

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4328813号
(P4328813)

(45) 発行日 平成21年9月9日(2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月19日(2009.6.19)

(51) Int.Cl.

G 0 5 D 1 / 0 2 (2 0 0 6 . 0 1)

F I

G O 5 D 1 / 0 2 S

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-100000 (P2007-100000)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成19年4月6日 (2007.4.6)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2008-257531 (P2008-257531A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成20年10月23日 (2008.10.23)	(74) 代理人	100077805
審査請求日	平成21年2月4日 (2009.2.4)		弁理士 佐藤 辰彦
早期審査対象出願		(74) 代理人	100081477
			弁理士 堀 進
		(74) 代理人	100099690
			弁理士 鷲 健志
		(74) 代理人	100109232
			弁理士 本間 賢一
		(74) 代理人	100125210
			弁理士 加賀谷 剛
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 移動装置、ならびにその制御方法および制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置であって、
前記移動装置が通行することができる領域の境界の位置、前記移動装置およびその位置ならびに物体およびその位置のそれぞれを、要素空間の境界の位置、基準空間要素およびその位置ならびに第1空間要素およびその位置のそれぞれとして認識する第1処理部と、
前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置に基づき、前記第1空間要素の周囲に配置されている複数の拡張空間要素のうち、前記要素空間におけるサイズが最小または閾値以下であるという要件を満たす拡張空間要素およびその位置を第3空間要素およびその位置として認識する第2処理部と、

10

前記第1処理部の認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記基準空間要素およびその位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置と、前記第2処理部による認識結果であって前記第3空間要素およびその位置とに基づき、前記要素空間において前記基準空間要素が前記第1空間要素および前記第3空間要素との接触を回避する経路を前記目標経路として設定する第3処理部とを備えていることを特徴とする移動装置。

【請求項2】

請求項1記載の移動装置において、
前記第2処理部が前記第1空間要素から等距離に配置された、複数の同一形状かつ同一面積の領域を前記複数の拡張空間要素とし、かつ、当該複数の領域のそれぞれと前記要素

20

空間との重なり面積を当該拡張空間要素のサイズとして前記第3空間要素を認識することを特徴とする移動装置。

【請求項3】

請求項1記載の移動装置において、

前記第2処理部が前記第1空間要素から異なる方向に伸びる複数の同一形状の線分を前記複数の拡張空間要素とし、かつ、当該複数の線分のそれぞれのうち、該第1空間要素から前記要素空間の境界まで連続する部分の長さを当該拡張空間要素のサイズとして前記第3空間要素を認識することを特徴とする移動装置。

【請求項4】

請求項1～3のうちいずれか1つに記載の移動装置において、

前記第1処理部が前記移動装置に対する前記物体の相対位置の変化態様を前記要素空間における前記基準空間要素に対する前記第1空間要素の相対位置の変化態様として認識し

10

、
前記第2処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記第1空間要素およびその位置、ならびに、前記基準空間要素に対する前記第1空間要素の相対位置の変化態様に基づき、前記要素空間において当該相対位置の変化態様に応じて前記第1空間要素が断続的または連続的に拡張された結果としての空間要素およびその位置を第2空間要素およびその位置として認識し、

前記第3処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置と、前記第2処理部による認識結果であって前記第2空間要素およびその位置、ならびに、前記第3空間要素およびその位置とに基づき、前記要素空間において前記基準空間要素が前記第3空間要素に加えて前記第2空間要素との接触を回避しうる経路を前記目標経路として設定することを特徴とする移動装置。

20

【請求項5】

請求項4記載の移動装置において、

前記第2処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記基準空間要素およびその位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置に基づき、前記要素空間における前記基準空間要素と前記第1空間要素との接触可能性の有無を判定し、

前記第3処理部が前記第2処理部により当該接触可能性があると判定されたことを要件として前記目標経路を新たに設定することを特徴とする移動装置。

30

【請求項6】

目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置の動作を制御する方法であって、

前記移動装置が通行することができる領域の境界の位置、前記移動装置およびその位置ならびに物体およびその位置のそれぞれを、要素空間の境界の位置、基準空間要素およびその位置ならびに第1空間要素およびその位置のそれぞれとして認識する第1処理と、

前記第1処理における認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置に基づき、前記第1空間要素の周囲に配置されている複数の拡張空間要素のうち、前記要素空間におけるサイズが最小または閾値以下であるという要件を満たす拡張空間要素およびその位置を第3空間要素およびその位置として認識する第2処理と、

40

前記第1処理における認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記基準空間要素およびその位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置と、前記第2処理における認識結果であって前記第3空間要素およびその位置とに基づき、前記要素空間において該基準空間要素が前記第1空間要素および前記第3空間要素との接触を回避しうる経路を前記目標経路として設定する第3処理とを実行することを特徴とする方法。

【請求項7】

目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置に搭載されているコンピュータを、前記移動装置の動作を制御するための請求項1～5のうちいずれか1つに記載のシステムとして機能させることを特徴とするプログラム。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、目標経路にしたがって自律的に移動する装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットがその高機能化にともなって荷物を運搬したり、あるいは人間を目的地まで誘導したりする等の業務または作業を遂行する機会が増えており、ロボットが人間との接触を回避しながら移動する必要性が高まっている。そこで、障害物が人間であるという判定結果に基づき、ロボットの移動速度を低下させる手法が提案されている（たとえば、特許文献1参照）。また、障害物との接触を回避するためのいくつかの経路のうち目標地点までの移動距離が最短となる経路にしたがってロボットを移動させる手法が提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。

10

【特許文献1】特開2006-79325号公報

【非特許文献1】Proc. 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2000) “RRT-Connect: An Efficient Approach to Single-Query Path Planning”

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0003】

しかし、ロボットがその移動速度を低下させることにより、その周辺にいる人間に当該ロボットの挙動変化に対する違和感を覚えさせてしまう可能性がある。このため、ロボットがその周囲にいる人間と協調しながら移動することが困難となる。

【0004】

また、ロボットがどのようにその目標経路を設定しているか、ひいてはロボットがどのように方向を変化させるかは人間にとって不明瞭である。したがって、人間が、たとえばロボットに向かって右側に位置をずらすと予測して左側に位置をずらしたとき、当該ロボットも向かって右側に位置をずらす場合がある。すなわち、人間の誤った予測に基づく挙動変化により、人間とロボットとが接触する可能性がかえって高くなる場合がある。このため、ロボットがその周囲にいる人間と協調しながら移動することが困難となる。

