

(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
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/201671 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 9/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/012278
- (22) 国際出願日: 2023年3月27日(27.03.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (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: 原 田 邦 彦 (**HARADA, Kunihiko**); 〒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). 内藤 康広(**NAITOU, Yasuhiro**); 〒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). 山本 知之(**YAMAMOTO, Tomoyuki**); 〒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).

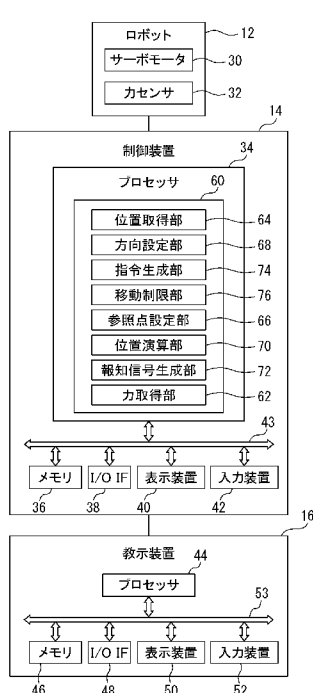
(74) 代理人: 青 木 篤, 外 (**AOKI, Atsushi et al.**); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 3 番 1 号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) **Title:** DEVICE, METHOD, AND COMPUTER PROGRAM FOR RESTRICTING MOVEMENT OF ROBOT

(54) 発明の名称: ロボットの移動を制限する装置、方法、及びコンピュータプログラム

図2



- 12 Robot
14 Control device
16 Teaching device
30 Servo motor
32 Force sensor
34, 44 Processor
36, 46 Memory
38, 48 I/O interface
40, 50 Display device
42, 52 Input device
62 Force acquisition unit
64 Position acquisition unit
66 Reference point setting unit
68 Direction setting unit
70 Position calculation unit
72 Notification signal generation unit
74 Command generation unit
76 Movement restriction unit

(57) **Abstract:** There is a need to move a robot along a boundary of an allowable operation range while preventing the robot from moving outside the allowable operation range, for example, when causing the robot to execute a predetermined task or when teaching an operation to the robot for the task. This device includes: a position acquisition unit that acquires the current position of a robot; a direction setting unit that determines a first direction toward the outside and a second direction orthogonal to the first direction on the basis of the current position acquired by the position acquisition unit and a

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, 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, ME, 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))

boundary of an allowable operation range close to the current position; a command generation unit that, in order to move the robot, generates a first movement command for moving the robot in the first direction determined by the direction setting unit and a second movement command for moving the robot in the second direction determined by the direction setting unit; and a movement restriction unit for restricting the movement of the robot according to the first movement command while permitting the movement of the robot according to the second movement command.

(57) 要約: 例えば、ロボットに所定の作業を実行させるとき、又は該作業のためにロボットに動作を教示しているときに、ロボットが許容動作範囲の外側へ移動するのを避けつつ、該ロボットを許容動作範囲の境界に沿って移動させたいという要求がある。装置は、ロボットの現在位置を取得する位置取得部と、位置取得部が取得した現在位置と、該現在位置に近接する許容動作範囲の境界とに基づいて、外側へ向かう第1の方向と、該第1の方向と直交する第2の方向とを定める方向設定部と、ロボットを移動させるために、方向設定部が定めた第1の方向へ該ロボットを移動させる第1の移動指令と、方向設定部が定めた第2の方向へ該ロボットを移動させる第2の移動指令とを生成する指令生成部と、第1の移動指令によるロボットの移動を制限する一方、第2の移動指令によるロボットの移動を許可する移動制限部とを備える。

明 細 書

発明の名称：

ロボットの移動を制限する装置、方法、及びコンピュータプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、許容動作範囲の外側へ向かうロボットの移動を制限する装置、方法、及びコンピュータプログラムに関する。

背景技術

[0002] 予め定めた許容動作範囲の外側へのロボットの移動を制限する方法が知られている（例えば、特許文献1）

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2020-49592号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 例えば、ロボットに所定の作業を実行させるとき、又は該作業のためにロボットに動作を教示しているときに、ロボットが許容動作範囲の外側へ移動するのを避けつつ、該ロボットを許容動作範囲の境界に沿って移動させたいという要求がある。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様において、予め定めた許容動作範囲の外側へ向かうロボットの移動を制限する装置は、ロボットの現在位置を取得する位置取得部と、位置取得部が取得した現在位置と、該現在位置に近接する許容動作範囲の境界とに基づいて、外側へ向かう第1の方向と、該第1の方向と直交する第2の方向とを定める方向設定部と、ロボットを移動させるために、方向設定部が定めた第1の方向へ該ロボットを移動させる第1の移動指令と、方向設定部が定めた第2の方向へ該ロボットを移動させる第2の移動指令とを生成す

る指令生成部と、第 1 の移動指令によるロボットの移動を制限する一方、第 2 の移動指令によるロボットの移動を許可する移動制限部とを備える。

[0006] 予め定めた許容動作範囲の外側へ向かうロボットの移動を制限する方法は、プロセッサが、ロボットの現在位置を取得し、取得した現在位置と、該現在位置に近接する許容動作範囲の境界とに基づいて、外側へ向かう第 1 の方向と、該第 1 の方向と直交する第 2 の方向とを定め、ロボットを移動させるために、定めた第 1 の方向へ該ロボットを移動させる第 1 の移動指令と、定めた第 2 の方向へ該ロボットを移動させる第 2 の移動指令とを生成し、第 1 の移動指令によるロボットの移動を制限する一方、第 2 の移動指令によるロボットの移動を許可する。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]一実施形態に係るロボットシステムの概略図である。

[図2]図 1 に示すロボットシステムのブロック図である。

[図3]許容動作範囲の一例を示す。

[図4]図 2 に示すロボットシステムの動作フローの一例を示すフローチャートである。

[図5]ロボットが近接領域内に配置されている状態を示す。

[図6]図 4 中のステップ S 5 のフローの一例を示すフローチャートである。

[図7]図 6 中のステップ S 1 1 で設定される参照点を示す。

[図8]図 6 中のステップ S 1 2 で設定される動作範囲座標系と、第 1 の方向及び第 2 の方向とを示す。

[図9]図 6 中のステップ S 1 3 で取得される目標位置を示す。

[図10]図 6 中のステップ S 1 4 で報知信号として生成される画像の一例を示す。

[図11]図 6 中のステップ S 1 6 で生成される第 1 の移動指令及び第 2 の移動指令を示す。

[図12]図 6 中のステップ S 1 8 及び S 1 9 で実行される移動制限処理での信号の伝送経路を模式的に示すブロック図である。

[図13]図1に示すロボットシステムの他の機能を示すブロック図である。

[図14]図13に示すロボットシステムが実行するステップS5の一例を示すフローチャートである。

[図15]図14中のステップS21で演算される第1の力成分及び第2の力成分を示す。

[図16]図14中のステップS22～S25で実行される移動制限処理での信号の伝送経路を模式的に示すブロック図である。

[図17]図1に示すロボットシステムのさらに他の機能を示すブロック図である。

[図18]制限移動中のロボットの位置及び移動経路を示す。

[図19]新たに設定された許容動作範囲を示す。

[図20]許容動作範囲の他の例を示す。

[図21]図20に示す許容動作範囲の境界に基づいて設定される第1の方向及び第2の方向を示す。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本開示の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に説明する種々の実施形態において、同様の要素には同じ符号を付し、重複する説明を省略する。まず、図1及び図2を参照して、一実施形態に係るロボットシステム10について説明する。ロボットシステム10は、ロボット12、制御装置14、及び教示装置16を備える。

[0009] 本実施形態においては、ロボット12は、垂直多関節ロボットであって、ロボットベース18、旋回胴20、下腕部22、上腕部24、手首部26、及びエンドエフェクタ28を有する。ロボットベース18は、作業セルの床、又は無人搬送車（AGV）の上に固定される。旋回胴20は、鉛直軸周りに旋回可能となるように、ロボットベース18に設けられている。下腕部22は、その基端部が水平軸周りに回動可能に旋回胴20に設けられている。

[0010] 上腕部24は、その基端部が下腕部22の先端部に回動可能に設けられている。手首部26は、互いに直交する2つの軸の周りに回動可能となるよう

に上腕部 24 の先端部に設けられた手首ベース 26 a と、該手首ベース 26 a に回転可能に設けられた手首フランジ 26 b とを有する。エンドエフェクタ 28 は、手首フランジ 26 b に着脱可能に取り付けられている。エンドエフェクタ 28 は、例えば、ロボットハンド、溶接トーチ、切削工具、又はレーザ加工ヘッドであって、ワーク（図示せず）に対して所定の作業（ワークハンドリング、溶接、切削加工、又はレーザ加工）を実行する。

[0011] ロボット 12 の各コンポーネント（ロボットベース 18、旋回胴 20、下腕部 22、上腕部 24、手首部 26）には、サーボモータ 30（図 2）が設けられている。これらサーボモータ 30 は、制御装置 14 からの指令に従って、ロボット 12 の駆動軸を回転駆動し、これにより、旋回胴 20、下腕部 22、上腕部 24、手首ベース 26 a、及び手首フランジ 26 b（つまり、エンドエフェクタ 28）といったロボット 12 の可動コンポーネントを、駆動軸周りにそれぞれ回転させる。これにより、ロボット 12 は、エンドエフェクタ 28 で把持したワーク W を任意の位置まで移動できる。

[0012] また、ロボット 12 には、該ロボット 12 に加えられた力 F を検出する力センサ 32（図 2）が設けられている。力センサ 32 は、例えば、ロボット 12 の任意のコンポーネント（例えば、ロボットベース 18 又は手首部 26）に設けられた 6 軸力覚センサ、又は、サーボモータ 30 が駆動するロボット 12 の駆動軸の各々に設けられたトルクセンサを有し、検出した力 F の検出データ D_f を制御装置 14 に供給する。

[0013] 図 1 に示すように、ロボット 12 には、ロボット座標系 C1、及びツール座標系 C2 が設定される。ロボット座標系 C1 は、ロボット 12 の各可動コンポーネントの動作を制御するための固定座標系である。本実施形態においては、ロボット座標系 C1 は、その原点がロボットベース 18 の中心に配置され、その z 軸が旋回胴 20 の旋回軸と平行となる（具体的には、一致する）ように、ロボットベース 18 に対して設定されている。

[0014] 一方、ツール座標系 C2 は、ロボット座標系 C1 におけるエンドエフェクタ 28 の位置を規定する移動座標系である。本実施形態においては、ツール

座標系C 2は、その原点（いわゆる、TCP）が、エンドエフェクタ28の作業位置（ワーク把持位置、溶接位置、切削位置、又はレーザ出射口）に配置されるように、エンドエフェクタ28に対して設定されている。なお、ツール座標系C 2は、如何なる位置に配置されてもよい。

[0015] ロボット座標系C 1においてエンドエフェクタ28を移動させるとき、制御装置14は、ロボット座標系C 1にツール座標系C 2を設定し、設定したツール座標系C 2によって表される位置にエンドエフェクタ28を配置するように、各サーボモータ30への指令を生成する。こうして、制御装置14は、各サーボモータ30を駆動することで、ロボット座標系C 1における任意の位置にエンドエフェクタ28を位置決めできる。なお、本稿において、「位置」とは、位置及び姿勢を表すことがある。

[0016] 制御装置14は、プロセッサ34、メモリ36、I/Oインターフェース38、表示装置40、及び入力装置42を有するコンピュータである。プロセッサ34は、CPU又はGPU等を有し、メモリ36、I/Oインターフェース38、表示装置40、及び入力装置42とバス43を介して通信可能に接続され、これらコンポーネントと通信しつつ、後述する各種機能を実現するための演算処理を行う。

[0017] メモリ36は、RAM又はROM等を有し、各種データを一時的又は恒久的に記憶する。メモリ36は、半導体メモリ、磁気記録媒体、又は光記録媒体等、コンピュータ読取可能な非一時的記録媒体であってもよい。I/Oインターフェース38は、例えば、イーサネット（登録商標）ポート、USBポート、光ファイバコネクタ、又はHDMI（登録商標）端子を有し、プロセッサ34からの指令の下、外部機器との間でデータを有線又は無線で通信する。

[0018] 表示装置40は、液晶ディスプレイ又は有機ELディスプレイ等を有し、プロセッサ34からの指令の下、各種データを視認可能に表示する。入力装置42は、押しボタン、スイッチ、キーボード、マウス、又はタッチパネル等を有し、オペレータからデータの入力を受け付ける。なお、表示装置40

及び入力装置 42 は、制御装置 14 の筐体に一体に組み込まれてもよいし、又は、制御装置 14 の筐体とは別体の 1 つのコンピュータ（PC 等）として、I/O インターフェース 38 に接続されてもよい。

[0019] 教示装置 16 は、ロボット 12 の動作を教示する。具体的には、教示装置 16 は、プロセッサ 44、メモリ 46、I/O インターフェース 48、表示装置 50、及び入力装置 52 を有するコンピュータである。なお、教示装置 16 は、教示ペンダント、又は、ノート型若しくはタブレット型の PC 等、如何なるタイプのコンピュータであってもよい。

[0020] プロセッサ 44 は、バス 53 を介して、メモリ 46、I/O インターフェース 48、表示装置 50、及び入力装置 52 に通信可能に接続されている。なお、プロセッサ 44、メモリ 46、及び I/O インターフェース 48、表示装置 50、及び入力装置 52 の構成は、上述のプロセッサ 34、メモリ 36、及び I/O インターフェース 38、表示装置 40、及び入力装置 42 と同様であるので、重複する説明を省略する。

[0021] 本実施形態においては、制御装置 14 のプロセッサ 34 は、ロボット 12 の運転モード MD として、ジョグモード MD1 とダイレクトティーチモード MD2 を実行可能に構成されている。ジョグモード MD1 においては、プロセッサ 34 は、オペレータが教示装置 16 の入力装置 52 を操作することで入力したジョグ指令 Cj に従って、ロボット 12 の可動コンポーネントを、オペレータが入力装置 52 に入力した方向へ移動させる。

[0022] 一方、ダイレクトティーチモード MD2 においては、プロセッサ 34 は、オペレータがロボット 12 の任意の可動コンポーネント（例えば、手首部 26 又はエンドエフェクタ 28）に加えた操作力 Fh に従って、該操作力 Fh が加えられた該可動コンポーネントを、該操作力 Fh の方向へ移動させる。オペレータは、教示装置 16 の入力装置 42 を操作して、運転モード MD として、ジョグモード MD1 又はダイレクトティーチモード MD2 を選択可能となっている。

[0023] ここで、ロボット 12 による作業又は該作業のための教示等を行っている

ときの該ロボット 12 の動作の安全性を確保するために、該ロボット 12 に対して許容動作範囲 100 が予め定められる。許容動作範囲 100 の一例を、図 3 に示す。図 3 に示す例では、許容動作範囲 100 は、ロボットベース 18（つまり、ロボット座標系 C1 の原点）から所定の距離以内の略円形状（例えば、円筒状）の範囲として、定められている。この許容動作範囲 100 の外縁は、円筒面状の境界 100a によって画定され、プロセッサ 34 は、許容動作範囲 100 の外側へ向かうロボット 12 の移動を制限する。

[0024] 以下、図 4 を参照して、ロボット 12 の移動を制限する方法について、説明する。プロセッサ 34 は、オペレータ、上位コントローラ、又はコンピュータプログラム PG から動作開始指令を受け付けたときに、図 4 のフローを開始する。図 4 のフローの開始時点では、ロボット 12（つまり、エンドエフェクタ 28）は、許容動作範囲 100 内に在る。

[0025] ステップ S1 において、プロセッサ 34 は、ロボット 12 を移動させる指令を受け付けたか否かを判定する。一例として、ジョグモード MD1 を実行している場合、プロセッサ 34 は、教示装置 16 から上述のジョグ指令 Cj を受け付けた場合に、YES と判定する。他の例として、ダイレクトティーチモード MD2 を実行している場合、プロセッサ 34 は、力センサ 32 の検出データ Df に基づいて、オペレータがロボット 12 を移動させるために該ロボット 12 の可動コンポーネントに加えた操作力 Fh の大きさ及び方向を、連続的（例えば、周期的）に演算する。

[0026] このように、プロセッサ 34 は、検出データ Df に基づいて操作力 Fh を取得する力取得部 62（図 2）として機能する。そして、プロセッサ 34 は、取得した操作力 Fh が所定の閾値 Fth を超えた（ $Fh \geq Fth$ ）ときに、YES と判定する。プロセッサ 34 は、YES と判定した場合はステップ S2 へ進む一方、NO と判定した場合はステップ S6 へ進む。以下、オペレータが、ロボット 12 のエンドエフェクタ 28 を、許容動作範囲 100 の外側へ移動させる指令（ジョグ指令 Cj 又は操作力 Fh）をプロセッサ 34 に与えた場合について説明する。

- [0027] ステップS 2において、プロセッサ3 4は、ロボット1 2の現在位置P cを取得する。具体的には、プロセッサ3 4は、この時点での各サーボモータ3 0の回転位置（又は回転角度）を検出する回転検出センサ（エンコーダ、又はホール素子等）の検出データD rに基づいて、この時点でのツール座標系C 2の原点の、ロボット座標系C 1における座標Q c（ x_c , y_c , z_c ）を、現在位置P cの位置データとして取得する。このように、プロセッサ3 4は、ロボット1 2の現在位置P cを取得する位置取得部6 4（図2）として機能する。
- [0028] ステップS 3において、プロセッサ3 4は、ロボット1 2が許容動作範囲1 0 0の境界1 0 0 aに近接する近接領域1 0 0 b内に在るか否かを判定する。この近接領域1 0 0 bは、許容動作範囲1 0 0の境界1 0 0 aを基準として、オペレータによって予め定められる。近接領域1 0 0 bの一例を、図5に示す。図5に示す例においては、近接領域1 0 0 bは、境界1 0 0 aから、許容動作範囲1 0 0の内方（例えば、ロボット座標系C 1の原点）への距離dが、 $0 \leq d \leq d_1$ の範囲として、定められている。
- [0029] プロセッサ3 4は、直近のステップS 2で取得した現在位置P cが近接領域1 0 0 b外（つまり、近接領域1 0 0 bよりも、さらに許容動作範囲1 0 0の内側）に在る場合はN Oと判定し、ステップS 4へ進む一方、現在位置P cが近接領域1 0 0 b内に在る場合はY E Sと判定し、ステップS 5へ進む。図5は、このステップS 3でY E Sと判定したときのロボット1 2（エンドエフェクタ2 8）の位置の一例を示している。
- [0030] ステップS 4において、プロセッサ3 4は、ロボット1 2に通常動作を実行させる。例えば、ジョグモードMD 1を実行している場合、プロセッサ3 4は、直近のステップS 1で受け付けたジョグ指令C jに従って、ロボット1 2のエンドエフェクタ2 8を移動させる。代替的には、ダイレクトティーチモードMD 2を実行している場合、プロセッサ3 4は、直近のステップS 1で取得した操作力F hに従って、該操作力F hが加えられたエンドエフェクタ2 8を、該操作力F hの方向へ移動させる。

[0031] 一方、ステップS 3でYESと判定した場合、ステップS 5において、プロセッサ3 4は、移動制限プロセスを実行する。このステップS 5について、図6を参照して説明する。ステップS 1 1において、プロセッサ3 4は、直近のステップS 2で取得した現在位置P cに近接する境界1 0 0 a上の点を、参照点P rとして定める。

[0032] 具体的には、プロセッサ3 4は、直近に取得した現在位置P cからの距離 δ が最小となる境界1 0 0 a上の点P rを特定する。図7に、距離 δ が最小値 $\delta 0$ となる点P rを示す。プロセッサ3 4は、この点P rを参照点P rとして定め、該参照点P rのロボット座標系C 1における座標Q r (x_r , y_r , z_r)を取得する。このように、プロセッサ3 4は、参照点P rを定める参照点設定部6 6 (図2)として機能する。

[0033] ステップS 1 2において、プロセッサ3 4は、直近のステップS 2で取得した現在位置P cと、該現在位置P cに近接する許容動作範囲1 0 0の境界1 0 0 aとに基づいて、許容動作範囲1 0 0の外側へ向かう第1の方向D R 1と、該第1の方向D R 1と直交する第2の方向D R 2とを定める。本実施形態においては、プロセッサ3 4は、直前のステップS 1 1において現在位置P cに近接する境界1 0 0 a上に定めた参照点P rを基準として、第1の方向D R 1及び第2の方向D R 2を定める。

