

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3855062号
(P3855062)

(45) 発行日 平成18年12月6日(2006.12.6)

(24) 登録日 平成18年9月22日(2006.9.22)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 B 11/25 (2006.01)	GO 1 B 11/25	H
GO 6 T 1/00 (2006.01)	GO 6 T 1/00	3 1 5
GO 6 T 7/00 (2006.01)	GO 6 T 7/00	C
GO 6 T 7/60 (2006.01)	GO 6 T 7/60	1 5 O S

請求項の数 6 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-328230 (P2003-328230)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成15年9月19日(2003.9.19)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2005-91284 (P2005-91284A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成17年4月7日(2005.4.7)	(74) 代理人	100072051
審査請求日	平成15年9月19日(2003.9.19)		弁理士 杉村 興作
特許法第30条第1項適用 社団法人日本機械学会関西支部発行の「関西学生会卒業研究発表講演会講演前刷集」(平成15年3月21日発行)、社団法人日本機械学会発行の「2003年度年次大会講演論文集Vol. V11」(平成15年8月5日発行)、社団法人精密工学会発行の「第8回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集」(平成15年8月21日発行)に発表		(74) 代理人	100100125
			弁理士 高見 和明
		(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】 単調増加波形投影による連続物体の形状計測方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基準平面上をほぼ一定速度で移動する物体の形状を測定する形状計測方法において、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置された第1ラインセンサによって前記物体を撮影するステップと、

前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第1ラインセンサとある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第2ラインセンサによって、斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射された前記物体を撮影するステップと、

前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第2ラインセンサと前記ある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第3ラインセンサによって、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を照射された前記物体を撮影するステップと、

前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、前記高さ h を $h = F^{-1}(J)$ によって決定するステップとを含むことを特徴とする形状計測方法。

【請求項2】

基準平面上をほぼ一定速度で移動する物体の形状を測定する形状計測方法において、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置された第1ラインセンサによって前記物体を撮影するステップと、

10

20

前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第1ラインセンサとある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第2ラインセンサによって、斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射された前記物体を撮影するステップと、

前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第2ラインセンサと前記ある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第3ラインセンサによって、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を照射された前記物体を撮影するステップと、

前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、予め輝度比 J と高さ h との関係を求めておいてテーブル化しておき、輝度比 J から前記テーブルを参照して高さ h を決定するステップとを含むことを特徴とする形状計測方法。

10

【請求項3】

請求項1又は2に記載の形状計測方法において、ある点における前記第1ラインセンサによって得られた輝度と前記第2ラインセンサによって得られた輝度との差が予め設定しておいたしきい値より小さくなった場合、該点を前記投影した光の影になる部分とみなすステップをさらに含むことを特徴とする形状計測方法。

【請求項4】

基準平面上をほぼ一定速度で移動する物体の形状を測定する形状計測装置において、
前記基準平面に対してほぼ垂直に配置され前記物体を順番に撮影するように等間隔で配置された第1、第2及び第3ラインセンサと、

20

前記第2ラインセンサが撮影する場所に斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射する第1プロジェクタと、前記第3ラインセンサが撮影する場所に濃度傾斜パターンを有する光を斜め方向から照射する第2プロジェクタとを具え、

前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、前記高さ h を $h = F^{-1}(J)$ によって決定するように構成したことを特徴とする形状計測装置。

【請求項5】

30

基準平面上をほぼ一定速度で移動する物体の形状を測定する形状計測装置において、
前記基準平面に対してほぼ垂直に配置され前記物体を順番に撮影するように等間隔で配置された第1、第2及び第3ラインセンサと、

前記第2ラインセンサが撮影する場所に斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射する第1プロジェクタと、

前記第3ラインセンサが撮影する場所に濃度傾斜パターンを有する光を斜め方向から照射する第2プロジェクタと、

前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、予め輝度比 J と高さ h との関係を求めてテーブル化された、輝度比 J から高さ h を決定するためのテーブルとを具えることを特徴とする形状計測装置。

40

【請求項6】

請求項4又は5に記載の形状計測装置において、ある点における前記第1ラインセンサによって得られた輝度と前記第2ラインセンサによって得られた輝度との差が予め設定しておいたしきい値より小さくなった場合、該点を前記投影した光の影になる部分とみなすように構成したことを特徴とする形状計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、基準平面上をほぼ一定速度で移動する物体の形状を測定する形状計測方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、路面形状検査車両に搭載され高速に走行する車両上から路面の形状計測を非接触で高速に行う装置や、ベルトコンベア等の載って等速で連続的に移動する生産物の形状検査を途切れることなく行う形状検査装置や、鋼板やパイプなどの連続加工品の形状検査を途切れることなく行う形状検査装置では、路面や物体などの形状を高速に計測することが求められるが、計測精度はあまり要求されず、計測高さ範囲の1/30程度の分解能があればよい。

