

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7137345号
(P7137345)

(45)発行日 令和4年9月14日(2022.9.14)

(24)登録日 令和4年9月6日(2022.9.6)

(51)国際特許分類		F I			
G 0 1 B	11/25 (2006.01)	G 0 1 B	11/25		H
G 0 6 T	1/00 (2006.01)	G 0 6 T	1/00	3 1 5	
G 0 6 T	7/521(2017.01)	G 0 6 T	7/521		

請求項の数 21 (全67頁)

(21)出願番号	特願2018-81912(P2018-81912)	(73)特許権者	000129253 株式会社キーエンス 大阪府大阪市東淀川区東中島1丁目3番 14号
(22)出願日	平成30年4月20日(2018.4.20)	(74)代理人	100104949 弁理士 豊栖 康司
(65)公開番号	特開2019-190917(P2019-190917 A)	(74)代理人	100074354 弁理士 豊栖 康弘
(43)公開日	令和1年10月31日(2019.10.31)	(72)発明者	名取 和毅 大阪府大阪市東淀川区東中島1丁目3番 14号 株式会社キーエンス内
審査請求日	令和3年3月29日(2021.3.29)	(72)発明者	藤原 政記 大阪府大阪市東淀川区東中島1丁目3番 14号 株式会社キーエンス内
		審査官	飯村 悠斗

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状測定装置、形状測定方法、形状測定プログラム及びコンピュータで読み取り可能な記録媒体並びに記録した機器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象物を載置するステージと、
前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、パターン光を照射する投光部と、
前記投光部から照射され、測定対象物から反射されたパターン光を受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する受光部と、
前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動させることにより、前記受光部の焦点位置を調整する光軸方向駆動部と、
前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、前記受光部の光軸と直交するステージ平面における測定範囲内に存在する測定対象物の形状をパターン投影法で測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく立体形状データを取得する立体形状データ取得処理と、
前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在するか否かに基づいて、未測定の領域が存在するか否かを判定する判定処理と、
前記判定処理により、未測定の領域が存在すると判定された場合に、前記光軸方向駆動部を制御して、測定対象物に対する前記受光部の相対的なX Y方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を変更する焦点位置変更処理と、
前記判定処理により、未測定の領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状デ

ータ取得処理、前記判定処理、前記焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを生成する合成処理
とを実行する制御手段と、
を備える形状測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
前記制御手段は、
前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたパターン光を受光することで得られたデータに基づいて、前記深度測定範囲外の測定対象物を前記深度測定範囲内で測定するための前記焦点位置を算出し、当該焦点位置に前記受光部の焦点位置が移動するよう前記光軸方向駆動部を制御するよう構成してなる形状測定装置。

10

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の形状測定装置であって、
前記立体形状データが、測定対象物を示す各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ画像を含み、
前記立体形状データ取得処理で、前記高さ画像を生成するよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の形状測定装置であって、
前記判定処理が、前記深度測定範囲内で高さ情報を測定可能な取得済みの画素を累積し、該取得済み画素を累積した累積画像に基づいて未測定の画素が存在するか否かを判定するよう構成されてなる形状測定装置。

20

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の形状測定装置であって、
前記投光部は、
前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、第一方向から第一パターン光を照射する第一投光部と、
前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、第二方向から第二パターン光を照射する第二投光部とを備え、

30

前記受光部は、
前記第一投光部から照射され、測定対象物から反射された第一パターン光を受光して第一受光データを出力し、
前記第二投光部から照射され、測定対象物から反射された第二パターン光を受光して第二受光データを出力し、

前記合成処理は、
前記受光部が受光した第一受光データに基づいて、測定対象物の第一高さ画像を生成し、
前記受光部が受光した第二受光データに基づいて、測定対象物の第二高さ画像を生成し、

40

前記ステージ上の前記受光部の測定範囲内に、前記第一投光部及び第二投光部からパターン光が照射可能な高さ範囲を深度測定範囲とし、該深度測定範囲内の立体形状データを有する前記第一高さ画像と前記第二高さ画像を合成して、合成高さ画像を生成し、

前記判定処理が、前記ステージ上の前記受光部の深度測定範囲内に、前記第一投光部及び前記第二投光部のいずれか一方のみからパターン光が照射可能な領域を含む高さ範囲を深度探索範囲とし、当該深度探索範囲内に測定対象物の表面領域が存在するか否かを、前記判定処理の判定条件とするよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 6】

請求項 3 ~ 5 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、
前記判定処理の判定条件として、立体形状データに含まれる縞画像のコントラスト、又

50

は輝度に基づいて、前記深度測定範囲内に高さ情報を有さない未測定の領域が存在するか否かの判定を行うよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 7】

請求項 3 ~ 6 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、

前記立体形状データ取得処理が、測定対象物へパターン光を投影し、相対的に低分解能な測定結果が得られる第一パターン投影と、測定対象物へパターン光を投影し、相対的に高分解能な測定結果が得られる第二パターン投影とを組み合わせ、各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ情報を含む形状データを生成し、

前記判定処理が、前記第一パターン投影の結果得られた低分解能な測定結果に基づいて、前記深度測定範囲外の高さ情報を有する未測定の領域が存在するか否かを判定するよう構成してなる形状測定装置。

10

【請求項 8】

請求項 7 に記載の形状測定装置であって、

前記第一パターン投影が空間コード法であり、前記判定処理が、最終的な形状データが得られていない画素の中で、空間コードの測定結果のみが内部的に得られている画素が存在する場合に、未測定画素が存在すると判定するよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 9】

請求項 5 ~ 8 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、

前記判定処理が、最終的な立体形状データが得られていない画素の中で、パターン投影がされていることが判定できる程度の輝度値が得られている画素が存在する場合に、未測定画素が存在すると判定するよう構成してなる形状測定装置。

20

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、

前記光軸方向駆動部が、自動合成の際に、前記受光部と前記ステージとの距離が長くなる方向にのみ動作するよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、

前記光軸方向駆動部が、自動合成の際に、前記ステージの初期位置から、いずれか一方の方向に前記ステージを移動させ、前記判定処理による終了条件が満たされない場合は、いずれか他方の方向に前記ステージを移動させ、終了条件が満たされるまで往復動作を行うよう構成してなる形状測定装置。

30

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、さらに、

前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する前記焦点位置変更処理を終了する所定の終了条件を設定するための終了条件設定部を備える形状測定装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の形状測定装置であって、

前記所定の終了条件が、前記ステージがそれ以上移動できない位置に到達した状態である形状測定装置。

【請求項 14】

請求項 12 に記載の形状測定装置であって、

前記所定の終了条件が、未測定だが縞画像が取得できない状態である形状測定装置。

40

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、さらに、

前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する範囲を設定するための深度範囲設定部を備える形状測定装置。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、さらに、

前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する焦点位置変更処理を、指定した範囲で行うか、自動的に拡張するかを切り替えるための深度拡張モード選択部を

50

備える形状測定装置。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、

前記ステージを X Y 方向に移動させて取得した複数の立体形状データを連結する前記合成処理の際に、各 X Y 位置において、前記焦点位置変更処理を自動的に行い、生成された複数の立体形状データ同士が連結されるよう構成してなる形状測定装置。

【請求項 18】

請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の形状測定装置であって、さらに、

前記ステージの高さを検出するスケールユニットを備えており、

前記スケールユニットで前記ステージの高さを検出する移動軸を、前記受光部の光軸と平行に近接して配置してなる形状測定装置。

10

【請求項 19】

測定対象物の高さを検出して、立体形状データを生成するための形状測定方法であって、

測定の対象となる測定対象物をステージに載置し、該測定対象物に対してパターン光を投光部から投光し、測定対象物から反射されたパターン光を受光部で受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する工程と、

前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動して、前記受光部の焦点位置を調整する工程と、

20

前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、前記受光部の光軸と直交する測定範囲内に存在する測定対象物の形状を測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく立体形状データを、立体形状データ生成部で生成する工程と、

前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在するか否かに基づいて、未測定の画素領域が存在するか否かを、判定処理部で判定する工程と、

前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在すると判定された場合に、測定対象物に対する前記受光部の相対的な X Y 方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を焦点位置変更処理部で変更する工程と、

前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状データ生成部による立体形状データ生成処理、前記判定処理部による判定処理、前記焦点位置変更処理部による焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを生成し、生成された複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを合成処理部で生成する工程と、

30

を含む形状測定方法。

【請求項 20】

測定対象物の高さを検出して、立体形状データを生成するための形状測定プログラムであって、

測定の対象となる測定対象物をステージに載置し、該測定対象物に対してパターン光を投光部から投光し、測定対象物から反射されたパターン光を受光部で受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する機能と、

40

前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動して、前記受光部の焦点位置を調整する機能と、

前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、前記受光部の光軸と直交する測定範囲内に存在する測定対象物の形状を測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく立体形状データを、立体形状データ生成部で生成する機能と、

前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在

50

するか否かに基づいて、未測定の画素領域が存在するか否かを、判定処理部で判定する機能と、

前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在すると判定された場合に、測定対象物に対する前記受光部の相対的な X Y 方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を焦点位置変更処理部で変更する機能と、

前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状データ生成部による立体形状データ生成処理、前記判定処理部による判定処理、前記焦点位置変更処理部による焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを生成し、生成された複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを合成処理部で生成する機能と、

10

をコンピュータに実現させるための形状測定プログラム。

【請求項 21】

請求項 20 に記載のプログラムを記録したコンピュータで読み取り可能な記録媒体又は記録した機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、形状測定装置、形状測定方法、形状測定プログラム及びコンピュータで読み取り可能な記録媒体並びに記録した機器に関する。

20

【背景技術】

【0002】

三角測距の原理を用いたパターン投影法により、測定対象物（ワーク）の表面の形状を測定する形状測定装置が知られている（例えば特許文献 1）。このような形状測定装置では、短時間でワークの三次元形状を測定することが可能である。

【0003】

しかしながら、測定可能な高さ範囲は、視野及び測定の分解能とトレードオフの関係にあるため、十分な視野や分解能の立体形状データを取得しようとする、深度測定範囲が限定されるという問題があった。

【0004】

特許文献 1 に、従来の形状測定装置の一例を示す。この形状測定装置は、深度測定範囲を変化させて、得られた複数の測定データを合成する技術を開示している。これにより、一度に測定ができない複数の測定データを合成することで、高さ方向の深度測定範囲を拡張することができる。

30

【0005】

しかしながら、この方法では使用者が求める深度測定範囲内の測定結果を取得するために、どの位置で何回測定を行えばよいかを直感的に把握できないという問題があった。このため、予め取得したワークの立体形状データを表示し、表示された立体形状データ上に一度の測定で測定が可能な範囲を表示するようにしている。ただし特許文献 1 の方法では、予めワークの立体形状データを取得する必要があり、処理時間が長くなることがあった。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開 2014 - 092490 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、従来のこのような問題点に鑑みてなされたものである。本発明の目的の一は、高さ方向の測定範囲を拡張可能な形状測定装置、計測測定方法、形状測定プログラム並

50

びにコンピュータで読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

【課題を解決するための手段及び発明の効果】

【0008】

上記の目的を達成するために、本発明の第1の側面に係る形状測定装置によれば、測定対象物を載置するステージと、前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、パターン光を照射する投光部と、前記投光部から照射され、測定対象物から反射されたパターン光を受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する受光部と、前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動させることにより、前記受光部の焦点位置を調整する光軸方向駆動部と、前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、前記受光部の光軸と直交するステージ平面における測定範囲内に存在する測定対象物の形状をパターン投影法で測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく立体形状データを取得する立体形状データ取得処理と、前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在するか否かに基づいて、未測定の領域が存在するか否かを判定する判定処理と、前記判定処理により、未測定の領域が存在すると判定された場合に、前記光軸方向駆動部を制御して、測定対象物に対する前記受光部の相対的なXY方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を変更する焦点位置変更処理と、前記判定処理により、未測定の領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状データ取得処理、前記判定処理、前記焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを生成する合成処理とを実行する制御手段とを備えることができる。上記構成により、深度方向の測定範囲を各視野において拡張することができる。

10

20

また、本発明の第2の側面に係る形状測定装置によれば、上記の構成に加えて、前記制御手段は、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたパターン光を受光することで得られたデータに基づいて、前記深度測定範囲外の測定対象物を前記深度測定範囲内で測定するための前記焦点位置を算出し、当該焦点位置に前記受光部の焦点位置が移動するように前記光軸方向駆動部を制御するように構成できる。

【0009】

さらに、本発明の第3の側面に係る形状測定装置によれば、上記の構成に加えて、前記立体形状データが、測定対象物を示す各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ画像を含み、前記立体形状データ取得処理で、前記高さ画像を生成するように構成できる。

30

【0010】

さらに、本発明の第4の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記判定処理が、前記深度測定範囲内で高さ情報を測定可能な取得済みの画素を累積し、該取得済み画素を累積した累積画像に基づいて未測定の画素が存在するか否かを判定するように構成できる。

【0011】

さらにまた、本発明の第5の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記投光部は、前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、第一方向から第一パターン光を照射する第一投光部と、前記ステージ上に載置された測定対象物に対し、第二方向から第二パターン光を照射する第二投光部とを備え、前記受光部は、前記第一投光部から照射され、測定対象物から反射された第一パターン光を受光して第一受光データを出力し、前記第二投光部から照射され、測定対象物から反射された第二パターン光を受光して第二受光データを出力し、前記合成処理は、前記受光部が受光した第一受光データに基づいて、測定対象物の第一高さ画像を生成し、前記受光部が受光した第二受光データに基づいて、測定対象物の第二高さ画像を生成し、前記ステージ上の前記受光部の測定範囲内に、前記第一投光部及び第二投光部からパターン光が照射可能な高さ範囲を深度測定範囲とし、該深度測定範囲内の立体形状データを有する前記第一高さ画像と前記第二高さ画像を合成して、合成高さ画像を生成し、前記判定処理が、前記ステージ上の前記受光部の

40

50

深度測定範囲内に、前記第一投光部及び前記第二投光部のいずれか一方のみからパターン光が照射可能な領域を含む高さ範囲を深度探索範囲とし、当該深度探索範囲内に測定対象物の表面領域が存在するか否かを、前記判定処理の判定条件とするよう構成できる。

【0014】

さらにまた、本発明の第6の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記判定処理の判定条件として、立体形状データに含まれる縞画像のコントラスト、又は輝度に基づいて、前記深度測定範囲内に高さ情報を有さない未測定の領域が存在するか否かの判定を行うよう構成できる。

【0015】

さらにまた、本発明の第7の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に前記立体形状データ取得処理が、測定対象物へパターン光を投影し、相対的に低分解能な測定結果が得られる第一パターン投影と、測定対象物へパターン光を投影し、相対的に高分解能な測定結果が得られる第二パターン投影とを組み合わせ、各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ情報を含む形状データを生成し、前記判定処理が、前記第一パターン投影の結果得られた低分解能な測定結果に基づいて、前記深度測定範囲外の高さ情報を有する未測定の領域が存在するか否かを判定するよう構成できる。

10

【0016】

さらにまた、本発明の第8の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記第一パターン投影が空間コード法であり、前記判定処理が、最終的な形状データが得られていない画素の中で、空間コードの測定結果のみが内部的に得られている画素が存在する場合に、未測定画素が存在すると判定するよう構成できる。

20

【0017】

さらにまた、本発明の第9の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記判定処理が、最終的な立体形状データが得られていない画素の中で、パターン投影がされていることが判定できる程度の輝度値が得られている画素が存在する場合に、未測定画素が存在すると判定するよう構成できる。

【0019】

さらにまた、本発明の第10の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記光軸方向駆動部が、自動合成の際に、前記受光部と前記ステージとの距離が長くなる方向にのみ動作するよう構成できる。上記構成により、ステージ上に載置された測定対象物が受光部に接触する事態を回避することができる。

30

さらにまた、本発明の第11の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記光軸方向駆動部が、自動合成の際に、前記ステージの初期位置から、いずれか一方の方向に前記ステージを移動させ、前記判定処理による終了条件が満たされない場合は、いずれか他方の方向に前記ステージを移動させ、終了条件が満たされるまで往復動作を行うよう構成することができる。

【0020】

さらにまた、本発明の第12の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、さらに前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する前記焦点位置変更処理を終了する所定の終了条件を設定するための終了条件設定部を備えることができる。

40

【0021】

さらにまた、本発明の第13の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記判定処理による前記所定の終了条件を、前記ステージがそれ以上移動できない位置に到達した状態とできる。

【0022】

さらにまた、本発明の第14の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記判定処理による前記所定の終了条件を、未測定だが縞画像が取得できない状態とできる。

【0023】

50

さらにまた、本発明の第15の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、さらに前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する範囲を設定するための深度範囲設定部を備えることができる。上記構成により、深度を自動拡張したい範囲をユーザが設定できる。また深度拡張が不要な範囲をマスク領域として除外することも可能となる。

【0024】

さらにまた、本発明の第16の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、さらに前記光軸方向駆動部を制御して前記受光部の焦点位置を変更する焦点位置変更処理を、指定した範囲で行うか、自動的に拡張するかを切り替えるための深度拡張モード選択部を備えることができる。

【0025】

さらにまた、本発明の第17の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、前記ステージをXY方向に移動させて取得した複数の立体形状データを連結する前記合成処理の際に、各XY位置において、前記焦点位置変更処理を自動的にを行い、生成された複数の立体形状データ同士が連結されるよう構成できる。

さらにまた、本発明の第18の側面に係る形状測定装置によれば、上記何れかの構成に加えて、さらに前記ステージの高さを検出するスケールユニットを備えており、前記スケールユニットで前記ステージの高さを検出する移動軸を、前記受光部の光軸と平行に近接して配置することができる。

【0026】

さらにまた、本発明の第19の側面に係る形状測定方法によれば、測定対象物の高さを検出して、立体形状データを生成するための形状測定方法であって、測定の対象となる測定対象物をステージに載置し、該測定対象物に対してパターン光を投光部から投光し、測定対象物から反射されたパターン光を受光部で受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する工程と、前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動して、前記受光部の焦点位置を調整する工程と、前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、前記受光部の光軸と直交する測定範囲内に存在する測定対象物の形状を測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく立体形状データを、立体形状データ生成部で生成する工程と、前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在するか否かに基づいて、未測定の画素領域が存在するか否かを、判定処理部で判定する工程と、前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在すると判定された場合に、測定対象物に対する前記受光部の相対的なXY方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を焦点位置変更処理部で変更する工程と、前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状データ生成部による立体形状データ生成処理、前記判定処理部による判定処理、前記焦点位置変更処理部による焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを生成し、生成された複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを合成処理部で生成する工程とを含むことができる。