30

【0005】

そこで、本発明は、移動装置との接触を回避する観点から人間等の物体にその挙動を不適当に変化させる事態を回避することにより、当該物体との接触を確実に回避して移動または行動しうる移動装置等を提供することを解決課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するための本発明の移動装置は、目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置であって、前記移動装置が通行することができる領域の境界の位置、前記移動装置およびその位置ならびに物体およびその位置のそれぞれを、要素空間の境界の位置、基準空間要素およびその位置ならびに第1空間要素およびその位置のそれぞれとして認識する第1処理部と、前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置に基づき、前記第1空間要素の周囲に配置されている複数の拡張空間要素のうち、前記要素空間におけるサイズが最小または閾値以下であるという要件を満たす拡張空間要素およびその位置を第3空間要素およびその位置として認識する第2処理部と、前記第1処理部の認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記基準空間要素およびその位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置と、前記第2処理部による認識結果であって前記第3空間要素およびその位置とに基づき、前記要素空間において前記基準空間要素が前記第1空間要素および前記第3空間要素との接触を回避しうる経路を前記目標経路として設定する第3処理部とを備えていることを特徴とす

40

50

る（第1発明）。

【0007】

第1発明の移動装置によれば、第1空間要素の周囲に配置されている複数の拡張空間要素のうち、要素空間におけるサイズに関する要件を満たす「第3空間要素」との接触を回避する経路が目標経路として設定される。要素空間における「空間要素」とは当該要素空間における位置、速度および加速度等の状態が定義されうる「点」、当該要素空間における位置等に加えてさらに形状および長さ等の状態が定義されうる「線分」、ならびに、当該要素空間における位置等に加えてさらに形状および面積等の状態が定義されうる「領域」等を意味する。さらに、第1空間要素の周辺に配置された拡張空間要素の要素空間におけるサイズの大小は、当該第1空間要素として認識された物体と、当該要素空間として

10

【0008】

したがって、移動装置を、物体から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって移動させることができる。このため、人間等の物体に、通路の壁面等、通行可能領域の境界に対する当該物体の位置に基づき、移動装置の挙動を予測させることができる。そして、物体に当該予測に基づき、違和感等を抱かせることなく移動装置との接触を回避する観点から適当な挙動または挙動変化を促すことができる。

【0009】

20

なお、本発明の構成要素が情報を「認識する」とは、当該構成要素が情報をデータベースから検索すること、メモリ等の記憶装置から情報を読み取ること、センサ等の出力信号に基づき情報を測定、算定、推定すること、測定等された情報をメモリに格納すること等、当該情報をさらなる情報処理のために準備または用意するために必要なあらゆる情報処理を実行することを意味する。また、一の物体に他の物体が取り付けられている等、複数の物体が一体的に移動するような場合、当該物体がまとめられて第1空間要素として認識されうる。

【0010】

第1発明の移動装置において、前記第2処理部が前記第1空間要素から等距離に配置された、複数の同一形状かつ同一面積の領域を前記複数の拡張空間要素とし、かつ、当該複数の領域のそれぞれと前記要素空間との重なり面積を当該拡張空間要素のサイズとして前記第3空間要素を認識してもよい（第2発明）。

30

【0011】

第2発明の移動装置によれば、第1空間要素の周辺に配置されている拡張空間要素としての各領域と要素空間との重なり面積の広狭により表される、物体から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって、移動装置を移動させることができる。

【0012】

第1発明の移動装置において、前記第2処理部が前記第1空間要素から異なる方向に伸びる複数の同一形状の線分を前記複数の拡張空間要素とし、かつ、当該複数の線分のそれぞれのうち、該第1空間要素から前記要素空間の境界まで連続する部分の長さを当該拡張空間要素のサイズとして前記第3空間要素を認識してもよい（第3発明）。

40

【0013】

第3発明の移動装置によれば、第1空間要素から伸びる拡張空間要素としての各線分の、第1空間要素から要素空間の境界まで連続する部分の長短により表される、物体から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって、移動装置を移動させることができる。

【0016】

第1～第3発明のうちいずれか1つの移動装置において、前記第1処理部が前記移動装置に対する前記物体の相対位置の変化態様を前記要素空間における前記基準空間要素に対

50

する前記第1空間要素の相対位置の変化態様として認識し、前記第2処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記第1空間要素およびその位置、ならびに、前記基準空間要素に対する前記第1空間要素の相対位置の変化態様に基づき、前記要素空間において当該相対位置の変化態様に応じて前記第1空間要素が断続的または連続的に拡張された結果としての空間要素およびその位置を第2空間要素およびその位置として認識し、前記第3処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置と、前記第2処理部による認識結果であって前記第2空間要素およびその位置、ならびに、前記第3空間要素およびその位置とに基づき、前記要素空間において前記基準空間要素が前記第3空間要素に加えて前記第2空間要素との接触を回避しうる経路を前記目標経路として設定してもよい（第4発明）。

10

【0017】

第4発明の移動装置によれば、要素空間において基準空間要素に対する第1空間要素の挙動状態に基づいて当該第1空間要素が拡張された結果としての空間要素が第2空間要素として認識される。第1空間要素の挙動状態は、時々刻々変化する位置、速度および加速度等のうち一部または全部により特定される。このため、第2空間要素は第1空間要素よりもサイズまたは広がり大きい空間要素として認識される。

【0018】

また、基準空間要素が第2空間要素との接触を回避しうる目標経路が設定される。したがって、基準空間要素が第1空間要素等の第2空間要素よりも狭い空間要素との接触を回避しうる目標経路が設定される場合よりも、移動装置が物体の挙動状態に鑑みて当該物体と接触することをより確実に回避する観点から適当な目標経路が設定される。

20

【0019】

第4発明の移動装置において、前記第2処理部が前記第1処理部による認識結果のうち前記要素空間の境界の位置、前記基準空間要素およびその位置、ならびに、前記第1空間要素およびその位置に基づき、前記要素空間における前記基準空間要素と前記第1空間要素との接触可能性の有無を判定し、前記第3処理部が前記第2処理部により当該接触可能性があると判定されたことを要件として前記目標経路を新たに設定してもよい（第5発明）。

