

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6660102号  
(P6660102)

(45) 発行日 令和2年3月4日(2020.3.4)

(24) 登録日 令和2年2月12日(2020.2.12)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>B 2 5 J</b>	<b>9/22</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 5 J	9/22	A
<b>G 0 5 B</b>	<b>19/42</b>	<b>(2006.01)</b>	G 0 5 B	19/42	H

請求項の数 16 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-94442 (P2015-94442)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年5月1日(2015.5.1)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-47591 (P2016-47591A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成28年4月7日(2016.4.7)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成30年4月24日(2018.4.24)		弁理士 大塚 康徳
(31) 優先権主張番号	特願2014-173010 (P2014-173010)	(74) 代理人	100112508
(32) 優先日	平成26年8月27日(2014.8.27)		弁理士 高柳 司郎
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット教示装置およびその制御方法、ロボットシステム、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置であって、  
対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を有する機構と、  
前記保持手段が前記対象物体を保持した状態の前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢を計測する計測手段と、

前記計測手段で計測した前記位置姿勢に基づいて、ロボットのための動作指示を生成する生成手段と、

前記動作指示を記録する記録手段と、を備えることを特徴とするロボット教示装置。

【請求項2】

ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置であって、  
対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を有する機構と、  
前記保持手段が前記対象物体を保持している間の、前記保持手段が前記対象物体に作用している保持力を計測する計測手段と、

前記計測手段で計測した前記保持力に基づいて、ロボットのための動作指示を生成する生成手段と、

前記動作指示を記録する記録手段と、を備え、

前記保持手段は、教示者が入力した最大の操作力に基づいた保持力を維持することを特徴とするロボット教示装置。

【請求項3】

10

20

ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置であって、  
対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を有する機構と、  
前記保持手段が前記対象物体を保持している状態で発生する保持力を計測する計測手段  
 と、

前記計測手段で計測した前記保持力のうち最大の保持力を用いてロボットのための動作  
 指示を生成する生成手段と、

前記動作指示を記録する記録手段と、を備えることを特徴とするロボット教示装置。

【請求項 4】

ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置であって、  
対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を有する機構と、  
前記保持手段が前記対象物体を保持している間における、前記保持手段が前記対象物体  
に作用している保持力と、前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢と、前記対象物体と前  
記保持手段の間の相対的な位置姿勢と、を計測する計測手段と、

前記計測手段で計測した前記保持力と、前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢に基づ  
 いて、ロボットのための動作指示を生成する生成手段と、

前記動作指示を記録する記録手段と、

前記計測手段で計測した前記相対的な位置姿勢の変化に基づいて、前記生成手段で生成  
した前記動作指示に対する動作評価値を計算する評価手段と、

を備えることを特徴とするロボット教示装置。

【請求項 5】

前記機構は、教示対象となるロボットのハンド部に対応した形状、もしくは機能を有す  
 ることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のロボット教示装置。

【請求項 6】

前記機構は、教示者が操作力を入力するための操作力入力部と機械的に連動することに  
 より、前記操作力入力部に加わった力によって駆動されることを特徴とする請求項 1 乃至  
 5 のいずれか 1 項に記載のロボット教示装置。

【請求項 7】

前記機構は、教示者が入力した操作力に応じた電気的な信号により駆動されることを特  
 徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のロボット教示装置。

【請求項 8】

前記生成手段は、前記対象物体の位置を基準とした前記保持手段の位置姿勢に基づいて  
 、前記動作指示を生成することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のロボ  
 ット教示装置。

【請求項 9】

前記評価手段は、前記保持手段に発生する保持力、回転モーメント、または並進力に基  
 づいて動作評価値を求めることを特徴とする、請求項 4 に記載のロボット教示装置。

【請求項 10】

前記評価手段は、前記計測手段で計測された保持動作と、計算によって模擬的に再現さ  
 れた保持動作との差異に基づいて動作評価値を求めることを特徴とする、請求項 4 または  
 9 に記載のロボット教示装置。

【請求項 11】

対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を含む機構であって、ロ  
ボットのハンド部に対応した形状または機能を有する前記機構を用いて前記ロボットに動  
作を教示するためのロボット教示装置の制御方法であって、

前記保持手段が対象物体を保持した状態の前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢を計  
測する計測工程と、

前記計測工程で計測した前記位置姿勢に基づいて、前記ロボットのための動作指示を生  
 成する生成工程と、

前記動作指示を記録する記録工程と、を有することを特徴とするロボット教示装置の制  
 御方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 2】

対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を含む機構であって、ロボットのハンド部に対応した形状または機能を有する前記機構を用いて前記ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置の制御方法であって、

前記保持手段が対象物体を保持している間の、前記保持手段が前記対象物体に作用している保持力を計測する計測工程と、

前記計測工程で計測した前記保持力に基づいて、前記ロボットのための動作指示を生成する生成工程と、

前記動作指示を記録する記録工程と、を有し、

前記保持手段は、教示者が入力した最大の操作力に基づいた保持力を維持することを特徴とするロボット教示装置の制御方法。

10

## 【請求項 1 3】

対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を含む機構であって、ロボットのハンド部に対応した形状または機能を有する前記機構を用いて前記ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置の制御方法であって、

前記保持手段が対象物体を保持している状態で発生する保持力を計測する計測工程と、

前記計測工程で計測した前記保持力のうち最大の保持力を用いて前記ロボットのための動作指示を生成する生成工程と、

前記動作指示を記録する記録工程と、を有することを特徴とするロボット教示装置の制御方法。

20

## 【請求項 1 4】

対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を含む機構であって、ロボットのハンド部に対応した形状または機能を有する前記機構を用いて前記ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置の制御方法であって、

前記保持手段が対象物体に作用している間における、前記保持手段が前記対象物体に作用している保持力と、前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢と、前記対象物体と前記保持手段の間の相対的な位置姿勢と、を計測する計測工程と、

前記計測工程で計測した前記保持力と、前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢に基づいて、前記ロボットのための動作指示を生成する生成工程と、

前記動作指示を記録する記録工程と、

前記計測工程で計測した前記相対的な位置姿勢の変化に基づいて、前記生成工程で生成した前記動作指示に対する動作評価値を計算する評価工程と、

を有することを特徴とするロボット教示装置の制御方法。

30

## 【請求項 1 5】

教示された動作に従って動作するロボットシステムであって、

請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載されたロボット教示装置と、

前記記録手段に蓄積された前記動作指示に基づいて動作するロボット部と、を備えることを特徴とするロボットシステム。

## 【請求項 1 6】

請求項 1 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載されたロボット教示装置の制御方法の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラム。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ロボットに動作をプログラムするためのロボット教示技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、産業用ロボットの分野において、ロボットとその周辺環境を計算機で模擬的に再現し、ロボットの動作を教示するオフライン教示技術が開発されてきている。オフライン教示技術を用いた場合、工場内で動作するロボットを教示のために占有する必要がなく、

50

生産効率の向上に寄与することが期待されている。

【0003】

このようなオフライン教示技術の例として、特許文献1では対象物体上の「特定の位置」をロボットハンド中心部の移動先に指定して、その点で把持を行う手法が示されている。特許文献1によれば、「特定の位置」は、計算機のディスプレイで示されるCADデータを観察しながら指定することができ、実ロボットを用いることなく教示を行うことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-244560号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、CADデータの誤差や力学的計算の再現性等の要因で、計算機で再現された模擬環境と現実環境に差異が生じた場合、オフラインで教示された把持位置や把持力では、計算通りの動作を行うことができず、教示が失敗してしまう課題がある。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、より現実環境に即した教示環境での教示を可能とし、オフラインでの教示の失敗を減少することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するための本発明の一態様によるロボット教示装置は以下の構成を備える。すなわち、

ロボットに動作を教示するためのロボット教示装置であって、

対象物体を把持あるいは吸着することにより保持する保持手段を有する機構と、

前記保持手段が前記対象物体を保持した状態の前記対象物体と前記保持手段の位置姿勢を計測する計測手段と、

前記計測手段で計測した前記位置姿勢に基づいて、ロボットのための動作指示を生成する生成手段と、

前記動作指示を記録する記録手段と、を備える。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、現実環境と整合性の取れた教示環境での教示が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1実施形態におけるロボット教示システムの構成例を示す図。

