

(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2015-197329

(P2015-197329A)

(43) 公開日 平成27年11月9日(2015.11.9)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 B 21/00 GO 8 C 19/00	(2006.01) (2006.01)	GO 1 B 21/00 GO 8 C 19/00 3 O 1 A
		G 2 F 0 6 9 2 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 35 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2014-74378 (P2014-74378)	(71) 出願人	000006208 三菱重工業株式会社 東京都港区港南二丁目16番5号
(22) 出願日	平成26年3月31日 (2014.3.31)	(74) 代理人	100102864 弁理士 工藤 実
		(74) 代理人	100117617 弁理士 中尾 圭策
		(72) 発明者	松波 夏樹 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	田見 智宏 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

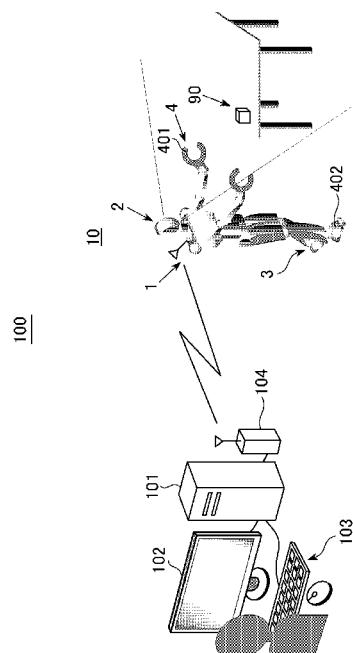
(54) 【発明の名称】データ伝送システム、データ伝送装置、データ伝送方法、及びデータ伝送プログラム

## (57) 【要約】 (修正有)

【課題】遠隔操作端末側において点群データによる画像に対する視認性を確保しながら、当該遠隔操作端末側に転送される点群データのデータ量を削減する。

【解決手段】データ伝送装置100は、計測された点群データに基づいて、遠隔操作端末101に対する転送対象データを選定する。この際、所定の範囲の領域における転送対象データのデータ量の上限が決められる。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

遠隔操作端末からの制御信号に応じて動作が制御されるアクチュエータと、  
3次元座標を含む点群データを計測する3次元センサと、  
前記点群データに基づいて転送対象データを選定するデータ選定部と、  
前記転送対象データを前記遠隔操作端末に送信する通信部と  
を具備し、  
前記データ選定部は、所定の範囲の領域における転送対象データのデータ量の上限を決  
める  
データ伝送装置。

10

**【請求項 2】**

請求項1に記載のデータ伝送装置において、  
前記データ選定部は、複数のセルを有する3次元グリッドを、計測された前記点群データの分布する領域に仮想的に配置し、前記複数のセルの各々に設定された上限以下の点群データを当該セル内の転送対象データとして選定する  
データ伝送装置。

**【請求項 3】**

請求項2に記載のデータ伝送装置において、  
前記データ選定部は、所定の範囲の第1領域内の点群データの転送率を、他の第2領域  
内の点群データの転送率よりも多く設定し、  
前記転送率は、セル内の点群データのデータ量に対する、転送対象データのデータ量の  
割合を規格化した値を示す  
データ伝送装置。

20

**【請求項 4】**

請求項3に記載のデータ伝送装置において、  
前記第1領域内のセルの大きさは前記第2領域内のセルと等しく、  
前記第1領域内のセル内の点群データの数の上限は、前記第2領域のセル内の点群データの上  
限よりも多く設定され、  
前記データ選定部は、セル内の前記上限以下の点群データを転送対象データとして選定  
する  
データ伝送装置。

30

**【請求項 5】**

請求項3に記載のデータ伝送装置において、  
前記第1領域内のセルの大きさは、前記第2領域内のセルよりも小さく、  
前記第1領域内のセル内の点群データの数の上限と、前記第2領域のセル内の点群データの上  
限は等しく設定され、  
前記データ選定部は、セル内の前記上限以下の点群データを転送対象データとして選定  
する  
データ伝送装置。

40

**【請求項 6】**

請求項3から5のいずれか1項に記載のデータ伝送装置において、  
前記第1領域は、前記アクチュエータによって駆動される腕部に設けられたエンドエフ  
エクタの周辺領域を含む  
データ伝送装置。

**【請求項 7】**

請求項3から5のいずれか1項に記載のデータ伝送装置において、  
前記第1領域は、前記遠隔操作端末によって指定される  
データ伝送装置。

**【請求項 8】**

請求項3に記載のデータ伝送装置において、

50

前記複数のセルの各々は、仮想視線の方向、及び当該方向に直交する方向に延びる直線によって囲まれたセルであって、

仮想視点側から前記仮想視線の方向に見える点群データが位置するセルが前記第1領域として設定され、

他のセルが第2領域として設定される  
データ伝送装置。

**【請求項9】**

請求項8に記載のデータ伝送装置において、  
前記第2領域内の点群データの全ては転送対象データから除外される  
データ伝送装置。

10

**【請求項10】**

請求項1に記載のデータ伝送装置において、  
前記データ選定部は、所定の領域内における前記点群データに対する主成分分析結果に応じた値を、前記所定の領域内における転送対象データとして選定する  
データ伝送装置。

**【請求項11】**

請求項10に記載のデータ伝送装置において、  
前記主成分分析によって得られた固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の値が、 $d_1 > > d_2 > d_3 > 0$  の場合、  
前記データ選定部は、固有値  $d_1$  に対応した固有ベクトル  $e_1$ 、及び固有値  $d_1$  を、前記所定の領域内における転送対象データとして選定する  
データ伝送装置。

20

**【請求項12】**

請求項10又は11に記載のデータ伝送装置において、  
前記主成分分析によって得られた固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の値が、 $d_1 > d_2 > > d_3 > 0$  の場合、  
前記データ選定部は、固有値  $d_1$  に対応した固有ベクトル  $e_1$ 、固有値  $d_1$ 、固有値  $d_2$  に対応した固有ベクトル  $e_2$ 、及び固有値  $d_2$  を、前記所定の領域内における転送対象データとして選定する  
データ伝送装置。

30

**【請求項13】**

請求項10から12のいずれか1項に記載のデータ伝送装置において、  
前記主成分分析によって得られた固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の値が、 $d_1 > d_2 > d_3 > > 0$  の場合、  
前記データ選定部は、前記所定の領域内における点群データを転送対象データとして選定する  
データ伝送装置。

**【請求項14】**

請求項10から13のいずれか1項に記載のデータ伝送装置において、  
前記主成分分析によって得られた固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の値が、 $d_1 > d_2 > d_3 > 0$  の場合、  
前記データ選定部は、前記所定の領域内における全ての点群データを転送対象から除外する  
データ伝送装置。

40

**【請求項15】**

請求項1から14のいずれか1項に記載のデータ伝送装置において、  
前記通信部は、前記遠隔操作端末に対し、前記転送対象データを送信した後に、前記計測された点群データから前記転送対象データを除くデータの少なくとも一部を送信する  
データ伝送装置。

**【請求項16】**

50

請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送装置において、  
前記計測された全ての点群データを利用して、前記アクチュエータを自律制御するコン  
トローラを更に具備する  
データ伝送装置。

## 【請求項 17】

請求項 1 から 16 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送装置において、  
前記通信部は、前記転送対象データとともに、計測された色情報を前記遠隔操作端末に  
送信する  
データ伝送装置。

## 【請求項 18】

請求項 1 から 17 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送装置と、  
前記遠隔操作端末と  
を具備し、  
前記遠隔操作端末は、前記データ伝送装置から転送された前記転送対象データに基づい  
て前記 3 次元センサの計測対象形状の表示画像を生成する  
データ伝送システム。

## 【請求項 19】

遠隔操作装置からの制御信号に応じて動作が制御されるアクチュエータを備える装置に  
によるデータ伝送方法において、

3 次元座標を含む点群データを計測するステップと、

前記点群データに基づいて転送対象データを選定するステップと、  
前記転送対象データを前記遠隔操作装置に送信するステップと  
を具備し、

所定の範囲の領域における転送対象データのデータ量の上限が決められる  
データ伝送方法。

## 【請求項 20】

請求項 19 に記載のデータ伝送方法において、  
前記選定するステップは、

複数のセルを有する 3 次元グリッドを、計測された前記点群データの分布する領域に仮  
想的に配置し、前記複数のセルの各々に設定された上限以下の点群データを、当該セル内  
の転送対象データとして選定する

データ伝送方法。

## 【請求項 21】

請求項 20 に記載のデータ伝送方法において、

前記選定するステップは、所定の範囲の第 1 領域内の点群データの削減率を、他の第 2  
領域内の点群データの削減率よりも少なく設定するステップを備え

前記削減率は、セル内の点群データのデータ量に対する、転送対象から除外された点群  
データのデータ量の割合を規格化した値を示す

データ伝送方法。

## 【請求項 22】

請求項 21 に記載のデータ伝送方法において、

前記第 1 領域内のセルの大きさは前記第 2 領域内のセルと等しく、

前記第 1 領域内のセル内の点群データの数の上限は、前記第 2 領域のセル内の点群データ  
の上限よりも多く設定され、

前記選定するステップは、セル内の前記上限以下の点群データを転送対象データとして  
選定するステップを備える

データ伝送方法。

## 【請求項 23】

請求項 22 に記載のデータ伝送方法において、

前記第 1 領域内のセルの大きさは、前記第 2 領域内のセルよりも小さく、

10

20

30

40

50

前記第1領域内のセル内の点群データの数の上限と、前記第2領域のセル内の点群データの上限は等しく設定され、

前記選定するステップは、セル内の前記上限以下の点群データを転送対象データとして選定するステップを備える

データ伝送方法。

【請求項24】

請求項21から23のいずれか1項に記載のデータ伝送方法において、

前記第1領域は、前記アクチュエータによって駆動される腕部に設けられたエンドエフェクタの周辺領域を含む

データ伝送方法。

10

【請求項25】

請求項21から24のいずれか1項に記載のデータ伝送方法において、

前記第1領域は、前記遠隔操作端末によって指定される

データ伝送方法。

【請求項26】

請求項21に記載のデータ伝送方法において、

前記複数のセルの各々は、仮想視線の方向、及び当該方向に直交する方向に延びる直線によって囲まれたセルであって、

仮想視点側から前記仮想視線の方向に見える点群データが位置するセルが前記第1領域として設定され、

20

他のセルが第2領域として設定される

データ伝送方法。

【請求項27】

請求項26に記載のデータ伝送方法において、

前記第2領域内の点群データの全ては転送対象データから除外される

データ伝送方法。

【請求項28】

請求項19に記載のデータ伝送方法において、

前記選定するステップは、所定の領域内における前記点群データに対する主成分分析結果に応じた値を、前記所定の領域内における転送対象データとして選定するステップを備える

