

⑫ 特許公報 (B 2)

平3-66117

⑤ Int. Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	⑳㉔公告	平成3年(1991)10月16日
B 25 J 5/00		E 8611-3F		
G 05 B 19/06		K 8611-3F		
G 05 D 19/405		K 9064-3H		
G 05 D 1/02		K 7155-3H		

発明の数 1 (全9頁)

㉔発明の名称 移動体の移動制御方法

㉔特 願 昭60-170291

㉔公 開 昭62-34784

㉔出 願 昭60(1985)8月1日

㉔昭62(1987)2月14日

㉔発 明 者 館 障 茨城県新治郡桜並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

㉔発 明 者 荒 井 裕 彦 茨城県新治郡桜並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

㉔出 願 人 工 業 技 術 院 長 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

㉔指定代理人 工業技術院機械技術研究所長

審 査 官 島 田 信 一

出願人において、実施許諾の用意がある。

1

2

㉔特許請求の範囲

1 移動体が他の移動障害物との衝突を回避する移動制御方法であつて、前期移動体はその中心位置Aから等距離にある点からなる図形の形状を有するとみなしかつ前期移動障害物はその中心位置Bから等距離にある点からなる図形の形状を有するとみなしたときの点Aから見た点Bの相対位置と相対速度とを測定しかつ前記移動障害物の半径 r_2 を推定し相対位置と相対速度の内積が負の場合に、これらの測定値・推定値と前記移動体の半径 r_1 とを用いて点Bが前記相対位置から前記相対速度で直進した場合の進路に当る直線と点Aとの距離Dを計算し、Dと r_1+r_2 を比較し、Dが r_1+r_2 より小さいときにはDが r_1+r_2 より大きくなるように前記移動体の速度を変化させるという操作を時々刻々行うことを特徴とする移動制御方法。

発明の詳細な説明

(イ) 発明の目的

[産業上の利用分野]

移動ロボット等の移動制御に利用する。

[従来の技術]

移動ロボットは、人間が行うことが危険或は困難な、移動を伴う作業を、人間に代つて遂行する

ものである。

従つて、移動ロボットの設計に当つては、移動する他の物体、例えば人や車、他の移動ロボット等との衝突を回避すべく、他の移動体の移動に対応して速やかに実時間で自信の移動を制御し得る移動体の移動制御方法の開発が不可欠である。

[発明が解決しようとする問題点]

しかるに従来は、静止障害物を検出し、この障害物との衝突を回避することは考えられているがこのような移動障害物に対し、十分な即応性を有する有効な移動制御方法は開発されていなかった。

この発明は上記の如き事情に鑑みてなされたものであつて、移動ロボットが移動しながら他の移動体である移動障害物を検出し、そのまま移動した場合にその移動体と衝突することになるか否かを、時々刻々に極めて速やかに推定することができ、かつその推定に基づいて、加速、減速、方向転換等、衝突回避のための移動速度の制御を行い得る移動体の移動制御方法を提供することを目的としている。

(ロ) 発明の構成

[問題点を解決するための手段]

3

4

この目的に対応して、この発明の移動体の移動制御方法は、移動体が他の移動障害物との衝突を回避する移動制御方法であつて、前記移動体はその中心位置Aから等距離にある点からなる図形の形状を有するとみなしかつ前記移動障害物はその中心位置Bから等距離にある点からなる図形の形状を有するとみなしたときの点Aから見た点Bの相対位置と相対速度とを測定しかつ前記移動障害物の半径 r_2 を推定し相対位置と相対速度の内積が負の場合に、これらの測定値・推定値と前記移動体の半径 r_1 とを用いて点Bが前記相対位置から前記相対速度で直進した場合の進路に当る直線と点Aとの距離Dを計算し、Dと r_1+r_2 を比較し、DがDと r_1+r_2 より小さいときにはDがDと r_1+r_2 より大きくなるように前記移動体の速度を変化させるという操作を時々刻々行うことを特徴としている。

以下、この発明の詳細を一実施例を示す図面について説明する。

まず、移動体である移動ロボットと移動障害物とが2次元空間で移動する場合を考える。即ち、移動ロボットと移動障害物とを移動ロボットの歩行面と平行な一定平面上を運動する平面図形と考え、その衝突回避を考える。

まず、移動ロボットの形を半径 r_1 の円で近似する。この円としては、移動ロボットの外接円でもよいし、或は半径に余裕をもたせた、移動ロボットを内包する円でもよい。

