

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年1月4日(04.01.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/005182 A1

(51) 国際特許分類:

E02F 9/20 (2006.01)

東京都港区赤坂 2 - 3 - 6 株式会社
小松製作所内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2023/024347

(74) 代理人: 弁理士法人志賀国際特許事務所

(SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE);

(22) 国際出願日:

2023年6月30日(30.06.2023)

〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁

(25) 国際出願の言語:

日本語

目9番2号 Tokyo (JP).

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願 2022-106372 2022年6月30日(30.06.2022) JP

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保

護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,

CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH,

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ,

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,

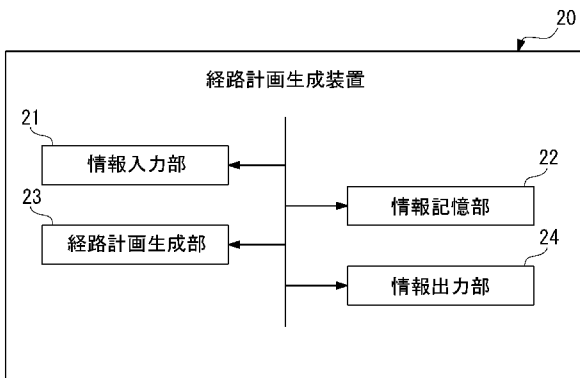
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(71) 出願人: 株式会社小松製作所 (KOMATSU
LTD.) [JP/JP]; 〒1078414 東京都港区赤坂
2 - 3 - 6 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 前田 然波 (MAEDA Saba); 〒1078414
東京都港区赤坂 2 - 3 - 6 株式会社小
松製作所内 Tokyo (JP). 逢澤 正憲 (AIZAWA
Masanori); 〒1078414 東京都港区赤坂 2 -
3 - 6 株式会社小松製作所内 Tokyo (JP).
高濱 和久 (TAKAHAMA Kazuhisa); 〒1078414

(54) Title: WORK VEHICLE PATH PLAN GENERATION SYSTEM AND WORK VEHICLE PATH PLAN GENERATION METHOD

(54) 発明の名称: 作業車両の経路計画生成システム、作業車両の経路計画生成方法



(57) Abstract: An embodiment of the present disclosure is a work vehicle path plan generation system for generating a path plan in order for a work vehicle having a work machine to perform excavation work of the ground in a work area, said system comprising: a position detection unit for detecting a position of the work vehicle; an information storage unit for storing topographic information indicating topography in the work area, the position of the work vehicle, and design surface information indicating a shape into which the ground in the work area should be excavated; and a path plan generation unit for generating a travel path plan indicating a travel path of the work vehicle and including multiple work machine path plans on the basis of the topographic information, the position of the work vehicle, and the design surface information.

- 20 Path plan generation device
21 Information input unit
22 Information storage unit
23 Path plan generation unit
24 Information output unit

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本開示の一態様は、作業機を有した作業車両で、施工対象エリアの地面に対して掘削作業を行うための経路計画を生成する作業車両の経路計画生成システムであって、作業車両の位置を検出する位置検出部と、施工対象エリア内の地形の形状を示す地形形状情報、作業車両の位置、及び、施工対象エリア内の地面を掘削すべき形状を示す設計面情報を記憶する情報記憶部と、地形形状情報、作業車両の位置、及び設計面情報に基づいて、複数の作業機経路計画を含む作業車両の走行経路を示す走行経路計画を生成する経路計画生成部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

作業車両の経路計画生成システム、作業車両の経路計画生成方法

技術分野

[0001] 本開示は、作業車両の経路計画生成システム、作業車両の経路計画生成方法に関する。

本願は、2022年6月30日に、日本に出願された特願2022-106372号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 特許文献1に記載されている掘削計画作成装置では、地形情報を入力し、掘削軌跡と旋回方向の計画値を出力する機械学習モデルを用いる。この掘削計画作成装置では、掘削効率を評価値として土質に係るパラメータをそれぞれ異ならせて機械学習された複数の計画モデルを生成する。さらに、この掘削計画作成装置では、土質を推定し、推定した土質に基づいて計画モデルを選択し、選択した計画モデルに、地形情報を入力し、計画モデルの出力として計画値を算出する。また、この掘削計画作成装置では、バケットの刃先位置とバケットを支持する作業機の負荷の時系列データと、推定した土質とに基づき、地形情報を推定する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2021-188362号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載されている掘削計画作成装置では、掘削計画を作成する際に土質の影響を適切に考慮し、精度の高い掘削計画を作成することができる。その一方で、例えば、バケットの刃先位置とバケットを支持する作業機の負荷の時系列データと、土質とに基づいた推定演算等を行う必要がある。

特に、土質について、土砂を粒子モデルとして取り扱った場合、演算処理の負荷が大きくなる可能性があった。

[0005] 本開示は、上記事情に鑑みてなされたものであり、作業車両の経路計画を、効率良く生成することができる作業車両の経路計画生成システム、作業車両の経路計画生成方法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

[0006] 上記課題を解決するため、本開示の一態様は、作業機を有した作業車両で、施工対象エリアの地面に対して掘削作業を行うための経路計画を生成する作業車両の経路計画生成システムであって、前記作業車両の位置を検出する位置検出部と、前記施工対象エリア内の地形の形状を示す地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記施工対象エリア内の目標形状を示す設計面情報を記憶する情報記憶部と、前記地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記設計面情報に基づいて、前記作業機の移動経路を示す作業機経路計画、及び前記作業車両の走行経路を示す走行経路計画を生成する経路計画生成部と、を備える作業車両の経路計画生成システムである。

発明の効果

[0007] 本開示の各態様によれば、作業車両の経路計画を、効率良く生成することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施形態に係る作業車両で掘削作業を行う施工対象エリアを示す平面図である。

[図2]実施形態に係る作業車両で掘削作業を行う施工対象エリアの側断面図である。

[図3]実施形態に係る経路計画生成装置の構成例を示す概略ブロック図である。

[図4]実施形態に係る作業車両の走行経路における、作業機の移動経路の一例を示す図である。

[図5]実施形態に係る経路計画生成部で、移動経路の候補についてのシミュレ

ーションに用いるシミュレーションモデルの例を示す図である。

[図6]実施形態に係る作業車両の走行経路における、作業機の移動経路の他の一例を示す図である。

[図7]実施形態に係る作業車両の走行経路における、作業機の移動経路のさらに他の一例を示す図である。

[図8]実施形態に係る作業機で掘削を行った際に、ブレードの前方で抱え込む土砂、及びブレードの両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂を示す側面図である。

[図9]実施形態に係る作業機で掘削を行った際に、ブレードの前方で抱え込む土砂、及びブレードの両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂を示す平面図である。

[図10]実施形態に係る作業機で掘削を行った際に、ブレードの前方で抱え込む土砂、及びブレードの両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂を、多角柱状の立体モデルに模した図である。

[図11]実施形態に係る経路計画生成装置の動作を示すフローチャートである。

[図12]実施形態に係る強化学習による学習を行うことで、経路計画を生成する流れの概略を示す図である。

[図13]実施形態に係る作業車両の経路計画生成システムの構成例を示す概略ブロック図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照して本開示の実施形態について説明する。なお、各図において同一または対応する構成には同一の符号を用いて説明を適宜省略する。

[0010] (作業車両 100 の構成例)

図1は、実施形態に係る作業車両100（作業機械）で掘削作業を行う施工対象エリアAを示す平面図である。図2は、実施形態に係る作業車両100で掘削作業を行う施工対象エリアAの側断面図である。

図１、図２に示すように、本実施形態において、作業車両１００は、予め定められた施工対象エリアＡの地面Ｇに対して掘削作業を行う。作業車両１００は、地面Ｇを掘削することによって、予め設計された設計面Ｓに沿った掘削地表面Ｋを形成する。なお、図１、図２に示した施工対象エリアＡは一例に過ぎず、その平面形状等は適宜変更可能である。また、地面Ｇの地表面の地形形状、設計面Ｓ（掘削地表面Ｋ）の形状も一例に過ぎず、適宜変更可能である。

[0011] 作業車両１００は、施工対象エリアＡを含む施工現場にて、遠隔操作により自動的に稼働し、地面Ｇを掘削する。実施形態に係る作業車両１００は、一例としてブルドーザである。作業車両１００は、下部走行体１１０、上部車体１２０、および作業機１３０を備える。

[0012] 下部走行体１１０は、作業車両１００を走行可能に支持する。下部走行体１１０は、例えば左右一对の履帯１１０ａ（左履帯１１０ａとも称する）および履帯１１０ｂ（右履帯１１０ｂとも称する）を備える。左右それぞれの履帯１１０ａおよび１１０ｂは、駆動輪を独立して駆動して前進および後進させることができる。左履帯１１０ａと右履帯１１０ｂを同時に前進させれば下部走行体１１０は前進し、左履帯１１０ａと右履帯１１０ｂを同時に後進させれば下部走行体１１０は後進する。また、一方の履帯の駆動輪と、他方の履帯の駆動輪を互いに逆向きに駆動、例えば右履帯１１０ｂを前進させると同時に左履帯１１０ａを後進させると、下部走行体１１０は、旋回中心を中心に回転することができる。

[0013] 上部車体１２０は、下部走行体１１０上に支持される。上部車体１２０は、運転室１２１を備えている。運転室１２１は、オペレータ（運転者）が搭乗し、作業車両１００の操作を行うためのスペースである。

[0014] 作業機１３０は、リフトフレーム１３１、及びブレード１３３を少なくとも備えている。リフトフレーム１３１は、下部走行体１１０に、動作可能に取り付けられる。ブレード１３３は、土砂などを掘削する。ブレード１３３は、リフトフレーム１３１に動作可能に取り付けられる。