30

データ伝送方法。

【請求項29】

請求項28に記載のデータ伝送方法において、

前記主成分分析によって得られた固有値d1、d2、d3の値が、d1 > > d2 d3 0の場合、

固有値d1に対応した固有ベクトルe1、及び固有値d1が、前記所定の領域内における転送対象データとして選定される

データ伝送方法。

【請求項30】

請求項28又は29に記載のデータ伝送方法において、

前記主成分分析によって得られた固有値d1、d2、d3の値が、d1 d2 > > d3 0の場合、

固有値d1に対応した固有ベクトルe1、固有値d1、固有値d2に対応した固有ベクトルe2、及び固有値d2が、前記所定の領域内における転送対象データとして選定される

40

データ伝送方法。

【請求項31】

請求項28から30のいずれか1項に記載のデータ伝送方法において、

前記主成分分析によって得られた固有値d1、d2、d3の値が、d1 d2 d3 >

50

> 0 の場合、

前記所定の領域内における点群データが転送対象データとして選定されるデータ伝送方法。

**【請求項 3 2】**

請求項 2 8 から 3 1 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送方法において、

前記主成分分析によって得られた固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の値が、 $d_1 > d_2 > d_3$  の場合、

前記所定の領域内における全ての点群データは転送対象から除外されるデータ伝送方法。

**【請求項 3 3】**

10

請求項 1 9 から 3 2 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送方法において、

転送対象データを送信するステップは、前記遠隔操作端末に対し、前記転送対象データを送信するステップと、前記転送対象データの送信後に、前記計測された点群データから前記転送対象データを除くデータの少なくとも一部を送信するステップを備える

データ伝送方法。

**【請求項 3 4】**

請求項 1 9 から 3 3 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送方法において、

送信するステップは、前記転送対象データとともに、計測された色情報を前記遠隔操作端末に送信するステップを備える

データ伝送方法。

20

**【請求項 3 5】**

請求項 1 9 から 3 4 のいずれか 1 項に記載のデータ伝送方法をコンピュータに実行させるデータ伝送プログラム。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0 0 0 1】**

本発明は、データ伝送システム、データ伝送装置、データ伝送方法、及びデータ伝送プログラムに関し、特に、3 次元点群データを遠隔装置に伝送するデータ伝送装置、データ伝送方法、及びデータ伝送プログラムに関する。

**【背景技術】**

30

**【0 0 0 2】**

3 次元センサにより 3 次元形状を計測し、3 次元座標を示す点群データ（ポイントクラウドとも称す）を取得する技術が知られている。点群データを取得する 3 次元センサとしてレーザスキャナやステレオカメラが例示される。例えば、レーザスキャナは、レーザの照射光と反射光により、計測対象物の表面の 3 次元位置座標（点群データ）を測定する。具体的には、レーザスキャナは、計測対象物とセンサとの間におけるレーザ光の往復時間及びレーザ光の照射角度から計測対象物の表面の 3 次元位置座標を取得する。この際、レーザスキャナとは別に設けられたカメラ等によって取得した色情報を点群データと合成することで、計測対象物の 3 次元形状を視認し易くすることができる。

**【0 0 0 3】**

40

通常、3 次元センサによって取得された点群データのデータ量は多いことから、点群データを解析して 3 次元形状をモデリングする場合、計算量を低減するために点群データのデータ量を削減する処理が行われる。例えば、スキャナ位置を変更して点群データを取得し、各位置における点群データを合成して広範囲の領域の形状を得ようとする場合、取得した点群データの位置合わせ（マッチング処理）を行う必要がある。この場合、マッチング処理における計算量を低減するため、点群データのデータ量を削減することが知られている。マッチング処理のために点群データのデータ量を削減する技術が、例えば、「Fast range-independent spherical subsampling of 3D laser scanner points and data reduction performance evaluation for scene」

50

e registration」に記載されている（非特許文献 1 参照）。

#### 【0004】

非特許文献 1 には、球面座標系においてデータ間隔が一定になるように点群データを削減する技術が記載されている。マッチング処理を行うためには、物体の形状情報が保持されたままで点群データを削減する必要がある。このため、非特許文献 1 に記載の方法では、データ計測範囲全体に対して削減後の点群データの間隔が、できるだけ一定になるように点群データの数を削減している。

#### 【0005】

又、点群データのデータ量が多いことから、計測された全ての点群データを他の装置に転送する場合も、多くの時間が必要となる。例えば、遠隔操作端末によって制御される移動型ロボットに 3 次元スキャナを搭載した場合、移動型ロボット周辺の形状（例えば周辺地形）が点群データとして遠隔操作端末に転送される。遠隔操作端末を操作するユーザは、転送された点群データを加工して生成された形状画像（例えば地形画像）により、移動型ロボットの周辺状況を把握し、移動型ロボットの次の動作を指示することができる。このとき、点群データの転送時間が多くかかる場合、移動型ロボットの次の動作を指示するまでに要する時間が長くなり、ロボットのミッション遂行時間の長大化につながる。このため、遠隔操作される移動型ロボットから操作端末に対して点群データを転送する場合、点群データのデータ量を削減して点群データの転送時間を短縮化することが求められている。特に、移動型ロボットと遠隔操作端末間のデータ伝送路の伝搬環境が悪い場合（例えば伝送容量が小さい場合）、転送する点群データのデータ量を削減することが強く求められている。

#### 【0006】

更に、遠隔操作を行う際、ロボットの周辺形状に対する視認性を確保する必要がある。このため、視認性を維持しながら、転送する点群データを削減することが求められている。

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0007】

【非特許文献 1】Anthony Mandow 他 3 名、「Fast range-independent spherical subsampling of 3D laser scanner points and data reduction performance evaluation for scene registration」、Journal Pattern Recognition Letters、Volume 31 Issue 11, Pages 1239-1250、2010 年 8 月

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

本発明の目的は、遠隔操作端末側において点群データによる画像に対する視認性を確保しながら、当該遠隔操作端末側に転送される点群データのデータ量を削減するデータ伝送システム、データ伝送装置、データ伝送方法、及びデータ伝送プログラムを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

上記の課題を解決するために、本発明は、以下に述べられる手段を採用する。その手段を構成する技術的事項の記述には、[特許請求の範囲] の記載と [発明を実施するための最良の形態] の記載との対応関係を明らかにするために、[発明を実施するための最良の形態] で使用される番号・符号が付加されている。但し、付加された番号・符号は、[特許請求の範囲] に記載されている発明の技術的範囲を限定的に解釈するために用いてはならない。

**【0010】**

本発明によるデータ伝送装置(100)は、アクチュエータ(16)、3次元センサ(2)と、データ選定部(12)、及び通信部(14)を具備する。アクチュエータ(16)は、遠隔操作装置(101)からの制御信号に応じて動作が制御される。3次元センサ(2)は、3次元座標を含む点群データ(20)を計測する。データ選定部(12)は、計測された点群データ(20)に基づいて転送対象データを選定する。通信部(14)は、選定された転送対象データを遠隔操作端末(101)に送信する。ここで、データ選定部(12)は、所定の範囲の領域における転送対象データのデータ量の上限を決める。

**【0011】**

本発明によるデータ伝送方法は、遠隔操作装置(101)からの制御信号に応じて動作が制御されるアクチュエータ(16)を備える装置によるデータ伝送方法であって、以下のステップを具備する。すなわち、本発明によるデータ伝送方法は、3次元在表を含む点群データを計測するステップと、点群データ(20)に基づいて、転送対象データを選定するステップと、転送対象データを遠隔操作装置に送信するステップを具備する。ここで、所定の範囲の領域における転送対象データのデータ量の上限が決められる。

10

**【0012】**

本発明によるデータ伝送方法は、記憶媒体に記録されたプログラムをコンピュータによって実行することで実現されることが好ましい。

**【発明の効果】**

20

**【0013】**

本発明によれば、遠隔操作端末側において点群データによる画像に対する視認性を確保しながら、当該遠隔操作端末側に転送される点群データのデータ量を削減することができる。

**【画面の簡単な説明】****【0014】**

30

【図1】図1は、本発明によるデータ伝送システムの構成の一例を示す図である。

【図2】図2は、本発明に係るロボットによって取得される点群データの一例を示す図である。

【図3】図3は、本発明によるデータ伝送システムの構成の詳細の一例を示す図である。

【図4】図4は、本発明に係るロボットによって取得される点群データと計測対象物の概念図である。

40

【図5】図5は、本発明に係るロボットによって取得される点群データに対して配置されるグリッドの一例を示す図である。

【図6】図6は、本発明による転送データの削減方法の一例を示す図である。

【図7】図7は、本発明による転送データの削減方法の第1の実施の形態を示す図である。

【図8】図8は、本発明に係るロボットによって取得された点群データの一例を示す図である。

【図9】図9は、本発明による転送データの削減処理において、点群データに対するグリッドの配置例を示す図である。

50

【図10】図10は、第1の実施の形態における転送データの削減方法の一例を示す図である。

【図11】図11は、第1の実施の形態における転送データの削減方法の他の一例を示す図である。

【図12】図12は、第1の実施の形態における転送データのデータ量を削減した後の点群データの一例を示す図である。

【図13】図13は、第1の実施の形態における転送データの削減方法の更に他の一例を示す図である。

【図14】図14は、第1の実施の形態における転送データのデータ量を削減した後の点群データの他の一例を示す図である。

【図15】図15は、第2の実施の形態における転送データの削減方法において、点群データが1次元状に分布する場合の転送データ量の削減例を示す図である。

【図16】図16は、第2の実施の形態における転送データの削減方法において、点群データが2次元状に分布する場合の転送データ量の削減例を示す図である。

【図17】図17は、第2の実施の形態における転送データの削減方法において、点群データが3次元状に分布する場合の転送データ量の削減例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。図面において同一、又は類似の参照符号は、同一、類似、又は等価な構成要素を示している。同一の構成を個別に示す場合は参照符号に追番を付して説明する。

【0016】

(概要)

本発明によるデータ伝送システムは、遠隔操作されるロボットによって取得された点群データを、所定の範囲の領域における点群データに基づいて、当該領域に対応する転送対象データのデータ量の上限を決める。これにより、転送データの粗密を制御することができるため、通信量を削減しながら、計測対象の形状の粗密を任意に選択することができる。例えば、3次元グリッドによって仮想的に覆い、グリッド内の点群データを所定のアルゴリズムに従って削減する。ロボットはデータ量が削減された点群データを遠隔操作端末に送信する。遠隔操作端末は、点群データに基づいてロボットの周辺形状画像を作成し、視認可能に出力する。ユーザは、出力された周辺形状画像を見ながら、遠隔操作端末を操作することでロボットの動作を制御する。

【0017】

(構成)

