

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-152004

(P2016-152004A)

(43) 公開日 平成28年8月22日 (2016. 8. 22)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 5 D 1/02 (2006.01) G 0 5 D 1/02 J 5 H 3 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-30574 (P2015-30574)
 (22) 出願日 平成27年2月19日 (2015. 2. 19)

(71) 出願人 000001258
 J F E スチール株式会社
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
 (74) 代理人 100089118
 弁理士 酒井 宏明
 (72) 発明者 小原 祐司
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
 F E スチール株式会社内
 (72) 発明者 小林 正樹
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
 F E スチール株式会社内
 (72) 発明者 亀崎 俊一
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
 F E スチール株式会社内

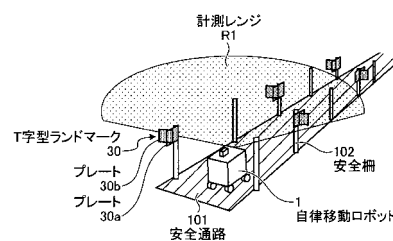
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自律移動ロボットの自己位置推定方法、自律移動ロボット、及び自己位置推定用ランドマーク

(57) 【要約】

【課題】安価、且つ、精度高く自律移動ロボットの自己位置を推定すること。

【解決手段】本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法は、測距センサを利用して自律移動ロボット1が走行する安全通路101の両脇に設けられた安全柵102に左右千鳥状に配置されたT字型ランドマーク30を検出する検出ステップと、検出ステップにおいて検出されたT字型ランドマーク30の位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボット1の自己位置を推定する推定ステップと、を含み、T字型ランドマーク30は、法線方向を鉛直方向に対して直角にして安全通路101の進行方向に伸びるプレート30aと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において安全通路101の進行方向に直交する方向に伸びるプレート30bと、を備える。



【選択図】 図3

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自律移動ロボットの自己位置を推定する自律移動ロボットの自己位置推定方法であって、

前記測距センサを利用して自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置されたＴ字型ランドマークを検出する検出ステップと、

前記検出ステップにおいて検出されたＴ字型ランドマークの位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボットの自己位置を推定する推定ステップと、を含み、

前記Ｔ字型ランドマークは、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第１のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第２のプレートと、を備える

ことを特徴とする自律移動ロボットの自己位置推定方法。

【請求項 2】

前記測距センサはレーザ光を照射することによって対象物からの距離を検出するセンサであり、前記Ｔ字型ランドマークは、前記測距センサから近接する他のＴ字型ランドマークに向けて照射されるレーザ光を遮蔽しないような配置及び形状を有することを特徴とする請求項 1 に記載の自律移動ロボットの自己位置推定方法。

【請求項 3】

前記Ｔ字型ランドマークは、前記走行通路のコーナー部では、該コーナー部内側の通路境界線を始点として配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の自律移動ロボットの自己位置推定方法。

【請求項 4】

測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自己位置を推定する自律移動ロボットであって、

前記測距センサを利用して自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置されたＴ字型ランドマークを検出する検出手段と、

前記検出手段によって検出されたＴ字型ランドマークの位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボットの自己位置を推定する推定手段と、を備え、

前記Ｔ字型ランドマークは、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第１のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第２のプレートと、を備える

ことを特徴とする自律移動ロボット。

【請求項 5】

自律移動ロボットが測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自己位置を推定するための自己位置推定用ランドマークであって、

前記自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置され、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第１のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第２のプレートと、を備えることを特徴とする自己位置推定用ランドマーク。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、屋内環境における自律移動ロボットの自己位置推定方法、自律移動ロボット、及び自己位置推定用ランドマークに関するものである。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

近年、高度成長期に導入された産業用プラントの老朽化が進み、予防保全の重要性が高まっている。一方、少子高齢化に伴って労働者人口が減少し、産業界は慢性的な人材不足に陥る可能性が高くなっている。このため、東日本大震災による福島原発事故における調査用ロボットや廃炉作業用ロボットを中心として、屋内環境を自律移動する自律移動ロボットの開発が進められることが予想される。

【0003】

現在、産業用途として広く普及している自律移動ロボットは、有軌道式の無人搬送車（Automatic Guided Vehicle：AGV）である。このAGVは、軌道周りに設置されているリミットスイッチ等を利用して目標位置に対する自己位置を判定し、判定結果に基づいて目標位置に向けて自己位置を制御する。これに対して、無軌道式の自律移動ロボットでは、自律移動ロボットの自己位置及び姿勢（向き）の自由度が増加するため、技術的に様々な課題が生じる。

10

【0004】

例えば、無軌道式の自律移動ロボットが目標位置に辿り着くためには、正確な地図データ、自律移動ロボットの自己位置の推定技術、及び目標位置に関する情報が必要になる。特に産業用プラント等の一般的な居室空間と比較して広域な屋内環境を自律移動する自律移動ロボットでは、自己位置の推定精度を保証できない場合が多く、低コスト化及び安全性確保と合わせて自律移動ロボットの普及に向けた大きな技術的課題となっている。

20

【0005】

このような背景から、自律移動ロボットの自己位置の推定技術に関する研究が盛んに行われている。例えば、介護福祉分野におけるサービス提供を主目的として開発されている自律移動ロボットについては、レーザ光を利用して対象物を検出したり、対象物との間の距離を測定したりする、いわゆるライダー（Light Detection and Ranging：LIDAR）方式の汎用測距センサを利用した自己位置の推定技術に関する研究が盛んに行われている。代表的な自己位置の推定技術としてはパーティクルフィルタが有名である。

【0006】

これらの技術のソースコードはロボット開発用のプラットフォームであるROS（Robot Operating System）用にウェブ上で公開されており、オープンアーキテクチャとして世界中の研究者がロボット開発用に利用している。また、未知の環境において外界のスキャンデータに基づいて自己位置の推定と同時にマップ作成を行うSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）に関する研究も、人間が入り込めない環境を扱うレスキューロボット等の分野を中心として盛んに行われている。なお、目標位置到着後のドア開閉等の作業については、汎用測距センサによって計測された3次元スキャンデータやRGB-Dカメラ等に基づく物体認識からのアプローチが多い。

