

明 細 書

発明の名称：体積計測装置、システム、方法、及びプログラム 技術分野

[0001] [関連出願についての記載]

本発明は、日本国特許出願：特願２０１８－２１８１４８号（２０１８年１１月２１日出願）の優先権主張に基づくものであり、同出願の全記載内容は引用をもって本書に組み込み記載されているものとする。

本発明は、原料ヤードにおける原料山の体積を計測する体積計測装置、システム、方法、及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] ガラス工場や製鉄所では、ガラスの原料である珪砂や鉄鋼の原料である鉄鉱石を、屋内又は屋外の地面の上に３方が壁に囲まれた原料ヤード（原料置き場）に保管している。図１７は、３方が壁１２に囲まれた原料ヤード１０を上から見たときのイメージ図である。原料を堆積させた各原料山１１は、壁１２により３方が囲われている。工場の操業により、原料の残量は、刻々と変化する。現状、この原料の残量の管理は、作業員が目視で行っていることが多い。

[0003] 高い生産性を維持するためには、原料の残量を早く正確に把握することが重要である。すなわち、リアルタイムに自動で残量の管理をするためのシステムが求められている。原料の残量管理システムを構築する場合、残量計測のためのセンサとしてデプスセンサ（深度測定センサ）を利用することが考えられる。デプスセンサを利用した原料山の形状を管理する技術として、特許文献１～３に記載の技術がある。特許文献１～３に記載の技術では、レーザスキャナ、２Ｄ（２-Dimensions）レーザ距離計、ステレオカメラ等のデプスセンサを、スタッカ、リクレーマなどのヤード機械に取り付けることで、原料山の形状を計測している。このようなデプスセンサを利用したシステムでは、一般的に測定対象物を複数の視点から撮影することで３次元データを

取得して測定を行うため、複数のデプスセンサが用いられる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-286436号公報

特許文献2：特開2011-157187号公報

特許文献3：特開2012-193030号公報

特許文献4：特開2016-61674号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：C. BRADFORD BARBER et al., "The Quickhull Algorithm for Convex Hulls", ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 22, No. 4, December 1996, Pages 469-483. (<https://www.cise.ufl.edu/~ungor/courses/fall06/papers/QuickHull.pdf>)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 以下の分析は、本願発明者により与えられる。

[0007] 特許文献1～3に記載の技術は、ヤード機械にデプスセンサを取り付けているため、原料山の形状を計測している間、原料の受け入れ、払出し等の作業を行うことができなくなる。そのため、ヤード機械にデプスセンサを取り付けて計測することは工場の操業に影響を与えてしまう可能性がある。

[0008] また、デプスセンサは近年低価格化が進んできているものの、産業用途において十分な測定範囲や精度や精細さを満たすものは依然として高価である。メンテナンス性の観点から見ても、複数のデプスセンサを使用することは望ましくない。仮に1台のデプスセンサでシステムを構築する場合、3次元空間において手前にある物体が背後にある物体を隠して見えない領域（オクルージョン）の問題が発生する。例えば、原料山を正面方向から撮影した場合、原料山の背面方向の部分が隠れてしまい、背面方向の部分のデプス情報を取得することができなくなる。

[0009] このようなオクルージョンの問題を解決するために、特許文献4に記載の技術のように、デプスセンサを搭載した1台の無人飛行体（ドローン）で上方から移動しながら原料山を撮影することが考えられる。しかしながら、建屋型の原料ヤードには天井があるため、ドローンが原料山から十分な距離を取って航行することが難しく、ドローンのプロペラからの風が原料を巻き上げてしまい、計測自体ができなくなる可能性がある。

[0010] また、オクルージョンの問題を解決するために、作業員が原料山を回り込みながら1台のデプスセンサで撮影する方法も考えられる。しかしながら、原料ヤードが大規模かつ複数あると、計測に手間や時間がかかるだけでなく、作業中のヤード機械を回避しながら計測する必要があるため、効率よく計測できない可能性がある。

[0011] 本発明の主な課題は、工場の操業に影響を与えることなく、低コストかつ効率的に原料山の体積を計測するのに貢献することができる体積計測装置、システム、方法、及びプログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0012] 第1の視点に係る体積計測装置は、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する点群変換部と、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する原料山検出部と、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する原料山体積計算部と、を備える。

[0013] 第2の視点に係る体積計測システムは、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサと、前記第1の視点に係る体積計測装置と、を備える。

[0014] 第3の視点に係る体積計測方法は、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換するステップと、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出するステップと、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算するステップと、を含む。

[0015] 第4の視点に係るプログラムは、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する処理と、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する処理と、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する処理と、をハードウェア資源に実行させる。

[0016] なお、上記のプログラムは、コンピュータが読み取り可能な記憶媒体に記録することができる。そして、当該プログラムが格納された記憶媒体は、半導体メモリ、ハードディスク、磁気記録媒体、光記録媒体等の非トランジェント（non-transient）なものとすることができる。また、本開示では、コンピュータプログラム製品として具現することも可能である。プログラムは、コンピュータ装置に入力装置又は外部から通信インタフェースを介して入力

され、記憶装置に記憶されて、プロセッサを所定のステップないし処理に従って駆動させ、必要に応じ中間状態を含めその処理結果を段階毎に表示装置を介して表示することができ、あるいは通信インタフェースを介して、外部と交信することができる。そのためのコンピュータ装置は、一例として、典型的には互いにバスによって接続可能なプロセッサ、記憶装置、入力装置、通信インタフェース、及び必要に応じ表示装置を備える。

発明の効果

[0017] 前記第1～第4の視点によれば、工場の操業に影響を与えることなく、低コストかつ効率的に原料山の体積を計測するのに貢献することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]実施形態1に係る体積計測システムの構成を模式的に示したブロック図である。

[図2]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置を原料ヤードに配置した状態の一例を模式的に示したイメージ図である。

[図3]実施形態1に係る体積計測システムにおける体積計測装置の情報処理部の動作を模式的に示したフローチャート図である。

[図4]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードに係る点群データの一例を模式的に示したイメージ図である。

[図5]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードに係る点群データの他の例を模式的に示したイメージ図である。

[図6]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードにおいて障害物がある状態の点群データの一例を模式的に示したイメージ図である。

[図7]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードから障害物を除去した状態に係る点群の一例を模式的に示したイメージ図である。

[図8]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原

料ヤードを横から見た状態の一例を模式的に示したイメージ図である。

[図9]実施形態1に係る体積計測システムにおける体積測定装置の情報処理部で作成した凸包を横から見た状態の一例を模式的に示したイメージ図である。

[図10]実施形態1に係る体積計測システムにおける体積測定装置の情報処理部で作成した凸包から抽出された1つの四面体の一例を模式的に示したイメージ図である。

[図11]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原料ヤードを横から見た状態の他の例を模式的に示したイメージ図である。

