

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4944840号
(P4944840)

(45) 発行日 平成24年6月6日(2012.6.6)

(24) 登録日 平成24年3月9日(2012.3.9)

(51) Int. Cl. F I
G05D 1/02 (2006.01) G O 5 D 1/02 Z Y W J
 B 6 2 D 6/00 (2006.01) B 6 2 D 6/00
 B 6 2 D 137/00 (2006.01) B 6 2 D 137:00

請求項の数 4 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-150778 (P2008-150778)	(73) 特許権者	000001373 鹿島建設株式会社
(22) 出願日	平成20年6月9日(2008.6.9)		東京都港区元赤坂一丁目3番1号
(65) 公開番号	特開2009-295107 (P2009-295107A)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成21年12月17日(2009.12.17)		
審査請求日	平成22年10月25日(2010.10.25)	(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100133307 弁理士 西本 博之
		(72) 発明者	大塩 真 東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内
		(72) 発明者	松永 義憲 東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】誘導システム及び誘導方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

縦長の閉鎖空間内で、前記閉鎖空間の軸線に沿って移動体を誘導する誘導システムにおいて、

前記移動体の走行方向の前方及び後方の少なくとも一方を向いて前記移動体に搭載されると共に、前記閉鎖空間を横断する断面形状に関する二次元情報を取得する走査手段と、

前記閉鎖空間の軸線に沿った走行ルート上の移動体を基準にして前記走査手段で取得され得る基準断面形状を記憶する断面形状記憶手段と、

前記走査手段で取得された前記断面形状と前記断面形状記憶手段に記憶された前記基準断面形状との幾何学的関係から、前記閉鎖空間の横断面上での前記移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、前記推定値に基づいて前記移動体の走行制御を行う走行制御手段と、
を備えることを特徴とする誘導システム。

【請求項2】

前記走査手段は、前記移動体に一または複数搭載され、

前記断面形状記憶手段は、前記走査手段に対応付けて複数の基準断面形状を記憶し、

走行制御手段は、前記走査手段で取得された前記断面形状と、前記断面形状記憶手段に対応付けられて記憶されている複数の基準断面形状との幾何学的関係から、前記閉鎖空間の横断面上での前記移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、前記推定値に基づいて前記移動体の走行制御を行うことを特徴とする請求項1記載の誘導システム。

【請求項3】

前記走査手段は、レーザースキャナであることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の誘導システム。

【請求項 4】

縦長の閉鎖空間内で、前記閉鎖空間の軸線に沿って移動体を誘導する誘導方法において、

前記移動体の進行方向の前方及び後方の少なくとも一方における前記閉鎖空間を横断する断面形状に関する二次元情報を取得する走査ステップと、

前記閉鎖空間の軸線に沿った走行ルート上の移動体を基準にして前記走査手段で取得され得る基準断面形状と、前記走査ステップで取得された前記断面形状とを対比し、前記断面形状と前記基準断面形状との幾何学的関係から、前記閉鎖空間の横断面上での前記移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、前記推定値に基づいて前記移動体の走行制御を行う走行制御ステップと、

を備えることを特徴とする誘導方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、坑道やトンネルなどの閉鎖空間内を走行する無人搬送車などの移動体を壁面に沿って誘導する誘導システム及び誘導方法に関する。

【背景技術】

【0002】

建設工事中のトンネルなど、走行路面が汚れていたり、石などの異物が落ちていたりする場合には、特許文献 1 に記載の壁倣い方式の接触式ガイドが確実な方法として公知である。また、特許文献 2 に記載されているように、鉛直な側壁を設け、この側壁に光切断線を投影し、側壁からの反射光をカメラで撮像して側壁と搬送車との距離を求めて走行制御を行うようなガイド式の誘導方法も知られている。

【0003】

【特許文献 1】特開平 8 - 258705 号公報

【特許文献 2】特開平 8 - 83124 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の誘導システムや誘導方法では、どうしても誘導のための付帯的な設備が必要であり、誘導設備の設置や撤去に伴う手間が増大して作業負担も大きくなる。特に、従来の誘導システムや誘導方法をトンネル工事などに適用した場合には、トンネル工事の進捗に伴って搬送経路が変化する度に、誘導用設備の増設や変更が必要となってしまうため、設備負担も大きくなってしまふ。

【0005】

本発明は、以上の課題を解決することを目的としており、移動体の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間内での移動体の安定した誘導を実現できる誘導システム及び誘導方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、縦長の閉鎖空間内で、前記閉鎖空間の軸線に沿って柱状の閉鎖空間内で、閉鎖空間を形成する壁面に沿って移動体を誘導する誘導システムにおいて、移動体の走行方向の前方及び後方の少なくとも一方を向いて移動体に搭載されると共に、閉鎖空間を横断する断面形状に関する二次元情報を取得する走査手段と、閉鎖空間の軸線に沿った走行ルート上の移動体を基準にして走査手段で取得され得る基準断面形状を記憶する断面形状記憶手段と、走査手段で取得された断面形状と断面形状記憶手段に記憶された基準断面形状との幾何学的関係から、閉鎖空間の横断面上での移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、推定値に基づいて移動体の走行制御を行う走行制御手段と、を備えることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【0007】

この誘導システムでは、閉鎖空間内に付帯設備を設けるのではなく閉鎖空間の軸線に沿った走行ルート上の移動体を基準にして走査手段で取得され得る基準断面形状を断面形状記憶手段で記憶している。さらに誘導システムは、走査手段で取得された断面形状と基準断面形状との幾何学的関係から、移動体の姿勢と位置との推定値を求め、その推定値に基づいて移動体の走行制御を行うことで走行ルートに沿った安定した誘導を実現している。従って、誘導用設備の設置に要する設備負担や作業負担を抑えることができ、特に、閉鎖空間内で走行ルートが変更になった場合であっても、プログラムで走行位置を変更することで容易に対応できる。その結果として、移動体の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間内での移動体の安定した誘導を実現できる。

10

【0008】

さらに、走査手段は、移動体に一または複数搭載され、断面形状記憶手段は、走査手段に対応付けて複数の基準断面形状を記憶し、走行制御手段は、走査手段で取得された断面形状と、断面形状記憶手段に対応付けられて記憶されている複数の基準断面形状との幾何学的関係から、閉鎖空間の横断面上での移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、推定値に基づいて前記移動体の走行制御を行うと好適である。複数の基準断面形状を記憶しているため、各基準断面形状から推定した位置と姿勢との推定結果の誤差を評価することで、閉鎖空間が一律に同一ではなく、場所に応じて異なるような複数の基準断面形状を有するような場合にも対応できる。