[0015] 図1に示すように、作業車両100は、施工対象エリアA内を、複数の走行経路Rに沿って移動しながら、ブレード133で地面Gを掘削する。図1において、複数の走行経路Rの各々は、平面視で直線状としたが、走行経路Rは、直線状に限らず、地形や障害物等に応じて、適宜湾曲、あるいは屈曲していてもよい。また、図1において、複数の走行経路Rは、平面視で互いに平行に設定されているが、例えば放射状に延びる等していてもよい。

[0016] (経路計画生成装置20の構成例)

図3は、実施形態に係る経路計画生成装置20の構成例を示す概略ブロック図である。

図3に示すように、経路計画生成装置20は、マイクロコンピュータ、CPU (Central Processing Unit) 等のコンピュータと、コンピュータの周辺回路や周辺装置等のハードウェアを用いて構成することができる。経路計画生成装置20は、ハードウェアと、コンピュータが実行するプログラム等のソフトウェアとの組み合わせから構成される機能的構成として、情報入力部21と、情報記憶部22と、経路計画生成部23と、情報出力部24と、を備える。

[0017] 情報入力部21は、外部から、施工対象エリアA内の地面Gの地表面等の地形の形状を示す地形形状情報と、作業車両100の位置と、施工対象エリアA内の目標形状を示す設計面情報と、の入力を受け付ける。設計面情報は、例えば、施工対象エリアAを含む施工現場の設計を行う、外部のCAD (Computer Aided Design) システムから取得される。地形形状情報は、作業車両100に備えられたレーダ等の検出装置により取得される。検出装置は、他の作業車両に備えられても良いし、施工エリアA内の構造物に取り付けられても良い。また、検出装置は、施工現場の上方を飛行する飛行体に搭載されてもよい。飛行体として、ドローンのような無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle) が例示される。

[0018] 情報記憶部22は、情報入力部21で入力を受け付けた、地形形状情報、及び設計面情報を記憶する。また、情報記憶部22には、作業車両100に

関する各種の車両情報、例えば、ブレード１３３の大きさ、履帯１１０a、１１０bによる走行駆動力、走行最大速度等が記憶されている。

[0019] 経路計画生成部２３は、後に詳述するように、施工対象エリアA内を作業車両１００で掘削施工するための、経路計画を生成する。

情報出力部２４は、経路計画生成部２３によって生成された経路計画の情報を、外部に出力する。

[0020] (経路計画生成部２３の構成例)

図４は、実施形態に係る作業車両１００の走行経路Rにおける、作業機１３０の移動経路Lの一例を示す図である。

経路計画生成部２３は、施工対象エリアA内を作業車両１００で掘削施工するための経路計画として、作業車両１００の作業機経路計画、及び走行経路計画を生成する。作業機１３０の移動経路Lは、作業車両１００が走行経路Rに沿って走行する際に、走行経路R上の複数の位置における、ブレード１３３の上下方向の位置、角度を示すものである。

[0021] 経路計画生成部２３は、最適な作業機１３０の移動経路Lである作業機経路計画、及び最適な作業車両１００の走行経路Rである走行経路計画を生成する。経路計画生成部２３は、作業車両１００の履帯１１０a、１１０bのスリップが生じず、かつブレード１３３による掘削効率が高くなる作業機経路計画、及び走行経路計画を生成する。経路計画生成部２３は、複数の移動経路L、及び走行経路Rの候補について、最適な作業機１３０の移動経路Lである作業機経路計画、及び最適な作業車両１００の走行経路Rである走行経路計画を生成するように強化学習される。本実施形態では、作業機１３０の動作に関するパラメータを様々に異ならせた複数の移動経路L、及び走行経路Rの候補についてのシミュレーションを、強化学習による学習を行いながら、複数回行う。

[0022] 図５は、実施形態に係る経路計画生成部２３で、移動経路L、及び走行経路Rの候補についてのシミュレーションに用いるシミュレーションモデルの例を示す図である。

経路計画生成部 23 は、移動経路 L、及び走行経路 R の候補についてのシミュレーションを行うため、作業車両 100 による掘削時に生じる現象を、要素毎のモデルに分解する。例えば、図 5 に示すように、経路計画生成部 23 は、作業車両 100 による掘削時に生じる現象を、車体モデル M10 と、制御モデル M20 と、土砂モデル M30 と、に分解してシミュレーションにより強化学習される。コンピュータ上で動作する、シミュレーションを実行するシミュレータにより、シミュレーションは実行される。

[0023] 車体モデル M10 では、走行経路 R 上における作業車両 100 の動作に関するパラメータ、走行経路 R 上における作業機 130 の動作に関するパラメータに関する。車体モデル M10 では、より具体的には、例えば、作業機 130 のリフトシリンダ、チルトシリンダ等の油圧機器に関する油圧モデル M11、リフトフレーム 131、ブレード 133 等の可動部の機構に関する機構モデル M12、下部走行体 110 に関する足回りモデル M13、を含む。

[0024] 油圧モデル M11 では、例えば、作業機 130 のリフトシリンダ、チルトシリンダ等の油圧機器に関するリリーフ圧等をシミュレーションする。このような油圧機器には、リフトフレーム 131、ブレード 133 の動作による反力の最大値が、最大反力制限として設定されている。油圧モデル M11 では、最大反力制限を超えない範囲で、作業機 130 の動作にともなう、油圧機器のリリーフ圧等についてシミュレーションする。

[0025] 機構モデル M12 では、移動経路 L に基づいてリフトフレーム 131、ブレード 133 等の可動部を動作させた場合の、ブレード 133 により掘削可能な掘削範囲についてシミュレーションする。ブレード 133 には、先端ブレードの位置制限が設定されている。機構モデル M12 では、先端ブレードの位置制限を超えない範囲で、ブレード 133 による掘削動作のシミュレーションを行う。

[0026] 足回りモデル M13 では、下部走行体 110 の駆動による車速、履帯 110a、110b のスリップの発生度合い等について、シミュレーションを行う。下部走行体 110 の駆動によって走行経路 R に沿って作業車両 100 が

走行移動するときの車速は、履帯110a、110bによる走行駆動力（牽引力）と、ブレード133で地面Gの土砂を押すことによって受ける反力とに基づいて算出される。履帯110a、110bのスリップの発生度合いは、例えば、リフトフレーム131、ブレード133で掘削動作を行う場合に土砂から受ける反力に基づいてシミュレーションを行うことができる。この反力は、ブレード133で地面Gを掘削する際の掘削抵抗（せん断抵抗）と、ブレード133の前方に抱え込んだ土砂を前方に押す際の摩擦による運土抵抗との和である。足回りモデルM13では、反力が最大反力制限に到達した場合に、履帯110a、110bのシュースリップ限界を超え、スリップが発生する、と判断することができる。

[0027] 制御モデルM20では、移動経路L、及び走行経路Rの候補に基づいてシミュレーションを行う際の、制御条件に関するものである。制御モデルM20は、例えば、経路追従モデルM21と、経路計画モデルM22と、を有している。

経路追従モデルM21では、シミュレーションを行う際に、作業車両100の走行経路Rに対する軌跡追従性、作業機130の移動経路Lに対する軌跡追従性について、例えば、それぞれ、100%の追従性を有する、と仮定する。

[0028] また、経路計画モデルM22では、複数回のシミュレーションを行うことでの学習対象となる、複数の移動経路L、及び走行経路Rについての経路計画モデルM22を設定する。経路計画モデルM22では、移動経路L、及び走行経路Rの候補について行ったシミュレーションの結果に基づいて、掘削効率が、より向上するように、新たな移動経路L、及び走行経路Rを生成する。図4に示すように、経路計画モデルM22では、例えば、走行経路Rに沿って仮に設定される、移動経路Lの始点P1、ブレード133を下降させて地面Gの掘削を開始する掘削開始位置P2、1回の掘削で地面Gを掘削する掘削深さP3、地面Gに対するブレード133の侵入角度P4、移動経路Lの終点P5、作業車両100の車速等の条件を様々に異ならせて、シミュ

レーション対象となる複数の移動経路Lの候補を順次生成する。経路計画モデルM22では、一つの移動経路Lの候補について、シミュレーションを行った後、条件が異なる他の移動経路Lを生成し、シミュレーションを順次実行させる。

[0029] 土砂モデルM30は、移動経路L、及び走行経路Rの各候補に基づいて作業車両100を走行させて作業機130を移動させた場合に、作業機130で掘削する地面Gの土砂に関するパラメータをシミュレーションするためのものである。土砂モデルM30では、ブレード133で地面Gを掘削することで生じる地形変化に関する地形モデルM31と、地面Gを掘削する際にブレード133が受ける反力に関する反力モデルM32と、に分類される。

[0030] 地形モデルM31では、ブレード133で地面Gを掘削することで、掘削される掘削土量についてシミュレーションを行う。掘削土量は、走行経路Rに沿った領域における、掘削前の地面Gの地形形状情報と、設計面Sについての設計面情報との差に基づいて算出される。地形モデルM31では、地面Gから設計面Sまでの掘削を、複数回に分けて行う場合、各回の掘削時における掘削土量は、掘削前の地形形状と、移動経路Lに沿った1回の掘削によって形成される掘削面との差に基づいて算出することができる。

[0031] 図6は、実施形態に係る作業車両100の走行経路Rにおける、作業機130の移動経路Lの他の一例を示す図である。

また、図6に示すように、移動経路Lに基づいてブレード133で地面Gを掘削し、ブレード133の前方に土砂D1を抱え込んでいる場合、地形モデルM31では、抱え込んでいる土砂D1の量である抱え込み土量について、シミュレーションを行う。

[0032] 図7は、実施形態に係る作業車両100の走行経路Rにおける、作業機130の移動経路Lのさらに他の一例を示す図である。

図7に示すように、ブレード133で走行経路R上の地面Gの一部を掘削した土砂D2により、走行経路R上の地面Gの他の部分を埋め戻す場合、地形モデルM31では、掘削土量と、埋め戻した土砂D2の量である埋め戻し

