(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2020-7091
(P2020-7091A)
(43)公開日　令和2年1月16日(2020.1.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
B65G 65/18	(2006.01)	B65G	65/18		3F072
B65G 47/95	(2006.01)	B65G	47/95	A	

審査請求 未請求　請求項の数 14　ＯＬ　（全 22 頁）

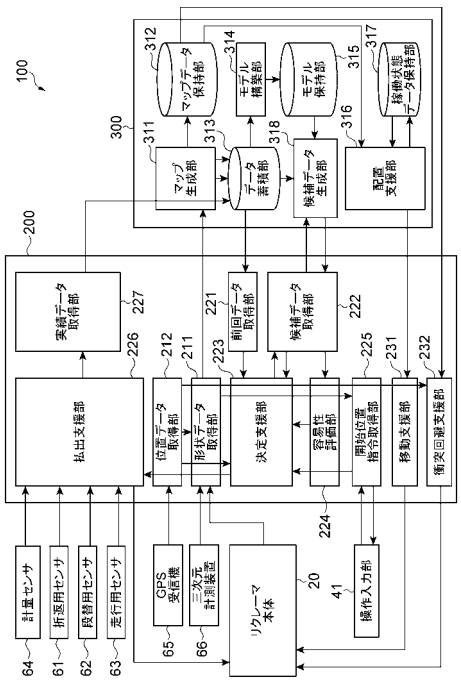
(21)出願番号　特願2018-129231 (P2018-129231)
(22)出願日　平成30年7月6日 (2018.7.6)

(71)出願人　000006622
株式会社安川電機
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石２番１号
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100113435
弁理士　黒木　義樹
(74)代理人　100171099
弁理士　松尾　茂樹
(72)発明者　山本　毅
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石２番１号
株式会社安川電機内

Ｆターム(参考)　3F072 AA03　GA06　GA10　KA05　KD21

(54)【発明の名称】リクレーマシステム、モデル構築装置及びデータ生成方法

(57)【要約】
【課題】堆積物の山から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効なリクレーマシステムを提供する。
【解決手段】リクレーマシステム１は、堆積物の山から堆積物を払い出すリクレーマ１０と、堆積物の山９３の三次元形状データを取得する三次元計測装置６６と、払い出し作業の対象となる堆積物の山９３の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する決定支援部２２３と、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマの運転を支援する払出支援部２２６と、を備える。
【選択図】図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
堆積物の山から堆積物を払い出すリクレーマと、
前記堆積物の山の三次元形状データを取得する三次元計測装置と、
払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する決定支援部と、
決定された前記開始位置から払い出し作業を開始するように前記リクレーマの運転を支援する払出支援部と、を備えるリクレーマシステム。
【請求項２】
前記決定支援部は、払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データと、過去の払い出し作業における前記堆積物の山の三次元形状データ及び作業位置のデータとに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する、請求項１記載のリクレーマシステム。
【請求項３】
前記堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山における前記開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積するデータ蓄積部と、
前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける前記開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された前記実績データに基づく機械学習により構築するモデル構築部と、
払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて前記開始位置推奨モデルが出力する前記候補データを取得する候補データ取得部と、を更に備え、
前記決定支援部は、前記候補データ取得部が取得した前記候補データに基づいて前記開始位置の決定を支援する、請求項２記載のリクレーマシステム。
【請求項４】
前記データ蓄積部は、前記堆積物の山の三次元形状データ、及び当該堆積物の山における前記開始位置の前記座標データに、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率を示す効率データを更に対応付けた前記実績データを蓄積し、
前記モデル構築部は、前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて、当該三次元形状データにおいて払い出し作業の効率が高くなると予測される前記開始位置の候補を示す前記候補データを出力するように前記開始位置推奨モデルを構築する、請求項３記載のリクレーマシステム。
【請求項５】
前記データ蓄積部は、払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山における前記開始位置の前記座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の前記効率データとを対応付けた更新用実績データを更に蓄積し、
前記モデル構築部は、蓄積された前記更新用実績データに基づく機械学習により前記開始位置推奨モデルを更新する、請求項４記載のリクレーマシステム。
【請求項６】
前記候補データについて、前記開始位置の決定の容易性を評価する容易性評価部と、
前記開始位置の決定の容易性が予め設定されたレベルよりも低い場合に、前記候補データに基づく前記開始位置の決定を禁止し、オペレータによる前記開始位置の指定入力を取得する開始位置指令取得部と、を更に備え、
前記データ蓄積部は、払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データと、前記開始位置指令取得部が取得した前記指定入力により指定された当該堆積物の山における前記開始位置の前記座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の前記効率データとを対応付けたデータも前記更新用実績データとして更に蓄積する、請求項５記載のリクレーマシステム。
【請求項７】
前記決定支援部は、払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データと、前回の払い出し作業が完了した時の当該山の三次元形状データとの一致度が予め設定され

たレベルに達している場合に、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて前記開始位置の決定を支援する、請求項１～６のいずれか一項記載のリクレーマシステム。
【請求項８】
複数の前記リクレーマと、前記複数のリクレーマにそれぞれ設けられた複数の前記三次元計測装置とを備え、
前記複数の三次元計測装置によりそれぞれ取得された複数の前記三次元形状データを合成し、複数の前記堆積物の山を含む堆積物ヤードの三次元マップを生成するマップ生成部を更に備える、請求項１～７のいずれか一項記載のリクレーマシステム。
【請求項９】
前記三次元マップに基づいて、移動中の前記リクレーマと前記堆積物の山との衝突を回避するように当該リクレーマの運転を支援する衝突回避支援部を更に備える、請求項８記載のリクレーマシステム。
【請求項１０】
前記リクレーマの配置位置と前記三次元マップとに基づいて、払い出し作業を行うための前記リクレーマの配置位置を再決定する配置支援部を更に備える、請求項８又は９記載のリクレーマシステム。
【請求項１１】
前記マップ生成部は、前記リクレーマが配置位置にある状態で当該リクレーマの前記三次元計測装置により取得された前記堆積物の山の三次元形状データと、前記リクレーマが前記配置位置に移動しているときに当該リクレーマの前記三次元計測装置により取得された前記堆積物の山の三次元形状データとの両方に基づいて前記三次元マップを生成する、請求項９又は１０記載のリクレーマシステム。
【請求項１２】
堆積物の山から堆積物を払い出すリクレーマと、
前記堆積物の山の三次元形状データを取得する三次元計測装置と、
前記堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山における払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積したデータベースに基づく機械学習により、前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じ当該三次元形状データにおける前記開始位置の候補データを出力するように構築された開始位置推奨モデルに、払い出し作業の対象となる前記堆積物の山の三次元形状データを入力して前記候補データを取得する候補データ取得部と、
前記候補データ取得部が取得した前記候補データに基づいて前記開始位置の決定を支援する決定支援部と、
決定された前記開始位置から払い出し作業を開始するように前記リクレーマの運転を支援する払出支援部と、を備えるリクレーマシステム。
【請求項１３】
堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積するデータ蓄積部と、
前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける前記開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された前記実績データに基づく機械学習により構築するモデル構築部と、を備えるモデル構築装置。
【請求項１４】
堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積することと、
前記堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける前記開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された前記実績データに基づく機械学習により構築することと、
前記開始位置推奨モデルが出力する前記候補データを前記開始位置の決定に利用可能にするためのデータを生成することと、を含むデータ生成方法。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本開示は、リクレーマシステム、モデル構築装置及びデータ生成方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
特許文献１には、ブームと、ブームの先端に設けられたバケットホイルとを備え、バケットホイルの回転動作及びブームの旋回動作により搬送物積山から搬送物を搬出するリクレーマの制御装置が開示されている。この制御装置は、払い出し段ごとに予め設定された寸動走行可能距離と、実際の寸動走行距離とを比較して、寸動走行距離が寸動走行可能距離以上であれば段替動作を行い、予め設定された安息角に従って旋回動作を行うようにリクレーマを制御する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特許第３２２５９６９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
本開示は、堆積物の山から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効なリクレーマシステム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】
【０００５】
本開示の一側面に係るリクレーマシステムは、堆積物の山から堆積物を払い出すリクレーマと、堆積物の山の三次元形状データを取得する三次元計測装置と、払い出し作業の対象となる堆積物の山の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する決定支援部と、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマの運転を支援する払出支援部と、を備える。
【０００６】
本開示の他の側面に係るリクレーマシステムは、堆積物の山から堆積物を払い出すリクレーマと、堆積物の山の三次元形状データを取得する三次元計測装置と、堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山における払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積したデータベースに基づく機械学習により、堆積物の山の三次元形状データの入力に応じ当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力するように構築された開始位置推奨モデルに、払い出し作業の対象となる堆積物の山の三次元形状データを入力して候補データを取得する候補データ取得部と、候補データ取得部が取得した候補データに基づいて開始位置の決定を支援する決定支援部と、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマの運転を支援する払出支援部と、を備える。
【０００７】
本開示の更に他の側面に係るモデル構築装置は、堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積するデータ蓄積部と、堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築するモデル構築部と、を備える。
【０００８】
本開示の更に他の側面に係るデータ生成方法は、堆積物の山の三次元形状データと、当該堆積物の山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積することと、堆積物の山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築することと、開始位置推奨モデルが出力する