【0009】

走査手段は、レーザースキャナであると好適である。レーザースキャナであれば、閉鎖空間の内径(幅)、すなわち走行ルートから壁面までの距離に関係なく観測誤差は一定である。従って、閉鎖空間の広狭の影響を受け難いため、特に壁面から離れた状態で移動体を誘導する必要がある場合に有効である。

20

【0010】

また、本発明は、縦長の閉鎖空間内で、閉鎖空間の軸線に沿って移動体を誘導する誘導方法において、移動体の進行方向の前方及び後方の少なくとも一方における閉鎖空間を横断する断面形状に関する二次元情報を取得する走査ステップと、閉鎖空間の軸線に沿った走行ルート上の移動体を基準にして走査手段で取得され得る基準断面形状と、走査ステップで取得された断面形状とを対比し、その断面形状と基準断面形状との幾何学的関係から、閉鎖空間の横断面上での移動体の位置及び姿勢の推定値を求め、その推定値に基づいて移動体の走行制御を行う走行制御ステップと、を備えることを特徴とする。この発明によれば、移動体の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間内での移動体の安定した誘導を実現できる。

30

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、移動体の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間内での移動体の安定した誘導を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、図面を参照して本発明に係る誘導システムの好適な実施の形態について説明する。

40

【0013】

図1に示されるように、トンネル施工に伴うセグメントS eなどの搬送や検査、その他の作業を迅速に行うために、坑道T内に規定された所定の走行ルートRに沿って搬送車両3 Aを自動運転させる必要がある。本実施形態に係る誘導システム1 Aは、坑道T内の内壁(壁面)T aに沿った相対誘導によって搬送車両3 Aを誘導し、搬送車両3 Aの自律運転を実現するシステムである。搬送車両3 Aは、移動体に相当する。

【0014】

楕円柱状の閉鎖空間Sが形成された坑道T内には搬送車両3 Aの走行ルートRが規定さ

50

【 0 0 2 1 】

本実施形態では、搬送車両 3 A、搬送車両 3 A に搭載されたレーザースキャナ 1 3、制御装置 1 5 及び駆動装置 1 1 によって誘導システム 1 A が構成される。

【 0 0 2 2 】

次に、誘導システム 1 A による搬送車両 3 A の誘導方法について図面を参照しながら説明する。図 4 は、搬送車両 3 A の相対誘導の動作手順を説明するフローチャートである。

【 0 0 2 3 】

制御装置 1 5 の走行制御部 1 5 b は、搬送車両 3 A の初期位置を設定した後に、駆動装置 1 1 を駆動させて走行を開始する。搬送車両 3 A が走行を開始すると、レーザースキャナ 1 3 はレーザースキャンを開始する。レーザースキャナ 1 3 では、坑道 T (閉鎖空間 S) を横断する断面形状に関する計測データ (観測断面データ) を取得し (ステップ S 1)、制御装置 1 5 の走行制御部 1 5 b に入力する。走行制御部 1 5 b は、観測断面データを受け付けると観測楕円 E c を推定するための処理を実行する (ステップ S 2)。観測楕円 E c の推定について具体的に説明する。

【 0 0 2 4 】

実際の環境では、レーザースキャナ 1 3 の計測データには照明や路面など、坑道 T の内壁 T a 以外の計測結果が混在する。坑道 T の横断面が楕円か円の場合には、その計測点の軌跡は楕円 (円も含む) となることわかっているため、全計測点から楕円を見つければよい。大きな誤差データを含むデータから楕円を推定する方法は様々であるが、例えば以下の方法で楕円を推定することができる。

【 0 0 2 5 】

一般の楕円は平面上に 5 点が与えられれば一意に決まるが、実際には計測点には微小な測定誤差が含まれる。このため、この微小な誤差を平均化して打ち消すためには、5 点より多い点を選び、最小二乗法などで観測楕円 E c のパラメータを推定する。

【 0 0 2 6 】

観測楕円の推定が終了すると、走行制御部 1 5 b は、断面形状記憶部 1 5 a に記憶されている基準断面データを読み出して基準楕円 E₀ を求め (ステップ S 3)、観測楕円 E c と基準楕円 E₀ との幾何学的関係から姿勢角及び相対位置の計算処理を実行する (ステップ S 4)。観測楕円 E c と基準楕円 E₀ との幾何学的関係から姿勢角及び相対位置を求める計算処理方法は様々であり、以下、その一例を説明する。

【 0 0 2 7 】

まず、坑道 T によって形成される略楕円柱状の閉鎖空間 S と、その閉鎖空間 S の横断面との幾何学的関係について、図 6 ~ 図 8 を参照して説明する。

【 0 0 2 8 】

図 6 には、観測楕円 E c と基準楕円 E₀ とが示されている。図 6 では、トンネル軸 L 方向を Y 軸、トンネル軸 L を左右方向に直交する方向を X 軸、トンネル軸 L を上下方向に直交する方向を Z 軸として示している。基準楕円 E₀ は、トンネル軸 L に対して垂直に切断した場合の横断面形状であり、図 6 では、基準楕円 E₀ の基準軸のうち、短軸は X 軸上に規定され、長軸は Z 軸上に規定されている。また、観測楕円 E c は、基準楕円 E₀ に交線 A B で交差する楕円として示しており、交点 A, B は断面の中心 O に対して点対称である。ここで、X 軸と交線 A B との間の挟角を切断角 α と定義する。観測楕円 E c は、基準楕円 E₀ を、交線 A B を回転軸に r だけ回転させた平面に対して、基準楕円 E₀ をトンネル軸 L 方向に投影したものと考えられる。従って、観測楕円 E c は、切断角 α と回転角 r の 2 つの角度で定義することができる。

【 0 0 2 9 】

図 7 及び図 8 は、基準楕円 E₀ と観測楕円 E c との平面幾何学的な関係を説明するための図であり、図 7 は、交線 A B を回転軸にして基準楕円 E₀ を回転角 r だけ回転させ、観測楕円 E c に基準楕円 E₀ を重ねた図である。観測楕円 E c は、図 7 に示されるように、基準楕円 E₀ 上の任意の点と交線 A B との距離 (垂線方向 (C D) の距離) L に一定の係数 “ K ” を掛ける写像により、基準楕円 E₀ 上の任意の点が移された点と考えることも

10

20

30

40

50

。次に、交点 A B を直線で結び、中心 O から直線 A B の垂線を引き、垂線と基準楕円 E₀、観測楕円 E_c との交点をそれぞれ m₃, m₄ とする。次に、線分 A B 上で、点 O、点 A、点 B の近傍を除く、任意の点 O' を取り、上記と同様に、交点 m₃, m₄ を取る。O'・m₁/O'・m₂ と O'・m₃/O'・m₄ との比率を比較し、これが一致すれば、現在の角度は写像関係を満たす。

