

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3837565号  
(P3837565)

(45) 発行日 平成18年10月25日(2006.10.25)

(24) 登録日 平成18年8月11日(2006.8.11)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 B 11/24 (2006.01)	GO 1 B 11/24 D
GO 1 B 11/25 (2006.01)	GO 1 B 11/25 H
GO 1 B 11/16 (2006.01)	GO 1 B 11/16 G

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2003-400494 (P2003-400494)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成15年11月28日(2003.11.28)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2005-164294 (P2005-164294A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成17年6月23日(2005.6.23)	(74) 代理人	100072051
審査請求日	平成15年11月28日(2003.11.28)		弁理士 杉村 興作
		(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	100113745
			弁理士 藤原 英治
		(72) 発明者	藤垣 元治
			和歌山県和歌山市木ノ本1496-164

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 評価値を用いる縞画像計測データ合成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

各々複数の位相シフトされた縞画像データを位相解析して複数の位相分布データを得るステップと、

前記複数の位相分布データの各々に関して関連する縞画像データから画素ごとに、前記縞画像の縞の振幅、或いは、周波数成分の比、に応じた値を評価値に決定するステップと、

前記複数の位相分布データを画素ごとに対応する評価値の高い前記縞画像データをそれぞれ選択し、前記選択されたそれぞれの縞画像データを位相解析して位相分布結果、或いは、さらに位相分布より求めた高さ分布もしくは変位・ひずみ分布を合成するステップと、  
を含むことを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載の縞画像計測データ合成方法において、

前記複数の位相分布データ、或いは、さらに位相分布より求めた高さ分布もしくは変位・ひずみ分布を合成するステップの前に、前記位相分布データ、或いは、さらに位相分布より求めた高さ分布もしくは変位・ひずみ分布及び評価値を同じサンプリング点において再サンプリングするステップをさらに含むことを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の縞画像計測データ合成方法において、

前記評価値を、関連する前記複数の位相シフトされた縞画像の当該画素の輝度が1つで

20

も予め決められた最大輝度値より高いか最小輝度値より小さい場合 0 とし、そうでない場合、前記縞画像の縞の振幅に応じた値として決定することを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の縞画像計測データ合成方法において、

前記評価値を、関連する前記複数の位相シフトされた縞画像の当該画素の輝度をフーリエ変換することによって得られる 1 次の周波数成分と高周波数成分との比として決定することを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の縞画像計測データ合成方法において、

前記複数の位相シフトされた縞画像データが、位相シフトさせることによって得られる複数枚の干渉縞画像を撮影することによって得られたものであることを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の縞画像計測データを合成する縞画像計測データ合成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

格子投影法による非接触形状計測装置、干渉縞解析による非接触応力・ひずみ計測装置や、デジタルホログラフィによる変位計測装置等では、計測条件を変えて得られた複数の縞画像計測データを合成することによって、より良好な結果を得ることが期待される。

【0003】

しかしながら、従来の縞画像解析方法では、例えば計測条件を変えて得られた複数の縞画像計測データを合成する際に、これらのデータの平均値を結果としていたため、ノイズがある場所では大きな誤差が生じるといった問題や、精度よく計測できた点とノイズがある場所との判断を画素ごとに行うことができないといった問題があった。

【0004】

この問題を解決する従来の技術として、特開平 2001 - 241930 号明細書「縞画像の解析方法」には、解析する領域を複数の領域にグループ分けして処理を行い、相互の境界部を計算して合成を行う方法が開示されている。しかしながら、この従来の解析方法では、画素ごとに合成することができないという問題があった。

【0005】

単にデータを平均するだけでなく、画素ごとに評価値を決定して評価値が高いデータを採用することで良好な結果を得ることが可能になると思われる。画像を評価する従来技術として、特開平 07 - 325922 号明細書「画像評価方法」には、画像断面の濃淡分布を空間周波数に対する人間の目の感度を表す特性の帯域フィルタに通過させ、その帯域フィルタの出力の濃淡分布から画像品質を表す評価値を算出する方法が開示されている。この従来の画像評価方法では、デジタル画像の画像品質を評価値で評価し表示できるといった特徴がある。しかしながら、この従来の画像評価方法は、カメラで撮影したデジタル画像の画像品質の評価にしか用いることが出来ず、縞画像計測において解析した位相データを評価することはできないという問題があった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述したことを鑑み、本発明は、複数の計測データのうち最も精度良く計測できたデータを用いて合成することによって、精度の良い結果を得ることができる縞画像計測データ合成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】