【図2】第1実施形態におけるデータ処理装置の構成例を示す図。

【図3】第1実施形態における動作を説明する流れ図。

【図4】第2実施形態におけるロボット教示システムの構成例を示す図。

【図5】第2実施形態における動作を説明する流れ図である。

【図6】第3実施形態におけるロボット教示システムの構成例を示す図。

【図7】第3実施形態における動作を説明する流れ図である。

【図8】(a)は教示ハンドが対象物体の重心位置から近い位置で把持する様子を示す図、(b)は、教示ハンドが対象物体の重心位置から離れた位置で把持する様子を示す図。

【図9】ロボットシステムを示す図。

【図10】教示ハンドの他の形態を示す図。

【図11】教示ハンドの他の形態を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

20

30

40

50

以下、添付の図面を参照して、本発明の好適な実施形態のいくつかを説明する。なお、以下では、教示者が教示ハンドを使用して、対象物体の保持動作（たとえば、対象物体に対する把持位置と把持力）のロボット動作教示を行うロボット教示装置を例示して説明する。

#### 【0011】

一般的なオフラインロボット教示では、計算機で再現した模擬環境内で教示情報の計算を行っていた。しかしながら、この手法では、模擬環境と現実環境に差異がある場合は、計算通りの動作を行うことができず、教示が失敗してしまうという課題がある。本実施形態においては、実際に用いるロボットハンドと同等の形状および保持機能を有する教示ハンドを用いて実際の対象物体を把持する動作を行うことで、ロボットの動作を教示することを可能とする。これによって、現実環境と教示環境の整合性がとれた状態でのロボットの動作の教示が可能になる。

10

#### 【0012】

##### <第1実施形態>

図1に、第1実施形態による、ロボットの動作を教示するためのロボット教示装置の全体的な構成を示す。本実施形態のロボット教示装置は、教示者が教示ハンド101を用いて対象物体を把持するためのロボット動作教示を行う。ロボット教示装置は、教示者が直接扱う教示ハンド101と、教示ハンド101から得られた教示情報からロボット用の動作指示を生成するデータ処理装置120とを有している。

20

#### 【0013】

教示ハンド101は、教示者の操作によって操作力を入力する操作力入力部と、入力された操作力に応じて駆動して対象物体へ作用する機構を有する。本実施形態では、対象物体への作用として保持動作を行う機構を説明する。なお、教示ハンド101における対象物へ作用する機構は、教示対象のロボットのアームの先端等に装着されるハンド部と対応した形状を有する。教示ハンド101は、ロボット動作教示をするための教示機構部として機能する。本実施形態では、教示ハンド101が教示者の手102によって把持され、教示者の操作によって対象物体103を把持するように操作されることで、ロボット動作教示が行われる。なお、本実施形態では保持機構として教示者による把持が可能な教示ハンド101を例示するが、これに限られるものではない。すなわち、対象物体の保持動作が可能で、その保持動作が後述する教示計測部110により計測可能な保持機構であれば、いかなる形態であってもよい。

30

#### 【0014】

教示ハンド101は、教示者が入力した操作力に応じて駆動して対象物体を保持する保持機構を有する。教示ハンド101は、教示者により把持される把持部分に位置し、教示者の操作力を入力する操作力入力部として機能するトリガ104と、対象物体を把持するための保持部として機能するフィンガ105を有する。トリガ104とフィンガ105は、不図示の連動機構によって機械的に連動し、たとえばトリガ104を図中の右方向へ引く力が2つのフィンガ105によって物体を挟む力に変換される。この連動機構により、トリガ104を引く量に応じてフィンガ105の閉じ量が増減し、引く力に応じてフィンガ105の把持力が変化する。なお、フィンガ105は、教示対象のロボットに用いられているフィンガと同一の物、または同等のものを使用する。把持力センサ106は、フィンガ105で対象物体103を把持した際の把持力を出力する。この把持力センサ106は、たとえば弾性体とみなせるフィンガ105の基部に貼付された抵抗で構成されており、フィンガ105に把持力が発生して微小な歪みが発生すると、抵抗が伸長することで抵抗値が変化する。この抵抗に電圧を印加し、この抵抗値の変化を計測することで把持力を計測することができる。

40

#### 【0015】

位置姿勢計測センサ107は、教示ハンド101、対象物体103の位置姿勢を計測する。位置姿勢計測センサ107は、たとえばCCDカメラで構成されており、教示ハンド101と対象物体103にそれぞれ装着された、矩形形状を持つ計測マーカ108、10

50

9を撮影する。撮像画像上の計測マーカ108、109は教示ハンド101、対象物体103の姿勢、つまり傾きによって台形状に歪んだ見え方で観察される。本実施形態では、教示計測部110は、この歪みとマーカの撮像画像上での大きさから、計測マーカ108、109とそれらを固定する教示ハンド101、対象物体103の位置と姿勢を計測する。

#### 【0016】

データ処理装置120において、教示計測部110は、教示ハンド101の保持機構による対象物体103の保持動作を計測する。たとえば、教示計測部110は、把持力センサ106と位置姿勢計測センサ107を用いて、フィンガ105の把持力と、教示ハンド101、対象物体103の位置姿勢を所定のタイミングで計測し、記録する。動作計算部111は、教示計測部110で計測した保持動作に基づいて、ロボットのための動作指示を計算する。より具体的には、動作計算部111は、たとえば、教示計測部110に記録されたフィンガ105の把持力と、教示ハンド101、対象物体103の位置姿勢を用いて、実際のロボットへ通知する動作指示を計算する。動作記録部112は、動作計算部111で計算した動作指示をメモリに記録し、蓄積する。記録された動作指示は、必要に応じて読み出して使用することができる。

#### 【0017】

データ処理装置120はたとえばコンピュータ装置により実現される。図2は、データ処理装置120のハードウェア構成例を示すブロック図である。図2において、CPU121はRAM122またはROM123に記憶されているプログラムを実行することにより各種処理を実現する。RAM122は読み書き可能なランダムアクセスメモリであり、CPU121が各種処理を実行する際の作業領域として用いられる。ROM123は読み出し専用のメモリであり、CPU121により実行されるプログラムや各種データを保持する。インターフェース124は、上述した把持力センサ106や位置姿勢計測センサ107とデータ処理装置120とを接続する。ハードディスク等の2次記憶装置125は、RAM122に展開されて実行されるプログラムや各種データ(たとえば、動作計算部111で計算された動作指示)を格納する。また、2次記憶装置125は、動作記録部112が動作指示を記録ための記録領域を提供する。上述した各構成はバス126に接続されている。

#### 【0018】

なお、データ処理装置120の教示計測部110、動作計算部111、動作記録部112は、それぞれCPU121がROM123またはRAM122に保持されているプログラムを実行することにより実現され得る。

#### 【0019】

次に、以上のような構成を備えた本実施形態のロボット教示装置の動作について説明する。図3に、教示者が教示ハンドを用いて対象物体を把持するためのロボット動作教示を行う操作(ステップS351~S354)と、ロボット教示装置の動作(ステップS301~S304)を説明する流れ図を示す。図3の流れ図において、ステップS3011~S3012の動作は、対象物体を把持した際の教示ハンド101の位置姿勢を計測する把持位置姿勢計測(ステップS301)である。また、ステップS3021~S3022の動作は、フィンガ105の対象物体103に対する把持力を計測する把持力計測(ステップS302)である。以下、流れ図のステップに従って動作説明を行う。

#### 【0020】

教示者は、教示ハンド101を把持して対象物体103の把持位置へと移動させて(ステップS351)、教示ハンド101のトリガ104を握り込む(ステップS352)。これにより教示者の操作力が教示ハンド101に入力され、フィンガ105はトリガ104に連動して閉方向(2つのフィンガ105で挟む方向)に動作する。なお、トリガ104にはスプリングが内蔵されており、トリガ104の握り込みを解放すると、トリガ104は元の位置に戻り、これに連動してフィンガ105は開方向に動作する。

#### 【0021】

10

20

30

40

50

教示計測部 110 は、把持力センサ 106 からの信号に基づいてフィンガ 105 に発生している把持力を計測しており、ステップ S3011 において計測された把持力 F に基づいてフィンガ 105 に把持力が発生しているかどうかを判定する。フィンガ 105 に把持力が発生している場合 (F > 0 の場合) は、教示計測部 110 は対象物体 103 を把持していると判定し、処理をステップ S3012 に進める。フィンガ 105 に把持力が発生していない場合 (F = 0 の場合) は、対象物体 103 を把持していないと判定し、ステップ S3011 の処理を繰り返す (すなわち、把持力 F が発生するのを待つ)。

