

(11) 特許出願公開番号

特開2012-178162

(P2012-178162A)

(43) 公開日 平成24年9月13日(2012.9.13)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
G05D 1/02	(2006.01)	G05D 1/02		H	3B057
A47L 9/28	(2006.01)	G05D 1/02		L	5H301
		A47L 9/28		E	

審査請求 有 請求項の数 37 O L 外国語出願 (全 51 頁)

(21) 出願番号	特願2012-83706 (P2012-83706)	(71) 出願人	502432084 アイロボット コーポレーション
(22) 出願日	平成24年4月2日 (2012. 4. 2)		アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 O
(62) 分割の表示	特願2008-543546 (P2008-543546) の分割		1730, ベッドフォード, クロスビー ドライブ 8
原出願日	平成18年12月4日 (2006. 12. 4)	(74) 代理人	100078880 弁理士 松岡 修平
(31) 優先権主張番号	60/741, 442	(74) 代理人	100169856 弁理士 尾山 栄啓
(32) 優先日	平成17年12月2日 (2005. 12. 2)	(72) 発明者	オジック, ダニエル エヌ. アメリカ合衆国 マサチューセッツ O2 459, ニュートン, ウォレン スト リート 131
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

[最終頁に続く](#)

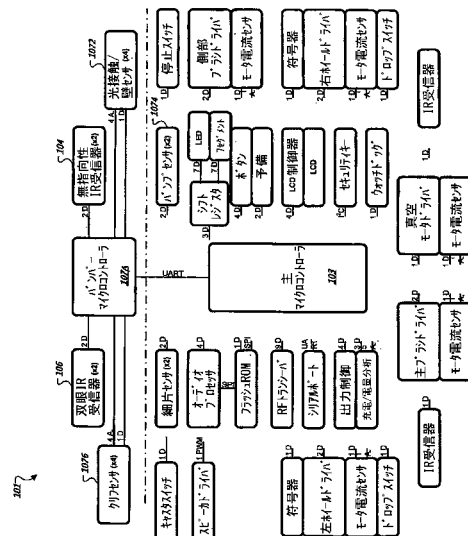
(54) 【発明の名称】 自律カバレッジロボットナビゲーションシステム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ナビゲーションビーコンにより自律モバイルロボットを隣接する有界領域に移動可能とする。

【解決手段】ナビゲーションビーコンは、第1の有界領域と、隣接する第2の有界領域との間のゲートウェイ内に配置されたナビゲーションビーコンによって、ゲートウェイマーキングエミッションを伝送するように構成されたゲートウェイビーコンエミッタを有し、自律カパレッジロボットは、ビーコンエミッションに応答するビーコンエミッションセンサ（104、106）と、ゲートウェイマーキングエミッションの検出に応じてロボットの方向を変える清掃モードで、ロボットを第1の有界領域周辺にて動かすように構成された駆動システムとを含み、駆動システムは、マイグレーションモードにおいて、ゲートウェイを通して第2の有界領域へとロボットを動かす。

【選択図】 図 2 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ナビゲーションビーコン（150、202、203、304）であって、第1の有界領域（204）と、隣接する第2の有界領域（206）との間のゲートウェイ（210）内に配置された状態で、ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）を伝送するように配置されたゲートウェイビーコンエミッタ（152）を備えたナビゲーションビーコンと、

自律カバレッジロボット（100、212、302）であって、

前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）に対応するビーコンエミッションセンサ（104、106）と、

前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）の検出に応じて前記ロボットが方向を変える清掃モードにおいて、前記ロボットを前記第1の有界領域（204）周辺にて動かすよう構成された駆動システム（130、132）と、

を備える自律カバレッジロボットと、

を備える、有界領域のための自律ロボットシステムであって、

前記駆動システム（130、132）は、マイグレーションモードにおいて、前記ロボットを前記ゲートウェイ（210）を通過して前記第2の有界領域（206）へと動かすようにも構成される、自律ロボットシステム。

【請求項 2】

前記ロボットは、前記清掃モードにおいて前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）の検出に応じた前記ロボットが方向変更の際に、前記第1の有界領域（204）内に残り、かつ／または前記駆動システム（130、132）は、前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）の接触が所定の回数検出されるまで、前記ロボットを前記清掃モードで前記第1の有界領域周辺にて動かし、次いで自動的に前記マイグレーションモードを開始するように構成される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

前記駆動システム（130、132）は、所定の時間間隔の間、前記ロボットを前記清掃モードで前記第1の有界領域（204）周辺にて動かし、前記時間間隔の終了時に自動的に前記マイグレーションモードを開始するように構成される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 4】

前記駆動システム（130、132）は、前記マイグレーションモードにおいて、前記ロボットを、前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）を横切って動かすように構成される、請求項3に記載のシステム。

【請求項 5】

前記ロボットは、前記マイグレーションモードにおいて、前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）の伝送を中断させるために前記ビーコンに信号を送るトランスミッタをさらに備える、請求項1～3のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 6】

前記ゲートウェイマーキングエミッション（208、316）は赤外光を含み、かつ／または前記ビーコンエミッションセンサ（104、106）は赤外光の伝送を検出するように構成される、請求項1～5のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 7】

前記ナビゲーションビーコン（150、202、203、304）は、前記ゲートウェイ内に配置された状態で、方向付けられたベクタリングエミッション（216、306）を前記第1の有界領域に伝送するベクタリングビーコンエミッタをさらに備え、前記ロボット駆動システムは、前記マイグレーションモードにおいて前記ベクタリングエミッション（216、306）に遭遇したときに、前記ロボットを前記ビーコンに導くように構成される、請求項1～6のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 8】

前記マイグレーションモードにおいて、前記ロボットは、前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）の検出に応じて、前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）の位置を識別し、前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）によって規定されるエミッション経路（３０８）に関して、前記ロボットによって定められる駆動方向を整列させる、請求項７に記載のシステム。

【請求項９】

前記ロボットは、前記ゲートウェイに到達し横断するように、前記エミッション経路（３０８）に沿って前進する、請求項８に記載のシステム。

【請求項１０】

前記ロボットは、前記清掃モード中に前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）を停止させ、前記マイグレーションモード中に前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）を作動させるように、前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）と無線で通信する、請求項７～９のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１１】

前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）は、スケジュール情報を前記ロボットとやりとりするように構成される、請求項７～１０のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１２】

前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）は、クロスゲートウェイ方向に対して約４５～９０°の角度（２１６a）で、前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）を伝送する、請求項７～１１のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１３】

前記ロボットは、前記マイグレーションモードを開始したときに、前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）の前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）を遠隔で作動させ、前記ゲートウェイエミッション（２０８、３１６）を停止させ、かつ／または前記ロボットは、前記マイグレーションモードを終了したときに、前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）の前記方向付けられたベクタリングエミッション（２１６、３０６）を遠隔で停止させ、前記ゲートウェイエミッション（２０８、３１６）を作動させ、かつ／または前記ロボットは、無線周波数通信によって、前記ナビゲーションビーコンの前記エミッション（２０８、２１６、２１７、２２６、２３０、３０６、３１４、３１６）を遠隔で作動および停止させる、請求項７～１２のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１４】

前記ナビゲーションビーコン（１５０、２０２、２０３、３０４）は、近接エミッション（２１４、２３２、３１０）をビーコン周辺に横方向に伝送し、前記ロボットは、前記近接エミッション（２１４、２３２、３１０）内での清掃およびマイグレーションを回避する、請求項１～１３のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１５】

前記有界領域（２０６）のうちの１つに位置するベースステーション（１８０、２４０）であって、

前記ロボットを適切にドッキングさせ得るドッキング方向を定めるベース（１８２）と、

前記ベース内に収容されたロボットの充電器と、

を備えるベースステーションをさらに備える、請求項１～１４のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１６】

前記ベースステーション（１８０、２４０）は、

前記ベース（１８２）上に載置され、近接ビームを前記ドッキングステーション（１８

10

20

30

40

50

0)の周囲に横方向に投射するように構成された、無指向性ビームエミッタ(186)と、

前記ベース内に収容され、それぞれが、横方向に有界であり重複する信号ビームのエミッションのフィールド(246、248)をそれぞれ放射するように構成された2つのナビゲーション用フィールドエミッタ(192、194)と、をさらに備え、

前記放射されたフィールド(246)のうちの1つは、前記ドッキング方向と整列し、他の前記フィールド(248)と重複する横方向のフィールドエッジ(244)を規定する、請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

前記ベースステーションの前記2つのナビゲーション用フィールドエミッタ(192、194)は、約6°の重なり角度(355)を形成するように配置され、それぞれのエミッタの開口部の角度(151、361)は、約20〜30°であり、かつ／または前記ベースステーションの前記2つのナビゲーション用フィールドエミッタの前記エミッションのフィールド(246、248)は、赤外光を含む、請求項16に記載のシステム。

【請求項18】

前記ロボットは、前記ロボットが動かされる際に、床から細片を除去する床清掃システム(140)を含む、請求項1〜17のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項19】

有界領域間で自律カバレッジロボット(100、212、302)をナビゲートする方法において、

ナビゲーションビーコン(150、202、203、304)を、隣接する第1および第2の有界領域(204、206)間のゲートウェイ(210)内に配置するステップであって、前記ビーコンが、前記ゲートウェイと交差してゲートウェイマーキングエミッション(208)を伝送するように構成されるステップと、

前記第1の有界領域内に前記カバレッジロボット(100、212、302)を配置するステップであって、前記ロボットは、清掃モードで前記第1の有界領域(204)を自律的に横断し、前記ゲートウェイ内で前記ゲートウェイマーキングエミッションに遭遇したときには、前記第1の有界領域(204)内に残り、それによって前記第2の領域(206)へのロボットのマイグレーションを回避するステップと、を含み、

前記第1の領域(204)内で清掃モードが終了したときに、前記ロボットは、自律的にマイグレーションモードを開始して、前記ゲートウェイ(210)を介して移動し、前記ビーコン(150、202、203、304)を通過して、前記第2の有界領域(206)に入る、方法。

【請求項20】

前記第2の領域内で前記マイグレーションモードが終了したときに、前記ロボット(100、212、302)は、前記第2の有界領域(206)内で自律的に前記清掃モードを開始する、および／または前記ロボットは、前記マイグレーションモードを開始したときに、前記ナビゲーションビーコン(150、202、304)の前記ゲートウェイマーキングエミッション(208)を遠隔で停止させ、前記マイグレーションモードを終了したときに、前記ゲートウェイマーキングエミッション(208)を作動させる、および／または前記ナビゲーションビーコン(150、202、203、304)は、近接エミッション(214、232、310)を前記ビーコン周辺に横方向に伝送し、前記ロボットは、前記近接エミッション内での清掃およびマイグレーションを回避する、請求項19に記載の方法。

【請求項21】

前記ロボットは、前記マイグレーションモード中には、前記ゲートウェイエミッション(208)に応答しない、請求項19または請求項20に記載の方法。

【請求項22】

前記ナビゲーションビーコン(150、202、203、304)は、前記ゲートウェイ(210)内に配置された状態で、方向付けられたベクタリングエミッション(216

10

20

30

40

50

、 306) を前記第 1 の有界領域 (204) に伝送するように構成され、前記ロボットは、前記マイグレーションモードで前記ベクタリングエミッションを検出したときに、前記ビーコンの方へ駆動される、請求項 19～21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

前記マイグレーションモードで前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を検出するステップは、

前記ロボット (100、212、302) が、ロボットの駆動方向に整列された前記ロボット上の指向性受信器 (106、218、318) によって、前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を検出するステップと、

前記ロボット (100、212、302) が、前記ロボットの駆動方向と前記方向付けられたベクタリングエミッションによって規定された経路 (308) とを整列するステップと、を含む請求項 22 に記載の方法。

10

【請求項 24】

前記ロボットが、前記ロボット上の前記指向性受信器 (106、218、318) によって前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を検出するように動かされる前に、前記ロボット上の無指向性受信器 (104、222、322) によって前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を検出するステップをさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記ビーコン (150、202、203、304) を通過するステップは、

20

前記ロボット (100、212、302) が、前記エミッション経路 (308) に沿って前記ビーコン (150、202、203、304) の方へ移動するステップと、

前記ロボットが、前記ビーコンによって放射されたビーコンのビーム周辺部 (214、232、310) を検出するステップと、

前記ロボットが、前記ビーム周辺部 (214、232、310) に沿って、前記ゲートウェイ (210) を通って前記第 2 の領域 (206) に入るように移動するステップと、をさらに含む請求項 23 に記載の方法。

【請求項 26】

前記ナビゲーションビーコン (150、202、203、304) は、クロスゲートウェイ方向に対して約 45～90° の角度 (216a) で、前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を伝送する、および／または前記ロボット (100、212、302) は、前記マイグレーションモードを開始したときに、前記ナビゲーションビーコンの前記方向付けられたベクタリングエミッションを遠隔で作動させ、前記ゲートウェイエミッション (208) を停止させる、および／または前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) は、赤外光を含む、請求項 22～25 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 27】

前記ロボット (100、212、302) は、前記マイグレーションモードを終了したときに、前記ナビゲーションビーコン (150、202、203、304) の前記方向付けられたベクタリングエミッション (216、306) を遠隔で停止させ、前記ゲートウェイエミッション (208) を作動させる、および／または前記ロボットは、無線周波数通信によって、前記ナビゲーションビーコンの前記エミッション (214、216、208、217、306、316、310、314) を遠隔で作動および停止させる、請求項 22～26 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 28】

それぞれの伝送エミッション (214、216、208、217、306、316、310、314) は、一定期間のランダムオフセットの時分割多重によって区別される、請求項 19～27 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 29】

前記ロボットは、駆動方向を定め、

50

前記ロボットによって担持された無指向性受信器（１０４、２２２、３２２）と、
前記ロボットの前方部分に配置され、前記駆動方向から前記ロボットの前記前方部分に入射するエミッションに対応する指向性受信器（１０６、２１８、３１８）と、をさらに備え、

前記指向性受信器（１０６、２１８、３１８）は、

前記駆動方向と略整列された第１および第２の開口部（１１０、１１２）を規定する取り付けレセプタクル（１０８）と、

前記レセプタクル（１０８）内に収容され、前記第１および第２の開口部（１１０、１１２）を介してそれぞれ受信した前記エミッションに対応するようにそれぞれ配置された第１および第２の構成要素受信器（１１４、１１６）であって、それぞれが、前記エミ
ッションに応じてそれぞれの信号を発生するように構成された構成要素受信器（１１４、
１１６）と

を備え、

前記ロボットの前記制御器（１０３）は、前記構成要素受信器（１１４、１１６）によって発生された前記信号に基づいて、前記駆動方向に関する前記エミッションの位置を判断するように構成される、請求項１９～２８のいずれか一項に記載の方法。

【請求項３０】

前記指向性受信器（１０６、２１８、３１８）の前記第１および第２の構成要素受信器（１１４、１１６）は、それらの間に約６°の重なり角（１１１）を形成するように配置され、かつ／または前記指向性受信器（１０６、２１８、３１８）の前記第１および第２
の構成要素受信器（１１４、１１６）は、前記ロボットから約３～５メートル離れて配置されたエミッタを検出することができる、請求項２９に記載の方法。

【請求項３１】

前記指向性受信器（１０６、２１８、３１８）の前記第１および第２の構成要素受信器（１１４、１１６）は、それぞれの有界領域（２０４、２０６）にある間に、一点に焦点を合わせることができる、請求項２９または請求項３０に記載の方法。

【請求項３２】

前記ナビゲーションビーコン（１５０）は、

クロスゲートウェイの方向を定める、前記ゲートウェイ（２１０）内に配置可能なベース（２０２、２０３、３０４）と、

前記ベース内に収容され、前記クロスゲートウェイの方向内で、ビーム（２０８、３１６）を放射するように配置された、ゲートウェイビームエミッタ（１５４）と、

前記ベース内に収容され、前記ベース（２０２、２０３、３０４）が前記ゲートウェイ（２１０）内に配置されたときに、それぞれの焦点ビーム（２１６、２１７、３０６、３１４）を放射するように配置された、第１および第２の指向性ビームエミッタ（１５６、１５８）と、

前記ベース内に配置され、近接ビーム（２１４、２３２、３１０）を前記ビーコンの周囲に横方向に投射するように構成された、無指向性ビームエミッタ（１９０）と、を備える請求項１９～３１のいずれか一項に記載の方法。

【請求項３３】

前記第１および第２の指向性焦点ビーム（２１６、２１７、３０６、３１４）は、前記クロスゲートウェイ方向に対して約４５～９０°の角度（２１６a、２１７a）を形成する、請求項３２に記載の方法。

【請求項３４】

前記第２の領域内で前記マイグレーションモードが終了したときに、前記ロボットは、自律的にドッキングモードを開始して、前記第２の領域（２０６）内のベースステーション（１８０、２４０、３４０）の方へと動かされる、請求項１９～３３のいずれか一項に記載の方法。

【請求項３５】

前記ベースステーション（１８０、２４０、３４０）は、

前記ロボット（１００、２１２、３０２）を適切にドッキングさせることが可能なドッキング方向を定めるベース（１８１）と、

前記ベース内に収容されたロボットの充電器と、

前記ベース（１８１）上に載置され、近接ビームを前記ベースステーション（１８０、２４０、３４０）の周囲に横方向に投射するように構成された、無指向性ビームエミッタと、

前記ベース（１８１）内に収容され、それぞれが、横方向に有界であり重複する信号ビームのエミッションのフィールド（１４６、１４８、３５０、３６０）を放射するように構成された２つのナビゲーション用フィールドエミッタ（１９２、１９４）と、を備え、

前記放射されたフィールド（１４８、３６０）のうちの１つは、前記ドッキング方向と整列され、他の前記フィールド（１４６、３５０）と重なり合った横方向のフィールドエッジ（３６２）を規定し、

前記ロボット（１００、２１２、３０２）は、前記ステーション（１８０、２４０、３４０）にドッキングするまで、前記ドッキング方向と整列された、重複するフィールド（１４６、１４８、３５０、３６０）の横方向のフィールドエッジ（３６２）に沿って検出および前進することによって、前記ベースステーション（１８０、２４０、３４０）の方へと動かされる、請求項３４に記載の方法。

【請求項３６】

前記ベースステーション（１８０、２４０、３４０）の前記２つのナビゲーション用フィールドエミッタ（１９２、１９４）は、約６°の重なり角（３５５）を形成するように配置され、それぞれのエミッタは、約２０～３０°の開口部の角度（３５１、３６１）を有する、および／または前記ベースステーションの前記２つのナビゲーション用フィールドエミッタ（１９２、１９４）の前記エミッションのフィールドは、赤外光を含む、請求項３５に記載の方法。

【請求項３７】

前記ロボット（１００、２１２、３０２）は、

前記ロボット上の無指向性受信器（１０４、２２２、３２２）によって、前記ベースステーション（１８０、２４０、３４０）の前記エミッションを検出し、

少なくとも１つのフィールドエミッション（１４６、１４８、３５０、３６０）の外側横方向のフィールドエッジを検出するように動かされ、

前記１つのフィールドエミッションの前記外側横方向のフィールドエッジに沿って、前記重複するフィールド（１４６、１４８、３５０、３６０）の前記整列された横方向のフィールドエッジ（３６２）へ前進し、

前記整列された横方向のフィールドエッジ（３６２）を検出したときに、前記ステーションにドッキングするまで、前記整列された横方向のフィールドエッジ（３６２）に沿って前進する、請求項３５または請求項３６に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本願は、２００５年１２月２日に出願された名称「ROBOT NETWORKING, THEMING AND COMMUNICATION SYSTEM」であって、出願番号第６０／７４１，４４２号を割り当てられた米国仮特許出願に対し、米国特許法第１１９条（e）の下に優先権を主張する。上記出願の内容全体は本明細書によって参考として援用される。

【０００２】

本発明は、ロボットに関し、より具体的には、自律カバレッジロボットおよび関連するナビゲーションシステムに関する。

【背景技術】

【０００３】

自律ロボットは、人間が連続的な誘導を行わずに、構造化されていない環境において所

10

20

30

40

50

望のタスクを行うことができるロボットである。多くの種類のロボットは、ある程度まで自律的である。他のロボットは、異なる方法で自律させることができる。自律カバレッジロボットは、1つ以上のタスクを行うように人間が連続的な誘導を行わずに、作業面を横断する。家庭、オフィス、および／または消費者志向のロボット学の分野では、掃除機での掃除、床掃除、パトロール、芝刈りのような家庭内の役割、および他の当該のタスクを行うモバイルロボットが広く用いられている。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

一側面では、自律カバレッジロボットは、前方駆動方向を定める台座と、台座によって担持された制御器と、台座によって担持された無指向性受信器と、台座の前方部分に配置され、駆動方向から台座の前方部分へのエミッションの入射に対応する指向性受信器とを含む。指向性受信器は、駆動方向と略整列された第1および第2の開口部を画定する取り付けレセプタクルと、レセプタクル内に収容され、第1および第2の開口部を介してそれぞれ受信したエミッションに対応するようにそれぞれ配置された第1および第2の構成要素受信器とを含む。構成要素受信器は、それぞれが、エミッションに応じてそれぞれの信号を発生するように構成される。制御器は、構成要素受信器によって発生された信号に基づいて、駆動方向に関するエミッションの方向を判断するように構成される。

【0005】

指向性受信器は、台座の前部分上へ組み込まれ、取り付けレセプタクル内に収容される。取り付け構造は、ドッキングおよび室内全体にわたるナビゲーションに使用される指向性受信器を固定および支持する。指向性受信器は、遠くから重複信号のピークを検出できるという意味では高指向性である2つの検出器と、それらのピークを使用したビームのソースに関わるサーボとを含む。一実施例では、指向性受信器の第1および第2の構成要素受信器は、それらの間に約1〜15°の角度を成すように配置される。加えて、第1および第2の構成要素受信器は、ロボットから約3〜5メートルの位置で焦点が合うように、またはそれぞれの有界領域内のあらゆる位置で視準が合わせられる。

