

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-21970  
(P2011-21970A)

(43) 公開日 平成23年2月3日(2011.2.3)

(51) Int.Cl.  
G01B 11/25 (2006.01)

F I  
G O 1 B 11/25

テーマコード (参考)  
2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-166591 (P2009-166591)  
(22) 出願日 平成21年7月15日 (2009.7.15)

(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区有楽町1丁目12番1号  
(74) 代理人 100092897  
弁理士 大西 正悟  
(72) 発明者 青木 洋  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内  
Fターム(参考) 2F065 AA04 AA53 BB05 BB26 DD04  
DD12 FF01 FF02 FF09 GG02  
GG03 GG07 HH06 JJ03 LL02  
LL28 LL50 LL53 MM11 QQ25  
QQ27 QQ29 SS13

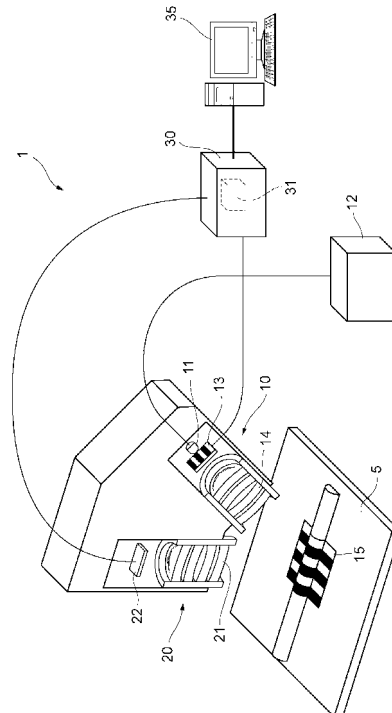
(54) 【発明の名称】 三次元形状測定装置および三次元形状測定方法

(57) 【要約】

【課題】多重反射の影響を抑えて測定精度を向上させた三次元形状測定装置を提供する。

【解決手段】三次元形状測定装置1が、測定対象物5に対して周期的な光強度分布を有した縞パターン15を投影するパターン投影部10と、測定対象物5に投影された縞パターン15を撮像するパターン撮像部20と、パターン撮像部20に撮像された縞パターン15の画像に基づいて、測定対象物5の三次元形状を測定する画像処理部31とを備え、パターン投影部10は、縞パターン15を領域分割した複数の分割縞パターンを個別に測定対象物に対して投影可能に構成され、パターン撮像部20は、個別に測定対象物に投影された分割縞パターンを撮像し、画像処理部31は、複数の分割縞パターンについてパターン撮像部20にそれぞれ撮像された分割縞パターンの画像に基づいて、測定対象物の三次元形状を測定するようになっている。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

測定対象物に対して周期的な光強度分布を有した縞パターンを投影するパターン投影部と、

前記測定対象物に投影された前記縞パターンを撮像する撮像部と、

前記撮像部に撮像された前記縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定する画像処理部とを備え、

前記パターン投影部は、前記縞パターンを領域分割した複数の分割縞パターンを個別に前記測定対象物に対して投影可能に構成され、

前記撮像部は、前記個別に前記測定対象物に投影された前記分割縞パターンを撮像し、

前記画像処理部は、前記複数の分割縞パターンについて前記撮像部にそれぞれ撮像された前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定することを特徴とする三次元形状測定装置。

10

**【請求項 2】**

前記画像処理部は、前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記分割縞パターンが投影された分割エリアでの前記測定対象物の三次元形状を測定し、前記複数の分割縞パターンについてそれぞれ測定した前記分割エリア毎の前記測定の結果を合成することで、前記測定対象物全体の三次元形状を求めることを特徴とする請求項 1 に記載の三次元形状測定装置。

**【請求項 3】**

前記画像処理部は、前記複数の分割縞パターンについて前記撮像部にそれぞれ撮像された前記分割縞パターンの画像を合成することで、前記測定対象物に投影された前記複数の分割縞パターンからなる前記縞パターンの合成画像を生成し、前記合成画像に基づいて前記測定対象物の三次元形状を測定することを特徴とする請求項 1 に記載の三次元形状測定装置。

20

**【請求項 4】**

測定対象物に対して周期的な光強度分布を有した縞パターンを投影する第 1 のステップと、

前記測定対象物に投影された前記縞パターンを撮像する第 2 のステップと、

前記第 2 のステップで撮像した前記縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定する第 3 のステップとを有し、

前記第 1 のステップにおいて、前記縞パターンを領域分割した複数の分割縞パターンを個別に前記測定対象物に対して投影し、

前記第 2 のステップにおいて、前記個別に前記測定対象物に投影された前記分割縞パターンを撮像し、

前記第 3 のステップにおいて、前記複数の分割縞パターンについて前記第 2 のステップでそれぞれ撮像した前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定することを特徴とする三次元形状測定方法。

30

**【請求項 5】**

前記第 3 のステップにおいて、前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記分割縞パターンが投影された分割エリアでの前記測定対象物の三次元形状を測定し、前記複数の分割縞パターンについてそれぞれ測定した前記分割エリア毎の前記測定の結果を合成することで、前記測定対象物全体の三次元形状を求めることを特徴とする請求項 4 に記載の三次元形状測定方法。

40

**【請求項 6】**

前記第 3 のステップにおいて、前記複数の分割縞パターンについて前記第 2 のステップでそれぞれ撮像した前記分割縞パターンの画像を合成することで、前記測定対象物に投影された前記複数の分割縞パターンからなる前記縞パターンの合成画像を生成し、前記合成画像に基づいて前記測定対象物の三次元形状を測定することを特徴とする請求項 4 に記載の三次元形状測定方法。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、物体の三次元形状を測定するための三次元形状測定装置および三次元形状測定方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