図1及び図2を参照して、本発明によるデータ伝送システム100の構成の一例を説明する。図1は、本発明によるデータ伝送システム100の構成の一例を示す図である。図2は、本発明によるデータ伝送システム100の構成の詳細の一例を示す図である。

【0018】

図1を参照して、本発明によるデータ伝送システム100は、遠隔操作端末101及びロボット10を具備する。ロボット10は、遠隔操作端末101からの指示(制御信号)に応じて移動、又は、後述する腕部4(マニピュレータ)の動作が制御される。例えば、ロボット10は、遠隔操作端末101からの指示により、「目標物90近傍まで移動し、目標物90を現在位置から他の位置に移動する」というオペレーションを実行する。この際、ロボット10は、3次元センサ2によって取得した周辺領域の点群データ20を遠隔操作端末101に送信する。ユーザは、点群データ20に基づいて作成されたロボット10の周辺における表面形状画像を確認しながら、遠隔操作端末101を操作することにより、ロボット10に次の動作を指示する。

【0019】

以下、図1及び図2を参照して、データ伝送システム100の構成の詳細を説明する。

【0020】

遠隔操作端末101は、出力装置102、入力装置103、伝送装置104に接続される。遠隔操作端末101はコンピュータ装置に例示され、図示しないCPU及び記憶装置を具備する。遠隔操作端末101は、ロボット10の動作を制御するとともに、ロボット10から送信される点群データ20に基づいて計測対象の表面形状を画像化し、出力装置102に視認可能に出力する。遠隔操作端末101の構成の詳細は後述する。出力装置102は、モニタやプリンタに例示され、遠隔操作端末101から出力される画像情報を視認可能に出力する。入力装置103は、キーボード、タッチパネル、マウス、又はジョイスティック等に例示され、ユーザによって操作されることで各種情報を遠隔操作端末101に入力するインターフェース装置である。伝送装置104は、遠隔操作端末101とロボット10(伝送装置1)との間のデータや信号の伝送を制御する通信インターフェース装置

10

20

30

40

50

である。詳細には、伝送装置 104 は、無線回線又は有線回線のいずれか、又は両方の回線により、ロボット 10 に搭載された伝送装置 1 との間に伝送路を構築し、遠隔操作端末 101 とロボット 10 との間のデータ伝送を制御する。

【0021】

尚、遠隔操作端末 101、出力装置 102、入力装置 103、伝送装置 104 は、図 1 に示すように、それぞれ個別の装置として設けられてもよいが、全て又はいずれかが一体として設けられてもよい。例えば、出力装置 102 及び入力装置 103 を一体とした形態は、タッチパネルにより実現できる。又、遠隔操作端末 101 と伝送装置 104 を一体とした形態は、通信機能付きのコンピュータ装置によって実現できる。更に、遠隔操作端末 101、出力装置 102、入力装置 103、伝送装置 104 の全てが搭載された形態として、タッチパネル式の携帯電話（俗にスマートフォンと称す）や通信機能付きの P D A (Personal Digital Assistants) によって実現できる。

10

【0022】

ロボット 10 は、伝送装置 1、3 次元センサ 2、脚部 3、腕部 4 を備える。ロボット 10 は、3 次元センサ 2 によって計測した点群データ 20 のデータ量を所定のアルゴリズムに従って削減してから遠隔操作端末 101 に転送するデータ伝送装置として機能する。

【0023】

伝送装置 1 は、ロボット 10 と遠隔操作端末 101 との間のデータや信号の伝送を制御するインターフェース装置である。詳細には、伝送装置 1 は、無線回線又は有線回線のいずれか、又は両方の回線により、遠隔操作端末 101 に接続された伝送装置 104 との間に伝送路を構築し、ロボット 10 と遠隔操作端末 101 との間のデータ伝送を制御する。

20

【0024】

3 次元センサ 2 は、レーザスキャナやステレオカメラに例示され、ロボット 10 周辺における計測対象物の表面の 3 次元位置座標を点群データ 20（ポイントクラウドとも称す）として取得する。例えば、3 次元センサ 2 として利用し得るレーザスキャナは、三角法方式、タイム・オブ・ライト方式、位相差方式（フェイズ・シフト）のいずれかの方式によって点群データ 20 を計測する。

【0025】

図 2 を参照して、3 次元センサ 2 による点群データ 20 の計測範囲（走査範囲）の一例を説明する。ここで、3 次元センサ 2 の計測位置を原点 O<sub>s</sub> とし、計測した点群データ 20 の座標系を (X<sub>s</sub>, Y<sub>s</sub>, Z<sub>s</sub>) とする。3 次元センサ 2 は、レーザを、その照射角が原点 O<sub>s</sub> を中心に方位角、仰俯角の範囲で走査し、この範囲内の計測対象物からの反射光に基づいて、当該対象物の表面の 3 次元座標を点群データ 20 として計測する。ロボット 10 は、脚部 3 によって移動し複数の位置において点群データ 20 の計測を行い、計測した点群データ 20 をマッチング合成することで、所望の範囲の点群データ 20 を取得することができる。

30

【0026】

図 1 を参照して、脚部 3 は、後述するアクチュエータ 16 によって駆動され、ロボット 10 を任意の位置に移動させる移動手段である。本実施例では脚部 3 として関節及びリンクを有する脚を一例に説明するが、モータやエンジンによって回転する回転体（例えば車輪）が脚部 3 としてロボット 10 に搭載されてもよい。脚部 3 における脚の数、形状、関節数（リンク数）は、図示した数や形状に限定されず任意に設定できる。腕部 4 は、後述するアクチュエータ 16 によって駆動され、関節、リンク及びエンドエフェクタ 401 を有するマニピュレータ（アームとも称す）に例示される。エンドエフェクタ 401 は、通常、腕部 4 の先端に設けられ、対象物に対し物理的な作用（力学的作用、電磁気的作用、熱力学的作用）を与える機構を有することが好ましい。具体的には、エンドエフェクタ 401 は、対象物を把持、塗装、溶接、電磁気的センサ、各種計測機器等に例示される。本一例における腕部 4 には、対象物を把持（ハンドリング）するロボットハンドがエンドエフェクタ 401 として設けられている。腕部 4 における腕の数、形状、関節数（リンク数）、エンドエフェクタ 401 の構造は、図示した数や形状に限定されず任意に設定できる

40

50

。

### 【0027】

図3を参照して、本発明による遠隔操作端末101及びロボット10の構成の詳細を説明する。遠隔操作端末101では、図示しない記憶装置に格納されたプログラムをCPUが実行することにより、通信部201、表示部202、及び制御部203の各機能が実現される。通信部201、表示部202、及び制御部203の各機能は、ハードウェアのみ、又はソフトウェアとハードウェアの連携によって実現されても構わない。

### 【0028】

通信部201は、図1に示す伝送装置104を制御してロボット10における伝送装置1との間の通信を制御する。詳細には、通信部201は、制御部203からの制御信号を、伝送装置104を介してロボット10における伝送装置1に転送する。あるいは、ロボット10から転送された点群データ20を表示部202に出力する。表示部202は、出力装置102に表示させる画像情報を生成する。詳細には、表示部202は、通信部201から入力された点群データ20を利用して、計測対象物の表面形状を表示するための画像情報を作成し、出力装置102に出力する。例えば、表示部202は、点群データ20に対してエッジ検出、ノイズ除去による平滑化、法線抽出等の処理を経て、計測対象物の表面形状を表示するための画像情報を算出する。制御部203は、入力装置103からの入力信号に応じた制御信号を生成し、通信部201に出力する。ロボット10は、制御部203から出力された制御信号に応じて、例えば、脚部3や腕部4の運動や、点群データ20の取得動作が制御される。

10

20

20

### 【0029】

ロボット10は、図示しないCPUや記憶装置を具備する。ロボット10では、図示しない記憶装置に格納されたプログラムをCPUが実行することにより、点群座標算出部11、データ選定部12、認識部13、通信部14、及びコントローラ15の各機能が実現される。点群座標算出部11、データ選定部12、認識部13、通信部14、及びコントローラ15の各機能は、ハードウェアのみ、又はソフトウェアとハードウェアの連携によって実現されても構わない。

30

### 【0030】

点群座標算出部11は、3次元センサ2によって測定された、計測対象物と当該センサとの間の時間及び照射角度(反射角度)を用いて、測定点の3次元位置座標(X, Y, Z)を点群データ20として算出する。又、点群座標算出部11は、複数の位置において3次元センサ2によって得られた点群データ20をそれぞれの位置座標に応じてマッチングし、計測領域全体の点群データ20として抽出することが好ましい。点群座標算出部11によって算出された点群データ20は、データ選定部12に出力される。ここで、ロボット10は、3次元センサ2の他に、ロボット周辺の地形や対象物の形状の視認性を高めるための色情報(RGB)を取得するCCDカメラを搭載しても構わない。この場合、点群座標算出部11は、点群データ20と色情報とを合成(カラーマッチング)しても構わない。しかし、遠隔操作端末101へのデータ伝送量を低減するため、あるいは、ロボット10における計算量を低減するため、点群データ20と色情報は異なるタイミングで遠隔操作端末101に送信され、遠隔操作端末101においてカラーマッチングされてもよい。

40

### 【0031】

データ選定部12は、点群座標算出部11によって得られた点群データ20から、遠隔操作端末101に転送する点群データ20の選定を行う。この際、データ選定部12は、所定の領域を設定し、当該領域における転送データのデータ量の上限を決めることが好ましい。

### 【0032】

データ選定部12は、点群座標算出部11から取得した点群データ20が分布する仮想空間上にグリッド30を配置し、グリッド30内に登録される点群データ20の数を所定のアルゴリズムに従って削減する(選定処理)。データ選定部12は、グリッド30内に登録された点群データ20を転送対象の点群データ20として通信部14に出力する。デ

50

ータ選定部12は、グリッド30に登録した転送対象の点群データ20を、他の点群データ20に優先して先に転送する点群データ20として選定してもよい。この場合、選定処理において選定されなかった点群データ20を転送の優先度が低いデータとして通信部14に出力してもよい。データ選定部12によって選定された点群データ20や、選定される前の点群データ20は、図示しない記憶装置に記録されることが好ましい。データ選定部12におけるデータ選定処理動作の詳細は後述する。

【0033】

又、データ選定部12は、所定の領域内の点群データ20を解析し、解析結果に応じたデータを転送対象データとして選定してもよい。点群データ20の解析結果に応じた転送対象データの選定方法の詳細は後述する。

10

【0034】

データ選定部12は、点群座標算出部11から取得した点群データ20の全て（選定前の点群データ20）を、認識部13に出力することが好ましい。ただし、データ選定部12は、転送対象データとして選定した点群データ20を認識部13に出力しても構わない。