候補データを開始位置の決定に利用可能にするためのデータを生成することと、を含む。
【発明の効果】
【０００９】
本開示によれば、堆積物の山から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効なリクレーマシステムを提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１０】
【図１】リクレーマシステムの構成を例示する模式図である。
【図２】リクレーマの構成を例示する模式図である。
【図３】制御システムの機能上の構成を示すブロック図である。
【図４】ニューラルネットを例示する模式図である。
【図５】制御システムのハードウェア構成を例示するブロック図である。
【図６】開始位置推奨モデルの構築手順を例示するフローチャートである。
【図７】リクレーマの配置支援手順を例示するフローチャートである。
【図８】リクレーマの運転支援手順を例示するフローチャートである。
【図９】払い出し作業における運転支援手順を例示するフローチャートである。
【図１０】払い出し作業における運転支援手順を例示するフローチャートである。
【発明を実施するための形態】
【００１１】
以下、実施形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。
【００１２】
〔リクレーマシステム〕
本実施形態に係るリクレーマシステム１は、堆積物の山から堆積物を払い出す作業を行うためのシステムである。堆積物の具体例としては、鉄鋼の原料等が挙げられる。例えばリクレーマシステム１は、堆積物ヤード９０に設けられる。堆積物ヤード９０は、堆積物を保管するための敷地であり、複数の堆積エリア９１を含む。それぞれの堆積エリア９１には、原料等が搬入されて山９３が形成される。リクレーマシステム１は、堆積エリア９１同士の間を通るように敷設された複数のレール９２と、レール９２上に設置される複数のリクレーマ１０と、制御システム１００とを備える。リクレーマ１０は、山９３から堆積物を払い出す。
【００１３】
図２に示すように、リクレーマ１０は、リクレーマ本体２０と、折返用センサ６１と、段替用センサ６２と、走行用センサ６３と、計量センサ６４と、ＧＰＳ受信機６５と、三次元計測装置６６とを有する。
【００１４】
リクレーマ本体２０は、台車２１と、ブーム２２と、バケットホイル２３と、コンベヤ２４と、カウンタウェイト２５と、俯仰駆動部３１と、旋回駆動部３２と、バケット駆動部３３と、操作入力部４１と、俯仰角度センサ５１と、旋回角度センサ５２とを有する。
【００１５】
台車２１は、レール９２に沿って移動する。ブーム２２は、台車２１上に設けられ、鉛直方向に交差する方向に沿って台車２１から両側に延びている。以下、ブーム２２の説明における「前後」は、ブーム２２の一端側を「前」とし、他端側を「後」とした場合の方向を意味する。台車２１上において、ブーム２２は、鉛直方向に沿った軸線Ａｘ１まわりに旋回可能となり、鉛直方向及び前後方向に垂直な軸線Ａｘ２まわりに傾動（以下、「俯仰」という。）可能となるように保持されている。軸線Ａｘ２からブーム２２の前側端部までの長さは、軸線Ａｘ２からブーム２２の後側端部までの長さよりも長い。
【００１６】
バケットホイル２３は、ブーム２２の前側端部に設けられており、山から堆積物を切り出す。ブーム２２の前側端部において、バケットホイル２３は、軸線Ａｘ２に平行な軸線

Ａｘ３まわりに回転可能となるように保持されている。バケットホイル２３は、軸線Ａｘ３を囲むように配置された複数のバケット２６を有する。複数のバケット２６のそれぞれは、軸線Ａｘ３を中心とする円周に沿って移動し、堆積物を切り出す。コンベヤ２４は、例えばベルトコンベヤであり、バケットホイル２３により切り出された堆積物をブーム２２に沿って後方に搬送する。カウンタウェイト２５は、ブーム２２自体の重量及びバケットホイル２３の重量等によって軸線Ａｘ２まわりに生じるモーメントを軽減するためのウェイトであり、ブーム２２の後側端部に設けられている。

【００１７】

俯仰駆動部３１は、軸線Ａｘ２まわりにブーム２２を俯仰させる。旋回駆動部３２は、軸線Ａｘ１まわりにブーム２２を旋回させる。バケット駆動部３３は、軸線Ａｘ３まわりにバケットホイル２３を回転させる。俯仰駆動部３１、旋回駆動部３２及びバケット駆動部３３は、例えば油圧又は電力を動力源とするアクチュエータである。

【００１８】

俯仰角度センサ５１は、軸線Ａｘ２まわりのブーム２２の俯仰角度を検出する。旋回角度センサ５２は、軸線Ａｘ１まわりのブーム２２の旋回角度を検出する。俯仰角度センサ５１及び旋回角度センサ５２の具体例としては、ロータリーエンコーダ又はポテンショメータ等が挙げられる。

【００１９】

操作入力部４１は、オペレータとのインタフェース部分であり、オペレータへの情報の表示と、オペレータによる操作入力の取得とを行う。

【００２０】

折返用センサ６１、段替用センサ６２、走行用センサ６３、計量センサ６４、ＧＰＳ受信機６５及び三次元計測装置６６は、リクレーマ本体２０の運転支援用の情報を検出する。折返用センサ６１は、ブーム２２の前側端部の下に設けられており、山９３の端部（バケットホイル２３により形成される山９３の上面と山９３の斜面との交部）を検出する。段替用センサ６２は、折返用センサ６１よりも後方においてブーム２２の下に設けられており、山９３の端部を検出する。走行用センサ６３は、台車２１の走行位置および寸動距離を検出する。計量センサ６４は、コンベヤ２４が搬送する堆積物の重量を検出する。ＧＰＳ受信機６５は、リクレーマ１０の現在位置情報として、ＧＰＳ（Ｇｌｏｂａｌ　Ｐｏｓｉｔｉｏｎｉｎｇ　Ｓｙｓｔｅｍ）用の衛星信号を受信する。

【００２１】

三次元計測装置６６は、山９３の三次元形状データを取得する。山９３の三次元形状データは、例えば、山９３の表面を構成する点群の三次元座標データである。三次元計測装置６６の具体例としては、例えば二つのカメラの視差を利用するステレオ画像方式の計測装置、レーザ光の照射位置を走査させながら照射位置の三次元座標を算出するレーザ方式の計測装置等が挙げられる。三次元計測装置６６は、リクレーマ本体２０に設けられている。例えば三次元計測装置６６は、ブーム２２の前側端部に設けられている。すなわちリクレーマシステム１は、複数のリクレーマ１０にそれぞれ設けられた複数の三次元計測装置６６を備える。

【００２２】

図１に戻り、制御システム１００は、複数のコントローラ２００と、サーバ３００とを備える。複数のコントローラ２００は、複数のリクレーマ１０をそれぞれ制御する。コントローラ２００は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援することに加え、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマ１０の運転を支援することも実行するように構成されている。コントローラ２００は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータとに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援するように構成されていてもよい。

【００２３】

サーバ３００は、複数のコントローラ２００から収集したデータに様々な処理を行い、

必要に応じて処理結果を各リクレーマ本体２０に提供する。例えばサーバ３００は、山９３の三次元形状データと、当該山９３におけるリクレーマ１０による払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積することと、山９３の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築することと、開始位置推奨モデルが出力する候補データを開始位置の決定に利用可能にするためのデータを生成することと、を実行するように構成されている。

【００２４】

候補データを開始位置の決定に利用可能にするためのデータの具体例としては、候補データ自体の他、開始位置推奨モデルのパラメータデータ等が挙げられる。開始位置推奨モデルのパラメータデータによれば、コントローラ２００に開始位置推奨モデルを複製することができる。これにより、コントローラ２００の開始位置推奨モデルが出力する候補データを開始位置の決定に利用することが可能となる。

【００２５】

サーバ３００は、複数の三次元計測装置６６によりそれぞれ取得された複数の三次元形状データを合成し、堆積物ヤード９０の三次元マップを生成することを実行するように構成されていてもよい。サーバ３００は、三次元マップに基づいて、払い出し作業を行うためのリクレーマ１０の配置位置を決定することを更に実行するように構成されていてもよい。

【００２６】

以下、コントローラ２００とサーバ３００の構成をより詳細に例示する。図３に示すように、コントローラ２００は、機能上の構成（以下、「機能ブロック」という。）として、位置データ取得部２１２と、形状データ取得部２１１と、前回データ取得部２２１と、候補データ取得部２２２と、決定支援部２２３と、容易性評価部２２４と、開始位置指令取得部２２５と、払出支援部２２６と、実績データ取得部２２７と、移動支援部２３１と、衝突回避支援部２３２とを有する。なお、図３においては、便宜上一つのコントローラ２００のみを図示しているが、実際には、複数のリクレーマ１０をそれぞれ制御する複数のコントローラ２００がサーバ３００に接続される。

【００２７】

位置データ取得部２１２は、ＧＰＳ受信機６５からリクレーマ１０の現在位置のデータを取得する。形状データ取得部２１１は、三次元計測装置６６から山９３の三次元形状データを取得する。なお、上述のように、三次元計測装置６６がリクレーマ１０に設けられる場合、三次元計測装置６６はリクレーマ１０と共に移動することとなる。三次元計測装置６６がブーム２２の前側端部に設けられる場合、三次元計測装置６６はブーム２２の姿勢変化によっても移動することとなる。そこで、形状データ取得部２１１は、リクレーマ１０の現在位置のデータと、ブーム２２の現在姿勢のデータとに基づく座標変換により、上記三次元形状データを堆積物ヤード９０に固定された座標系の三次元形状データに変換してもよい。この場合、形状データ取得部２１１は、例えばリクレーマ１０の現在位置のデータを位置データ取得部２１２から取得し、ブーム２２の現在姿勢のデータをリクレーマ本体２０から取得する。ブーム２２の現在姿勢のデータは、例えば、俯仰角度センサ５１及び旋回角度センサ５２の検出値である。

【００２８】

前回データ取得部２２１は、払い出し作業の対象となる山９３における前回の払い出し作業が完了した時の当該山９３の三次元形状データ（以下、「前回の三次元形状データ」という。）をサーバ３００から取得する。例えば前回データ取得部２２１は、当該データをサーバ３００のデータ蓄積部３１３（後述）から取得する。

【００２９】

候補データ取得部２２２は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データの入力に応じて上記開始位置推奨モデルが出力する候補データをサーバ３００から取得する。例えば候補データ取得部２２２は、候補データをサーバ３００の候補データ生成部３１８

から取得する。候補データは、開始位置の決定の基準となり得るデータであればいかなる形式のデータであってもよい。例えば候補データは、開始位置の候補として、山９３の表面の少なくとも一点の座標データを示すデータであってもよい。