【0027】

さらにまた、本発明の第20の側面に係る形状測定プログラムによれば、測定対象物の高さを検出して、立体形状データを生成するための形状測定プログラムであって、測定の対象となる測定対象物をステージに載置し、該測定対象物に対してパターン光を投光部から投光し、測定対象物から反射されたパターン光を受光部で受光し、該受光したパターン光に基づいて高さ情報を算出する深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータと、深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータとを含む縞画像を受光データとして出力する機能と、前記ステージを前記受光部に対して光軸方向に相対的に移動して、前記受光部の焦点位置を調整する機能と、前記受光部が出力した複数の受光データに基づいて、

10

20

30

40

50

前記受光部の光軸と直交する測定範囲内に存在する測定対象物の形状を測定し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射、立体形状データ生成部で生成する機能と、前記測定範囲において、前記深度測定範囲外の測定対象物から反射されたデータが存在するか否かに基づいて、未測定の画素領域が存在するか否かを、判定処理部で判定する機能と、前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在すると判定された場合に、測定対象物に対する前記受光部の相対的なX Y方向の位置関係を維持した状態で前記受光部の焦点位置を焦点位置変更処理部で変更する機能と、前記判定処理部による判定処理により、未測定の画素領域が存在しないと判定されるまで、前記立体形状データ生成部による立体形状データ生成処理、前記判定処理部による判定処理、前記焦点位置変更処理部による焦点位置変更処理を自動的に繰り返し、前記深度測定範囲内の測定対象物から反射されたデータに基づく複数の立体形状データを生成し、生成された複数の立体形状データを合成した合成立体形状データを合成処理部で生成する機能とをコンピュータに実現させることができる。

10

【0028】

また第21の側面に係るコンピュータで読み取り可能な記録媒体又は記録した機器は、上記プログラムを格納するものである。記録媒体には、CD-ROM、CD-R、CD-RWやフレキシブルディスク、磁気テープ、MO、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD+R、DVD-RW、DVD+RW、Blu-ray（登録商標）、HDDVD(AOD)等の磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、半導体メモリその他のプログラムを格納可能な媒体が含まれる。またプログラムには、上記記録媒体に格納されて配布されるものの他、インターネット等のネットワーク回線を通じてダウンロードによって配布される形態のものも含まれる。さらに記録媒体にはプログラムを記録可能な機器、例えば上記プログラムがソフトウェアやファームウェア等の形態で実行可能な状態に実装された汎用もしくは専用機器を含む。さらにまたプログラムに含まれる各処理や機能は、コンピュータで実行可能なプログラムソフトウェアにより実行してもよいし、各部の処理を所定のゲートアレイ(FPGA、ASIC、DSP)等のハードウェア、又はプログラムソフトウェアとハードウェアの一部の要素を実現する部分的ハードウェアモジュールとが混在する形式で実現してもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の実施形態1に係る計測顕微鏡装置を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施形態2に係る計測顕微鏡装置を示すブロック図である。

【図3】本発明の実施形態3に係る計測顕微鏡装置を示すブロック図である。

【図4】図1の撮像手段の構成を示すブロック図である。

【図5】計測顕微鏡装置操作プログラムのGUIの一例を示すイメージ図である。

【図6】テレセントリック両側投光の光学系を示す模式図である。

【図7】左右投光と測定範囲の関係を示す模式図である。

【図8】上ヘッドと下ヘッドを接続した状態を示す側面図である。

【図9】下ヘッドの内部構成を示す概略図である。

【図10】形状測定の手順を示すフローチャートである。

【図11】テクスチャ画像を取得する手順を示すフローチャートである。

【図12】計測設定を行う手順を示すフローチャートである。

【図13】図13Aは、ステージの下方にZステージを配置し、スケール部を離間させた構成を示す模式図、図13Bは、ステージの下方にスケールユニットを配置し、Zステージを背面に配置した構成を示す模式図である。

【図14】図14Aは高さA、図14Bは高さB、図14Cは高さCにおける、測定範囲を示す模式図である。

【図15】図15A～図15Cは、図14A、図14B、図14Cの各高さで得られた光学画像、図15D～図15Fは、図14A、図14B、図14Cの各高さで得られた縞画像を、それぞれ示すイメージ図である。

30

40

50

【図16】図16Aは図14Aの高さA、図16Bは図14Bの高さB、図16Cは図14Cの高さCで得られた測定結果を、図16Dはこれらを連結する様子を示す模式図である。

【図17】図17Aは深度探索範囲内のデータを非表示とした合成画像のイメージ図、図17Bは深度探索範囲内のデータを表示させた合成画像のイメージ図である。

【図18】図18Aは別の測定対象物の深度探索範囲内のデータを非表示とした合成画像のイメージ図、図18Bは深度探索範囲内のデータを表示させた合成画像のイメージ図である。

【図19】測定可能な高さ範囲外で深度探索範囲内にある測定対象物の高さ位置に縞画像が確認できる状態を示すイメージ図である。

10

【図20】別の測定対象物に対して、測定可能な高さ範囲外で深度探索範囲内にある高さ位置に縞画像が確認できる状態を示すイメージ図である。

【図21】連結時の画像の粗さとピッチの関係を示すグラフである。

【図22】連結測定範囲を自動で決定する深度探索範囲を説明する模式図である。

【図23】取得済みの画素を累積する様子を示す模式図である。

【図24】累積画像の変遷を示す模式図である。

【図25】自動深度拡張の手順を示すフローチャートである。

【図26】実施例2に係る自動深度拡張を説明する模式図である。

【図27】形状測定プログラムのフルオートモードのユーザインターフェース画面を示すイメージ図である。

20

【図28】測定モード選択を行う例を示すイメージ図である。

【図29】深度拡張モード選択を行う例を示すイメージ図である。

【図30】測定方向選択を行う例を示すイメージ図である。

【図31】測定明るさ設定を行う例を示すイメージ図である。

【図32】手動深度拡張の手順を示すフローチャートである。

【図33】図33Aは測定対象物を表示させた光学画像A、図33Bは図33Aよりも高い焦点位置の光学画像B、図33Cは図33Bよりも高い焦点位置の光学画像C、図33Dは図33Aの高さ画像D、図33Eは図33Bの高さ画像E、図33Fは図33Cの高さ画像F、図33Gは図33D、図33E、図33Fの高さ画像を合成した合成高さ画像Gを、それぞれ示すイメージ図である。

30

【図34】3D測定画面のマニュアル観察画面を示すイメージ図である。

【図35】高さ画像を示す3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

【図36】3D測定画面を示すイメージ図である。

【図37】図36の高さ指定位置で得られた高さ画像を示す3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

【図38】図35の高さ画像を合成した合成高さ画像を表示する3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

【図39】高さ画像と合成高さ画像を一覧表示する3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

【図40】図35の高さ画像を合成した合成高さ画像を表示する3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

40

【図41】図40の高さ画像を異なる角度から見た3Dプレビュー画面を示すイメージ図である。

【図42】部分領域の設定例を示すイメージ図である。

【図43】図42の測定対象物の光学画像を示すイメージ図である。

【図44】図44Aは、図43の測定対象物から通常測定モードで生成された高さ画像、図44Bは、反射/潜り込み光除去モードで生成された高さ画像のイメージ図である。

【図45】図45Aはある測定対象物の縞画像のイメージ図、図45Bは図45Aの測定対象物の内、金属部分の輝度プロファイル、図45Cは穴部分の輝度プロファイル、図45Dは白樹脂部分の輝度プロファイルである。

50

【図４６】部分領域測定設定を自動調整して合成立体形状データを生成する手順を示すフローチャートである。

【図４７】測定対象物に複数の部分領域を設定した状態を示す側面図である。

【図４８】図４７の分割測定領域毎の部分領域測定設定を示す表である。

【発明を実施するための形態】

【００３０】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。ただし、以下に示す実施の形態は、本発明の技術思想を具体化するための形状測定装置、形状測定方法、形状測定プログラム及びコンピュータで読み取り可能な記録媒体を例示するものであって、本発明は形状測定装置、形状測定方法、形状測定プログラム及びコンピュータで読み取り可能な記録媒体を以下のものに特定しない。また、本明細書は特許請求の範囲に示される部材を、実施の形態の部材に特定するものでは決してない。特に実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特に特定の記載がない限りは、本発明の範囲をそれのみに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。さらに、本発明を構成する各要素は、複数の要素を同一の部材で構成して一の部材で複数の要素を兼用する態様としてもよいし、逆に一の部材の機能を複数の部材で分担して実現することもできる。

【００３１】

本明細書において、「テクスチャ画像」とは、光学画像に代表される、テクスチャ情報を有する観察画像である。一方、「高さ画像」とは、距離画像等とも呼ばれるものであり、高さ情報を含む画像の意味で使用される。例えば、高さ情報を輝度や色度等に変換して二次元画像として表示した画像や、高さ情報をZ座標情報として三次元状に表示した画像が挙げられる。またこのような高さ画像にテクスチャ画像をテクスチャ情報として貼り付けた三次元の合成画像も、高さ画像に含む。また、本明細書において高さ画像の表示形態は二次元状に表示されるものに限られず、三次元状に表示されるものも含む。例えば、高さ画像の有する高さ情報を輝度等に変換して二次元画像として表示したものや、高さ情報をZ座標情報として三次元状に表示したものを含む。

【００３２】

さらに本明細書において測定対象物をステージ上に置く「姿勢」とは、測定対象物の回転角度を意味する。なお、測定対象物が円錐のような平面視において点対称の形状の場合は、回転角度に依らず同じ結果が得られるため、姿勢は規定する必要がない。

[実施形態１]

【００３３】

本発明の実施形態１に係る形状測定装置の構成を示すブロック図を図１に示す。形状測定装置５００は、図１に示すように、撮像手段１００、制御手段２００、光源部３００、表示部４００及び操作デバイス４５０を備える。この構成は一例であって、各部材や各部材に含まれる機能ブロックは、適宜統合させたり、分割させることができる。例えば、制御手段に光源部を含めてもよい。また制御手段を、コントローラと汎用コンピュータに分割してもよい。

(撮像手段１００)

【００３４】

撮像手段１００は、投光部１１０と、受光部１２０と、測定制御部１５０と、ステージ１４０と、光軸方向駆動部１４６と、ステージ平面方向駆動部１４８を備える。投光部１１０は、ステージ１４０上に載置された測定対象物WKに対し、パターン光を照射するための部材である。受光部１２０は、投光部１１０から照射されて、測定対象物WKで反射されたパターン光を受光して、受光データを出力する。測定制御部１５０は、投光部１１０の投光と受光部１２０の受光を駆動し、また受光部１２０の受光データを出力するための部材である。この撮像手段は、パターン投影法に基づいて測定対象物WKの形状を測定

する。

[実施形態 2]

【0035】

図1の例では、高さ画像を取得するための測定光を投光するパターン投光系と、テクスチャ画像を撮像するための照明光を照射する照明投光系を、別個に設けた例を説明した。ただ本発明は、投光系を個別に設ける構成に限定せず、投光系を共通化してもよい。このような例を実施形態2として、図2のブロック図に示す。この図に示す形状測定装置500Bにおいて、図1と同様の部材については、同じ符号を付して詳細説明を省略する。

【0036】

実施形態2に係る形状測定装置500Bは、図1の形状測定装置500と比べて、照明光出力部及び観察用照明光源を備えていない。この形状測定装置500Bでは、投光部110が照明光の照射を兼用している。例えば投光部110がパターン投影する際のパターンをすべて点灯として照射することで、面状光源として利用して照明光と同様の光を照射できる。この構成であれば、照明光出力部を省略できるので、形状測定装置の構成を簡素化できる利点が得られる。

10

【0037】

一方、ステージ140は、測定対象物WKを載置するための部材である。また光軸方向駆動部146は、ステージ140を受光部120に対して光軸方向に相対的に移動させることにより、受光部120の焦点位置を調整するための部材である。この例では光軸方向駆動部146は、ステージ140側を駆動させて、焦点距離を調整する焦点調整部として機能する。また光軸方向駆動部146は、電動でステージ140を駆動するステージ駆動部と、手でステージ140を操作するためのステージ操作部を備えている。これら詳細については後述する。

20

【0038】

またステージ平面方向駆動部148は、ステージ140を受光部120の光軸方向と直交するステージ平面方向に相対的に移動させるための部材である。ステージ平面方向駆動部148はステージ140を水平面内で駆動させる駆動部であり、視野範囲を調整することができる。ステージ140側を駆動させる例においては、ステージ平面方向駆動部148はXYステージ141に相当し、一方光軸方向駆動部146はZステージ142に相当する。

30

[実施形態 3]

【0039】

ただ本発明は、光軸方向駆動部146をステージ140側の移動に限定せず、投光部110及び受光部120側を移動させてもよい。このような例を実施形態3に係る形状測定装置として、図3のブロック図に示す。この図に示す形状測定装置500Cにおいても、図1等と同様の部材については、同じ符号を付して詳細説明を省略する。

【0040】

実施形態3に係る形状測定装置500Cは、撮像手段100Cにおいて、ステージ140側の高さを固定する一方、光軸方向駆動部146Cで、投光部110及び受光部120側を移動させている。光軸方向駆動部146Cは、投光部110や受光部120などの撮像系を手動で操作するための撮像系操作部144Cと、撮像系を電動で駆動するための撮像系駆動部145Cを備えている。この構成であっても、同様に焦点位置を調整できる。またステージ140の高さを一定とすることで、ステージ140上に測定対象物WKを載置する高さを一定に維持できるので、測定対象物WKの載置作業をスムーズに行える利点が得られる。なお、ステージ側と投光部及び受光部側の両方を移動可能とさせてもよい。このように本明細書においては、ステージ側、あるいは投光部及び受光部側のいずれか又は両方を移動させる場合でも、深度方向に焦点位置を調整できる。よって本明細書において「ステージを受光部に対して光軸方向に相対的に移動させる」というときは、ステージ側を移動させる態様と投光部及び受光部側を移動させる態様、及び両者を移動させる態様を含むものとする。

40

50

(制御手段 2 0 0)

【 0 0 4 1 】

制御手段 2 0 0 は、立体形状データ生成部 2 1 2 と、三次元画像合成部 2 1 3 と、判定処理部 2 1 4 と、深度拡張処理部 2 1 5 と、合成処理部 2 1 6 と、測定設定自動調整部 2 1 7 と、立体形状データ連結部 2 1 9 と、記憶部 2 4 0 と、設定部 2 5 0 とを備える。

(測定設定自動調整部 2 1 7)

【 0 0 4 2 】

測定設定自動調整部 2 1 7 は、各部分領域の立体形状データ及び該立体形状データを生成する際に各部分領域で取得された受光データの少なくとももいづれかに基づいて、該部分領域の測定設定を自動的に調整するための部材である。測定設定自動調整部 2 1 7 は、各部分領域において、部分領域測定設定を自動的に調整し、必要に応じて各部分領域の測定設定に変更する。このように各部分領域の測定設定が変更された場合、この部分領域の測定設定に従って、立体形状データ生成部で再度立体形状データを生成し直す。すなわち、調整後の各部分領域の測定設定に従って、投光部でパターン光を投光し、受光部で調整受光データを受光し、これに基づいて、立体形状データ生成部で調整立体形状データを生成する。さらに立体形状データ連結部 2 1 9 でこの調整立体形状データを連結して連結調整立体形状データを生成する。これにより、一旦取得された受光データや立体形状データに基づいて最適な条件に変更された各部分領域の測定設定でもって立体形状データを生成し、より正確な計測を行うことが可能となる。

(立体形状データ連結部 2 1 9)

【 0 0 4 3 】

立体形状データ連結部 2 1 9 は、測定設定調整部により調整された部分領域測定設定に従って測定された各部分領域の立体形状データを連結し、連結領域に対応する連結立体形状データを生成するための部材である。

(立体形状データ生成部 2 1 2)

【 0 0 4 4 】

立体形状データ生成部 2 1 2 は、連結領域設定部 2 5 6 で設定された各部分領域において、測定設定部 2 5 5 で設定された測定設定に従って、受光部により出力された受光データに基づいて、測定対象物の形状を示す立体形状データをパターン投影法で生成する部材である。図 1 等の例では、立体形状データ生成部 2 1 2 は、投光部 1 1 0 により順次位相をシフトして投光され、測定対象物 W K の表面から反射した光を受光部 1 2 0 が複数回受光し、出力した複数の受光データに基づいて、測定対象物 W K の表面形状によって変化する位相データを取得し、当該位相データに基づいて、受光部 1 2 0 の光軸と直交するステージ平面内に存在する測定対象物 W K の形状をパターン投影法で測定して立体形状データを取得する。このステージ平面は、面状に指定され、例えば X Y 平面上で指定される。また立体形状データは、画素毎に取得することが好ましい。なおここでいう立体形状データは、高さ情報を測定可能なデータの意味である。例えば、測定対象物を示す各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ画像が、立体形状データに含まれる。すなわち立体形状データは、必ずしも高さ情報を直接有していることは要さず、例えば高さ情報を測定前の、パターン投影法で測定した縞画像や、位相データ、縞画像から画素毎に測定対象物の三次元座標 (例えば X Y Z 座標) を示す高さ情報を計測したデータも、立体形状データに含む。

【 0 0 4 5 】

また立体形状データ生成部 2 1 2 は、高さ画像を生成することもできる。このため立体形状データ生成部 2 1 2 は、高さ画像を生成する高さ画像生成部 2 1 2 b や、高さ画像に対して計測を行う形状測定処理部 2 1 2 c を含めることができる。このように立体形状データ生成部 2 1 2 を、立体形状データに含まれる、測定対象物を示す各画素が測定対象物の三次元座標を示す高さ画像を生成するよう構成してもよい。

(判定処理部 2 1 4)

【 0 0 4 6 】

判定処理部 2 1 4 は、立体形状データ取得部 2 1 2 により取得された立体形状データに

基づいて、深度測定範囲内に高さ情報を有さない未測定の領域が存在するか否かを、所定の判定条件に従って判定するための部材である。パターン投影法では、縞パターンのコントラストが低くても、隣り合う明部と暗部が区別できる程度のコントラストを有していれば、立体形状データの取得が可能である。したがって、深度測定範囲とは、ステージ140を受光部120、投光部110、又はその両方に対し、相対的に移動させることなく高さ情報を取得可能な受光部120の光軸方向のある一定の幅を有する範囲を示す。より詳細には、深度測定範囲は、投光部110により測定対象物WK上に投光された縞パターンが最も大きいコントラストで撮像される位置に対し、光軸方向上下に一定の範囲を有する。ここで、一定の範囲とは、受光部120により投光部110から投光された縞パターンが少なくとも撮像可能な範囲であり、異なる方向からパターン光を投光する投光部110が複数存在する場合は、すべての投光部110から投光された縞パターンが撮像される範囲に基づいて定義されてよい。また、未測定の領域とは、立体形状データの内、高さ情報を取得できないデータを指す。例えば縞投影の縞パターンが映っていない画素や複数の画素からなる領域が挙げられる。また所定の判定条件には、立体形状データに含まれる縞画像のコントラストや、輝度が所定値に至っているかなどが挙げられる。