【0007】

10

20

30

40

50

本発明による縞画像計測データ合成方法は、各々複数の位相シフトされた縞画像データを位相解析して複数の位相分布データを得るステップと、前記複数の位相分布データの各々に関して関連する縞画像データから画素ごとに評価値を決定するステップと、前記複数の位相分布データを画素ごとに対応する評価値の高いものを選択することによって合成するステップとを含むことを特徴とする。

【0008】

本発明による縞画像計測データ合成方法の他の実施例は、請求項1に記載の縞画像計測データ合成方法において、前記複数の位相分布データを合成するステップの前に、前記位相分布データ及び評価値を同じサンプリング点において再サンプリングするステップをさらに含むことを特徴とする。

10

【0009】

本発明による縞画像計測データ合成方法のさらに他の実施例は、前記評価値を、関連する前記複数の位相シフトされた縞画像の当該画素の輝度が1つでも予め決められた最大輝度値より高いか最小輝度値より小さい場合0とし、そうでない場合、前記縞画像の縞の振幅に応じた値として決定することを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

【0010】

本発明による縞画像計測データ合成方法の依然として他の実施例は、前記評価値を、関連する前記複数の位相シフトされた縞画像の当該画素の輝度をフーリエ変換することによって得られる1次の周波数成分と高周波数成分との比として決定することを特徴とする縞画像計測データ合成方法。

20

【0011】

本発明による縞画像計測データ合成方法の依然として他の実施例は、前記複数の位相シフトされた縞画像データが、位相シフトさせることによって得られる複数枚の干渉縞画像を撮影することによって得られたものであることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、同じ位置に対して複数の計測データが存在する場合、画素ごとに最も精度よく出来たデータのみを用いて合成することができる。また、評価値は計測手法に合わせた方法で決定することができる。さらに、本発明によれば、計測条件を変えた場合の合成が簡単になる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

計測物体に正弦波の縞パターンを投影した場合、点 $x$ における縞の強度分布 $I(x)$ は以下の式(1)のように表される。

$$I(x) = a(x) \cos[\phi(x) + \theta] + b(x) \quad (1)$$

ここで $a(x)$ は縞のコントラスト分布、 $b(x)$ は縞の強度分布のバイアス成分、 $\theta$ は初期位相、 $\phi(x)$ は位相である。この位相 $\phi(x)$ を精度良く解析できれば、計測する物体の表面形状を正確に知ることが可能となる。この位相値を求めるのに、一般的には、位相シフト方法や、ノイズ影響に強いフーリエ変換位相シフトが用いられる。しかし、縞画像計測においては、縞のコントラストが低いと誤差が生じやすくなる。また、カメラが撮影できる明るさを超えた場合では、位相シフト法では誤差が大きくなる。各計測点で解析した位相に対して、精度良く計測できたかどうかを評価する必要がある。そこで、本発明による縞画像計測データの合成方法では、解析した位相分布に対して以下のような方法で評価値を与える。

40

【0014】

評価値を決定する方法について説明する。図1は、このような評価値決定方法を説明する流れ図である。位相シフトされた1周期分の輝度データから、画素ごとに評価値を決定する。 $n$ 回位相シフトして連続的に得られる画像の輝度値を $I_1, I_2, \dots, I_n$ と

50

すると、評価値は以下の式(2)のような評価関数によって定義できる。

$$E(i, j) = f \{ I_1(i, j), I_2(i, j), \dots, I_n(i, j) \} \quad (2)$$

ここで、 $(i, j)$  は撮影するカメラの横  $i$  番目、縦  $j$  番目の画素を表している。 $E(i, j)$  は評価値である。

【0015】

縞の振幅で評価値を決める評価関数の第1例は以下のように定義する。

【数1】

$$E(i, j) = \begin{cases} a(i, j) & (\text{全ての } I_n(i, j) \text{ が } I_{\min} < I_n(i, j) < I_{\max} \text{ と成る場合}) \\ 0 & (\text{その他の場合}) \end{cases}$$