【0022】

ステップ S3012 において、教示計測部 110 は、位置姿勢計測センサ 107 により教示ハンド 101 と対象物体 103 の位置姿勢を計測し、たとえば RAM 122 に記録する。これにより、把持力が発生した時点の教示ハンド 101 と対象物体 103 の位置姿勢が計測される。位置姿勢の計測では、教示ハンド 101、対象物体 103 に装着された計測マーカ 108、109 が位置姿勢計測センサ 107 により撮像される。教示計測部 110 は、この撮像により得られた撮像画像中の計測マーカの見えから、位置姿勢計測センサ 107 を原点とした場合の 3 軸の並進位置と、3 軸回転による姿勢を求める。教示ハンド位置姿勢  $P_h$  と対象物体位置姿勢  $P_o$  は、以下の (1) 式のようにそれぞれ回転行列  $R_h$ 、 $R_o$  と並進ベクトル  $T_h$ 、 $T_o$  を合わせた  $4 \times 4$  のアフィン (Affine) 行列で表わされる。

10

【0023】

【数 1】

20

$$\left\{ \begin{array}{l} P_h = (R_h T_h) = \begin{pmatrix} R_{hx} & R_{hy} & R_{hz} & T_{hx} \\ R_{hx} & R_{hy} & R_{hz} & T_{hy} \\ R_{hx} & R_{hy} & R_{hz} & T_{hz} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ P_o = (R_o T_o) = \begin{pmatrix} R_{ox} & R_{oy} & R_{oz} & T_{ox} \\ R_{ox} & R_{oy} & R_{oz} & T_{oy} \\ R_{ox} & R_{oy} & R_{oz} & T_{oz} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \right. \quad \dots (1)$$

30

【0024】

以上のようにして、対象物体 103 を教示ハンド 101 で把持したときの教示ハンド 101 と対象物体 103 の位置、姿勢が計測される。

【0025】

次に、教示者は、対象物体 103 を把持した状態で教示ハンド 101 を動かす (ステップ S353)。たとえば、教示者は、教示ハンド 101 で把持した対象物体 103 を持ち上げ、その後、降ろして対象物体 103 を置くという動作を行う。このような動作の間 (たとえば持ち上げから降ろすまでの動作の間)、教示者は対象物体 103 が教示ハンド 101 から落下したり把持位置がずれたりしないように、トリガ 104 を必要十分な操作力で握りこんで対象物体 103 に対する把持力 F を発生させる。

40

【0026】

教示者が、教示ハンド 101 のトリガ 104 に込めた力を緩め、トリガ 104 を解放することにより、フィンガ 105 の対象物体 103 への把持力が無くなり、教示ハンド 101 のフィンガ 105 は対象物体 103 を解放する (ステップ S354)。この操作に応じて、教示計測部 110 は、ステップ S3021 において、把持力センサ 106 からの信号に基づいてトリガ 104 が解放されたこと (たとえば、把持力 F = 0 になったこと) を検

50

出する。教示計測部 1 1 0 は、把持力が発生していると判定されてからも把持力を計測し続けている。ステップ S 3 0 2 2 において、教示計測部 1 1 0 は、把持力 F の発生が検出されてからトリガ 1 0 4 の解放が検出されるまでの期間において計測された把持力のうちの最大値である最大把持力  $F_{max}$  を、たとえば RAM 1 2 2 に記録する。

【 0 0 2 7 】

次に、ステップ S 3 0 3 において、動作計算部 1 1 1 は、ステップ S 3 0 1 2 で記録された把持位置姿勢と、ステップ S 3 0 2 2 で記録された最大把持力に基づいてロボットの動作指示を計算する。たとえば、動作指示は、対象物体 1 0 3 を把持する際の指示位置姿勢  $P_c$  と、指示把持力  $F_c$  から構成される。対象物体 1 0 3 が様々な位置・姿勢にあっても対応可能とするために、以下の式 ( 2 ) に示すように、対象物体 1 0 3 を基準とした相

10

【数 2】

$$P_c = P_h^{-1} \cdot P_o \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 8 】

この指示位置姿勢  $P_c$  を用いて、教示対象のロボットを動作させる際のロボットハンドの動作位置姿勢  $P_a$  は以下の ( 3 ) 式で計算される。すなわち、ロボットの動作時に、ロボット座標系において検出された対象物体の位置姿勢を  $P_{oa}$  として、

【数 3】

20

$$P_a = P_{oa} \cdot P_c^{-1} \quad \dots (3)$$

となる。ここで、対象物体の位置姿勢  $P_{oa}$  は、ロボットの動作時に検出される動的な値のため、 $P_a$  は  $P_c$  に基づいて毎回の動作直前に計算して求めればよい。

【 0 0 2 9 】

指示把持力  $F_c$  は、本実施形態では、以下の ( 4 ) 式に示すように、ステップ S 3 0 2 2 で記録された最大把持力  $F_{max}$  をそのまま使用する。

【数 4】

30

$$F_c = F_{max} \quad \dots (4)$$

【 0 0 3 0 】

ステップ S 3 0 4 において動作記録部 1 1 2 は、ステップ S 3 0 3 で算出された動作指示である指示位置姿勢  $P_c$  と指示把持力  $F_c$  を、たとえば 2 次記憶装置 1 2 5 に記録する。記録された動作指示は、実際のロボット動作時に適宜読み出して使用することができる。また、複数回教示動作を行い、動作指示を逐次記録して蓄積することもできる。

【 0 0 3 1 】

以上のように、本実施形態における手順を実施することによって、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンドを用いて、教示者が実際の対象物体を把持する動作でロボット動作教示を行うことができる。これにより、シミュレーションによる模擬環境の差異を問題とすることなく、実際のロボット環境と整合性のとれた教示が可能になる。

40

【 0 0 3 2 】

< 第 2 実施形態 >

次に、第 1 実施形態とは異なる形態の教示ハンドを用いたロボット教示装置の具体的な実施の一形態について説明する。

【 0 0 3 3 】

第 1 実施形態においては、図 1 における教示ハンド 1 0 1 のトリガ 1 0 4 とフィンガ 1 0 5 は、機械的に連動して動く機構を備えており、教示者の操作力がそのままフィンガ 1 0 5 の把持力となっていた。これに対して第 2 実施形態では、教示者の操作力に代わる動

50

力を用いることで、人の標準的な把持力で破損するような壊れやすい対象物体でも、適切な把持力で把持してロボット動作教示を行うことを可能にする。

【0034】

図4に、第2実施形態によるロボット教示装置の構成例を示す。図4では、教示者が教示ハンド101を用いて対象物体103を把持するためのロボット動作教示を行う、ロボット教示装置全体の構成を示す。図4における対象物体103、計測マーカ109、教示ハンド101の把持力センサ106と計測マーカ108、位置姿勢計測センサ107、教示計測部110、動作計算部111、動作記録部112は、第1実施形態(図1)で説明したとおりである。

【0035】

ただし、第2実施形態の対象物体103は比較的小さく壊れやすい物体であり、許容される把持力が低いものとする。また、教示ハンド101に搭載されたトリガ104には、根元に握り込み力センサ412が搭載されており、教示者の手102でトリガ104を握りこんだ際の操作力を計測する。モータ413は、握り込み力センサ412により計測された操作力に基づいて回転の正転、逆転、かつ回転トルクを変化させる。フィンガ105は、モータ413の回転に連動して開閉する。この機構によりモータ413の回転に応じてフィンガ105の開閉が変化し、モータ413の回転トルクに応じてフィンガ105の把持力が変化する。

【0036】

図5は、第2実施形態において、教示者が教示ハンド101を用いて対象物体103を把持する際の、教示ハンド101の動作を説明する流れ図である。なお、第2実施形態によるデータ処理装置120における動作は、第1実施形態(図3)のステップS301~S304と同様である。図5の流れ図において、ステップS351~S354は教示者の動作を示し、ステップS501~S506は、教示ハンド101の動作を示している。

【0037】

教示者が、教示ハンド101を把持して、対象物体103の把持位置へと移動させる(ステップS351)。本ステップにおける手順は、第1実施形態と同様である。次に、教示者が、教示ハンド101のトリガ104を教示者の手102で力を込めて握りこむ(ステップS352)。すると、ステップS501において、教示ハンド101は握り込み力センサ412によりトリガ104に生じた力である操作力(握り込み力G)を検出する。

