

(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2008-287487

(P2008-287487A)

(43) 公開日 平成20年11月27日(2008.11.27)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 5 D 1/02 (2006.01) G 0 5 D 1/02 H 5 H 3 0 1
 G 0 5 D 1/02 N

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2007-131633 (P2007-131633)	(71) 出願人	599152810
(22) 出願日	平成19年5月17日 (2007.5.17)		有限会社ヒューマンリンク
			東京都北区西が丘1丁目4番9号
		(74) 代理人	100101856
			弁理士 赤澤 日出夫
		(74) 代理人	100101111
			弁理士 ▲橋▼場 満枝
		(72) 発明者	田上 勝利
			埼玉県朝霞市膝折町1丁目1番28
		Fターム(参考)	5H301 AA03 BB01 CC06 DD02 FF08 GG10 GG11 GG17 HH02 HH03

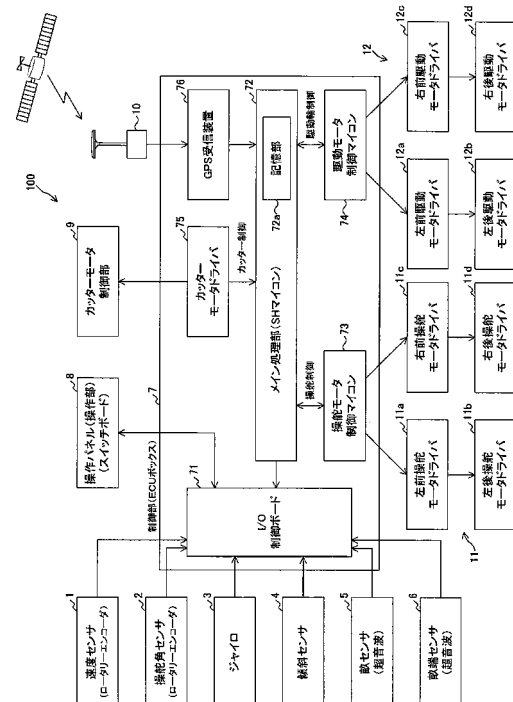
(54) 【発明の名称】 移動体及び移動体の走行方法

(57) 【要約】

【課題】 制御性が良い走行軌道をオンボードで生成することによって、移動体の制御がスムーズになり高精度の走行を可能とすると共に、あらかじめ地図や軌道作成などの付帯作業の必要がなく、安価で応用性が高い移動体を提供する。

【解決手段】 移動した移動軌跡を記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶された移動軌跡を編集して自走行軌道を生成する走行軌道生成手段と、前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道に基づいて走行する走行手段と、前記走行手段により実際に走行した軌道である自走行軌跡と、前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道とに基づいて、前記自走行軌跡と前記自走行軌道との誤差が少なくなるように、前記走行手段に補正値を与える走行誤差補正手段とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

移動した移動軌跡を記憶する記憶手段と、

前記記憶手段に記憶された移動軌跡を編集して自走行軌道を生成する走行軌道生成手段と、

前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道に基づいて走行する走行手段と、

前記走行手段により実際に走行した軌道である自走行軌跡と、前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道とに基づいて、前記自走行軌跡と前記自走行軌道との誤差が少なくなるように、前記走行手段に補正値を与える走行誤差補正手段と

を備えてなる移動体。

10

【請求項 2】

前記記憶手段は前記移動軌跡を座標点列として記憶し、前記走行軌道生成手段は、前記記憶手段に記憶された座標点列から、曲線近似によってスムージングした（N次）近似曲線を求め、該曲線を直線近似して走行軌道を生成することを特徴とする請求項 1 に記載の移動体。

【請求項 3】

前記走行誤差補正手段は、前記移動体の走行軌道からのズレ量の一定割合を補正値として補正することを特徴とする請求項 1 に記載の移動体。

【請求項 4】

前記移動体は畝に沿って走行する農業ロボットであり、

20

速度、操舵角、位置、畝を検出するセンサを備え、前記走行手段は、前記自走行軌道とこれらセンサによる検出値を用いて走行することを特徴とする請求項 1 に記載の移動体。

【請求項 5】

前記畝を検出するセンサは、畝の長さ方向の端部を検出する畝端センサと、畝の長さ方向に延びる斜面を検出する畝センサとを備えることを特徴とする請求項 4 に記載の移動体。

【請求項 6】

移動体の走行方法であって、

移動した移動軌跡を記憶し、

前記記憶された移動軌跡を編集して自走行軌道を生成し、

30

前記生成された自走行軌道に基づいて走行するとともに、実際に走行した軌道である自走行軌跡と前記自走行軌道との誤差を補正する

移動体の走行方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、記憶した移動軌跡に基づいて自走行を行う移動体に関するものであり、特に農作業ロボットとして畝に沿って走行を行う移動体及びその走行方法に関するものである。

【背景技術】

40

【0002】

近年、若者の 3 K 離れや少子高齢化のため労働力不足が深刻化しつつある。とりわけ、1 次産業などでは従事者の高齢化が進み、継続が困難になってきている。また日本農業の国際競争力は弱く、食料自給率は先進国のなかで最低の水準にあり、機械化の努力がなされてきたものの事態は改善されていない。