物体の三次元形状を測定する方法として、プローブ法や、光切断法、縞投影法、モアレ法など、様々なアイデアが考案されている。プローブ法は、一般的な三次元測定機に採用されている。プローブ法では、測定対象物に測定子（プローブ）を接触させ、その接触点の三次元座標をリニアスケールなどの機械的検出手段により検出し、検出した複数の点の座標に基づいて三次元形状の測定を行う。なお、測定子として光を利用した非接触プローブが使われる場合もある。

10

## 【0003】

また、光切断法では、物体に斜め方向からシート状の光を投影してスキャンさせ、物体に現れたライン光の（基準位置からの）横ずれを検出することで、物体の三次元形状を算出する。また、縞投影法では、縞パターンを物体に投影してその位相ずれ量を検出することで、物体の三次元形状を算出する。また、モアレ法では、縞パターンを物体に投影してその物体形状に沿った変形縞像を得る。そして、変形縞像をさらに縞パターンを通して観測することでモアレパターン（等高線）を取得し、このモアレパターンから三次元形状を算出する。

20

## 【0004】

このように、三次元形状を測定する方法には様々な方式が存在し、用途や要求精度に応じてユーザが選択している。なかでも、縞投影法、特に、位相シフト法は、簡便な方法で高精度に立体形状を測定できるため、広い分野で利用されている（例えば、特許文献1を参照）。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特開2000-9444号公報

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかしながら、位相シフト法においては、表面に小さな凹凸のある物体に縞パターンを投影すると、凹面において縞パターンの多重反射が起こる場合があり、測定精度が低下する一因となっていた。

## 【0007】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、多重反射の影響を抑えて測定精度を向上させた三次元形状測定装置および三次元形状測定方法を提供することを目的とする。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

このような目的達成のため、本発明を例示する態様に従えば、測定対象物に対して周期的な光強度分布を有した縞パターンを投影するパターン投影部と、前記測定対象物に投影された前記縞パターンを撮像する撮像部と、前記撮像部に撮像された前記縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定する画像処理部とを備え、前記パターン投影部は、前記縞パターンを領域分割した複数の分割縞パターンを個別に前記測定対象物に対して投影可能に構成され、前記撮像部は、前記個別に前記測定対象物に投影された前記分割縞パターンを撮像し、前記画像処理部は、前記複数の分割縞パターンについて前記撮像部にそれぞれ撮像された前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の

50

三次元形状を測定することを特徴とする三次元形状測定装置が提供される。

【0009】

また、本発明を例示する態様に従えば、測定対象物に対して周期的な光強度分布を有した縞パターンを投影する第1のステップと、前記測定対象物に投影された前記縞パターンを撮像する第2のステップと、前記第2のステップで撮像した前記縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定する第3のステップとを有し、前記第1のステップにおいて、前記縞パターンを領域分割した複数の分割縞パターンを個別に前記測定対象物に対して投影し、前記第2のステップにおいて、前記個別に前記測定対象物に投影された前記分割縞パターンを撮像し、前記第3のステップにおいて、前記複数の分割縞パターンについて前記第2のステップでそれぞれ撮像した前記分割縞パターンの画像に基づいて、前記測定対象物の三次元形状を測定することを特徴とする三次元形状測定方法が提供される。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、多重反射の影響を抑えて測定精度を向上させることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本実施形態の三次元形状測定装置を示す図である。

【図2】位相シフト法の原理図である。

【図3】位相シフト法による三次元形状測定方法を示すフローチャートである。

20

【図4】凹面での多重反射の影響を示す図である。

【図5】従来の投影パターンを示す図である。

【図6】本実施形態の三次元形状測定方法を示すフローチャートである。

【図7】縞パターンを示す模式図である。

【図8】(a)～(g)の順に、第1～第7の分割縞パターンを示す模式図である。

【図9】三次元形状測定方法の変形例を示すフローチャートである。

【図10】合成画像を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。本実施形態の三次元形状測定装置1は、図1に示すように、測定対象物5に対して周期的な光強度分布を有した縞パターン15を投影するパターン投影部10と、縞パターン15が投影された測定対象物5を撮像するパターン撮像部20と、パターン撮像部20に撮像された測定対象物5および縞パターン15の画像に基づいて測定対象物5の三次元形状を測定する制御装置30(画像処理部31)とを備えて構成される。

30

【0013】

パターン投影部10は、照明素子11と、パターンマスク13と、投影レンズ14とを有して構成される。照明素子11は、例えば、LED(Light Emitting Diode)や、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ等により構成され、照明素子11と電氣的に接続された照明電源12からの電力の供給を受けて点灯し、パターンマスク13を照明する。パターンマスク13は、例えば、光透過型の液晶素子等により構成され、液晶素子と電氣的に接続された制御装置30からの制御信号を受けて、光強度分布が正弦波関数となる縞パターンを形成する。これにより、照明素子11からの光をパターンマスク13に通過させ、投影レンズ14により集光させることで、パターンマスク13に形成されたパターンを縞パターン15として測定対象物5の表面に投影することができる。

40

【0014】

なお、高精度な測定を行うため、特定のピッチで縞パターン15の位相をずらすことが要求される。位相シフト法において一般的な4バケット法では、 $\pi/2$ ずつ縞パターン15の位相をずらす必要がある。本実施形態のように、パターンマスク13に光透過型の液晶素子を使用する場合には、制御装置30からの制御信号により液晶上の(格子ストライ