一方、移動障害物も半径 r_2 の円で近似する。

ここで、移動障害物の全体の形や大きさは移動ロボットには検出できない。即ち、移動ロボットが移動障害物を検出する方法は、第3図に示すように、移動ロボット1の1点の発光点Aから移動ロボットの周囲の空間にレーザ光や超音波の細いビーム2を発して、発行点Aの回りに回転しつつ走査し、その反射の有無、反射部分の中心角 θ 、反射に要する時間によつて移動障害物3の有無、大きさと位置を推定するものであり、レーザ光等の反射の得られない陰の部分3aの形や大きさは検出できない。そこで、移動障害物の全体が円であると見なした場合の半径 r_2 を、レーザ光等の反射部分の大きさから大きめに推定して、移動障害物3を半径 r_2 の円で近似するものである。

移動障害物3の時々刻々の位置、即ち前記半径

r_2 の円の中心の位置 $(x_2(t), y_2(t))$ 、及び速度 $\vec{V}_2(x'_2(t), y'_2(t))$ は前記レーザ光等を用いた測定により得られるから、問題は、第4図に示すような半径 r_1 、中心の位置ベクトル $\vec{OA}(x_1, y_1)$ 、速度 $\vec{V}_1 = a \mathbf{i} + b \mathbf{j}$ で移動し移動ロボット1を近似する円 C_1 と半径 r_2 、中心の位置ベクトル $\vec{OB}(x_2, y_2)$ 、速度 $\vec{V}_2 = c \mathbf{i} + d \mathbf{j}$ で移動し移動障害物3を近似する円 C_2 とは、移動ロボット1がそのまま直進する場合に衝突するか否かをチェックする問題に置きかえられる。ここに \mathbf{i} 、 \mathbf{j} はそれぞれx軸、y軸方向の大きさ1のベクトルとし、

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 > (r_1 + r_2)^2$$

とする。

更に、両者の速度を考える代わりに移動ロボットから見た移動障害物の相対速度のみを考え、移動ロボットの速度を $\mathbf{0}$ 、移動障害物の速度を $\vec{V} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1 = (c - a) \mathbf{i} + (d - b) \mathbf{j} = k \mathbf{i} + l \mathbf{j}$

であると考えても、両者の衝突するか否かについての関係は同等である。このベクトル \vec{V} と相対位置ベクトル \vec{AB} について、 $\vec{AB} \cdot \vec{V} > 0$ (ただし \cdot は内積を表わす) の場合、即ち障害物BはロボットAから遠ざかる方向に進んでいる場合は、衝突のチェックをする必要がない。 $\vec{AB} \cdot \vec{V} < 0$ の場合には、詳しくチェックする必要が生じる。その場合更に、移動ロボットの半径を0、即ち移動ロボットを点、物体の半径を $r = r_1 + r_2$ と考えても両者間の距離 d_{AB} は変わらないから両者の衝突するか否かについての関係は同等である (第5図)。

従つて問題は、点Aと点Bの相対位置ベクトル \vec{AB} と相対速度 \vec{V} について内積 $\vec{AB} \cdot \vec{V} < 0$ の時に中心 $B(x_2, y_2)$ 、半径 $r = r_1 + r_2$ の円Cが速度 $\vec{V} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1$ で移動するとき円Cの進路に当たる領域、即ち、第5図に斜線で示した、点 $B(x_2, y_2)$ が移動障害物の相対速度 \vec{V} で移動するときの進路に当る直線mからの距離が r 以下である帯状の領域L、の中に点 $A(x_1, y_1)$ が含まれるか否かをチェックする問題に帰着される。

直線mの方程式は

$$m; l(x - x_2) - k(y - y_2) = 0$$

であるから、直線mと点 $A(x_1, y_1)$ との距離Dは

$$D = | l(x_1 - x_2) - k(y_1 - y_2) | / \sqrt{k^2 + l^2} = | k(y_2 - y_1) - l(x_2 - x_1) | / \sqrt{k^2 + l^2} \quad \dots\dots(1)$$

で与えられ、

$$D \leq r$$

ならば、移動ロボットがこのまま進むと衝突する、

$$D > r$$

ならば、移動ロボットがこのまま進んで衝突しない、と推定する。

第5図に示す場合は、 $D > r$ であり、移動ロボットがこのまま進むと衝突するが、移動ロボットがただちに停止すれば円Cの進路は \vec{V}_2 方向となり、破線 p_1, p_2 で挟まれる内側の領域 L_0 となり、これは点Aを含まないから衝突は回避される。第5図の場合は、移動ロボットは必ずしも停止する必要はなく、減速即ち、 \vec{V}_1 と同じ方向で V_1 より小さな大きさをもつ速度 \vec{V}_3 にすることによつても衝突は回避される。即ち移動障害物の相対速度を $\vec{V}_1 - \vec{V}_3$ として、これと平行な一点鎖線で示す直線 q_1, q_2 で挟まれる内側の領域 L_1 が円Cの進路であるようにしたとき、領域 L_1 に点Aが含まれないようにすればよい。