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

こうした状況のなかで、無人自律ロボットの研究開発が盛んになってきたが、いずれも高精度を得るために、制御性の良い走行軌道をあらかじめオフボードで作成する必要があ

50

り、付帯作業の煩わしさとコストアップが実用化の阻害要因であった。

【 0 0 0 4 】

本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、制御性が良い走行軌道をオンボードで生成することによって、移動体の制御がスムーズになり高精度の走行を可能とすると共に、あらかじめ地図や軌道作成などの付帯作業の必要がなく、安価で応用性が高い移動体を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

上述した課題を解決するため、本発明に係る移動体は、移動した移動軌跡を記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶された移動軌跡を編集して自走行軌道を生成する走行軌道生成手段と、前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道に基づいて走行する走行手段と、前記走行手段により実際に走行した軌道である自走行軌跡と、前記走行手段により実際に走行した軌道である自走行軌跡と、前記走行軌道生成手段により生成された自走行軌道とに基づいて、前記自走行軌跡と前記自走行軌道との誤差が少なくなるように、前記走行手段に補正値を与える走行誤差補正手段とを備えてなるものである。

【 0 0 0 6 】

また、本発明の移動体において、前記記憶手段は前記移動軌跡を座標点列として記憶し、前記走行軌道生成手段は、前記記憶手段に記憶された座標点列から、曲線近似によってスムージングした（N次）近似曲線を求め、該曲線を直線近似して走行軌道を生成する。

【 0 0 0 7 】

また、本発明の移動体において、前記走行誤差補正手段は、前記移動体の走行軌道からのズレ量の一定割合を補正値として補正する。

【 0 0 0 8 】

更に、本発明の移動体において、前記移動体は畝に沿って走行する農業ロボットであり、速度、操舵角、位置、畝を検出するセンサを備え、前記走行手段は、前記自走行軌道とこれらセンサによる検出値を用いて走行することを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

また、本発明の移動体において、前記畝を検出するセンサは、畝の長さ方向の端部を検出する畝端センサと、畝の長さ方向に延びる斜面を検出する畝センサとを備えることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

また、本発明は、移動体の走行方法であって、移動した移動軌跡を記憶し、前記記憶された移動軌跡を編集して自走行軌道を生成し、前記生成された自走行軌道に基づいて走行するとともに、実際に走行した軌道である自走行軌跡と前記自走行軌道との誤差を補正する。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、移動体の制御がスムーズになり高精度の走行を可能とすると共に、あらかじめ地図や軌道作成などの付帯作業の必要がなく、安価で応用性が高い移動体を提供することができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 2 】

以下、本発明の実施の形態として、本発明の移動体を農業ロボットに適用した場合について図を用いて説明する。

【 0 0 1 3 】

図1は本発明の実施の形態における全体構成を示すブロック図である。この移動体10は、各種センサ1～6と、これらセンサ1～6からの情報と予め取得したGPSデータとに基づいて移動体を自走行させる制御部（ECUボックス）7と、制御部7からの指示に基づいて移動体を操舵する操舵部11と、移動体を走行駆動させる駆動部12と、操作/管理を行う操作部8と、農作業装置であるカッターモータ制御部9を備えている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

各種センサ 1 ~ 6 としては、速度を検出する速度センサ 1 と、車輪の操舵角を検出する操舵角センサ 2 と、変動方位を検出するジャイロ 3 と、傾きを検出する傾斜センサ 4 と、畝の長さ方向に沿う斜面を検出することで畝の有無を検出する畝センサ 5 と、畝の長さ方向端部を検出する畝端センサ 6 を備える。

【 0 0 1 5 】

なお、速度センサ 1 と操舵角センサ 2 は、モータの単位時間当たりの回転速度を検出するロータリーエンコーダにより構成され、畝センサ 5 と畝端センサ 6 は、超音波の反射により畝の夫々の箇所を検出する超音波センサにより構成されている。

【 0 0 1 6 】

制御部 7 は、アンテナ 10 を介して G P S 位置信号を受信する G P S 受信装置 7 6 と、カッターモータ制御部 9 に駆動信号を与えるカッターモータドライバ 7 5 と、メイン制御部 7 2 (メイン処理部) と、I / O 制御ボード 7 1 と、駆動制御部 (駆動モータ制御マイコン) 7 4 と、操舵制御部 (操舵モータ制御マイコン) 7 3 とを備え、メイン処理部 7 2 には各種データを記憶する記憶部 7 2 a を備えている。

【 0 0 1 7 】

駆動部 1 2 は、左右前後の駆動輪それぞれを駆動する左前駆動モータドライバ 1 2 a 、左後駆動モータドライバ 1 2 b 、右前駆動モータドライバ 1 2 c および右後駆動モータドライバ 1 2 b を備えている。

【 0 0 1 8 】

操舵部 1 1 は、左前輪を操舵する左前操舵モータドライバ 1 1 a 、左後輪を操舵する左後操舵モータドライバ 1 1 b 、右前輪を操舵する右前操舵モータドライバ 1 1 c 、右後輪を操舵する右後操舵モータドライバ 1 1 d を備えている。