[図12]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原料ヤードを横から見た状態の他の例の原料山非オクルージョン部をクロップしたときのイメージ図である。

[図13]実施形態1に係る体積計測システムにおける撮影装置を原料ヤードに配置した状態の他の例を模式的に示したイメージ図である。

[図14]実施形態2に係る体積計測システムの構成を模式的に示したブロック図である。

[図15]実施形態3に係る体積計測装置の構成を模式的に示したブロック図である。

[図16]実施形態3に係る体積計測装置の動作を模式的に示したフローチャート図である。

[図17]原料ヤードの一例を上から見たときのイメージ図である。

[図18]ハードウェア資源の構成を模式的に示したブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下に説明する本開示では、モード1に係る体積計測装置及びその変形モードを適宜選択して組み合わせることができる。

[0020] 前記モード1に係る体積計測装置として、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する点群変換部、を備えることが可能である。前

記体積計測装置は、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する原料山検出部を備えることが可能である。前記体積計測装置は、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する原料山体積計算部を備えることが可能である。

[0021] 前記モード1に係る体積計測装置の変形モードとして、前記原料山検出部は、前記原料山に係る点群を検出する際、前記原料山の斜面上のある平面と前記原料ヤードにおける地面とのなす角が前記安息角情報における前記安息角を満たすものを前記原料山に係る前記点群として検出することができる。また、前記体積計測装置は、前記デプスセンサから前記原料ヤードに係る前記デプス情報を取得する取得部をさらに備えることができる。また、前記点群変換部は、前記原料ヤードに係る前記点群データに変換する際、前記取得部で取得した前記原料ヤードに係る前記デプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換することができる。また、前記体積計測装置は、雨天用の安息角情報、及び、非雨天用の安息角情報を記憶する安息角記憶部をさらに備えることができる。また、前記原料山検出部は、前記原料山に係る前記点群を検出する際、前記原料ヤードの降雨を検出する雨センサが降雨を検出しているか否かを確認し、前記雨センサが降雨を検出しているときに前記安息角記憶部から前記雨天用の安息角情報を読み出し、前記雨センサが降雨を検出していないときに前記安息角記憶部から前記非雨天用の安息角情報を読み出し、読み出された前記雨天用の安息角情報、又は、前記非雨天用の安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出することができる。また、前記原料山検出部は、前記原料山に係る

前記点群を検出する際、カメラからの画像データを用いて安息角情報を計測し、計測された前記安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出することができる。また、前記原料山検出部は、前記安息角情報を計測する際、前記画像データから前記原料山の表面のテクスチャをディープラーニングにより学習したモデルを作成し、作成された前記モデルを使用して前記原料山の座標を検出し、検出された前記原料山の前記座標における前記原料ヤードに係る前記デプス情報から前記安息角情報を計測することができる。また、前記原料山検出部は、さらに、前記原料ヤードに係る前記点群データにおいて、前記原料山と前記デプスセンサとの間に存在する障害物に係る点群があるか否かを確認し、前記障害物に係る前記点群があるときに、検出された前記原料山に係る点群から前記障害物に係る前記点群を除去し、前記原料山に係る前記点群における、前記障害物に係る前記点群の除去によってできた欠損部分に係る点群を補間することができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山検出部で前記欠損部分に係る前記点群を補間した前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山非オクルージョン部の体積を計算することができる。また、前記原料山検出部は、前記欠損部分に係る前記点群を補間する際、画像補間法を用いて前記欠損部分に係る前記点群を補間することができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山検出部で前記障害物に係る前記点群がないときに、前記原料山検出部で検出された前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山非オクルージョン部の体積を計算することができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山に係る点群に基づいて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山非オクルージョン部の前記体積とすることができる。また、前記体積計測装置は、前記原料ヤードにおける壁の位置に

係る壁位置情報を記憶する壁位置記憶部をさらに備えることができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料ヤードに壁があるか否かを確認し、前記壁があるときに、前記壁位置記憶部から前記壁位置情報を読み出し、前記原料山に係る前記点群、及び、前記壁位置情報を用いて、前記原料山オクルージョン部の体積を推定することができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群から、前記原料山の頂点と前記壁との間の距離に相当する部分を切り出し、切り出された前記部分に係る点群に基づいて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山オクルージョン部の前記体積とすることができる。また、前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記壁がないときに、前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山オクルージョン部の体積を推定することができる。

[0022] 本開示では、モード2に係る体積計測システムとして、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサと、前記モード1に係る体積計測装置と、を備えることが可能である。

[0023] 本開示では、モード3に係る体積計測方法として、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換するステップを含むことができる。また、前記体積計測方法は、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出するステップを含むことができる。また、前記体積計測方法は、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン

部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算するステップを含むことができる。

[0024] 本開示では、モード4に係るプログラムとして、原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する処理をハードウェア資源に実行させることができる。また、前記プログラムは、前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する処理をハードウェア資源に実行させることができる。また、前記プログラムは、前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する処理をハードウェア資源に実行させることができる。

[0025] 以下、実施形態について図面を参照しつつ説明する。なお、本出願において図面参照符号を付している場合は、それらは、専ら理解を助けるためのものであり、図示の態様に限定することを意図するものではない。また、下記の実施形態は、あくまで例示であり、本発明を限定するものではない。また、以降の説明で参照する図面等のブロック間の接続線は、双方向及び単方向の双方を含む。一方向矢印については、主たる信号（データ）の流れを模式的に示すものであり、双方向性を排除するものではない。さらに、本願開示に示す回路図、ブロック図、内部構成図、接続図などにおいて、明示は省略するが、入力ポート及び出力ポートが各接続線の入力端及び出力端のそれぞれに存在する。入出力インタフェースも同様である。プログラムはコンピュータ装置を介して実行され、コンピュータ装置は、例えば、プロセッサ、記憶装置、入力装置、通信インタフェース、及び必要に応じ表示装置を備え、コンピュータ装置は、通信インタフェースを介して装置内又は外部の機器（

コンピュータを含む）と、有線、無線を問わず、交信可能に構成される。

[0026] [実施形態 1]

実施形態 1 に係る体積計測システムについて図面を用いて説明する。図 1 は、実施形態 1 に係る体積計測システムの構成を模式的に示したブロック図である。図 2 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置を原料ヤードに配置した状態の一例を模式的に示したイメージ図である。

[0027] 体積計測システム 1 は、原料ヤード（図 2 の 10）における原料山（図 2 の 11）の体積を計測するシステムである（図 1 参照）。体積計測システム 1 は、体積計測装置 100 と、撮影装置 200 と、を備える。

[0028] ここで、図 2 の原料ヤード 10 は 2 つあるが、これに限るものではない。各原料ヤード 10 では、地面 14 の上に原料山 11 が配され、原料山 11 の 3 方が、地面 14 に接地された壁 12 で囲まれている。原料山 11 の形状は、理想的な円錐形である必要はなく、原料山 11 において凹凸があってもよい。