同様に増速によつても衝突は回避される。即ち \vec{V}_4 に増速し移動障害物の相対速度を $\vec{V}_1 - \vec{V}_4$ として、これと平行な、二点鎖線 s_1, s_2 で挟まれる内側の領域 L_2 が円Cの進路であるようにしたとき、領域 L_2 に点Aが含まれないようにすれば良い。これらの減速・増速が移動ロボットにとつて不可能な急減速や不可能な速度への増速となる場合は方向転換を行うこととなる。実際、第5図の場合方向転換して速度 \vec{V}_5 にすれば、速さは増減せずにそのまま円Cの進路領域は、 \vec{V}_4 に増速した場合と同じ L_2 となる。

従つて、移動障害物の検出は、移動ロボットがその移動空間で遭遇することが予想される移動障害物との距離が前記した減速・増速若しくは方向転換を許容する距離である時点で行うものとする。

ところで前記推定には、両者が円で近似されたことに起因する不正確さがあるが、時々刻々この推定を行いつつ移動することが可能ならば移動障害物に接近するに従つて移動ロボットから見えなかつた陰の部分も、衝突の対象となる時点以前に移動ロボットから見える部分に入ることになるか

ら、最終的には実時間で正しい推定を得ることができることは明らかである。

さて、(1)式において、 (k, l) は移動ロボットから見た移動障害物の相対速度ベクトルの成分を表し、また $(x_2 - x_1, y_2 - y_1)$ は移動ロボットの位置A (x_1, y_1) が原点となるように座標軸を平行移動したときの移動障害物の座標、即ち移動ロボットから見た移動障害物の相対位置であることは重要である。即ち

$$x(t) = x_2(t) - x_1(t)$$

$$y(t) = y_2(t) - y_1(t)$$

とおけば

$$k = x'(t)$$

$$l = y'(t)$$

であるから

$$D = | x'(t)y(t) - y'(t)x(t) | / \sqrt{\{x'(t)\}^2 + \{y'(t)\}^2} \quad \dots\dots(2)$$

となり、式(2)によれば第1図に示すような簡単なシステム構成で衝突するか否かの判別が高速で実時間可能となる。(但し第1図における微分は、相対速度が別途センサから求められる場合必要ない。)

このシステム構成は3次元にも簡単に拡張できる。

即ち、移動ロボットを中心の位置A (x_1, y_1, z_1) 、半径 r_1 球、移動障害物を中心の位置B (x_2, y_2, z_2) 、半径 r_2 の球で近似し、

$$x(t) = x_2(t) - x_1(t)$$

$$y(t) = y_2(t) - y_1(t)$$

$$z(t) = z_2(t) - z_1(t)$$

とおく。相対速度ベクトルと位置ベクトルの内積

$$P = x(t) x'(t) + y(t) y'(t) + z(t) z'(t)$$

が負の場合のみ衝突の可能性がある。その時、点Bが移動ロボットからみた移動障害物の相対速度で移動した場合の進路に当る直線：

$$(x - x_2) / x'(t)$$

$$= (y - y_2) / y'(t)$$

$$= (z - z_2) / z'(t)$$

と点A (x_1, y_1, z_1) の距離Dは

$$D = \sqrt{(x^2+y^2+z^2) - \frac{[(x \cdot x' + y \cdot y' + z \cdot z')^2]}{\{(x')^2+(y')^2+(z')^2\}}} \dots\dots(3)$$

であるから、

$D > r_1 + r_2$ ならば衝突しない、

$D \leq r_1 + r_2$ ならば衝突する、

と推定するものであり、第 2 図に示す通りである。

以上に説明した移動障害物を回避するための移動制御方法を、実際に移動ロボットのコンピュータが実行するための流れ図を移動障害物対処ナビゲーション (navigation) として、第 6 図 a 及び b に示す。

