

(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2009-241722

(P2009-241722A)

(43) 公開日 平成21年10月22日(2009.10.22)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 6 1 F 5/22 (2006.01)	B 6 1 F 5/22	3 D 3 0 1
B 6 0 G 25/00 (2006.01)	B 6 1 F 5/22	
	B 6 0 G 25/00	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2008-90212 (P2008-90212)
 (22) 出願日 平成20年3月31日 (2008. 3. 31)

(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 100083839
 弁理士 石川 泰男
 (72) 発明者 佐々木 君章
 東京都国分寺市光町2丁目8番地38 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2丁目8番地38 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2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

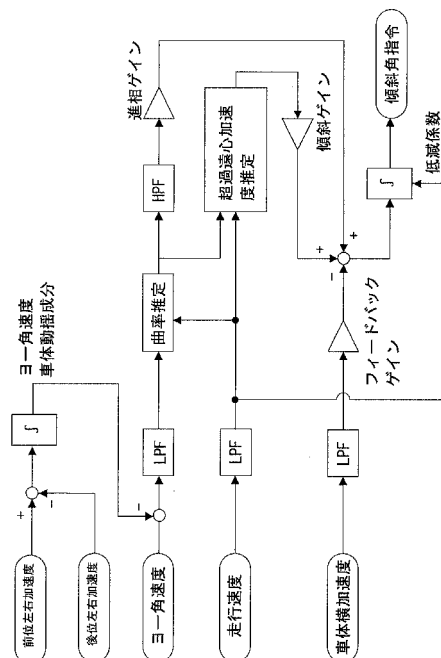
(54) 【発明の名称】 振り車両の車体傾斜角の制御方法及び振り車両の車体傾斜角の制御システム

(57) 【要約】

【課題】低コストであると共に車体の傾斜動作の遅れを解消する。

【解決手段】振り車両(10)の車体(18)のヨー角速度と走行速度とに基づいて線路(R1)の曲率を決定し、曲率と線路(R1)のカントの統計的關係に基づいてカントを決定し、曲率及びカントに基づいて超過遠心加速度を決定し、超過遠心加速度を補償するように車体(18)の傾斜目標角を決定する。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振子車両の車体のヨー角速度と走行速度とに基づいて線路の曲率を決定し、
前記曲率と線路のカントの統計的關係に基づいてカントを決定し、
前記曲率及びカントに基づいて超過遠心加速度を決定し、
超過遠心加速度を補償するように車体の傾斜目標角を決定する振子車両の車体傾斜角の
制御方法。

【請求項 2】

線路の低速区間において走行速度に依存する非線形関数を用いて前記傾斜目標角を決定
する請求項 1 に記載の振子車両の車体傾斜角の制御方法。

10

【請求項 3】

線路の曲率の時間微分値を用いて前記傾斜目標角の位相を進める請求項 1 に記載の振子
車両の車体傾斜角の制御方法。

【請求項 4】

車体の横加速度から低周波成分を取り出し、
この低周波成分を用いてフィードバック制御を実行する
請求項 1 又は請求項 3 に記載の振子車両の車体傾斜角の制御方法。

【請求項 5】

車体の前後に 2 個の左右方向加速度センサを配設し、前記 2 個の左右加速度センサの出
力の差の積分によって、車体の動揺によるヨー角速度成分を補償することにより、ヨー角
速度検出用のフィルタによる位相遅れを改善する請求項 1 に記載の車体傾斜角の制御方法
。

20

【請求項 6】

振子車両の車体のヨー角速度と走行速度とに基づいて線路の曲率を決定する曲率決定装
置と、

前記曲率と線路のカントの統計的關係に基づいてカントを決定するカント決定装置と、
前記曲率及びカントに基づいて超過遠心加速度を決定する超過遠心加速度決定装置と、
超過遠心加速度を補償するように車体の傾斜目標角を決定する車体傾斜角決定装置と含
む、