【0020】

第5発明の移動装置によれば、要素空間において第1空間要素は第2空間要素よりもサイズまたは広がり小さい空間要素として認識され、基準空間要素が第1空間要素に接触する可能性があることが新たな目標経路の設定要件とされている。このため、基準空間要素が第2空間要素等、第1空間要素よりもサイズ大きい空間要素に接触する可能性があることが新たな目標経路の設定要件とされている場合より、目標経路の変更頻度、ひいては移動装置の方向変換等の挙動変化の頻度が低く抑制される。そして、移動装置の挙動変化に応じて物体の挙動変化が誘発され、両者が接触する可能性がかえって高くなる可能性を低下させることができる。

30

【0021】

前記課題を解決するための本発明の方法は、目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置の動作を制御する方法であって、第1発明の移動装置における第1、第2および第3処理を実行することを特徴とする（第6発明）。

40

【0022】

第6発明の方法によれば、移動装置を、物体から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって移動させることができる。

【0023】

前記課題を解決するための本発明のプログラムは、目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置に搭載されているコンピュータを、目標経路にしたがって自律的に移動する移動装置に搭載されているコンピュータを、前記移動装置の動作を制御するための第1～第5発明のうちいずれか1つのシステムとして機能させることを特徴とする（第7発明）。

50

【0024】

第7発明のプログラムによれば、物体から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって移動装置が移動するようにその挙動を制御するシステムとして、当該移動装置に搭載されているコンピュータを機能させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

本発明の移動装置等の実施形態について図面を用いて説明する。

【0026】

移動装置としてのロボット1は基体（胴体部）P0と、基体P0の上部に設けられた頭部P1と、基体P0の上部左右両側から延設された左右の腕部P2と、腕部P2の先端部に設けられた手部P4と、基体P0の下部から下方に延設された左右の脚部P3と、脚部P3の先端部に取り付けられている足部P5とを備えている。ロボット1は、再表03／090978号公報や、再表03／090979号公報に開示されているように、アクチュエータM（図2参照）から伝達される力によって、人間の肩関節、肘関節、手根関節、股関節、膝関節、足関節等の複数の関節に相当する複数の関節部分において腕部P2や脚部P3を屈伸運動させることができる。ロボット1は、左右の脚部P3（または足部P5）のそれぞれの離床および着床の繰り返しを伴う動きによって自律的に移動することができる。基体P0の鉛直方向に対する傾斜角度が調節されることによって、頭部P1の高さが調節される。頭部P1には、左右に並んでロボット1の前方に向けられた一対の頭カメラ（CCDカメラ）C1が搭載されている。基体P0には前側下部に腰カメラ（赤外線カメラ）C2が搭載されている。ロボット1には基体P0の加速度に応じた信号を出力するジャイロセンサ、各関節の関節角度に応じた信号を出力するロータリエンコーダ、脚部P3に作用する床反力に応じた信号を出力する6軸力センサ等、種々のセンサS（図2参照）が搭載されている。

【0027】

ロボット1はその腕部P2および脚部P3等の動作を制御する制御システム10を備えている。制御システム10は、ハードウェアとしてのECUまたはコンピュータ（CPU，ROM，RAM，I/O等により構成されている。）と、ソフトウェアとしての本発明の「制御プログラム」とにより構成されている。制御プログラムはコンピュータのメモリに予め格納されていてもよいが、ロボット1からサーバに要求信号が送信されたことに応じて当該サーバによって制御プログラムがネットワークや人工衛星を介して当該コンピュータに配信または放送された上でそのメモリに格納されてもよい。

【0028】

図2に示されている制御システム10は第1処理部11と、第2処理部12と、第3処理部13とを備えている。

【0029】

第1処理部11は環境データベース112に無線方式でアクセスすることによって、ロボット1が通行することができる領域を要素空間QSとして認識する。環境データベース112には、ロボット1が通行可能な領域の形状、面積等を示すデータが管理されている。なお、環境データベース112が制御システム10の一部としてロボット1に搭載されていてもよい。また、第1処理部11はセンサS等の出力信号に基づき、ロボット1ならびにその位置および速度等の挙動状態を要素空間QSにおける基準空間要素Q₀およびその挙動状態として認識する。さらに、第1処理部11は頭カメラC1および腰カメラC2のうち一方または両方により撮像された、ロボット1の周辺画像に基づき、物体xおよびその位置および速度等の挙動状態を、要素空間QSにおける第1空間要素Q₁およびその挙動状態として認識する。

【0030】

第2処理部12は第1処理部11による認識結果に基づき、第1空間要素Q₁をその挙動状態に応じて拡張した結果としての空間要素を第2空間要素Q₂として認識する。また

、第2処理部12は第1処理部11による認識結果に基づき、第1空間要素 Q_1 の周囲に配置されている複数の拡張空間要素 EQ_i ($i=1, 2, \dots$)のうち、要素空間 QS におけるサイズに関する要件を満たす拡張空間要素を第3空間要素 Q_3 として認識する。

【0031】

第3処理部13は第1処理部11および第2処理部12のそれぞれによる認識結果に基づき、要素空間 QS において基準空間要素 Q_0 が第1空間要素 Q_1 、第2空間要素 Q_2 および第3空間要素 Q_3 との接触を回避しうる経路を、実空間または通行可能領域におけるロボット1の目標経路 R_k として設定する。

【0032】

続いて、前記構成のロボットの機能について説明する。図4に示されているように左右を壁で挟まれた廊下（通行可能領域）で、ロボット1および物体（人間） x がお互いに向かい合いながら移動している状況を考える。この場合、ロボット1はたとえば図5に一点鎖線で示されている目標経路 R_k にしたがって歩行または走行している。目標経路 R_k は初期状態（ $k=0$ ）では予め設定されており、その後、後述するように第3処理部13によって逐次更新設定される。

【0033】

まず第1処理部11が「第1処理」を実行する（図3／S010）。具体的には、第1処理部11は環境データベース112に無線方式でアクセスすることによって、ロボット1が通行することができる領域を要素空間 QS として認識する（図3／S012）。これにより、たとえば図4に示されている廊下および固定構造物の形状に応じた、図5に示されているような形状および面積を有する要素空間 QS が認識される。