【0036】

切断角 c は、図 9 に示される直線 A B と基準楕円 E₀ の短径との成す角であるため、写像関係が成立した状態での交点座標から求めることができる。また、写像係数 K もこの過程で同時に求まる。上述の探索手順において、観測楕円 E_c の推定誤差や探索可能な角度が有限であることを考えると、比率を比較する点は多いほどよい。

10

【0037】

(回転角計算)

横断面の回転角 r は、写像係数 K から以下の式 (1) で求められる (ステップ S12)。

【0038】

$$r = a \cos(1/K) \dots (1)$$

【0039】

(姿勢角計算)

ここまで切断角 c と回転角 r は得られている。ただし、前述したように切断角 c と回転角 r からヨー角 y とピッチ角 p を直接的には解くことができない。このため、図 6 の Y 軸上に単位ベクトル [0, 1, 0] を取り、これを切断角 c で決まる交線 A B を回転軸とした回転角 r の回転変換を行い、得られた変換後のベクトルの空間座標 [X_n, Y_n, Z_n] から、次の式 (2) でヨー角 y とピッチ角 p を求める。

20

【0040】

【数1】

$$\left. \begin{array}{l} \theta_p = \sin^{-1}(Z_n), \theta_y = \tan^{-1}(-X_n/Y_n) \left(0 < \phi_c \leq \frac{1}{2} \right) \\ \theta_p = \sin^{-1}(Z_n), \theta_y = 0 \quad (\phi_c = 0) \end{array} \right\} \dots (2)$$

【0041】

30

図 10 には、基準楕円 E₀ と観測楕円 E_c の空間的な関係を示し、図 11 には、Y 軸方向から見た基準楕円 E₀ と切断角 c と回転角 r とに基づいて X-Z 平面上に回転させた観測楕円 E_c を示し、図 12 には、センサ座標系 (観測楕円 E_c と X-Y 平面との交線の角度の基準として、レーザースキャナから見る) で見た場合の観測楕円 E_c を示す。

【0042】

今、図 11 に示す 2 つの楕円 E₀, E_c の配置関係は求められている。一方、図 12 はロール角 r の定義から、ロール角 r がゼロの場合での見かけの観測楕円 E_c である。つまり、レーザースキャナ 13 から得られた観測楕円 E_c と、図 12 の観測楕円 E_c との角度の差からロール角 r を求めることができる。図 11、図 12 では、同じ形状の楕円を (楕円に対して) 同じ方向から見ているため、形状は同じで傾きのみが異なる。このため、図 11 の B・O・F と図 12 の B・O・F は同じ角度であり、両者の角度の差は図 11 における D1・O・F である。このため、ロール角 r を求める手順としては以下に示す (1) ~ (4) の手順となる。

40

【0043】

(1) 図 11 での観測楕円 E_c の傾きは既知である。

(2) D1・O・F の大きさを求める (方法は後述する。)

(3) (1) と (2) とにより、図 12 の観測楕円 E_c の傾きが決まる。

(4) (3) で求めた図 12 での観測楕円 E_c の傾きと、計測データ (観測断面データ) から推定された観測楕円 E_c の傾きとの差がロール角 r である。

50

【 0 0 4 4 】

次に、 $D1 \cdot O \cdot F$ の大きさを求め方について説明する。

図 1 1 の楕円配置において、

- (1) 基準楕円 E_0 と X 軸との交点 $D1$ を通り、直線 AB と直交する直線を求める。
- (2) (1) で求め直線と観測楕円 E_c との交点を求める。
- (3) (2) で求めた交点のうち、直線 AB で 2 つに分けられた領域のうち、 $D1$ と同じ側にある交点が F となる。
- (4) 交点 F の座標を $[X_f, Z_f]$ とすると、 $D1 \cdot O \cdot F = \tan^{-1}(X_f, Z_f)$ となる。

以上より、ロール角 r を求めることができる (ステップ S 1 3)。

10

【 0 0 4 5 】

(相対位置計算)

次に、閉鎖空間 S の横断面上、すなわち走行ルート R に直交する方向での搬送車両 3 A の相対位置、すなわちレーザースキャナ 1 3 の相対位置 (以下、「センサ位置」という) を求める (ステップ S 1 4)。

【 0 0 4 6 】

(1) センサ座標系での座標変換

計測データから推定される観測楕円 E_c の中心の座標 $P_s (X_s, Y_s)$ とすると、この座標はレーザースキャナ 1 3 を基準とする座標系で表したものである。ここで観測楕円 E_c の中心座標 P_s を基準とした座標系を取ると、レーザースキャナ 1 3 の位置は、 P_s' ($-X_s, -Y_s$) と表すことができる。

20

【 0 0 4 7 】

一方、ロール角 r については、前述の方法で既に求めているので、センサ座標系におけるレーザースキャナ 1 3 位置 $P_0 (X_0, Y_0)$ は、次式 (3) に示す回転変換より求めることができる。なお、上記のセンサ座標系とは、図 1 3 に示す観測楕円 E_c の面内で、 O を原点、 OF を X 軸とした座標系である。

【 0 0 4 8 】

【数 2】

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= (-X_s) \cos(-\theta r) - (-Y_s) \sin(-\theta r) \\ Y_0 &= (-X_s) \sin(-\theta r) + (-Y_s) \cos(-\theta r) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

30

ただし、 θr はロール角

【 0 0 4 9 】

(2) 空間座標変換

図 1 3 には、空間座標変換の模式図を示す。今、求められたセンサ位置 $P_0 (X_0, Y_0)$ は楕円 E_c 内での OF を角度の基準とした座標系である。これに対して、求めたいのは P_0 の空間座標 P_p (図中の XYZ の座標軸)、厳密に言えば、空間座標 P_p の内の X と Z 座標である。 P_p は、図中の E_c と E_c が回転軸 AB で回転した関係にあることを利用して、以下の手順で求める。

40

【 0 0 5 0 】

(2 - 1) P_0 から E_c 上の P の空間座標を求める。

図 1 3 において、 F は観測楕円 E_c 上の F を回転軸 AB で回転写像した E_c 上の写像点である。また、 E_c は、観測楕円 E_c を回転軸 AB で $X-Z$ 平面に回転したもので、 E_c 面内で X 軸を $O \cdot F$ とする座標系を取ると、このときの P の座標も (X_0, Y_0) となる。一方、 X 軸と $O \cdot F$ が成す角度は、図 1 1 の $D1 \cdot O \cdot F$ と同じであり、ロール角 r の算出時に求めている。以上より、 $X-Z$ 座標系における P の座標は回転変換により求めることができる。