30

【0007】

ところで、汎用測距センサを利用した自己位置の推定技術では、汎用測距センサにより得られた点群データやロボット駆動用モータ出力等に多くの不確実性が含まれ、これらを古典制御や現代制御において用いられる数式で表現、整理することは困難である。そこで、近年、確率・統計的なアルゴリズム手法（ベイズ推定、マルコフ過程、価値反復の式等）を応用して自己位置の確率密度を算出し、算出された確率密度に基づいて最も確からしい自己位置を推定する手法が提案されている（非特許文献1参照）。汎用測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データと自律移動ロボットに与える動作速度・方向指令とに基づいて、次のタイムステップにおける自己位置を確率・統計的なアルゴリズム手法を用いて推定する前述のパーティクルフィルタはその代表例である。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】日本ロボット学会誌 Vol.29 No.5, pp.423-426, 2011

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、汎用測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用した確率・統計的なアルゴリズム手法に基づく自律移動ロボットの自己位置の推定技術には以下に示すような課題がある。すなわち、自律移動ロボットを産業プラント用途に用いる場合、運用上の利便性を考慮すると、自律移動ロボットの走行ルートとしては、作業者が移動するために設置された歩行用通路、所謂安全通路を利用することが現実的である。

【0010】

しかしながら、安全通路周りはランドマークに乏しいケースが多く存在する。また、作業者と稼働設備との干渉事故を予防するために、安全通路は稼働設備から一定距離を確保しつつ、安全通路の両脇に安全柵を設けることが一般的である。このため、自律移動ロボットとランドマークとの間の距離が汎用測距センサの計測レンジを越えた場合、ランドマーク不在となり、自己位置の推定技術が機能しなくなる。つまり、自律移動ロボットは自己位置を見失い、その後の自律移動制御ができなくなる。

【0011】

なお、このような課題を解決するために、安全柵をランドマークとして利用することが考えられる。しかしながら、安全柵をランドマークとして利用することは困難である。以下、図11、図12を参照して、安全柵をランドマークとして利用することが困難な理由について説明する。図11は、一般的な工場における安全通路の設置状況を説明するための概略図である。図12は、安全柵に囲まれた安全通路において汎用測距センサによって測定される水平面(レイヤー)を示す説明図である。

【0012】

図11に示すように、安全通路101は稼働設備から一定距離を確保しつつ、両脇に安全柵102を設けることが一般的である。このため、自律移動ロボット1と周辺のランドマーク100との間の距離が汎用測距センサの計測レンジR1を越えた場合、ランドマーク不在となり、自己位置の推定技術が機能しなくなる。また、図12に示すように、一般的に、安全柵102は、外径()50mm程度の鋼管によって構成されていることが多く、安定的に検出することが困難である。

【0013】

さらに、図12に示すように、両脇に安全柵102を備える安全通路101において汎用測距センサによって測定されるレイヤーは、安全柵102である。安全通路101の走行路面を検出するためには、RGB-Dカメラ等を利用した3次元での物体認識が必要となるが、本発明において使用する測距センサは2次元レーザスキャン方式を想定しており、安全通路101の走行路面は検出できないという前提とする。このような安全通路101では、汎用測距センサの走査方向の角度分解能を考慮すると、遠方にある鋼管を見落とすケースが発生する。また、安全柵102の支柱間隔は一律に製作されており、ランドマークとして位置を特定するための特徴に欠ける。

【0014】

確率・統計的なアルゴリズム手法による自己位置の推定技術は、走査情報と自律移動ロボットの動作指令とに基づいて将来の最も確からしい自己位置を推定する技術である。このため、汎用測距センサの走査結果に不連続な変化が生じた場合や周囲のランドマークが一樣に変化に乏しい場合には、自己位置の誤認識が誘発されやすい。つまり、安全柵をランドマークとして利用した場合、確率・統計的なアルゴリズム手法による自己位置の推定技術は頻繁に自己位置を誤認識する。結果、推定された自己位置と実際の自己位置との間に大きな誤差が生じ、自律移動ロボットが目標ルートから逸脱し、目標位置への誘導が不可能になることがある。

【0015】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、安価、且つ、精度高

10

20

30

40

50

く自律移動ロボットの自己位置を推定可能な自律移動ロボットの自己位置推定方法及び自律移動ロボットを提供することにある。また、本発明の他の目的は、自律移動ロボットが安価、且つ、精度高く自律移動ロボットの自己位置を推定可能にする自己位置推定用ランドマークを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明に係る自律移動ロボットの自己位置推定方法は、測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自律移動ロボットの自己位置を推定する自律移動ロボットの自己位置推定方法であって、前記測距センサを利用して自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置されたT字型ランドマークを検出する検出ステップと、前記検出ステップにおいて検出されたT字型ランドマークの位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボットの自己位置を推定する推定ステップと、を含み、前記T字型ランドマークは、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第1のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第2のプレートと、を備えることを特徴とする。

10

【0017】

本発明に係る自律移動ロボットの自己位置推定方法は、上記発明において、前記測距センサはレーザ光を照射することによって対象物からの距離を検出するセンサであり、前記T字型ランドマークは、前記測距センサから近接する他のT字型ランドマークに向けて照射されるレーザ光を遮蔽しないような配置及び形状を有することを特徴とする。

20

【0018】

本発明に係る自律移動ロボットの自己位置推定方法は、上記発明において、前記T字型ランドマークは、前記走行通路のコーナー部では、該コーナー部内側の通路境界線を始点として配置されていることを特徴とする。

【0019】

本発明に係る自律移動ロボットは、測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自己位置を推定する自律移動ロボットであって、前記測距センサを利用して自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置されたT字型ランドマークを検出する検出手段と、前記検出手段によって検出されたT字型ランドマークの位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボットの自己位置を推定する推定手段と、を備え、前記T字型ランドマークは、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第1のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第2のプレートと、を備えることを特徴とする。

30

【0020】

本発明に係る自己位置推定用ランドマークは、自律移動ロボットが測距センサにより周辺環境を走査することによって得られる点群データを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき屋内環境における自己位置を推定するための自己位置推定用ランドマークであって、前記自律移動ロボットの走行通路の両脇に設けられた安全柵に左右千鳥状に配置され、法線方向を鉛直方向に対して直角にして走行通路の進行方向に伸びる第1のプレートと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において走行通路の進行方向に直交する方向に伸びる第2のプレートと、を備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0021】

本発明に係る自律移動ロボットの自己位置推定方法及び自律移動ロボットによれば、安価、且つ、精度高く自律移動ロボットの自己位置を推定することができる。また、本発明に係る自己位置推定用ランドマークによれば、自律移動ロボットが安価、且つ、精度高く