50

ブの)光透過率を変化させることで、縞パターン15の位相をずらすことができる。位相をずらす方法については、このような方法に限らず、例えば、パターンマスク13を移動機構(図示せず)に搭載し、物理的に位相をずらすようにしてもよい。

【0015】

パターン撮像部20は、受光レンズ21と、撮像素子22とを有して構成される。測定対象物5に投影された縞パターン15は、受光レンズ21によって撮像素子22の撮像面上に結像される。撮像素子22は、撮像面上に結像した縞パターン15の像を撮像し、画像データを制御装置30の画像処理部31に出力する。また、制御装置30により、パターンマスク13の作動制御に応じて撮像素子22の作動が制御され、投影される縞パターン15の位相がずれる度に、撮像素子22が縞パターン15の画像を逐次取得するようになっている。

10

【0016】

制御装置30は、前述のように、パターンマスク13や撮像素子22等の作動を制御する。また、制御装置30は画像処理部31を内蔵しており、この画像処理部31は、制御装置30の作動制御によって取得された複数の位相がずれた縞パターン15の画像に対して所定の画像処理を行い、測定対象物5の三次元形状を測定する。位相シフト法における4パケット法の場合、縞位相が $\pi/2$ ずつずれた4枚の画像が測定に使用される。本実施形態においては、この4パケット法を例に説明を行う。なお、制御装置30には入出力装置35が電氣的に接続されており、画像処理部31による三次元形状の測定結果がこの入出力装置35で出力表示される。

20

【0017】

以上のように構成される三次元形状測定装置1を用いた三次元形状測定方法について、図3および図6に示すフローチャートを参照しながら説明する。まず、図1に示すような凸形状の測定対象物5を測定する場合について、図3に示すフローチャートを参照しながら説明する。この場合、従来の測定方法と同様に測定を行う。図3に、従来の測定フローを示す。はじめに、測定対象物5を図示しない載置台に載置する(ステップS101)。このとき、測定するエリアに対して測定装置の位置等の調整を行い、測定の前準備を完了させる。またこのとき、入出力装置35の操作により、測定対象物の測定面の性状や形状に合わせて測定条件の設定を行うが、測定対象物が凸形状の測定対象物5であり、多重反射の影響を受けない場合は、従来型のパターン投影方法を選択する。

30

【0018】

凸形状の測定対象物5を載置台(図示せず)に載置すると、パターン投影部10により測定対象物5に対して縞パターン15を投影する(ステップS102)。このとき、照明素子11から射出された光がパターンマスク13を通過して投影レンズ14により測定対象物5の表面に集光され、パターンマスク13に形成されたパターンが縞パターン15として測定対象物5の表面に投影される。

【0019】

測定対象物5に投影された縞パターン15は、パターン撮像部20の受光レンズ21によって撮像素子22の撮像面上に結像される。そこで、撮像素子22は、撮像面上に結像した縞パターン15の像を撮像し、画像データを制御装置30の画像処理部31に出力する(ステップS103)。

40

【0020】

位相シフト法における4パケット法では、前述したように、 $\pi/2$ (90度)ずつ位相をずらした4枚の縞パターン15の画像が必要である。そのため、 $\pi/2$ ずつ位相をずらした4枚の縞パターン15の画像を取得するまで、縞パターン15の像を撮像した後、パターンマスク13の作動により縞パターン15の位相を $\pi/2$ だけずらして(ステップS104)、ステップS102~ステップS103までの処理を繰り返し、縞の位相を $\pi/2$ (90度)、 $\pi$ (180度)、 $3\pi/2$ (270度)とずらした縞パターン15の画像を取得する。これにより、図2(a)に示すような、 $\pi/2$ (90度)ずつ位相をずらした4枚の縞パターン15の画像を取得することができる。なおこのとき、制御装置30に

50

より、パターンマスク 13 の作動制御に応じて撮像素子 22 の作動が制御され、投影される縞パターン 15 の位相がずれる度に、撮像素子 22 が縞パターン 15 の画像を逐次取得する。

【0021】

/ 2 ずつ位相をずらした 4 枚の縞パターン 15 の画像を取得すると、画像処理部 31 は、図 2 ( b ) にも示すように、取得した 4 枚の画像の各画素の輝度に着目して ( 画素毎に ) 位相計算を実行する ( ステップ S 105 )。なお、4 バケット法での位相算出には、次の ( 1 ) 式を使用する。

【0022】

$$= \arctan\{ ( I4 - I2 ) / ( I1 - I3 ) \} \dots ( 1 )$$

10

【0023】

ここで、 $\theta$  は或る画素の初期位相である。また、 $I1 \sim I4$  は位相をずらしたそれぞれの画像の算出画素の輝度値である。

【0024】

位相計算を実行した後、図 2 ( c ) にも示すように、位相接続を行う ( ステップ S 106 )。位相接続を行った後、図 2 ( d ) にも示すように、画素単位で座標算出を行い ( ステップ S 107 )、最後に三次元形状を構築する ( ステップ S 108 )。なお、初期位相を算出する際の各画像での輝度値は、測定精度に応じた実際の明るさに対する輝度値のリニアリティが要求される。