【 0 0 5 1 】

(2 - 2) 求めた P に対して、回転軸 AB を軸とした回転角 r の回転変換を行う。

50

ここで、P の回転変換、すなわち回転軸 A B 周りに回転角 r だけの回転変換は、四元数を用いると次式 (4) で表される。ここで、求める変換後の点を $P_p (X_p, Y_p, Z_p)$ とすると、最終的には断面内でのセンサ位置は (X_p, Z_p) となる。

【 0 0 5 2 】

【 数 3 】

$$\left. \begin{aligned} U &= (0; X\alpha, 0, Y\alpha) \\ V &= (\cos(\theta r/2); a_x \sin(\theta r/2), a_y \sin(\theta r/2), a_z \sin(\theta r/2)) \\ W &= (\cos(\theta r/2); -a_x \sin(\theta r/2), -a_y \sin(\theta r/2), -a_z \sin(\theta r/2)) \\ U_p &= (0; X_p, Y_p, Z_p) = WUV \\ P_p &= (X_p, Y_p, Z_p) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

ただし、 (a_x, a_y, a_z) は OA の単位方向ベクトル

10

【 0 0 5 3 】

相対位置の計算まで終了すると姿勢角及び相対位置の計算処理 (図 4 参照) は終了し、後続の補正制御を実行する (ステップ S 5)。ここで走行制御部 15 b は、上述の計算処理で求められた姿勢角や相対位置に基づき、駆動装置 11 を介して操舵制御や車輪 5 a の駆動制御を行い、搬送車両 3 A を自動運転する。本実施形態に係る誘導方法において、ステップ S 1 は走査ステップに相当し、ステップ 2 ~ ステップ 5 は、走行制御ステップに相当する。

20

【 0 0 5 4 】

本実施形態では、観測断面データに基づいて楕円が推定された場合を例示したが、観測断面データに基づいて推定された形状が真円となった場合、上記の方法における交線 A B の傾き角 e を定義できないため、ロール角 r を求めることはできない。ただし、観測断面データに基づいて推定される横断面形状が円となるのは 2 方向だけであり (表裏を含めると 4 方向)、搬送車両 3 A の場合は直前の姿勢角と相対位置からレーザースキャナ 13 の向きは一意に特定できる。また、搬送車両 3 A の走行制御では、ロール角 r は必ずしも必要ではないので、実用上支障はない。また、実際の計算処理においては、観測楕円 E c のパラメータを監視することで、この状態を検出できる。

30

【 0 0 5 5 】

なお、観測断面データに基づく横断面形状が円形の場合であっても、レーザースキャナ 13 の姿勢角や相対位置の求め方は楕円の場合と同様であるが、円の半径は観測楕円 E c の短軸の径と一致するため、円の半径情報は未知で構わない。ただし、楕円と異なり、円は回転させても同じ円となるため、観測断面データに基づく横断面形状も横断面の回転角 (X_0, Y_0) r が同じであれば、切断角 c によらず、全て同じ形状となる。逆に言えば、観測断面データに基づく横断面形状から切断角 c を求めることができない。このため、レーザースキャナ 13 の姿勢角と相対位置を一意に求めるためには、ロール角 r の基準が別途必要となる。例えば、搬送車両 3 A の走行面が平坦であれば、計測データから、または、他のセンサで路面の向きを検知する、あるいは、他のセンサで重力方向を検知することでロール角 r の基準を取って、レーザースキャナ 13 の姿勢角と相対位置を求めることができる。また、基準断面データに基づく横断面形状が円形の場合も同様であり、レーザースキャナ 13 の姿勢角と相対位置を一意に求めるためには、ロール角 r の基準が別途必要となる。

40

【 0 0 5 6 】

この誘導システム 1 A では、閉鎖空間 S 内に付帯設備を設けるのではなくトンネル軸 L (閉鎖空間 S の軸線) に沿った走行ルート R 上の搬送車両 3 A を基準にしてレーザースキャナ 13 で取得され得る基準断面データを記憶している。そして、レーザースキャナ 13 で取得された観測楕円 E c と基準楕円 E₀ との幾何学的関係から搬送車両 3 A の姿勢角と相対位置との推定値を求め、その推定値に基づいて搬送車両 3 A の走行制御を行うことで

50

走行ルート R に沿った安定した誘導を実現できる。その結果として、搬送車両 3 A の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間 S 内での搬送車両 3 A の安定した誘導を実現できる。

【 0 0 5 7 】

特に、誘導システム 1 A では、レーザースキャナ 1 3 によって横断面形状データを取得している。レーザースキャナ 1 3 であれば、閉鎖空間 S の内径 (幅)、すなわち走行ルート R から坑道 T の内壁 T a までの距離に関係なく観測誤差は一定である。従って、閉鎖空間 S の広狭の影響を受け難いため、特に内壁 t a から離れた状態で搬送車両 3 A を誘導する必要がある場合に有効である。

【 0 0 5 8 】

(第 2 実施形態)

本発明の第 2 実施形態に係る誘導システムについて、図 1 4、図 1 5 及び図 1 6 を参照して説明する。図 1 4 は、第 2 実施形態に係る搬送車両の正面図であり、図 1 5 は、第 2 実施形態に係る誘導システムのブロック図であり、図 1 6 は、第 2 実施形態に係るレーザースキャナで取得される観測楕円と基準楕円との幾何学的関係を示す図である。なお、第 2 実施形態について、第 1 実施形態と実質的に同様の構成については、第 1 実施形態と同一の符号を示して詳細説明を省略する。

【 0 0 5 9 】

本実施形態に係る搬送車両 3 B は、第 1 実施形態に係る搬送車両 3 A とは異なり、お互いの相対角度と相対位置が既知 (予め規定済み) である複数のレーザースキャナ 1 7, 1 9 を備える。なお、本実施形態では、二台のレーザースキャナ 1 7, 1 9 を搭載しているが、三台以上であってもよい。第 1 のレーザースキャナ 1 7 及び第 2 のレーザースキャナ 1 9 は、それぞれ独立して観測断面データを取得する。