移動ロボットの移動には、通常その予定された移動経路に沿ってランドマーク (landmark) を設定し、この移動経路をランドマークで区切られた幾つかの短い区間に分割し、移動ロボットはこのランドマークを各区間における目標、即ちサブゴールして移動する。従つて第 6 図はサブゴール間のナビゲーションとして記されている。検出した移動障害物に対し、減速、停止、増速のいずれかで対処するが、これらのいずれも安全でない場合は、方向転換してサブゴールへの待避経路を設計することになる。ここで「安全か」に Yes、No の判断を与えるとき、第 1 図に示した本発明の判断方法を用いる。サブゴールに達すれば EXIT_p にゆき、予定に従つて次のランドマークに目標を移す。回避不能な移動障害物である場合は EXIT_i にゆき、別のランドマークにサブゴールを変更する、従つてサブゴールのシーケンスを大局

的に再決定することになる。

このような、第 6 図のナビゲーションを部分として含む全体の流れ図を第 7 図に示す。

い) 発明の効果

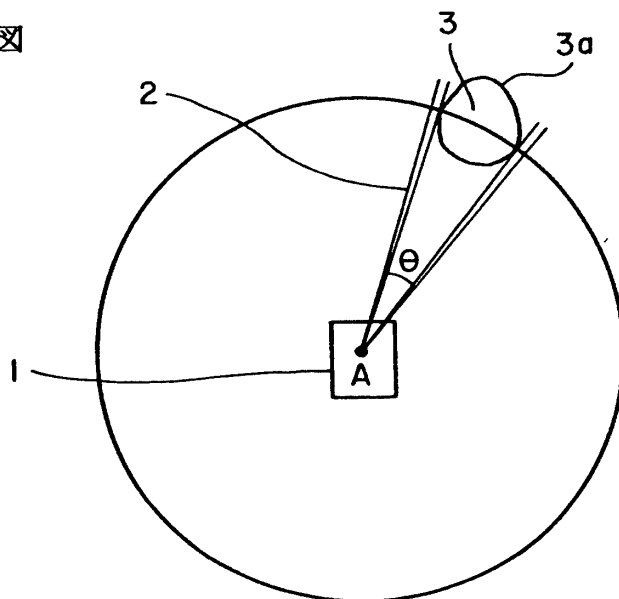
以上の説明から明らかな通り、この発明によれば、他の移動体の移動に対応して速やかに実時間で自身の移動を制御し得る移動体の移動制御方法を得ることができる。

図面の簡単な説明

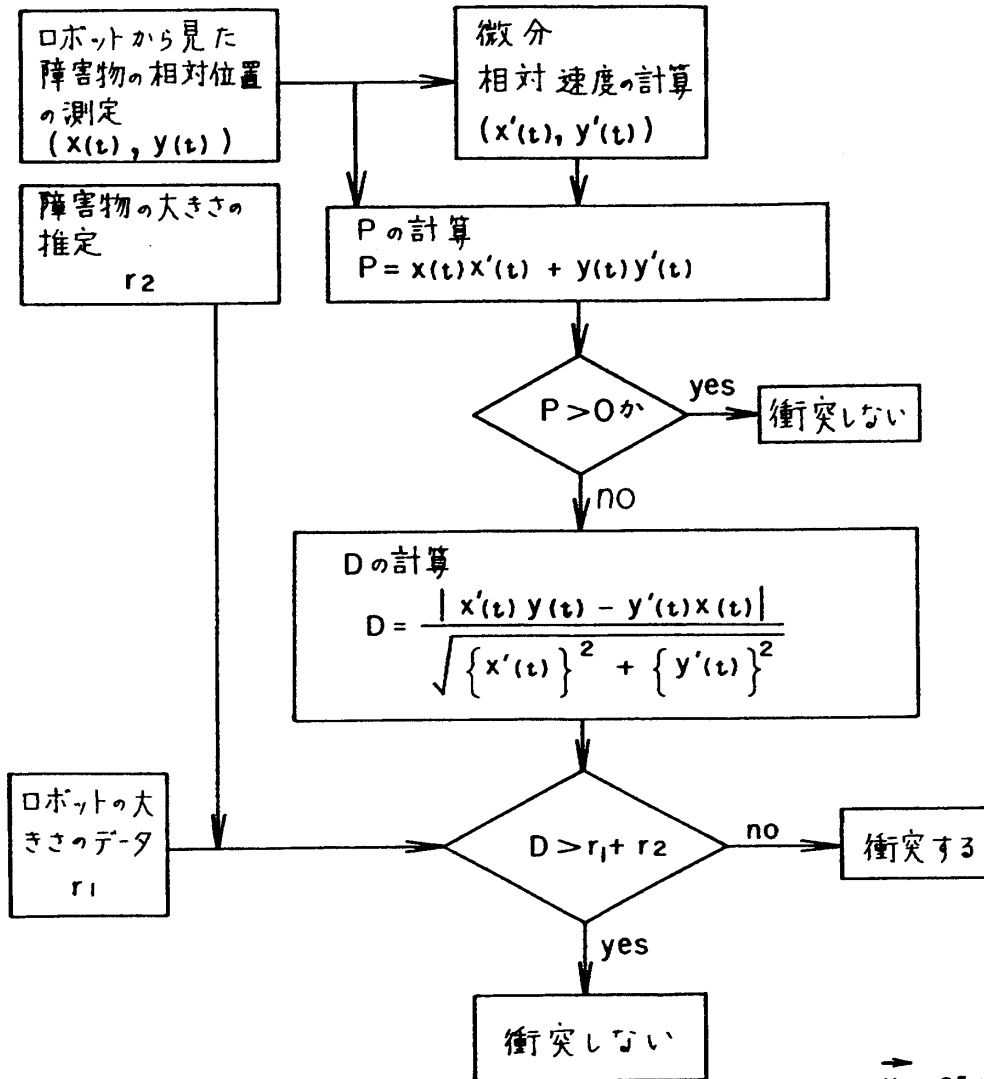
第 1 図はこの発明の移動体の移動制御方法の基本となる移動障害物との衝突の可能性を判別する方法を 2 次元空間の場合について示す流れ図、第 2 図はこの発明の移動体の移動制御方法の基本となる移動障害物との衝突の可能性を判別する方法を 3 次元空間の場合について示す流れ図、第 3 図は移動ロボットが移動障害物を検出する仕方を示す平面説明図、第 4 図は移動ロボットと移動障害物を円で近似した平面説明図、第 5 図は移動ロボットから見た移動障害物の相対位置・相対速度と衝突の可能性の関係を示す説明図、第 6 図 a, b は移動障害物対処ナビゲーションを示す流れ図、及び第 7 図は第 6 図の移動障害物対処ナビゲーションを含む全体のナビゲーションを示す流れ図である。