土量と、の差に基づき、実質的な掘削土量について、シミュレーションを行うようにしてもよい。

[0033] 図8は、実施形態に係る作業機130で掘削を行った際に、ブレード133の前方で抱え込む土砂D1、及びブレード133の両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂D5を示す側面図である。図9は、実施形態に係る作業機130で掘削を行った際に、ブレード133の前方で抱え込む土砂D1、及びブレード133の両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂D5を示す平面図である。

地形モデルM31では、図8、図9に示すように、移動経路L、及び走行経路Rに基づいてブレード133で地面Gを掘削した際に、ブレード133の幅方向両側にあふれ出す、いわゆるウィンドローの土砂D5の量について、シミュレーションを行う。地形モデルM31では、一つの走行経路Rに沿って、移動経路Lに基づいてブレード133で地面Gを掘削することによって、地面G上にウィンドローが形成された場合、形成されたウィンドローの土砂D5の量を、他の走行経路Rにおいて、移動経路Lの候補についてシミュレーションを行う際に、地形情報に含めるものとする。

[0034] 上記抱え込む土砂D1の土量、ウィンドローの土砂D5の土量は、例えば、模型を用いた事前実験等に基づいて算出するようにしてもよい。

これ以外に、地形モデルM31では、例えば、走行経路R上で掘削した土砂の一部を、走行経路R上の他の位置で埋め戻す場合、埋め戻した土砂を、履帯110a、110bで転圧して締め固める、として、シミュレーションを行う。

地形モデルM31では、走行経路R上で掘削した土砂についての土崩れについてもシミュレーションを行う。

[0035] 反力モデルM32では、移動経路Lに基づいて、作業車両100を走行経路Rに沿って移動させながらブレード133を動作させて地面Gを掘削した際に、ブレード133の前方に抱え込んだ土砂D1を、前方に押していくことによって地面Gとの間に生じる運土抵抗についてシミュレートする。作業

車両 100 が、走行経路 R に沿って前進していくと、ブレード 133 の前方で抱え込む土砂 D1 の量は、漸次増大する。つまり、運土抵抗は、時々刻々と変化する。

[0036] 反力モデル M32 では、移動経路 L に沿ってブレード 133 を動作させたときに、地面 G の土砂からブレード 133 が受ける掘削抵抗についてシミュレートする。掘削抵抗は、地面 G に対するブレード 133 による掘削深さに応じて大きくなる。図 7 に示すように、移動経路 L の終点 P5 よりも前方で、土砂 D2 を埋め戻す場合、反力モデル M32 は、埋め戻す土砂 D2 からブレード 133 が受ける掘削抵抗についてもシミュレートする。

[0037] シミュレータは、複数の移動経路 L、及び走行経路 R の候補について行った、複数回のシミュレーションの結果に基づいて、経路計画生成部 23 を強化学習する。シミュレータは、各回のシミュレーションについて、作業車両 100 を走行経路 R に沿って移動させながら、移動経路 L に沿って作業機 130 を動作させた場合の掘削土量と、移動経路 L の始点から終点まで作業機 130 で掘削を行うのに要する作業時間とに基づいて、強化学習による報酬を、例えば下式 (1) に基づいて算出する。

$$\text{報酬} = \text{掘削土量} / \text{作業時間} \quad \cdots (1)$$

[0038] また、シミュレータは、各回のシミュレーションについて、作業車両 100 を走行経路 R に沿って移動させながら、移動経路 L に沿って作業機 130 を動作させた場合に、ブレード 133 が土砂から受ける反力が、下部走行体 110 のシュースリップ限界を超えた場合、強化学習におけるペナルティ値（例えば、-0.05）を付与する。

[0039] シミュレータは、強化学習により、算出される報酬とペナルティ値とに基づいて、最適な移動経路 L、及び走行経路 R を探索し、作業機経路計画、及び走行経路計画を生成するように経路計画生成部 23 を学習する。

経路計画生成部 23 は、最適な移動経路 L である作業機経路計画、及び最適な走行経路 R である走行経路計画に基づき、施工対象エリア A の全体を対象とした作業機経路計画、及び走行経路計画を生成するように学習される。

[0040] 図10は、実施形態に係る作業機130で掘削を行った際に、ブレード133の前方で抱え込む土砂D1、及びブレード133の両側にあふれ出して形成されるウィンドローの土砂D5を、多角形状の立体モデルDm1、Dm5に模した図である。

ところで、図8～図10に示すように、上記のような経路計画生成部23の地形モデルM31では、ブレード133の前方に抱え込んでいる土砂D1を、多角柱状（例えば三角柱状）の立体モデルDm1に模して単純化し、抱え込み土量を算出する。これにより、移動経路Lに基づいて地面Gを掘削するにともなって時々刻々と変化する抱え込み土量を、効率的に算出することができる。

[0041] また、地形モデルM31では、ブレード133の両側にはみ出すウィンドローの土砂D5の土量については、前方に抱え込んでいる土砂D1の比率に応じて、多角柱状（例えば四角柱状（直方体状）の立体モデルDm5に模して単純化して算出する。これにより、移動経路Lに基づいて地面Gを掘削するにともなって時々刻々と変化するウィンドローの土砂D5の土量を、効率的に算出することができる。

[0042] （経路計画生成装置20の動作例）

図11は、実施形態に係る経路計画生成装置20の動作を示すフローチャートである。

強化学習により学習された経路計画生成装置20は、例えば作業車両100に備えられる。経路計画生成装置20は、施工対象エリアAの地面Gに対して作業車両100で掘削作業を行うための経路計画を生成する。

これには、図11に示すように、まず、情報入力部21が、施工対象エリアA内の地面Gの形状を示す地形形状情報、作業車両100の位置、及び、施工対象エリアA内の地面Gを掘削すべき形状を示す設計面情報を、外部から取得する（S1）。次に、取得した地形形状情報、作業車両100の位置、及び設計面情報を、情報記憶部22に記憶する（S2）。次に、経路計画生成部23で、地形形状情報、作業車両100の位置、及び設計面情報に基

づいて、作業機 130 の移動経路 L を示す作業機経路計画作業車両 100 の走行経路 R を示す走行経路計画を生成する (S3)。その後、情報出力部 24 が、生成された作業機経路計画、及び走行経路計画を、外部に出力する (S4)。

[0043] 図 12 は、実施形態に係る強化学習により、経路計画生成部 23 が学習される流れの概略を示す図である。強化学習は、例えば、車体 100 の外部にあるコンピュータ上で動作する、シミュレーションを実行するシミュレータを用いて学習することができる。

これには、まず、シミュレータが、作業機 130 の移動経路 L の候補と作業車両 100 の走行経路 R の候補を設定する (S31)。

[0044] シミュレータは、設定した移動経路 L の候補と作業車両 100 の走行経路 R の候補に基づいて、シミュレーションを行う。具体的には、車体モデル M10、及び制御モデル M20 を用い、作業車両 100、及び作業機 130 の動作についてのシミュレーションを行う (S32)。作業車両 100 の動作のシミュレーションでは、設定された移動経路 L の候補と作業車両 100 の走行経路 R の候補に基づいて、作業機 130 を動作させるときの走行経路 R に沿った作業車両 100 の走行軌跡をシミュレーションする。また、作業機 130 の動作のシミュレーションでは、移動経路 L に基づいて作業機 130 を動作させた場合における、作業機 130 の移動軌跡を、シミュレーションする。

また、シミュレータは、算出された作業車両 100 の走行軌跡、及び作業機 130 の移動軌跡のデータに基づいて、移動経路 L、及び走行経路 R に基づいて掘削を行った際の作業時間を算出する。

[0045] さらに、シミュレータは、作業車両 100 の走行軌跡、及び作業機 130 の移動軌跡のデータに基づいて、地面 G の土砂を掘削する際の、土砂についてのシミュレーションを、土砂モデル M30 を用いて実行する (S33)。土砂モデル M30 では、例えば、地面 G の土砂を掘削する際の掘削抵抗を算出する。算出された掘削抵抗のデータは、車体モデル M10 にフィードバッ

クされ、作業車両 100 の车速等の算出に反映される。

[0046] また、シミュレータは、土砂モデル M30 を用い、作業機 130 による掘削後の地面 G の形状を示す掘削後地形を算出する。さらに、経路計画生成部 23 では、土砂モデル M30 を用い、作業機 130 による掘削土量、抱え込み土量、ウィンドローの土量等を算出する。

[0047] シミュレータは、上記のようにして算出された作業時間と、掘削土量とに基づいて、強化学習により経路計画生成部 23 を学習する (S34)。強化学習では、報酬、及びペナルティを算出し、移動経路 L、及び走行経路 R の候補についての評価を行う。このとき、シミュレータは、作業車両 100 を走行経路 R に沿って移動させながら、移動経路 L に基づいて作業機 130 による掘削を行った際に、掘削抵抗が、履帯 110a、110b のシュースリップ限界を超えたか否かを判定する。その結果、掘削抵抗が、シュースリップ限界を超えていた場合、作業車両 100 のスリップが生じていた、と判定する。

[0048] シミュレータは、一つの移動経路 L、及び走行経路 R の候補についてシミュレーションを行った後、その移動経路 L、及び走行経路 R の候補についての評価結果に基づいた学習が行われ、次にシミュレーションを行うべき移動経路 L、又は走行経路 R の候補を設定する。次にシミュレーションを行うべき移動経路 L、又は走行経路 R の候補は、作業車両 100 のスリップが生じず、かつ上式 (1) で表される報酬がなるべく大きくなるように、設定される。

[0049] このような移動経路 L、及び走行経路 R の候補についてのシミュレーションを、強化学習による学習を行いながら複数回繰り返す。これにより、作業車両 100 のスリップが生じず、かつ掘削効率の高い作業機経路計画、及び走行経路計画が生成できるように経路計画生成部 23 が学習される。

[0050] (作業車両の経路計画生成システムの構成)