【0006】

制御器は、無指向性受信器によってエミッションを検出するようにロボットを動かし、検出に応じて、指向性受信器の構成要素受信器によって発生された信号に基づいて、台座を配向して、ロボット駆動方向と判断されたエミッションの方向とを整列する。制御器は、指向性受信器によるエミッションの検出に応じて、指向性受信器の構成要素受信器によって発生された信号に基づいて、台座を配向して、ロボット駆動方向と判断されたエミッションの方向とを整列する。受信器は、赤外光の伝送を受信するように構成することが可能である。

【0007】

一実施例では、無指向性受信器は、上部部分を有し、内部空洞、円錐、およびエミッション受信器を画定するハウジングを含む。この上部部分によって、内部空洞にエミッションを伝送することができる。円錐リフレクタは、ハウジングの上部部分へのエミッションを空洞へ反射するように、空洞の上面に配置される。エミッション受信器は、円錐リフレクタの下空洞内に配置される。

【0008】

一実施例では、ロボットは、台座によって担持される床清掃アセンブリと、台座によって担持され、清掃アセンブリによって床から除去された細片を回収するように配置された清掃ピンと、ピンセンサとを含む。ピンセンサは、清掃ピンが充填閾値に達したことを示し、制御器にドッキングシーケンスを開始させる信号を発生するように構成される。

【0009】

別の側面では、有界領域のための自律モバイルロボットシステムは、ナビゲーションビーコンと、自律カバレッジロボットとを含む。ナビゲーションビーコンは、第1の有界領域と、隣接する第2の有界領域との間のゲートウェイ内に配置された状態で、ゲートウェ

10

20

30

40

50

イマーキングエミッションを伝送するように配置されたゲートウェイビーコンエミッタを有する。自律カバレッジロボットは、ビーコンエミッションに対応するビーコンエミッションセンサと、ゲートウェイイマーキングエミッションの検出に応じてロボットが方向を変える清掃モードで、ロボットを第1の有界領域周辺を動かすように構成された駆動システムとを含む。駆動システムは、ロボットを、ゲートウェイを通して、マイグレーションモードで第2の有界領域へと動かすようにも構成される。

【0010】

ビーコンは、ゲートウェイイマーキングエミッションのための赤外線信号を放射するか、または他のタイプの信号を放射するように構成することが可能であり、この信号は、隣接する部屋に「流れ込まない」ように、また、現在の部屋またはロボットがどの部屋に位置するのかを一意的に識別するように、壁によって容易に遮断される。

10

【0011】

一実施例では、ロボットは、清掃モードでのゲートウェイイマーキングエミッションの検出に応じてロボットが方向を変えたときに、第1の有界領域内に残る。ゲートウェイイマーキングエミッションは、赤外光とすることが可能であり、ビーコンエミッションセンサは、赤外光の伝送を検出するように構成される。

【0012】

別の実施例では、駆動システムは、所定の時間間隔の間、ロボットを清掃モードで第1の有界領域周辺を動かし、時間間隔の終了時に自動的にマイグレーションモードを開始するように構成される。駆動システムは、マイグレーションモードにおいて、ロボットを、ゲートウェイエミッションと交差して動かすように構成される。

20

【0013】

さらに別の実施例では、駆動システムは、ゲートウェイイマーキングエミッションの接触が所定の回数検出されるまで、ロボットを清掃モードで第1の有界領域周辺を動かし、次いで自動的にマイグレーションモードを開始するように構成される。1つの部屋または選択的な部屋内のカバレッジロボットのドウェル時間は、タイマまたはスケジュール、特定のビーコンの近接ビームとの衝突または相互干渉の回数、ほこりまたは細片の特徴または数、バッテリーの残量、およびメンテナンスまたはリモートコントロールのオーバーライドによっても設定することができる。

【0014】

一実施例では、ロボットは、ロボットが動かされたときに床から細片を除去する、床清掃システムを含む。

30

【0015】

いくつかの実施例では、ロボットは、ビーコンに信号を送って、マイグレーションモードのゲートウェイエミッションの伝送を中断させるトランスミッタを含む。

【0016】

別の実施例では、ナビゲーションビーコンは、ゲートウェイ内に配置された状態で、方向付けられたベクタリングエミッションを第1の有界領域に伝送するように配置された、ベクタリングビーコンエミッタを含む。ロボット駆動システムは、マイグレーションモードにおいてベクタリングエミッションに遭遇したときに、ロボットをビーコンの方へ導くように構成される。ナビゲーションビーコンは、方向付けられたベクタリングエミッション（赤外光とすることが可能）を、約45〜90°のクロスゲートウェイ方向に隣接する角度で伝送する。マイグレーションモード中に、ロボットは、方向付けられたベクタリングエミッションの検出に応じて、ナビゲーションビーコンの位置を識別し、方向付けられたベクタリングエミッションによって画定されたエミッション経路に関して、ロボットによって定められた駆動方向を整列する。ロボットは、ゲートウェイに到達および横断するように、エミッション経路に沿って前進する。ナビゲーションビーコンは、近接エミッションをビーコン周辺に横方向に伝送することも可能であり、ロボットは、近接エミッション内の清掃およびマイグレーションを回避する。

40

【0017】

50

いくつかの実施例では、ロボットは、清掃モード中に方向付けられたベクタリングエミッションを停止させ、マイグレーション中に方向付けられたベクタリングエミッションを作動させるように、ナビゲーションビーコンと無線で通信する。他の実施例では、ロボットは、マイグレーションモードを開始したときに、ナビゲーションビーコンの方向付けられたベクタリングエミッションを遠隔で作動させ、ゲートウェイエミッションを停止させる。さらに、ロボットは、マイグレーションモードを終了したときに、ナビゲーションビーコンの方向付けられたベクタリングエミッションを遠隔で停止させ、ゲートウェイエミッションを作動させる。ロボットは、無線周波数通信によって、ナビゲーションビーコンのエミッションを作動および停止させる。ナビゲーションビーコンは、スケジュール情報をロボットに通信するように構成することも可能である。

10

【0018】

システムは、有界領域のうちの1つに位置するベースステーションを含むことも可能である。ベースステーションは、ロボットを適切にドッキングさせることが可能なドッキング方向を定めるベースと、ベース内に収容されたロボットの充電器とを含む。無指向性ビームエミッタは、ベース上に載置し、近接ビームをドッキングステーションの周囲に横方向に投射するように構成することが可能である。2つのナビゲーション用のフィールドエミッタは、ベース内に収容され、それぞれが、横方向に有界の重複する信号ビームのフィールドエミッションを放射するように構成される。放射フィールドのうちの1つは、ドッキング方向と整列され、他のフィールドと重なり合った横方向のフィールドエッジを画定する。ベースステーションの2つのナビゲーション用のフィールドエミッタは、それらの間に約45〜90°の角度を成すように配置される。ベースステーションの2つのナビゲーション用のフィールドエミッタのエミッションのフィールドは、赤外光とすることが可能である。

20

【0019】

別の側面では、有界領域間で自律カバレッジロボットをナビゲートする方法は、ナビゲーションビーコンを、隣接する第1および第2の有界領域間のゲートウェイ内に配置するステップを含む。ビーコンは、ゲートウェイと交差してゲートウェイマーキングエミッションを伝送するように構成される。いくつかの実施例では、ナビゲーションビーコンは、近接エミッションをビーコン周辺に横方向に伝送することも可能であり、ロボットは、近接エミッション内の清掃およびマイグレーションを回避する。方法は、第1の有界領域内にカバレッジロボットを配置するステップも含む。ロボットは、清掃モードで第1の有界領域を自律的に横断し、ゲートウェイ内でゲートウェイマーキングエミッションに遭遇したときには、第1の有界領域内に残り、それによって第2の領域へのロボットのマイグレーションを回避する。第1の領域内で清掃モードが終了したときに、ロボットは、自律的にマイグレーションモードを開始して、ゲートウェイを介して移動し、ビーコンを通過して、第2の有界領域に入る。

30

【0020】

いくつかの実施例では、ロボットは、マイグレーションモードを開始したときに、ナビゲーションビーコンのゲートウェイマーキングエミッションを遠隔で停止させ、マイグレーションモードを終了したときに、ゲートウェイマーキングエミッションを作動させる。ゲートウェイマーキングエミッションは、赤外光とすることが可能である。他の実施例では、ロボットは、マイグレーションモード中には、ゲートウェイエミッションに応答しない。

40

【0021】

一実施例では、第2の領域内でマイグレーションモードが終了したときに、ロボットは、第2の有界領域内で自律的に清掃モードを開始する。

【0022】

一実施例では、ナビゲーションビーコンは、ゲートウェイ内に配置されたビーコンによって、方向付けられたベクタリングエミッションを第1の有界領域に伝送するように構成される。ロボットは、マイグレーションモードでベクタリングエミッションを検出したと

50

きに、ビーコンの方へ駆動される。マイグレーションモードで方向付けられたベクタリングエミッションを検出するステップは、ロボットが、ロボットの駆動方向に整列されたロボット上の指向性受信器によって、方向付けられたベクタリングエミッションを検出するステップと、ロボットが、ロボットの駆動方向と方向付けられたベクタリングエミッションによって画定された経路とを整列するステップとを含む。ロボットは、ロボット上の指向性受信器によって方向付けられたベクタリングエミッションを検出するように動かされる前に、ロボット上の無指向性受信器によって方向付けられたベクタリングエミッションを検出することも可能である。ロボットは、エミッション経路に沿ってビーコンの方へ移動し、ビーコンによって放射されたビーコン周辺部を検出し、また、ビーム周辺部に沿って、ゲートウェイを介して第2の領域に入るように移動することによって、ビーコンを通過する。

10

【0023】

別の側面では、有界領域間で自律カバレッジロボットをナビゲートする方法は、ナビゲーションビーコンを、隣接する第1および第2の有界領域間のゲートウェイ内に配置するステップを含む。ビーコンは、方向付けられたエミッションを第1の有界領域に伝送し、ゲートウェイエミッションをクロスゲートウェイ方向に伝送するように構成される。方法は、第1の有界領域内にカバレッジロボットを配置するステップも含む。ロボットは、清掃モードで第1の有界領域を自律的に横断し、ゲートウェイ内でゲートウェイエミッションに遭遇したときには、ロボットは、第1の有界領域内に残り、それによって第2の領域へのロボットのマイグレーションを回避する。第1の領域内で清掃モードが終了したときに、ロボットは、自律的にマイグレーションモードを開始して、方向付けられたエミッションを検出することによって、ゲートウェイを介して第2の有界領域に移動し、方向付けられたエミッションに応じて、ゲートウェイを介してビーコンを通過して第2の領域に入る。

20

【0024】

ナビゲーションビーコンは、クロスゲートウェイの方向を定める、ゲートウェイ内に配置可能なベースを含む。ゲートウェイビームエミッタは、ベース内に収容され、クロスゲートウェイの方向内で、ビームを放射するように配置される。第1および第2の指向性ビームエミッタは、ベース内に収容され、ベースがゲートウェイ内に配置されたときに、それぞれの焦点ビームを放射するように配置される。無指向性ビームエミッタは、ベース内に配置され、近接ビームをビーコンの周囲に横方向に投射するように構成される。第1および第2の指向性焦点ビームは、約45〜90°の隣接するクロスゲートウェイ方向の角度を成す。

30

【0025】

ナビゲーションビーコンの別の実施例は、ロボットによって検出されたときに、ロボットが衝突しないように、「仮想壁」の線に沿ったビームと、円形近接ビーム（および／またはRFゾーン）とを放射するビームエミッタを含む。第1のビームエミッタは、ゲートウェイと交差してビームを放射するようにゲートウェイ内に配置することが可能である。第2のビームエミッタは、第1の部屋への角度を付けたビームを放射するようにゲートウェイ内に配置し、第1の部屋を示すように変調することが可能である。第3のビームエミッタは、第2の隣接する部屋への角度を付けたビームを放射するようにゲートウェイ内に配置し、第2の部屋を示すように変調することが可能である。

40

【0026】

ナビゲーションビーコンは、仮想的で一時的な閉じ込め壁またはゲートウェイとして作用することもでき、ロボットは、例えば所定数の仮想ゲートウェイの相互干渉または時間幅の間、仮想ゲートウェイ内に留まり、次いで仮想ゲートウェイと交差し、その時間または入射をリセットして、仮想ゲートウェイによって部分的に、または完全に画定することが可能な、次の「部屋」内で一時停止する。

【0027】

複数のビーコンを用いて、それぞれの有界領域の境界を画定することが可能である。方

50

向付けられたベクタリングおよびゲートウェイエミッションは、赤外光とすることが可能である。それぞれの伝送エミッションは、一定期間のランダムオフセットの時分割多重によって区別される。それぞれのビーコンは、個別（例、左右のビーム）に符号化され、ディップスイッチまたはビーコン上に位置する他の当該のデバイスによって設定することができる。ビーコンの符号化は、ロボットが、連続するビーコンか、または同じく符号化された2つのビーコンに遭遇したときに、ロボットによって（例えば、ロボットによって発行されたRFコマンドによって）設定または変更することができる。ビーコンは、仮想壁または敷居マーカ（または両方）に設定することが可能である。ロボットがそれぞれのビーコンに遭遇するとき、ロボットは、ビーコンをカウントし、ビーコンの変調によってそれらを識別する。最初に遭遇したものが第1番であり、ベースに最も近いものとされる。二番目のものが第2番であり、さらに遠くにあるものとされる。三番目のものが第3番であり、さらに遠くにあるものとされる。ビーコンの左右のサイドビームまたは方向付けられたビームは、個別に符合化される。その結果、ロボットは、どちら側がよりベースに近いと考えられるかを記録することができる。ロボットがベースに戻る状態にあるときには（例、タイムアウト、バッテリーの消耗、ビンが充填、スケジュールの終了、メンテナンスが必要、一般的なイベントの発生、または他の状況による）、ロボットは、離れた側のビームによって最も小さい番号のビーコンを探して、その方向へ向かう。ビームの方向性によっても、ロボットは、適切にビーコンを過ぎて動かすことができる。例えば、ベースステーションから離れるときに、ロボットは、ロボットの左側のいずれか一方または両方で、ビーコンの方向付けられたビームAおよび方向付けられたビームBを逐次的に通過する。ベースステーションに戻るには、ロボットは、ビーコンの方向付けられたビームBを検出するまで、待機／搜索／清掃を行う。ロボットは、次いで、ビーコンの近接ビームを検出するまで、ビームBに追従することによってビーコンに接近する。ロボットは、左折して、ロボットがビームAを検出するまで、搜索／清掃しながら、近接ビームのエッジに沿って湾曲した経路内を進む。ロボットは、ビーコンから離れてビームAに追従し、次いでベースステーションを搜索／清掃する。これは、部屋を識別する左右のビーコンの方向性を使用した、ナビゲート方法の一例に過ぎない。

【0028】

いくつかの実施例では、第2の領域内でマイグレーションモードが終了したときに、ロボットは、自律的にドッキングモードを開始して、第2の領域内のステーションの方へ動かされる。ベースステーションは、ロボットを適切にドッキングさせることが可能なドッキング方向を定めるベースと、ベース内に収容されたロボットの充電器と、ベース上に設置され、近接ビームをベースステーションの周囲に横方向に投射するように構成された、無指向性ビームエミッタと、ベース内に収容され、それぞれが、横方向に有界で重なり合った信号ビームのフィールドエミッションを放射するように構成された2つのナビゲーション用のフィールドエミッタを含む。放射フィールドのうちの1つは、ドッキング方向と整列され、他のフィールドと重なり合った横方向のフィールドエッジを画定する。ロボットは、ステーションにドッキングするまで、ドッキング方向と整列された、重複フィールドの横方向のフィールドエッジに沿って検出および前進することによって、ベースステーションの方へ動かされる。2つのナビゲーション用のフィールドエミッタ（赤外線エミッタとすることが可能）は、それらの間に約45〜90°の角度を成すように配置される。ロボットは、ロボット上の無指向性受信器によって、ベースステーションのエミッションを検出し、少なくとも1つのフィールドエミッションの外側横方向のフィールドエッジを検出するように動かされる。ロボットは、1つのフィールドエミッションの外側横方向のフィールドエッジに沿って、重複フィールドの整列された横方向のフィールドエッジへ前進する。整列された横方向のフィールドエッジを検出したときに、ロボットは、ステーションにドッキングするまで、整列された横方向のフィールドエッジに沿って前進する。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1A】図1Aは、自律カバレッジロボットの一実施例を示す斜視図である。

- 【図 1 B】図 1 B は、自律カバレッジロボットの分解図である。
- 【図 1 C】図 1 C は、自律カバレッジロボットのバンパーの分解図である。
- 【図 2】図 2 は、自律カバレッジロボットのバンパー上の無指向性受信器および指向性受信器の位置を示す図である。
- 【図 3】図 3 は、指向性受信器の斜視図である。
- 【図 4】図 4 は、指向性受信器の正面図である。
- 【図 5】図 5 は、指向性受信器の分解図である。
- 【図 6】図 6 は、無指向性受信器の切断図である。
- 【図 7】図 7 は、無指向性受信器の側面図である。
- 【図 8】図 8 は、無指向性受信器の斜視図である。 10
- 【図 9】図 9 は、自律カバレッジロボットの下部部分の斜視図である。
- 【図 1 0】図 1 0 は、例示的なナビゲーションビーコンの分解図である。
- 【図 1 1】図 1 1 は、例示的なビーコンエミッタアセンブリの斜視図および正面図である。
- 【図 1 2】図 1 2 は、例示的なビーコンエミッタアセンブリの斜視図および正面図である。
- 【図 1 3】図 1 3 は、自律モバイルロボットナビゲーションシステムとともに使用することが可能な、簡略化したナビゲーションビーコンの一実施例を示す図である。
- 【図 1 4】図 1 4 は、自律モバイルロボットシステム内に含めることが可能な、例示的なベースステーションの種々の図である。 20
- 【図 1 5】図 1 5 は、自律モバイルロボットシステム内に含めることが可能な、例示的なベースステーションの種々の図である。
- 【図 1 6】図 1 6 は、自律モバイルロボットシステム内に含めることが可能な、例示的なベースステーションの種々の図である。
- 【図 1 7】図 1 7 は、自律モバイルロボットシステム内に含めることが可能な、例示的なベースステーションの種々の図である。
- 【図 1 8】図 1 8 は、ベースステーション内で使用される例示的なエミッタアセンブリの斜視図である。
- 【図 1 9】図 1 9 は、ベースステーション内で使用される例示的なエミッタアセンブリの上面図である。 30
- 【図 2 0】図 2 0 は、ベースステーション内で使用される例示的なエミッタアセンブリの背面図である。
- 【図 2 1】図 2 1 は、ベースステーション内で使用される例示的なエミッタアセンブリの側面図である。
- 【図 2 2】図 2 2 は、自律カバレッジロボットの代表的な電子部品構造のブロック図である。
- 【図 2 3 A】図 2 3 A は、ベースステーションを追加してナビゲーションビーコンを使用して、有界領域間で自律カバレッジロボットをナビゲートする方法を適用した第 1 の実施例を示す図である。
- 【図 2 3 B】図 2 3 B は、同時に 2 つ以上のビーコンに遭遇する第 2 の実施例を示す図である。 40
- 【図 2 4 A】図 2 4 A は、自律カバレッジロボットをナビゲートするためのソフトウェアアーキテクチャを示すブロック図である。
- 【図 2 4 B】図 2 4 B は、自律カバレッジロボットをナビゲートするためのソフトウェアアーキテクチャを示すブロック図である。
- 【図 2 5 A】図 2 5 A は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。
- 【図 2 5 B】図 2 5 B は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。
- 【図 2 5 C】図 2 5 C は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に 50

移動するロボットの概略図である。

【図 2 6】図 2 6 は、ロボットのビーム整列行動の概略図である。

【図 2 7】図 2 7 は、ロボットの方向付けられたビームホーミング行動の概略図である。

【図 2 8】図 2 8 は、ロボットのフィールド整列行動の概略図である。

【図 2 9】図 2 9 は、ロボットのフィールド追従行動の概略図である。

【図 3 0】図 3 0 は、ロボットのビーコン離脱行動の概略図である。

【図 3 1 A】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 B】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 C】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 D】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 E】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 F】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 G】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 1 H】図 3 1 A～図 3 1 H は、ナビゲーションビーコンを使用して、ある領域から別の領域に移動するロボットの概略図である。

【図 3 2 A】図 3 2 A～図 3 2 E は、ベースステーションとドッキングするロボットの概略図である。

【図 3 2 B】図 3 2 A～図 3 2 E は、ベースステーションとドッキングするロボットの概略図である。

【図 3 2 C】図 3 2 A～図 3 2 E は、ベースステーションとドッキングするロボットの概略図である。

【図 3 2 D】図 3 2 A～図 3 2 E は、ベースステーションとドッキングするロボットの概略図である。

【図 3 2 E】図 3 2 A～図 3 2 E は、ベースステーションとドッキングするロボットの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

種々の図面における同じ参照符号は、同じ要素を示す。

【0031】

図 1 A および 1 B は、自律カバレッジロボット 1 0 0 の上部部分斜視図および分解図である。ロボット 1 0 0 は、台座 1 0 2 と、制御器 1 0 3 と、無指向性受信器 1 0 4 と、指向性受信器 1 0 6 とを有する。台座 1 0 2 は、前方駆動方向を有し、制御器 1 0 3 と、バンパー 1 0 7 上の受信器 1 0 4 および 1 0 6 とを担持する。受信器 1 0 4 および 1 0 6 は、制御器 1 0 3 へナビゲーション情報を提供する。受信器 1 0 4 および 1 0 6 からの入力を使用することで、制御器 1 0 3 は、ロボット 1 0 0 によって実行されるべきコマンドを発生させる。その結果、ロボット 1 0 0 は、自律形態で床清掃を行うことができる。