10

【0047】

すなわち、最終的な立体形状データが得られていない画素の中で、パターンが投影されていることが判定できる程度の輝度値が得られている画素が存在する場合には、測定対象物が存在しているものと判断して、これを元に深度測定範囲を変えて立体形状データの取得を試みる。

20

【0048】

判定処理部214は、このような判定条件に基づいて、高さの計測が可能な程度に縞パターンが得られているかを判定することで、深度測定範囲内に高さ情報を有さない未測定の領域が存在するか否かを判断できる。

【0049】

また判定処理部214は、深度測定範囲内で高さ情報を測定可能な取得済みの画素を累積して、この取得済み画素を累積した累積画像に基づいて未測定の画素が存在するか否かを判定するよう構成できる。

【0050】

さらに判定処理部214は、深度測定範囲内のいずれかの部位に立体形状データを有するか否かを判定し、未測定画素の有無を判定するよう構成してもよい。このように、深度測定範囲内に高さが測定できた画素があれば、深度を自動拡張するようにしてもよい。すなわち深度測定範囲内で一点でも測定できたら、拡張するように制御することもできる。(深度拡張処理部215)

30

【0051】

深度拡張処理部215は、判定処理部214による未測定判定処理により、未測定の領域が存在すると判定された場合に、光軸方向駆動部146を制御して受光部120の焦点位置を変更するための部材である。

(設定部250)

【0052】

設定部250は、位置指定部251と、終了条件設定部252と、深度範囲設定部253と、深度拡張モード選択部254と、測定設定部255と、連結領域設定部256と、測定モード選択部257を備える。

40

(位置指定部251)

【0053】

位置指定部251は、表示部400上に表示された測定対象物WKの画像上で、XY位置を指定するための部材である。

(終了条件設定部252)

【0054】

終了条件設定部252は、光軸方向駆動部146を制御して受光部120の焦点位置を

50

変更する焦点位置変更処理を終了する所定の終了条件を設定するための部材である。

【 0 0 5 5 】

ここで判定処理部 2 1 4 による所定の終了条件とは、移動範囲の物理的な限界、例えばステージ 1 4 0 がそれ以上移動できない位置に到達した状態が挙げられる。また所定の終了条件として、そもそも測定できない状態の他、未測定だが縞画像が取得できない状態も挙げられる。

【 0 0 5 6 】

なお深度拡張処理部 2 1 5 は、光軸方向駆動部 1 4 6 を動作させる際に、受光部 1 2 0 とステージ 1 4 0 との距離が長くなる方向に動作させることが好ましい。これにより、ステージ 1 4 0 上に載置された測定対象物 W K が受光部 1 2 0 に接触する事態を回避することができる。この場合、受光部 1 2 0 とステージ 1 4 0 が離れる一方向にのみ動作するため、ステージの初期位置を適切に設定しないと、測定対象物 W K の全体を測定することができなくなる。使用者はステージ 1 4 0 を受光部 1 2 0 の光軸方向に移動させながら、測定を行いたい測定対象物 W K の最も低い位置（受光部 1 2 0 が離れた位置）の測定が可能で、且つ測定対象物 W K の最も高い位置（受光部 1 2 0 に最も近い位置）が受光部 1 2 0 に衝突しない位置にステージ 1 4 0 の初期位置としてセットする。この作業は、使用者が表示部 4 0 0 に表示された立体形状データを確認したり、実際のステージ 1 4 0 と受光部 1 2 0 との距離を目視で確認することにより行うことができる。

【 0 0 5 7 】

一方で、深度拡張処理部 2 1 5 が、受光部 1 2 0 とステージ 1 4 0 との距離が短くなる方向にも光軸方向駆動部 1 4 6 の動作を許容する場合は、ステージ 1 4 0 上の測定対象物 W K がカメラ等と接触する事態を阻止するための機構を備えることが好ましい。例えば、測定対象物 W K の最も高い部位の大まかな高さを予め取得しておき、この高さよりも短い距離に受光部 1 2 0 とステージ 1 4 0 とが接近することを禁止するように、深度拡張処理部 2 1 5 で光軸方向駆動部 1 4 6 の動作を制限する。受光部 1 2 0 とステージ 1 4 0 との距離が短くなる方向、及び長くなる方向の両方向にステージの移動を許容する場合は、ステージ 1 4 0 の初期位置から、まずいずれか一方の方向にステージ 1 4 0 を移動して、判定処理部 2 1 4 による終了条件が満たされない場合は、他方の方向にステージ 1 4 0 を移動し、終了条件が満たされるまで往復動作を行う。

【 0 0 5 8 】

深度範囲設定部 2 5 3 は、光軸方向駆動部 1 4 6 を制御して受光部 1 2 0 の焦点位置を変更する範囲を設定するための部材である。

【 0 0 5 9 】

深度拡張モード選択部 2 5 4 は、光軸方向駆動部 1 4 6 を制御して受光部 1 2 0 の焦点位置を変更する焦点位置変更処理を、所定の範囲内で行うか、自動的に拡張するかを切り替えるための部材である。

（測定設定部 2 5 5）

【 0 0 6 0 】

測定設定部 2 5 5 は、連結領域を設定するための部材である。連結領域は、複数の部分領域に分割される。各部分領域は、形状測定装置で測定可能な視野又はこれよりも若干狭い領域に対応する。このように複数の部分領域に分けて、各部分領域にステージを平面方向駆動部で移動させ、それぞれで生成した立体形状データを X Y 平面方向に連結することで、ハードウェア仕様上の制限のある視野を拡大した広域画像を得ることが可能となる。

（連結領域設定部 2 5 6）

【 0 0 6 1 】

連結領域設定部 2 5 6 は、平面方向駆動部で平面方向におけるステージの相対位置を移動させる領域として、複数の部分領域で構成された連結領域を設定する部材である。

（測定モード選択部 2 5 7）

【 0 0 6 2 】

測定モード選択部 2 5 7 は、立体形状データ生成部で測定対象物の立体形状データを生

10

20

30

40

50

成する際の測定モードとして、通常モードと、通常モードよりも精細な測定を行うためのファインモードと、受光データからハレーションを除去するハレーション除去モードのいずれかを選択するための部材である。

(合成処理部 2 1 6)

【 0 0 6 3 】

合成処理部 2 1 6 は、判定処理部 2 1 4 による未測定判定処理により、未測定の領域が存在しないと判定されるか、又は所定の終了条件を満たすまで、立体形状データ生成部 2 1 2 による立体形状データ取得処理、判定処理部 2 1 4 による未測定判定処理、深度拡張処理部 2 1 5 による焦点位置変更処理を自動的に繰り返して生成された複数の高さ画像を合成した合成高さ画像を生成するための部材である。

10

【 0 0 6 4 】

このような形状測定装置により、深度方向の測定範囲を各視野において拡張することが可能となる。

(高さ情報の取得方法)

【 0 0 6 5 】

本実施形態では、高さ情報を取得するための方法として、三角測距の原理に基づくパターン投影法を用いている。この方式では、1回の深度測定範囲が広い三角測距方式をベースにしなが、測定対象物又は形状測定装置の位置を、物理的又は光学的に移動させて測定を繰り返す。そして得られた測定結果を合成していくことで、1回の測定で実現できる深度測定範囲を移動した分だけ、深度方向にトータルの高さを拡張していくことができる。この結果、高速に、かつ三角測距方式よりも広い範囲を測定可能となる。これによって、より広い視野を、高い分解能で計測可能な形状測定装置や形状測定方法が実現される。

20

(XY画像連結機能)

【 0 0 6 6 】

また合成処理部 2 1 6 は、ステージ 1 4 0 を XY 方向に移動させて撮像した XY 座標が異なる複数の高さ画像を、XY 平面上で連結することもできる。このような XY 連結の場合は、ステージ平面方向駆動部 1 4 8 でもってステージ 1 4 0 を水平方向に移動させて、異なる視野範囲で撮像した画像を水平方向に連結する。例えばテクスチャ画像取得部 2 1 8 で複数回に分けて撮像された、異なる部位を示すテクスチャ画像同士を XY 連結部で連結して、大きなテクスチャ画像として連結画像を、基準対象画像や検査対象画像として利用することもできる。特に高倍率な光学画像等を撮像可能な形状測定装置においては、低倍率なテクスチャ画像ではその能力を十分に発揮できないことがあり、高倍率で高精細なテクスチャ画像を画像連結機能で生成して、精度の高い画像検査を実現することができる。あるいは、高倍率の画像は視野が狭いため、異なる視野で撮像した画像同士を連結することで視野を拡大した連結画像を得ることもできる。また画像連結機能、ここでは XY 連結機能はテクスチャ画像に限らず、高さ画像や合成高さ画像、あるいはテクスチャ画像と高さ画像を合成した合成画像に対しても実行することができる。ステージ 1 4 0 を XY 方向に移動させて取得した複数の立体形状データを連結する場合は、各 XY 位置において、深度拡張処理部 2 1 5 による深度拡張処理を自動的にを行い、生成された複数の立体形状データ同士が連結される。これにより、XY 方向に大きく、且つ高さ方向に大きな起伏がある測定対象物 WK であっても、測定対象物 WK 全体の測定を容易に行うことができる。また、各 XY 位置で測定対象物 WK に高さ方向の起伏が異なる場合、各 XY 位置において深度拡張処理部 2 1 5 による深度拡張処理の有無、又は回数が異なる。例えば、測定対象物が割と平坦であり、1回の測定で全体が測定深度範囲に収まる XY 位置では深度拡張処理を行わずに立体形状データを生成し、測定対象物の起伏が大きく、深度拡張処理が必要な XY 位置では複数回の深度拡張処理を行って立体形状データを生成し、これらの立体形状データ同士を XY 方向に連結することができる。

30

40

【 0 0 6 7 】

記憶部 2 4 0 は、各種のデータを保存したり、設定値を記憶するための部材であり、半導体記憶素子等が利用できる。ここでは記憶部 2 4 0 は、高さ画像を保存する高さ画像記

50

憶部 2 4 1 と、テクスチャ画像を保存するテクスチャ画像記憶部 2 4 2 と、測定設定自動調整部 2 1 7 により調整された各部分領域の測定設定を保存するための測定設定保存部 2 4 3 を備える。

【 0 0 6 8 】

表示部 4 0 0 は、取得した画像等を表示するための部材である。例えば L C D や有機 E L 、 C R T 等が利用できる。

【 0 0 6 9 】

操作デバイス 4 5 0 は、ユーザの入力等を受け付けるための部材であり、マウスやキーボード、コンソール等の入力デバイスが利用できる。また表示部 4 0 0 にタッチパネルを使用することで、表示部と操作デバイスを兼用することもできる。

(ブロック図)

【 0 0 7 0 】

図 1 の形状測定装置 5 0 0 の撮像手段 1 0 0 の構成例を、図 4 のブロック図に示す。撮像手段 1 0 0 は、投光部 1 1 0 、受光部 1 2 0 、照明光出力部 1 3 0 、ステージ 1 4 0 及び測定制御部 1 5 0 を含む。投光部 1 1 0 は、測定光源 1 1 1 、パターン生成部 1 1 2 及び複数のレンズ 1 1 3 、 1 1 4 、 1 1 5 を含む。受光部 1 2 0 は、カメラ 1 2 1 及び複数のレンズ 1 2 2 、 1 2 3 を含む。ステージ 1 4 0 上には、測定対象物 W K が載置される。

(投光部 1 1 0)

【 0 0 7 1 】

投光部 1 1 0 は、ステージ 1 4 0 の斜め上方に配置される。撮像手段 1 0 0 は、複数の投光部 1 1 0 を含んでもよい。図 4 の例においては、撮像手段 1 0 0 は 2 つの投光部 1 1 0 を含む。ここでは、第一の方向から測定対象物 W K に対してパターン光を照射可能な第一投光部 1 1 0 A (図 4 において右側) と、第一の方向とは異なる第二の方向から測定対象物 W K に対してパターン光を照射可能な第二投光部 1 1 0 B (図 4 において左側) を、それぞれ配置している。第一投光部 1 1 0 A 、第二投光部 1 1 0 B は受光部 1 2 0 の光軸を挟んで対称に配置される。なお投光部を 3 以上備えたり、逆に投光部を一のみとしたり、あるいは共通の投光部を用いながら、投光部とステージを相対移動させることで照明の方向を異ならせて投光させることも可能である。さらに図 4 の例では投光部 1 1 0 が投光する垂直方向に対する照明光の照射角度を固定としているが、これを可変とすることもできる。

【 0 0 7 2 】

図 4 の受光部 1 2 0 は、第一投光部 1 1 0 A から照射され、測定対象物 W K から反射された第一パターン光を受光して第一受光データを出力する。その一方でこの受光部 1 2 0 は、第二投光部 1 1 0 B から照射され、測定対象物 W K から反射された第二パターン光を受光して第二受光データを出力する。受光部 1 2 0 が出力する受光データは、例えば縞投影法に基づく縞画像である。

【 0 0 7 3 】

また受光データを受ける立体形状データ取得部 2 1 2 は、受光部 1 2 0 が受光した第一受光データに基づいて、測定対象物 W K の第一高さ画像を生成する。一方で、立体形状データ取得部 2 1 2 は、受光部 1 2 0 が受光した第二受光データに基づいて、測定対象物 W K の第二高さ画像を生成する。

(深度測定範囲)

【 0 0 7 4 】

ここで、ステージ 1 4 0 上の受光部 1 2 0 の撮影視野の位置するステージ平面内において、第一投光部 1 1 0 A 及び第二投光部 1 1 0 B から、第一パターン光及び第二パターン光をそれぞれ照射可能な共通の高さ範囲を、深度測定範囲とする。合成処理部 2 1 6 は、この深度測定範囲内の立体形状データを有する第一高さ画像と第二高さ画像を合成して、合成高さ画像を生成する。

(深度探索範囲)

【 0 0 7 5 】

10

20

30

40

50

一方で、ステージ 1 4 0 上の受光部 1 2 0 のステージ平面内に、第一投光部 1 1 0 A 及び第二投光部 1 1 0 B のいずれか一方のみから、第一パターン光又は第二パターン光を照射可能な領域を含む高さ範囲を深度探索範囲とする。判定処理部 2 1 4 は、この深度探索範囲内に測定対象物 W K の表面領域が存在するか否かを判定条件とすることができる。

(測定光源 1 1 1)

【0 0 7 6】

各第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の測定光源 1 1 1 は、例えば白色光を出射するハロゲンランプである。測定光源 1 1 1 は、白色光を出射する白色 L E D (発光ダイオード) 等の他の光源であってもよい。測定光源 1 1 1 から出射された光(以下、「測定光」と呼ぶ。)は、レンズ 1 1 3 により適切に集光された後、パターン生成部 1 1 2 に入射する。

10

【0 0 7 7】

パターン生成部 1 1 2 は、例えば D M D (デジタルマイクロミラーデバイス)である。パターン生成部 1 1 2 は、L C D (液晶ディスプレイ)、L C O S (Liquid Crystal on Silicon: 反射型液晶素子)又はマスクであってもよい。パターン生成部 1 1 2 に入射した測定光は、予め設定されたパターン及び予め設定された強度(明るさ)に変換されて出射される。パターン生成部 1 1 2 により出射された測定光は、複数のレンズ 1 1 4、1 1 5 により受光部 1 2 0 の観察・測定可能な視野よりも大きい径を有する光に変換された後、ステージ 1 4 0 上の測定対象物 W K に照射される。

【0 0 7 8】

20

なお図 4 の配置は一例であり、光学系部材の配置は適宜変更できる。例えばパターン生成部 1 1 2 をレンズ 1 1 5 の出射面側に配置してもよい。

(受光部 1 2 0)

【0 0 7 9】

受光部 1 2 0 は、ステージ 1 4 0 の上方に配置される。測定対象物 W K によりステージ 1 4 0 の上方に反射された測定光は、受光部 1 2 0 の複数のレンズ 1 2 2、1 2 3 により集光、結像された後、カメラ 1 2 1 により受光される。

(カメラ 1 2 1)

【0 0 8 0】

カメラ 1 2 1 は、例えば撮像素子 1 2 1 a 及びレンズを含む C C D (電荷結合素子)カメラである。撮像素子 1 2 1 a は、例えばモノクロ C C D (電荷結合素子)である。撮像素子 1 2 1 a は、C M O S (相補性金属酸化膜半導体)イメージセンサ等の他の撮像素子であってもよい。カラーの撮像素子は各画素を赤色用、緑色用、青色用の受光に対応させる必要があるため、モノクロの撮像素子と比較すると計測分解能が低く、また各画素にカラーフィルタを設ける必要があるため感度が低下する。そのため、本実施形態では、撮像素子としてモノクロの C C D を採用し、後述する照明光出力部 1 3 0 を R G B にそれぞれ対応した照明を時分割で照射して撮像することにより、カラー画像を取得している。このような構成にすることにより、計測精度を低下させずに測定物のカラー画像を取得することができる。

30

【0 0 8 1】

40

ただ、撮像素子 1 2 1 a として、カラーの撮像素子を用いても良いことは言うまでもない。この場合、計測精度や感度は低下するが、照明光出力部 1 3 0 から R G B にそれぞれ対応した照明を時分割で照射する必要がなくなり、白色光を照射するだけで、カラー画像を取得できるため、照明光学系をシンプルに構成できる。撮像素子 1 2 1 a の各画素からは、受光量に対応するアナログの電気信号(以下、「受光信号」と呼ぶ。)が測定制御部 1 5 0 に出力される。

(測定制御部 1 5 0)

【0 0 8 2】

測定制御部 1 5 0 には、A / D 変換器(アナログ/デジタル変換器)及び F I F O (First In First Out)メモリが実装される。カメラ 1 2 1 から出力される受光信号は、光源部

50

300による制御に基づいて、測定制御部150のA/D変換器により一定のサンプリング周期でサンプリングされると共にデジタル信号に変換される。A/D変換器から出力されるデジタル信号は、FIFOメモリに順次蓄積される。FIFOメモリに蓄積されたデジタル信号は画素データとして順次制御手段200に転送される。

(制御手段200)