【0025】

20

位相シフト法は、基本的に、複数の画像にわたる各画素の輝度変化からその画素の初期位相値を算出することにより高精度な測定分解能を実現している。すなわち、初期位相値の算出に使用する輝度値の信頼性がそのポイントの測定信頼性となる。しかしながら、この輝度値は、画像取得の条件や測定対象物の表面の性状および形状により様々な影響を受ける。測定対象物に投影されるパターンは、測定対象物の表面で拡散反射され、受光部のカメラ ( 撮像素子 22 ) で位相検出可能な状態にななければならない。ポイントは測定対象物の表面での拡散反射にある。例えば、白い石膏面や、白スプレーを塗布した面などでは、理想的な拡散反射が得られるので、高精度な測定が可能である。逆に、切削加工やショットブラスト等により表面に小さな凹凸のある金属表面では、正反射と拡散反射が混じった状態となり、測定精度悪化の要因となる。拡散反射が全く期待できない鏡面では、測定は困難である。

30

【0026】

また、表面に小さな凸凹がある金属表面では測定精度が形状に依存しやすい。凸面形状については、外乱は無く、検出可能な拡散反射光が存在すれば測定可能である。しかしながら、凹面形状では、金属表面でパターンの多重反射が起こり、測定の障害となりやすい。例えば、金属面における凹面の傾斜部では、カメラで検出できるパターンの拡散反射光が非常に小さく、ノイズの影響を受けやすくなるのに加え、他の面から反射してくる強い多重反射光が大きな障害となる。場合によっては、拡散反射光よりもノイズ光が強くなり、正確な測定ができない。また、ノイズ光が微弱な場合でも、必要な拡散反射光のコントラストを低下させる要因となってしまう。

40

【0027】

図 4 に、凹形状の物体の一例を示す。凹形状の測定対象物 6 に上面からパターンを投影すると、( 凹面における ) 傾斜面 6 a での拡散反射による信号光 A が非常に小さくなる ( 例えば、図 5 も参照 )。さらに、他の傾斜面 6 b などからの多重反射光 B が信号光 A のコントラストを低下させて、高精度な測定を困難にする場合がある。逆に、多重反射光 B が信号光 A に比べて大きい場合は、正しい測定ができない。

【0028】

そこで、図 4 に示すような凹形状の測定対象物 6 を測定する場合について、図 6 に示すフローチャートを参照しながら説明する。はじめに、測定対象物 6 を図示しない載置台に載置する ( ステップ S 201 )。このとき、測定するエリアに対して測定装置の位置等の

50

調整を行い、測定の前準備を完了させる。

【0029】

測定対象物6を載置台(図示せず)に載置すると、入出力装置35の操作により、測定対象物の測定面の性状や形状に合わせて、パターン撮像部20(撮像素子22)の露出条件、ノイズ除去の手段、縞解析の条件等といった測定条件の設定を行う(ステップS202)。このとき、測定対象物が凹形状の測定対象物6であり、多重反射の影響を受ける場合は、本実施形態の縞パターン分割投影方法を選択する。

【0030】

本実施形態の縞パターン分割投影方法では、例えば図7に示すように、画面内1ショットに7本の縞がある縞パターン15を投影できるように設定した場合、縞パターン15をそれぞれ7本の縞(以下、第1~第7の分割縞パターン16a~16gと称する)に領域分割する。ここで、1本の縞の範囲、すなわち、各分割縞パターン16a~16gの範囲は、光強度分布における1周期分の範囲、具体的には、縞の中で最も光強度(輝度値)が高い部分を中心とする±の位相の範囲に設定される。このように第1~第7の分割縞パターン16a~16gを設定した場合、まず、第1の分割縞パターン16aだけを測定対象物6に投影するようにパターンマスク13を作動させる(ステップS203)。このとき、パターンマスク13には、一本の分割縞パターンだけが形成される。

10

【0031】

次に、パターン投影部10により測定対象物6に対して第1の分割縞パターン16aを投影する(ステップS204)。このとき、照明素子11から射出された光がパターンマスク13を通過して投影レンズ14により測定対象物6の表面に集光され、パターンマスク13に形成されたパターンが第1の分割縞パターン16aとして測定対象物6の表面に投影される。

20

【0032】

測定対象物6に投影された第1の分割縞パターン16aは、パターン撮像部20の受光レンズ21によって撮像素子22の撮像面上に結像される。そこで、撮像素子22は、撮像面上に結像した第1の分割縞パターン16aの像を撮像し、画像データを制御装置30の画像処理部31に出力する(ステップS205)。

【0033】

縞解析が4バケット法の場合、 $\pi/2$ (90度)ずつ位相をずらした4枚の分割縞パターン16aの画像を取得するまで、第1の分割縞パターン16aの像を撮像した後、パターンマスク13の作動により第1の分割縞パターン16aの位相を $\pi/2$ だけずらして(ステップS206)、ステップS204~ステップS205までの処理を繰り返し、縞の位相を $\pi/2$ (90度)、 $\pi$ (180度)、 $3\pi/2$ (270度)とずらした第1の分割縞パターン16aの画像を取得する。なおこのとき、制御装置30により、パターンマスク13の作動制御に応じて撮像素子22の作動が制御され、投影される第1の分割縞パターン16aの位相がずれる度に、撮像素子22が第1の分割縞パターン16aの画像を逐次取得する。

30

【0034】

$\pi/2$ ずつ位相をずらした4枚の分割縞パターン16aの画像を取得すると、画像処理部31は、取得した4枚の画像に対して、前述の位相計算や位相接続等といった処理演算を行い(ステップS207)、測定対象物6において第1の分割縞パターン16aが投影された分割エリアでの分割点群(画素単位の三次元座標)を算出する(ステップS208)。

40

【0035】

このように分割点群を算出すると、全ての分割縞パターン16a~16gについて分割点群を算出したか否かを判定する(ステップS209)。具体的には、第n(n=1~7)の分割縞パターンについて分割点群を算出したときに、n=7であったか否かを判定する。判定がNoの場合、n=n+1とし(ステップS210)、n=7になるまで、すなわち、未だ分割点群を算出していない分割縞パターンについてステップS203~ステッ