1……移動ロボット、2……ビーム、3……移動障害物。

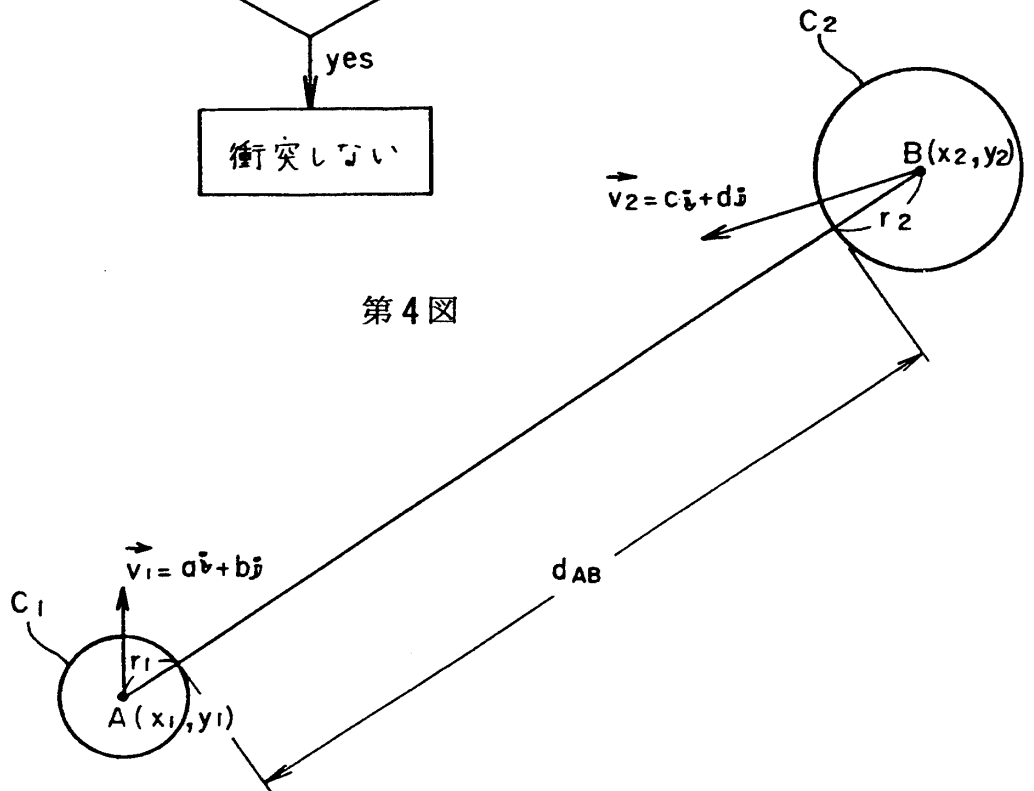