振子車両の車体傾斜角の制御システム。

30

【請求項 7】

カント決定装置は線路の低速区間において走行速度に依存する非線形関数を用いてカン

トを決定する請求項 6 に記載の振子車両の車体傾斜角の制御システム。

【請求項 8】

車体傾斜角決定装置は線路の曲率の時間微分値を用いて前記傾斜目標角の位相を進める
請求項 6 に記載の振子車両の車体傾斜角の制御システム。

【請求項 9】

車体の横加速度から低周波成分を取り出すローパスフィルタを含み、
車体傾斜角決定装置は、この低周波成分を用いたフィードバック制御を実行する請求
項 6 又は請求項 8 に記載の振子車両の車体傾斜角の制御システム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、線路の曲線部において車体を傾斜させて遠心力を軽減する振子車両の車体傾
斜角の制御方法及び振子車両の車体傾斜角の制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

現状では車両が線路情報のデータを持ち、車輪の回転数から走行距離を求め、A T S (Automatic Train Stop) の地上子を距離補正手段として用いて、自車の位置を特定して、

50

データベースに登録されている距離程の曲線に対応して傾斜角を決定するフィードフォワード方法が一般的である。この方式は位置検出遅れが原理上ないため、動作タイミング遅れによる乗り心地悪化の面で有利である。しかし、この方式は、(1)車上データベースと線路の状況が常に一致していなければならないため、メンテナンスのために大きな労力を要し、(2)車輪径設定誤差や空転・滑走で位置を見失うと、設定駅まで復帰できず、(3)コストが高い。

【0003】

これに対して、線形条件のさほど厳しくない用途では、簡易な制御方法として車体ヨー角や台車ボギー角で曲線入り口を検出し、ローパスフィルタを通した床面加速度をフィードバックとして超過遠心加速度を補償する車体傾斜角の制御方式(フィードバック方式)が行われている。

10

【0004】

【特許文献1】特開平7-309234号公報

【特許文献2】特開2004-291898号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、この方法は、安定性を確保するために遮断周波数の低いローパスを用いる必要がある。そのため、超過遠心加速度の検出が遅れ、「振り遅れ」による低周波加速度が発生して乗り心地の悪化を招く。

20

【0006】

そこで、本発明の課題は、低コストであると共に車体の傾斜動作の遅れを解消した振子車両の車体傾斜角の制御方法及び振子車両の車体傾斜角の制御システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

以下、符号を参照して、本発明の特徴を説明する。ただし、本発明は符号によって実施の形態に限定されない。

【0008】

上記課題を解決するために、本発明の第1の特徴は、次の振子車両の車体傾斜角の制御方法を提供する。同方法は、振子車両(10)の車体(18)のヨー角速度と走行速度とに基づいて線路(R1)の曲率を決定する。同方法は、曲率と線路(R1)のカントの統計的關係に基づいてカントを決定する。同方法は、曲率及びカントに基づいて超過遠心加速度を決定する。同方法は、超過遠心加速度を補償するように車体(18)の傾斜目標角を決定する。

30

【0009】

同方法は、線路(R1)の低速区間において走行速度に依存する非線形関数を用いて前記傾斜目標角を決定する。

【0010】

同方法は、線路(R1)の曲率の時間微分値を用いて前記傾斜目標角の位相を進める。

40

【0011】

同方法は、車体(18)の横加速度から低周波成分を取り出し、この低周波成分を用いてフィードバック制御を実行する。

【0012】

同方法は、車体(18)の前後に2個の左右方向加速度センサを配設し、前記2個の左右加速度センサの出力の差の積分によって、車体(18)の動揺によるヨー角速度成分を補償することにより、ヨー角速度検出用のフィルタによる位相遅れを改善する。

【0013】

本発明の第2の特徴は、次の振子車両の車体傾斜角の制御システム(30)を提供する。同システムは、振子車両(10)の車体(18)のヨー角速度と走行速度とに基づいて

50

線路の曲率を決定する曲率決定装置（３８）を含む。同システムは、曲率と線路のカントの統計的關係に基づいてカントを決定するカント決定装置（３８）を含む。同システムは、曲率及びカントに基づいて超過遠心加速度を決定する超過遠心加速度決定装置（３８）を含む。同システムは、超過遠心加速度を補償するように車体（１８）の傾斜目標角を決定する車体傾斜角決定装置（３８）を含む。