50

ブ S 2 0 8 の処理を繰り返す。これにより、図 8 ( a ) ~ ( g ) に示すように、第 1 ~ 第 7 の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g が個別に凹形状の測定対象物 6 に投影されて、パターン撮像部 2 0 ( 撮像素子 2 2 ) で各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の像が個別に撮像され、画像処理部 3 1 により各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g が投影された分割エリアでの分割点群 ( 分割エリアでの画素単位の三次元座標 ) が個別に算出されることになる。

【 0 0 3 6 】

一方、判定が Y e s の場合、全ての分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g についてそれぞれ算出した分割エリア毎の分割点群を合成し ( ステップ S 2 1 1 ) 、各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g が投影されたエリア全体の点群 ( 測定対象物 6 全体での画素単位の三次元座標 ) を算出する ( ステップ S 2 1 2 ) 。なお、このようにして算出したエリア全体の点群は、

10

【 0 0 3 7 】

位相シフト法 ( 縞投影法 ) は、撮像エリアを 1 ショットとして測定する所が特徴であるが、前述したように、凹面では多重反射の影響を受けて測定精度が低下する場合がある。本実施形態では、縞パターン 1 5 を領域分割して投影することにより形状測定エリアの大きさを制限することで、多重反射のリスクを最小限に抑えることができる。このようにすれば、多重反射の影響を抑えて測定精度を向上させることが可能になる。

【 0 0 3 8 】

また、複数の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g についてそれぞれ測定した分割エリア毎の測定結果 ( 分割点群 ) を合成することで、測定対象物全体の三次元形状を求めるようにすれば、より確実に測定精度を向上させることが可能になる。

20

【 0 0 3 9 】

次に、縞パターン分割投影方法を選択する場合の変形例について、図 9 に示すフローチャートを参照しながら説明する。はじめに、測定対象物 6 を図示しない載置台に載置する ( ステップ S 3 0 1 ) 。このとき、前述の実施形態の場合と同様に、入出力装置 3 5 の操作により、測定対象物の測定面の性状や形状に合わせて測定条件の設定を行い、測定対象物が凹形状の測定対象物 6 であり、多重反射の影響を受ける場合に、縞パターン分割投影方法を選択する。

【 0 0 4 0 】

前述の実施形態の場合と同様に、画面内 1 ショットに 7 本の縞がある縞パターン 1 5 を投影できるように設定した場合、縞パターン 1 5 をそれぞれ 7 本の縞 ( 第 1 ~ 第 7 の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g ) に領域分割する。そこでまず、パターンマスク 1 3 の作動によりパターンの位相を所定の第 1 の位相に設定するとともに ( ステップ S 3 0 2 ) 、測定対象物 6 に投影するパターンを第 1 の分割縞パターン 1 6 a に設定する ( ステップ S 3 0 3 ) 。

30

【 0 0 4 1 】

このように設定を行うと、第 1 の分割縞パターン 1 6 a を測定対象物 6 に対して投影し、その画像を取得する ( ステップ S 3 0 4 ) 。このとき、照明素子 1 1 から射出された光がパターンマスク 1 3 を通過して投影レンズ 1 4 により測定対象物 6 の表面に集光され、パターンマスク 1 3 に形成されたパターンが第 1 の分割縞パターン 1 6 a として測定対象物 6 の表面に投影される。測定対象物 6 に投影された第 1 の分割縞パターン 1 6 a は、受光レンズ 2 1 によって撮像素子 2 2 の撮像面上に結像されるので、撮像素子 2 2 は、撮像面上に結像した第 1 の分割縞パターン 1 6 a の像を撮像し、画像データを制御装置 3 0 の画像処理部 3 1 に出力する。

40

【 0 0 4 2 】

次に、同じ位相の全ての分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の画像を取得したか否かを判定する ( ステップ S 3 0 5 ) 。具体的には、第  $n$  (  $n = 1 \sim 7$  ) の分割縞パターンの画像を取得したときに、 $n = 7$  であったか否かを判定する。判定が N o の場合、 $n = n + 1$  とし ( ステップ S 3 0 6 ) 、 $n = 7$  になるまで、すなわち、未だ画像を取得していない同じ位相の分割縞パターンについてステップ S 3 0 3 ~ ステップ S 3 0 4 の処理を繰り返す。こ

50



れにより、図 8 ( a ) ~ ( g ) に示すように、第 1 ~ 第 7 の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g が個別に凹形状の測定対象物 6 に投影されて、パターン撮像部 2 0 ( 撮像素子 2 2 ) で各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の画像が個別に撮像取得されることになる。

【 0 0 4 3 】

一方、判定が Yes の場合、画像処理部 3 1 は、取得した ( 同じ位相の ) 第 1 ~ 第 7 の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の画像を合成し、図 1 0 に示すような、測定対象物 6 に投影された第 1 ~ 第 7 の分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g からなる縞パターンの合成画像 1 8 を生成する ( ステップ S 3 0 7 ) 。縞パターンの合成画像 1 8 を生成する方法として、例えば、縞パターンが投影されている部分はそれ以外の部分に比べて明るいいため、全ての分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の画像の画素同士を比較し、最も明るい輝度値をその画素の輝度値とする方法が考えられる。こうして得られた合成画像 1 8 は、4 バケット法の 1 枚目 ( 第 1 の位相 ) の画像に相当する。また、このような合成画像 1 8 は、縞が領域分割されて投影されているため、従来のように測定エリアを一括で露光する場合に比べ、周辺からの多重反射光の影響は非常に小さい。