第 3 図



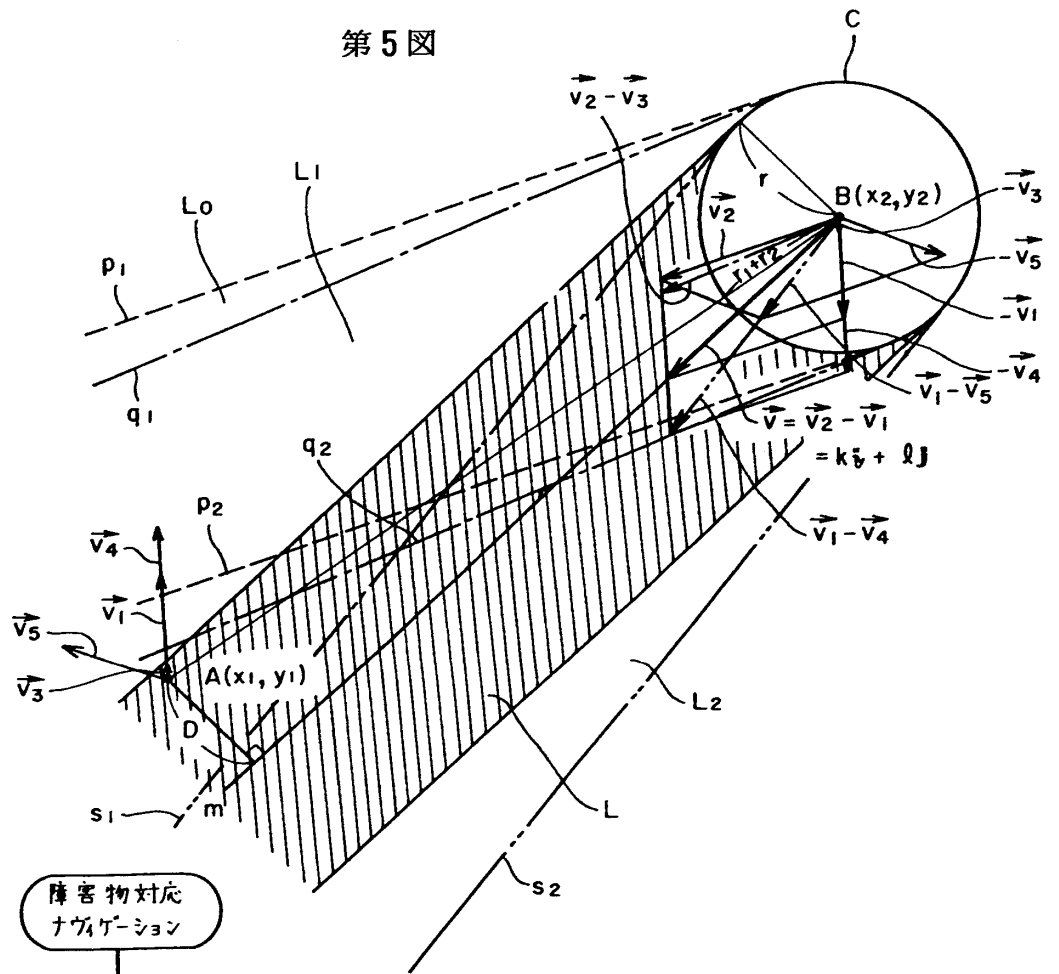
第1図