10

【0003】

従来形状計測装置の例として、宮坂健夫、松井康之、佐藤寛紀、及び荒木和男による第7回画像センシングシンポジウム講演論文集、F1、251-254ページ、2001年、に記載された「濃度傾斜光投影法を用いた形状計測装置」がある。この従来形状計測装置では、2次元カメラを用い、明るいパターンと濃度傾斜パターンの2枚のパターンを撮影する。この従来形状計測装置は、連続物体には適用できないという欠点があった。

【0004】

さらに、従来形状計測方法の例として、本出願人等による特願2001-89799号(特開2002-286433号)「連続移動物体のリアルタイム形状計測方法」には、3本のラインセンサを用い、ラインセンサで撮影した投影格子の位相解析を行って連続物体の形状計測を行う方法が開示されている。しかしながら、この従来形状計測方法は、投影格子のピッチをラインセンサの間隔に合わせる必要があるという欠点があった。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、連続物体の形状を高速に計測することができ、影となって撮影できない部分の判定を短時間で行うことができる物体計測方法及び装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

30

【0006】

本発明による形状計測方法は、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置された第1ラインセンサによって前記物体を撮影するステップと、前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第1ラインセンサとある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第2ラインセンサによって、斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射された前記物体を撮影するステップと、前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第2ラインセンサと前記ある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第3ラインセンサによって、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を照射された前記物体を撮影するステップと、前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、前記高さ h を $h = F^{-1}(J)$ によって決定するステップとを含むことを特徴とする。

40

【0007】

また、本発明による形状計測方法は、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置された第1ラインセンサによって前記物体を撮影するステップと、前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第1ラインセンサとある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第2ラインセンサによって、斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射された前記物体を撮影するステップと、前記基準平面に対してほぼ垂直に、前記第2ラインセンサと前記ある距離だけ前記物体の移動方向に離れて配置された第3ラインセンサによって、斜め方向から濃

50

度傾斜パターンを有する光を照射された前記物体を撮影するステップと、前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、予め輝度比 J と高さ h との関係を求めておいてテーブル化しておき、輝度比 J から前記テーブルを参照して高さ h を決定するステップとを含むことを特徴とする。

【0008】

本発明による形状計測方法の他の実施例は、ある点における前記第1ラインセンサによって得られた輝度と前記第2ラインセンサによって得られた輝度との差が予め設定しておいたしきい値より小さくなった場合、該点を前記投影した光の影になる部分とみなすステップをさらに含むことを特徴とする。

10

【0009】

本発明による形状計測装置は、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置され前記物体を順番に撮影するように等間隔で配置された第1、第2及び第3ラインセンサと、前記第2ラインセンサが撮影する場所に斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射する第1プロジェクタと、前記第3ラインセンサが撮影する場所に濃度傾斜パターンを有する光を斜め方向から照射する第2プロジェクタとを具え、前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、前記高さ h を $h = F^{-1}(J)$ によって決定するように構成したことを特徴とする。

20

【0010】

また、本発明による形状計測装置は、前記基準平面に対してほぼ垂直に配置され前記物体を順番に撮影するように等間隔で配置された第1、第2及び第3ラインセンサと、前記第2ラインセンサが撮影する場所に斜め方向からほぼ一定の輝度分布の光を照射する第1プロジェクタと、前記第3ラインセンサが撮影する場所に濃度傾斜パターンを有する光を斜め方向から照射する第2プロジェクタと、前記第1ラインセンサによって撮影された前記物体のある点の輝度を I_1 、前記第2ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_2 、前記第3ラインセンサによって撮影された前記物体の同じ点の輝度を I_3 とし、輝度比 $J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1)$ を前記物体の同じ点における高さ h の関数 $F(h)$ として表し、予め輝度比 J と高さ h との関係を求めてテーブル化された、輝度比 J から高さ h を決定するためのテーブルとを具えることを特徴とする。

30

【0011】

本発明による形状計測装置の他の実施例は、ある点における前記第1ラインセンサによって得られた輝度と前記第2ラインセンサによって得られた輝度との差が予め設定しておいたしきい値より小さくなった場合、該点を前記投影した光の影になる部分とみなすように構成したことを特徴とする。