10

ここで、 $a(i, j)$  は投影した格子の振幅、 $I_n(i, j)$  は投影した格子の明るさである。 $I_{\max}$  と  $I_{\min}$  は、それぞれカメラが撮影できる最高輝度値と最低輝度値を表す。撮影される  $n$  枚の輝度データのうち、1つでも  $I_{\min}$  より低い輝度値、又は  $I_{\max}$  より高い輝度値がある場合、評価値を0とする。そうでない場合、評価値を縞の振幅とする。この例の場合、コントラストが良いと評価値が高くなる。合成する際には、評価値の高い方を選ぶ。

20

【0016】

縞の一次周波数と高次周波数との比で評価値を決める評価関数の第2例は以下のように定義する。

【数2】

$$E(i, j) = \frac{F(1)}{\sum_{i=2}^n F(\omega_n)}$$

30

ここで、 $F(1)$  と

$$\sum_{i=2}^n F(\omega_n)$$

は、それぞれ周波数1の成分と高次周波数成分である。この例の場合、評価値が高いものはノイズに強い(S/N比が高い)ということになる。合成する際には、評価値の高い方を選ぶ。

【0017】

40

本発明の縞画像計測データ合成方法は、複数の縞画像計測データから得られた位相分布データを上述したような評価値に基づいて合成する。図2は、本発明による縞画像計測データ合成方法による評価値を用いた合成の手順の一例を説明する流れ図である。この例では2回計測を行うが、さらに多くの計測を行ってもよい。計測条件を変えて輝度データ(縞画像計測データ)1及び2を取得し、各々の輝度データに関して位相解析して位相分布データを得る。前記輝度データの各々において画素ごとに上述したような方法によって評価値を求める。画素ごとに前記2つの位相分布データのうちの対応する評価値の高い方を合成結果として選択する。

【0018】

互いに異なる方向において計測された計測データを合成する場合、合成前に  $x, y$  座標が

50

等間隔になるように再サンプリングを行うと合成しやすい。図3は、このような再サンプリングを行う場合の本発明による縞画像計測データ合成方法による合成の手順の他の例を説明する流れ図である。この例でも2回計測を行うが、さらに多くの計測を行ってもよい。計測条件を変えて輝度データ1及び2を取得し、各々の輝度データに関して位相解析して位相分布データを得る。前記輝度データの各々において画素ごとに上述したような方法によって評価値を求める。次に、各々の位相分布データと評価値を同じ等間隔に再サンプリングする。図4は、このような位相分布データの再サンプリングのアルゴリズムを説明する図である。aは再サンプリング前の位相分布データの計測点を示し、x y座標が等間隔になるように選択されたサンプリング点P sにx y平面上で最も近い3つの計測点P a、P b、P cを見つけて、この3点を通る平面とサンプリング点P sのx y座標からz方向に垂直に伸ばした直線との交点をサンプリング点のz座標とする。図4のbは、このようにして再サンプリングした後の計測点を示す図である。評価値についても同様の再サンプリングを行う。図3に戻り、画素ごとに前記2つの位相分布データのうちの対応する再サンプリングした後の評価値の高い方を合成結果として選択する。

10

**【0019】**

上述したような本発明による縞画像計測データ合成方法を実際の物体計測に用いた例について説明する。例えば金属部品等を計測する際、鏡面反射による影響が存在する。本発明による縞画像計測データ合成方法によれば、2台のカメラを用いて異なる方向から計測し、これら2方向の計測データを合成する。これら2方向の計測データにおいては鏡面反射が起こる場所が各々変わるため、各画素について2方向の計測データのうち正確に計測できた方のデータを採用することで、結果的に鏡面反射による影響を避けることができる。図5は、このような計測を行う光学系を説明する図である。物体1にプロジェクタ2から光を投射し、カメラ3及び4によって物体1を各々異なった方向から撮影し、得られた各々の輝度データをコンピュータ5において位相解析して高さ分布(位相分布)を得て、前記輝度データから評価値を計算し、前記高さ分布と評価値を再サンプリングし、評価値に基づいて高さ分布を合成する。