【0083】

図1に示すように、制御手段200は、CPU(中央演算処理装置)210、ROM220(リードオンリメモリ)、作業用メモリ230、記憶部240及び設定部250を含む。制御手段200には、PC(パーソナルコンピュータ)やワークステーション等のコンピュータが利用できる。また、専用のコントローラを用意してもよい。あるいは、汎用のコンピュータと専用のコントローラを組み合わせ、制御手段200を構築してもよい。この例では、制御手段200を、形状測定プログラムをインストールしたコンピュータで構成している。

10

【0084】

設定部250は、操作デバイス450で操作される。操作デバイス450は、キーボード及びポインティングデバイスを含む。ポインティングデバイスとしては、マウス又はジョイスティック等が用いられる。また操作デバイス450を表示部400と統合することもできる。例えば表示部400にタッチパネルを用いることで、表示部に操作部の機能を持たせることが可能となる。

【0085】

ROM220には、システムプログラムが記憶される。作業用メモリは、RAM(ランダムアクセスメモリ)からなり、種々のデータの処理のために用いられる。記憶部240は、ハードディスク等からなる。記憶部240には、画像処理プログラム及び形状測定プログラムが記憶される。また、記憶部240は、測定制御部150から与えられる画素データ等の種々のデータを保存するために用いられる。

20

【0086】

CPU210は、測定制御部150から与えられる画素データに基づいて画像データを生成する。また、CPU210は、生成した画像データに作業用メモリ230を用いて各種処理を行うと共に、画像データに基づく画像を表示部400に表示させる。さらに、CPU210は、後述するステージ駆動部145に駆動パルスを与える。さらにこのCPUは、後述する立体形状データ生成部212と、判定処理部214と、合成処理部216と、三次元画像合成部213と、深度拡張処理部215の機能を実現する。

30

(表示部400)

【0087】

表示部400は、撮像手段100で取得された測定画像や、撮像された観察画像を表示させるための部材である。表示部400は、例えばLCDパネル又は有機EL(エレクトロルミネッセンス)パネルにより構成される。

(ステージ140)

【0088】

ステージ140は、上面に測定対象物WKを載置するための部材である。このステージ140は、図1に示すようにユーザが手動でステージ140を移動させるためのステージ操作部144と、電動でステージ140を移動させるためのステージ駆動部145を備える。

40

【0089】

図4において、測定対象物WKが載置されるステージ140上の平面(以下、「載置面」と呼ぶ。)内で互いに直交する2方向をX方向及びY方向と定義し、それぞれ矢印X、Yで示す。ステージ140の載置面に対して直交する方向をZ方向と定義し、矢印Zで示す。Z方向に平行な軸を中心に回転する方向を方向と定義し、矢印で示す。なお、ステージの回転軸はZ方向に平行な光軸と平行である必要はなく、例えば当該光軸に対して45°傾いていてもよい。

50

【 0 0 9 0 】

ステージ 1 4 0 は、X Y ステージ 1 4 1、Z ステージ 1 4 2 及び ステージ 1 4 3 を含む。X Y ステージ 1 4 1 は、ステージ平面方向駆動部として、X 方向移動機構及び Y 方向移動機構を有する。Z ステージ 1 4 2 は、Z 方向移動機構を有する。ステージ 1 4 3 は、方向回転機構を有する。X Y ステージ 1 4 1、Z ステージ 1 4 2 及び ステージ 1 4 3 により、ステージ 1 4 0 が構成される。また、ステージ 1 4 0 は、載置面に測定対象物 W K を固定する固定部材（クランプ）をさらに含む。ステージ 1 4 0 は、載置面に平行な軸を中心に回転可能な機構を有するチルトステージをさらに含んでもよい。

【 0 0 9 1 】

ステージ 1 4 0 の X 方向移動機構、Y 方向移動機構、Z 方向移動機構及び 方向回転機構には、それぞれステッピングモータが用いられる。ステージ 1 4 0 の X 方向移動機構、Y 方向移動機構、Z 方向移動機構及び 方向回転機構は、図 1 のステージ操作部 1 4 4 又はステージ駆動部 1 4 5 により駆動される。

10

【 0 0 9 2 】

ユーザは、ステージ操作部 1 4 4 を手動で操作することにより、ステージ 1 4 0 の載置面を受光部 1 2 0 に対して相対的に X 方向、Y 方向もしくは Z 方向に移動させるか、又は 方向に回転させることができる。ステージ駆動部 1 4 5 は、制御手段 2 0 0 より与えられる駆動パルスに基づいて、ステージ 1 4 0 のステッピングモータに電流を供給することにより、ステージ 1 4 0 を受光部 1 2 0 に相対的に X 方向、Y 方向もしくは Z 方向に移動させるか、又は 方向に回転させることができる。

20

【 0 0 9 3 】

ここで図 4 に示すように、左右の投光部 1 1 0 の中心軸と受光部 1 2 0 の中心軸は、ステージ 1 4 0 の焦点が最も合うピント平面で互いに交差するように、受光部 1 2 0、投光部 1 1 0、ステージ 1 4 0 の相対的な位置関係が定められている。また、 方向の回転軸の中心は、受光部 1 2 0 の中心軸と一致しているため、 方向にステージ 1 4 0 が回転した際に、測定対象物 W K が視野から外れることなく、回転軸を中心に視野内で回転するようになっている。また、Z 方向移動機構に対して、これら X Y 及びチルト移動機構は支持されている。すなわち、ステージを 方向に回転させたり、チルトさせた状態であっても、受光部 1 2 0 の中心軸と、Z 方向の移動軸にずれが生じない構成になっている。このようなステージ機構により、測定対象物 W K の位置や姿勢を変化させた状態であっても、Z 方向にステージ 1 4 0 を移動させて異なる焦点位置の画像を複数撮像して合成することが可能となる。なお、本実施形態ではステッピングモータにより駆動させることが可能な電動ステージを例に説明したが、手動でのみ移動させることが可能な手動ステージであっても良い。

30

（光源部 3 0 0）

【 0 0 9 4 】

光源部 3 0 0 は、制御基板 3 1 0 及び観察用照明光源 3 2 0 を含む。制御基板 3 1 0 には、C P U が実装される。制御基板 3 1 0 の C P U は、制御手段 2 0 0 の C P U 2 1 0 からの指令に基づいて、投光部 1 1 0、受光部 1 2 0 及び測定制御部 1 5 0 を制御する。なお、この構成は一例であり、他の構成としてもよい。例えば測定制御部 1 5 0 で投光部 1 1 0 や受光部 1 2 0 を制御したり、又は制御手段 2 0 0 で投光部 1 1 0 や受光部 1 2 0 を制御することとして、制御基板を省略してもよい。あるいはこの光源部 3 0 0 に、撮像手段 1 0 0 を駆動するための電源回路を設けることもできる。

40

（観察用照明光源 3 2 0）

【 0 0 9 5 】

観察用照明光源 3 2 0 は、例えば赤色光、緑色光及び青色光を出射する 3 色の L E D を含む。各 L E D から出射される光の輝度を制御することにより、観察用照明光源 3 2 0 から任意の色の光を発生することができる。観察用照明光源 3 2 0 から発生される光（以下、「照明光」と呼ぶ）は、導光部材（ライトガイド）を通して撮像手段 1 0 0 の照明光出力部 1 3 0 から出力される。

50

【 0 0 9 6 】

照明光出力部 1 3 0 から出力される照明光は、赤色光、緑色光及び青色光を時分割で切り替えて測定対象物 W K に照射する。これにより、これらの R G B 光でそれぞれ撮像された観察画像を合成して、カラーの観察画像を得て、表示部 4 0 0 に表示させることができる。

【 0 0 9 7 】

このようにしてカラーの観察画像を表示させる際、照明光の色を切り替える切替周波数を、表示部 4 0 0 で表示内容を更新する（画面を書き換える）際のフレームレートと一致させると、フレームレートが低い場合（例えば数 H z 程度）は、ちらつきが顕著となる。特に、R G B の原色によるカラー切り替えが目立つと、ユーザに不快感を与えることがある。そこで、R G B の照明光を切り替える切替周波数を、ユーザが認識できない程度の高速（例えば数百 H z ）とすることで、このような問題を回避できる。照明光の色の切り替えは、照明光出力部 1 3 0 等により行われる。また、高速で照明光の R G B を切り替えつつも、実際に撮像手段 1 0 0 で測定対象物 W K を撮像するタイミングは、表示部 4 0 0 の表示内容の更新のタイミングとする。すなわち、観察像の撮像のタイミングと照明光の切り替えのタイミングは完全に一致させる必要はなく、撮像素子による R G B の観察画像の撮像が可能な程度に、いいかえると照明光の R G B の切り替え周期が撮像周期の倍数となるようにリンクさせることで対応できる。この方法であれば、照明光の切り替えのタイミングを高速化することができ、撮像素子 1 2 1 a で処理可能なフレームレートを向上させることなく、ユーザに与える不快感を低減できる。

【 0 0 9 8 】

図 1 の例では観察用照明光源 3 2 0 を撮像手段 1 0 0 に対して外付けとして、光源部 3 0 0 に観察用照明光源 3 2 0 を配置している。このようにすることで、観察用照明光源 3 2 0 の発熱が撮像手段 1 0 0 の光学系に影響を与える事態を回避できる。ただ、発熱量の小さい観察用照明光源を利用したり、あるいは相応の放熱機構を撮像手段側に設ける等して、撮像手段側に観察用照明光源を設けることもできる。この場合、照明光出力部に観察用照明光源を組み込む等、照明光出力部と観察用照明光源を一体化することが可能となり、光源部と撮像手段とを光学的に接続するための導光部材を不要とでき、構成を簡素化できる。同様に投光部についても、投光用光源を撮像手段に内蔵したり、あるいは光源部側に外付けとすることもできる。

【 0 0 9 9 】

図 4 の照明光出力部 1 3 0 は、円環形状を有し、受光部 1 2 0 を取り囲むようにステージ 1 4 0 の上方に配置される。これにより、影が発生しないように照明光出力部 1 3 0 から測定対象物 W K に照明光が照射される。また照明光出力部 1 3 0 は、円環形状のリング照明とする他、同軸落射照明、側射スポット照明、透過照明等としたり、これらの組み合わせとすることもできる。また投光部 1 1 0 から均一光を照射して照明光とすることで、照明光出力部を省いてもよい。例えば投光部 1 1 0 として、二次元アレイを利用した白パターン画像投影を可能とすることで、投光部 1 1 0 を照明光出力部に兼用できる。このように、投光部 1 1 0 の二次元アレイの白パターン画像投影を観察用照明光源として使用する場合は、二次元アレイを透過又は反射した光を拡散板を通して測定対象物 W K に投影することにより、二次元アレイの画素格子が測定対象物 W K に映りこまないようにしてもよい。

（ G U I の例 ）

【 0 1 0 0 】

形状測定装置は、制御手段 2 0 0 である P C に形状測定装置 5 0 0 を操作するための操作プログラムをインストールしている。表示部 4 0 0 には、形状測定プログラムを操作するための G U I （ Graphical User Interface ）が表示される。このような G U I 画面の一例を図 5 に示す。この例においては、表示部 4 0 0 において、第一投光部 1 1 0 A から第一測定光が照射された測定対象物 W K の第一測定画像 S 1 と、第二投光部 1 1 0 B から第二測定光が照射された測定対象物 W K の第二測定画像 S 2 とが並ぶように、表示させる

ことができる。この例では、表示部 4 0 0 の左側に設けられた画像表示領域 4 1 0 の、右側に第一表示領域 4 1 6 を、左側に第二表示領域 4 1 7 を設けている。このような 2 画面表示とすることで、各測定光で得られる測定画像の様子、特に影となる領域等を対比しながら確認できる。なお、画像表示領域の分割例は、このように左右に並べる構成に限らず、上下に並べる、あるいは別画面として構成する等、任意の構成が適宜利用できる。

【 0 1 0 1 】

また形状測定装置の操作プログラムには、表示中の画像を、観察画像と測定画像とに切り替え可能な画像切替手段が設けられている。この例では、画像切替手段として、「観察画像」ボタン 4 2 7 を押下すると、観察用照明光源を用いて撮像した観察画像が画像表示領域 4 1 0 に表示され、また「測定画像」ボタン 4 2 8 を押下すると、測定光投光手段を用いて取得した測定画像が画像表示領域 4 1 0 に表示される。ユーザは、図 1 の制御手段 2 0 0 の操作デバイス 4 5 0 でもって、GUI に設けられた操作領域 4 2 0 を操作して、例えば明るさ調整を行うことにより、第一投光部 1 1 0 A や第二投光部 1 1 0 B から出射される測定光の明るさ又は対応するカメラ露光時間を変更することができる。ここでは、測定光の明るさを変えるパラメータを、カメラの露光時間としている。また必要に応じて、観察画像の撮像条件を設定する。図 5 の画像表示領域 4 1 0 の上段には、このような観察画像の撮像条件を設定するための観察画像撮像条件設定手段 4 9 0 が設けられている。観察画像撮像条件設定手段 4 9 0 は、例えば観察画像を撮像するシャッタースピード切り換えや撮像の倍率、フォーカス調整等の設定を含んでいる。図 5 に示す例では、撮像手段の明るさを「オート」又は「マニュアル」から選択する。「マニュアル」を選択した場合は、カメラ明るさ調整スライダでもって撮像手段の明るさを調整する。

【 0 1 0 2 】

上記のように、画像表示領域 4 1 0 には、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の各々により測定光を照射された場合における測定対象物 W K の画像が並ぶように表示できる。したがって、ユーザは、画像表示領域 4 1 0 に表示された測定対象物 W K の画像を見ながら、明るさ調整スライダ 4 4 4、4 4 6 の位置をそれぞれ移動させることにより、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の各々から出射される測定光の明るさ又はそれぞれの投光部 1 1 0 に対応したカメラ露光時間を適切に調整することができる。

【 0 1 0 3 】

また、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B から出射される測定光の適切な明るさと照明光出力部 1 3 0 から出射される照明光の適切な明るさ又はそれぞれの照明に対応したカメラ露光時間との間に相関がある場合がある。この場合、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の各々から出射される測定光の明るさ又はそれぞれの投光部 1 1 0 に対応したカメラ露光時間は、照明光出力部 1 3 0 から出射される照明光の明るさ又は照明光に対応したカメラ露光時間に基づいて自動的に調整されてもよい。

【 0 1 0 4 】

あるいは、照明光出力部 1 3 0 から出射される照明光の明るさ又は照明光に対応したカメラ露光時間に基づいて、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の各々から出射される測定光の明るさ又はそれぞれの投光部 1 1 0 に対応したカメラ露光時間を適切にするための調整ガイドが表示部 4 0 0 に表示されてもよい。この場合、ユーザは、調整ガイドに基づいて明るさ調整スライダ 4 4 4、4 4 6 の位置をそれぞれ移動させることにより、第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B の各々から出射される測定光の明るさ又はそれぞれの投光部 1 1 0 に対応したカメラ露光時間を適切に調整することができる。

【 0 1 0 5 】

光の照射方向が異なれば、光の反射方向も異なるため、結果として得られる画像の明るさは、同じ部位であっても光の照射方向によって異なる。すなわち、測定に適した測定光の明るさ、撮像素子の露光時間は照射方向によって異なることになる。本実施形態では、複数の第一投光部 1 1 0 A、第二投光部 1 1 0 B から光を照射して撮像されたそれぞれの画像の明るさを個別に調整可能とすることにより、照射方向毎に適切な測定光の明るさ又は露光時間を設定することができる。また、明るさ調整中の画像は、画像表示領域 4 1 0

に更新されながら表示されるため、調整後の画像を確認しながら明るさを調整できる。この際に、画像表示領域 4 1 0 に表示された画像の中で、明るすぎて白とびしている部分や、暗すぎて黒つぶれしている部分を識別可能に表示することで、ユーザにとって明るさが適切に調整できているか否かをより判り易く表示することも可能である。

(テレセントリック両側投光光学系)

【0106】

ここで、テレセントリック両側投光の光学系の模式図を図 6 に示す。この図に示すように、ステージ 1 4 0 上に載置された測定対象物 W K に対して投光する投光部 1 2 0 を構成する投光光学系として、第一投光部 1 1 0 A で構成される右投光光学系と、第二投光部 1 1 0 B で構成される左投光光学系がそれぞれ配置される。このように投光光学系を左右にそれぞれ設けることで、パターン光が影になって測定不能となる領域を低減できる等の利点が得られる。

10

【0107】

一方、受光 1 2 0 を構成する受光光学系は、低倍率用撮像素子 1 2 0 A と、高倍率用撮像素子 1 2 0 B を備えている。中央のプリズム 1 2 4 の上方には、二分岐両側テレセントリック受光レンズ 1 2 5 が設けられている。またプリズム 1 2 4 の右側には、高倍率用撮像素子 1 2 0 B が配置される。なお投光光学系は、図 6 に示すように、視野よりも広めに照射されている。

【0108】

受光光学系は、受光レンズ及びカメラユニットで構成される。受光レンズは精度を優先し、固定倍率のテレセントリック光学系としているが、ズームレンズとして広い倍率をカバーしても良い。形状測定装置は二分岐の固定焦点両側テレセントリック光学系を採用しており、カメラが低倍率用カメラ、及び高倍率用カメラの 2 個構成となっている。これにより、ズームレンズのような機械的な切り替えではなく、電気的な切り替えによる倍率変更が可能となり、機械位置決め精度に起因する測定精度ずれ等が発生しない、安定した測定性能が実現できる。

20

【0109】

左右両側投光による測定範囲について、図 7 の模式図に基づいて説明する。形状測定装置では、影領域(測定不能領域)を最小限とすべく、受光レンズを挟んで左右対称な方向からパターン投光が可能な構成としており、左右にそれぞれパターン投光光学系を配置している。

30

【0110】

受光レンズには、二分岐両側テレセントリック受光レンズ 1 2 5 を採用しており、測定対象物 W K の高さによる倍率変化が無い、真上から見た歪みの無い画像が取得できると共に、両側テレセントリック投光レンズの構成と合わせると、視野内どこでも投受光角度が一定であるという測定設定をシンプルにできる効果が発揮される。二分岐両側テレセントリック受光レンズ 1 2 5 は図 7 に示すように、2 倍率が同軸な視野を有しており、倍率を切り替えても視野調整を不要にできるメリットがある。

【0111】

左右投光レンズ 1 1 6 からは、平行な光束として二次元パターン光が、測定対象物 W K に対して左右均等な投光角度から照射される。左右から受光レンズを挟んで対象に二次元パターン光を照射することの利点としては、前述の影を最小にする効果だけでなく、左右それぞれの測定結果を合成(例えば平均処理など)することにより、左右それぞれに発生する誤差を軽減できるという点が挙げられる。