[0029] 体積計測装置 100 は、原料ヤード（図 2 の 10）を撮影する撮影装置 200 を用いて、原料ヤード（図 2 の 10）における原料山（図 2 の 11）の体積を自動的に計測（管理）する装置である（図 1 参照）。体積計測装置 100 には、例えば、プロセッサ、メモリ、ネットワークインタフェース等を含むハードウェア資源（例えば、情報処理装置、コンピュータ）を用いることができる。体積計測装置 100 は、情報処理部 110 と、記憶部 120 と、入力部 130 と、出力部 140 と、通信部 150 と、を有する。

[0030] 情報処理部 110 は、情報を処理する機能部である（図 1 参照）。情報処理部 110 は、記憶部 120、入力部 130、出力部 140、及び、通信部 150 と通信可能に接続されている。情報処理部 110 は、取得部 111 と、点群変換部 112 と、原料山検出部 113 と、原料山体積計算部 114 と、を有する。情報処理部 110 には、例えば、CPU（Central Processing Unit）、MPU（Micro Processor Unit）等のプロセッサを用いることができる。この場合、情報処理部 110 は、プログラムを記憶する記憶部 120

を利用しながら、プログラムを実行することにより、仮想的な、取得部 1 1 1、点群変換部 1 1 2、原料山検出部 1 1 3、及び、原料山体積計算部 1 1 4 を構成するようにしてもよい。

[0031] 取得部 1 1 1 は、撮影装置 2 0 0 のデプスセンサ 2 0 1 で生成されたデプス情報（原料ヤード（図 2 の 1 0）に係るデプス情報；3次元データ）を取得（収集）する処理部である（図 1 参照）。

[0032] 点群変換部 1 1 2 は、取得部 1 1 1 で取得したデプス情報（原料ヤード（図 2 の 1 0）に係るデプス情報）を、点群データ（原料ヤード（図 2 の 1 0）に係る点群データ）に変換する処理部である（図 1 参照）。

[0033] 原料山検出部 1 1 3 は、点群変換部 1 1 2 で変換された点群データ（原料ヤード（図 2 の 1 0）に係る点群データ）から原料山（図 2 の 1 1）に係る点群を検出（抽出）する処理部である（図 1 参照）。

[0034] 原料山検出部 1 1 3 は、撮影装置 2 0 0 の雨センサ 2 0 5 が降雨を検出しているか否かを確認する処理を行う。なお、原料ヤード（図 2 の 1 0）が屋内にあり降雨の影響がない場合、原料山検出部 1 1 3 は降雨の検出の確認処理を省略することができる。

[0035] 原料山検出部 1 1 3 は、安息角記憶部 1 2 1 から安息角情報を読み出す処理を行う。原料山検出部 1 1 3 は、雨センサ 2 0 5 が降雨を検出していない場合、安息角記憶部 1 2 1 から非雨天用の安息角情報を読み出す。原料山検出部 1 1 3 は、雨センサ 2 0 5 が降雨を検出している場合、安息角記憶部 1 2 1 から雨天用の安息角情報を読み出す。なお、原料ヤード（図 2 の 1 0）が屋内にあり降雨の検出の確認処理を省略している場合、原料山検出部 1 1 3 は、安息角記憶部 1 2 1 から非雨天用の安息角情報を読み出す。

[0036] 原料山検出部 1 1 3 は、安息角記憶部 1 2 1 から読み出した安息角情報（非雨天用の安息角情報又は雨天用の安息角情報）を用いて、点群変換部 1 1 2 で変換された点群データ（原料ヤード（図 2 の 1 0）に係る点群データ）から原料山 1 1 に係る点群を検出する処理を行う。

[0037] 原料山検出部 1 1 3 は、点群変換部 1 1 2 で変換された点群データ（原料

ヤード（図２の１０）に係る点群データ）において、原料山（図２の１１）と撮影装置２００との間に障害物（図６の２０；例えば、柱等）に係る点群が存在するか否かを確認する処理を行う。なお、原料山（図２の１１）と撮影装置２００との間に障害物（図６の２０）がもたらない場合、原料山検出部１１３は、障害物（図６の２０）に係る点群の存在の確認処理を省略することができる。

[0038] 原料山検出部１１３は、障害物（図６の２０）に係る点群が存在する場合、検出された原料山１１に係る点群から、障害物（図６の２０）に係る点群を除去し、原料山１１に係る点群における、障害物（図６の２０）に係る点群の除去によってできた欠損部分（図７の１７）の点群を補間する。原料山検出部１１３は、障害物（図６の２０）に係る点群が存在しない場合、除去処理及び補間処理を行わない。「補間」とは、計測で得られた部位の値に基づいて、計測していない部位の値を算出することをいう。

[0039] 原料山体積計算部１１４は、原料山（図２の１１）の体積（原料の残量）を計算する処理部である（図１参照）。

[0040] 原料山体積計算部１１４は、原料山に係る点群（検出された点群、又は、補間された点群）に基づいて、原料山（図２の１１）における原料山非オクルージョン部（図８の１１ａ）の体積を計算する処理を行う。ここで、原料山非オクルージョン部１１ａは、原料山１１においてオクルージョンとならない部分（デプスセンサ２０１から撮影可能な（見える）部分）である。

[0041] 原料山体積計算部１１４は、原料山に係る点群（検出された点群、又は、補間された点群）を用いて、壁が存在するか否かを確認する処理を行う。原料山体積計算部１１４は、壁が存在する場合、壁位置記憶部１２２から壁位置情報を読み出す処理を行う。原料山体積計算部１１４は、壁が存在しない場合、壁位置記憶部１２２から壁位置情報を読み出さない。なお、もともと壁が存在しない場合、原料山体積計算部１１４は、壁の存在の確認処理、及び、壁位置情報の読み出し処理を省略することができる。

[0042] 原料山体積計算部１１４は、少なくとも原料山に係る点群（検出された点

群、又は、補間された点群）を用いて、原料山（図２の１１）における原料山オクルージョン部（図８の１１ｂ）の体積を推定する処理を行う。なお、原料山体積計算部１１４は、壁が存在する場合、さらに読み出した壁位置情報も用いて、原料山（図２の１１）における原料山オクルージョン部（図８の１１ｂ）の体積を推定する。

[0043] 原料山体積計算部１１４は、計算した原料山非オクルージョン部（図８の１１ａ）の体積と、推定された原料山オクルージョン部（図８の１１ｂ）の体積と、を合計した原料山（図２の１１）の残量（体積）を計算する処理を行う。

[0044] 記憶部１２０は、データ、プログラム等の情報を記憶する機能部である（図１参照）。記憶部１２０は、安息角記憶部１２１と、壁位置記憶部１２２と、を有する。