【発明の効果】

40

【0012】

本発明によれば、3本のラインセンサを使用して連続物体の形状計測を高速に行うことができる。高さ変換テーブルを予め作成しておくことで、短時間に高さ分布の結果を得ることができる。また、影となって測定できない部分の判定を短時間で行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

図1は、本発明による形状計測方法の原理を説明する図である。基準平面1上をほぼ一定速度で移動する物体2の形状を計測する。3台のラインセンサ4、6及び8を、この順番で物体2を撮影するように、物体2の移動経路上に等間隔で配置する。ラインセンサ6で撮影する位置に、斜め方向からほぼ一定の輝度分布を有する光を投影するようにプロジ

50

エクタ10を配置し、ラインセンサ8で撮影する位置に、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を投影するようにプロジェクタ12を配置する。このようにして、物体2の移動方向に対して等間隔で順番に、何も投影しない状態と、斜め方向からほぼ一定の輝度分布を持つ光を投影した状態と、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を投影した状態とをつくる。図1において、それぞれのラインセンサの視線上の高さhにおける光強度 $f_1(h)$ 、 $f_2(h)$ 、 $f_3(h)$ を各ラインセンサの視線の右横に示す。

【0014】

3台のラインセンサ4、6及び8の撮影タイミングを、物体2の移動速度に合わせて、物体2の同一点を撮影するように決定する。3台のラインセンサ4、6及び6によって撮影された物体2の同一点Pの輝度を、それぞれ I_1 、 I_2 及び I_3 とする。ラインセンサ4が撮影する、何も投影しない状態では、背景光が物体2に反射してラインセンサ4で撮影されるため、物体2の点Pにおけるラインセンサ視線方向への反射率を R_1 とすると、 I_1 は次のように表すことができる。

$$I_1 = f_1(h) R_1 \quad (1)$$

また、 I_2 と I_3 は、プロジェクタ10、12による投影光のラインセンサ視線方向への反射率をRとすると、それぞれ次のように表すことができる。

$$I_2 = f_2(h) R + f_1(h) R_1 \quad (2)$$

$$I_3 = f_3(h) R + f_1(h) R_1 \quad (3)$$

ここで、次のように輝度比Jを定義すると、輝度比Jは次のように高さhの関数 $F(h)$ として表すことができる。

$$J = (I_3 - I_1) / (I_2 - I_1) = f_3(h) / f_2(h) = F(h) \quad (4)$$

$F(h)$ が一価の逆関数 $F^{-1}(J)$ を持つ場合は、高さhは次のように輝度比Jから求めることができる。

$$h = F^{-1}(J) \quad (5)$$

【0015】

予め輝度比Jと高さhとの関係を求めておいてテーブル化しておくことにより、3台のラインセンサ4、6及び8で撮影された物体2の同一点Pにおける輝度 I_1 、 I_2 及び I_3 から高さhを求めることが容易になる。図2は、このような高さ変換テーブルを作成する方法を説明する図である。種々の高さhの基準面3を撮影し、輝度 I_1 、 I_2 及び I_3 を測定する。基準面3には白色の平板を用いる。基準面はラインセンサの光軸方向にほぼ垂直に設置する。基準面3を複数の高さhにおいて、計測試料物体2と同様に水平方向に移動しながら撮影を行い、それぞれの高さにおける基準面3の輝度比を画素ごとに求める。図3にこのような高さ変換テーブルの模式図を示す。この図において、印で示す点が、図2を参照して説明したような方法で得られた輝度比と高さを示す点である。輝度比を必要な分解能によって決まる値ごとに分割し、それぞれの輝度比に対して高さを求める。図3において、印で示す点と点との間は、直線補間や多次元の補間手法によって補完して値を求める。

【0016】

ラインセンサで撮影する方向とプロジェクタから光を投影する方向が異なるため、プロジェクタで投影する光が投影されていない領域をラインセンサで撮影する場合が生じる。このような領域を影の部分と呼ぶ。図4は、このような影の部分が発生する状況を示す図である。影の部分にはプロジェクタからの光は直接投影されないため、原理的には背景光と同一の輝度が撮影される。しかし、実際には、周囲の物体にプロジェクタから投影され

10

20

30

40

50

て散乱反射する光が影の部分にも当たるため、背景光だけでなく、このような散乱反射された光の分だけ輝度が高く撮影される。したがって、影の部分かどうかの判定手法として、何も投影していない状態の輝度とほぼ一定の輝度分布を投影した状態の輝度の差が予め設定しておいたしきい値より小さくなったかどうかで判定を行うことができる。