図 13 は、実施形態に係る作業車両の経路計画生成システム 50 の構成例を示す概略ブロック図である。

図 1 3 に示すように、作業車両の経路計画生成システム 5 0 は、遠隔制御装置 6 0 と、作業車両 1 0 0 と、を備えている。

[0051] 遠隔制御装置 6 0 は、通信部 6 1 と、情報出力部 6 2 と、管制部 6 3 と、を備えている。

通信部 6 1 は、公衆無線通信網、無線通信手段により、作業車両 1 0 0 と通信可能である。

[0052] 情報出力部 6 2 は、作業車両 1 0 0 を自動運転するために必要な情報を出力する。情報出力部 6 2 は、例えば、施工対象エリア A の設計面情報等を、外部の C A D システムなどから取得し、通信部 6 1 を介して作業車両 1 0 0 に送信する。

管制部 6 3 は、作業車両 1 0 0 に備えられた各種のセンサにより検出された情報に基づき、作業車両 1 0 0 の各部の動作状態を監視する。

[0053] 作業車両 1 0 0 は、経路計画生成装置 2 0 によって生成された経路計画に基づいて、自動的に動作する。

このため、作業車両 1 0 0 は、通信部 7 1 と、上記経路計画生成装置 2 0 と、位置検出部 7 2 と、経路計画記憶部 7 3 と、車両制御部 7 4 と、を備えている。

[0054] 通信部 7 1 は、公衆無線通信網、無線通信手段により、遠隔制御装置 6 0 の通信部 6 1 と通信可能である。

なお、作業車両 1 0 0 の一部または全部の構成は、遠隔制御装置 6 0 に備えられても良い。例えば、上記で示した経路計画生成装置 2 0 は、本実施形態において、作業車両 1 0 0 側に備えられている。経路計画生成装置 2 0 は、遠隔制御装置 6 0 側に備えられていてもよい。また、遠隔制御装置 6 0 の一部または全部の構成は、作業車両 1 0 0 に備えられても良い。

[0055] 位置検出部 7 2 は、作業車両 1 0 0 に備えられている。位置検出部 7 2 は、例えば G P S 等が用いられ、作業車両 1 0 0 の位置が検出可能とされている。

[0056] 経路計画記憶部 7 3 は、経路計画生成装置 2 0 によって生成され、外部に

出力された、作業車両 100 の作業機経路計画、及び走行経路計画を記憶する。

車両制御部 74 は、経路計画記憶部 73 に記憶された作業機経路計画、及び走行経路計画に基づいて、作業機 130、及び作業車両 100 の各部動作を制御する。作業車両 100 は、作業機 130 の最適な移動経路 L である作業機経路計画と、作業車両 100 の最適な走行経路 R である走行経路計画とに基づいて、作業車両 100 を移動させながら、作業機 130 を動作させる。これにより、地面 G の掘削が効率良く行われる。

[0057] (作用・効果)

本実施形態によれば、作業車両 10 の経路計画を、効率良く生成することができる。

[0058] 以上、本開示の実施形態について図面を参照して説明してきたが、具体的な構成は上記実施形態に限られるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

[0059] 例えば、上述した実施形態に係る作業車両 100 は、ブルドーザであるが、これに限られない。例えば、作業車両 100 は、油圧ショベル、ホイールローダ、モータグレーダ等の作業機及び走行体を有する作業機械であってもよい。

[0060] また、上記実施形態でコンピュータが実行するプログラムの一部または全部は、コンピュータが読取可能な記録媒体や通信回線を介して頒布することができる。

産業上の利用可能性

[0061] 上述した一態様によれば、作業車両の経路計画を、効率良く生成することができる。

符号の説明

[0062] 10…作業車両 20…経路計画生成装置 22…情報記憶部 23…経路計画生成部 50…作業車両の経路計画生成システム 72…位置検出部 73…経路計画記憶部 74…車両制御部 100…作業車両 130…作

業機 A…施工対象エリア D 1…土砂 D 5…土砂 D m 1、D m 5…立
体モデル G…地面 L…移動経路 R…走行経路 S…設計面

請求の範囲

- [請求項1] 作業機を有した作業車両で、施工対象エリアの地面に対して掘削作業を行うための経路計画を生成する作業車両の経路計画生成システムであって、
- 前記作業車両の位置を検出する位置検出部と、
- 前記施工対象エリア内の地形の形状を示す地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記施工対象エリア内の目標形状を示す設計面情報を記憶する情報記憶部と、
- 前記地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記設計面情報に基づいて、前記作業機の移動経路を示す作業機経路計画、及び前記作業車両の走行経路を示す走行経路計画を生成する経路計画生成部と、
- を備える作業車両の経路計画生成システム。
- [請求項2] 前記経路計画生成部は、最適な前記走行経路、及び最適な前記移動経路を生成するように強化学習される、
- 請求項1に記載の作業車両の経路計画生成システム。
- [請求項3] 前記経路計画生成部は、少なくとも、前記作業機により掘削される土砂、及び、前記走行経路上における前記作業車両に関するパラメータを用いたシミュレーションを複数回行うことで、前記強化学習される、
- 請求項2に記載の作業車両の経路計画生成システム。
- [請求項4] 前記経路計画生成部は、前記走行経路に沿って前記作業車両を移動させたときの、掘削土量、及び作業時間の少なくとも一方を用いた報酬に基づいて、前記強化学習される、
- 請求項2又は3に記載の作業車両の経路計画生成システム。
- [請求項5] 前記経路計画生成部は、前記走行経路に沿って前記作業車両を移動させ、前記作業機で前記地面を掘削する前と後における地形の差に基づく、前記作業機での抱え込み土量に基づいて、算出された前記掘削土量を用いて前記強化学習される、

請求項4に記載の作業車両の経路計画生成システム。

[請求項6] 前記経路計画生成部は、前記走行経路に沿って前記作業車両を移動させた後、前記作業機の前方に抱え込まれた土砂を、多角柱状の立体モデルに模することで、算出された前記抱え込み土量を用いて前記強化学習される、

請求項5に記載の作業車両の経路計画生成システム。

[請求項7] 前記経路計画生成部は、前記走行経路に沿って前記作業車両を移動させた場合に、前記作業機の両側にはみ出すうね状のウィンドローの土量に基づいて、算出された前記掘削土量を用いて前記強化学習される、

請求項5に記載の作業車両の経路計画生成システム。

[請求項8] 前記経路計画生成部は、前記ウィンドローを、多角柱状の立体モデルに模することで、算出された前記ウィンドローの土量を用いて前記強化学習される、

請求項7に記載の作業車両の経路計画生成システム。

[請求項9] 作業機を有した作業車両で、施工対象エリアの地面に対して掘削作業を行うための経路計画を生成する作業車両の経路計画生成方法であって、

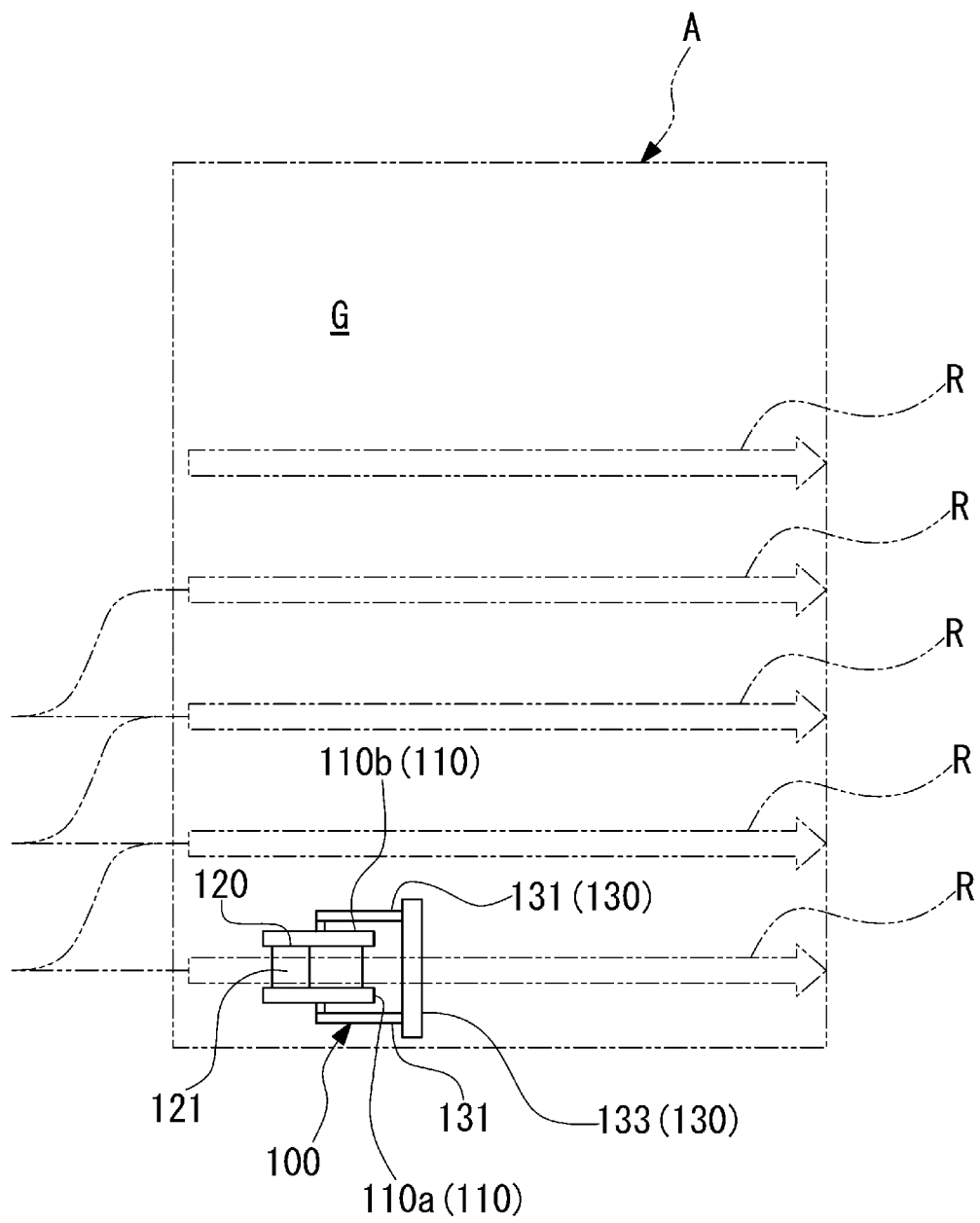
前記作業車両の位置を検出するステップと、

前記施工対象エリア内の地形の形状を示す地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記施工対象エリア内の前記地面を掘削すべき形状を示す設計面情報を記憶するステップと、