[0034] より具体的には、プロセッサ3 4は、図8に示すように、第1の方向D R 1及び第2の方向D R 2を規定する動作範囲座標系C 3を、ロボット座標系C 1に設定する。動作範囲座標系C 3の原点は、直前のステップS 1 1で定めた参照点P rに配置される。また、動作範囲座標系C 3のy軸は、参照点P rでの境界1 0 0 aの法線方向と平行であり、且つ、y軸プラス方向は、許容動作範囲1 0 0の外方（つまり、ロボット座標系C 1の原点から離れる方向）へ方向付けられている。なお、動作範囲座標系C 3のz軸は、ロボット座標系C 1のz軸と平行であってもよい。

[0035] こうして、プロセッサ3 4は、参照点P rを原点とする動作範囲座標系C 3を設定する。この動作範囲座標系C 3のy軸方向は、第1の方向D R 1を

規定し、動作範囲座標系C3のx軸方向及びz軸方向（換言すれば、x-z平面）は、第2の方向DR2を規定する。すなわち、本実施形態においては、第1の方向DR1は、参照点Prでの境界100aの法線方向と平行である。プロセッサ34は、設定した動作範囲座標系C3のロボット座標系C1における座標Qo ($x_r, y_r, z_r, w_o, p_o, r_o$) を取得する。

[0036] 座標Qoのうち、(x_r, y_r, z_r) は、ロボット座標系C1における動作範囲座標系C3の原点（つまり、参照点Pr）の座標を示し、(w_o, p_o, r_o) は、ロボット座標系C1に対する動作範囲座標系C3の姿勢（つまり、各軸の方向）を示す。このように、プロセッサ34は、現在位置Pc及び境界100aに基づいて定めた参照点Prを基準として動作範囲座標系C3を設定することで、第1の方向DR1及び第2の方向DR2を定めている。したがって、プロセッサ34は、現在位置Pc及び境界100aに基づいて第1の方向DR1及び第2の方向DR2を定める方向設定部68（図2）として機能する。

[0037] ステップS13において、プロセッサ34は、ロボット12を、直近のステップS2で取得した現在位置Pcから移動させる目標位置Ptを取得する。一例として、ジョグモードMD1を実行している場合、プロセッサ34は、直近のステップS1で受け付けたジョグ指令Cjと、直近のステップS2で取得した現在位置Pcとに基づいて、目標位置Ptを演算する。ジョグ指令Cjには、エンドエフェクタ28を移動させる移動方向DRmと移動量 Δ を規定する情報が含まれている。

[0038] 他の例として、ダイレクトティーチモードMD2を実行している場合、プロセッサ34は、直近のステップS1で取得した操作力Fhと、直近のステップS2で取得した現在位置Pcとに基づいて、目標位置Ptを演算する。例えば、操作力Fhの大きさと、該操作力Fhに従ってロボット12（例えば、エンドエフェクタ28）を移動させる移動量 Δ との関係 R_{Fh_Delta} が予め定められ、予めメモリ36（又は46）に記憶されてもよい。例えば、この関係 R_{Fh_Delta} は、 $\Delta = f(Fh) = \alpha \times Fh$ （ α は、所定の係数）なる数式とし

て定められてもよい。なお、操作力 F_h の関数 $f(F_h)$ の各項は、オペレータによって任意に定められ得る。

[0039] プロセッサ34は、直近のステップS1で取得した操作力 F_h を関係 R_{F_h} _{Δ} （つまり、数式）に適用し、対応する移動量 Δ を求める。そして、プロセッサ34は、求めた移動量 Δ と、直近のステップS1で取得した操作力 F_h の方向と、現在位置 P_c とに基づいて、目標位置 P_t を演算する。このようにして求められた目標位置 P_t の一例を、図9に示す。

[0040] 本実施形態においては、オペレータがロボット12（エンドエフェクタ28）を許容動作範囲100の外側へ移動させているので、演算される目標位置 P_t は、現在位置 P_c よりも、許容動作範囲100の外側（換言すれば、境界Bの近く）に位置している。このように、プロセッサ34は、目標位置 P_t を求める位置演算部70（図2）として機能する。

[0041] ステップS14において、プロセッサ34は、報知信号 S_n を生成する。この報知信号 S_n は、現在位置 P_c から目標位置 P_t への移動方向 DR_m （図9）と、目標位置 P_t と境界100aとの距離 δ とをオペレータに報知する。例えば、プロセッサ34は、報知信号 S_n として、図10に示す画像110を生成する。この画像110は、移動方向 DR_m 及び距離 δ をオペレータに視覚的に報知するためのグラフィカルユーザインタフェース（GUI）である。

[0042] 具体的には、画像110は、ロボット12をモデル化したロボットモデル12M（例えば、3DCADモデル）と、許容動作範囲100（境界100a）とを3次元表示している。また、画像110は、直近のステップS12で設定した動作範囲座標系C3（つまり、第1の方向 DR_1 及び第2の方向 DR_2 ）を、参照点 P_r とともに、現在位置 P_c に配置したロボットモデル12Mに重畳表示している。

[0043] そして、画像110は、直前のステップS13で取得した目標位置 P_t 及び移動方向 DR_m を、ロボットモデル12Mに重畳表示するとともに、目標位置 P_t と境界100aとの距離 δ を距離表示欄112に表示している。プ

ロセッサ34は、生成した画像110を、表示装置40（又は50）に表示する。このように、プロセッサ34は、報知信号 S_n （画像110）を生成する報知信号生成部72（図2）として機能する。

[0044] なお、プロセッサ34は、距離表示欄112に、現在位置 P_c と境界100aとの距離 δ をさらに表示してもよい。また、プロセッサ34は、画像110に、ロボット座標系 C_1 及びツール座標系 C_2 、現在位置 P_c の座標 Q_c 、参照点 P_r の座標 Q_r 、及び、動作範囲座標系 C_3 の座標 Q_o の少なくとも1つをさらに表示してもよい。なお、プロセッサ34は、移動方向 DR_m 及び距離 δ のいずれか一方のみを画像110に表示してもよい。また、プロセッサ34は、報知信号 S_n として、画像110の代わりに、移動方向 DR_m 又は距離 δ を音声で説明する音声信号を生成してもよい。

[0045] ステップS15において、プロセッサ34は、ロボット12（エンドエフェクタ28）を現在位置 P_c から目標位置 P_t まで、許容動作範囲100の外側へ移動させる移動指令 C_m を生成する。移動指令 C_m は、例えば、位置指令 C_{m_p} 、速度指令 C_{m_v} 、トルク指令 C_{m_q} 、又は加速度指令 C_{m_a} を含み、ロボット12の各サーボモータ30を駆動して、エンドエフェクタ28を目標位置 P_t へ移動させる。このように、プロセッサ34は、移動指令 C_m を生成する指令生成部74（図2）として機能する。

[0046] ステップS16において、プロセッサ34は、指令生成部74として機能して、直近のステップS12で設定した動作範囲座標系 C_3 を基準として、第1の移動指令 C_{m_1} 及び第2の移動指令 C_{m_2} を生成する。第1の移動指令 C_{m_1} は、ロボット12（具体的には、エンドエフェクタ28）を、直近のステップS12で定めた第1の方向 DR_1 （すなわち、動作範囲座標系 C_3 の y 軸プラス方向）へ移動させるための指令である。一方、第2の移動指令 C_{m_2} は、エンドエフェクタ28を、直近のステップS12で定めた第2の方向 DR_2 （すなわち、動作範囲座標系 C_3 の $x-z$ 平面に沿う方向）へ移動させるための指令である。

[0047] 本実施形態においては、プロセッサ34は、ロボット座標系 C_1 における

動作範囲座標系C3の座標Qoと、直近のステップS15で生成した移動指令Cmとに基づいて、該移動指令Cmの、動作範囲座標系C3のy軸プラス方向（つまり、第1の方向DR1）の成分Cm₁を演算する。この演算について、図11を参照して説明する。図11において、ベクトルCmは、ステップS15で生成した移動指令Cmによるエンドエフェクタ28の移動ベクトルを表す。

[0048] 図15においては、移動指令Cmによる移動ベクトルを、直近のステップS12で設定した動作範囲座標系C3に表している。移動指令Cmの成分Cm₁は、 $Cm_1 = Cm \cdot \sin \theta$ なる式から演算される。ここで、 θ は、移動指令Cm（移動ベクトル）と、動作範囲座標系C3のx-z平面（つまり、第2の方向DR2）との間の角度である。プロセッサ34は、動作範囲座標系C3に表される成分Cm₁をロボット座標系C1に変換し、第1の移動指令Cm₁として生成する。

[0049] 第1の移動指令Cm₁は、例えば、第1の位置指令Cm_{p1}、第1の速度指令Cm_{v1}、第1のトルク指令Cm_{q1}、又は第1の加速度指令Cm_{a1}を含む。第1の位置指令Cm_{p1}は、エンドエフェクタ28を、動作範囲座標系C3のy軸プラス方向（第1の方向DR1）へ、目標位置Ptの、動作範囲座標系C3のy座標の位置Pt_y（図11）まで移動させるための指令である。

[0050] 第1の速度指令Cm_{v1}は、エンドエフェクタ28を、動作範囲座標系C3のy軸プラス方向へ位置Pt_yまで移動させる速度V1を規定する速度指令値V1を含む。第1のトルク指令Cm_{q1}は、エンドエフェクタ28を位置Pt_yへ移動させるときに各サーボモータ30を駆動するトルクq1を規定するトルク指令値q1を含む。第1の加速度指令Cm_{a1}は、エンドエフェクタ28を位置Pt_yへ移動させるときの加速度a1を規定する加速度指令値a1を含む。

[0051] また、プロセッサ34は、座標Qo及び移動指令Cmに基づいて、該移動指令Cmの、動作範囲座標系C3のx-z平面（つまり、第2の方向DR2）の成分Cm₂を演算する。図11に示す例では、成分Cm₂は、 $Cm_2 = Cm$

・ $\cos \theta$ として表される。プロセッサ 34 は、動作範囲座標系 C3 に表される成分 Cm_2 をロボット座標系 C1 に変換し、第 2 の移動指令 Cm_2 として生成する。第 2 の移動指令 Cm_2 は、第 2 の位置指令 Cm_{p2} 、第 2 の速度指令 Cm_{v2} 、第 2 のトルク指令 Cm_{q2} 、又は第 2 の加速度指令 Cm_{a2} 等を含む。

[0052] 図 11 に示す例では、第 2 の位置指令 Cm_{p2} は、エンドエフェクタ 28 を、動作範囲座標系 C3 の x 軸プラス方向（第 2 の方向 DR2）へ、目標位置 P_t の、動作範囲座標系 C3 の x 座標の位置 P_{tx} まで移動させるための指令である。第 2 の速度指令 Cm_{v2} は、エンドエフェクタ 28 を、動作範囲座標系 C3 の x 軸プラス方向へ位置 P_{tx} まで移動させる速度 V2 を規定する速度指令値 V2 を含む。

[0053] 第 2 のトルク指令 Cm_{q2} は、エンドエフェクタ 28 を位置 P_{tx} へ移動させるときに各サーボモータ 30 を駆動するトルク q2 を規定するトルク指令値 q2 を含む。第 2 の加速度指令 Cm_{a2} は、エンドエフェクタ 28 を位置 P_{tx} へ移動させるときの加速度 a2 を規定する加速度指令値 a2 を含む。こうして、プロセッサ 34 は、指令生成部 74 として機能して、動作範囲座標系 C3 を基準として、第 1 の移動指令 Cm_1 及び第 2 の移動指令 Cm_2 を生成する。

[0054] ステップ S17 において、プロセッサ 34 は、直近のステップ S13 で取得した目標位置 P_t が、許容動作範囲 100 の外側に在るか否かを判定する。プロセッサ 34 は、目標位置 P_t が許容動作範囲 100 外に在る場合は YES と判定し、ステップ S19 へ進む一方、NO と判定した場合はステップ S18 へ進む。

[0055] ステップ S18 において、プロセッサ 34 は、ロボット 12 の移動を制限する。具体的には、プロセッサ 34 は、直近のステップ S16 で生成した第 1 の移動指令 Cm_1 の指令値（例えば、速度指令値 V1、トルク指令値 q1、加速度指令値 a1）を減少させることで、該第 1 の移動指令 Cm_1 によるロボット 12（具体的には、エンドエフェクタ 28）の移動を制限する。

[0056] 一例として、プロセッサ 34 は、第 1 の移動指令 Cm_1 に含まれる速度指令

値 V_1 、トルク指令値 q_1 、又は加速度指令値 a_1 に、予め定めた係数 β （例えば、 $\beta < 1$ ）を乗算する（すなわち、 $\beta \cdot V_1$ 、 $\beta \cdot q_1$ 、又は、 $\beta \cdot a_1$ とする）ことで、該指令値 V_1 、 q_1 又は a_1 を減少させてもよい。なお、係数 β は、境界 $100a$ から現在位置 P_c までの距離 δ の関数： $\beta = f(\delta)$ として定められてもよい。

[0057] この関数： $\beta = f(\delta)$ は、距離 δ が小さくなるにつれて（換言すれば、現在位置 P_c が境界 $100a$ に近づくにつれて）係数 β が小さくなり、 $\delta = 0$ となったとき（現在位置 P_c が境界 $100a$ 上となったとき）に $\beta = 0$ となるように、定められてもよい。すなわち、この場合、エンドエフェクタ 28 が境界 $100a$ 上に達したとき、エンドエフェクタ 28 を第 1 の方向 DR_1 へ移動させる第 1 の移動指令 C_{m_1} の指令値 V_1 、 q_1 又は a_1 がゼロとなり、その結果、エンドエフェクタ 28 の第 1 の方向 DR_1 への移動が禁止されることになる。

[0058] 他の例として、プロセッサ 34 は、第 1 の移動指令 C_{m_1} に含まれる第 1 の位置指令 $C_{m_{p_1}}$ を補正することによって、エンドエフェクタ 28 の第 1 の方向 DR_1 への移動を制限してもよい。例えば、プロセッサ 34 は、第 1 の位置指令 $C_{m_{p_1}}$ によるエンドエフェクタ 28 の、第 1 の方向 DR_1 の目標位置 P_{t_y} が境界 $100a$ の内側となるように、該第 1 の位置指令 $C_{m_{p_1}}$ を補正してもよい。

[0059] こうして、プロセッサ 34 は、上述のステップ S15 で生成した第 1 の移動指令 C_{m_1} に、係数 β の乗算又は位置指令 $C_{m_{p_1}}$ の補正等の演算処理を加えることによって、第 1 の移動指令 C_{m_1}' に変更し、各サーボモータ 30 に供給する。これにより、第 1 の移動指令 C_{m_1} によるロボット 12 の移動を制限することができる。

[0060] 一方、プロセッサ 34 は、第 2 の移動指令 C_{m_2} によるロボット 12 の移動を許可する。一例として、プロセッサ 34 は、上述のステップ S15 で生成した第 2 の移動指令 C_{m_2} を、変更を加えずに、各サーボモータ 30 に供給する。すなわち、この場合、プロセッサ 34 は、第 2 の移動指令 C_{m_2} に含まれ

る第2の位置指令 $C_{m_{p2}}$ 、第2の速度指令 $C_{m_{v2}}$ （速度指令値 $V2$ ）、第2のトルク指令 $C_{m_{q2}}$ （トルク指令値 $q2$ ）、又は第2の加速度指令 $C_{m_{a2}}$ （加速度指令値 $a2$ ）を変更せずに、各サーボモータ30に供給する。

[0061] したがって、この場合、第2の移動指令 C_{m2} の指令値 $V2$ 、 $q2$ 又は $a2$ は、減少することがなく、プロセッサ34は、第2の移動指令 C_{m2} （指令値 $V2$ 、 $q2$ 又は $a2$ ）に応じて、エンドエフェクタ28を第2の方向 $DR2$ （図11の例では、動作範囲座標系 $C3$ の x 軸プラス方向）へ移動させることになる。

[0062] 他の例として、プロセッサ34は、第2の移動指令 C_{m2} に含まれる速度指令値 $V2$ 、トルク指令値 $q2$ 、又は加速度指令値 $a2$ を、ステップ $S16$ で取得した値以上の定数 Vc （ $\geq V2$ ）、 qc （ $\geq q2$ ）、又は ac （ $\geq a2$ ）に設定して第2の移動指令 C_{m2}' とし、各サーボモータ30に供給してもよい。すなわち、この場合、プロセッサ34は、エンドエフェクタ28を、一定の速度 Vc 、トルク qc 又は加速度 ac で、第2の方向 $DR2$ へ移動させることになる。

[0063] さらに他の例として、プロセッサ34は、第2の移動指令 C_{m2} に含まれる速度指令値 $V2$ 、トルク指令値 $q2$ 、又は加速度指令値 $a2$ に、予め定めた係数 γ を乗算して（すなわち、 $\gamma \cdot V2$ 、 $\gamma \cdot q2$ 、又は、 $\gamma \cdot a2$ として）、第2の移動指令 C_{m2}' とし、各サーボモータ30に供給してもよい。ここで、係数 γ は、距離 δ の関数： $\gamma = f(\delta)$ として定められてもよい。

[0064] この関数： $\gamma = f(\delta)$ は、距離 δ が小さくなるにつれて係数 γ が大きくなるように、定められてもよい。すなわち、この場合、第2の移動指令 C_{m2} の指令値 $\gamma \cdot V2$ 、 $\gamma \cdot q2$ 、又は $\gamma \cdot a2$ は、距離 δ に応じて減少することがなく、むしろ、エンドエフェクタ28が境界 $100a$ に近づくにつれて、該エンドエフェクタ28の第2の方向 $DR2$ への移動が促進（加速）されることになる。

[0065] こうして、プロセッサ34は、第2の移動指令 C_{m2} によるロボット12の移動を許可する（又は、制限しない）。このように、プロセッサ34は、第

1の移動指令 C_{m1} によるロボット12の移動を制限する一方、第2の移動指令 C_{m2} によるロボット12の移動を許可する移動制限部76（図2）として機能する。ステップS18の後、プロセッサ34は、図4中のステップS6へ進む。

[0066] 一方、ステップS17でYESと判定した場合、ステップS19において、プロセッサ34は、移動制限部76として機能して、ロボット12の移動を制限する。具体的には、プロセッサ34は、第1の方向DR1へのロボット12の移動を禁止する。例えば、プロセッサ34は、第1の移動指令 C_{m1} に含まれる速度指令値V1、トルク指令値 $q1$ 、又は加速度指令値 $a1$ をゼロに設定することによって、第1の方向DR1へのロボット12の移動を禁止する。代替的には、プロセッサ34は、第1の移動指令 C_{m1} に含まれる第1の位置指令 C_{mp1} による第1の方向DR1の目標位置 Pty が境界100a上（又は、その内側）となるように、該第1の位置指令 C_{mp1} を補正してもよい。

[0067] こうして、プロセッサ34は、上述のステップS15で生成した第1の移動指令 C_{m1} に対し、その指令値V1、 $q1$ 又は $a1$ をゼロに変更するか、又は位置指令 C_{mp1} を補正する等の演算処理を実行することで、第1の移動指令 C_{m1}' に変更し、各サーボモータ30に供給する。これにより、エンドエフェクタ28の第1の方向DR1への移動を禁止することができる。その一方で、プロセッサ34は、上述のステップS18と同様に、第2の移動指令 C_{m2} によるロボット12の移動を許可する（又は、制限しない）。

[0068] ステップS18及びS19での移動制限処理を、図12に模式的に示す。図12に示すように、ステップS15で指令生成部74が生成した第1の移動指令 C_{m1} は、第1の信号処理ラインPL1に送られ、移動制限部76による演算器80に入力される。そして、ステップS18又はS19において、移動制限部76は、第1の移動指令 C_{m1} に対し、係数 β の乗算等の移動制限のための演算処理を行い、第1の移動指令 C_{m1}' に変更する。そして、第1の移動指令 C_{m1}' は、サーボモータ30に出力され、該サーボモータ30は

、第1の移動指令 Cm_1' に従って、ロボット12を制限移動させる。これにより、第1の移動指令 Cm_1 によるロボット12の移動に対して上述したような制限が加えられる。

