

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6170065号  
(P6170065)

(45) 発行日 平成29年7月26日 (2017.7.26)

(24) 登録日 平成29年7月7日 (2017.7.7)

(51) Int. Cl.	F I
<b>B 6 2 D 57/02 (2006.01)</b>	B 6 2 D 57/02 L
<b>B 2 5 J 5/00 (2006.01)</b>	B 2 5 J 5/00 D
	B 2 5 J 5/00 Z

請求項の数 14 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2014-544933 (P2014-544933)	(73) 特許権者	514138178
(86) (22) 出願日	平成24年11月30日 (2012.11.30)		ヘリカル ロボティクス、リミテッド ラ イアビリティ カンパニー
(65) 公表番号	特表2015-505763 (P2015-505763A)		アメリカ合衆国、ウィスコンシン 535 75、オレゴン、ノース メイン ストリ ート 733、スイート 1
(43) 公表日	平成27年2月26日 (2015.2.26)	(74) 代理人	100099759
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/067350		弁理士 青木 篤
(87) 国際公開番号	W02013/082460	(74) 代理人	100102819
(87) 国際公開日	平成25年6月6日 (2013.6.6)		弁理士 島田 哲郎
審査請求日	平成27年11月30日 (2015.11.30)	(74) 代理人	100123582
(31) 優先権主張番号	61/703, 656		弁理士 三橋 真二
(32) 優先日	平成24年9月20日 (2012.9.20)	(74) 代理人	100153084
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 大橋 康史
(31) 優先権主張番号	61/566, 104		
(32) 優先日	平成23年12月2日 (2011.12.2)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動ロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面において使用されるように構成され、該表面における全ての領域へと直接且つ好適な方法で移動する機能を有する移動ロボットであって、

地面又は床に対する前記表面の向きに関係なく、前記表面に抗して保持されるように構成されたフレームワークと、

前記フレームワークに対して作用的に連結された少なくとも4つの全方向車輪と、を具備し、

該全方向車輪が、概して当該移動ロボットの4つの離れた角部近傍に配置され、

前記全方向車輪の回転は、前方向、後方向、右方向、左方向、時計回り方向及び反時計回り方向における当該移動ロボットの移動に適応するために全てが前方又は後方に回転されるように個別に制御され、

前記全方向車輪がメカナムホイールであり、且つ、前記メカナムホイールのそれぞれの回転が、マスターコントローラーによるものであり、

複数の磁石を更に具備し、

前記表面が強磁性体材料で形成され、

前記複数の磁石が、前記フレームワークに対して作用的に結合され、

前記強磁性表面の上方で距離を保持されつつ、

前記強磁性表面に抗して当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重を保持するのに十分な磁場強度を有する移動ロボット。

## 【請求項 2】

前記表面が前記地面又は床から角度をなした 1 又は複数の部分を有する物体である請求項 1 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 3】

前記物体が風力タービンタワーである請求項 2 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 4】

前記マスターコントローラーが、対応する 1 つの前記メカナムホイールの前記回転をそれぞれ制御する個々のコントローラーを制御する請求項 1 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 5】

前記フレームワークが、1 又は複数の構成要素ユニットの複数の対を具備し、  
それぞれの前記構成要素ユニットが、一体の組立体であり、且つ、該組立体を包囲するフレームを有し、

10

それぞれの対の前記構成要素ユニットが、1 又は複数の構成要素継手を介して並列的に作用的に連結された請求項 1 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 6】

前記複数の磁石が第 1 の磁石の組を少なくとも有し、  
特定の前記第 1 の磁石の組が、前記フレームワークの一端に作用的に結合され、  
残りの前記第 1 の磁石の組が、前記フレームワークの対向する端部に作用的に結合された請求項 1 に記載の移動ロボット。

20

## 【請求項 7】

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において、二次元又はそれ以上の次元で選択的に調整可能である請求項 1 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 8】

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において角度及びクリアランスに関して選択的に調整可能である請求項 7 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 9】

前記複数の磁石が、複数の枢動部材を有する向き制御構造を介して前記フレームワークに対して作用的に結合された請求項 1 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 10】

連結された前記構成要素ユニットが、前記構成要素継手を介して互いとの関係において拘束された請求項 5 に記載の移動ロボット。

30

## 【請求項 11】

1 又は複数の前記構成要素継手が結合部を具備し、  
該結合部は、当該移動ロボットと前記強磁性表面との間の接触が維持されるように、連結された前記構成要素ユニットが互いとの関係において移動することを可能とすべく構成された請求項 5 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 12】

連結された前記構成要素ユニットが、1 自由度より多くの自由度で互いとの関係において移動することを可能とされた請求項 11 に記載の移動ロボット。

## 【請求項 13】

前記自由度の 1 つが、互いとの関係において枢動することを可能とされた、連結された前記構成要素ユニットと関係する請求項 11 に記載の移動ロボット。

40

## 【請求項 14】

複数の磁石を更に具備し、前記表面が強磁性体材料で形成され、前記磁石が、特定の前記構成要素ユニットの外側端部に作用的に結合され、前記強磁性表面の上方で距離を保持されつつ、前記強磁性表面に抗して当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重を保持するのに十分な磁場強度を有する、請求項 5 に記載の移動ロボット。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

50

本出願は、2011年12月2日に出願された米国特許仮出願第61/566104号と、2012年9月20日に出願された米国特許仮出願第61/703656号の双方の利益を主張し、これらの内容は、参照によりそれぞれの全体において本明細書に援用される。

【0002】

本発明は移動ロボットに関する。

【背景技術】

【0003】

本発明の実施形態は、その使用において広い汎用性を有するように構成された移動ロボットを含む。例えば、移動ロボットは、表面の向き及び/又は形状に関係なく、表面の幅広い組合せで使用されるように構成され得る。移動ロボットは、代替的に又は組み合わせて、移動する表面において効果的かつ効率的に移動するように構成され得る。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特定の実施形態において、移動ロボットは、地面又は床に対する表面の向き又は配向 (orientation) に関係なく、表面において使用されるように構成される。例えば、強磁性表面において使用されるように設計された場合、ロボットは、磁石と向き制御構造とを有することができる。この場合において、磁石は、上方で保持されるように、すなわち、強磁性表面とは直接接触せず、磁石の磁場強度は表面に抗してロボット及びその積載荷重を保持するのに十分であり、そこから落下する危険性なく、ロボットに作用的に結合される (operatively coupled)。場合によって、移動する表面からのロボットフレームのクリアランス、ロボットの重心、及び、ロボットの全体的な形状のうちの1以上を最小に維持するように、磁石は、ロボットの外側端部に作用的に結合される。場合によって、磁石は、強磁性表面との関係において2又はそれ以上の次元で (in two or more dimensions) 選択的に調整可能である。場合によって、磁石は、ロボットの対向する端部 (opposing ends) に作用的に結合される。ある場合において、磁石は、ロボットの構成要素ユニットから外部にオフセットされる。ある場合において、移動ロボットは、磁石及びそれらの向き制御構造の使用と協働した、連動構成を有するように構成可能である。

20

【課題を解決するための手段】

30

【0005】

特定の実施形態において、移動ロボットは、表面の形状に関係なく、面上で使用されるように構成される。例えば、曲面において使用される場合、ロボットは、1以上の結合部によって共に作用的に連結された、2以上の構成要素ユニットを含み得る。このような場合、結合部が2つの構成要素ユニットを連結するように構成されるが、ユニットは、ロボットが使用する面の形状に適合するように、相互に対して移動させることができる。このため、移動ロボットの使用時に、ロボットと面との間の接触が十分に維持されるように、ロボットは、種々の表面形状のうちのいずれかに対して自己適応することができる。場合によって、1以上の結合部は、構成要素ユニットの外部に配置されている。場合によって、1以上の結合部は、構成要素ユニットのうちの2つの外側に作用的に結合されている。場合によって、1以上の結合部は、ロボットの中心線に沿って配置され、ロボットの車軸と離れて配置されている。場合によって、1以上の結合部は、他の構成要素ユニットに対して、構成要素ユニットのうちの少なくとも1つを駆動するように構成されている。

40

【0006】

特定の実施形態において、移動ロボットは、面上で効果的かつ効率的な移動をするように構成されている。例えば、ロボットには、いずれかの方向へのロボットの移動を容易にするように、全方向車輪 (omni-directional wheels) が含まれ得る。このような場合、ロボットは、概して案内のために特定の車輪のみ動かすように制限される、ステアリング組立体を必要としない。これとは異なり、それぞれの車輪は、ステアリング機構を有する従来の車輪を使用するものとは異なり、独立して制御されることができ、ロボットの駆動

50

形式を多用途にすることを可能とし、ロボットの方向転換機能をより正確かつ迅速にすることができる。一例において、ロボットは、メカナムホイールとともに構成することができる。

【0007】

これらの態様及び他の態様、並びに本発明の特徴は、添付の図面及び好適な実施形態の説明を参照することによって、十分に理解及び認識される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の特定の実施形態に係る固定された構成要素ユニットを有する移動ロボットの斜視図である。

10

【図2】図1によるロボットの一側面の立面図であり、このロボットは、曲面を有する物体上に示されている。

【図3】鉄表面に対するネオジム磁石材料の力と距離の関係を示すグラフである。

【図4】本発明の特定の実施形態に係る図1のロボットから派生した移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、異なる磁石取付けを含み、曲面を有する物体上に示されている。

【図5】図4によるロボットの磁石取付け部の斜視図である。

【図6】本発明の特定の実施形態に係る図1のロボットから派生した別の移動ロボットの斜視図であり、構成要素ユニットは、互いとの関係において調整することができるように連結されている。

20

【図7】本発明の特定の実施形態に係る図4及び図6のロボットから派生した移動ロボットの斜視図である。

【図8】本発明の特定の実施形態に係る図5の磁石取付け部から派生した磁石取付け部の斜視図である。

【図9】本発明の特定の実施形態に係る図5及び図8の磁石取付け部から派生した磁石取付け部の斜視図である。

【図10】本発明の特定の実施形態に係る図4のロボットから派生した移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、曲面を有する物体上に示されている。

【図11】本発明の特定の実施形態に係る図4のロボットから派生した別の移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、曲面を有する物体上において例示的な連動構成を示している。

30

【図12】本発明の特定の実施形態に係る図1のロボットから派生した付加的な移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、曲面を有する物体上に示され、構成要素ユニットは、互いとの関係において調整することができるように連結されている。

【図12a】図12によるロボットの構成要素ユニット間における1つの連結部の拡大斜視図である。

【図13】本発明の特定の実施形態に係る図6及び12のロボットから派生した移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、曲面を有する物体上に示されている。

【図14】本発明の特定の実施形態に係る図13のロボットから派生した移動ロボットの斜視図であり、このロボットは、曲面を有する物体上に示されている。

40

【図15】本発明の特定の実施形態に係る図4のロボットから派生した付加的な移動ロボットの立面図である。

【図16】本発明の特定の実施形態に係る具体化された移動ロボットの主制御図である。

【図17】本発明の特定の実施形態に係る具体化された移動ロボットにおけるモーター制御システム入力の制御図である。

【図18】本発明の特定の実施形態に係る図6のロボットから派生した移動ロボットの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