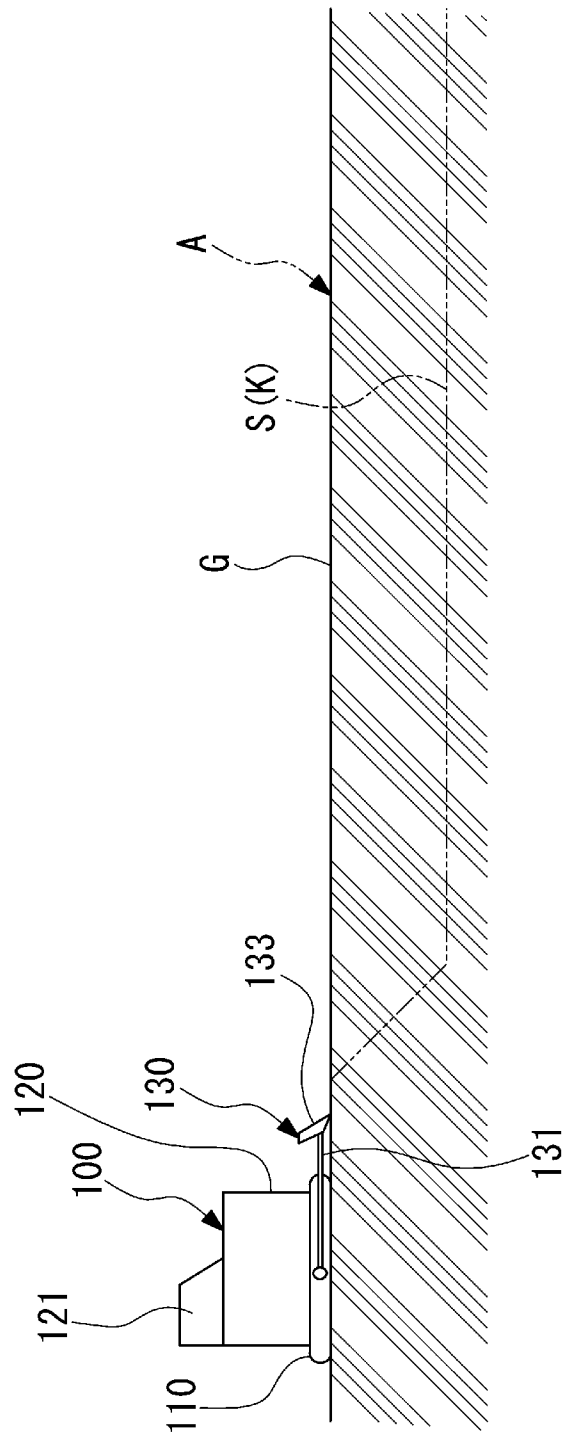
前記地形形状情報、前記作業車両の位置、及び前記設計面情報に基づいて、前記作業機の移動経路を示す作業機経路計画、及び前記作業車両の走行経路を示す走行経路計画を生成するステップと、

を含む、作業車両の経路計画生成方法。

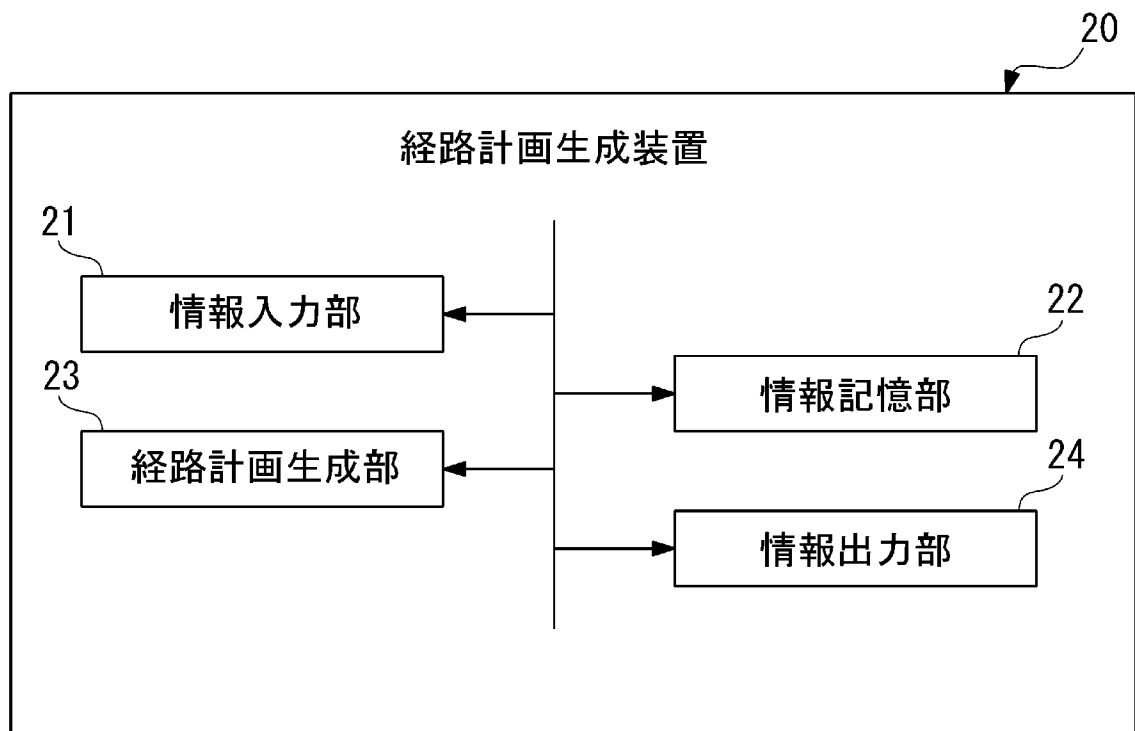
[図1]



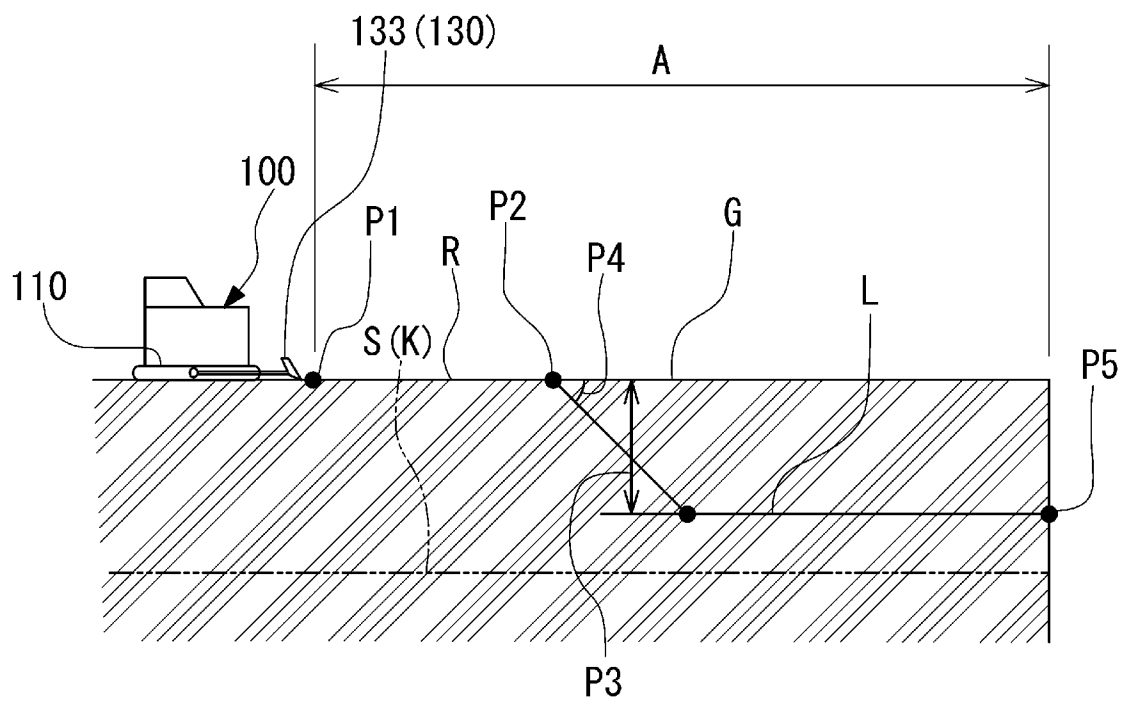
[図2]