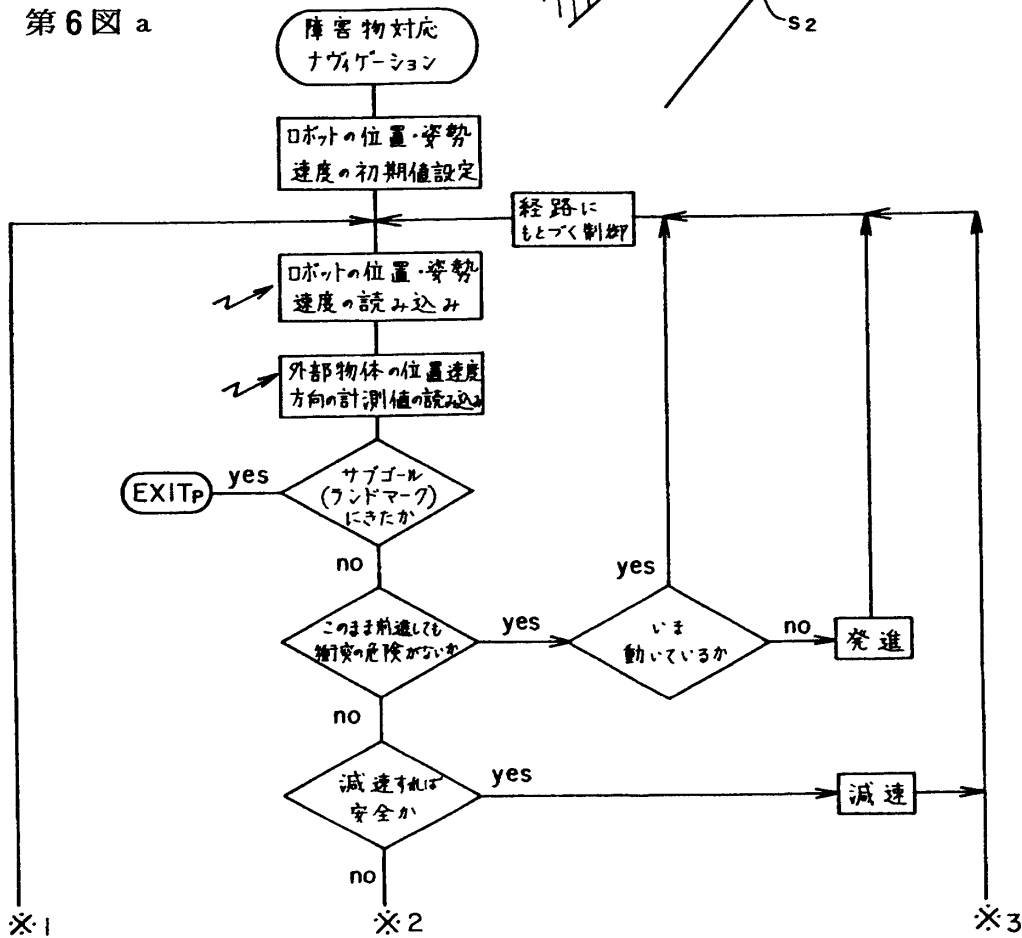
第4図



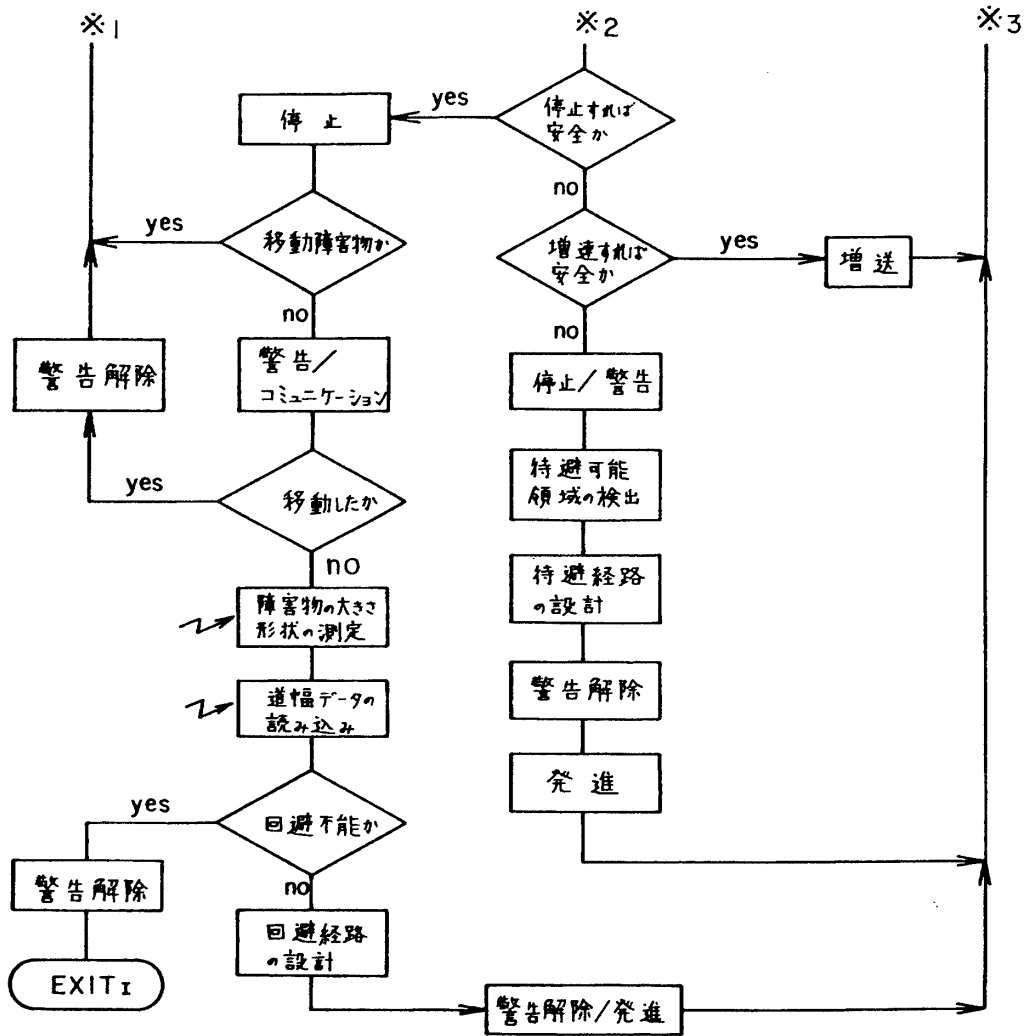
第5図