【0017】

本発明の原理を証明するために実験を行った。図5は、この実験を行った実験装置の構成を示す図である。ラインセンサの代わりに2次元CCDカメラ14を用い、特定の1ライン上の輝度分析を抽出した。被計測物体の移動は行わず、液晶プロジェクタ16を用いて、上述したような3つの状態を実現した。すなわち、何も投影しない状態を実現するために表示輝度の低いパターン（暗パターン）を投影し、斜め方向からほぼ一定の輝度分布を持つ光を投影した状態を実現するために表示輝度の高いパターン（明パターン）を投影し、斜め方向から濃度傾斜パターンを有する光を投影した状態を実現するために濃度傾斜パターンを投影した。

10

【0018】

先ず、白色基準平面18を撮影することで、高さ変換テーブル作成用の画像データを取得した。白色基準平面18は、90mmの計測範囲内をz方向方向に平行移動させることができるようにした。2次元CCDカメラ14を $h = 1400$ mmの位置に設置し、液晶プロジェクタ16と2次元CCDカメラ14の間隔を400mmとした。白色基準平面18を $h = 0$ mmから15mmずつ90mmまで移動し、それぞれの位置において、液晶プロジェクタ16によって暗パターン、明パターン及び濃度傾斜パターンを斜め方向から投影して、2次元CCDカメラ14によって撮影した。

20

【0019】

図6は、暗パターンを投影した時の白色基準面18の輝度分布を示すグラフである。この場合、白色基準平面18の位置にかかわらず、輝度はほぼ一定になっていることがわかる。図7は、明パターンを投影した時の白色基準面18の輝度分布を示すグラフである。この場合も、白色基準平面18の位置にかかわらず、輝度はほぼ一定になっていることがわかる。図8は、濃度傾斜パターンを投影した時の白色基準面18の輝度分布を示すグラフである。この場合、白色基準面18の位置によって輝度が異なっていることがわかる。図6～8に示した輝度から、各画素ごとに高さ変換テーブルを作成した。

30

【0020】

次に、40mmの段差が2段ある階段状の物体に対して、液晶プロジェクタ16によって暗パターン、明パターン及び濃度傾斜パターンを斜め方向から投影して、2次元CCDカメラ14によって撮影した。図9は、このようにして得られた輝度分布を示すグラフである。この輝度分布に上記で作成した高さ変換テーブルを用いて、高さ分布を求めた。図10は、このようにして得られた高さ分布である。ほぼ40mm間隔の段差として計測できていることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明による形状計測方法の原理を説明する図である。

【図2】高さ変換テーブルを作成する方法を説明する図である。

40

【図3】高さ変換テーブルの作成を説明するグラフである。

【図4】影の部分が発生する状況を説明する図である。

【図5】本発明の原理を証明する実験装置の構成を示す図である。

【図6】暗パターンを投影した時の白色基準面の輝度分布を示すグラフである。

【図7】明パターンを投影した時の白色基準面の輝度分布を示すグラフである。

【図8】濃度傾斜パターンを投影した時の白色基準面の輝度分布を示すグラフである。

【図9】実験によって得られた輝度分布を示すグラフである。

【図10】実験によって得られた高さ分布を示すグラフである。

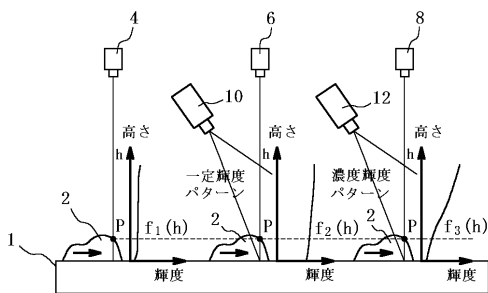
【符号の説明】

【0022】

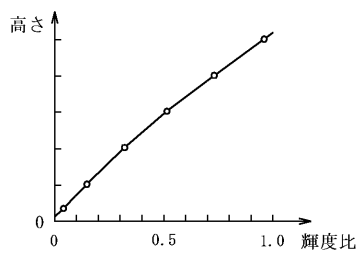
50

- 1 基準平面
- 2 物体
- 3 基準面
- 4 第1ラインセンサ
- 6 第2ラインセンサ
- 8 第3ラインセンサ
- 10 第1プロジェクタ
- 12 第2プロジェクタ
- 14 2次元CCDカメラ
- 16 液晶プロジェクタ
- 18 白色基準平面