【0032】

図 2 は、ロボット 1 0 0 のバンパー 1 0 7 上の無指向性受信器 1 0 4 および指向性受信器 1 0 6 の位置を示す図である。バンパー 1 0 7 は、図 1 C に示されるように、ロボット 1 0 0 がその周囲をナビゲートするときに補助されるように、他のセンサを有することも可能である。近接センサ 1 0 7 2 を使用して、障害物がロボット 1 0 0 の近くにあることを判断することが可能である。接触センサ 1 0 7 4 を使用して、ロボット 1 0 0 が物体に物理的に遭遇したことを判断することが可能である。クリフセンサ 1 0 7 6 を使用して、

10

20

30

40

50

ロボット100が、一連の階段に遭遇したときのような、床のエッジに遭遇したことを検出することが可能である。

【0033】

無指向性センサ104を使用して、ロボット100がナビゲーションビーコン近傍にあることを検出することが可能である。例えば、無指向性センサ104は、エミッションの強度を示す信号を制御システムに中継することが可能であり、信号が強いほどナビゲーションビーコン近傍にあることを示す。

【0034】

近接センサ1072を使用して、障害物が近くにあることを検出することが可能である。近接センサ1072は、例えば、物体がロボット100の所与の範囲内にあるときに信号を提供する、赤外線または超音波センサとすることが可能である。

10

【0035】

接触子またはバンプセンサ1074を使用して、ロボット100が障害物に物理的に遭遇したかどうかを検出することが可能である。このようなセンサ1074は、ロボット100内の静電容量または物理的移動のような物理的特性を使用して、ロボットが障害物に遭遇したことを判断することが可能である。

【0036】

クリフセンサ1074はロボット100が、一連の階段に遭遇したときのような、床のエッジに遭遇したことを検出することが可能である。ロボット100は、エッジが検出されたときに、ロボットの移動方向の変更などのアクションを取らせる行動を有することが可能である。

20

【0037】

いくつかの実施例では、クリフセンサ1074を取り付け装置内に組み込むことが可能であり、この装置は、センサを固定および保護し、取り付け装置の底部に組み込まれたウィンドウの方をセンサが指すように配置する。このセンサとともに、取り付け装置およびウィンドウでクリフセンサユニットを構成する。バンパー内には、例えば4つのクリフセンサユニットを組み込むことが可能である。

【0038】

クリフセンサの信頼性は、塵埃の蓄積を減じることによって高めることが可能である。いくつかの実施例では、ウィンドウは、取り付け装置の底部に組み込むことが可能であり、この装置は、帯電防止材料のような塵埃の堆積を防ぐ材料で構成された傾斜成形体内に載置された遮蔽体を含む。この遮蔽体構成要素および成形体は、互いに溶接することが可能である。塵埃およびほこりの蓄積をさらに減らし易くするために、遮蔽体を傾斜面に載置して、ほこりをさらに容易に滑り落とせるようにすることが可能である。

30

【0039】

いくつかの実施例では、2次クリフセンサを既存のクリフセンサの背後に提供して、キャスタホイール上のホイール落下センサが故障した場合に、床のエッジを検出することができる。

【0040】

制御器103は、方向設定および速度設定に基づいて、ロボット100を推進するように構成することが可能である。近接および接触子センサから受信した信号は、制御システムによって使用され、障害物に対処するコマンドを発行することが可能である。近接および接触子センサからの信号によって、制御システムは、ロボット100の命令された速度または方向を変更することが可能である。例えば、近接する壁に起因する近接センサからの信号によって、制御システムに減速させるコマンドを発行させることが可能である。別の場合では、椅子との接触に起因する接触子センサからの衝突信号によって、制御システムに方向を変更させるコマンドを発行させることが可能である。他の場合では、ロボットの速度設定は、接触センサに応じて下げることができない場合がある、および／またはロボットの方向設定は、近接センサに応じて変更することができない場合があるが、代わりに、2つのセンサを単独で動作させることが可能である。

40

50

【0041】

制御器103は、ロボットの速度設定を調整するように構成された第1の独立行動ルーチンと、ロボットの方向設定を変更するように構成された第2の独立行動ルーチンとを含むことが可能であり、第1および第2の独立行動ルーチンは、並行して互いに独立に実行するように構成される。第1の独立行動ルーチンは、近接センサをポーリングするように構成することが可能であり、第2の独立行動ルーチンは、動的バンプセンサをポーリングするように構成することが可能である。

【0042】

図3～5は、指向性受信器104の斜視図、正面図、および分解図である。指向性受信器104は、台座102の正面に配置される。エミッションは、駆動方向に沿って、指向性受信器104によって受信することが可能であり、この受信器は、対応する信号を発生して制御器103に送信する。指向性受信器104は、台座102の駆動方向と整列された第1の開口部110および第2の開口部112を備えた、取り付けレセプタクル108を含む。開口部110および112は、第1の構成要素受信器114および第2の構成要素受信器116を伴う。

【0043】

構成要素受信器114および116は、駆動方向に沿って生じて指向性受信器104に向けられたエミッションが、開口部110および112を通して、それぞれの構成要素受信器114および116に向けられるように、開口部110および112に相対的に配置される。構成要素受信器114および116に向けられたエミッションによって、対応する信号が発生し、この信号は、制御器103によって使用されて、ロボットの駆動方向に対するエミッションの方向を判断する。カバー117は、取り付けレセプタクル108の上部部分に取り付けられ、エミッションが駆動方向に沿って構成要素受信器114および116に向けられないようにする。いくつかの実施例では、ロックタブ119または他の固定方法を使用して、カバー117を取り付けレセプタクル108に固定することが可能である。

【0044】

いくつかの実施例では、指向性受信器104の構成要素受信器114および116は、実質的に約10%～30%の重なり合いでホーミングビームを検出することができる。一実施例では、第1および第2の構成要素受信器114および116は、それらに方形に向けられたエミッションが、1～15°の角度を成すように配置することが可能である。別の実施例では、第1および第2の構成要素受信器114および116は、それらと整列されたエミッションが、ロボットの前方3～5メートルで交差するように整列することが可能である。一実施例では、それぞれの構成要素受信器114および116は、指向性受信器104の法線方向から約14°の清掃中心で、約28～33°の広がり角、および他の構成要素受信器114および116と約10°重なり合った清掃範囲でエミッションを受信する。

【0045】

ある場合では、制御器103は、ロボット100を動かして、無指向性受信器104によるエミッションを検出することが可能である。エミッションの方向は、構成要素受信器114および116を使用して判断することが可能である。制御器103は、検出に応じて、台座102を配向して、ロボット駆動方向と判断されたエミッション方向とを整列することが可能である。

【0046】

他の場合では、制御器103は、台座102を配向して、指向性受信器106によって検出されたエミッションに応じて構成要素受信器114および116が発生した信号に基づいて、ロボットの駆動方向と判断されたエミッション方向とを整列することが可能である。

【0047】

図6～8は、無指向性受信器104の斜視図、側面図、および切断図である。無指向性

10

20

30

40

50

受信器 104 は、ハウジング 118 と、円錐リフレクタ 120 と、エミッション受信器 122 とを含むことが可能である。ハウジング 118 は、上部部分 124 および内部空洞 126 を有する。上部部分 124 によって、内部空洞 126 にエミッションを伝送することができる。円錐リフレクタ 120 は、ハウジング 118 の上部部分 124 から内部空洞 126 に向けられたエミッションを反射するように空洞 126 の上面に位置する。エミッション受信器 122 は、内部空洞 126 内の円錐リフレクタ 120 の下に位置する。

【0048】

いくつかの実施例では、受信器 114、116、および 122 は、赤外光 (IR) の伝送を受信するように構成することが可能である。そのような場合、ガイド 128 (例、ライトパイプ) は、円錐リフレクタ 120 で反射したエミッションを誘導し、それらをエミ

10

【0049】

図 9 は、自律カバレッジロボット 100 の下部部分の斜視図である。駆動システム 130 は、台座 102 を支持する、第 1 の駆動ホイール 132 と、第 2 の駆動ホイール 134 とを含む。キャスタ 136 は、台座 102 に更なる支持を提供することが可能である。モータは、ロボット 100 を推進するように、駆動ホイールに機械的に連結することが可能であり、前進、後進、および旋回機能を提供する。

【0050】

ロボット 100 は、その周辺を動かされたときに床からほこりおよび細片を除去する、床清掃システムを有することが可能である。床清掃システムは、床清掃アセンブリ 140 と、清掃ビン 142 と、ビンセンサ (図示せず) を含むことが可能である。床清掃アセンブリ 140 および 146、および清掃ビン 142 は、台座 102 によって担持することが可能である。清掃ビン 142 は、清掃アセンブリ 140 によって清掃されている床から除去された細片を回収するように配置することが可能である。ビンセンサは、清掃ビンが閾値まで満たされたかどうかを示す信号を発生するように構成することが可能である。閾値に到達したときに、制御器 103 は、ベースステーションとのドッキングシーケンス (下述する) を開始することが可能である。清掃ビン 142 は、その内容物を手動で空にするか、または、いくつかの実施例では、ロボット 100 は、ドッキングしたときに清掃ビン 142 を自動的に空にすることが可能である。

20

【0051】

ロボット 100 を構成する他の要素にフレームワークを提供することに加えて、台座 102 は、台座 102 上の他の全ての位置よりも高位にあるリッジをその正面に有することが可能である。このようなリッジは、ソファのような高所の障害物に遭遇した場合にロボット 100 を停止させて、その下にはまり込まないようにすることが可能である。ロボット 100 がはまり込んだときに、ロボット自体をより容易に解放できるように、制御器 103 は、通常、駆動システム 130 に命令して、最大トルク未満 (例えば容量の 50%) で動作させることが可能である。ロボット 100 がはまり込んだことは、例えば駆動モータへの電流が増加したことによって検出され、その場合、制御器 103 は、トルクを増加させてロボット 100 を解放させることが可能である。

30

【0052】

反はまり込みシステムの別の実施例は、潜在的にはまり込む障害物によってロボット 100 がどの程度押下げられたかを測定するように、電位差計を有するばね懸架式ホイールシステムを含む。別の実施例は、ロボット 100 の下面に配置された赤外線センサを含み、この赤外線センサを使用して、ロボット 100 が押下げられた距離を測定する。

40

【0053】

図 10 は、例示的なナビゲーションビーコン 150 の分解図である。ナビゲーションビーコン 150 は、既存の壁または他の障害物とともに使用して、有界領域を作成することが可能である。領域の有界化は、例えば、ロボットが領域への出入りを制限するように行うことが可能である。ナビゲーションビーコン 150 は、上述のロボット 100 とともに、自律モバイルロボットシステムの一実施例を形成する。

50

【0054】

ナビゲーションビーコン150は、ビーコンエミッタアセンブリ152を有し、このアセンブリは、ゲートウェイビーコンエミッタ154と、無指向性エミッタ160とを含む。ゲートウェイビーコンエミッタ154は、ゲートウェイマーキングエミッションを伝送するように配置することが可能である。例えば、ビーコン150は、ゲートウェイ内に位置させることが可能であり、このゲートウェイは、第1および第2の隣接する領域を分離し、ゲートウェイマーキングエミッションを放射して境界を形成する。ロボット100上の無指向性受信器104および指向性受信器106は、ゲートウェイマーキングエミッションを検出し、それによって、ビーコンエミッションセンサとして機能することが可能である。例えば、ビーコン150およびロボット100は、赤外光（IR）エミッタおよびセンサを使用して、ゲートウェイマーキングエミッションを作成および検出することが可能である。

10

【0055】

一実施例では、ロボット100は、パケット無線ネットワークを通じて伝送されたコマンドによって、ナビゲーションビームの状態を制御する。ビーコンがこのネットワーク上で反応するアドレスは、ロボットアドレスと、ノードアドレスとの組み合わせである。ビーコン150内にバッテリーを組み込んだ後に、ビーコン150は、任意のロボットとの接触を定期的に試みて、そのエミッタをウェークアップさせて動作させるべきであるかどうかを確認する。ロボット100は、そのネットワークへの接続の誘引、および使用する一時アドレスを含む無線パケットを伝送することによって反応することが可能である。一時アドレスによって動作する間、ビーコン150は、結合されていない、すなわちその無線アドレスが一時的なものであることを示す赤外線符号を、エミッタ154からフェンスビームで、また、無指向性エミッタ160からフォースフィールドビームで伝送する。ロボット100は、結合符号を有するビームを認知すると、最近割り当てられた一時アドレスごとに無線パケットを繰り返し伝送して、ウィंकと呼ばれるビームで新たな符号を送信する。ロボット100がウィंक符号を認知した場合、ロボットは、以降使用すべき新たなノードアドレスを含む無線パケットと、そのアドレスの使用が有向である時間数を示す時間とを伝送する。ロボット100にうまく結合することで、ビーコン150は、以降、ロボット100が存在するときにだけウェークアップする。赤外光信号を使用した無線通信の確認技術は、ビーコン150と同じ床に存在しないロボット100が、恒久的に制御されないようにデザインされる。

20

30

【0056】

駆動システム130は、清掃モード中に、ロボット100を第1の領域周辺を動かすように構成することが可能である。清掃モードでは、ロボット100は、ゲートウェイマーキングエミッションの検出に応じて方向を変えることが可能である。加えて、駆動システム130は、マイグレーションモード中に、ロボット100を、ゲートウェイを介して、第2の有界領域へと動かすことも可能である。

【0057】

清掃モード中は、ロボット100は、ゲートウェイマーキングエミッションを検出したときに、その駆動方向を変更することによって第1の有界領域内に残ることが可能である。したがって、ゲートウェイマーキングエミッションは、ロボット100が第1の有界領域から出ないようにすることが可能な、仮想バリアとして作用する。

40

【0058】

いくつかの場合では、駆動システム130は、予め設定された時間間隔の間、ロボット100を、清掃モードで第1の有界領域周辺を動かすように構成することが可能である。予め設定された時間間隔が経過したときに、駆動システム130を自動的にマイグレーションモードにすることが可能である。マイグレーションモード中に、駆動システム130は、ロボット100をゲートウェイエミッションと交差して動かすように構成することが可能である。他の場合では、駆動システムは、予め設定された回数ゲートウェイマーキングエミッションに遭遇するまで、ロボットを清掃モードで第1の有界領域周辺を動かすよ

50

うに構成することが可能である。ゲートウェイマーキングエミッションと予め設定された回数遭遇したときに、マイグレーションモードを自動的に開始することが可能である。

【0059】

ロボット100は、ビーコン150と通信するためのトランスミッタを含むことが可能である。トランスミッタを使用して、ビーコン150に信号を送って、マイグレーションモードでのゲートウェイエミッションの伝送を停止または一時停止することが可能である。必要なときにだけビーコン150に信号を送って種々のエミッタをオンにすることによって、システムは節電機能を実装することが可能である。このような機能は、ビーコン150におけるバッテリー寿命を延ばす役目をすることが可能である。

【0060】

図11および12は、ビーコンエミッタアセンブリ152の斜視図および正面図である。ビーコンエミッタアセンブリ152は、第1の方向付けられたベクタリングビーコンエミッタ156と、第2の方向付けられたベクタリングビーコンエミッタ158とを含む。方向付けられたベクタリングビームエミッタを使用して、ナビゲーションルートの画定に使用することが可能な特性エッジおよび拡散パターンを有する、エミッションフィールドを作成することが可能である。ナビゲーションビーコン150は、方向付けられたベクタリングエミッションを第1の有界領域に伝送するように配置されたベクタリングビーコンエミッタ156を有する、2つの有界領域間のゲートウェイ内に位置させることが可能である。方向付けられたベクタリングエミッションとゲートウェイとの間の角度は、例えば約45〜90°とすることが可能である。いくつかの場合では、方向付けられたベクタリングエミッションは、赤外光で構成することが可能である。

【0061】

マイグレーションモード中は、駆動システム130は、ロボット100が、ベクタリングビーコンエミッタ156から放射された方向付けられたベクタリングエミッションに遭遇したときに、ロボット100をビーコン150の方へ誘導するように構成することが可能である。ロボット100は、次いで、指向性受信器106に対する方向付けられたベクタリングエミッションの検出方向に基づいて、ビーコン150の位置を判断することが可能である。ロボット100は、位置を判断すると、検出されたベクタリングエミッションに対する駆動方向にそれ自体を整列することが可能である。例えば、ロボット100は、検出されたベクタリングエミッションの経路に沿って前進して、ビーコン150が位置するゲートウェイに到達し、これを横断することが可能である。

【0062】

ロボット100は、ビーコンエミッションを遠隔で作動および停止させることができる。例えば、ロボット100は、無線周波数(RF)通信のような無線通信を使用して、作動および停止信号を渡すことが可能である。ロボット100は、マイグレーションモードを開始したときに、ビーコン150の方向付けられたベクタリングエミッションを遠隔で作動させて、ゲートウェイエミッションを停止させることが可能である。ロボット100は、マイグレーションモードが終了したときに、ビーコン150の方向付けられたベクタリングエミッションを遠隔で停止させて、ゲートウェイエミッションを作動させることが可能である。

【0063】

いくつかの場合では、ビーコン150は、スケジュール情報をロボット100とやりとりするように構成することが可能である。例えば、ビーコン150は、ロボット100が清掃モードに入るべき時間、マイグレーションモードに入るべき時間などを伝送することができる。スケジュール情報は、開始または終了時間および日付などの詳細を含むことが可能である。

【0064】

ナビゲーションビーコン150は、横方向にそれ自体の周辺に近接エミッションを伝送することも可能である。ロボット100は、近接エミッションが検出されたときにその進路を変更するような、予め構成された行動を実行することによって、近接エミッション内

10

20

30

40

50

の清掃およびマイグレーションを回避することが可能である。近接エミッションは、ロボット100の通過が許可されない「フォースフィールド」と考えることが可能である。

【0065】

ナビゲーションビーコン150は、閉じ込めモードと、ナビゲーションモードと、オフモードとを選択するスイッチを有することが可能である。ナビゲーションビーコン150は、仮想壁のような範囲選択スイッチを有することが可能である。ナビゲーションビーコンが動作していることを、光で示すことが可能である。ナビゲーションビーコン150は、ロボット100によって許可されたときか、またはそのようにする命令を受けたときのみ、動作表示灯を点灯させることが可能である。バッテリー容量低下警告、および別個のバッテリー容量低下ランプを備えることも可能である。

10

【0066】

消費電力を減じて、したがってバッテリー寿命を延ばすために、ナビゲーションビーコンには異なる動作モードを存在させることが可能である。ロボット100が動作していないときには、ナビゲーションビーコン150は、低電力モードとすることが可能であり、このモードでは、エミッタはオフであり、ナビゲーションビーコンは、通信リンクを定期的にモニタしてウェークアップが必要かどうかを判断する。ロボット100が動作しているときには、単一または複数のナビゲーションビーコンに信号を送信して、それらのそれぞれのエミッタをオンにすることが可能である。異なるコマンドで種々のエミッタをオンにすることが可能である。加えて、ナビゲーションビーコンは、ある経過時間の後に、低電力モードに戻ることが可能である。

20

【0067】

ロボット100で複数のナビゲーションビーコンが使用された場合には、それぞれのナビゲーションビーコンは、メモリ内に含まれる16ビット（またはそれ以上）の識別番号のような、一意の識別子を有することが可能である。この識別子は、工場において、またはナビゲーションビーコン自体によって発生させることが可能である。識別子を工場内で発生させる場合は、不揮発性メモリ内のビーコン内に格納することが可能である。ロボット100は、一意の識別子を使用して内部マップを発生させることが可能であり、このマップを使用して、一方のナビゲーションビーコンから他方へナビゲートすることによって、一方の有界領域から他方へのナビゲートに使用することが可能である。いくつかの実施例では、ナビゲーションビーコン150のための識別子を使用して、ロボット100によって検出することが可能なエミッションで符号化された信号を発生させることが可能である。ナビゲーションビーコン150が識別番号全体を伝送できない場合、一意の符号は、IDの派生物として発生させるか、または存在するナビゲーションビーコンとロボット100との間のナビゲーションによって発生させることが可能である。

30

【0068】

ロボットおよびナビゲーションビーコンは、ポイントツーポイントによって、またはブロードキャスト伝送によって通信することができる。ポイントツーポイントのスキームでは、ロボットは、ナビゲーションビーコンの全ての識別子を学習しなければならない。次いで、宛先ナビゲーションビーコンを示すデータフィールドを有する伝送を送信することが可能である。そのナビゲーションビーコンおよびそのナビゲーションビーコンだけが、それに応じて反応する。これは、特定のナビゲーションビーコンだけが反応し、他のナビゲーションビーコンをオフのままにするので、バッテリー寿命が延びるという利点を有する。ユーザインタラクションを使用して、ナビゲーションビーコンが分かるようにロボットをトレーニングすることが可能である。

40

【0069】

代替的な概念では、全てのナビゲーションビーコンを有効にするコマンドを、ロボットが全てのナビゲーションビーコンにブロードキャストする。このスキームは、ユーザインタラクション無しで機能する。これらのナビゲーションビーコンにおいて、バッテリーの消費を増加させ、バッテリー寿命を縮める影響を軽減するために、別の技術では、ロボットの伝送電力を減じる。

50

【0070】

図13は、自律モバイルロボットナビゲーションシステムとともに使用することが可能な、簡略化したナビゲーションビーコン152の一実施例を示す図である。本実施例では、ビーコンは、ゲートウェイエミッタ154と無指向性エミッタ160とを含むビーコンエミッタアセンブリ152を有するが、ベクタリングエミッタを有さない。このようなビーコンを使用して領域の境界を画定することが可能であるが、必ずしもマイグレーション機能をサポートするわけではない。

【0071】

図14～17は、自律モバイルロボットシステム内に含めることが可能な、例示的なベースステーション180の種々の図である。ベースステーション180は、システムによって提供される有界領域内に位置させることが可能である。ベースステーション180は、画定されたドッキング方向を有するベース182と、ロボットの充電器184とを有する。ロボット100は、ベース182にドッキングさせるドッキング方向から、ベース182に接近することが可能である。ロボットの充電器184は、ベース182内に収容され、適切にドッキングしたときにこれを使用してロボット100を充電することが可能である。