【0038】

教示ハンド101は、握り込み力Gを検出すると、モータ413を正転方向に回転させる。モータ413が正転方向に回転すると、これに連動してフィンガ105が閉方向に動作する。なお、モータ413は握り込み力Gの発生に従って正転方向に回転し、駆動する最大許容トルクは、把持力Fが、最大で以下の(5)式に示すフィンガ105の許容把持力 $F_{limit}$ を発生するトルクとなるよう制御する。把持力Fは、把持力センサ106により検出される。

【数5】

$$F_{limit} = \alpha \cdot G \quad \dots (5)$$

【0039】

ここで、 $\alpha$ は任意の値を取るパラメータで、本実施形態においては $\alpha = 0.1$ としている。これにより、人の標準的な把持力では破損するような対象物体103に対して繊細な把持を容易に行うことが可能になる。以上の動作を、図5の流れ図に沿って説明すると、握り込み力Gを検出した教示ハンド101は、ステップS502において、把持力センサ106からの信号に基づいて、把持力Fが $F_{limit}$ 以上になっていないかを判定する。そして、把持力Fが $F_{limit}$ 以上になっていなければ、教示ハンド101は、ステップS503において、モータ413を正転方向に回転させ、フィンガ105を閉じる。他方、ステップS502で把持力Fが $F_{limit}$ 以上と判定された場合は、モータ413を停止す

10

20

30

40

50

る。なお、教示者がトリガ104を放すと握り込み力Gは0となる。ステップS501において握り込み力Gが0の場合には、教示ハンド101は、モータ413を逆転方向に回転させ(ステップS504)、フィンガ105を開方向に動作させる。フィンガ105が開放端に到達した場合は(ステップS505)、教示ハンド101は、モータ413の逆転を停止する(ステップS506)。

#### 【0040】

以上のような教示ハンド101からの保持動作の信号を受信するデータ処理装置120は、図3のステップS301~S304に示した動作を実行する。すなわち、ステップS3011において、教示計測部110は、把持力センサ106の信号に基づいて把持力Fを計測し、把持力が発生しているかどうかを判定する。把持力が発生している(F≠0)場合は、対象物体103を把持していると判定し、処理はステップS3012に進む。把持力F=0の場合は把持していないと判定され、処理はステップS3011を繰り返す。

10

#### 【0041】

ステップS3012において、位置姿勢計測センサ107が、教示ハンド101と対象物体103の位置姿勢を計測する。ステップS3012では、教示計測部110は、教示ハンド101の位置姿勢 $P_h$ と対象物体の位置姿勢 $P_o$ を求める。こうして、把持力が発生した時点における教示ハンド101と対象物体103の位置姿勢が計測され、たとえば、RAM122に記録される。

#### 【0042】

ステップS353において、教示者は、対象物体103を把持した教示ハンド101を動かして、対象物体103を持ち上げたり、降ろしたりする。その後、ステップS354において、教示者が、手102に込めた力をゆるめて、教示ハンド101のトリガ104の握り込みを解除する。

20

#### 【0043】

教示者による上記握り込みの解除によって、教示ハンド101の握り込み力センサ412が操作力G=0となったことを検出する(ステップS501、NO)。上述のように、操作力G=0が検出されると、ステップS504において、モータ413が逆転方向に回転し、フィンガ105が開方向に動作する。フィンガ105が最大開放状態(開放端)になると回転は停止する。教示計測部110は、教示者による上記操作によりトリガ開放を検出すると(ステップS3021)、把持力センサ106に把持力が発生している間(S3011(YES)~S3021(YES))に計測された把持力Fのうちの最大値 $F_{max}$ を記録する。

30

#### 【0044】

ステップS303において、第1実施形態と同様に、動作計算部111は、ロボットの動作指示を計算する。すなわち、動作計算部111は、指示位置姿勢 $P_c$ と指示把持力 $F_c$ を求める。そして、ステップS304において、動作記録部112は、ステップS303において計算された動作指示である指示位置姿勢 $P_c$ と指示把持力 $F_c$ を(たとえばRAMに)記録する。

#### 【0045】

以上のように、第2実施形態によれば、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンド101を用いて、教示者が実際の対象物体103を把持する動作でロボット動作教示を行えるとともに、その把持力を適切に調整した上でロボット動作教示を行える。これにより、壊れやすい対象物体の場合にも、シミュレーションによる模擬環境の差異を問題とすることなく、実際のロボット環境と整合性のとれた教示が可能になる。

40

#### 【0046】

##### <第3実施形態>

第3実施形態では、教示動作にしたがって動作指示を計算するとともに、教示を行った環境と教示動作から、計算された動作指示を評価するロボット教示装置を説明する。第3実施形態では、第1実施形態の構成に動作評価値を求める構成を加える。動作評価値は、例えば、対象物体の把持力、教示ハンドの手首部分に加わる回転モーメントの大きさ、対

50

象物体の把持時に生じた教示ハンドと対象物体間の相対的な把持位置姿勢変化、に基づいて教示動作の評価を行うことにより求められる。これにより、実際のロボットの把持動作時に、類似した複数の動作指示から一つを選択して動作を行う場合においても、動作評価値がより良好な動作指示を選択することで、より確実な把持動作が可能となる。

【 0 0 4 7 】

図 6 に、第 3 実施形態によるロボット教示装置全体の構成を示す。第 1 実施形態と同様に、教示者が教示ハンド 1 0 1 を用いて対象物体 1 0 3 を実際に把持することで、ロボットが対象物体を把持するためのロボット動作教示を行う例を説明する。図 6 における対象物体 1 0 3、計測マーカ 1 0 9、トリガ 1 0 4、フィンガ 1 0 5、把持力センサ 1 0 6、計測マーカ 1 0 8 と、位置姿勢計測センサ 1 0 7、教示計測部 1 1 0、動作計算部 1 1 1、動作記録部 1 1 2 は、第 1 実施形態（図 1）と同様の構成である。

10

【 0 0 4 8 】

第 3 実施形態の教示ハンド 1 0 1 は、手首力センサ 6 1 3 を有する。手首力センサ 6 1 3 は、教示ハンド 1 0 1 の手首に当たる部分に設置されており、手首の回転軸方向に発生する 3 軸の回転モーメントを計測する。また、第 3 実施形態のデータ処理装置 1 2 0 は、動作評価部 6 1 4 を有する。動作評価部 6 1 4 は、教示計測部 1 1 0 で記録した、最大把持力、最大回転モーメント、対象物体の把持時に生じた、教示ハンド 1 0 1 と対象物体 1 0 3 の間の把持位置姿勢変化を用いて、教示動作の品質を表す動作評価値を求める。

【 0 0 4 9 】

図 7 に、第 3 実施形態によるロボット動作教示の処理を説明する流れ図を示す。図 7 の流れ図では、教示者が教示ハンドを用いて対象物体を把持するためのロボット動作教示を行い、動作評価値を求める一連の手順が説明される。図 7 の流れ図において、ステップ S 3 0 1 1、S 3 0 1 2、S 7 0 1 0 は対象物体の把持位置姿勢計測（ステップ S 3 0 1）、ステップ S 3 0 2 1 ~ S 3 0 2 2 は対象物体に対する把持力計測（ステップ S 3 0 2）、ステップ S 7 0 1 1 ~ S 7 0 1 3 は動作評価値取得（S 7 0 1）である。以下、流れ図のステップに従って説明を行う。

20

【 0 0 5 0 】

ステップ S 3 0 1 ~ S 3 0 2 により示される処理は、第 1 実施形態とほぼ同様である。ただし、ステップ S 3 0 1 2 以降、トリガが解放されるまで（ステップ S 3 0 2 1 で YES と判定されるまで）の間、教示ハンド 1 0 1 と対象物体 1 0 3 の位置姿勢の計測と記録が継続される。また、S 7 0 1 0 では、教示計測部 1 1 0 は手首力センサ 6 1 3 からの信号による回転モーメントの計測、記録を開始する。回転モーメントの計測、記録は、把持位置姿勢の計測、記録と同様に、トリガ解放が検出されるまで（ステップ S 3 0 2 1 で YES と判定されるまで）継続される。