図1は、本発明の特定の実施形態に係る移動ロボット1の1つの例示的な設計を示す。

50

図1のロボット1のような本発明に係る移動ロボットは、フレームワークを有し、このフレームワークは、1又は複数の構成要素ユニットの対を有する。例えば、図示するように、移動ロボット1は、一对の構成要素ユニット、構成要素ユニット10aと構成要素ユニット10bとを含む。構成要素ユニット10a及び10bは、構成要素継手12によって共に連結される。示されるように、継手12は、2つの構成要素ユニット10a及び10bのため隣接したフレーム（又はシャーシ）11の当接面を通してねじ加工されたねじ部材を含み得る。ただし、上述のように、本発明は、構成要素ユニットをともに固定する継手に限定されない。例えば、別の実施形態において（図6、図7及び12～14を参照して後述するように）、継手は、結合部により置き換えることができる。かかる結合部によって、連結された構成要素ユニットを相互に対して移動させることができ、その結果、表面の形状又は表面に存在する不規則性に関係なく、構成要素ユニット（例えば、その車輪）と表面との間の接触を維持することができる。

10

**【0010】**

特定の実施形態において、図示するように、構成要素ユニット10a及び10bはそれぞれ、自身のフレーム（又はシャーシ）を有する。しかしながら、構成要素ユニット10a、10bが構成要素継手12によって共に固定されることが意図される場合、移動ロボットの実施形態は、構成要素ユニット10a、10bの単一のフレームを代わりに使用することができる。特定の実施形態において、構成要素ユニット10a及び10bはそれぞれ、一对のメカナムホイール20a、20c及び20d及び20dを保有する。ただし、上述のように、メカナムホイールは、本発明の移動ロボットと共に使用できる種々のオムニホイールのうちのほんの1つを示すにすぎない。メカナムホイール20a～20dの場合、これらは、車軸21を介して回転可能にシャーシ11に取り付けられ、独立して駆動され得る。例えば、図示するように、特定の実施形態において、それぞれの車輪は、ギアボックス31を介して、自身の駆動モーター30によって駆動される。さらに、それぞれのモーター30は、独立して、コントローラ32などによって制御され得る。他の要因のうち、この独立制御は、表面におけるロボット1の効果的な移動及び効率的な移動の両方を可能とする。図示するように、十分な容量のパワーパック（例えば、電池）40は、モーター30及びモーターコントローラ32に電力を供給するように、1以上のフレーム11に取り付けることができる。

20

**【0011】**

特定の実施形態において、移動ロボット1は磁石50を有する。しかしながら、当然のことながら、磁石が示されるが、本発明に係る移動ロボットによる1つの機構は、表面に対して、（特に）ロボットが使用される強磁性表面に対して、これらの面の、地面又は床に対する向きに関係なく保持され得る。このため、（付与される引力的な重力に抗するべく）その作用表面に向かってロボットを引っ張り、その作用面に抗してロボットを保持するように作用する任意の機構が別の機構で示される。例えば、（磁力の代わりに、或いは、磁力と組み合わせ使用される）こうした機構は、真空力（図15に例示）、及び、締付圧（米国特許出願第13/247257号明細書に記載されている実施形態に例示され、その開示内容は、参照により関連部分において本明細書に援用される。）を有し得る。さらに、別の機構は、差動力（differential force）の利用（例えば、ロボットが水中用に構成されていた場合、ポンプによって）を含み得る。

30

40

**【0012】**

かかる保持力を付与する磁石の使用において、磁石50とその向き制御構造が使用される。特定の実施形態において、図示するように、磁石50は、ロボット1の外側端部に作用的に結合される。ある実施形態において、磁石50は、ロボット1の外端面に作用的に結合され得るが、本発明は、このようなものに限定されない。その代わりに、本発明の実施形態の目的の1つは、構成要素ユニット10a、10bの外側に配置された、（以下に具体化されるような）磁石50とその向き制御構造を有することである。図示するように、磁石50と向き制御構造は、構成要素ユニット10a、10bに隣接して（又は構成要素ユニット10a、10bの側面に）設けられている。かかる構成には多くの利点がある

50

。例えば、磁石50と向き制御構造は、構成要素ユニット10a、10bの設計に必要な変更をほとんど又は全くすることなく組み込むことができる。さらに、磁石50と向き制御構造のかかる構成によって、横断面からのロボットフレームのクリアランス、ロボットの重心、及びロボットの全体的な形状のうちの1以上を最小に維持することができる。

#### 【0013】

特定の実施形態において、磁石50は、ロボット1の対向する端部に作用的に結合されている。具体的には、図示するように、それぞれの磁石50は、その対応する構成要素ユニット10a、10bのシャーシ11に作用的に結合されている。図1は、1対の磁石50が構成要素ユニット10a、10bのそれぞれに作用的に結合されていることを示しているが、当然のことながら、その代わりに、長手方向に形成された単一の磁石を、それぞれの構成要素ユニット10a、10bと共に使用でき、又は、2以上の磁石を使用できる。

10

#### 【0014】

磁石50が本発明の移動ロボットに作用的に結合されている、具体化された構造体（向き制御構造）は、ロボットが使用される表面に対する磁石の位置の選択的調整に有用である。向き制御構造は、複数の構成要素を含んでいる。例えば、図1に示すように、それぞれの磁石50は、枢動部材52を介してシャーシ11に作用的に結合されている。特定の実施形態において、それぞれの枢動部材52は、車軸21と同心とされ得る枢動軸53に枢動可能に取り付けられ得る。このため、図示するような場合、磁石50は、ロボット1の車輪20a~20dから外部にオフセットされ得る。図1のロボット1において図示するように、特定の実施形態において、それぞれの枢動部材52は、概してL形ブラケットとして示され、その脚部は枢動軸53において枢動可能に取り付けられ、そのベース部は締結部によって磁石50に作用的に結合される。例えば、図1及び2に示すように、ねじ加工された磁石調整ねじ54は、ねじ54が磁石調整ナット55を用いて枢動部材52のベース部に結合されるように、それぞれの磁石50に固定される。図示するように、特定の実施形態において、枢動部材52（したがって、磁石50）の内側軸線方向移動は、枢動部材52の脚部の一部に当接する磁石取付ブラケット51を介して、防止され得る。このような場合、ブラケット51は、一体的にシャーシ11に形成されることができ、又は、図示するように、シャーシ11に作用的に結合され得る。

20

#### 【0015】

引き続き図2を参照すると、特定の実施形態において、磁石50は、表面2との関係において、少なくとも二次元で選択的に調整可能である。例えば、図示するように、磁石50は、表面2との関係において、向き角度（orientation angle）及びクリアランス距離の両方において、選択的に調整可能である。したがって、磁石50は、これらの範囲において不規則性を有するものから、例えば湾曲した非平面状のものまで、種々の面に構成され得る。向き角度に関して、それぞれの磁石50は、枢動部材52を枢動軸53の周囲で枢動することによって調整可能である。クリアランス距離に関して、磁石50は、ロボット1が移動する表面2よりも上方に（すなわち、非接触）、磁石の位置に関して（例えば、調整ねじ54とともに用いるワッシャーの使用によって）調整可能である。クリアランス距離は、対応する磁石50とかかる表面2との間の隙間61を形成する。磁石50と移動する表面との間のこうした隙間61（又はクリアランス）は、磁石によって付与される付着力（clinging power）を最大にして、これらの間の摩擦を防ぐことができる。このことは、面の向きに関係なく、移動ロボット1が、面から落下しないこと（及び面上で滑るのを防止すること）を保証する。磁石50は、ネオジムのように不活性（passive）であるか、又は、電磁石のように活性であり得る。不活性又は活性の種類に関係なく、磁石50は、本発明の移動ロボットとともに効果的に使用することができ、すなわち、磁石50と面2との間の摩擦を排除するが、面に対してロボットを保持するのに十分な力を付与するような作用面からの距離（0よりも大きい）で支持することができる。

30

40

#### 【0016】

図3は、一般的なネオジム磁石における磁力と距離の関係を示す。本発明の移動ロボッ

50

トが移動する表面で作用するのに必要な磁力は、向きに関係なく、以下に示す式(1)で定義される。

【数1】

$$(1) F_{Mreq} \geq \frac{M_p}{\mu_{mw}}$$

ここで、

$F_{Mreq}$  = 鉄表面への付着に必要な磁力

$M_p$  = プラットフォーム質量

$\mu_{mw}$  = メカナムホイール摩擦係数

10

20

【0017】

磁力は付加的であり、これは、移動ロボットのそれぞれの磁石50が、その全体的な持ち上げ能力に寄与することを意味する。例えば、図3を参照すると、それぞれの磁石が表面から5.1mmに保持される場合、それぞれの磁石によって生成される対応する磁力( $F_{Mreq}$ )は、(図3の曲線によれば)およそ400N(90lb)である。図1の移動ロボット1に関して、この力は、4つの磁石を考慮すると4倍になり、合計1601N(360lb)となる。この磁力に関して、磁石50とロボット1が移動する表面との間の隙間61(又はクリアランス)が、ロボット1の意図された機能において、いかに重要な役割を果たすのかについて理解されたい。このため、向き制御構造により可能になった移動表面に対する磁石50の調整機能によって、かかる隙間61を維持することができる。

30

【0018】

引き続き式(1)及び上に提供された変数を用いれば、メカナムホイール20a~20dなどの車輪が使用され、摩擦係数( $\mu_{mw}$ )0.35の車輪である場合、移動ロボット1の最大持ち上げ能力( $M_p$ )は560N(126lb)になる。かかるロボット1は、反転する(inverted)場合(例えば、上昇面の底部を横断する場合)であっても、式(1)の浮揚条件を満たす限り、面から落下することなく、面を昇降することができる。上述したように、図2に示すような円筒面2上であっても、磁石50の調整機能によって、横断面に対するこれらのクリアランス(すなわち、隙間61による)を維持することができる。同様のことが、他の非平面や凹凸面上における移動において該当する。

40

【0019】

本発明に係る移動ロボットの目的の1つは、移動ロボットが、積載荷重を(例えば、図7に示すような例示的な積載荷重ブラケット13上に)保有することである。したがって、積載容量は、以下に示す式(2)を用いて概算することができる。

【数 2】

$$(2) M_{PL} = \sum F_M * \mu_{mw} - M_p$$

ここで、

$$\sum F_M = F_{M1} + F_{M2} + F_{Mx} \dots = \text{磁力の合計}$$

10

$$M_{PL} = \text{積載質量}$$

再び上述した例の値 ( $F_{Mr}$  が  $163 \text{ kgf}$  ( $1601 \text{ N}$ ) であり、 $\mu_{mw}$  が  $0.35$ ) を用い、移動ロボットの質量 ( $M_p$ ) を  $29 \text{ kg}$  ( $65 \text{ lb}$ ) と定義すると、積載容量 ( $M_{PL}$ ) は  $28 \text{ kg}$  ( $61 \text{ lb}$ ) になる。