【 0 0 1 9 】

図 2、図 3 のそれぞれは本実施の形態の移動体 (農業ロボット) 1 0 0 を側面及び前方からみた図である。この移動体は四輪駆動による移動体であり、前後左右輪 2 1 , 2 2 を備え、電源ボックス 1 0 1、農業機械取り付け部 1 3 0 が設けられ、前後左右夫々の駆動輪の車軸近傍における内側に畝センサ 5 が設けられ、外側に畝端センサ 6 が設けられている。この移動体 1 0 0 は左右輪の間に作業対象となる畝 2 5 を挟み適宜その畝を検出しつつ移動する。なお、移動体の前方面面には移動体の農業機械取り付け部 1 3 0 の照準を所定方向に定めるための照準 1 5 1 を設けた照準板 1 5 0 が設けられている。

【 0 0 2 0 】

以下、本実施の形態の動作について説明する。

まず、自走行を行う前提として、移動軌跡を取得する一例 (移動軌跡取得処理) について説明する。本実施の形態の移動軌跡取得処理は、移動体 (農業用ロボット) 1 0 0 を人が操作し手動走行を行って、その走行軌跡を取得することで行われる。また、本移動体は畝に沿った農作業を行うものであり、その移動軌跡の一例を図 1 8 に示す。

【 0 0 2 1 】

農業では、畝立、播種 (又は移植) ・施肥・除草・収穫など一連の作業が最初の工程で作られる畝および畝間が以後の基準になり、農業ロボットなどの移動体はこれを基準に走行や作業を行うことになる。したがって、畝立て工程は従事者の意図するように移動体を操作・走行させ、その軌跡を G P S (位置認識手段) によって検出し、記憶部 7 2 a に記憶させる。

【 0 0 2 2 】

記憶部 7 2 a に記憶される軌跡は点列となるが、位置認識手段は誤差をもっているためこれらの点列を直線で結ぶと折れ線になる。位置認識手段は時として異常に大きな誤差を生む場合があるので、この場合単に結んでしまうと折れ線が大きく振れることになる。

【 0 0 2 3 】

一般にティーチングなどの手法ではこの折れ線を軌道とするので、走行の誤差が大きくなったり、軌道の方向が大きく変化する傾向になるので、反転時に移動体が軌道より膨ら

10

20

30

40

50

んでしまい、精度が悪くなる。そこで、各点をN次近似曲線（図参照）でスムージングすることによって、各点の異常ばらつきによる誤差を最小化し、且つ軌道が滑らかになり、膨らみを抑制できるので高精度な走行が可能となる。

【0024】

曲線をそのまま軌道とすると制御速度が遅くなり、制御性が追いつかなくなるため、この曲線を更に直線近似（折れ線近似）することによって、制御時のリアルタイム解析の負担を低減できる。GPSなどによる位置認識手段は、その特性上時に異常な値を示すことがあり、この値と移動体の現位置との差を誤差補正值とすると、補正が大きくなり過ぎて適正な制御ができない。そこで、補正量に重みをつけて誤差補正することによって、異常な値による悪影響を最小限に抑える事ができる。以下、詳述する。

10

【0025】

移動（走行）軌跡取得処理について図4のフローチャートを用いて説明する。走行軌道取得処理が開始されると、まず、初期化処理が行われて（ステップS1）計測ボタンが押下されて計測（手動走行）が開始される（ステップS2）。GPSおよび速度センサ、傾斜センサにより位置、速度、傾きを検出して走行情報を取得する（ステップS3）。GPSと傾きから3次元における現在地を計算し時間情報と共に記録する（ステップS4）。なお、このとき付帯情報としてロボットの作業内容（畝立、播種（又は移植）・施肥・除草・収穫など）を現在地情報に対応させて記憶するようにしてもよい。

【0026】

次に一つの畝にわたる走行を終了した場合（ステップS6、Yes）、移動体を停止させて計測終了ボタンを押下し（ステップS7）、全畝を終了していない場合（ステップS8、No）は、マニュアル操作にて次の畝に移動し（ステップS9）、ステップS2に戻る。なお、ステップS8において、一つの畝の走行が終了していない場合（ステップS6、No）はステップS3に戻る。全畝が終了した場合（ステップS8、Yes）は移動（走行）軌跡取得処理を終了する。

20

【0027】

次に移動軌跡から自走行を行う自走行軌道を生成する処理として走行軌道編集処理について図5のフローチャートを用いて説明する。

【0028】

まず、近似式の次数（n）を指定する初期情報の入力を行う（ステップS31）。次に移動軌跡を記憶装置から読み取り（ステップS32）、軌跡情報を点列データとしてn次近似曲線を求める（ステップS33）。n次曲線の求め方として、重みつきパラメータを採用する。

30

【0029】

直線近似として、図19（a）に重みつきパラメータが0.5の場合を例示する。この場合は点列を構成する二つの連続する点の中点を順次求め、これらを順に接続して求める。

【0030】

2次曲線近似として、図19（b）に示すように、軌跡データの点列をある区間毎に区切って最小二乗法により各区間における曲線を決定してこれらをつなぎ曲線を求める。

40

【0031】

3次曲線（スプライン）近似として、図19（c）に示すように、軌跡データの点列を全区間でスプライン近似を行う。近時はNURBS曲線で行う。これにより、滑らかな線を構築することができる。

【0032】

上述のようにn次近似曲線が求まると、次に、図19（d）に示すように、これを新たに等間隔の折れ線（走行軌道）に変換し（ステップS34）、求まった自走行軌道を記憶装置に保存し（ステップS35）、畝が終了するまで、上記動作を繰り返す（ステップS36）。

