

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4139899号  
(P4139899)

(45) 発行日 平成20年8月27日(2008.8.27)

(24) 登録日 平成20年6月20日(2008.6.20)

(51) Int.Cl. F I  
G O 1 B 11/26 (2006.01) G O 1 B 11/26 Z

請求項の数 16 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-142362 (P2004-142362)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成16年5月12日 (2004.5.12)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2005-326172 (P2005-326172A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成17年11月24日 (2005.11.24)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成16年10月29日 (2004.10.29)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作
		(74) 代理人	100101096
			弁理士 徳永 博
		(74) 代理人	100107227
			弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100114292
			弁理士 来間 清志
		(74) 代理人	100119530
			弁理士 富田 和幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学式傾斜計測方法、及び光学式傾斜センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の物体に対して光学センサを取り付ける工程と、  
前記光学センサを用いて、前記物体に対する太陽の位置を幾何学的に算出し、第1のパラメータベクトルとする工程と、  
前記物体に対して参照軸を設け、第2のパラメータベクトルとする工程と、  
地上に対する前記太陽の位置を第3のパラメータベクトルとする工程と、  
地上に対する前記参照軸の位置を第4のパラメータベクトルとする工程と、  
前記第1のパラメータベクトルから前記第4のパラメータベクトルまでの各パラメータベクトルと、前記第1のパラメータベクトル及び前記第3のパラメータベクトルの、前記光学センサの前記地上に対する所定の座標軸における回転行列による相関と、前記第2のパラメータベクトル及び前記第4のパラメータベクトルの、前記回転行列による相関とに基づいて、前記物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを導出する工程と、  
を具えることを特徴とする、光学式傾斜計測方法。

【請求項2】

前記光学センサは、二次元位置検出器と、この二次元位置検出器上に設けられた所定のピンホールを有するカバーとを具えることを特徴とする、請求項1に記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項3】

前記光学センサは、前記二次元位置検出器及び前記カバーとの間に、凸面を下方にして

設けられた半球レンズを具え、前記光学センサに対して低角度で入射する太陽光を受光するようにしたことを特徴とする、請求項 2 に記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 4】

前記光学センサによる前記太陽の位置の幾何学的算出は、前記光学センサに対する太陽光の方位角 $\alpha$ 及び仰角 $\beta$ に基づいて行うことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれかーに記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 5】

前記参照軸は、前記物体に対して取り付けられた加速度センサによる重力加速度の方向であることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれかーに記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 6】

前記参照軸は、前記物体に対して取り付けられた地磁気センサによる極方向であることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれかーに記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 7】

前記物体の前記地上に対する前記絶対的な傾斜度合いは、前記座標軸の各軸回りの回転角度 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ で規定されることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれかーに記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 8】

前記回転行列を

【数 1】

$$R = \begin{pmatrix} \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \beta \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta + \sin \beta \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \lambda & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

で規定した場合において、前記物体の前記傾斜度合いを表す前記回転角度 $\alpha$ 、 $\beta$ 及び $\gamma$ は

【数 2】

$$\alpha = \sin^{-1} \left( R_{23} / \sqrt{1 - R_{13}^2} \right)$$

【数 3】

$$\beta = \sin^{-1} (-R_{13})$$

【数 4】

$$\gamma = \sin^{-1} \left( R_{12} / \sqrt{1 - R_{13}^2} \right)$$

で表されることを特徴とする、請求項 7 に記載の光学式傾斜計測方法。

【請求項 9】

所定の物体に対して取り付けられ、前記物体に対する太陽の位置を第 1 のパラメータベクトルとして幾何学的に算出するための光学センサと、

前記物体に対する参照軸を第 2 のパラメータベクトルとして規定するための参照軸規定手段と、

地上に対する前記太陽の位置を第 3 のパラメータベクトルとして導出するための太陽位置検出手段と、

地上に対する前記参照軸の位置を第 4 のパラメータベクトルとして導出するための参照軸検出手段と、

前記第 1 のパラメータベクトルから前記第 4 のパラメータベクトルまでの各パラメータベクトルと、前記第 1 のパラメータベクトル及び前記第 3 のパラメータベクトルの、前記光学センサの前記地上に対する所定の座標軸における回転行列による相関と、前記第 2 のパラメータベクトル及び前記第 4 のパラメータベクトルの、前記回転行列による相関とに

10

20

30

40

50

基づいて、前記物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを導出する演算手段と、  
を具えることを特徴とする、光学式傾斜センサ。