【００３０】

候補データは、開始位置の候補として、山９３の表面の複数点の座標データを示すデータであってもよい。この場合、候補データは、上記複数点のそれぞれについて、開始位置の候補としての推奨度を示すデータを含んでいてもよい。開始位置の候補としての推奨度を示すデータの具体例としては、当該点を開始位置とした場合に予測される払い出し作業の効率を示すデータが挙げられる。払い出し作業の効率を示すデータの具体例としては、単位時間あたりの払い出し量の平均値等が挙げられる。

【００３１】

候補データは、山９３の表面を区分した複数のエリアのいずれかを開始位置の候補として示すデータであってもよい。候補データは、上記複数のエリアのいずれか二つ以上のエリアを開始位置の候補として示すデータであってもよい。この場合、候補データは、上記複数のエリアのそれぞれについて、開始位置の候補としての推奨度を示すデータを含んでいてもよい。

【００３２】

決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する。開始位置の決定支援の具体例としては、開始位置の自動決定を実行すること、オペレータによる開始位置の決定を補助するデータを表示すること等が挙げられる。

【００３３】

決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータとに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援するように構成されていてもよい。作業位置のデータは、山９３のうち払い出し作業の対象となった位置の座標データであり、当該払い出し作業の開始位置及び完了位置を含む。

【００３４】

例えば決定支援部２２３は、候補データ取得部２２２が取得した候補データに基づいて開始位置の決定を支援してもよい。以下、これを「第一方式の決定支援」という。例えば決定支援部２２３は、候補データにより示された点のいずれかを開始位置として決定する。候補データが上記推奨度を示すデータを含んでいる場合、決定支援部２２３は、推奨度が最も高い点を開始位置として決定してもよい。候補データが、開始位置の候補として複数点を含むエリアを示す場合、決定支援部２２３は、候補データにより示されたエリア内のいずれかの点を開始位置として決定する。候補データが上記推奨度を示すデータを含んでいる場合、決定支援部２２３は、推奨度が最も高いエリア内のいずれかの点を開始位置として決定してもよい。

【００３５】

決定支援部２２３は、オペレータによる開始位置の決定を補助するデータとして、上記候補データを操作入力部４１に表示してもよい。例えば決定支援部２２３は、山９３の三次元形状の画像において、上記候補データにより示される点又はエリアを強調表示してもよい。

【００３６】

上述したように、候補データは開始位置推奨モデルに基づいて取得される。開始位置推奨モデルは、蓄積された上記実績データに基づく機械学習により構築される。したがって、候補データに基づくことは、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータに基づくことに相当する。

【００３７】

決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データ（以下、「今回の三次元形状データ」という。）と、前回データ取得部２２１が取得する前回の三次

元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達している場合に、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて開始位置の決定を支援してもよい。以下、これを「第二方式の決定支援」という。一致度は、例えば今回の三次元形状データと前回の三次元形状データとのずれ量の平均値（例えば単位面積あたりの平均値）として数値化することが可能である。この場合、一致度が高いほど数値は小さくなる。

【００３８】

例えば決定支援部２２３は、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて開始位置を決定する。決定支援部２２３は、前回の払い出し作業の完了位置を開始位置としてもよいし、前回の払い出し作業の完了位置から所定範囲内の位置を開始位置としてもよい。決定支援部２２３は、オペレータによる開始位置の決定を補助するデータとして、前回の払い出し作業の完了位置を操作入力部４１に表示してもよい。決定支援部２２３は、前回の払い出し作業の完了位置から所定範囲内のエリアを操作入力部４１に表示してもよい。なお、前回の三次元形状データ及び前回の払い出し作業の完了位置に基づくことも、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータに基づくことに相当する。

【００３９】

決定支援部２２３は、上記第一方式の決定支援と、上記第二方式の決定支援の両方を実行するように構成されていてもよい。この場合、決定支援部２２３は、上記一致度が予め設定されたレベルに達しているときには第一方式の決定支援を行わずに第二方式の決定支援を行い、上記一致度が予め設定されたレベルに達していないときには第二方式の決定支援を行わずに第一方式の決定支援を行ってもよい。

【００４０】

容易性評価部２２４は、候補データ取得部２２２が取得する候補データについて、開始位置の決定の容易性を評価する。例えば、候補データが上記推奨度のデータを含む場合に、開始位置の決定の容易性は、例えば、推奨度が最上位の点又はエリアと、他の点又はエリアとの推奨度の差異の大きさにより評価可能である。当該差異が大きいほど、開始位置の決定の容易性は高くなる。

【００４１】

開始位置指令取得部２２５は、容易性評価部２２４により評価された開始位置の決定の容易性が予め設定されたレベルよりも低い場合に、候補データに基づく開始位置の決定を禁止し、オペレータによる開始位置の指定入力を操作入力部４１から取得する。開始位置指令取得部２２５は、形状データ取得部２１１から三次元形状データを取得し、これに基づいて山９３の三次元形状の画像を操作入力部４１に表示し、当該画像内において指定された点を開始位置の指定入力として取得してもよい。開始位置指令取得部２２５が開始位置の指定を取得した場合、決定支援部２２３は、上記第一方式の決定支援を行うのに代えて、開始位置の指定に従って開始位置を決定する。

【００４２】

払出支援部２２６は、決定支援部２２３により決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマ１０の運転を支援する。例えば払出支援部２２６は、上記開始位置にバケットホイル２３を着床させるためのブーム２２の旋回角度及び俯仰角度並びに台車２１の走行位置を算出し、これに従ってブーム２２を旋回及び俯仰させるようにリクレーマ１０を制御する。その後払出支援部２２６は、堆積物の払い出し量（例えば計量センサ６４による検出値の積算値）が目標量に達するまで、堆積物の払い出し作業を自動実行するようにリクレーマ１０を制御する。

【００４３】

例えば払出支援部２２６は、折返用センサ６１、段替用センサ６２及び走行用センサ６３の検出結果に基づいて、ブーム２２の旋回方向、台車２１の走行方向及び寸動量、ブーム２２の俯仰によるバケットホイル２３の段替え方向及び段替えタイミング等を決定し、これに基づいて払い出し作業を実行するようにリクレーマ１０を制御する。払い出し作業の実行中におけるリクレーマ１０の詳細な制御方法は、例えば特許第３２２５９６９号公

報に開示されている。

【００４４】

実績データ取得部２２７は、リクレーマ１０による払い出し作業が完了した後に、当該払い出し作業の開始位置とされた点の座標データと、当該払い出し作業の効率を示す効率データとを取得し、これらをサーバ３００に送信する。効率データは、例えば単位時間あたりの払い出し量の平均値である。なお、払い出し作業の効率は、様々な要因で変動する。例えば、段替を行うときなど、払い出しが中断される期間におけるブーム２２の動作量が大きい場合、払い出しの中断期間が長くなって効率が低下する。また、払い出しの途中で山９３に崩落が生じると、一度バケットホイル２３を山９３から退避させる動作が必要となり、その分効率が低下する。

【００４５】

移動支援部２３１は、サーバ３００により決定された上記配置位置に移動するようにリクレーマ１０を制御する。衝突回避支援部２３２は、サーバ３００が生成した上記三次元マップに基づいて、配置位置まで移動中のリクレーマ１０と山９３との衝突を回避するように当該リクレーマ１０の運転を支援する。例えば、衝突回避支援部２３２は、ブーム２２の姿勢変更による衝突回避の可否を判定し、回避可であると判定した場合には衝突を回避する姿勢となるまで俯仰駆動部３１及び旋回駆動部３２によりブーム２２の姿勢を変更するようにリクレーマ１０を制御する。回避不可であると判定した場合、衝突回避支援部２３２は、配置位置までの移動を停止又は減速させるようにリクレーマ１０を制御する。

【００４６】

サーバ３００は、機能ブロックとして、マップ生成部３１１と、マップデータ保持部３１２と、データ蓄積部３１３と、モデル構築部３１４と、モデル保持部３１５と、候補データ生成部３１８と、配置支援部３１６と、稼働状態データ保持部３１７とを有する。

【００４７】

マップ生成部３１１は、複数の三次元計測装置６６によりそれぞれ取得された複数の三次元形状データを合成して堆積物ヤード９０の三次元マップを生成する。マップ生成部３１１は、例えば複数のコントローラ２００の形状データ取得部２１１によりそれぞれ座標変換が施された複数の三次元形状データを合成して堆積物ヤード９０の三次元マップを生成する。マップ生成部３１１は、三次元形状データの取得と合成を継続的に実行する。互いに異なる三次元形状データが重なった場合、マップ生成部３１１は最新の三次元形状データによって三次元マップを上書きする。

【００４８】

マップ生成部３１１は、リクレーマ１０が上記配置位置にある状態で当該リクレーマ１０の三次元計測装置６６により取得された山９３の三次元形状データと、リクレーマ１０が配置位置に移動しているときに当該リクレーマ１０の三次元計測装置６６により取得された山９３の三次元形状データとの両方に基づいて三次元マップを生成してもよい。マップデータ保持部３１２は、マップ生成部３１１により生成されたマップデータを記憶する。

【００４９】

データ蓄積部３１３は、山９３の三次元形状データと、当該山９３における開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積する。データ蓄積部３１３は、山９３の三次元形状データ、及び当該山９３における開始位置の座標データに、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率を示す効率データを更に対応付けた実績データを蓄積してもよい。例えばデータ蓄積部３１３は、払い出し作業の開始位置の座標データ、完了位置の座標データ、及び効率データをコントローラ２００の実績データ取得部２２７から取得し、当該払い出し作業の前及び後における山９３の三次元形状データをマップ生成部３１１から取得し、これらを対応付けた実績データを蓄積する。

【００５０】

モデル構築部３１４は、上記開始位置推奨モデルを、データ蓄積部３１３に蓄積された実績データに基づく機械学習により構築する。モデル構築部３１４は、堆積物の山９３の

三次元形状データの入力に応じて、当該三次元形状データにおいて払い出し作業の効率が高くなると予測される開始位置の候補を示す候補データを出力するように開始位置推奨モデルを構築してもよい。開始位置推奨モデルの具体例としては、ニューラルネットワークが挙げられる。