【0020】

20

式(1)を更に参照すると、本発明の具体化された磁性移動ロボット(例えば、図1のロボット1など)の持ち上げ能力( $M_p$ )を増加させるのに用いることができる種々の技術が存在するが、これらのうちの一部を以下に示す。しかしながら、これらの技術の多くは、ロボット1の構成要素ユニット10a、10bの外部に配置された、磁石50とその向き制御構造によって実現可能になることを理解する必要がある。ロボット1の持ち上げ能力( $M_p$ )を増加させる技術の一部は、磁力( $F_{Mreq}$ )を増加させることを含み得る。このようにする方法の1つは、磁石50の作用面までの距離を減少させ、隙間61を減少させることを含み、これによって、図3の曲線を移動させ、ロボット1の全磁力を増加させることができる。別の方法は、磁石50の数を増加させることを含み得る。付加的な方法は、複数のロボットの部品をともに連結し、それぞれ、磁石50の対応する組と連結することを含み得る(例えば、後述するように図11に示す。)。更なる方法は、より強力な又はより大きな磁石50を使用することを含み得る。

30

【0021】

持ち上げ能力( $M_p$ )を増加させる他の技術は、摩擦係数( $\mu_{mw}$ )を増加させることを含み得る。例えば、このようにする方法の1つは、メカナムホイール20a~20dのローラー22の材料を最適化し、かかる摩擦係数を増加させることを含み得る。ロボット1の持ち上げ能力( $M_p$ )を増加させる更なる技術は、効果的にロボットによる全浮揚質量を低減するように、ロボットにリフト又は浮力発生装置を組み込むことを含み得る。上に示唆したように、ロボットの持ち上げ能力を高めるそれぞれの技術は、上述した式(1)の3つのパラメータ( $F_{Mreq}$ 、 $M_p$ 及び $\mu_{mw}$ )のうちの1つを調整することを含み得る。しかしながら、上述のいずれかの組合せとともに、他の技術も、積載容量を増加させるのに用いることができ、当該技術は、ロボット1上の磁石50とその向き制御構造の位置決めによって簡素化されることを理解する必要がある。

40

【0022】

上述にもかかわらず、依然として積載容量に影響を及ぼす可能性がある可変物の1つは、移動ロボットの移動する表面を構成する材料である。上述したように、磁石50は、強磁性表面上に本発明の移動ロボットを支持するのに十分に機能するが、他の表面材料を横断するのに別の支持機能が必要である。例えば、特定の実施形態において、非磁氣的に生成された力は移動ロボットに付加され、ロボットを、作用表面に応じて、磁石50の代わりに又は磁石とともに作用させることができる。上述したように、かかる非磁氣的に生成

50

された力は、真空状態（例えば、シャーシ 11 の下方、図 15 を参照）を含み、且つ / 又は、作用表面 2 を包囲する複数区分の装置からの圧力（例えば、米国特許出願第 13 / 247257 号明細書に記載されている実施形態を参照）を含み得る。

【0023】

上述したように、移動のためにメカナムホイールを使用する本発明の移動ロボット（図 1 の移動ロボット 1 など）は、ロボットが、作用表面上のいずれかの方向に移動する能力を有することを可能とする。このため、メカナムホイールは、作用表面上でロボットが効果的かつ効率的に移動することができるように、使用することができるオムニホイールの 1 種を示す。かかる移動は、個別に駆動される車輪によって可能となる。例えば、図 1 及び 2 によるロボット 1 のメカナムホイール 20a ~ 20d に関して、それぞれは、車輪の周囲に取り付けられた一連のローラー 22 を有する。ローラー 22 は、一般に、車輪の鉛直な平面から約 45° オフセットした回転軸を有するように構成される。上述したように、特定の実施形態において、車輪 20a ~ 20d のそれぞれは、自身の駆動モーター（又は移動アクチュエーター）30 と共に構成されることができ、駆動モーター 30 のそれぞれは、コントローラー 32 に連結され得る。このような場合、それぞれのコントローラー 32 は、マスターコントローラー 100（その例示的な機能は図 16 に示される）と通信することができ、車輪 20a ~ 20d は、例えば、(i) 同じ速度で同じ方向に、(ii) 同じ方向に別個に、(iii) 同じ速度で反対方向に、又は、(iv) 反対方向に別個にといった種々の方法のうちの一つで回転するように制御され得る。かかる回転の制御によって、本発明の移動ロボット（及びとその構成要素ユニットの対）は、種々の方向に、すなわち、横、斜め、まっすぐ又は後方に、移動させることができ、これによって、ロボット 1 の対応する方向転換を迅速かつ正確にすることができる。

【0024】

図 1 に示すように、車輪 20a 及び 20c は、構成要素ユニット 10a に作用的に結合され、車輪 20b 及び 20d は、構成要素ユニット 10b に作用的に結合されている。同じ速度で同じ方向にすべての車輪を回転させることによって、同じ速度でその方向にロボット 1 が移動する。または、車輪 20c 及び 20d を後方に（すなわち、ロボットの後方に）、車輪 20b 及び 20a を前方に（すなわち、ロボットの前方に）回転させることによって、ロボット 1 は、図 1 に示されるように図面の横方向右端に移動する。さらに、これらの方向を逆にすることによって、ロボット 1 は、図 1 に示されるように、図面の左端に移動する。そして、車輪 20b 及び 20c を後方に、車輪 20a 及び 20d を前方に回転させることによって、ロボット 1 は、時計回りに回転する。これらの方向を逆にすると、ロボット 1 は、反時計回りに回転する。以下に示す表 1 は、かかる車輪の駆動に対するロボット 1 の移動について概説する。

【表 1】

移動方向	メカナムホイールの駆動
後方	すべての車輪は同じ速度で右へ
前方	すべての車輪は同じ速度で左へ
右	車輪 20c、20d は後方へ： 20a、20b は前方へ
左	車輪 20a、20b は後方へ： 20c、20d は前方へ
CW回転	車輪 20c、20b は後方へ： 20a、20d は前方へ
CCW回転	車輪 20a、20d は後方へ： 20c、20b は前方へ

このように、個々のモーター 30 の速度及び方向を独立して制御することによって、複

数のユニットのロボット装置 1 全体は、いずれかの方向（前方、後方、横方向左、横方向右、及びこれらの中のいずれかの方向）に、正確かつ迅速に、作用表面を移動することができる。時計回り及び反時計回りの回転は、通常、ロボット 1 の向きを微調整するのに用いられる。特定の実施形態において、使用されるメカナムホイール 20 の合計数は、付勢されない動作（unbiased motion）を可能とするように、4 で割り切れる。

#### 【0025】

別の磁石取付設計が、図 4 の移動ロボット 1 a によって例示されるように、本発明の趣旨から逸脱することなく、使用され得ることを理解されたい。ロボット 1 a の磁石 50（部分的に図 5 に示される）は、図 1 のロボット 1 のものと同様に使用される。例えば、図 1 による移動ロボットの磁石 50 と同様に、磁石 50 は、横断強磁性表面よりも上に保持されるように、すなわち、移動する強磁性表面と直接接触しないように、ロボット 1 a に作用的に結合されている。しかしながら、磁石 50 の磁場強度は、面から落下する危険性がなく、面に対してロボット 1 a とその積載荷重を保持するのに十分なものである（再度上述の式（1）及びそこから派生する式（2）を用いる）。

10

#### 【0026】

図 1 のロボット 1 a と同様に、特定の実施形態において、磁石 50 は、ロボット 1 a の外側端部に作用的に結合されている。従って、（以下に具体化されるように）、磁石 50 とその向き制御構造は、構成要素ユニット 10 a、10 b の外部に配置されている。上述したように、この配置には多くの利点がある。例えば、磁石 50 と向き制御構造は、構成要素ユニット 10 a、10 b の設計の変更をほとんど又は全くすることなく組み込むことができる。さらに、磁石 50 と向き制御構造のかかる組込みによって、移動する表面からのロボットフレームのクリアランス、ロボットの重心、及びロボットの全体的な形状のうちの 1 以上を最小に維持することができる。

20

#### 【0027】

図 1 のロボット 1 a と同様に、特定の実施形態において、磁石 50 は、ロボット 1 a の両端に作用的に結合されている。具体的には、図示するように、それぞれの磁石 50 は、その対応する構成要素ユニット 10 a、10 b のシャーシ 11 に作用的に結合されている。図 5 は、3 つの磁石 50 が構成要素ユニット 10 a、10 b のそれぞれに作用的に結合されていることを示しているが、当然のことながら、その代わりに、1、2 又は 3 個以上の磁石を、それぞれの構成要素ユニット 10 a、10 b と共に使用できる。特定の実施形態において、後述するように、磁石 50 は、ロボット 1 a の車輪 20 a ~ 20 d から外部にオフセットされている。

30

#### 【0028】

磁石 50 が移動ロボット 1 a に作用的に結合されている、具体化された構造体（向き制御構造）は、曲面と十分に作用するように構成されている。このため、向き制御構造は、かかる曲面に対する磁石の位置を選択的に調整するのに有用である。図 1 のロボット 1 a と同様に、図 4 のロボット 1 a の向き制御構造は、複数の要素を含んでいる。例えば、図 4 に示すように、それぞれの磁石 50 は、枢動部材によってシャーシ 11 に作用的に結合されている。このため、図 1 のロボット 1 の磁石枢動部材 52 は、ロボット 1 a において磁石枢動部材 70 を水平に延ばすことによって置き換えられた。特定の実施形態において、ロボット 1 の枢動部材 52 と同様に、ロボット 1 a それぞれの枢動部材 70 は、枢動軸 53 に枢動可能に取り付けることができ、枢動軸は、ロボットの車輪の車軸 21 と同心とすることができ、取付ブラケット 60 によって支持され得る。ブラケット 60 は、シャーシ 11 に一体的に形成されるか、又は、図示するように、シャーシ 11 に作用的に結合され得る。取付ブラケット 60 は、図 1 のロボット 1 の取付ブラケット 51 と同様に、ベース部材 61 を有するが、ブラケット 60 は、付加的な支持構造を更に含む。図示するように、ブラケット 60 には、下方に曲がったフランジ 63 で終端となる、ベース部材 61 及びシャーシ 11 から離れて突出する取付フランジ 62 が含まれ得る。このため、特定の実施形態において、枢動部材 70 は、ベース部材 61 とフランジ 63 との間に枢動可能に取り付けられている。

40

50

## 【0029】

図5は、図4のロボット1aの1つの磁石枢動部材70の拡大斜視図を示す。図示するように、概して、ブロック71として形成されるそれぞれの枢動部材70は、非鉄材料から製造される。特定の実施形態において、枢動部材70は、その両端から突出する1対のジャーナル72を有する。このため、それぞれのジャーナル72は、概して取付ブラケットベース部材61からブラケットフランジ63に延びる、枢動軸53を受容する開口部73を有する。

## 【0030】

当然のことながら、磁石50は、種々の方法で枢動部材に作用的に結合される。例えば、図5を更に参照すると、枢動部材70は、複数の開口部75を形成する上板74を備え、それにより、部材70に複数の同じ磁石50を作用的に結合するために締結部が通される。特定の実施形態において、図示するように、それぞれの磁石50に使用される締結部には、上板74に対して取り付けられる、調整ねじ54と調整ナット55とが含まれる。このような場合、それぞれの調整ねじ54は、磁石50のうちの1つの一方の端部、及び調整ナット55のうちの1つを通る他方の端部でねじ留めされ、当該調整ねじは、開口部75の1つの上方で上板74に更に取り付けられた磁石懸架板76上に取り付けられているものとして示している。