[0045] 安息角記憶部１２１は、原料山（図２の１１）の安息角に係る情報（安息角情報）を記憶する。安息角情報には、非雨天用の安息角情報と、雨天用の安息角情報と、がある。安息角は、一定の高さから粒子を落下させて、自発的に崩れることなく安定を保つ時に、形成する粒子の山の斜面と水平面とのなす角度である。安息角は、平坦な場所に堆積した原料山（図２の１１）の斜面と平坦面（水平面）との角度を計測して得ることができる。安息角は、原料の粒子の大きさ、粒子の角の丸みや形状等により決まるが、水分の含有量にも大きく影響されるため、安息角情報として、非雨天用の安息角情報と、雨天用の安息角情報と、が用意されている。安息角記憶部１２１への安息角情報の入力は、入力部１３０から行うことができる。なお、原料ヤード（図２の１０）が屋内にあり降雨の影響がない場合、雨天用の安息角情報を省略することができる。

[0046] 壁位置記憶部１２２は、原料ヤード（図２の１０）における壁（図２の１２）の位置に係る情報（壁位置情報）を記憶する。壁位置情報は、原料ヤード（図２の１０）の設計情報から入手したものであってもよく、レーザ距離計などの計測機を用いて計測して入手したものでよい。壁位置記憶部１２

2への壁位置情報の入力は、入力部130から行うことができる。なお、原料ヤード（図2の10）においてもとから壁（図2の12）が存在しない場合、壁位置記憶部122を省略することができる。

[0047] 入力部130は、オペレータの操作により情報を入力する機能部である（図1参照）。入力部130には、例えば、キーボード、マウス、タッチパネル、マイク、ボタン、その他の入力手段を用いることができ、図示しない通信部を介して通信可能に接続された入力部を有する情報端末等を用いてもよい。

[0048] 出力部140は、計測した原料山の体積などを表示する機能部である（図1参照）。出力部140は、例えば、表示を行うディスプレイ、印刷を行うプリンタ、その他の出力手段を用いることができ、図示しない通信部を介して通信可能に接続された出力部を有する情報端末等を用いてもよい。また、出力部140を使用する代わりに、通信部及びネットワークを通じて接続された別の情報端末等（図示せず；例えば、ユーザが使用する端末）を使用して情報を出力するようにしてもよい。

[0049] 通信部150は、撮影装置200の通信部203と通信（無線通信、有線通信）可能に接続する機能部である。通信部150は、図示しないネットワークを介して撮影装置200の通信部203と通信可能に接続してもよい。

[0050] 撮影装置200は、被写体を撮影する装置である（図1参照）。撮影装置200は、少なくとも1つの原料ヤード（図2の10）全体を俯瞰することができるように設置されている。撮影装置200は、原料ヤード（図2の10）を上方から撮影するように設置してもよい。撮影装置200は、図2のように、原料ヤード10ごとに設置してもよい。撮影装置200は、デプスセンサ201と、センサ制御部202と、通信部203と、バッテリー204と、雨センサ205と、を備える。

[0051] デプスセンサ201は、被写体を撮影して3次元データとなるデプス情報を生成するセンサである（図1参照）。デプスセンサ201には、例えば、レーザスキャナ、2Dレーザ距離計、ステレオカメラ、ToF（Time of Flight）

ght) センサ、L i D A R (Light Detection and Ranging) センサ等を用いることができる。デプスセンサ 2 0 1 は、撮影装置 2 0 0 において 1 台であることが好ましいが、2 台以上であってもよい。

[0052] センサ制御部 2 0 2 は、デプスセンサ 2 0 1 を制御する機能部である（図 1 参照）。

[0053] 通信部 2 0 3 は、体積計測装置 1 0 0 の通信部 1 5 0 と通信（無線通信、有線通信）可能に接続する機能部である（図 1 参照）。通信部 2 0 3 は、図示しないネットワークを介して体積計測装置 1 0 0 の通信部 1 5 0 と通信可能に接続してもよい。

[0054] バッテリ 2 0 4 は、撮影装置 2 0 0 の駆動電源である（図 1 参照）。バッテリー 2 0 4 の代わりに、図示しない外部電源を利用してもよい。

[0055] 雨センサ 2 0 5 は、降雨を検出するセンサである（図 1 参照）。雨センサ 2 0 5 の代わりに、インターネット経由で天気情報を取得して降雨の有無を確認する降雨確認部（図示せず）を用いてもよい。また、雨センサ 2 0 5 を用いなくて、オペレータが降雨の有無を確認して体積計測装置 1 0 0 の入力部 1 3 0 を操作して、安息角記憶部 1 2 1 における安息角情報（非雨天用の安息角情報又は雨天用の安息角情報）を選択するようにしてもよい。

[0056] 次に、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける体積計測装置の情報処理部の動作について図面を用いて説明する。図 3 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける体積計測装置の情報処理部の動作を模式的に示したフローチャート図である。図 4 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードに係る点群データの一例を模式的に示したイメージ図である。図 5 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードに係る点群データの他の例を模式的に示したイメージ図である。図 6 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤードにおいて障害物がある状態の点群データの一例を模式的に示したイメージ図である。図 7 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置の撮影位置から見た原料ヤ

ードから障害物を除去した状態に係る点群の一例を模式的に示したイメージ図である。図 8 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原料ヤードを横から見た状態の一例を模式的に示したイメージ図である。図 9 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける体積測定装置の情報処理部で作成した凸包を横から見た状態の一例を模式的に示したイメージ図である。図 10 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける体積測定装置の情報処理部で作成した凸包から抽出された 1 つの四面体の一例を模式的に示したイメージ図である。図 11 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原料ヤードを横から見た状態の他の例を模式的に示したイメージ図である。図 12 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置が撮影している原料ヤードを横から見た状態の他の例の原料山非オクルージョン部をクロップしたときのイメージ図である。図 13 は、実施形態 1 に係る体積計測システムにおける撮影装置を原料ヤードに配置した状態の他の例を模式的に示したイメージ図である。なお、体積計測システムの構成については、図 1 を参照されたい。

- [0057] 前提として、原料ヤード（図 2 の 10）内の壁 12 の位置に係る情報（壁位置情報）については事前に壁位置記憶部 122 に記憶されているものとする。また、原料山 11 の安息角に係る情報（安息角情報）についても事前に安息角記憶部 121 に記憶されているものとする。
- [0058] まず、体積計測装置 100 の情報処理部 110 の取得部 111 は、撮影装置 200 のデプスセンサ 201 で生成された原料ヤード（図 2 の 10）に係るデプス情報を取得する（図 3 のステップ A1 参照）。
- [0059] 次に、体積計測装置 100 の情報処理部 110 の点群変換部 112 は、取得部 111 で取得されたデプス情報を点群データ（原料ヤード（図 2 の 10）に係る点群データ）に変換する（図 3 のステップ A2 参照）。
- [0060] 次に、体積計測装置 100 の情報処理部 110 の原料山検出部 113 は、雨センサ 205 が降雨を検出しているか否かを確認する（図 3 のステップ A3 参照）。