【００５１】

図４は、ニューラルネットワークを例示する模式図である。ニューラルネットワークは、入力層Ｌ１と、一層又は複数層の中間層Ｌ２と、出力層Ｌ３とを有する。入力層Ｌ１は、入力ベクトル（Ｘ０，Ｘ１，Ｘ２，・・・Ｘｍ）をそのまま次の中間層Ｌ２に出力する。中間層Ｌ２は、活性化関数により総入力を出力に変換してその出力を次の中間層Ｌ２に渡す。出力層Ｌ３の直前の中間層Ｌ２は、その出力を出力層Ｌ３に渡す。出力層Ｌ３も、活性化関数により総入力を出力に変換し、その出力を出力ベクトル（Ｙ０，Ｙ１，Ｙ２，・・・Ｙｎ）として出力する。

【００５２】

例えばモデル構築部３１４は、上記三次元形状データを入力ベクトルとし、上記候補データを出力ベクトルとするニューラルネットワークに、データ蓄積部３１３に蓄積された実績データの三次元形状データ、開始位置の座標データ及び効率データを繰り返しあてはめ、入力ベクトルと出力ベクトルの組み合わせが実績データにおける三次元データ、開始位置の座標データ及び効率データの組み合わせに近くなるようにニューラルネットワークのパラメータ（例えば上記活性化関数の重み）を更新する機械学習にて、開始位置推奨モデルを構築する。

【００５３】

データ蓄積部３１３及びモデル構築部３１４は、開始位置推奨モデルの構築後も、当該モデルの継続を更新するように構成されていてもよい。例えばデータ蓄積部３１３は、開始位置推奨モデルの構築後も、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、当該山９３における開始位置の座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率データとを対応付けた更新用実績データを更に蓄積し、モデル構築部３１４は、蓄積された更新用実績データに基づく機械学習により開始位置推奨モデルを更新する。データ蓄積部３１３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、開始位置指令取得部２２５が取得した指定入力により指定された当該山９３における開始位置の座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率データとを対応付けたデータも更新用実績データとして更に蓄積する。モデル保持部３１５は、モデル構築部３１４により構築された開始位置推奨モデルを記憶する。例えば、モデル保持部３１５は、開始位置推奨モデルのパラメータ（例えば上記活性化関数のパラメータ）等を記憶する。

【００５４】

候補データ取得部２２２は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データの入力に応じて上記開始位置推奨モデルが出力する候補データをサーバ３００から取得する。候補データ生成部３１８は、コントローラ２００の候補データ取得部２２２からの要求に応じて候補データを生成する。例えば候補データ生成部３１８は、モデル保持部３１５が記憶する開始位置推奨モデルに、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データを入力し、これに応じて開始位置推奨モデルが出力するデータを候補データとして生成する。

【００５５】

稼働状態データ保持部３１７は、複数のリクレーマ１０の稼働状態を示すデータを記憶する。例えば稼働状態データ保持部３１７は、複数のリクレーマ１０のそれぞれについて、払い出し作業を実行中であるか否かを記憶する。

【００５６】

配置支援部３１６は、上位プロセスコンピュータ等で決定されるリクレーマ１０の配置位置とマップデータ保持部３１２に記憶された三次元マップとに基づいて、払い出し作業を行うためのリクレーマ１０の配置位置を再決定する。配置支援部３１６は、稼働状態データ保持部３１７を参照して払い出し作業を実行中ではない複数のリクレーマ１０を抽出

し、その中から上記配置位置に最も早く到達可能なリクレーマ１０を選択し、当該リクレーマ１０を制御するコントローラ２００の移動支援部２３１に配置位置を送信する。

【００５７】

なお、以上の構成においては、開始位置推奨モデルがサーバ３００側に保持され、サーバ３００からコントローラ２００には開始位置推奨モデルに基づいて生成された候補データが提供される場合を示したが、必ずしもこれに限られない。サーバ３００は開始位置推奨モデルのパラメータデータをコントローラ２００に提供し、コントローラ２００は当該パラメータデータに基づき複製した開始位置推奨モデルを保持してもよい。この場合、コントローラ２００において候補データを生成することが可能となる。

【００５８】

図５は、制御システム１００のハードウェア構成を例示する模式図である。図５に示すように、コントローラ２００は回路２９０を含み、サーバ３００は回路３９０を含む。なお、図５においても、便宜上一つのコントローラ２００のみを図示しているが、実際には、複数のリクレーマ１０をそれぞれ制御する複数のコントローラ２００がサーバ３００に接続される。

【００５９】

回路２９０は、少なくとも一つのコンピュータにより構成される。回路２９０は、少なくとも一つのプロセッサ２９１と、メモリ２９２と、ストレージ２９３と、通信ポート２９４と、入出力ポート２９５とを含む。ストレージ２９３は、コンピュータによって読み取り可能な不揮発型の記憶媒体（例えばハードディスク又はフラッシュメモリ）である。ストレージ２９３は、例えばストレージ２９３は、上記機能ブロックを構成するためのプログラムに割り当てられる記憶領域を含む。メモリ２９２は、ストレージ２９３からロードしたプログラム及びプロセッサ２９１による演算結果等を一時的に記憶する。プロセッサ２９１は、メモリ２９２と協働して上記プログラムを実行することで、コントローラ２００の各機能ブロックを構成する。通信ポート２９４は、プロセッサ２９１からの指令に応じ、ネットワークＮＷを介してサーバ３００との間でネットワーク通信を行う。入出力ポート２９５は、プロセッサ２９１からの指令に応じて、リクレーマ本体２０、操作入力部４１、折返用センサ６１、段替用センサ６２、走行用センサ６３、計量センサ６４、ＧＰＳ受信機６５、三次元計測装置６６、との間で電気信号の入出力を行う。

【００６０】

回路３９０は、少なくとも一つのコンピュータにより構成される。回路３９０は、少なくとも一つのプロセッサ３９１と、メモリ３９２と、ストレージ３９３と、通信ポート３９４とを含む。ストレージ３９３は、コンピュータによって読み取り可能な不揮発型の記憶媒体（例えばハードディスク又はフラッシュメモリ）である。ストレージ３９３は、堆積物の山の三次元形状データと、当該山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積することと、山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築することと、開始位置推奨モデルに基づき出力される候補データを開始位置の決定に利用可能にするためのデータを生成することと、をサーバ３００に実行させるためのプログラムを記憶している。例えばストレージ３９３は、上記機能ブロックを構成するためのプログラムに割り当てられる記憶領域と、マップデータ保持部３１２、データ蓄積部３１３、モデル保持部３１５及び稼働状態データ保持部３１７に割り当てられる記憶領域とを含む。

【００６１】

メモリ３９２は、ストレージ３９３からロードしたプログラム及びプロセッサ３９１による演算結果等を一時的に記憶する。プロセッサ３９１は、メモリ３９２と協働して上記プログラムを実行することで、サーバ３００の各機能ブロックを構成する。通信ポート３９４は、プロセッサ３９１からの指令に応じ、ネットワークＮＷを介してコントローラ２００との間でネットワーク通信を行う。

【００６２】

なお、回路２９０及び回路３９０の構成はあくまで一例であり、適宜変更可能である。例えば回路２９０は、複数のコンピュータにより構成されていてもよい。複数のコンピュータの具体例としては、プログラマブルロジックコントローラ及びパーソナルコンピュータ等が挙げられる。この場合、例えば上述の払出支援部２２６、実績データ取得部２２７、移動支援部２３１及び衝突回避支援部２３２をプログラマブルロジックコントローラにより構成し、形状データ取得部２１１、位置データ取得部２１２、前回データ取得部２２１、候補データ取得部２２２、決定支援部２２３、容易性評価部２２４及び開始位置指令取得部２２５をパーソナルコンピュータにより構成してもよい。

【００６３】

〔制御手順〕

続いて、制御方法の一例として、制御システム１００が実行する制御手順を例示する。この制御手順は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援することと、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマ１０の運転を支援することと、を含む。この制御手順は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータとに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援してもよい。

【００６４】

この制御手順は、山の三次元形状データと、当該山におけるリクレーマによる払い出し作業の開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積することと、山の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築することと、開始位置推奨モデルに基づき出力される候補データを開始位置の決定に利用可能にするためのデータを生成することと、を更に含んでもよい。この場合、この制御手順は、候補データに基づいて開始位置の決定を支援してもよい。

【００６５】

以下、上記制御手順を、サーバ３００における開始位置推奨モデルの構築手順と、サーバ３００におけるリクレーマの配置支援手順と、コントローラ２００におけるリクレーマの運転支援手順とに分けて詳細に説明する。

【００６６】

（開始位置推奨モデルの構築手順）

図６に示すように、サーバ３００は、まずステップＳ０１，Ｓ０２，Ｓ０３を実行する。ステップＳ０１では、マップ生成部３１１が、複数の形状データ取得部２１１のいずれかが送信する三次元形状データの受信を待機する。ステップＳ０２では、マップ生成部３１１が、形状データ取得部２１１から取得した三次元形状データに基づいて三次元マップを生成する。マップ生成部３１１は、例えば、堆積物ヤード９０に固定された座標系における三次元形状データを形状データ取得部２１１から取得し、マップデータ保持部３１２の三次元マップに合成する。互いに異なる三次元形状データが重なった場合、マップ生成部３１１は最新の三次元形状データによって三次元マップを上書きする。ステップＳ０３では、候補データ生成部３１８が、候補データ取得部２２２から候補データの生成が要求されているか否かを確認する。ステップＳ０３において候補データの生成が要求されていないと判定した場合、サーバ３００は処理を終了する。

【００６７】

ステップＳ０３において候補データの生成が要求されていると判定した場合、サーバ３００はステップＳ０４を実行する。ステップＳ０４では、候補データ生成部３１８が、構築済みの開始位置推奨モデルがモデル保持部３１５に記憶されているか否かを確認する。