【0072】

ロボットの充電器184は、ロボット100がベース182にドッキングした後に、検出回路によって起動されたときに動作を開始することが可能である。バッテリー条件を使用して、充放電モードか、プリ充電トリクルモードか、またはポスト充電トリクルモードがバッテリーの充電に使用されたかどうかを管理することが可能である。

【0073】

図18～21は、ベースステーション180内で使用される例示的なエミッタアセンブリ186の斜視図、上面図、背面図、および側面図である。エミッタアセンブリ186は、無指向性ビームエミッタ190と2つのナビゲーション用のフィールドエミッタ192および194を保持する、下部部分ハウジング188を有する。

【0074】

無指向性エミッタ190は、ハウジング188に載置して、上部部分ハウジング196の使用を通じて、近接ビームを横方向にドッキングステーション周辺に投射するように構成することが可能である。上部部分ハウジング196は、無指向性エミッタ190からのエミッションが、円形などの所望のパターンをベース182の外側に形成するように構成することが可能である。

【0075】

ナビゲーション用フィールドエミッタ192および194は、下部部分ハウジング188に取り付けて、それぞれが、横方向に有界で重なり合った信号ビームのエミッションのフィールドを放射するように構成することが可能である。放射されるフィールドのうちの1つは、ドッキング方向と整列され、放射される他のフィールドと重なり合った横方向のフィールドエッジを画定することが可能である。ベースステーションの2つのナビゲーション用フィールドエミッタは、それらの重なり角が約 6° とし、それぞれのエミッタの開口部の角度を 20° ～ 30° とすることが可能なように配置することが可能である。下部部分ハウジング188上の突起198を使用して、エミッタ192および194からのエミッションを、上述のパターンを達成するように成形することが可能である。一実施例では、ナビゲーション用フィールドエミッタ192は、エミッタアセンブリ186の法線方向から約 12° でビームを投射し、このビームは、約 -5° から約 35° まで、約 40° に広がる。他のナビゲーション用のフィールドエミッタ194は、LEDの中間付近の境界を成すL型バッフルまたはマスク198を備え、エミッタアセンブリ186の法線方向から約 12° でビームを投射し、このビームは、 0° ～約 -35° に広がる。いくつかの実施例では、エミッションフィールドは、赤外光（IR）で構成することが可能である。そのような場合、フィールドエミッタ190、192、および194は、赤外線発光ダイオード（LED）で構成することが可能である。

10

20

30

40

50

【0076】

図22は、ロボット100の電子部品101の概略図である。電子部品101は、無指向性受信器104と、指向性受信器106と、壁近接センサ1072と、バンパースイッチ1074とを制御するバンパーマイクロコントローラ107Aと通信する、制御器103を含む。制御器103は、クリフセンサ1076を含む、他の全てのセンサ入力をモニタする。

【0077】

図23AおよびBは、ナビゲーションビーコンを使用して、有界領域間で自律カバレッジロボットをナビゲートする方法を適用した一実施例を示す図である。本方法は、上述の実施例のロボットナビゲーションシステムのようなシステムに適用することが可能である。以下の説明は、物理的なインフラストラクチャとして開示されたナビゲーションビーコンの特定のソフトウェアアーキテクチャおよび一連のアルゴリズムに関するが、ロボット、制御、およびソフトウェアアーキテクチャの非常に類似した実施形態、および／または多数の特定のアルゴリズムは、異なる物理的なインフラストラクチャとともに使用することができる。

【0078】

したがって、ロボットが目標およびナビゲーションのシーケンスを処理する様態および方法は、インフラストラクチャの実際の物理的な形態に比較的に依存しないので、このような様態および方法に関わる説明では、「ナビゲーションビーコン」は、他の物理的な種類の能動的および受動的なランドマーク（例、バーコード、逆反射タグ、天井または壁に投射される照明またはIRスポット、指向性RFまたは可視光、および環境内で識別可能な他の特徴）を含み、「ビーム」は、他の物理的な種類の方向付けられたベクトルを含む（追従することが可能な、メモリ内で計算または保持された推定方向ベクトル、および特に観察された物体に対する見通し線方向を含む）。示された実施例では、壁201、第1のナビゲーションビーコン202、および第2のナビゲーションビーコン203（本願明細書では「ライトハウス」としても説明される）は、第1の有界領域204、第2の有界領域206、および第3の有界領域207（これらは、一般的に家の部屋である）を画定する。ナビゲーションビーコン202は、ゲートウェイ210（一般的に出入り口であるが、数フィート〜10または12フィートの開口が可能であり、また、特定の開口部無しに部屋を任意に分割する）と交差して、ゲートウェイマーキングエミッション208（本願明細書では「仮想ゲートウェイ」または「ゲートウェイビーム」とも記される）を伝送するように構成することが可能である。ゲートウェイマーキングエミッション208は、IR信号とすることができ、例えば、カバレッジロボット212によって検出することができる。

【0079】

ロボット212は、有界領域204内に配置することが可能である。ロボット212は、清掃モードで有界領域204を自律的に横断することが可能である。ロボット212が、ゲートウェイ210でゲートウェイマーキングエミッション208に遭遇した場合、ロボット212は、隣接する有界領域206へ移動することなく、有界領域204内に残る。第1の領域内で清掃またはカバレッジモードを終了すると、ロボット212は、自律的に（すなわち、例えば時間切れ、対応距離、対応割合などの、本願明細書で説明されるような内部トリガ条件に応じて）マイグレーションモードに入り、このモードでは、ロボットは、清掃を継続するが、ゲートウェイ210を監視し、ゲートウェイ210を検出し、ゲートウェイ210へと向かい、ゲートウェイ210を通過して（ビーコン202を過ぎて）隣接する有界領域206に入る。

【0080】

いくつかの実施例では、ロボット212は、有界領域206へのマイグレーションが完了した後に、自律的に清掃モードに入ることが可能である。マイグレーションモード中に、ロボット202は、ゲートウェイエミッション208に反応しないことが可能である（しかし、ロボットは、ゲートウェイエミッション208と交差したことを記録することが

10

20

30

40

50

可能である)。ある場合では、ロボット212は、マイグレーションモードに入ったときに、遠隔で(すなわち、誘導、中継したRF通信、見通し線、または光信号伝達の反射によって)ゲートウェイマーキングエミッション208を停止させることが可能である。ロボット212は、マイグレーションモードを終了した後に、ゲートウェイマーキングエミッション208を作動させることも可能である。

【0081】

さらに、ナビゲーションビーコン202は、それ自体の周辺(周囲)に横方向に近接エミッションまたはフィールド214を伝送して、除外ゾーンまたは「フォースフィールド」を確立することが可能である。ロボット212は、清掃またはマイグレーションモード中に、この近接フィールドを検出し、その検出を使用して、ビーコン202周辺の除外ゾーン内で動かされることの回避を試みることが可能である。除外ゾーンの主要な目的は、ロボット202が、ビーコン202自体に当たらないように、またそれを移動させないようにすることである。

【0082】

ナビゲーションビーコン202は、ゲートウェイ210内に配置されたビーコン202によって、第1の方向付けられたベクタリングエミッション216(本願明細書では、「方向付けられたエミッション」、「方向付けられたビーム」、「開始ビーム」、または「トラクタビーム」とも称する)を有界領域204に伝送し、第2の方向付けられたベクタリングエミッション217を有界領域206に伝送するように構成することが可能である。例えば、ロボット212は、マイグレーションモード中に方向付けられたエミッション216を検出したときに、ビーコン202の方へ駆動することが可能である。

【0083】

マイグレーションモード中に、ロボット212は、ロボット212の前部(すなわち、ロボットの駆動方向の前方に整列されたロボット212の側面)に位置する、指向性受信器218(本願明細書では、例えば、平行チューブ内に対を成す検出器を含む、「双眼センサ」とも称する)によって、方向付けられたエミッション216を検出することによって、方向付けられたエミッション216を検出することが可能である。別様には、ロボット212は、指向性受信器218による検出の前に、無指向性受信器222によって方向付けられたエミッション216を検出することが可能である。本願明細書の「無指向性受信器」という用語は、例えば、(コンパスポイントなどにおいて)ロボットの外周周辺に向けられた2つ以上のセンサを含む、無指向性および多方向受信器を含む。ロボット212は、次いで、無指向性受信器222によって検出された信号を使用して、指向性受信器218によって方向付けられたエミッション216を検出するように動かす(その場旋回か、前進または後進方向に旋回する)ことが可能である。ロボット212は、その移動方向を、方向付けられたエミッション216のエッジ220によって定められた経路と整列することが可能である。指向性および無指向性受信器218および222は、上述したものと類似した構成および機能を有することが可能である。

【0084】

ある場合では、ロボット212は、ビーコン周辺部224(すなわち、近接フィールドエミッション214のエッジ)を検出するまで、エミッション経路に沿ってビーコン202の方へ移動すること(すなわち、双眼センサ106の2つのビーム検出器114および116を使用してサーボすること)が可能である。ロボット212は、ゲートウェイ210を介して、ビーム周辺部224に沿って有界領域206へと移動することが可能である。ゲートウェイエミッション208および方向付けられたエミッション216との間の角度は、場合によっては、約45~90°とすることが可能であり、状況に応じて、約60°とすることが可能である。ゲートウェイエミッション208は、ロボットの直径に基づいてサイズ設定され、(例えば、ロボットがその位置で交差しないように)近接フィールドエッジまたは検出範囲において、ほぼロボットの幅に発散される。これは、10°以上の幅とすることが可能であるが、ロボットの直径によって決定される。ゲートウェイエミッション208の中心と、それぞれの方向付けられたエミッション216の中心との間の

角度は、2つの異なる実施例では、約45°または約60°であり、それぞれの方向付けられたエミッション216のビームは、エミッタの近くのスロットマスクによって拡散された発散ビームであり、2つの異なる実施例では、約20°〜30°（例、25°）または30°〜50°（例、40°）である。いくつかの場合では、方向付けられたエミッション216および217は、赤外光で構成することが可能である。

【0085】

ロボット212は、方向付けられたエミッション216またはゲートウェイエミッション208のような、ビーコン202からのエミッションを遠隔で作動および／または停止させることが可能である。種々の方法を使用して、ロボット212と、ナビゲーションビーコン202および203との間で信号を送受することが可能である。

10

【0086】

特に、ビーコン202および203のそれぞれのエミッタのそれぞれに対して、加えて、ロボット212のための再充電または他のドック240に対して、同一の安価な共通のIR-LEDエミッタを使用することが効果的である。ロボット212上の同一のセンサは、全てのエミッタを検出することができ、ロボット212上の異なるセンサ（例、他方向、および平行指向性センサ）は、異なる目的（例えば、上述のような追従、ホーミング、停止）に対して同じエミッタを検出することができる。異なるエミッタ同士を区別するために、それぞれのエミッタを符号化する（例、異なるシリアルコードで変調する）ことが可能である。これは、家庭用および他のリモートコントロール、ならびに日光のIR成分および他の環境発生源による混乱を避けることの助けともなる。しかし、図23に示されるように、ロボット212は、複数の異なるエミッタのエミッション経路を通して移動する状況に遭遇する可能性がある。

20

【0087】

この状況においては、特に光多方向受信器または共通光無指向性受信器（また、他の場合では、例えばRF）を使用したときには、センサまたはソフトウェア構造は、複数の信号を同時に受信したときに、1つのエミッタを他のエミッタから識別することができるように構成される。異なる周波数が利用可能であれば、それらを用いることが可能である。1つの方法によれば、エミッタを交代で使用して、ロボットとの通信、またはエミッタ同士の通信によって同期化する。しかし、この方法は複雑であり、同期化に失敗したときに故障モードとなる。それぞれのビーコン202および203、ならびにドック240が、自己制御型であり、それら自体の信号を、それぞれのエミッション間の間隔で、適時にずらすことが好都合である。例えば、それぞれの伝送エミッションは、一定期間のランダムオフセット（例えば、それぞれのビームソースに対して異ならせることが可能である）で、時分割多重によって区別する（すなわち、ビーム原点としての多重化を、2つ以上のビームを有するビーコンまたは複数のビーコンを含む、1つのシステムとして考える）ことが可能である。間隔またはランダムオフセットは、時々（例えば、ランダムな間隔で）、またはロボットとの通信によって（例えば、ロボットが干渉条件を検出したときのRF通信によって）変更することが可能である。製造時またはオフセットの変更時に、例えば、オフセットは、調和的に干渉する可能性が低い、または共通因子を共有しない、一組のオフセットから選択することが可能である。このように、ロボットは、複数のエミッション経路に遭遇し、さらに、それぞれのアイデンティティを識別することが可能である。他の場合では、それぞれの伝送エミッションは、光の波長の差異、赤外変調、およびエミッタおよび受信器上の波長フィルタ／ウィンドウによって区別することが可能である。

30

40

【0088】

ロボット212は、RF通信を使用して、ビーコン202に信号を送り、マイグレーションモードが開始したときに、遠隔で方向付けられたエミッション216を作動させて、ゲートウェイエミッション208を停止させることが可能である。別の実施例では、ロボット212は、マイグレーションモードが終了したときに、遠隔で方向付けられたベクタリングエミッション216を停止させて、ゲートウェイエミッション208を作動させることが可能である。

50

【0089】

いくつかの場合では、ロボット212は、有界領域206および207を分離するゲートウェイエミッション226を作動させて、清掃モードを開始することが可能である。上述したものと同様に、ロボット212は、ゲートウェイエミッション208および226に遭遇したときに、有界領域206から出ないようにすることが可能である。有界領域206内の清掃を終えたときに、ロボット212は、マイグレーションモードを開始し、方向付けられたエミッション230によってゲートウェイ228を介して、近接エミッション232の周辺234へナビゲートして有界領域207に入ることが可能である。有界領域207に入ると、ロボット212は、再び清掃または作業モードに入ることが可能である。例えば、設定された時間の後、または予め設定された回数ゲートウェイエミッション208と遭遇した後に、ロボット212は、有界領域204から有界領域206までマイグレーションすることが可能である。

10

【0090】

別様には、仮想壁エミッタ（ゲートウェイ）を設定して、スケジュールに基づいてそれ自体を独立に停止させて、ロボットがゲートウェイと交差できるようにすることが可能であり、例えば、（第1の、または現在の部屋に限定するように）第1の間隔の間、仮想壁として作用し、次いで、一時的または断続的に停止させて、その後、（第2の、または次の部屋に限定するように）第2の間隔の間、仮想壁として作用する。この技術は、双方向とすることも可能であり、例えば、ロボットは、1つ以上のビーコンとのRF通信を使用して、仮想壁を停止させる、または仮想壁をバイパス／交差することが可能である。

20

【0091】

本願明細書の全ての事例では、ロボットの行動システムは、クリフ検出イベントを含む、障害イベントが、部屋から部屋への他のナビゲーションまたは清掃よりも高い優先度を有するように構成されていることに留意されたい。したがって、例えば、ロボットが、ナビゲーションまたは他の一連のシーケンスされた行動の途中でクリフを検出したときには、ロボットは、それでも、（現在のシーケンスの部分中止し、シーケンスの状態をリセットして）クリフを回避することが可能である。

【0092】

図23は、図22に類似した一連の部屋を示す図であるが、ロボットが、2つのビーコンエミッタおよびドック240からの複数のビームに遭遇した場合の状況を示すように（ベースステーションを加えて）構成された図である。混乱を回避する上述した方法を使用することで、ロボット212は、それでも、部屋から部屋へナビゲートするか、またはロボット212は、自律的にドッキングモードを開始して、有界領域206内のベースステーション240の方へ動かして、第2の領域でのマイグレーションモードが終了したときに、ステーションにドッキングすることが可能である。

30

【0093】

ベースステーション240は、ベースと、ロボットの充電器と、無指向性ビームエミッタと、2つのナビゲーション用のフィールドエミッタとを含むことが可能であり、上述のベースステーション180に類似し得る。ロボット212は、ステーション240とドッキングするまで、ドッキング方向と整列された重複フィールド246および248の、横方向のフィールドエッジ242または244のうちの1つを検出し、これに沿って前進することによって、ベースステーション240の方へ動かすことが可能である。

40

【0094】

ロボット212は、ロボット上の無指向性受信器222によってベースステーション240のエミッションを検出して、少なくとも1つのフィールドエミッション246または248の外側の横方向のフィールドエッジ（例、247）を検出するように動かすことが可能である。ロボット212は、次いで、外側の横方向のフィールドエッジ247または249に沿って、重複フィールドの整列された横方向のフィールドエッジ242または244まで前進することが可能である。整列された横方向のフィールドエッジ242または244を検出すると、ロボット212は、ベースステーション240にドッキングするま

50

で、整列された横方向のフィールドエッジ 2 4 2 または 2 4 4 に沿って前進する。

【0095】

図 2 4 A は、制御器 2 5 0 内の行動ソフトウェアアーキテクチャを示す図であり、目標指向の、またはシーケンスされた行動を簡略化した形態で示す。図 2 4 B は、同じソフトウェアアーキテクチャを示す図であるが、図 2 4 A の要素のうちのいくつかを簡略化しながら、目標指向の、またはシーケンスされた行動に関して詳述したものである。

【0096】

本願明細書に述べられるロボットの実施形態は、行動ベースの制御をほとんどまたは全く使用しないことが可能であるが、行動ベースの制御は、ロボットを強固（すなわち、スタックまたは故障しない）かつ安全に制御する際に効果的である。したがって、図 2 4 A および 2 4 B は、モバイルロボットの制御を改善することが可能なソフトウェアアーキテクチャを示す。単純な反応アーキテクチャとするのではなく、図 2 4 A および 2 4 B は、部分的に反応性の（したがってより強固である）、目標指向の、シーケンスされた反応行動である、計画要素を導入する。

【0097】

反応かつシーケンスされた行動では、シーケンスにおける関連付けられた行動の暗黙の成功は、シーケンス（いくつかのシーケンスは、2 つ以上の開始行動または分岐を有することが可能である）における（とりわけ）開始行動の他のそれぞれの行動に対する許可条件である。暗黙の成功は、フラグ、状態機械などの形態で、連続する行動の許可条件を示す状態として保持される。この状態は、完了時に行動自体によって、アービタプロセスによって、または計画プロセスによって、設定または変更することが可能である。

【0098】

図 2 4 A を参照すると、ロボット 3 0 2 は、制御器 2 5 0 内のアービタ 2 5 2 によって実行される複数の行動を有する、制御およびソフトウェアアーキテクチャを用いる。行動は、センサイベント、またはプランナ 2 5 3 からのシーケンス状態イベントに応じて、アービタ 2 5 2 に入力される。一実施形態では、全ての行動は、互いに固定された相対的優先度を有する。アービタ 2 5 2（この場合）は、許可条件を認識し、その行動は、許可条件の全てを有し、許可条件を満たすものの中で最も高い優先度を有する行動を選択する。図 2 4 A および 2 4 B に示される図は、必ずしもロボット 3 0 2 の（固定された）優先度の序列を反映するものではない。優先度を下げるために、行動は、一般的に、逃避および／または回避行動（クリフを回避する、またはコーナー部からの逃避など）、作業行動（例、壁追従、跳ね返り、または直線的に駆動する）、および本出願のためのシーケンスされた反応行動、に分類される。この動作には、異なる逃避行動 2 5 5、2 5 5 a、2 5 5 n（例えば、米国特許第 6, 8 0 9, 4 9 0 号に開示されているような、コーナー部からの逃避、反キャニオニング、スタック状態、いくつかの回避行動を抑制する「衝撃」の一時的なファイヤアンドフォゲット運動を含み、その内容は参照することによりその全体が援用される）、クリフ回避 2 5 6、仮想壁回避 2 5 8（仮想壁は、ゲートウェイビームを有するビーコンとすることが可能である）、クラスとしての他の回避 2 5 8 n（例えば、パイロメータによる人の回避、一般的に、ロボット 3 0 2 に対して危険であるか、ロボット 3 0 2 が危険を与える可能性のある物の検出およびそこから遠ざかる移動のクラス）、スポットカバレッジ 2 6 4 a（螺旋形、または犁耕体のパッチのような閉じたパターンでのカバー）、整列 2 6 4 b（その場旋回、側方近接センサを使用して、前方の遭遇した障害物と整列し、一方で障害物に追従する（例、コーナー部内側））、追従 2 6 4 c（側方近接センサまたはロボットの側部まで延在するバンパーを使用して、障害物に沿って略平行の追従またはバンブ追従のいずれか、または両方を示す）、「バウンド」のためのバンブへの反応 2 6 4 d（ロボットが物体に衝突した後に生じる行動）、および駆動 2 6 6 が含まれる。ロボット 3 0 2 の運動は、もしあれば、動作がアービトレートされている間に生じる。アービタ 2 5 2 内に 2 つ以上の行動がある場合は、任意の対応する所要の条件を満たしていれば、より高い優先度を有する行動が実行される。例えば、クリフ回避行動 2 5 6 は、クリフ検出センサによってクリフが検出されない限り実行されないが、クリフ回

避行動 2 5 6 の実行は、同じく許可条件を満たす他の行動の実行に常に優先する。

【0099】

反応行動は、それらの許可条件またはトリガとして、種々のセンサおよび現象の検出を有するが、一般的に、シーケンスの（任意の）状態ではない。図 2 4 A に示されるように、これらは、前方近接検出（複数）、前方バンプ検出（複数）、クリフセンサ（複数）、仮想壁信号の検出（代わりに、カバレッジトリガとみなすことが可能である）のような、障害物の回避および検出のためのセンサを含む。これらのタイプのセンサは、フィルタ、調整 2 9 2 c、およびそれらのドライバ 2 9 2 b によって監視および調整され、許可条件、および行動が予測どおりに行われることを助力し、全ての利用可能な情報（例えば、1 ビットの「真／偽」信号への変換、一群のセンサからの強度差または時間差に基づいた、起こり得る衝撃角または入射角の記録、または履歴、平均、周波数、または変化の情報）に関する記録データを発生させることができる。

