

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年9月10日(10.09.2021)



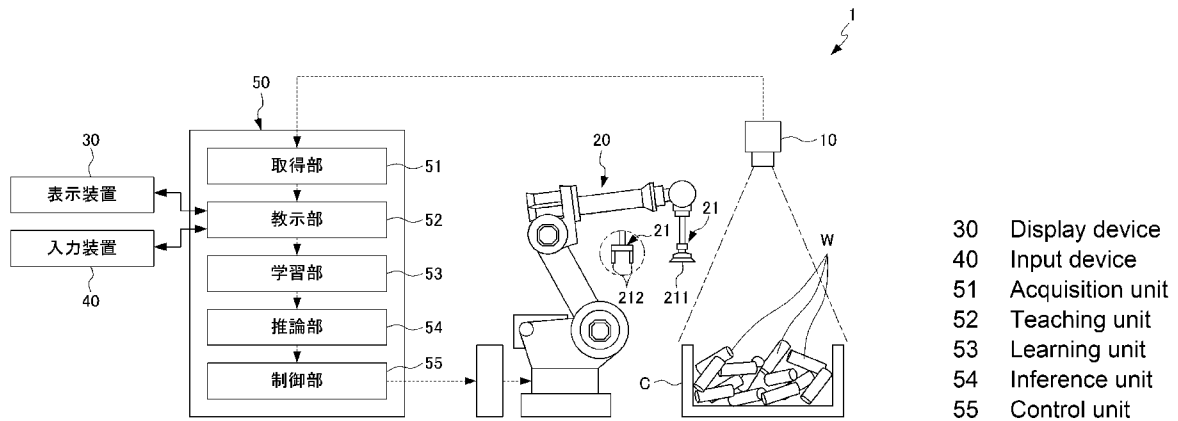
(10) 国際公開番号

WO 2021/177239 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 9/22 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)
B25J 13/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/007734
- (22) 国際出願日: 2021年3月1日(01.03.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-037638 2020年3月5日(05.03.2020) JP
- (71) 出願人: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).
- (72) 発明者: 李 維佳 (LI Weijia); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).
- (74) 代理人: 正林 真之, 外(SHOBAYASHI Masayuki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 1 - 7 - 1 2 サピアタワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) Title: EXTRACTION SYSTEM AND METHOD

(54) 発明の名称: 取り出しシステム及び方法



(57) **Abstract:** Provided is an extraction system which can suitably extract a workpiece by machine learning. The extraction system is provided with: a robot which has a hand; an acquisition unit which acquires a two-dimensional camera image of an area where a plurality of workpieces are present; a teaching unit which can display the two-dimensional camera image and teach an extraction position of a target workpiece to be extracted by the hand from among the plurality of workpieces; a learning unit which generates a learning model on the basis of the two-dimensional camera image and the taught extraction position; an inference unit which infers the extraction position of the target work on the basis of the learning model and the two-dimensional camera image; and a control unit which controls the robot to extract the target workpiece by means of the hand on the basis of the inferred extraction position.

ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：機械学習により適切にワークを取り出すことができる取り出しシステムを提供する。取り出しシステムは、ハンドを有するロボットと、複数のワークの存在領域の2次元カメラ画像を取得する取得部と、2次元カメラ画像を表示するとともに、複数のワークのうちハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示可能な教示部と、2次元カメラ画像と教示された取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する学習部と、学習モデルと2次元カメラ画像に基づいて対象ワークの取り出し位置を推論する推論部と、推論された取り出し位置に基づいて、ハンドにより対象ワークを取り出すようロボットを制御する制御部と、を備える。

明 細 書

発明の名称： 取り出しシステム及び方法

技術分野

[0001] 本発明は、取り出しシステム及び方法に関する。

背景技術

[0002] 例えば複数のワークを収容する容器から、ロボットを用いてワークを1つずつ取り出すワーク取り出しシステムが使用されている。複数のワークが互いに重なり合うよう配置されている場合、ワーク取り出しシステムは、3次元計測機等によりワークの距離画像（2次元の画素ごとに被写体までの距離を階調表現した2次元の画像）等を取得し、このような2次元の距離画像を利用してワークの取り出しを実現する方法がある。上側に配置されていて露出領域の面積が大きい（以下は「露出度が高い」と呼ぶ）取り出しやすいワークから優先的に、1つずつ順番に取り出すことによって、取り出しの成功率を向上することができる。このような取り出し作業を自動で行うことができるようにするためには、距離画像を解析してワークの頂点や平面などの特徴を抽出し、抽出したワーク特徴から取り出しやすい位置を推定するような複雑なプログラムの作成とビジョンパラメータ（画像処理用パラメータ）の調整が必要である。

[0003] 従来のワーク取り出しシステムにおいて、ワークの形状が変更された場合や新しいワークを取り出す場合、必要な特徴量を抽出できるようにするためには、取り出しやすい位置を推定するプログラムを改めて作成してビジョンパラメータを新たに調整する必要がある。このようなプログラムの作成は高度なビジョン専門知識が要求されるため、一般のユーザが短時間に容易に行い得ることではない。そこで、ワークの距離画像において取り出せそうなワークの位置をユーザが教示し、この教示データに基づく機械学習（教師あり学習）により距離画像から先に取り出すべきワークを推論する学習モデルを生成するシステムが提案されている（例えば、特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-58960号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述のように、距離画像において教示を行うシステムでは、比較的高価な3次元計測機が必要とされる。また、鏡面反射が強い光沢ワークや、光が透過する透明や半透明なワークでは、正確な距離を測定できず、ワーク上の小さな溝や段差、穴、浅い凹み部、又は光を反射する平面などの特徴を失ったような不完全な距離画像しか得られない可能性が高い。このような不完全な距離画像に対して、ユーザはワークの正しい形状や位置姿勢、周囲状況を正確に確認できずに間違った教示を行ってしまい、間違った教示データにより取り出すべきワークの位置を推論する学習モデルを適切に生成できない可能性が高い。

[0006] また、厚さの薄いワーク（例えば、名刺1枚）をテーブルやコンテナ、トレイなどに置いた場合で取得した距離画像上では、ワークと背景環境の境界線が消えてしまい、ユーザはワークの有無、その形状やサイズを確認できなくなり、教示できなくなってしまうことがある。同じ種類のワーク2つが密着に配置されている（例えば、同じサイズの段ボール2つが同じ向きに、くっ付いて配置されている）場合で取得した距離画像上では、隣接エリアのワークの境界線が消えてしまい、1つ大きなサイズのワークとして見えてしまう。このような距離画像に対して、ユーザはワークの有無、個数、形状やサイズを正確に確認できずに間違った教示を行ってしまい、間違った教示データにより取り出すべきワークの位置を推論する学習モデルを適切に生成できない可能性が高い。

[0007] また、距離画像は3次元形状の撮影点から視認できるワークの面の情報のみを有する。このように、ワークの視認できない側面の情報を含まない距離

画像を使用すると、ユーザは、例えばワークの側面の特徴、周囲のワークとの相対位置関係等の情報を知らずに間違った教示を行ってしまう場合がある。例えば、ワークの側面に大きくて不規則な凹み部が存在していることを距離画像から確認できずに、ユーザはその側面を把持して取り出すように教示してしまうと、取り出しハンドはワークを安定に把持できずに取り出しは失敗してしまう。また、ワークの真下に空きスペースが存在していることを距離画像から確認できずに、ユーザは真上からワークを吸着して取り出すように教示してしまうと、ハンドの取り出し動作による真下への力を受けて、ワークは真下の空きスペースへ逃げてしまい、取り出しは失敗してしまう。このため、距離画像において教示を行うシステムでは、ユーザは間違った教示を行いやすく、間違った教示データより、取り出すべきワークの位置を推論する学習モデルを適切に生成できないおそれがある。

[0008] 距離画像を用いた教示と学習の場合では間違った教示と学習が行われる可能性が高いという上述課題を解決し、機械学習により適切にワークを取り出すことができる取り出しシステム及び方法が望まれる。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示の一態様に係る取り出しシステムは、ハンドを有し、前記ハンドを用いてワークを取り出し可能なロボットと、複数のワークの存在領域の2次元カメラ画像を取得する取得部と、前記2次元カメラ画像を表示するとともに、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示可能な教示部と、前記2次元カメラ画像と教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する学習部と、前記学習モデルと2次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する推論部と、推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御する制御部と、を備える。

[0010] また、本開示の別の態様に係る取り出しシステムは、ハンドを有し、前記ハンドを用いてワークを取り出し可能なロボットと、複数のワークの存在領域の3次元点群データを取得する取得部と、3Dビューの中に前記3次元点

群データを表示するとともに、複数の前記ワークと周囲環境を複数の方向から表示可能であり、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示可能な教示部と、前記３次元点群データと教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する学習部と、前記学習モデルと３次元点群データに基づいて、前記対象ワークの取り出し位置を推論する推論部と、推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御する制御部と、を備える。

[0011] 本開示のまた別の態様に係る方法は、ハンドによりワークを取り出し可能なロボットを用いて、複数のワークの存在領域から対象ワークを取り出す方法であって、前記複数のワークの存在領域の２次元カメラ画像を取得する工程と、前記２次元カメラ画像を表示するとともに、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示する工程と、前記２次元カメラ画像と教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する工程と、前記学習モデルと２次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する工程と、推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御させる工程と、を備える。

[0012] 本開示のさらに別の態様に係る方法は、ハンドによりワークを取り出し可能なロボットを用いて、複数のワークの存在領域から対象ワークを取り出す方法であって、前記複数のワークの存在領域の３次元点群データを取得する工程と、３Ｄビューの中に前記３次元点群データを表示するとともに、複数の前記ワークとその周囲環境を複数の方向から表示可能であり、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示する工程と、前記３次元点群データと教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する工程と、前記学習モデルと３次元点群データに基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する工程と、推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前

記ロボットを制御させる工程と、を備える。

発明の効果

[0013] 本開示に係る取り出しシステムによれば、従来の距離画像による教示方法では間違いやすい教示を防ぐことができる。更に、取得した正しい教示データに基づいた機械学習により適切にワークを取り出すことができる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]本開示の第1実施形態の取り出しシステムの構成を示す模式図である。
- [図2]図1の取り出しシステムにおける情報の流れを示すブロック図である。
- [図3]図1の取り出しシステムの教示部の構成を示すブロック図である。
- [図4]図1の取り出しシステムにおける2次元カメラ画像上での教示画面の一例を示す図である。
- [図5]図1の取り出しシステムにおける2次元カメラ画像上での教示画面の別の例を示す図である。
- [図6]図1の取り出しシステムにおける2次元カメラ画像上での教示画面のさらに別の例を示す図である。
- [図7]図1の取り出しシステムにおける畳み込みニューラルネットワークの階層構造を例示するブロック図である。
- [図8]図1の取り出しシステムにおける2次元カメラ画像上での取り出し位置の推論及び取り出し優先順位の設定例を示す図である。
- [図9]図1の取り出しシステムにおけるワーク取り出しの手順の一例を示すフローチャートである。
- [図10]本開示の第2実施形態の取り出しシステムの構成を示す模式図である。
- [図11]図10の取り出しシステムにおける3次元点群データの3Dビュー上での教示画面の一例を示す図である。
- [図12]図10の取り出しシステムにおける取り出しハンドのアプローチ方向の教示画面の一例を示す図である。
- [図13]クーロン摩擦モデルを説明する模式図である。

[図14]クーロン摩擦モデルによる把持安定性の評価を説明する模式図である。

発明を実施するための形態

[0015] 本開示による実施形態は2つある。以下では、2つの実施形態についてそれぞれを述べる。

[0016] <第1の実施形態>

以下、本開示に係る取り出しシステムの実施形態について図面を参照しながら説明する。図1に、第1実施形態に係る取り出しシステム1の構成を示す。取り出しシステム1は、複数のワークWの存在領域（コンテナCの内部）からワークWを1つずつ取り出すシステムである。

[0017] 取り出しシステム1は、複数のワークWがランダムに重なり合って収容されるコンテナCの内部を撮影する情報取得装置10と、コンテナCからワークWを取り出すロボット20と、2次元画像を表示可能な表示装置30と、ユーザが入力可能な入力装置40と、ロボット20、表示装置30及び入力装置40を制御する制御装置50と、を備える。

[0018] 情報取得装置10は、RGB画像やグレースケール画像のような可視光画像を撮影するカメラとすることができる。また、不可視光画像を取得するカメラとして、例えば、人や動物などの検査用の熱画像を取得する赤外線カメラ、物体表面の傷や斑などの検査用の紫外線画像を取得する紫外線カメラ、病気診断用画像を取得するX線カメラ、海底探索用画像を取得する超音波カメラとすることもできる。この情報取得装置10は、上方からコンテナCの内部空間全体を撮影するよう配設される。図1はカメラを環境に固定するように描いているが、この設置方法に限定されず、カメラをロボット20の手先に固定してロボットの動きと共に移動しながら、異なる位置や角度からコンテナCの内部空間を撮影するよう配設されてもよい。また、取り出し動作を実施するロボット20とは別のロボットの手先にカメラを固定して撮影し、異なるロボットの制御装置間の通信により、カメラの取得データと処理結果を受け取って、ロボット20が取り出し動作を実施してもよい。また、情

報取得装置 10 は、撮影する 2 次元画像の画素毎の深度（情報取得装置 10 から被写体までの垂直距離）を測定する構成を有してもよい。このような深度を測定する構成としては、例えばレーザスキャナ、音波センサなどの距離センサ、ステレオカメラを構成するための第 2 カメラ又はカメラ移動機構等を挙げることができる。

[0019] ロボット 20 は、先端にワーク W を保持する取り出しハンド 21 を有する。このロボット 20 は、図 1 に例示するように垂直多関節型ロボットとすることができるが、これに限定されず、例えば直交座標型ロボット、スカル型ロボット、パラレルリンク型ロボット等であってもよい。

[0020] 取り出しハンド 21 は、ワーク W を 1 つずつ保持することができる任意の構成とすることができる。例として、取り出しハンド 21 は、図 1 に示すように、ワーク W を吸着する吸着パッド 211 を有する構成とすることができる。このようにエアの気密性を利用してワークを吸着する吸着ハンドでもよいが、エアの気密性を要求しない吸引力が強い吸引ハンドでもよい。また、取り出しハンド 21 は、図 1 に二点鎖線で囲んで示す代案のようにワーク W を挟み込んで保持する一对の把持指 212 又は 3 本以上の把持指 212 を有する構成とされてもよく、複数の吸着パッド 211 を有する構成（不図示）とされてもよい。あるいは、鉄製などのワークを磁力で保持するような磁気ハンドを有する構成（不図示）とされてもよい。

[0021] 表示装置 30 は、例えば液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ等の 2 次元画像を表示できる表示装置であり、後述する制御装置 50 からの指示に従って画像を表示する。また、表示装置 30 は、制御装置 50 と一体であってもよい。

[0022] 表示装置 30 により、2 次元画像の表示に加えて、ワークと接する部分の取り出しハンド 21 の 2 次元的な形状とサイズを反映した 2 次元仮想ハンド P を 2 次元画像上に描画して表示してもよい。例えば、吸着パッドの先端部の形状とサイズを反映した円や楕円、磁気ハンドの先端部の形状とサイズを反映した矩形などを 2 次元画像上に描画し、マウスが指さしている通常の矢

印形状のポインタの代わりに、この円状又は楕円状、矩形状の2次元仮想ハンドPを常に描画して表示する。マウスの移動操作とともに、円状又は楕円状、矩形状の2次元仮想ハンドPは2次元画像上で移動され、ユーザが教示しようとする2次元画像上のワークの上に被らせられ、この状態をユーザが目視して、仮想ハンドPは当該ワークの周囲のワークとの干渉があるかどうか、当該ワークの中心から大きくずれているかどうかを確認できるようになる。

[0023] 表示装置30により、2次元画像の表示に加えて、取り出しハンド21のワークとの接触位置が2ヶ所以上に存在する場合は、ワークと接する部分の取り出しハンド21の方向性（2次元の姿勢）と中心位置を反映した2次元仮想ハンドPを2次元画像上に描画して表示してもよい。例えば、2つの吸着パッドを有するハンドに対して、吸着パッドを表す円又は楕円2つの中心を結ぶ直線を描画して表示し、直線の中点にドットを描画して表示し、あるいは、2つの把持指を有する把持ハンドに対して、把持指を表す矩形2つの中心を結ぶ直線を描画して表示し、直線の中点にドットを描画して表示する。取り出す対象ワークは360°に方向性がないような球状ワークではない場合、例えば、方向性がある細長い回転軸のワークを取り出す際に、ハンドの取り出し中心位置を表しているドットをワークの重心付近に置いて取り出し中心位置を教示し、ハンドの長手方向を表している上述直線を回転軸の長手方向である軸方向に一致させて2次元仮想ハンドPの姿勢を教示することができる。これにより、ワーク重心から大きくずれることなくバランスよくワークを保持でき、2つの吸着パッド又は把持指は共にワークと2点で接触して安定にワークを保持でき、方向性がある細長い回転軸のようなワークを安定に取り出すことができる。

[0024] 表示装置30により、2次元画像の表示に加えて、取り出しハンド21のワークとの接触位置が2ヶ所以上に存在する場合は、ワークと接する部分の取り出しハンド21の間隔を反映した2次元仮想ハンドPを2次元画像上に描画して表示してもよい。例えば、2つの吸着パッドを有するハンドに対し

て、吸着パッドを表す円又は楕円2つの中心間距離を表した直線を描画して表示し、中心間距離の値を数値的に表示し、直線の中点にドットを描画してハンドの取り出し中心位置として表示してもよい。同様に、2つの把持指を有する把持ハンドに対して、把持指を表す矩形2つの中心間距離を表した直線を描画して表示し、中心間距離の値を数値的に表示し、直線の中点にドットを描画してハンドの取り出し中心位置として表示してもよい。このような仮想ハンドPを2次元画像上の対象ワークに被らせることで、吸着パッド又は把持指は対象ワークの周囲のワークとの干渉がないように、中心間距離を短くしてハンドの間隔を教示できるようになる。また、数値的に表示されている中心間距離をユーザが目視し、その値はハンドの動作範囲を超えていて実質上に実現できないものであるかどうかを確認できる。動作範囲を超えた場合に表示されるポップアップ画面上のアラームメッセージを見て、ユーザは中心間距離を短くして、実質上に実現できるようなハンドの間隔を教示できるようになる。

[0025] 表示装置30により、2次元画像の表示に加えて、ワークと接する部分の取り出しハンド21の2次元形状、サイズ、ハンドの方向性（2次元の姿勢）や間隔の組合せを反映した2次元仮想ハンドPを2次元画像上に描画して表示してもよい。

[0026] 表示装置30により、2次元画像の表示に加えて、後述する教示部52によりユーザが教示した2次元画像上の教示位置に、小さいドットや丸、三角形などの単純な印を2次元画像上に描画して表示してもよい。ユーザはこの単純な印を見て、2次元画像上のどこを教示したかどこを教示していないか、教示位置の総数は少なすぎないかを把握できるようになる。さらに、既に教示した位置は実はワークの中心からずれているかどうか、間違えて意図しなかった位置を教示した（例えば、近い位置でマウスを間違えて2回クリックした）かどこを確認できるようになる。さらに、教示位置の種類が異なる場合、例えば、複数種類のワークが混在する場合、異なるワーク上の教示位置に異なる印を描画して表示し、円柱ワーク上の教示位置にドットを描画

して、立方体ワーク上の教示位置に三角形を描画して、区別がつくように教示してもよい。

[0027] 表示装置30により、2次元画像上に2次元仮想ハンドPを表示するとともに、2次元仮想ハンドPが指している2次元画像上の画素の深度の値を数値的に表示してもよい。また、2次元画像上に2次元仮想ハンドPを表示するとともに、2次元画像上の画素毎の深度情報に応じて、2次元仮想ハンドPのサイズを変化させて表示してもよい。あるいは、両方とも表示してもよい。同じワークであっても、カメラの撮影位置からの深度が深いほど、画像上に写っているワークのサイズが小さくなる現象がある。この時に、深度情報に合わせて2次元仮想ハンドPのサイズを小さくして、画像上に写っている各ワークと2次元仮想ハンドPのサイズの比例を実世界でのワークと取り出しハンド21の実寸比例に一致させて表示することで、ユーザが実世界の状況を正確に把握して正しい教示を行えるようになる。

[0028] 入力装置40は、例えばマウス、キーボード、タッチパッド等のユーザが情報を入力することができる装置とすることができる。例えば、ユーザはマウスホイールを回すことで、又はキーボードのキーを押すことで、タッチパッドの指操作（例えば、スマホの指操作のピンチイン／ピンチアウトのようなもの）で、表示されている2次元画像を拡大／縮小してワークの詳細部の形状（例えば、段差や溝、穴、凹みの有無など）やワーク周囲状況（例えば、隣接ワークとの境界線の位置）を確認してから教示を行うことができる。また、ユーザはマウスの右ボタンをクリックしたままマウスを移動することで、又はキーボードのキー（例えば、方向キー）を押すことで、タッチパッドの指操作（例えば、スマホの指操作のようなもの）で、表示されている2次元画像を移動してユーザの着目したい領域を確認する。マウスの左ボタンや、キーボードのキーやタッチパッドなどをクリックして、ユーザの教示したい位置を教示する。