【００１４】

カント決定装置（３８）は線路の低速区間において走行速度に依存する非線形関数を用いてカントを決定する。

【００１５】

車体傾斜角決定装置（３８）は、線路の曲率の時間微分値を用いて前記傾斜目標角の位相を進める。

10

【００１６】

同システムは、車体の横加速度から低周波成分を取り出すローパスフィルタを含む。車体傾斜角決定装置（３８）はこの低周波成分を用いたフィードバック制御を実行する。

【発明の効果】

【００１７】

本発明によれば、曲率とカントの統計的関数を利用して、測定の簡単な曲率からカントを推定して曲率及びカントから超過遠心加速度を推定する。これにより、コストを軽減するとともに車体の傾斜動作の遅れを解消する。

【００１８】

車両の分岐器反位通過時においても、走行速度に依存する非線形関数を用いてカントを決定するので、車体に急激な傾斜動作を起こさない。

20

【００１９】

曲率変化の時間微分値を用いた位相進め制御は、車体の傾斜遅れを解消し、より速やかな車体の傾斜の制御を実現する。

【００２０】

車体の横加速度を用いたフィードバック制御は、超過遠心加速度の推定誤差を補償し、より高い精度の制御を実現する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２１】

以下、図面を参照して実施の形態を詳細に説明する。

30

【００２２】

図１を参照して、簡易振子式の振子車両１０（以下、車両と称する。）は、レールＲ１の上に配置される車輪１１と、車輪１１同士を連結する輪軸１２とを含む。車両１０は、これら輪軸１１によってバネ１３を介在して支持された台車枠１４と、台車枠１４によって揺動可能に支持された振子梁１６を含む。車両１０は、振子梁１６によってバネ１７を介在して支持された車体１８を含む。車体１８は、傾斜中心Ｏ１が重心Ｇ１より上にあるので、Ｏ１を中心とする復元力が作用し、安定に支持される。車両１０は、台車枠１４に対して振子梁１６を移動可能に支持するころ１９を含む。車両１０は、台車枠１４及び振子梁１６と連結したアクチュエータ２０を含む。なお、ころ１９の代わりに、ベアリングガイド、リンク、空気ばねを用いてもよい。車両１０は、車体１８の傾斜角を制御する制御システム３０を含む（図２参照）。

40

【００２３】

図２を参照して、アクチュエータ２０は、車体１８の前側に配置された前位側ＥＨＡ（Electric Hydraulic Actuator；電動油圧アクチュエータ）２１と、車体１８の後側に配置された後位側ＥＨＡ２２とを含む。各ＥＨＡ２１、２２は、シリンダと、シリンダ内で移動可能なピストンと、ピストンを油圧で作動するギアポンプと、ギアポンプ駆動するモータを含む。移動手段については、必ずしもＥＨＡでなくてもよい。

【００２４】

制御システム３０は、車体１８のヨー角速度を測定するジャイロセンサ３１を含む。制

50

御システム 30 は、車体 18 の左右方向の加速度（以下、横加速度と称する。）を測定する加速度計 32 を含む。制御システム 30 は、車両 10 の走行速度としての車輪 11 の回転数に従ってパルス波を発生する速度発電機 33 を含む。制御システム 30 は、前記パルス波の周波数を電圧に変換して、車輪 11 の回転数に比例した電圧を出力する FV コンバータ（Frequency Voltage Converter）34 を含む。制御システム 30 は、前位側 EHA 21 を制御する前位側 EHA 制御装置 36（以下、第 1 のサブコントローラと称する。）と、後位側 EHA 22 を制御する後位側 EHA 制御装置 37（以下、第 2 のサブコントローラと称する。）とを含む。制御システム 30 は、ヨー角、車体の横加速度及び走行速度に基づいて、第 1 及び第 2 のサブコントローラ 36、37 を用いて前位側及び後位側 EHA 21、22 を制御する簡易振子コントローラ 38（以下、主コントローラと称する。）を含む。主コントローラ 38 並びに第 1 及び第 2 のサブコントローラ 36、37 の各々は、CPU（Central Processing Unit）、ROM（Read Only Memory）、及び RAM（Random Access Memory）を含む。主コントローラ 38 は、ヨー角速度及び走行速度から線路の曲率を推定して超過遠心加速度を推定する。