10

【 0 0 4 4 】

縞パターンの合成画像 1 8 を生成すると、全ての位相について合成画像 1 8 を生成したか否かを判定する ( ステップ S 3 0 8 ) 。具体的には、第  $m$  (  $m = 1 \sim 4$  ) の位相の合成画像 1 8 を生成したときに、 $m = 4$  であったか否かを判定する。判定が No の場合、各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g の位相を  $\pi/2$  だけずらして  $m = m + 1$  とし ( ステップ S 3 0 9 ) 、 $m = 4$  になるまで、すなわち、未だ合成画像 1 8 を生成していない第  $m$  の位相についてステップ S 3 0 2 ~ ステップ S 3 0 7 の処理を繰り返す。これにより、縞の位相を  $\pi/2$  ( 90 度 ) 、 $\pi$  ( 180 度 ) 、 $3\pi/2$  ( 270 度 ) とずらした合成画像 1 8 をさらに生成して、 $\pi/2$  ( 90 度 ) ずつ位相をずらした 4 枚の合成画像 1 8 を取得することができる。

20

【 0 0 4 5 】

$\pi/2$  ずつ位相をずらした 4 枚の合成画像 1 8 を取得すると、画像処理部 3 1 は、取得した 4 枚の合成画像 1 8 の各画素の輝度に着目して ( 画素毎に ) 位相計算を実行する ( ステップ S 3 1 0 ) 。なお、位相算出には、前述の ( 1 ) 式を使用する。

【 0 0 4 6 】

位相計算を実行した後、位相接続を行う ( ステップ S 3 1 1 ) 。そして、位相接続を行った後、画素単位で座標算出を行い ( ステップ S 3 1 2 ) 、最後に三次元形状を構築する ( ステップ S 3 1 3 ) 。

30

【 0 0 4 7 】

このようにしても、縞パターン 1 5 を領域分割して投影することにより形状測定エリアの大きさを制限することで、多重反射のリスクを最小限に抑えることができるため、多重反射の影響を抑えて測定精度を向上させることが可能になる。また、各分割縞パターン 1 6 a ~ 1 6 g を画像の段階で合成することができるため、三次元の座標算出を行った後にその結果を合成するよりも処理を単純化することができる。

【 0 0 4 8 】

なお、上述の実施形態において、パターン投影部 1 0 が LED 等の照明素子 1 1 を有して構成されているが、これに限られるものではなく、照明素子 1 1 を内蔵せずに、ハロゲンランプや、メタルハライドランプ、水銀ランプ等といった外部照明からの光を光ファイバ等により導入するようにしてもよい。

40

【 0 0 4 9 】

また、上述の実施形態において、パターンマスク 1 3 として光透過型の液晶素子を用いているが、これに限られるものではなく、例えば、反射型の液晶素子や DMD ( Digital Micromirror Device ) 素子等を用いるようにしてもよい。また、縞パターンが形成されたガラスマスクを用いるようにしてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 0 】

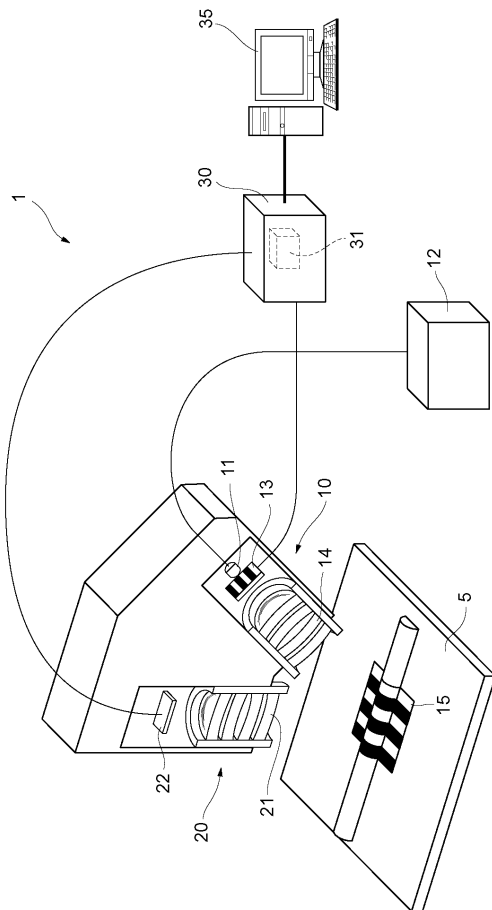
50

- 1 三次元形状測定装置
- 5 凸形状の測定対象物
- 10 パターン投影部
- 16 a 第1の分割縞パターン
- 16 c 第3の分割縞パターン
- 16 e 第5の分割縞パターン
- 16 g 第7の分割縞パターン
- 18 合成画像
- 20 パターン撮像部
- 30 制御装置

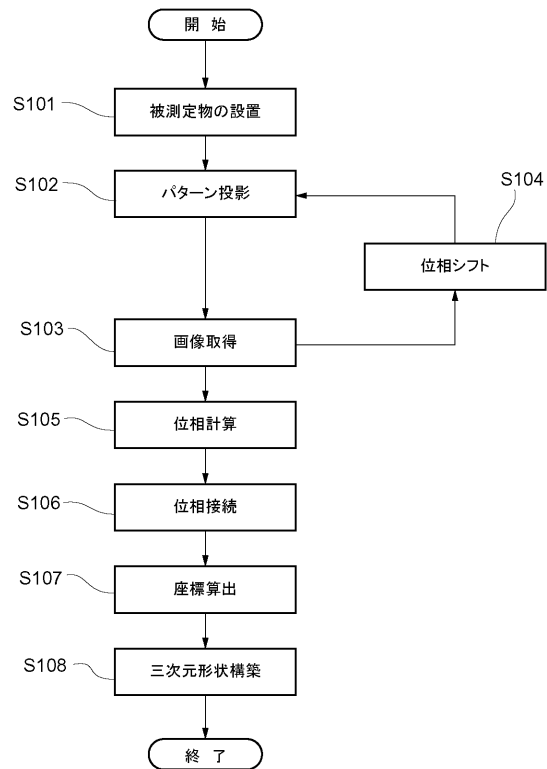
- 6 凹形状の測定対象物
- 15 縞パターン
- 16 b 第2の分割縞パターン
- 16 d 第4の分割縞パターン
- 16 f 第6の分割縞パターン