[0029] また、入力装置40はマイク等の装置であって、これによりユーザが音声コマンドを入力して、制御装置50は音声コマンドを受け取って音声認識を

行ってその内容に応じた教示を自動的に行うこととされてもよい。例えば、ユーザからの「白い平面の中心」という音声コマンドを受け取って、制御装置50は「白い」と「平面」、「中心」といった3つのキーワードを認識し、「白い」であり、かつ「平面」であるような特徴を画像処理により推定し、推定した「白い平面」の「中心」位置を教示位置として自動的に教示を行うとしてもよい。

[0030] 入力装置40は、表示装置30と一体化したタッチパネル等の装置であってもよい。また、入力装置40は、制御装置50と一体であってもよい。この場合、ユーザが制御装置50の教示操作盤のタッチパネルまたはキーボードを使用して教示を行う。図2には、制御装置50の各構成要素間の情報の流れを示す。

[0031] 制御装置50は、CPU、メモリ、通信インターフェイス等を備える1つ又は複数のコンピュータ装置に適切なプログラムを実行させることによって実現することができる。この制御装置50は、取得部51と、教示部52と、学習部53と、推論部54と、制御部55と、を備える。これらの構成要素は、機能的に区別されるものであって、物理的構造及びプログラム構造において明確に区分できる必要はない。

[0032] 取得部51は、複数のワークWの存在領域の2.5次元画像データ（2次元カメラ画像及び2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含むデータ）を取得する。取得部51は、情報取得装置10から2次元カメラ画像及び深度情報を含む2.5次元画像データを受信してもよく、深度情報の測定機能を有しない情報取得装置10から2次元カメラ画像データのみを受信して2次元カメラ画像データを解析することにより画素毎の深度を推定して2.5次元画像データ生成してもよい。2.5次元画像データは、以下で画像データとして記載されることがある。

[0033] 深度情報の測定機能を有しない1台のカメラより取得した2次元カメラ画像データから深度を推定する方法としては、情報取得装置10から遠い被写体ほど2次元カメラ画像に写っているもののサイズが小さくなることを利用

する方法がある。具体的には、コンテナC内部のワークの配置を変えないまま、取得部51は、異なる距離（距離情報は既知）から同じコンテナCの内部の同じ配置状態を複数枚の画像を撮影して取得したデータに基づいて、新たに撮影した2次元カメラ画像上のワークW又はその特徴部位の大きさに基づいてそのワークWが存在する画素の深度（カメラからの距離）を算出することができる。また、1台のカメラをカメラ移動機構又はロボットの手先に固定して、異なる距離と角度から撮影した視点が異なる複数の2次元カメラ画像の特徴点の位置ずれ（視差）に基づいて、2次元カメラ画像上の特徴点の深度を推定してもよい。あるいは、3次元位置を識別するための模様パターンが入っているような特定な背景の中にワークを置いて、ワークまでの距離と視点を変えながら撮影した大量の2次元カメラ画像に対して、深層学習を利用して、実際に画像上に写っているワークのサイズから深度を推定してもよい。

[0034] 教示部52は、取得部51が取得した2次元カメラ画像を表示装置30により表示するとともに、ユーザが入力装置40を用いて2次元カメラ画像上で複数のワークWの中の取り出すべき対象ワークW_oの2次元の取り出し位置又は深度情報付きの取り出し位置を教示することができるよう構成される。

[0035] 教示部52は、図3に示すように、取得部51が取得したデータの中から、ユーザが入力装置40を介して教示操作を行う2次元画像データ又は2次元カメラ画像を選択するデータ選択部521と、表示装置30および入力装置40との情報の授受を管理する教示インターフェイス522と、ユーザが入力した情報を処理して学習部53が利用可能な教示データを生成する教示データ処理部523と、教示データ処理部523が生成した教示データを記録する教示データ記録部524と、を有する構成とすることができる。なお、教示データ記録部524は、教示部52の必須の構成ではない。例えば、外部のコンピュータ、ストレージ、サーバ等の記憶部を用いて記憶しても良い。

- [0036] 図4に、表示装置30に表示される2次元カメラ画像の一例を示す。図4は、円柱状のワークWがランダム収容されたコンテナCを撮影したものである。2次元カメラ画像は、取得が容易であり（取得デバイスは安価）、距離画像のようにデータ抜け（値を特定できない画素）が発生しにくい。さらに、2次元カメラ画像が、ユーザが直接ワークWを見たときの映像と近似している。このため、教示部52がユーザに2次元カメラ画像上で教示位置を入力させることによって、ユーザの知見を十分に活用して対象ワークW_oを教示することができる。
- [0037] 教示部52は、1つの2次元カメラ画像上で複数の教示位置を入力できるよう構成されてもよい。これにより、効率よく教示を行い、取り出しシステム1に短時間で適切なワークWの取り出しを学習させることができる。さらに、上述の複数種類のワークが混在する場合は異なる種類のワークに異なる印を描画するなど、教示した複数の教示位置の性質に応じて、分類して表示してもよい。これにより、教示数が足りないワークの種類をユーザが目視して把握し、教示数が足りないことによる学習不足を防止できる。
- [0038] 教示部52は、リアルタイムに撮影した2次元カメラ画像を表示してもよい。また、教示部52は、過去に撮影してメモリデバイスに保存された2次元カメラ画像を読み出して表示しても良い。教示部52は、過去に撮影された2次元カメラ画像上でユーザが教示位置を入力できるよう構成されてもよい。予め撮影された複数の2次元カメラ画像はデータベースに登録されていても良い。教示部52は、教示に用いる2次元カメラ画像をデータベースから選択可能であり、さらに教示した教示位置を記録した教示データをデータベースに登録できる。教示データをデータベースに登録することにより、教示データを世界中の異なる場所に設置されている複数台のロボット間で共有できるようになり、より効率的に教示を行うことができる。また、実際にロボット20の取り出し動作を実行させることなく教示を行うことにより、適切な取り出し動作を行うためのビジョンプログラムの作成や画像処理パラメータの調整が難しいワークWに対しても、長い調整時間をかけて失敗率の

高い取り出し動作を実行するような無駄な作業は必要なくなる。例えば、取り出しハンド21とコンテナCの壁との衝突が発生しそうな場合、コンテナ壁に近い位置のワークを取らないように教示するなど、ワークWを確実に取り出すことができる取り出し条件を教示することができる。

[0039] ユーザは、自身の知見に基づいて、先に取り出すべきと思われるワークWを対象ワークW○とし、この対象ワークW○を保持できる取り出しハンド21の取り出し基準位置を教示位置として教示する。具体的には、ユーザは、露出度が高いワークW、例えば、他のワークWが上に重なっていないワークWや、深度が浅い（他のワークWよりも上に位置する）ワークWを対象ワークW○とすることが好ましい。また、取り出しハンド21が吸着パッド211を有する場合、ユーザは、より大きな平坦な表面を有する部分が2次元カメラ画像に現れているワークWを対象ワークW○とすることが好ましい。このような大きな平面と接触して、吸着パッド211は容易に気密性を保ちながら確実にワークを吸着して取り出せる。また、取り出しハンド21が一对の把持指212によりワークWを挟持する場合、ユーザは、取り出しハンド21の把持指212を配置すべき両側の空間に他のワークWや障害物が存在しないワークを対象ワークW○とすることが好ましい。また、画像上に表示されている一对の把持指212の間隔でワークWを把持する場合、ユーザは、把持指とワークの接触面積がより広い接触部分が露出しているワークを対象ワークW○とすることが好ましい。

[0040] 教示部52は、前述仮想ハンドPを用いて教示位置を教示するよう構成されてもよい。これにより、ユーザが対象ワークW○を取り出しハンド21により保持できる適切な教示位置を容易に認識することができる。具体的には、仮想ハンドPは、図4に示すように、吸着パッド211の外郭と吸着パッド211の中心の吸着のための空気流路とを模した同心円状の形態を有するものとされてもよい。また、取り出しハンド21が複数の吸着パッド211を有する場合、図5に示すように、仮想ハンドPは、各吸着パッド211の外郭と各吸着パッド211の中心の吸着のための空気流路とを模したものの複

数とすることができる。取り出しハンド21が一对の把持指212を有する場合には、仮想ハンドPは、図6に示すように、把持指212の外郭を示す一对の矩形を有するものとすることができる。

[0041] 仮想ハンドPは、取り出しが成功しやすいように取り出しハンド21の特徴を反映して表示してもよい。例えば、吸着パッド211によりワークを吸着して取り出す場合、ワークと接する部分である吸着パッド211を2次元画像上の2つ同心円（図4に参照）として表示することができる。内側の円は空気通路を表していて、取り出しの成功に欠けられない気密性を保つように、内側の円とワークが重なる領域内にワークの穴や段差、溝などがないように、ユーザが目視しながら教示することで、取り出しの成功率が高くなるように正しい教示を行える。外側の円は吸着パッド211の一番外側の境界線を表していて、外側の円が周囲環境（隣のワークやコンテナ壁など）との干渉がないような位置を教示位置として教示しておくことで、取り出し動作中に取り出しハンド21が周囲環境と干渉することなくワークを取り出せるようになる。さらに、2次元画像上の画素毎の深度情報に応じて、同心円のサイズを変化させて表示すると、実世界でのワークと吸着パッド211の実比例に応じてより正確な教示を行える。

[0042] 教示部52は、取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢（2次元姿勢）を教示するように構成されてもよい。図5及び図6に示すように、取り出しハンド21が複数の吸着パッド211を有する場合や一对の把持指212を有する場合等、取り出しハンド21の対象ワークW0に接する部分が方向性を有する場合には、表示される仮想ハンドPの2次元角度（取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢）を教示可能であることが好ましい。このように仮想ハンドPの2次元角度を調節するために、仮想ハンドPは、角度を調節するためのハンドルを有してもよいし、取り出しハンド21の方向性を示した矢印（例えば、中心位置から長手方向に指す矢印）を有してもよい。このようなハンドル又は矢印が対象ワークW0の長手方向となす角度（2次元姿勢）をリアルタイムに表示して教示を行ってもよい。入力装置40を利

用して、例えば、マウスの右ボタンを押下したままマウスを移動することによりハンドル又は矢印を回転させて、取り出しハンド21の長手方向が対象ワークWの長手方向と一致しているような望ましい角度となるところで、マウスの左ボタンをクリックしてその角度を教示してもよい。このように、仮想ハンドPの2次元角度を教示可能とすることによって、方向性を有するワークWがどのような向きに配置されていたとしても、取り出しハンド21をワークWの向きに合わせることで、エア吸着に必要な気密性を保ちつつ、バランスを取れた状態でワークを保持して取り出し、確実にワークWを取り出すことが可能となる。

[0043] また、図5に示す例では、2つの吸着パッド211を有する取り出しハンド21を用いて、真ん中の太い部分に溝1ヶ所が存在している長い鉄製の回転軸であるワークWを吸着して取り出す例である。この例において、長いワークをバランスよく取り出すために、2つの吸着パッド211をワークWの長手方向の約1/3、2/3の位置にそれぞれ当接させることで、持ち上げられる時にワークWはバランスが崩して落下することなく、確実にワークWを保持して取り出せる。教示する時は、例えば、2つの吸着パッド211の中心位置（2つの吸着パッド211を結んだ直線の中点、例えば、ドットとして描画されて表示される）を回転軸の真ん中の太い部分の中心に合わせて配置して取り出しの中心位置を教示し、表示されるハンドル又は矢印を利用して、取り出しハンド21の長手方向（2つの吸着パッド211を結んだ直線に沿った方向）が回転軸のワークWの長手方向と一致するように、取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢を教示してもよい。

[0044] また、図6に示す例では、ワークWは、一端に管用ねじ、他端に90°屈曲したチューブ接続用カプラ、中央部に工具に係合する多角柱状のナット部が設けられているエア継手である。一对の把持指212を有する取り出しハンド21を用いてワークWを把持して取り出す例である。この例において、取り出しハンド21は、挟み側が平坦な面となっている一对の把持指212により、ワークWの中で最も大きな平坦な面を有する多角柱状のナット部を

挟み込むように、取り出しハンド21の取り出し中心位置を教示する。取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢に関しては、接触するナット部の平面の法線方向と一对の把持指212の開閉方向が一致するように2次元の角度を教示し、これにより、接触時に対象ワークWの余計な2次元の回転運動が生じることなく、より大きな平面接触を得てより大きな摩擦力が生じて、より強い把持力で確実にワークWを保持することができる。

[0045] このように、ユーザが教示部52において、一对の把持指212や複数の吸着パッド211の2次元的な形状とサイズ、ハンドの方向性（例えば、長手方向、開閉方向）と中心位置、複数パッドや指の間隔を反映した仮想ハンドPを、対象ワークWに対して実際の吸着パッド211や把持指212を配置すべき位置に位置決めして教示位置を教示することができる。これにより、取り出しハンド21の取り出し位置とともに、対象ワークWを適切に保持できる取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢（2次元カメラ画像の画像平面内における回転角度）を同時に教示することができる。

[0046] 教示部52は、複数の対象ワークWの取り出し順番を教示するように構成されてもよい。情報取得装置10により取得された2.5次元画像データに含まれる深度情報を表示装置30に表示して取り出す順番を教示してもよい。例えば、仮想ハンドPが指している2次元カメラ画像上の各画素に対応している深度情報を2.5次元画像データから取得し、その深度の値をリアルタイムに表示することで、複数の近いワークの中でどのワークの位置が上にあるか、どのワークの位置が下にあるかを判断できる。また、ユーザが仮想ハンドPをそれぞれの画素位置に移動してその深度の値を確認して数値的に比較することで、上に位置するワークを優先的に取り出すように取り出す順番を教示できるようになる。また、ユーザが2次元カメラ画像を目視し、周囲に被られずに露出度が高いワークWを優先的に取り出すように取り出し順番を教示してもよいし、表示された深度の値がより小さい（より上に位置する）、かつ、露出度がより高いワークWを優先的に取り出すように取り出し順番を教示してもよい。

[0047] 教示部52は、ユーザが取り出しハンド21の動作パラメータを教示可能に構成されてもよい。例えば、取り出しハンド21の対象ワークW_oとの接触位置が2ヶ所以上に存在する場合、教示部52は、取り出しハンド21の開閉度を教示するように構成されてもよい。取り出しハンド21の動作パラメータとしては、取り出しハンド21が一对の把持指212を有する場合の一对の把持指212の間隔（取り出しハンド21の開閉度）を挙げることができる。対象ワークW_oに対して取り出しハンド21の取り出し位置を決めるとき、一对の把持指212の間隔をワークWの挟み込まれる部分の幅よりもわずかに多い値に設定することにより、対象ワークW_oの両側に必要とされる把持指212を挿入するための空間を小さくすることができるので、取り出しハンド21により取り出し可能なワークWを増やすことができる。また、ワークWを安定に把持可能な領域がワークW上に複数箇所が存在している場合、それぞれの把持可能な領域の幅に合わせて異なる開閉度を教示しておく和良好的。これにより、例えば、1ヶ所の把持可能な領域が周囲のワークに被られて露出していない場合でも、露出している他の把持可能な領域を把持することで、様々な重なり合う状態の中で、取り出しハンド21により取り出し可能なワークWを増やすことができる。同じ対象ワークW_oに複数の把持可能な候補領域を同時に見付けた場合、候補領域の中心位置の深度情報を利用して、最も上に位置する候補領域を優先的に把持対象として決めることで、周囲ワークに被られて失敗するリスクを減らして取り出すことができる。あるいは、複数種類のワークに対して、それぞれのワーク上の把持可能な領域の幅に合わせて異なる開閉度を教示しておく、複数種類のワークが混在している場合でも、それぞれのワーク上の適正な把持領域を適切な開閉度で把持して取り出すこともできる。動作パラメータの設定は、数値を直接入力して行ってもよいが、表示装置30に表示するバーの位置を調節することにより行うよう構成されることで、ユーザが直感的に動作パラメータを設定することを可能にする。

[0048] 取り出しハンド21が把持ハンドである場合、教示部52は、把持指によ

る把持力を教示するように構成されてもよい。また、把持指の把持力を検出するセンサなどを有しない場合、教示部52は、取り出しハンド21の開閉度を教示するとともに、事前に推定された開閉度と把持力の対応関係に基づいて把持力を推定して教示してもよい。把持時の一对の把持指212の開閉度（指の間隔）を表示装置30に表示し、入力装置40を介して表示される把持指212の開閉度を調整し、対象ワークWの把持される部分の幅と相対比較することで、調整された開閉度（即ち、把持時の把持指212の間隔）は、取り出しハンド21が対象ワークWを把持する把持力の強さを可視化した指標となることもできる。具体的に、把持時の一对の把持指212の理論上の間隔をワーク上の把持される部分の幅よりも小さくするほど、取り出しハンド21はワークWと接触した後にワークWを変形させるほど強く把持していることになるので、取り出しハンド21による把持力が大きくなっていることになる。より詳しくは、把持指212の理論上の間隔とワークWの把持される部分の通常時の幅との差（以下は「オーバーラップ量」と呼ぶ）は、把持指212やワークWの弾性変形により吸収され、この弾性変形の弾性力が対象ワークWに対する把持力として作用する。このオーバーラップ量がプラスの値ではない時の把持力をゼロとして表示しておくことで、把持指212とワークWは未接触であるか、力が伝わらないような軽い点接触になっていることになる。このような状況をユーザが把持力の表示値を目視して確認できるので、把持力の不足によるワークWの落下を防ぐことができる。異なる材質において、このオーバーラップ量と把持力の強さの対応関係を事前の実験で収集したデータより推定してデータベースとして蓄積しておくことで、ユーザが理論上の間隔を指定した時、そのオーバーラップ量に対応している把持力の強さの推定値をデータベースから読み込んで教示部52に表示することができる。したがって、ワークWや把持指212の材質及び大きさを考慮して、把持指212の理論上の間隔をユーザが指定することで、取り出しハンド21によりワークWを潰すことなく、落とすことなく、適切な把持力で保持することが可能となる。

- [0049] 取り出しハンド21が把持ハンドである場合、教示部52は、把持安定性を教示するように構成されてもよい。教示部52は、把持指212と対象ワークW○が接触する時にその間に作用する摩擦力に対してクーロン摩擦モデルを用いて解析し、クーロン摩擦モデルに基づいて定義した把持安定性を表した指標の解析結果を図式的に数値的に表示装置30に表示する。ユーザはその結果を目視して確認しながら取り出しハンド21の取り出し位置及び2次元の取り出し姿勢を調整し、より高い把持安定性を得られるように教示できる。
- [0050] 教示部52により、2次元カメラ画像上で把持安定性を教示する方法は、後述する第2の実施形態により記述している3次元点群データ上で把持安定性を教示する方法とは共通な部分が多いため、ここでは、重複な記述を省略して、異なる点のみについて述べる。
- [0051] 図13に示すクーロン摩擦モデルは3次元的に記述したものであり、その場合の把持指212と対象ワークW○の間の滑りを起こさないような望ましい接触力は、図示の3次元の円錐状空間内にあるものである。2次元画像上で把持安定性を教示する場合は、把持指212と対象ワークW○の間の滑りを起こさないような望ましい接触力は、上述3次元の円錐状空間を2次元平面である画像平面に投影することにより得られる2次元の三角形形状のエリア内にあるものとして表すことができる。
- [0052] このように2次元的に記述したクーロン摩擦モデルを利用して、2次元画像において、把持指212と対象ワークW○の間の滑りを起こさないような望ましい接触力 f の候補群は、クーロン摩擦係数 μ 、正圧力 $f_{\perp}$ に基づき、頂角の最大値が $2 \tan^{-1} \mu$ を超えない2次元の三角形形状の2次元空間（力三角形形状空間） A_f である。滑りを起こさずに対象ワークW○を安定に把持するための接触力はこの力三角形形状空間 A_f の内部に存在する必要がある。力三角形形状空間 A_f 内の任意の1つの接触力 f により、対象ワークW○の重心周りのモーメントが1つ発生するので、このような望ましい接触力の力三角形形状空間 A_f に対応するモーメントの三角形形状空間（モーメント三角形形状空間）

間) A_m が存在することになる。このような望ましいモーメント三角形空間 A_m は、クーロン摩擦係数 μ 、正圧力 $f_{\perp}$ 、対象ワーク W_o の重心 G から各接触位置までの距離に基づいて定義されるものである。

[0053] 滑りを起こさずに対象ワーク W_o を落とさずに安定に把持するためには、各接触位置における各接触力がそれぞれの力三角形空間 A_{f_i} ($i = 1, 2, \dots$ は接触位置の総数) の内部に存在し、且つ各接触力により発生する対象ワーク W_o の重心周りの各モーメントが、それぞれのモーメント三角形空間 A_{m_i} ($i = 1, 2, \dots$ は接触位置の総数) の中に存在する必要がある。したがって、複数の接触位置のそれぞれの力三角形空間 A_{f_i} を全て含む2次元の最小凸包(全てを含む最小の凸状の包絡形状) H_f は対象ワーク W_o を滑らせずに安定に把持するための望ましい力の安定候補群であり、複数の接触位置のそれぞれのモーメント三角形空間 A_{m_i} を全て含む2次元の最小凸包 H_m は対象ワーク W_o を滑らせずに安定に把持するための望ましいモーメントの安定候補群である。つまり、最小凸包 H_f 、 H_m の内部に対象ワーク W_o の重心 G が存在する場合は、把持指 212 と対象ワーク W_o の間に発生する接触力は前述の力の安定候補群にあり、発生する対象ワーク W_o の重心回りのモーメントは前述のモーメントの安定候補群にあるため、このような把持は、滑って対象ワーク W_o の位置姿勢を撮影時の初期位置から散らかすこともなく、滑って対象ワーク W_o を落とすこともなく、また、意図しないような対象ワーク W_o の重心周りの回転運動が生じることもないため、把持は安定していると判断することができる。