【００６８】

ステップＳ０４において構築済みの開始位置推奨モデルがモデル保持部３１５に記憶されていると判定した場合、サーバ３００はステップＳ０５，Ｓ０６を実行する。ステップＳ０５では、候補データ生成部３１８が、モデル保持部３１５が記憶する開始位置推奨モ

デルに、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データ（例えばマップ生成部３１１が取得した三次元形状データ）を入力し、これに応じて開始位置推奨モデルが出力するデータを候補データとして生成する。ステップＳ０６では、候補データ生成部３１８が、ステップＳ０５にて生成した候補データを候補データ取得部２２２に送信する。

【００６９】

ステップＳ０４において構築済みの開始位置推奨モデルがモデル保持部３１５に記憶されていないと判定した場合、サーバ３００はステップＳ０７を実行する。ステップＳ０７では、候補データ生成部３１８が、開始位置の候補を示さない空白データを候補データ取得部２２２に送信する。空白データは、例えば山９３の三次元形状の全域において、上記推奨度を同じ値（例えばゼロ）にしたデータである。

【００７０】

ステップＳ０６又はステップＳ０７の次に、サーバ３００はステップＳ０８，Ｓ０９を実行する。ステップＳ０８では、データ蓄積部３１３が、実績データ取得部２２７からの実績データの受信を待機する。ステップＳ０９では、データ蓄積部３１３が実績データを蓄積する。データ蓄積部３１３は、例えば、払い出し作業の対象となる山９３の払い出し作業前後における三次元形状データと、払い出し作業の開始位置とされた点の座標データと、当該払い出し作業の効率を示す効率データとを対応付けたデータセットを実績データとして蓄積する。

【００７１】

次に、サーバ３００はステップＳ１１を実行する。ステップＳ１１では、モデル構築部３１４が、データ蓄積部３１３に蓄積された実績データの数が学習用のデータ数（例えば、モデルの構築に適したデータ数）に達したか否かを確認する。構築済の開始位置推奨モデルがモデル保持部３１５に記憶されている場合、モデル構築部３１４は、当該モデルの構築後に蓄積した更新用実績データの数が学習用のデータ数（例えば、モデルの更新に適したデータ数）に達したか否かを確認する。学習用のデータ数は予め設定されている。

【００７２】

次に、サーバ３００はステップＳ１２を実行する。ステップＳ１２では、モデル構築部３１４が、上記開始位置推奨モデルを、データ蓄積部３１３に蓄積された実績データに基づく機械学習により構築する。モデル構築部３１４は、山９３の三次元形状データの入力に応じて、当該三次元形状データにおいて払い出し作業の効率が高くなると予測される開始位置の候補を示す候補データを出力するように開始位置推奨モデルを構築してもよい。構築済の開始位置推奨モデルがモデル保持部３１５に記憶されている場合、モデル構築部３１４は、データ蓄積部３１３に蓄積された更新用実績データに基づく機械学習により開始位置推奨モデルを更新する。以上で開始位置推奨モデルの構築手順が完了する。サーバ３００は、以上の手順を繰り返す。

【００７３】

（リクレーマの配置支援手順）

図７に示すように、サーバ３００は、まずステップＳ２１，Ｓ２２を実行する。ステップＳ２１では、配置支援部３１６が、オペレータ又はより上位の装置から、払い出し作業の指令が入力されるのを待機する。払い出し作業の指令は、例えば、払い出し作業の対象となる山（以下、「作業対象の山」という）と、払い出し量（重量）とを含む。ステップＳ２２では、配置支援部３１６が、マップデータ保持部３１２の三次元マップに基づいて、作業対象の山９３に対するリクレーマ１０の配置位置を決定する。配置支援部３１６は、例えば、作業対象の山９３からの距離が所定の値となるようにリクレーマ１０の配置位置を決定する。

【００７４】

次に、サーバ３００は、ステップＳ２３，Ｓ２４，Ｓ２５を実行する。ステップＳ２３では、配置支援部３１６が、稼働状態データ保持部３１７を参照して払い出し作業を実行中ではない複数のリクレーマ１０を抽出し、その中から上記配置位置に最も早く到達可能なリクレーマ１０を選択する。ステップＳ２４では、配置支援部３１６が、ステップＳ２

３で選択したリクレーマ１０を制御するコントローラ２００の移動支援部２３１に対し、配置位置への移動指令を送信する。ステップＳ２５では、配置支援部３１６が、ステップＳ２３で選択したリクレーマ１０の稼働状態を、稼働状態データ保持部３１７のデータにおいて稼働中に変更する。以上でリクレーマの配置支援手順が完了する。サーバ３００は、以上の手順を繰り返す。

【００７５】

（リクレーマの運転支援手順）

図８に示すように、コントローラ２００は、まずステップＳ３１，Ｓ３２，Ｓ３３，Ｓ３４を実行する。ステップＳ３１では、移動支援部２３１が、配置支援部３１６からの移動指令の受信を待機する。ステップＳ３２では、移動支援部２３１が、移動指令が指定する配置位置への移動を開始させるようにリクレーマ１０を制御する。ステップＳ３３では、形状データ取得部２１１が、三次元計測装置６６から山９３の三次元形状データを取得する。また、ステップＳ３３では、位置データ取得部２１２が、ＧＰＳ受信機６５からリクレーマ１０の現在位置のデータを取得する。ステップＳ３４では、形状データ取得部２１１が、リクレーマ１０の現在位置のデータと、ブーム２２の現在姿勢のデータとに基づく座標変換により、上記三次元形状データを堆積物ヤード９０に固定された座標系の三次元形状データに変換する。

【００７６】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ３５，Ｓ３６，Ｓ３７を実行する。ステップＳ３５では、形状データ取得部２１１が、変換後の三次元形状データをマップ生成部３１１に送信する。ステップＳ３６では、衝突回避支援部２３２が、マップデータ保持部３１２から三次元マップを受信する。ステップＳ３７では、衝突回避支援部２３２が、配置位置まで移動中のリクレーマ１０と山９３との衝突の可能性の有無を、受信した三次元マップに基づいて確認する。

【００７７】

ステップＳ３７において衝突の可能性があると判定した場合、コントローラ２００はステップＳ３８を実行する。ステップＳ３８では、衝突回避支援部２３２が、サーバ３００が生成した上記三次元マップに基づいて、配置位置まで移動中のリクレーマ１０と山９３との衝突を回避するように当該リクレーマ１０の運転を支援する。例えば、衝突回避支援部２３２は、ブーム２２の姿勢変更による衝突回避の可否を判定し、回避可であると判定した場合には衝突を回避する姿勢となるまで俯仰駆動部３１及び旋回駆動部３２によりブーム２２の姿勢を変更するようにリクレーマ１０を制御する。回避不可であると判定した場合、衝突回避支援部２３２は、配置位置までの移動を停止又は減速させるようにリクレーマ１０を制御する。

【００７８】

次に、コントローラ２００はステップＳ３９を実行する。ステップＳ３７において衝突の可能性がないと判定した場合、コントローラ２００はステップＳ３８を実行することなくステップＳ３９を実行する。ステップＳ３９では、移動支援部２３１が、リクレーマ１０の配置位置への到達を待機する。

【００７９】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ４１，Ｓ４２を実行する。ステップＳ４１では、移動支援部２３１が、配置位置への移動を停止させるようにリクレーマ１０を制御する。ステップＳ４２では、コントローラ２００が、払い出し作業におけるリクレーマ１０の運転支援を実行する。リクレーマ１０の運転支援の具体的内容については以下で詳述する。以上でリクレーマ１０の運転支援手順が完了する。コントローラ２００は、以上の手順を繰り返す。

【００８０】

続いて、ステップＳ４２の運転支援の具体的内容について説明する。図９に示すように、コントローラ２００は、まずステップＳ５１，Ｓ５２，Ｓ５３を実行する。ステップＳ５１では、形状データ取得部２１１が、三次元計測装置６６から山９３の三次元形状デー

タを取得する。また、ステップＳ５１では、位置データ取得部２１２が、ＧＰＳ受信機６５からリクレーマ１０の現在位置のデータを取得する。ステップＳ５２では、形状データ取得部２１１が、リクレーマ１０の現在位置のデータと、ブーム２２の現在姿勢のデータとに基づく座標変換により、上記三次元形状データを堆積物ヤード９０に固定された座標系の三次元形状データに変換する。ステップＳ５３では、形状データ取得部２１１が、変換後の三次元形状データをマップ生成部３１１に送信する。

【００８１】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ５４，Ｓ５５を実行する。ステップＳ５４では、前回データ取得部２２１が、払い出し作業の対象となる山９３における前回の払い出し作業が完了した時の当該山９３の三次元形状データ（上記前回の三次元形状データ）をデータ蓄積部３１３から取得する。ステップＳ５５では、決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データ（上記今回の三次元形状データ）と、ステップＳ５３で取得された前回の三次元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達しているか否かを確認する。

【００８２】

ステップＳ５５において今回の三次元形状データと前回の三次元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達している場合、コントローラ２００はステップＳ５６を実行する。ステップＳ５６では、決定支援部２２３が、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて開始位置を決定する。決定支援部２２３は、前回の払い出し作業の完了位置を開始位置としてもよいし、前回の払い出し作業の完了位置から所定範囲内の位置を開始位置としてもよい。

【００８３】

ステップＳ５５において今回の三次元形状データと前回の三次元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達していない場合、コントローラ２００はステップＳ５７，Ｓ５８，Ｓ５９，Ｓ６１を実行する。ステップＳ５７では、候補データ取得部２２２が、候補データ生成部３１８に上記候補データの生成を要求する。ステップＳ５８では、候補データ取得部２２２が、候補データ生成部３１８が生成した候補データを取得する。ステップＳ５９では、容易性評価部２２４が、ステップＳ５８で取得された候補データについて、開始位置の決定の容易性を評価する。ステップＳ６１では、決定支援部２２３が、ステップＳ５９で評価された開始位置の設定の容易性が予め設定されたレベル以上であるかを確認する。