- 31 画像処理部

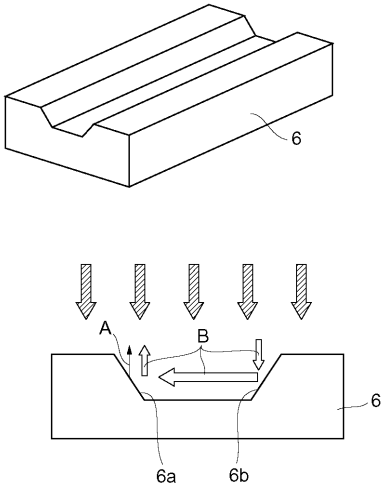
【図1】



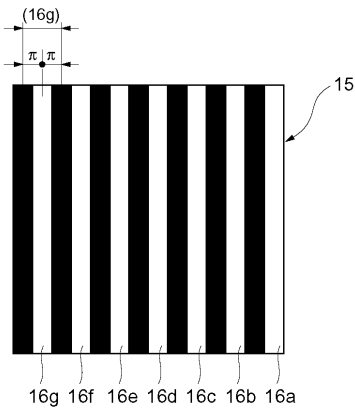
【図3】



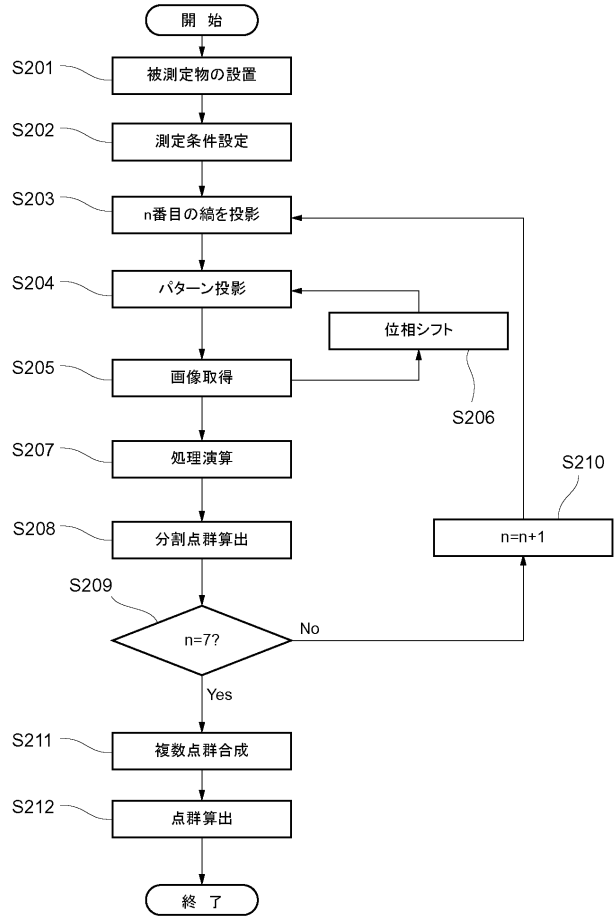
【 図 4 】



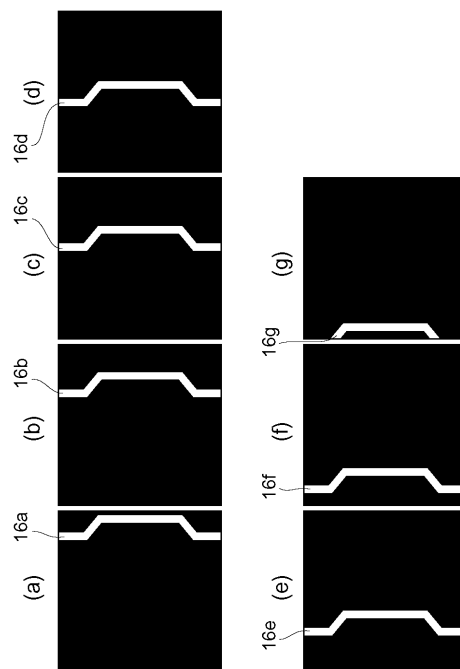
【 図 7 】