【0033】

50

次に、自走行処理について図 6 ~ 図 8 のフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 3 4 】

上述した走行軌道編集処理で得られた自走行軌道データを記憶装置から読み取り（ステップ S 6 1）、図示しないカウンタ（距離計）をリセットし（ステップ S 6 2）、平均速度（目標値）を設定する（ステップ S 6 3）。

【 0 0 3 5 】

ジャイロセンサ、距離計（カウンタ値）からデッドレコニングの現在位置を求める（ステップ S 6 4）。デッドレコニングの現在位置とは、走行した計測データに基づいて算出される現在位置である。超音波センサにより移動体（ロボット）の方向角を求める（ステップ S 6 5）。この方向角の算出については、図 9、図 10 に示すように行う。すなわち、前後左右輪に設けられた畝センサ 5 により、畝の両斜面からの距離 D_{fl} , D_{fr} , F_{rl} , D_{rr} を求め、図 9 に示す演算式より方向角 θ ($\Delta\theta$:ズレ角)を求める。

10

【 0 0 3 6 】

受信される GPS の値が更新された場合（ステップ S 6 6, Y）、GPS、傾斜角センサから GPS の現在位置を求める（ステップ S 6 7 - 1）。畝センサ 5 により取得された畝情報より GPS の補正を行う（ステップ S 6 7 - 2）。そして、補正された GPS の現在位置よりデッドレコニングの補正を行う（ステップ S 6 7 - 3）。そして、デッドレコニングの現在位置に該当する軌道（折れ線）データを得る（ステップ S 6 8）。

【 0 0 3 7 】

ここで、ステップ S 6 7 - 2 で行われる畝情報に基づく GPS の補正について図 20 を用いて説明する。この補正は 4 つの畝センサ 5 より得られる畝の両斜面と各畝センサとの距離（距離 D_{fl} , D_{fr} , F_{rl} , D_{rr} ）から畝の移動体の中心に対する畝中心線からのズレ量 ΔY を求める。次に畝（自走行軌道データ）を作成するときに得た、畝中心線から ΔY だけオフセットした線を作成する。移動体はこのオフセット線上のどこかにあるはずなので、GPS 座標がオフセット線上で最も近い点になるように補正する。

20

【 0 0 3 8 】

次にステップ S 6 7 - 3 におけるデッドレコニングの補正について説明する。まず、GPS 位置情報が補正されて取得されると、上記デッドレコニングの位置情報との差分を求める。この差分は移動体のドリフト、タイヤのスリップなどによってジャイロによる測定誤差が蓄積することにより発生するものである。そして、求められた差分を $1/n$ （例えば $n=2$ ）だけデッドレコニング位置情報を補正された GPS の位置情報に近づけるようにする。図 11 は、 n を 2 とした場合に、その補正処理を示す概念図であり、GPS の変動（黒丸）に対して、デッドレコニングの変動（白丸）が少なくなっていることを示している。

30

【 0 0 3 9 】

このデッドレコニングの補正は、図 11 より理解されるように、GPS により重みをつけてデッドレコニングを修正することにより、移動平均のような効果が得られる。これにより GPS の変動による影響を低減することができる。なお、GPS により求めた位置とデッドレコニング位置とのズレ量が想定外の範囲にあるときは、デッドレコニングの補正は実施しない。

40

【 0 0 4 0 】

次に、図 12 に示されるように、自走行している現在の折れ線データを求める（ステップ S 6 8）。そして、図 13 に示されるように、現在のデッドレコニング位置に最も近い軌道上の点（射影点）を求める（ステップ S 7 1）。射影点での接線方向（目標とする方向角）を求め（ステップ S 7 2）、現在のデッドレコニング位置と走行起動のズレ量を求める（ステップ S 7 3）。

【 0 0 4 1 】

ズレ量が許容範囲にある場合は（ステップ S 7 4）、駆動制御マイコンへ必要な速度を送信する（ステップ S 7 5）とともに、操舵制御マイコンへ起動修正に必要な操舵角を送信する（ステップ S 7 6）。センサエラーが無い場合において（ステップ S 7 7, No）

50

、畝センサ出力がゼロとなり（ステップ S 7 8 , Y e s ）、畝が検出されなくなった場合は、走行軌道（畝）が終了したか否か判断が行われ、畝が終了していない場合（ステップ S 8 1 , N o ）は、図 1 4 に示すように、次の畝に移るため、移動体の長さ分ほど枕地部を直進し（ステップ S 8 2 ）、移動体を走行軌道の方向に向けるため 9 0 度回転させる（ステップ S 8 3 ）。以上において、ステップ S 7 1 ~ ステップ S 7 6 は本発明の走行誤差補正手段を構成している。

【 0 0 4 2 】

そして、図 1 5 に示すように、畝端において、畝端を畝端センサ 6 で検出しつつ枕地部で軌道走行する（ステップ S 8 4 ）。図 1 4 に示すように目標の n 番目の畝に到達した場合は（ステップ S 8 5 , Y e s ）、移動体を目標の畝の長さ方向に向けるため更に 9 0 度回転させて（ステップ S 8 5 ）、畝間の走行を開始する（ステップ S 8 6 ）べく、ステップ S 6 4 に戻る。