20

**【0020】**

図6は、実際に計測した物体1を示し、aは物体1の写真、bは物体1の各部の寸法を示す斜視図である。このような物体1を図5に示すような構成において図4bを参照して説明したような手順で計測した。図7は、このようにして得られた結果を示し、a及びcはそれぞれカメラ3及び4によって撮影して得られた輝度データをコンピュータ5によって位相解析し、再サンプリングして得られた高さ分布であり、b及びdはそれぞれa及びbに対応する前記輝度データから得られた評価値分布であり、fは画素ごとに高い方の評価値を選択して得られた合成に用いる評価値分布であり、eはfの評価値分布に基づいてb及びdの高さ分布を合成して得られた高さ分布である。図8は、図7eのA-A'ラインに沿ってとった断面データを示すグラフである。a及びbはそれぞれカメラ3及び4から得られた高さ分布であり、cは合成した高さ分布である。a及びbでみられる鏡面反射や影の影響で測定されなかった部分が、cにおいてはみられない。したがって、本発明による縞画像計測データ合成方法によって、鏡面反射の影響を取り除くことができたことがわかる。

30

40

**【0021】**

本発明による縞画像計測データ合成方法を実際の物体計測に用いた他の例について説明する。縞画像計測では、物体に投影した縞をカメラで撮影して解析するため、一般に物体の後ろの形状を計測することはできない。そこで、物体を回転させていくつかの方向から計測した結果を合成することによって、物体の全周の形状計測が可能になる。この際、同じ位置に対して複数のデータが存在する場合、本発明による縞画像計測データ合成方法を用いて合成することにより、精度よい全周の形状計測が可能になる。図9は、全周計測を行う光学系を説明する図である。物体11を回転ステージ12上に設置し、プロジェクタ13によって光を投射し、回転ステージ12を例えば60°ずつ回転させながら、カメラ14によって撮影し、得られた各々の輝度データをコンピュータ15において位相解析し

50

て高さ分布を得て、前記輝度データから評価値を計算し、前記高さ分布と評価値を再サンプリングし、評価値に基づいて高さ分布を合成する。

【0022】

まず、図10に1方向から計測した結果を示す。aは計測する物体11の写真であり、bは格子を投影して撮影した画像であり、cは位相接続前の位相分布であり、dは位相接続後の位相分布であり、eは再サンプリングした高さ分布であり、fは評価値分布である。

【0023】

図11a～fは、物体11を60°ずつ回転させて6方向から計測して得られた計測データを位相接続し、再サンプリングした高さ分布を示す図である。

10

【0024】

図12は、図11に示す6方向の計測データを合成した結果を示す。aは合成後の高さ分布(円筒座標系)であり、bは合成後の評価値分布である。本発明の縞画像計測データ合成方法を用いることにより、精度よく全周の形状を計測することができたことがわかる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】評価値決定方法を説明する流れ図である。

【図2】本発明による縞画像計測データ合成方法による合成の手順の一例を説明する流れ図である。

20

【図3】本発明による縞画像計測データ合成方法による合成の手順の他の例を説明する流れ図である。

【図4】位相分布データの再サンプリングのアルゴリズムを説明する図であり、aは再サンプリング前の位相分布データの計測点を示し、bは再サンプリングした後の計測点を示す図である。

【図5】本発明による縞画像計測データ合成方法を実際の物体計測に用いた場合の光学系を説明する図である。

【図6】aは図5の物体1の写真、bは物体1の各部の寸法を示す斜視図である。

【図7】a及びcは高さ分布であり、b及びdは評価値分布であり、fは画素ごとに高い方の評価値を選択して得られた評価値分布であり、eは合成して得られた高さ分布である。

30

【図8】図7eのA-A'ラインに沿ってとった断面データを示すグラフである。

【図9】全周計測を行う光学系を説明する図である。

【図10】aは計測する物体の写真であり、bは格子を投影して撮影した画像であり、cは位相接続前の位相分布であり、dは位相接続後の位相分布であり、eは再サンプリングした高さ分布であり、fは評価値分布である。