【0035】

認識部13は、点群データ20を解析し、3次元センサ2によって計測された領域（解析対象の点群データ20が分布する領域）における計測対象物の表面形状を割出し、計測対象物の表面形状をコントローラ15が認識可能な情報として出力する。この情報は、図示しない記憶装置に記録されることが好ましい。ここで得られる表面形状の情報は、例えば、計測領域内の周辺地形や目標物90の詳細な位置座標を示す情報を含む。

20

【0036】

コントローラ15は、通信部14を介して遠隔操作端末101から入力された制御信号に基づいた動作指令信号によりアクチュエータ16の動作を制御する。詳細には、コントローラ15は、脚部3や腕部4を所望の位置に移動させるための制御信号（例えば、目標位置や目標姿勢に関する情報）を遠隔操作端末101から受信する。コントローラ15は、制御信号に基づき、脚部3や腕部4が遠隔操作端末101から指示された位置及び姿勢となるようにアクチュエータ16を制御する。この際、認識部13から出力された計測対象物の表面座標や、脚部3や腕部4におけるリンクやエンドエフェクタ401、402の位置座標を利用して、アクチュエータ16の動作量や動作方向を補正することが好ましい。

30

【0037】

コントローラ15は、認識部13から出力された計測対象物の表面座標や、脚部3や腕部4におけるリンクやエンドエフェクタ401、402の位置座標を利用して、自律的にアクチュエータ16の動作量や動作方向を決定し、ロボット10の動作を制御してもよい。この際、コントローラ15は、動作精度の向上や移動経路の詳細な解析を行うため、転送対象として選定された点群データ20ではなく、認識部13において算出された詳細な表面形状の情報を利用することが好ましい。

【0038】

アクチュエータ16は、サーボモータ、動力シリンダ、リニアアクチュエータ、ラバー、アクチュエータ等に例示され、コントローラ15からの動作指令信号に応じて脚部3や腕部4の機械的挙動を制御する。アクチュエータ16は、脚部3や腕部4に対して間接的に駆動してもよいし、直接的に駆動してもよい。すなわち、アクチュエータ16と脚部3又は腕部4は異なる構成でもよいが、脚部3や腕部4の一部（例えば関節部）に搭載されてもよい。又、脚部3が車輪に例示される回転体である場合、アクチュエータ16としてモータやエンジンが適用される。

40

【0039】

（転送データ量削減方法）

図4から図17を参照して、本発明によるデータ伝送システム100における転送データ量の削減方法の詳細を説明する。先ず図4から図6を参照して、本発明によるデータ量

50

削減方法の基本形態を説明する。

【0040】

図4は、本発明に係るロボット10によって取得される点群データ20と計測対象物の概念図である。図4を参照して、本願発明に係るロボット10は、3次元センサ2によって計測対象物の点群データ20を取得する。計測対象物は、3次元センサ2による走査範囲にあるレーザ光を反射する要素であり、走査範囲内における周辺地形や目標物90を含む。複数の位置において計測された点群データ20を合成して広範囲の点群データ20を取得する場合、点群データ20は直交座標系(Xs, Ys, Zs)で示されることが好ましい。例えば、図2に示すように測定点Osにおいて計測された点群データ20が極座標で示される場合、直交座標系(Xs, Ys, Zs)に変更されることが好ましい。又、点群データ20が属するスキャン座標系(Xs, Ys, Zs)は、ロボット10、脚部3及び腕部4の位置座標と同じ絶対座標系であることが好ましい。

10

【0041】

図5は、本発明に係るロボット10によって取得される点群データ20に対して配置されるグリッド30の一例を示す図である。図5を参照して、グリッド30は、仮想視線の方向Yg(以下、視線方向Ygと称す)、及び視線方向Ygに直交する方向Xg、Zgに延びる直線によって囲まれた複数のセル31(1, 1, 1)~(X1, Ym, Zn)によって形成される(1, m, nは2以上の自然数)。グリッド30の視線方向Ygは、点群データ20のスキャン座標系(Xs, Ys, Zs)とは独立して任意に設定し得る。又、グリッド30の向き(視線方向Yg)や、セル31の大きさ、数、位置、あるいはグリッド30全体の大きさは、遠隔操作端末101によって設定されることが好ましいが、ロボット10に予め設定されていても構わない。

20

【0042】

本発明によるロボット10は、グリッド30を利用したフィルタリングによって転送対象となる点群データ20のデータ量を削減し、削減後の点群データ20を遠隔操作端末101に転送する。例えば、ロボット10(データ選定部12)は、セル31内の点群データの数を所定の値に制限し、所定数を越える点群データ20を転送対象から除外、又は転送順の優先度を低くする。これにより、近接した複数の点群データ20の転送を所定数以内に制限できる。図6は、本発明によるグリッド30を利用した転送データの削減方法の一例を示す図である。図6を参照して、セル31内に転送データとして登録される点群データ数の上限を1つとしたときの転送データの削減方法について説明する。図6(a)に示されるように、仮想的に配置されたセル31(i, j, k)内に3つの点群データ20-1、20-2、20-3が含まれている場合、データ選定部12は、図6(b)に示すように、点群データ20-1のみを転送対象の点群データとしてセル31(i, j, k)内に登録し、他の点群データ20-2、20-3を転送対象から除外する(登録しない)(ただし、1 i 1(エル)、1 j m、1 k m)。ここで、セル31のサイズが1cmである場合、1cm四方に複数の点群データの1つを転送対象とし、他の点群データを転送対象から除外することができる。

30

【0043】

尚、転送対象から除外された点群データ20-2、20-3は、先に選定された点群データ20-1の転送後に遠隔操作端末101に転送されるデータとして選定(登録)されても構わない。この場合、データ量の多い点群データ20を所定のデータ量毎に分割して遠隔操作端末101に転送することができる。

40

【0044】

セル31内において転送対象として選定(登録)される順番は、任意に設定し得る。例えば、3次元センサ2の走査順に選定される。この場合、セル31内において3次元センサ2の走査方向の上流側の点群データ20が優先して転送対象として選定される。具体的には、点群データ20-1、20-2、20-3の順で計測され、転送対象の上限が2の場合、点群データ20-1、20-2が転送対象として選定される。

【0045】

50

以上のように、本発明によるデータ伝送システム 100 では、視線方向  $Y_g$  を基準としたグリッド 30 を利用して、遠隔操作端末 101 へ転送されるデータ量を削減することができる。尚、グリッド 30 (セル 31) の形状は立方体や直方体に限らず多面体でも構わない。又、セル 31 の大きさは、グリッド 30 内で均一ではなく場所に応じて異なる大きさでも構わない。セル 31 のサイズは、所定の領域内のセル 31 に対し八分木法を適用することで変更できる。この場合、計測対象のエッジ付近のセルサイズは小さく、エッジから離れた領域のセルサイズは大きく設定することができる。あるいは、後述するように、指定した領域や、重要点の近傍領域におけるセル 31 のサイズを他のセル 31 よりも小さくしてもよい。更に、グリッド 30 は視線方向  $Y_g$  を基準として配置されることが好ましいが、他の方向を基準に配置されても構わない。

10

#### 【0046】

##### 第 1 の実施の形態

図 7 から図 14 を参照して、データ伝送システム 100 における転送データの削減方法の第 1 の実施の形態について説明する。第 1 実施の形態では、セル 31 内における点群データの転送率を、セル 31 の位置によって変化させている。すなわち、セル 31 の位置によって、点群データ 20 が大きく間引かれる領域と、小さく間引かれるセル領域が設定される。この結果、データ転送量を削減しながら、遠隔操作に影響する重要な領域を詳細に表示させることができるとなる。ここで、セル 31 における点群データ 20 の転送率とは、セル 31 内の点群データの数を等しくしたときの、セル 31 内における全ての点群データのデータ量に対する、転送対象として選定されたデータ (点群データとは限らない) のデータ量の割合を示す。すなわち、転送率とは、セル 31 内の点群データの総データ量に対する、転送データのデータ量の割合をセル毎に規格化した値を示す。

20

#### 【0047】

図 7 は、第 1 の実施の形態における転送データの削減方法の一例を示す図である。図 7 を参照して、本実施の形態では、重要点 32 から所定の距離の範囲によって示される領域 33 (第 1 領域とも称す) 内における転送データの転送率が他の領域 34 (第 2 領域とも称す) に比べて大きくなるように設定される。転送データの転送率が大きい領域 33 を決める重要な点 32 は、オペレーション精度を向上させるため、エンドエフェクタ 401 (手先) やエンドエフェクタ 402 (足先) における任意の点 (又はその近傍の点) が設定されることが好ましい。例えば、腕部 4 のエンドエフェクタ 401 における所定の位置座標を重要な点 32 に設定することで、ロボット 10 が把持している、あるいは把持を予定している目標物 90 やエンドエフェクタ 401 の周辺の領域についての詳細な状況を遠隔操作端末 101 に送信可能となる。あるいは、脚部 3 のエンドエフェクタ 402 における所定の座標を重要な点 32 に設定することで、ロボット 10 に対する歩行制御を詳細に指示することが可能となる。又、他の領域については、転送率を小さくすることで転送データの総量を低減することが可能となる。

30

#### 【0048】

領域 33 は、重要な点 32 を基準に決められれば、どのような形状でもよく、例えば重要な点 32 からの距離が一定の範囲が好適である。転送データの転送率を小さくする領域 34 は、点群データ 20 が分布する領域において領域 33 以外の領域が好適に設定される。又、領域 34 は、重要な点 32 からの距離に応じて段階的に転送データの転送率が小さくなつてもよい。例えば、点群データ 20 が分布する領域を複数の領域に分割し、それぞれ重要な点 32 からの距離に応じて (例えば比例して) 転送データの転送率を小さくしてもよい。更に、領域 33、34 は複数設定されても構わない。この場合、それぞれが包含するセル 31 に対して転送データとして登録される上限や、転送率は任意に設定され得る。又、領域 33、34 を決める条件は上述の方法に限らず任意に設定できる。例えば、所定の座標条件の複数のセル 31 を領域 33、他の座標条件の複数のセル 31 を領域 34 としてもよい。重要な点 32、領域 33、領域 34 のそれぞれは、遠隔操作端末 101 から指定することができる。又、ロボット 10 が、遠隔操作端末 101 によって指定された重要な点 32 に基づいて、領域 33、領域 34 を自動計算してもよい。この場合、領域 33、34 を決め