## 【0031】

引き続き図5を参照すると、特定の実施形態において、磁石50は、移動する表面2に対して少なくとも二次元で調整可能である。例えば、図示するように、磁石50は、面2に対する、向き角度及びクリアランス距離の両方において調整可能である。従って、磁石50は、これらの範囲において不規則性を有するものから、例えば湾曲した非平面状のものまで、種々の面に対して構成され得る。向き角度に関しては、それぞれの枢動部材70の磁石50は、枢動部材70を枢動軸53周りで枢動することによって調整可能である。クリアランス距離に関しては、(図1のロボット1を参照して上述した隙間61と同様に)磁石50は、調整ナット55との関係において調整ねじ54を回転させることによって、表面2よりも上方のそれらの位置に対して調整可能である。特定の実施形態において、図示するように、それぞれの枢動部材70には、外側端部ジャーナル72に固定された枢動ハンドル77が含まれ、当該ハンドルは、面2に対して磁石50の調整を容易にするだけでなく、その全体においてロボット1aの移動も容易にする。

## 【0032】

図6及び図7はそれぞれ、本発明の特定の実施形態に係る別の移動ロボット1b及び1cを更に示す。ロボットの1b及び1cにはそれぞれ、構成要素ユニット10a及び10b並びに10a'及び10b'が含まれるが、構成要素ユニットは、連結コネクタ(図1によるロボット1のねじ付き継手12など)によって固定されない。その代わりに、構成要素ユニット10a、10b及び10a'、10b'は、互いとの関係において連結されたユニットの移動を可能にする1以上の結合部によって連結される。特定の実施形態において、恐らくより明確に図6に示すように、1以上の結合部は、単一の枢動部又はスイベル継手12aを含むが、本発明は、代替的にも使用できる他の同様に機能する種々の結合部などに限定されない。

## 【0033】

しかしながら、1以上の結合部として定義される継手12aの使用において、少なくとも一部の初期特性は、ロボット1b及び1cでの使用において留意することができる。例えば、特定の実施形態において、1以上の結合部は、構成要素ユニット(ロボット1bの構成要素ユニット10a及び10b、並びにロボット1cの構成要素ユニット10a'及び10b')の外側に配置されている。加えて、特定の実施形態において、1以上の結合部は、構成要素ユニットの2つの外側に作用的に結合されている。また、特定の実施形態において、1以上の結合部は、ロボット10b及び10cの中心線に沿って配置されているが、ロボットの車軸21から離れている。

## 【0034】

1以上の結合部としての継手12aの使用において、連結された構成要素ユニット（ロボット1bの構成要素ユニット10a及び10b、並びにロボット1cの構成要素ユニット10a'及び10b'）は、少なくとも構成要素ユニットのうちの1つが他の構成要素ユニットに対して枢動するように構成されている。このため、連結された構成要素ユニット10a及び10b、10a'及び10b'は、単一の自由度で移動することができる。前述したように、構成要素ユニットの連結においてこうした1以上の結合部を使用することは、ユニットが、本発明の移動ロボットが使用され得る不規則な面に十分に適応するように（互いに対して）移動するのを可能とする。しかしながら、上に示唆したように、他の結合部は、構成要素ユニット10a'、10b'で達成される1以上の自由度を可能にするのに使用することができる。また、特定の実施形態において、いずれかのヨー成分がある場合に、かかる結合部は、円筒面2との接触を維持するために、メカナムホイールと共に使用することもできる。

10

**【0035】**

引き続き図7のロボット1cを参照すると、他の例示的な特徴を一部示している。例えば、構成要素ユニット10a'及び10b'のそれぞれのフレーム（又はシャーシ）11は、屋外環境から内部要素を保護するように被覆することができる。さらに、別々に又は組み合わせて使用しても、構成要素ユニット10a'及び10b'には、フレーム11上に物体を支持する一般的な積載荷重搭載マウント13が含まれ得る。特定の実施形態において、付加的なメカナムホイール部20a'、20b'、20c'及び20d'は、磁石50によって発生した力を十分に分散するユニットに追加することができる。そして、特定の実施形態において、ロボット1cは、ロボット1cがハンドカートのように搬送されるのを可能とするために取付けフランジ62'に取り付けられた、車輪14及びハンドル15を更に含む。このような場合、車輪14は、図示するように、（ロボット1cによって移動される面に向かって）メカナムホイールの下方に及ばないように取り付けることができる。このため、ロボット1cを使用する場合、作用表面に接触する車輪14によって生じる干渉又は摩擦はない。更に図示するように、（例えば、取り外し可能なピン16によって構成要素ユニット10a'、10b'に固定された）磁石ブラケット62'は、ロボット1cから取り外し可能に構成されている。ピン16を取り外すことによって、ブラケット62'は、ロボット1cの保管及び運搬のために取り外すことができる。

20

**【0036】**

図8は、本発明の特定の実施形態に係る更なる別の枢動部材70aを示す。図4及び5の枢動部材70と同様に、枢動部材70aには、同じ調整ねじ54が含まれるが、ねじ54は固定され、調整モーター56によって回転可能に駆動される。特定の実施形態において、モーター56は、逆U字型構造のベース部材77に固定され、その脚部76は、枢動部材70aの上板74に固定される。このような場合、モーター56は、対応する移動ロボットが移動する表面よりも上に磁石50の高さを正確に制御することができるように、（従来のステップモーターとは異なる）調整ねじモーターとすることができる。

30

**【0037】**

図8と同様に、図9は、本発明の特定の実施形態に係る別の代替的な枢動部材70bを示す。図8の枢動部材70aとは異なり、U形構造の脚部76aは、上板77ではなく、交差部材77aによって連結され得る。さらに、調整ロッド54は、（例えば、交差部材77a間に延びる懸架ボルト78によって）交差部材77a間に懸架された、空気圧又は油圧（hydraulic）シリンダ57により置き換えられ得る。空気圧又は油圧シリンダ57を用いるような場合、これらのピストンロッド58は、磁石50に直接固定されている。このため、磁石50の高さは、空気圧又は油圧によって調整することができる。このことは、特に、ピストン78が下方にばね付勢される場合、有益である。この場合、例えば、移動ロボットの制御システム（図示せず）が、ロボットが、移動される強磁性表面から落下する危険があることを検出する場合、制御システムは、シリンダロッド58を可能な限り下方に拡張させるように、シリンダ57に信号を送信することができ、磁石50は強磁性表面に直接係合し、これによって、保持力が最大となる。

40

50

## 【 0 0 3 8 】

図 1 0 及び 1 1 は、本発明の特定の実施形態に係る更に別の移動ロボット 1 d 及び 1 e を示す。図 4 の移動ロボット 1 a に類似するロボット 1 d には、ロボット構成要素ユニット 1 0 a と 1 0 b との間に挿入される付加的な磁石駆動部材 7 0 の対が含まれる。かかる構造によって、移動ロボット 1 d に付与される磁石保持力を高めることができる。このような形態の連動技術が、駆動取付部材 7 0 によって互いに分離された更に別の要素ユニット 1 0 a 及び 1 0 b を追加し続けることによって更に利用できることを理解する必要がある。連動する実施形態に関して、図 1 1 は、図 4 の移動ロボット 1 a に非常に類似した構成を示す。このため、図 1 1 は、それらの間に配置された駆動部材 7 0 を共有する隣接したロボット 1 a を示す。ロボットの連動は、1 つの軸線においてのみ示されるが、例えば、後述する及び図 1 2 に示すように、側部区分 1 0 a 及び 1 0 b を駆動部又は他の継手により連結することによって、面 2 に沿って概して垂直な軸で行うこともできる。

10

## 【 0 0 3 9 】

本発明に係る実施形態のそれぞれの移動ロボット、又はこれらのそれぞれの構成要素ユニット（図 1 のユニット 1 0 a、1 0 b）は、多くの用途に利用することができる。例えば、用途の例示的な一式は、所望の積載荷重を保有することを含み得る。積載荷重は、移動ロボットが、面上で清掃、塗装、検査又は他の保守を実行できる、スプレー塗装装置、清掃装置、裁断装置、溶接装置、検査装置又は他の保守装置であり得る。ロボットが強磁性表面を移動するように構成されている場合、これらの形式の面を有する物体としては、パイプライン、タワー、船体、屋外に建設されたタンク、ビーム及び他のインフラストラクチャを挙げるができる。タワーの用途において、積載荷重は、他の装置の昇降及び操作における使用のためのクレーン装置であって、タワー上の目的地へとロボットが搬送するクレーン装置であってよい。特定の実施形態において、高機能の積載荷重は、移動ロボット 1 周りで物体の遠隔操作を必要とし得る。このような場合、ロボットは、かかる作用を実行する、ロボットアームなどの 1 以上のハンドリング装置と共に構成され得る。

20

## 【 0 0 4 0 】

図 1 2 は、本発明の特定の実施形態に係る更なる別の移動ロボット 1 e を示す。図 6 のロボット 1 b 及び図 7 のロボット 1 c と同様に、図 1 2 のロボット 1 e は、構成要素ユニット 1 0 a ' ' 及び 1 0 b ' ' を互いとの関係において移動させることができる、継手 1 2 b の周りに 1 つの自由度（例えば、駆動）を有する。ただし、2 つの点（ユニットの対向面の頂角部及び底角部）で構成要素ユニット 1 0 a ' ' 及び 1 0 b ' ' を連結することによって、継手 1 2 b は、表面 2 に対して垂直でかつ表面 2 と水平に接するメカナムホイールを保持するのに更に効果的である。その結果、ロボット 1 e は、すべてのメカナムホイールを円滑に同じ方向に回転させて、曲面（例えば、面 2 など）を登ることができる。特定の実施形態において、恐らく図 1 2 a に最も明確に示すように、継手 1 2 b は、角度設定孔 1 8 を通るピン 1 7 によって保持されている。または、例えば、駆動部 1 2 b は、ステッピングモーター、及び図 8 に示すものと同様であるねじ付きロッドの配置の追加とともに、自動的に調整することができ、このため、駆動角を制御するように、ピン 1 7 は正確に取り外される。図示するように、ロボット 1 e には、特定の実施形態において、磁石保持ブラケット 7 1 ' が含まれる。図示されるように、これらのブラケット 7 1 ' がロボット 1 e の端部に対して作用的に結合される一方で、それらは、磁石の調整機能が必要とされない場合に、固定された磁石の位置を可能とする。しかし当然のことながら、駆動部材（図 1 によるロボット 1 の部材 5 2、又は図 4 の部材 7 0 など）は、ロボット 1 e と共に使用され得る。

30

40

## 【 0 0 4 1 】

上述したように、特定の実施形態において、本発明の移動ロボットは、メカナムホイールを使用して、純粋な全方向移動を実現する。しかしながら、式（1）の条件が満たされる限り、純粋な全方向移動を犠牲にして（at the expense of pure omnidirectional movement）他の形式の車輪又はトラックを代わりに使用することができる。例えばこうした