【００８４】

ステップＳ６１において開始位置の設定の容易性が予め設定されたレベル以上である場合、コントローラ２００はステップＳ６２を実行する。ステップＳ６２では、決定支援部２２３が、候補データ取得部２２２が取得した候補データに基づいて開始位置の決定を支援する。例えば決定支援部２２３は、候補データにより示された点のうち、推奨度が最も高い点を開始位置として決定してもよい。複数の点の推奨度が最高値になっている場合、決定支援部２２３は、当該複数の点のいずれかを開始位置として選択する。例えば決定支援部２２３は、ブーム２２の先端部の現在位置から最も近い点を開始位置として選択する。

【００８５】

ステップＳ６１において開始位置の設定の容易性が予め設定されたレベル未満である場合、コントローラ２００はステップＳ６３，Ｓ６４，Ｓ６５を実行する。ステップＳ６３では、開始位置指令取得部２２５が、候補データに基づく開始位置の決定を禁止し、オペレータによる開始位置の指定入力の準備を行う。例えば開始位置指令取得部２２５は、形状データ取得部２１１から三次元形状データを取得し、これに基づいて山９３の三次元形状の画像を操作入力部４１に表示する。ステップＳ６４では、開始位置指令取得部２２５が開始位置の指定入力を待機する。例えば、開始位置指令取得部２２５は、操作入力部４１に表示した上記画像内においていずれかの点又はエリアが指定されるのを待機する。ステップＳ６５では、決定支援部２２３が、操作入力部４１において取得された開始位置の

指定入力に従って開始位置を決定する。操作入力部４１においてエリアの指定入力が取得された場合、決定支援部２２３は、当該エリア内のいずれかの点を開始位置として決定する。

【００８６】

図１０に示すように、ステップＳ５６、ステップＳ６２又はステップＳ６５の後、コントローラ２００はステップＳ７１を実行する。ステップＳ７１では、払出支援部２２６が、上記開始位置にバケットホイル２３を着床させるようにリクレーマ１０を制御する。例えば払出支援部２２６は、上記開始位置にバケットホイル２３を着床させるためのブーム２２の旋回角度及び俯仰角度を算出し、これに従ってブーム２２を旋回及び俯仰させるようにリクレーマ１０を制御する。

【００８７】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ７２を実行する。ステップＳ７２では、払出支援部２２６が、バケット駆動部３３によりバケットホイル２３の回転を開始させ、堆積物の払い出しを開始するようにリクレーマ１０を制御する。以後、払出支援部２２６は、堆積物の払い出し作業を自動実行するようにリクレーマ１０を制御する。例えば払出支援部２２６は、折返用センサ６１、段替用センサ６２及び走行用センサ６３の検出結果に基づいて、ブーム２２の旋回方向、台車２１の寸動方向及び寸動量、ブーム２２の俯仰によるバケットホイル２３の段替え方向及び段替えタイミング等を決定し、これに基づいて払い出し作業を実行するようにリクレーマ１０を制御する。

【００８８】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ７３，Ｓ７４，Ｓ７５，Ｓ７６を実行する。ステップＳ７３では、払出支援部２２６が、堆積物の払い出し量（例えば計量センサ６４による検出値の積算値）が目標量に達するまで、払い出し作業を継続するようにリクレーマ１０を制御する。ステップＳ７４では、払出支援部２２６が、バケット駆動部３３によるバケットホイル２３の回転、旋回駆動部３２によるブーム２２の旋回、俯仰駆動部３１によるブーム２２の俯仰、及び台車２１の寸動を停止させ、堆積物の払い出しを停止するようにリクレーマ１０を制御する。ステップＳ７５では、実績データ取得部２２７が、払い出し作業の完了位置を示す情報を取得する。例えば実績データ取得部２２７は、払い出し作業の完了時におけるブーム２２の旋回角度、ブーム２２の俯仰角度、及び台車２１の位置とを取得し、これらの情報に基いて、バケットホイル２３が着床している位置の座標データを導出する。ステップＳ７６では、払出支援部２２６が、台車２１を後退させてバケットホイル２３を山９３から離すようにリクレーマ１０を制御する。

【００８９】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ７７，Ｓ７８を実行する。ステップＳ７７では、形状データ取得部２１１が、三次元計測装置６６から山９３の三次元形状データを取得する。また、位置データ取得部２１２が、ＧＰＳ受信機６５からリクレーマ１０の現在位置のデータを取得する。ステップＳ７８では、形状データ取得部２１１が、リクレーマ１０の現在位置のデータと、ブーム２２の現在姿勢のデータとに基づく座標変換により、上記三次元形状データを堆積物ヤード９０に固定された座標系の三次元形状データに変換する。

【００９０】

次に、コントローラ２００は、ステップＳ７９を実行する。ステップＳ７９では、形状データ取得部２１１が、変換後の三次元形状データをマップ生成部３１１に送信する。また、実績データ取得部２２７が、払い出し作業の開始位置とされた点の座標データと、当該払い出し作業の効率を示す効率データとを取得し、これらをサーバ３００に送信する。例えば実績データ取得部２２７は、払い出し量（計量センサ６４による検出値の積算値）の情報と、作業時間（払い出し作業の開始から停止までの時間）の情報とを払出支援部２２６から取得し、払い出し量を作業時間で除算した値を効率データとしてデータ蓄積部３１３に送信する。以上でステップＳ４２の運転支援手順が完了する。

【００９１】

〔本実施形態の作用効果〕

以上に説明したように、リクレーマシステム１は、山から堆積物を払い出すリクレーマ１０と、山９３の三次元形状データを取得する三次元計測装置６６と、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援する決定支援部２２３と、決定された開始位置から払い出し作業を開始するようにリクレーマの運転を支援する払出支援部２２６と、を備える。

【００９２】

リクレーマ１０による堆積物の払い出しにおいては、山９３のどの位置を払い出し作業の開始位置とするかが払い出し作業の効率に影響する。例えば不適切な開始位置から払い出し作業が開始されると、段替え作業（払い出し位置の高さを変える作業）の頻度が増えて払い出し作業の効率が低下する場合がある。段替え作業における払い出し位置の移動量が大きくなって払い出し作業の効率が低下する場合もある。払い出し作業の途中で堆積物が崩落し、これに起因して払い出し作業の効率が低下する場合もある。これに対し、本リクレーマシステム１によれば、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データを利用することで、適切な開始位置の決定を支援することができる。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効である。

【００９３】

決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、過去の払い出し作業における山９３の三次元形状データ及び作業位置のデータとに基づいて、払い出し作業の開始位置の決定を支援してもよい。この場合、過去の実績を有効活用して適切な開始位置の決定を支援することができる。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効である。

【００９４】

リクレーマシステム１は、山９３の三次元形状データと、当該山９３における開始位置の座標データとを対応付けた実績データを蓄積するデータ蓄積部３１３と、山９３の三次元形状データの入力に応じて当該三次元形状データにおける開始位置の候補データを出力する開始位置推奨モデルを、蓄積された実績データに基づく機械学習により構築するモデル構築部３１４と、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データの入力に応じて開始位置推奨モデルが出力する候補データを取得する候補データ取得部２２２と、を更に備え、決定支援部２２３は、候補データ取得部が取得した候補データに基づいて開始位置の決定を支援してもよい。

【００９５】

適切な開始位置の見極めには、山９３の形状に加えて様々なファクターを考慮することが必要であり、開始位置の見極めプロセスを定式化することが難しかった。このため、リクレーマ１０を用いた作業現場において、開始位置の見極めはオペレータの経験に基づく判断に委ねられてきた。これに対し、本リクレーマシステム１によれば、山９３の三次元形状データと、当該山９３において払い出し作業の開始位置として選択された点の座標データとを対応付けたデータセットが蓄積され、蓄積されたデータセットに基づく機械学習により、開始位置推奨モデルが構築される。すなわち、開始位置の見極めプロセスが、機械学習によってモデル化される。これにより、オペレータの経験に基づく判断プロセスを広く活用することができる。例えば、十分な経験を積んだオペレータが不在であっても、開始位置推奨モデルの活用によって適切な開始位置の決定を支援することができる。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に有効である。

【００９６】

データ蓄積部３１３は、山９３の三次元形状データ、及び当該山９３における開始位置の座標データに、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率を示す効率データを更に対応付けた実績データを蓄積し、モデル構築部３１４は、山の三次元形状データの入力に応じて、当該三次元形状データにおいて払い出し作業の効率が高くなると予測される開始位置の候補を示す候補データを出力するように開始位置推奨モデルを構築してもよい。この場合、払い出し作業の効率の実績をも考慮した機械学習により、払い出し作業の効率

が高くなると予測される開始位置の候補データを出力するように開始位置推奨モデルが構築される。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に更に有効である。

【００９７】

データ蓄積部３１３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、当該山９３における開始位置の座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率データとを対応付けた更新用実績データを更に蓄積し、モデル構築部３１４は、蓄積された更新用実績データに基づく機械学習により開始位置推奨モデルを更新してもよい。この場合、更新用データセットを用いて開始位置推奨モデルがブラッシュアップされるので、より信頼性の高い候補データの取得が可能となる。従って、山から堆積物を払い出す作業の効率向上に更に有効である。

【００９８】

リクレーマシステム１は、候補データについて、開始位置の決定の容易性を評価する容易性評価部２２４と、開始位置の決定の容易性が予め設定されたレベルよりも低い場合に、候補データに基づく開始位置の決定を禁止し、オペレータによる開始位置の指定入力を取得する開始位置指令取得部２２５と、を更に備え、データ蓄積部３１３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、開始位置指令取得部２２５が取得した指定入力により指定された当該山９３における開始位置の座標データと、当該開始位置から開始された払い出し作業の効率データとを対応付けたデータも更新用実績データとして更に蓄積してもよい。この場合、候補データに基づく開始位置の決定が困難である場合には開始位置の指定がオペレータの判断に委ねられる。これにより、不適切な開始位置の決定に起因する効率低下が抑制される。オペレータの判断結果は開始位置推奨モデルのブラッシュアップに活用されるので、より信頼性の高い候補データの取得が可能となる。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に更に有効である。