[0069] 一方、ステップS15で指令生成部74が生成した第2の移動指令 Cm_2 は、第1の信号処理ラインPL1とは別の第2の信号処理ラインPL2に送られ、移動制限部76による演算器82に入力される。そして、ステップS18又はS19において、移動制限部76は、第2の移動指令 Cm_2 に対して変更を加えずに各サーボモータ30へ供給するか、又は、係数 γ の乗算等の演算処理を行って第2の移動指令 Cm_2' とし、各サーボモータ30へ供給する。

[0070] これにより、第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動が許可される。このように、本実施形態においては、指令生成部74によって生成された第1の移動指令 Cm_1 と第2の移動指令 Cm_2 とは、それぞれ別々の信号処理ラインPL1及びPL2に送られ、移動制限部76によって、それぞれに対して異なる信号処理が行われる。

[0071] ステップS20において、プロセッサ34は、アラームALを生成する。例えば、プロセッサ34は、「ロボットの許容動作範囲外への移動は禁止されています。」という画像又は音声のアラームALを生成する。そして、プロセッサ34は、生成したアラームALを、表示装置40（又は50）に表示するか、又はスピーカ（図示せず）を通して出力する。

[0072] 代替的には、制御装置14、教示装置16、又はロボット12に、発光装置（回転灯、LEDランプ等）を設け、プロセッサ34は、該発光装置を発光させるアラームALを生成してもよい。又は、教示装置16又はロボット12に、バイブレータ（又は、触覚発生装置）を設け、プロセッサ34は、該バイブレータを振動させるアラームALを生成してもよい。ステップS20の後、プロセッサ34は、図4中のステップS6へ進む。

[0073] 再度、図4を参照して、ステップS6において、プロセッサ34は、オペレータ、上位コントローラ、又はコンピュータプログラムPGから動作終了

始指令を受け付けたか否かを判定する。プロセッサ 34 は、YES と判定した場合は、図 4 のフローを終了する一方、NO と判定した場合はステップ S1 へ戻る。

[0074] 以上のように、本実施形態においては、プロセッサ 34 は、力取得部 62、位置取得部 64、参照点設定部 66、方向設定部 68、位置演算部 70、報知信号生成部 72、指令生成部 74、及び移動制限部 76 として機能して、許容動作範囲 100 の外側へ向かうロボット 12 の移動を制限している。したがって、力取得部 62、位置取得部 64、参照点設定部 66、方向設定部 68、位置演算部 70、報知信号生成部 72、指令生成部 74、及び移動制限部 76 は、許容動作範囲 100 の外側へ向かうロボット 12 の移動を制限する装置 60（図 2）を構成する。

[0075] この装置 60 においては、位置取得部 64 は、ロボット 12 の現在位置 P_c を取得し（ステップ S2）、方向設定部 68 は、位置取得部 64 が取得した現在位置 P_c と、該現在位置 P_c に近接する許容動作範囲 100 の境界 100a とに基づいて、許容動作範囲 100 の外側へ向かう第 1 の方向 DR と、該第 1 の方向 DR_1 と直交する第 2 の方向 DR_2 とを定める（ステップ S12）。

[0076] また、指令生成部 74 は、ロボット 12 を移動させるために、方向設定部 68 が定めた第 1 の方向 DR_1 へ該ロボット 12 を移動させる第 1 の移動指令 C_{m1} と、方向設定部 68 が定めた第 2 の方向 DR_2 へ該ロボット 12 を移動させる第 2 の移動指令 C_{m2} とを生成する。そして、移動制限部 76 は、第 1 の移動指令 C_{m1} によるロボット 12 の移動を制限する一方、第 2 の移動指令 C_{m2} によるロボット 12 の移動を許可する（ステップ S18、S19）。

[0077] この構成によれば、ロボット 12 が許容動作範囲 100 の外側へ移動するのを確実に避けることができるので、ロボット 12 の動作の安全性を確保できる。その一方で、例えば、上述の教示を行っているときに、オペレータが、ロボット 12（エンドエフェクタ 28）を、許容動作範囲 100 の境界 100a に沿って（つまり、第 2 の方向 DR_2 ）へ移動させたい場合がある。

このような場合において、オペレータは、ロボット 12 を効果的に移動させることができる。

[0078] また、装置 60 においては、参照点設定部 66 は、位置取得部 64 が取得した現在位置 P_c に近接する境界 100a 上の点 P_r を参照点 P_r として定める（ステップ S11）。そして、方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が設定した参照点 P_r を基準として、第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 を定める（ステップ S12）。この構成によれば、第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 を、ロボット 12 の現在位置 P_c に応じて、境界 100a 上に適切に定めることができる。その結果、第 1 の移動指令 C_{m1} によるロボット 12 の第 1 の方向 DR_1 への移動を適切に制限できる。

[0079] また、装置 60 においては、参照点設定部 66 は、現在位置 P_c からの距離 δ が最小となる境界 100a 上の点 P_r を参照点 P_r として定めている。この構成によれば、第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 の基準とする参照点 P_r を、現在位置 P_c に対応して適切に定めることができる。また、装置 60 においては、方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が定めた参照点 P_r での境界 100a の法線方向を、第 1 の方向 DR_1 として定めている。この構成によれば、例えば境界 100a が湾曲状（例えば、円形状）である場合でも、第 1 の方向 DR_1 を、ロボット 12 の現在位置 P_c に対応して適切に定めることができる。

[0080] また、装置 60 においては、方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が設定した参照点 P_r を原点とし、第 1 の方向 DR_1 を規定する第 1 の軸（ y 軸）と、第 2 の方向 DR_1 を規定する第 2 の軸（ x 軸、 z 軸）とを有する動作範囲座標系 C_3 を設定する。そして、指令生成部 74 は、動作範囲座標系 C_3 を基準として、第 1 の軸の方向（ y 軸方向）の第 1 の移動指令 C_{m1} と、第 2 の軸の方向（ $x-z$ 平面の方向）の第 2 の移動指令 C_{m2} とを生成する。この構成によれば、動作範囲座標系 C_3 を基準として第 1 の移動指令 C_{m1} 及び第 2 の移動指令 C_{m2} の演算処理を互いに独立して並列に実行できるので、該演算処理の効率を高めることができる。

- [0081] また、装置60においては、指令生成部74は、ロボット12を許容動作範囲100の外側へ移動させる移動指令 C_m を生成し（ステップS15）、該移動指令 C_m の第1の方向 DR_1 の成分 C_{m_1} を第1の移動指令 C_{m_1} として生成し、該移動指令 C_m の第2の方向 DR_1 の成分 C_{m_2} を第2の移動指令 C_{m_2} として生成する。この構成によれば、第1の移動指令 C_{m_1} 及び第2の移動指令 C_{m_2} を、移動指令 C_m から、比較的簡単なアルゴリズムで生成できる。これにより、第1の移動指令 C_{m_1} 及び第2の移動指令 C_{m_2} を生成する演算処理を高速化できる。
- [0082] また、装置60においては、第1の移動指令 C_{m_1} 及び第2の移動指令 C_{m_2} は、ロボット12の速度 V_1 及び V_2 、該ロボットの加速度 a_1 及び a_2 、又は、該ロボット12を駆動するトルク q_1 及び q_2 を規定する指令値 V_1 及び V_2 、 a_1 及び a_2 、又は、 q_1 及び q_2 を含む。そして、移動制限部76は、第1の移動指令 C_{m_1} の指令値 V_1 、 a_1 又は q_1 を減少させることで、該第1の移動指令 C_{m_1} によるロボット12の移動を制限する。
- [0083] 一方、移動制限部76は、第2の移動指令 C_{m_2} の指令値 V_2 、 a_2 又は q_2 を減少させずに該第2の移動指令 C_{m_2} によるロボット12の移動を許可する。この構成によれば、第1の移動指令 C_{m_1} によるロボット12の移動制限を、簡単なアルゴリズムで実現できるとともに、例えば上述の係数 β を適宜設定することによって、より多様な移動制限を設計できる。なお、移動制限部76は、第2の移動指令 C_{m_2} によるロボット12の移動を許可する程度に、該第2の移動指令 C_{m_2} の指令値 V_2 、 a_2 又は q_2 を僅かに減少させてもよい。
- [0084] また、装置60においては、位置演算部70は、ロボット12を現在位置 P_c から移動させる目標位置 P_t を求め、報知信号生成部72は、現在位置 P_c から目標位置 P_t への移動方向 DR_m 、又は、該目標位置 P_t と境界100aとの距離 δ を報知する報知信号 S_n を生成する（ステップS14）。この構成によれば、オペレータは、移動方向 DR_m 又は距離 δ を、直感的に認識できる。

[0085] また、装置60においては、位置演算部70が求めた目標位置 P_t が許容動作範囲100の外側に在る場合（ステップS17でYESと判定）、移動制限部76は、第1の方向DR1へのロボット12の移動を禁止する（ステップS19）。この構成によれば、ロボット12が許容動作範囲100外へ移動してしまうのを、確実に回避できる。

[0086] なお、図4及び図6のフローは、一例であって、これらフローには種々の変更を加えることができる。例えば、図6に示すフローを開始した後、プロセッサ34は、先にステップS13及びS15を実行し、次いで、ステップS11、S12及びS14を実行し、その後に、ステップS16～S20を順次実行してもよい。

[0087] なお、本実施形態においては、プロセッサ34は、上述のステップS11において、現在位置 P_c に近接する境界100a上の点Pとして、該現在位置 P_c からの距離 δ が最小（ $\delta = \delta_0$ ）となる境界100a上の点 P_r を、参照点 P_r として定める場合について述べた。しかしながら、これに限らず、現在位置 P_c に近接する境界100a上の点Pを、他の如何なるアルゴリズムによって定めてもよい。

[0088] 例えば、プロセッサ34は、ステップS11において、この時点でのツール座標系C2の1つの軸（例えば、図9のツール座標系C2のz軸）の方向と境界100aとの交点Pを、参照点 P_r として定めてもよい。代替的には、図6のフローで、先にステップS13及びS15を実行し、その次にステップS11を実行する場合において、プロセッサ34は、ステップS13又はS15にて移動方向 D_m （図9）を求め、その後のステップS11において、求めた移動方向 D_m と境界100aとの交点Pを、参照点 P_r として定めてもよい。

[0089] また、本実施形態においては、プロセッサ34は、上述のステップS12において、参照点 P_r での境界100aの法線方向を、第1の方向DR1（動作範囲座標系C3のy軸方向）として定める場合について述べた。しかしながら、これに限らず、プロセッサ34は、第1の方向DR1（動作範囲座

標系C 3のy軸方向)を、他の如何なるアルゴリズムによって定めてもよい。例えば、プロセッサ34は、ステップS 12において、この時点でのツール座標系C 2の原点(図8)から、該原点からの距離 δ が最小となる境界100a上の点P_rへの方角を、第1の方角D R 1(動作範囲座標系C 3のy軸プラス方向)として定めてもよい。

[0090] なお、本実施形態においては、プロセッサ34は、上述のステップS 12において、動作範囲座標系C 3を設定する場合について述べた。しかしながら、これに限らず、プロセッサ34は、ステップS 12において、動作範囲座標系C 3を設定することなく、参照点P_rを基準として第1の方角D R 1及び第2の方角D R 2を設定してもよい。

[0091] なお、図6のフローから、ステップS 14を省略してもよい。すなわち、この場合、装置60から報知信号生成部72を省略できる。また、図6のフローから、ステップS 20を省略してもよい。なお、上述の実施形態においては、プロセッサ34は、ジョグモードMD 1及びダイレクトティーチモードMD 2を実行可能な場合について述べた。しかしながら、これに限らず、プロセッサ34は、ダイレクトティーチモードMD 2を実行せずに、ジョグモードMD 1のみを実行可能であってもよい。すなわち、この場合、ロボット12から力センサ32を省略し、装置60から力取得部62を省略できる。

[0092] 次に、図13を参照して、ロボットシステム10の他の機能について説明する。本実施形態においては、プロセッサ34は、装置60として機能するが、該装置60は、力成分演算部78の機能をさらに備える。以下、図4及び図14を参照して、図13に示すロボットシステム10の機能について説明する。本実施形態においては、プロセッサ34は、上述のダイレクトティーチモードMD 2の下、図4のフローを実行する。

[0093] したがって、ステップS 1において、プロセッサ34は、力取得部62として機能して取得した操作力F_hに基づいて、ロボット12を移動させる指令(操作力F_h)を受け付けたか否かを判定する。ここで、本実施形態にお

いては、プロセッサ34は、ステップS5（移動制限プロセス）として、図14のフローを実行する。なお、図14に示すフローにおいて、図6のフローと同様のプロセスには同じステップ番号を付し、重複する説明を省略する。

[0094] 図14のステップS5においては、上述のステップS11～S14を実行した後、ステップS21において、プロセッサ34は、直近のステップS1で取得した操作力 F_h の第1の方向 DR_1 の第1の力成分 F_{h_1} と、第2の方向 DR_2 の第2の力成分 F_{h_2} とを求める。この力成分の演算について、図15を参照して説明する。

[0095] 図15においては、直近のステップS1で取得した操作力 F_h のベクトル（つまり、大きさ及び方向）を、直近のステップS12で設定した動作範囲座標系 C_3 に表している。図15において、操作力 F_h の、動作範囲座標系 C_3 の y 軸方向（つまり、第1の方向 DR_1 ）の成分 F_{h_1} は、 $F_{h_1} = F_h \cdot \sin \theta$ として表される。プロセッサ34は、ロボット座標系 C_1 における動作範囲座標系 C_3 の座標 Q_o と、直近のステップS1で取得した操作力 F_h とに基づいて、動作範囲座標系 C_3 に表される成分 F_{h_1} を演算し、ロボット座標系 C_1 に変換して、第1の力成分 F_{h_1} として取得する。

[0096] 一方、操作力 F_h の、動作範囲座標系 C_3 の $x-z$ 平面（つまり、第2の方向 DR_2 ）の成分 F_{h_2} は、 $F_{h_2} = F_h \cdot \cos \theta$ として表される。プロセッサ34は、座標 Q_o 及び操作力 F_h に基づいて、動作範囲座標系 C_3 に表される成分 F_{h_2} を演算し、ロボット座標系 C_1 に変換して、第2の力成分 F_{h_2} として取得する。このように、プロセッサ34は、操作力 F_h の第1の方向 DR_1 の成分 F_{h_1} を第1の力成分 F_{h_1} として求めるとともに、該操作力 F_h の第2の方向 DR_2 の成分 F_{h_2} を第2の力成分 F_{h_2} として求める力成分演算部78（図13）として機能する。

[0097] ステップS21の後、プロセッサ34は、ステップS17を実行する。ステップS17でNOと判定すると、ステップS22において、プロセッサ34は、移動制限部76として機能して、ロボット12の移動を制限する。具

体的には、プロセッサ34は、直近のステップS21で求めた第1の力成分 Fh_1 を減少させることで、後のステップS23で生成する第1の移動指令 Cm_1 によるロボット12の移動を制限する。

[0098] 一例として、プロセッサ34は、第1の力成分 Fh_1 に、予め定めた係数 ε （例えば、 $\varepsilon < 1$ ）を乗算する（すなわち、 $\varepsilon \cdot Fh_1$ とする）ことで、該第1の力成分 Fh_1 を減少させ、これにより、第1の力成分 Fh_1' に変更してもよい。なお、係数 ε は、現在位置 Pc から境界100aまでの距離 δ の関数： $\varepsilon = f(\delta)$ として定められてもよい。

[0099] この関数： $\varepsilon = f(\delta)$ は、距離 δ が小さくなるにつれて係数 ε が小さくなり、 $\delta = 0$ となったときに $\varepsilon = 0$ となるように、定められてもよい。すなわち、この場合、エンドエフェクタ28が境界100a上に達したとき、後のステップS23で生成する第1の移動指令 Cm_1 がゼロとなり、その結果、エンドエフェクタ28の第1の方向 DR_1 への移動が禁止されることになる。

[0100] 一方、プロセッサ34は、第2の力成分 Fh_2 を減少させずに、後のステップS23で生成する第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動を許可する（又は、制限しない）。一例として、プロセッサ34は、第2の力成分 Fh_2 を変更しない。他の例として、プロセッサ34は、第2の力成分 Fh_2 を、ステップS21で求めた値以上の定数 Fhc （ $\geq Fh_2$ ）に設定することで、第2の力成分 Fh_2' に変更してもよい。

[0101] さらに他の例として、プロセッサ34は、第2の力成分 Fh_2 に、予め定めた係数 ζ を乗算することで、第2の力成分 Fh_2' （ $= \zeta \cdot Fh_2$ ）に変更してもよい。ここで、係数 ζ は、距離 δ の関数： $\zeta = f(\delta)$ として定められてもよい。この関数： $\zeta = f(\delta)$ は、距離 δ が小さくなるにつれて係数 ζ が大きくなるように、定められてもよい。

[0102] すなわち、この場合、第2の力成分 Fh_2 は、距離 δ に応じて減少することがなく、むしろ、エンドエフェクタ28が境界100aに近づくにつれて、後のステップS23で生成する第2の移動指令 Cm_2 によるエンドエフェクタ

28の第2の方向DR2への移動が促進されることになる。こうして、プロセッサ34は、第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動を許可する（又は、制限しない）。

[0103] ステップS23において、プロセッサ34は、指令生成部74として機能して、第1の移動指令 Cm_1 及び第2の移動指令 Cm_2 を生成する。具体的には、プロセッサ34は、直前のステップS22の結果として得られた第1の力成分 Fh_1' ($=\varepsilon \cdot Fh_1$) に応じて、第1の移動指令 Cm_1 を生成し、各サーボモータ30へ供給する。直前のステップS22において、ステップS21で求められた第1の力成分 Fh_1 が第1の力成分 Fh_1' へ減少されているので、このとき生成される第1の移動指令 Cm_1 によるエンドエフェクタ28の第1の方向DR1への移動は、制限されることになる。

[0104] また、プロセッサ34は、直前のステップS22の結果として得られた第2の力成分 Fh_2 、 Fhc 又は $\zeta \cdot Fh_2$ に応じて、第2の移動指令 Cm_2 を生成する。直前のステップS22において、ステップS21で求められた第2の力成分 Fh_2 が減少されていないので、このとき生成される第2の移動指令 Cm_2 によるエンドエフェクタ28の第2の方向DR2への移動が許可される（又は、制限されない）。

[0105] 一方、ステップS17でYESと判定した場合、ステップS24において、プロセッサ34は、移動制限部76として機能して、ロボット12の移動を制限する。具体的には、プロセッサ34は、直前のステップS21で求めた第1の力成分 Fh_1 をゼロに設定することで、後のステップS25で生成する第1の移動指令 Cm_1 によるロボット12の第1の方向DR1への移動を禁止する。こうして、プロセッサ34は、ステップS21で求めた第1の力成分 Fh_1 を、第1の力成分 Fh_1' ($=0$) に変更する。その一方で、プロセッサ34は、上述のステップS22と同様に、第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動を許可する（又は、制限しない）。

[0106] ステップS25において、プロセッサ34は、指令生成部74として機能して、第1の移動指令 Cm_1 及び第2の移動指令 Cm_2 を生成する。具体的に

は、プロセッサ34は、直前のステップS24の結果として得られた第1の力成分 $F h_1'$ ($=0$) に応じて、第1の移動指令 $C m_1$ を生成し、各サーボモータ30へ供給する。これにより、エンドエフェクタ28の第1の方向 $D R_1$ への移動が禁止されることになる。

[0107] また、プロセッサ34は、直前のステップS24の結果として得られた第2の力成分 $F h_2$ 、 $F h_c$ 又は $\xi \cdot F h_2$ に応じて、第2の移動指令 $C m_2$ を生成する。これにより、エンドエフェクタ28の第2の方向 $D R_2$ への移動が許可される（又は、制限されない）。ステップS25の後、プロセッサ34は、上述のステップS20へ進む。

[0108] ステップS21～S25での移動制限処理を、図16に模式的に示す。図16に示すように、ステップS21で力成分演算部78が求めた第1の力成分 $F h_1$ は、第1の信号処理ライン $P L_1$ に送られ、移動制限部76による演算器80に入力される。そして、ステップS22及びS24において、移動制限部76は、第1の力成分 $F h_1$ に対し、係数 ε の乗算等の移動制限のための演算処理を行い、第1の力成分 $F h_1'$ に変更する。