10

【 0 0 4 3 】

なお、ステップ S 8 1 において走行軌道が全て終了した場合（ステップ S 8 1 , Y e s ）は処理を終了する。またステップ S 7 8 において畝センサによる畝が検出されている場合は（ステップ S 7 8 , N o ）、ステップ S 6 4 に戻る。また、ステップ S 7 4 においてズレ量が許容範囲内でない場合（ステップ S 7 4 , N o ）及びセンサエラーがある場合（ステップ S 7 7 , Y e s ）は緊急停止が行われる（ステップ S 7 9 ）。

【 0 0 4 4 】

なお、図 1 6 に移動体が旋回する様子を示している。

20

【 0 0 4 5 】

図 1 7 は農業機械取り付け部 1 3 0 に取り付けられる農業機械の一例を示す側面図である。この農業機械はブロッコリーの刈り取り機 2 0 0 を示し、刈り取り機 2 0 0 全体がワイヤー 2 0 1 により吊下される。この刈り取り機 2 0 0 は、取手 2 0 2 が設けられた支持棒 2 0 3 と、支持棒 2 0 3 の先に設けられる刈り取り部 2 0 4 を備え、刈り取り部 2 0 4 は、モータ 2 0 5 が取り付けられる断面半円状の外カバー 2 0 6 と、外カバー 2 0 6 の内側に設けられ、ブロッコリー 3 0 0 を押さえる断面半円状のブロッコリーカバー 2 0 7 と、ブロッコリーカバー 2 0 7 と外カバー 2 0 6 の間に回転可能に設けられ、モータ 2 0 5 により回転駆動されてブロッコリー 3 0 0 をカットする回転刃 2 0 8 とを備えている。取手 2 0 2 にはモータ駆動スイッチ 2 1 0 が設けられており、このスイッチ 2 1 0 の押下によりカッターモータ制御部 9 を介して回転刃 2 0 8 が回転し、ブロッコリーをカットする。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 6 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態における移動体を示すブロック図である。