【図11】a～fは、物体11を60°ずつ回転させて6方向から計測して得られた計測データを位相接続し、再サンプリングした高さ分布を示す図である。

【図12】aは合成後の高さ分布(円筒座標系)であり、bは合成後の評価値分布である。

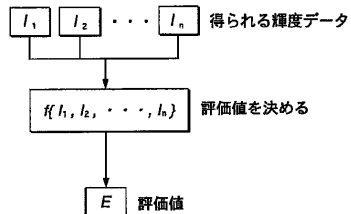
40

【符号の説明】

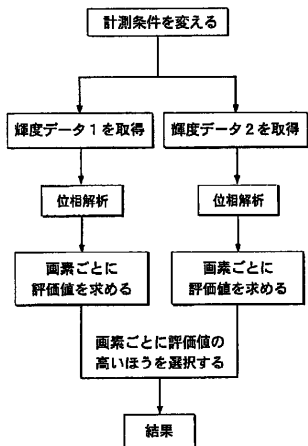
【0026】

- 1、11 物体
- 2、13 プロジェクタ
- 3、4、14 カメラ
- 5、15 コンピュータ
- 12 回転ステージ

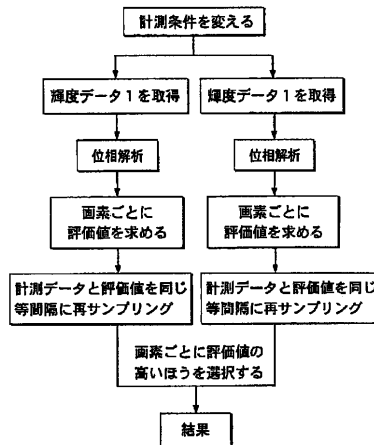
【 図 1 】



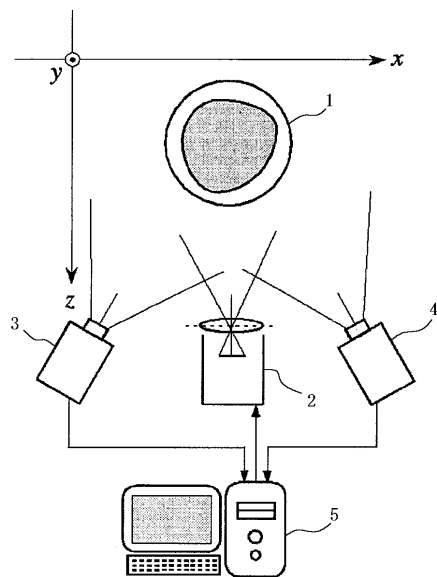