- [0061] 降雨を検出していない場合（ステップA3のNO）、原料山検出部113は、安息角記憶部121から非雨天用の安息角情報を読み出す（図3のステップA4参照）。
- [0062] 降雨を検出している場合（ステップA3のYES）、原料山検出部113は、安息角記憶部121から雨天用の安息角情報を読み出す（図3のステップA5参照）。
- [0063] ステップA4又はステップA5の後、原料山検出部113は、安息角記憶部121から読み出した安息角情報（非雨天用の安息角情報又は雨天用の安息角情報）を用いて、点群変換部112で変換された原料ヤード（図2の10）に係る点群データから原料山（図4の11）に係る点群を検出（抽出）する（図3のステップA6参照）。
- [0064] 次に、原料山検出部113は、点群変換部112で変換された原料ヤード（図2の10）に係る点群データにおいて、原料山（図2の11）と撮影装置（図2の200）との間に存在する障害物（図6の20；例えば、柱等）に係る点群があるか否かを確認する（図3のステップA7参照）。障害物（図6の20）に係る点群が存在しない場合（ステップA7のNO）、ステップA9に進む。
- [0065] 障害物（図6の20）に係る点群が存在する場合（ステップA7のYES）、原料山検出部113は、ステップA6で検出（抽出）された原料山（図6の11）に係る点群から、障害物（図6の20）に係る点群を除去し、原料山（図6の11）に係る点群における、障害物（図6の20）に係る点群の除去によってできた欠損部分（図7の17）に係る点群を補間する（図3のステップA8参照）。
- [0066] 障害物（図6の20）に係る点群が存在しない場合（ステップA7のNO）、又は、ステップA8の後、体積計測装置100の情報処理部110の原料山体積計算部114は、原料山（図8の11）に係る点群（ステップA6で検出（抽出）された点群、又は、ステップA8で補間された点群）に基づいて、原料山非オクルージョン部（図8の11a）の体積を計算する（図3

のステップA 9 参照)。

[0067] 次に、原料山体積計算部 1 1 4 は、原料山 (図 2 の 1 1) に係る点群 (ステップ A 6 で検出された点群、又は、ステップ A 8 で補間された点群) を用いて、原料ヤード (図 2 の 1 0) に壁 (図 2 の 1 2) があるか否かを確認する (図 3 のステップ A 1 0 参照)。壁 (図 2 の 1 2) が存在しない場合 (ステップ A 1 0 の NO)、ステップ A 1 2 に進む。

[0068] 壁 (図 2 の 1 2) が存在する場合 (ステップ A 1 0 の YES)、原料山体積計算部 1 1 4 は、壁位置記憶部 1 2 2 から壁位置情報を読み出す (図 3 のステップ A 1 1 参照)。

[0069] 壁 (図 2 の 1 2) が存在しない場合 (ステップ A 1 0 の NO)、又は、ステップ A 1 1 の後、原料山体積計算部 1 1 4 は、原料山 (図 2 の 1 1) に係る点群 (検出された点群、又は、補間された点群) を用いて、原料山オクルージョン部 (図 8 の 1 1 b) の体積を推定する (図 3 のステップ A 1 2 参照)。ここで、ステップ A 1 1 で壁位置情報を読み出した場合、原料山体積計算部 1 1 4 は、さらに壁位置情報も用いて、原料山オクルージョン部 (図 8 の 1 1 b) の体積を推定する。

[0070] 次に、原料山体積計算部 1 1 4 は、ステップ A 9 で計算した原料山非オクルージョン部 (図 8 の 1 1 a) の体積と、ステップ A 1 2 で推定された原料山オクルージョン部 (図 8 の 1 1 b) の体積と、を合計した原料山 (図 2 の 1 1) の体積 (原料の残量) を計算する (図 3 のステップ A 1 3 参照)。

[0071] 最後に、出力部 1 4 0 は、ステップ A 1 3 で計算された原料山 (図 2 の 1 1) の体積 (原料の残量) を出力 (表示) し (図 3 のステップ A 1 4 参照)、その後、終了する。終了後、所定時間経過したときにスタートに戻り、ステップ A 1 ~ A 1 3 を行うようにしてもよい。

[0072] ここで、ステップ A 6 における、原料山 (図 4 の 1 1) に係る点群の検出方法について説明する。

[0073] 図 4 を参照すると、原料山 1 1 の斜面上のある平面 1 6 の方程式を [式 1] とし、当該平面 1 6 に垂直な法線ベクトル n_s を [式 2] とする。また、原

料ヤード１０における地面１４の方程式を〔式３〕とし、当該地面１４に垂直な法線ベクトル n_g を〔式４〕とする。平面１６と地面１４とのなす角 θ は、法線ベクトル n_s 、 n_g を用いると、〔式５〕のように表すことができる。

[0074] 〔式１〕

$$a_s x + b_s y + c_s z + d_s = 0$$

[0075] 〔式２〕

$$n_s = \begin{pmatrix} a_s \\ b_s \\ c_s \end{pmatrix}$$

[0076] 〔式３〕

$$a_g x + b_g y + c_g z + d_g = 0$$

[0077] 〔式４〕

$$n_g = \begin{pmatrix} a_g \\ b_g \\ c_g \end{pmatrix}$$

[0078] 〔式５〕

$$\cos \theta = \frac{n_s \cdot n_g}{|n_s| |n_g|}$$

[0079] 平面１６と地面１４とのなす角 θ が安息角を満たすものを原料山１１に係る点群として検出する。原料山１１に係る点群は、図５に示すように、複雑な形状をしていても同様の方法で検出することができる。

[0080] 次に、ステップＡ８における、障害物（図６の２０）に係る点群の除去、及び、欠損部分（図７の１７）に係る点群の補間について説明する。

[0081] 撮影装置（図２の２００）と原料山（図２の１１）との間に、図６に示すような柱状（直方体、円柱等）の障害物２０が存在する場合、原料山（図６の１１）に係る点群から、障害物２０に係る点群を除去すると、図７のように、欠損部分１７を有する原料山１１に係る点群が得られる。欠損部分１７は、取得できている原料山１１に係る点群に基づいて補間をする。補間方法

として、例えば、線形補間法、最近傍補間法、濃度保管法等の画像補間法が挙げられる。

[0082] 次にステップA9における、原料山（図8の11）の原料山非オクルージョン部（図8の11a）の体積計算方法について説明する。

[0083] 図8を参照すると、原料山非オクルージョン部11aの体積は、ステップA6で検出（抽出）、又は、ステップA8で補間された原料山（図8の11）に係る点群に基づいて、凸包を作成することで求めることができる。凸包は、例えば、非特許文献1に記載のQuickhull法を用いたアルゴリズムによって作成することができる。Quickhull法を用いたアルゴリズムで作成した凸包は、図9のように複数の四面体により構成される。図10のように四面体の底面積をS、高さをhとすると、四面体の体積 V_i は三角錐の体積の公式〔式6〕から算出することができる。複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、凸包全体の体積を計算し、計算された凸包全体の体積を原料山非オクルージョン部11aの体積とすることができる。