【００９９】

決定支援部２２３は、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、前回の払い出し作業が完了した時の当該山９３の三次元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達している場合に、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて開始位置の決定を支援してもよい。払い出し対象の山９３の形状は、当該山９３の前回の払い出し作業後の形状と実質的に一致する場合が少なくない。このような場合、前回の払い出し作業の完了位置に基づくことで、適切な開始位置を容易に設定することができる。このため、払い出し作業の対象となる山９３の三次元形状データと、前回の払い出し作業が完了した時の当該山９３の三次元形状データとの一致度が予め設定されたレベルに達している場合に、前回の払い出し作業の完了位置に基づいて開始位置を決定することで、開始位置の決定の信頼性を容易に向上させることができる。

【０１００】

リクレーマシステム１は、複数のリクレーマ１０と、複数のリクレーマ１０にそれぞれ設けられた複数の三次元計測装置６６とを備え、複数の三次元計測装置６６によりそれぞれ取得された複数の三次元形状データを合成し、複数の山９３を含む堆積物ヤード９０の三次元マップを生成するマップ生成部３１１を更に備えていてもよい。この場合、開始位置決定のために随時取得される三次元形状データを堆積物ヤード９０の三次元マップの生成に活かすことで、タイムリーにアップデートされた三次元マップを生成することができる。タイムリーにアップデートされた三次元マップは、複数のリクレーマ１０の効率的な運用に活かすことができる。従って、山９３から堆積物を払い出す作業の効率向上に更に有効である。

【０１０１】

リクレーマシステム１は、リクレーマ１０の配置位置と三次元マップとに基づいて、払い出し作業を行うためのリクレーマ１０の配置位置を再決定する配置支援部３１６を更に備えていてもよい。この場合、三次元マップをリクレーマ１０の配置位置の決定に活かすことで、山９３から堆積物を払い出す作業の更なる効率向上を図ることができる。

【０１０２】

リクレーマシステム１は、三次元マップに基づいて、移動中のリクレーマ１０と山９３との衝突を回避するように当該リクレーマ１０の運転を支援する衝突回避支援部２３２を更に備えていてもよい。この場合、三次元マップを移動中のリクレーマ１０と山９３との衝突回避に活かすことで、山９３から堆積物を払い出す作業の更なる効率向上を図ることができる。

【０１０３】

マップ生成部３１１は、リクレーマ１０が配置位置にある状態で当該リクレーマ１０の三次元計測装置６６により取得された山９３の三次元形状データと、リクレーマ１０が配置位置に移動しているときに当該リクレーマ１０の三次元計測装置６６により取得された山９３の三次元形状データとの両方に基づいて三次元マップを生成してもよい。この場合、三次元マップをよりタイムリーにアップデートすることができる。

【０１０４】

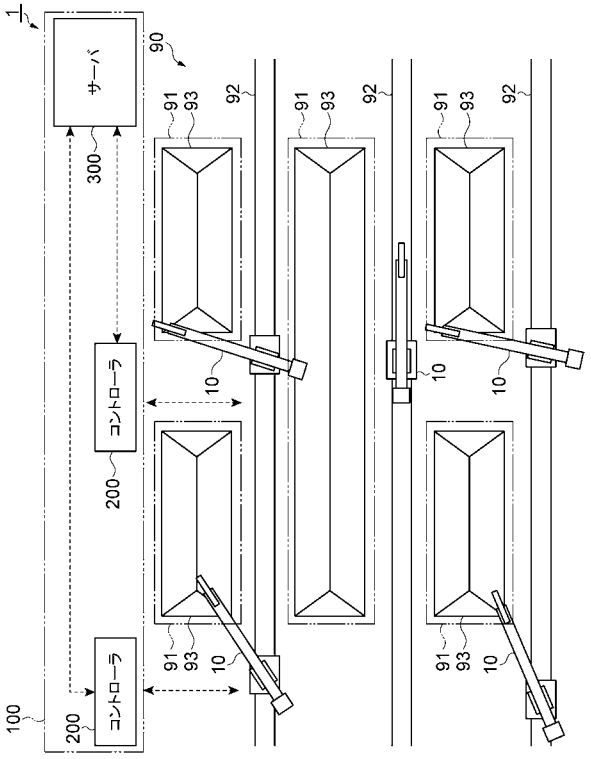
以上、実施形態について説明したが、本発明は必ずしも上述した形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

【符号の説明】

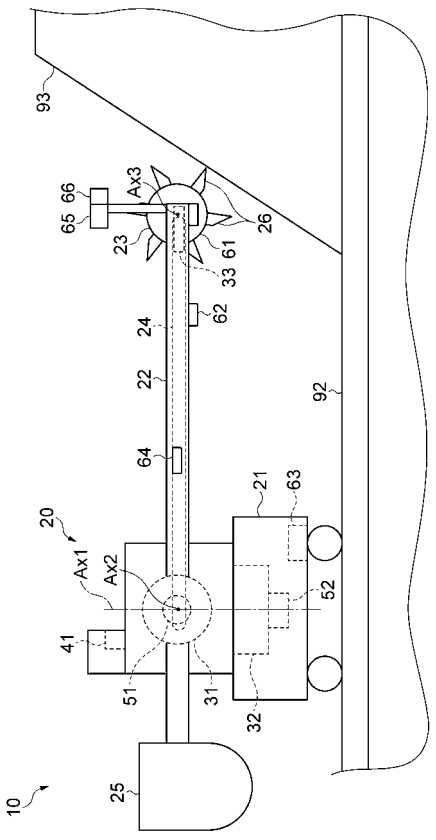
【０１０５】

１…リクレーマシステム、１０…リクレーマ、６６…三次元計測装置、９０…堆積物ヤード、９３…山、２２２…候補データ取得部、２２３…決定支援部、２２５…開始位置指令取得部、２２６…払出支援部、２３２…衝突回避支援部、３１１…マップ生成部、３１４…モデル構築部、３１６…配置支援部。

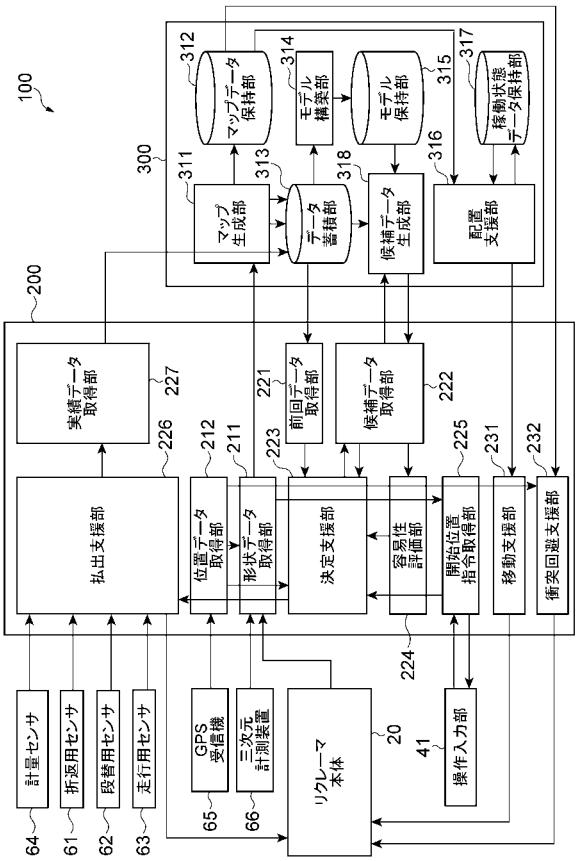
【図１】



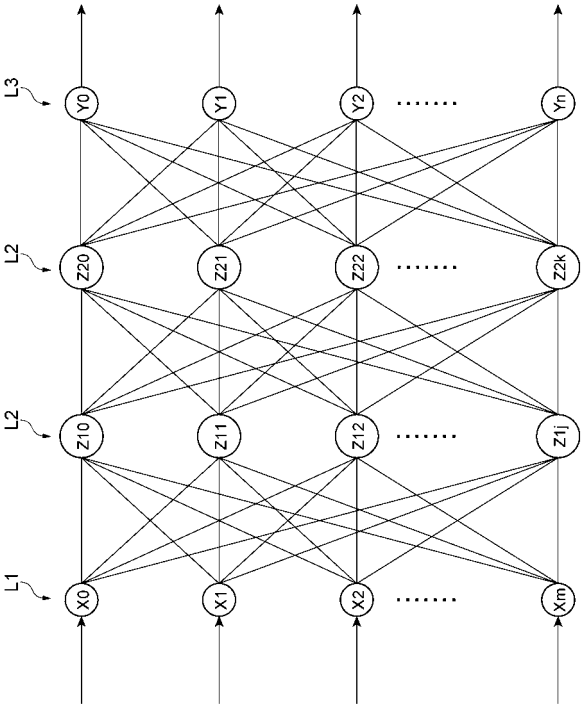
【図２】



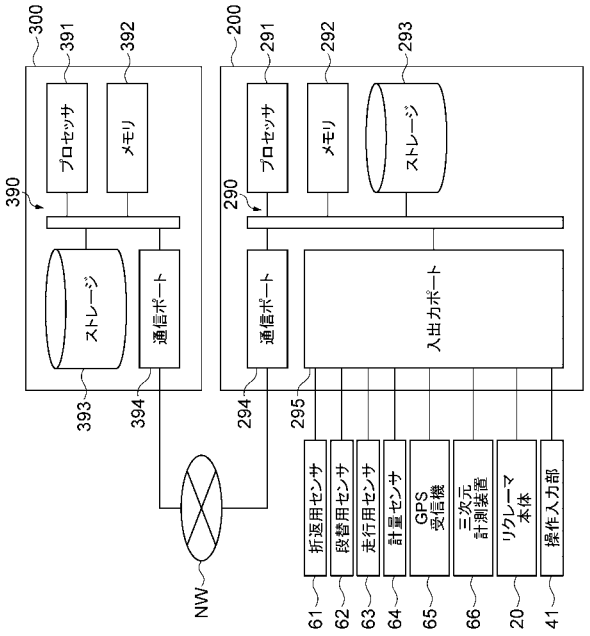
【図３】


100
300
311
マップ生成部
312
マップデータ保持部
313
データ蓄積部
314
モデル構築部
315
モデル保持部
316
候補データ生成部
317
稼働状態データ保持部
318
配置支援部
200
実績データ取得部
227
前回データ取得部
221
候補データ取得部
222
226
212
211
223
225
231
232
払出支援部
位置データ取得部
形状データ取得部
決定支援部
容易性評価部
開始位置指令取得部
移動支援部
衝突回避支援部
224
計量センサ
64
折返用センサ
61
段替用センサ
62
走行用センサ
63
GPS受信機
65
三次元計測装置
66
リクレーマ本体
20
41
操作入力部