40

50

るための重要な点 3 2 からの距離等のパラメータは、予めロボット 1 0 に設定されていることが好ましい。

#### 【0049】

領域 3 3、3 4 毎に設定される点群データ 2 0 の転送率は、セル 3 1 のサイズを変更することや、セル 3 1 内に転送対象として登録される点群データの上限を変更することで可能となる。図 8 から図 1 4 を参照して、グリッド 3 0 を利用した転送データの転送率の変更例を説明する。実際には 3 次元座標である点群データ 2 0 が転送対象から除外されるが、以下では、説明の簡単化のため点群データ 2 0 及びグリッド 3 0 を 2 次元的に表示して説明する。図 8 は、本発明に係るロボット 1 0 によって計測された点群データ 2 0 の一例を示す図である。

10

#### 【0050】

先ず、図 9 に示すように、点群データ 2 0 が分布している仮想空間上に、グリッド 3 0 が配置される。この際、仮想視点 3 5、グリッド 3 0 の配置位置や形状、視線方向 Y g、セル 3 1 の大きさ（グリッド間隔）は、遠隔操作端末 1 0 1 によって指定されることが好ましい。尚、仮想視点 3 5、グリッド 3 0 の配置位置や形状、視線方向 Y g、セル 3 1 の大きさ（グリッド間隔）、数、配置のいずれかは、予めロボット 1 0 に設定され、これを用いてグリッド 3 0 が配置されても構わない。

#### 【0051】

図 1 0 に示す一例では、図 9 に示すグリッド 3 0 において、重要な点 3 2 周辺の領域 3 3 のグリッドサイズ（セル 3 1 のサイズ）が他の領域 3 4 よりも小さくなるように設定される。例えば、重要な点 3 2 を中心に半径 r 1 の領域 3 3 におけるセル 3 1 - 1 のサイズが、他の領域 3 4 のセル 3 1 - 2 のサイズの半分に設定される。ここで、全てのセル 3 1 内の点群データ 2 0 の上限を等しい値（例えば 1 つ）に制限した場合、セルサイズの小さな領域 3 3 における点群データ 2 0 の転送率は、他の領域 3 4 よりも大きくなる。換言すると、セルサイズの大きな領域 3 4 において転送対象として除外される点群データ 2 0 は、領域 3 3 よりも多くなる。これにより、領域 3 3 において転送対象となる点群データ 2 0 のデータ密度は、他の領域 3 4 における転送対象データのデータ密度よりも高くなる。

20

#### 【0052】

又、図 1 1 に示すように、領域 3 3 と領域 3 4 のセル 3 1 のサイズを変更せず（等しくし）、セル 3 1 内のデータ数の上限を領域（場所）に応じて変更することで、点群データの転送率を変更してもよい。図 1 1 に示す一例では、重要な点 3 2 を中心に半径 r 1 の領域 3 3 におけるセル 3 1 - 1 における点群データ 2 0 の転送率を 100%（転送対象となる点群データ数の上限なし）とし、他の領域 3 4 のセル 3 1 - 2 の上限を 1 としている。このような方法によっても、領域 3 3 における点群データ 2 0 の転送率を他の領域 3 4 よりも大きくすることができ、領域 3 3 において転送対象となる点群データ 2 0 のデータ密度を、他の領域 3 4 における転送対象データのデータ密度よりも高くすることができる。

30

#### 【0053】

尚、図 1 0 及び図 1 1 に示すように、グリッド 3 0 が配置されていない領域における点群データ 2 0 は、全て転送対象から除外（又は送信順の優先度が低く設定）されることが好ましい。

40

#### 【0054】

以上のように、本実施の形態におけるデータ伝送システム 1 0 0 では、領域 3 3、3 4 毎にセル 3 1 内の点群データの上限が決められるため、所定の位置における点群データ 2 0 の粗密を任意に変更しながら、データ通信量を低減することができる。

#### 【0055】

図 1 2 は、図 1 0 又は図 1 1 に示す方法により転送対象として選定された点群データ 2 0 を示す図である。図 1 2 に示すように、領域 3 3、3 4 における転送データに密度差が生じるため、遠隔操作端末 1 0 1 は、エンドエフェクタ 4 0 1 周辺の領域については詳細に、その他の領域は簡略化された画像を得ることが可能となる。

#### 【0056】

50

図10から図12に示す一例では、重要点32によって決まる領域33のデータ転送率を大きくする方法について説明したが、これに限らず、仮想視点35や視線方向Ygに応じて、セル31において転送対象とする点群データの上限や、転送率を決めてよい。

#### 【0057】

以下、図9、図13及び図14を参照して、仮想視点35や視線方向Ygに応じて転送対象データを選定する方法について具体例を説明する。

#### 【0058】

先ず、図9に示すように、点群データ20が分布している仮想空間上に、グリッド30が配置される。この際、仮想視点35、グリッド30の配置位置や形状、視線方向Yg、セル31の大きさ（グリッド間隔）、数、又は位置が、遠隔操作端末101によって指定される。

10

#### 【0059】

図13を参照して、仮想視点35側から視線方向Ygに見える点群データ20が位置するセル31-3（第1領域とも称す）内の点群データ20のみが転送対象として登録され、他のセル31-4（第2領域とも称す）内の点群データが転送対象から除外される。詳細には、視線方向Ygのセル列（セル31(i, 1, k)～セル31(i, Ym, k)）において、点群データ20を包含するセル31のうち、仮想視点35側に最も近いセル31が、視線方向Ygについてh番目のセル31-3(i, h, k)である場合、セル31-3(i, h, k)の点群データ20が転送対象として登録され、他のセル31-4(i, h+1, k)～セル31-4(i, h+Ym, k)の点群データ20は、転送対象から除外される（ただし、1 h Ym-1）。又、点群データ20を包含するセル31のうち仮想視点35側に最も近いセル31-3が、視線方向Ygのセル列（セル31(i, 1, k)～セル31(i, Ym, k)）においてYm番目のセル31である場合、セル31-3(i, Ym, k)の点群データ20が転送対象として登録される。

20

#### 【0060】

図14は、図13に示す方法により転送データ量が削減され、転送対象として選定された点群データ20を示す図である。図14に示すように、仮想視点35から視線方向Ygを見たときの表面形状のみが遠隔操作端末101への転送対象となり、その視線方向Yg奥側の点群データ20は転送対象から除外される。

30

#### 【0061】

本実施例では、仮想視点35側から視線方向Ygを見たときの表面形状のみが、遠隔操作端末101に転送されるため、遠隔操作端末101は、図14に示すように奥行方向に重なる点群データ20を省いた見易い画像を表示することができる。又、転送データから奥行き方向に重なる点群データ20の全てが除外されるため、図10や図11に示す方法に比べてデータ通信量を更に削減することができる。本実施例では、仮想視点35側から見た奥側のセル31-4の点群データ20の全てが転送対象から除外されたが、これに限らず、セル31-4内の点群データ20のうち、所定の数の点群データ20は、転送対象として登録されても構わない。換言すると、本一例では、所定の領域（セル31-4）の上限が0に設定されているが、この上限は任意に設定し得る。この場合、上述の方法によって転送データが選定されることが好ましい。更に、転送データを更に削減するため、セル31-3に対し、上述の方法により転送データが選定されても構わない。ただし、セル31-3内の点群データ20の上限は、セル31-2の上限よりも多くなるように設定される。

40

#### 【0062】

点群データの転送率を小さくする領域34やセル31-4、転送率を大きくする（削減しない場合も含む）領域33やセル31-3の設定方法は、上述の例に限らず、セル位置を規定する所定の条件に応じて決めてよい。例えば、視線方向Ygにおいて仮想視点35から所定の距離よりも遠方の領域を領域34に設定し、近い領域を領域33に設定してもよい。あるいは、セル位置（座標）を指定する条件に応じて転送率の大きなセル31と転送率の小さなセル31が設定されてもよい。一例として、Xg座標、Yg座標、Zg座

50

標が偶数のセル 3 1 を転送率の大きなセル 3 1 、奇数のセル 3 1 を転送率の小さなセル 3 1 として設定される。ここで、領域 3 3 、 3 4 を決定する所定の距離やセル位置を指定する座標条件は、ロボット 1 0 に予め設定されていてもよいし、遠隔操作端末 1 0 1 から指定されてもよい。

【 0 0 6 3 】

第 2 の実施の形態

第 2 の実施の形態におけるロボット 1 0 は、点群データ 2 0 から予測された計測対象物の形状に応じて遠隔操作端末 1 0 1 に転送するデータを決定する。第 2 の実施の形態における遠隔操作端末 1 0 1 の表示部 2 0 2 は、ロボット 1 0 から転送されたデータに基づいて点群データを生成し、これを用いて計測対象物の表面形状を表示する。以下、データ伝送システム 1 0 0 における転送データの削減方法の第 2 の実施の形態について説明する。

10

【 0 0 6 4 】

本実施の形態におけるデータ伝送システム 1 0 0 は、「計測対象物の局所的な形状」に応じて転送データの削減率を変更する。ここで、「計測対象物の局所的な形状」とは、所定の範囲内における点群データに対する主成分分析によって得られる 3 つの固有値の大きさによって分類できる。ここで固有値を大きい順に  $d_1$  、  $d_2$  、  $d_3$  とすると、計測対象物の局所的な形状を、下記のパターン 1 からパターン 5 のように分類できる。

【 0 0 6 5 】

$d_1 \ d_2 \ d_3 \ 0$  : 0 次元的な広がりを持つ点構造 . . . パターン 1

20

$d_1 > > d_2 \ d_3 \ 0$  : 1 次元的な広がりを持つ線状構造 . . . パターン 2

$d_1 > d_2 > > d_3 \ 0$  : 2 次元的な広がりを持つ平面構造 . . . パターン 3

$d_1 > d_2 > d_3 > > 0$  : 3 次元的な広がりを持つ立体構造 . . . パターン 4

その他 : パターン 5

【 0 0 6 6 】

図 1 5 から図 1 7 を参照して、計測対象物の局所的な形状の分類方法及び転送データ量の削減方法について、詳細に説明する。

【 0 0 6 7 】

図 1 5 ( a ) 、図 1 6 ( a ) 、図 1 7 を参照して、ロボット 1 0 のデータ選定部 1 2 は、計測された点群データ 2 0 の 1 つを基準点 5 1 として設定し、基準点 5 1 に応じた範囲を解析領域 5 2 として設定する。解析領域 5 2 は、例えば基準点 5 1 を中心とした半径  $r_2$  の球形領域が好適に設定される。基準点 5 1 は少なくとも 1 フランダムに決めてよい。又、解析領域 5 2 を決める基準点 5 1 からの距離 ( 例えば半径  $r_2$  ) は、固定値が設定されることが好ましい。基準点 5 1 が複数設定される場合、隣接する基準点 5 1 の間隔は、解析領域 5 2 が重ならない長さ ( 例えば半径  $r_2$  以上 ) であることが好ましい。