30

【 0 0 5 1 】

ステップ S 7 0 1 において、動作評価値が取得される。まず、ステップ S 7 0 1 1 において、動作評価部 6 1 4 は、位置姿勢計測センサ 1 0 7 を用いて計測した、ステップ S 3 0 2 2 でのトリガ解放の検出直前における教示ハンド 1 0 1 と対象物体 1 0 3 の位置姿勢をメモリから読み出す。そして、動作評価部 6 1 4 は、把持力の発生検出直後（S 3 0 1 2）において取得した位置姿勢（教示ハンド 1 0 1 と対象物体 1 0 3 との相対的な位置姿勢）からの変化を計算し、記録する。こうして、把持の開始時と終了時における、対象物体 1 0 3 と教示ハンド 1 0 1（フィンガ 1 0 5）の相対的な位置姿勢の変化（すなわち、ずれ）が計算され、記録される。なお、S 3 0 1 2 における位置姿勢の計測は、第 1 実施形態と同様に計測マーカ 1 0 8、1 0 9 を用いて行われる。S 7 0 1 1 では、動作評価部 6 1 4 は、把持力  $F$  の発生時の教示ハンドの位置姿勢  $P_h$ 、 $P_o$  と、トリガ解除時の教示ハンドの位置姿勢  $P_{h2}$ 、 $P_{o2}$  を用いて、教示ハンド 1 0 1 と対象物体 1 0 3 との間の位置変化  $T_d$  と姿勢変化  $R_d$  を求める。これらは、以下の式（6）で表わされる。

40

【 0 0 5 2 】

【数 6】

$$\begin{cases} T_d = T_{o2} - T_o \\ R_d = \begin{pmatrix} r_{dx} \\ r_{dy} \\ r_{dz} \end{pmatrix} \end{cases} \quad \dots (6)$$

【0053】

ここで、 $R_d$  は回転軸表現によるベクトルで、

10

【数 7】

$$\begin{cases} \theta_d = |R_d| \\ I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ S = I + \frac{\sin \theta_d}{\theta_d} R_d + \frac{1 - \cos \theta_d}{\theta_d^2} R_d^2 \end{cases} \quad \dots (7)$$

20

とした時、下記の式(8)を満たす。

【数 8】

$$S = (R_{o2}^{-1} \cdot R_{h2})^{-1} (R_o^{-1} \cdot R_h) \quad \dots (8)$$

【0054】

次に、ステップS7012において、動作評価部614は、対象物体103を把持している間(ステップS3011のYES～S3021のYES)に手首力センサ613により計測された回転モーメントの最大値を記録する。回転モーメントの最大値である最大回転モーメント $M_{max}$ は、手首位置における回転方向3軸のベクトルとして以下の(9)式で表わされる。

30

【数 9】

$$M_{max} = \begin{pmatrix} m_{xmax} \\ m_{ymax} \\ m_{zmax} \end{pmatrix} \quad \dots (9)$$

【0055】

40

ステップS7013において、動作評価部614は、教示動作の品質を表す動作評価値 $E_c$ を計算する。動作評価値 $E_c$ は、ステップS7011～S7012において取得された、最大把持力 $F_{max}$ 、最大回転モーメント $M_{max}$ 、対象物体103の把持時に生じた、教示ハンド101と対象物体103の間の把持位置姿勢変化 $R_d$ 、 $T_d$ を用いて、以下の式(10)により算出される。

【数 10】

$$E_c = \beta \cdot F_{max}^2 + \gamma \cdot |M_{max}|^2 + \lambda \cdot |R_d|^2 + \varepsilon \cdot |T_d|^2 \quad \dots (10)$$

【0056】

50

ここで、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は、任意の値を取るパラメータであり、各項に対する重みを表す。上式は、下記の基準に従って動作評価値  $E_c$  を計算している。

1. 最大把持力は電力消費やモータへの要求回転トルクの点から、小さいほど望ましい。
2. 教示ハンド 101 と対象物体 103 を横から観察した様子を図 8 (a)、図 8 (b) に示す。これらの図に示されるように、回転モーメントは、対象物体 103 の重心位置 801 から近い位置 802 で把持する場合 (図 8 (a)) より、離れた位置 803 で把持する (図 8 (b)) 場合の方が大きくなる。このような回転モーメントによる把持のずれを生じる可能性を最小限とするため、最大回転モーメントは小さいほど望ましい。
3. 把持位置姿勢変化は、把持のずれを意味しており、対象物体が落下する可能性を最小限とするため、小さいほど望ましい。

10

以上から、動作評価値  $E_c$  の値は、小さいほど好ましい (良好な評価値である)。

#### 【0057】

ステップ S304 において、動作計算部 111 は、第 1 実施形態と同様の手順によりロボットの動作指示、すなわち、指示位置姿勢  $P_c$  と指示把持力  $F_c$  を求める。そして、ステップ S304 において、動作記録部 112 は、ステップ S304 において計算した動作指示である指示位置姿勢  $P_c$  および指示把持力  $F_c$  と、ステップ S701 (S7013) において取得した動作評価値  $E_c$  を一対一に対応する形式で記録する。

#### 【0058】

以上のような第 3 実施形態の構成によれば、類似した把持姿勢による動作指示が複数教示されているような状況において、対応する動作評価値  $E_c$  で評価することで、使用する動作指示を選択することができる。すなわち、動作評価値  $E_c$  を、複数の動作指示から最良の動作指示を選択するための指標として用いることができる。

20

#### 【0059】

以上のように、第 3 実施形態における手順を実施することによって、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンドを用いて、教示者が実際の対象物体を把持する動作でロボット動作教示を行うことができる。さらに、実際のロボットの把持動作時に、類似した複数の動作指示から一つを選択して動作を行う場合においても、候補中で動作評価値が最少となる動作指示を選択することで、対象物体のずれや落下の可能性を最小限にした確実な把持動作が可能となる。また、複数回の動作教示を行って、動作指示と動作評価値を蓄積し、その中から良好な動作指示を抽出することで、実際のロボット動作をより最適に行うことができる。

30

#### 【0060】

< その他の実施形態 >

以下では、上述した各実施形態に適用可能な主な変形例を説明する。

(同等のフィンガや対象物体を用いる例)

第 1 実施形態 ~ 第 3 実施形態における教示ハンド 101 のフィンガ 105 と対象物体 103 は、教示対象のロボットの動作に用いられているハンド部 (たとえばフィンガ)、対象物体と同一の物を使用しているが、これに限るものではない。形状、重量、硬さ、表面の摩擦などの各機能が同等と扱ってよいものであれば、これに代替して模擬的なフィンガ、模擬的な対象物体を用いてもよい。例えばこれらを 3D プリンタによって作成することで、実ロボットで用いる実物のフィンガ、対象物体を不要とすることもできる。

40

#### 【0061】

(その他の教示ハンドの形態)

また、第 1 ~ 第 3 実施形態における教示ハンドは、教示者の操作によって操作力を入力する操作入力部がフィンガと隣接して配置されているが、この形態に限るものではない。操作者が教示ハンドを保持可能で、かつ操作力を入力できる機能を有していれば、どのようなものでもよい。

#### 【0062】

例として、図 10 (a)、(b)、図 11 (a) に、手を入れにくい入り組んだ場所での使用を考慮した教示ハンドの例を示す。図 10 (a) では、手を伸ばして届きにくい位

50

置の対象物体を把持するために、操作力入力部 1001 とフィンガ 105 を離れた配置としている。図 10 (b) では、障害物などで手が入られる位置が限定されており、対象物体が異なる方向に存在する場合を想定して、操作力入力部 1001 とフィンガ 105 とを異なる方向に向けた配置としている。図 11 (a) では、より細かい取り回しを行う場合を想定し、教示者が操作する操作力入力部 1101 と、作業環境で動作させるフィンガ 105 を分離した配置としている。操作力入力部 1101 から教示者が入力した操作力 (トリガ 104 に対する操作力) は、ワイヤ 1103 を介してフィンガ 105 に伝達される。このワイヤ 1103 は、自転車のブレーキ力を伝達するワイヤと同様の構成を有する。

#### 【0063】

ただし、第 2 実施形態に準じる教示ハンドの場合は、操作力を電圧、抵抗値、PWM などの電氣的な信号に変換して伝送する導線もしくは無線送受信装置を代わりに使用する。また、教示者が分離したフィンガ 105 を保持するために、ハンドル 1102 がフィンガ 105 の基部に付加されている。

#### 【0064】

また、操作力入力部も、教示者が保持しながら十分に操作力を入力できる形態であれば、どのようなものでもよい。例えば、教示者が教示ハンドを把持するグリップ部分の全体をトリガにすることで、握力に応じて操作力が入力されるようにしてもよい。これにより、より強い操作力を入力することができる。

#### 【0065】

(その他のセンサを用いる例)