【 図 2 】



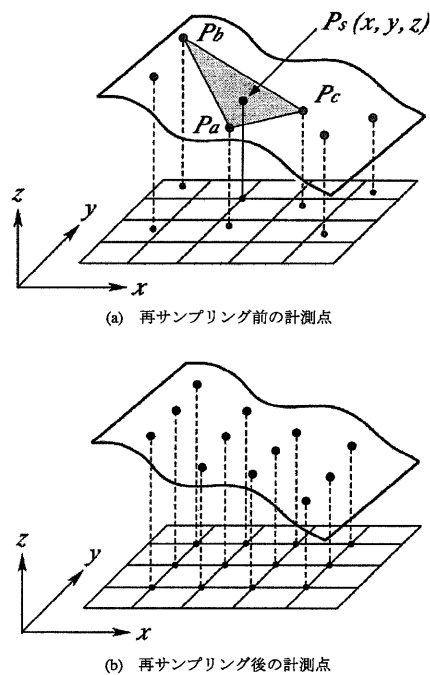
【 図 3 】



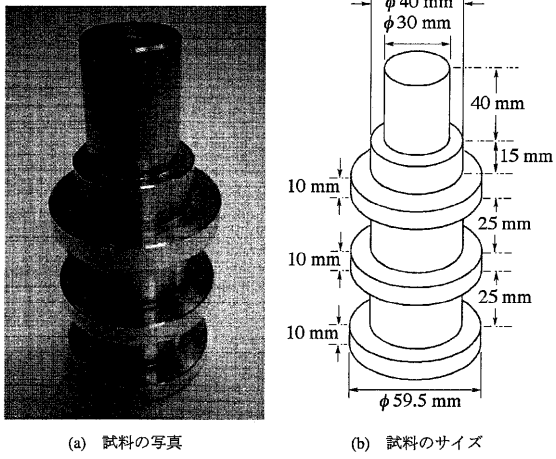
【 図 4 】



【 図 5 】



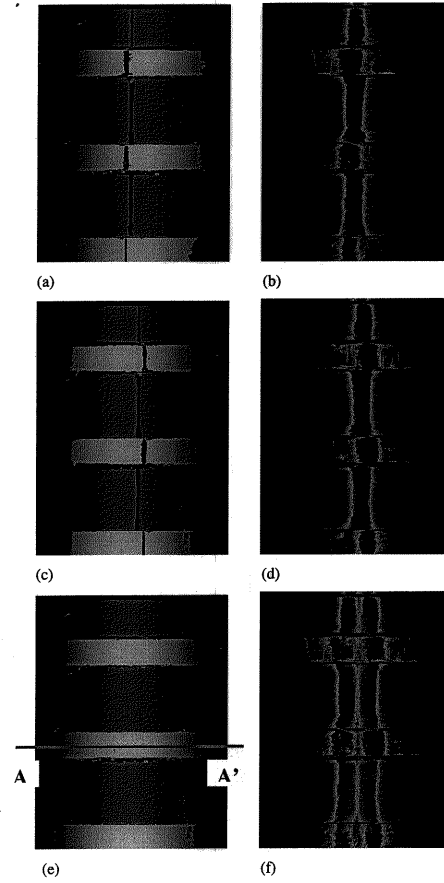
【 図 6 】



(a) 試料の写真

(b) 試料のサイズ

【 図 7 】



(a)

(b)

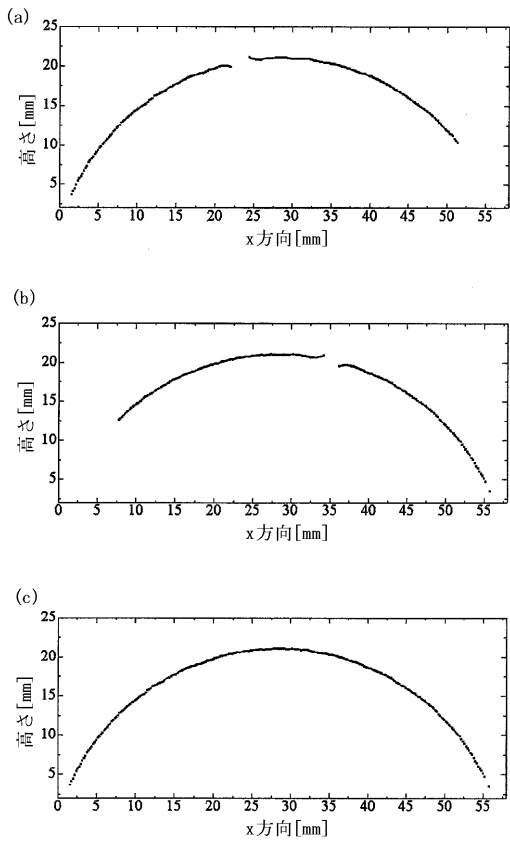
(c)

(d)

(e)

(f)

【 図 8 】

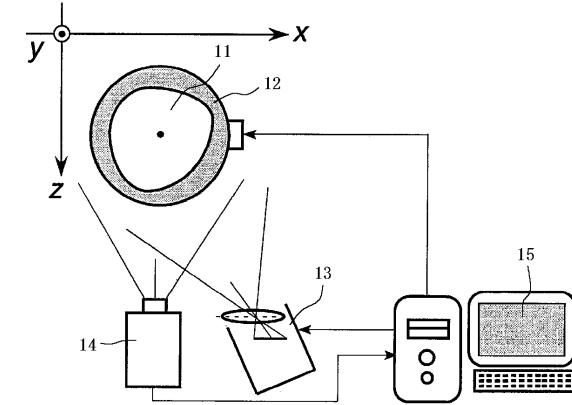


(a)

(b)

(c)