30

【 0 0 6 8 】

データ選定部 1 2 は、解析領域 5 2 内における点群データ 2 0 ( 位置座標 ) に対して主成分分析し、固有値  $d_1$  、  $d_2$  、  $d_3$  及びこれらに対応する固有ベクトル  $e_1$  、  $e_2$  、  $e_3$  を求める。詳細には、解析領域 5 2 内の点群データ 2 0 が示す位置座標から求められた共分散行列を固有値分解し、固有値  $d_1$  、  $d_2$  、  $d_3$  及びこれらに対応する固有ベクトル  $e_1$  、  $e_2$  、  $e_3$  が求められる。ここで、データ選定部 1 2 は、固有値  $d_1$  、  $d_2$  、  $d_3$  の大きさに応じて解析領域 5 2 内の形状をパターン 1 ~ パターン 5 のいずれかに分類する。データ選定部 1 2 は、分類したパターンに応じて転送するデータを選定する。このとき、パターン 2 、 3 に分類された場合、データ選定部 1 2 は、解析領域 5 2 内の点群データ 2 0 に替えて、解析領域 5 2 に対する解析結果を形状再現データとして遠隔操作端末 1 0 1 に送信する。遠隔操作端末 1 0 1 は、形状再現データに基づいた範囲内に所定の間隔で分布する点群データを配置し、計測対象形状画像を生成、表示する。

40

【 0 0 6 9 】

点群データ 2 0 がほぼ 1 点に集まっている場合、すなわち点群データ 2 0 が 0 次元的な広がりを持つ構造を示す場合、固有値は、  $d_1 \ d_2 \ d_3 \ 0$  となりパターン 1 に分類される。すなわち、固有値  $d_1$  、  $d_2$  、  $d_3$  の全てが所定の第 1 の値より小さく 0 に近似す

50

る場合（0も含む）、パタン1に分類される。例えば、点状の物体や点数が1点しかない場合、パタン1に分類される。データ選定部12は、パタン1に分類された解析領域52内の点群データ20の全てを転送対象から除外する（転送率は0%）。すなわち、パタン1に分類された解析領域52内の点群データ20は全て遠隔操作端末101に転送されない。この領域については、ロボット10の行動に影響する地形や障害物がないと判断できるため、遠隔操作端末101に点群データ20を送信する必要はない。

#### 【0070】

点群データ20が図15(a)に示されるように1次元的な広がりを持つ構造を示す場合、固有値は、 $d_1 > d_2 > d_3 > 0$ となりパタン2に分類される。すなわち、固有値 $d_2$ 、 $d_3$ が所定の第2の値より小さく0に近似し（0も含む）、固有値 $d_1$ の値が、 $d_2$ 及び $d_3$ に比べて所定の第3の値よりも大きい場合、パタン2に分類される。データ選定部12は、パタン2として分類された解析領域52内の点群データ20に替えて、形状再現データを遠隔操作端末101に対する転送対象として選定する。例えば、図15(a)を参照して、パタン2として分類された解析領域52内における点群データ20（3次元座標 $A_1 \sim A_i$ ）の平均座標60（3次元座標 $A_a$ ）と、固有値 $d_1$ に対応した固有ベクトル $e_1$ と、固有値 $d_1$ が、形状再現データとして遠隔操作端末101に送信される。ここで平均座標60は、点群データ20の分布領域の中心座標を意味する。又、固有ベクトル $e_1$ は、点群データ20の分布範囲の広がる方向を意味し、固有値 $d_1$ は、固有ベクトル $e_1$ 方向における点群データ20の分布範囲の大きさを意味する。パタン2に分類された領域については、点群データの替わりにデータ量の小さな形状再現データが送信されるため、データ通信量を大きく削減することができる（転送率小）。

#### 【0071】

図15(b)を参照して、遠隔操作端末101の表示部202は、平均座標60を中心に、固有ベクトル $e_1$ の方向に対し固有値 $d_1$ に基づいた大きさだけ広がる領域を点群データの分布領域として設定し、当該分布領域に所定の間隔で配置した点群データを生成して表示する。例えば、表示部202は、固有ベクトル $e_1$ の方向に、平均座標60から固有値 $d_1$ の±3倍の範囲（ $\pm 3d_1 \times$ 固有ベクトル $e_1$ ）の線状領域を点群データの分布領域とし、当該領域に所定の間隔で点群データを配置して表示する。ここで、再現される点群データの間隔は、予め設定されても、ユーザが操作する入力装置103によって指定されてもどちらでもよい。又、表示部202は、生成した点群データに基づいて、計測対象物の表面形状を生成して表示してもよい。

#### 【0072】

点群データ20が図16(a)に示されるように2次元的な広がりを持つ構造を示す場合、固有値は、 $d_1 > d_2 > d_3 > 0$ となりパタン3に分類される。すなわち、固有値 $d_3$ のみが所定の第4の値より小さく0に近似し（0も含む）、固有値 $d_1$ 、 $d_2$ の値が、 $d_3$ に比べて所定の第5の値よりも大きく、固有値 $d_1$ の値が $d_2$ よりも大きい場合、パタン3に分類される。データ選定部12は、パタン3として分類された解析領域52内の点群データ20に替えて形状再現データを遠隔操作端末101に送信する。例えば、図16(a)を参照して、パタン3として分類された解析領域52内における点群データ20（3次元座標 $A_1 \sim A_i$ ）の平均座標60（3次元座標 $A_a$ ）、固有値 $d_1$ に対応した固有ベクトル $e_1$ 、固有値 $d_2$ に対応した固有ベクトル $e_2$ 、固有値 $d_1$ 、 $d_2$ が、形状再現データとして遠隔操作端末101に送信される。ここで平均座標60は、点群データ20の分布領域の中心座標を意味する。又、固有ベクトル $e_1$ 、 $e_2$ は、点群データ20の分布範囲の広がる方向を意味し、固有値 $d_1$ は、固有ベクトル $e_1$ 方向における点群データ20の分布範囲の大きさを意味し、固有値 $d_2$ は、固有ベクトル $e_2$ 方向における点群データ20の分布範囲の大きさを意味する。パタン3に分類された領域については、点群データの替わりにデータ量の小さな形状再現データが送信されるため、データ通信量を大きく削減することができる（転送率小）。

#### 【0073】

図16(b)を参照して、遠隔操作端末101の表示部202は、平均座標60を中心

に、固有ベクトル  $e_1$  の方向に対し固有値  $d_1$  に基づいた大きさだけ広がるとともに、固有ベクトル  $e_2$  の方向に対し固有値  $d_2$  に基づいた大きさだけ広がる領域を点群データの分布領域として設定し、当該分布領域に所定の間隔で配置した点群データを生成して表示する。例えば、表示部 202 は、固有ベクトル  $e_1$  の方向に、平均座標 60 から固有値  $d_1$  の  $\pm 3$  倍の範囲 ( $\pm 3d_1 \times$  固有ベクトル  $e_1$ ) と、固有ベクトル  $e_2$  の方向に、平均座標 60 から固有値  $d_1$  の  $\pm 3$  倍の範囲 ( $\pm 3d_1 \times$  固有ベクトル  $e_1$ ) に囲まれた平面領域を点群データの分布領域とし、当該領域に所定の間隔で点群データを配置して表示する。ここで、点群データの間隔は、予め設定されても、ユーザが操作する入力装置 103 によって指定されてもどちらでもよい。又、表示部 202 は、生成した点群データに基づいて、計測対象物の表面形状を生成して表示してもよい。

10

## 【0074】

図 17 を参照して、点群データ 20 が 3 次元的な広がりを持つ構造を示す場合、固有値は、 $d_1 > d_2 > d_3 > > 0$  となりパタン 4 に分類される。すなわち、固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  の全てが 0 に比べて所定の第 6 の値よりも大きく、固有値  $d_3$  よりも  $d_2$ 、固有値  $d_2$  よりも  $d_1$  が大きい場合、パタン 3 に分類される。遠隔操作端末 101 を操作するユーザにとって、立体的な形状を詳細に確認する要求が高いため、パタン 4 に分類された解析領域 52 内の点群データ 20 については、全て転送対象として選定されることが好ましい（転送率 100%）。あるいは、パタン 4 に分類された解析領域 52 内の点群データ 20 については、上述のグリッド 30 を利用したデータ選定方法が採用されてもよい。

20

## 【0075】

固有値  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  が、パタン 1 ~ パタン 4 のいずれにも該当しない値を示す場合、パタン 5 に分類される。パタン 5 に分類された領域（図示なし）内の点群データ 20 は、上述のグリッド 30 を利用したデータ選定方法によって転送データの選定が行われること

が好ましい。あるいは、パタン 5 に分類された領域内の点群データ 20 は、全て転送対象から除外されてもよい（転送率 0%）。

## 【0076】

尚、パタン判定において固有値の大きさを比較するための基準値である第 1 ~ 第 6 の値は、点群データを取得する用途やセンサの測定精度に応じて任意に設定し得る。例えば、センサの測定精度に応じて、パタン判定に利用される第 1 ~ 第 6 の値を任意に設定される。具体的には、測定ばらつきが  $\pm 1 \text{ cm}$  である場合、標準偏差 3 が  $\pm 1 \text{ cm}$ 、固有値  $d_3$  ( の 2 乗) が  $1 / 9 \text{ cm}^2$  となる。この場合、測定ばらつきを考慮して平面上の凹凸を検出する場合、固有値  $d_3$  が 0 に近似するか否かの判定基準（第 4 の値）は、 $1 / 9 \text{ cm}^2$  よりも大きな値に設定する必要がある。例えば、測定ばらつきが  $\pm 1 \text{ cm}$  のセンサにおいて、第 4 の値を  $1 / 5 \text{ cm}^2$  とすることで、固有値  $d_3$  が  $1 / 5 \text{ cm}^2$  よりも小さい場合を 0 に近似と判定し、平面形状と判定できる。又、パタン判定に利用される第 1 ~ 第 6 の値を任意に設定することで任意の測定精度を実現することができる。例えば、固有値が 0 に近似するか否かを決める基準値（例えば第 4 の値）は、平面上の凹凸（立体物）を mm 単位で計測する場合（精密測定）に比べ、m 単位で計測する場合（非精密測定）の方が大きく設定される。

30

## 【0077】

パタン 2、パタン 3 と判定された場合、遠隔操作端末 101 において 1 次元又は 2 次元形状が再現できれば、形状再現データの形式は上述のものに限らない。例えば、パタン 2 と判定された場合（1 次元形状として判定された場合）、線形状を定義できる少なくとも 2 つの点群データ 20（例えば、固有ベクトル  $e_1$  方向において固有値  $d_1$  だけ離れた 2 点）が、転送対象として選定される。あるいは、パタン 3 と判定された場合（2 次元形状として判定された場合）、平面形状を定義できる少なくとも 3 つの点群データ 20（例えば、固有ベクトル  $e_1$  方向において固有値  $d_1$  だけ離れた 2 点、及び、当該 2 点の少なくとも一方について、固有ベクトル  $e_2$  方向において固有値  $d_2$  だけ離れた 1 点）が、転送対象として選定される。この場合も、ロボット 10 と遠隔操作端末 101 との間の通信量