10

【0100】

実際の物理的なセンサは、調整およびドライバから合成された「仮想」センサによって、アーキテクチャで表すことが可能である。追加の「仮想」センサは、検出可能な、または解釈された物理的特性と、モータの過電流、（ホイール符号器またはカウンタからのオドメトリの示度の不足を監視することによる）ロボット 3 0 2 の固有受容またはスタック状態、電量分析によるバッテリーの充電状態、および他の仮想センサ「仮想 N」のような、ロボット 3 0 2 に関する固有受容性または解釈されたもの、および他の仮想センサ「仮想 N」から合成される。

20

【0101】

加えて、反応行動は、探索または追従すべき検出された現象を表す許可条件に基づいて作用することができる。ビームまたは無線（RF、音響）信号は、方向に関係なく（場合によっては方向によって）検出することができる。方向を与える（ビジョンのランドマークによって認識される、バーコード、逆反射の、特有の、基準の、または自然の）リモートビームまたはマーカは、ホーミングまたは関連する運動を許可することができ、方向に関係なく、ロボット 3 0 2 は、それでも、検出された信号の存在、非存在、および／または相対的な強度に関してサーボするように移動することができる。ロボット 3 0 2、エッジ、または線からのビームの反射は、同様に検出することができ、このような信号上をサーボすることによって行われる（ロボット 3 0 2 による障害物の追従のような）行動を続けることができる。細片またはアーチファクトの信号は、ロボットが回収または横断した細片または物体を監視することによって回収することができ、その信号は、スポットカバレッジパターンを制御する反応行動のための許可条件とすることができる。一般的クラスの「搜索／サーボ N」信号は、したがって、条件またはトリガを許可する反応行動でもある。

30

【0102】

ロボット 3 0 2 は、一般的には反応行動とみなされない「並列」プロセス、並行プロセスを保持する。スケジューラ 2 9 2 d は、プロセッサ時間を、協同または他のマルチタスキングの様態で、例えばアービタおよび行動を含む、他の大部分のプロセスに割り当てる必要があり得る。より多くのスレッドが利用可能であれば、スケジューラ 2 9 2 d によって管理するプロセスを少なくすることが可能である。上述のように、フィルタおよび調整 2 9 2 c、ならびにドライバ 2 9 2 b は、未処理の信号を解釈および変換することができる。これらのプロセスは、反応行動とはみなされず、モータ駆動および他のアクチュエータに対していかなる直接的な制御も及ぼさない。加えて、本実施形態では、ブラシモータ制御器 2 9 2 a は、主および側ブラシを制御するが、これらは、専用のブラシ行動およびブラシ制御アービタによって代替的に制御することが可能である。

40

【0103】

図 2 4 B（図 2 4 A と同様に示され、明確にするために描写を強調／脱強調した）を参照すると、特殊並行プロセスは、シーケンスプランナ 2 5 3 である。シーケンスプランナ 2 5 3 は、シーケンスされた反応行動を制御するために、状態を監視および／または保持

50

することができる。この行動は、例えば、（アービタ 2 5 2 によって捕らえられる）許可条件の設定、および／または中止条件（例えば、タイムアウト、行動実行からの逃避またはその回避）の場合の状態のリセット、および／または状態間でそれら自体を移行する有限状態機械の監視または管理である。許可条件の状態またはフラグ、あるいは逐次的な反応行動間の移行をリクエストする管理された状態機械は、効率および環境に基づいて、行動自体によって、アービタによって、またはシーケンスプランナ 2 5 3 によって設定することに留意されたい。また、シーケンスプランナ 2 5 3 は、状況に応じて、アービタ 2 5 2（または第 2 のアービタ 2 5 2 A）を直接制御して、行動を選ぶ（例、再び優先順位付けを行う）か、または、許可条件、状態変数、または状態機械を設定せずに、シーケンスされた反応行動を直接制御することができることに留意されたい。

10

【0104】

状態を保持することで、構成要素の反応制御アーキテクチャの強固性が潜在的に低下すると認識されているが、対象とするアクションのシーケンスは、いくつかの状態のメンテナンスが必要となり得る。本願明細書に述べられているように、シーケンスされた反応行動が制御されて、主要機能が故障すること無く、強固にリセット、または削除することが可能なリクエスト状態を使用して実行する場合、強固性の低下を縮小することができる。

【0105】

例示的な 1 つのシーケンスされた反応行動の設定は、ロボット 3 0 2 によって用いられ、部屋間の移行または遠位の部屋へのナビゲートを行う。図 2 4 B に示されるように、ホームイングビーム整列行動 2 9 4 a は、整列開始（例、ホームイングリクエスト）の許可条件が発効され、戻るべきビームが多方向センサによって検出される、許可条件を含む。後述するように、ホームイングリクエストの許可条件は、異なる方法で設定および保持することができる。ホームイングビームのホームイング行動 2 9 4 b は、整列が成功したときに実行される。なお、整列は予期せずに生じうる（ロボットは、ホームイングリクエストが発効されたときに、すでに整列することが可能である）ので、ホームイングビームのホームイング条件は、許可条件としてホームイングリクエスト（フラグまたは状態）、および戻るべきビームとして識別されたビームに実質的かつ必然的に向けられた（または、例えばそのような検出に同等なものとなるようにフィルタ処理された）指向性センサ（双眼鏡）を使用した検出も有する。したがって、2 つのシーケンスされた反応行動は、シーケンスに対するそれぞれ別個のエントリ位置であり、共通反応シーケンスリクエストの許可条件を共有する。センサベースの許可条件に不具合があった場合、これらの行動は（内部的に、またはプランナ 2 5 3 によって）中止され、シーケンスリクエストはアクティブのままである（またはリセットすることが可能である）。この場合、シーケンスは、次にいずれかのセンサベースの許可条件が生じたときに再開することが可能である。状況に応じて、ランダムな構成要素（ランダムなカバレッジへ戻り、一方で、シーケンスリクエストまたはホームイングリクエストの許可条件を無効にする、ランダムな距離または時間）は、系統的な不具合またはルーピングの可能性を減少させるために、逐次的な反応行動の中止に従って生じさせることができる。

20

30

【0106】

ホームイングビームのホームイング行動 2 9 4 b が完了した後に、シーケンスは、ロボットが適切に位置してフィールドと整列を行い、新しい部屋へ移行するように、ビーコン周辺のフィールド追従の開始を許可する状態に関して仮定される状態にある。（新たな）整列開始の許可条件（例、フィールド整列状態またはリクエスト）は、シーケンスされた反応行動を完了することによって、またはプランナによって、条件フラグまたは状態機械を経て設定することが可能である。そのフィールドが、ホームイングリクエストの開始時に遭遇した第 1 の検出可能な信号となり得る可能性に適応するために、多方向受信器による近接フィールドの検出は、フィールド整列リクエストと同等の（OR）条件であり、フィールドと遭遇したときにホームイングリクエストがアクティブであれば、この組み合わせもフィールド整列行動 2 9 4 c を開始する。中止条件が無い場合は、フィールド整列行動 2 9 4 c を実行する。フィールド整列行動 2 9 4 c が完了した後に、（シーケンスされた反応行

40

50

動の) シーケンスは、ロボットが適切に配向されてフィールド追従を開始する状態に関して次の仮定が行われる状態にある。(新たな) 追従開始の許可条件(例、フィールド追従状態またはリクエスト)は、シーケンスされた反応行動を完了することによって、またはプランナによって、条件フラグまたは状態機械を経て設定することが可能である。同様に、開始行動294eは、主要な許可条件として、センサ検出ではなく、状態ベースのリクエストを有することが可能である。これらの動作294a、294b、294c、294d、294eのそれぞれは、以下に詳述する。

【0107】

これらの場合のうちの2つでは、状況に応じて、シーケンス全体に入るための状態(ホームングリクエスト)が保持され、シーケンスの次の部分を開始するための更なる状態(フィールド追従リクエスト、開始リクエスト)が設定され、いずれの条件も、次のシーケンスされた反応行動を開始する必要がある。これによって、(シーケンスリクエスト状態の全体を保持することによって)中止後すぐにシーケンスを再開することができる。別様には、シーケンス全体のエントリリクエストがリセットされ、次のシーケンスされた反応行動のエントリ条件(フィールド整列リクエストまたはフィールド追従リクエスト)だけが設定される。これによって、中止後に、(例えば、プランナにシーケンスリクエストを設定させる新たな、または継続的に生じる条件によって)シーケンス全体を別途再開させることになり、基本的に全ての状態を消去することによって、全般的な強固性(必ずしも目標特定の強固性ではないが)を向上させることが可能である。

【0108】

2つの場合では、いかなるセンサベースの条件も、シーケンスにおいて次のシーケンスされた反応行動のための許可条件ではないが、許可条件は、シーケンスベースまたは状態ベースのリクエスト(例、フィールド追従リクエスト、開始リクエスト)である。したがって、シーケンスは、次のシーケンスされた反応行動(フィールド追従行動、開始行動など)に対する許可条件として、シーケンス状態または進行だけを含むシーケンスされた反応行動、ならびに、許可条件として(ビーム整列またはトラクタホームング行動)、センサベースの条件およびシーケンス状態の両方、進行、またはリクエストを含む、シーケンスされた反応行動を含むことが可能である。

【0109】

ある場合では、シーケンス全体(ホームングリクエスト)を入力するための状態が保持され、センサベースの条件またはシーケンスベースのリクエストのいずれかは、シーケンス内の次のシーケンスされた反応行動(フィールド整列)のための許可条件である。例えば、ホームングリクエストAND(フィールド整列リクエストORフィールドの検出)は、アービタによって解釈され、より高い優先度を有する反応行動がない場合、フィールド整列を行うことができる。したがって、シーケンスは、次のシーケンスされた反応行動のための許可条件として、シーケンス状態/リクエストの組み合わせのいずれかを含む、シーケンスされた反応行動を含むか、または、センサベースの条件およびシーケンスリクエスト/状態の両方を含むことが可能である。

【0110】

エントリおよび中間シーケンスの分岐は、センサベースの条件およびシーケンス状態の異なる組み合わせに基づいて、異なる行動を許可することによって可能となることに留意されたい。例えば、シーケンスへの2つの可能なエントリ位置が、共通エントリ位置の許可条件(ホームングリクエスト)と同時に、異なるセンサイベント(多方向または指向性)を検出することによって許可されたときに、異なるシーケンスされた反応行動に対するシーケンス内の分岐は、共通の中間シーケンスの許可条件(例、センサイベントおよびシーケンスステートの一意の組み合わせによってそれぞれ許可された候補行動)と同時に、異なるセンサイベントを検出することによって許可される。状況に応じて、異なるシーケンスのそれぞれが、異なる状態で保持された場合、異なる中間シーケンスの状態の組み合わせは、シーケンス(一意の組み合わせによって許可された候補行動のそれぞれ)のネスティングを可能にする。

10

20

30

40

50

【0111】

シーケンスプランナ253は、状況に応じて、ナビゲーションモードの状態スイッチまたは有限状態機械243aを保持する、および／または、このような状態またはリクエストは別々に保持される（例、追従開始、追従完了）。

【0112】

図24Bに示されるように、プランナ253は、それぞれが、2つ以上のシーケンスされた反応行動をその中に有する、異なる目標指向のシーケンス1-Nを制御することが可能である。その中の行動は、初期条件として、目標状態、エントリリクエスト、または他の状態を有することが可能であり、アービタ252は、必要なレンダリングとして、実行に利用可能な候補行動を識別する。シーケンスの初期行動には、シーケンスリクエストが必要がある場合がある。以降の行動には、いずれかの次のシーケンスされた反応行動リクエスト（または、加えて、シーケンスリクエストも）必要がある場合がある。

10

【0113】

シーケンスされた行動は、少なくとも、反応行動として同じアービタ252に依存する場合、および／またはリアルタイムのセンサイベントに反応する反応行動と同じ状態の許可条件としてシーケンス状態に反応する場合、および／または少なくとも逃避および回避行動よりも低い優先順位が付けられている場合があるので、シーケンス状態に依存しているにもかかわらず、「反応」である。加えて、状態を完全にリセットして、反応プロセスを再開することが可能である。シーケンスまたは次のシーケンスされた反応行動の許可条件が満たされた場合であっても、満足する許可条件も有し、連続的な自律動作も保つ反応行動が代わりに実行される。反応ドッキング行動は、一般的にロボットが継続される自律動作のために帰還および充電できるようにするものであり、特に、ナビゲーション関連のシーケンスされた反応行動よりも高い優先順位が付けられる。反応カバレッジ行動は、特に、ナビゲーションのシーケンスされた反応行動よりも低い優先順位を付けることが可能である。本願明細書に述べられたドッキング行動のいくつかの部分は、シーケンスされた反応行動として代替的に配置される。または、他のシーケンスが可能である。ビーコンベースのナビゲーションは、本願明細書に述べられているように、シーケンスされた反応行動と、シーケンスされていない反応行動との組み合わせの一実施例である。

20

【0114】

図24Bに示されるように、第2のアービタ252aは、（例えば、シーケンスプランナ253と組み合わせて）一連のシーケンスされた反応行動を管理することが可能である。または、マスタアービタ（図示せず）は、反応行動の第1のアービタ（例、252）と、異なるシーケンスされた反応行動の以降のアービタ（例、252a）とを管理することが可能である。

30

【0115】

図24Bに示されるように、特にナビゲーションアプリケーションに関しては、シーケンスプランナ253は、モニタを含むか、トポロジカル形態で位置状態を保持するか、またはロボットが動作する環境に関するその同等物を含むことが可能である。これは、ビーコンを使用することで、ノードおよびリンクを有するトポロジカルマップとすることが可能であり、ここでは、ノードを部屋とする（それによって、リンクは、ゲートウェイまたはビーコンとなる）か、またはゲートウェイとする（それによって、リンクは、ゲートウェイの側部となる）ことが可能である。位置状態の主な用途は、ホーミングビームまたはホーミング基準のアイデンティティを、アービタに、またはシーケンスされた反応行動に提供することである。アービタに提供された場合は、そのアービタは、ビームが位置状態に対する適切なアイデンティティ（符合化）を有するときのみ、行動に対するセンサベースの許可条件（例、ビーム検出）を認識することが可能である。別様には、行動自体は、受信した許可条件（例、ビーム検出）のアイデンティティまたは符合化を調査する。中止条件は、ビーコンが再構成などされた場合に生じさせることができ、また、この中止条件は、ビーコンまたは基準のブラックリスト化、またはマップのリセット（新たなマッピングが必要）を生じさせることができる。いずれの場合も、ロボット302は、カバレッ

40

50

ジの提供、およびローカル領域における他の残りの反応行動の提供を継続する。プランナ 253 は、位置状態を使用して、（充電のためにドックから帰還するために、ドックから遠隔または遠位の部屋へ直接進むために）遠隔または遠位の部屋との距離を横断するために、シーケンスされた反応行動のシーケンスを連続して実行し、また、トポロジカルマップ上の移動すべき方向に基づいて、ナビゲーション方向に対して適切な順序で、案内基準またはビームのアイデンティティを提供することによって、（位置状態が保持されている間は）異なる方向におけるナビゲーションに使用されるべき同じシーケンスされた反応行動を許可する。

【0116】

プランナ 253 によって保持／実行される 1 つの候補ルーチンを図 25A に示す。このルーチンの要素は、必ずしも順番通りであるとは限らない（例えば、異なる状態は示された順序から離れることもある）。プランナルーチンは、目標指向の、またはシーケンス開始条件を監視する（502）。上述のように、これは、時間、距離、清掃度、計測、障害物相互干渉の履歴、または他の基準の記録する変数とすることが可能であり、条件が満たされたときに、計画されたシーケンス（部屋から部屋へのナビゲーションなど）を実行すべきであることを示す。条件は、状態、有限状態機械のフラグまたは状態となり得る。このような条件が存在する場合（504）、プランナは、プランナがこのようなシーケンス状態を保持しているかどうかを、記されたシーケンスに沿ってロボットの状態をチェックする（506）。例えば、プランナ 253 は、図 25B に示されるように、状態マップ、またはビーコン交差シーケンスの状態を定める有限状態機械の現在の状態を保持または監視することが可能であり（ここでは、「開始のための整列」、「ホーミング」、「ホーミング後の整列」、および「追従フィールド」の状態が利用可能である）、代替的に、状態マップまたは有限状態機械を例示化することが可能である。プランナ 253 は、加えて、または代替的に、本願明細書に述べられているようなホーミングリクエストのような、シーケンスへのエントリのための行動の許可条件を設定するか（508）、またはシーケンス全体のエントリ行動の許可条件、および／または次のシーケンスされた反応行動の許可条件を設定することが可能である。プランナ 253 は、加えて、例えばマップの識別状態に基づいて（例えば、図 25C に示されるように、ライトハウス／ビーコン X、Y、Z のビーム A または B —「緑色」または「赤色」— のどれか、部屋 1、2、3 およびドックのどれに接続されているのかを定義するマップの状態に基づいて、および、プランナ 253 によって定められた次の目標の部屋に基づいて）、行動またはアービタが認識する（例えば、追従すべきビーム、または戻るべき、あるいは進むべき基準のアイデンティティなど）ための案内変数を設定することが可能である（510）。プランナ 253 は、加えて、進行中にシーケンスされた反応行動の中止条件（512、例、タイムアウト、反応回避または逃避行動による中断）、および／または（行動は、中止前にこれらを内部的に設定またはリセットすることも可能であるが）このような中止時のマップの状態を監視することが可能である。

【0117】

ロボット 302 が指定された清掃期間を検出した後に、またはロボット 302 が所定の回数の衝突を検出した後に、あるいはロボットが一連のシーケンスされた行動に必要な所定の条件を検出した後に、コントローラ 250 上で実行されているシーケンスプランナ 253 は、清掃モードを抜けて、マイグレーションモードに入ることを決定する。ロボットは、遠位または遠隔の部屋の清掃を始めるようにそこに進むために、ドックから直接マイグレーションモードに入ることも可能である。マイグレーションモードは、1 つの部屋から隣接する部屋まで移動するタスクを実行する。上述のように、マイグレーションモードは、好都合にモノリシックプロセスではないが、初期行動によって開始された一連のシーケンスされた反応行動であり、マイグレーションモードのリクエスト（本願明細書では「ホーミングリクエスト」とも称される）の許可条件を有する。プランナ 253 は、「新しい部屋」／ホーミングリクエストの許可条件、状態、またはフラグを立てる。残りの許可条件は、案内トラクタビームのセンサ検出（状況に応じて、戻るべきライトハウス／ビー

10

20

30

40

50

コンを端緒とする、位置状態 2 5 3 b に基づいて識別された 1 つのビームに限定される) であり、(ロボットがビーム内にある場合は略直ちに、または許可条件を満たしてカバレッジ行動を続けるときにロボットがビームに遭遇した後に) ビームが検出されたときには、ホーミングビームをトリガして、整列行動 2 9 4 a を実行するために、アービタ 2 5 2 によって選択される。ロボット 3 0 2 は、ホーミングビーム(整列行動 2 9 4 a)を実行し、同時に、場合により、(いずれかのクリフ検出器が床を認知できないとき、すなわち、より高い優先度の反応回避行動の許可条件も満足する、あらゆる場合に)クリフ回避 2 5 6 を実行し、また、(例えば、中止条件がシーケンスをリセットした場合に)駆動 2 6 6 の行動を実行することによって、ある有界領域から隣接する有界領域までマイグレーションするタスクを行う。複数の行動がセンサ入力またはプランナ 2 5 3 によってトリガされたときに、アービタ 2 5 2 は、行動を優先度の順にアービトレートする。すなわち、アービタは、反応行動の異なるシーケンスの中でアービトレートすることが可能であり、またはプランナは、1 つのシーケンスの開始のみを行うことが可能である。シーケンス 2 6 2 と交差するビーコンは、5 つのシーケンスされた反応行動を有し、ホーミングビーム(整列行動 2 9 4 a)から開始し、これらの行動は、本願明細書に述べられたような制御器の入力に基づいて、逐次的に実行される。ロボット 3 0 2 が、より高い優先度を有する行動の実行を必要とする信号入力(バンプセンサの入力など)を受けた場合、ロボット 3 0 2 は、より高い優先度の行動を実行し、その後、必要な許可条件が存在するときに、シーケンスされた反応行動の以前のシーケンスを再開する。

10

【0 1 1 8】

20

図 3 1 A ~ G は、ナビゲーションビーコン 3 0 4 を使用して、ある領域から別の領域に移動するときの、行動ベースの自律カバレッジロボット 3 0 2 を示す俯瞰図である。図 2 6 ~ 3 0 は、ビーム整列 2 9 4 a、ビームホーミング 2 9 4 b、フィールド追従 2 9 4 c、フィールド整列 2 9 4 d、およびビーコン離脱 2 9 4 e の行動を含む、シーケンスされた反応行動 2 6 2 と交差するビーコンを示す図である。

【0 1 1 9】

ビーコンと交差するシーケンス 2 6 2 は、ビーコン 3 0 4 に関する第 1 の有界領域内のロボットの位置に基づいて、ビームホーミング 2 9 4 b またはビーム整列行動 2 9 4 a に入ることによって開始する。一般的に、ロボット 3 0 2 は、操縦を開始して、その無指向性受信器 1 0 4 によって、ナビゲーション用のビーコン 3 0 4 から第 1 の領域への第 1 の方向付けられたビーム 3 0 6 を検出する(例えば、3 6 0 ° 旋回、または円形に駆動する)。