[0109] そして、第1の力成分 $F h_1'$ は、指令生成部74に入力され、ステップS23又はS25において、指令生成部74は、第1の力成分 $F h_1'$ に応じて第1の移動指令 $C m_1$ を生成し、各サーボモータ30に出力する。このように生成された第1の移動指令 $C m_1$ によるロボット12の移動には、上述のような制限が加えられることになる。

[0110] 一方、ステップS21で力成分演算部78が求めた第2の力成分 $F h_2$ は、第2の信号処理ライン $P L_2$ に送られ、移動制限部76による演算器82に入力される。そして、ステップS22又はS24において、移動制限部76は、第2の力成分 $F h_2$ に対して変更を加えずに指令生成部74へ供給するか、又は、係数 ξ の乗算等の演算処理を行って第2の力成分 $F h_2'$ として、指令生成部74へ供給する。

[0111] 指令生成部74は、ステップS23又はS25において、第2の力成分 $F h_2$ 又は $F h_2'$ に応じて第2の移動指令 $C m_2$ を生成し、各サーボモータ30

へ供給する。このように生成された第2の移動指令 Cm_2 によりロボット12の第2の方向 DR_2 への移動が許可される。このように、本実施形態においては、力成分生成部78によって生成された第1の力成分 Fh_1 と第2の力成分 Fh_2 とは、それぞれ別々の信号処理ライン PL_1 及び PL_2 に送られ、移動制限部76によって、それぞれに対して異なる信号処理が行われる。

[0112] 以上のように、図13に示す装置60においては、力取得部62は、ロボット12に加えられた力 F を検出する力センサ32の検出データ Df に基づいて、該ロボット12を移動させるために該ロボット12に加えられた操作力 Fh を取得する（ステップS1）。また、力成分演算部78は、力取得部62が取得した操作力 Fh の第1の方向 DR_1 の成分 Fh_1 を第1の力成分 Fh_1 として求めるとともに、該操作力 Fh の第2の方向 DR_2 の成分 Fh_2 を第2の力成分 Fh_2 として求める（ステップS21）。

[0113] そして、指令生成部74は、力成分演算部78が求めた第1の力成分 Fh_1 に応じて第1の移動指令 Cm_1 を生成するとともに、力成分演算部78が求めた第2の力成分 Fh_2 に応じて第2の移動指令 Cm_2 を生成する（ステップS23、S25）。この構成によれば、例えばダイレクトティーチモードMD2でオペレータがロボット12に操作力 Fh を加えたときに、該ロボット12を、第1の方向 DR_1 及び第2の方向 DR_2 の各々へ、該操作力 Fh に応じた移動量だけ、正確に移動させることができる。

[0114] また、図13に示す装置60においては、移動制限部76は、第1の力成分 Fh_1 を減少させることで第1の移動指令 Cm_1 によるロボット12の移動を制限する一方、第2の力成分 Fh_2 を減少させずに第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動を許可する（ステップS22、S24）。この構成によれば、第1の移動指令 Cm_1 によるロボット12の移動制限を、簡単なアルゴリズムで実現できるとともに、例えば上述の係数 ε を適宜設定することによって、より多様な移動制限を設計できる。なお、移動制限部76は、第2の移動指令 Cm_2 によるロボット12の移動を許可する程度に、該第2の力成分 Fh_2 を僅かに減少させてもよい。

- [0115] 次に、図17を参照して、ロボットシステム10のさらに他の機能について説明する。本実施形態においては、プロセッサ34は、装置60として機能するが、該装置60は、動作範囲設定部84の機能をさらに備える。以下、図13に示すロボットシステム10の機能について説明する。本実施形態においては、プロセッサ34は、図6又は図14のフローを実行し、上述のステップS18、S19、S22又はS24において、移動制限部76として機能して、ロボット12を制限移動させる（つまり、第1の方向DR1への移動を制限する一方、第2の方向DR2への移動を許可する）。
- [0116] この制限移動を実行している間、プロセッサ34は、上述のステップS2を繰り返し実行し、位置取得部64として機能して、ロボット12（つまり、エンドエフェクタ28）の現在位置 Pc_n （ $n=1, 2, 3, \dots$ ）を繰り返し取得する。図18に、制限移動中に取得されたエンドエフェクタ28の現在位置 Pc_1 、 Pc_2 及び Pc_3 を示す。ここで、本実施形態においては、プロセッサ34は、制限移動中に取得した現在位置 Pc_n に基づいて、新たな許容動作範囲120を設定する。一例として、プロセッサ34は、現在位置 Pc_1 、 Pc_2 及び Pc_3 を通過するように、新たな許容動作範囲120をロボット座標系C1に設定する。
- [0117] 他の例として、プロセッサ34は、現在位置 Pc_1 、 Pc_2 及び Pc_3 に基づいて、該現在位置 Pc_1 、 Pc_2 及び Pc_3 を通過する移動経路MPを生成し、生成した該移動経路MPに接するように、新たな許容動作範囲120をロボット座標系C1に設定する。このように、本実施形態においては、プロセッサ34は、制限移動中に取得した現在位置 Pc_n に基づいて新たな許容動作範囲120を設定する動作範囲設定部84（図17）として機能する。
- [0118] このように設定された許容動作範囲120の一例を、図19に示す。図19に示すように、許容動作範囲120は、予め定められた許容動作範囲100の境界100aの内側に配置され、許容動作範囲120の境界120aは、境界100aに沿って（例えば、平行に）延在することになる。プロセッサ34は、新たに設定した許容動作範囲120のデータ（例えば、ロボット

座標系C 1の座標)をメモリ3 6(又は4 6)に記憶する。その後、プロセッサ3 4は、新たな許容動作範囲1 2 0に基づいて、図4のフローを実行してもよい。

[0119] 以上のように、図1 7に示す装置6 0においては、位置取得部6 4は、移動制限部7 6がロボット1 2を制限移動させているときに、該ロボット1 2の現在位置 Pc_n を繰り返し取得する。そして、動作範囲設定部8 4は、位置取得部6 4が制限移動中に取得した現在位置 Pc_n に基づいて、新たな許容動作範囲1 2 0を設定する。

[0120] この構成によれば、例えば、オペレータが、上述のジョグモードMD 1又はダイレクトティーチモードMD 2で教示を行っているときに、予め定められた許容動作範囲1 0 0の境界1 0 0 aに沿って制限移動させたロボット1 2の位置 Pc_n (又は、移動経路MP)から、新たな許容動作範囲1 2 0を容易に設定できる。これにより、様々な許容動作範囲を任意に設定できる。

[0121] なお、上述の実施形態においては、予め定められた許容動作範囲1 0 0が、円形状(又は円筒状)である場合について述べた。しかしながら、これに限らず、許容動作範囲1 0 0は、例えば、多角形(四角形、五角形等)状、半球状、又は、複数の曲面からなるランダムな形状等、如何なる形状であってもよい。

[0122] なお、上述の実施形態においては、プロセッサ3 4は、ステップS 1 1において参照点 P_r を定める場合について述べた。しかしながら、これに限らず、プロセッサ3 4は、参照点 P_r を定めることなく、第1の方向DR 1及び第2の方向DR 2を定めることもできる。この形態について、図2 0及び図2 1を参照して説明する。

[0123] 本実施形態においては、略四角形の許容動作範囲1 3 0が、予め定められており、該許容動作範囲1 3 0の境界1 3 0 aは、四角形の一辺を各々画定する境界1 3 0 a₁、1 3 0 a₂、1 3 0 a₃及び1 3 0 a₄を有する。また、許容動作範囲1 3 0に対し、動作範囲座標系C 3が予め設定されている。動作範囲座標系C 3は、ロボット座標系C 1における許容動作範囲1 3 0の位

置を規定する座標系である。

[0124] 図20に示す例においては、動作範囲座標系C3は、その原点が、境界130a₁及び130a₂の交線上（つまり、四角形の一頂点）に配置され、そのx軸が、境界130a₁及び130a₃と平行であり、そのy軸が、境界130a₂及び130a₄と平行であり、そのz軸が、ロボット座標系C1のz軸と平行となるように、設定されている。ロボット座標系C1における動作範囲座標系C3の座標Q_oは、既知となっている。

[0125] 本実施形態においては、プロセッサ34は、許容動作範囲130に基づいて、図4に示すフローを実行する。ここで、プロセッサ34は、図6又は図14中のステップS5のフローを開始したとき、ステップS11を実行せずに、ステップS12を実行する。このステップS12において、プロセッサ34は、方向設定部68として機能して、直近のステップS2で取得した現在位置P_cと、該現在位置P_cに近接する許容動作範囲130の境界130a₁とに基づいて、許容動作範囲130の外側へ向かう第1の方向DR1と、該第1の方向DR1と直交する第2の方向DR2とを定める。

[0126] 具体的には、図21に示すように、プロセッサ34は、許容動作範囲130の境界130a₁、130a₂、130a₃及び130a₄のうち、現在位置P_cに近接する境界130a₁を特定する。次いで、プロセッサ34は、特定した境界130a₁の法線方向と平行であり、且つ、許容動作範囲130の外側へ向く方向である、動作範囲座標系C3のy軸マイナス方向を、第1の方向DR1として定める。そして、プロセッサ34は、第1の方向DR1と直交する、動作範囲座標系C3のx-z平面の方向を、第2の方向DR2として定める。

[0127] なお、仮に、許容動作範囲130の境界130a₁、130a₂、130a₃及び130a₄のうち、現在位置P_cが境界130a₂に近接していたとする。この場合、プロセッサ34は、動作範囲座標系C3のx軸マイナス方向を第1の方向DR1として定め、動作範囲座標系C3のy-z平面の方向を第2の方向として定めることになる。このように、本実施形態においては、第

1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向は、現在位置 P_c に近接する境界 $130a_1$ 、 $130a_2$ 、 $130a_3$ 又は $130a_4$ に応じて、動作範囲座標系 C_3 の x 軸方向又は y 軸方向として定めることができる。

[0128] こうして、プロセッサ 34 は、予め定めた動作範囲座標系 C_3 を基準とし、現在位置 P_c に近接する境界 $130a_1$ に基づいて第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 を定める。本実施形態においては、その後、プロセッサ 34 は、動作範囲座標系 C_3 を基準とし、設定した第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 に基づいて、図 6 のステップ $S_{13} \sim S_{20}$ 、又は、図 14 のステップ S_{13} 、 S_{14} 、 S_{21} 、 S_{17} 、 $S_{22} \sim S_{25}$ 及び S_{20} を、順次実行する。このように、本実施形態によれば、図 4 又は図 6 のフローから、ステップ S_{11} を省略することができる。すなわち、装置 60 から参照点設定部 66 を省略することができる。

[0129] なお、プロセッサ 34 は、図 4 に示すフローを、メモリ 36（又は 46）に予め記憶されたコンピュータプログラム PG に従って実行してもよい。また、プロセッサ 34 が実行する装置 60（つまり、力取得部 62、位置取得部 64、参照点設定部 66、方向設定部 68、位置演算部 70、報知信号生成部 72、指令生成部 74、移動制限部 76、力成分演算部 78、動作範囲設定部 84）の機能は、コンピュータプログラム PG によって実現される機能モジュールであってもよい。

[0130] また、上述の実施形態においては、プロセッサ 34 が、ジョグモード MD_1 又はダイレクトティーチモード MD_2 で教示を行うときに、図 4 のフローを実行する場合について説明した。しかしながら、これに限らず、例えば、オペレータとロボット 12 が協働で作業を行うときに、プロセッサ 34 は、図 4 のフローを実行してもよい。

[0131] また、上述の実施形態においては、装置 60 の機能が、制御装置 14 に実装されている場合について述べた。しかしながら、これに限らず、装置 60 の機能の少なくとも 1 つが、教示装置 16 に実装されてもよい。例えば、装置 60 の機能のうち、報知信号生成部 72 が教示装置 16 に実装されてもよ

い。この場合、教示装置 16 のプロセッサ 44 が、報知信号生成部 72 として機能して、図 10 に示す画像 110 を生成し、表示装置 50 に表示してもよい。なお、装置 60 の機能の少なくとも 1 つが、制御装置 14 及び教示装置 16 以外の如何なるコンピュータ（PC 等）に実装されてもよい。

[0132] 以上、本開示について詳述したが、本開示は上述した個々の実施形態に限定されるものではない。これらの実施形態は、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、または、特許請求の範囲に記載された内容とその均等物から導き出される本開示の趣旨を逸脱しない範囲で、種々の追加、置き換え、変更、部分的削除等が可能である。また、これらの実施形態は、組み合わせて実施することもできる。例えば、上述した実施形態において、各動作の順序や各処理の順序は、一例として示したものであり、これらに限定されるものではない。また、上述した実施形態の説明に数値又は数式が用いられている場合も同様である。

[0133] 本開示は、以下の態様を開示する。

（態様 1）予め定めた許容動作範囲 100、130 の外側へ向かうロボット 12 の移動を制限する装置 60 であって、ロボット 12 の現在位置 P_c を取得する位置取得部 64 と、位置取得部 64 が取得した現在位置 P_c と、該現在位置 P_c に近接する許容動作範囲 100、130 の境界 100a、130a とに基づいて、該外側へ向かう第 1 の方向 DR_1 と、該第 1 の方向 DR_1 と直交する第 2 の方向 DR_2 とを定める方向設定部 68 と、ロボット 12 を移動させるために、方向設定部 68 が定めた第 1 の方向 DR_1 へ該ロボット 12 を移動させる第 1 の移動指令 C_{m1} と、方向設定部 68 が定めた第 2 の方向 DR_2 へ該ロボット 12 を移動させる第 2 の移動指令 C_{m2} とを生成する指令生成部 74 と、第 1 の移動指令 C_{m1} によるロボット 12 の移動を制限する一方、第 2 の移動指令 C_{m2} によるロボット 12 の移動を許可する移動制限部 76 とを備える、装置 60。

（態様 2）位置取得部 64 が取得した現在位置 P_c に近接する境界 100a、130a 上の点 P を参照点 P_r として定める参照点設定部 66 をさらに備

え、方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が設定した参照点 P_r を基準として、第 1 の方向 DR_1 及び第 2 の方向 DR_2 を定める、態様 1 に記載の装置 60。

(態様 3) 参照点設定部 66 は、現在位置 P_c からの距離 δ が最小となる点 P を参照点 P_r として定める、態様 2 に記載の装置 60。

(態様 4) 方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が定めた参照点 P_r での境界 $100a$ 、 $130a$ の法線方向を、第 1 の方向 DR_1 として定める、態様 2 又は 3 に記載の装置。

(態様 5) 方向設定部 68 は、参照点設定部 66 が設定した参照点 P_r を原点とし、第 1 の方向 DR_1 を規定する第 1 の軸 (y 軸) と、第 2 の方向 DR_2 を規定する第 2 の軸 (x 軸、 z 軸) とを有する動作範囲座標系 C_3 を設定し、指令生成部 74 は、動作範囲座標系 C_3 を基準として、第 1 の軸の方向の第 1 の移動指令 C_{m_1} と、第 2 の軸の方向の第 2 の移動指令 C_{m_2} とを生成する、態様 2～4 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 6) 指令生成部 74 は、ロボット 12 を外側へ移動させる移動指令 C_m を生成し、該移動指令 C_m の第 1 の方向 DR_1 の成分 C_{m_1} を第 1 の移動指令 C_{m_1} として生成し、該移動指令 C_m の第 2 の方向 DR_2 の成分 C_{m_2} を第 2 の移動指令 C_{m_2} として生成する、態様 1～5 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 7) 第 1 の移動指令 C_{m_1} 及び第 2 の移動指令 C_{m_2} は、ロボット 12 の速度 V_1 、 V_2 、該ロボット 12 の加速度 a_1 、 a_2 、又は該ロボット 12 を駆動するトルク q_1 、 q_2 を規定する指令値 V_1 、 V_2 、 a_1 、 a_2 、 q_1 、 q_2 を含み、移動制限部 76 は、第 1 の移動指令 C_{m_1} の指令値 V_1 、 a_1 、 q_1 を減少させることで、該第 1 の移動指令 C_{m_1} によるロボット 12 の移動を制限する一方、第 2 の移動指令 C_{m_2} の指令値 V_2 、 a_2 、 q_2 を減少させずに該第 2 の移動指令 C_{m_2} によるロボット 12 の移動を許可する、態様 6 に記載の装置 60。

(態様 8) ロボット 12 に加えられた力 F を検出する力センサ 32 の検出デ

ータ D_f に基づいて、該ロボット 12 を移動させるために該ロボット 12 に加えられた操作力 F_h を取得する力取得部 62 と、力取得部 62 が取得した操作力 F_h の第 1 の方向 D_{R1} の成分 F_{h1} を第 1 の力成分 F_{h1} として求めるとともに、該操作力 F_h の第 2 の方向 D_{R2} の成分 F_{h2} を第 2 の力成分 F_{h2} として求める力成分演算部 78 とをさらに備え、指令生成部 74 は、力成分演算部 78 が求めた第 1 の力成分 F_{h1} に応じて第 1 の移動指令 C_{m1} を生成するとともに、力成分演算部 78 が求めた第 2 の力成分 F_{h2} に応じて第 2 の移動指令 C_{m2} を生成する、態様 1～5 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 9) 移動制限部 76 は、第 1 の力成分 F_{h1} を減少させることで第 1 の移動指令 C_{m1} によるロボット 12 の移動を制限する一方、第 2 の力成分 F_{h2} を減少させずに第 2 の移動指令 C_{m2} によるロボット 12 の移動を許可する、態様 8 に記載の装置 60。

(態様 10) ロボット 12 を現在位置 P_c から移動させる目標位置 P_t を求める位置演算部 70 をさらに備え、現在位置 P_c から目標位置 P_t への移動方向 D_{Rm} 、又は該目標位置 P_t と境界 100a、130a との距離 δ を報知する報知信号 S_n を生成する報知信号生成部 72 をさらに備える、態様 1～9 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 11) ロボット 12 を現在位置 P_c から移動させる目標位置 P_t を求める位置演算部 70 をさらに備え、位置演算部 70 が求めた目標位置 P_t が許容動作範囲 100、130 の外側に在る場合、移動制限部 76 は、第 1 の方向 D_{R1} へのロボット 12 の移動を禁止する、態様 1～10 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 12) 位置取得部 64 は、移動制限部 76 がロボット 12 を制限移動させているときに、該ロボット 12 の現在位置 P_{cn} を繰り返し取得し、装置 60 は、位置取得部 64 が制限移動中に取得した現在位置 P_{cn} に基づいて、新たな許容動作範囲 120 を設定する動作範囲設定部 84 をさらに備える、態様 1～11 のいずれかに記載の装置 60。

(態様 13) 予め定めた許容動作範囲 100、130 の外側へ向かうロボッ

ト 1 2 の移動を制限する方法であって、プロセッサ 3 4、4 4 が、ロボット 1 2 の現在位置 P_c を取得し、取得した現在位置 P_c と、該現在位置 P_c に近接する許容動作範囲 1 0 0、1 3 0 の境界 1 0 0 a、1 3 0 a とに基づいて、該外側へ向かう第 1 の方向 D_R と、該第 1 の方向 $D_R 1$ と直交する第 2 の方向 $D_R 2$ とを定め、ロボット 1 2 を移動させるために、定めた第 1 の方向 $D_R 1$ へ該ロボット 1 2 を移動させる第 1 の移動指令 C_{m_1} と、定めた第 2 の方向 $D_R 2$ へ該ロボット 1 2 を移動させる第 2 の移動指令 C_{m_2} とを生成し、第 1 の移動指令 C_{m_1} によるロボット 1 2 の移動を制限する一方、第 2 の移動指令 C_{m_2} によるロボット 1 2 の移動を許可する、方法。

(態様 1 4)

態様 1 3 に記載の方法をプロセッサ 3 4、4 4 に実行させる、コンピュータプログラム P G。

符号の説明

[0134]	1 0	ロボットシステム
	1 2	ロボット
	1 4	制御装置
	1 6	教示装置
	3 2	力センサ
	3 4, 4 4	プロセッサ
	6 0	装置
	6 4	位置取得部
	6 6	参照点設定部
	6 8	方向設定部
	7 0	位置演算部
	7 2	報知信号生成部
	7 4	指令生成部
	7 6	移動制限部
	7 8	力成分演算部