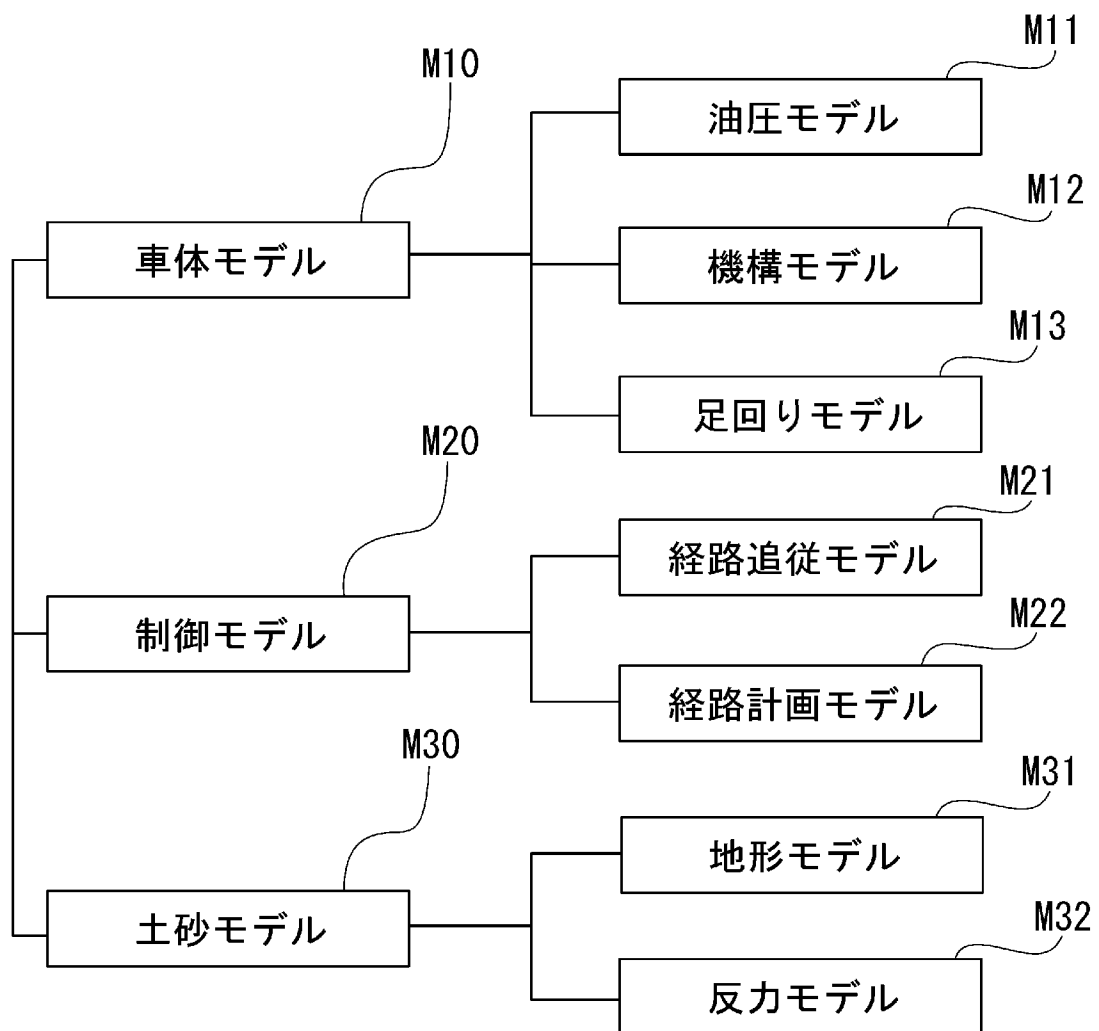
[図3]



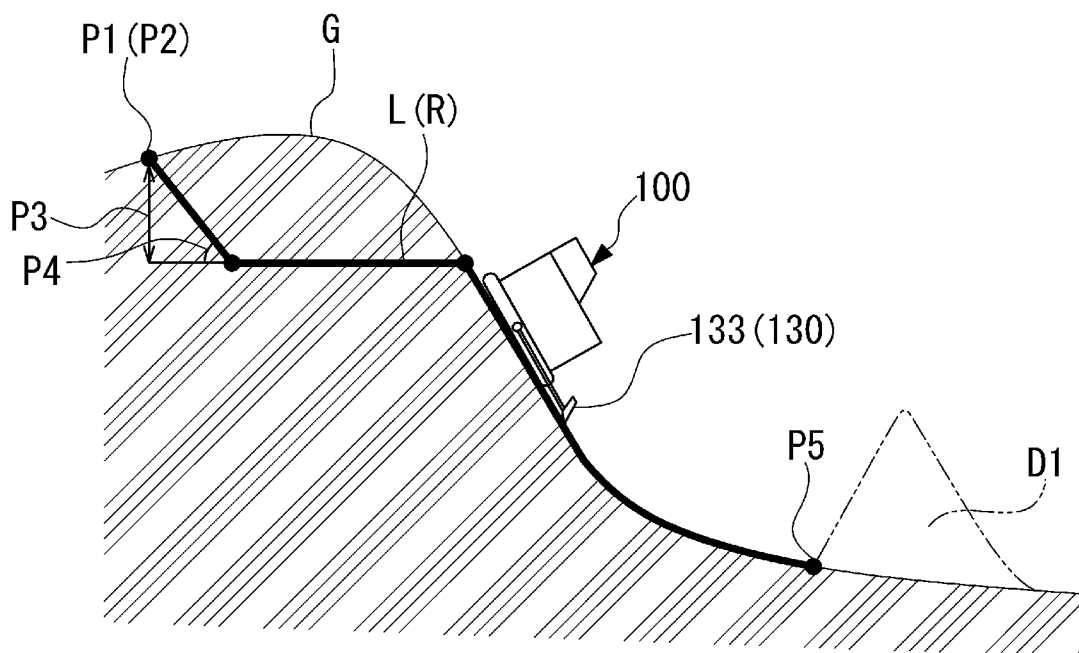
[図4]



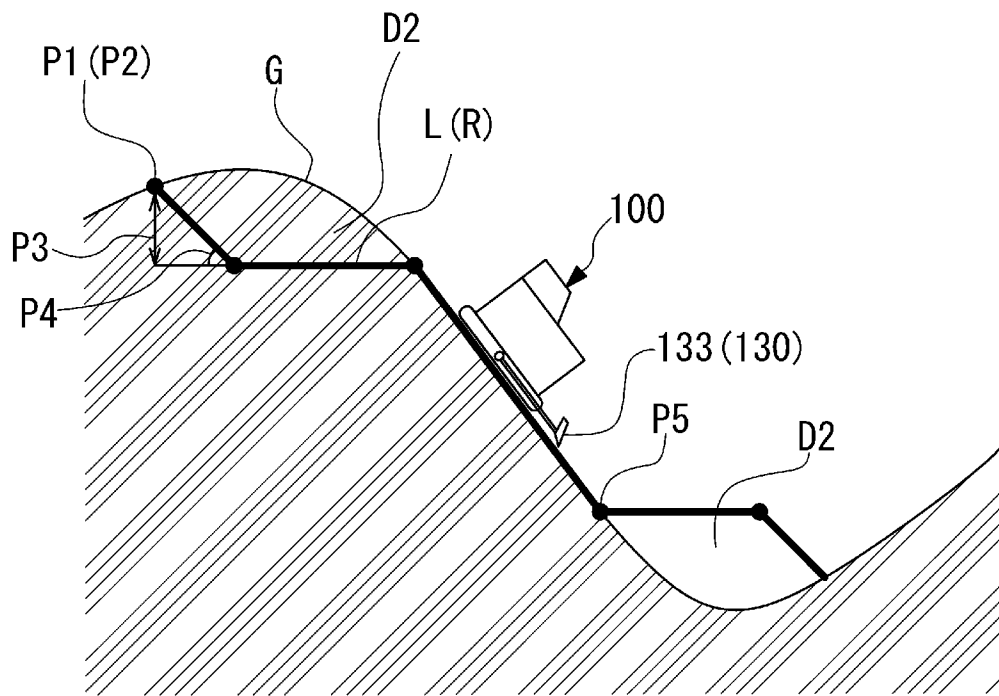
[図5]



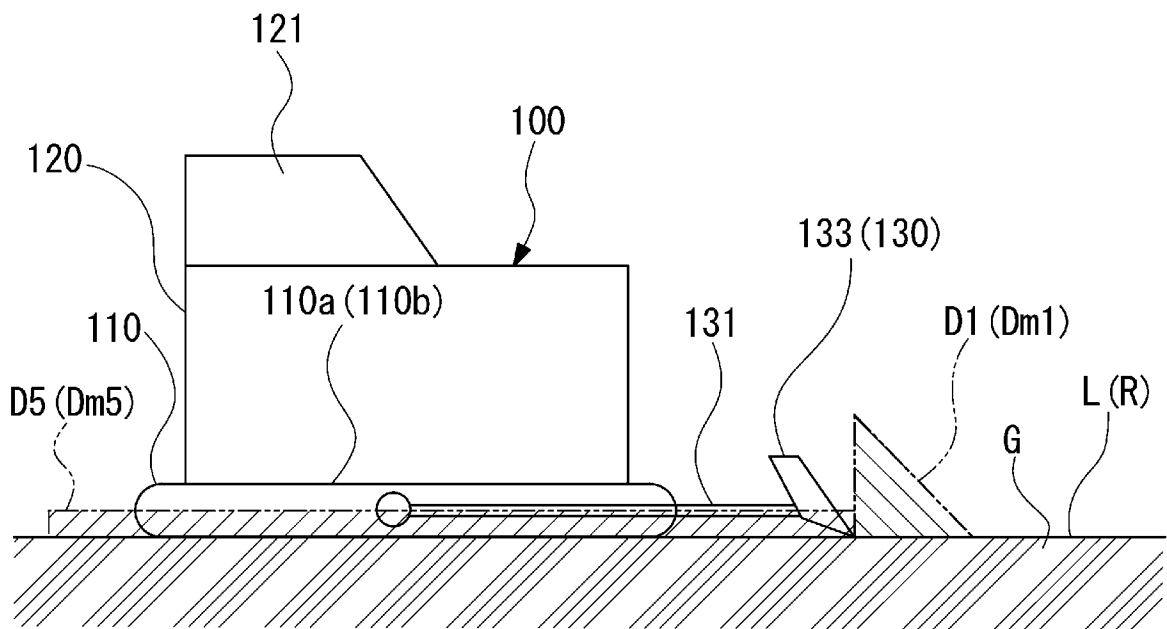
[図6]