50

他の形式の車輪は、ある程度の全方向移動を可能とする、(図13に例示するような)従来の軸車輪23a~d、又は枢動可能なキャスト車輪を含み得る。一方、強化された牽引が必要とされる場合、メカナムホイール20a~d、又は従来の軸車輪23a~dは、(図14に例示するような)トラック24a~dにより置き換えられ得る。

【0042】

図13を更に参照すると、本発明の特定の実施形態に係る別の代替的な移動ロボット1fが示されている。この点において、移動ロボットとともに使用される継手は、互いとの関係において構成要素ユニットを移動させる際に、単一の自由度を付与するものとして記載されている。しかしながら、ロボット1fに関して、複数の結合部(例えば、継手12a及び12b)が例示され、これらの併用によって、二重の自由度が可能になり、これらのそれぞれは、構成要素ユニット10a''、10b''のフレームの対向面78から生じている。これらの継手を組み合わせる目的の1つは、わずかでかつ非常に不規則な面上で良好に作動させるのに必要な自由度を、ロボット1fに付与することである。上述したように、図13のロボット1fは、メカナムホイールの代わりに、従来の軸車輪23a~dとともに例示されている。ただし、一部の時計回り及び半時計回りの移動性は、ロボット1fに二重の自由度を付与することができる。例えば、同じ速度で同じ方向にすべての車輪を回転させることによって、ロボットの構成要素ユニット10a''、10b''は、同じ速度でその方向に移動する。さらに、車輪20d及び20bを後方に、車輪20a及び20cを前方に回転させることによって、構成要素ユニット10a''、10b''は、時計回り方向に回転する。または、これらの方向を逆にすると、構成要素ユニット10a''、10b''は、反時計回り方向に回転する。以下に示す表2は、かかる車輪の駆動に対するロボット1fの移動について概説する。

【表2】

移動方向	標準車輪の駆動
後方	すべての車輪は同じ速度で後方へ
前方	すべての車輪は同じ速度で前方へ
CW回転	車輪20d、20b後方へ： 20c、20a前方へ
CCW回転	車輪20a、20c後方へ： 20d、20b前方へ

【0043】

ロボット1gは、図13のロボット1fと同等の構成を有するが、上述したように、ロボット1gは、(図13のロボット1fで示された)従来の軸車輪23a~dがトラック24a~dに置き換えられて例示される。従来の車輪と同様に、制限された時計回り及び反時計回りの移動性は、2つの枢動軸に、構成要素10a''、10b''の複数の結合部からの自由度を付与することが可能である。同じ速度で同じ方向にすべてのトラックを駆動させることによって、ロボットのユニット10a''、10b''は、同じ速度でその方向に移動する。トラック24d及び24bを後方に、トラック24a及び24cを前方に駆動させることによって、ユニット10a''、10b''は、時計回り方向に回転する。これらの方向を逆にすると、ユニット10a''、10b''は、反時計回りに回転する。以下に示す表3は、かかる車輪の作動に対するロボット1gの移動について概説する。

【表 3】

移動方向	トラックの駆動
後方	すべてのトラックは同じ速度で後方へ
前方	すべてのトラックは同じ速度で前方へ
CW回転	トラック20d、20b後方へ： 20c、20a前方へ
CCW回転	トラック20a、20c後方へ： 20d、20b前方へ

10

## 【0044】

図15は、本発明の特定の実施形態に係る更に別の移動ロボット1hを示す。ロボット1hには、図4のロボット1と同様の構成が含まれるが、ロボット1hからの磁力は、真空装置45の使用によって高められるように示されている。図示するように、特定の実施形態において、かかる装置45から生じた真空は、内部圧力が外部周囲圧力未満であるスカート46によって維持される。従って、真空は、磁石50によって生成されるのと同様な、(すなわち、例えば、メカナムホイール20aのように、車輪の駆動によってロボットによって移動される表面に沿って、可動な、)合力(net force)を付与する。当然のことながら、真空は、サンドブラスト用途のような残骸を取り除くのに必要とされる積載荷重全体の一部だが、残骸を取り除く主な役割に加え、ロボットの車輪に付与された保持力を強化するためにも真空は機能し得る。真空装置45が、式(1)の要件を確実に満たす程度に十分強い場合、磁石50は、本発明の移動ロボットに必要なではない。このような場合、作用表面に鉄は不要であり、その代わりに、スカート46が十分な真空状態を維持できるように、作用表面が十分に滑らかであることを必要とするにすぎないことを理解する必要がある。

20

## 【0045】

特定の実施形態において、本明細書で具体化されたそれぞれのロボット1~1h、又はこれらのそれぞれの構成要素ユニットには、必要に応じて、例えば、積載荷重及びロボットに使用する、電力、通信制御、空気圧/油圧ライン用の、及び、必要に応じて、積載荷重に使用する塗布液ライン用の、迅速接続/切断インターフェースが含まれ得る。さらに、特定の実施形態において、具体化されたロボットのそれぞれの構成要素ユニットは、ロボットを製造するのに必要なすべての装置、及び内蔵された積載荷重(例えば、電池、タンク、無線通信など)を設置する場所が設けられるような大きさにすることができる。支持構造体、又は電気系統/制御ラインを非実用的にさせる大きな障害物(例えば、パイプライン支持体)の周囲でロボットを操作する必要がある場合、これは望ましい。

30

## 【0046】

本発明の移動ロボットは、これらの種々の実施形態のいずれかにおいて、「マスターコントローラー」コンピュータ100によって制御され、その例示的な主制御図は、本発明の特定の実施形態に係る図16に提供される。メカナムホイール20a~20d、従来の軸車輪23a~23d又はトラック24a~24dを使用しても、ロボットが移動する物体上の所望の移動を実現するように、独立して制御される。特定の実施形態において、かかる制御は、ロボットが保有する積載荷重装置に動作可能に提供され得る。このように、マスターコントローラーコンピュータ100は、ロボット、又は連動する場合は複数のロボット(例えば図11に例示される)に取り付けられたすべての車輪(若しくはトラック及び動作可能な積載荷重部材)を制御するのに必要な量に応じて、複数の個々のアクチュエーターコントローラーA1、A2、A3、・・・、AN(例えば、モーターコントローラー32)を独立して命令するように構成することができる。特定の実施形態において、コントローラーコンピュータ100は、独立して、それぞれのロボットのアクチュエータ

40

50

ーコントローラーのそれぞれに配線されるが、本発明は、このようなものに限定されず、これとは別に、コントローラーコンピュータ100は、無線通信を介して、それぞれのアクチュエーターコントローラーを制御できる。

【0047】

図17は、本発明の特定の実施形態に係る具体化された移動ロボットにおけるモーター制御システム入力の制御図である。最初に、マスターコントローラーコンピュータ100からのアクチュエーター入力は、1又は複数のロボットに配置されたモーターコントローラー32などのそれぞれのアクチュエーターコントローラーA1、A2、A3、・・・、ANへの制御ライン101によって個々に命令される。アクチュエーターコントローラーは、図示するように、情報を処理し、アクチュエーター、例えばモーター30に所望の機能を実行するように命令する。その後、このように命令されたアクチュエーターは、アクチュエーターコントローラーにフィードバック情報を提供し、そして、1以上のフィードバックライン102によって示すように、マスターコントローラーコンピュータ100に情報をフィードバックする。ライン101及び102が、無線回線とともに有線回線も含み得ることを理解する必要がある。

10

【0048】

図17は、具体的には、車輪又はトラック駆動モーター30を制御するアクチュエーター制御システムA1の例示的な概略図である。図示するように、マスターコントローラー100は、ライン101によって示すように、モーターコントローラー32に角速度命令を送信する。この信号は、加算点121を介してモーターコントローラー32上を通過し、そして、ライン104を介してモーター30にこれらの命令を通過させる。モーター30は、マスターコントローラー100にフィードバックされる出力信号を提供し、通信ライン105を介して電位差計/エンコーダ123に供給することができる。このような場合、電位差計/エンコーダ123は、モーター30の回転速度を測定し、通信ライン107を介して、発生した信号を加算点121に送信する。発生したフィードバック信号は、通信ライン108を介してモーター制御部32に伝達される。同様に、モーターコントローラー32は、2つの入力と比較し、ライン104を介して、車輪又はトラック駆動モーター30に、混合された発生信号を送信することができる。

20

【0049】

例えば、面を清掃する、塗装する又はその他の処理をする命令を含んだ処理を参照すると、命令は、CNC加工プログラムと同様のプログラムで、コンピュータ/コントローラー100にロードすることができる。そして、コントローラー100は、特定の場所に移動する方法、又は、完全に面を覆う方法について、種々のアクチュエーター制御システムA1～ANを介して、移動ロボットに命令する。コンピュータは、作用表面上の全出発点におけるロボットの配置によって、ロボットの出発点を決定することができる。または、自動制御が必要でない場合、移動ロボットは、操作者によって手動で制御することができる。

30

【0050】

それとは別に、或いは、組み合わせて、位置制御は、外部基準情報源に基づいて行うことができる。例えば、基準情報源は、マスターコントローラー100に、ロボット又は連動ロボットにおける特定の基準点の全体的な位置を中継することができる。ロボットの位置と外部位置基準とを比較することによって、コントローラー100は、ロボット若しくは連動ロボット又はロボット構成要素ユニットの正確な位置基準を処理することができる。公知な位置に配置されたGPS又は地上発信器を含む1つの共通の方法で可能となる、外部制御の様々な方法がある。

40

【0051】

特定の実施形態において、ロボットの位置及び/又は向きは、幅広い情報源の配列(例えば、ピッチ及びヨー角センサ、GPS、加速度計、慣性エンコーダ車輪、既知の位置発信器、駆動モーター速度、慣性誘導制御など)からのフィードバックにより決定することができる。正確な位置及び向き制御は、最小のユーザー入力を可能にし、これによって、

50

特定のタスクの自動化を容易とすることを理解されたい。要求に応じて、ロボットは、関連する位置データを積載荷重に中継する。図18は、本発明の特定の実施形態に係る特定のこれらの機能を可能にする特徴を有する、例示的な移動ロボット1iを示す。図4のロボット1bと多くの点で類似して、ロボット1iは、オムニホイール25、オムニホイールエンコーダ123a及び継手エンコーダ123bを含む更なる機能を有する。特定の実施形態において、図示するように、オムニホイール25は、自由に接触し、ロボット1iが横断する作用表面上で回転するように、磁石取付ブラケット51に枢動可能に連結されている。更に図示するように、特定の実施形態において、ホイールエンコーダ123aは、ホイール25の軸に連結され、継手エンコーダ123bは、構成要素ユニット10a、10bの間の継手12aの一方の端部に連結されている。

10

#### 【0052】

引き続き図18を参照すると、車輪25の速度及び位置のモニタリングによって、ホイールエンコーダ123aは、マスターコントローラ100（明確に示していないが、構成要素ユニット10a、10bの一方に位置する。）にかかる情報を送信する。この情報により、とりわけ、コントローラ100は、作用表面上におけるロボット1iの真の位置を追跡することができる。同様に、継手エンコーダ123bは、構成要素ユニット10a、10bの間の角度差をモニタリングし、マスターコントローラ100に対して、このような情報を送信することができる。当然のことながら、角度差が大きいほど、ロボット1iが、作用表面に対して軸から離れていることになる。これは、湾曲した作用表面で特に関係する。ある程度のホイールのスリップは、メカナム駆動方式において本来的にあり、特定の実施形態において、マスターコントローラ100に供給されるメカナムホイール速度に加えて、フィードバックによって、ロボット1iの向きを正確に制御し、ロボット1iを正確に操作することができる。このため、コントローラ100は、種々のアクチュエーター制御システムA1～ANの制御によって、面に沿ってロボット1iが移動するとき、スリップを補正することができる。スリップは、従来の軸車輪又はトラック駆動システムに関しそれほど問題ではないが、正確な制御のために、マスターコントローラ100は、依然として、フィードバックを必要とする。