8 4 動作範囲設定部

1 0 0, 1 2 0, 1 3 0 許容動作範囲

請求の範囲

- [請求項1] 予め定めた許容動作範囲の外側へ向かうロボットの移動を制限する装置であって、
- 前記ロボットの現在位置を取得する位置取得部と、
- 前記位置取得部が取得した前記現在位置と、該現在位置に近接する前記許容動作範囲の境界とに基づいて、前記外側へ向かう第1の方向と、該第1の方向と直交する第2の方向とを定める方向設定部と、
- 前記ロボットを移動させるために、前記方向設定部が定めた前記第1の方向へ該ロボットを移動させる第1の移動指令と、前記方向設定部が定めた前記第2の方向へ該ロボットを移動させる第2の移動指令と、を生成する指令生成部と、
- 前記第1の移動指令による前記ロボットの移動を制限する一方、前記第2の移動指令による前記ロボットの移動を許可する移動制限部と、を備える、装置。
- [請求項2] 前記位置取得部が取得した前記現在位置に近接する前記境界上の点を参照点として定める参照点設定部をさらに備え、
- 前記方向設定部は、前記参照点設定部が設定した前記参照点を基準として、前記第1の方向及び前記第2の方向を定める、請求項1に記載の装置。
- [請求項3] 前記参照点設定部は、前記現在位置からの距離が最小となる前記点を前記参照点として定める、請求項2に記載の装置。
- [請求項4] 前記方向設定部は、前記参照点設定部が定めた前記参照点での前記境界の法線方向を、前記第1の方向として定める、請求項2に記載の装置。
- [請求項5] 前記方向設定部は、前記参照点設定部が設定した前記参照点を原点とし、前記第1の方向を規定する第1の軸と、前記第2の方向を規定する第2の軸とを有する動作範囲座標系を設定し、
- 前記指令生成部は、前記動作範囲座標系を基準として、前記第1の

軸の方向の前記第 1 の移動指令と、前記第 2 の軸の方向の前記第 2 の移動指令と、を生成する、請求項 2 に記載の装置。

[請求項6] 前記指令生成部は、
前記ロボットを前記外側へ移動させる移動指令を生成し、
該移動指令の前記第 1 の方向の成分を前記第 1 の移動指令として生成し、
該移動指令の前記第 2 の方向の成分を前記第 2 の移動指令として生成する、請求項 1 に記載の装置。

[請求項7] 前記第 1 の移動指令及び前記第 2 の移動指令は、前記ロボットの速度、該ロボットの加速度、又は該ロボットを駆動するトルクを規定する指令値を含み、
前記移動制限部は、前記第 1 の移動指令の前記指令値を減少させることで、該第 1 の移動指令による前記ロボットの移動を制限する一方、前記第 2 の移動指令の前記指令値を減少させずに該第 2 の移動指令による前記ロボットの移動を許可する、請求項 6 に記載の装置。

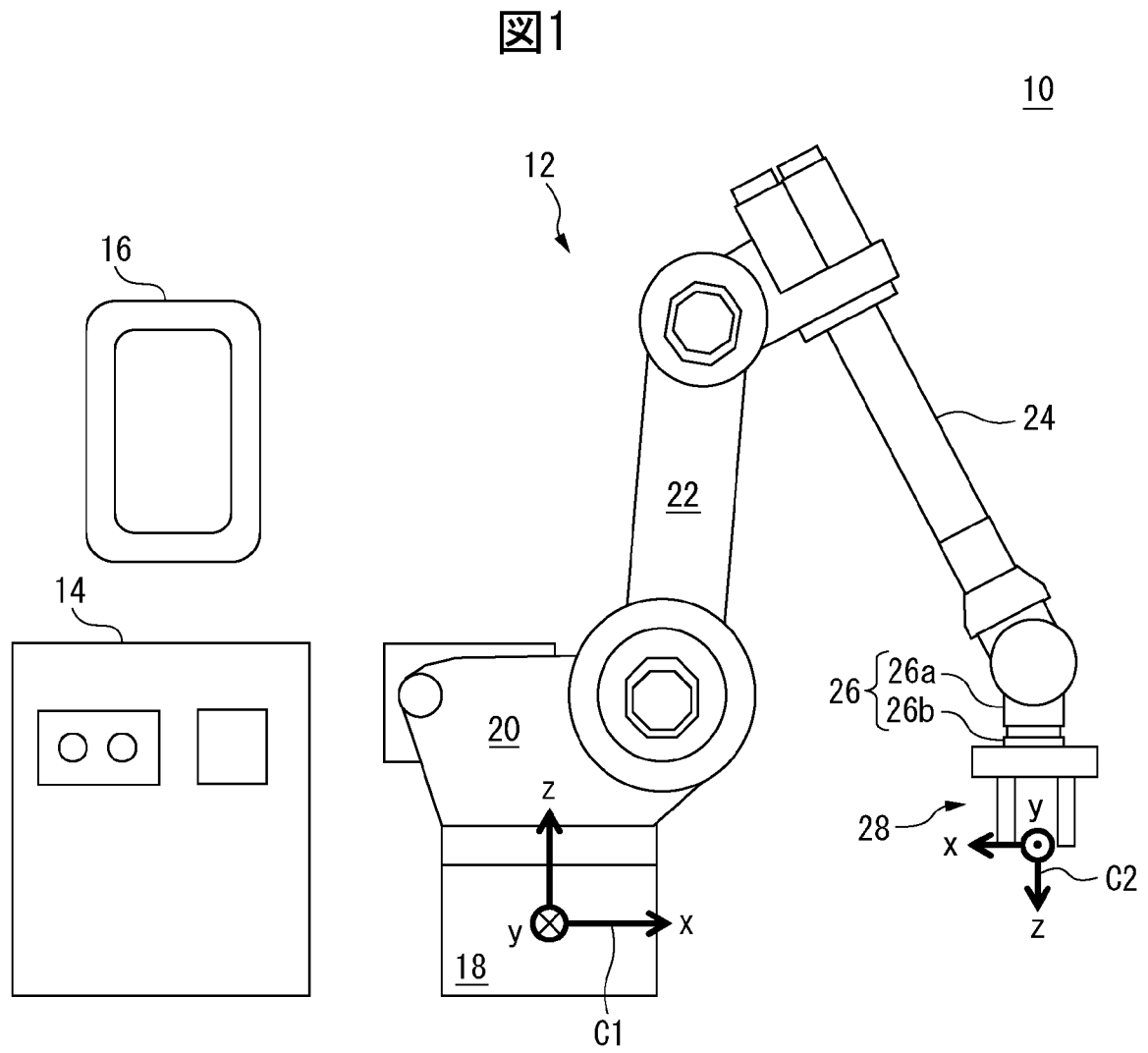
[請求項8] 前記ロボットを移動させるために該ロボットに加えられた操作力を取得する力取得部と、
前記力取得部が取得した前記操作力の前記第 1 の方向の成分を第 1 の力成分として求めるとともに、該操作力の前記第 2 の方向の成分を第 2 の力成分として求める力成分演算部と、をさらに備え、
前記指令生成部は、前記力成分演算部が求めた前記第 1 の力成分に応じて前記第 1 の移動指令を生成するとともに、前記力成分演算部が求めた前記第 2 の力成分に応じて前記第 2 の移動指令を生成する、請求項 1 に記載の装置。

[請求項9] 前記移動制限部は、前記第 1 の力成分を減少させることで前記第 1 の移動指令による前記ロボットの移動を制限する一方、前記第 2 の力成分を減少させずに前記第 2 の移動指令による前記ロボットの移動を許可する、請求項 8 に記載の装置。

- [請求項10] 前記ロボットを前記現在位置から移動させる目標位置を求める位置演算部をさらに備え、
- 前記現在位置から前記目標位置への移動方向、又は該目標位置と前記境界との距離を報知する報知信号を生成する報知信号生成部をさらに備える、請求項1に記載の装置。
- [請求項11] 前記ロボットを前記現在位置から移動させる目標位置を求める位置演算部をさらに備え、
- 前記位置演算部が求めた前記目標位置が前記許容動作範囲の外側に在る場合、前記移動制限部は、前記第1の方向への前記ロボットの移動を禁止する、請求項1に記載の装置。
- [請求項12] 前記位置取得部は、前記移動制限部が前記ロボットを制限移動させているときに前記現在位置を繰り返し取得し、
- 前記装置は、前記位置取得部が前記制限移動中に取得した前記現在位置に基づいて、新たな許容動作範囲を設定する動作範囲設定部をさらに備える、請求項1に記載の装置。
- [請求項13] 予め定めた許容動作範囲の外側へ向かうロボットの移動を制限する方法であって、
- プロセッサが、
- 前記ロボットの現在位置を取得し、
- 取得した前記現在位置と、該現在位置に近接する前記許容動作範囲の境界とに基づいて、前記外側へ向かう第1の方向と、該第1の方向と直交する第2の方向とを定め、
- 前記ロボットを移動させるために、定めた前記第1の方向へ該ロボットを移動させる第1の移動指令と、定めた前記第2の方向へ該ロボットを移動させる第2の移動指令と、を生成し、
- 前記第1の移動指令による前記ロボットの移動を制限する一方、前記第2の移動指令による前記ロボットの移動を許可する、方法。
- [請求項14] 請求項13に記載の方法を前記プロセッサに実行させる、コンピュ

ータプログラム。

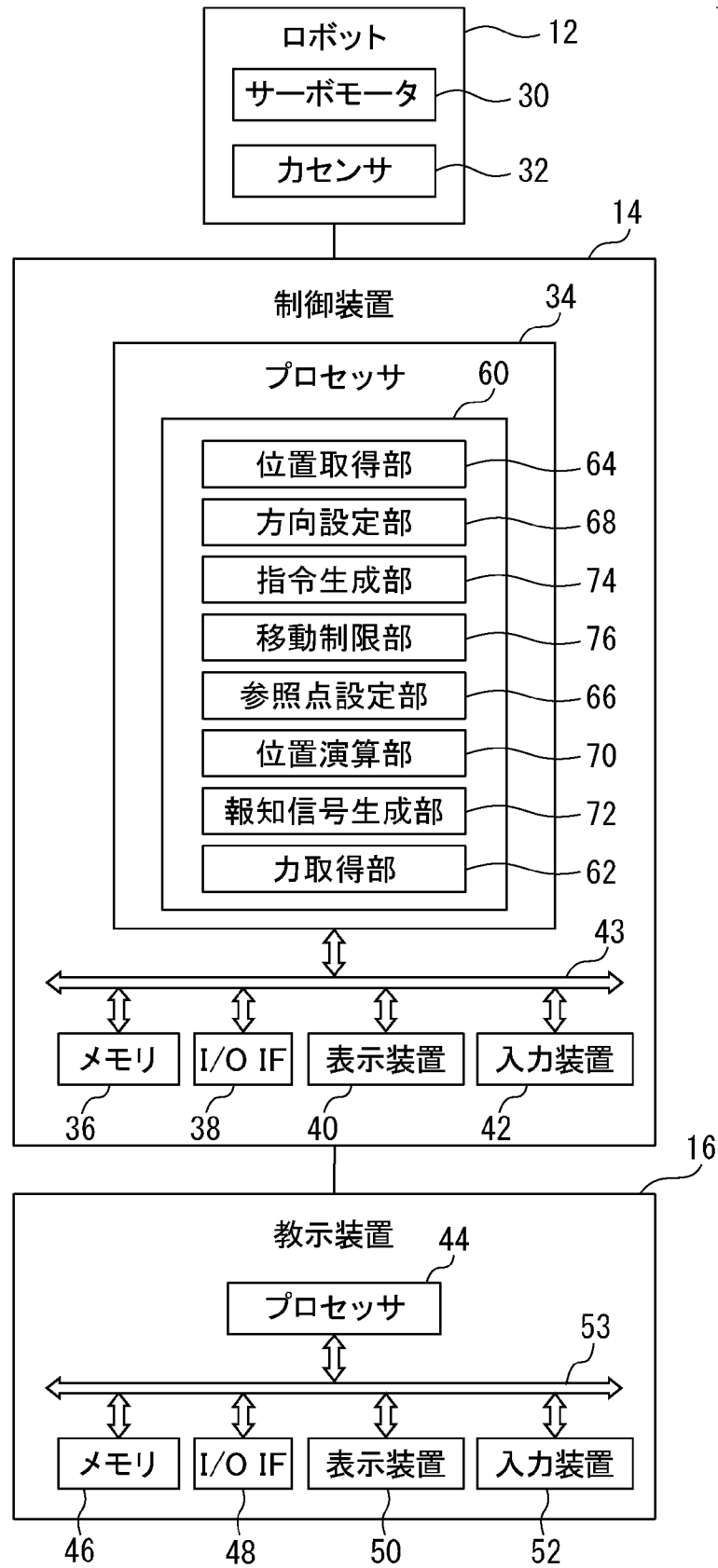
[図1]



[図2]

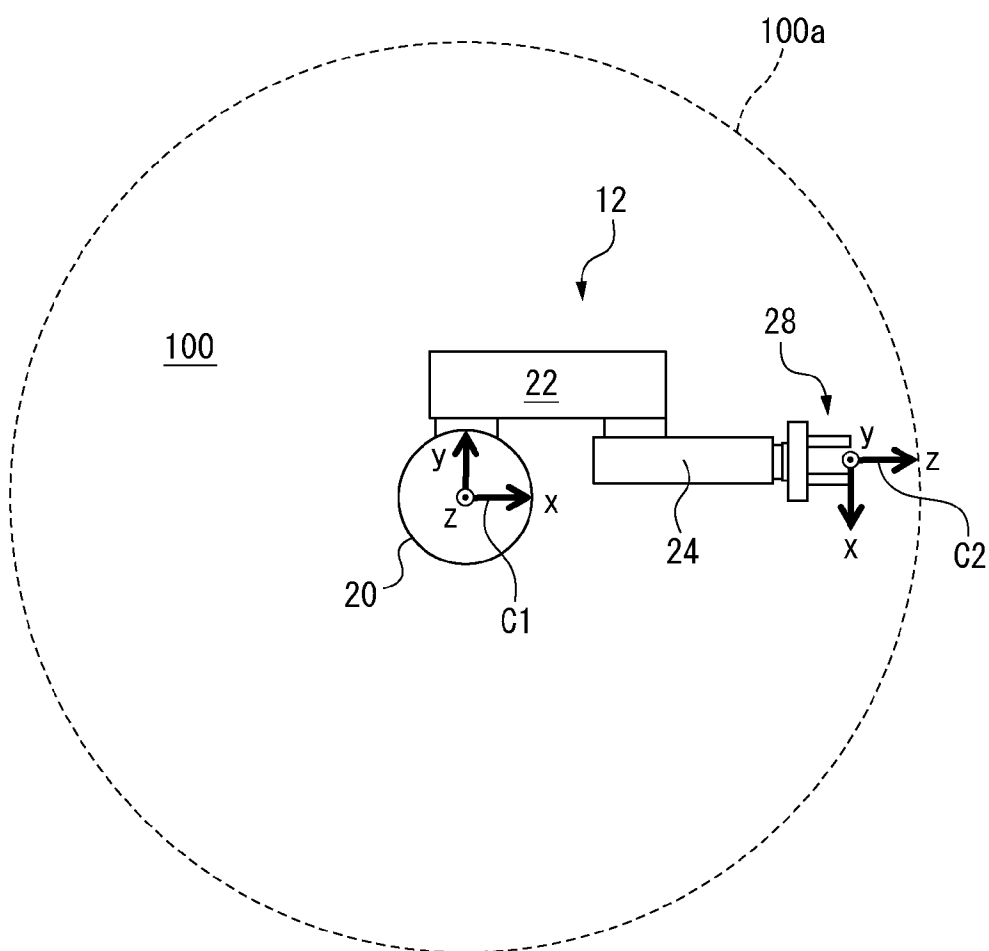
図2

10



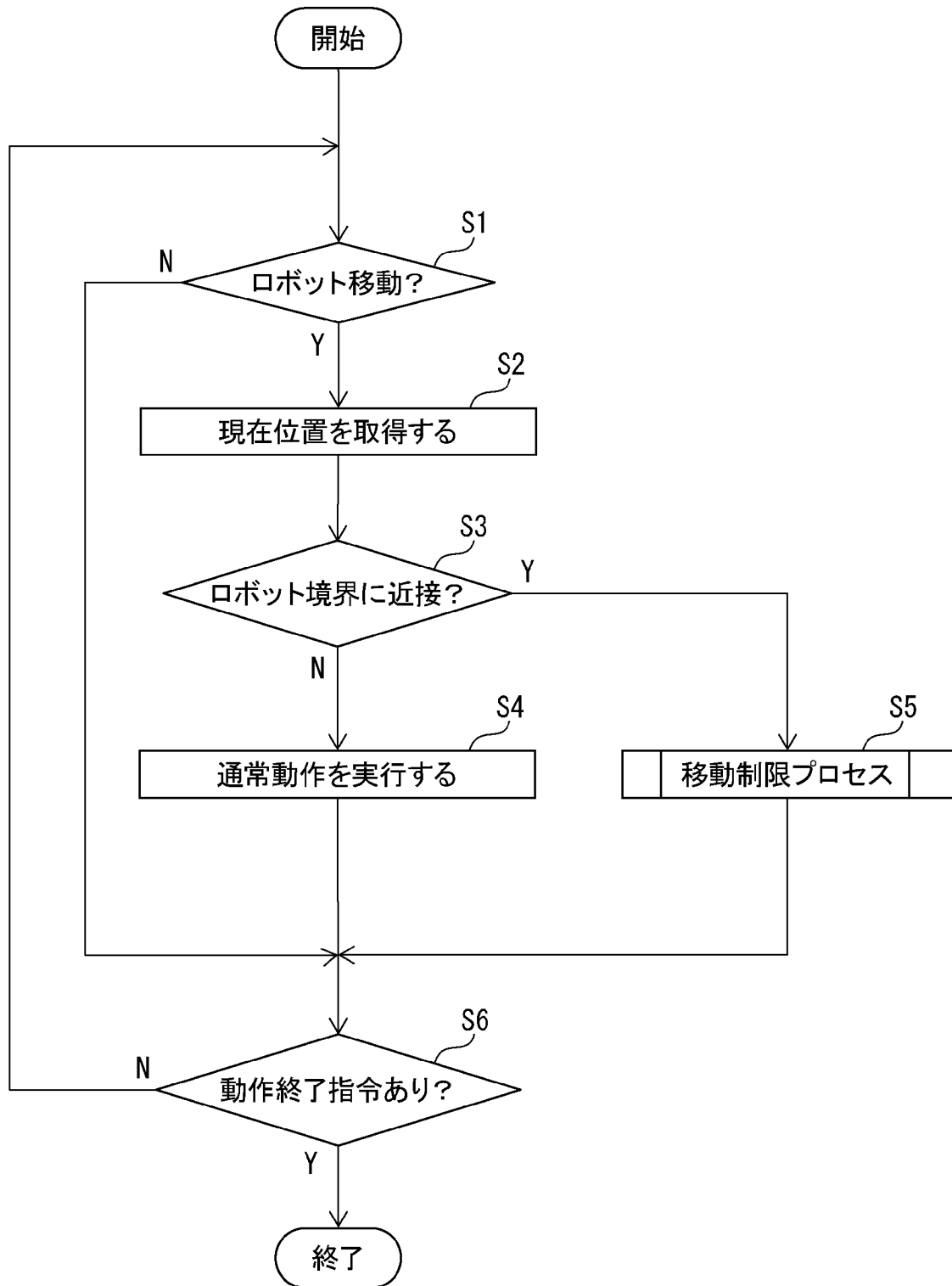
[図3]