40

【0112】

左右投光と測定範囲の関係において、図 7 の模式図に示すように、測定視野(X Y 方向)の広さは、受光レンズの光束の幅(図 7 における細線(低倍率)もしくは太線(高倍率)な光線の幅)で決定され、1 組のパターン投影を用いた高さ測定の範囲については、投光と受光の関係性から決定される。図 7 における点線枠の領域のように、受光光束と左右からの投光光束の共通領域として深度測定範囲を定義する。すなわち、点線枠で示す左右

50

投光照射の共通領域が、測定可能な高さのレンジを示す。このように深度測定範囲を決定することで、深度測定範囲の中であればどこで測定しても、左右からの光の当たり方が均一であり、また、左右それぞれの測定を平均化することで計測が安定する効果を深度測定範囲全域で実現できる。

(下ヘッド102)

【0113】

ステージ140は、ベース筐体149に連結されている。ベース筐体149やステージ140は、下ヘッド102としてユニット化されている。この下ヘッド102は、上ヘッド101と接続されている。ここで上ヘッド101と下ヘッド102を接続した形状測定装置100の外観側面を図8に、下ヘッド102の部構成を図9に、それぞれ示す。上ヘッド101は、投光部110及び受光部120を収容する。また下ヘッド102は、XYステージ141、Zステージ142、スケールユニット160、ステージ駆動部145、ベース筐体149、及び床面に設置される土台部151とを備える。ステージ140は、XYステージ141とZステージ142で構成される。ベース筐体149は、土台部151と上ヘッド101を連結する。なお、この構成は一例であり、例えば上ヘッドと下ヘッド102を一体に構成することもできる。

10

【0114】

下ヘッド102は、ステージ駆動部145を通じて撮像手段100の測定制御部150(上ヘッド101側)と電氣的に接続される。またベース筐体149での機械的位置決め、及び位置決めボルトによって機械的に締結される。ベース筐体149に内蔵されたZステージ142から、ステージ支持部152を介して、XYステージ141を保持している。このXYステージ141の高さを、高さ検出用のスケールユニット160によって検知することで、測定時のステージ面高さを正確に認識することが可能となる。

20

(スケールユニット160)

【0115】

スケールユニット160は、センサ移動部161と、スケール部162を備える。センサ移動部161は、図9に示すように、ステージ支持部152の背面側に連結されて、ステージ支持部152と共に移動する。一方スケール部162は、ベース筐体149に固定されて、センサ移動部161の位置を検出する。このようにセンサ移動部161をスケール部162に沿って移動させて、受光部120の光軸方向におけるステージ140と受光部120との相対的な距離を検出する。この構成では、センサ移動部161がスケール部162に沿って摺動する摺動面が、ステージ140の高さすなわちワーキングディスタンスを測定する測定軸となる。図9のように、光軸の延長線と測定軸とを一致させることで、誤差の少ない測定が実現される。

30

【0116】

図8及び図9に示すように、ステージ駆動部145が、スケールユニット160に対してベース筐体149側に配置されている。これによって高荷重なXYステージ141の剛性を維持しながら、Z方向に長ストローク稼働するステージ構成が実現されている。通常、高い剛性を維持したステージでは、クロスローラガイドやリニアガイドを用いられるところ、モーメント剛性を維持する観点からは、可動部の根元には十分な幅を持たせることが重要となる。この幅とストローク長との和が必要なガイド長となるため、通常は軽量なスケール部の可動部に比べて、Zステージガイドは長尺となる。そこで本実施形態においては、距離測定面と光軸方向駆動部146を独立に配置することで、長ストロークながら低床な筐体設計が可能となり、結果的に床振動等の外乱に対してより安定した計測器が実現できるメリットがある。

40

【0117】

なお、本実施例では、スケールユニット160をベース筐体149側に配置されている例を示したが、投光部、受光部が設けられた上ヘッド側に受光部の光軸と一致させて配置するようにしてもよい。特にステージ側でなく受光部側を駆動させる際には、駆動させる受光部側の移動量をスケールユニットで測定するように配置することが好ましい。

50

【 0 1 1 8 】

一方で、センサ移動部 1 6 1 と光軸方向駆動部 1 4 6 を独立して配置することの欠点として、1 方向ガイドを二重で構成する点が考えられる。距離の離れた 2 箇所独立した直動ガイドを配置することで、お互いの真直度がクロストークし、コジル、直進性が悪化するなどのデメリットが考えられる。そこで、本実施形態に係る形状測定装置ではこれらの点に鑑みて、図 9 に示すように、スケールユニット 1 6 0 とステージ支持部 1 5 2 との接続を磁力で行う構成とし、強締結を避けたロバストな構成を実現している。

(連結部)

【 0 1 1 9 】

図 9 に示すように、スライド移動するスケール部 1 6 2 の連結に磁石を使用している。またこの磁石面の締結には、一方を球状体 1 6 3 とし、他方を平板状の板材 1 6 4 とし、球状体 1 6 3 の球面で板材 1 6 4 の平板に点接触させた吸着としている。ここでは、球状体 1 6 3 を磁性体として、板材 1 6 4 を永久磁石製としている。球状体 1 0 3 は、保持部 1 6 7 で保持され、保持部 1 6 7 がステージ支持部 1 5 2 に固定される。さらに、平滑面を有する板状部材 1 6 5 を介在させている。

(X Y ステージ 1 4 1)

【 0 1 2 0 】

X Y ステージ 1 4 1 は内部に傾斜センサ、ステージ駆動部 1 4 5 (マイコン・F P G A ・モータドライバ) を有する。また X Y ステージ 1 4 1 は、ステージ支持部 1 5 2 を通じて電氣的にベース筐体 1 4 9 内部のステージ駆動部 1 4 5 と接続されている。ステージ支持部 1 5 2 と X Y ステージ 1 4 1 との電気接続をコネクタで構成することで、X Y ステージ 1 4 1 も着脱可能な構成となり、チルト・回転ステージといった異なる視野調整ステージに切り替えることも可能となる。

(縞投影法による計測の流れ)

【 0 1 2 1 】

次に、図 4 に基づいて、形状を測定する動作の流れの概要を説明する。なお、ここでの説明はすべて Z ステージ 1 4 2 を高さ方向に固定した「ワンショット測定」におけるものとする。

【 0 1 2 2 】

まずユーザは、計測したい測定対象物 W K をステージ 1 4 0 上に配置し、表示部 4 0 0 に映し出された光学画像を見ながら焦点、視野位置、明るさなどを照明条件調整部で調節する。ここでは照明光出力部 1 3 0 として、リング照明を用いている。ただ照明光出力部 1 3 0 は、リング照明に限らず、例えば投光系照明部を構成する投光部 1 1 0 から均一照明を照射しても良い。

【 0 1 2 3 】

次に、照明光をリング照明から投光部 1 1 0 に切り替えて、投光系照明光の明るさを調整する。投光部 1 1 0 による照明光は斜めから当たるため、測定対象物 W K の形状による影が発生する。また、測定対象物 W K の表面状態によっては、照明光を多少傾斜させたほうが良好な見え方になる場合もある。照明光を傾斜させるには、例えばステージ 1 4 0 を傾斜可能なチルトステージを用いたり、投光部 1 1 0 に傾斜機構を設ける。また照明光の影や表面状態の影響を抑えるために、必要に応じて測定対象物 W K の位置や姿勢を再調整する。

【 0 1 2 4 】

このような投光部 1 1 0 での調整工程において、測定対象物 W K を移動させた場合は、再びリング照明に切り替えて、リング照明光での測定対象物 W K の見え方の確認や、リング照明光の明るさの再調整などを行う。なお、この作業は、不要であれば省略することもできる。

【 0 1 2 5 】

測定対象物 W K の姿勢、位置、焦点、及び計測用の照明条件が確定したら、制御手段 2 0 0 から、測定開始の指令を測定制御部 1 5 0 に送信する。制御手段 2 0 0 は、上述の通

10

20

30

40

50

り形状測定プログラムをインストールしたコンピュータで構成される。この指令を受けて、測定部は投光部 1 1 0 内のパターン生成ユニットと撮像手段 1 0 0 を同期制御し、複数のパターンを投影しながら、測定対象物 W K の複数の画像を撮像手段 1 0 0 で取得し、制御基板 3 1 0 にて適切な処理を施した後、制御手段 2 0 0 に送信する。

(高さ画像の生成)

【 0 1 2 6 】

制御手段 2 0 0 が受け取った画像データは、形状測定プログラム内の計測アルゴリズムで適切に画像処理され解析されて、立体形状データが生成される。具体的には、高さ画像生成部 2 1 2 b により、高さ情報を有する高さ画像が生成される。

(テクスチャ画像の生成)

【 0 1 2 7 】

一方で、測定対象物 W K に照明光を照射し、測定対象物 W K の表面状態を示す画像であるテクスチャ画像を撮像手段 1 0 0 で取得する。例えば、測定対象物 W K にリング照明を照射したり、あるいは投光部 1 1 0 から、すべての画素を O N にした投光パターン(全白)を照射する等して、均一な照明光で光学画像を撮像し、テクスチャ画像とする。

【 0 1 2 8 】

またテクスチャ画像は、一枚のみならず、複数枚撮像してもよい。この際、複数のテクスチャ画像を合成して H D R 画像や深度合成画像を生成することもできる。H D R (ハイダイナミックレンジ)画像は、複数枚のテクスチャ画像をカメラの露光時間を変えて撮像した後、これらをハイダイナミックレンジ(H D R)合成して生成される画像である。また深度合成画像は、測定対象物 W K の測定対象部分の高低差が被写界深度を超える場合、高さ方向を異ならせて個々に撮像した観察画像中から、焦点が合った部分だけを抜き出して合成した画像である。

(合成画像の生成)

【 0 1 2 9 】

得られたテクスチャ画像も、制御手段 2 0 0 に転送される。制御手段 2 0 0 は、テクスチャ画像と高さ画像を合成して合成画像を生成する。例えば、形状測定プログラムにて立体形状データである高さ画像にテクスチャ画像をマッピングして、三次元画像合成部で合成画像データを生成する。合成画像は、表示部 4 0 0 に表示される。この状態で、合成画像に対して所望の計測、解析を行うことができる。

(形状測定方法)

【 0 1 3 0 】

以上説明した合成画像を生成して形状測定を行う手順を、図 1 0 のフローチャートに基づいて説明する。まずステップ S 1 0 0 1 において、測定対象物 W K をステージ 1 4 0 に置く。

【 0 1 3 1 】

次にステップ S 1 0 0 2 において、リング照明を使用して、測定対象物 W K の位置、姿勢、焦点、明るさを調整する。

【 0 1 3 2 】

次にステップ S 1 0 0 3 において、投光系に切り替えて、投光系照明の明るさ、測定対象物 W K の位置や姿勢を調整する。

【 0 1 3 3 】

次にステップ S 1 0 0 4 において、リング照明に再び切り替え、さらに投光系に切り替えて、見え方を確認する。

【 0 1 3 4 】

次にステップ S 1 0 0 5 において、見え方に問題はないか確認する。問題があればステップ S 1 0 0 2 に戻って、上記の処理を繰り返す。一方問題がなければ、ステップ S 1 0 0 6 に進み、計測開始ボタンを押す。

【 0 1 3 5 】

次にステップ S 1 0 0 7 において、投光系から縞パターンを投影、スキャンし、これと

10

20

30

40

50

同期してカメラで測定対象物W Kの複数枚の縞画像を取得する。ここで左右投光、HDR、その他の性能改善のため、本ステップを規回数繰り返してもよい。例えば露光時間を変えて複数回パターン光を投影することで、ハレーションの影響を軽減できる。

【0136】

次にステップS1008において、リング照明を点灯し、測定対象物W Kのテクスチャ画像を取得する。

【0137】

次にステップS1009において、縞画像セットを計測アルゴリズムで処理し、立体形状データを生成する。

【0138】

次にステップS1010において、立体形状データにテクスチャ画像をマッピングする。

【0139】

次にステップS1011において、結果を表示させる。そしてステップS1012において、目的の箇所のデータが正しく取得できたか否かを判定し、否の場合はステップS103に戻って上記の処理を繰り返す。一方、取得できている場合はステップS1013に進み、計測用ソフトなどを使用して、各種計測、解析を実行する。

【0140】

以上のようにして、形状測定装置を用いて合成画像を生成して、形状測定を行うことができる。なお図10のステップS1001とステップS1002は、順序を入れ替えても良い。その場合はまず計測設定(ステップS1002)にて測定対象物W Kの姿勢、位置、焦点合わせを行い、テクスチャ画像取得(ステップS1001)では測定対象物W Kの姿勢、位置、焦点を変更しないようにして、リング照明の明るさやテクスチャ種類の選択などのみを行うようにする。

(テクスチャ画像を取得する手順)

【0141】

次にテクスチャ画像を取得する手順を、図11のフローチャートに基づいて説明する。この手順は、図10のステップS1002の工程を詳細に説明したものに相当する。まずステップS1101において、リング照明に切り替える。

【0142】

次にステップS1102において、リング照明の明るさを調整する。そしてステップS1103において、明るさが適切かどうかを判定し、適切でない場合はステップS1102に戻って処理を繰り返す。一方、明るさが適切な場合はステップS1104に進み、Zステージ142を移動させて、測定対象物W Kの焦点位置を合わせる。さらにステップS1105において、焦点位置が合っているかどうかを判定し、合っていない場合はステップS1104に戻って処理を繰り返す。一方、焦点位置が合っている場合は、ステップS1106に進み、XY・チルトステージを移動させて、測定対象物W Kの位置、姿勢を合わせる。なお、これらのステップS1102～ステップS1106は、順序を適宜入れ替えてもよい。

【0143】

次にステップS1107において、見たい部位が視野内収まっているかを判定し、収まっていない場合はステップS1106に戻って処理を繰り返す。一方、収まっている場合はステップS1108において、倍率を変更してサイズを調整する。

【0144】

次にステップS1109において、倍率が適切か否かを判定し、否の場合はステップS1108に戻って処理を繰り返す。一方、倍率が適切な場合はステップS1110に進み、テクスチャ画像の種類を選択するか否かを判定する。否の場合はステップS1111に進んで通常画像を選択し、この処理を終了する。

【0145】

一方、テクスチャ画像の種類を選択する場合は、ステップS1112に進み、深度合成を行うか否かを判定し、行う場合はステップS1113に進み、深度合成の設定を実行す

10

20

30

40

50

る。一方、行わない場合はステップ S 1 1 1 4 に直接ジャンプする。

【 0 1 4 6 】

次にステップ S 1 1 1 4 において、HDRを行うか否かを判定し、行う場合はステップ S 1 1 1 5 に進み、HDRの設定を実行する。一方、行わない場合はステップ S 1 1 1 6 に直接ジャンプする。

【 0 1 4 7 】

次にステップ S 1 1 1 6 において、テクスチャ画像の確認を行うか否かを判定し、行う場合はステップ S 1 1 1 7 に進み、テクスチャ画像のプレビューを表示させる。一方、行わない場合はこの処理を終了する。

【 0 1 4 8 】

次にステップ S 1 1 1 8 において、プレビュー表示されたテクスチャ画像の結果に満足したか否かを判定し、否の場合はステップ S 1 1 1 2 に戻って処理を繰り返す。一方、満足した場合は、この処理を終了する。以上のようにして、テクスチャ画像を取得することができる。

(測定設定の設定を行う手順)

【 0 1 4 9 】

立体形状データを生成するための測定設定は、投光部のパターン光の投光条件や、受光部の受光条件や撮像条件、照明部の照明条件等を含んでいる。これらの測定設定は、図 1 等の測定設定部 2 5 5 で設定される。ここで測定設定の設定を行う手順を、図 1 2 のフローチャートに基づいて説明する。この手順は、図 1 0 のステップ S 1 0 0 3 の工程を詳細に説明したものに相当する。

【 0 1 5 0 】

まずステップ S 1 2 0 1 において、計測用投光系 (図 4 において左側投光系) に切り替える。次にステップ S 1 2 0 2 において、明るさを仮に調整する。

【 0 1 5 1 】

そしてステップ S 1 2 0 3 において、計測箇所照明が当たっているか否かを判定し、否の場合はステップ S 1 2 0 4 において、チルトステージを動かして、測定対象物 W K の位置、姿勢を調整する。一方、計測箇所照明が当たっている場合は、ステップ S 1 2 0 6 に直接ジャンプする。

【 0 1 5 2 】

次にステップ S 1 2 0 5 において、照明が当たったか否かを判定し、ステップ S 1 2 0 4 に戻って処理を繰り返す。一方、照明が当たっている場合はステップ S 1 2 0 6 において、計測箇所の明るさが適切か否かを判定する。否の場合は、ステップ S 1 2 0 7 において明るさを調整する。一方、照明が当たっている場合は、ステップ S 1 2 0 9 に直接ジャンプする。

【 0 1 5 3 】

次にステップ S 1 2 0 8 において、明るさが合っているかを判定し、否の場合はステップ S 1 2 0 7 に戻って処理を繰り返す。一方、明るさが合っている場合はステップ S 1 2 0 9 において、計測箇所に焦点が合っているかを判定する。否の場合はステップ S 1 2 1 0 において、ステージ 1 4 0 を動かして、計測箇所に焦点を合わせる。一方、明るさが合っている場合は、ステップ S 1 2 1 2 にジャンプする。

【 0 1 5 4 】

次にステップ S 1 2 1 1 において、焦点が合っているか否かを判定し、否の場合はステップ S 1 2 1 0 に戻って処理を繰り返す。一方、焦点が合っている場合はステップ S 1 2 1 2 に進み、総合判断を行う。ここでは、計測箇所の明るさ、姿勢、焦点が適切か否かを判定し、適切でない場合はステップ S 1 2 1 3 において、適切でないパラメータを確認し、適切な手順に戻る。戻る先は、適切でないパラメータに応じて、ステップ S 1 2 0 4、ステップ S 1 2 0 7、ステップ S 1 2 1 0 の何れかとなる。

【 0 1 5 5 】

一方、総合判断において適切と判定された場合は、ステップ S 1 2 1 4 に進み、計測用

10

20

30

40

50

投光系（図4において右側投光系）に切り替える。次にステップS1215において、明るさを調整し、さらにステップS1216において、明るさが合ったか否かを判定する。合っていない場合はステップS1215に戻って処理を繰り返す。一方、明るさが合っている場合はこの処理を終了する。