20

#### 【0053】

好適な実施形態のロボットには多くの用途があり、そのうちの1つに、風力タービントワー又は垂直管などの円筒型タワーの保守がある。突出した障害物の場所及び他の一般的な「立入禁止」区域などのタワーの配置は、CNC加工プログラムと類似したプログラムにおいて、コンピュータ/コントローラ100にロードすることができる。同様に、コンピュータ/コントローラ100は、移動ロボットの構成とタワーの構成とを比較し、ロボットの出発位置を決定することができる。使用時に、移動ロボットは、コントローラ100に提供されるいずれかの鉄表面及び表面幾何形状に配置されてもよい。特定の実施形態において、上に示唆したように、搭載GPS又は他のナビゲーション装置を使用し、コンピュータ/コントローラ100に位置及び向き情報を通信することができる。そして、コンピュータ/コントローラ100は、完全に面を覆うか又は特定の場所に直接移動するように、面に及び面上に進むために移動する方法について、種々のアクチュエーター制御システムA1～ANを介して、移動ロボットに命令する。上述したように、移動ロボットは、清掃、塗装、裁断、溶接及び/又は保守装置を保有することができ、コンピュータ/コントローラ100は、作用表面の準備と保守の両方をロボットに命令することができる。

30

40

#### 【0054】

上述したものが本発明の好適な実施形態の説明であり、本発明の趣旨から逸脱することなく、種々の変更及び改良をすることができることを理解する必要がある。なお、関連する態様としては次のものが挙げられる。

#### [態様1]

地面又は床に対する強磁性表面の向きに関係なく、該強磁性表面において使用されるように構成された移動ロボットであって、

50

フレームワークと、  
複数の磁石と、を具備し、  
該複数の磁石が、  
前記フレームワークに対して作用的に結合され且つ前記強磁性表面の上方で距離を保持されつつ、

前記強磁性表面に抗して当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重を保持するのに十分な磁場強度を有し、

前記フレームワークの外側端部に対して作用的に結合された第1の磁石の組を少なくとも有し、

これにより最小の、1又は複数の(i)前記強磁性表面からの前記フレームワークのクリアランス、(ii)当該移動ロボットの重心、及び(iii)当該移動ロボットの全体形状を維持する、移動ロボット。

10

[ 態様 2 ]

前記強磁性表面が、前記地面又は床から角度をなした1又は複数の部分を有する物体である態様1に記載の移動ロボット。

[ 態様 3 ]

前記物体が風力タービンタワーである態様2に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において、二次元又はそれ以上の次元で選択的に調整可能である態様1に記載の移動ロボット。

20

[ 態様 5 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において角度及びクリアランスに関して選択的に調整可能である態様4に記載の移動ロボット。

[ 態様 6 ]

特定の前記第1の磁石の組が前記フレームワークの一端に作用的に結合され、  
残りの前記第1の磁石の組が、前記フレームワークの対向する端部に作用的に結合された態様1に記載の移動ロボット。

[ 態様 7 ]

前記複数の磁石が、複数の枢動部材を有する向き制御構造を介して前記フレームワークに対して作用的に結合された態様6に記載の移動ロボット。

30

[ 態様 8 ]

それぞれの枢動部材が「L」ブラケットとして形成され、  
それぞれの「L」ブラケットが、前記強磁性表面に対して枢動して調整可能な脚区分を有し、且つ、

それぞれの「L」ブラケットが、ベース部材であって前記強磁性表面に対する前記複数の磁石の1つの鉛直方向の調整を可能としつつ、前記複数の磁石の1つを作用的に支持するベース部材を有する態様7に記載の移動ロボット。

[ 態様 9 ]

それぞれの枢動部材が、  
前記強磁性表面に対して枢動して調整可能なブロックとして形成され、且つ、  
貫通する1又は複数の鉛直な開口部と、前記強磁性表面に対する前記複数の磁石の鉛直な調整を可能とする一方で同等の1又は複数の前記磁石を作用的に支持するためのプレートと、を有して形成された態様7に記載の移動ロボット。

40

[ 態様 10 ]

前記フレームワークが1又は複数の構成要素ユニットの複数の対を具備し、  
それぞれの前記構成要素ユニットが、一体の組立体であり、且つ、該組立体を包囲するフレームを有し、

それぞれの対の前記構成要素ユニットが、並列的に作用的に連結された態様1に記載の移動ロボット。

[ 態様 11 ]

50

前記複数の磁石が第2の磁石の組を有し、該第2の磁石の組が少なくとも1つの前記構成要素ユニットの対間で作用的に結合された態様10に記載の移動ロボット。

[態様12]

前記フレームワークが1つの構成要素ユニットの対を具備する態様10に記載の移動ロボット。

[態様13]

特定の前記複数の磁石が、前記1つの構成要素ユニットの対の、第1の構成要素ユニットに対して作用的に結合され、且つ、

残りの前記複数の磁石が、前記1つの構成要素ユニットの対の、第2の構成要素ユニットに対して作用的に結合され、

前記複数の磁石が、前記第1の構成要素ユニット及び前記第2の構成要素ユニットの対向する側にある態様12に記載の移動ロボット。

[態様14]

前記1つの構成要素ユニットの対の前記構成要素ユニットの前記フレームが、1又は複数の構成要素継手を介して作用的に連結された態様10に記載の移動ロボット。

[態様15]

連結された前記構成要素ユニットが、前記構成要素継手を介して互いとの関係において拘束される態様14に記載の移動ロボット。

[態様16]

1又は複数の前記構成要素継手が結合部を具備し、

該結合部は、当該移動ロボットと前記強磁性表面との間の接触が維持されるように、連結された前記構成要素ユニットが互いとの関係において移動することを可能とすべく構成された態様14に記載の移動ロボット。

[態様17]

連結された前記構成要素ユニットが、1自由度より多くの自由度で互いとの関係において移動することを可能とされた態様16に記載の移動ロボット。

[態様18]

前記自由度の1つが、互いとの関係において駆動することを可能とされた連結された前記構成要素ユニットと関係する態様17に記載の移動ロボット。

[態様19]

表面の形状に関係なく、該表面において使用されるように構成された移動ロボットであって、

一对の構成要素ユニットであって、それぞれの前記構成要素ユニットが、一体の組立体であり且つ該組立体を包囲するフレームを有した一对の構成要素ユニットと、

並列的に前記構成要素ユニットを作用的に連結する1又は複数の結合部であって、当該移動ロボットと前記表面との間の接触が維持されるように、連結された前記構成要素ユニットが互いとの関係において移動するのを可能とすべく構成された、1又は複数の結合部と、を具備する移動ロボット。

[態様20]

前記表面が1又は複数の曲部を有する物体である態様19に記載の移動ロボット。

[態様21]

前記物体が風力タービンタワーである態様20に記載の移動ロボット。

[態様22]

前記構成要素ユニットが、対応する該構成要素ユニットの下の前記表面の曲部に対してそれぞれ自己適応する態様20に記載の移動ロボット。

[態様23]

前記1又は複数の結合部が、前記構成要素ユニットの外側に配置された態様19に記載の移動ロボット。

[態様24]

前記1又は複数の結合部が、前記構成要素ユニットの外側に対して作用的に結合された

10

20

30

40

50

態様 19 に記載の移動ロボット。

[ 態様 25 ]

前記 1 又は複数の結合部が、当該移動ロボットの中心線に沿って配置されるが、当該移動ロボットの車軸からは離れて配置された態様 19 に記載の移動ロボット。

[ 態様 26 ]

前記 1 又は複数の結合部が、互いとの関係において少なくとも前記構成要素ユニットを駆動するために構成された態様 19 に記載の移動ロボット。

[ 態様 27 ]

前記表面が強磁性体材料で形成され、  
当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重が、地面又は床に対する前記表面の向きに関係なく前記表面に抗して保持されるように構成された態様 19 に記載の移動ロボット。

10

[ 態様 28 ]

複数の磁石を更に具備し、  
該複数の磁石が、前記構成要素ユニットに対して作用的に結合され且つ前記強磁性表面の上方で距離を保持されつつ、該強磁性表面に抗して当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重を保持するのに十分な磁場強度を有した態様 27 に記載の移動ロボット。

[ 態様 29 ]

前記複数の磁石が第 1 の磁石の組を少なくとも有し、  
特定の前記第 1 の磁石の組が、連結された前記構成要素ユニットの一方の端部に対して作用的に結合され、

20

残りの前記第 1 の磁石の組が、連結された前記構成要素ユニットの他方の対向する端部に対して作用的に結合された態様 28 に記載の移動ロボット。

[ 態様 30 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において二次元又はそれ以上の次元で選択的に調整可能である態様 29 に記載の移動ロボット。

[ 態様 31 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において角度及びクリアランスに関して選択的に調整可能である態様 30 に記載の移動ロボット。

[ 態様 32 ]

前記複数の磁石が、複数の駆動部材を有する向き制御構造を介して当該移動ロボットに対して作用的に結合された態様 28 に記載の移動ロボット。

30

[ 態様 33 ]

連結された前記構成要素ユニットが、1 自由度より多くの自由度で互いとの関係において移動することを可能とされた態様 19 に記載の移動ロボット。

[ 態様 34 ]

前記自由度の 1 つが、互いとの関係において駆動することを可能とされた、連結された前記構成要素ユニットと関係する態様 33 に記載の移動ロボット。

[ 態様 35 ]

表面において使用されるように構成され、該表面における全ての領域へと直接且つ好適な方法で移動する機能を有する移動ロボットであって、

40

地面又は床に対する前記表面の向きに関係なく、前記表面に抗して保持されるように構成されたフレームワークと、

前記フレームワークに対して作用的に連結された少なくとも 4 つの全方向車輪と、を具備し、

該全方向車輪が、概して当該移動ロボットの 4 つの離れた角部近傍に配置され、

前記全方向車輪の回転は、前方向、後方向、右方向、左方向、時計回り方向及び反時計回り方向における当該移動ロボットの移動に適応するために全てが前方又は後方に回転されるように個別に制御された、移動ロボット。

[ 態様 36 ]

50

前記表面が前記地面又は床から角度をなした 1 又は複数の部分を有する物体である態様 3 5 に記載の移動ロボット。

[ 態様 3 7 ]

前記物体が風力タービンタワーである態様 3 6 に記載の移動ロボット。

[ 態様 3 8 ]

前記全方向車輪がメカナムホイールである態様 3 5 に記載の移動ロボット。

[ 態様 3 9 ]

前記メカナムホイールのそれぞれの回転が、マスターコントローラーによるものである態様 3 8 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 0 ]