図3



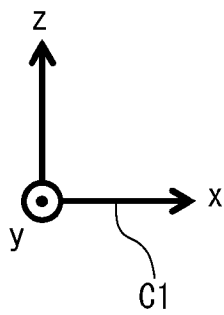
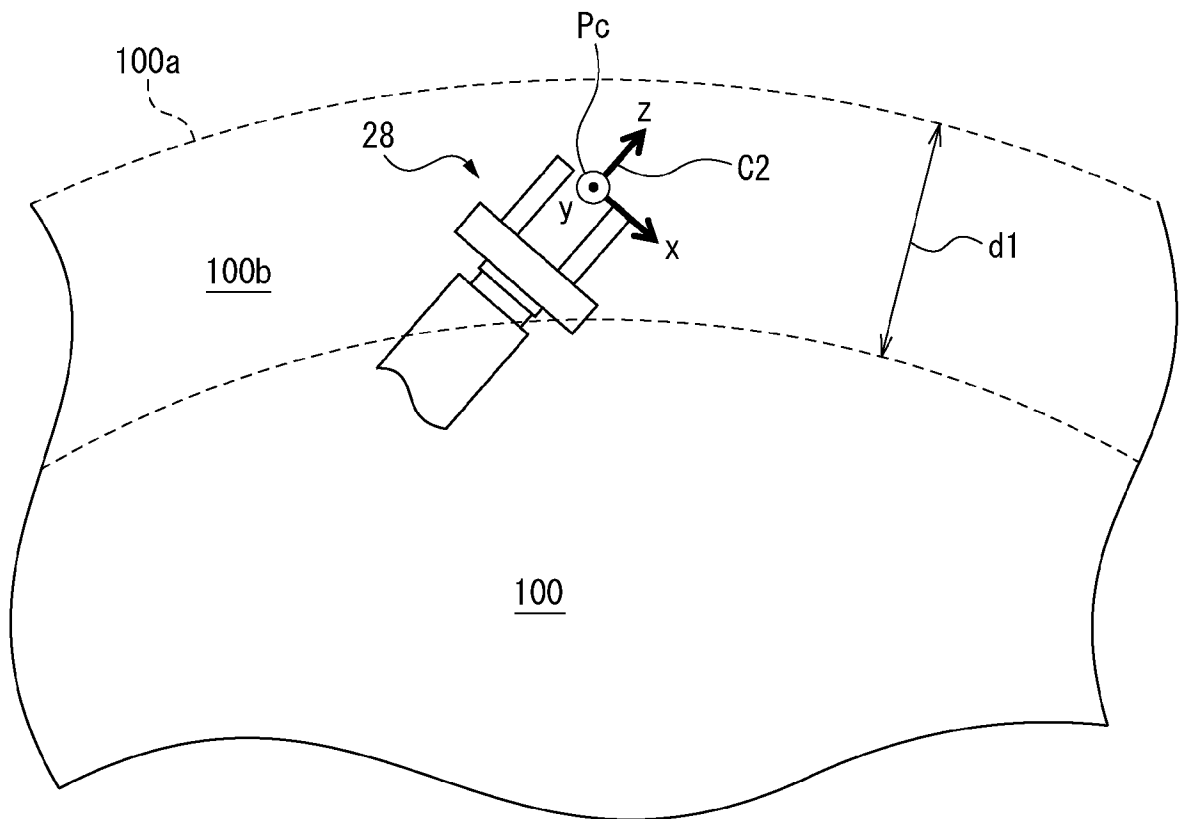
[図4]

図4



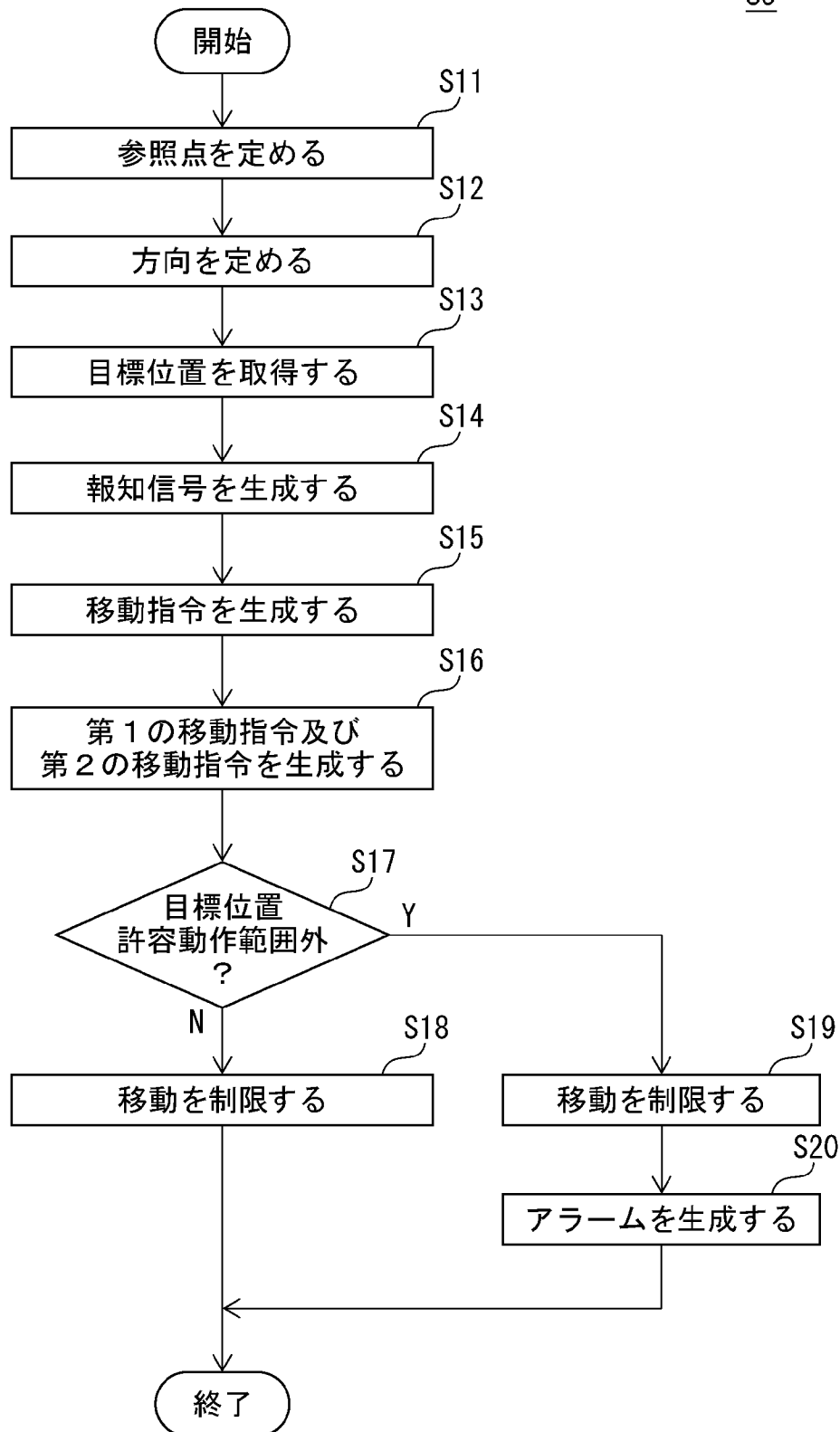
[図5]

図5



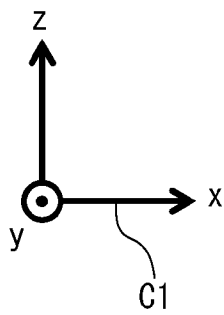
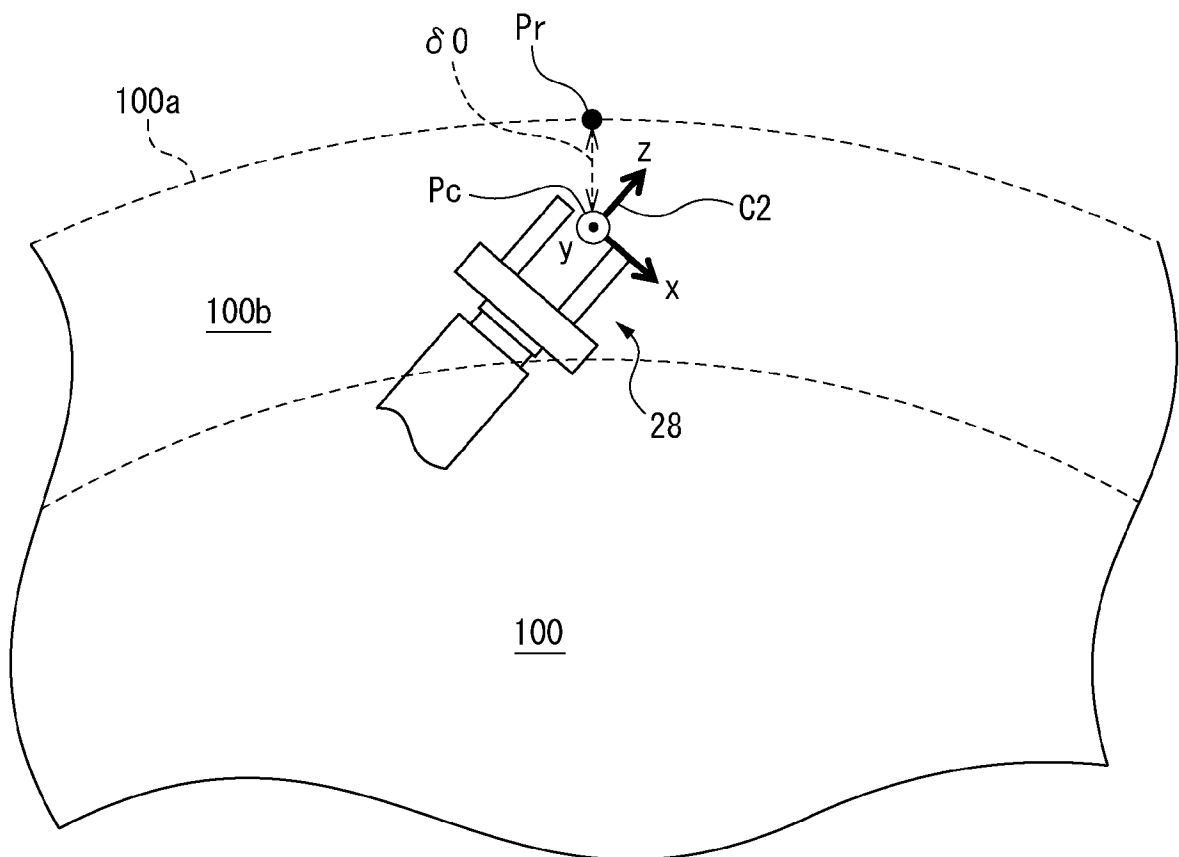
[図6]

図6

S5

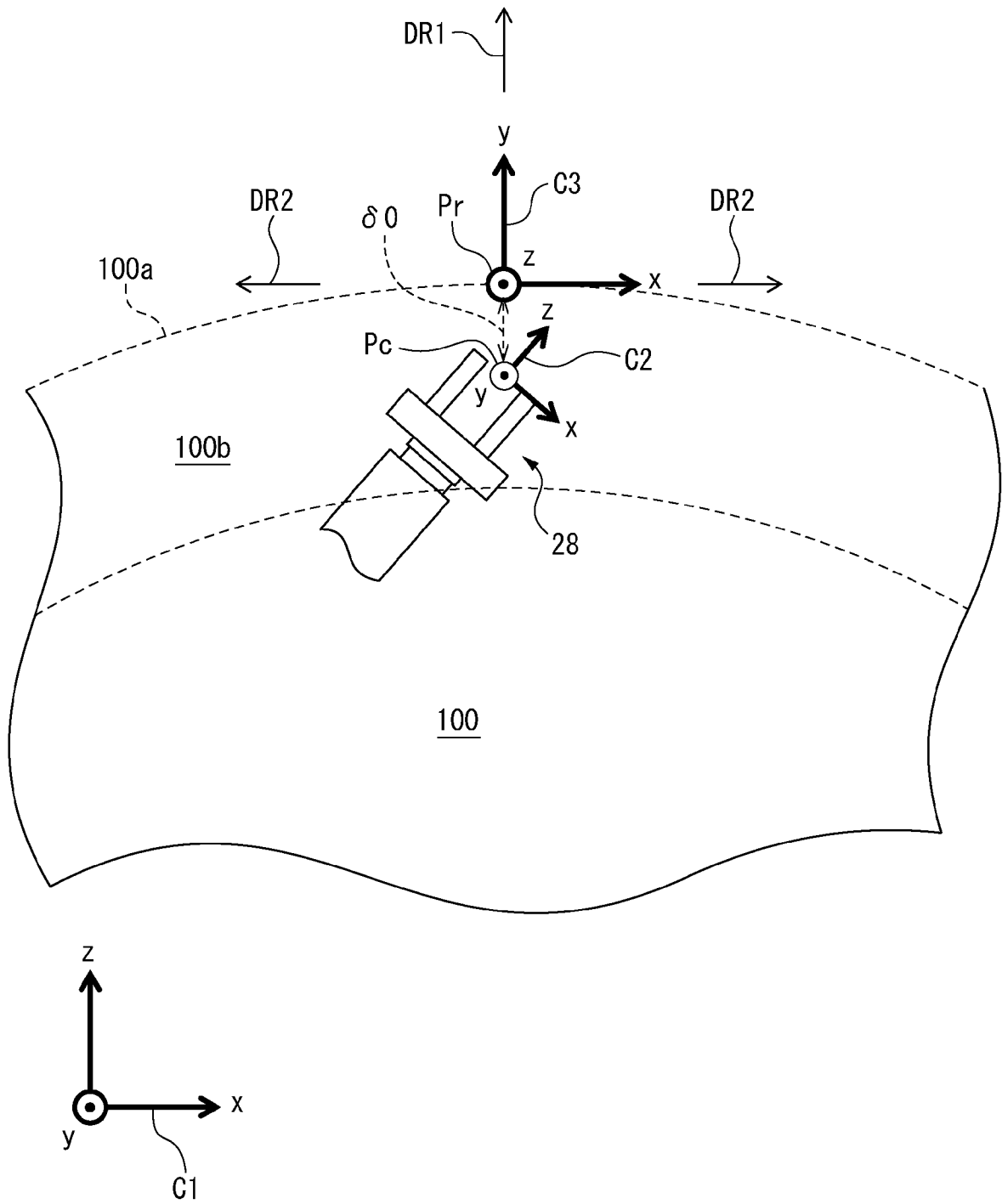
[図7]

図7



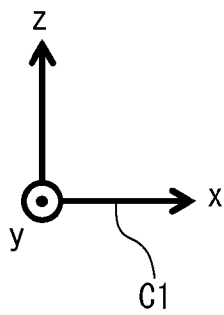
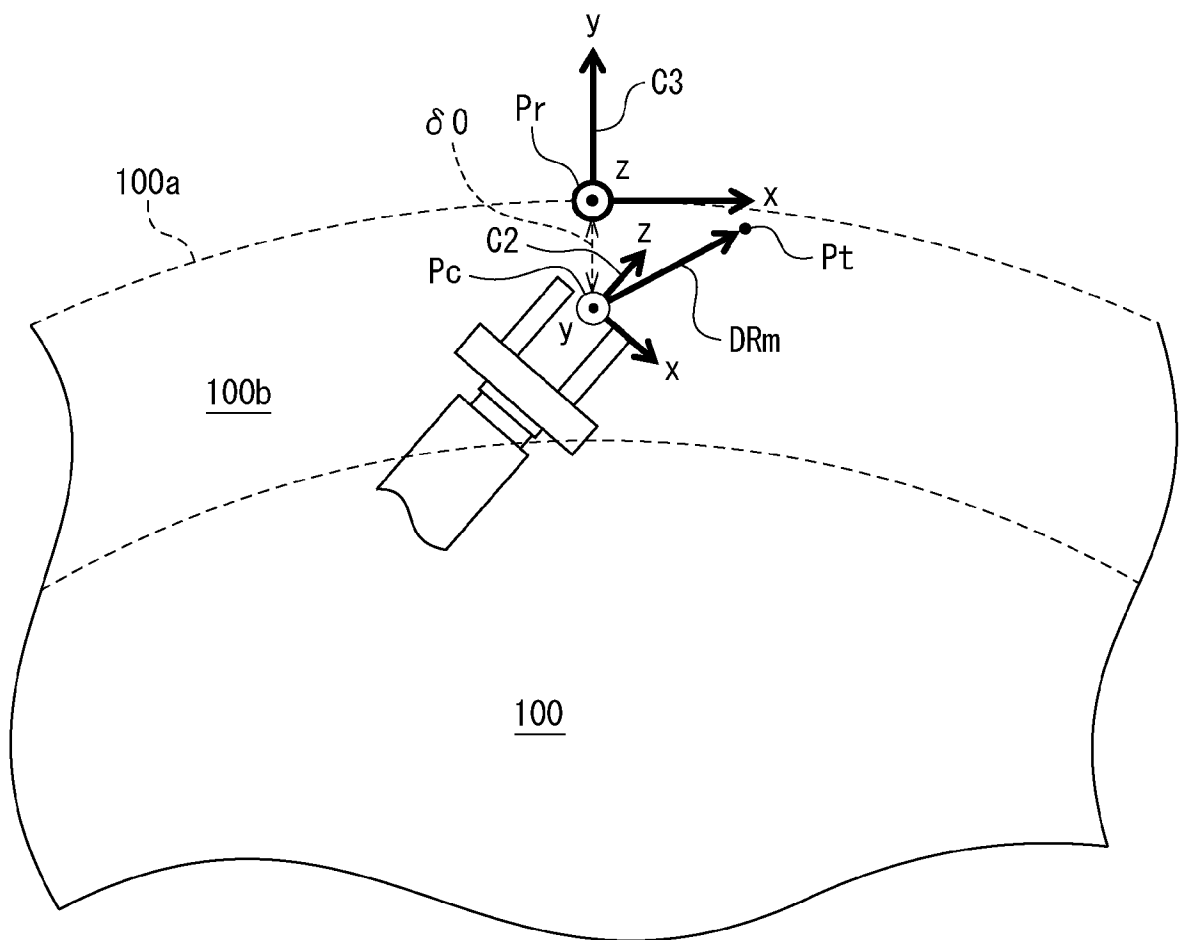
[図8]

図8



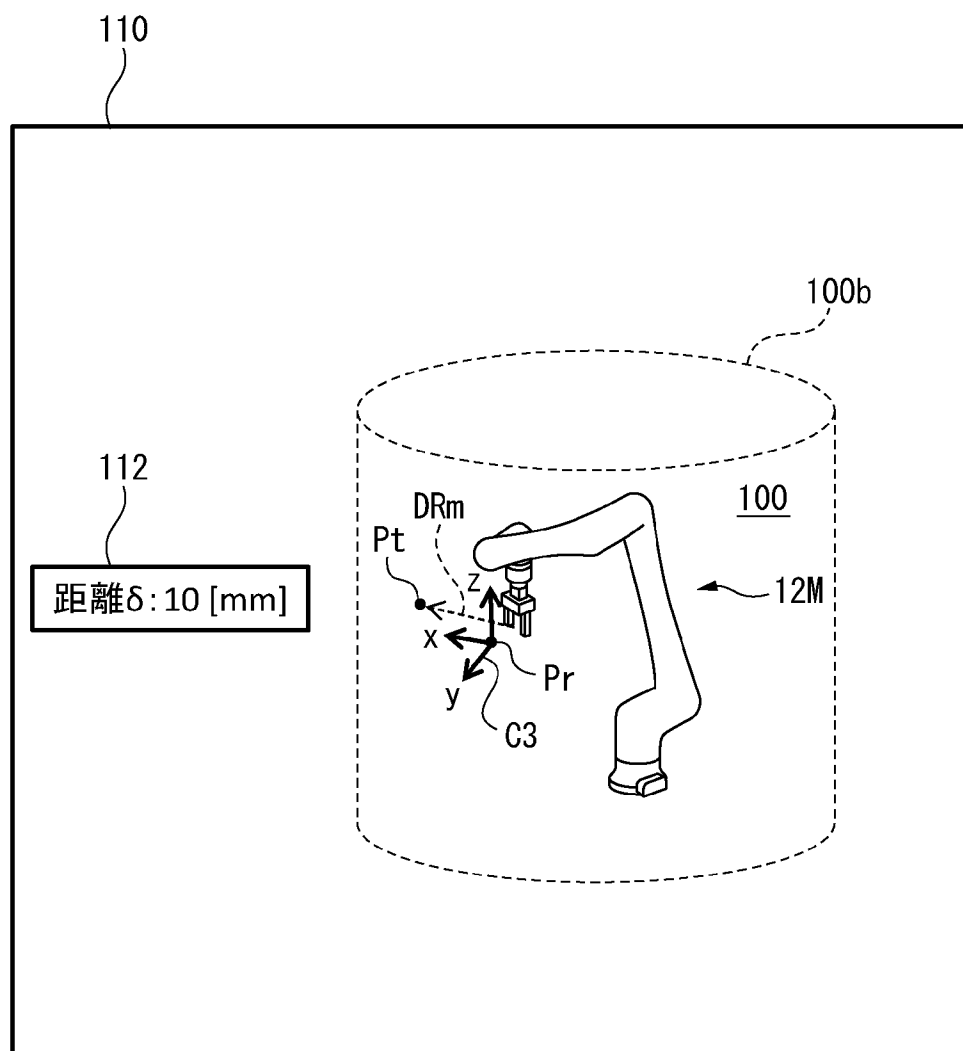
[図9]