【0156】

なお、これらの手順において位置調整、姿勢調整、焦点調整、明るさ調整の順序は、適宜入れ替えることができる。

【0157】

このようにして、測定設定を設定することができる。また測定設定は、ユーザが測定設定部255から自動で行う他、形状測定装置側で自動で行わせることもできる。

（深度方向の測定範囲拡張機能）

【0158】

本実施形態においては、非接触測定方式として、三角測距方式に基づくパターン投影法を採用している。この方式では、1回の深度測定範囲が広い三角測距方式をベースにしなが、測定対象物もしくは形状測定装置の位置を物理的もしくは光学的に移動させて測定を繰り返し、測定結果を合成していくことで、1回の測定で実現できる深度測定範囲を、移動した分だけ拡張することが可能となる。この結果、高速に、かつ三角測距方式よりも広い範囲を測定可能となり、より広い視野を高い分解能で計測可能な形状測定装置や形状測定方法を実現できる。そして、深度方向の測定範囲を各視野において拡張することが可能となる。

【0159】

実施形態1に係る形状測定装置は、図8、図9等に示すように、非接触で測定対象物の表面形状を測定可能であり、縞投影法を用いた三角測距方式で1回の測定で受光光学系視野内の各画素における高さ情報を取得することができる。また形状測定装置は、測定部と相対的に移動可能なステージ140を有しており、ステージ高さ読取軸と観察光軸とが共通の軸を有している。

【0160】

この形状測定装置は、1つの上ヘッド101の内部に2つの倍率で観察可能な二分岐受光光学系を有している。これにより、同軸視野で倍率を切り替えた測定が可能となる。低倍率、高倍率の2倍率は同一の光軸を有している。この光軸と受光光学系の最良フォーカス面（合焦面）との交点を中心に、左右対称な方向に傾斜したパターン投光光軸を有する。このパターン投光光軸方向から、それぞれパターン投影を行い、複数の画像を受光光学系で撮像・解析して、高さ情報を算出する。

（測定範囲）

【0161】

形状測定装置の合焦面と測定範囲は、図7に示すように、上ヘッド101は真上から真下を見下ろす方向に撮影視野を有している。上ヘッド101の下部に配置されたXYZステージ上の測定対象物を、真上から測定する形態となっている。ユーザは測定対象物をXYZステージの天面に配置し、XYステージ141を動かすことで視野を、Zステージ142を動かすことでフォーカスを調整することができる。あるいは、受光光学系側を移動させることでも、測定対象物と受光光学系との相対距離（ワーキングディスタンス）を変化させてフォーカスを調整することができる。なお、ここで言うフォーカスとは、受光光学系の合焦を意味する。この形状測定装置では、図7に示すように、高さ方向の深度測定範囲はこの合焦面を中心に上下に対象な一定の幅を持っている。ただ、対称であることは必須でない。

【0162】

XYZステージは、Zステージ142が受光光軸と略一致する方向に配置されている。これによりZステージ142の移動のみで、光軸方向の測定対象物高さ（もしくは相対的な上ヘッド101と測定対象物の光軸方向の位置関係）を変更できる。また、Zステージ142の内部には、Zステージ142の移動距離を検出可能なスケールユニット160が

10

20

30

40

50

配置されている。スケールユニット160は、図8、図9等に示す通り、上ヘッド101の視野直下に配置されている。このようにスケールユニット160が視野直下に配置されていることで、深度測定範囲と測定対象物の位置関係を最小の誤差で検出可能となる。一般に、検出を行いたい座標点に対して、検出を行うセンサの位置すなわち測定軸が、測定対象物の測定位置からオフセットしている場合は、アッペの原理に基づいて計測誤差が発生し得る。図13Aで示すように測定したい位置と並列状に測定軸を配置する場合に、この状態が発生する。その一方でアッペの原理によれば、図13Bで示すように測定軸と測定対象物の測定位置とが同一平面の延長線上にあるときは、このような測定誤差を極減できる。

(深度拡張機能)

【0163】

深度測定範囲を高さ方向に拡張するため、光軸方向駆動部146でもってステージ140と受光部120との相対距離を光軸方向に移動させる。受光部120は、所定の焦点深度を有しており、焦点深度により定まる一定範囲の高さ(深度測定範囲)でしかパターン画像を撮像できない。そこで、光軸方向駆動部146でもって深度測定範囲をシフトさせることで、測定可能な深度測定範囲を拡張できる。すなわち、同じ視野(受光部120の光軸方向と直交するステージ平面内)で生成した高さ画像を、対応するXY座標の画素毎に高さ方向に連結することで、深度測定範囲の制約を超える高さの合成高さ画像を得ることが可能となる。

【0164】

このような深度拡張機能に際しては、同じ視野すなわちXY平面の範囲内で生成された高さ画像同士を連結することが必要となる。また、同じ条件で生成した高さ画像同士を連結する必要がある。具体的には、図7に示すような左右の投光部110からパターン光を投光する場合は、両側から投光して生成した高さ画像の場合は、両側投光の高さ画像同士を連結して合成高さ画像を生成する。またいずれか一方の投光部110を用いる片側投光で生成された高さ画像の場合は、同じく片側投光の高さ画像同士を連結する。この際、右側投光なら右側投光の高さ画像同士を、左側投光なら左側投光の高さ画像同士を、それぞれ連結する。

【0165】

図7等の例では、Zステージの移動を伴いながら複数の測定を実行し、その測定結果を、測定を実行した各Zステージ高さを元に結合していくことで深度測定範囲を拡張できる。このような、Zステージ高さを固定した1回の測定を「ワンショット測定」と呼び、複数のZステージ高さで測定した結果を結合した測定を「深度拡張測定」と呼ぶ。

【0166】

ここで、深度測定範囲の高さ方向拡張の概念を、図14A~図14Cを用いて説明する。図14A~図14Cは、高さA、高さB、高さCのそれぞれにおいて、左投光範囲と右投光範囲で規定される深度測定範囲を、破線の枠状で示している。

【0167】

形状測定装置の有する深度測定範囲HIA(図14Aの点線枠で示す範囲)よりも高い構造を有する測定対象物WK2を測定する場合、Zステージ142を高さ方向に移動(高さA B C)することで、測定対象物WK2の各面を深度測定範囲に収めることが可能となる。(図14A~図14Cの太線)

【0168】

このときに観察される光学画像を、図15A~図15Cに、また縞投影法で取得される縞画像を、図15D~図15Fに、それぞれ示す。図15A~図15Cにおいて、焦点の合った領域を模式的に斜線で示している。

【0169】

図15A、図15Dでは、高さAで測定対象物の最低面に焦点が合っており、測定対象物の最下部の形状を測定することができる。また図15B、図15Eに示すようにZステージ142を少し下げた高さBでは、高さAでは深度測定範囲外(縞画像上で縞のぼけが

10

20

30

40

50

大きい箇所、赤点線領域)だった箇所に焦点が合い、この面を中心に一定の幅に収まっている領域の形状を測定可能となる。さらにZステージ142を下げた高さCでは、図15C、図15Fに示すように測定対象物の最高点に存在する形状(赤点線)に焦点があり、この面を中心に一定の幅に収まっている領域の形状を測定可能となる。

【0170】

この3つの高さにおいて、Zステージ142の高さは、スケールユニット160によって検出されており、ワンショット毎のステージ高さ座標を取得することが可能である。スケールユニット160は、ステージ140と受光部120の光軸方向との相対的な距離を示すスケール値を出力する。

【0171】

ここで、3回の測定で得られたワンショット毎の測定結果を連結する手順を、図16A~図16Dの模式図に基づいて説明する。図16A~図16Dに示すように、ワンショット毎の測定で一定の高さ範囲(それぞれ図16Aは点線枠、図16Bは破線枠、図16Cは一点鎖線枠)の測定データが得られる。この際、ステージ140の相対的な移動量、もしくは絶対的なステージ高さを測定時に検出する。この検出された座標を測定データ原点の値としてオフセットさせることで、各ショットの相対関係が定義されることとなる。この結果を足し合わせることで、通常のワンショット深度測定範囲を拡張した連結測定データが得られる。

【0172】

このように、スケールユニット160で各高さ画像が取得された時のスケール値を記憶し、合成時には各高さ画像の画素値をスケール値に基づいてオフセットして合成する。具体的には、合成処理部216は、各高さ画像が生成された際のスケールユニット160のスケール値を記憶しておき、高さ画像を合成する際には、各高さ画像の画素値をスケール値に基づいてオフセットして合成する。

【0173】

以上のようにして、縞投影によって一回の撮像で測定可能なワンショット測定を、繰り返し行って高さ方向を連結することで、深度方向に拡張した測定が可能となる。なお、ワンショット深度測定範囲の連結に際しては、必ずしも連続させる必要はなく、深度方向に離間させた離散的なワンショット測定であってもよい。例えば、ユーザが手動で深度拡張を行う場合は、測定に必要な領域のみの立体形状データを取得すれば足り、測定対象物の高さ方向のすべての情報を必要としない場合もある。

(マスク領域)

【0174】

また深度方向に自動拡張する場合においても、深度拡張したい範囲をユーザが設定することもできる。例えば深度拡張処理部215に、光軸方向駆動部146を制御して受光部120の焦点位置を変更する範囲を設定するための深度範囲設定部253を備え、深度範囲設定部253でユーザが深度拡張に際して不要な範囲としてマスク領域を設定してもよい。このように深度拡張測定は、ワンショット測定の連続的な連結のみならず、離間させた連結も含む。

【0175】

上述した通り、測定対象物の測定と共に、Zステージ142の高さを検出することで、Zステージ移動量に対する実際の移動量の誤差を考慮しなくて済むようになる。ここで仮にZステージの高さ検出を行わない場合を考えると、この場合はZステージの移動パルス(移動指示量)に基づいて各ワンショットの原点指定をすることになるが、ステージ移動誤差がそのまま連結測定誤差になる。これに加えて、形状測定装置の構成によっては、図13Aで示したとおり、移動駆動軸と実際の測定対象物積載位置とのずれが原因で、アッペの原理に基づく誤差も発生し得る。これに対して、図13Bに示すように、Zステージの高さを検出すると共に、ステージ140の高さを検出する測定軸を光軸に近付けることで、誤差を低減して高精度な高さ検出が実現される。また、このことで高さ方向の合成に際しても、精度を向上させることが可能となる。

10

20

30

40

50

【0176】

ステージ140を深度方向に拡張して測定するにあたっては、測定対象物や受光部120の位置を物理的又は光学的に移動させた移動量を正確に検出することが求められる。この移動量の正確な検出において、測定器の持つ撮影視野と直動移動の検出位置は、アップの原理に基づくと、一致していることが望ましい。一方で、長いストロークのステージの移動を検出する場合、その検出機構も長尺となる傾向にある。そのため、ステージの直下にセンサを配置する場合、移動ストロークに合わせてより長いセンサユニットを配置することとなり、筐体全体の全長を大きくせざるを得ない事情がある。

【0177】

さらには、一般にセンサ移動部に比べ、直動機構そのものは長い構造を必要とする。なぜなら、移動するステージの剛性を高めるため、移動量に対してさらにベース筐体の幅が加算されるからである。またガイドのオーバーハングによる寸法増加も避けられない。結果的に、ステージ全体の高さが増していくこととなり、ステージの天面が設置底面よりも高くなり、ユーザの利便性を低下させる、振動による測定対象物の振幅が増加傾向にある、といったデメリットが増えていく。このような事情を鑑みて、本実施形態ではステージ140の高さを検出するスケールユニット160を視野直下に配して、ステージ駆動軸の配置自由度を高めている。

【0178】

図16A～図16Dに示す例では、測定対象物WK2として比較的単純な段差を有する場合を示した。測定対象物によっては、二段階のZステージ高さ（例えば図15Aの高さAと図15Bの高さB）で測定対象物の高さ方向全体を測定領域に収めることが可能となる。このような、各高さにおける複数のワンショットデータにおいて、共通する高さ情報の合成について説明する。

（共通高さ情報の合成ロジック）

【0179】

共通する高さ情報の合成方法は、重み付き平均を計算する方法、又は高さ情報の信頼性から片方のみ採用する方法がある。それぞれの高さ情報がほぼ同じ高さを示している場合は、より合焦面に近い位置で得られた高さ情報の方が、誤差が少ないと考えられる。このことから、合焦面からの距離に応じた重み付き平均により計算を行う。

【0180】

一方、それぞれの高さ情報が大きく異なる場合は、測定対象物内部での光の多重反射等の影響により、いずれかの高さ情報がノイズである可能性が高い。そのため、この場合は、画像のぼけ具合、もしくは照明の有無での輝度のコントラストなどから、いずれの高さを採用するか判定するための信頼度を求め、信頼度の高い方を採用する。

（信頼性の低いデータ）

【0181】

高さ画像に含まれるデータの内、信頼性の高い画素については、表示部400上に表示させたり、測定に使用する。一方で、信頼性の低いデータについては、誤差を含んでいることが懸念されるため、表示部400上に表示させず、また測定等にも使用しない。

【0182】

一方で、信頼性の低いデータであっても、深度拡張に際して、立体形状データが存在しているか否かの判定には用いることができる。深度方向に拡張して高さ画像を取得するかどうかは、その高さ方向に測定対象物が継続して存在するかどうか判定できれば足り、高い精度は要求されない。そこで本実施形態においては、通常の測定や高さ画像の構築には用いられない、信頼性の低いデータであっても、深度拡張の要否の判定にはこれを用いることが可能となる。

【0183】

一例として、ある測定対象物について、形状測定装置の仕様上の制約で一定高さまでの深度測定範囲で生成された高さ画像を図17A～図17Bに示す。この図において図17Aは、深度測定範囲内において信頼性の低い画素については、非表示としている。このよ

10

20

30

40

50

うに、表示部 400 において高さ画像を表示させる際には、信頼性の高い画素は表示させ、信頼性の低い画素は表示させないことが一般的である。一方で、図 17A の高さ画像において、信頼性の低い画素も表示させた例を図 17B に示す。この図において、破線で囲んだ領域で示す円柱状の上端面の画素については、精度が悪いため測定対象物の寸法計測等に用いるデータとしては不適であるものの、この測定対象物は円柱の上端面よりも上方に連続して存在しているであろうことは推測できる。したがって深度拡張測定を実行する際は、上方にさらに深度測定範囲を設定することで、より広範な範囲での高さ画像を生成できる。同様に、他の形状の測定対象物の高さ画像を図 18A ~ 図 18B に示す。この図において図 18A は、信頼性の低い画素を非表示とした高さ画像を、図 18B は信頼性の低い画素も含めて表示させた高さ画像を、それぞれ示している。同様に図 18B において破線で囲む領域を用いることで、これよりもさらに上方に連続して測定対象物が存在していることが推測でき、深度拡張測定に際して深度を拡張する方向をこの立体形状データから判定することが可能となる。

10

(立体形状データの端部の画素)

【0184】

このように、高さ画像の端部に位置する立体形状データでもって、深度拡張測定を行うか否かを判定することができる。なお、本発明は深度拡張測定に際して、立体形状データの端部の画素に基づいて判定を行う方法に限らず、深度測定範囲の中間のデータに基づいて判定してもよい。例えば端部から所定距離離れた位置の画素が立体形状データを有するか否かに基づいて判定したり、あるいは深度測定範囲のいずれかの画素が立体形状データを有しておれば、深度拡張測定を実行するように構成することもできる。例えば、最終的な立体形状データが得られていない画素の中で、パターンが投影されていることが判定できる程度の輝度値が得られている画素がいずれかに存在する場合に、未測定画素が存在すると判定処理部で判定して、深度拡張測定を実行するように構成してもよい。この場合、ノイズや誤検出を避けるため、立体形状データを有する画素の数や領域、体積が一定以上である場合とするなど、しきい値を設定することが好ましい。

20

(表示モード切替部)

【0185】

このように本実施形態に係る形状測定プログラムにおいては、信頼性の低い画素についても、表示部 400 上に表示させることが可能となる。例えば表示モード切替部でもって、信頼性の低い画素データを非表示とする通常表示モードと、信頼性の低い画素データについても表示させる可視化モードを切り替え可能とすることができる。上述した図 17、図 18 の例では、図 17A、図 18A は通常表示モード、図 17B、図 18B は可視化モードを、それぞれ示している。

30

(立体形状データに基づく深度拡張測定の要否判定)

【0186】

以上の例では、高さ画像を構成する画素データ、すなわち高さ情報を演算したデータに基づいて、深度拡張測定の要否を判定する例を説明した。ただ本発明は、深度拡張測定の要否判定を、高さ画像に限定せず、高さ情報を演算する前の元データや生データに基づいて、これらの要否判定を行うように構成してもよい。このような例を図 19 や図 20 に基づいて説明する。図 19 は、測定対象物に縞パターンを投影した縞画像の例を示している。この図において、破線で囲んだ領域は、深度測定範囲外にあるため、縞パターンのコントラストが低い。ただ、このような深度測定範囲外であっても、縞パターンが投影されているため、他の縞パターンと比べて精度は落ちるものの、深度拡張測定の要否判定には利用可能である。すなわち図 19 の例では、測定対象物が深度測定範囲よりも高い位置に形状を有している（ここでは円筒状に突出している）ことが把握できるので、この方向に深度拡張測定を行うことが有効であることが、当該深度測定範囲の外側の縞パターンによって判定できる。

40

【0187】

さらに、深度拡張測定を行うに際して、上方向に拡張するか、下方向に拡張するかの判定

50

も、このような立体形状データに基づいて行うことができる。例えば図 20 に示す測定対象物の例では、図において上側と下側に、深度測定範囲外の部分が存在している。この内、太線の破線で囲んだ上側の領域の方が、細線の破線で囲んだ下側の領域よりも輝度が高い。一般には、深度測定範囲外のデータについて、カメラや照明に近い側が明るく、遠い側がくらい傾向にある。よって、投影パターンの明るさやコントラストに基づいて、深度測定範囲外のデータが、該高さ範囲の高い方の外側に存在しているのか、低い側の外側に存在しているのかを判別できる。よって、いずれの方向に深度拡張測定を行えば、この部分の高さ画像を取得できるのかを推定することが可能となる。

(移動ピッチ)

【0188】

高さ画像を連続するように連結する場合において、Zステージ142を移動させる位置は、高さ画像の連結時に高さ方向の隙間が生じないように、各Zステージ位置の差が、深度測定範囲の高さ以下になるようにする必要がある。合成時に高さが滑らかにつながるようにするため、図16Dに示すように、深度測定範囲が一部オーバーラップするよう、深度測定範囲の高さより若干短い方が望ましい。ただし、オーバーラップ領域が大きすぎると、連結に必要な合計枚数が大きくなり、測定時間とのトレードオフが生じる。このため、深度測定範囲の1%~33%程度をオーバーラップさせることが好ましく、また5%~25%がより好ましく、10%~20%がさらに好ましい。

(テクスチャ画像の移動ピッチ)