40

50

を大きく削減することができる。

【0078】

本実施の形態では、領域毎に分類されたパタンに応じて、当該領域における転送データが選定されるとともに、そのデータ量の上限も決まる。例えば、ある領域に対して形状再現データが転送対象データとして設定された場合、当該領域に対するデータ量は、形状再現データのデータ量によって決まる。

【0079】

以上のように、第2の実施の形態におけるデータ転送方法によれば、遠隔操作端末101において計測対象物の表面形状を再現可能な形状再現データを、当該計測対象物の予想形状に応じて選定して遠隔操作端末101に送信する。形状再現データは、点群データ200よりも少ないデータ量であるため、点群データ200を送信する場合に比べデータ通信量を低減することができる。又、計測対象物の表面形状に応じたデータに基づいて点群データの分布及び対象物の形状を再現しているため、ロボット10に対する操作性に影響のない範囲内で当該ロボット10周辺の状況を把握することが可能となる。

10

【0080】

次に、ロボット10から、点群データ20又は計測対象物の表面形状を再現するためのデータを遠隔操作端末101に転送する方法について説明する。

【0081】

ロボット10は、上述した選定方法によって転送対象として選定されたデータのみならず、選定対象から除外したデータも遠隔操作端末101に送信してもよい。この場合、ロボット10は、転送対象として選定したデータを、選定対象から除外したデータよりも前に送信することが好ましい。すなわち、上述した転送対象を選定した方法によって遠隔操作端末101に送信するデータの送信順が設定されることが好ましい。詳細には、最初に計測された点群データ20から転送対象として選定されたデータを最優先に転送し、他のデータ（転送対象から除外されたデータ）については、その後に転送するように送信順が付与される。又、転送対象から除外された点群データに対して、更に上述の選定処理が行われ、送信順が決められてもよい。これにより、遠隔操作端末101に対して、重要度の高い点群データ20又は形状再現データが先に送信され、重要度の低いデータが順次送信されることとなる。遠隔操作端末101を操作するユーザは、ロボット10からデータ転送が開始されてから早い段階で、ロボット10を操作するために重要な情報（例えば手先周辺の状況）を得ることができるとともに、その後、重要度の低い情報により計測対象物の全体像を把握することができる。

20

【0082】

又、ロボット10は、点群データ20の転送率の大きな領域33やセル31-3における転送対象の点群データ20を最優先に送信し、他の領域34やセル31-4における転送対象の点群データ20を、その後に送信してもよい。すなわち、点群データ20の転送率に応じて遠隔操作端末101に対する送信順が設定されることが好ましい。この際、転送対象から除外された点群データ20は、領域33、34やセル31-3、セル31-4において転送対象に設定された点群データ20よりも後に転送される。この場合も、遠隔操作端末101のユーザは、早い段階で重要な領域（例えば手先や、視線方向の手前側）における表面形状画像を視認することが可能となり、その後、計測対象物の全体像を把握することができる。尚、領域33、領域34内における点群データ20の送信順が設定できれば、領域33、34内の全ての点群データ20を送信しても構わない。

30

【0083】

更に、ロボット10は、セル位置（座標）を指定する条件に応じて点群データ20の送信順を設定してもよい。例えば、Xg座標、Yg座標、Zg座標が4の倍数のセル31内の点群データ20を最優先に送信し、2の倍数で4の倍数を除くセル31内の点群データ20を次に送信し、奇数のセル31を最後に送信する。この場合、最初に空間分解能の粗い点群データ20（セル間隔が長いセル31内の点群データ）が送信され、その間に位置する細かい点群データ20（送信済みのセル31とセル31の間のセル内の点群データ2

40

50

0) が順次送信されることとなる。遠隔操作端末 101 のユーザは、空間分解能の粗いデータを受け取った段階で、計測対象物の大まかな形状を確認でき、時間の経過（逐次送信されるデータの受信）に伴い、詳細な状況を把握することができる。

#### 【0084】

以上のように、本発明によるデータ伝送システム 100 によれば、ロボット 10 の操作に必要最小限のデータを優先して送信し、遠隔操作端末 101 において画像化可能なため、ユーザは、通信環境が悪い場合や通信容量が小さい伝送路を使用した場合でも、ロボット周辺の状況を短時間で把握することができる。これにより、ロボット操作に要する時間を短縮化できる。又、段階的に送信されるデータにより、時間経過とともにより詳細な状況も把握することができる。

10

#### 【0085】

ロボット 10 は、転送用に選定した低密度の点群データ 20（以下、低密度データと称す）の他、自律動作のため、3 次元センサ 2 によって計測した高密度の点群データ 20（以下、高密度データと称す）を利用できることが好ましい。すなわち、ロボット 10 は、用途に応じて低密度データと高密度の点群データ 20 の複数のデータを使い分けることが好ましい。人間は、低密度データ（例えば、点群データの最低間隔が 1 cm 程度）によって作成された地図情報や表面形状を参照することでロボット 10 を操作することが可能である。一方、ロボット 10 の自律動作（例えば自律移動）のためには、衝突や転倒を防止するため、精度の高い地図情報や表面形状が必要となる。このため、ロボット 10 は、遠隔操作のためには低密度データを送信し、自律移動のためには、高密度データに基づいて生成した地図情報を利用することが好ましい。このように粗密データを使い分けることで、ロボット 10 の自律制御の精度を維持したまま、データ転送量を低減することが可能となる。

20

#### 【0086】

又、人間は、形状の違いだけでなく、色の違いを用いた認識能力が高いため、遠隔操作用に利用される点群データには色情報が付加されていることが好ましい。このため、ロボット 10 は、色情報（RGB）を付加した点群データ 20（Xs、Ys、Zs、R、G、B）、又は色情報（RGB）と点群データ（Xs、Ts、Zs）を遠隔操作端末 101 に送信することが好ましい。一方、座標データのみで制御精度を維持できることから、ロボット 10 の自律移動等の制御には色情報（RGB）を付加しない点群データ（Xs、Ys、Zs）が利用されることが好ましい。すなわち、ロボット 10 は、遠隔操作のためには色つきのデータを送信し、自律移動のためには、色なしのデータに基づいて生成した地図情報を利用することが好ましい。このように色情報の有無を使い分けることで、ロボット 10 の自律制御の精度を維持したまま、データ転送量を低減することが可能となる。

30

#### 【0087】

更に、ロボット 10 は、遠隔操作端末 101 との間の通信品質や通信容量に応じて、転送データの削減率を制御することが好ましい。例えば、ロボット 10 は、通信速度が低い場合は、転送データの削減量を大きく設定し、通信速度が高い場合は削減量を小さくする。あるいは、ロボット 10 と遠隔操作端末 101 間の通信量が、予め設定された通信容量を超える場合、転送データの削減量が大きくなるように設定される。ここで、通信品質は、ロボット 10 と遠隔操作端末 101 との間の伝送路における通信速度や伝搬環境（例えば受信強度）を示し、ロボット 10 又は遠隔操作端末 101 において測定される。ロボット 10 自身が通信品質の測定を行いこれに応じて転送率の設定・変更を行ってもよい。しかし、ロボット 10 の処理負荷の軽減や軽量化の観点から、通信品質の測定及びロボット 10 に対する転送率の設定・変更の制御は、遠隔操作端末 101 によって行われることが好ましい。

40

#### 【0088】

以上のように、本発明によれば、計測対象物の表面形状に関する情報を効率よく選定し、遠隔操作端末 101 に転送できる。このため、通信速度が低い、通信容量の上限が小さい、あるいは通信品質が劣悪な状況においても、少ないデータ通信量で、ロボット 10 を

50

遠隔操作するが可能となる。又、遠隔操作に重要な影響を与える形状に関するデータを選択して早期に送信しているため、ユーザは迅速な判断が可能となり、ロボット10を使ったオペレーションを短時間で完遂することが可能となる。

#### 【0089】

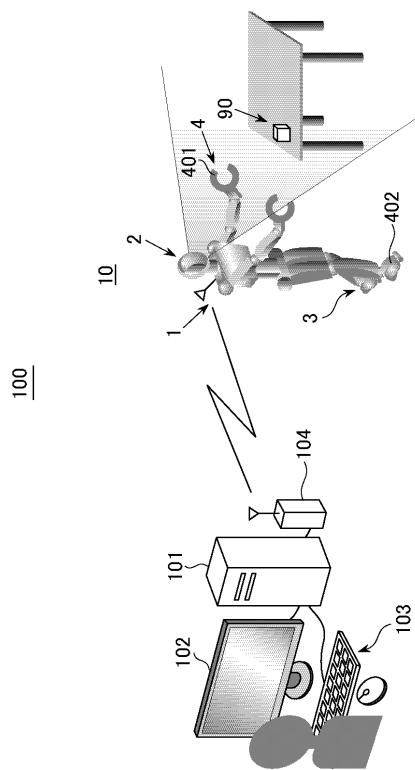
以上、本発明の実施の形態を詳述してきたが、具体的な構成は上記実施の形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の変更があっても本発明に含まれる。上述した実施例及び実施の形態は、技術的な矛盾がない範囲内で組み合わせて実行できる。

#### 【符号の説明】

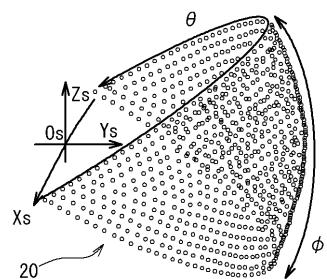
#### 【0090】

1	： 伝送装置	10
2	： 3次元センサ	
3	： 脚部	
4	： 腕部	
10	： ロボット	
11	： 点群座標算出部	
12	： データ選定部	
13	： 認識部	
14	： 通信部	
15	： コントローラ	20
16	： アクチュエータ	
20	： 点群データ	
30	： グリッド	
31	： セル	
32	： 重要点	
100	： データ伝送システム	
101	： 遠隔操作端末	
102	： 出力装置	
103	： 入力装置	
104	： 伝送装置	30
201	： 通信部	
202	： 表示部	
203	： 制御部	
401、402	： エンドエフェクタ	