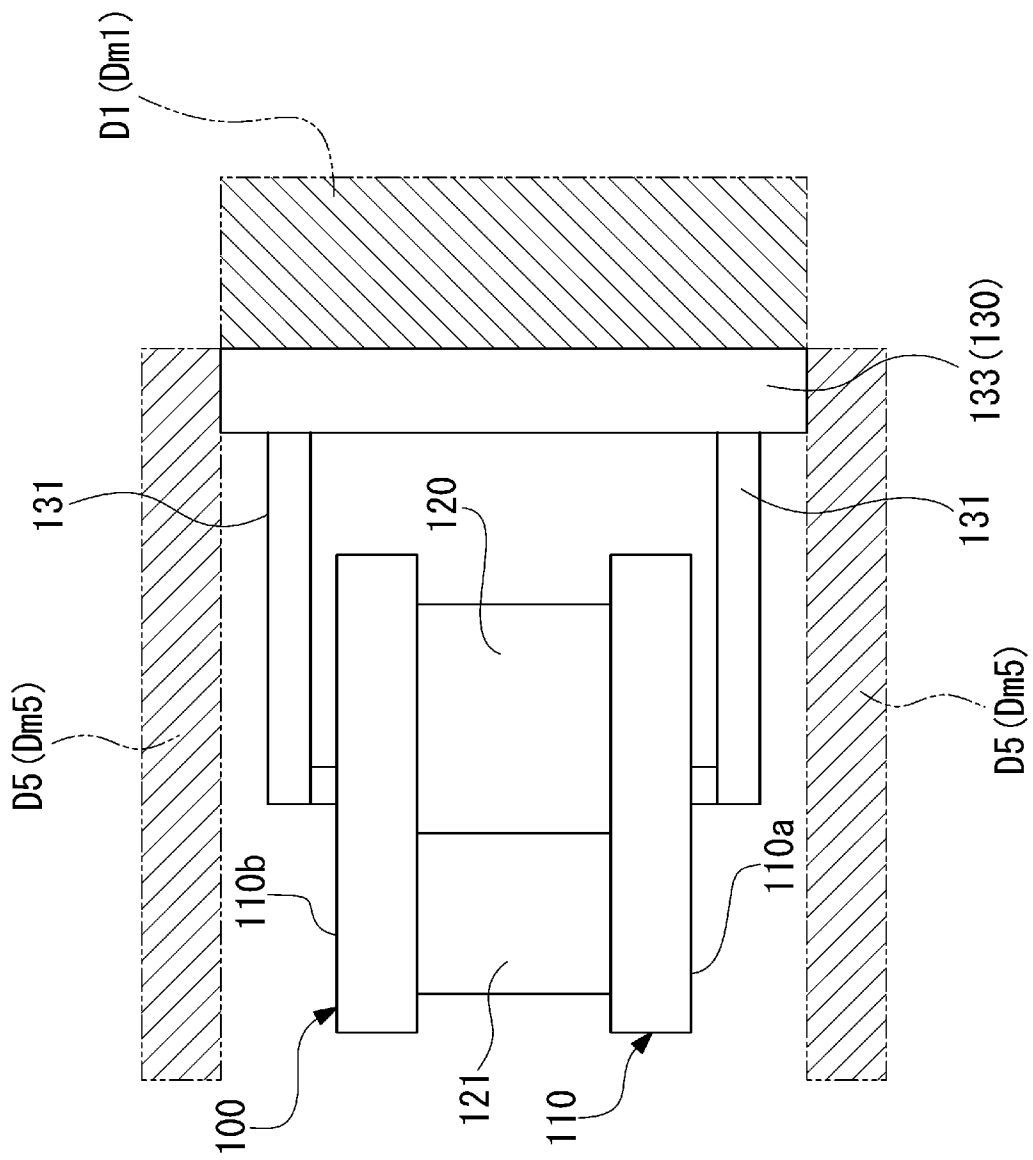
[図7]



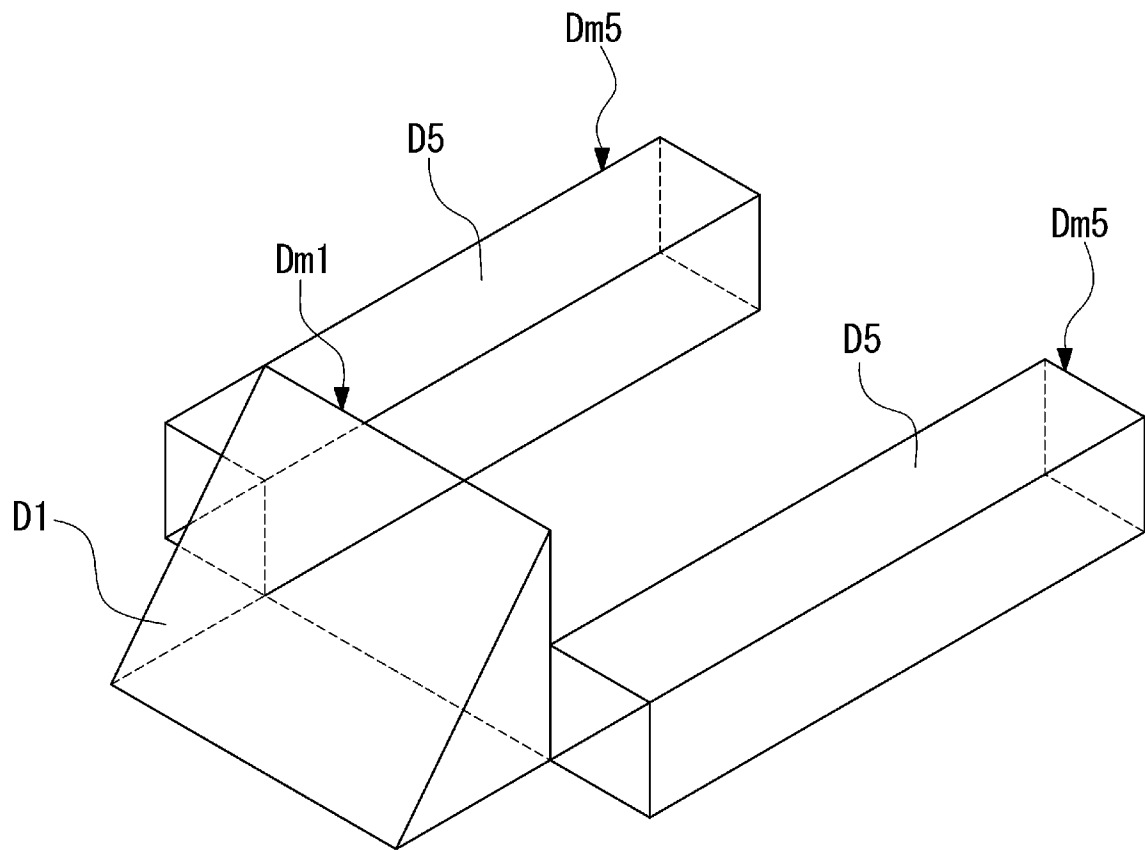
[図8]



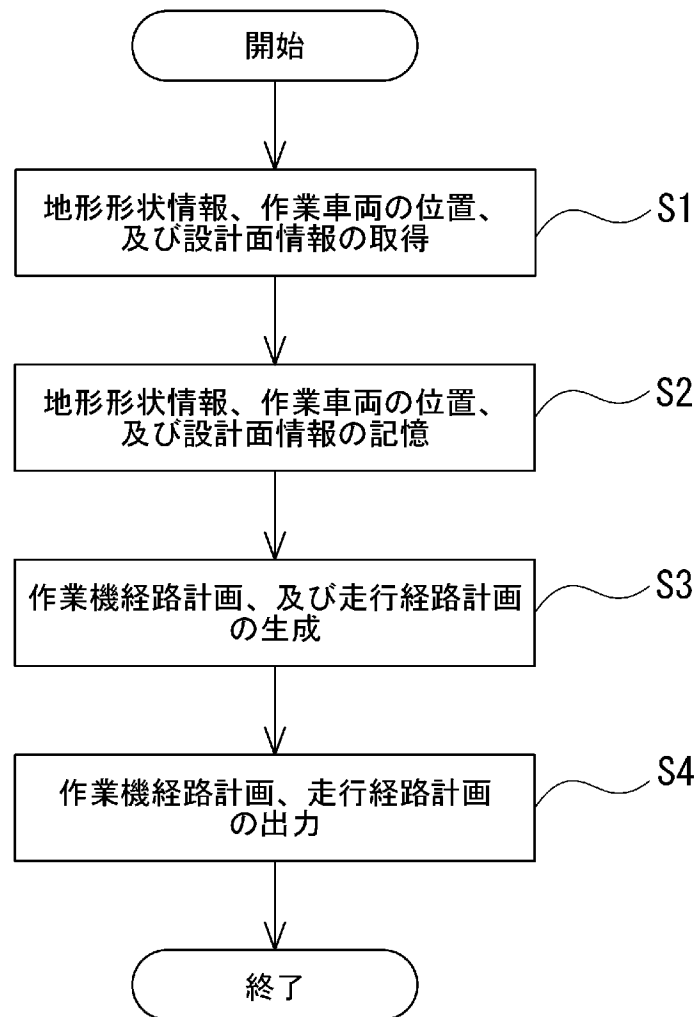
[図9]