【 図 2 】 本発明の実施の形態における移動体の側面図である。

【 図 3 】 本発明の実施の形態における移動体の正面図である。

【 図 4 】 移動軌跡（走行軌道）取得処理の一例を示すフローチャートである。

【 図 5 】 走行軌道編集処理の一例を示すフローチャートである。

【 図 6 】 自走行処理の一例を示すフローチャート（その 1 ）である。

40

【 図 7 】 自走行処理の一例を示すフローチャート（その 2 ）である。

【 図 8 】 自走行処理の一例を示すフローチャート（その 3 ）である。

【 図 9 】 移動体の走行方向を示す式である。

【 図 1 0 】 移動体の車輪と畝との関係を示す図である。

【 図 1 1 】 デッドレコニングの重み付補正処理を示す概念図である。

【 図 1 2 】 移動体の走行軌道を示す図である。

【 図 1 3 】 走行軌道のズレを示す概念図である。

【 図 1 4 】 畝と移動体の移動を示す図である。

【 図 1 5 】 畝端センサの作用を示す図である。

【 図 1 6 】 移動体の旋回を示す図である。

50

【図 17】農業機械の一例としてブロッコリーの刈取り機械を示す図である。

【図 18】移動体の走行軌道の取得例を示す概念図である。

【図 19】走行軌道の折れ線近似の一例を示す図である。

【図 20】GPS 位置情報の補正処理を示す概念図である。

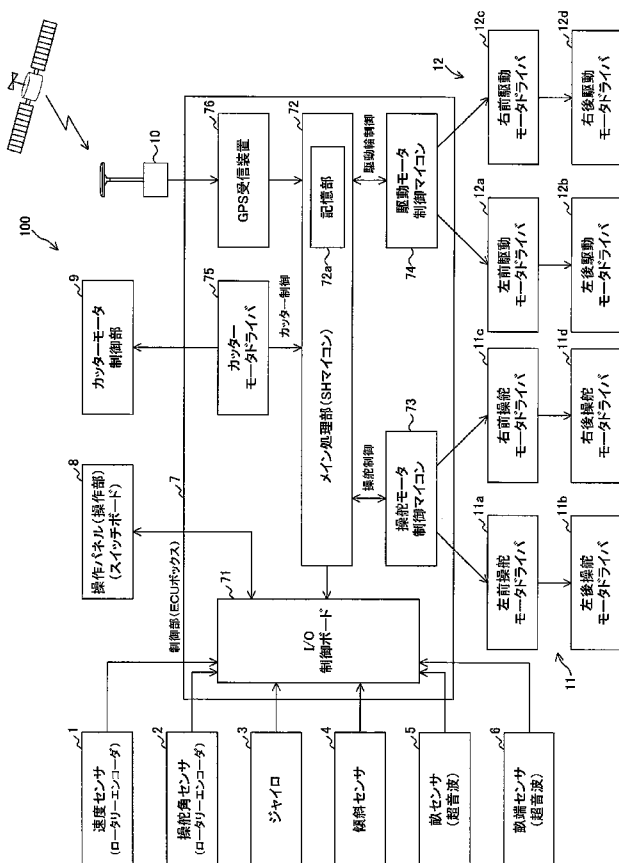
【符号の説明】

【0047】

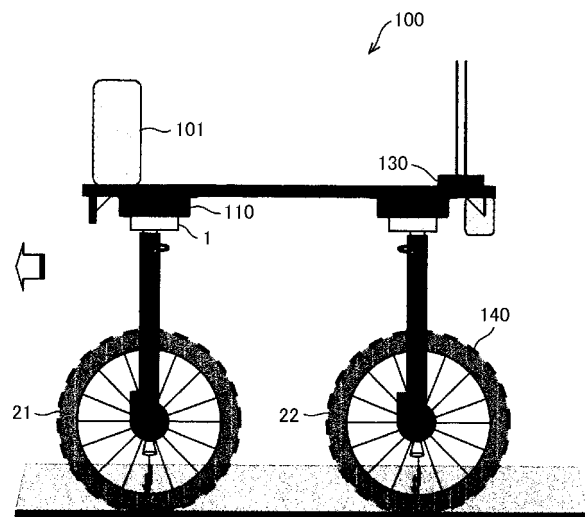
1 速度センサ、2 操舵角センサ、3 ジャイロ、4 傾斜センサ、5 畝センサ、6 畝端センサ、7 制御部、8 操作パネル、9 カッターモータ制御部、10 GPS 受信アンテナ、11 操舵駆動部、12 駆動部、72 メイン処理部、72a 記憶部。