【0034】

また、第1処理部11はセンサ S 等の出力信号に基づき、ロボット1ならびにその位置および速度等の挙動状態を要素空間 QS における基準空間要素 Q_0 およびその挙動状態として認識する（図3／S014）。これにより、ロボット1ならびにその位置および速度のそれぞれが、たとえば図5に示されている要素空間 QS における基準空間要素（微小な円形領域） Q_0 、基準位置（当該円形領域の中心） O および基準速度 v_0 のそれぞれとして認識される。後述するように頭カメラ $C1$ や腰カメラ $C2$ を通じて得られた画像に基づき測定される物体 x の位置は、ロボット1を基準とする物体 x の相対位置に該当するので、ロボット1の位置測定は省略される。なお、物体 x の測定位置が緯度および経度により表されている等、その測定位置が当該相対位置に該当しない場合、ロボット1の位置は当該相対位置の測定のために測定される。ロボット1の位置はそのGPS機能により得られる緯度および経度を表す信号や、ジャイロセンサから逐次出力されるロボット1の加速度を表す信号に基づいて測定される。ロボット1の速度はロボット1の時系列的な測定位置、ジャイロセンサからの出力信号、または脚部 $P3$ の各関節角度に応じたロータリエンコーダからの出力信号および逆動力学モデル等に基づいて測定されうる。

【0035】

さらに、第1処理部11は頭カメラ $C1$ および腰カメラ $C2$ のうち一方または両方により撮像された、ロボット1の周辺画像に基づき、物体 x およびその位置および速度等の挙動状態を、要素空間 QS における第1空間要素 Q_1 およびその挙動状態として認識する（図3／S016）。これにより、物体 x ならびにその位置および速度のそれぞれが、たとえば図5に示されているように要素空間 QS における第1空間要素（円形領域） Q_1 、物体位置 p および物体速度 v として認識される。物体 x の位置は頭カメラ $P1$ 等を通じて得られたロボット1の周辺画像の解析に基づいて測定されるが、当該測定位置はロボット1を基準とした物体 x の相対位置に該当する。

【0036】

要素空間 QS における基準空間要素 Q_0 の形状およびサイズはメモリ（ロボット1の形状およびサイズが格納されている。）から読み取られることで認識されうる。また、要素空間 QS における第1空間要素 Q_1 の形状およびサイズは、頭カメラ $C1$ 等を通じて得られたロボット1の周辺画像に基づいて物体 x の種類が認識された後、当該認識結果に基づ

10

20

30

40

50

くメモリまたはデータベース（物体の種類、形状およびサイズが関連付けられて格納または管理されている。）の照会によって認識されうる。さらに、物体 x の位置は、この物体 x が有する通信装置等から送信された緯度および経度を表す信号が受信された上で、当該信号に基づいて測定または認識されてもよい。また、物体 x の速度はこの物体 x の位置の時間変化として測定されうる。要素空間 Q_S は緯度および経度により任意の点が特定される平面または曲面として定義されていてもよいが、CCDカメラ21を通じて得られる画像に基づいて認識されるロボット1の周辺における床面の傾斜角度や、段差や凹凸の有無等の形状に基づいて逐次定義されてもよい。

【0037】

ロボット1がその腕部P2により箱を持っている場合や、基体P0にロボット1に機能を付加するためのオプションとなる機器が取り付けられている場合等、当該箱や機器等の物体がロボット1と一体的に移動している状況では、当該一体的に移動しているロボット1および当該物体の形状およびサイズがロボット1の形状およびサイズとして認識されてもよい。

【0038】

ロボット1の外形特性（形状およびサイズ）に応じて拡張された、要素空間における物体 x の外形特性に応じた領域が第1空間要素 Q_1 として認識される。ここではロボット1および物体 x のそれぞれの外形特性に応じた、要素空間における外形特性を有する2つの領域のミンコフスキー和が第1領域 Q_1 として認識される。ロボット1および物体 x のそれぞれが図6（a）に示されているように半径 r_0 の円形状のロボット領域 q_{robot} および半径 r_1 の円形状の物体領域 q_{object} として定義されている場合、図6（b）に示されているように円形状領域として表現される当該2つの領域のミンコフスキー和 $q_{robot} + q_{object}$ が第1空間要素 Q_1 として認識される。ロボット領域 q_{robot} の中心が物体領域 q_{object} の輪郭をなぞるようにロボット領域 q_{robot} を物体領域 q_{object} の周囲で移動させた場合、ロボット領域 q_{robot} のうち物体領域 q_{object} からはみ出した部分が描く環状の領域と、物体領域 q_{object} との和がミンコフスキー和（＝半径 $r_0 + r_1$ の円形状領域）に該当する。ロボット領域 q_{robot} の形状およびサイズはロボット1のサイズ（または形状およびサイズ）に応じてメモリに予め格納されており、当該メモリから読み出されることにより認識される。物体領域 q_{object} はCCDカメラ21を通じて得られた画像に基づいて認識される物体 x のサイズ（または形状およびサイズ）に応じた広がりをもつ領域として認識される。なお、物体領域 q_{object} がそのまま第1空間要素 Q_1 として認識されてもよく、ミンコフスキー和とは異なる方法によりロボット領域 q_{robot} のサイズ等の外形特性に応じて拡張された物体領域 q_{object} が第1空間要素 Q_1 として認識されてもよい。

【0039】

また、第2処理部12が「第2処理」を実行する（図3／S020）。具体的には、第2処理部12は、第1空間要素 Q_1 が、要素空間 Q_S における基準空間要素 Q_0 からの移動コストに関する「第1接触条件」を満足しているか否かを判定する（図3／S022）。

【0040】

移動コストは要素空間 Q_S において基準空間要素 Q_0 が第1空間要素 Q_1 に接触するまでの所要時間および移動距離のうち一方または両方の関数として第2処理部12により評価される。図5に示されている基準空間要素 Q_0 と、第1空間要素 Q_1 との直線距離もしくは目標経路（一点鎖線） R_k に沿った距離 d 、基準空間要素 Q_0 および第1空間要素 Q_1 のそれぞれが基準速度 v_0 および物体速度 v を維持したまま移動し、基準空間要素 Q_0 および第1空間要素 Q_1 に接するまでの所要時間 $t = (d / |v_0 - v|)$ 、または当該距離 d および所要時間 t のうち一方もしくは両方の増加関数が移動コストとして評価される。たとえば「移動コストが規定範囲 $\{0, \varepsilon_+ (> 0)\}$ にあること」という第1接触条件が採用されている。

【0041】

さらに、第2処理部12は第1空間要素 Q_1 が第1接触条件を満足すると判定した場合（図3／S022・YES）、当該第1空間要素 Q_1 が目標経路 R_k との位置関係に関する

