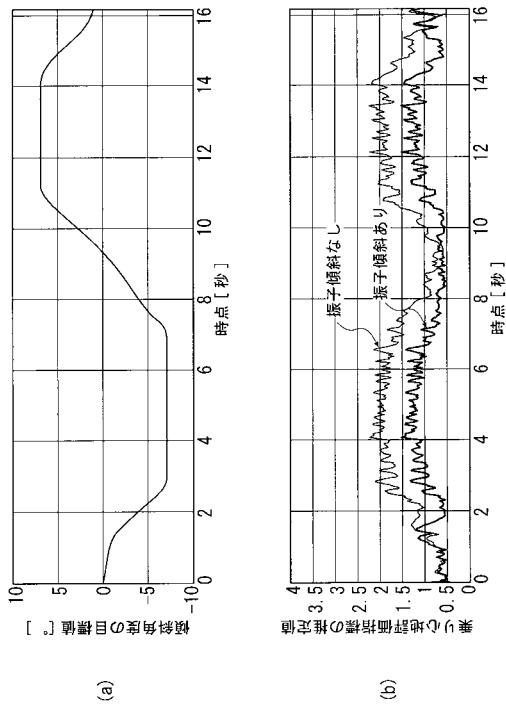
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 榎本 衛
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 鴨下 庄吾
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 辻野 昭道
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 真木 康隆
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内