【0189】

合成画像の生成に際して、高さ画像を複数枚撮像するためにZステージを深度方向に移動させる移動ピッチと、テクスチャ画像を撮像する移動ピッチとは、一致させてもよいが、必ずしも一致させる必要はなく、これらを独立して設定することもできる。特に高さ画像については、縞画像等のパターン画像の焦点が必ずしも合っていないくても、コントラスト差などが確認できれば高さ情報の計測は可能となる。一方でテクスチャ画像については、焦点が合っていないと見栄えの影響が大きい。このため、テクスチャ画像の移動ピッチを、高さ画像の移動ピッチよりも細かくすることが、いいかえるとテクスチャ画像の枚数を多くすることが好ましい。細かな移動ピッチで撮影された複数のテクスチャ画像を深度合成することにより、ほぼ全体でピントの合った鮮明な深度合成画像が得られる。この深度合成画像を、高さ画像を合成して得られた合成高さ画像にマッピングすることにより、鮮明なテクスチャ情報と、深度が深い高さ情報を有する立体形状データを取得することができる。

【0190】

一方、高さ画像を複数枚撮像するために、ステージを深度方向に移動させる都度、テクスチャ画像も一緒に撮像し、撮像したテクスチャ画像を深度合成し、深度合成したテクスチャ画像を、高さ画像を合成して得られた合成高さ画像にマッピングするようにしてもよい。この場合、深度合成画像の鮮明度は落ちるものの、高さ画像を撮像するためのステージ移動以外に、深度合成画像を得るためのステージ移動が不要となるので、処理に時間がかからないメリットがある。

【0191】

ここで、連結時の画像の粗さ(相対値)と移動ピッチの関係を図21のグラフに示す。図21において、横軸は深度測定範囲高さに対する移動ピッチを、縦軸は平面を斜めに連結したときの面粗さを、それぞれ示している。この図に示すように、移動ピッチを大きくしていくにつれて、粗さが大きくなることが判る。

【0192】

なお以上の例においては、Zステージを移動させる移動ピッチを一定量としたが、本発明はこの構成に限らず、例えばユーザが指定する任意の移動量とすることもできる。

(高さ画像の連結領域)

【0193】

このように複数の高さ画像を連結する際、高さ画像同士で高さ方向に重複している領域

10

20

30

40

50

の扱いが問題となる。すなわち、連結対象の2つの高さ画像で、重複する部分の高さ情報として、合成高さ画像ではいずれを用いるべきかを定める必要がある。このため合成処理部216は、重複する部分の扱いを予め定めている。例えば図16Aで得られた高さ画像HIAを、図16Bで得られた高さ画像HIBと連結する場合、図16Dの合成高さ画像CHIにおいて、高さ画像HIAの上方と高さ画像HIBの下方とが重複領域OL1において重複している。同様に高さ画像HIBを画像HICと連結する場合、高さ画像HIBの上方と高さ画像HICの下方とが重複領域OL1において重複している。このような場合に合成処理部216は、信頼性指標に基づいて重複領域を処理する。

(信頼性指標)

【0194】

ここで信頼性指標とは、深度測定範囲が重複する重複領域において、各高さ画像が対応するステージ平面内の画素の有する高さ情報が、真値すなわち真の高さにどれだけ近いかを示す指標である。高さ情報を高さ画像を構成する画素の画素値とする場合は、画素値の信頼性を示す指標といえる。

【0195】

このように、複数の高さ画像を深度方向に連結するに際して、単純な加算平均などを用いずに信頼性指標を用いることで、重複する領域における高さ情報の信頼性を高めた合成高さ画像を得ることができる。

【0196】

具体的な信頼性指標としては、受光部120の焦点位置からの距離が近い方を採用する。高さ画像をパターン投影法で作成する場合は、焦点位置でなくともパターン画像(例えば縞画像)が得られ、高さ情報の演算が可能であるものの、焦点位置に近い程パターン画像が鮮明となって、高さ情報の精度が高い傾向にある。そこで、焦点距離を信頼性指標として用い、その高さ画像を生成した際の焦点位置と、注目画素との距離が近いほど、得られた高さ情報の信頼性も高いと判断できる。

【0197】

あるいは、信頼性指標として周囲画素とのコントラストを用いてもよい。具体的には、ある高さ画像の画素の信頼性指標として、この高さ画像を生成する元となったパターン画像における対応する画素と、この画素の周囲に位置する画素とのコントラストとする。周囲の画素とのコントラストが高い程、境界が鮮明なパターン光となって高さ情報を精度よく演算できる。あるいはまた、元のパターン画像の輝度値等を信頼性指標として用いてもよい。

【0198】

このようにして得られた信頼性指標に基づいて、信頼性指標が高い方の画素を、合成高さ画像の画素として採用することができる。

【0199】

なお、そもそも高さ情報が得られていない画素の場合は、無効として、高さ情報の得られている方の画素を用いる。両方の画素で高さ情報が得られていない場合は、合成高さ画像においても高さ情報は無効(null)となる。例えば深度測定範囲が重複する領域において、高さ画像の対応するXY座標の画素値について、一方の高さ画像の画素が有効で、他方の高さ画像の画素が無効な場合は、有効な画素の画素値を用いる。これにより、複数の高さ画像を深度方向に連結するに際して、重複する領域における高さ情報について、欠損した画素を補間した合成高さ画像を得ることができる。

【0200】

一方、信頼性指標の高い方を採用して低い方を破棄するのみならず、重み付けを行うこともできる。例えば信頼性指標の高い方の画素値の比重を高く、低い方の画素値の比重を低くするように重み付けを行うことで、より正確な高さ情報を得ることが期待できる。

【0201】

あるいは、信頼性指標を用いた重み付け加算平均に基づいて、合成高さ画像の高さ情報を演算してもよい。

10

20

30

40

50

(差分)

【0202】

また、部分的に重なり合う2枚の高さ画像から、所定以上の差分がある画素を抽出することもできる。具体的には、深度測定範囲が重複する領域において、合成処理部216が差分として画素を抽出し、この内で信頼性指標が高い画素値を採用するよう構成できる。この場合、合成処理部216に、高さ画像同士で所定以上の差分がある画素を抽出する差分画素抽出手段を設けてもよい。

【0203】

さらに、深度測定範囲が部分的に重複する高さ画像の合成に際して、高さ情報を選択あるいは演算する条件を、データの差分量に応じて変更することもできる。例えば、データの差分が所定以上の時は信頼性指標の高い方の画素を採用し、所定値以下の場合には、信頼性指標を用いた重み付け加算平均に基づいて、合成高さ画像の高さ情報を演算してもよい。

10

(連結測定の範囲の設定)

【0204】

上述した連結測定を実施する場合、深度測定範囲を決定する方法が幾つか考えられる。例えば、(1)Zステージの上限、下限座標をユーザに入力させ、一定の移動ピッチで上下限を含む範囲を測定、連結させる方法；(2)現在のZステージ高さから上下方向に何段階取得するかをユーザに決定させ、一定の移動ピッチで複数段階の測定を実施、連結する方法等が考えられる。

20

【0205】

しかしながら、このような深度測定範囲決定方法では、いずれも測定の前処理として、深度測定範囲を決定する手順が必要となる。この手順は、手間がかかるのみならず、複数の視野において異なる高さ範囲を指定する場合には、その都度設定が必要となつて、非常に操作が煩雑となる問題があった。そこで本実施形態においては、連結測定の範囲を自動で決定可能としている。

(深度測定範囲の設定)

【0206】

連結深度測定範囲を自動で決定するために、本実施形態1では深度探索範囲を定義する。まず図22で示す形状測定装置においては、受光光学系の左右対称な角度から、平行光束として投光光束が測定対象物WKに向かって照射される。ここで、形状測定装置が精度を保証して計測可能な範囲が、深度測定範囲である。深度測定範囲においては、左右からの投光による測定結果を平均又は合成した計測を実施することで、測定の安定化、高精度化が期待できるため、左右からの投光光束の「共通領域」として定義される。

30

【0207】

一方で、左右それぞれから独立して照射される光束のそれぞれにおいては、高精度に設定した深度測定範囲よりも広い高さ範囲で投光光束が照射されている。そこで、撮影視野に収まり、かつこれら左右それぞれの投光光束の和集合領域を深度探索範囲として定義する。これにより、測定には用いることができなくても、測定対象物上の深度測定範囲外の形状における、概略の高さ情報を取得することが可能となる。

40

(三角測距方式の組み合わせ)

【0208】

本実施形態に係る形状測定装置においては、より高精度な測定を実施するために、空間コード法とマルチスリット法、又は空間コード法と正弦波位相シフト法を組み合わせで測定を行っている。しかしながら、深度測定範囲を超えた領域では、光学系の持つ被写界深度の関係で、投影した縞パターンがぼけてしまい、十分な解像度・精度の高さ測定が不可能となる。一方で、空間コード法の比較的low解像度な測定を担う縞パターンは、図19に示したように、縞そのものの太さが光学系の被写界深度に対して十分太いため、深度測定範囲を超えた領域であっても、大まかな縞形状を保持していることが多い。図19において円筒状の天面に照射された縞パターンは、深度探索範囲上に位置するため縞がぼけてい

50

るものの、大まかな縞形状は維持されている。この特性を利用すれば、深度探索範囲内かつ深度測定範囲外の、おおまかな高さ情報を得ることが可能となる。

【0209】

なお、本実施例では、空間コード法とマルチスリット法、又は空間コード法と正弦波位相シフト法を組み合わせ測定を行ったが、空間コード法を用いなくても周期が異なる2以上のパターンをそれぞれ位相シフトして投影することにより、空間コード法との組み合わせ測定と同様の効果を得ることもできる。例えば、周期が粗い第一パターンを投影し、位相シフトすることにより測定対象物WKの低分解能な測定を行い、次いで周期が短い第二パターンを投影し、位相シフトすることにより測定対象物WKの高分解能な測定を行い、これらを組み合わせることにより絶対値を有する精度の高い測定が可能である。この場合は

10

(深度拡張モード選択部254)

【0210】

上述の通り本実施形態に係る形状測定装置においては、Zステージ高さを固定した1回の測定を行うワンショット測定機能と、複数のZステージ高さで測定した結果を結合する深度拡張測定機能を備えている。ここで、深度拡張測定機能として、自動で深度拡張を行う自動深度拡張機能と、手動で深度拡張を行う手動深度拡張測定機能のいずれかを行うことができる。あるいは、これらを切り替え可能とすることもできる。深度拡張測定機能の自動と手動を切り替えるには、深度拡張モード選択部254でもって行わせる。

20

(実施例1：累積画像に基づく自動深度拡張)

【0211】

ここで、実施例1に係る自動深度拡張について説明する。深度探索範囲内かつ深度測定範囲外のおおまかな高さ情報から、それらの高さを深度測定範囲内で測定するZステージ位置を求め、その位置に移動して測定を行うことで、自動的に連結測定の範囲を拡張できる。ここでは図23に示すように、視野を構成する画素の中で、立体形状データを取得した画素(測定画素)を累積していく。図23の例では、深度測定範囲HT1で撮像した画像IG1では、矩形形状の周囲の領域では高さが取得できているものの、中央の楕円の領域では高さが取得できておらず、高さ情報が欠損した画素を持つ画像となっている。そして、深度測定範囲をHT1からHT2に変更して画像IG2を撮像すると、画像IG1では高さ未測定であった画素の一部で高さが得られている。同様にして深度測定範囲HT3で画像IG3を、深度測定範囲HT4で画像IG4を、それぞれ撮像すると、それぞれ欠損していた画素で高さが取得されている。このようにして、深度測定範囲毎に高さが得られた画素を、図24A～図24Dに示すように累積していく。例えば図24Aでは、画像IG1を、また図24Bではこの画像IG1に、画像IG2で高さ情報の得られた画素を蓄積した蓄積画像を示している。これによって図24の画像IG1と比べ、高さ情報の欠損している未測定画素が低減していることが判る。さらに図24Cでは、画像IG3で高さ情報の得られた画素を蓄積した蓄積画像を示しており、図24Bよりも未測定画素の領域がさらに低減している。そして図24Dでは、画像IG4で得られた画素を累積して、すべての領域の画素で高さ情報が得られている。このように、取得済み画素を累積した累積画像に基づいて未測定の画素(未測定画素)の有無を判定し、未測定画素が存在する場合は

30

40

(立体形状データ)

【0212】

ここで立体形状データとは、測定対象物の形状をパターン投影法で測定するためのデータであり、必ずしも高さ情報を含むことを要しない。すなわち、高さ情報を未測定のデータであっても、高さ情報を演算可能なデータを含む場合は立体形状データと呼ぶ。

(自動深度拡張の手順)

【0213】

このような自動連結の手順を、図25に示す。まずステップS2501において、測定

50

を行う。次にステップ S 2 5 0 2 において、深度探索範囲内に対応する高さを有する領域があるか否かを判定し、ある場合はステップ S 2 5 0 3 に進み、Z ステージ 1 4 2 を、深度探索範囲内に対応する高さを有する領域が測定可能な Z ステージ位置に移動させる。この際、既に測定した Z ステージ位置は除く。また、候補となる Z ステージ位置が複数ある場合は、最も近い位置に移動させる。そしてステップ S 2 5 0 1 に戻って、測定などの処理を繰り返す。一方、ステップ S 2 5 0 2 において、深度探索範囲内領域がないと判定された場合は、ステップ S 2 5 0 4 に進み、測定を終了する。

【 0 2 1 4 】

このように、Z ステージ 1 4 2 の各位置での測定で、深度探索範囲内で深度測定範囲外の高さ情報を記憶しておく。これにより、移動すべき Z ステージ位置が上下両側に存在していても、上下両方向に拡張していくことが可能になる。また、一度測定した Z ステージ位置には移動しないようにすることで、測定が無限ループとなる事態を回避できる。

10

【 0 2 1 5 】

このような手順により、測定対象物のすべての高さを網羅した連結測定が可能になる。また、Z ステージ 1 4 2 の移動が必要なくなった時点で測定が終了するため、連結測定の合計時間は、常に最小となる。

【 0 2 1 6 】

また、自動深度拡張に際して、Z ステージ 1 4 2 の上限の高さを設定することもできる。Z ステージ 1 4 2 の上限高さは、自動深度拡張時の Z ステージ位置の最高値として形状測定装置側で規定値とする他、ステージ 1 4 0 上に載置した測定対象物の高さに応じて、若干のマージンを加味して自動設定させたり、あるいは規定値や自動設定された値をユーザが調整可能としたり、任意の値を指定可能としてもよい。これにより、自動深度拡張時に Z ステージが上昇しすぎて、ステージ上の測定対象物がレンズに衝突する事態を回避できる。

20

(光学系に関する変形例)

【 0 2 1 7 】

以上の実施形態 1 に係る形状測定装置では、撮像部を構成する受光部 1 2 0 を単眼のカメラとし、また測定対象物の上方に投光部 1 1 0 を 2 つ設けて、左右二方向から投光させる構成について説明したが、本発明は光学系の構成をこれに限定するものでなく、他の光学系を採用することもできる。例えば、受光部として単眼のカメラを用いて、投光部を一方のみからの投光とすることもできる。あるいは、受光部として単眼カメラに代えて複眼カメラを用いて、一方向から投光させてもよい。

30

(測定原理に関する変形例)

【 0 2 1 8 】

また、上述した実施形態 1 に係る形状測定装置では、測定対象物の三次元形状を測定する測定原理として、グレイコードとマルチスリット投影の三角測距法を採用したが、本発明は測定対象物の三次元形状を測定する測定原理をこれに限定するものでなく、他の方式も適宜利用できる。例えば、正弦波投光による三角測距法や、ランダムパターン投光による三角測距法、ライン光投影とスキャンによる三角測距法等の方法が利用できる。

(測定対象物の移動機構に関する変形例)

40

【 0 2 1 9 】

さらに、上述した実施形態 1 に係る形状測定装置では、Z ステージ 1 4 2 を移動させる機構として Z ステージ 1 4 2 を直接移動させる構成を採用しているが、本発明は測定対象物の移動機構をこれに限定するものでなく、他の構成も適宜利用できる。例えば、X, Y, Z の各軸について並進、回転の 6 つの自由度を持つ移動ステージを用いたり、あるいは手動による自動移動としてもよい。

(測定対象物のワーキングディスタンス調整機構に関する変形例)

【 0 2 2 0 】

さらに、上述した実施形態 1 に係る形状測定装置では、Z ステージ 1 4 2 を移動させて測定対象物と受光部 1 2 0 とのワーキングディスタンスを調整する構成を採用しているが

50

、本発明はワーキングディスタンスの調整機構をこれに限定するものでなく、他の構成も適宜利用できる。例えば、受光部側を移動させてもよい。

(実施例 2 : 単一高さ画像の端部に基づく自動深度拡張)

【0221】

以上の例では、取得済み画素を累積した累積画像に基づいて深度拡張の要否を判定する自動深度拡張の手順を説明した。ただ本発明は、必ずしも画像の高さ方向への深度拡張及び自動連結に際して、過去の画素を累積することを要しない。例えば、単一の高さ画像から深度拡張の要否を判定することもできる。このような例を実施例 2 として、以下説明する。ここでは図 26 に示すように、ある深度測定範囲内で高さ画像を取得する。そして、得られた一枚の高さ画像において、深度測定範囲の端部、すなわちこの深度測定範囲の上
10
限又は下限の何れかに立体形状データを有するか否かを判定する。例えば高さ画像の一方の端部に立体形状データを有する場合は、深度測定範囲の外側に測定対象物が伸びている可能性が高いと推定し、さらに深度測定範囲を変えて高さ計測を行う。そして変更後の深度測定範囲においても、同様に端部に立体形状データを有するか否かを判定して、同様に立体形状データを有する場合はさらに深度測定範囲を変えて処理を継続する。一方で、端部に立体形状データが存在しない場合は、この方向への処理を終え、他方の端部に立体形状データが存在するか否かを判定し、同様の処理を行う。そして、両方の端部で立体形状データが存在しない場合は、処理を終了する。なお、上記は一例であり、例えば両方の端部に立体形状データが存在する場合は、一方の端部に深度測定範囲を拡張した後、他方の端部に深度測定範囲を拡張するようにしてもよい。ただしこの方法では、Z ステージを一方の端部の方向に拡張した後、元の位置に戻って他方の端部の方向に拡張することとなり、Z ステージの移動量が大きくなる可能性がある。そこで上述の通り、上下何れかの方向に一旦拡張を継続し、その後、他方の方向に拡張するようにすることが好ましい。

(実施例 3 : 単一高さ画像の範囲内に基づく自動深度拡張)