前記マスターコントローラーが、対応する 1 つの前記メカナムホイールの前記回転をそれぞれ制御する個々のコントローラーを制御する態様 3 9 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 1 ]

前記フレームワークが、1 又は複数の構成要素ユニットの複数の対を具備し、それぞれの前記構成要素ユニットが、一体の組立体であり、且つ、該組立体を包囲するフレームを有し、それぞれの対の前記構成要素ユニットが、並列的に作用的に連結された態様 3 5 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 2 ]

前記表面が強磁性体材料で形成された態様 4 1 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 3 ]

前記複数の磁石が、特定の前記構成要素ユニットの外側端部に対して作用的に結合され、前記強磁性表面の上方で距離を保持されつつ、前記強磁性表面に抗して当該移動ロボット及び当該移動ロボットの積載荷重を保持するのに十分な磁場強度を有する態様 4 2 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 4 ]

前記複数の磁石が第 1 の磁石の組を少なくとも有し、特定の前記第 1 の磁石の組が、前記フレームワークの一端に作用的に結合され、残りの前記第 1 の磁石の組が、前記フレームワークの対向する端部に作用的に結合された態様 4 3 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 5 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において、二次元又はそれ以上の次元で選択的に調整可能である態様 4 4 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 6 ]

前記複数の磁石が、前記強磁性表面との関係において角度及びクリアランスに関して選択的に調整可能である態様 4 5 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 7 ]

前記複数の磁石が、複数の駆動部材を有する向き制御構造を介して前記構成要素ユニットに対して作用的に結合された態様 4 3 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 8 ]

それぞれの対の前記構成要素ユニットの前記フレームが、1 又は複数の構成要素継手を介して作用的に結合された態様 4 1 に記載の移動ロボット。

[ 態様 4 9 ]

連結された前記構成要素ユニットが、前記構成要素継手を介して互いとの関係において拘束された態様 4 8 に記載の移動ロボット。

[ 態様 5 0 ]

1 又は複数の前記構成要素継手が結合部を具備し、該結合部は、当該移動ロボットと前記強磁性表面との間の接触が維持されるように、連結された前記構成要素ユニットが互いとの関係において移動することを可能とすべく構成

10

20

30

40

50

された態様 4 8 に記載の移動ロボット。

[ 態様 5 1 ]

連結された前記構成要素ユニットが、1 自由度より多くの自由度で互いとの関係において移動することを可能とされた態様 5 0 に記載の移動ロボット。

[ 態様 5 2 ]

前記自由度の 1 つが、互いとの関係において駆動することを可能とされた、連結された前記構成要素ユニットと関係する態様 5 1 に記載の移動ロボット。

【 図 1 】

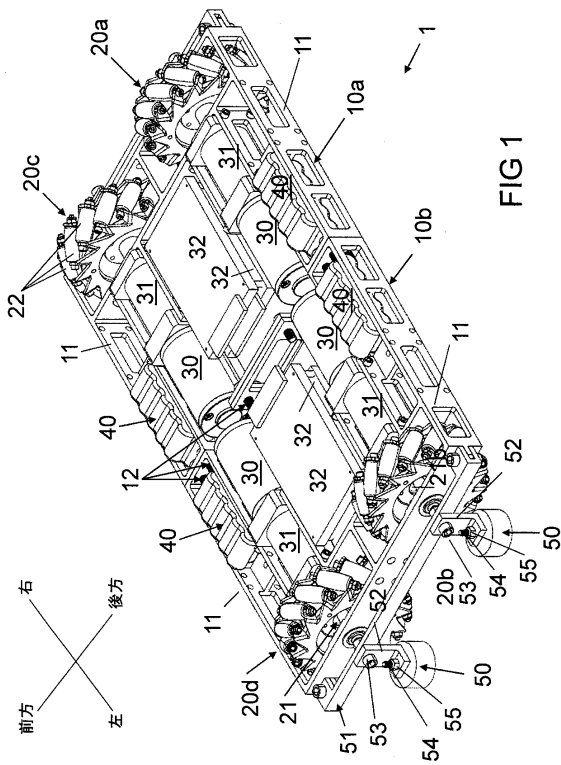


FIG 1

【 図 2 】

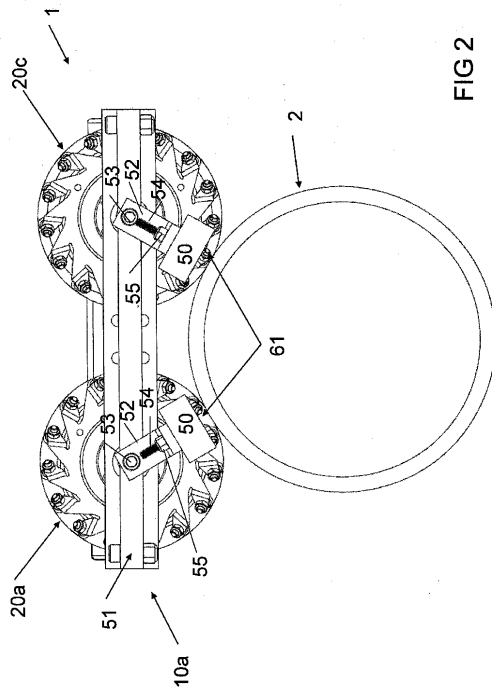
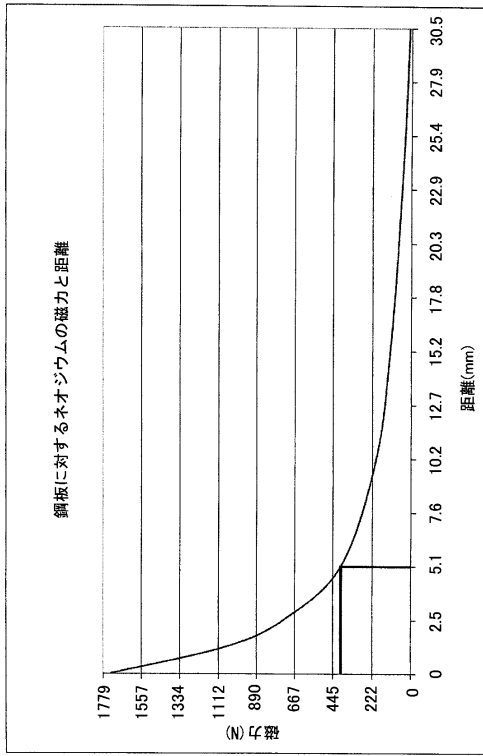


FIG 2

【図3】



【図4】

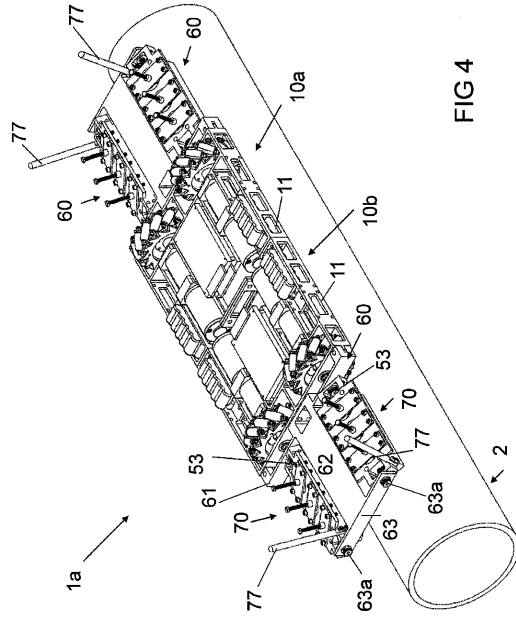
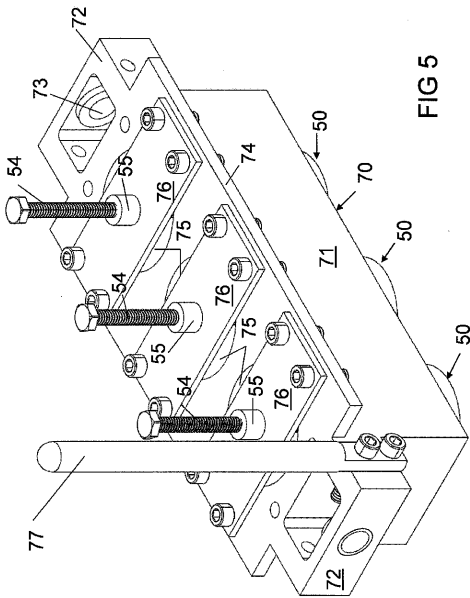
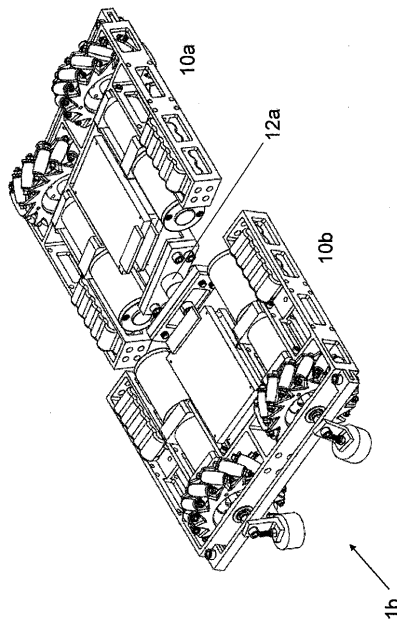