「第2接触条件」を満たしているか否かを判定する（図2／S024）。

【0042】

たとえば「目標経路 R_K との交点または接点が存在すること」が第2接触条件として採用されている場合、図5に示されている状況では第1空間要素 Q_1 はロボット1の目標経路 R_K と交わっているため、第2接触条件を満たしていると判定される。なお「第1空間要素 Q_1 までの最短距離またはその目標経路 R_K の一部もしくは全部に沿った累積または積分が所定値以下であること」や「基準位置 O における目標経路 R_K の接線（基準空間要素 Q_0 の移動方向に延びている。）と第1空間要素 Q_1 との交点または接点が存在すること」等が第2接触条件として採用されてもよい。

【0043】

第2処理部12は第1空間要素 Q_1 が第1接触条件に加えて第2接触条件も満足していると判定した場合（図3／S024・YES）、第1処理部11による認識結果に基づき、第1空間要素 Q_1 をその挙動状態に応じて拡張した結果としての空間要素を第2空間要素 Q_2 として認識する（図3／S026）。たとえば図7（a）左側に示されている第1空間要素 Q_1 が基準速度 v_0 に対する物体速度 v の相対速度（ベクトル） $v - v_0$ に応じた方向に連続的に引き伸ばされた結果として、図7（a）右側に示されているほぼまっすぐな帯状の第2空間要素 Q_2 が認識される。第1空間要素 Q_1 の引き伸ばし量は、第1空間要素の速度 v 、物体位置（相対位置） p （ $= p - O$ ）、および相対速度 $v - v_0$ に基づき、次式（1）にしたがって設定される。

【0044】

$$(\text{引き伸ばし量}) = |p| \cdot |v| / |v - v_0| \cdots (1)$$

また、図7（b）左側に示されている第1空間要素 Q_1 が相対速度 $v - v_0$ にしたがって旋回するように連続的に引き伸ばされた結果として、図7（b）右側に示されている屈曲した帯状の第2空間要素 Q_2 が認識される。前述した図5に示されている状況において、図8（b）に示されているような第2空間要素 Q_2 が認識される。なお、図7（c）左側に示されている第1空間要素 Q_1 が相対速度 $v - v_0$ に応じた方向に断続的に引き伸ばされた結果として、図7（c）右側に示されている分離した空間要素からなる第2空間要素 Q_2 が認識されてもよい。

【0045】

また、第2処理部12は第1処理部11による認識結果に基づき、第1空間要素 Q_1 の周囲に配置されている複数の拡張空間要素 EQ_i （ $i = 1, 2, \dots$ ）のうち、要素空間 Q_S におけるサイズに関する要件を満たす拡張空間要素を第3空間要素 Q_3 として認識する（図3／S028）。

【0046】

たとえば、図8（a）に示されているように第1空間要素 Q_1 の進行方向を前として、前後左右において第1空間要素 Q_1 に外接する4つの円形状領域のそれぞれが拡張空間要素 $EQ_1 \sim EQ_4$ として設定される。さらに、当該4つの拡張空間要素 $EQ_1 \sim EQ_4$ のうち、要素空間 Q_S との重なり領域（図8（a）斜線部分参照。）の面積が最小の拡張空間要素 EQ_2 が、第3空間要素 Q_3 として認識される。当該面積は、たとえばモンテカルロ法にしたがって測定される。すなわち、要素空間 Q_S にランダムにドットが配置され、各拡張空間要素（領域） $EQ_1 \sim EQ_4$ のそれぞれに包含されるドットの数のカウントされ、当該カウント数が各領域の面積として測定される。

【0047】

また、図9（a）に示されているように第1空間要素 Q_1 の進行方向を前として、第1空間要素 Q_1 から前後左右および斜めに伸びる8つの線分のそれぞれが拡張空間要素 $EQ_1 \sim EQ_8$ として設定されてもよい。さらに、当該8つの拡張空間要素 $EQ_1 \sim EQ_8$ のうち、第1空間要素 Q_1 から要素空間 Q_S の境界まで連続する部分（図9（a）太線部分参照。）の長さが最小の拡張空間要素 EQ_3 が、第3空間要素 Q_3 として認識されてもよい。

【0048】

なお、ロボット1が物体 x の両脇のうち一方を通るという観点から、拡張空間要素 EQ

10

20

30

40

50

が物体 x の進行方向側方にのみ、すなわち、図 8 (a) における拡張空間要素 $E Q_2$ および $E Q_4$ または図 9 (a) における拡張空間要素 $E Q_3$ および $E Q_7$ のみが設定されてもよい。また、拡張空間要素 $E Q_j$ のサイズ (円形状領域の場合にはその直径、線分の場合にはその長さ) はロボット 1 と物体 x とが接触を回避する観点から適当に設定されている。さらに、拡張空間要素 $E Q_j$ のサイズは物体 x の速度の大きさ等に応じて可変的に設定されてもよい。また、拡張空間要素 $E Q_j$ の形状は円形状、線分のほか、扇形状、矩形状、台形状等、さまざまな形状にされてもよい。さらに、複数の拡張空間要素 $E Q_j$ のそれぞれの形状およびサイズのうち一方または両方が相違していてもよい。

【0049】

複数の拡張空間要素のうち $E Q_j$ のサイズが最小であるという要件ではなく、サイズが閾値以下であるという要件を満たす拡張空間要素 $E Q$ が第 3 空間要素 Q_3 として認識されてもよい。

【0050】

一方、第 1 接触条件または第 2 接触条件が満足されていないと判定された場合 (図 3 / S 0 2 2 ··· NO, S 0 2 4 ··· NO)、後述するようにロボット 1 が移動を終了するか否かが判定される (図 3 / S 0 4 0)。

【0051】

さらに、第 3 処理部 1 3 が「第 3 処理」を実行する (図 3 / S 0 3 0)。具体的には、第 3 処理部 1 3 は第 1 処理部 1 1 および第 2 処理部 1 2 のそれぞれによる認識結果に基づき、要素空間 $Q S$ において基準空間要素 Q_0 が第 1 空間要素 Q_1 および第 3 空間要素 Q_3 との接触を回避しうる経路を設定する (図 3 / S 0 3 2)。そして、当該経路を実空間または通行可能領域におけるロボット 1 の目標経路 R_{k+1} として設定する (図 3 / S 0 3 4)。これにより、たとえば図 8 (b) または図 9 (b) に一点鎖線で示されているように、第 2 空間要素 Q_2 および第 3 空間要素 Q_3 のそれぞれに接触しない経路 R_{k+1} がロボット 1 の新たな目標経路として設定される。

【0052】

さらに、ロボット 1 が最新の目標経路 R_{k+1} にしたがって移動するようにアクチュエータ M に供給される電流が調節されることにより、ロボット 1 の動作が制御される。これにより、図 1 0 に示されているようにロボット 1 が右側に移動方向を若干ずらし、物体 x の左側を通るようにして移動を継続する。