第 1 実施形態 ~ 第 3 実施形態における把持力センサ 106 は抵抗で構成されていたが、これに限るものではない。例えば、弾性体とみなせるフィンガ 105 の基部に対して直角になる形で、平行に二枚の電極を配置し、交流電流を流して、微小な歪みで発生した電極間の静電容量の変化を計測することで、把持力を計測してもよい。これにより、直接変形する部分を最小限として、把持力センサを長寿命とすることができる。

#### 【0066】

また、第 1 実施形態 ~ 第 3 実施形態における位置姿勢計測センサ 107 は、CCD カメラで計測マーカ 108、109 を撮像する形式としていたが、これに限るものではない。例えば、CCD カメラに相当する位置に、磁界を発生するソースコイルを配置し、計測マーカに相当する位置に磁界を計測するセンサコイルを配置してもよい。ソースコイルから時分割で変化する磁界を発生させ、センサコイルでその磁界変化を検出することで、ソースコイルに対するセンサコイルの位置姿勢を計測することができる。これにより、CCD カメラと計測マーカが、人体その他の障害物で遮られてしまうような状況においても、位置姿勢を計測することができる。

#### 【0067】

(座標軸の取り方)

また、第 1 実施形態 ~ 第 3 実施形態における動作計算部 111 は、ステップ S303 に示すように、ロボットの動作指示として、対象物体 103 を基準とした座標系における指示位置姿勢  $P_c$  を計算しているが、これに限るものではない。たとえば、対象物体が毎回同一位置に置かれていることが保障されている場合は、教示ハンド位置姿勢  $P_h$  をそのまま用いてもよい。この場合は、教示ハンド位置姿勢  $P_h$  を計測した座標系と、教示対象のロボットの座標系を同一とするか、同一に扱えるよう適切に座標変換を行えばよい。

#### 【0068】

(対象部品の姿勢を合わせて出力)

また、ロボットが把持動作を行う際には、対象物体が置かれている姿勢も把持動作の成否に大きく影響してくるため、対象物体の回転行列  $R_o$  を動作指示として合わせて出力してもよい。実際のロボットの動作時に、この対象物体の姿勢である回転行列  $R_o$  を参照し、計測した対象物体の姿勢と最も近い動作指示を選択することで、把持動作の失敗をより削減することができる。

#### 【0069】

10

20

30

40

50

## (ラチェット駆動ハンド)

また、第1実施形態、第3実施形態における教示ハンド101は、トリガ104とフィンガ105が機械的に連動して開閉する機構を備えていたが、これに限るものではない。たとえば、ボタン等での解除動作をおこなうまでトリガ104に生じた最大の操作力を維持する位置で留まるようなラチェット機構を加えてもよい。これにより、教示者は一旦握り込んだ力を維持することなく、容易に把持動作を継続することができる。この時、ユーザによるトリガ解除動作(ステップS354)は、先述のボタン等での解除動作で代替されることになる。

## 【0070】

また、第2実施形態における教示ハンド101も同様に、ボタンによる解除動作をおこなうまで、フィンガ105の把持力は握り込み力センサに発生した最大操作力を維持する様にしてもよい。これにより、同様に教示者は一旦握り込んだ力を維持することなく、容易に把持動作を継続することができる。この時、教示者によるトリガ解除動作(ステップS354)は、先述のボタン等での解除動作で代替されることになる。

## 【0071】

## (トリガ以外の操作力入力部)

また、第2実施形態における教示ハンド101は、トリガ104を操作力入力部としているが、これに限るものではない。操作力を値として入力できる構成であれば、教示者が力を入れて握り込む必要のないボリューム状の操作力入力部などを用いてもよい。これにより、教示者が握り込む力で疲労することなく、持続的に操作力を入力することができる。

## 【0072】

## (吸着ハンド)

また、第2実施形態における教示ハンド101は、フィンガ105を開閉して対象物体を把持しているが、これに限るものではない。たとえば、教示者の操作力に応じて、吸着力を変化させる吸着ハンドにより、対象物体を吸着することで保持する等、把持以外の機能を有する保持機構を用いてもよい。これにより、把持以外の保持力(たとえば吸着力)を含めた各種保持動作の教示を行うことができる。

## 【0073】

## (その他の保持以外のハンド)

上記実施形態では、教示ハンド101における対象物体へ作用する機構として、フィンガ105を開閉して対象物体を把持する構成を説明したが、対象物体への作用としてはこのような把持などの保持動作に限るものではない。例えば、図11(b)に示すように、教示者の操作力に応じて、回転力を発生し、締め付けトルクを変化させるレンチ1111や、ドライバーを上記機構として採用してもよい。レンチ1111の基部には、トルクセンサ1112が付加され、これにより、トルクレンチのように所定のトルクでボルトなどのネジ締結を行う動作の教示を行うことができる。このような教示ハンドにおいても、上記実施形態と同様に、作用状態として、計測マーカ108に基づく教示ハンドの位置姿勢と、対象物体に与えている回転力をトルクセンサ1112から取得することにより、ロボットの動作指示を得ることができる。

## 【0074】

## (力の対応変化)

また、第2実施形態における教示ハンド101は、対象物体が人の標準的な把持力で破損するような壊れやすい物を想定しており、ステップS502における を1よりも小さくしているが、これに限られるものではなく、 を1よりも大きくしてもよい。 を1よりも大きくすることにより、教示者の通常の把持力では滑ってしまうような対象物体に対して、より強力な把持力によってずれを生じることなく対象物体の把持を行い、動作教示を行うことができる。なお、このような場合はモータ413もより強力な回転トルクを出力可能なものに交換するのが望ましい。

## 【0075】

10

20

30

40

50

また、ステップS502におけるは固定値としているが、人の知覚特性や把持力の範囲を考慮して非線形等に変化させてもよい。たとえば指数関数的に把持力を変化させることで、小さい把持力が求められる場合には繊細な把持力の制御が可能となり、大きい把持力が求められる場合には、教示者が楽に維持できる操作力で強力な把持力を出力することができるようになる。

【0076】

(力センサによる部品組み付けへの応用)

第3実施形態における手首力センサ613は、手首の回転軸方向に発生する3軸の回転モーメントを計測し、動作評価値の計算に用いているが、これに限られるものではない。回転モーメントの計測以外にも、たとえば3軸の並進力を計測してもよい。このように、手首の並進軸方向に発生する3軸の力を計測することで、把持動作以外の操作についての動作教示を行うことができる。たとえば、対象部品を把持して、特定の部位に力加減をしながらはめ込みを行うような作業の教示を行うことができる。この場合、ステップS7012で最大回転モーメント $M_{max}$ を記録する手順と同様に最大並進力 $S_{max}$ を記録し、ステップS7013の動作評価値 $E_c$ の計算に反映させればよい。

【0077】

(シミュレーションとの組み合わせ)

また、第3実施形態における動作評価部614は、最大把持力、最大回転モーメント、把持位置姿勢変化に基づいて動作評価値を求めているが、これに限るものではない。ロボットとその周辺環境を計算機で模擬的に再現し、ロボットの動作を教示するオフライン教示と組み合わせてもよい。例えば、オフライン教示において計算によって再現された模擬教示動作による最大把持力、最大回転モーメント、把持位置姿勢変化と、第3実施形態の環境での教示動作で発生したそれらの差異を比較することで、動作教示の評価を行うことができる。両者の数値が極端に異なるような場合には、シミュレーション環境もしくは教示環境のいずれかに問題が存在すると推測し、低評価とする。これにより、シミュレーション環境との整合性も含めた動作評価値の計算を行い、より確実に失敗の少ないロボットの動作教示が可能になる。

【0078】

(ロボットシステムを含めた例)

また、第1実施形態～第3実施形態における構成は、計算した動作指示を動作記録部に記録しておき、教示対象のロボットが動作する際には動作記録部から動作指令を読み出して使用する形式としていたが、これに限るものではない。例えば、図9に示すように第1実施形態における構成の部分をロボット教示部901として、これに教示対象のロボット部902を加えた、一つのロボットシステムとしてもよい。この構成の場合、第1実施形態と同様の手順によって動作指令が動作記録部112に記録された後、下記のようにロボット部902が動作する。