10

【0025】

次に、超過遠心加速度を用いた車体 18 の傾斜角（ ）のフィードフォワード制御方法を説明する。

【0026】

車両 10 は、線路 R 1 の直線部から曲線部へ進入する。

【0027】

図 2、3 を参照して、ジャイロセンサ 31 はヨー角速度（ ）を測定し、ヨー角速度信号を主コントローラ 38 へ出力する。加速度計 32 は、車体 18 の横加速度（ ）を測定し、横加速度信号を主コントローラ 38 へ出力する。速度発電機 33 は、車体 18 の走行速度（V）としての車輪の回転数に比例する周波数を有したパルス波を出力する。FV コンバータ 34 は、パルス波の周波数に比例した電圧を走行速度信号として主コントローラ 38 へ出力する。

20

【0028】

主コントローラ 38 は、ヨー角速度（ ）の変化から、線路の曲線部に進入したことを判定する。

【0029】

次に、主コントローラ 38 は、ヨー角速度信号、横加速度信号、走行速度信号に基づいて超過遠心加速度（ ）を決定する。

30

【0030】

具体的には、ヨー角速度（ ）及び走行速度（V）から、次の式（1）を用いて、線路 R 1 の曲率（1/R）を推定する。

【0031】

$$1/R = \quad / V \cdot \cdot \cdot (1)$$

R：線路の半径（m）、 ω ：ヨー角速度（rad/s）、V：車体の走行速度（m/s）

【0032】

次に、推定した曲率及び走行速度から、次の式（2）を用いて、超過遠心加速度（ ）を推定する。

40

【0033】

$$= V^2 / R - (C \times g) / W \cdot \cdot \cdot (2)$$

：超過遠心加速度（m/s²）、C：カント（m）、W：レール間の幅（m）、g：重力加速度（m/s²）

【0034】

なお、カントは、曲率とカントとの統計的關係（式（3））を用いて求められる。

【0035】

$$C = F (1/R) \cdot \cdot \cdot (3)$$

50

($F(1/R)$ は一般的な関数を示す。)

【 0 0 3 6 】

この式 (3) は、具体的には、カントは、例えば、次の式 (4) で求められる (図 4 参照)。

【 0 0 3 7 】

$$C = a \times (1 / R) \cdots (4)$$

a : 比例係数

【 0 0 3 8 】

主コントローラ 3 8 は、超過遠心加速度 () をキャンセルするように車体 1 8 の目標傾斜角及び各 E H A 2 1、2 2 の目標ストロークを決定する。主コントローラ 3 8 は、第 1 及び第 2 のサブコントローラ 3 6、3 7 から前位側及び後位側 E H A 2 1、2 2 の現在のストロークを取得する。主コントローラ 3 8 は、目標ストロークと現在のストロークとの差からストローク量を決定する。主コントローラ 3 8 は、ストローク量に基づいて傾斜ゲインを決定する。主コントローラ 3 8 は、傾斜ゲインに基づいて傾斜角指令信号を第 1 及び第 2 のサブコントローラ 3 6、3 7 へ出力する。

10

【 0 0 3 9 】

第 1 及び第 2 のサブコントローラ 3 6、3 7 は、傾斜角指令信号に従って前位側及び後位側 E H A 2 1、2 2 を目標ストロークまで操作する。前位側及び後位側 E H A 2 1、2 2 は、目標傾斜角まで車体 1 8 を傾斜させ、超過遠心加速度を補償する。