【請求項 10】

前記光学センサは、二次元位置検出器と、この二次元位置検出器上に設けられた所定のピンホールを有するカバーとを具えることを特徴とする、請求項 9 に記載の光学式傾斜センサ。

【請求項 11】

前記光学センサは、前記二次元位置検出器及び前記カバーとの間に、凸面を下方にして設けられた半球レンズを具え、前記光学センサに対して低角度で入射する太陽光を受光するようにしたことを特徴とする、請求項 10 に記載の光学式傾斜センサ。

10

【請求項 12】

前記光学センサによる前記太陽の位置の幾何学的算出は、前記光学センサに対する太陽光の方位角及び仰角に基づいて行うことを特徴とする、請求項 9 ~ 11 のいずれかに記載の光学式傾斜センサ。

【請求項 13】

前記参照軸規定手段は、前記物体に取り付けられ、前記物体における参照軸としての重力加速度の方向を導出するための加速度センサであることを特徴とする、請求項 9 ~ 12 のいずれかに記載の光学式傾斜センサ。

【請求項 14】

前記参照軸規定手段は、前記物体に取り付けられ、前記物体における参照軸としての極方向を導出するための地磁気センサであることを特徴とする、請求項 9 ~ 12 のいずれかに記載の光学式傾斜センサ。

20

【請求項 15】

前記物体の前記地上に対する前記絶対的な傾斜度合いは、前記座標軸の各軸回りの回転角度、  
、  
で規定されることを特徴とする、請求項 9 ~ 14 に記載の光学式傾斜センサ。

【請求項 16】

前記回転行列を

【数 5】

$$R = \begin{pmatrix} \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \beta \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta + \sin \beta \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \lambda & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

30

で規定した場合において、前記物体の前記傾斜度合いを表す前記回転角度、  
及び  
は、

【数 6】

$$\alpha = \sin^{-1} \left( R_{23} / \sqrt{1 - R_{13}^2} \right)$$

【数 7】

$$\beta = \sin^{-1} (-R_{13})$$

40

【数 8】

$$\gamma = \sin^{-1} \left( R_{12} / \sqrt{1 - R_{13}^2} \right)$$

で表されることを特徴とする、請求項 15 に記載の光学式傾斜センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、光学式傾斜計測方法、及び光学式傾斜センサに関する。

【背景技術】

【0002】

模型航空機の操縦においては、その機体の姿勢を維持することが重要である。従来、風による外乱に対しては、操縦者が目視にて傾斜を読み当て舵を打っていた。この方法では、最終的には、操縦者の目視によって外乱による機体の姿勢の傾斜を修正することになるが、機体が遠方にある場合には、目視自体が非常に困難になり、当て舵の操作量に過不足があったり、操作が遅れることがある。

【0003】

一方、従来ジャイロセンサを傾斜に対する外乱を検出するために使用し、瞬間的な外力を打ち消す方向に舵を自動的に操作する手法がある。この方法では、瞬間的な傾斜の乱れに対しては有効であるが、ジャイロセンサは角加速度、すなわち回転させる外力の検出を行うものであり、これを2回積分することでどのくらい傾斜したかという回転角度の検出は可能であるが、その精度は極めて低い。さらに、ゆっくりとした（低周波）外乱に対しては誤差が累積し、有効に機能しないという欠点がある。このような問題に鑑み、光ファイバージャイロやリングレーザジャイロなどを使用することも検討されているが、これらは非常に高価であって、一般の模型航空機用センサとしては不適格である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、模型飛行機などの物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを廉価な装置を用いて検出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を達成すべく、本発明は、  
 所定の物体に対して光学センサを取り付ける工程と、  
 前記光学センサを用いて、前記物体に対する太陽の位置を幾何学的に算出し、第1のパラメータベクトルとする工程と、  
 前記物体に対して参照軸を設け、第2のパラメータベクトルとする工程と、  
 地上に対する前記太陽の位置を第3のパラメータベクトルとする工程と、  
 地上に対する前記参照軸の位置を第4のパラメータベクトルとする工程と、  
 前記第1のパラメータベクトルから前記第4のパラメータベクトルまでの各パラメータベクトルと、前記第1のパラメータベクトル及び前記第3のパラメータベクトルの、前記光学センサの前記地上に対する所定の座標軸における回転行列による相関と、前記第2のパラメータベクトル及び前記第4のパラメータベクトルの、前記回転行列による相関とに基づいて、前記物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを導出する工程と、  
 を具えることを特徴とする、光学式傾斜計測方法に関する。