[0054] 2次元画像平面に投影して2次元的に記述したクーロン摩擦モデルを用いた解析では、2次元画像において、前述最小凸包 H_f 、 H_m のボリュームはそれぞれ、異なる2つの2次元凸空間の面積として求めることができる。面積が大きいほど、対象ワーク W_o の重心 G を包含しやすくなるため、安定に把持するための力とモーメントの候補が多くなることから、把持安定性が高いと判断することができる。

[0055] 具体的な判断指標としては、例として、把持安定性評価値 $Q_o = W_{11} \varepsilon +$

$W_{12}V$ を用いることができる。ここで、 ε は対象ワーク W_o の重心 G から最小凸包 H_f または H_m の境界までの最短距離（力の最小凸包 H_f の境界までの最短距離 ε_f 又はモーメントの最小凸包 H_m の境界までの最短距離 ε_m ）であり、 V は最小凸包 H_f または H_m のボリューム（力の最小凸包 H_f の面積 A_f 又はモーメントの最小凸包 H_m の面積 A_m ）であり、 W_{11} 及び W_{12} は定数である。このように定義した Q_o は、把持指 212 の数（接触位置の数）にかかわらずに用いることができる。

[0056] このように、教示部 52 において、把持安定性を表した指標は、仮想ハンド P の対象ワーク W_o に対する複数接触位置及び各接触位置における取り出しハンド 21 と対象ワーク W_o の間の摩擦係数のうち少なくとも1つを用いて算出した最小凸包 H_f 、 H_m のボリュームと、対象ワーク W_o の重心 G から最小凸包の境界までの最短距離と、のうち少なくとも1つを用いて定義される。

[0057] 教示部 52 は、ユーザが取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を仮に入力したときに表示装置 30 に把持安定性評価値 Q_o の算出結果を数値的に表示する。同時に表示される閾値と比較して把持安定性評価値 Q_o は適切かどうかをユーザが確認できる。仮に入力した取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を教示データとして確定するか、取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を修正して再入力するかを選択可能に構成されてもよい。また、教示部 52 は、表示装置 30 に最小凸包 H_f 、 H_m のボリューム V 及び対象ワーク W_o の重心 G からの最短距離 ε を図式的に表示することによって、閾値を満たすような教示データの最適化が直感的に容易となるように構成されてもよい。

[0058] 教示部 52 は、ワーク W とコンテナ C の2次元カメラ画像を表示するとともに、ユーザが教示した取り出し位置と取り出し姿勢を表示し、これにより算出した最小凸包 H_f と H_m 、ボリュームと最短距離を図式的に数値的に表示して、安定に把持するためのボリュームと最短距離の閾値を提示して把持安定性の判断結果を表示すると構成されてもよい。これにより、対象ワーク

W_oの重心GがH_f, H_mの内部にあるかどうかをユーザが目視して確認できる。重心Gが外れていると発見した場合、ユーザは教示位置と教示姿勢を変更して再計算のボタンをクリックすると、新たな教示位置と教示姿勢を反映した最小凸包H_f, H_mは図式的に更新して反映される。このような操作を何回か繰り返して行うことで、ユーザは目視して確認しながら、対象ワークW_oの重心GがH_f, H_mの内部にあるような望ましい位置と姿勢を教示できる。把持安定性の判断結果を確認しながら、ユーザは必要に応じて教示位置と教示姿勢を変更し、より高い把持安定性を得られるように教示できる。

- [0059] 教示部52は、ワークWのCADモデル情報に基づいてワークWの取り出し位置を教示するよう構成されてもよい。例えば、教示部52は、2次元画像上に写っているワークWの穴や溝、平面などの特徴を画像前処理より取得し、ワークWの3次元CADモデル上の同じ特徴を見付け、それを中心として3次元CADモデルをワークの特徴平面（ワーク上にある穴や溝の平面、又はワーク上の平面そのもの）に投影して生成した2次元CAD図を2次元画像上の同じ特徴の近傍の画像と照合し、近傍画像に合致するよう2次元CAD図を配置する。これより、情報取得装置10の調整ミスなどによりポイントが合わない、又は照明が明るすぎて暗すぎてはっきりと見えない一部エリアが存在する2次元画像を取得しても、はっきりと写っている別のエリアに存在する特徴（例えば、穴や溝、平面など）を上述方法によりCADデータとマッチングすることで、はっきりと見えないエリアの情報をCADデータから補間して表示し、補間した完全なデータをユーザが目視して確認しながら容易に教示できるようになる。また、2次元画像に合致するよう配置した2次元CAD図に基づいて、取り出しハンド21の把持指212とワークの間に作用する摩擦力を解析するようにしてもよい。これにより、ボケのある2次元画像に起因して把持の接触面の方向を間違ったり、不安定なエッジ部を挟んで取り出したり、穴などの特徴に吸着で取り出したりするように間違っ
- て教示したりすることを防止して、正しい教示を行えるようになる。

[0060] 教示部52は、2次元の取り出し姿勢なども教示された場合、ワークWのCADモデル情報に基づいてワークWの2次元の取り出し姿勢などを教示するよう構成されてもよい。例えば、前述のワークWのCADデータとマッチングする方法を利用して、2次元画像に合致するよう配置した2次元CAD図に基づいて、対称性を持つワークの2次元の取り出し姿勢の教示ミスをなくし、2次元画像の一部エリアにボケが存在すること起因する教示ミスをなくすることができる。

[0061] 学習部53は、2次元カメラ画像に教示位置である2次元の取り出し位置を含む教示データを加えた学習入力データに基づく機械学習（教師あり学習）によって、2次元カメラ画像を入力データとして対象ワークW₀の2次元の取り出し位置を推論する学習モデルを生成する。具体的には、学習部53は、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）により、2次元カメラ画像において各画素の近傍領域のカメラ画像と教示位置の近傍領域のカメラ画像との共通性を数値化して判定する学習モデルを生成し、教示位置との共通性がより高い画素により高いスコアを付けてより高く評価し、取り出しハンド21がより優先的に取りに行くべき目標位置として推論する。

[0062] また、学習部53は、2.5次元画像データ（2次元カメラ画像及び2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含むデータ）に教示位置である深度情報付きの取り出し位置を含む教示データを加えた学習入力データに基づく機械学習（教師あり学習）によって、2.5次元画像データを入力データとして対象ワークW₀の深度情報付きの取り出し位置を推論する学習モデルを生成するよう構成されてもよい。具体的には、学習部53は、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）により、2次元カメラ画像において各画素の近傍領域のカメラ画像と教示位置の近傍領域のカメラ画像との共通性を数値化して判定するルールAを確立し、さらに、もう1つの畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）により、画素毎の

深度情報から変換した深度画像において各画素の近傍領域の深度画像と教示位置の近傍領域の深度画像との共通性を数値化して判定するルールBを確立し、ルールAとルールBにより総合的に判断した教示位置との共通性がより高い深度情報付きの取り出し位置により高いスコアを付けてより高く評価し、取り出しハンド21がより優先的に取りに行くべき目標位置として推論してもよい。

[0063] また、学習部53は、教示部52において取り出しハンド21を示す仮想ハンドPの2次元角度（取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢）がさらに教示される場合、教示された仮想ハンドPの2次元角度（取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢）も加えて、対象ワークW_oを取り出す際の取り出しハンド21の2次元角度（2次元の取り出し姿勢）も推論する学習モデルを生成する。

[0064] 学習部53は、2次元カメラ画像に教示位置（取り出しハンド21の2次元の取り出し中心位置、例えば、2つの吸着パッド211を結ぶ直線の中心位置、又は一对の把持指212の指と指を結ぶ直線の中心位置）と教示姿勢（取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢）を含む教示データを加えた学習入力データとして、2次元カメラ画像を入力データとして2次元の取り出し中心位置と2次元の取り出し姿勢を推論する学習モデルを生成してもよい。1つの実現例として、教示した2次元の取り出し中心位置を中心位置として、この位置における2次元の取り出し教示姿勢により、中心位置から単位長さ（例えば、2つの吸着パッド211又は一对の把持指212の間隔の $1/2$ の値）で離れているところの2次元位置を算出し、算出した2次元位置を2番目の教示位置とする。これにより、2次元カメラ画像と教示位置と教示姿勢を学習入力データとして、2次元カメラ画像に基づいて2次元の取り出し中心位置と2次元の取り出し姿勢を推論する問題を、2次元カメラ画像に教示位置と2番目の教示位置を学習入力データとして、2次元カメラ画像に基づいて2次元の取り出し中心位置と、その位置から単位長さで離れている近傍の2番目の2次元位置を推論する問題に等価変換できる。2次元

カメラ画像に基づいて2次元の取り出し中心位置を推論する学習モデルは前述と同じ方法で生成させることができる。2次元カメラ画像に基づいて2番目の2次元位置を推論するためには、教示位置を中心として単位長さの4倍を一辺の長さとする教示位置近傍の正方形領域の画像において、教示位置を中心として単位長さを半径とする円上に360度に分布している複数の2次元位置の候補の中から、2番目の2次元位置1つを推論すればよい。この正方形領域の画像に基づいて、その中心である教示位置と2番目の教示位置との関係性をもう1つの畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network) により学習させて学習モデルを生成させる。

[0065] また、学習部53は、2.5次元画像データ（2次元カメラ画像及び2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含むデータ）に教示位置（深度情報付きの取り出し位置）と教示姿勢（取り出しハンド21の2次元の取り出し姿勢）を含む教示データを加えた学習入力データとして、2.5次元画像データに基づいて深度情報付きの取り出し位置と2次元の取り出し姿勢を推論する学習モデルを生成してもよい。具体的には前述方法の組合せにより実施してもよい。

[0066] 学習部53の畳み込みニューラルネットワークの構造は、図7に示すように、Conv2D（2Dの畳み込み演算）、AvgPooling2D（2Dの平均化プーリング演算）、UnPooling2D（2Dのプーリング逆演算）、Batch Normalization（データの正規性を保つ関数）、ReLU（勾配消失問題を防ぐ活性化関数）等の複数のレイヤを含むことができる。このような畳み込みニューラルネットワークでは、入力される2次元カメラ画像の次元を低減して必要な特徴マップを抽出し、さらに元の入力画像の次元に戻して入力画像上の画素毎の評価スコアを予測し、フルサイズで予測値を出力する。データの正規性を保ちながら勾配消失問題を防ぎつつ、出力する予測データと教示データの差が次第に小さくなっていくように各層の重み係数を学習より更新して決定する。これによって、学習

部53は、入力画像上の全ての画素を候補として万遍なく探索し、一気に全ての予測スコアをフルサイズで算出してその中から教示位置との共通性が高く、取り出しハンド21によって取り出せる可能性が高い候補位置を得るような学習モデルを生成することができる。このようにフルサイズで画像を入力してフルサイズで画像上の全ての画素の予測スコアを出力することで、漏れなく最適な候補位置を見付けることができる。また、フルサイズで予測できずに画像の一部を切り出す前処理が必要とされる学習方法と比べて、画像の切り出す方法がよくなければ、最もよい候補位置が漏れてしまう問題を防ぐことができる。具体的な畳み込みニューラルネットワークの層の深さや複雑さは、入力される2次元カメラ画像のサイズやワーク形状の複雑さなどに応じて調整してもよい。

[0067] 学習部53は、前述の学習入力データに基づく機械学習による学習結果に対してその結果の良否判定を行い、判定結果を前記教示部52に表示するように構成され、判定結果がNGである場合はさらに複数の学習用パラメータ及び調整ヒントを前記教示部52に表示し、ユーザが前記学習用パラメータを調整して再学習を行うことが可能となるように構成されてもよい。例えば、学習入力データとテストデータに対する学習精度の推移図や分布図を表示し、学習が進んでも学習精度が上がらない、閾値より低い場合はNGとして判定することができる。また、前述学習入力データの一部である教示データに対して、その正解率や再現率、適合率などを算出し、ユーザが教示した通りに予測できているかどうか、ユーザが教示していないようなよくない位置を間違ってよい位置として予測しているかどうか、ユーザが教示したコツをどのくらい再現できるか、学習部53により生成した学習モデルは対象ワークWの取り出しにどのくらい適応しているかなどを評価することで、学習部53による学習結果の良否を判定できる。学習結果を表した前述推移図、分布図、正解率や再現率、適合率の算出値、並びに判定結果、判定結果がNGの場合は複数の学習用パラメータを教示部52に表示し、学習精度が上がり、高い正解率や再現率、適合率を得られるように調整ヒントも教示部52に

表示してユーザに提示する。ユーザは提示された調整ヒントに基づいて、学習用パラメータを調整して再学習を行うことができる。このように、実際に取り出し実験を行わなくても、学習部53による学習結果の判定結果と調整ヒントをユーザに提示することで、短時間で信頼性の高い学習モデルを生成することができるようになる。

[0068] 学習部53は、教示部52により教示された教示位置だけではなく、後述する推論部54により推論された取り出し位置の推論結果を前述学習入力データにフィードバックし、変更を行った学習入力データに基づいて機械学習を行って対象ワークW₀の取り出し位置を推論する学習モデルを調整してもよい。例えば、推論部54による推論結果の中の評価スコアが低い取り出し位置を教示データから外すように前述学習入力データを修正し、修正を加えた学習入力データに基づいて再度機械学習を行って学習モデルを調整してもよい。また、推論部54による推論結果の中の評価スコアが高い取り出し位置の特徴分析を行い、2次元カメラ画像上にユーザにより教示されていないが、推論された評価スコアが高い取り出し位置との共通性が高い画素を教示位置として自動的に内部処理でラベルを付与してもよい。これにより、ユーザの誤判断を修正してさらに高精度の学習モデルを生成することができる。

[0069] 教示部52により、さらに2次元の取り出し姿勢なども教示された場合、学習部53は、後述する推論部54により推論された2次元の取り出し姿勢などもさらに含めて推論した結果を、前述学習入力データにフィードバックし、変更を行った学習入力データに基づいて機械学習を行って対象ワークW₀の2次元の取り出し姿勢なども推論する学習モデルを調整してもよい。例えば、推論部54による推論結果の中の評価スコアが低い2次元の取り出し姿勢などを教示データから外すように前述学習入力データを修正し、修正を加えた学習入力データに基づいて再度機械学習を行って学習モデルを調整してもよい。また、推論部54による推論結果の中の評価スコアが高い2次元の取り出し姿勢などの特徴分析を行い、2次元カメラ画像上にユーザにより教示されていないが、推論された評価スコアが高い2次元の取り出し姿勢な

どとの共通性が高いものを教示データに追加するように自動的に内部処理でラベルを付与してもよい。

[0070] 学習部53は、教示部52により教示された教示位置だけではなく、後述する推論部54により推論された取り出し位置に基づいて制御部55によるロボット20の取り出し動作の制御結果、つまりロボット20を用いて実施した対象ワークW○の取り出し動作の成否の結果情報も学習入力データに加えて機械学習を行い、対象ワークW○の取り出し位置を推論する学習モデルを生成してもよい。これより、ユーザが教示した複数の教示位置に誤った教示位置がより多く含まれている場合でも、実際の取り出し動作の結果に基づいた再学習を行うことで、ユーザの判断の誤りを修正してさらに高精度の学習モデルを生成することができる。また、この機能により、ランダムに決めた取り出し位置に取りに行く動作の成否結果を利用して、ユーザによる事前の教示を行わず、自動学習によって学習モデルを生成することもできる。

[0071] 学習部53は、後述する推論部54により推論された取り出し位置に基づいて制御部55によりロボット20を用いて対象ワークW○を取り出した結果としてコンテナC内にワークが取り残された場合、このような状況も学習して学習モデルを調整するように構成されてもよい。具体的には、コンテナC内にワークWが取り残された時の画像データを教示部52に表示し、ユーザが取り出し位置などを追加教示可能にする。このような取り残し画像1枚を教示してよいが、複数枚を表示してもよい。このように追加教示されたデータも学習入力データに入れて、再度学習を行って学習モデルを生成する。取り出し動作に伴ってコンテナC内のワーク数が減って取り出しにくくなったような状態、例えば、コンテナCの壁側や角側に近いワークが取り残されている状態が出現しやすい。あるいは、その重なり合う状態では、その姿勢では取り出しにくいような状態、例えば、教示位置に相当する位置が全て裏側に隠れていてカメラに写っていないようなワーク姿勢やワークの重なり合う状態になっている時、または、カメラに写っているがかなり斜めになっている取り出すとハンドとコンテナCや他のワークと干渉してしまう時がある

。これらの取り残しの重なり合う状態やワーク状態を、学習済のモデルでは対応できない可能性が高い。この時に、ユーザが壁や角から遠い側にある他の位置、隠されずにカメラに写っている他の位置、またはそれほど斜めになっていない他の位置の追加教示を行い、追加教示されたデータも入れて再度学習することでこの問題を解決できる。

[0072] 教示部52により、さらに2次元の取り出し姿勢なども教示された場合、学習部53は、後述する推論部54により推論された2次元の取り出し姿勢などもさらに含めた推論結果に基づいて、制御部55によるロボット20の取り出し動作の制御結果、つまりロボット20を用いて実施した対象ワークW○の取り出し動作の成否の結果情報に基づいて機械学習を行って、対象ワークW○の2次元の取り出し姿勢などもさらに推論する学習モデルを生成してもよい。

[0073] 対象ワークW○の取り出しの成否結果は、取り出しハンド21に実装されるセンサの検出値によって判定してもよく、情報取得装置10が撮影する2次元カメラ画像上の取り出しハンド21の対象ワークW○との接触部にワークの有無の変化に基づいて判定してもよい。また、吸着パッド211を有する取り出しハンド21により対象ワークW○を取り出す場合は、取り出しハンド21の内部の真空圧力の変化を圧力センサで検出することにより、対象ワークW○の取り出しの成否結果を判定してもよい。把持指212を有する取り出しハンド21の場合は、指に実装される接触センサや触覚センサ、力センサにより、指と対象ワークW○の接触の有無又は接触力／把持力の変化を検出することにより、対象ワークW○の取り出しの成否結果を判定してもよい。また、取り出し動作を始める前にワークを把持していない状態と把持している状態それぞれのハンドの開閉幅の値、又はハンドの開閉幅の最大値と最小値を登録しておき、ハンドの開閉動作の駆動モータのエンコーダ値の変化値を検出して上述登録値と比較することで、対象ワークW○の取り出しの成否結果を判定してもよい。あるいは、鉄製のワークなどを磁力で保持して取り出すような磁気ハンドの場合は、ハンドの内部に実装される磁石の位

置の変化を位置センサより検出することで、対象ワークW_oの取り出しの成否結果を判定してもよい。

[0074] 推論部54は、取得部51が取得した2次元カメラ画像と、学習部53が生成した学習モデルとに基づいて、2次元カメラ画像に基づいて、取り出しが成功する可能性の高いようなよりよい取り出し位置を少なくとも推論する。また、取り出しハンド21の2次元角度（2次元の取り出し姿勢）が教示される場合には、学習モデルに基づいて対象ワークW_oを取り出す際の取り出しハンド21の2次元角度（2次元の取り出し姿勢）も推論する。

[0075] また、推論部54は、取得部51が2次元カメラ画像に加えて、深度情報も含む2.5次元画像データを取得した場合、取得した2.5次元画像データと、学習部53が生成した学習モデルとに基づいて、2.5次元画像データに基づいて、取り出しが成功する可能性の高いようなよりよい深度情報付きの取り出し位置を少なくとも推論する。また、取り出しハンド21の2次元角度（2次元の取り出し姿勢）が教示される場合には、学習モデルに基づいて対象ワークW_oを取り出す際の取り出しハンド21の2次元角度（2次元の取り出し姿勢）も推論する。

[0076] また、推論部54が推論した取り出し位置が2次元カメラ画像上に複数存在する場合、複数の取り出し位置に取り出しの優先順位を設定してもよい。例えば、推論部54は、複数の取り出し位置の近傍領域の画像の中から、教示位置の近傍領域の画像との共通性が高いものに高い評価スコアを付けて、先に取り出すべきと判定してもよい。取り出し位置の近傍の画像と教示位置の近傍の画像との共通性が高いものほど、学習した学習モデルに従って、このような取り出し位置は教示者の知見をもっとよく反映したものとなっているため、取り出しが成功する可能性がもっと高い。例えば、対象ワークW_oの上に重なるワークWが少なく露出度が高く、吸着パッドとの接触領域にエアの気密性を失ってしまうような溝や穴、段差、凹み、ネジなどの特徴は含まれていない位置であり、又はエア吸着や磁気吸引が成功しやすいような大きな平坦な表面を有する位置であるため、失敗が少なく取り出しやすい対象