10

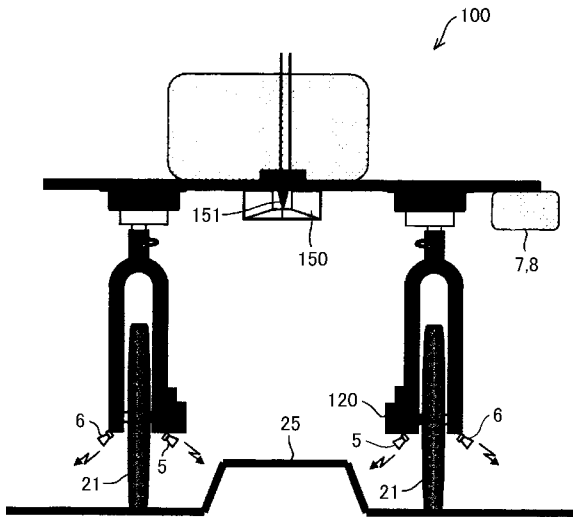
【図 1】



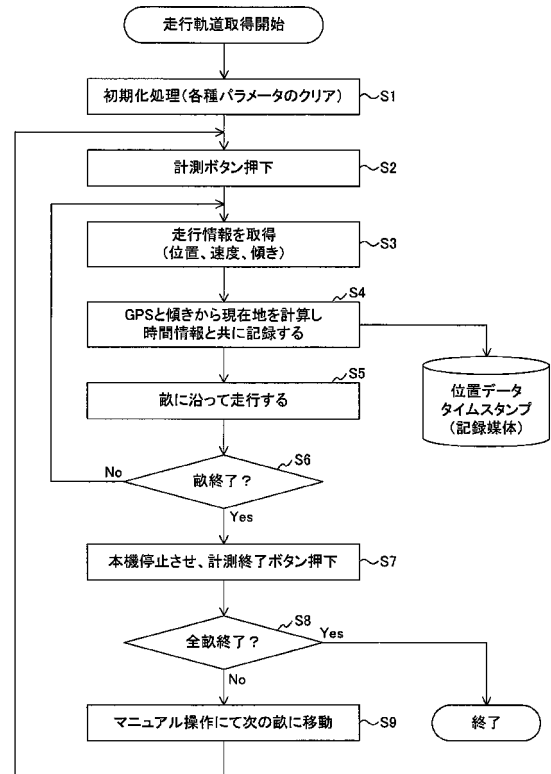
【図 2】



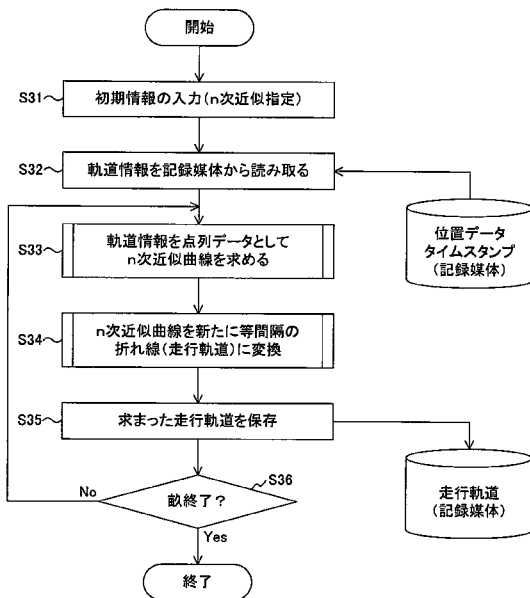
【図3】



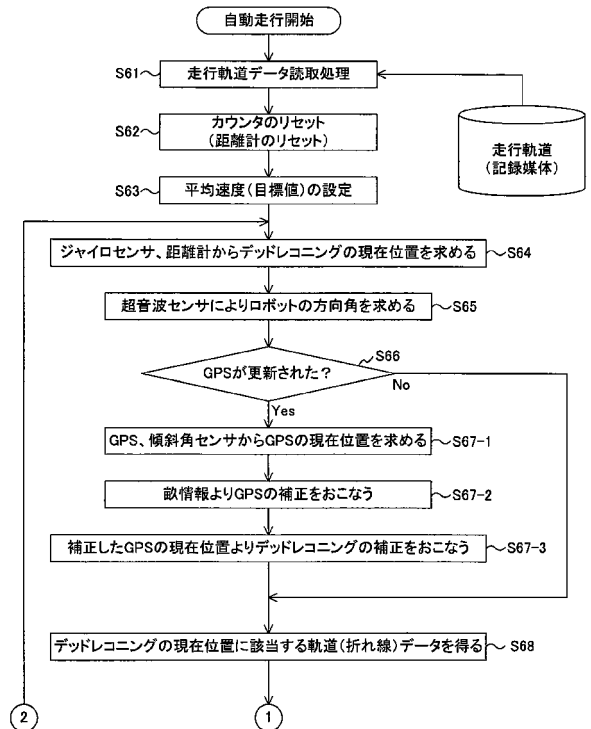
【図4】



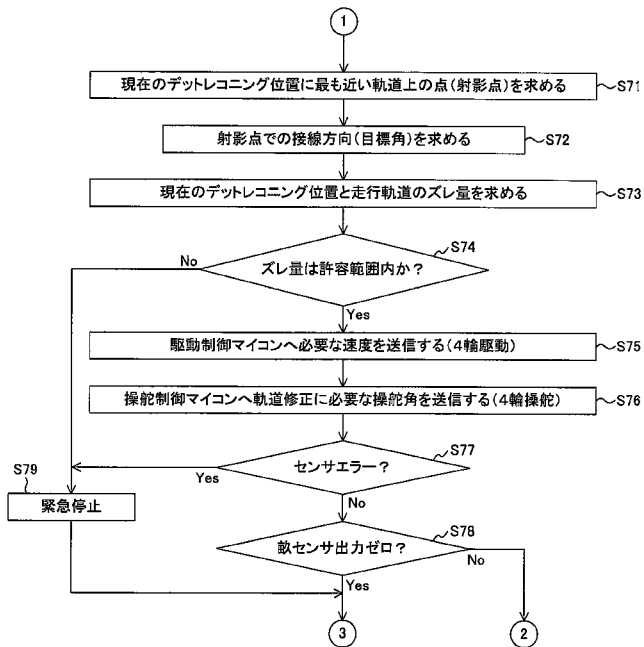
【図5】



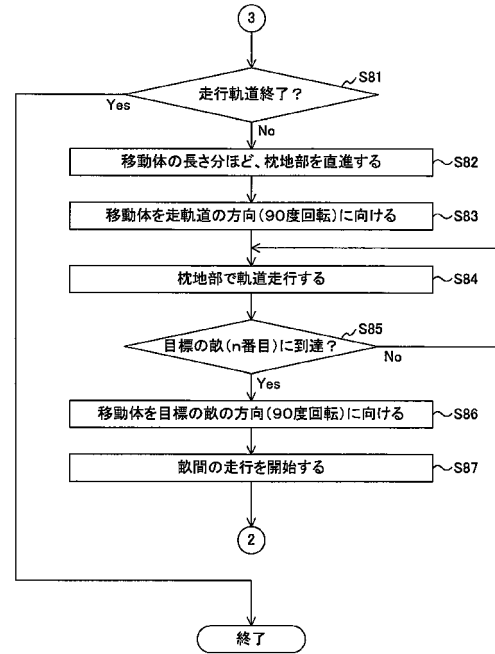
【図6】



【図 7】



【図 8】

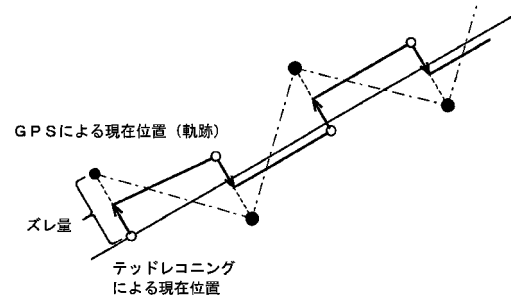


【図 9】

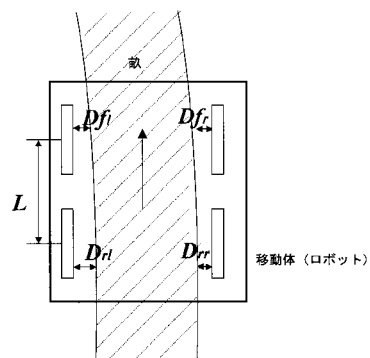
$$\Delta \theta = \tan^{-1} \frac{(D_{fl} - D_{fr}) - (D_{rl} - D_{rr})}{(D_{fl} - D_{fr}) - (D_{rl} - D_{rr})} \approx \frac{L}{L}$$

d: 前後輪の幅
 $\Delta \theta$: ズレ角(進行方向に向かって左向きを正)単位はラジアン
 D_{fl} : 左前輪のズレ量
 D_{fr} : 右前輪のズレ量
 D_{rl} : 左後輪のズレ量
 D_{rr} : 右後輪のズレ量