【 0 0 6 0 】

制御装置 2 1 の走行制御部 2 1 b は、第 1 及び第 2 のレーザースキャナ 1 7, 1 9 それぞれから観測断面データを受け付けると、各観測断面データに基づくそれぞれの観測楕円を推定するための処理を実行する。その結果、走行制御部 2 1 b では、レーザースキャナ 1 7, 1 9 の数に相当する二つの観測楕円を取得することができる。また、断面形状記憶部 2 1 a には、第 1 のレーザースキャナ 1 7 及び第 2 のレーザースキャナ 1 9 それぞれに対応付けて基準断面データが記憶されている。ここで、レーザースキャナ 1 7, 1 9 間の相対角度と相対位置とが既知であるので、観測楕円同士の間空間的な配置を求めることができ、このことを利用して横断面内における各レーザースキャナ 1 7, 1 9 の姿勢角と相対位置を求める。さらに、走行制御部 2 1 b は、求めた姿勢角や相対位置に基づいて、搬送車両 3 B の走行制御を実行する。以下、本実施形態での、搬送車両 3 B の姿勢角と相対位置との導出方法について説明する。

【 0 0 6 1 】

走行制御部 2 1 b は、レーザースキャナ 1 7, 1 9 それぞれで取得された観測断面データに基づいて、各観測楕円を推定する。各観測楕円の中心は、基準楕円 E_0 の中心に一致すると仮定できるため、各観測楕円の中心を結ぶベクトルは閉鎖空間 S の軸方向、すなわちトンネル軸 L 方向を示すベクトルとなる。この関係から、図 1 6 に示される幾何学的関係が成立する。ここで、図 1 6 は、観測楕円 E_{c1} とトンネル軸 L との幾何学的関係を示す図である。

【 0 0 6 2 】

図 1 6 に示されるように、各観測楕円のうち、例えば、一方の観測楕円 E_{c1} は、基準楕円 E_0 との交線 A B を回転軸として、ある回転角だけ回転した平面として示すことができる。前述のように、各観測楕円の中心を示す座標からトンネル軸 L 方向を示すベクトルを簡単に求めることができ、さらに、トンネル軸 L 方向を示すベクトル $S_1 \cdot S_2$ を観測面に投影したベクトル O H は必ず交線 A B と直交することが解っている。この性質を利用すれば、切断角 c を直接求めることができる。第 1 実施形態に係る誘導システム 1 A では、切断角 c を求めるために探索が必要であったが、本実施形態では、その探索のための処理が不要になって演算処理に伴う負担が軽減される。切断角 c が求めれば、第 1 実

10

20

30

40

50

施形態と同様にして搬送車両 3 B の姿勢角と相対位置とを導出する。

【 0 0 6 3 】

なお、本実施形態に係る誘導システム 1 B では、搭載位置や向きを変えてレーザースキャナ 1 7 , 1 9 を搬送車両 3 B に設置しており、両方の観測楕円が円になってしまうことがないようにしている。従って、第 1 実施形態に係る誘導システム 1 A で生じていた問題、すなわち観測断面データに基づく横断面形状が真円であった場合の問題は、両方の観測断面データのうち、いずれか一方に基づく横断面形状は楕円となるために解消できる。

【 0 0 6 4 】

また、ピッチ角 p やヨー角 y がトンネル軸に対して 9 0 度、あるいは 9 0 度の近傍になった場合、観測楕円の長軸の径が無限大または無限大に近くなり（実際にはレーザースキャナの測定範囲を超過するため）、1 台のレーザースキャナのみでは解くことができなくなってしまう。実際の計算処理では、計測データの距離、観測楕円のパラメータなどを監視することで、この状態を検出できる。本実施形態では、搭載位置や向きを変えてレーザースキャナ 1 7 , 1 9 を搬送車両 3 B に設置しており、レーザースキャナ 1 7 , 1 9 の両方共が、ピッチ角 p やヨー角 y がトンネル軸に対して 9 0 度とならないようにしている。

【 0 0 6 5 】

この誘導システム 1 B では、第 1 実施形態に係る誘導システム 1 A と同様に、走行ルート R に沿った搬送車両 3 B の安定した誘導を実現できる。その結果として、搬送車両 3 B の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間 S 内での搬送車両 3 B の安定した誘導を実現できる。

【 0 0 6 6 】

さらに、この誘導システム 1 B では、搭載位置または向きが異なるように搬送車両 3 B に搭載された第 1 及び第 2 のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 を備えている。第 1 及び第 2 のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 は、それぞれ独立して観測断面データを取得し、断面形状記憶部 2 1 a には、第 1 及び第 2 のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 それぞれに対応付けて複数の基準断面データが記憶されている。走行制御部 2 1 b は、第 1 及び第 2 のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 それぞれで取得された観測断面データに基づく観測楕円と、レーザースキャナ 1 7 , 1 9 それぞれに対応して記憶されている各基準断面データに基づく基準楕円との幾何学的関係から、閉鎖空間 S の横断面上での搬送車両 3 B の姿勢角及び相対位置の推定値を求め、その推定値に基づいて搬送車両 3 B の走行制御を行っている。従って、例えば、第 1 のレーザースキャナ 1 7 で取得された観測断面データに不具合があっても、第 2 のレーザースキャナ 1 9 で取得された観測断面データに基づく観測楕円から搬送車両 3 B の姿勢角や相対位置の精度の高い推定値を求めることができ、誤検出を防止または低減することができる。

【 0 0 6 7 】

次に、複数台のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 を用いて位置と姿勢とを推定する他の方法について、図 1 7 を参照して説明する。図 1 7 は、基準楕円 E o と複数の観測楕円 E c 2 , E c 3 との空間的な関係を示す図である。なお、複数台のレーザースキャナ 1 7 , 1 9 の配置と車両方向は既知であると仮定する。

【 0 0 6 8 】

レーザースキャナ 1 7 , 1 9 で計測、推定された複数の観測楕円 E c 2 , E c 3 の位置は搬送車両 3 B を基準とした座標系で求めることができる。得られた観測楕円 E c 2 , E c 3 の中心 O 2 , O 3 を結んだ直線 O 2 · O 3 はトンネル軸 L を示すため、車両方向 O V とトンネル軸 S 1 · S 2 との相対的な関係が定まる。ただし、この段階ではロール角 r がわからないため、この相対角度を満たす搬送車両 3 B の位置は一意ではない。このとき、走路が平面であり（例えば、図の X Y 平面）、ロール角 r 変動を考慮しなくてもよい場合には、断面内における搬送車両 3 B の位置と姿勢を直ちに求めることができる。ただし、この場合でも条件を満たす複数の位置と姿勢が存在するが、搬送車両の位置と姿勢の連続性を考慮すれば、正しい方を選択することは容易である。

10

20

30

40

50

【0069】

次にロール角 r が不明な走行環境において必要なロール角 r の算出手順を説明する。もちろん、上述の方法によって基準楕円 E_0 内における搬送車両 3 B の位置と姿勢を推定することは可能であるが、ここでは別の方法について説明する。