【0079】

ロボット部902の環境計測部903が、位置姿勢計測センサ904を用いて対象物体905の位置姿勢 $P_a$ を認識する。さらに、動作生成部906が、第1実施形態におけるステップS303に示した動作位置姿勢 $P_a$ を計算する。ロボットアーム907は、動作位置姿勢 $P_a$ を目標位置としてアームを操作し、対象物体905を把持する。これにより、教示者が動作教示を行った直後に教示対象のロボットが実動作するように構成することができるため、より迅速で正確な教示が可能になる。また、動作教示と教示対象のロボットの実動作を比較することで、動作教示が妥当かどうかの判断も容易になる。動作教示が妥当であれば教示を終了し、問題があれば再教示を行うようにしてもよい。これにより、より確実な動作教示が可能になる。また、動作教示の妥当性を教示者が採点し、動作評価部が計算する動作評価値に反映させてもよい。これにより、特定のパラメータのみで計算する動作評価値に加えて、教示者の主観的な意図も含まれた動作教示の評価が可能となるため、より教示者の意図に沿った教示が可能になる。

【0080】

10

20

30

40

50

(コンピュータによる実現例)

また、第1実施形態～第3実施形態におけるデータ処理装置120(たとえば教示計測部110、動作計算部111、動作記録部112、動作評価部614)は、それらの機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記録媒体を、システムあるいは装置に供給する形式としてもよい。本発明の目的は、そのシステムあるいは装置のコンピュータ(またはCPUまたはMPU)が記録媒体に格納されたプログラムコードを読み出し実行することによっても、達成される。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することとなり、そのプログラムコードを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【0081】

プログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROM、DVDなどを用いることができる。

【0082】

また、コンピュータが読み出したプログラムコードを実行することにより、前述した実施形態の機能が実現される。そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼動しているOperating System(OS)などが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含まれる。

【0083】

さらに、記憶媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書き込まれる。そのプログラムコードの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるCPUなどが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含まれる。

【0084】

<各実施形態の効果>

第1実施形態では、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンドを用いて、教示者が実際の対象物体を把持する動作でロボット動作教示を行うことができる。これにより、シミュレーションによる模擬環境の差異を問題とすることなく、実際のロボット環境と整合性のとれた教示が可能になる。

【0085】

第2実施形態では、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンドを用いて、教示者が実際の対象物体を把持する動作で、かつ把持力を適切に調整した上でロボット動作教示を行うことができる。これにより、壊れやすい対象物体の場合にも、シミュレーションによる模擬環境の差異を問題とすることなく、実際のロボット環境と整合性のとれた教示が可能になる。

【0086】

第3実施形態では、ロボットハンドと同等の把持機能を有する教示ハンドを用いて、教示者が実際の対象物体を把持する動作でロボット動作教示を行うことができる。さらに、実際のロボットの把持動作時に、類似した複数の動作指示から一つを選択して動作を行う場合においても、候補中で動作評価値が最少となる動作指示を選択することで、対象物体のずれや落下の可能性を最小限にした確実な把持動作が可能となる。また、複数回の本実施形態による動作教示を行って、動作指示と動作評価値を蓄積し、その中から良好な動作指示のみを抽出することで、実際のロボット動作をより最適に行うことができる。

【0087】

<定義>

本発明における教示機構部は、対象物体を保持し、動作教示できるものであればどのようなものであってもよい。一例が第1実施形態の教示ハンドである。第1実施形態における教示ハンドはフィンガによる対象物体を把持することで保持を行っているが、吸着ハンドを用いて保持を行ってもよい。

10

20

30

40

50

【0088】

また、本発明における教示計測部は、動作教示を計測できるものであれば、どのようなものであってもよい。一例が、把持力センサと位置姿勢計測センサを用いて計測を行う第1実施形態の教示計測部である。

【0089】

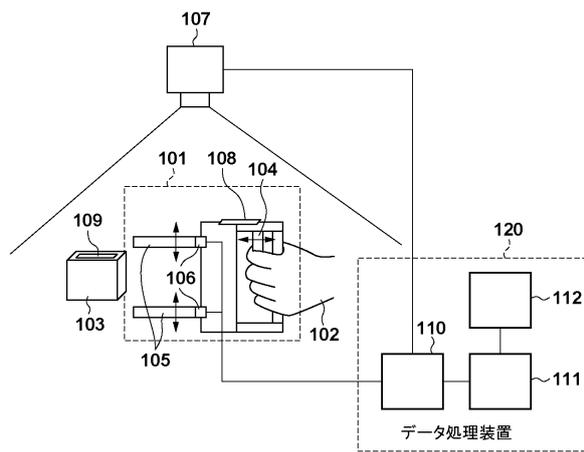
また、本発明における動作計算部は、ロボットの動作指示を計算できるものであれば、どのようなものであってもよい。一例が、第1実施形態における動作計算部である。また、上記の教示計測部、動作計算部、動作評価部は、それらの機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記録媒体を、システムあるいは装置に供給する形式としてもよい。

【符号の説明】

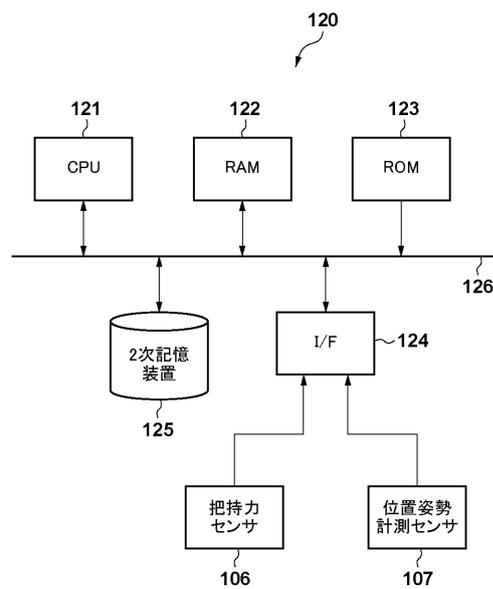
【0090】

101：教示ハンド、102：教示者の手、103：対象物体、104：トリガ、105：フィンガ、106：把持力センサ、107：位置姿勢計測センサ、108、109：計測マーカ、110：教示計測部、111：動作計算部