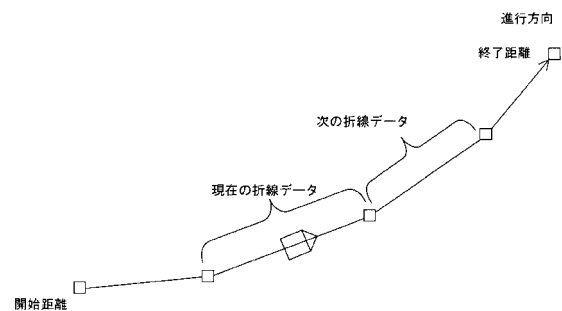
【図 11】



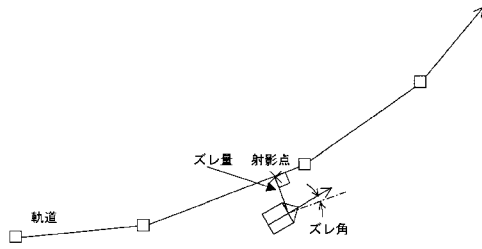
【図 10】



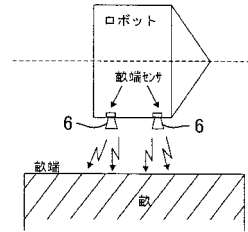
【図 12】



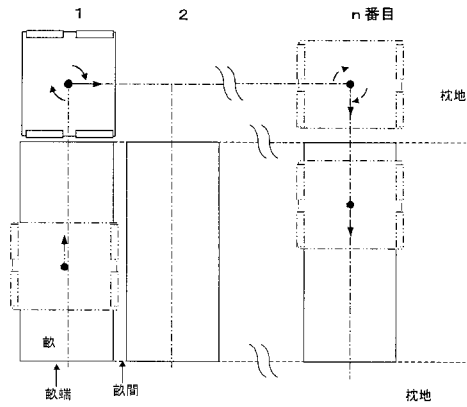
【図 13】



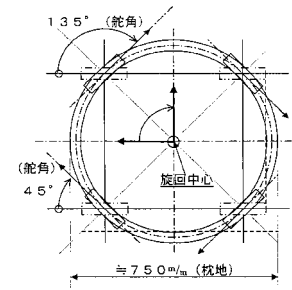
【図 15】



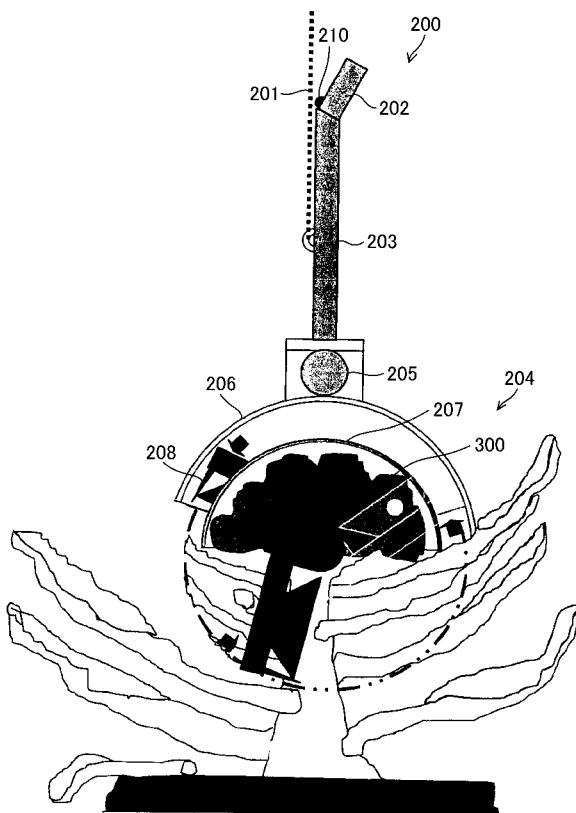
【図 14】



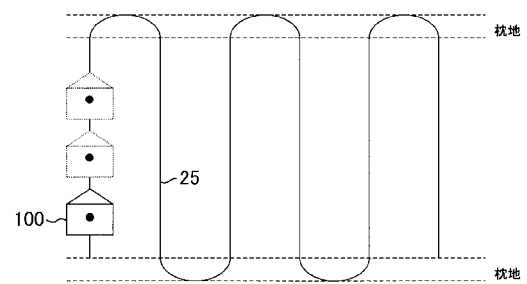
【図 16】



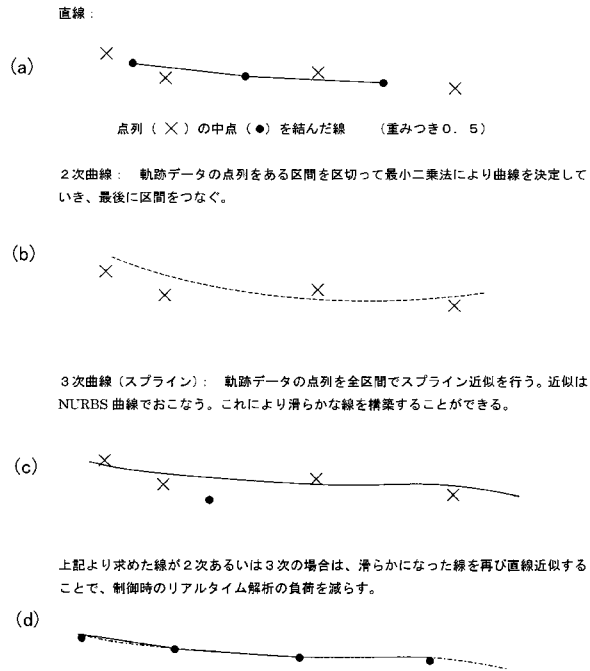
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【図 20】