図9



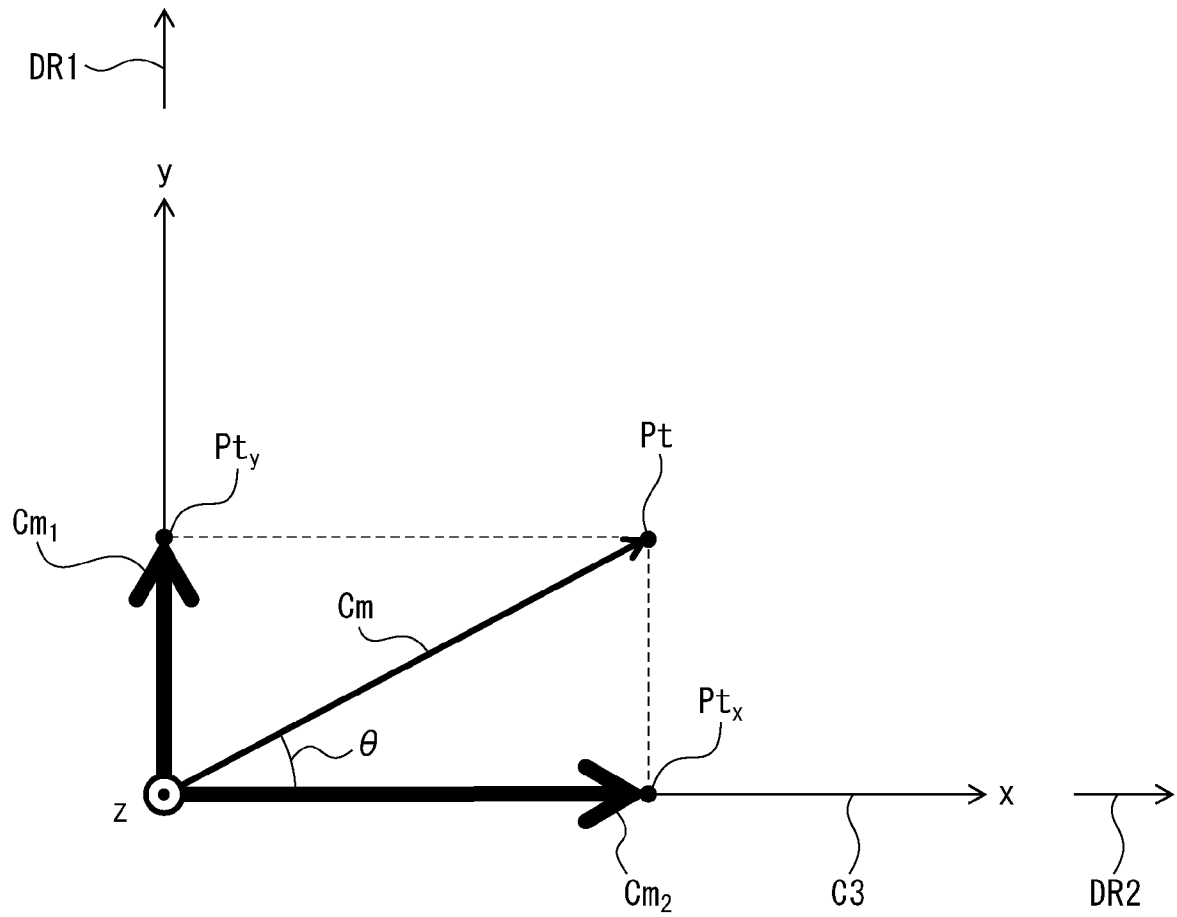
[図10]

図10



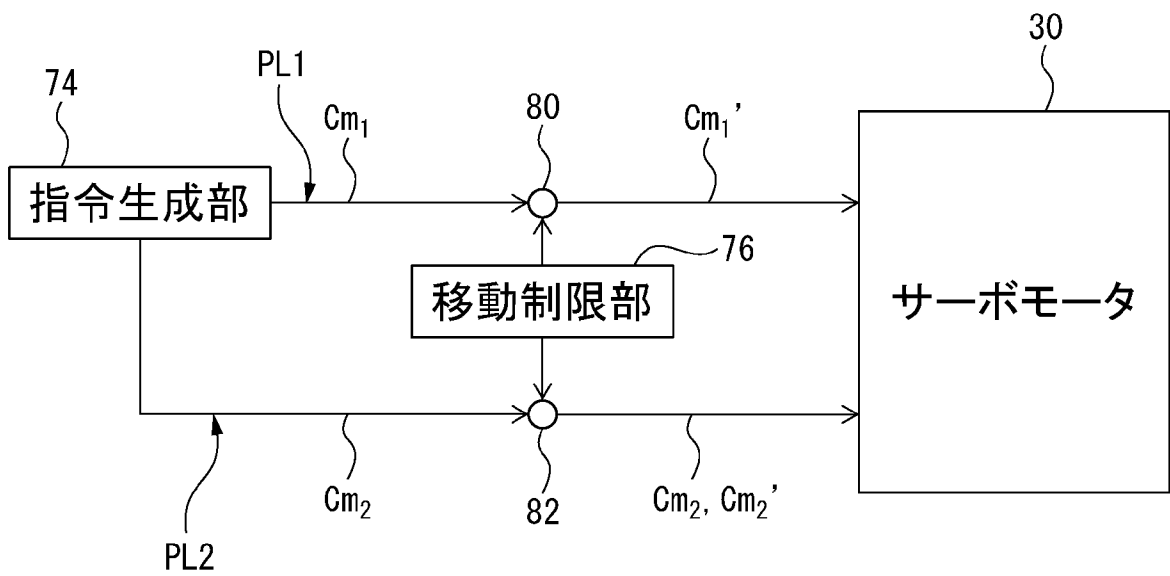
[図11]

図11



[図12]

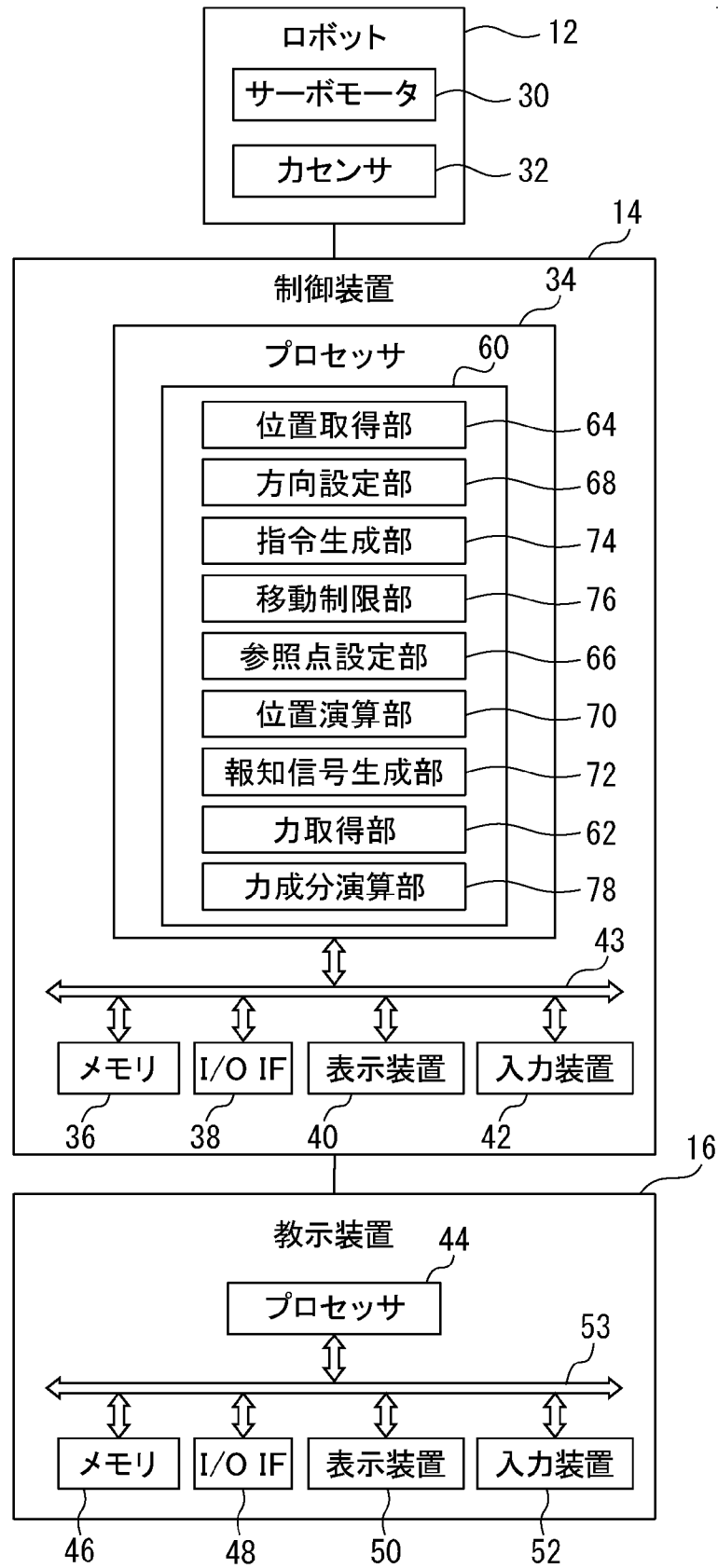
図12



[図13]

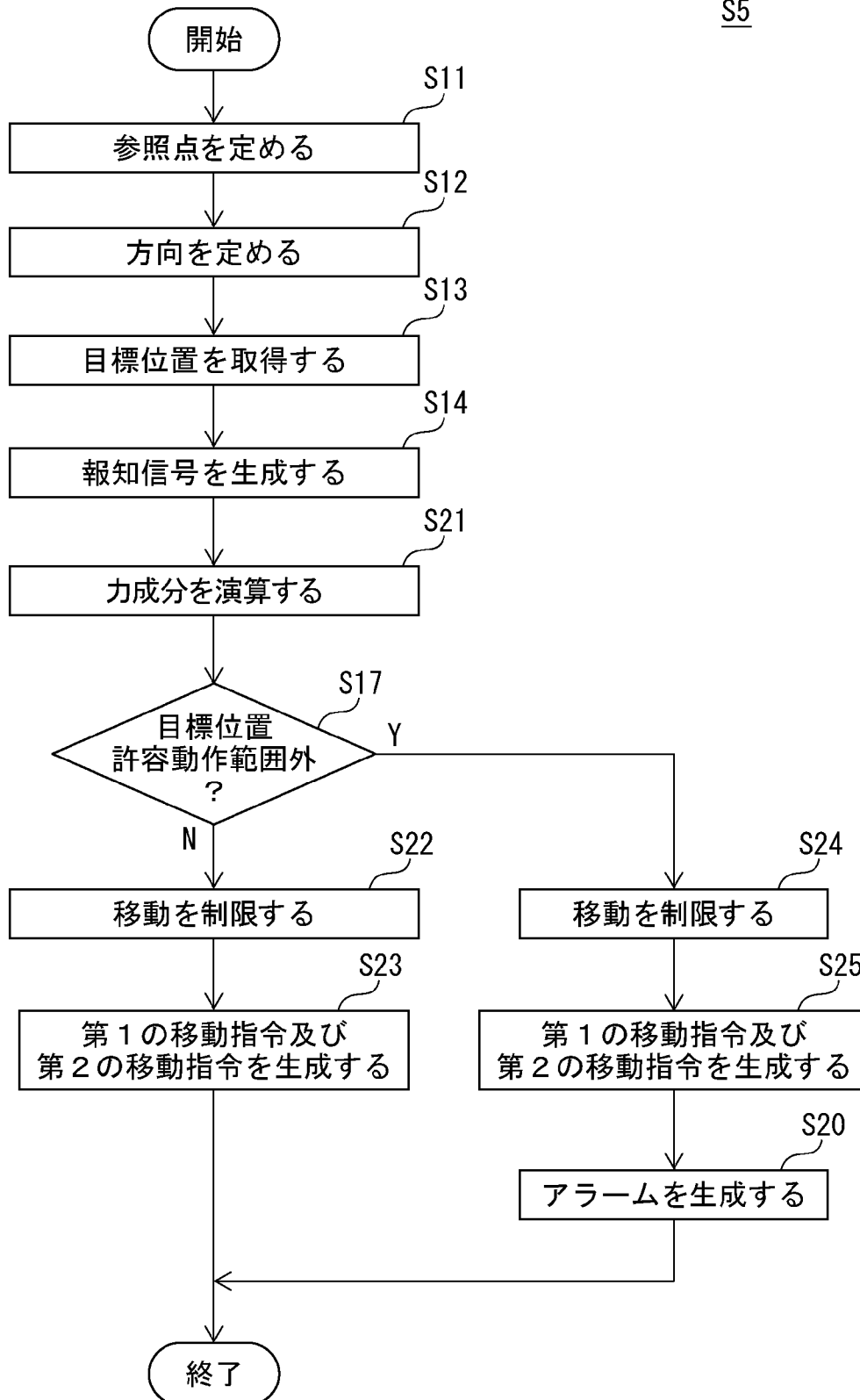
図13

10



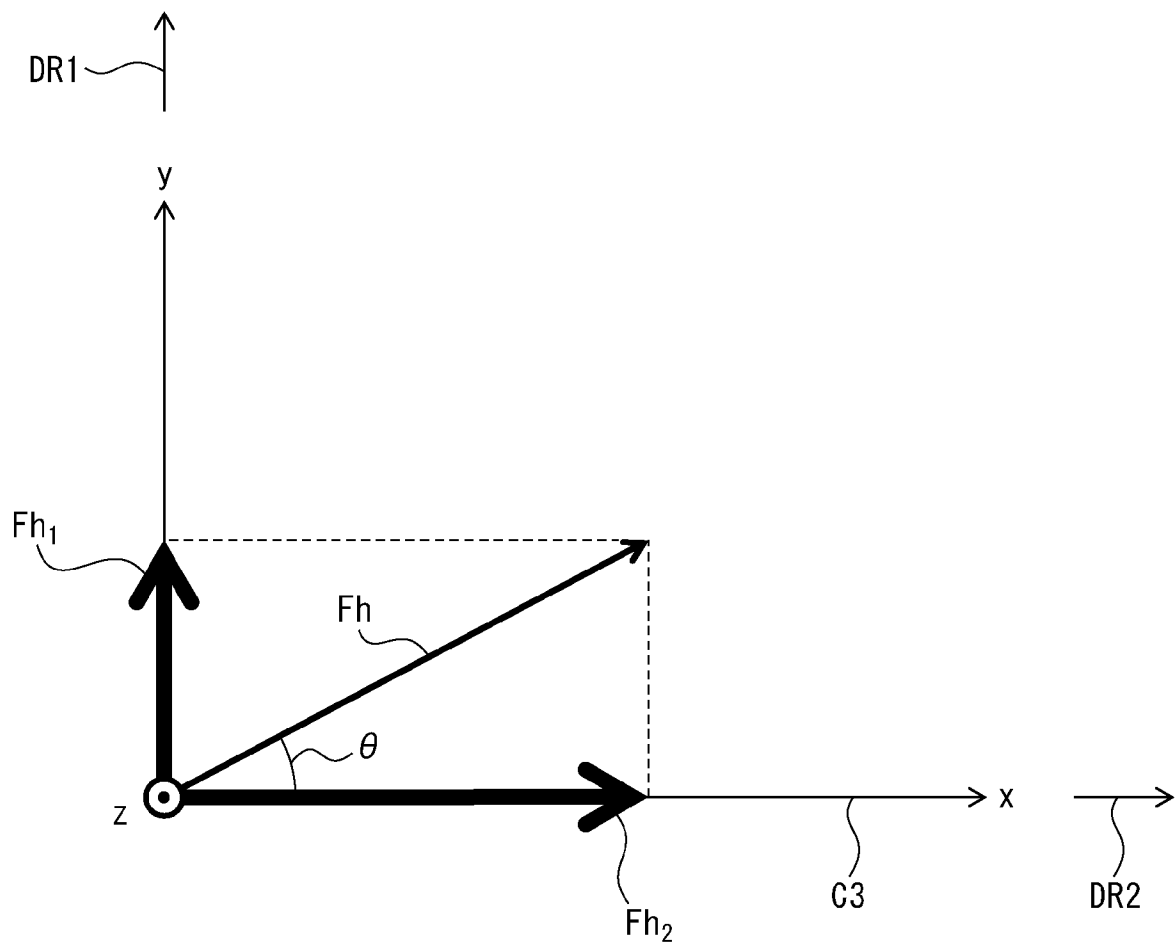
[図14]

図14

S5

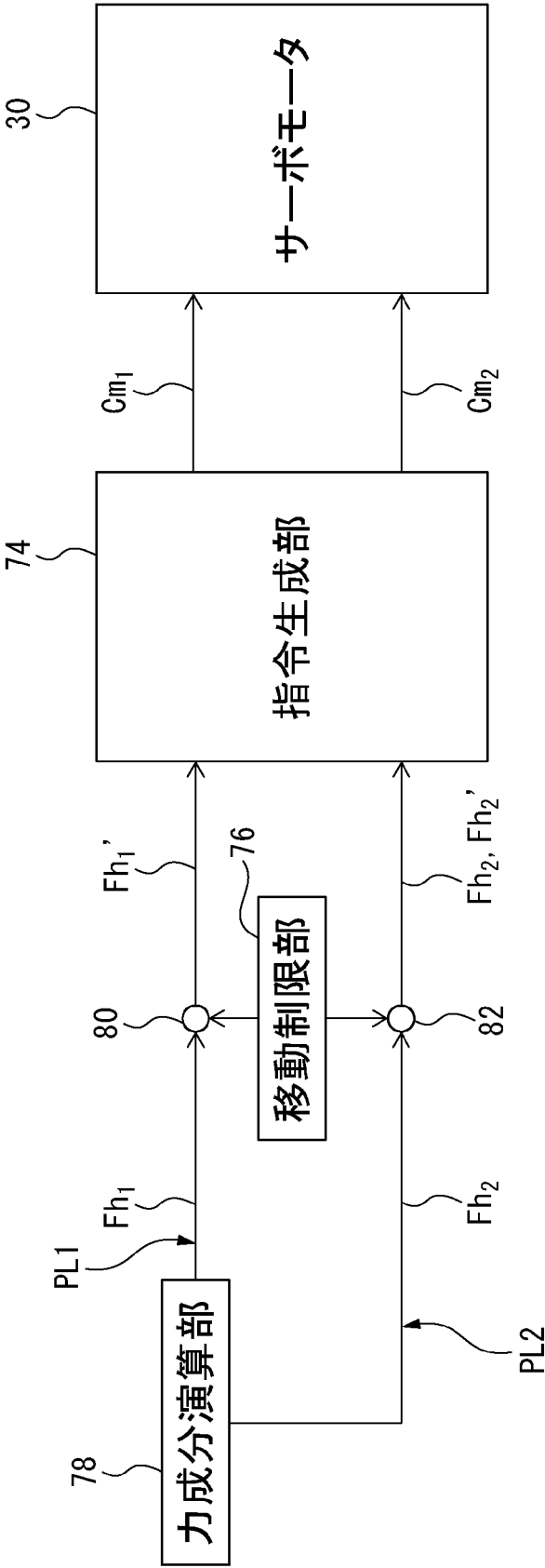
[図15]

図15



[図16]