50

自己位置を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの構成を示す模式図である。

【図2】図2は、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの構成を示す機能ブロック図である。

【図3】図3は、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法を説明するための模式図である。

【図4】図4は、T字型ランドマークの水平面内の寸法の設計方法を説明するための図である。

【図5】図5は、T字型ランドマークの鉛直方向の寸法の設計方法を説明するための図である。

【図6】図6は、T字型ランドマークの設置位置の始点をコーナー部外側の通路境界線を基準とした場合とコーナー部内側の通路境界線を基準とした場合とにおけるT字型ランドマークの検出状況の違いを説明するための図である。

【図7】図7は、実施例において用いた測距センサの仕様を示す図である。

【図8】図8は、本発明におけるT字型ランドマークの設計方法に従って決定したT字型ランドマークの寸法及び配置の一例を示す図である。

【図9】図9は、安全通路の両脇の安全柵のみがランドマークである場合における目標ルート及び自律移動ロボットの走行軌跡を示す図である。

【図10】図10は、図8に示す例における目標ルート及び自律移動ロボットの走行軌跡を示す図である。

【図11】図11は、一般的な工場における安全通路の設置状況を説明するための概略図である。

【図12】図12は、安全柵に囲まれた安全通路において汎用測距センサによって測定される水平面を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図面を参照して、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法について説明する。

【0024】

〔自律移動ロボットの構成〕

始めに、図1及び図2を参照して、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの構成について説明する。図1(a)は本発明の一実施形態である自律移動ロボットの側面図、図1(b)は図1(a)に示す線分AAにおける断面図、図1(c)は本発明の一実施形態である自律移動ロボットの正面図、図1(d)は図1(c)に示す領域Rの部分拡大図である。図2は、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの構成を示す機能ブロック図である。

【0025】

図1(a)に示すように、本発明の一実施形態である自律移動ロボット1は、安全通路(走行通路)101上を走行する台車10によって構成され、台車10は上段部10aと下段部10bとを備えている。上段部10aには、コントローラ内蔵型の測距センサ11、I/Oボード12、台車10を目標位置に自律移動させるためのコンピュータプログラムを含む演算用PC13、及び必要に応じて検査・作業のための機器を追加設置可能なモジュール設置スペース14が設けられている。図2に示すように、演算用PC13は、内部の演算処理装置がコンピュータプログラムを実行することにより、目標ルート設定部13a、自己位置推定部13b、及び速度指令演算部13cとして機能する。これら各部の機能については後述する。

【0026】

10

20

30

40

50

図 1 に戻る。図 1 (b) に示すように、下段部 1 0 b には、自律移動ロボット 1 の動力源となるバッテリー 2 1、それぞれ独立に 9 0 deg 以上旋回可能な 4 つの車輪 1 0 c を回転駆動するモータを制御するモータ制御部 2 2、及びエンコーダコントローラ 2 3 が設けられている。モータ制御部 2 2 は、速度指令演算部 1 3 c (図 2 参照) から出力される自律移動ロボット 1 の動作速度・方向指令 (t) と後述する車輪旋回監視用ロータリーエンコーダ 2 4 b 及び車輪駆動監視用ロータリーエンコーダ 2 5 b から出力される自律移動ロボット 1 の現在の移動方向 (t) 及び移動速度 (t) とに基づいて旋回用モータ 2 4 a 及び車輪駆動用モータ 2 5 a を制御する。

【 0 0 2 7 】

図 1 (c) , (d) に示すように、自律移動ロボット 1 は、駆動系として、水平面内で車輪 1 0 c を旋回させる旋回用モータ 2 4 a、旋回用モータ 2 4 a による車輪 1 0 c の旋回動作を監視するための車輪旋回監視用ロータリーエンコーダ 2 4 b、車輪 1 0 c を回転駆動する車輪駆動用モータ 2 5 a、及び車輪駆動用モータ 2 5 a による車輪 1 0 c の回転駆動動作を監視するための車輪駆動監視用ロータリーエンコーダ 2 5 b を備えている。

【 0 0 2 8 】

図 2 に示すように、目標ルート設定部 1 3 a は、予め記憶されている周辺の地図データ 1 3 d 及びロボット操作者であるオペレータによって設定された自律移動ロボット 1 の初期位置 (t = 0) 及び目標位置に関する情報に基づいて自律移動ロボット 1 が目標位置に移動する際に障害物を回避しつつ、移動距離が最短となるような目標ルートを演算、設定する。

【 0 0 2 9 】

なお、周辺の地図データ 1 3 d は、自律移動ロボット 1 を走行させる予定ルート沿いの所定位置 (位置、姿勢) に自律移動ロボット 1 を配置し、予定ルート沿いの複数点において測距センサ 1 1 のデータを事前に収集し、収集された複数点のデータをある 1 点を原点とした代表座標系に変換することによって作成できる。また、図面情報等により事前に周辺環境の寸法が分かっている場合、これを周辺の地図データ 1 3 d として流用することもできる。

【 0 0 3 0 】

自己位置推定部 1 3 b は、測距センサ 1 1 によって周辺環境を走査することによって得られる点群データ (t) (測距センサ 1 1 によって検出された物体表面の 3 次元座標の集合)、オペレータによって設定された自律移動ロボット 1 の初期位置 (t = 0)、及び速度指令演算部 1 3 c から出力された動作速度・方向指令 (t) を用いて、確率・統計的なアルゴリズム手法に基づいて次のタイムステップ (t + 1) における自律移動ロボット 1 の自己位置及び姿勢 (向き) を推定する。確率・統計的なアルゴリズム手法の詳細については、例えば参考文献 1 (日本ロボット学会誌 Vol.29 No.5, pp.423-426, 2011, 第 2 節 自己位置推定) や参考文献 2 (日本ロボット学会誌 Vol.29 No.5, pp.404-407, 第 2 節 おさらい) を参照のこと。

【 0 0 3 1 】

速度指令演算部 1 3 c は、自己位置推定部 1 3 a によって推定された次のタイムステップ (t + 1) における自律移動ロボット 1 の自己位置及び目標ルート設定部 1 3 a によって設定された目標ルートに基づいて自律移動ロボット 1 の移動ルートを作成する。そして、速度指令演算部 1 3 c は、作成された移動ルートに基づいて自律移動ロボット 1 の動作速度・方向指令 (t) を自己位置推定部 1 3 b 及びモータ制御部 2 2 へ出力する。