【0006】

また、本発明は、  
 所定の物体に対して取り付けられ、前記物体に対する太陽の位置を第1のパラメータベクトルとして幾何学的に算出するための光学センサと、  
 前記物体に対する参照軸を第2のパラメータベクトルとして規定するための参照軸規定手段と、  
 地上に対する前記太陽の位置を第3のパラメータベクトルとして導出するための太陽位置検出手段と、  
 地上に対する前記参照軸の位置を第4のパラメータベクトルとして導出するための参照軸検出手段と、  
 前記第1のパラメータベクトルから前記第4のパラメータベクトルまでの各パラメータベクトルと、前記第1のパラメータベクトル及び前記第3のパラメータベクトルの、前記光学センサの前記地上に対する所定の座標軸における回転行列による相関と、前記第2の

10

20

30

40

50

パラメータベクトル及び前記第4のパラメータベクトルの、前記回転行列による相関とに基づいて、前記物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを導出する演算手段と、  
を具えることを特徴とする、光学式傾斜センサに関する。

【0007】

本発明者らは、傾斜度合いを計測すべき物体に対して光学センサ及び参照軸規定手段を設け、それぞれ前記物体に対する太陽の位置及び参照軸を導出し、さらに所定の位置検出手段で前記太陽及び前記参照軸の地上に対する位置を導出し、これらの相関関係を用いるという全く新規な方法で前記物体の地上に対する絶対的な傾斜度合いを計測することに成功した。

【0008】

本発明によれば、従来のような高価なジャイロセンサを使用しないので、前記導出に基づいて、模型飛行機などの物体の絶対的な傾斜度合いをリアルタイムで検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の詳細、並びにその他の特徴及び利点について、最良の形態に基づいて詳細に説明する。

【0010】

図1は、本発明の光学式傾斜センサに用いる光学センサの好ましい態様を示す分解構成図である。図1に示す光学センサ10は、二次元位置検出器11と、この上方に設けられたピンホール12Aを有するカバー12と、検出器11及びカバー12間において、凸部を下方にして検出器11の上面と接触するようにして設けられた半球レンズ13とを具えている。図1に示す光学センサ10は、傾斜を計測すべき物体に取り付けられ、前記物体に対する太陽の位置を幾何学的に算出するために用いられる。

【0011】

具体的には、カバー12におけるピンホール12Aを介して太陽光を取り込み、二次元位置検出器11で受光し、その二次元的な受光位置に対する前記太陽光の方位角及び仰角を導出することによって、前記物体に対する前記太陽の位置を幾何学的に算出する。

【0012】

なお、半球レンズ13は本発明においては必ずしも要求されるものではないが、光学センサ10に対する太陽光の入射角(仰角)が小さい場合、図2(a)に示すように、半球レンズ13が存在しない場合においては、前記太陽光を二次元位置検出器11で受光することができず、その結果、前記物体に対する前記太陽の位置を幾何学的に算出することができなくなってしまう。

【0013】

一方、図2(b)に示すように、半球レンズ13が存在する場合においては、前記太陽光の入射角が十分に小さい場合においても、前記太陽光の半球レンズ13による屈折の効果によって、半球レンズ13を透過後、前記太陽光は下方へ向けて屈折するようになるので、前記太陽光を二次元位置検出器11で受光できるようになる。この結果、前記物体に対する前記太陽光の位置を幾何学的に算出することができるようになる。

【0014】

次に、図1に示す光学センサ10を用いた太陽位置の幾何学的算出方法について説明する。図3は、図1に示す光学センサ10を用いた、前記太陽の、前記物体に対する方位角 $\theta$ を導出する方法を説明するための図である。なお、図3においては、光学センサ10を上方から見た様子を示している。また、方位角 $\theta$ は、光学センサ10の、ピンホール12Aを中心として互いに直交するXY座標に関して定義される。

【0015】

方位角 $\theta$ と二次元位置検出器11における太陽光の検出位置(x, y)とが、図3(a)及び(d)に示すような関係にある場合、方位角 $\theta$ と検出位置(x, y)とは、

10

20

30

40

【数 1】

$$\phi = 90 - \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) \quad (1)$$

なる関係式で表すことができる。

【0016】

一方、方位角 $\alpha$ と二次元位置検出器11における太陽光の検出位置 $(x, y)$ とが、図3(b)及び(c)に示すような関係にある場合、方位角 $\alpha$ と検出位置 $(x, y)$ とは、