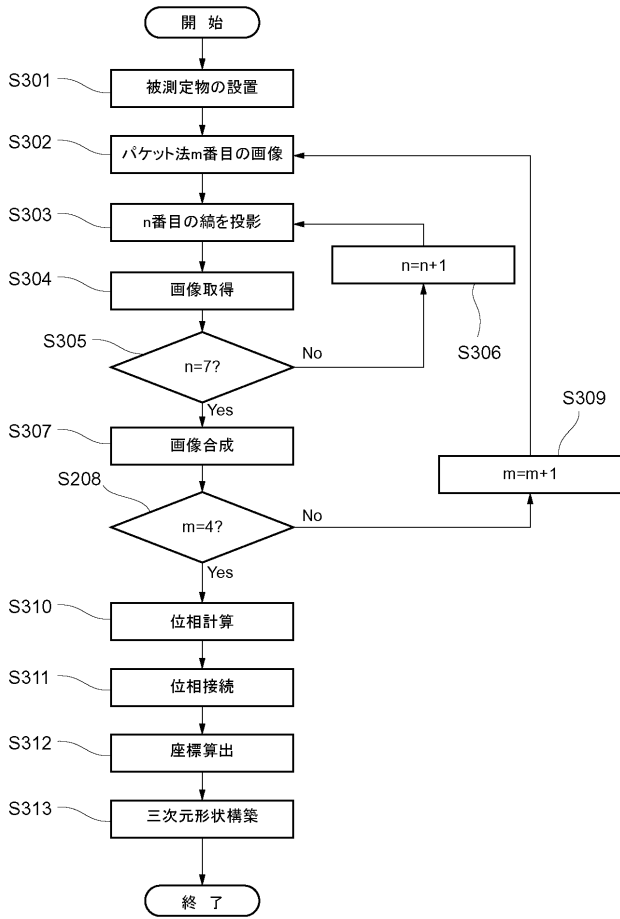
【 図 6 】



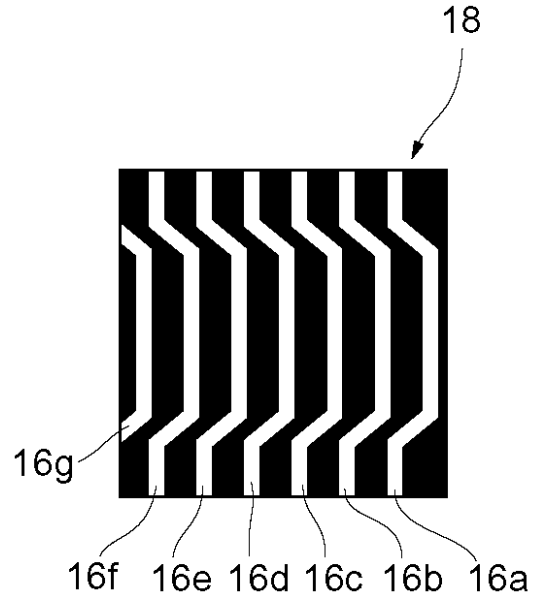
【 図 8 】



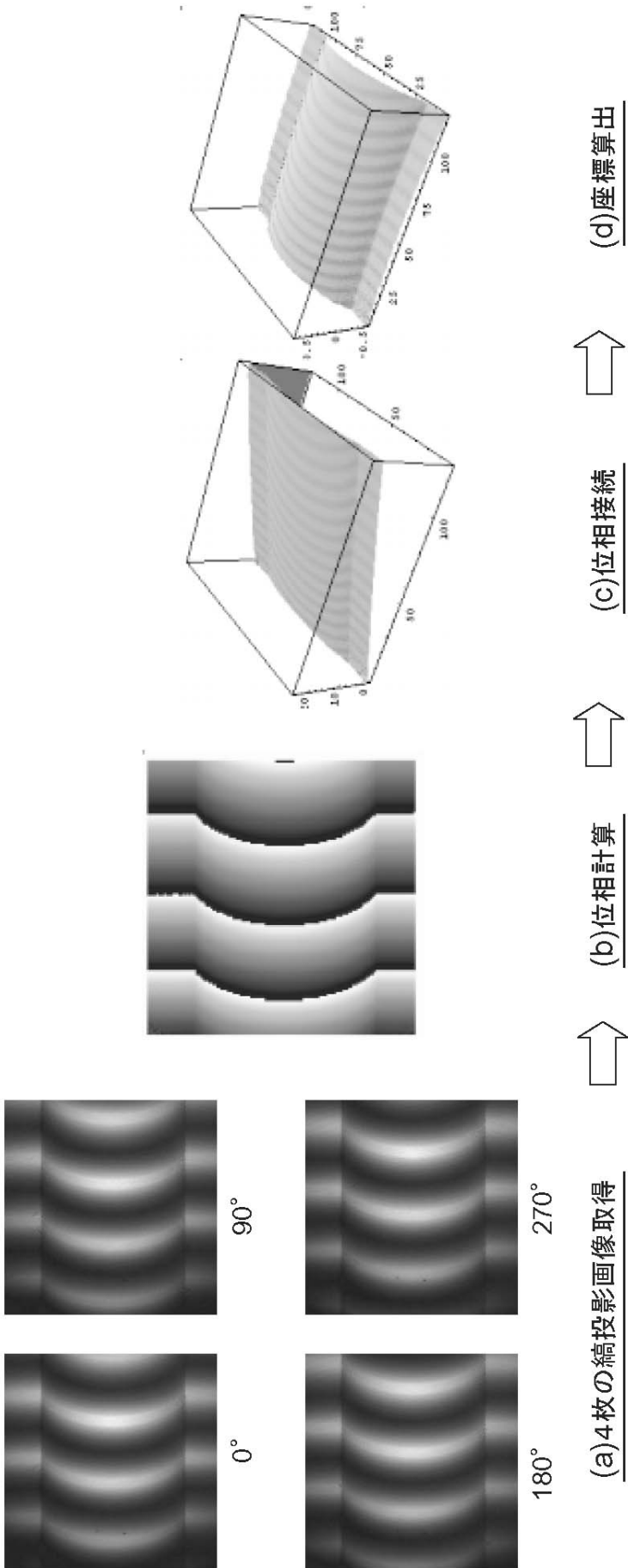
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 2 】



【 図 5 】