ワークW○であると、教示者の知見により判断された成功の可能性の高い取り出し位置として推論されるからである。

[0077] 図8に、ワークWがエア継手であり、取り出しハンド21が1つの吸着パッド211を有する場合の、教示位置近傍の画像との共通性を点数化（スコア化）していて、露出度が高く、近傍に溝や穴、段差、凹み、ネジなどの特徴は存在していない、近傍領域はより大きな平坦な表面となっているようなよりよい取り出し位置に対応している対象ワークW○に優先順位を設定した例を示している。この場合、吸着パッド211は、ワークWの中央部のナット部の1つの平面の中心に当接させることが望まれる。したがって、ユーザは、ナット部の平面ができるだけ明確に露出しているワークWを探し、露出度が高いナット部の平面の中心に仮想ハンドを配置して目標位置として教示する。推論部54は、教示位置近傍の画像との共通性を有する複数の取り出し位置を推論し、画像の共通性を点数化（スコア化）することで、取り出しの優先順位を定量的に定める。図では、取り出し位置を示すマーカ（ドット）に優先順位（例えば、1, 2, 3, 4, …）に応じた評価点数であるスコア（例えば、90.337, 85.991, 85.936, 84.284）を付記している。

[0078] また、推論部54は、取得部51が取得した2.5次元画像データに含まれる深度情報に基づいて、複数の対象ワークW○に取り出しの優先順位を設定してもよい。具体的には、推論部54は、取り出し位置の深度が浅い対象ワークW○ほど、取り出しやすく、取り出しの優先順位が高いと判断してもよい。また、推論部54は、取り出し位置の深度に応じて設定されるスコアと、上記取り出し位置近傍の画像の共通性に応じて設定されるスコアの両方を利用して、重み係数をつけて算出されるスコアを基準に、複数の対象ワークW○の取り出しの優先順位を決定してもよい。あるいは、上記取り出し位置近傍の画像の共通性に応じて設定されるスコアの閾値を設定し、閾値を超えたものは全て、教示者の知見により判断された成功の可能性の高い取り出し位置となっているため、これらをよりよい候補群として、その中から取り

出し位置の深度が浅いものを優先に取り出してもよい。

[0079] 制御部55は、対象ワークW_oの取り出し位置に基づいて、取り出しハンド21により対象ワークW_oを取り出すようロボット20を制御する。取得部51が2次元カメラ画像のみを取得する場合、制御部55は、推論部54に推論されたワークの取り出し位置に基づいて、例えば、ワークの上に重なるワークがないような1層に配置される複数ワークに対して、キャリブレーション治具などを利用して2次元カメラ画像の画像平面と実空間上に1層に並ぶワークの平面のキャリブレーションを行い、画像平面上の各画素に対応している実空間上のワークの平面上の位置を算出して取りに行くようにロボット20を制御する。取得部51が深度情報も取得する場合、制御部55は、推論部54が推論した2次元の取り出し位置に深度情報を加え、又は推論部54が推論した深度情報付きの取り出し位置に、取り出しハンド21が取りに行くように必要なロボット20の動作を算出し、ロボット20に動作指令を入力する。

[0080] 取得部51が深度情報も取得できる場合、制御部55は、対象ワークW_oの立体形状とその周囲環境を解析して、2次元カメラ画像の画像平面に対して取り出しハンド21を傾け、2次元カメラ画像の画像平面に対して傾斜する方向に取り出しハンド21を傾けることにより、対象ワークW_oの周囲のワークWと取り出しハンド21との干渉を防止するよう構成されてもよい。

[0081] 吸着パッド211により対象ワークW_oを保持する場合、対象ワークW_oの吸着パッド211と接する部分が画像平面に対して傾斜して配置されている場合、取り出しハンド21を画像平面に対して傾斜させて吸着パッド211の吸着面を対象ワークW_oの接触面に正対させることにより、対象ワークW_oの吸着がより確実となる。この場合、吸着パッド211の吸着面上に取り出しハンド21の基準点があるものとして、この基準点からのズレがないよう取り出しハンド21を傾斜させることで、傾斜した対象ワークW_oに対して取り出しハンド21の姿勢を補正することができる。このように取り出し姿勢を3次元的に補正する方法としては、推論部54が推論した対象ワー

クW○上の望ましい候補位置に対して、画像上のその位置の近傍のピクセル及び深度情報を利用して1つの3次元平面を推定し、推定した3次元平面と画像平面の傾斜角を算出して、3次的に取り出し姿勢を補正してもよい。

[0082] また、一对の把持指212により対象ワークW○を保持する場合、対象ワークW○の長手軸が画像平面に対して立っていると、取り出しハンド21を対象ワークW○の端面側に配置して対象ワークW○を取り出してもよい。この場合、ユーザは、2次元カメラ画像における対象ワークW○の端面の中央部に目標位置を設定して教示してもよい。さらに、対象ワークW○の長手軸が画像平面の法線方向に対して傾斜している場合、取り出しハンド21を対象ワークW○の姿勢に合わせて傾斜させてワークを取り出すことが望ましい。しかしながら、対象ワークW○に合わせて取り出しハンド21を傾斜させたとしても、対象ワークW○の端面の中央部の目標位置に向かって取り出しハンド21を画像平面の法線方向に移動すると、移動中に把持指212が対象ワークW○の端面に干渉してしまう。このような干渉を防止するために、制御部55は、取り出しハンド21を対象ワークW○の長手軸方向に沿ってアプローチさせて移動させるようロボット20を制御することが好ましい。このような取り出しハンド21の望ましいアプローチ方向を決める方法として、推論部54が推論した対象ワークW○上の望ましい候補位置に対して、画像上のその近傍のピクセル及び深度情報を利用して1つの3次元平面を推定して、取り出し目標位置付近のワークの取り出し面の傾きを反映したこの3次元平面の法線方向に沿って、取り出しハンド21が対象ワークW○にアプローチしに行くようにロボット20を制御すればよい。

[0083] 教示部52は、前述2次元仮想ハンドPを表示せずに、ユーザが教示した取り出し位置に小さいドットや丸、三角形などの単純な印を描画して表示して教示を行うように構成されてもよい。2次元仮想ハンドPが表示されなくても、ユーザはこの単純な印を見て、2次元画像上のどこを教示したかどこを教示していないか、教示位置の総数は少なすぎないかを把握できるようになる。さらに、既に教示した位置は実はワークの中心からずれているかど

うか、間違って意図しなかった位置を教示した（例えば、近い位置でマウスを間違って2回クリックした）かどかを確認できるようになる。さらに、教示位置の種類が異なる場合、例えば、複数種類のワークが混在する場合、異なるワーク上の教示位置に異なる印を描画して表示し、円柱ワーク上の教示位置にドットを描画して、立方体ワーク上の教示位置に三角形を描画して、区別がつくように教示してもよい。

[0084] 教示部52は、前述2次元仮想ハンドPを表示せずに、通常マウスの矢印ポインタが指している2次元画像上の画素の深度の値を数値的にリアルタイムに表示して教示を行うように構成されてもよい。複数ワークの相対上下位置を2次元画像により判断しづらい場合、ユーザがマウスを複数の候補位置に移動して、表示されるそれぞれの位置の深度の値を確認して比較し、相対上下位置を把握して間違いなく正しい取り出し順番を教示できるようになる。

[0085] 図9に、取り出しシステム1によって行われるワーク取り出し方法の手順を示す。この方法は、ユーザによる教示のために複数のワークWと周囲環境の2次元カメラ画像を取得する工程（ステップS1：教示用ワーク情報取得工程）と、取得した2次元カメラ画像を表示するとともに、ユーザが複数のワークWの中の取り出すべき対象ワークW_oの取り出し位置である教示位置を少なくとも教示する工程（ステップS2：教示工程）と、2次元カメラ画像に教示工程による教示データを加えた学習入力データに基づく機械学習によって、学習モデルを生成する工程（ステップS3：学習工程）と、さらなる教示又は教示済のものの修正を行うか否かを確認する工程（ステップS4：教示継続確認工程）と、ワークWの取り出しのために複数のワークWの2次元カメラ画像を取得する工程（ステップS5：取り出し用ワーク情報取得工程）と、学習モデルに基づいて、2次元カメラ画像に基づいて対象ワークW_oの取り出し位置を少なくとも推論する工程（ステップS6：推論工程）と、推論する工程に推論された対象ワークの取り出し位置に基づいて、取り出しハンド21により対象ワークW_oを取り出すようロボット20を制御す

る工程（ステップS 7：ロボット制御工程）と、ワークWの取り出しを続けるか否かを確認する工程（ステップS 8：取り出し継続確認工程）と、を備える。

[0086] ステップS 1の教示用ワーク情報取得工程では、取得部5 1によって、情報取得装置1 0から複数枚の2次元カメラ画像のみを取得してその深度情報を推定してもよい。2次元カメラ画像を撮影するカメラは比較的安価であるため、2次元カメラ画像を利用することで情報取得装置1 0の設備コストを低減でき、取り出しシステム1の導入コストを低減できる。必要な深度情報について、情報取得装置1 0は移動機構又はロボットの手先に固定され、移動機構又はロボットの移動動作と共に、異なる位置と角度から撮影した複数枚の2次元カメラ画像を利用して深度を推定できる。具体的には、前述の1台のカメラにより深度情報を推定する方法と同じ方法で実施できる。また、2. 5次元画像データ（2次元カメラ画像及び2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含むデータ）を取得する場合、情報取得装置1 0は音波センサなど距離センサ、レーザスキャナや2台目のカメラなどを有して、ワークとの距離を測定してもよい。

[0087] ステップS 2の教示工程では、教示部5 2によって、表示装置3 0に表示した2次元カメラ画像上で取り出すべき対象ワークW oの2次元の取り出し位置又は深度情報付きの取り出し位置を入力させる。2次元カメラ画像は、深度画像ほどの情報の欠落が生じにくいというえ、ユーザが実物を直接目視したとほぼ同じ状況でワークWの状態を把握できるため、ユーザの知見を十分に活用した教示が可能である。前述のような方法により、取り出し姿勢なども教示できる。

[0088] ステップS 3の学習工程では、学習部5 3によって、教示工程で教示された教示位置の近傍画像と共通する特徴の近傍画像を有する望ましい位置ひいては取り出すべき対象ワークW oの2次元の取り出し位置又は深度情報付きの取り出し位置を少なくとも推論する学習モデルを機械学習により生成する。このように機械学習により学習モデルを生成することにより、ビジョン専

門知識や、ロボット20の機構や制御装置50のプログラミングについての専門知識がないユーザであっても、容易に適切な学習モデルを生成させて、取り出しシステム1が自動的に対象ワークW0を推論して取り出すことを可能にできる。取り出し姿勢なども教示された場合は、取り出し姿勢なども学習して、取り出し姿勢なども推論する学習モデルを生成する。

[0089] ステップS4の教示継続確認工程では、教示を継続するか否かを確認し、教示を継続する場合はステップS1に戻り、教示を継続しない場合にはステップS5に進む。

[0090] ステップS5の取り出し用ワーク情報取得工程では、取得部51によって、情報取得装置10から2.5次元画像データ（2次元カメラ画像及び2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含むデータ）を取得する。この取り出し用ワーク情報取得工程では、現在の複数のワークWの2次元カメラ画像及び深度を取得する。

[0091] ステップS6の推論工程では、推論部54によって、学習モデルに従って対象ワークW0の2次元の取り出し目標位置又は深度情報付きの取り出し目標位置を少なくとも推論する。このように、推論部54が学習モデルに従って対象ワークW0の目標位置を少なくとも推論することにより、ユーザの判断を仰ぐことなく、ワークWを自動的に取り出すことが可能となる。取り出し姿勢なども教示され、学習された場合は、取り出し姿勢なども推論する。

[0092] ステップS7のロボット制御工程では、制御部55によって、取り出しハンド21で対象ワークW0を保持して取り出すようロボット20を制御する。制御部55は、推論部54が推論した目標の2次元の取り出し位置に深度情報を加え、又は推論部54が推論した目標の深度情報付きの取り出し位置に従って適切に取り出しハンド21を動作させるよう、ロボット20を制御する。

[0093] ステップS8の取り出し継続確認工程では、ワークWの取り出しを継続するか否かを確認し、取り出しを継続する場合はステップS5に戻り、取り出しを継続しない場合は処理を終了する。

[0094] 以上のように、取り出しシステム 1 及び取り出しシステム 1 を用いた方法によれば、機械学習により適切にワークを取り出すことができる。このため、取り出しシステム 1 は、特別な知識がなくても新しいワークに対して使用可能とすることができる。

[0095] <第 2 の実施形態>

図 10 に、第 2 実施形態に係る取り出しシステム 1 a の構成を示す。取り出しシステム 1 a は、複数のワーク W の存在領域（トレイ T の上）からワーク W を 1 つずつ取り出すシステムである。第 2 実施形態の取り出しシステム 1 a について、第 1 実施形態の取り出しシステム 1 と同様の構成要素には、同じ符号を付して重複する説明を省略することがある。

[0096] 取り出しシステム 1 a は、複数のワーク W がランダムに重なり合って収容されるトレイ T の内部のワーク W の 3 次元点群データを取得する情報取得装置 10 a と、トレイ T からワーク W を取り出すロボット 20 と、視点変更可能な 3 D ビュー上に 3 次元点群データを表示可能な表示装置 30 と、ユーザが入力可能な入力装置 40 と、ロボット 20、表示装置 30 および入力装置 40 を制御する制御装置 50 a と、を備える。

[0097] 情報取得装置 10 a は、対象物体（複数のワーク W 及びトレイ T）の 3 次元点群データを取得する。このような情報取得装置 10 a は、ステレオカメラ、複数の 3 D レーザスキャナ又は移動機構付きの 3 D レーザスキャナ等を挙げることができる。

[0098] 情報取得装置 10 a は、対象物体（複数のワーク W 及びトレイ T）の 3 次元点群データに加えて、2 次元カメラ画像も取得するように構成されてもよい。このような情報取得装置 10 a は、ステレオカメラ、複数の 3 D レーザスキャナ又は移動機構付きの 3 D レーザスキャナの中から 1 つを選び、同時に、単色カメラや RGB カメラ、赤外線カメラ、紫外線カメラ、X 線カメラ又は超音波カメラの中から 1 つを選んで組合せた構成とすることができる。また、ステレオカメラのみとする構成でもよい。この場合は、ステレオカメラにより取得するグレースケール画像の色情報及び 3 次元点群データを利用

する。

- [0099] 表示装置30は、視点変更可能な3Dビュー上で3次元点群データに加えて、2次元カメラ画像による色情報も加えて表示してもよい。具体的に、2次元カメラ画像上の各画素に対応している各3次元点に、その画素の色情報を付加して色も表示する。RGBカメラが取得したRGBの色情報を表示してもよいが、単色カメラが取得したグレースケール画像の白黒の色情報を表示してもよい。
- [0100] 表示装置30により、視点変更可能な3Dビュー上で3次元点群データを教示することに加えて、後述する教示部52aによりユーザが教示した3次元の教示位置に、小さい3次元のドットや丸やバツなどの単純な印を描画して表示してもよい。
- [0101] 制御装置50aは、CPU、メモリ、通信インターフェイス等を備える1つ又は複数のコンピュータ装置に適切なプログラムを実行させることによって実現することができる。この制御装置50aは、取得部51aと、教示部52aと、学習部53aと、推論部54aと、制御部55と、を備える。
- [0102] 取得部51aは、情報取得装置10aから、複数のワークWが存在するワーク存在領域の3次元点群データを取得し、情報取得装置10aが2次元カメラ画像も取得した場合は2次元カメラ画像も取得する。また、取得部51aは、情報取得装置10aを構成する複数の3Dスキャナの測定データを組み合わせて計算処理を行って1つの3次元点群データを生成するよう構成されてもよい。
- [0103] 教示部52aは、視点変更可能な3Dビュー上で、取得部51aが取得した3次元点群データ、又は2次元カメラ画像による色情報を加えた3次元点群データを表示装置30により表示するとともに、入力装置40を用いてユーザが3Dビュー上で視点を変更しながらワークとその周囲環境を複数の方向、好ましくはあらゆる方向から3次的に確認し、複数のワークWの中の取り出すべき対象ワークW_oの3次元の取り出し位置である教示位置を教示することができるよう構成される。

[0104] 教示部52aは、視点変更可能な3Dビュー上で、入力装置40によるユーザからの操作を受けて3Dビューの視点を指定又は変更して教示を行うことができる。例えば、ユーザがマウスの右ボタンをクリックしたままマウスを移動することで、3次元点群データを表示している3Dビューの視点を變更し、複数の方向、好ましくはあらゆる方向からワークの3次元形状やワーク周囲の状況を確認し、望ましい視点となるところでマウス移動操作を止めて、この視点から見えた望ましい3次元位置をマウスの左ボタンをクリックして教示を行う。これにより、2次元画像からでは確認できないワーク側面の形状や、対象ワークとその周りのワークの上下方向の位置関係、ワーク下方の状況も確認できるようになる。例えば、透明や半透明なワーク、鏡面反射が強いワークがランダムに重なり合う状態で撮影した2次元画像からでは、重なり合う複数ワークの中、どちらが上に位置していて、どちらが下にあるかは画像からは判断しづらい。視点変更可能な3Dビュー上で、重なり合う状態の複数ワークを様々な視点から確認し、その上下方向の位置関係を正しく把握できるため、下にあるワークを先に取り出すような間違っただ教示を避けることができる。また、露出度が高いワークだがその下方に空きスペースが存在しているようなワークは、取り出しハンド21が真上からアプローチして吸着して取り出す動作につれて、下方に逃げてしまい、吸着できずに失敗してしまうことがある。このような状況は2次元画像上では確認できないが、視点変更可能な3Dビュー上で対象ワークを斜め横から見る視点に指定して確認できるため、視点変更可能な3Dビュー上で確認してこのような失敗を避けて正しい教示を行うことができる。

[0105] 教示部52aは、視点変更可能な3Dビューで、取得部51aが取得した2次元カメラ画像による色情報を加えた3次元点群データを表示装置30により表示するとともに、入力装置40を用いてユーザが3Dビュー上で視点を變更しながら、色情報も含めてワークとその周囲環境を複数の方向、好ましくはあらゆる方向から3次的に確認し、複数のワークWの中の取り出すべき対象ワークW_oの3次元の取り出し位置である教示位置を教示することが

できるよう構成されてもよい。これにより、ユーザは色情報からワーク特徴を正しく把握して正しい教示を行うことができる。例えば、サイズと形状が全く同じで色だけが異なるような箱が密に積み上げられているように配置されている場合、3次元点群データのみからでは隣接する2つ箱の間の境界線を判別しづらく、隣接している2つ箱を1つの大きいサイズの箱としてユーザが誤判断してしまい、その中心となる境界線近くの狭い隙間を吸着して取り出すように間違って教示してしまう可能性が高い。隙間のある位置をエア吸着で取ってしまうと、空気が漏れて取り出しが失敗してしまう。このような状況は、色情報付きの3次元点群データを表示することで、異なる色の箱が密に詰まっている状態でも、その境界線をユーザが確認できるため、間違った教示を防ぐことができる。

[0106] 教示部52aは、図11に示すように、ユーザが指定する視点から見た3次元点群データの3Dビューと、取り出しハンド21の一对の把持指212の3次元形状、サイズ、ハンドの方向性（3次元の姿勢）と中心位置、ハンドの間隔を反映した3次元仮想ハンドPaとを表示している。教示部52aは、取り出しハンド21の種類、把持指212の数、把持指212のサイズ（幅×奥行×高さ）、取り出しハンド21の自由度、把持指212の間隔の動作制限値などをユーザが指定できるよう構成されてもよい。仮想ハンドPaは、把持指212の間に3次元の取り出し目標位置を示す中心点Mを含んで表示されてもよい。

[0107] 図示するように、対象ワークWoが一部の側面に凹み部Dを有する場合、この凹み部Dを有する側面を把持指212で把持すると、取り出しハンド21がワークWを安定に適切に把持できなく、ワークWを落としてしまうおそれがある。このような状況は、真上から俯瞰する視点で撮影した2次元画像のみに頼る場合では、凹み部Dの有無を確認できずに、凹み部Dが存在する側面に把持指212を配置し、間違った教示を行ってしまうおそれがある。しかし、このような状況は、ユーザは3Dビューの視点を適宜変更して対象ワークWoを斜め横から見る視点に指定して、把持しようとする対象ワークW

○の側面の形状を確認することで、凹み部が存在しない側面を把持するように適切な3次元の取り出し位置を教示することができる。さらに、仮想ハンドPaが中心点Mを有するため、ユーザは、この中心点Mを対象ワークWoの重心付近に配置することにより、安定に把持するための適切な教示位置を比較的容易に教示することができる。

[0108] また、教示部52aは、取り出しハンド21のワークWとの接触位置が2ヶ所以上存在する場合、取り出しハンド21の開閉度を有するように構成されてもよい。ユーザは3Dビュー上で様々な視点に設定して様々な視点からワークと周囲環境の状況を確認することによって、取り出しハンド21を対象ワークWoにアプローチさせる際に、把持指212が周囲環境と干渉しないための適切な把持指212の間隔（取り出しハンド21の開閉度）を容易に把握して教示することができる。