【 0 0 4 0 】

従来の加速度をフィードバックして傾斜角を決定する方法では振動成分の除去のために時間遅れが発生しているのに対して、超過遠心加速度 () を用いたフィードフォワード制御は、従来のフィードバック制御と比較して車体 1 8 の傾斜動作に遅れを生じさせない。また、制御システム 3 0 は、A T S のデータベースを使用しないので、コストを軽減する。

20

【 0 0 4 1 】

また、車両 1 0 は、分岐器反位通過時において、低速で走行する。低速区間としての分岐器においては、一般的なカントが設けられておらず (図 4 参照)、また、曲線長が極端に短いため、逆傾斜や急激な振り戻しが発生する可能性がある。これらを回避するため、図 5 に示すような速度に依存する関数を用いて、傾斜目標角を低減し、低速では傾斜せず、所定速度まで滑らかに傾斜角が増加するようにする。

30

【 0 0 4 2 】

上記制御と同様に、主コントローラ 3 8 はこのカント及び曲率から超過遠心加速度及び傾斜ゲインを決定し、傾斜角指令信号を第 1 及び第 2 のサブコントローラ 3 6、3 7 へ出力する。

【 0 0 4 3 】

次に、フィードフォワード制御に進相ゲインを用いた微分制御を加えてもよい。

【 0 0 4 4 】

図 6 を参照して、「進相ゲイン」とは、推定した曲率を時間で微分した値に比例する微分要素の比例係数である。つまり、「進相ゲイン」は、曲率の時間微分を用いた車体傾斜角の微分制御の微分ゲインに相当する。

40

【 0 0 4 5 】

$$Y = K d \times d (1 / R) / d t$$

Y : 傾斜角量、K d : 進相ゲイン、R : 線路の半径、t : 時間

【 0 0 4 6 】

主コントローラ 3 8 は、H P F (High Pass Filter ; ハイパスフィルタ) を用いて推定した曲率から H P 成分を取り出す。H P 成分は、推定した曲率変化の大きい部位に相当する。主コントローラ 3 8 は、この H P 成分に基づいて、線路の曲線部の入り口を決定する。主コントローラ 3 8 は、H P 成分に設定された進相ゲインをかけて基本の傾斜角に加算し、位相を進める。主コントローラ 3 8 は、傾斜ゲインと進相ゲインを合わせて傾斜角指

50

令信号を第 1 及び第 2 のサブコントローラ 36、37 へ出力する。各サブコントローラ 36、37 は、傾斜角指令信号に従って所定のストローク量で各 EHA 21、22 を操作する。前位側及び後位側 EHA 21、22 は、目標の傾斜角まで車体 18 を傾斜させる。

【0047】

この制御は、傾斜ゲインを用いた制御と比較して、目標の傾斜角に車体 18 をより速やかに到達させ、車体 18 の傾斜動作の遅れを解消する。また、進相ゲインの利用は、少ない遅れで曲率の変化点（曲線の入り口）を検出することを実現する。

【0048】

次に、フィードフォワード制御に車体横加速度を用いたフィードバック制御を加えてもよい。

【0049】

主コントローラは、LPF (Low Pass Filter) を用いて車体 18 の横加速度から LP 成分を取り出す。主コントローラは、LP 成分に基づいてフィードバックゲインを決定し、各サブコントローラ 36、37 へ傾斜ゲインとフィードバックゲインとを合わせた傾斜角指令信号を出力する。このフィードバック制御は、超過遠心加速度の推定誤差を補償し、より高い精度の制御を実現する。

【0050】

なお、左右加速度センサを車体 18 の前後に配設し、ヨー角速度検出用のフィルタによる位相遅れを改善してもよい。この場合、図 3 に示すように、加速度センサは、それぞれ前位左右加速度及び後位左右加速度を測定する。これらの前位左右（横）加速度及び後位左右（横）加速度の差の積分することにより、車体 18 の動揺によるヨー角速度成分を補償する。