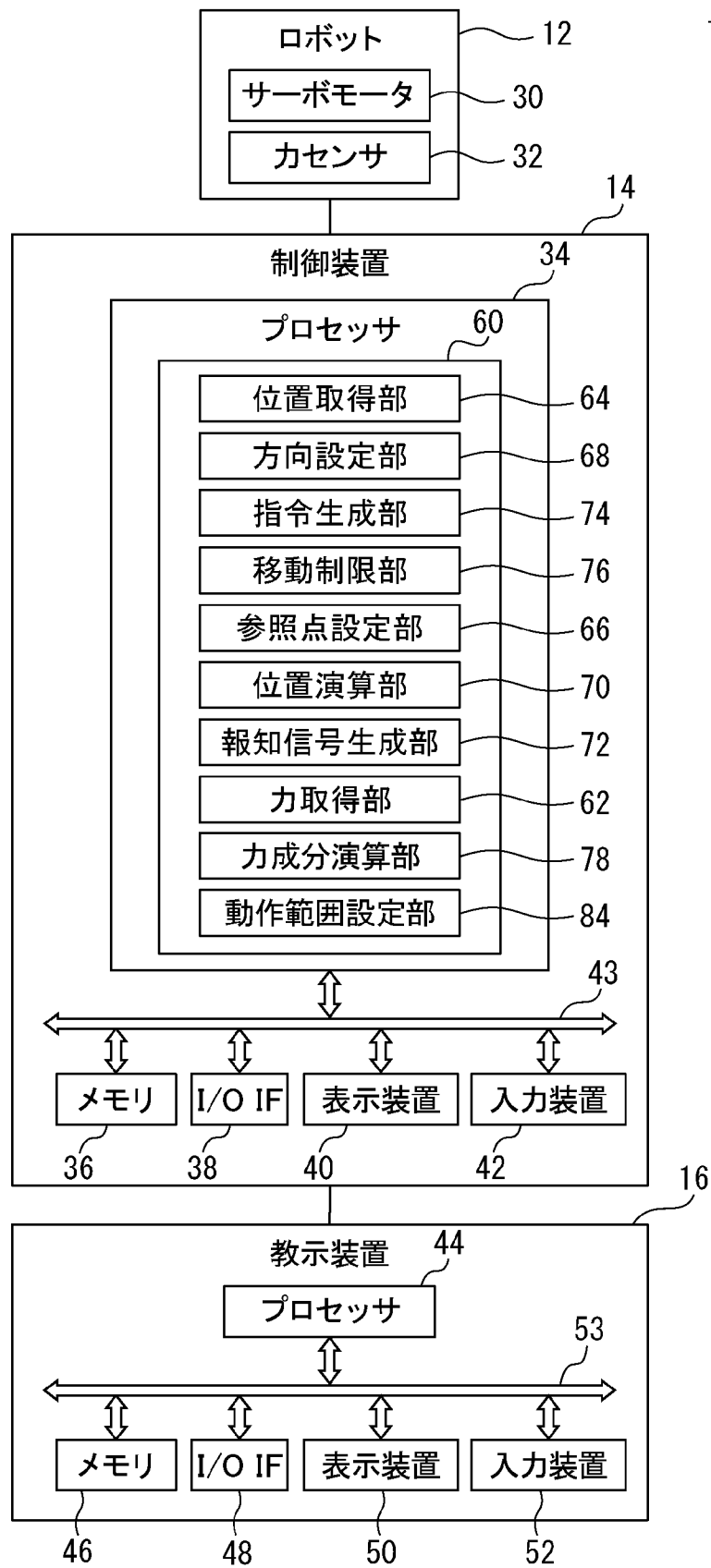
図16



[図17]

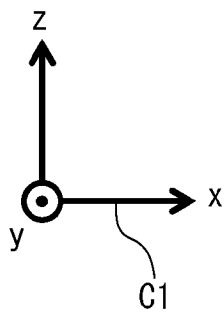
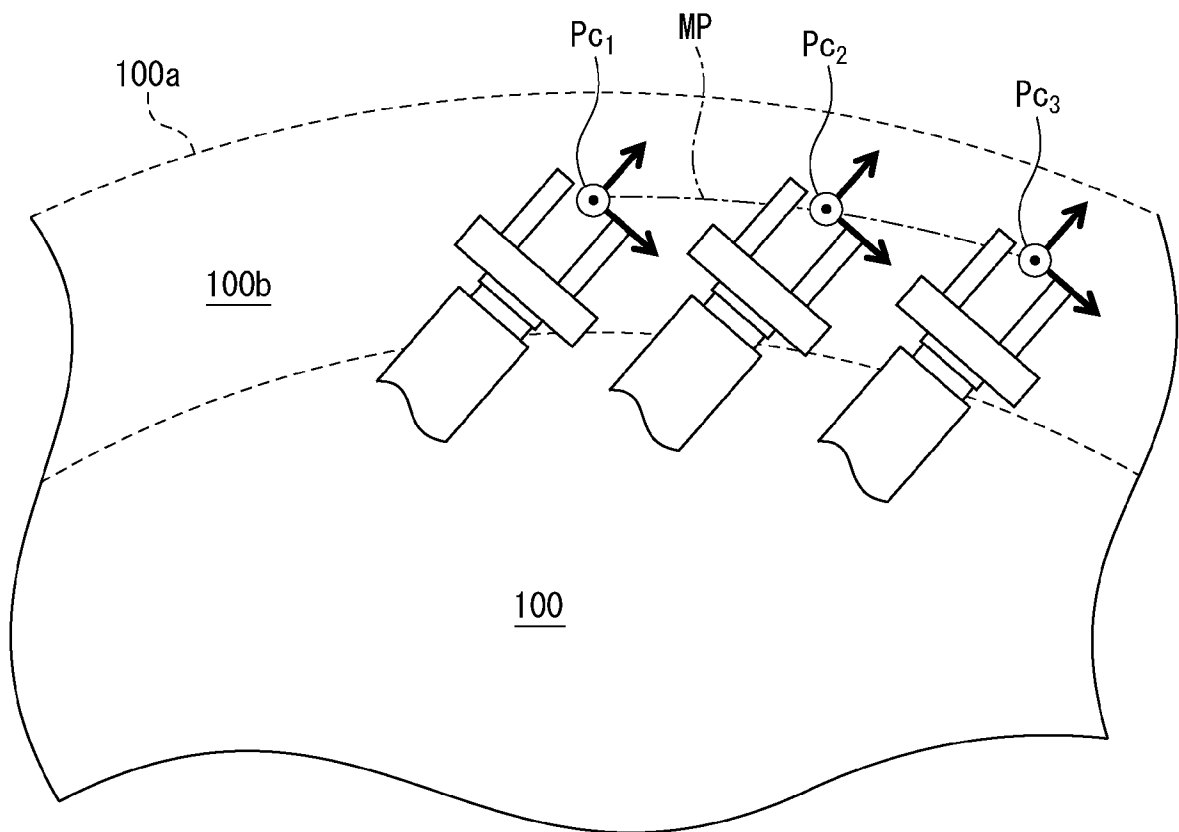
図17

10



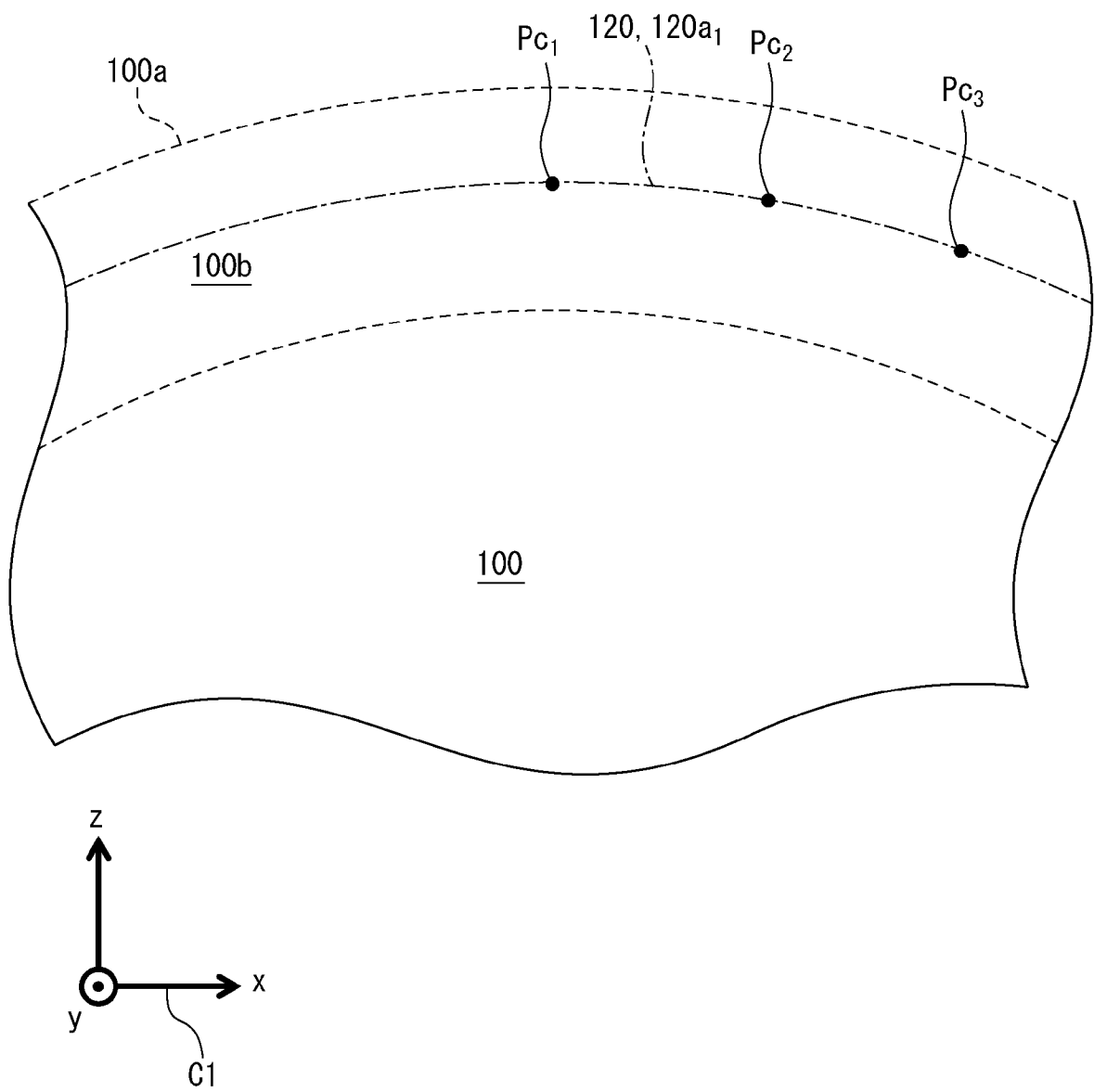
[図18]

図18



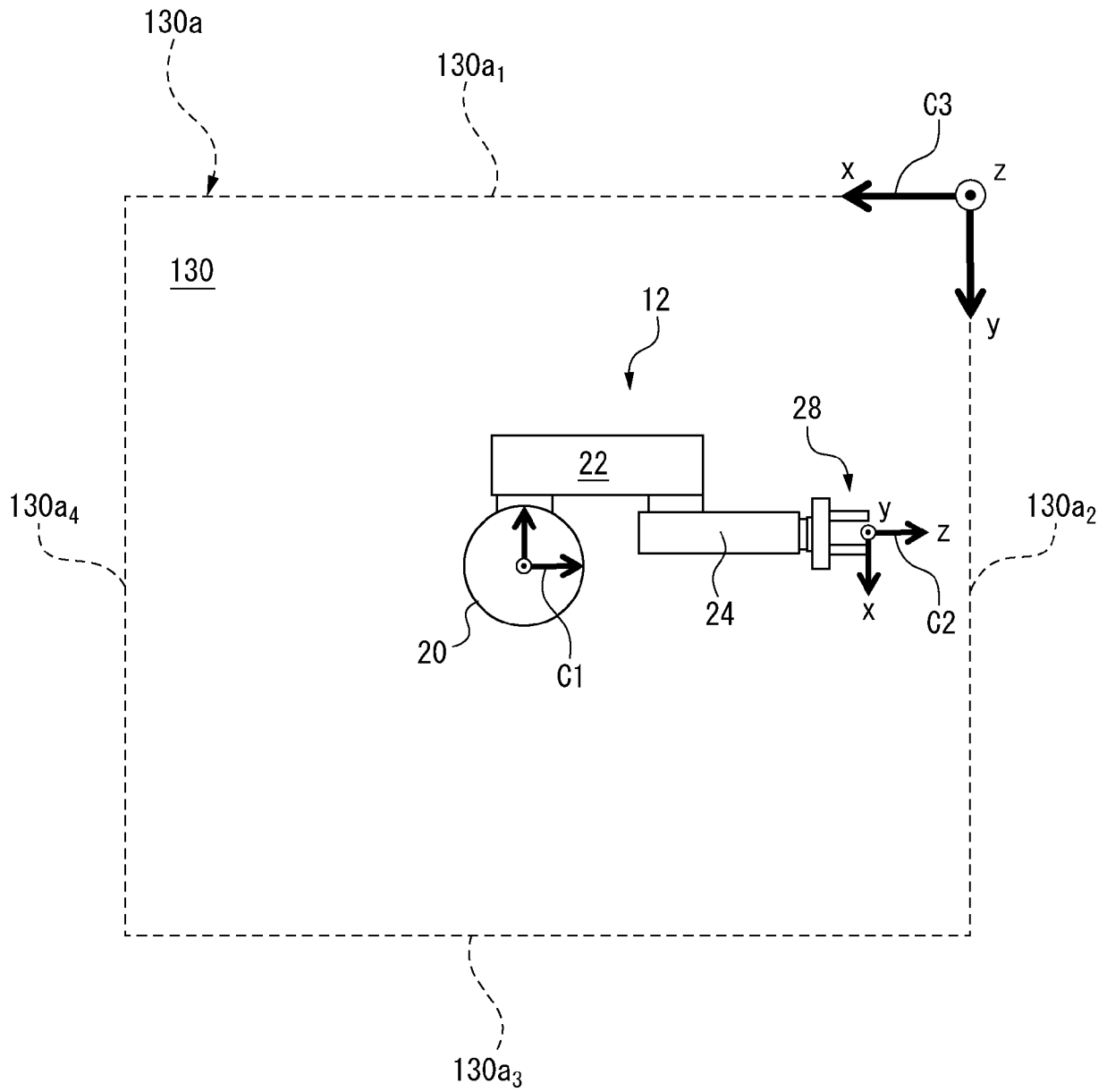
[図19]

図19



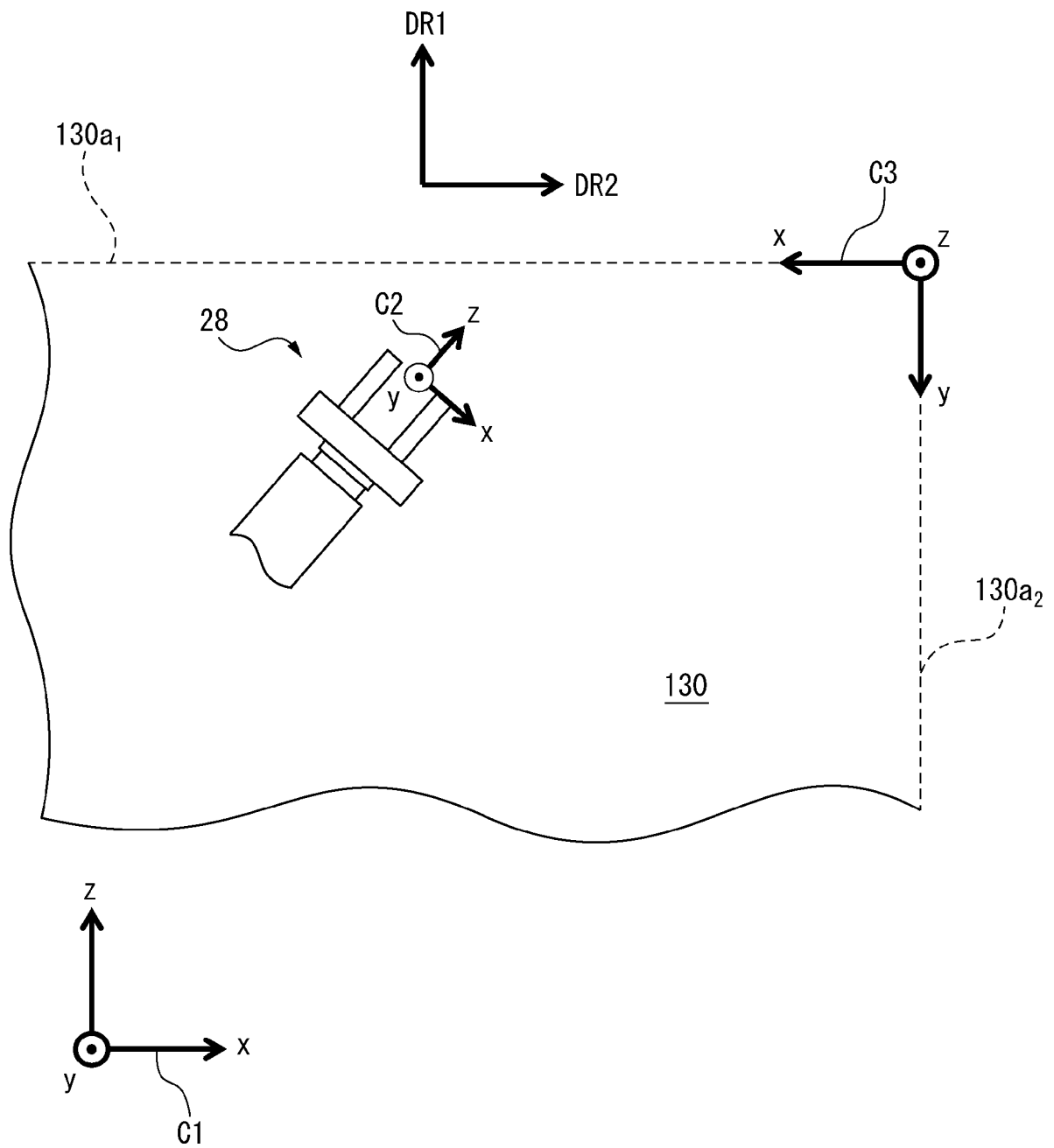
[図20]

図20



[図21]

図21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012278

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B25J 9/22**(2006.01)i

FI: B25J9/22 A

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)

B25J1/00-21/02

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	JP 2020-1137 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 09 January 2020 (2020-01-09) paragraphs [0012]-[0039], fig. 1-5	1-6, 10-14
Y		7-9
Y	JP 11-347983 A (KABUSHIKI KAISHA MEIDENSHA) 21 December 1999 (1999-12-21) paragraph [0011], fig. 6-8	7
Y	JP 11-58278 A (YASKAWA ELECTRIC MFG. CO., LTD.) 02 March 1999 (1999-03-02) paragraphs [0009]-[0013], fig. 2-3	8-9
A	JP 2020-49592 A (DENSO WAVE INCORPORATED) 02 April 2020 (2020-04-02) entire text, all drawings	1-14



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

“T” 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

16 May 2023

Date of mailing of the international search report

30 May 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/012278

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-1137	A	09 January 2020	(Family: none)	
JP	11-347983	A	21 December 1999	(Family: none)	
JP	11-58278	A	02 March 1999	(Family: none)	
JP	2020-49592	A	02 April 2020	US 2020/0101592 A1	
				entire text, all drawings	
				CN 110948468 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 FI: B25J9/22 A		
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）） B25J1/00-21/02 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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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	JP 2020-1137 A（三菱電機株式会社）09.01.2020（2020-01-09） 段落[0012]-[0039]，図1-5	1-6，10-14
Y		7-9
Y	JP 11-347983 A（株式会社明電舎）21.12.1999（1999-12-21） 段落[0011]，図6-8	7
Y	JP 11-58278 A（株式会社安川電機）02.03.1999（1999-03-02） 段落[0009]-[0013]，図2-3	8-9
A	JP 2020-49592 A（株式会社デンソーウェーブ）02.04.2020（2020-04-02） 全文，全図	1-14
☐ 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 16.05.2023	国際調査報告の発送日 30.05.2023	
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） 神山 貴行 3U 3428 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	

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/JP2023/012278

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2020-1137	A	09.01.2020	(ファミリーなし)	
JP	11-347983	A	21.12.1999	(ファミリーなし)	
JP	11-58278	A	02.03.1999	(ファミリーなし)	
JP	2020-49592	A	02.04.2020	US 2020/0101592 A1	
				全文, 全図	
				CN 110948468 A	