【 0 0 3 2 】

移動ルートは、測距センサ 1 1 によって検出された周辺の障害物からの距離に応じて障害物と接触する危険性の高さを指標として数値化してマップ化したコストマップを用いて作成する。移動中の障害物回避運動を含む軌道計算では、(a) 移動後の目標ルートからの最短距離 (目標ルートからの乖離)、(b) 移動後の目標位置までの最短距離 (目標位置からの乖離)、及び (c) 障害物までの最短距離 (回避) それぞれにユーザーが設定した重み付けパラメータを乗じ、これらの総和が最小となる動作速度・方向指令 (t) を決

10

20

30

40

50

定する。各重み付けパラメータは動作環境に応じてオペレータが事前のチューニング作業を通じて任意に設定できる。例えば項目 (a) よりも項目 (b) の重み付けパラメータの配分を大きくすることにより、初期の目標ルートから幾分か乖離しても目標位置までショートカット軌道を選択することになる。

【 0 0 3 3 】

このような構成を有する自律移動ロボット 1 は、以下に示す自己位置の推定方法により自己位置を精度高く推定する。以下、図 3 から図 6 を参照して、本発明の一実施形態である自律移動ロボット 1 の自己位置の推定方法について説明する。なお、以下の説明において、添え字の x は安全通路 1 0 1 の進行方向、y は水平面内で安全通路 1 0 1 の進行方向と直交する方向、z は鉛直方向を示す。

10

【 0 0 3 4 】

〔自己位置推定方法〕

図 3 は、本発明の一実施形態である自律移動ロボット 1 の自己位置推定方法を説明するための模式図である。図 4 は、T 字型ランドマークの水平面内 (x y 平面) の寸法 D_x , D_y の設計方法を説明するための図である。図 5 は、T 字型ランドマークの鉛直方向の寸法 D_z の設計方法を説明するための図である。

【 0 0 3 5 】

図 3 に示すように、本発明の一実施形態である自律移動ロボット 1 は、測距センサ 1 1 を利用して安全通路 1 0 1 の両脇に設けられた安全柵 1 0 1 に左右千鳥状に配置された T 字型ランドマーク 3 0 を補助的なランドマークとして検出し、検出結果に基づき自己位置を推定する。T 字型ランドマーク 3 0 は、法線方向を鉛直方向に対して直角にして安全通路 1 0 1 の進行方向に延伸するプレート 3 0 a と、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において安全通路 1 0 1 の進行方向に直交する方向に延伸するプレート 3 0 b と、を備えている。自律移動ロボット 1 の自己位置推定部 1 3 b は、検出された T 字型ランドマーク 3 0 の位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボット 1 の自己位置を推定する。

20

【 0 0 3 6 】

プレート 3 0 a , 3 0 b の延伸方向の寸法 D_x , D_y は、自律移動ロボット 1 が目標ルートに沿って安全通路 1 0 1 の中央を自律移動している際に測距センサ 1 1 の計測レンジ R_1 内における T 字型ランドマーク 3 0 の検出面積が最大となるように設計されている。具体的には、プレート 3 0 a , 3 0 b の延伸方向の寸法 D_x , D_y は以下に示す数式 (1) ~ (3) により表される。

30

【 0 0 3 7 】

【数 1】

$$\phi = \text{atan}((w/2)/(p*(N-1))) \quad \dots(1)$$

【数 2】

$$D_y = p * N * \tan \phi - w/2 \quad \dots(2)$$

【数 3】

$$D_x = D_y \quad \dots(3)$$

40

【 0 0 3 8 】

ここで、図 4 (a) , (b) に示すように、パラメータ w は安全通路 1 0 1 の幅を示し、パラメータ p は安全通路 1 0 1 の進行方向における T 字型ランドマーク 3 0 の設置間隔を示す。また、パラメータ ϕ は、測距センサ 1 1 の計測レンジ R_1 内であって、自律移動ロボット 1 から最も遠い位置にある N 番目の T 字型ランドマーク 3 0 (図 4 (b) に示す例では N = 2 番目の T 字型ランドマーク 3 0) の設置位置と安全通路 1 0 1 の中央線に沿った自律移動ロボット 1 の進行方向とのなす角度を示し、数式 (1) のように表される。なお、N は、測距センサ 1 1 の計測レンジ R_1 の大きさを r とした時、条件式 $N * p < r$

50

を満たす整数である。

【0039】

安全通路101の中央を走行する自律移動ロボット1に搭載された測距センサ11が上述のN番目のT字型ランドマーク30を検出するためには、手前(N-1番目)のT字型ランドマーク30が測距用のレーザを遮蔽しない必要がある。通常、角度は十分に小さいので、手前(N-1番目)のT字型ランドマーク30の延伸方向の寸法Dxの影響は無視できるとすると、手前(N-1番目)のT字型ランドマーク30による測距用のレーザの遮蔽を回避しつつ、N番目のT字型ランドマーク30の検出面積(Dy-Dz面)を最大とする延伸方向の寸法Dyは幾何学的関係により上述の数式(2)により決定される。

【0040】

上述のように、測距センサ11の計測レンジR1の大きさrが決まれば、上述の数式(1)~(3)によりプレート30a, 30bの延伸方向の寸法Dx, Dyが決まる。なお、機能的には必ずしもプレート30aの延伸方向の寸法Dxとプレート30bの延伸方向の長さDyとが同じである必要はないが、T字型ランドマーク30の製作時に同寸法のプレートを組み合わせてT字型を形成することができるため同じであることが望ましい。

【0041】

一方、プレート30a, 30bの鉛直方向の寸法Dzは以下に示すように設計する。すなわち、安全通路101の路面は、コンクリート面や滑り止め機能付きの縞模様鋼板等、様々であるが、完全に平坦な路面は存在せず、多少なりとも凹凸が存在する。自律移動ロボット1が移動する路面に段差が存在する場合、測距センサ11の計測レンジR1の遠方における鉛直方向の測定点は自律移動ロボット1の傾きに応じて鉛直方向にずれる。

【0042】

このため、T字型ランドマーク30の検出位置が不連続になることを避けるために、この鉛直方向のずれを許容するようにT字型ランドマークの鉛直方向の寸法Dzを決定する必要がある。具体的には、図5に示すように、自律移動ロボット1の前後の車輪10cの間隔をxとすると自律移動ロボット1の傾きは以下に示す数式(4)のように表されるので、T字型ランドマーク30の鉛直方向の寸法Dzは以下に示す数式(5)を満たすように設計する。

【0043】

【数4】

$$\psi = \text{atan}(\delta/x) \quad \dots(4)$$

【数5】

$$Dz > 2r * \tan \psi \quad \dots(5)$$

【0044】

ここで、安全通路101のコーナー部におけるT字型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部外側の通路境界線を基準とした場合とコーナー部内側の通路境界線を基準とした場合とにおけるT字型ランドマーク30の検出結果の違いについて説明する。図6は、T字型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部外側の通路境界線を基準とした場合とコーナー部内側の通路境界線を基準とした場合とにおけるT字型ランドマーク30の検出状況の違いを説明するための図である。