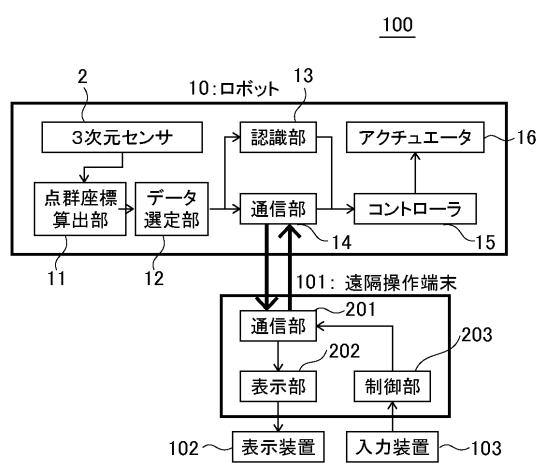
【図1】



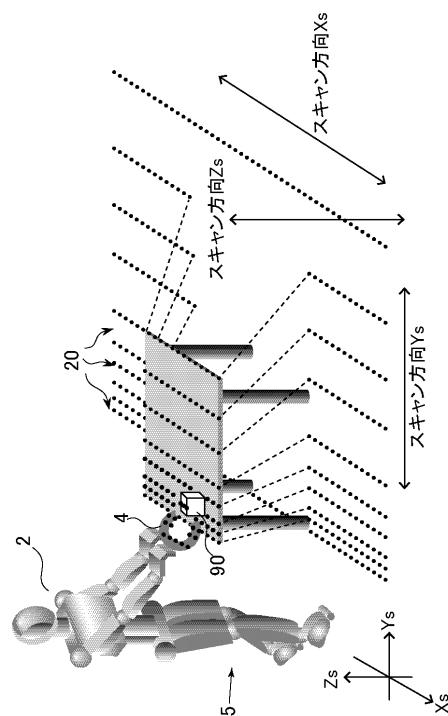
【図2】



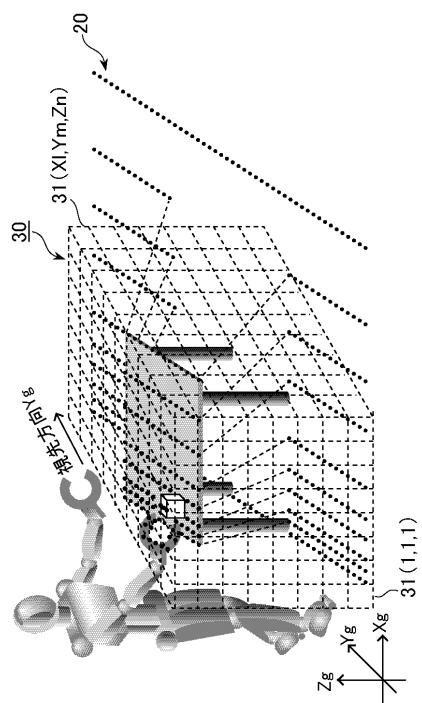
【図3】



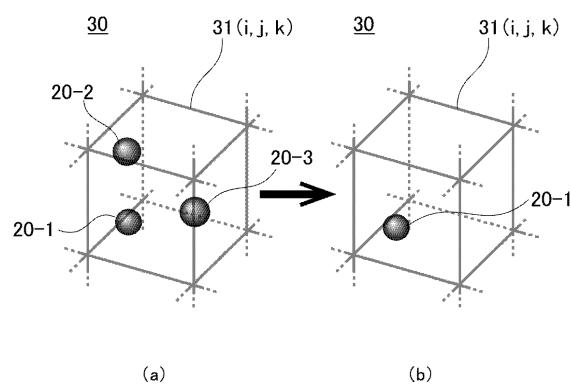
【図4】



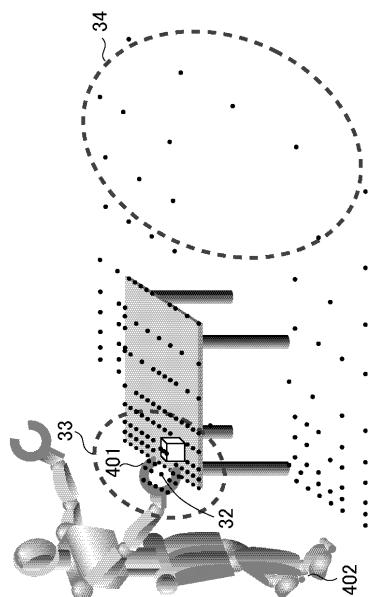
【図5】



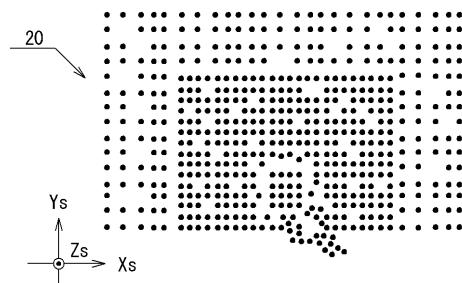
【図6】



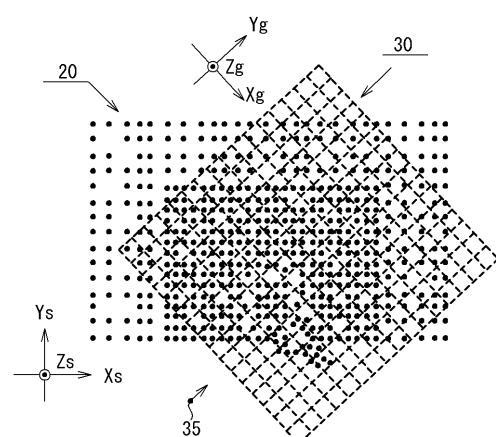
【図7】



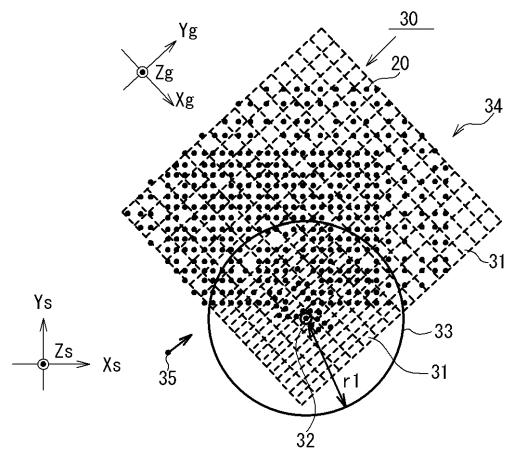
【図8】



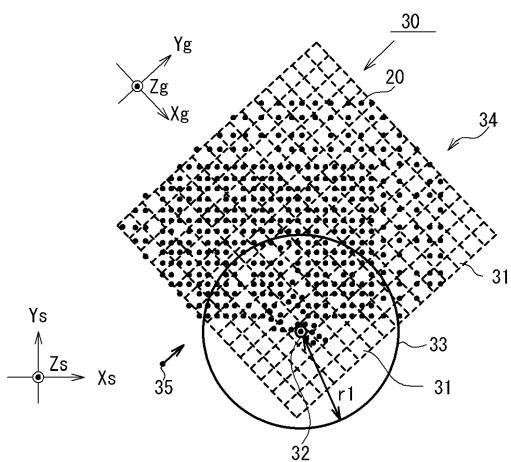
【図9】



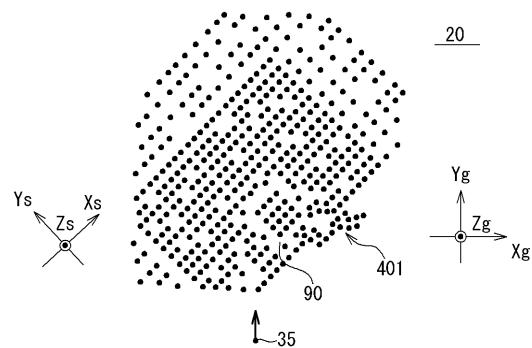
【図 1 0】



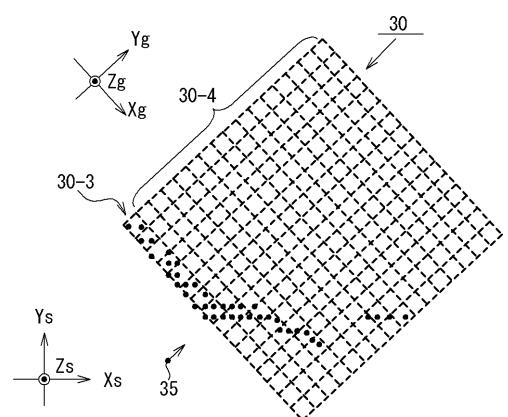
【図 1 2】



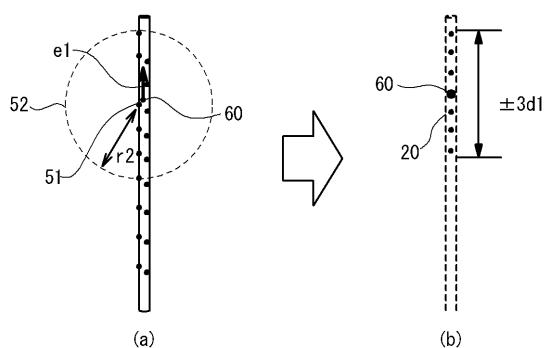
【図 1 1】



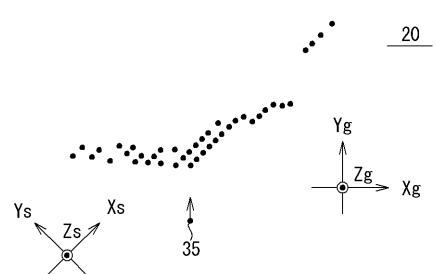
【図 1 3】



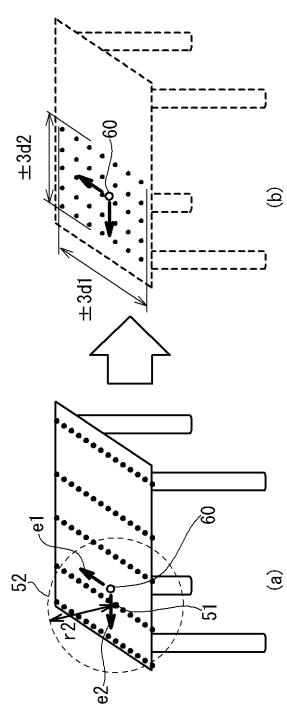
【図 1 5】



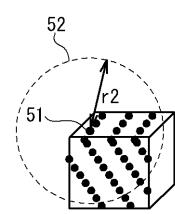
【図 1 4】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

(72)発明者 宅原 雅人

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

F ターク(参考) 2F069 AA04 DD15 GG07 GG31 GG62 QQ01

2F073 AA16 AA19 AA29 AB01 AB02 BB01 BB04 BC02 CC03 CC05

CC06 CC07 CC14 CD11 DD01 DE06 EF07 EF08 FF01 FG01

FG02 FG03 FG11 GG01 GG04 GG05 GG09