【0070】

上述したように、観測楕円 E_{c2} と E_{c3} とトンネル軸 $S_1 \cdot S_2$ の空間的な関係はわかっている。また、観測楕円 E_{c2} , E_{c3} をトンネル軸 $S_1 \cdot S_2$ と直交する平面 (図の XY 平面) に投影したものは基準楕円 E_0 そのものである。このため、観測楕円 E_{c2} , E_{c3} から投影されて得られる基準楕円 E_0 の傾きからロール角 r を求めることができる。数値解析的には、観測楕円 E_{c2} , E_{c3} 上の適当な数の点を選び、これらの点に対してトンネル軸 $S_1 \cdot S_2$ への投影に相当する座標変換を行い、変換後の点群から改めて楕円推定をすることで投影楕円のパラメータを求めることができ、その傾きからロール角 r を得ることができる。このようにしてロール角 r が定まれば、容易に車両の位置と姿勢を求めることができる。ただし、ただし、この場合でも条件を満たす複数の位置と姿勢が存在するが、車両の位置と姿勢の連続性を考慮すれば、正しい方を選択することは容易である。

10

【0071】

(第3実施形態)

本発明の第3実施形態に係る誘導システムについて、図18及び図19を参照して説明する。図18は、第3実施形態に係る搬送車両の側面図であり、図19は、第3実施形態に係る誘導システムのブロック図である。なお、本実施形態については、第1実施形態または第2実施形態と実質的に同様の構成については、第1実施形態と同一の符号を示して詳細説明を省略する。図16は、本実施形態に係る搬送車両の側面図である。

20

【0072】

搬送車両 3 C には、走路認識用のレーザースキャナ 2 3 と障害物検知用のレーザースキャナ 2 5 とが設置されている。走路認識用のレーザースキャナ 2 3 は、搬送車両 3 C の前方の斜め上方に向けられており、障害物検知用のレーザースキャナ 2 5 は、搬送車両 3 C の前方の斜め下方に向けられている。走路認識用のレーザースキャナ 2 3 と障害物検知用のレーザースキャナ 2 5 とは、同一構造のレーザースキャナを使用することができる。

【0073】

走路認識用のレーザースキャナ 2 3 は、観測楕円 E_c を推定するための観測断面データを取得し、走行制御部 2 7 b に出力する。走行制御部 2 7 b では、レーザースキャナ 2 3 から受け付けた観測断面データから観測楕円を推定し、さらに、断面形状記憶部 2 7 a に記憶されている基準断面データに基づいて基準楕円を取得する。さらに、走行制御部 2 7 b は、観測楕円と基準楕円との幾何学的関係に基づいて搬送車両 3 C の姿勢角及び相対位置の推定値を求め、その推定値から搬送車両 3 C の相対誘導を実行する。また、障害物検知用のレーザースキャナ 2 5 は、走行ルート R として水平な平面路を検出する。走行制御部 2 7 b は、障害物検知用のレーザースキャナ 2 5 で取得した二次元データに基づいて走行ルート R 上に障害物などが存在すると判断する場合には、搬送車両 3 C の走行を停止させるような制御を実行する。

30

40

【0074】

この誘導システム 1 C では、第1及び第2実施形態に係る誘導システム 1 A , 1 B と同様に、走行ルート R に沿った搬送車両 3 B の安定した誘導を実現できる。その結果として、搬送車両 3 B の誘導に要する設備負担を抑え、閉鎖空間 S 内での搬送車両 3 B の安定した誘導を実現できる。

【0075】

以上、本発明を各実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施形態のみに限定されない。例えば、上記の実施形態では、移動体としての搬送車両 3 A , 3 B , 3 C の前方を向くレーザースキャナのみを例示したが、後方を向いたレーザースキャナを設置しても良い。

50

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明の第1実施形態に係る誘導システムを利用した相対誘導を模式的に示す図である。