【0045】

なお、図6に示す例は、安全通路101の幅wを1.2m、安全通路101の片側におけるT字型ランドマーク30の設置間隔pを2m、測距センサ11の計測レンジR1の大きさrを10mとして、延伸方向の寸法Dx, Dyが200mmであるT字型ランドマーク30を安全通路101のコーナー部に配置する場合の例である。

【0046】

いま自律移動ロボット1がコーナー部外側の安全通路101の境界線から2m、安全通路101の中央部を移動している状況を考える。この時、図6(a)に示すように、T字

10

20

30

40

50

型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部外側の通路境界線 L_{out} を基準とした場合には、計測レンジ R_1 内においてT字型ランドマーク30は線 $L_1 \sim L_3$ で示す3つ検出されている。これに対して、図6(b)に示すように、T字型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部内側の通路境界線 L_{in} を基準とした場合には、計測レンジ R_1 内においてT字型ランドマーク30は線 $L_1 \sim L_6$ で示す6つ検出されている。なお、T字型ランドマーク30の設置位置の始点は進行方向に向かうコーナー部内側の通路境界線を基準としている。

【0047】

すなわち、T字型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部外側の通路境界線 L_{out} を基準とした場合、コーナー部周辺におけるT字型ランドマーク30の配置が密となるために、測距用レーザが遮蔽されやすくなる。これに対して、T字型ランドマーク30の設置位置の始点をコーナー部内側の通路境界線 L_{in} を基準とした場合には、安全通路101の通路幅に依らずにコーナー部周辺におけるT字型ランドマーク30の設置間隔が確保されるために、T字型ランドマーク30の配置が密にならず、測距用レーザが遮蔽されにくくなる。

10

【0048】

従って、安全通路101のコーナー部においては、コーナー部内側の通路境界線を始点としたT字型ランドマーク30を配置とすることが望ましい。これにより、コーナー部近傍における見通しを維持しつつ、検出されるT字型ランドマーク30の面積を最大化することができる。

20

【実施例】

【0049】

本実施例では、図7に示す仕様の測距センサを備える自律移動ロボットを用いて本発明に係る自己位置推定方法の有効性を評価した。なお、図7に示す仕様の測距センサは、レーザ光源として波長の短い($\lambda = 905 \text{ nm}$)半導体レーザを備え、パルス状に発光するレーザ照射に対する散乱光を測定し、遠距離にある対象物(ランドマーク)までの距離を測定する。半導体レーザの光束は密度が高く、コヒーレントも高い上、波長が極めて短い。このような電磁波は小さな物体によっても極めてよく反射(後方散乱と呼ばれる)され、反射鏡を用いない散乱光による測定や超長距離での測定に有効である。

30

【0050】

測距センサ11の計測レンジ R_1 の大きさ r は10m、角度分解能は 0.25 deg であり、10m先のスキャン方向の空間分解能は $44 \text{ mm} (= 10 * \sin(0.25 \text{ deg}))$ であった。従って、検出漏れを防止するためには補助的なランドマークとして設置するT字型ランドマークの主要寸法は少なくともこの空間分解能よりは大きく設定する必要がある。

【0051】

図8は、本発明におけるT字型ランドマーク30の設計方法に従って決定したT字型ランドマーク30の寸法及び配置の一例を示す図である。図8(a)では安全通路101の片側におけるT字型ランドマーク30の設置間隔 p が2m、図8(b)では設置間隔 p が3m、図8(c)では設置間隔 p が4mとなっている。

40

【0052】

また、図4に示す延伸方向の寸法 D_x 、 D_y の設計方法に従って、図8(a)に示す例では寸法 D_x 、 D_y は0.2m、図8(b)に示す例では寸法 D_x 、 D_y は0.3m、図8(c)に示す例では寸法 D_x 、 D_y は0.6mとした。また、鉛直方向の寸法 D_z については、自律移動ロボット1の前後車輪間隔 x を500mm、安全通路101の段差を5mm、測距センサ11の計測レンジ R_1 の大きさ r を10mとして、図8(a)~(c)の全ての例において0.3mとした。

【0053】

また、測距センサ11の測定原理を考慮してT字形ランドマーク30は、散乱光が生じにくい鋼板(金属光沢あり)ではなく、貼り付けた塩ビプレートによって構成し、表面を

50

トラテープで被覆した。また、各例では、周辺の地図データ13dとして、CADによる製図情報を流用し、同じく演算用PC13に保存し、それぞれのケースにおいて、走行通路の同じポイントに初期位置P1及び目標位置P2を決定し、演算用PC13を通じて同座標値を入力した。

【0054】

図9は、安全通路101の両脇の安全柵のみがランドマークであるケースにおける目標ルート及び自律移動ロボットの走行軌跡を示す図である。また、図10は、図8に示す例における目標ルート及び自律移動ロボットの走行軌跡を示す図である。なお、90度のコーナー部を有する通路幅1.2mの走行路面は図10(a), (b), (c)の例において共通であり、自律移動ロボットの機能により設定された目標ルートに差異は無い。

10

【0055】

図9(a), (b)に示すように、安全柵を構成する50mmの支柱は、確率・統計的なアルゴリズム手法に基づく自律移動ロボットの自己位置推定手法に対しては有効なランドマークとして機能しておらず、粒子集団で確率分布を表現(可視化)した場合(図9(b))、自己位置の推定結果は広域に分散している。この結果、自律移動ロボット1は自己位置を見失い、自律移動ロボット1の移動ルートWは目標ルートから逸脱、誘導不能に陥った。これに対して、図10(a), (b), (c)に示す例では、初期位置P1から目標位置P2への自律移動ロボット1の自律移動は達成でき、図8(a), (b), (c)に示すT字型ランドマーク30はいずれも自律移動ロボット1の自己位置の推定に有効であることが確認された。

20

【0056】

また、図10(a)に示す例では、コーナー部において自律移動ロボット1のドリフトが大きくなり、T字型ランドマーク30の寸法が大きくなるにつれて自律移動ロボット1のドリフト量は小さくなり、特に図10(c)に示す例では、自律移動ロボット1の移動ルートWはほぼ目標ルートに沿ったスムーズな走行軌跡となった。これは、T字型ランドマーク30の延伸方向の寸法 D_x , D_y が大きい方が、プレート30a, 30bの一辺あたりの測距センサ11の測定点数が多くなり、本実施例における測距センサ11の仕様(角度分解能、測距精度、測定レンジ)を考慮した場合であっても、姿勢(方向)に関する情報が付与された理想的なランドマークとして機能させることができるためと考えられる。