【数 2】

$$\phi = -90 - \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) \quad (2)$$

10

なる関係式で表すことができる。

【0017】

図4は、図1に示す光学センサ10を用いた、前記太陽の、前記物体に対する仰角 $\theta$ を導出する方法を説明するための図である。なお、図4においては、光学センサ10を側方から見た様子を示している。太陽光が図4に示すように、仰角 $\theta$ で光学センサ10に入射し、二次元位置検出器11で検出位置 $(x, y)$ で受光される場合、仰角 $\theta$ は

【数 3】

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{n_1 r}{n_2 \sqrt{h^2 + r^2}} \right) \quad (3)$$

20

なる関係式で表すことができる。ここで、 $h$ は半球レンズ13の厚さであり、 $n_1$ は大気(空気)中の屈折率であり、 $n_2$ は半球レンズ13の屈折率であり、 $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ である。

【0018】

このようにして、前記物体に対する前記太陽の位置が方位角 $\alpha$ 及び仰角 $\theta$ によって定義され、前記物体に対する前記太陽のベクトル(第1のパラメータベクトル)

30

$$\vec{L}_t$$

を導出することができる。

【0019】

本発明の光学式傾斜センサは、図1に示す光学センサに加えて参照軸規定手段を具える。この参照軸規定手段は、前記物体に対して光学センサ10同様に取り付けられ、前記物体に対して参照軸を設定する。前記参照軸規定手段は、例えば加速度センサから構成することができ、この場合、前記参照軸としては前記物体に対する重力加速度の方向を規定することになる。また、前記参照軸規定手段は、例えば地磁気センサから構成することができ、この場合、前記参照軸としては前記物体に対する極方向を規定することになる。

40

【0020】

なお、前記加速度センサ及び前記地磁気センサとしては、汎用のものを用いることができる。

【0021】

このように、前記物体に対して、加速度センサ又は地磁気センサなどの参照軸規定手段を設けることにより、前記物体に対する重力加速度の方向又は極方向などの参照軸(第2のパラメータベクトル)

$$\vec{P}_t$$

50

を導出することができる。

【 0 0 2 2 】

一方、地上を基準とした座標系 X Y Z での太陽の位置ベクトル（第 3 のパラメータベクトル）を

$\vec{L}_0$

とし、前記参照軸の位置ベクトル（第 4 のパラメータベクトル）を

$\vec{P}_0$

10

として、前記物体の、前記座標系 X Y Z における各軸回りの回転角度を、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  とすると、前記第 1 のパラメータベクトル及び前記第 3 のパラメータベクトル、並びに前記第 2 のパラメータベクトル及び前記第 4 のパラメータベクトルの間には、

【数 4】

$$\vec{L}_t = R(\alpha, \beta, \gamma) \vec{L}_0 \quad (4)$$

【数 5】

$$\vec{P}_t = R(\alpha, \beta, \gamma) \vec{P}_0 \quad (5)$$

20

なる関係式が成立する。なお、R は回転行列であり、

【数 6】

$$R = \begin{pmatrix} \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \beta \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta + \sin \beta \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \lambda & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} \quad (6)$$

30

なる関係式が成立する。

【 0 0 2 3 】

また、前記第 1 のパラメータベクトル及び前記第 2 のパラメータベクトルは、互いに重なり合うことなく、さらに前記第 2 のパラメータベクトルが不変であるとき、これらパラメータベクトルの外積ベクトル（I 式）を考えると、

【数 7】

$$(\vec{L}_t \ \vec{P}_t \ \vec{C}_t) = R(\vec{L}_0 \ \vec{P}_0 \ \vec{C}_0) \quad (7)$$

40

なる関係式が成立し、これより、回転行列 R は、

【数 8】

$$R = (\vec{L}_0 \ \vec{P}_0 \ \vec{C}_0) (\vec{L}_t \ \vec{P}_t \ \vec{C}_t)^{-1} \quad (8)$$

なる関係式で算出することができる。

【 0 0 2 4 】

この場合、第 1 のパラメータベクトルから第 4 のパラメータベクトル、及び外積ベクトルは既知となるから、(8) 式より回転行列 R を算出することができ、この結果、前記物体の、前記地上に設けた前記座標系 X Y Z における各軸回りの回転角度  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は以下