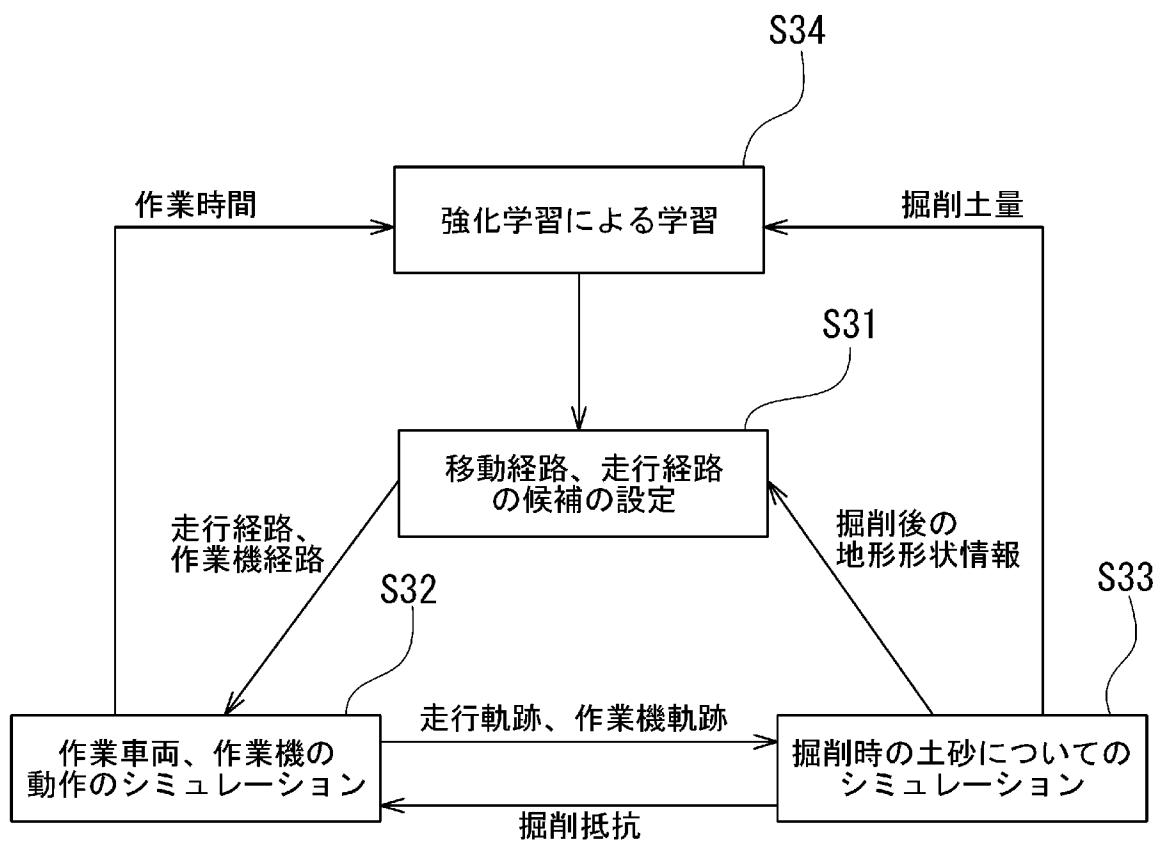
[図10]



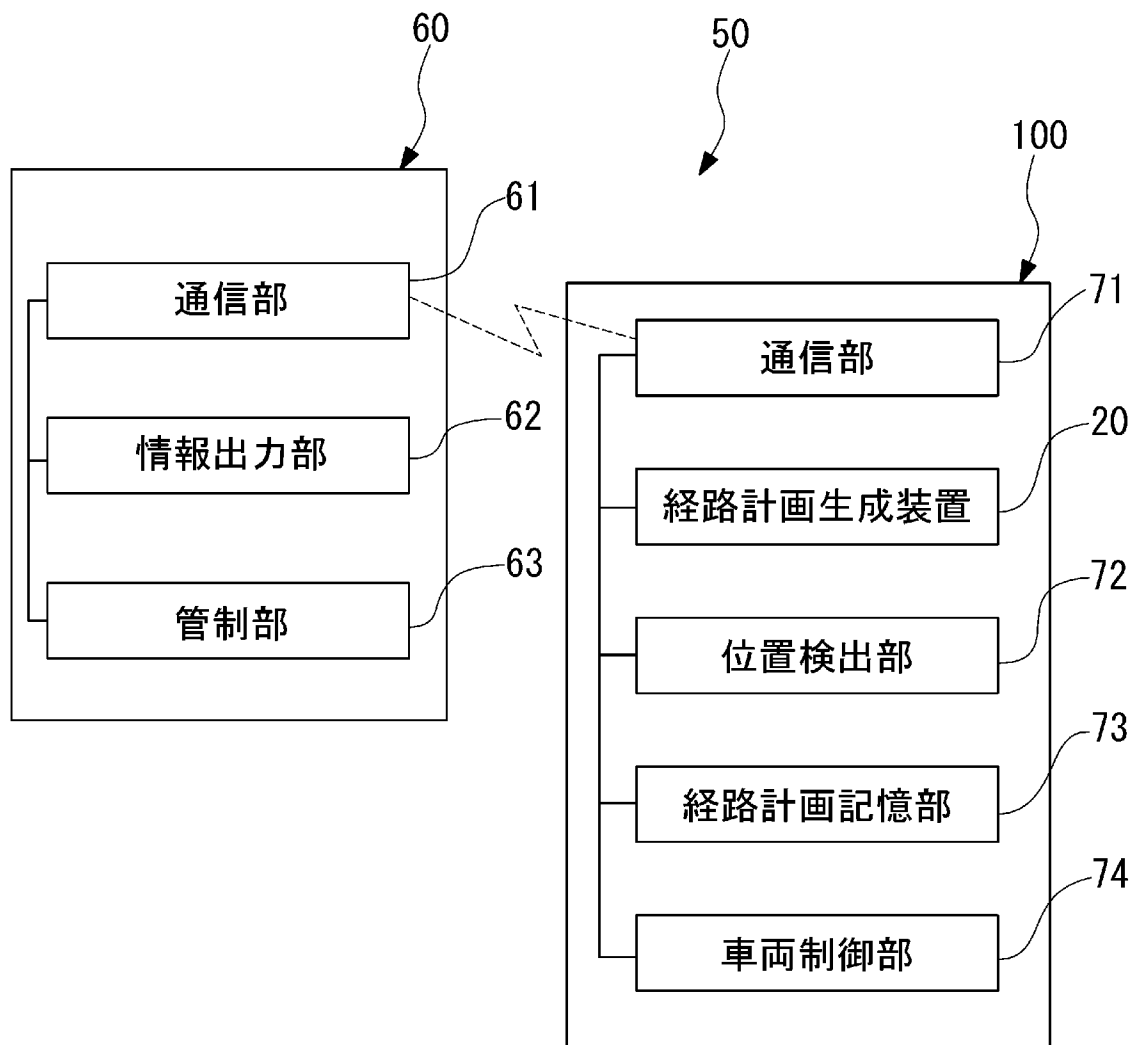
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/024347

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**E02F 9/20**(2006.01)i

FI: E02F9/20 Q

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E02F9/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2019/0055715 A1 (WEI et al.) 21 February 2019 (2019-02-21) paragraphs [0016]-[0048], fig. 1-5	1, 9
Y		2-4
A		5-8
Y	WO 2019/189888 A1 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 03 October 2019 (2019-10-03) paragraphs [0127]-[0129]	2-4
A	US 2020/0105072 A1 (WISLEY et al.) 02 April 2020 (2020-04-02) entire text, all drawings	1-9
A	WO 2020/226848 A1 (CATERPILLAR INC.) 12 November 2020 (2020-11-12) entire text, all drawings	1-9
A	US 2012/0136508 A1 (TAYLOR et al.) 31 May 2012 (2012-05-31) entire text, all drawings	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 July 2023

Date of mailing of the international search report

25 July 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/024347

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2021-113487 A (BAIDU USA LLC) 05 August 2021 (2021-08-05) entire text, all drawings	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/024347

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2019/0055715	A1	21 February 2019	(Family: none)	
WO	2019/189888	A1	03 October 2019	US 2021/0012163 A1 paragraphs [0104]-[0106] EP 3779071 A1 KR 10-2020-0130376 A CN 112004975 A	
US	2020/0105072	A1	02 April 2020	WO 2018/115281 A1 entire text, all drawings	
WO	2020/226848	A1	12 November 2020	US 2020/0347570 A1 entire text, all drawings CN 113785092 A	
US	2012/0136508	A1	31 May 2012	WO 2012/074838 A2 entire text, all drawings	
JP	2021-113487	A	05 August 2021	US 2021/0223774 A1 entire text, all drawings EP 3852018 A1 CN 113139652 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） E02F 9/20(2006.01)i FI: E02F9/20 Q										
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） E02F9/20 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	US 2019/0055715 A1 (WEI et al.) 21.02.2019 (2019 - 02 - 21) [0016]-[0048], 第1-5図	1, 9								
Y		2-4								
A		5-8								
Y	WO 2019/189888 A1 (住友重機械工業株式会社) 03.10.2019 (2019 - 10 - 03) [0127]-[0129]	2-4								
A	US 2020/0105072 A1 (WISLEY et al.) 02.04.2020 (2020 - 04 - 02) 全文全文	1-9								
A	WO 2020/226848 A1 (CATERPILLAR INC.) 12.11.2020 (2020 - 11 - 12) 全文全文	1-9								
A	US 2012/0136508 A1 (TAYLOR et al.) 31.05.2012 (2012 - 05 - 31) 全文全文	1-9								
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 12.07.2023		国際調査報告の発送日 25.07.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 松本 泰典 2B 9122 電話番号 03-3581-1101 内線 3237								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/024347

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	2019/0055715	A1	21.02.2019	(ファミリーなし)	
WO	2019/189888	A1	03.10.2019	US 2021/0012163	A1
				[0104]-[0106]	
				EP 3779071	A1
				KR 10-2020-0130376	A
				CN 112004975	A
US	2020/0105072	A1	02.04.2020	WO 2018/115281	A1
				全文全図	
WO	2020/226848	A1	12.11.2020	US 2020/0347570	A1
				全文全図	
				CN 113785092	A
US	2012/0136508	A1	31.05.2012	WO 2012/074838	A2
				全文全図	
JP	2021-113487	A	05.08.2021	US 2021/0223774	A1
				全文全図	
				EP 3852018	A1
				CN 113139652	A