30

【0 1 2 0】

図 2 6 は、ビーム整列行動 2 9 4 a を示す図である。示されるように、アービタ 2 5 2 は、少なくともホーミングリクエスト状態またはリクエストが示されるまで、また、指向性またはトラクタビーム 3 0 6 が、行動の許可条件またはトリガとして、ロボット 3 0 2 の多方向または無指向性センサ 3 2 2 によって受信されるまで、ビーム整列行動 2 9 4 a を候補として(すなわち、許可条件を満たした他の行動より優先させることを)許可しない。実行を許可するために、いかなる高優先度の行動(例、反応行動)も満足する許可条件を有さない。このトラクタまたは方向付けられたビーム 3 0 6 は、(例えば、アイデンティティまたは現在のマップ状態に対応する符号化を有するビームにのみ対応することによって)状態マップ上のロボット 3 0 2 の現在の位置において予想されるものに限定することが可能である。これらの条件が満たされると、アービタ 2 5 2 は、ビーム整列行動 2 9 4 a の実行を許可する。いずれかの条件がもはや満たされなければ、行動を中止することが可能である。図 2 6 にて述べたように、中止条件(例えば、欠落した行動の許可条件、タイムアウト、またはより高い優先度の行動による置換を含む)は、プランナ 2 5 3 によって監視することが可能であり、シーケンスの進行を反映した状態、およびロボット 3 0 2 の位置を保持することも可能である。ビーム整列行動 2 9 4 a は、基本的にその場でロボット 3 0 2 を回転または旋回させて(5 2 2)、ランダムな方向に出発する。可能性のあるビーム検出は、例えば現在のプロセスによって監視された過去のビームの検出に基

40

50

づいて保持することも可能であり、その場合は、旋回方向は、より短いと予想されるものとするのが可能である。指向性受信器 318 が方向付けられたビーム 306 を受信すると (524)、その行動を終了する。ロボット 302 は、ホーミングリクエストがアクティブでない限り、適切なビームに遭遇し、いずれかがシーケンスに対して有効なエントリ位置であるときに、整列および帰還の試みを継続するので、追従する可能性のあるビームホーミング行動 294b に対するリクエストとして状態を設定する必要はない。シーケンスの後のステージは中間シーケンスであって、このような状態を使用することが可能である。したがって、ビーム整列行動 294a は、選択の一実施例であり、より高いレベルの反応の制御および起こり得る強固性を保持するために状態を設定するものではない。

【0121】

図 31A は、プランナ 293 からのホーミングリクエストがアクティブである場合に、ロボット 302 が、ナビゲーションビーコン 304 によって放射された第 1 の方向付けられたビーム 306 に遭遇したときに、ビーム整列行動 294a に対する準備、およびその実行を示す図である。第 1 の方向付けられたビーム 306 を検出すると、ロボット 302 は、ビーム整列行動 294a を開始する。ビーム整列 294a の間、駆動システム 130 は、ロボット 302 を (例えばその場旋回によって、例えばランダムな方向に出発することによって) 動かして、指向性受信器 318 によって第 1 の方向付けられたビームエミッション 306 を検出し、ロボットの駆動方向と整列される。指向性受信器 318 の 2 つの構成要素受信器 114 および 116 からの信号を使用することによって、ロボット 302 は、駆動方向をビーコン 304 の方向付けられたエミッション 306 と整列する。図 31B は、ロボット 302 が、無指向性受信器 322 によってビーム 306 を検出し、ビーコン 304 に面するように旋回することを示す図である。

【0122】

ロボット 302 が、指向性受信器 106 を使用することによって、駆動方向をビーコン 304 の方向付けられたエミッション 306 と整列した後に、ロボットは、ビームホーミング行動 294b を開始することが可能である。

【0123】

図 27 は、トラクタまたは方向付けられたビームホーミング行動 294b を示す図である。示されるように、アービタ 252 は、少なくともホーミングリクエスト状態またはリクエストがアクティブになり、指向性またはトラクタビーム 306 が、行動の許可条件またはトリガとして、ロボット 322 の指向性センサ 318 によって受信されるまで (最も高い優先度の候補の) 実行を許可しない。このトラクタまたは方向付けられたビーム 306 も同様に、状態マップ上のロボット 302 の現在の位置において予想されるものに限定することが可能である。これらの条件が満たされると、アービタ 252 は、ビーム整列行動 294b の実行を許可することが可能である。いずれかの条件がもはや満たされなければ、行動 294b を中止することが可能である。図 27 にて述べたように、中止条件および得られる状態は、プランナ 253 によって管理することが可能である。トラクタまたは方向付けられたビームホーミング行動 294b は、方向付けられたビームエミッションに追従する (532)。追従の 1 つの例示的な方法では、交互の曲線を使用している。指向性双眼センサ 318 のそれぞれの平行なセンサ 114 および 116 は、(例えば、独立に閾値化するか、または互いに閾値化した) 信号の強度に基づいて、ビームの存在を反映する 1 ビットの真偽値を介すように調整される。ロボット 302 がビーム 306 の方へ、およびそれから離れて旋回するときに、真偽、真真、および偽真のビーム検出が可能である (調整により、可能性を真偽および偽真に限定することも可能である)。「バングバング (bang-bang)」サーボイングを使用して、ロボット 302 が前方へ移動するときに、旋回方向を変化させることが可能である。それぞれの旋回は、半径を減じた弧形、すなわち内向きの螺旋の一部である。別様には、アナログ値を保持して、より複雑なフィードバック制御を用いることが可能である。追従 (532) は、ロボットが適切な方向に進み、まっすぐに前進することを判断するようにドッキングすることに関して、代替的に、本願明細書で述べた周波数および分散追跡を用いることが可能である。無

10

20

30

40

50

方向性／無指向性受信器 3 2 2 が、方向付けられたビーム 3 0 6 を検出すると (5 3 4)、行動は終了できる状態にある。状態は、シーケンスされた反応行動、すなわちフィールド整列リクエストのシーケンスを継続するように設定される。行動 2 9 4 b は、この状態自体を、例えばメモリ内のフラグとして設定することが可能である (5 3 6)。または、プランナ 2 5 3 は、行動 2 9 4 a が完了して、このようなフラグまたは状態が、有限の状態マップまたは機械内に設定されることを監視することが可能である。

【0 1 2 4】

行動シーケンスは、述べられているように、指向性受信器 3 1 8 がすでに方向付けられたビームエミッション 3 0 6 を検出しており、また、既に方向付けられたビームエミッション 3 0 6 と整列されている場合は、ロボット 3 0 2 が、ビーコンの交差シーケンス 2 6 2 を開始した後に、ビーム整列行動 2 9 4 a を省略できるようにする。中止条件は、これらを回避して後に再起動できるようにすることが可能である。本願明細書に述べられているように、反応行動ベースの制御と、シーケンスされた反応行動の制御との組み合わせが有益である。しかし、本願明細書に述べられるいくつかの実施形態は、必ずしも他の反応または非反応の技術を除外するとは限らない。ビームホーミング行動 2 9 4 b の実行中、ロボット 3 0 2 は、ナビゲーション用のビーコン 3 0 4 の方へ移動し、一方で、指向性受信器 3 1 8 の信号に応じて、方向付けられたビーム (例、サーボすること) によってその位置あわせを保持する。図 3 1 C は、ナビゲーションビーコン 3 0 4 に接近するロボット 3 0 2 を示す図である。ロボット 3 0 2 がビーム 3 0 6 のエッジ 3 2 0 に追従するとき、ロボット 3 0 2 は、矢印 3 0 8 で示されるようにその進路を調整する。図 3 1 C に示されるように、ロボット 3 0 2 は、ビーコン 3 0 4 から全方向に横方向に投射された、近接フィールドエミッション (または「フォースフィールド」) に遭遇したときに、ビーコン 3 0 4 の方への移動を停止する。

【0 1 2 5】

シーケンスされた反応行動の一部として好適である別の行動として、指向性受信器 3 1 8 が、無指向性受信器 3 2 2 よりも遠隔で、(例えば、コリメーションおよび閉じ込めによって) より高感度となるように選択された場合、無指向性センサ 3 2 2 が受信しないにもかかわらず、指向性受信器 3 1 8 は、フォースフィールドエミッション 3 1 0 を受信することが可能である。この場合、指向性センサ 3 1 8 を使用して、代替的に、フォースフィールドエミッション 3 1 0 上に帰還することが可能である。この場合、別の行動がシーケンス内に提供され、センサベースの許可条件が、フォースフィールド 3 1 0 を指向性センサ 3 1 8 内で認知するという条件であること、およびホーミングがこのエミッション 3 1 0 上にあることを除いて、トラクタホーミング行動 2 9 4 b と同一である。行動の強固性の一例として、この行動は、他の行動を変更すること無く、または他のプロセスを中断すること無く、反応行動のシーケンスに任意に加えることが可能であり、より信頼性のあるいずれかの経験的な根拠に基づいて、既存のトラクタホーミング行動 2 9 4 a より高いか、または低い優先度を有する。

【0 1 2 6】

近接フィールド 3 1 0 を検出すると、ロボット 3 0 2 は、フィールド整列行動 2 9 4 c を実行する。図 2 8 は、フィールド整列行動 2 9 4 c を示す図である。示されるように、アービタ 2 5 2 は、少なくともホーミングリクエスト状態またはリクエストがアクティブになり、いずれかのフィールド整列リクエストがアクティブになるか、または近接フィールド 3 1 0 が無指向性センサ 3 2 2 において認知されるまで、(最も高い優先度の候補の) 実行を許可しない (後者は、ロボット 3 0 2 が、方向付けられたビーム 3 0 6 に遭遇する前に、近接フィールド 3 1 0 に偶発的に「巡り合う」ときに、行動シーケンスがフィールド整列 2 9 4 c へ進むことを許可する)。フィールドも同様に、状態マップ上のロボット 3 0 2 の現在の位置において予想されるものに限定することが可能である。これらの条件が満たされると、アービタ 2 5 2 は、フィールド整列行動 2 9 4 c の実行を許可することが可能であり、中止条件は、上述したようにプランナ 2 5 3 によって管理される。フィールド整列行動 2 9 4 c は、基本的にその場でロボットを回転または旋回させる (5 4 4

）。可能性のあるビーム方向は、ビームアイデンティティ（例えば、ドック 3 4 0 に向かって、ドック 3 4 0 に対して左ビーム 3 5 0 に追従することは、ロボット 3 0 2 が時計回りに旋回することを、右ビーム 3 6 0 に追従することは、反時計回りに旋回することを意味する）、または他の状態、あるいは情報に基づいて判断することが可能である。ロボット 3 0 2 は、より短いと予想される方向か、またはランダムに旋回することが可能である。無指向性または無方向性受信器 3 2 2 は、方向付けられたビーム 3 0 6 を検出し（5 4 6）、行動 2 9 4 c を終了する。状況に応じて、行動 2 9 4 c は、更なる条件が満たされるまで終了せず、指向性ビーム 3 0 6 は、指向性受信器 3 1 8 内に存在しない（これは、ロボット 3 0 2 が、ドック 3 4 0 を横断して回転する可能性を増加させる）。フィールド追従リクエストは、上述のように、行動自体によって（5 4 8）、プランナ 2 5 3 によって、または他の方法によって、シーケンスされた反応行動のシーケンスを継続するように設定される。

10

【0 1 2 7】

したがって、図 3 1 D に示されるように、ロボット 3 0 2 がビーコン 3 0 4 に面したときに、ロボット 3 0 2 は、旋回操縦を開始して（例えば、中心間距離上に駆動ホイールを有するか、またはホロミックな駆動を有する差動駆動ロボット、または高度に操縦可能なロボットのためのその場旋回、他の構成のための略その場旋回）、第 1 の方向付けられたビーム 3 0 6 のビームの符号化に基づいて、ロボットの駆動方向を他の方向付けられたビーム 3 1 4 の方へ右または左に変更するので、ロボット 3 0 2 は、指向性受信器 3 1 8 によって近接フィールド 3 1 0 を検出することができる。ロボット 3 0 2 は、指向性受信器 1 0 6 によってもはや近接ビーム 3 1 0 を検出しなくなると、旋回操縦を停止する。

20

【0 1 2 8】

ロボット 3 0 2 は、方向付けられたビーム 3 0 6 に遭遇する前に、近接フィールド 3 1 0 に遭遇する場合がある。この場合、ロボット 3 0 2 は、ビーム整列行動 2 9 4 a またはビームホーミング行動 2 9 4 b を実行しない。代わりに、ロボット 3 0 2 は、近接フィールド 3 1 0 の符号化を認識し、フィールド整列行動 2 9 4 d を実行する。

【0 1 2 9】

ロボット 3 0 2 が、指向性受信器 2 1 8 によって近接フィールドビーム 3 1 0 をもはや検出しないとき、ロボット 3 0 2 は、フィールド追従行動 2 9 4 c を実行する。

【0 1 3 0】

図 2 9 は、フィールド追従行動 2 9 4 d を示す図である。示されるように、アービタ 2 5 2 は、少なくともホーミングリクエスト状態またはリクエストがアクティブになり、フィールド追従リクエストがアクティブになるまで、（最も高い優先度の候補の）実行を許可しない。上述のように、これは、シーケンスをより容易に放棄して強固性を保つ場合に、単純にフィールド追従リクエストに限定することが可能である。フィールドは、状況に応じて、予想されるものに限定される。これらの条件が満たされると、アービタ 2 5 2 は、中止条件に従属する、フィールド追従行動 2 9 4 d の実行を許可することが可能である。フィールド追従行動 2 9 4 c は、上述のように交互に半径を減じた曲線を使用して、近接フィールドエミッション 3 1 0 のエッジ 3 1 2 に追従する（5 5 4）。無指向性センサ 3 2 2 は、信号強度に基づいて、ビームの存在を反映する 1 ビットの真偽値を返すように構成することが可能である。無方向性／無指向性受信器 3 2 2 が、次の方向付けられたビーム 3 1 4、すなわち開始ビームを検出すると（5 3 4）（この検出は、ビーコン 3 0 4 の予想されるビームに限定される、および／またはロボット 3 0 4 の位置状態に基づく）、行動は終了できる状態にある。状況に応じて、指向性受信器 3 1 8 が、（近くの白色のドアまたは壁の角部のような、高反射性の表面からの反射によって、無指向性検出器 3 2 2 が開始ビーム 3 1 4 を尚早に検出する場合を除外する傾向にある）開始ビーム 3 1 4 を検出しなくなるまで、行動 2 9 4 d は、さらにチェックを行って進行する。状態は、シーケンスされた反応行動、すなわち開始リクエストのシーケンスを継続するように設定される。行動 2 9 4 c がこの状態自体を設定するか（5 5 8）、またはプランナ 2 5 3 がこれを制御することが可能である。

40

50

【0131】

図31Eに示されるように、フィールド追従行動294d中に、ロボット302は、ビーコン304周辺に結果として生じた弧形内を動かされ、一方で、指向性受信器322を経て近接ビーム310のエッジ312に追従する。ロボット302は、ロボットのエミッションセンサ318および322上の、フォースフィールドエミッション310の受信信号強度を監視することによって、フォースフィールド310のエッジ312に追従する。弧形を動かす一実施例では、ロボット302の、近接ビーム310のエッジ312に沿った「ジグザグ」の前後進を伴い（例えば、「バングバング」サーボイング、または1ビットの真偽の検出を使用した追従、および徐々に旋回半径を減少させる最初は弧状の前進運動（例、螺旋形））、ロボット302は、無指向性受信器322によって、近接ビーム310のエミッションのフィールドへの出入りを検出する。別の実施例では、ロボット302は、フォースフィールド310内の時間またはフォースフィールド310のタイムアウトに基づいて、PID（Proportional-Integral-Derivative：比例-積分-微分）制御システムを使用して、フォースフィールドのエッジ312に追従する。PID制御システムは、ロボット302の弧形を制御する。ロボット302は、駆動ホイール132および134の両方が前進方向に駆動されるように、駆動ホイール132および134の両方に対して、速度を減じた（例、カバレッジ速度の50%未満）操縦を実行する。これは、移行および敷居の横断を容易にする。ロボット302は、通常ゲートウェイビーム316によってカバーされる領域を通る。図31に示されるように、ロボット302が、第2の指向性ビーム314に入り、指向性受信器318がもはや方向付けられたビーム314を検出しないことを、無指向性受信器322が検出するまで、ロボット302は、近接ビーム310のエッジ312への追従を継続する。述べられたように、両方の基準を満たすことで、ロボット302が、白色のドアのような隣接する物体で反射したビームエミッションを検出しないようにすることを助力する。

【0132】

図29は、開始動作294eを示す図である。示されるように、アービタ252は、開始リクエストがアクティブになり、ホーミングリクエストも必要となり得るまで、（最も高い優先度の候補の）実行を許可しない。開始動作294eは、開始ビーム314内の無指向性検出器322によって最後の位置を仮定し、また、開始ビーム314を略横断し、開始ビーム314の近似方向においてフィールド314／ビーコン304から離れて湾曲する方向を取る（例えば、ロボット302が左から右に横断して、時計回りに湾曲した場合、およびロボット202が逆方向に横断して、反時計回りに湾曲した場合に、ドック340に面する）。状況に応じて、ロボット302は、無指向性センサ322において開始ビーム314が検出されなかったときに、開始ビーム314へ戻るようにサーボすることによって、開始ビーム314の範囲内に留まろうとすることが可能である。所定の時間（例、5秒）または距離（例、1m）、あるいは障害物に接触した後、行動は終了できる状態にある。この時点で、プランナ253は、ホーミングリクエスト（および、例えば、トポロジカルマップの位置状態の更新、および保持されていれば、ナビゲーションモードの状態のクリアまたはリセット）を終了することが可能であり、反応行動は、以降の部屋におけるロボットのカバレッジ作業を開始する（または、バッテリーが充電されていれば、マップの位置状態に基づいて、ドックの方向で別のホーミングリクエストを開始することが可能である）。プランナ253は、また、別のホーミングリクエストを直ちに開始するか、または、ロボット302が、部屋から部屋へ進む、例えば、部屋に直接移動するか、遠位または遠隔の部屋から移動するように、マップの位置状態に基づいて、現在のホーミングリクエストの変数をリセットすることも可能である。

【0133】

すなわち、図31Fに示されるように、フィールド追従行動294cが完了すると、ロボット302は、図30に示されるように、離脱ビーコン行動294eを実行することが可能であり、これは、ロボット302がビーコン304から離れる移動を伴う。別様には、これは、旋回および開始として実行することができる、および／または開始ビーム31

4 および無指向性受信器 3 2 2 によって案内することができる。例えば、図 3 1 G は、ロボット 3 0 2 が方向付けられたビーム 3 1 4 のエッジを通過するときに、ロボット 3 0 2 が、ナビゲーションビーコン 3 0 4 から離れて旋回して、第 2 の領域に面していることを示す図である。ロボット 3 0 2 が、無指向性受信器 3 2 2 によって第 2 の方向付けられたビームエミッション 3 1 4 を検出した場合、ロボット 3 0 2 は、ビーコン 3 0 4 から離れるように動かされる。ロボット 3 0 2 が、無指向性受信器 3 2 2 によって第 2 の方向付けられたビームエミッション 3 1 4 を検出しなかった場合、ロボット 3 0 2 は、図 3 1 H に示されるように、ゲートウェイに弧状に動いて戻ることを回避するために旋回することなく、前進方向に移動する。離脱ビーコン行動 2 9 4 e の別の実施例は、ロボット 3 0 2 が、走行距離計測法（または、例えば、プランナ 2 5 3 が、ビームが次のビーコンのビームまたはマップによるフィールドと整列した時点で行動のシーケンスを再開する、遠位または遠隔の部屋の横断シーケンスを含むときの、シーケンス内の次のビーコン）を使用して、特定の方向にロボット自体を整列するステップと、現在のビーコン 3 0 4 から放射されたビームのうちのいずれかからのガイドを用いずに、その方向に移動するステップとを含む。図 3 1 G は、ロボット 3 0 2 がマイグレーションを終了したときの、ナビゲーションビーコン 3 0 4 から遠ざかる移動を示す図である。

【0 1 3 4】

マイグレーション中に、ロボット 3 0 2 は、それぞれのナビゲーションビーコン 3 0 4 に遭遇し、一方でベースステーション 3 4 0 から離れた時点で、第 1 および第 2 の方向付けられたビーム 3 0 6 および 3 1 4 それぞれのビームの符号化を、メモリ内に格納する。ベースステーション 3 4 0 に戻るために、ロボット 3 0 2 は、カバレッジ行動を行い、一方でホーミングリクエストをオンにし、その結果、適切なビーム 3 0 6 および 3 1 4 をそれぞれ発見し、対応する符号化を行って、ベースステーション 3 4 0 に戻る一連の遭遇したビームに追従する。一実施例では、ロボット 3 0 2 は、ナビゲーション用のビーコン 3 0 4 と無線（例、無線周波数）で通信して、それぞれの以前に遭遇したビーム 3 0 6、3 1 4、および 3 1 6 を 1 つずつ独立に作動させて探索し（それ自体をビーム経路内に配置するように、ランダムなバウンドおよび／または障害物追従を使用して部屋を横断する）、ベースステーション 3 4 0 に戻るそれぞれのビームに追従することができる。

【0 1 3 5】

別の実施例（図示せず）では、ナビゲーションビーコンは、少なくとも 1 つ、2 つ、または 3 つのビーム信号を放射することが可能であり、これらのビームは、フェンス／ゲートビーム（本願明細書では「黄色」と称されるが、実際には、I R 帯域の第 1 の周波数の第 1 の変調を有する）と、右側ナビゲーションビーム（「赤色」と称されるが、実際には、「黄色」のビームからの I R 帯域における、異なる変調または異なる周波数のうちのいずれかまたは両方を有する）、と左側ナビゲーションビーム（「緑色」と称されるが、実際には、「黄色」および「赤色」のビームからの I R 帯域における、異なる変調または異なる周波数のうちのいずれかまたは両方を有する）である。

【0 1 3 6】

複数のナビゲーションビーコンが提供される場合、それぞれのビーコンは、そのビームの異なる変調を有するが、フェンス／ゲートビーム、右側ビーム、または、左側ビームのエミッタは、ナビゲーションビーコンの中で整合性のあることが好ましい。