【0051】

図 7 を参照して、自然振子車両（制御なし）とフィードフォワード制御を用いた振子車両との動作の比較を説明する。

【0052】

線路の形状は、8400m の手前で一方向から逆方向のカーブへの転換域を有する。自然振子車両は転換域を過ぎても車体の傾斜角がゼロに戻らず、転換域から 50m 以上の点で、車体の傾斜角はゼロに戻る。これに対して、制御振子車両では、車両が転換域に達するまでに車体の傾斜角がゼロに戻り、その後、車両が転換域から離れるにしたがって、車体の傾斜角は増加する。すなわち、制御振子車両の車体は、線路の形状に従って、傾斜する。

【0053】

また、自然振子車両は、線路形状の転換域の前後で $+0.5 (m/s^2)$ 以上の横加速度を示す。これに対して、制御振子車両は、同転換域の前後で、 $-0.5 \sim +0.5 (m/s^2)$ の横加速度を示す。すなわち、制御振子車両は、横加速度において、自然振子車両よりも小さく、線路の全域において超過遠心加速度を相殺する。

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図 1】簡易振子式の振子車両の概略図である。

【図 2】図 1 に示す振子車両の制御システムのブロック図である。

【図 3】図 2 に示す制御則のブロック図である。

【図 4】分岐部以外の線路の曲率とカントとの統計的関係を示すグラフである。

【図 5】分岐部の曲率とカントとの統計的関係を示すグラフである。

【図 6】(A) は時間と曲率の関係を示すグラフであり、(B) は時間と曲率の HP 成分との関係を示すグラフである。

【図 7】(A) は線路形状についてのグラフであり、線路の距離と曲率の関係を示し、(B) は線路の距離と車体の傾斜角を示すグラフであり、(C) 線路の距離と横加速度との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

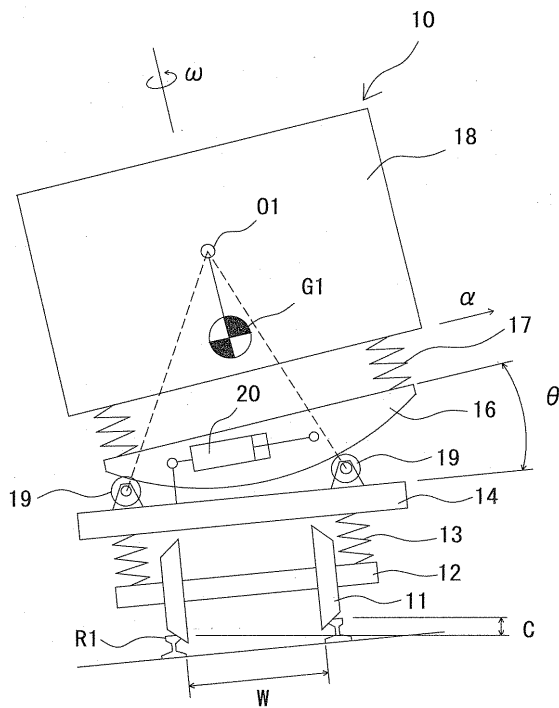
【 0 0 5 5 】

- 1 0 振子車両
- 1 1 車輪
- 1 2 輪軸
- 1 3 パネ
- 1 4 台車枠
- 1 6 振子梁
- 1 7 パネ
- 1 8 車体
- 1 9 ころ
- 2 0 アクチュエータ
- 2 1 前位側 E H A
- 2 2 後位側 E H A
- 3 0 制御システム
- 3 1 ジャイロセンサ
- 3 2 加速度計
- 3 3 速度発電機
- 3 4 F V コンバータ
- 3 6 前位側 E H A 制御装置 (第 1 のサブコントローラ)
- 3 7 後位側 E H A 制御装置 (第 2 のサブコントローラ)
- 3 8 簡易振子コントローラ (主コントローラ)