[0084] 〔式6〕

$$V_i = \frac{1}{3} Sh$$

[0085] 次に、ステップA8における、原料山（図8の11）の原料山オクルージョン部（図8の11b）の体積推定方法について説明する。

[0086] 図8を参照すると、横から見た原料山11の各頂点をA、B、Cとすると、AC間のz軸方向の距離 d_{ac} と、BC間のz軸方向の距離 d_{bc} との関係が〔式7〕を満たす場合、原料山オクルージョン部11bの体積 V_b は、原料山非オクルージョン部11aの体積 V_a とすると、〔式8〕のように表すことができる。

[0087] 〔式7〕

$$d_{ac} \leq d_{bc}$$

[0088] 〔式8〕

$$V_b = V_a \times 2$$

[0089] また、図 1 1 のように d_{ac} と d_{bc} との関係が [式 9] となる場合、図 1 2 に示すように、原料山 1 1 に係る点群（原料山非オクルージョン部 1 1 a に係る点群に相当）から原料山オクルージョン部 1 1 b に相当する部分をクロップし（原料山 1 1 の頂点 C から d_{bc} までの距離（頂点 C と壁との距離に相当）で切り出し）、クロップされた部分に係る点群の凸包を作成し、作成された凸包を構成する各四面体の体積の総和を算出することで、原料山オクルージョン部 1 1 b の体積 V_b を推定することができる。ここでの凸包による体積計算は、ステップ A 9 における原料山非オクルージョン部 1 1 a の体積計算方法と同一である。

[0090] [式 9]

$$d_{ac} > d_{bc}$$

[0091] なお、図 1 3 のように、およその積み付け範囲 1 5 が決まっている場合、原料ヤード 1 0 は原料山 1 1 の 3 方が壁に囲まれていなくてもよい。この場合、積み付け範囲 1 5 の外周に壁があるものと仮想することで前述の手順と同様の方法で原料山 1 1 の体積を計測することができる。

[0092] 以上のような体積計測システムは、スマートファクトリ領域の原料・製品の管理、鉱業における落鉱落炭の管理、食品製造業における原材料の管理、製紙業におけるチップの管理、廃棄物処理業における廃棄物の管理において利用することができる。

[0093] 実施形態 1 によれば、原料山非オクルージョン部 1 1 a の体積を計算し、かつ、原料山オクルージョン部 1 1 b の体積を推定して原料山 1 1 全体の体積を計算することで、工場の操業に影響を与えることなく、低コストかつ効率的に原料山の体積を計測するのに貢献することができる。また、実施形態 1 によれば、原料山 1 1 において一部の欠損や凹凸があっても、補間できるので、計測に影響はない。さらに、実施形態 1 によれば、非雨天用の安息角情報と雨天用の安息角情報とを使い分けて原料山 1 1 の体積を計算することで、天候の変化による誤検出を少なくすることができる。

[0094] [実施形態 2]

実施形態２に係る体積計測システムについて図面を用いて説明する。図１４は、実施形態２に係る体積計測システムの構成を模式的に示したブロック図である。

[0095] 実施形態２は、実施形態１の変形例であり、安息角記憶部（図１の１２１）及び雨センサ（図１の２０５）を用いて予め設定された雨天用及び非雨天用の安息角情報を使い分ける代わりに、撮影装置２００に設けられたカメラ２０６の画像データを用いて安息角情報をリアルタイムで計測するようにしたものである。

[0096] 撮影装置２００は、カメラ２０６を有する。カメラ２０６は、被写体を撮影して画像データを生成するカメラである。カメラ２０６は、生成した画像データを、通信部２０３を通じて体積計測装置１００に向けて出力する。カメラ２０６には、例えば、ＲＧＢ（Red Green Blue）画像データを生成することが可能な、単眼のＲＧＢカメラ、ステレオカメラを用いることができる。なお、デプスセンサ２０１が画像データを生成することが可能なものであれば、カメラ２０６を省略し、デプスセンサ２０１で生成された画像データを用いることができる。

[0097] 体積計測装置１００の情報処理部１１０の原料山検出部１１３は、降雨検出（図３のステップＡ３）、及び、安息角情報読み出し（図３のステップＡ４、Ａ５）を行わないで、取得部１１１で取得されたデプス情報とともに、カメラ２０６からの画像データを用いて、安息角情報を計測する。安息角情報の計測方法として、例えば、画像データから原料山の表面のテクスチャをディープラーニングにより学習したモデルを作成し、作成されたモデルを使用して原料山の座標を検出し、検出された原料山の座標における原料ヤードに係るデプス情報から安息角情報を計測することができる。原料山検出部１１３は、計測された安息角情報を用いて、点群変換部１１２で変換された原料ヤード（図２の１０）に係る点群データから原料山（図４の１１）に係る点群を検出（抽出）する。

[0098] その他の構成及び動作については、実施形態１と同様である。

[0099] 実施形態2によれば、実施形態1と同様に、工場の操業に影響を与えることなく、低コストかつ効率的に原料山の体積を計測するのに貢献することができる。安息角情報の計測を自動化することで、様々な要因による誤検出を少なくすることができる。

[0100] [実施形態3]

実施形態3に係る体積計測装置について図面を用いて説明する。図15は、実施形態3に係る体積計測装置の構成を模式的に示したブロック図である。図16は、実施形態3に係る体積計測装置の動作を模式的に示したフローチャート図である。

[0101] 体積計測装置100は、原料山11の体積を計測する装置である。体積計測装置100は、点群変換部112と、原料山検出部113と、原料山体積計算部114と、を有する（図15参照）。

[0102] 点群変換部112は、原料山11を有する原料ヤード10を撮影するデプスセンサ201からの原料ヤード10に係るデプス情報を原料ヤード10に係る点群データに変換する（図16のステップB1参照）。

[0103] 原料山検出部113は、原料山11の安息角に係る安息角情報を用いて原料ヤード10に係る点群データから原料山11に係る点群を検出する（図16のステップB2参照）。

[0104] 原料山体積計算部114は、原料山11に係る点群に基づいて、原料山11におけるデプスセンサ201から撮影可能な原料山非オクルージョン部11aの体積を計算する（図16のステップB3参照）。原料山体積計算部114は、少なくとも原料山11に係る点群を用いて、原料山11におけるデプスセンサ201から撮影不能な原料山オクルージョン部11bの体積を推定する（図16のステップB4参照）。原料山体積計算部114は、計算された原料山非オクルージョン部11aの体積、及び、推定された原料山オクルージョン部11bの体積を合計した原料山11の体積を計算する（図16のステップB5参照）。