30

【0057】

なお、測距センサ11の仕様は様々であり、それによって最適なランドマークの形状も変化する。T字型ランドマーク30は特に延伸方向の寸法 D_y が大きい場合、安全通路101周辺の構造物との干渉が問題となる。従って、屋内環境における同干渉が問題とならない範囲で、T字型ランドマーク30の延伸方向の寸法 D_y を大きくすることは自己位置の推定精度の向上に有効であると考えられる。

【0058】

以上の説明から明らかなように、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法は、測距センサ11を利用して自律移動ロボット1が走行する安全通路101の両脇に設けられた安全柵102に左右千鳥状に配置されたT字型ランドマーク30を検出する検出ステップと、検出ステップにおいて検出されたT字型ランドマーク30の位置及び向きを利用して確率・統計的なアルゴリズム手法に基づき自律移動ロボット1の自己位置を推定する推定ステップと、を含み、T字型ランドマーク30は、法線方向を鉛直方向に対して直角にして安全通路101の進行方向に伸びるプレート30aと、法線方向を鉛直方向に対して直角にして水平面内において安全通路101の進行方向に直交する方向に伸びるプレート30bと、を備える。

40

【0059】

このような構成によれば、ランドマーク検出の連続性が保持され、且つ、姿勢(方向)に関する情報が付与されたT字型ランドマーク30に基づいて自律移動ロボット1の自己位置が推定されるので、精度高く自律移動ロボット1の自己位置を推定できる。また、T

50

字型ランドマーク30は、既存の安全柵102を利用して安全通路101の両脇に取り付けることができるので、自律移動ロボット1の自己位置を安価に推定できる。

【0060】

また、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法では、測距センサ11はレーザ光を照射することによって対象物からの距離を検出するセンサであり、T字型ランドマーク30は、測距センサ11から近接する他のT字型ランドマーク30に向けて照射されるレーザ光を遮蔽しないような配置及び形状を有するので、T字型ランドマーク30が遮蔽物となり、ランドマーク検出の不連続性を誘発することを回避できる。

【0061】

また、本発明の一実施形態である自律移動ロボットの自己位置推定方法では、T字型ランドマーク30は、安全通路101のコーナー部では、コーナー部内側の通路境界線を始点として配置されているので、T字型ランドマーク30が遮蔽物となり、ランドマーク検出の不連続性を誘発することを回避できる。

10

【0062】

以上、本発明者らによってなされた発明を適用した実施の形態について説明したが、本実施形態による本発明の開示の一部をなす記述及び図面により本発明は限定されることはない。すなわち、本実施形態に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例、及び運用技術等は全て本発明の範疇に含まれる。

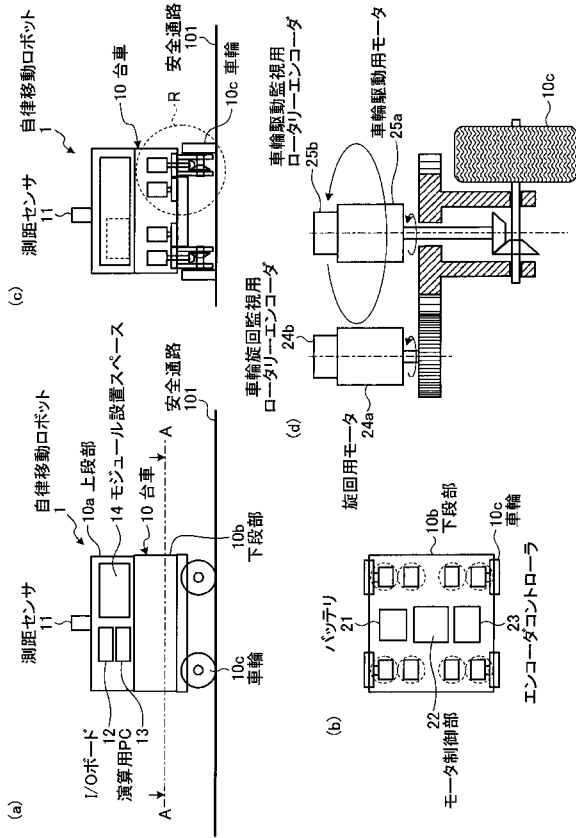
【符号の説明】

【0063】

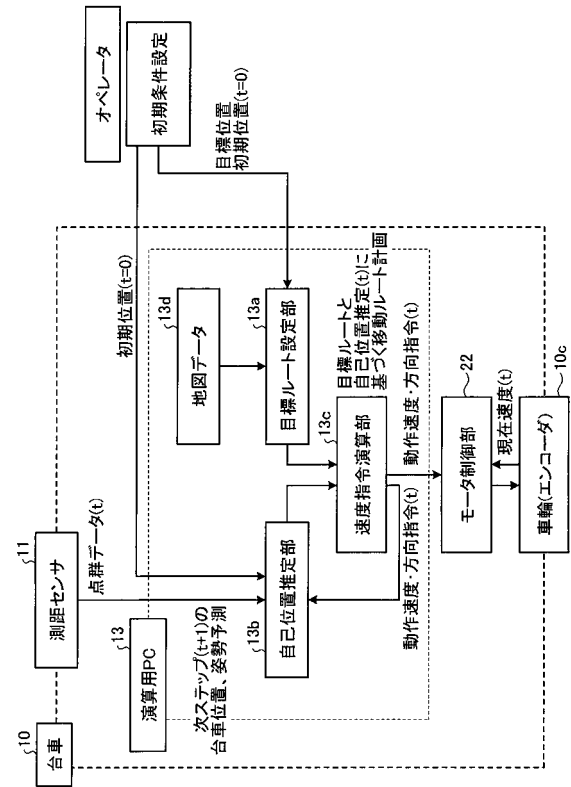
- 1 自律移動ロボット
- 11 測距センサ
- 30 T字型ランドマーク
- 30a, 30b プレート
- 101 安全通路
- 102 安全柵