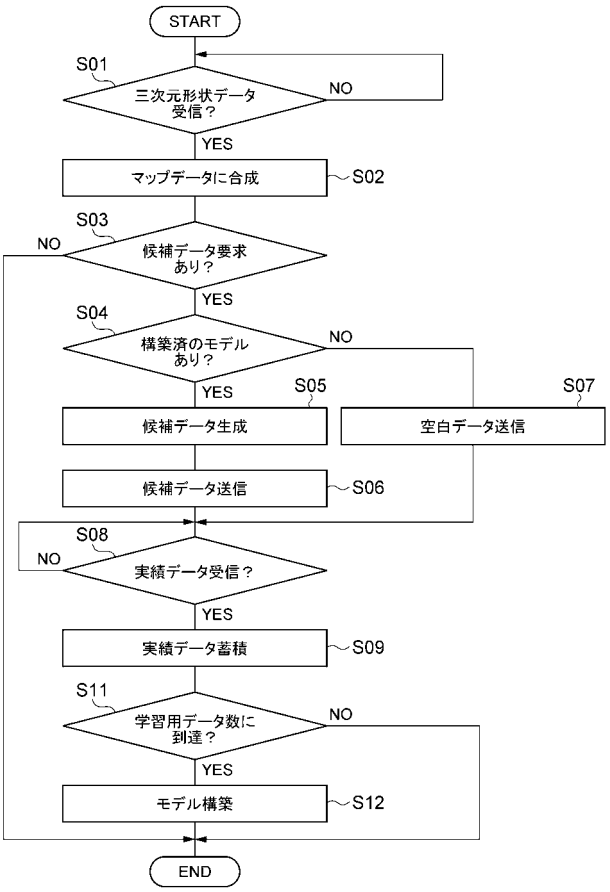
【図４】


L3
Y0
Y1
Y2
Yn
L2
Z20
Z21
Z22
Z2k
L2
Z10
Z11
Z12
Z1j
L1
X0
X1
X2
Xm

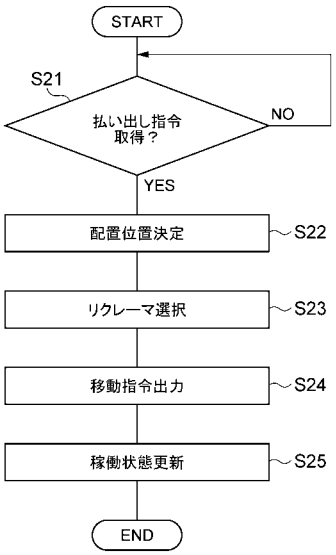
【図５】


300
391
プロセッサ
392
メモリ
390
ストレージ
393
通信ポート
394
NW
200
291
プロセッサ
292
メモリ
293
ストレージ
290
通信ポート
294
入出力ポート
295
折返用センサ
61
段替用センサ
62
走行用センサ
63
計量センサ
64
GPS受信機
65
三次元計測装置
66
リクレーマ本体
20
操作入力部
41

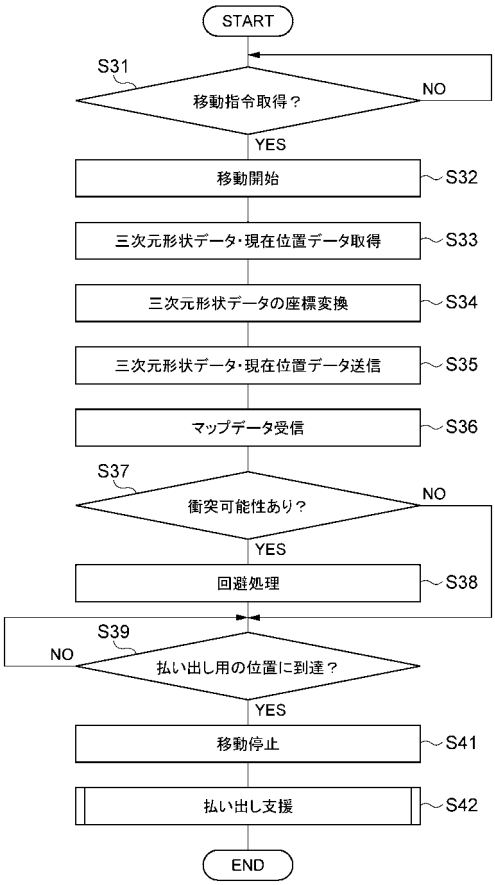
【図６】


START
S01
三次元形状データ受信？
NO
YES
マップデータに合成
S02
S03
候補データ要求あり？
NO
YES
S04
構築済のモデルあり？
NO
YES
S05
候補データ生成
S07
空白データ送信
候補データ送信
S06
S08
実績データ受信？
NO
YES
実績データ蓄積
S09
S11
学習用データ数に到達？
NO
YES
モデル構築
S12
END

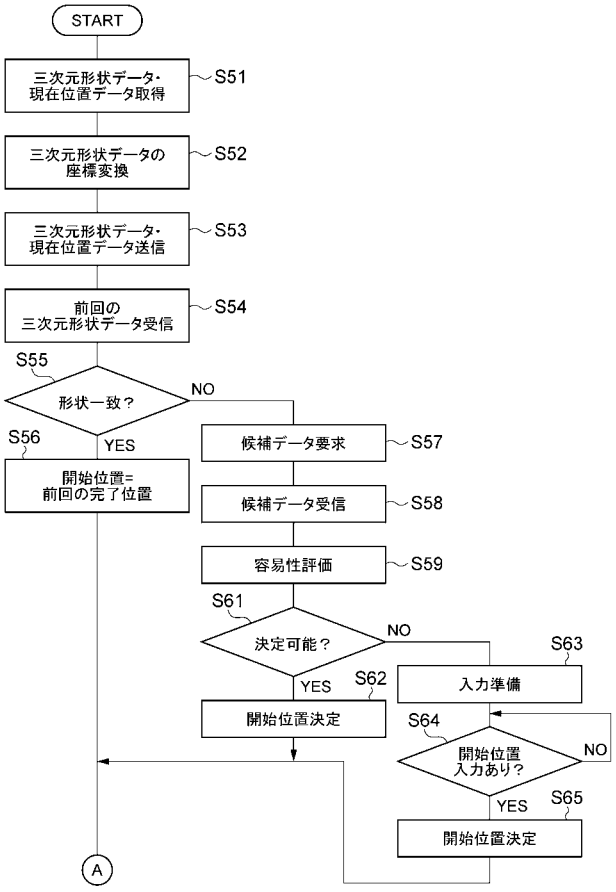
【図７】


START
S21
払い出し指令取得？
NO
YES
配置位置決定
S22
リクレーマ選択
S23
移動指令出力
S24
稼働状態更新
S25
END

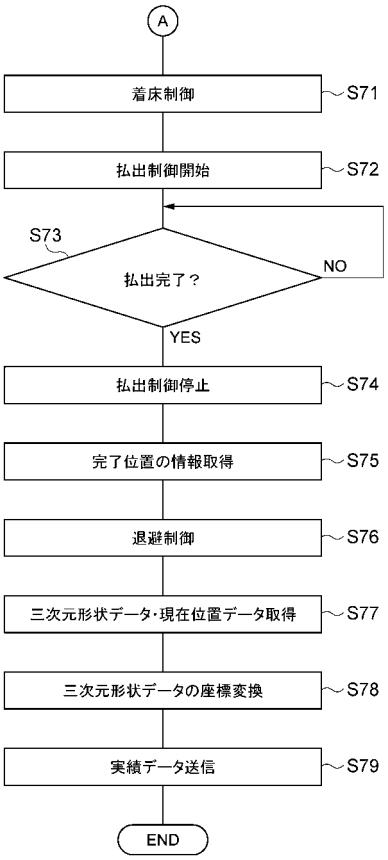
【図８】


START
S31
移動指令取得？
NO
YES
移動開始
S32
三次元形状データ・現在位置データ取得
S33
三次元形状データの座標変換
S34
三次元形状データ・現在位置データ送信
S35
マップデータ受信
S36
S37
衝突可能性あり？
NO
YES
回避処理
S38
S39
NO
払い出し用の位置に到達？
YES
移動停止
S41
払い出し支援
S42
END

【図９】


START
三次元形状データ・現在位置データ取得
S51
三次元形状データの座標変換
S52
三次元形状データ・現在位置データ送信
S53
前回の三次元形状データ受信
S54
S55
形状一致？
NO
YES
S56
開始位置＝前回の完了位置
候補データ要求
S57
候補データ受信
S58
容易性評価
S59
S61
決定可能？
NO
YES
S62
開始位置決定
S63
入力準備
S64
開始位置入力あり？
NO
YES
S65
開始位置決定
A
A

【図１０】


A
着床制御
S71
払出制御開始
S72
S73
払出完了？
NO
YES
払出制御停止
S74
完了位置の情報取得
S75
退避制御
S76
三次元形状データ・現在位置データ取得
S77
三次元形状データの座標変換
S78
実績データ送信
S79
END