[0105] 実施形態3によれば、原料山非オクルージョン部11aの体積を計算し、

かつ、原料山オクルージョン 1 1 b の体積を推定して原料山 1 1 全体の体積を計算することで、工場の操業に影響を与えることなく、低コストかつ効率的に原料山の体積を計測するのに貢献することができる。

- [0106] なお、実施形態 1 ～ 3 に係る体積計測装置は、いわゆるハードウェア資源（情報処理装置、コンピュータ）により構成することができ、図 1 8 に例示する構成を備えたものを用いることができる。例えば、ハードウェア資源 3 0 0 は、内部バス 3 0 4 により相互に接続される、プロセッサ 3 0 1、メモリ 3 0 2、ネットワークインタフェース 3 0 3 等を備える。
- [0107] なお、図 1 8 に示す構成は、ハードウェア資源 3 0 0 のハードウェア構成を限定する趣旨ではない。ハードウェア資源 3 0 0 は、図示しないハードウェア（例えば、入出力インタフェース）を含んでもよい。あるいは、ハードウェア資源 3 0 0 に含まれるプロセッサ 3 0 1 等のユニットの数も図 1 8 の例示に限定する趣旨ではなく、例えば、複数のプロセッサ 3 0 1 が装置に含まれていてもよい。プロセッサ 3 0 1 には、例えば、CPU（Central Processing Unit）、MPU（Micro Processor Unit）等を用いることができる。
- [0108] メモリ 3 0 2 には、例えば、RAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）、HDD（Hard Disk Drive）、SSD（Solid State Drive）等を用いることができる。
- [0109] ネットワークインタフェース 3 0 3 には、例えば、LAN（Local Area Network）カード、ネットワークアダプタ、ネットワークインタフェースカード等を用いることができる。
- [0110] ハードウェア資源 3 0 0 の機能は、上述の処理モジュールにより実現される。当該処理モジュールは、例えば、メモリ 3 0 2 に格納されたプログラムをプロセッサ 3 0 1 が実行することで実現される。また、そのプログラムは、ネットワークを介してダウンロードするか、あるいは、プログラムを記憶した記憶媒体を用いて、更新することができる。さらに、上記処理モジュールは、半導体チップにより実現されてもよい。即ち、上記処理モジュールが行う機能は、何らかのハードウェアにおいてソフトウェアが実行されること

によって実現できればよい。

[0111] 上記実施形態の一部又は全部は以下の付記のようにも記載され得るが、以下には限られない。

[0112] [付記 1]

本発明では、前記第 1 の視点に係る体積計測装置の形態が可能である。

[0113] [付記 2]

前記原料山検出部は、前記原料山に係る点群を検出する際、前記原料山の斜面上のある平面と前記原料ヤードにおける地面とのなす角が前記安息角情報における前記安息角を満たすものを前記原料山に係る前記点群として検出する、

付記 1 記載の体積計測装置。

[0114] [付記 3]

前記デプスセンサから前記原料ヤードに係る前記デプス情報を取得する取得部をさらに備え、

前記点群変換部は、前記原料ヤードに係る前記点群データに変換する際、前記取得部で取得した前記原料ヤードに係る前記デプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する、

付記 1 又は 2 記載の体積計測装置。

[0115] [付記 4]

雨天用の安息角情報、及び、非雨天用の安息角情報を記憶する安息角記憶部をさらに備え、

前記原料山検出部は、前記原料山に係る前記点群を検出する際、前記原料ヤードの降雨を検出する雨センサが降雨を検出しているか否かを確認し、前記雨センサが降雨を検出しているときに前記安息角記憶部から前記雨天用の安息角情報を読み出し、前記雨センサが降雨を検出していないときに前記安息角記憶部から前記非雨天用の安息角情報を読み出し、読み出された前記雨天用の安息角情報、又は、前記非雨天用の安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する、

付記 1 乃至 3 のいずれかに記載の体積計測装置。

[0116] [付記 5]

前記原料山検出部は、前記原料山に係る前記点群を検出する際、カメラからの画像データを用いて安息角情報を計測し、計測された前記安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する、

付記 1 乃至 3 のいずれかに記載の体積計測装置。

[0117] [付記 6]

前記原料山検出部は、前記安息角情報を計測する際、前記画像データから前記原料山の表面のテクスチャをディープラーニングにより学習したモデルを作成し、作成された前記モデルを使用して前記原料山の座標を検出し、検出された前記原料山の前記座標における前記原料ヤードに係る前記デプス情報から前記安息角情報を計測する、

付記 5 記載の体積計測装置。

[0118] [付記 7]

前記原料山検出部は、さらに、前記原料ヤードに係る前記点群データにおいて、前記原料山と前記デプスセンサとの間に存在する障害物に係る点群があるか否かを確認し、前記障害物に係る前記点群があるときに、検出された前記原料山に係る点群から前記障害物に係る前記点群を除去し、前記原料山に係る前記点群における、前記障害物に係る前記点群の除去によってできた欠損部分に係る点群を補間し、

前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山検出部で前記欠損部分に係る前記点群を補間した前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山非オクルージョン部の体積を計算する、

付記 1 乃至 6 のいずれかに記載の体積計測装置。

[0119] [付記 8]

前記原料山検出部は、前記欠損部分に係る前記点群を補間する際、画像補

間法を用いて前記欠損部分に係る前記点群を補間する、
付記 7 記載の体積計測装置。

[0120] [付記 9]

前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山検出部で前記障害物に係る前記点群がないときに、前記原料山検出部で検出された前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山非オクルージョン部の体積を計算する、
付記 7 又は 8 記載の体積計測装置。

[0121] [付記 10]

前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山に係る点群に基づいて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山非オクルージョン部の前記体積とする、
付記 1 乃至 9 のいずれかに記載の体積計測装置。

[0122] [付記 11]

前記原料ヤードにおける壁の位置に係る壁位置情報を記憶する壁位置記憶部をさらに備え、

前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料ヤードに壁があるか否かを確認し、前記壁があるときに、前記壁位置記憶部から前記壁位置情報を読み出し、前記原料山に係る前記点群、及び、前記壁位置情報を用いて、前記原料山オクルージョン部の体積を推定する、
付記 1 乃至 10 のいずれかに記載の体積計測装置。

[0123] [付記 12]

前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群から、前記原料山の頂点と前記壁との間の距離に相当する部分を切り出し、切り出された前記部分に係る点群に基づ

いて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山オクルージョン部の前記体積とする、

付記 11 記載の体積計測装置。

[0124] [付記 13]

前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記壁がないときに、前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山オクルージョン部の体積を推定する、

付記 11 又は 12 記載の体積計測装置。

[0125] [付記 14]