20

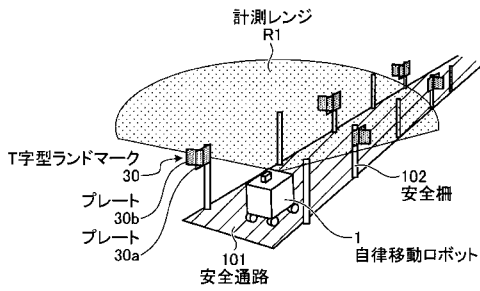
【 図 1 】



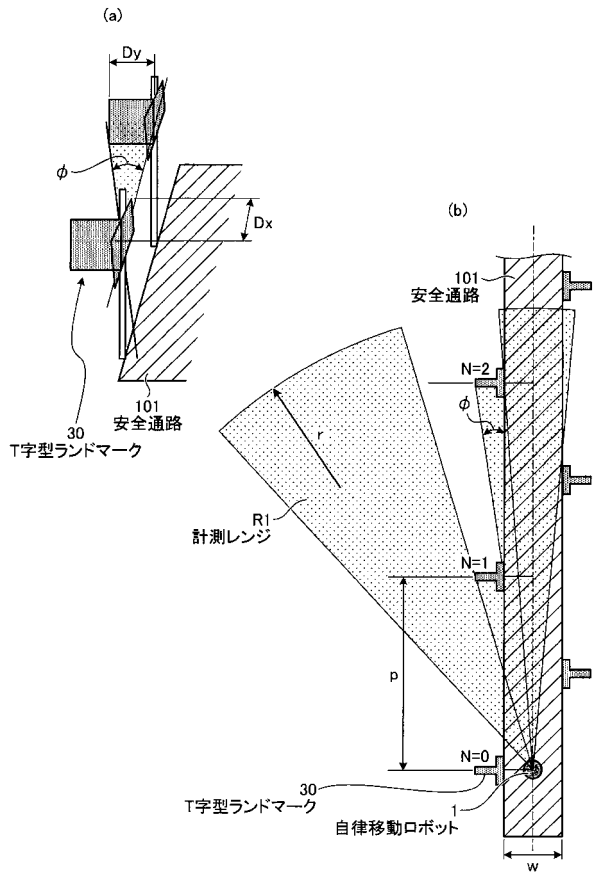
【 図 2 】



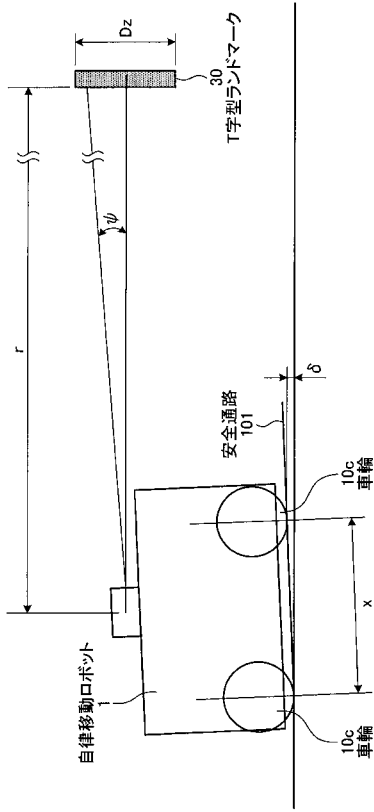
【 図 3 】



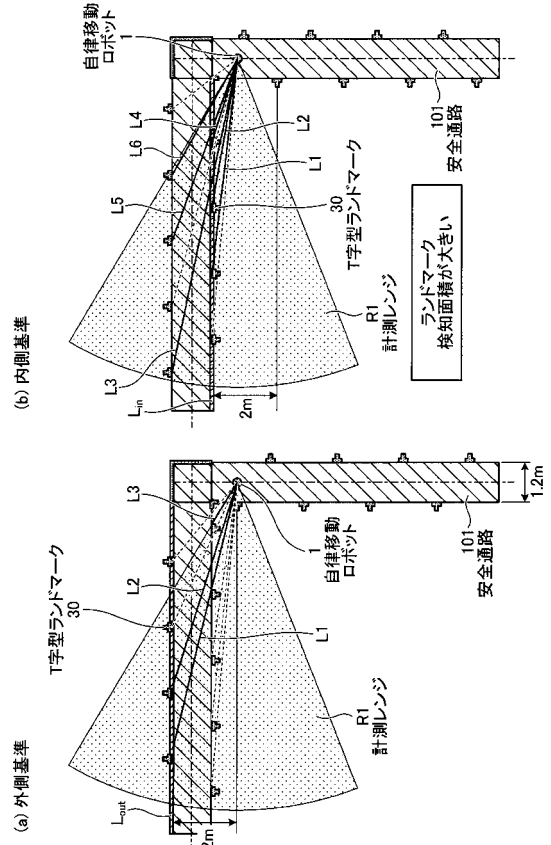
【 図 4 】



【 図 5 】



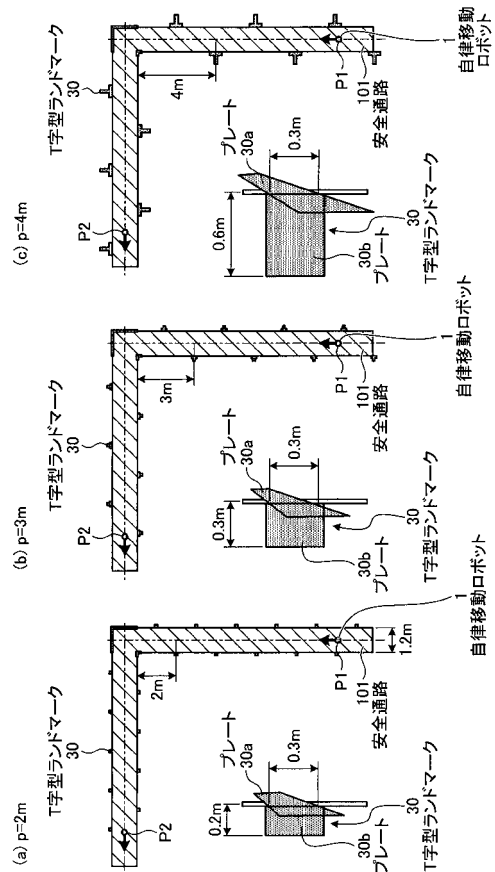
【 図 6 】



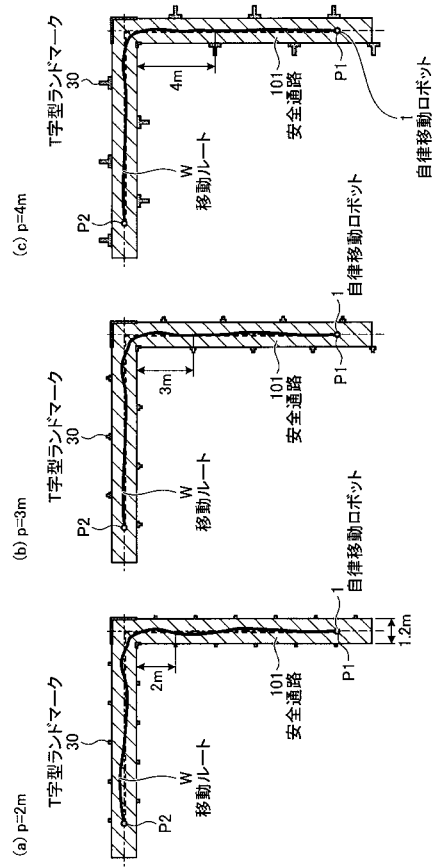
【 図 7 】

品名	測距センサ	
型式	UTM-30LX-EW	
光源	半導体レーザー λ=905nm	FDAレーザ安全クラス1
電源電圧	DC 12V ±10%	
電源電流	700mA 以下、但し起動時は約1A	
検出距離及び検出体	検出厚隙幅 0.1~30m (白ケント紙) : 最大検出距離 60m(出力限界値) 最小検出物 130mm (10m) : 距離により変動する	
測距精度	0.1~10m : ±30mm, 10~30m : ±50mm (白ケント紙) 周囲照度 3000lx 以下 白ケント紙 0.1~10m : ±30mm 10000lx 以下 白ケント紙 0.1~10m : ±50mm 1mm 単位	