【0053】

また、制御システム 1 0 によってロボット 1 が移動を終了するか否かが判定される (図 3 / S 0 4 0)。たとえば、要素空間 $Q S$ において基準空間要素 Q_0 の基準位置 O および目的位置 p_d の距離 $|O - p_d|$ が閾値 δ 以下になったか否かが判定される。そして、当該判定結果が否定的である場合 (図 3 / S 0 4 0 ··· NO)、前述の第 1 ~ 第 3 処理が繰り返して実行される。その一方、当該判定結果が肯定的である場合 (図 3 / S 0 4 0 ··· YES) には一連の処理が終了する。

【0054】

前記機能を発揮するロボット 1 によれば、第 1 空間要素 Q_1 の周囲に配置されている複数の拡張空間要素 $E Q_j$ (図 8 (a)、図 9 (a) 参照) のうち、要素空間 $S Q$ におけるサイズに関する要件を満たす第 3 空間要素 Q_3 との接触を回避しうる経路が目標経路 R_{k+1} として設定される。さらに、第 1 空間要素 Q_1 の周辺に配置された拡張空間要素 $E Q_j$ の要素空間 $S Q$ におけるサイズの大小は第 1 空間要素 Q_1 として認識された物体 x と、要素空間 $S Q$ として認識された通行可能領域の境界との間隔の広狭に応じて変化する (図 4、図 5 参照)。

【0055】

したがって、ロボット 1 を、物体 x から通行可能領域の境界までの間隔の広狭に応じて変化する一貫性のある規則にしたがって移動させることができる。たとえば、ロボット 1 を、物体 x と通行可能領域の境界との間隔が広いほうに移動するという一貫性のある規則にしたがって移動させることができる (図 5、図 8 (b)、図 9 (b) 参照)。このため

、人間等の物体 x に、当該物体 x と通行可能領域の境界との間隔が広いほうにロボット 1 が移動することを予測させることができる。そして、物体 x に当該予測に基づき、違和感等を抱かせることなくロボット 1 との接触を回避する観点から適当な挙動または図 4 に示されている状態から若干身体を右側にずらす等の挙動変化を促すことができる。

【0056】

また、要素空間 Q_S において基準空間要素 Q_0 に対する第 1 空間要素 Q_1 の挙動状態に基づいて当該第 1 空間要素 Q_1 が拡張された結果としての空間要素が第 2 空間要素 Q_2 として認識される（図 7（a）～（c）参照）。第 1 空間要素 Q_1 の挙動状態は、時々刻々変化する位置、速度および加速度等のうち一部または全部により特定される。このため、第 2 空間要素 Q_2 は第 1 空間要素 Q_1 よりもサイズまたは広がり大きい空間要素として認識される。

10

【0057】

また、基準空間要素 Q_0 が第 2 空間要素 Q_2 との接触を回避しうる目標経路 R_{k+1} が設定される（図 8（b）、図 9（b）参照）。したがって、基準空間要素 Q_0 が第 1 空間要素 Q_1 等の第 2 空間要素 Q_2 よりも狭い空間要素との接触を回避しうる目標経路が設定される場合よりも、ロボット 1 が物体 x の挙動状態に鑑みて当該物体 x と接触することをより確実に回避する観点から適当な目標経路 R_{k+1} が設定される。

【0058】

また、要素空間 Q_S において第 1 空間要素 Q_1 は第 2 空間要素 Q_2 よりもサイズまたは広がり小さい空間要素として認識され、基準空間要素 Q_0 が第 1 空間要素 Q_1 に接触する可能性があることが新たな目標経路 R_{k+1} の設定要件とされている（図 3 / S 0 2 2, S 0 2 4, S 0 3 0 参照）。このため、基準空間要素 Q_0 が第 2 空間要素 Q_2 等、第 1 空間要素 Q_1 よりもサイズ大きい空間要素に接触する可能性があることが新たな目標経路 R_{k+1} の設定要件とされている場合より、目標経路 R_k の変更頻度、ひいてはロボット 1 の方向変換等の挙動変化の頻度が低く抑制される。そして、ロボット 1 の挙動変化に応じて物体 x の挙動変化が誘発され、両者が接触する可能性がかえって高くなる可能性を低下させることができる。

20

【0059】

さらに、要素空間 Q_S における第 1 空間要素 Q_1 の形状およびサイズがデータベース等への照会により認識されうる。これにより、頭カメラ C 1 等による物体 x のサイズ（または形状およびサイズ）の測定精度の限界のために物体 x がその実際のサイズに鑑みて要素空間における広がり過大な第 1 空間要素 Q_1 として認識される事態が回避されうる。そして、目標経路 R_k の変更頻度およびこれにともなうロボット 1 の移動方向等の変更頻度が低く抑制される。すなわち、頭カメラ C 1 等を通じた物体 x の外形特性認識精度の限界のためにロボット 1 の目標経路 R_k が頻繁に変更される事態が回避される。なお、移動コストに関する規定範囲の下限值として 0 ではなく正値が採用された場合、移動コストが当該下限値未満である場合には第 1 接触条件が満たされず、目標経路 R_k は変更されない（図 3 / S 0 2 2 参照）。これにより、物体 x がロボット 1 の近くにあるため、ロボット 1 の挙動を変化させると物体 x の挙動変化を誘発し、かえって両者の接触可能性が高くなる可能性がある状態で、ロボット 1 の移動方向が変更される事態が回避されうる。

30

40

【0060】

また、ロボット 1 および物体 x のそれぞれの外形特性に応じた 2 つの領域 q_0 および q のミンコフスキー和 $q_{\text{robot}} + q_{\text{object}}$ が第 1 空間要素 Q_1 として認識される（図 6（a）（b）参照）。これにより、ロボット 1 および物体 x のそれぞれのサイズおよび形状が要素空間における第 1 空間要素 Q_1 のサイズおよび形状にまとめて反映されうる。このため、要素空間 Q_S における基準空間要素 Q_0 の点または微小領域としての簡易的な取り扱い、ひいては基準空間要素 Q_0 との接触可能性がある第 1 空間要素 Q_1 の有無の判定等の容易化が図られながらも、当該判定精度の向上または維持が図られうる。