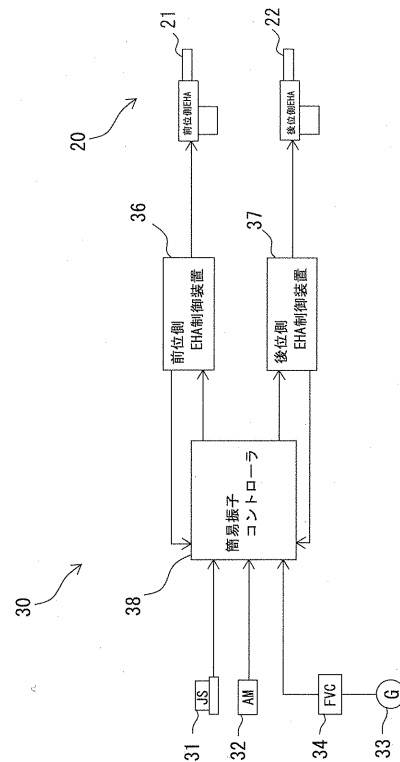
10

20

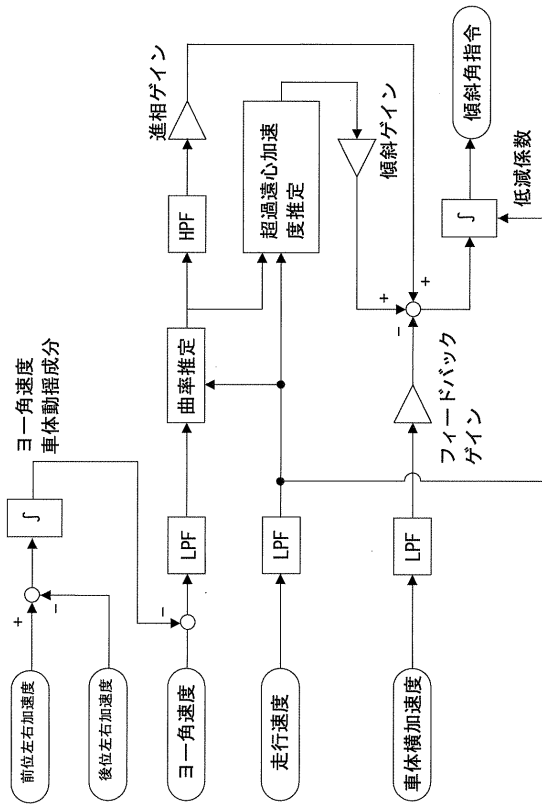
【 図 1 】



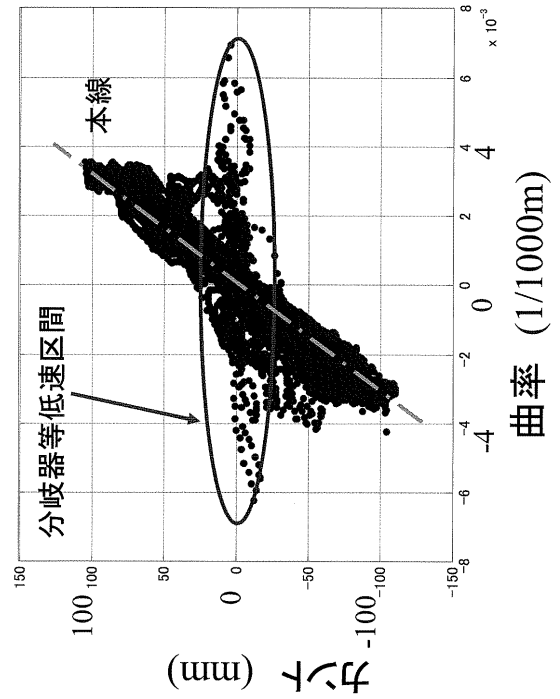
【 図 2 】



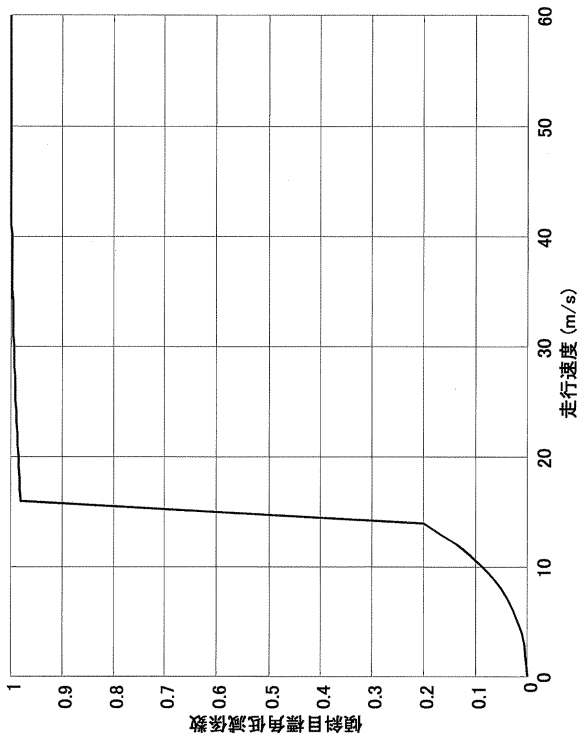
【 図 3 】



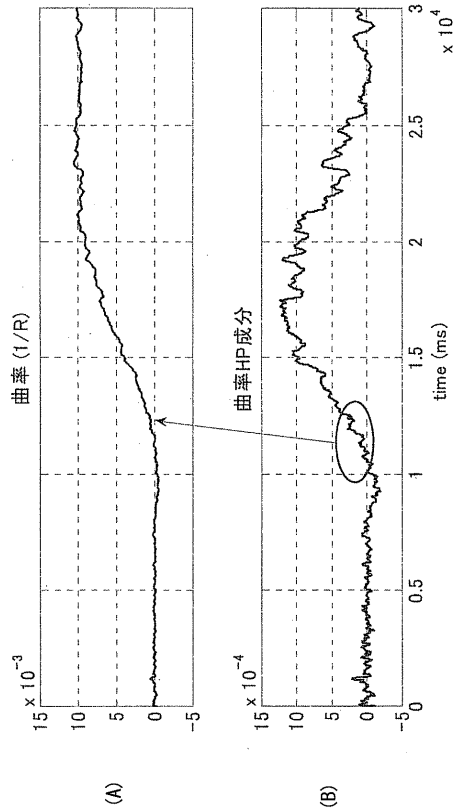