[0109] 教示部52aは、取り出しハンド21がワークWを取り出す時の3次元の取り出し姿勢を教示するように構成されてもよい。例えば、1つの吸着パッド211を有する取り出しハンド21でワークを取り出す場合、前述方法で3次元の取り出し位置をマウスの左ボタンのクリック操作で教示した後、教示した3次元位置及びその周囲の半径rの立体球の視点側に向かう上半分の内部にある3次元点群を利用して、教示位置を中心とする接平面である3次元平面を推定できる。推定した接平面の視点側に向かう上向きの方針方向をz軸の正方向とし、3次元平面がxy平面とし、教示位置を原点とする1つの仮想3次元座標系を推定できる。この仮想3次元座標系と、取り出し動作の基準となる3次元基準座標系のx軸、y軸、z軸周りの角度のズレ量 θ_x 、 θ_y 、 θ_z を算出し、取り出しハンド21の3次元の取り出し姿勢のデフォルトの教示値とする。取り出しハンド21の3次元形状とサイズを反映した3次元仮想ハンドPaを、例えば、取り出しハンド21を含む最小の3次元円柱として描画することができる。3次元円柱の底面中心が3次元の教示位置と一致するように、3次元円柱の3次元姿勢はデフォルトの教示値となるように、3次元の円柱の位置と姿勢を決めて描画して表示する。その姿勢で表

示される3次元円柱が周囲のワークと干渉しているなら、ユーザはデフォルトの教示姿勢である θ_x 、 θ_y 、 θ_z を微調整する。具体的には、教示部52に表示される各パラメータの調整バーを移動して調整し、あるいは直接各パラメータの値を入力して調整してその干渉を回避させる。このように決めた3次元の取り出し姿勢に従って取り出しハンド21がワークを取り出しに行くと、3次元の取り出し位置付近のワークの曲面のほぼ法線方向に沿って取り出しハンド21がアプローチすることになるので、取り出しハンド21が周囲ワークと干渉することなく、かつ、吸着パッド211は対象ワークW₀を撮影時の初期位置から散らかすことなく、安定により大きな接触面積を得てワークを吸着して取り出すことができる。

[0110] 教示部52aは、仮想ハンドPaのワークWに対するz高さ（所定の基準位置からの高さ）と露出度のうち少なくとも1つを表示装置30に表示することにより、ユーザがz高さが高く、露出度が高いワークWを優先的に取り出すように、ワークWの取り出し順番を教示するように構成されてもよい。具体例として、表示装置30に表示される視点変更可能な3Dビュー上で、ユーザが重なり合う状態の複数ワークを様々な視点から確認し、その上下方向の位置関係とワークの露出度を正しく把握でき、入力装置40を用いて（例えばマウスのクリック操作によって）候補として選択した複数のワークWの相対z高さを表示装置30に表示するよう教示部52aが構成されることによって、ユーザは、上に位置するような取り出しやすいワークWをより簡単に判断することができる。さらに、相対z高さが高く露出度が高いことに限定されず、ユーザ自身の知見（知識、過去の経験や勘）から取り出しの成功可能性がより高いと思われるワークWを教示してもよい。例えば、取り出しハンド21がアプローチする時、又は取り出す時に周囲と干渉しにくいようなワークを優先時に取り出すことや、ワークWの重心Gに近い位置を優先的に把持してワークWのバランスが崩すことなく無事に取り出せるようなことなどを考慮して教示を行ってもよい。

[0111] また、取り出しハンド21が把持ハンドである場合、教示部52aは、図

12に示すように、取り出しハンド21の対象ワークW0に対するアプローチ方向を操作可能に表示することにより、アプローチ方向を教示するように構成されてもよい。例えば、直立している柱状の対象ワークW0を取り出しハンド21の一对の把持指212で把持する場合、取り出しハンド21は、対象ワークW0に対して真上から鉛直にアプローチすればよい。しかしながら、図12に示すように、対象ワークW0が傾斜している場合、取り出しハンド21を真上から鉛直にアプローチすると把持指212が対象ワークW0の側面と先に接触してワークの位置姿勢を撮影時の初期位置姿勢から散らかしてしまい、ユーザが意図していた望ましい位置で把持することができなくなるため、適切に対象ワークW0を把持できない。このような状況を防ぐために、教示部52aは、対象ワークW0の中心軸に沿って傾斜する方向に取り出しハンド21がアプローチすべきことを教示可能に構成される。具体的には、教示部52aは、視点変更可能な3Dビューにおいて、ユーザが取り出しハンド21のアプローチの始点となる3次元位置と、対象ワークW0を把持する教示位置となる3次元位置をアプローチの終点として指定できるよう構成され得る。例えば、ユーザがマウスの左ボタンをクリックしてアプローチの始点と終点（把持の教示位置）を教示すると、始点と終点にそれぞれ、取り出しハンド21の3次元形状とサイズを反映した3次元仮想ハンドPaを、取り出しハンド21を含む最小円柱として表示する。ユーザが3Dビューの視点を変えながら、表示される3次元仮想ハンドPaとその周囲環境を確認し、指定したアプローチ方向で取り出しハンド21が周囲のワークWと干渉するおそれを発見した時、さらに、始点と終点の間にアプローチの経由点を追加して、その干渉を回避するようにアプローチ方向に2段階以上として教示することができる。

[0112] 取り出しハンド21が把持ハンドである場合、教示部52aは、把持指による把持力を教示するように構成されてもよい。前述の第1実施形態に記載される把持力の教示方法と同じ方法で実施してもよい。

[0113] また、取り出しハンド21が把持ハンドである場合、教示部52aは、取

り出しハンド21の把持安定性を教示するように構成されてもよい。具体的には、教示部52aは、把持指212と対象ワークW○が接触する時にその間に作用する摩擦力に対してクーロン摩擦モデルを用いて解析し、クーロン摩擦モデルに基づいて定義した把持安定性を表した指標の解析結果を図式的に数値的に表示装置30に表示する。ユーザはその結果を目視して確認しながら取り出しハンド21の3次元の取り出し位置及び3次元の取り出し姿勢を調整し、より高い把持安定性を得られるように教示できるようになる。

[0114] 図13により、クーロン摩擦モデルを用いた解析を具体的に説明する。対象ワークW○と把持指212との接触により各接触位置で発生する接触力の接平面上の成分が最大静止摩擦力を超えない場合には、当該接触位置での当該指と対象ワークW○の間の滑りは発生しないと判断することができる。つまり、把持指212と対象ワークW○との間の接触力 f の接平面上の成分が最大静止摩擦力 $f_{\mu} = \mu f_{\perp}$ (μ : クーロン摩擦係数、 $f_{\perp}$: 正圧力、つまり、 f の接触法線方向の成分)を超えないような接触力 f は、把持指212と対象ワークW○の間の滑りを起こさないような望ましい接触力であると評価できる。このような望ましい接触力は、図13に示している3次元の円錐状空間内にあるものである。このような望ましい接触力による把持動作は、把持時に把持指212が滑って対象ワークW○の位置姿勢を撮影時の初期位置から散らかすこともなく、滑って対象ワークW○を落とすこともなく、より高い把持安定性を得て対象ワークW○を把持して取り出せる。

[0115] 図14に示すように各接触位置において、把持指212と対象ワークW○の間の滑りを起こさないような望ましい接触力 f の候補群は、クーロン摩擦係数 μ 、正圧力 $f_{\perp}$ に基づき、頂角が $2 \tan^{-1} \mu$ となる3次元の円錐状ベクトル空間(力円錐状空間) S_f である。滑りを起こさずに対象ワークW○を安定に把持するための接触力はこの力円錐状空間 S_f の内部に存在する必要がある。力円錐状空間 S_f 内の任意の1つの接触力 f により、対象ワークW○の重心周りのモーメントが1つ発生するので、このような望ましい接触力の力円錐状空間 S_f に対応するモーメントの円錐状空間(モーメント円錐状

空間) S_m が存在することになる。このような望ましいモーメント円錐状空間 S_m は、クーロン摩擦係数 μ 、正圧力 $f_{\perp}$ 、対象ワーク W_o の重心 G から各接触位置までの距離ベクトルに基づいて定義され、力円錐状空間 S_f とは基底ベクトルが異なるもう 1 つの 3 次元の円錐状ベクトル空間である。

[0116] 対象ワーク W_o を落とさずに安定に把持するためには、各接触位置における各接触力のベクトルがそれぞれの力円錐状空間 S_{f_i} ($i = 1, 2, \dots$ は接触位置の総数) の内部に存在し、かつ、各接触力により発生する対象ワーク W_o の重心周りの各モーメントが、それぞれのモーメント円錐状空間 S_{m_i} ($i = 1, 2, \dots$ は接触位置の総数) の内部に存在する必要がある。したがって、複数の接触位置のそれぞれの力円錐状空間 S_{f_i} を全て含む 3 次元の最小凸包 (全てを含む最小の凸状の包絡形状) H_f は対象ワーク W_o を安定に把持するための望ましい力ベクトルの安定候補群であり、複数の接触位置のそれぞれのモーメント円錐状空間 S_{m_i} を全て含む 3 次元の最小凸包 H_m は対象ワーク W_o を安定に把持するための望ましいモーメントの安定候補群である。つまり、最小凸包 H_f 、 H_m の内部に対象ワーク W_o の重心 G が存在する場合は、把持指 212 と対象ワーク W_o の間に発生する接触力は前述の力ベクトルの安定候補群にあり、発生する対象ワーク W_o の重心回りのモーメントは前述のモーメントの安定候補群にあるため、このような把持は、滑って対象ワーク W_o の位置姿勢を撮影時の初期位置から散らかすこともなく、滑って対象ワーク W_o を落とすこともなく、また、意図しないような対象ワーク W_o の重心周りの回転運動が生じることもないため、把持は安定していると判断することができる。

[0117] さらに、対象ワーク W_o の重心 G が最小凸包 H_f 、 H_m の境界から遠い (最短距離が長い) ほど、万一滑りが生じたとしても重心 G が最小凸包 H_f 、 H_m の外に出にくいため、安定に把持するための力とモーメントの候補が多くなる。つまり、対象ワーク W_o の重心 G が最小凸包 H_f 、 H_m の境界から遠い (最短距離が長い) ほど、滑りを起こさずに対象ワーク W_o のバランスを取れるような力とモーメントの組合せが多くなるので、把持安定性が高い

と判断できる。また、最小凸包 H_f 、 H_m のボリューム（3次元凸空間の体積）が大きいほど、対象ワーク W_o の重心 G を包含しやすくなるため、安定に把持するための力とモーメントの候補が多くなることから、把持安定性が高いと判断することができる。

[0118] 具体的な判断指標としては、例として、把持安定性評価値 $Q_o = W_{11} \varepsilon + W_{12} V$ を用いることができる。ここで、 ε は対象ワーク W_o の重心 G から最小凸包 H_f または H_m の境界までの最短距離（力の最小凸包 H_f の境界までの最短距離 ε_f 又はモーメントの最小凸包 H_m の境界までの最短距離 ε_m ）であり、 V は最小凸包 H_f または H_m のボリューム（力の最小凸包 H_f の体積 V_f 又はモーメントの最小凸包 H_m の体積 V_m ）であり、 W_{11} 及び W_{12} は定数である。このように定義した Q_o は、把持指 212 の数（接触位置の総数）にかかわらずに用いることができる。

[0119] このように、教示部 52a において、把持安定性を表した指標は、仮想ハンド P_a の対象ワーク W_o に対する複数接触位置及び各接触位置における取り出しハンド 21 と対象ワーク W_o の間の摩擦係数のうち少なくとも 1 つを用いて算出した最小凸包 H_f 、 H_m のボリュームと、対象ワーク W_o の重心 G から最小凸包の境界までの最短距離と、のうち少なくとも 1 つを用いて定義される。

[0120] 教示部 52a は、ユーザが取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を仮に入力したときに表示装置 30 に把持安定性評価値 Q_o の算出結果を数値的に表示する。同時に表示される閾値と比較して把持安定性評価値 Q_o は適切かどうかをユーザが確認できる。仮に入力した取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を教示データとして確定するか、取り出し位置及び取り出しハンド 21 の姿勢を修正して再入力するかを選択可能に構成されてもよい。また、教示部 52a は、表示装置 30 に最小凸包 H_f 、 H_m のボリューム V 及び対象ワーク W_o の重心 G からの最短距離 ε を図式的に表示することによって、閾値を満たすような教示データの最適化が直感的に容易となるように構成されてもよい。

[0121] 教示部52aは、視点変更可能な3Dビュー上でワークWとトレイTの3次元点群データを表示するとともに、ユーザが教示した3次元の取り出し位置と3次元の取り出し姿勢を表示し、これにより算出した3次元の最小凸包HfとHm、そのボリュームとワーク重心からの最短距離を図式的に数値的に表示して、安定に把持するためのボリュームと最短距離の閾値を提示して把持安定性の判断結果を表示すると構成されてもよい。これにより、対象ワークWoの重心GがHf、Hmの内部にあるかどうかをユーザが目視して確認できる。重心Gが外れていると発見した場合、ユーザは教示位置と教示姿勢を変更して再計算のボタンをクリックすると、新たな教示位置と教示姿勢を反映した最小凸包Hf、Hmは図式的に更新して反映される。このような操作を何回か繰り返して行うことで、ユーザは目視して確認しながら、対象ワークWoの重心GがHf、Hmの内部にあるような望ましい位置と姿勢を教示できる。把持安定性の判断結果を確認しながら、ユーザは必要に応じて教示位置と教示姿勢を変更し、より高い把持安定性を得られるように教示できる。

[0122] 学習部53aは、3次元点群データ及び3次元の取り出し位置である教示位置を含む学習入力データに基づいて、機械学習（教師あり学習）により対象ワークWoの3次元位置である取り出し位置を推論する学習モデルを生成する。具体的には、学習部53aは、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）により、3次元点群データにおいて各3次元位置の近傍領域の点群データと教示位置の近傍領域の点群データとの共通性を数値化して判定する学習モデルを生成し、教示位置との共通性がより高い3次元位置により高いスコアを付けてより高く評価し、取り出しハンド21がより優先的に取りに行くべき目標位置として推論してもよい。

[0123] また、取得部51aが2次元カメラ画像も取得した場合、学習部53aは、3次元点群データ及び2次元カメラ画像に、3次元の取り出し位置である教示位置を含む教示データを加えた学習入力データに基づいて、機械学習（

教師あり学習)により対象ワークW_oの3次元の取り出し位置を推論する学習モデルを生成する。具体的には、学習部53aは、畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network)により、3次元点群データにおいて各3次元位置の近傍領域の点群データと教示位置の近傍領域の点群データとの共通性を数値化して判定するルールAを確立する。さらに、もう1つの畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network)により、2次元カメラ画像において各画素の近傍領域のカメラ画像と教示位置の近傍領域のカメラ画像との共通性を数値化して判定するルールBを確立し、ルールAとルールBにより総合的に判断した教示位置との共通性がより高い3次元位置により高いスコアを付けてより高く評価し、取り出しハンド21がより優先的に取りに行くべき目標位置として推論してもよい。

[0124] 取り出しハンド21の3次元の取り出し姿勢なども教示された場合、学習部53aは、これらの教示データも含む学習入力データに基づいて、機械学習により対象ワークW_oの3次元の取り出し姿勢なども推論する学習モデルを生成する。

[0125] 学習部53aの畳み込みニューラルネットワークの構造は、Conv3D(3Dの畳み込み演算)、AvgPooling3D(3Dの平均化プーリング演算)、UnPooling3D(3Dのプーリング逆演算)、Batch Normalization(データの正規性を保つ関数)、ReLU(勾配消失問題を防ぐ活性化関数)等の複数のレイヤを含むことができる。このような畳み込みニューラルネットワークでは、入力される3次元点群データの次元を低減して必要な3次元の特徴マップを抽出し、さらに元の3次元点群データの次元に戻して入力データ上の3次元位置毎の評価スコアを予測し、フルサイズで予測値を出力する。データの正規性を保ちながら勾配消失問題を防ぎつつ、出力する予測データと教示データの差が次第に小さくなっていくように各層の重み係数を学習より更新して決定する。これによって、学習部53aは、入力3次元点群データ上の全ての3次元位置を候補と

して万遍なく探索し、一気に全ての予測スコアをフルサイズで算出してその中から教示位置との共通性が高く、取り出しハンド 2 1 によって取り出せる可能性が高い候補位置を得るような学習モデルを生成することができる。このようにフルサイズで入力してフルサイズで全ての 3 次元位置の予測スコアを出力することで、漏れなく最適な候補位置を見付けることができる。また、フルサイズで予測できずに 3 次元点群データの一部を切り出す前処理が必要とされる学習方法と比べて、切り出す方法がよくなければ、最もよい候補位置を漏れてしまう問題を防ぐことができる。具体的な畳み込みニューラルネットワークの層の深さや複雑さは、入力される 3 次元点群データのサイズやワーク形状の複雑さなどに応じて調整してもよい。

[0126] 学習部 5 3 a は、前述の学習入力データに基づく機械学習による学習結果に対してその結果の良否判定を行い、判定結果を前記教示部 5 2 a に表示するように構成され、判定結果が N G である場合はさらに複数の学習用パラメータ及び調整ヒントを前記教示部 5 2 a に表示し、ユーザが前記学習用パラメータを調整して再学習を行うことが可能となるように構成されてもよい。例えば、学習入力データとテストデータに対する学習精度の推移図や分布図を表示し、学習が進んでも学習精度が上がらない、閾値より低い場合は N G として判定することができる。また、前述学習入力データの一部である教示データに対して、その正解率や再現率、適合率などを算出し、ユーザが教示した通りに予測できているかどうか、ユーザが教示していないようなよくない位置を間違ってよい位置として予測しているかどうか、ユーザが教示したコツをどのくらい再現できるか、学習部 5 3 a により生成した学習モデルは対象ワーク W の取り出しにどのくらい適応しているかなどを評価することで、学習部 5 3 a による学習結果の良否を判定できる。学習結果を表した前述推移図、分布図、正解率や再現率、適合率の算出値、並びに判定結果、判定結果が N G の場合は複数の学習用パラメータを教示部 5 2 a に表示し、学習精度が上がり、高い正解率や再現率、適合率を得られるように調整ヒントも教示部 5 2 a に表示してユーザに提示する。ユーザは提示された調整ヒント

に基づいて、学習用パラメータを調整して再学習を行うことができる。このように、実際の取り出し実験を行わなくても、学習部53aによる学習結果の判定結果と調整ヒントをユーザに提示することで、短時間で信頼性の高い学習モデルを生成することができるようになる。

[0127] 学習部53aは、教示部52aにより教示された教示位置だけではなく、後述する推論部54aにより推論された3次元の取り出し位置の推論結果を前述学習入力データにフィードバックし、変更を行った学習入力データに基づいて機械学習を行って対象ワークW_oの3次元の取り出し位置を推論する学習モデルを調整してもよい。例えば、推論部54aによる推論結果の中の評価スコアが低い3次元の取り出し位置を教示データから外すように前述学習入力データを修正し、修正を加えた学習入力データに基づいて再度機械学習を行って学習モデルを調整してもよい。また、推論部54aによる推論結果の中の評価スコアが高い3次元の取り出し位置の特徴分析を行い、3次元点群データ上にユーザにより教示されていないが、推論された評価スコアが高い3次元の取り出し位置との共通性が高い3次元位置を教示位置として自動的に内部処理でラベルを付与してもよい。これにより、ユーザの誤判断を修正してさらに高精度の学習モデルを生成することができる。

[0128] 教示部52aにより、さらに3次元の取り出し姿勢なども教示された場合、学習部53aは、後述する推論部54aにより推論された3次元の取り出し姿勢などもさらに含めた推論結果を、前述学習入力データにフィードバックし、変更を行った学習入力データに基づいて機械学習を行って対象ワークW_oの3次元の取り出し姿勢なども推論する学習モデルを調整してもよい。例えば、推論部54aによる推論結果の中の評価スコアが低い3次元の取り出し姿勢などを教示データから外すように前述学習入力データを修正し、修正を加えた学習入力データに基づいて再度機械学習を行って学習モデルを調整してもよい。また、推論部54aによる推論結果の中の評価スコアが高い3次元の取り出し姿勢などの特徴分析を行い、3次元点群データ上にユーザにより教示されていないが、推論された評価スコアが高い3次元の取り出し

姿勢などとの共通性が高いものを教示データに追加するように自動的に内部処理でラベルを付与してもよい。

[0129] 学習部53aは、教示部52aにより教示された3次元の取り出し位置だけではなく、後述する推論部54aにより推論された3次元の取り出し位置に基づいて制御部55によるロボット20の取り出し動作の制御結果、つまりロボット20を用いて実施した対象ワークW_oの取り出し動作の成否の結果情報に基づいて機械学習を行って対象ワークW_oの3次元の取り出し位置を推論する学習モデルを調整してもよい。これより、ユーザが教示した複数の教示位置に誤った教示位置がより多く含まれている場合でも、実際の取り出し動作の結果に基づいた再学習を行うことで、ユーザの判断の誤りを修正してさらに高精度の学習モデルを生成することができる。また、この機能により、ランダムに決めた取り出し位置に取りに行く動作の成否結果を利用して、ユーザによる事前の教示を行わず、自動学習によって学習モデルを生成することもできる。