50

のような関係式で算出することができるようになる。

【数 9】

$$\alpha = \sin^{-1}\left(R_{23}/\sqrt{1-R_{13}^2}\right) \quad (9)$$

【数 10】

$$\beta = \sin^{-1}(-R_{13}) \quad (10)$$

【数 11】

$$\gamma = \sin^{-1}\left(R_{12}/\sqrt{1-R_{13}^2}\right) \quad (11)$$

10

【0025】

したがって、前記物体の、前記座標系 X Y Z の各軸回りの回転角度、すなわち (9) ~ (11) 式より、前記物体の、前記地上に対する絶対的な傾斜度合いを導出することができるようになる。

【0026】

以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

20

【産業上の利用可能性】

【0027】

本発明は、模型航空機や無人ロボットの姿勢制御、自動航行に使用できる傾斜・方位センサなどとして好適に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】本発明の光学式傾斜センサに用いる光学センサの好ましい態様を示す分解構成図である。

【図 2】半球レンズの有無による、太陽光の入射状態の相異を示す図である。

【図 3】図 1 に示す光学センサを用いた、物体に対する太陽の方位角  $\alpha$  を導出する方法を説明するための図である。

30

【図 4】図 1 に示す光学センサを用いた、物体に対する太陽の仰角  $\beta$  を導出する方法を説明するための図である。

【符号の説明】

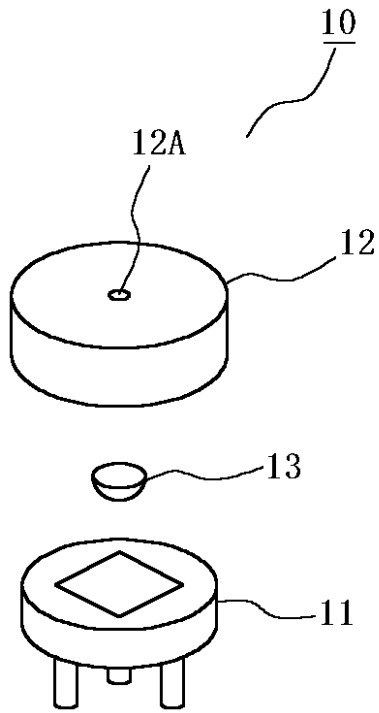
【0029】

- 10 光学センサ
- 11 二次元位置検出器
- 12 カバー
- 12 A ピンホール
- 13 半球レンズ

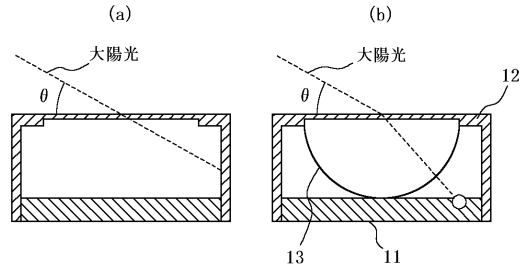
40



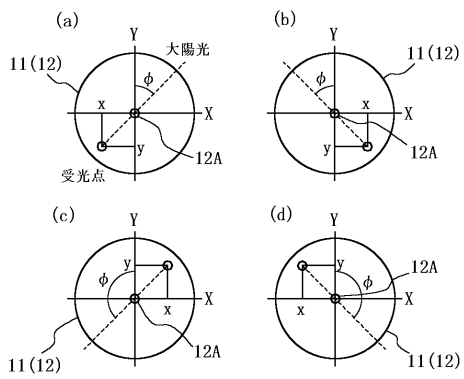
【 図 1 】



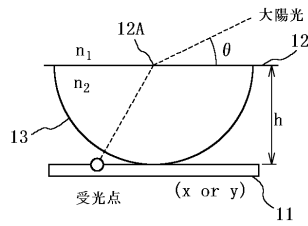
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 真国 一起  
和歌山県海草郡野上町下佐々 1 7 7 4
- (72)発明者 三輪 昌史  
和歌山県和歌山市松江西 2 - 1 - 1 7
- (72)発明者 越本 泰弘  
和歌山県和歌山市湊本町一丁目 1 0 - 1

審査官 横林 秀治郎

- (56)参考文献 特開平 0 7 - 1 3 9 9 3 3 ( J P , A )  
特開平 0 5 - 1 8 0 6 9 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 0 2 3 5 6 2 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 B 1 1 / 0 0 ~ 1 1 / 3 0  
G 0 1 C 1 / 0 0 ~ 1 / 1 4 、 5 / 0 0 ~ 1 5 / 1 4  
G 0 1 S 7 / 4 8 ~ 7 / 5 0 、 1 7 / 0 0 ~ 1 7 / 9 5