【 図 4 】



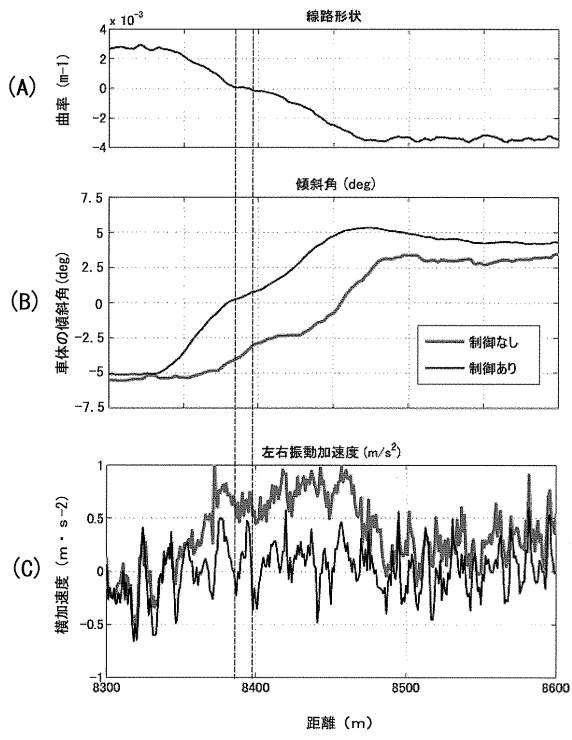
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 真木 康隆

東京都国分寺市光町2丁目8番地38 財団法人鉄道総合技術研究所内

Fターム(参考) 3D301 AA04 AB02 BA09 DB48 DB50 EA14 EA21 EA35 EB38 EC01