【0061】

なお、前記制御方法がロボット 1 のように左右一対の脚部 P 3 の動作によって移動する

50

ロボットのほか、3つ以上の脚体の動作によって移動するロボットや、車輪式移動ロボット（自動車）等、移動機能を有するあらゆる装置に適用されてもよい。

【0062】

前記実施形態では要素空間 Q_S におけるサイズが最小または閾値以下であるという要件を満たす拡張空間要素 $E Q_j$ が第3空間要素 Q_3 として認識されたが（図8（a）（b）、図9（a）（b）参照）、他の実施形態として要素空間 Q_S におけるサイズが最大または閾値を超えているという要件を満たす拡張空間要素 $E Q_j$ が第3空間要素 Q_3 として認識されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】 本発明の移動装置の構成説明図

【図2】 本発明の移動装置の制御システムの構成説明図

【図3】 本発明の移動装置の機能説明図

【図4】 本発明の移動装置の機能説明図

【図5】 本発明の移動装置の機能説明図

【図6】 本発明の移動装置の機能説明図

【図7】 本発明の移動装置の機能説明図

【図8】 本発明の移動装置の機能説明図

【図9】 本発明の移動装置の機能説明図

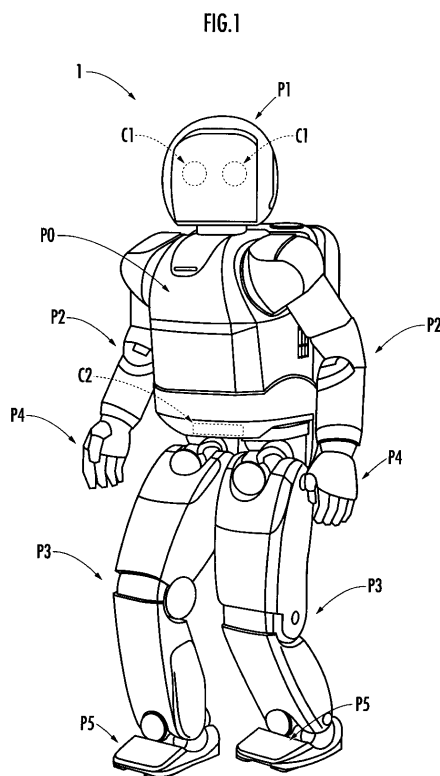
【図10】 本発明の移動装置の機能説明図

【符号の説明】

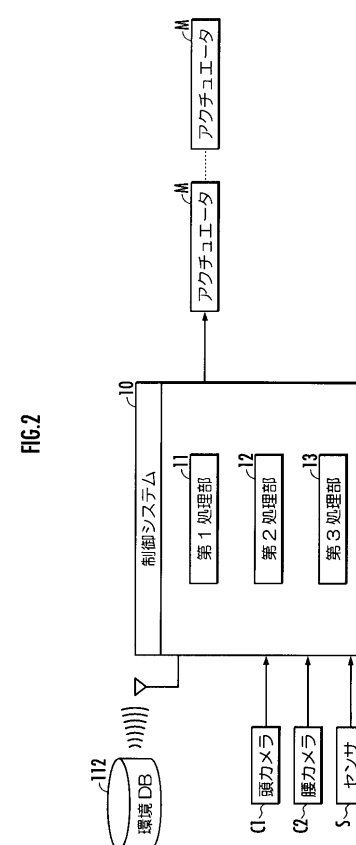
【0064】

1…ロボット（移動装置）、10…制御システム、11…第1処理部、12…第2処理部、13…第3処理部、x…人間（物体）、 Q_0 …基準空間要素、 Q_1 …第1空間要素、 Q_2 …第2空間要素、 $E Q_j$ …拡張空間要素、 Q_3 …第3空間要素

【図1】



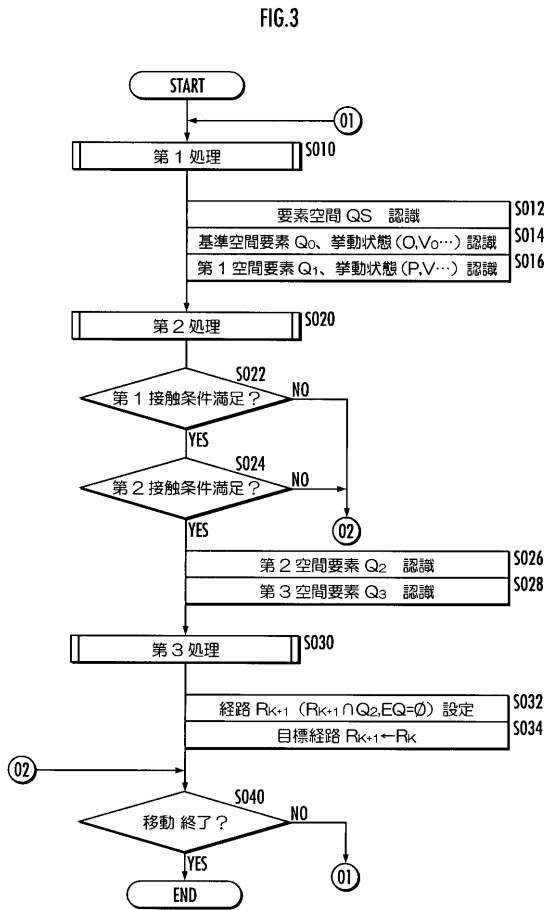
【図2】



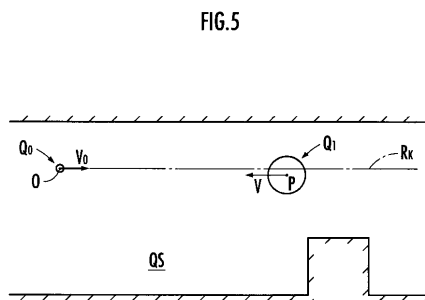
10

20

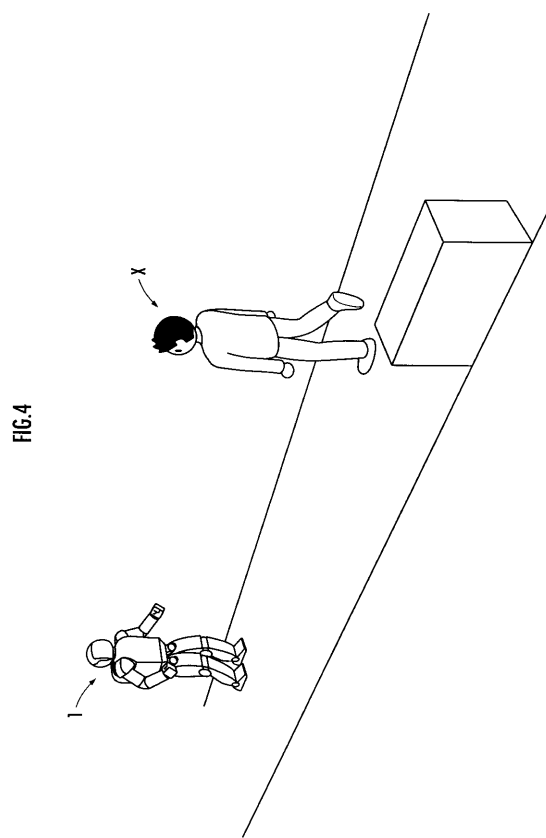
【図 3】



【図 5】



【図 4】



【図 6】

FIG.6 (a)