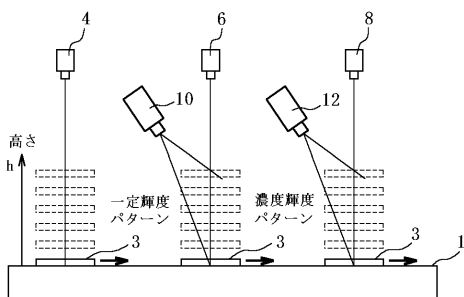
【図1】



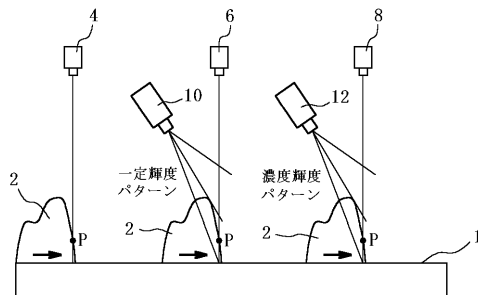
【図3】



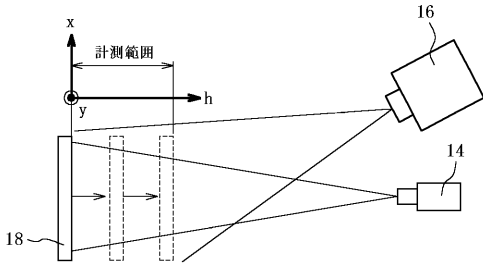
【図2】



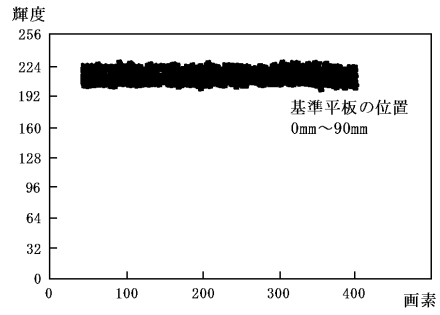
【図4】



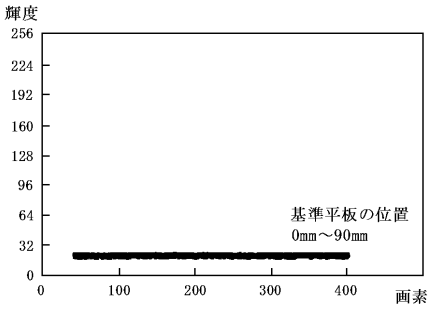
【 図 5 】



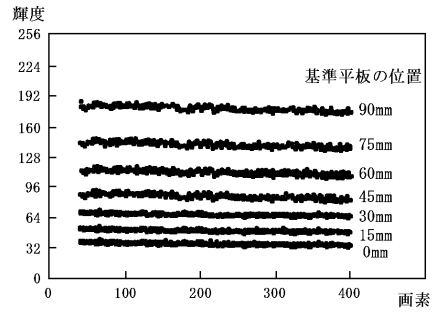
【 図 7 】



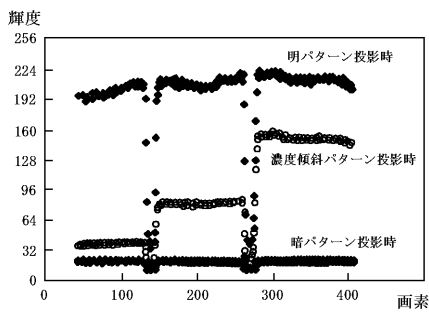
【 図 6 】



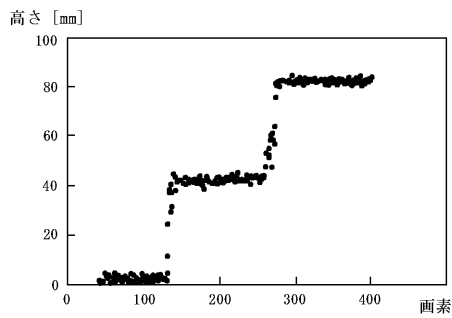
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100110180
弁理士 阿相 順一
- (72)発明者 藤垣 元治
和歌山県和歌山市木ノ本1496 - 164
- (72)発明者 森本 吉春
大阪府泉南郡田尻町りんくうポート北5 - 17
- (72)発明者 米山 聡
東京都北区岩淵町26 - 11 NK赤羽岩淵309

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 特開2001 - 201344 (JP, A)
特開平06 - 137826 (JP, A)
特開2001 - 242091 (JP, A)
特開2003 - 014430 (JP, A)
特開2001 - 264010 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B11/00 - 11/30
G01C3/00 - 3/32
G06T1/00 - 1/40; 3/00 - 5/00; 9/00 - 9/40
G06T7/00 - 7/60