【図2】本実施形態に係る搬送車両の側面図である。

【図3】本実施形態に係る誘導システムのブロック図である。

【図4】本実施形態に係る誘導システムを利用して実行される相対誘導の動作手順を示すフローチャートである。

【図5】姿勢角、相対位置計算処理の動作手順を示すフローチャートである。

【図6】観測楕円と基準楕円とを示す図である。

10

【図7】交線ABを回転軸にして基準楕円 E_0 を回転角 r だけ回転させ、観測楕円 E_c に基準楕円 E_0 を重ねた状態を示す図である。

【図8】図7に示す基準楕円 E_0 と観測楕円 E_c との関係を観測楕円 E_c の基準軸（長軸と短軸）を示すように書き直した図である。

【図9】相対角度の探索のために、観測楕円 E_c に基準楕円 E_0 を重ねて示す図である。

【図10】基準楕円 E_0 と観測楕円 E_c との空間的な関係を示す図である。

【図11】Y軸方向から見た基準楕円 E_0 と切断角 c と回転角 r とに基づいてX-Z平面上に回転させた観測楕円 E_c を示す図である。

【図12】センサ座標系（観測楕円とX-Y平面との交線の角度を基準として、レーザースキャナから見る）で見た場合の観測楕円を示す図である。

20

【図13】空間座標変換の模式図を示す図である。

【図14】本発明の第2実施形態に係る搬送車両の正面図である。

【図15】本実施形態に係る誘導システムのブロック図である。

【図16】本実施形態に係るレーザースキャナで取得される観測楕円と基準楕円との幾何学的関係を示す図である。

【図17】基準楕円 E_0 と複数の観測楕円 E_{c1} 、 E_{c2} との空間的な関係を示す図である。

【図18】本発明の第3実施形態に係る搬送車両の側面図である。

【図19】本実施形態に係る誘導システムのブロック図である。

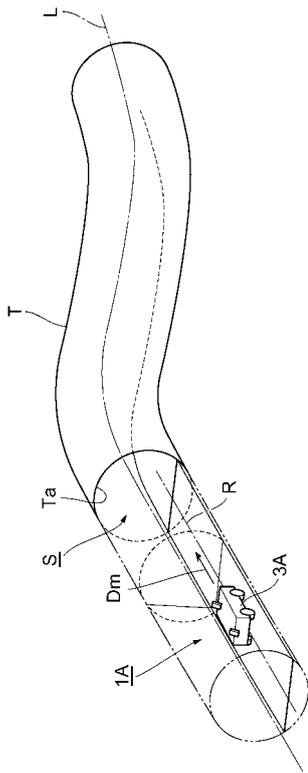
30

【符号の説明】

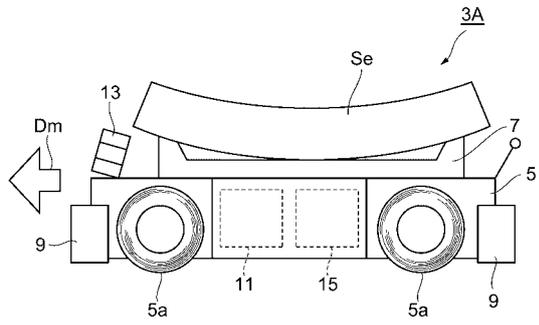
【0077】

1A, 1B, 1C...誘導システム、3A, 3B, 3C...搬送車両（移動体）、13, 17, 19, 23...レーザースキャナ（走査手段）、15a, 21a, 27a...断面形状記憶部（断面形状記憶手段）、15b, 21b, 27b...走行制御部（走行制御手段）、 E_0 ...基準楕円（基準断面形状）、 E_c , E_{c1} , E_{c2} , E_{c3} ...観測楕円（閉鎖空間を横断する断面形状）、L...トンネル軸（閉鎖空間の軸線）、S...閉鎖空間、Ta...坑道の内壁（壁面）。