本発明では、前記第 2 の視点に係る体積計測システムの形態が可能である。

[0126] [付記 15]

本発明では、前記第 3 の視点に係る体積計測方法の形態が可能である。

[0127] [付記 16]

本発明では、前記第 4 の視点に係るプログラムの形態が可能である。

[0128] なお、上記の特許文献、非特許文献の各開示を、本書に引用をもって繰り込むものとする。本発明の全開示（特許請求の範囲及び図面を含む）の枠内において、さらにその基本的技術思想に基づいて、実施形態ないし実施例の変更・調整が可能である。また、本発明の全開示の枠内において種々の開示要素（各請求項の各要素、各実施形態ないし実施例の各要素、各図面の各要素等を含む）の多様な組み合わせないし選択（必要により不選択）が可能である。すなわち、本発明は、請求の範囲及び図面を含む全開示、技術的思想にしたがって当業者であればなし得るであろう各種変形、修正を含むことは勿論である。また、本願に記載の数値及び数値範囲については、明記がなくともその任意の中間値、下位数値、及び、小範囲が記載されているものとみなされる。さらに、上記引用した文献の各開示事項は、必要に応じ、本発明

の趣旨に則り、本発明の開示の一部として、その一部又は全部を、本書の記載事項と組み合わせて用いることも、本願の開示事項に含まれるものとみなされる。

符号の説明

- [0129] 1 体積計測システム
 - 1 0 原料ヤード
 - 1 1 原料山
 - 1 1 a 原料山非オクルージョン部
 - 1 1 b 原料山オクルージョン部
 - 1 2 壁
 - 1 3 カメラ
 - 1 4 地面
 - 1 5 積み付け範囲
 - 1 6 平面
 - 1 7 欠損部分
 - 2 0 障害物
 - 1 0 0 体積計測装置
 - 1 1 0 情報処理部
 - 1 1 1 取得部
 - 1 1 2 点群変換部
 - 1 1 3 原料山検出部
 - 1 1 4 原料山体積計算部
 - 1 2 0 記憶部
 - 1 2 1 安息角記憶部
 - 1 2 2 壁位置記憶部
 - 1 3 0 入力部
 - 1 4 0 出力部
 - 1 5 0 通信部

- 2 0 0 撮影装置
- 2 0 1 デプスセンサ
- 2 0 2 センサ制御部
- 2 0 3 通信部
- 2 0 4 バッテリ
- 2 0 5 雨センサ
- 2 0 6 カメラ
- 3 0 0 ハードウェア資源
- 3 0 1 プロセッサ
- 3 0 2 メモリ
- 3 0 3 ネットワークインタフェース
- 3 0 4 内部バス

請求の範囲

- [請求項1] 原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する点群変換部と、
- 前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する原料山検出部と、
- 前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する原料山体積計算部と、
- を備える、
- 体積計測装置。
- [請求項2] 前記原料山検出部は、前記原料山に係る点群を検出する際、前記原料山の斜面上のある平面と前記原料ヤードにおける地面とのなす角が前記安息角情報における前記安息角を満たすものを前記原料山に係る前記点群として検出する、
- 請求項1記載の体積計測装置。
- [請求項3] 雨天用の安息角情報、及び、非雨天用の安息角情報を記憶する安息角記憶部をさらに備え、
- 前記原料山検出部は、前記原料山に係る前記点群を検出する際、前記原料ヤードの降雨を検出する雨センサが降雨を検出しているか否かを確認し、前記雨センサが降雨を検出しているときに前記安息角記憶部から前記雨天用の安息角情報を読み出し、前記雨センサが降雨を検出していないときに前記安息角記憶部から前記非雨天用の安息角情報

を読み出し、読み出された前記雨天用の安息角情報、又は、前記非雨天用の安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する、
請求項 1 又は 2 記載の体積計測装置。

[請求項4] 前記原料山検出部は、前記原料山に係る前記点群を検出する際、カメラからの画像データを用いて安息角情報を計測し、計測された前記安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する、
請求項 1 又は 2 記載の体積計測装置。

[請求項5] 前記原料山検出部は、さらに、前記原料ヤードに係る前記点群データにおいて、前記原料山と前記デプスセンサとの間に存在する障害物に係る点群があるか否かを確認し、前記障害物に係る前記点群があるときに、検出された前記原料山に係る点群から前記障害物に係る前記点群を除去し、前記原料山に係る前記点群における、前記障害物に係る前記点群の除去によってできた欠損部分に係る点群を補間し、
前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山検出部で前記欠損部分に係る前記点群を補間した前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山非オクルージョン部の体積を計算する、
請求項 1 乃至 4 のいずれかーに記載の体積計測装置。

[請求項6] 前記原料山体積計算部は、前記原料山非オクルージョン部の前記体積を計算する際、前記原料山に係る点群に基づいて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山非オクルージョン部の前記体積とする、
請求項 1 乃至 5 のいずれかーに記載の体積計測装置。

[請求項7] 前記原料ヤードにおける壁の位置に係る壁位置情報を記憶する壁位

置記憶部をさらに備え、

前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料ヤードに壁があるか否かを確認し、前記壁があるときに、前記壁位置記憶部から前記壁位置情報を読み出し、前記原料山に係る前記点群、及び、前記壁位置情報を用いて、前記原料山オクルージョン部の体積を推定する、

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の体積計測装置。

[請求項8]

前記原料山体積計算部は、前記原料山オクルージョン部の前記体積を推定する際、前記原料山に係る前記点群から、前記原料山の頂点と前記壁との間の距離に相当する部分を切り出し、切り出された前記部分に係る点群に基づいて、複数の四面体から構成される凸包を作成し、前記複数の四面体のそれぞれの体積の総和を算出することで、前記凸包全体の体積を計算し、計算された前記凸包全体の前記体積を前記原料山オクルージョン部の前記体積とする、

請求項 7 記載の体積計測装置。

[請求項9]

原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサと、

請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の体積計測装置と、

を備える、

体積計測システム。

[請求項10]

原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換するステップと、

前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出するステップと、

前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山におけ

る前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算するステップと、
を含む、
体積計測方法。

[請求項11]

原料山を有する原料ヤードを撮影するデプスセンサからの前記原料ヤードに係るデプス情報を前記原料ヤードに係る点群データに変換する処理と、

前記原料山の安息角に係る安息角情報を用いて前記原料ヤードに係る前記点群データから前記原料山に係る点群を検出する処理と、

前記原料山に係る前記点群に基づいて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影可能な原料山非オクルージョン部の体積を計算し、少なくとも前記原料山に係る前記点群を用いて、前記原料山における前記デプスセンサから撮影不能な原料山オクルージョン部の体積を推定し、計算された前記原料山非オクルージョン部の前記体積、及び、推定された前記原料山オクルージョン部の前記体積を合計した前記原料山の体積を計算する処理と、
をハードウェア資源に実行させる、
プログラム。