[0130] 教示部52aにより、さらに3次元の取り出し姿勢なども教示された場合、学習部53aは、後述する推論部54aにより推論された3次元の取り出し姿勢などもさらに含めた推論結果に基づいて、制御部55によるロボット20の取り出し動作の制御結果、つまりロボット20を用いて実施した対象ワークW_oの取り出し動作の成否の結果情報に基づいて機械学習を行って対象ワークW_oの3次元の取り出し姿勢などもさらに推論する学習モデルを調整してもよい。

[0131] 学習部53aは、後述する推論部54aにより推論された取り出し位置に基づいて制御部55によりロボット20を用いて対象ワークW_oを取り出した結果としてトレイT内にワークが取り残された場合、このような状況も学習して学習モデルを調整するように構成されてもよい。具体的には、トレイT内にワークWが取り残された時の画像データを教示部52aに表示し、ユーザが取り出し位置などを追加教示可能にする。このような取り残し画像1枚を教示してよいが、複数枚を表示してもよい。このように追加教示された

データも学習入力データに入れて、再度学習を行って学習モデルを生成する。取り出し動作に伴ってトレイト内のワーク数が減って取り出しにくくなったような状態、例えば、トレイトの壁側や角側に近いワークが取り残されている状態が出現しやすい。あるいは、その重なり合う状態では、その姿勢では取り出しにくいような状態、例えば、教示位置に相当する位置が全て裏側に隠れていてカメラに写っていないようなワーク姿勢やワークの重なり合う状態になっている時、または、カメラに写っているがかなり斜めになっていると取り出すとハンドとトレイトや他のワークと干渉してしまう時がある。これらの取り残しの重なり合う状態やワーク状態を、学習済のモデルでは対応できない可能性が高い。この時に、ユーザが壁や角から遠い側にある他の位置、隠されずにカメラに写っている他の位置、またはそれほど斜めになっていない他の位置の追加教示を行い、追加教示されたデータも入れて再度学習することでこの問題を解決できる。

[0132] 推論部54aは、取得部51aが取得した3次元点群データを入力データとして、学習部53aが生成した学習モデルとに基づいて、取り出すべき対象ワークW_oの3次元の取り出し目標位置を少なくとも推論する。また、取り出しハンド21の3次元の取り出し姿勢なども教示される場合には、学習モデルに基づいて対象ワークW_oを取り出す際の取り出しハンド21の姿勢なども推論する。

[0133] 取得部51aが2次元カメラ画像も取得した場合、推論部54aは、取得部51aが取得した3次元点群データ及び2次元カメラ画像を入力データとして、学習部53aが生成した学習モデルとに基づいて、取り出すべき対象ワークW_oの3次元の取り出し目標位置を少なくとも推論する。また、取り出しハンド21の3次元の取り出し姿勢なども教示される場合には、学習モデルに基づいて対象ワークW_oを取り出す際の取り出しハンド21の3次元の取り出し姿勢なども推論する。

[0134] また、推論部54aは、3次元点群データから複数の取り出すべき対象ワークW_oの3次元取り出し位置を推論した場合、学習部53aが生成した学

習モデルに基づいて、複数の対象ワークW_oに取り出しの優先順位を設定してもよい。

[0135] 取得部51aが2次元カメラ画像も取得した場合、推論部54aは、3次元点群データ及び2次元カメラ画像から複数の取り出すべき対象ワークW_oの3次元取り出し位置を推論した場合、学習部53aが生成した学習モデルに基づいて、複数の対象ワークW_oに取り出しの優先順位を設定してもよい。

[0136] 教示部52aは、ワークWのCADモデル情報に基づいてワークWの取り出し位置を教示するよう構成されてもよい。つまり、教示部52aは、3次元点群データと3次元CADモデルとを照合し、3次元点群データに合致するよう3次元CADモデルを配置する。これより、情報取得装置10aの性能の制限により3次元点群データを取得できなかった一部のエリアが存在しても、既にデータ取得できた別のエリアにある特徴（例えば、平面や穴、溝など）を3次元CADモデルとマッチングすることで、データ取得できなかったエリアを3次元CADモデルから補間して表示し、補間した完全な3次元データをユーザが目視して確認しながら容易に教示することができる。また、3次元点群データに合致するよう配置した3次元CADモデルに基づいて、取り出しハンド21の把持指212との間に作用する摩擦力を解析するようにしてもよい。これにより、3次元点群データの不完全さに起因して接触面の方向を間違ったり、不安定なエッジ部を挟んで取り出し、穴や溝などの特徴に吸着で取り出すように間違って教示したりすることを防止して、正しい教示を行うことができる。

[0137] 教示部52aは、3次元の取り出し姿勢なども教示された場合、ワークWの3次元CADモデル情報に基づいてワークWの3次元の取り出し姿勢などを教示するよう構成されてもよい。例えば、前述のワークWの3次元CADモデルとマッチングする方法を利用して、3次元点群データに合致するよう配置した3次元CADモデルに基づいて、対称性を持つワークの3次元の取り出し姿勢の教示ミスをなくし、3次元点群データの不完全さに起因する教

示ミスをなくすることができる。

[0138] 教示部52aは、前述3次元仮想ハンドPを表示せずに、ユーザが教示した取り出し位置にドットや丸やバツなどの単純な印を表示して教示を行うように構成されてもよい。

[0139] 教示部52aは、前述3次元仮想ハンドPを表示せずに、通常マウスの矢印ポインタが指している3次元点群データ上の3次元位置のz座標値を数値的にリアルタイムに表示して教示を行うように構成されてもよい。複数ワークの相対上下位置を目視により判断しづらい場合、ユーザがマウスを複数の候補の3次元位置に移動して、表示されるそれぞれの位置のz座標値を確認して比較し、相対上下位置を把握して間違いなく正しい取り出し順番を教示できるようになる。

[0140] 以上のように、取り出しシステム1aおよび取り出しシステム1aを用いた方法によれば、機械学習により適切にワークを取り出すことができる。このため、取り出しシステム1aは、特別な知識がなくても新しいワークWに対して使用可能とすることができる。

[0141] 以上、本開示に係る取り出しシステム及び方法の実施形態について説明したが、本開示に係る取り出しシステム及び方法は上述の実施形態に限るものではない。また、上述の実施形態において説明した効果は、本開示に係る取り出しシステム及び方法から生じる最も好適な効果を列挙したに過ぎず、本開示に係る取り出しシステム及び方法による効果は、上述の実施形態において説明されたものに限定されない。

[0142] 本開示に係る取り出し装置は、2. 5次元画像データ又は2次元カメラ画像を用いて対象ワークを取り出す教示位置を教示するか、3次元点群データを用いて対象ワークを取り出す教示位置を教示するか、あるいは、3次元点群データ及び2次元カメラ画像を用いて対象ワークを取り出す教示位置を教示するか、を選択可能に構成されてもよく、さらに、距離画像を用いて対象ワークを取り出す教示位置を教示することを選択可能に構成されてもよい。

符号の説明

- [0143] 1, 1 a 取り出しシステム
10, 10 a 情報取得装置
20 ロボット
21 取り出しハンド
211 吸着パッド
212 把持指
30 表示装置
40 入力装置
50, 50 a 制御装置
51, 51 a 取得部
52, 52 a 教示部
53, 53 a 学習部
54, 54 a 推論部
55 制御部
P, P a 仮想ハンド
W ワーク
W o 対象ワーク

請求の範囲

- [請求項1] ハンドを有し、前記ハンドを用いてワークを取り出し可能なロボットと、
- 複数のワークの存在領域の2次元カメラ画像を取得する取得部と、
- 前記2次元カメラ画像を表示するとともに、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示可能な教示部と、
- 前記2次元カメラ画像と教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する学習部と、
- 前記学習モデルと2次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する推論部と、
- 推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御する制御部と、
- を備える、取り出しシステム。
- [請求項2] 前記取得部は、前記2次元カメラ画像の画素毎の深度情報を含む画像データを取得する請求項1に記載の取り出しシステム。
- [請求項3] 前記教示部は、前記2次元カメラ画像又は前記画像データの少なくとも一方を表示可能である請求項2に記載の取り出しシステム。
- [請求項4] 前記学習部は、前記画像データに基づいて、前記学習モデルを生成し、
- 前記推論部は、前記学習モデルと画像データに基づいて、前記対象ワークの取り出し位置を推論する請求項2又は3に記載の取り出しシステム。
- [請求項5] 前記教示部は、前記ハンドの2次元形状又はその一部、前記ハンドのサイズ、前記ハンドの位置、前記ハンドの姿勢、及び前記ハンドの間隔の情報の少なくとも1つを含む2次元仮想ハンドを表示可能である請求項1乃至4の何れか1項に記載の取り出しシステム。
- [請求項6] 前記教示部は、前記画像データの前記深度情報に応じてサイズが変

化する２次元仮想ハンドを表示可能である請求項２乃至４の何れか１項に記載の取り出しシステム。

[請求項７] 前記教示部は、前記ワークに対する前記２次元仮想ハンドの姿勢、前記ワークの取り出し順番、前記２次元仮想ハンドの開閉度、前記２次元仮想ハンドの把持力、及び前記２次元仮想ハンドの把持安定性のうち少なくとも何れかのパラメータを教示可能であり、

前記学習部は、教示された前記パラメータに基づいて前記学習モデルを生成し、

前記推論部は、生成された前記学習モデルと２次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークのパラメータを推論する請求項５又は６に記載の取り出しシステム。

[請求項８] 前記把持安定性は、前記２次元仮想ハンドの前記ワークに対する接触位置、及び前記接触位置における前記ハンドと前記ワークの間の摩擦係数のうち少なくとも１つを用いて定義される請求項７に記載の取り出しシステム。

[請求項９] 前記学習部は、前記２次元カメラ画像を含む学習データに基づく学習の結果を用いて良否判定を行い、前記良否判定の結果を前記教示部に出し、前記良否判定の結果が否である場合に、学習用パラメータ及び調整ヒントを前記教示部に出し、請求項１乃至８の何れか１項に記載の取り出しシステム。

[請求項１０] ハンドを有し、前記ハンドを用いてワークを取り出し可能なロボットと、

複数のワークの存在領域の３次元点群データを取得する取得部と、

３Ｄビューの中に前記３次元点群データを表示するとともに、複数の前記ワークと周囲環境を複数の方向から表示可能であり、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示可能な教示部と、

前記３次元点群データと教示された前記取り出し位置に基づいて、

学習モデルを生成する学習部と、

前記学習モデルと 3 次元点群データに基づいて、前記対象ワークの取り出し位置を推論する推論部と、

推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御する制御部と、

を備える、取り出しシステム。

[請求項11] 前記取得部は、複数の前記ワークの存在領域の 2 次元カメラ画像を取得し、

前記教示部は、前記 3 次元点群データに前記 2 次元カメラ画像の情報を加えて表示し、

前記学習部は、前記 2 次元カメラ画像に基づいて前記学習モデルを生成し、

前記推論部は、2 次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する請求項 10 に記載の取り出しシステム。

[請求項12] 前記教示部は、前記ハンドの 3 次元形状又はその一部、前記ハンドのサイズ、前記ハンドの位置、前記ハンドの姿勢、及び前記ハンドの間隔の情報の少なくとも 1 つを含む 3 次元仮想ハンドを表示可能である請求項 10 又は 11 に記載の取り出しシステム。

[請求項13] 前記教示部は、前記ワークに対する前記 3 次元仮想ハンドの姿勢、前記ワークの取り出し順番、前記ワークに対する前記 3 次元仮想ハンドのアプローチ方向、前記ワークに対する前記 3 次元仮想ハンドの開閉度、前記 3 次元仮想ハンドの把持力、及び前記ワークに対する前記 3 次元仮想ハンドの把持安定性のうち少なくとも何れかのパラメータを教示可能であり、

前記学習部は、教示された前記パラメータに基づいて前記学習モデルを作成し、

前記推論部は、生成された前記学習モデルと 3 次元点群データに基づいて前記対象ワークのパラメータを推論する請求項 12 に記載の取

り出しシステム。

[請求項14] 前記把持安定性は、前記3次元仮想ハンドの前記ワークに対する接触位置、及び前記接触位置における前記ハンドと前記ワークの間の摩擦係数のうち少なくとも1つを用いて定義される請求項13に記載の取り出しシステム。

[請求項15] 前記学習部は、前記3次元点群データを含む学習データに基づく学習の結果を用いて良否判定を行い、前記良否判定の結果を前記教示部に出し、前記良否判定の結果が否である場合に、学習用パラメータ及び調整ヒントを前記教示部に出しする請求項10乃至14の何れか1項に記載の取り出しシステム。

[請求項16] 前記学習部は、前記推論部に推論された結果情報に基づいて前記学習モデルを調整する、請求項1乃至15の何れか1項に記載の取り出しシステム。

[請求項17] 前記学習部は、前記ロボットの取り出し動作の結果情報に基づいて、前記学習モデルを生成する、請求項1乃至16の何れか1項に記載の取り出しシステム。

[請求項18] 前記教示部は、前記ワークのCADモデル情報に基づいて教示を行うよう構成される、請求項1乃至17の何れか1項に記載の取り出しシステム。

[請求項19] ハンドによりワークを取り出し可能なロボットを用いて、複数のワークの存在領域から対象ワークを取り出す方法であって、

前記複数のワークの存在領域の2次元カメラ画像を取得する工程と、

前記2次元カメラ画像を表示するとともに、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示する工程と、

前記2次元カメラ画像と教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する工程と、

前記学習モデルと２次元カメラ画像に基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する工程と、

推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御させる工程と、
を備える、方法。

[請求項20]

ハンドによりワークを取り出し可能なロボットを用いて、複数のワークの存在領域から対象ワークを取り出す方法であって、

前記複数のワークの存在領域の３次元点群データを取得する工程と、
、

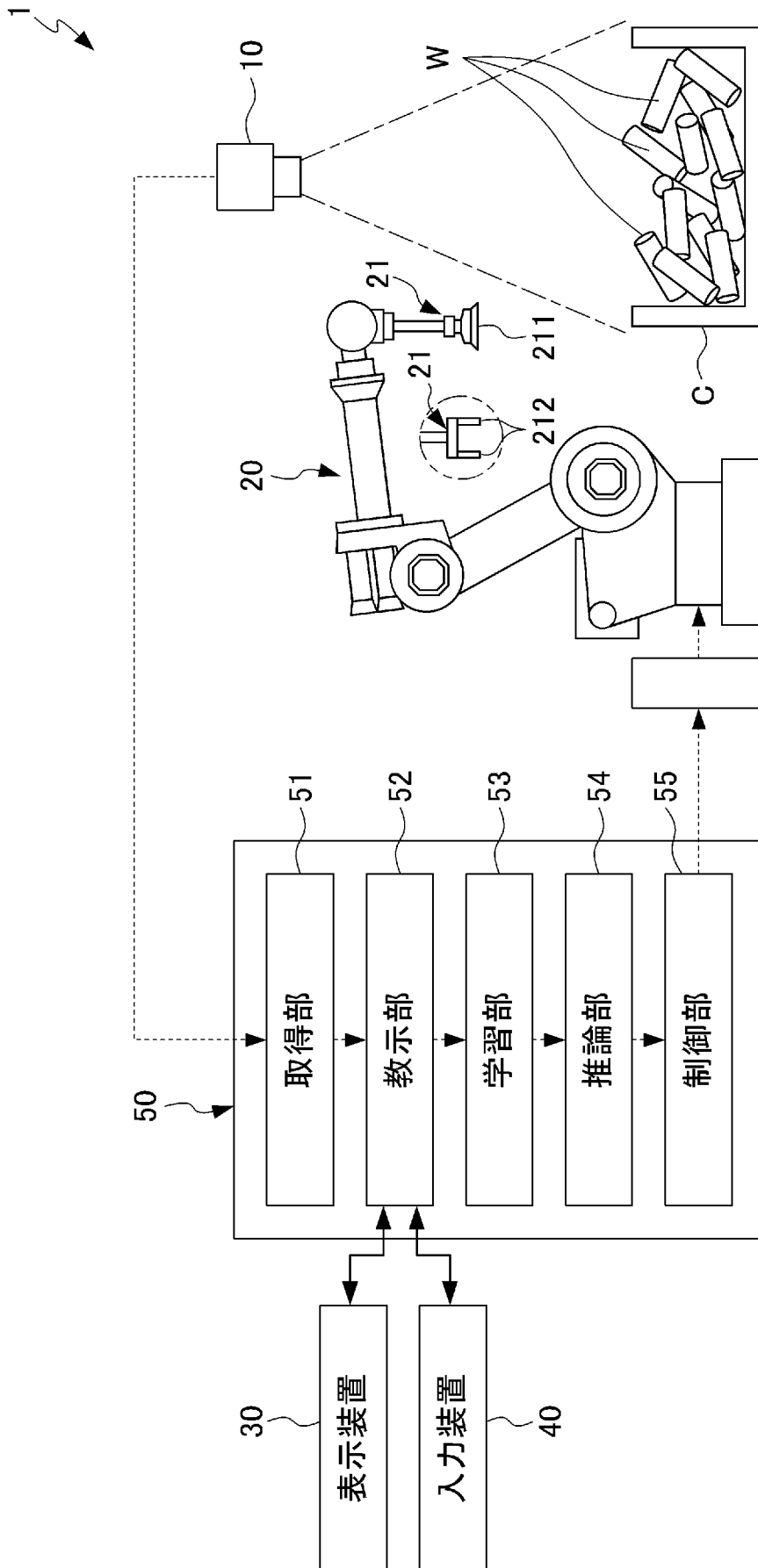
３Ｄビューの中に前記３次元点群データを表示するとともに、複数の前記ワークと周囲環境を複数の方向から表示可能であり、複数の前記ワークのうち前記ハンドで取り出すべき対象ワークの取り出し位置を教示する工程と、

前記３次元点群データと教示された前記取り出し位置に基づいて、学習モデルを生成する工程と、

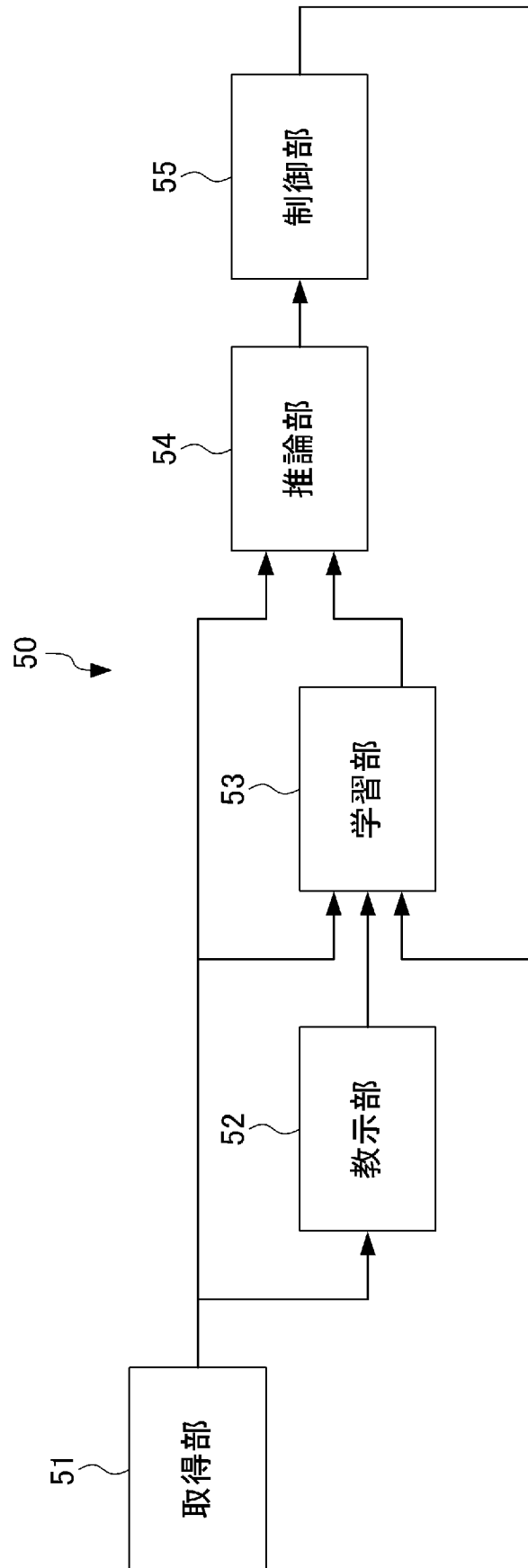
前記学習モデルと３次元点群データに基づいて前記対象ワークの取り出し位置を推論する工程と、