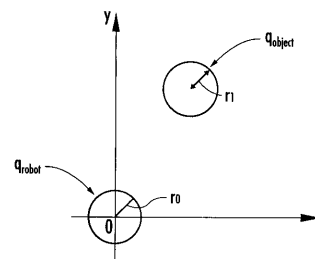
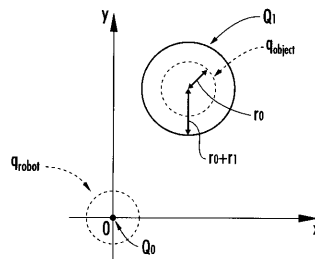
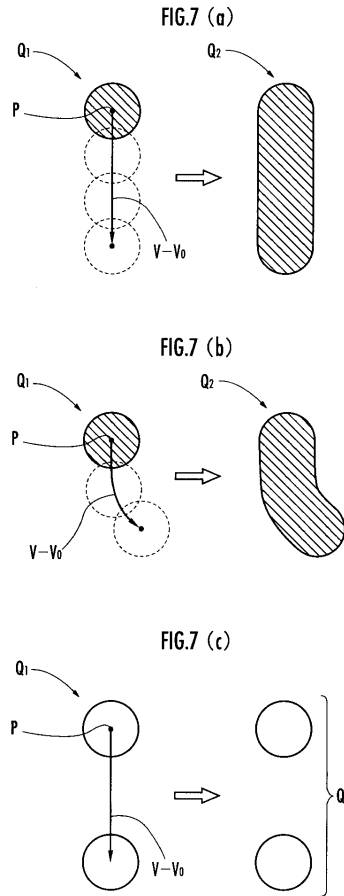


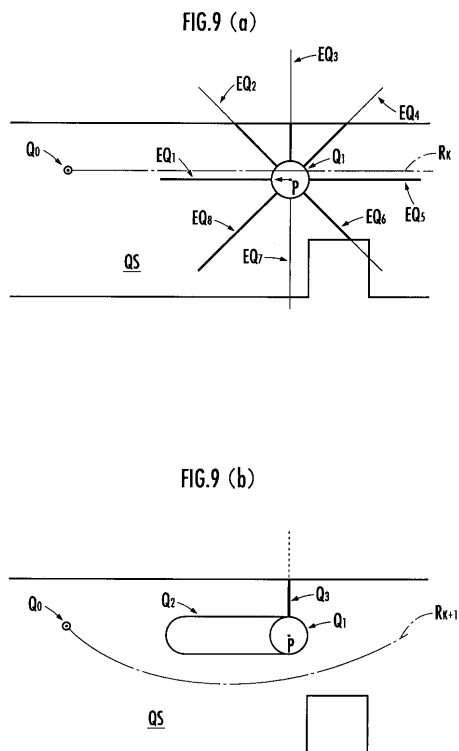
FIG.6 (b)



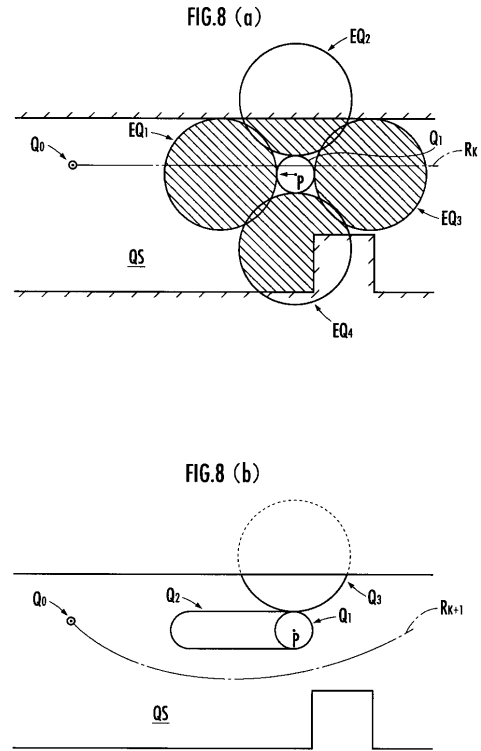
【図 7】



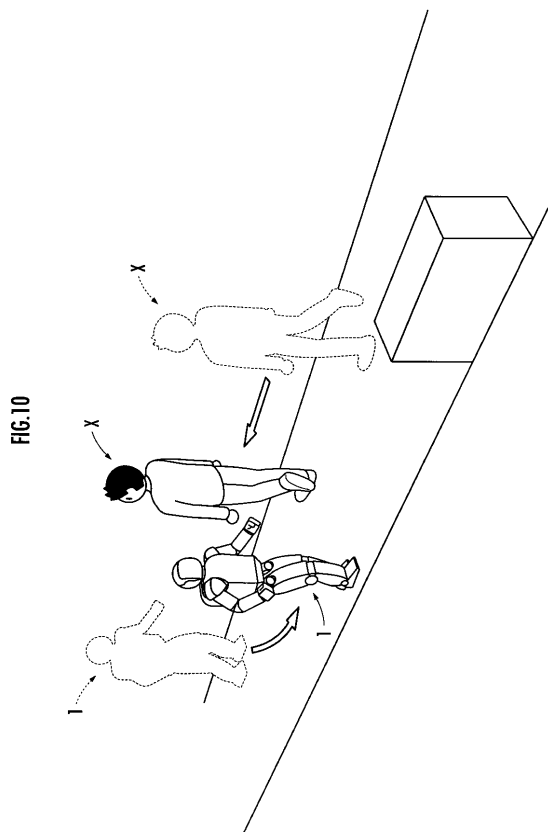
【図 9】



【図 8】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 眞

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

審査官 二階堂 恭弘

(56)参考文献 特開2006-167844 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D 1/02