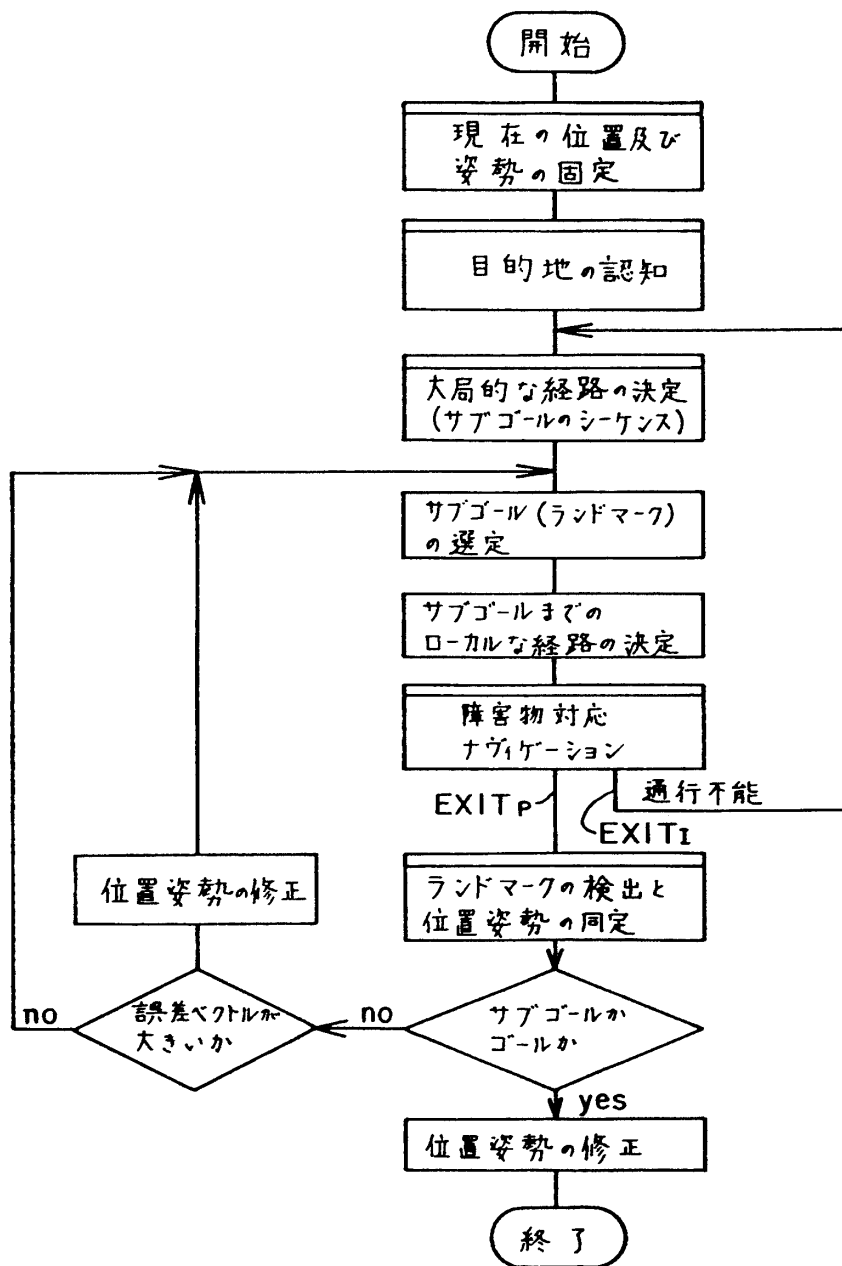
第6図 a



第6図 b



第7図



第2図