推論された前記取り出し位置に基づいて、前記ハンドにより前記対象ワークを取り出すように前記ロボットを制御させる工程と、
を備える、方法。

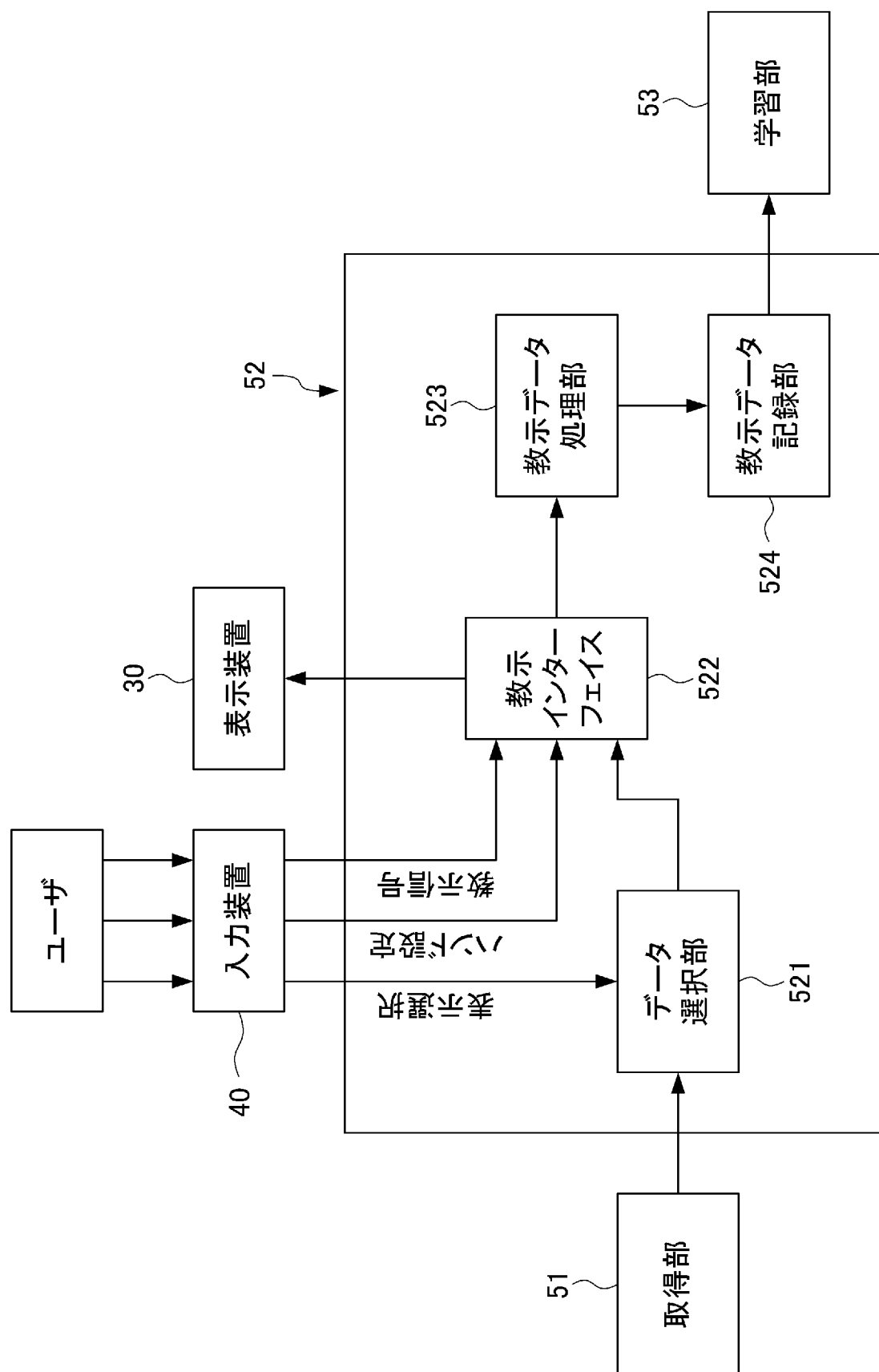
[図1]



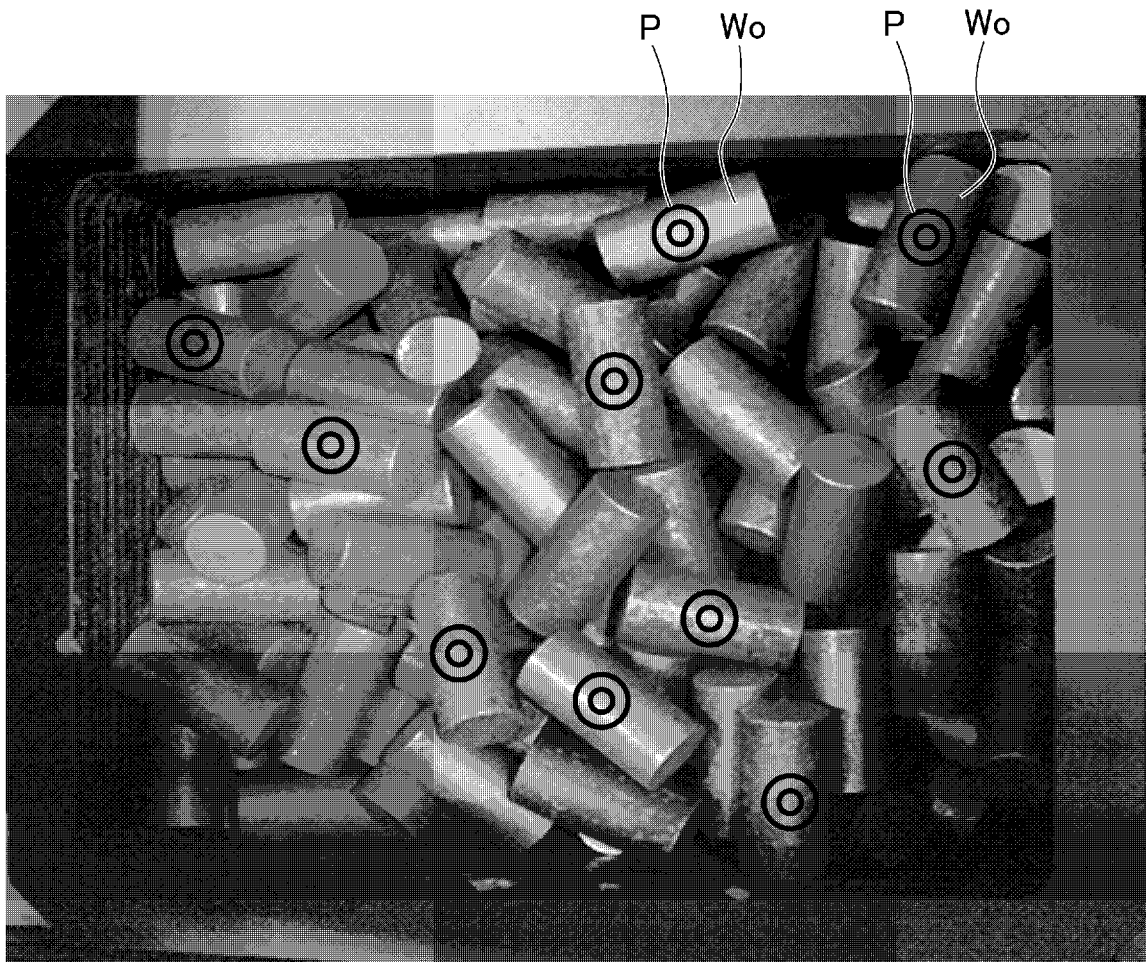
[図2]



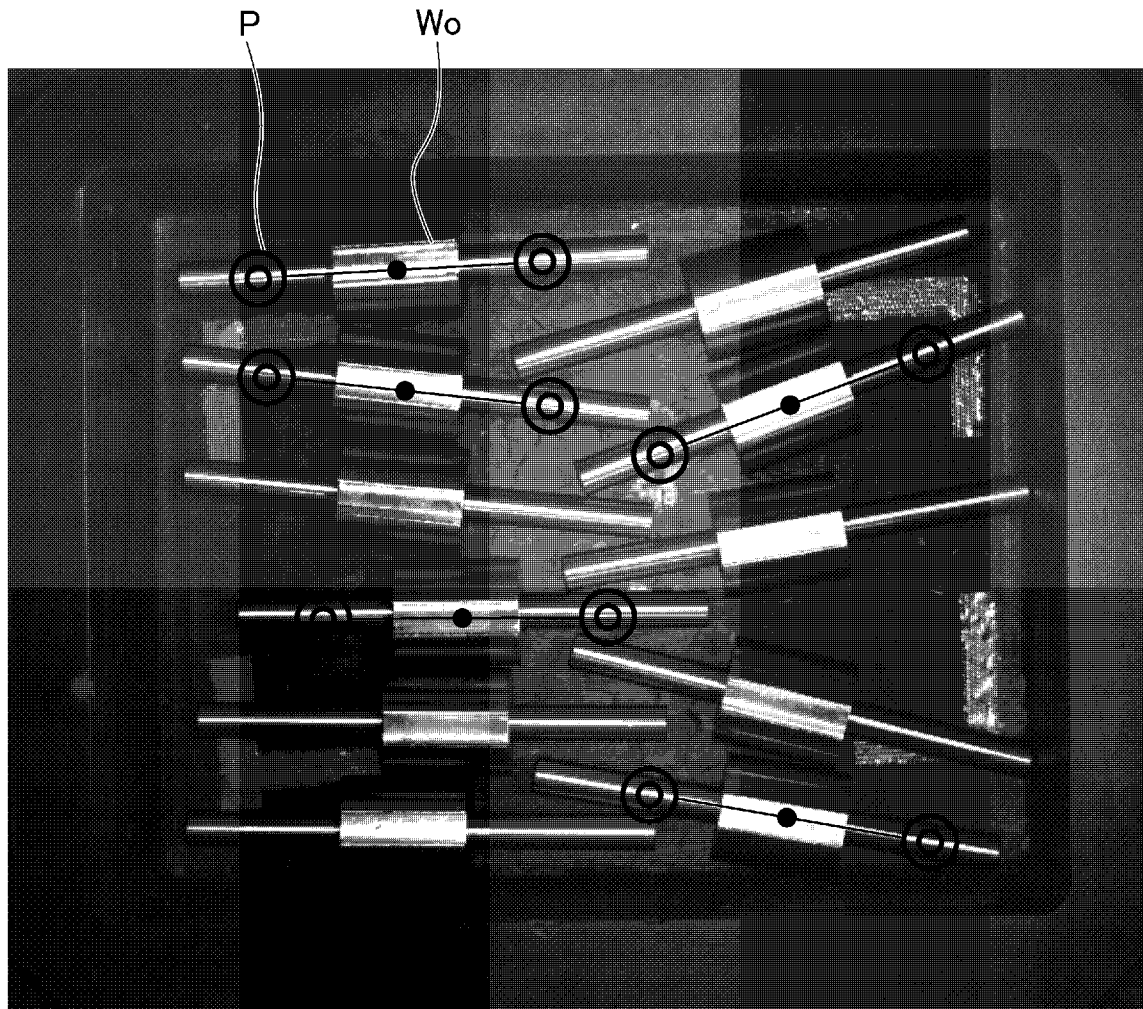
[図3]



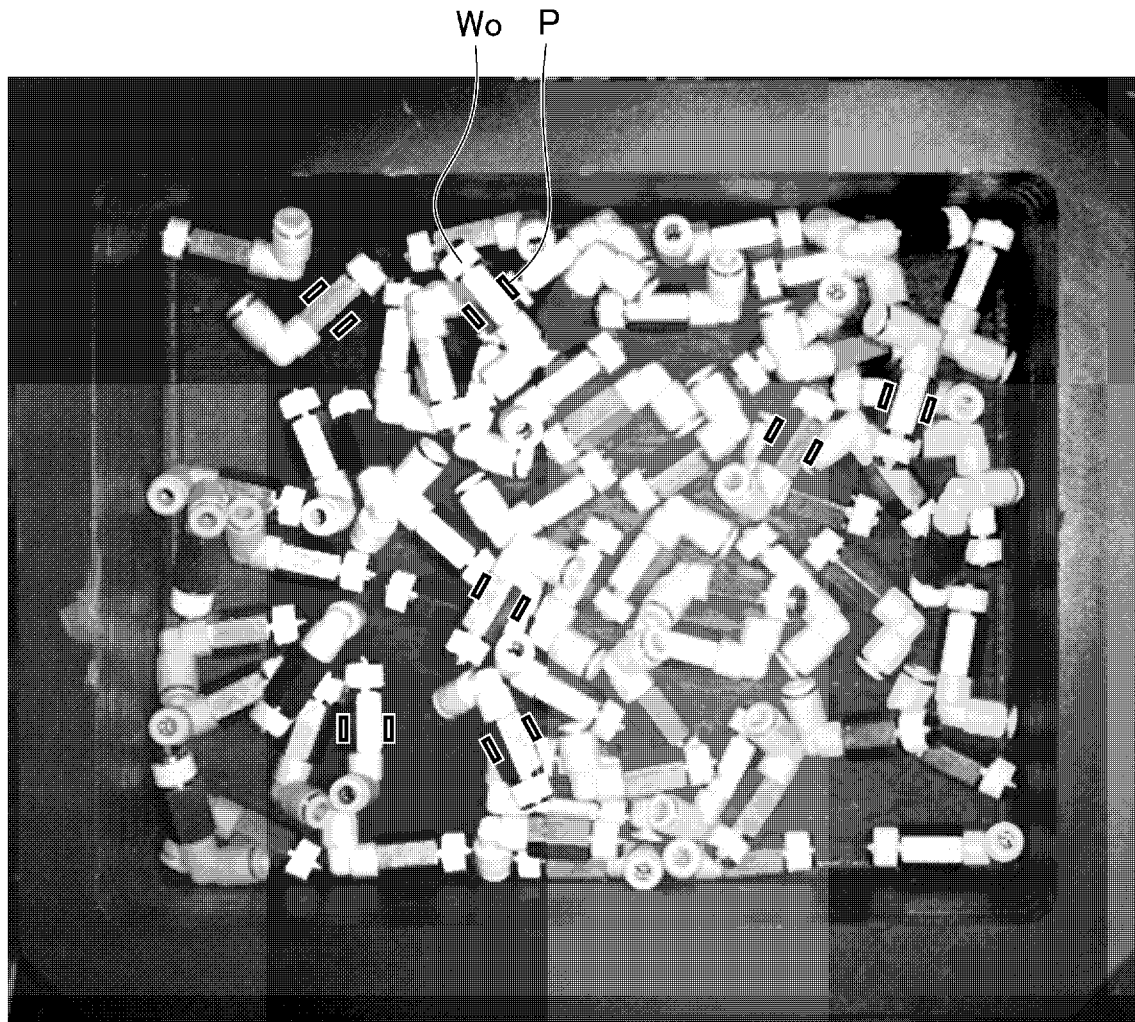
[図4]



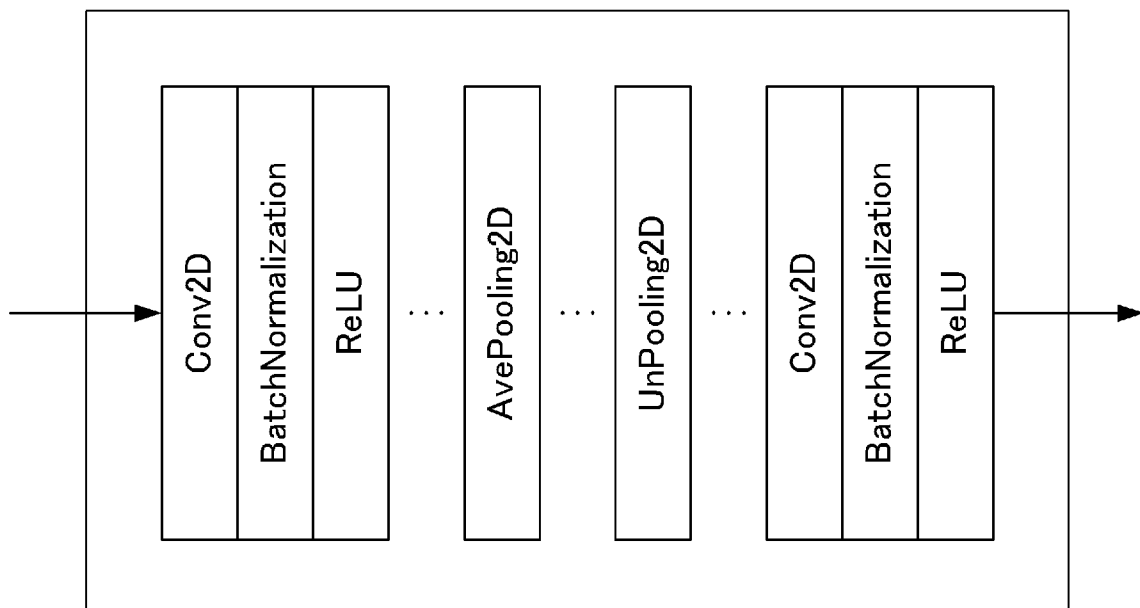
[図5]



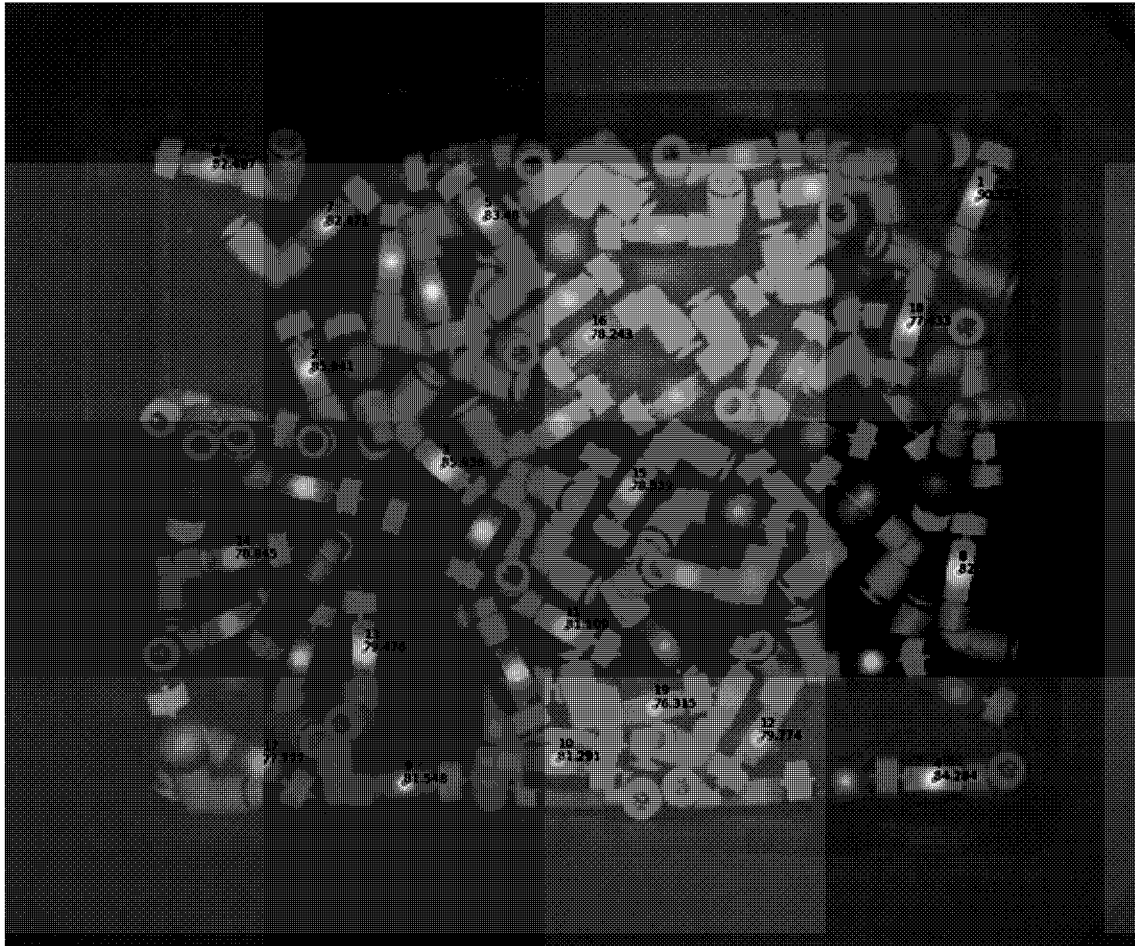
[図6]