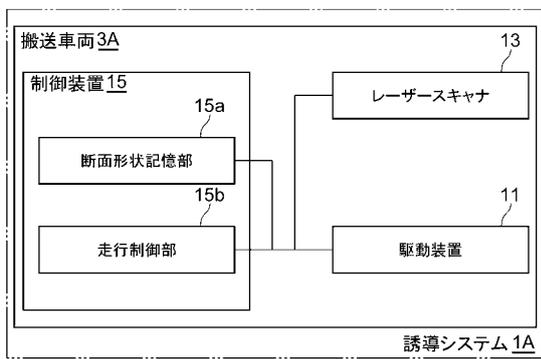
【図1】



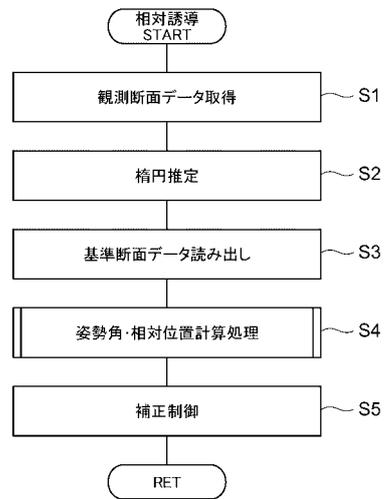
【図2】



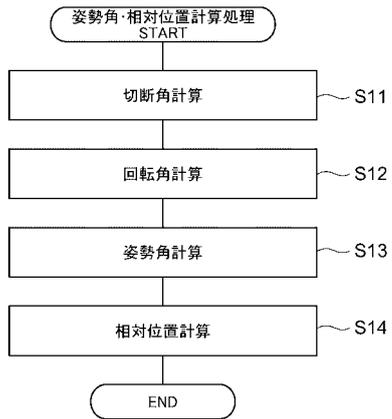
【図3】



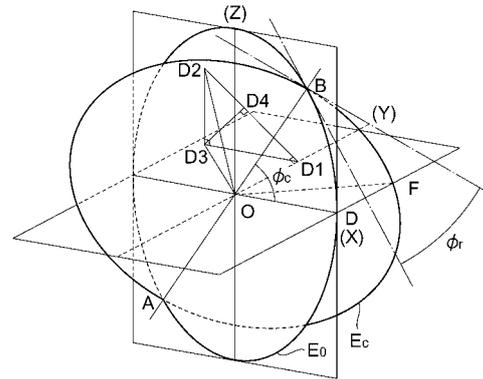
【図4】



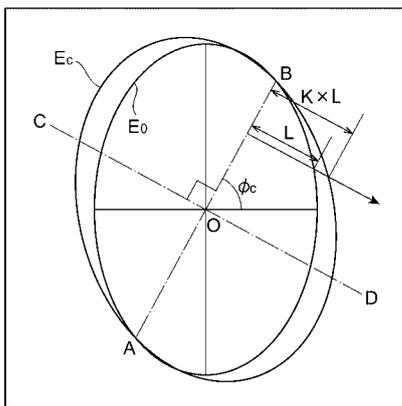
【 図 5 】



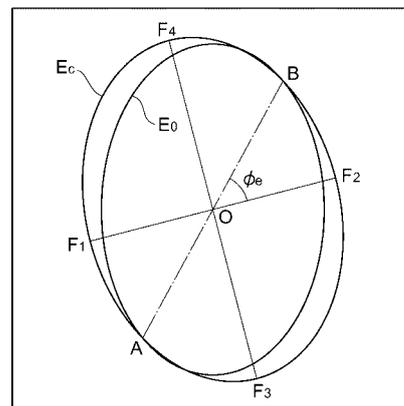
【 図 6 】



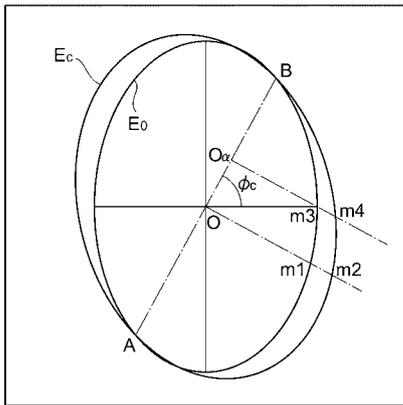
【 図 7 】



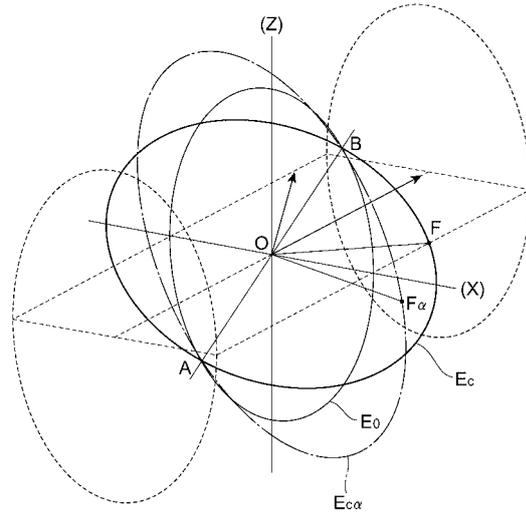
【 図 8 】



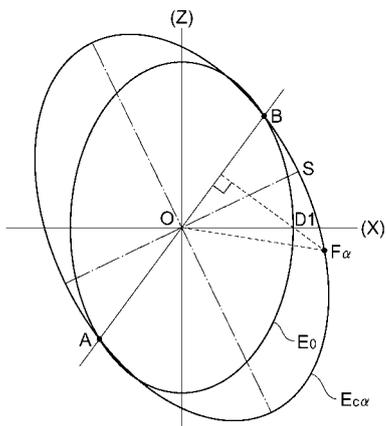
【 図 9 】



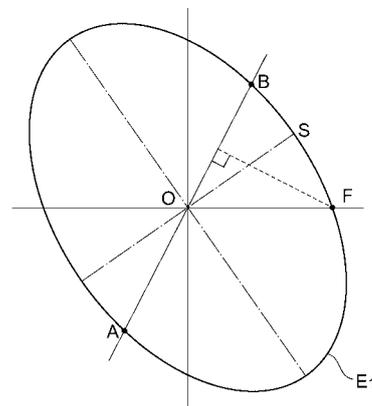
【 図 10 】



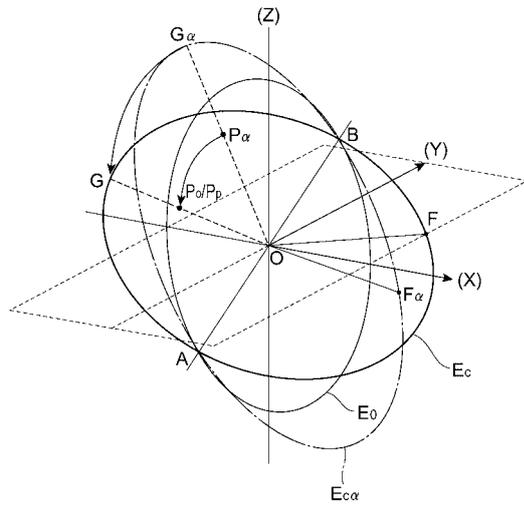
【 図 11 】



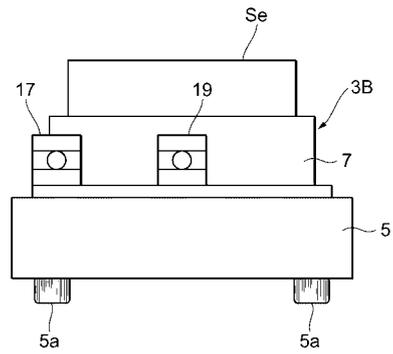
【 図 12 】



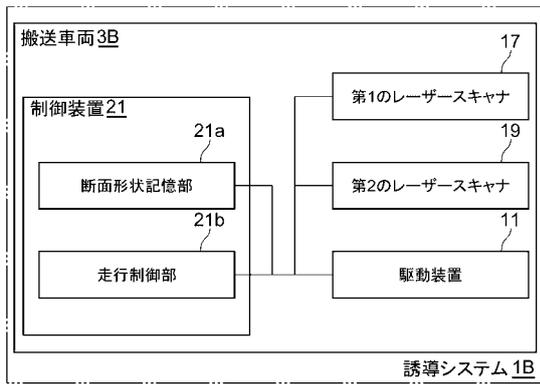
【図13】



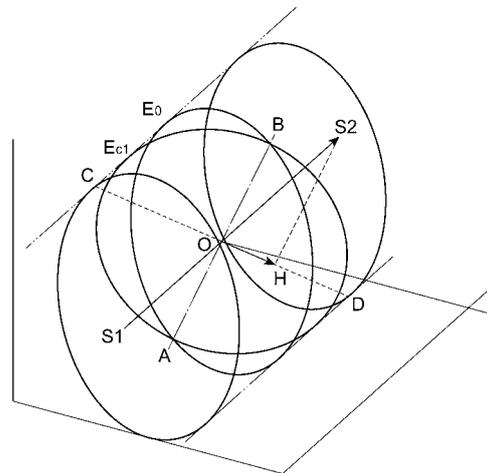
【図14】



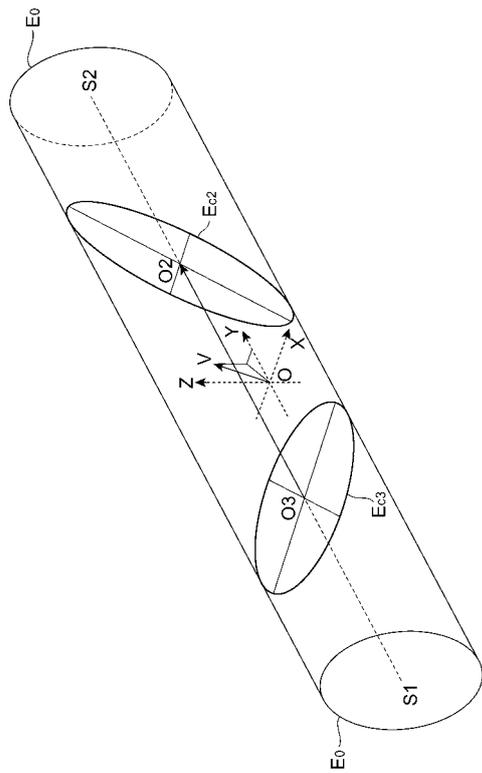
【図15】



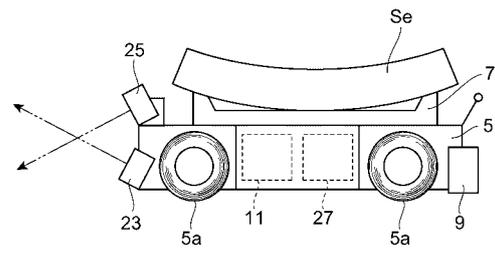
【図16】



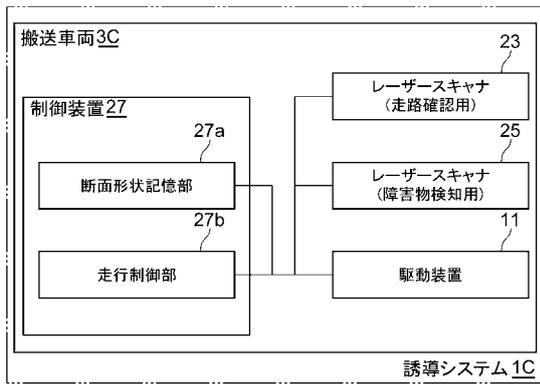
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

- (72)発明者 平松 雄二
東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内
- (72)発明者 浜本 研一
東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内

審査官 佐藤 彰洋

- (56)参考文献 特開2003-315011(JP,A)
特開平07-117664(JP,A)
特開昭62-232008(JP,A)
特開平05-191902(JP,A)
特開2002-292582(JP,A)
実開昭58-194958(JP,U)
特開昭63-128405(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D 1/02
B62D 6/00
B62D 137/00
B25J 5/00
B25J 13/08
B25J 19/02