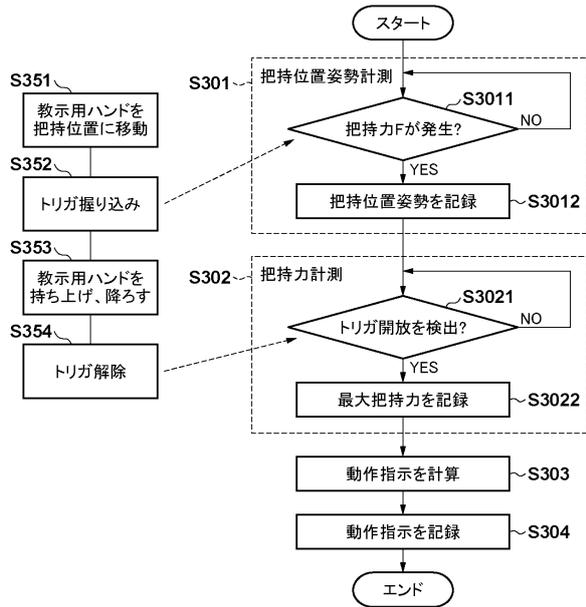
【図1】



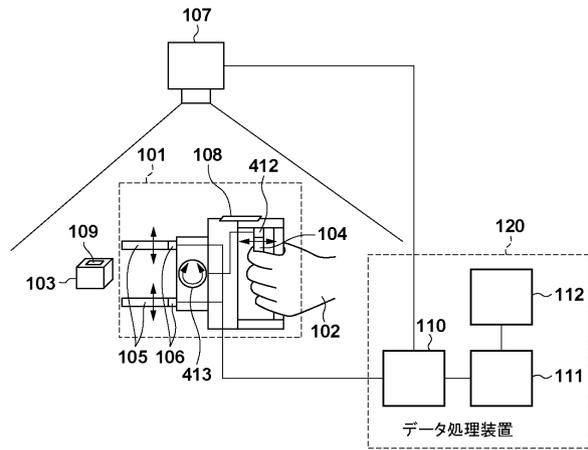
【図2】



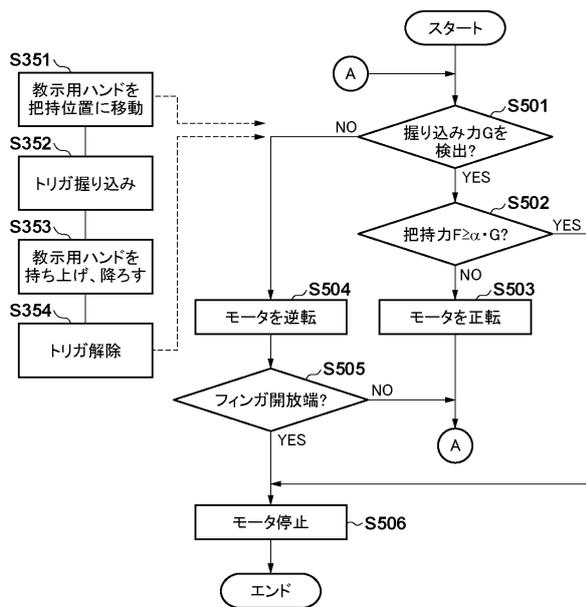
【図3】



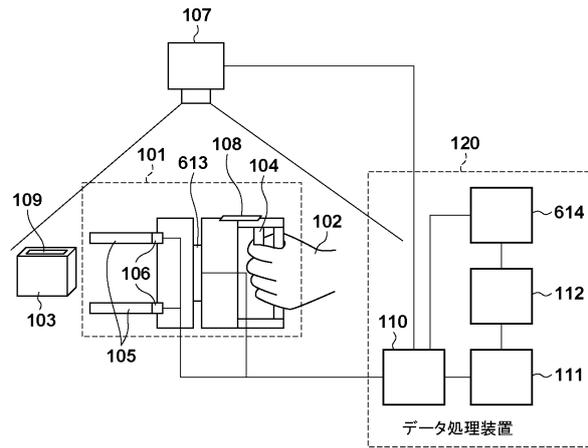
【図4】



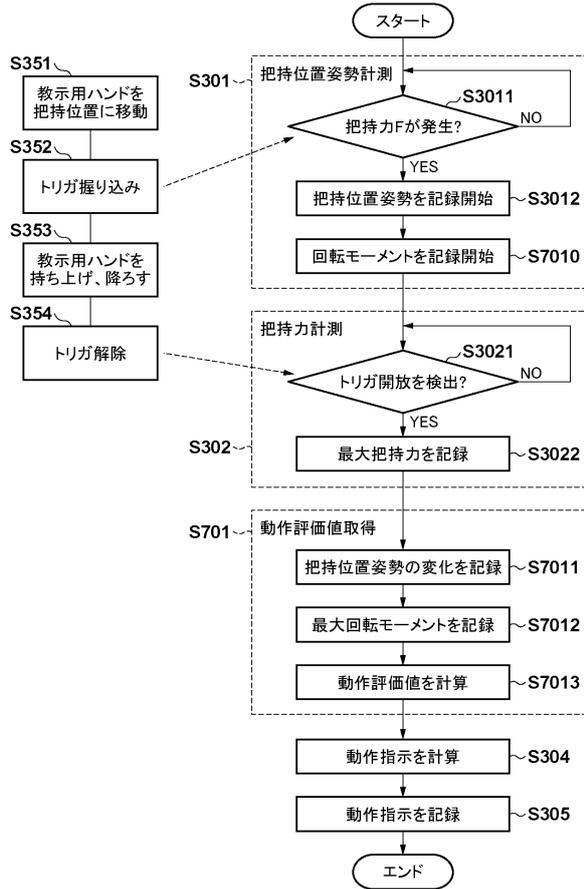
【図5】



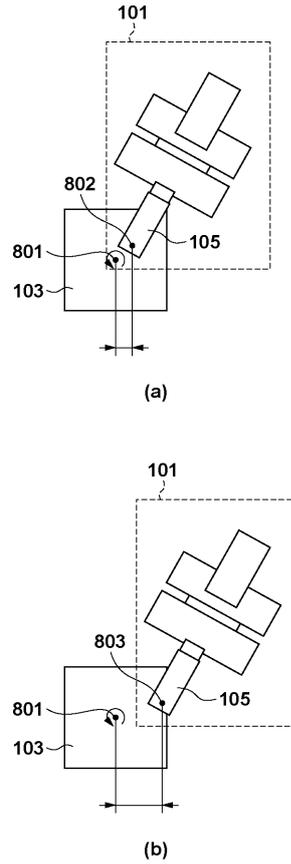
【図6】



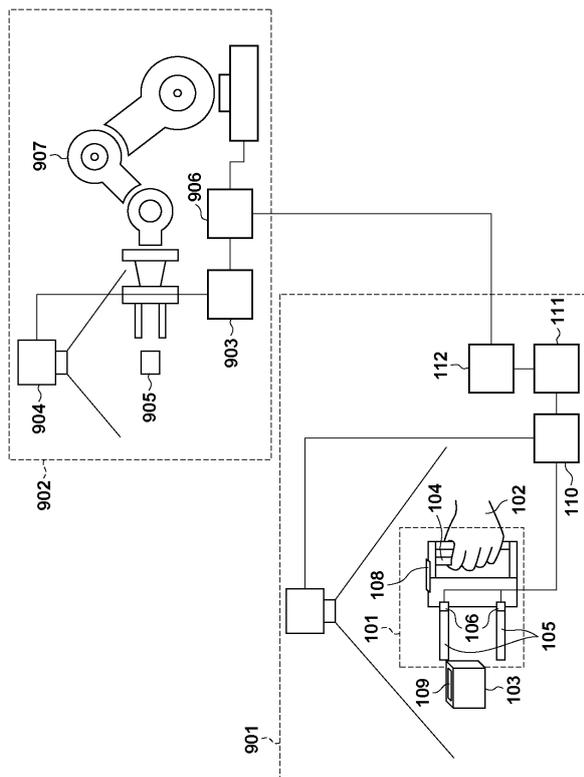
【図7】



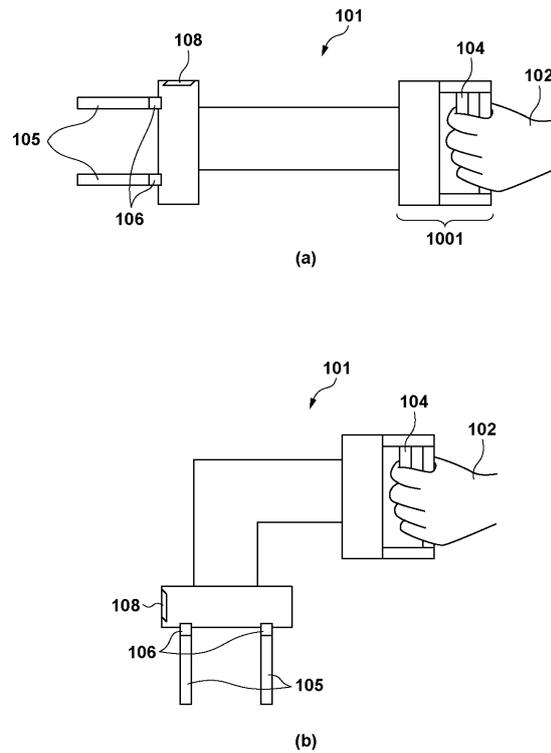
【図8】



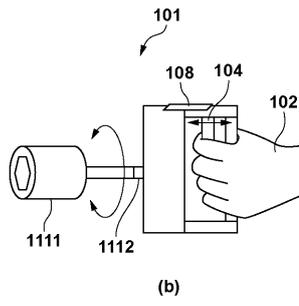
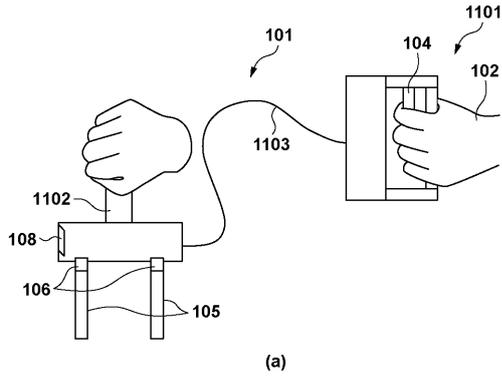
【図9】



【図10】



【 図 1 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 園田 哲理  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 白井 卓巳

(56)参考文献 特開2010-017804(JP,A)  
特開平07-246581(JP,A)  
特開2002-331480(JP,A)  
国際公開第2010/092981(WO,A1)  
特開平09-047989(JP,A)  
特開平09-216183(JP,A)  
特開平10-138182(JP,A)  
特開2001-287179(JP,A)  
特開2013-184280(JP,A)  
米国特許第04372721(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B25J 1/00 - 13/00  
G05B 19/42