測距分解能及び繰返し精度	0.1~10m : σ<10mm, 10~30m : σ<30mm (白ケント紙) 3000lx 以下 : σ<10mm (白ケント紙 10m まで) 10000lx 以下 : σ<30mm (白ケント紙 10m まで)	
走査角度	270 度	
角度分解能	約 0.25 度 (360°/1440 分割)	
走査時間	25ms / scan	
インターフェイス	Ethernet 100BASE-TX (Auto-negotiation)	
出力	同期出力 (NPN オープンコレクタ DC30V, 30mA 以下)	

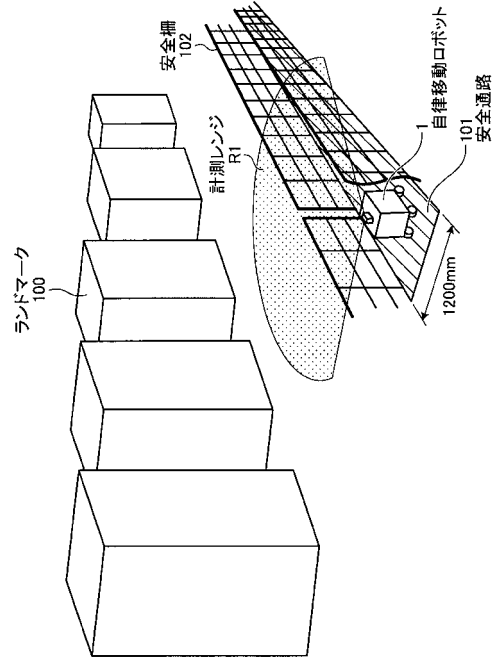
【 図 8 】



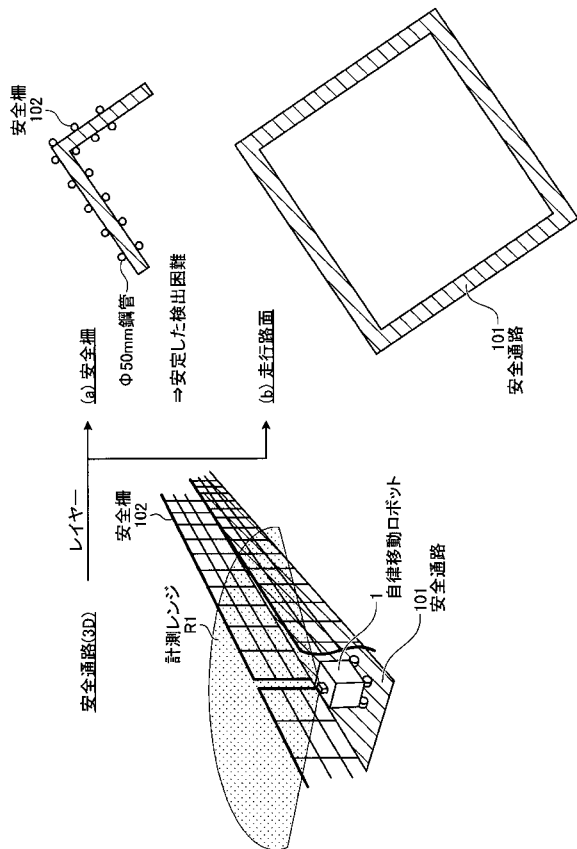
【 図 1 0 】



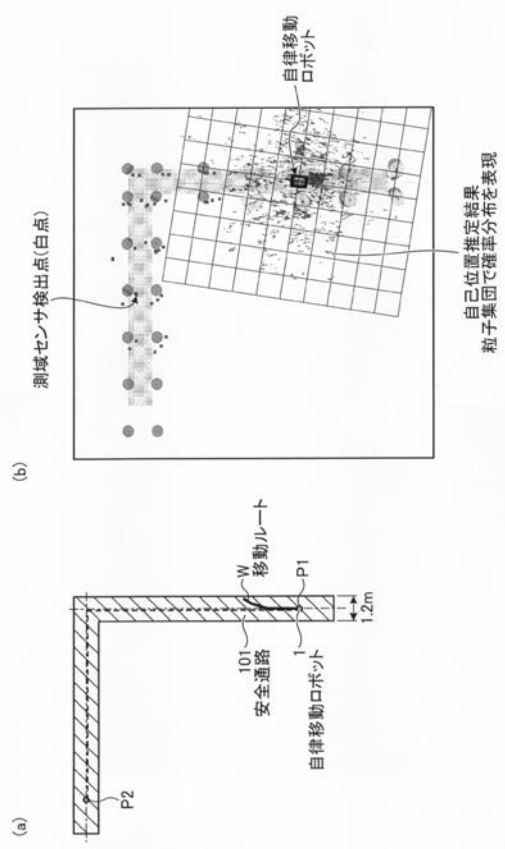
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 林 宏優

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

Fターム(参考) 5H301 AA02 BB14 FF11 GG08 GG12