【 図 9 】



y

x

z

11

12

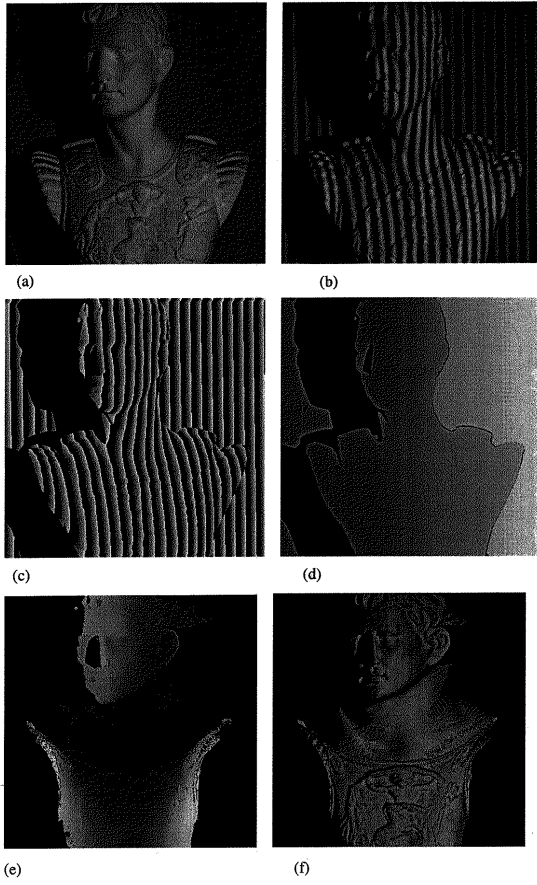
13

14

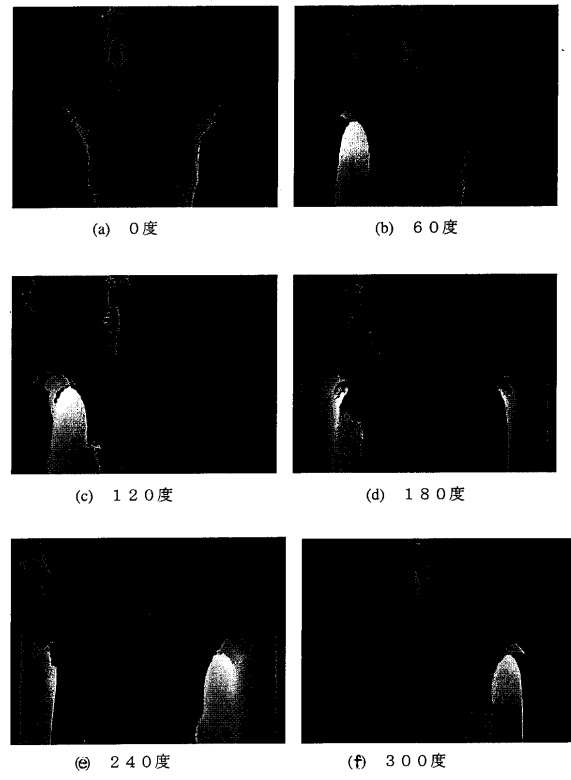
15



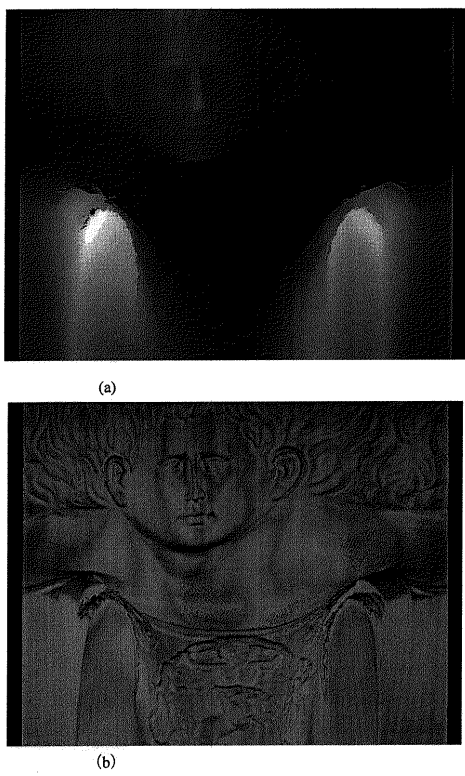
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



---

フロントページの続き

- (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 李 志遠  
大阪府堺市竹城台3丁1 - 16 - 402

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 特開2001 - 241930 (JP, A)  
特開平7 - 325922 (JP, A)  
特開平11 - 211443 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B11/00 - 11/30