FIG 3

【図5】



【図6】



【 図 7 】

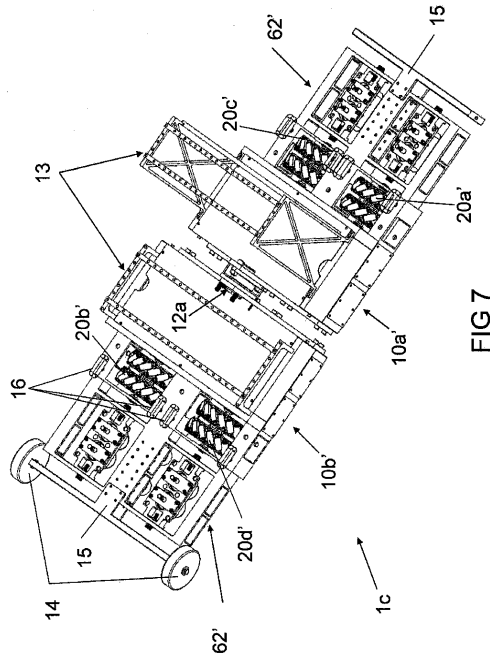


FIG 7

【 図 8 】

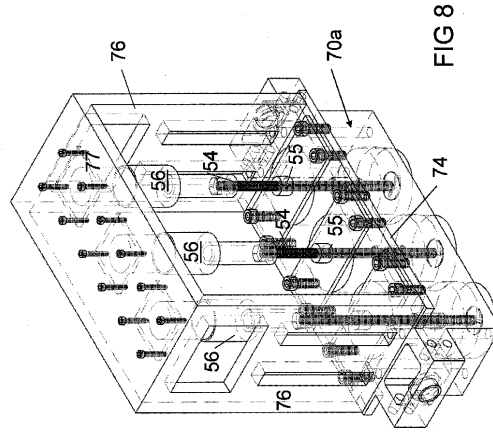


FIG 8

【 図 9 】

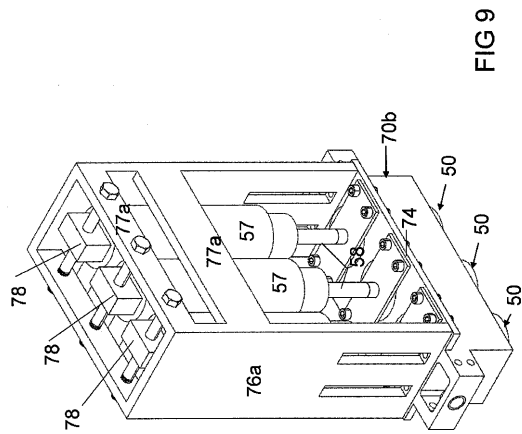


FIG 9

【 図 10 】

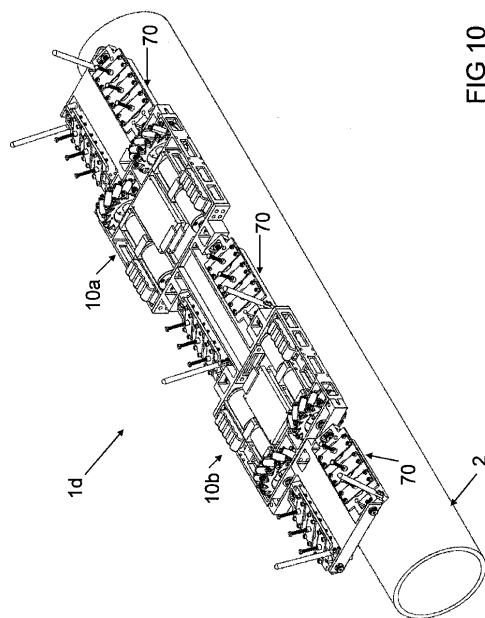


FIG 10

【 図 1 1 】

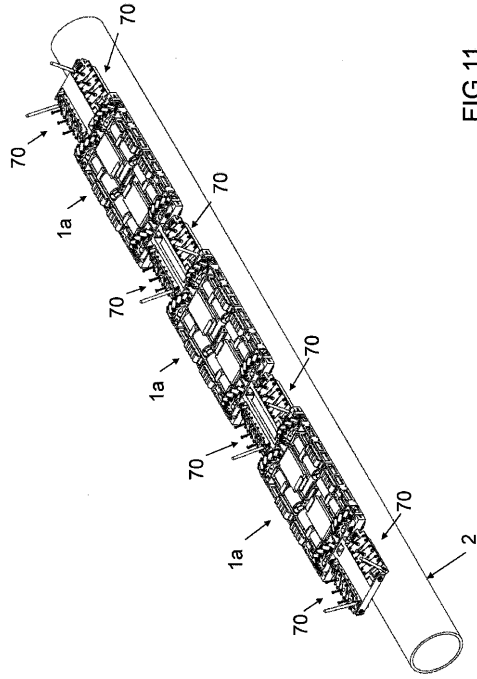


FIG 11

【 図 1 2 】

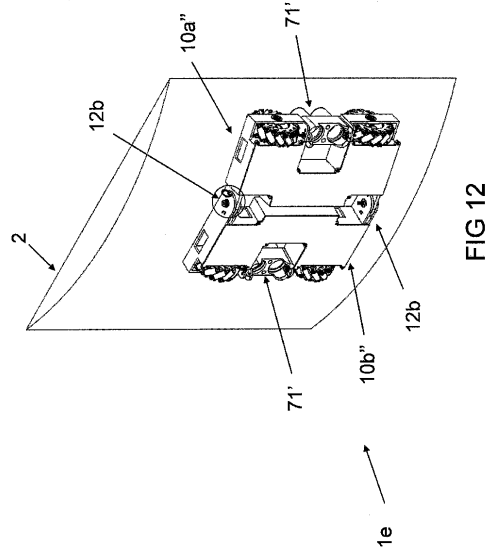


FIG 12

【 図 1 2 a 】

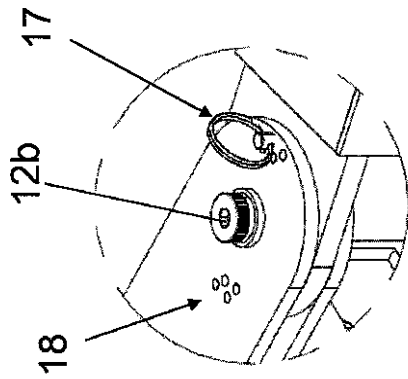


FIG 12a

【 図 1 3 】

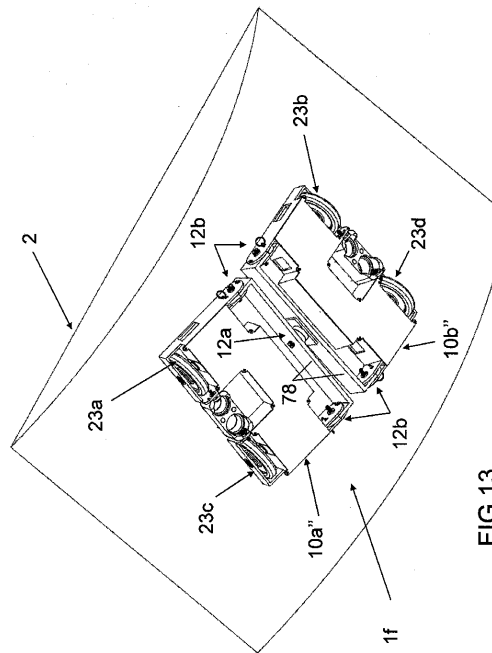


FIG 13

【 図 14 】

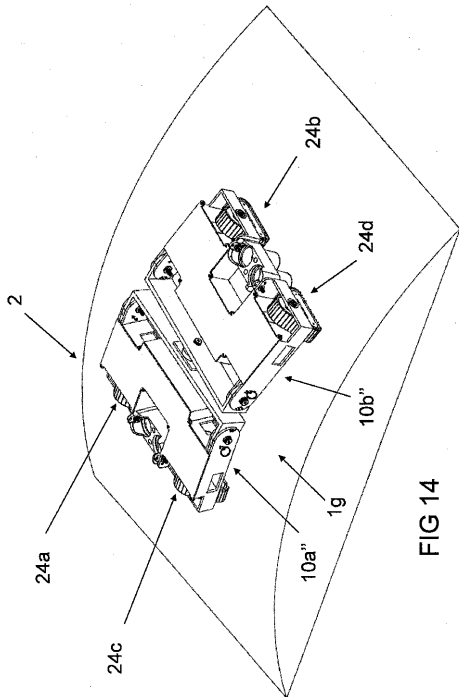


FIG 14

【 図 15 】

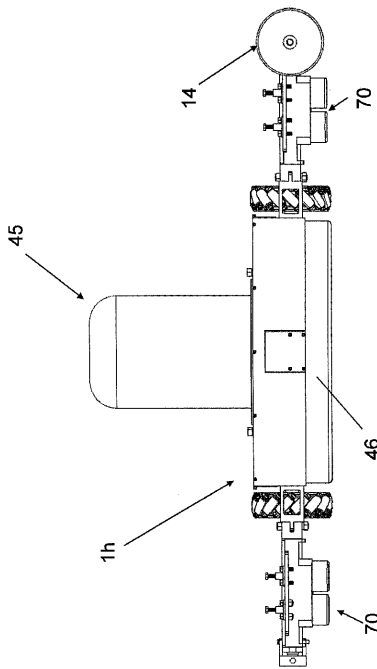


FIG 15

【 図 16 】

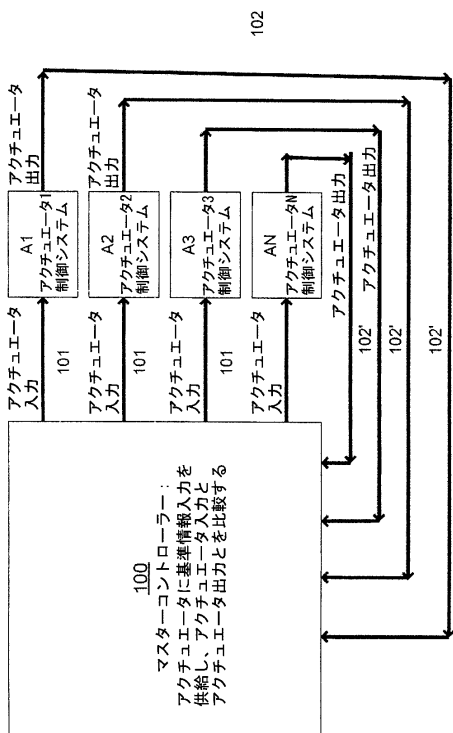


FIG 16

【 図 17 】

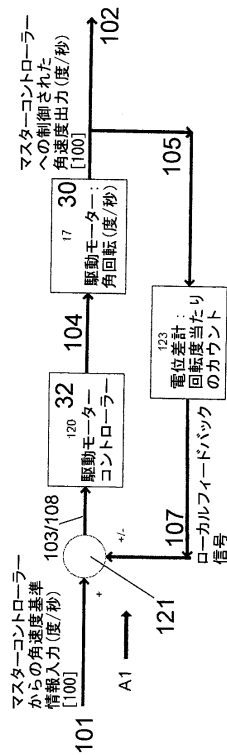
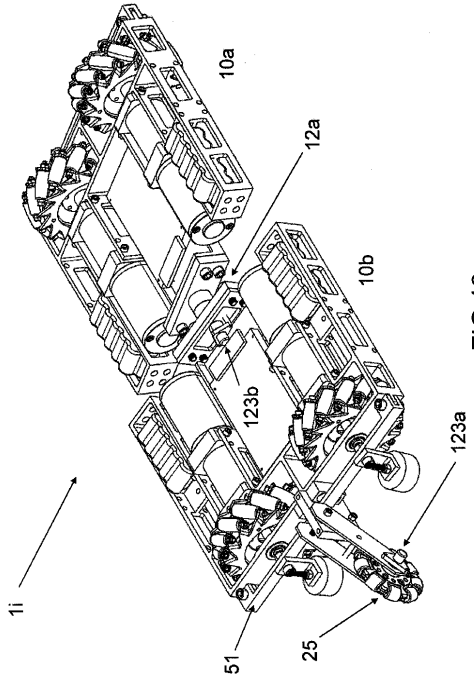


FIG 17

【 図 18 】



## フロントページの続き

(74)代理人 100160705

弁理士 伊藤 健太郎

(74)代理人 100157211

弁理士 前島 一夫

(72)発明者 キース エル・シュリー

アメリカ合衆国, ウィスコンシン 5 3 5 7 5 , オレゴン, リンポッチェ レーン 7 2 2

(72)発明者 ブルース エー・シュリー

アメリカ合衆国, ウィスコンシン 5 3 5 7 5 , オレゴン, リンポッチェ レーン 7 2 2

審査官 川村 健一

(56)参考文献 特表2004-518541(JP, A)

特開平02-158460(JP, A)

国際公開第2013/019301(WO, A1)

特開平04-094778(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 2 D 5 7 / 0 2

B 2 5 J 5 / 0 0