【0 1 3 7】

フェンス、ゲート、またはトレイルマーカとしての割り当てに関わらず、一実施例として、ナビゲーションビーコンは、それらのベース周辺の円形領域において、幾何学的に決定されたフォースフィールド（フォースフィールドは、可視光または I R 光ではなく無線周波数 R F とすることも可能であるが、同様に「青色」も、実際には、I R 帯域における異なる変調または周波数のいずれかまたは両方である）を放射することが可能である。これは、ロボットに対するその存在を識別することが可能であり、これによって、ロボットは、例えば、（ゲートを介して、またはトレイルマーカを通過して）ナビゲーションビーコン周辺の経路に追従することができる。

【0138】

I R ベースのビーコンシステムは、幾何学的ソリューションを使用するようにデザインすることができ、例えば、I R によって明確なフォースフィールドを提供するために、それ自体の周辺の狭い領域だけを照らすシェード付のフロアランプのような、非限定的な実施例に関する特定の観点に類似する。

【0139】

フェンスナビゲーションビーコンは、例えば、ナビゲーションビーコンの正面に直接黄色ビームを放射し（ 0° ）、単一のナビゲーションビーム（赤色または緑色）を、 60° の角度で、黄色ビームの右または左側に放射することが可能である。ゲートナビゲーションビーコンは、別の非限定的な実施例として、黄色ビームを正面に、赤色ビームを -60° で、また、緑色ビームを $+60^\circ$ で放射することが可能である。また、例えば、トレイルマーカのナビゲーションビーコンは、赤色ビームを約 -60° で、また、緑色ビームを $+60^\circ$ で放射することが可能である。

【0140】

いくつかの非限定的な実施例では、ナビゲーションビーコンの「ビーム」は、狭い範囲に焦点を合わせる必要がなく（したがって、特別なレンズが不要である）、ビームを、相互に干渉させずに、実用的に部屋の大半に光を扇形に広げることが可能である。別様には、例えば、他の光学部品を必要としない標準的なホームベース形のLEDを使用することも可能である。

【0141】

図24A、24B、および32A～Eを参照すると、ドッキング行動の優先度（最高から最低まで）は、ドッキングリトライのドッキングバンプ追従264cと、ドッキングバウンド264dと、ドッキング急旋回296cと、ドッキング遠隔ホーミング296bと、ドッキングロープ追従296aと、ドッキングフィールド追従296dとを含む。ロボット302は、一般的に、適切にドッキングするために、 4° 未満のスキュー角で、前方からドック340に接近しなければならない。

【0142】

デフォルトのドッキング行動、ドッキングロープ追従296aは、図32Aに示されるように、いかなる他のドッキング行動もより高い優先度を持たないときに実行される。ロボット302は、左側（赤色）ビーム350しか検出しなかったときには、時計回り方向に赤色ビーム350のエッジに追従する。ロボット302は、右側（緑色）ビーム360、または赤色ビーム350および緑色ビーム360の重複領域を検出したときには、反時計回り方向に緑色ビーム360のエッジに追従する。これにより、ロボット302は、 0° でドック340の正面周辺で、最も近いドッキングビーム350または360の外側に追従し、次いでドッキング接点の右側の通常（ 0° ）のエッジ362に追従すると思われる。ロボット302は、この行動中にフォースフィールド370を検出すると、より正確に追従するために減速する。

【0143】

ロボット302は、30秒のウィンドウを通じて、無指向性受信器322によって検出された信号を記録する。ロボット302は、先交差イベント（通常（ 0° ）のエッジ362と交差する）の周波数および分散が、約1Hz以上で分散が約2.5秒以下であることを検出したときに、ロボット302が、通常（ 0° ）のエッジ362に追従して、ロープ追従行動296aの下で、（予測できる左右の振幅で）エッジ362への追従を継続する代わりに、スムーズなホーミング行動を実行することによって、単純に直線に駆動することを判断する。

【0144】

図32Bを参照すると、ロボット302が、ドッキングビーム350または360に遭遇し、一方で、直線、螺旋、バンプ追従、または壁追従で駆動され、フォースフィールド370内に存在せず、また、最後の数秒間に指向性受信器318によってドック340が検出されなかったときに、急旋回行動296cが作動される。ロボット302は、赤色ビ

ーム 350 を検出したときに、時計回りにドック 340 の方へ弧状に移動する。ロボット 302 は、赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360 および緑色ビーム 360 の重複領域を検出したときには、ドック 340 の方へ反時計回りに弧状に動く。ロボット 302 は、他のビーム 350 または 360 を検出するか、指向性受信器 318 によってドック 340 を検出するか、または 360° を越えて弧状に動いたときには、この行動 296c を中止する。一般的に、次いで、ローブ追従行動 296a によって追従される。

【0145】

図 32C を参照すると、ロボット 302 が、最後の数秒間に無指向性受信器 322 内にフォースフィールド 370 を検出しておらず、指向性受信器 318 によってドック 340 を検出したときに、遠隔ホーミング行動 296b が作動される。ロボット 340 は、赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360 を検出した場合には、それらの方へ駆動される。ロボット 340 は、フォースフィールド 370 しか検出しなかった場合、フォースフィールド 370 の方へ駆動される。これによって、ロボット 302 は、あらゆる角度で遠くからドック 340 に接近することができる。ロボット 302 が、無指向性受信器 322 によってフォースフィールド 370 を検出したときには、この行動 296b を中止する。正面からの接近中には、この後に、一般的に、ローブ追従行動 296a が続く。側方からの接近中には、この後に、一般的に、フィールド追従行動 296d が続く。

【0146】

図 32D を参照すると、ロボット 302 が、無指向性受信器 322 によってフォースフィールド 370 を検出し、最後の数秒間に無指向性受信器 322 によって赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360 を検出しておらず、また、指向性受信器 318 によって赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360 を認知しないときに、フィールド追従行動 296b が作動される。ロボット 302 は、赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360、バンプ、クリフを検出するか、または 1m 以上移動するまで、ランダムな方向（時計回りまたは反時計回り）に、無指向性受信器 322 によってフォースフィールド 370 のエッジ 372 に追従する。ロボット 302 は、赤色ビーム 350 または緑色ビーム 360 を検出したときには、約 1m の距離か、または通常（0°）のエッジ 362 に沿って直線にドック 340 から離れて移動するために、バンプが検出されるまで、逆ローブ追従 296a を行う。次いで、ロボット 302 は、180° 旋回するか、またはドック 340 に面するまで旋回する。次いで、動作 296b は中止される。一般的に、ローブ追従行動 296a は、ドッキング終了の次に作動する。

【0147】

図 32E を参照すると、ロボット 302 は、ドッキングビーム 350 および 360 か、または、全てではないが、障害物ドック行動 296e の実行によるいくつかの接近角から、ドック 340 へのロボットの物理的な接近を、完全に、または部分的に塞いでいるときであっても、うまくドッキングすることができる。ロボット 302 は、ドック 340 を探索しており、また、最後の数秒間に無指向性受信器 322 内にドッキングビーム 350 または 360 を検出し、次いでバンプも検出したときには、ドッキングバウンド行動 264c を作動する。約 66% の確率で、障害物ドック行動 296e はバンプ追従行動 264c を開始し、約 33% の確率で、単純にロボット 302 をバックアップするドッキングバウンド行動 264d を開始し、側方の衝撃に対して 10° ~ 170° のランダムな角度で旋回するか、正面の衝撃に対して 75° ~ 255° で旋回し、次いで、行動 264d を中止する。バンプ追従行動 264c は、次の条件のうちの 1 つが生じるまで、ロボットのバンパーによって障害物のエッジに追従する。a) ロボット 302 が、約 66% の確率で、指向性受信器 318 によってドック 340 を検出し、無指向性受信器 322 によってドックを検出していない、b) ロボット 302 が、約 66% の確率で、右から左へ通常（0°）のエッジ 362 の交差を検出し、時計回り方向にバンプ追従 264c を行っているか、またはロボット 302 が、左から右へ通常（0°）のエッジ 362 の交差を検出し、反時計回り方向にバンプ追従 264c を行っている、c) ロボット 362 が、無指向性受信器 322 によってフォースフィールド 370 を検出する、d) バンプ追従行動 264c の開始から

30秒が経過した、または、e) ドッキングビーム350または360が、約5秒を越える間、無指向性受信器322によって検出されなかった。

【0148】

バンプの別の可能な実装は、ロボット302がドック340の投射位置を記録するステップと、バンプ追従264c中に推定のドック位置の方へ選択的に旋回するステップとを含む。ロボット302が、通常(0°)のエッジ362と交差し、指向性受信器318によってドック340を検出する度に、ロボット302は、オドメトリを使用して、移動方向に沿って、約5フィート(約150cm)向こうのドック340の位置を投射する。ロボット302は、ドッキング操縦の全体にわたってオドメトリを使用して、ドック340の投射位置に対するそれ自体の配向を推定する。

10

【0149】

バンプ追従および通常のドッキング方法の一時的な組み合わせによって、ロボット302は、これに限定されないが、壁、椅子、箱、およびIRドッキングビームの反射を含む、多種多様な障害物の正面にドッキングすることができる。

【0150】

米国特許第6,594,844号、名称「ROBOT OBSTACLE DETECTION SYSTEM」では、クリフセンサおよび壁追従センサのような近接センサを開示している。米国特許第6,883,201号、名称「AUTONOMOUS FLOOR-CLEANING ROBOT」では、iRobot Roombaカバレッジ／クリーニングロボットの全般的な構造、および主およびエッジクリーニングヘッドを詳細に開示している。米国特許第6,809,490号、名称「METHOD AND SYSTEM FOR MULTI-MODE COVERAGE FOR AN AUTONOMOUS ROBOT」では、行動ベースのロボット学の原理に基づいてアービタによって選択された、逃避行動を含む動作制御およびカバレッジ行動を開示している。米国特許第6,781,338号、名称「METHOD AND SYSTEM FOR ROBOT LOCALIZATION AND CONFINEMENT」では、仮想壁、すなわち、壁シミュレーション有向ビームを使用してロボットの閉じ込めを開示している。それぞれは、参照することによりその全体が本願明細書に援用される。

20

【0151】

本願明細書に記載されたものと組み合わせ可能な他のロボットの詳細および機能は、これらとともに出願された米国特許出願に見出すことが可能である。出願番号____、名称「COVERAGE ROBOT MOBILITY」、出願番号____、名称「MODULAR ROBOT」、および出願番号____、名称「ROBOT SYSTEM」。上述した出願の内容は参照することによりその全体が本願明細書に援用される。

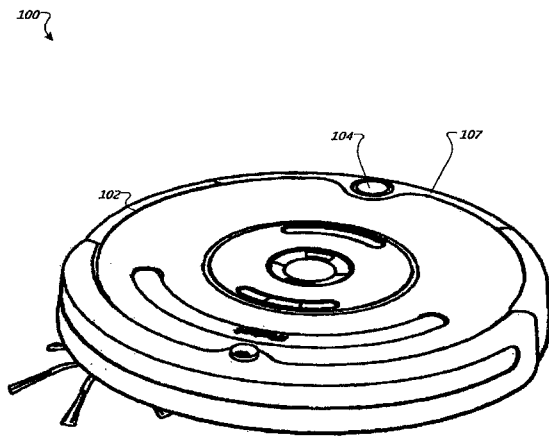
30

【0152】

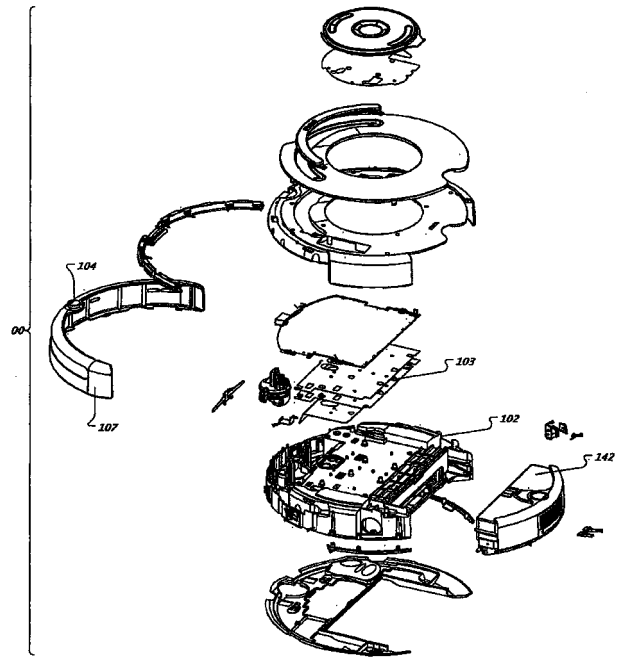
複数の実施例を説明した。それでもなお、添付の請求項の趣旨および範囲から逸脱することなく、種々の改良を行うことが可能であるものと理解されよう。したがって、他の実施例は、添付の請求項の範囲内である。