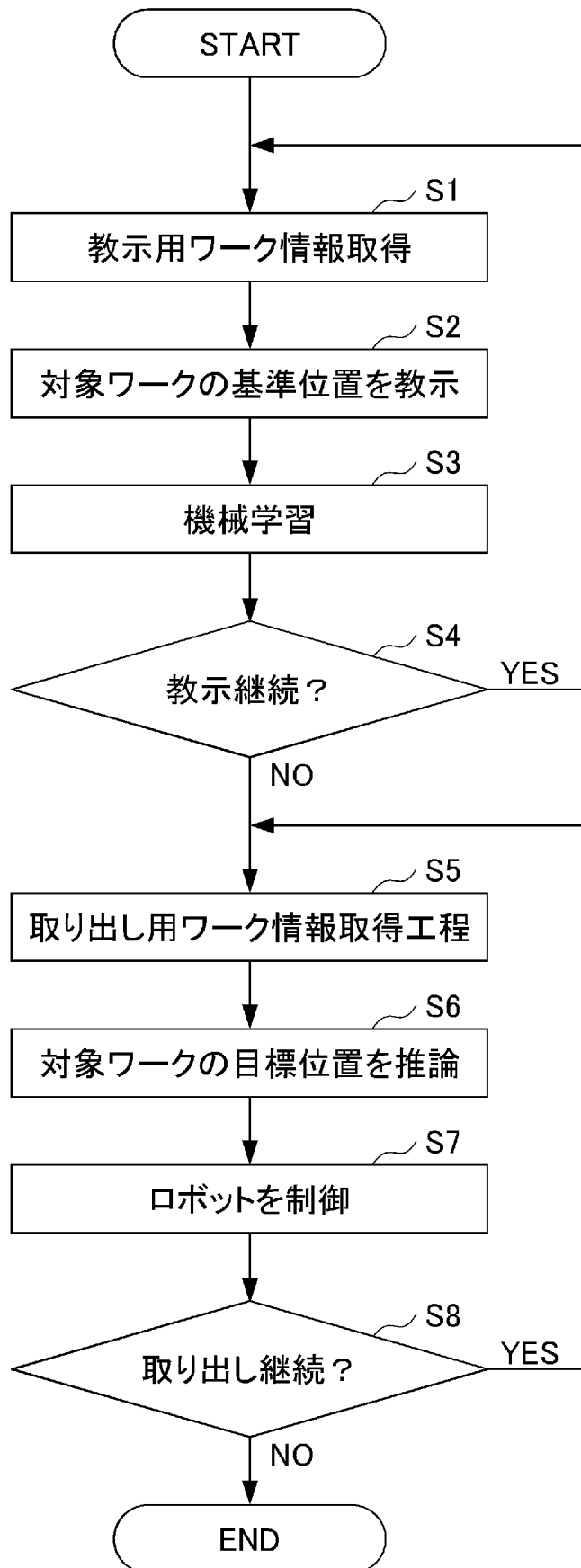
[図7]



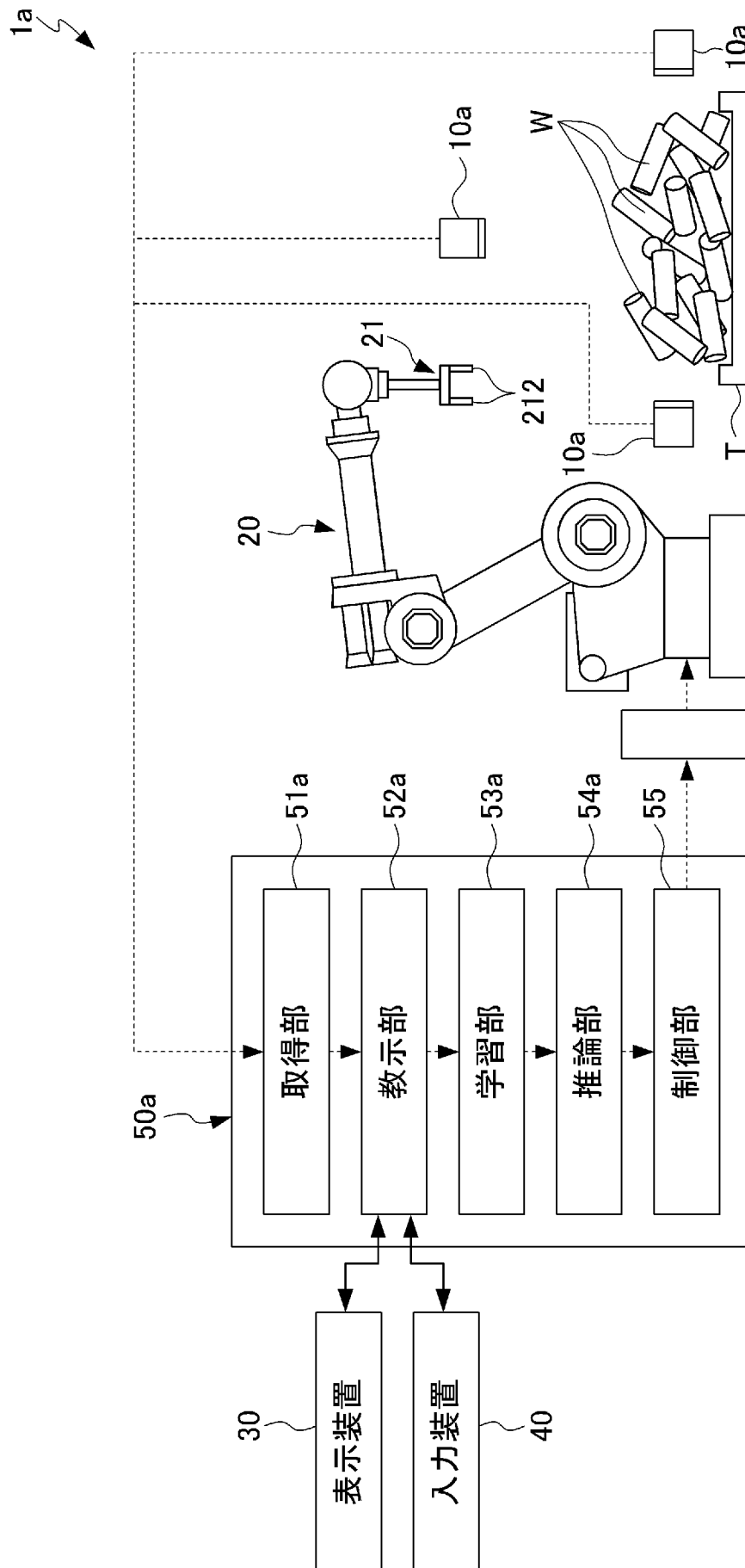
[図8]



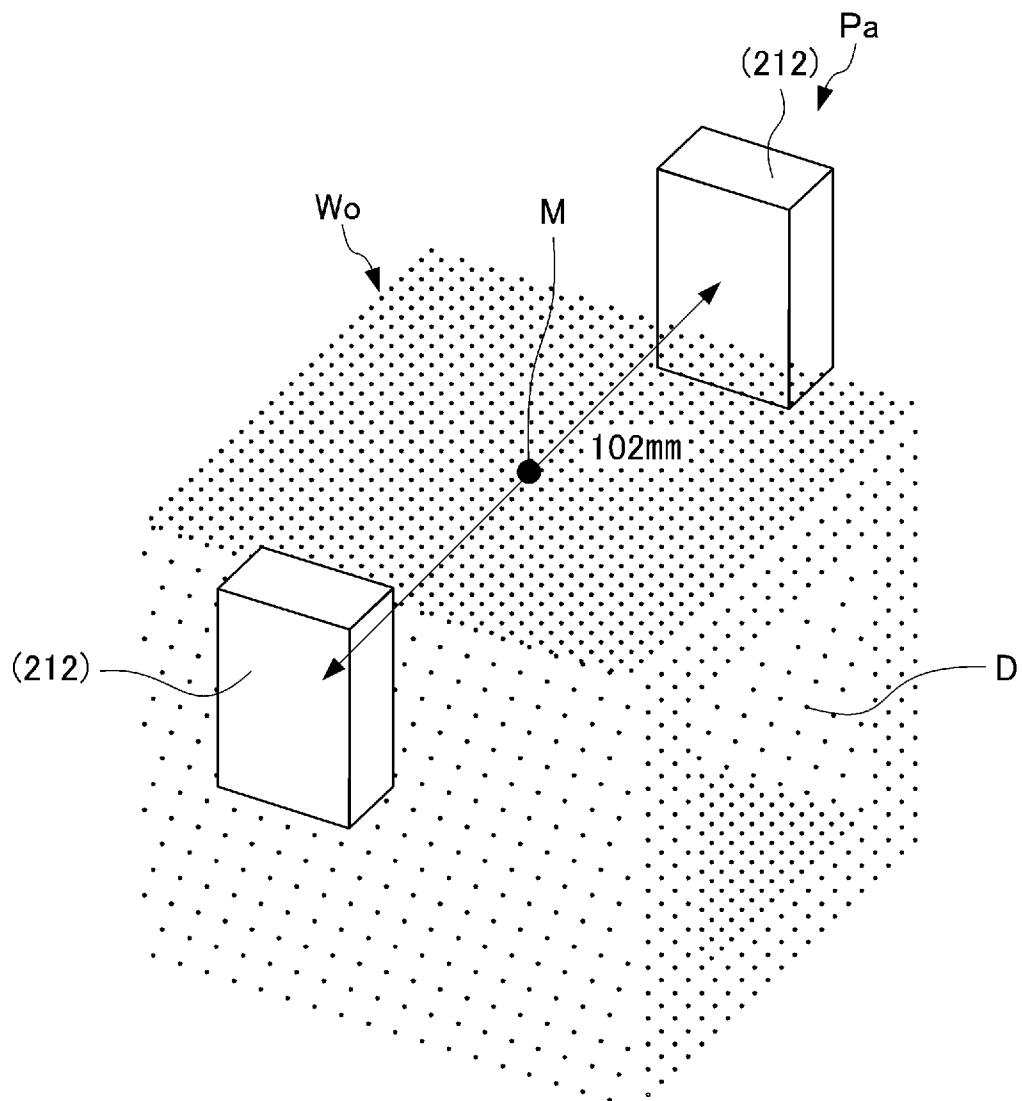
[図9]



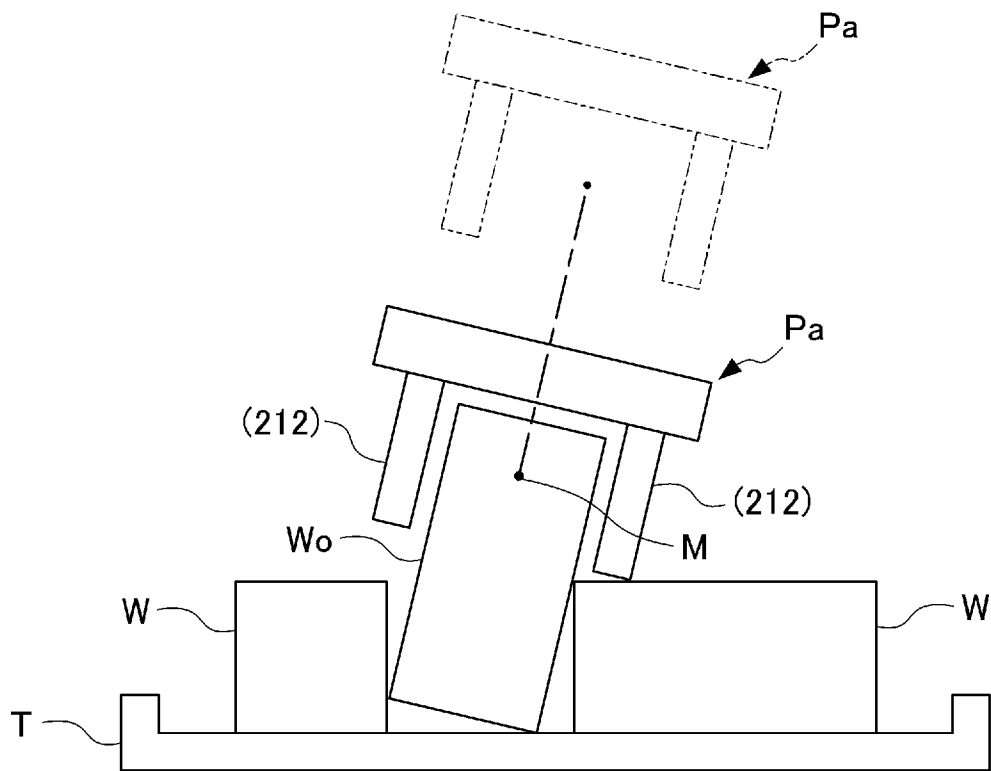
[図10]



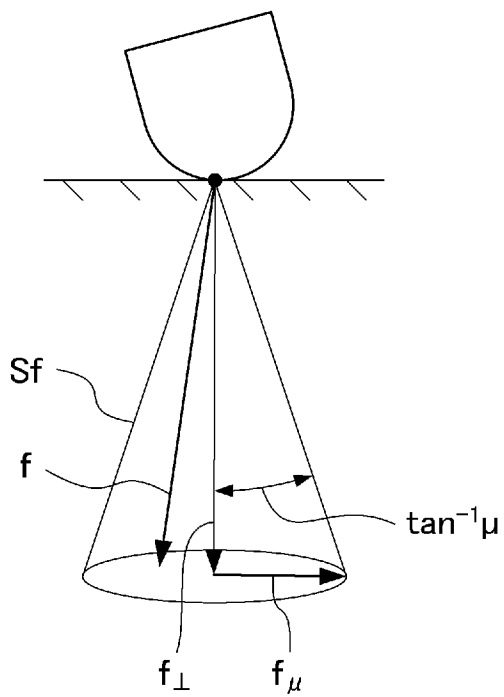
[図11]



[図12]

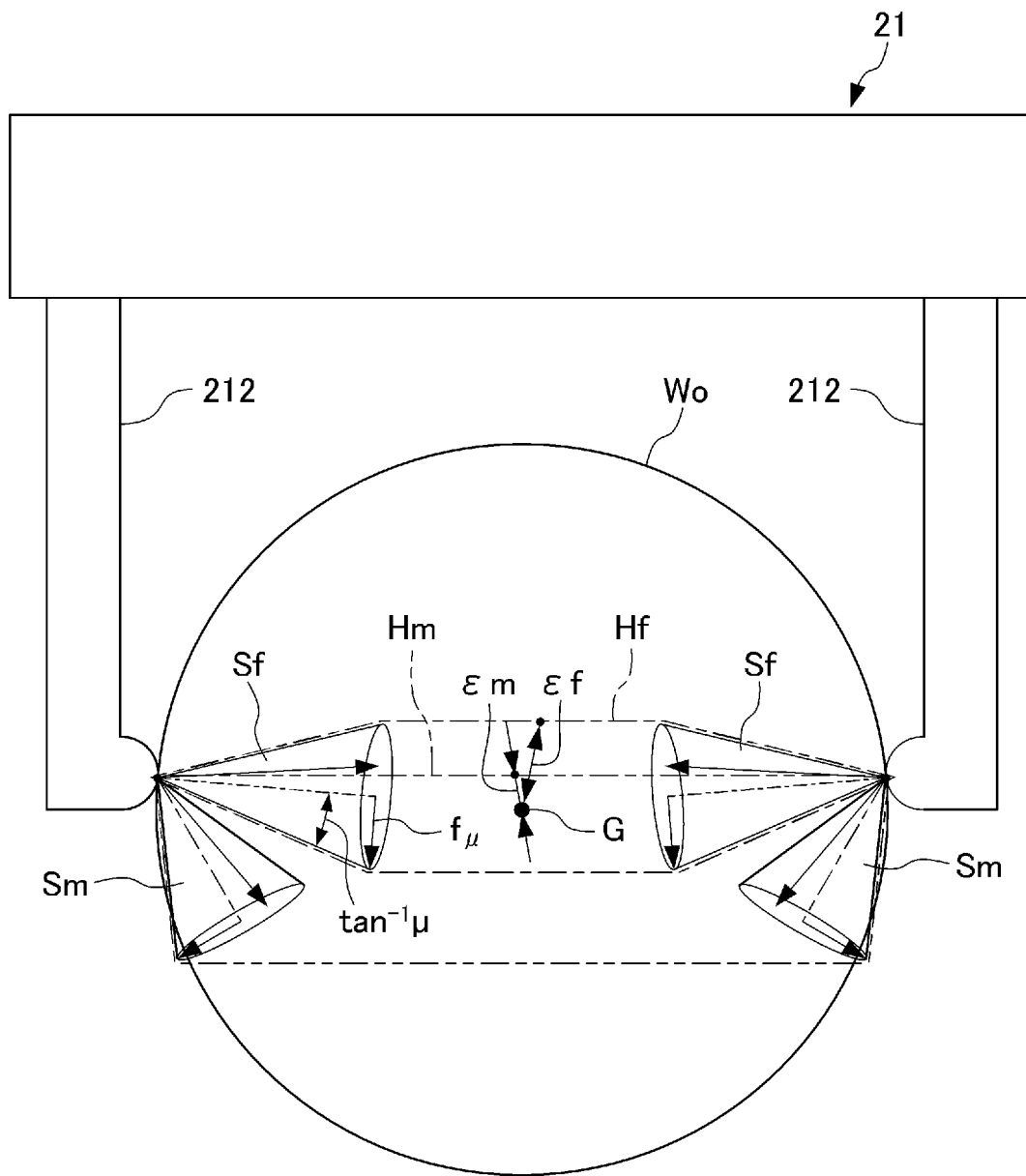


[図13]



μ : クーロン摩擦係数
 f : 実際に発生した把持力
 f_{μ} : 最大静止摩擦力
 $f_{\perp}$: 正圧力
 Sf : 力円錐状空間

[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/007734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/22 (2006.01)i; B25J 13/08 (2006.01)i; G06N 20/00 (2019.01)i
 FI: B25J13/08 A.; B25J9/22 A.; G06N20/00 130

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J9/22; B25J13/08; G06N20/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2020/022302 A1 (NTN CORPORATION) 30 January 2020 (2020-01-30) paragraphs [0022]-[0065], fig. 1-14	1-4, 16-17, 19 5, 7-9 6
X	進藤智則, 安川電機が3種類のワークの把持に深層学習 三菱電機は嵌合のパラメータ調整に強化学習, NIKKEI Robotics, 10 December 2017, page 14, middle column, line 13 to page 17, left column, line 17, non-official translation (SHINDOH, Tomonori, "YASKAWA ELECTRIC uses deep learning for grasping three types of work, MITSUBISHI ELECTRIC uses reinforcement learning for adjusting the interdigitation parameters")	1, 19
X Y	JP 2019-56966 A. (TOSHIBA CORP.) 11 April 2019 (2019-04-11) paragraphs [0009]-[0157] fig. 1-12	10-11, 18, 20 12-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
22 April 2021 (22.04.2021)

Date of mailing of the international search report
18 May 2021 (18.05.2021)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/007734

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2018-144228 A (SEIKO EPSON CORP.) 20 September 2018 (2018-09-20) paragraphs [0079]-[0080], [0086], fig. 6	5, 7-9 6
Y	JP 2009-56513 A (TOSHIBA CORP.) 19 March 2009 (2009-03-19) paragraphs [0037], [0064]	7-9, 13-15
Y	JP 11-202923 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 30 July 1999 (1999-07-30) paragraphs [0002], [0033]-[0036]	9, 15
Y	WO 2019/069361 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 11 April 2019 (2019-04-11) paragraphs [0016], [0018]	12-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/007734

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2020/022302 A1	30 Jan. 2020	JP 2020-15141 A	
JP 2019-56966 A	11 Apr. 2019	US 2019/0087976 A1	
		paragraphs [0029]- [0187], fig. 1-12	
JP 2018-144228 A	20 Sep. 2018	(Family: none)	
JP 2009-56513 A	19 Mar. 2009	(Family: none)	
JP 11-202928 A	30 Jul. 1999	(Family: none)	
WO 2019/069361 A1	11 Apr. 2019	JP 6456557 B1	
		TW 201914732 A	
		CN 111163907 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 9/22(2006.01)i; B25J 13/08(2006.01)i; G06N 20/00(2019.01)i FI: B25J13/08 A; B25J9/22 A; G06N20/00 130										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B25J9/22; B25J13/08; G06N20/00										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2021年									
日本国実用新案登録公報	1996-2021年									
日本国登録実用新案公報	1994-2021年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	WO 2020/022302 A1 (NTN株式会社) 30.01.2020 (2020-01-30) 段落 [0022] - [0065], [図1] - [図14]	1-4, 16-17, 19								
Y		5, 7-9								
A		6								
X	進藤 智則, 安川電機が3種類のワークの把持に深層学習 三菱電機は嵌合のパラ メータ調整に強化学習, NIKKEI Robotics, 2017.12.10 第14ページ中央欄第13行-第17ページ左側欄第17行	1, 19								
X	JP 2019-56966 A (株式会社東芝) 11.04.2019 (2019-04-11) 段落 [0009] - [0157], [図1] - [図12]	10-11, 18, 20								
Y		12-15								
Y	JP 2018-144228 A (セイコーエプソン株式会社) 20.09.2018 (2018-09-20) 段落 [0079] - [0080], [0086], [図6]	5, 7-9								
A		6								
Y	JP 2009-56513 A (株式会社東芝) 19.03.2009 (2009-03-19) 段落 [0037], [0064]	7-9, 13-15								
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 22.04.2021		国際調査報告の発送日 18.05.2021								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 松井 裕典 3U 4657 電話番号 03-3581-1101 内線 3364								

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 11-202928 A (日本電信電話株式会社) 30.07.1999 (1999 - 07 - 30) 段落 [0002], [0033] - [0036]	9, 15
Y	WO 2019/069361 A1 (三菱電機株式会社) 11.04.2019 (2019 - 04 - 11) 段落 [0016], [0018]	12-15

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/007734

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2020/022302	A1	30.01.2020	JP	2020-15141	A	
JP	2019-56966	A	11.04.2019	US	2019/0087976	A1	
				段落 [0 0 2 9] - [0 1 8 7] , 第 1 - 1 2 図			
JP	2018-144228	A	20.09.2018	(ファミリーなし)			
JP	2009-56513	A	19.03.2009	(ファミリーなし)			
JP	11-202928	A	30.07.1999	(ファミリーなし)			
WO	2019/069361	A1	11.04.2019	JP	6456557	B1	
				TW	201914782	A	
				CN	111163907	A	