40

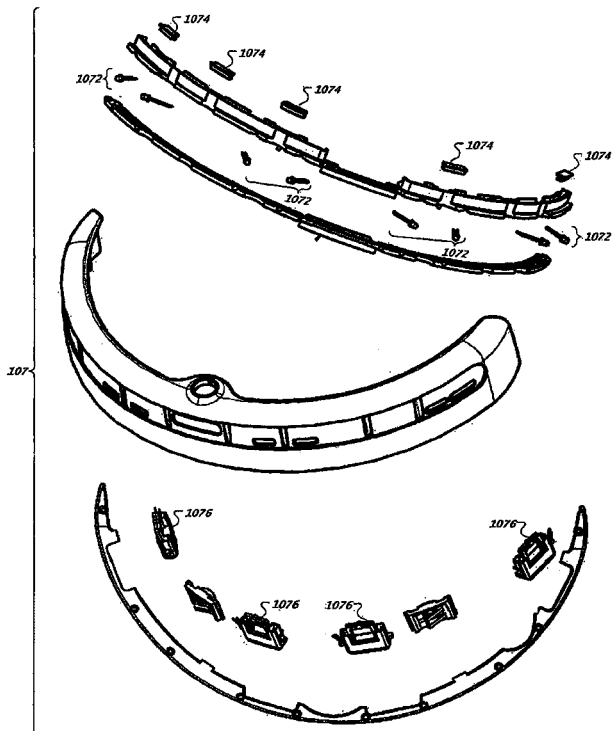
【図 1 A】



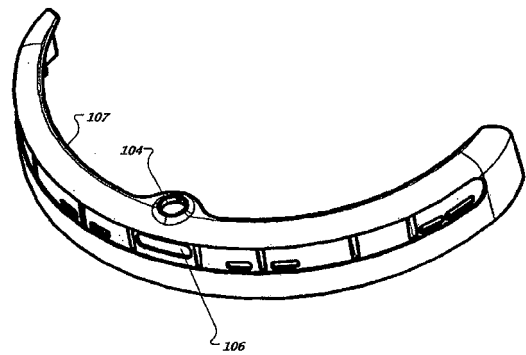
【図 1 B】



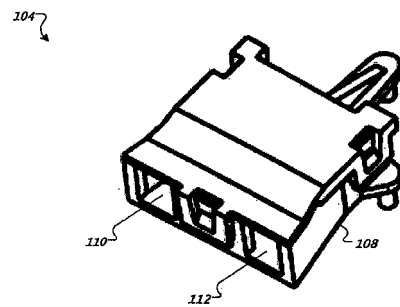
【図 1 C】



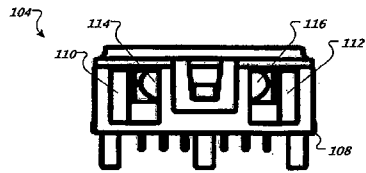
【図 2】



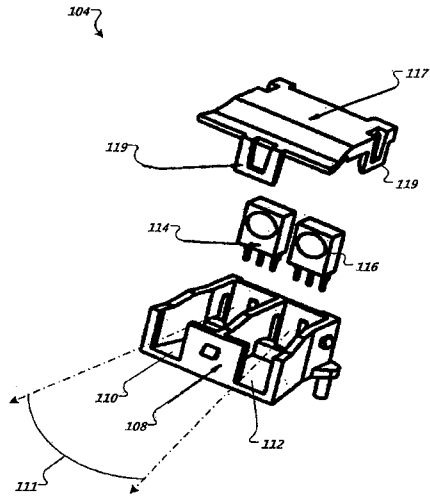
【図 3】



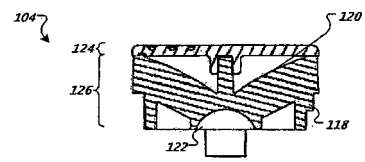
【図 4】



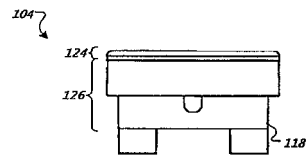
【図 5】



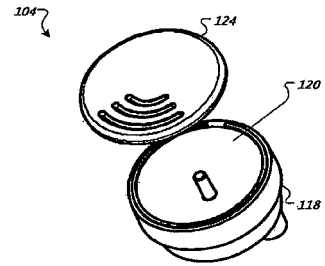
【図 6】



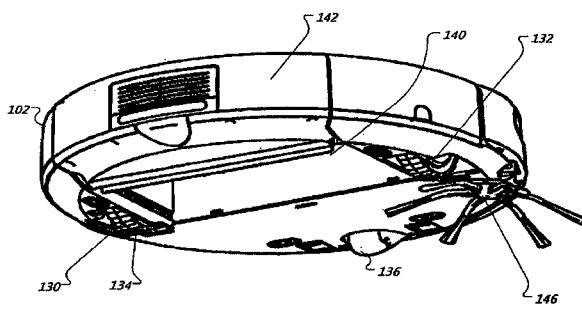
【図 7】



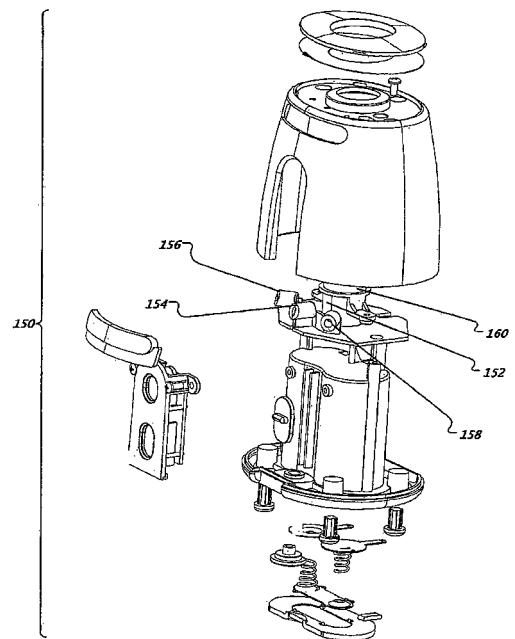
【図 8】



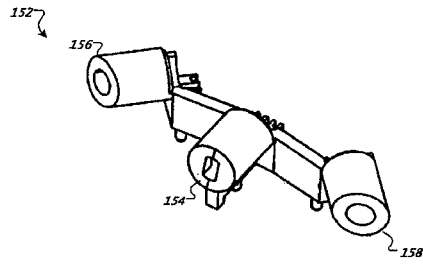
【図 9】



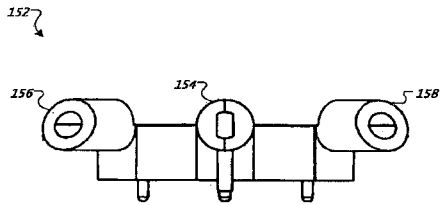
【図 10】



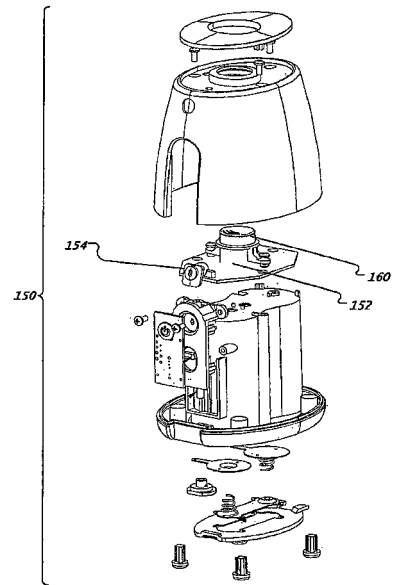
【図 1 1】



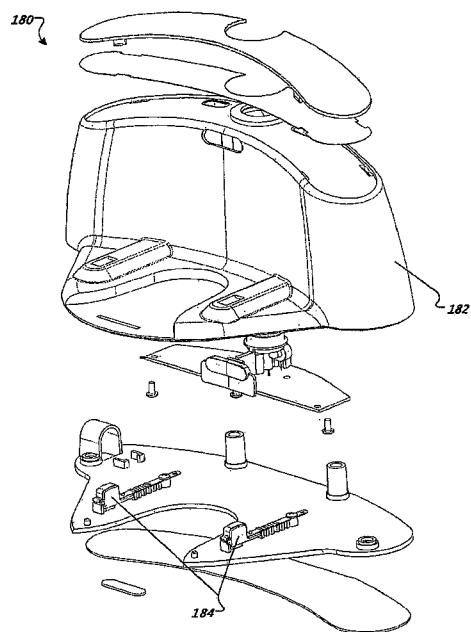
【図 1 2】



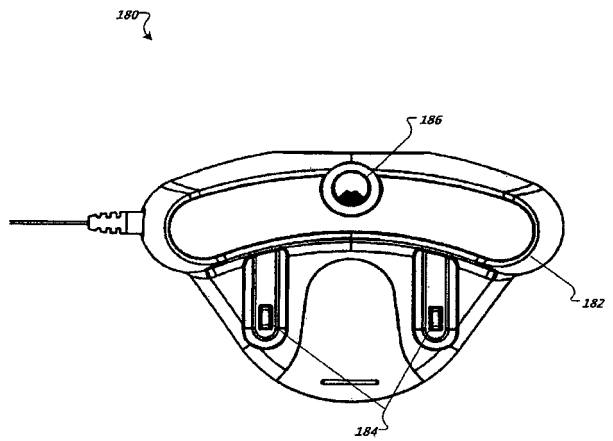
【図 1 3】



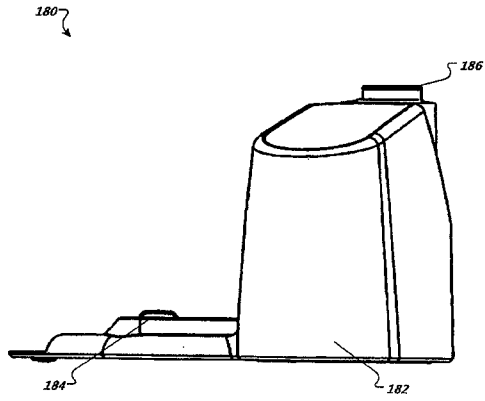
【図 1 4】



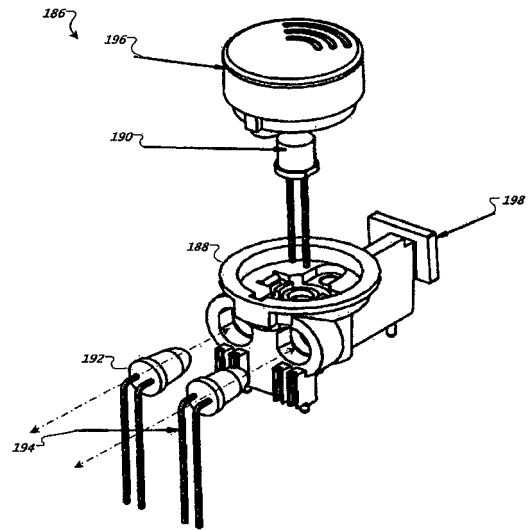
【図 1 5】



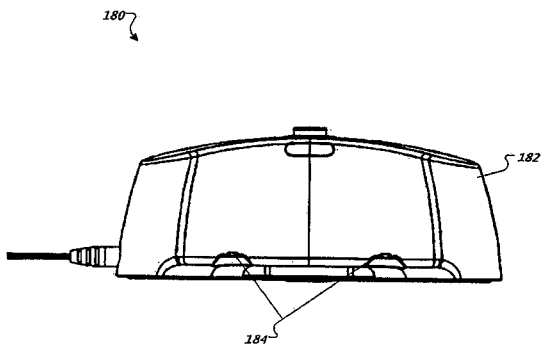
【図 16】



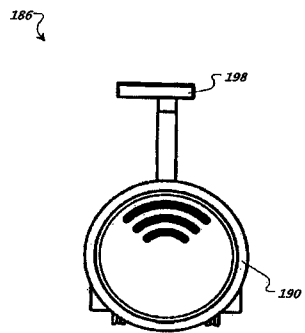
【図 18】



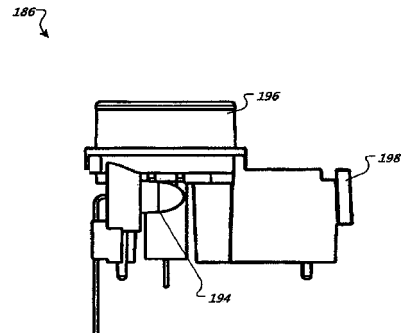
【図 17】



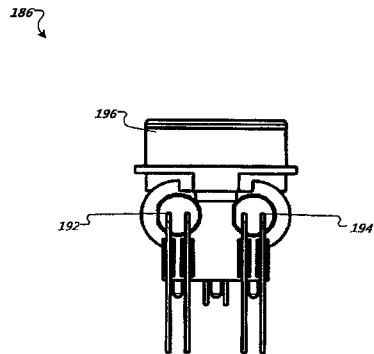
【図 19】



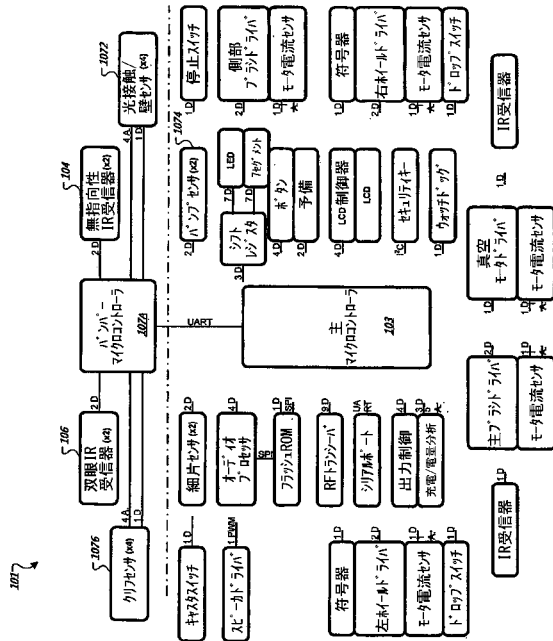
【図 21】



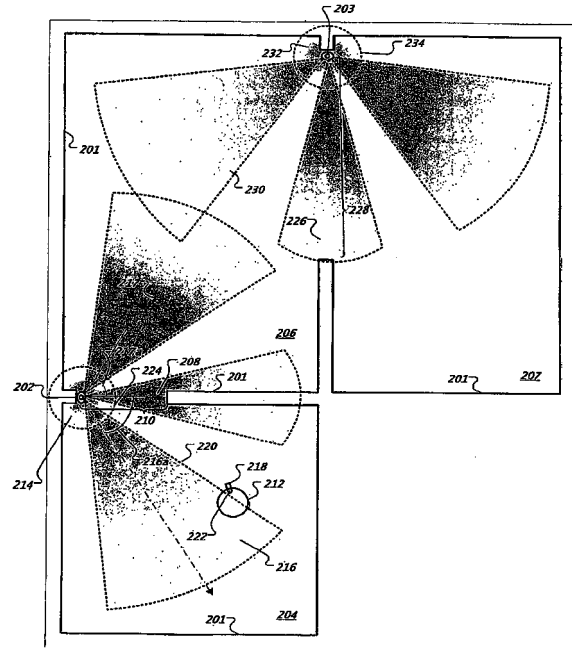
【図 20】



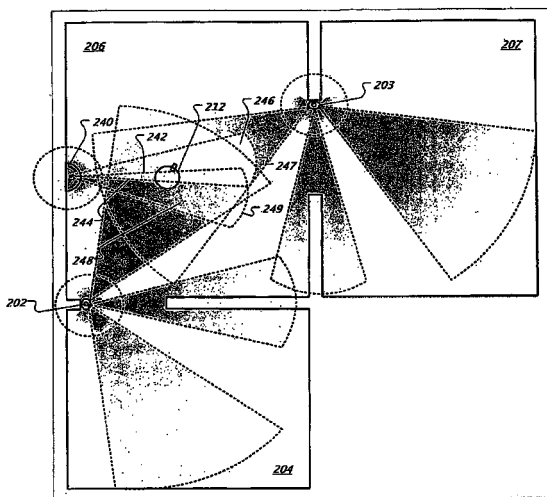
【図 2 2】



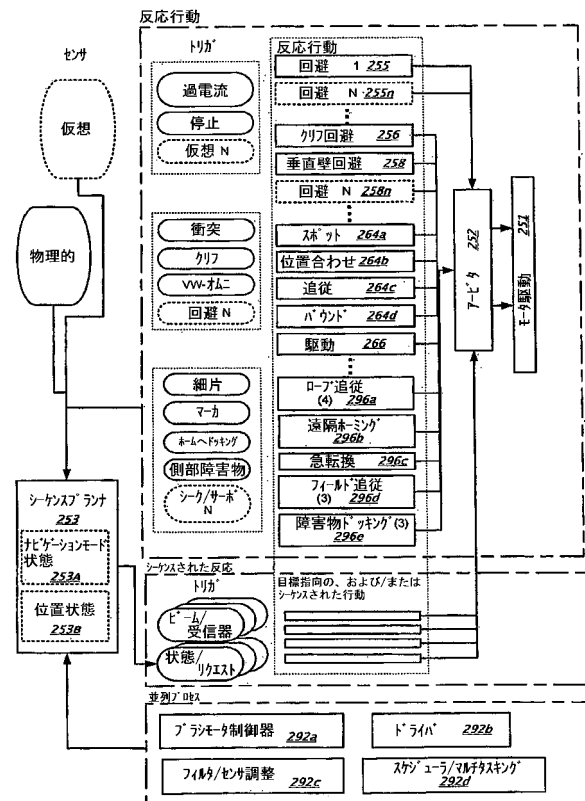
【图 2 3 A】



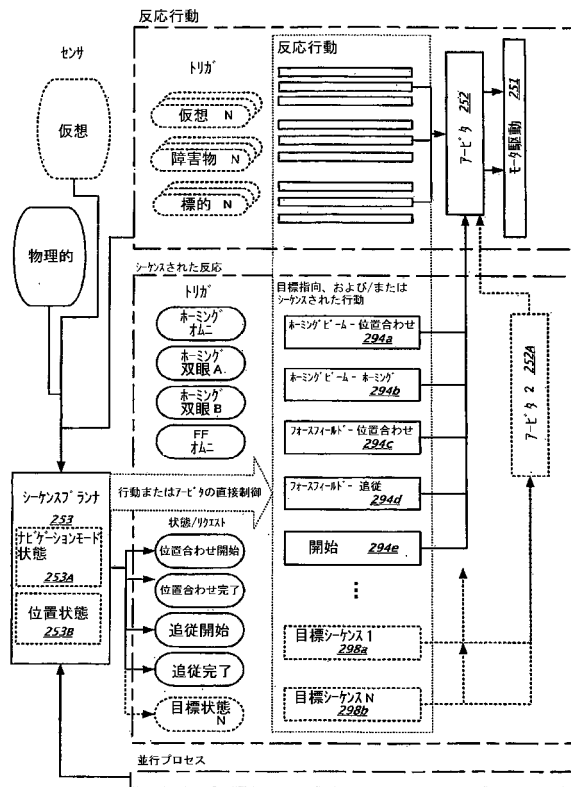
【图 2 3 B】



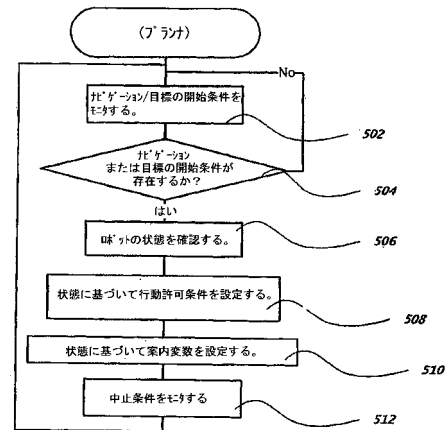
【図 2 4 A】



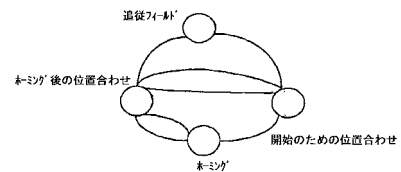
【図 24 B】



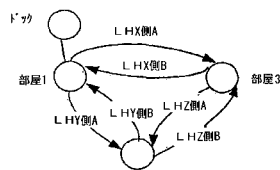
【図 25 A】



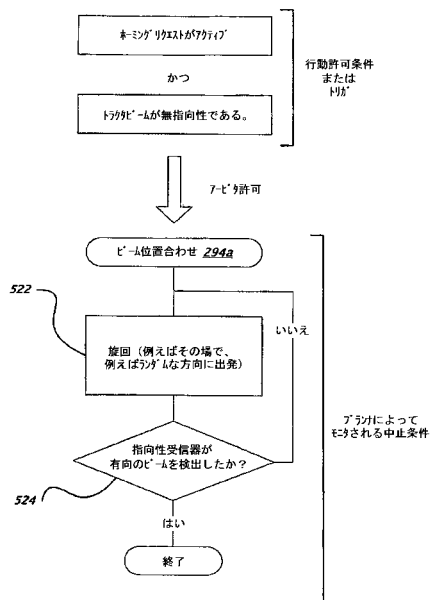
【図 25 B】



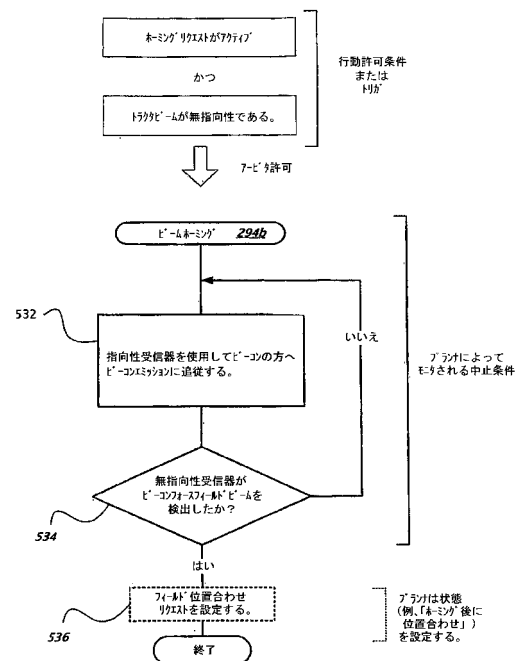
【図 25 C】



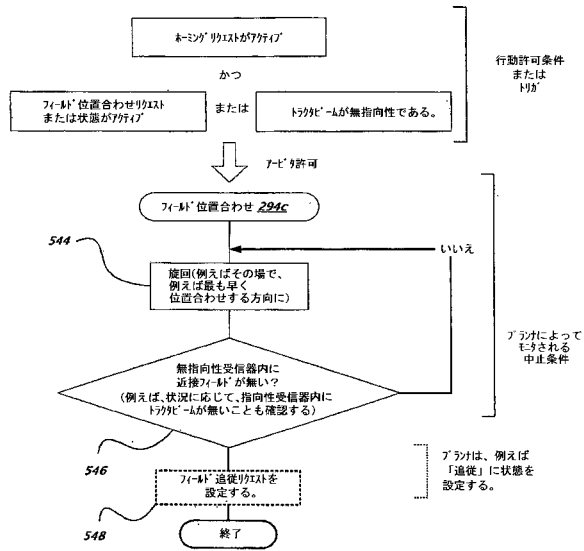
【図 26】



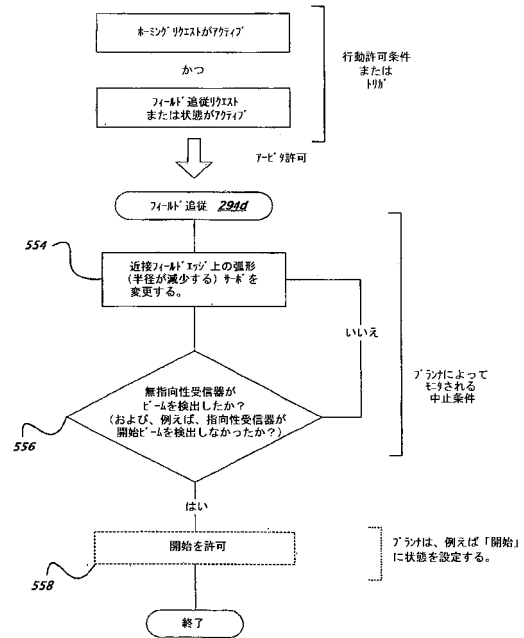
【図 27】



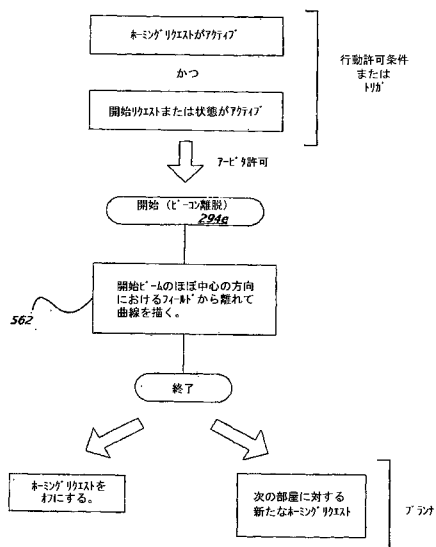
【図 28】



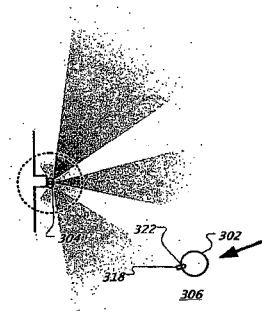
【図 29】



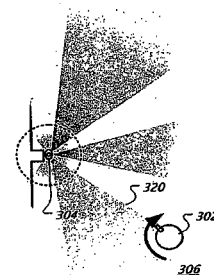
【図 30】



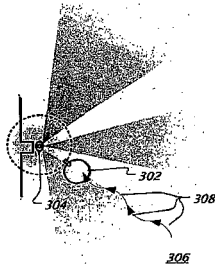
【図 31 A】



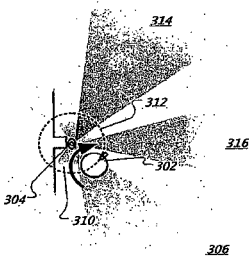
【図 31 B】



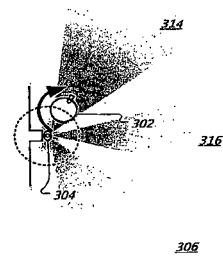
【図 3 1 C】



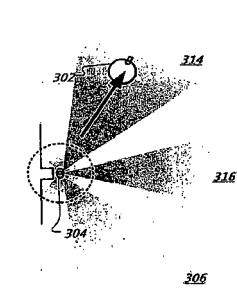
【図 3 1 D】



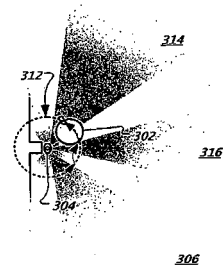
【図 3 1 G】



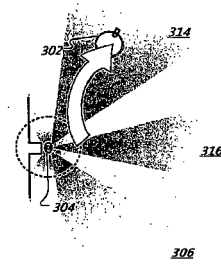
【図 3 1 H】



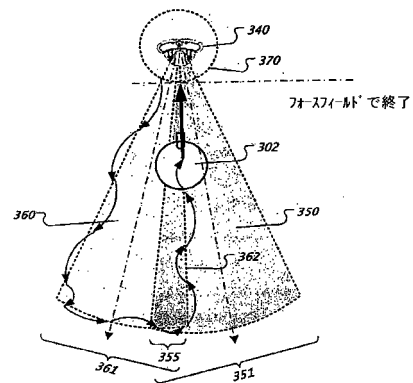
【図 3 1 E】



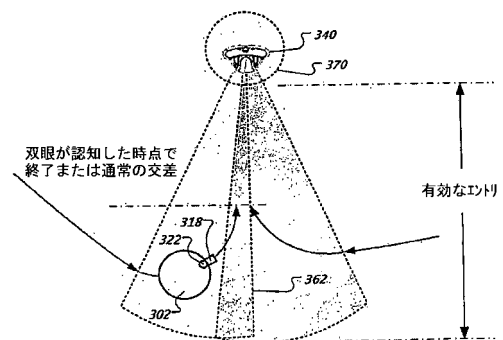
【図 3 1 F】



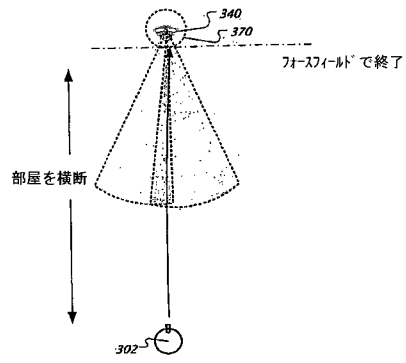
【図 3 2 A】



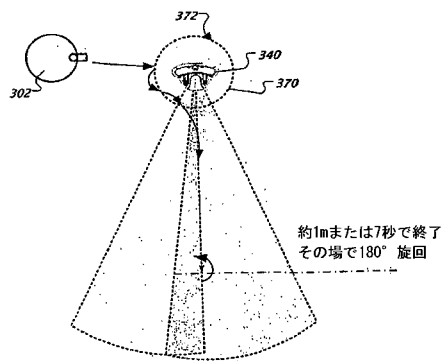
【図 3 2 B】



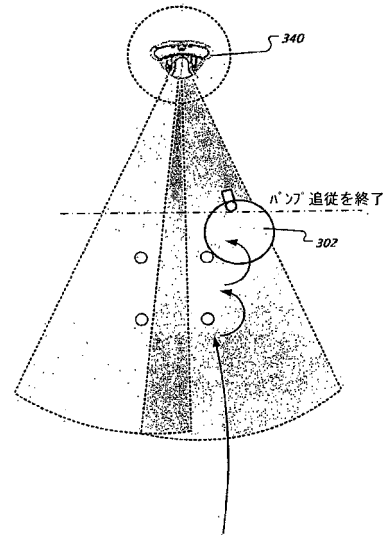
【図 3 2 C】



【図 3 2 D】



【図 3 2 E】



フロントページの続き

(72)発明者 オーカーホルム, アンドレア エム.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02421, レキシントン, ステッドマン ロード 7
ナンバー106

(72)発明者 マーメン, ジェフリー ダブリュー.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01886, ウェストフォード, ボボリンク ロード
3

(72)発明者 ハロラン, マイケル ジェイ.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02453, ウォルサム, カニンガム サークル 11

(72)発明者 サンディン, ポール イー.
アメリカ合衆国 ニューハンプシャー 03033, ブルックライン, ローレル クレスト
22

(72)発明者 ウォン, チキョン
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01876, テュークスベリー, ウィンダム ロード
42

Fターム(参考) 3B057 DA00 DE01

5H301 AA01 AA10 BB14 DD16 DD17 GG06 GG08 GG10 LL06 LL07

QQ06 QQ08

【外国語明細書】

2012178162000001.pdf

2012178162000002.pdf

2012178162000003.pdf

2012178162000004.pdf