【0222】

さらに本発明は、上述した単一の高さ画像の端部に立体形状データが存在するか否かでもって深度測定範囲の拡張の有無を判定する方法に限られず、深度測定範囲内で立体形状データが測定できた画素が存在すれば、深度測定範囲を拡張するようにしてもよい。すなわち、ある深度測定範囲で取得した高さ画像において、深度測定範囲内のいずれか一でも立体形状データが測定できた画素が存在すれば、測定対象物が存在していると推定して、その方向への深度拡張を継続する。この方法であれば、単に高さ画像が立体形状データを含むことのみで判定を行えるため、判定処理を簡単に行える利点が得られる。

(自動深度拡張測定機能を有する形状測定プログラム)

【0223】

ここで、自動深度拡張測定機能を形状測定プログラムのユーザインターフェース画面の例を図 27 ~ 図 31 に示す。これらの図に示す形状測定プログラムも、画像表示領域 410 と操作領域 420 を備える。画像表示領域 410 は、測定対象物のテクスチャ画像や高さ画像を表示させるための領域である。操作領域 420 は、主に各種の操作をユーザが指示したり、ユーザに対して操作内容の説明や誘導を行うための領域である。図 27 等の画面では、左側から画面の大半に画像表示領域 410 を配置し、右側に操作領域 420 を配置している。さらに画像表示領域 410 の上には、撮像条件の設定を行う撮像設定部の一形態として、画像表示領域 410 で表示される画像に対して、倍率表示や焦点調整等を行うための撮像設定領域 510 が配置されている。なおこれらの配置は一例であって、各部材の配置や大きさ等は適宜変更できる。

(観察モード切替部)

【0224】

形状測定プログラムから、高さ画像に基づく観察と、テクスチャ画像に基づく観察を行うことができる。観察の切り替えは、観察モード切替部から行う。図 27 の例では、観察モード切替部の一形態として、操作領域 420 に「3D 測定」タブ 531 と「画像観察」タブ 532 が設けられており、何れかのタブを選択することで観察モードの切り替えが可
40
50

能となる。「3D測定」タブ531を選択すると、高さ画像の生成及び生成された高さ画像に基づく計測などの観察が可能となる。一方、「画像観察」タブ532を選択すると、テクスチャ画像に基づく計測等の観察が可能となる。

(フルオート観察モード)

【0225】

ここで、形状測定プログラムで自動深度拡張測定機能を実行するには、図27の画面から「フルオート」ボタン533を押下する。これにより、フルオート観察モードすなわち自動深度拡張測定モードが選択される。フルオート観察モードでは自動で深度方向への拡張が行われて、画像表示領域410に表示される測定対象物の合成高さ画像が取得される。

(マニュアル観察モード)

【0226】

一方、形状測定プログラムで手動深度拡張測定機能を実行するには、図27の画面から「マニュアル」ボタン535を押下する。これにより、マニュアル観察モードが選択されて、手動で深度方向への拡張が可能となる。マニュアル観察モードの例を図28に示す。この例に示すマニュアル観察画面540では、操作領域420に「Z測定範囲」指定欄541、「測定モード」選択欄542、「測定方向」指定欄543、「測定明るさ」設定欄544、「テクスチャ撮影」選択欄545が設けられている。

(「Z測定範囲」指定欄541)

【0227】

「Z測定範囲」指定欄541は、深度拡張測定モードを選択する深度拡張モード選択部254の一形態をなす。この例では、図28に示すように「Z測定範囲」指定欄541において、ユーザがドロップボックスから「自動」、「測定」、「手動」のいずれかを選択できる。この内「自動」を選択すると、自動で深度拡張測定を実行する自動深度拡張モードとなる。また「手動」を選択すると、ユーザが手動で深度拡張測定を実行する手動深度拡張モードとなる。一方、「測定」を選択すると、所定の深度範囲の測定を行う。いいかえると、深度範囲を拡張せず、形状測定装置で測定可能な所定の高さ範囲で高さ画像を生成する。上述した、Zステージ高さを固定した1回の測定を行うワンショット測定機能に相当する。

【0228】

「測定モード」選択欄542は、測定モードを選択する測定モード選択部257の一態様である。測定モードとは、高さ画像の生成に際して撮像される縞画像の撮像条件を調整することで、観察の用途に応じた測定を行えるようにするものであり、予め複数の測定モードが準備されており、ユーザは観察の目的等に応じて所望の測定モードを選択する。「測定モード」選択欄542では、複数の測定モードの中からいずれかを指定する。ここでは、図29に示すようにドロップボックスから「オート」、「スタンダード」、「反射/潜り込み光除去モード」、「高精細(粗さ)」のいずれかを選択できる。

【0229】

「オート」を選択すると、複数の測定モードの内から、自動で適切な測定モードが選択されるオート測定モードが選択される。

【0230】

「スタンダード」を選択すると、標準的な測定モードであるスタンダード測定モードが選択される。

【0231】

「反射/潜り込み除去」を選択すると、投光の反射や潜り込み光の除去に適した反射/潜り込み光除去モードが選択される。この測定モードはファイン測定モード等とも呼ばれ、測定光の投影パターンをスタンダード測定モードよりも細かくしており、潜り込み光や多重反射、乱反射等の間接光成分を排除する測定モードである。この測定モードは、測定対象物が白濁樹脂のような半透明体や、ネジのような凹凸金属体の場合に効果が高い。測定に要する時間は、スタンダード測定モードよりも長くなる。

【0232】

10

20

30

40

50

「高精細（粗さ）」を選択すると、測定対象物の表面の粗さの測定といった、より高精細な高さ画像を生成する高精細モードが選択される。

【0233】

また、他の測定モードを追加してもよい。例えばハレーション除去測定モードは、投影パターンはスタンダードと同じであるが、露光時間又は測定光の投影光量を変化させることで、ダイナミックレンジを拡大して測定する測定モードである。これによって明暗差の激しい対象物で黒潰れや白とびを抑制できる効果が得られる。例えば、金属体に黒樹脂が埋まっているような対象物で効果的となる。測定に要する時間は、スタンダード測定モードよりも長くなる。さらにスーパーファイン測定モードは、上述した反射/潜り込み光除去モードとハレーション除去測定モードの組み合わせであり、最も精度を向上できるが、その分測定に要する時間は最も長くなる。

10

【0234】

「測定方向」指定欄543では、投光部110を指定する。ここでは、図4で示す第一投光部110A、第二投光部110Bのいずれか又は両方を選択できる。図30に示す例では、「測定方向」指定欄543に設けられたドロップボックスから、「左側のみ」、「右側のみ」、「両方」のいずれかを選択できる。

【0235】

「左側のみ」を選択すると、図4の第一投光部110Aが選択されて左側からの投光のみが得られる。「右側のみ」を選択すると、図4の第二投光部110Bが選択されて右側からのみ投光される。「両方」を選択すると、図4の第一投光部110A及び第二投光部110Bが選択されて、両側から投光される。

20

【0236】

「測定明るさ」設定欄544では、画像表示領域410で表示される画像の明るさを調整する。テクスチャ画像の明るさは、例えば撮像部である受光部120の露光時間やシャッタースピードを調整することで可能となる。また「測定明るさ」設定欄544では、テクスチャ画像の明るさの調整を自動で行うオート明るさ調整と、手動で調整するマニュアル明るさ調整を、ラジオボタンで切り替え可能としている。例えば、図31に示すように「オート」を選択すると、現在画像表示領域410で表示されている画像に応じて、自動で適切な明るさに調整される。また「マニュアル」を選択すると、ユーザが手動で画像の明るさを調整できる。ここでは、スライダでもってテクスチャ画像の明るさを調整するよう構成している。また画像表示領域410で表示される画像の明るさが、「測定明るさ」設定欄544で調整した後の明るさに、リアルタイムに反映される。

30

（テクスチャ画像選択手段460）

【0237】

テクスチャ画像選択手段460の一形態である「テクスチャ撮影」選択欄545では、撮影するテクスチャ画像を選択する。ここでは、「ノーマル」と「HDR」をラジオボタンで選択可能としている。「ノーマル」を選択すると、通常のテクスチャ画像を撮影するよう設定される。一方、「HDR」を選択すると、HDR画像を撮影するよう選択される。また、その他のテクスチャ画像を選択可能としてもよい。例えば深度合成画像を選択可能としてもよい。

40

（実施例3：手動深度拡張）

【0238】

以上の例では、自動で深度拡張と連結測定時を行う例について説明した。ただ本発明は、深度拡張を自動で行う構成に限られず、これを手動で行うこともできる。この手動深度拡張機能を用いて手動で深度拡張を行って、高さの異なる複数の高さ画像から、合成高さ画像を生成する手順を、図32のフローチャート及び図33A～図33Gに基づいて説明する。まずステップS3201において、合成高さ画像を取得したい測定対象物の光学画像を表示させる。ここではユーザに、測定対象物をZステージ142上に載置させて、光学画像を取得して、表示部400上に表示させる。一例として、測定対象物を表示させた光学画像Aを、図33Aに示す。このとき、焦点位置の調整はユーザが行ってもよいし、

50

自動で行ってもよい。あるいは焦点位置の調整を行わなくてもよい。自動で焦点位置を調整する方法として、例えば光学画像上の所望の位置でマウスをクリックすると、指定された位置に焦点が合うようにオートフォーカスさせることが挙げられる。

【0239】

次にステップS3202において、高さ画像を取得したい位置を高さ指定位置として指定する。ここではユーザが表示部400上に表示された光学画像上において、高さ画像を取得したい高さ指定位置を、操作部で指定する。このとき、光学画像は二次元画像であるから、高さ指定位置の指定はXY平面上での指定となる。例えば表示部400上で所望の位置をクリックすると、このXY位置が有するZ座標位置が高さ指定位置として記録される。また、高さ指定位置を基準として、自動でオートフォーカスを実行させてもよい。これにより、高さ指定位置の光学画像をより鮮明に表示させることができる。

10

【0240】

次にステップS3203において、指定された高さ指定位置において高さ画像を生成する。例えばユーザが形状測定プログラムのユーザインターフェース画面上から、高さ画像生成ボタンを押下する。これにより、形状測定装置は指定された高さ指定位置(XY座標)における高さ情報(Z座標)を取得すると共に、この高さに基づいて所定の深度測定範囲で高さ画像を生成する。一例として、図33Aの光学画像A上で指定された高さ指定位置で得られた高さ画像Dを、図33Dに示す。なお高さ画像Dは、必ずしも表示部上に表示させる必要はなく、非表示としてもよい。ユーザ側に中間の高さ画像の生成作業を意識させることなく、バックグラウンドで処理させることができる。ただ、高さ画像Dを表示させてユーザに確認させるようにしてもよい。また、生成された高さ画像Dは、後述する合成高さ画像の生成処理に用いるために、一時的に保存される。

20

【0241】

なお、ステップS3202において高さ指定位置の指定を受け付けると、自動でステップS3203の高さ画像の生成を実行させてもよい。これにより、ユーザ側の操作の手間を省力化できる。例えば、光学画像上で任意の位置をシングルクリックするとオートフォーカスが働き、ダブルクリックすると高さ画像の取得処理が実行されるようにする。これにより、ユーザは少ない操作で焦点位置の調整と高さ指定位置の指定、及び高さ画像の生成処理を行うことが可能となる。

【0242】

次にステップS3204において、他の高さ指定位置を指定するかどうかを判定する。すなわち、異なる高さで生成された高さ画像を合成するために、必要な数の高さ画像が得られたか否かを判定する。ここではユーザが別の高さ指定位置の指定するか、あるいは高さ指定位置の指定を終えて合成高さ画像の生成に進むかの指示を、形状測定装置側で受け付ける。

30

【0243】

ユーザが高さ画像を追加したい場合、すなわち他の高さ指定位置をさらに指定したい場合は、ステップS3202に戻り、別の高さ指定位置を指定する。このとき、既に高さ指定位置を指定した光学画像と同じ画像上で高さ指定位置を指定する。いいかえると、光学画像の視野の変更を行わない。合成高さ画像の生成のためには、同じ姿勢の測定対象物に対して、異なる高さの高さ画像を取得する必要があるからである。もし光学画像の視野を変更したい場合は、ステップS3201に戻って光学画像の表示からやり直す。

40

【0244】

また、別の高さ指定位置の指定に際しては、既に指定した高さ指定位置の高さとは異なる高さを光学画像上で指定する必要がある。このため、光学画像の焦点位置を変更することが好ましい。この際、焦点位置の調整をユーザが手動で行う他、自動で焦点位置を調整するようにしてもよい。例えば上述の通り、ユーザが光学画像上で所望の位置をクリックすると、指定された位置でオートフォーカスが実行される方法が利用できる。一例として、図33Aと同じ測定対象物に対して、図33Aで指定した高さ指定位置よりも高い位置を高さ指定位置として指定する光学画像Bの例を、図33Bに示す。また図33Bよりも

50

高い焦点位置に調整した光学画像 C を図 3 3 C に示す。さらに図 3 3 B で指定された高さ指定位置で生成された高さ画像 E を図 3 3 E に、図 3 3 C で指定された高さ指定位置で生成された高さ画像 F を図 3 3 F に、それぞれ示す。

【 0 2 4 5 】

このようにユーザは、測定対象物の高さ範囲をすべて含むように、異なる高さ範囲で高さ画像を複数枚取得する必要がある。好ましくは、測定対象物の異なる高さの中で、低い位置から高い位置に、あるいは高い位置から低い位置に、順に高さ指定位置を順次指定していくことが好ましい。このような複数の異なる高さ指定位置を適切に指定できるよう、例えば指定済みの高さ指定位置の高さ情報を表示部 4 0 0 上の指定済み高さ指定位置表示欄に表示させ、高さ指定位置を追加する度に高さ情報の一覧を更新するようにしてもよい。

10

【 0 2 4 6 】

このようにして、追加の高さ指定位置が指定されると、同様にステップ S 3 2 0 3 に進んで指定された高さ指定位置で高さ画像を生成し、一時保存する。そしてステップ S 3 2 0 4 において、同様に追加の高さ指定位置の可否を判定する。

【 0 2 4 7 】

このようにして必要な高さ画像がすべて得られたとユーザが判断すると、ステップ S 3 2 0 5 に進み、合成高さ画像の生成を指示する。ここでは形状測定装置が、得られた複数枚の高さ画像を深度方向に合成して、より広い深度範囲を有する合成高さ画像を合成処理部 2 1 6 でもって生成する。一例として、図 3 3 D の高さ画像 D と、図 3 3 E の高さ画像 E と、図 3 3 F の高さ画像 F とを合成した合成高さ画像 G を、図 3 3 G に示す。このようにして、複数の高さ画像が合成されて、形状測定装置で物理的に測定可能な高さ範囲よりも広い高さ範囲の高さ画像を得ることが可能となる。

20

【 0 2 4 8 】

また以上の手動深度拡張の手順は、形状測定装置でユーザに対して行うべき手順を案内するようにガイダンス機能を持たせても良い。例えば形状測定プログラムでもって、手動深度拡張を実行させると、ユーザに対して行うべき動作を表示部上に表示させて、行うべき手順を誘導することができる。この方法であれば、形状測定装置の操作に詳しくないユーザであっても、行うべき操作を提示して誘導することで、容易に合成高さ画像を生成することが可能となる。

(Z 連結手動設定)

30

【 0 2 4 9 】

以上の手動深度拡張機能を実行する手順を、図 3 4 ~ 図 4 1 のユーザインターフェース画面に従って説明する。まず、図 3 4 に示すように「 3 D 測定 」タブ 5 3 1 を選択し、「 マニュアル 」ボタン 5 3 5 を押下して 3 D 測定画面のマニュアル観察画面 5 4 0 を表示させた状態で、「 Z 測定範囲 」指定欄 5 4 1 から「 手動 」を選択して手動深度拡張モードに切り替えて、画像表示領域 4 1 0 にテクスチャ画像を表示させる (図 3 2 のステップ S 3 2 0 1)。

【 0 2 5 0 】

この状態で、テクスチャ画像の焦点位置を調整して、高さ画像を取得したい高さ指定位置を指定する (図 3 2 のステップ S 3 2 0 2)。高さ指定位置は、撮像設定領域 5 1 0 の焦点位置表示欄 5 1 6 b に数値で表示される。

40

【 0 2 5 1 】

そして、指定された高さ指定位置を基準にして、高さ画像を生成する (図 3 2 のステップ S 3 2 0 3)。ここでは、図 3 4 の右下に設けられた「 測定 」ボタン 5 4 6 を押下することで、高さ画像の生成を実行させる。

(3 D プレビュー画面 5 5 0)

【 0 2 5 2 】

生成された高さ画像は、図 3 5 に示すように 3 D プレビュー画面 5 5 0 に表示される。ここでは、指定された高さ指定位置から、形状測定装置で測定可能な範囲の高さ画像が表示されている。いいかえると、形状測定装置のハードウェア的な仕様によって、測定対象

50

物の形状によっては、高さ方向の全体をカバーする高さ画像を生成することはできない。図35の例では、測定対象物の一部の高さ画像HI1が表示される。ユーザは、画像表示領域410に表示された高さ画像HI1を見て、所望の高さ画像が取得されていれば、画面右下に設けられた「登録」ボタン551を押下して、この高さ画像HI1を保存する。ここでは図1の高さ画像記憶部241に保存される。

(テクスチャ画像の取得)

【0253】

図35の3Dプレビュー画面550では、高さ画像HI1としてテクスチャ画像を貼り付けた合成画像が表示されている(なお本明細書においては、説明のため3Dプレビュー画面550で表示されている、高さ画像にテクスチャ画像を合成した合成画像を、単に高さ画像と呼ぶことがある)。テクスチャ画像は、例えば「測定」ボタン546を押下することで取得される。すなわちユーザが「測定」ボタン546を押下するだけで、高さ画像に加えて、テクスチャ画像も撮像されて保存される。テクスチャ画像の撮像時には、図1の照明光出力部130から照明光が照射される。また「登録」ボタン551が押下されると、高さ画像の保存と共に、テクスチャ画像も保存される。撮像されたテクスチャ画像は、テクスチャ画像記憶部242に保存される。

【0254】

なお、保存前の高さ画像やテクスチャ画像、あるいはこれらの合成画像は、3Dプレビュー画面550で表示させてユーザに確認することが目的である。いいかえると、高精細な画像でなくとも、目視による確認ができれば足りる。このため3Dプレビュー画面550で表示させる段階では、通常の高さ画像やテクスチャ画像、あるいはこれらの合成画像を生成するよりも、簡易的な条件で生成した簡易高さ画像、簡易テクスチャ画像、簡易合成画像とすることもできる。そしてユーザの確認を経て保存する際に、改めて通常の高さ画像、テクスチャ画像、合成画像を生成し、これらを適宜保存するように構成してもよい。このようにすることで、処理の簡素化、効率化が図られる。

【0255】

また3Dプレビュー画面550においては、上述の通り操作領域420に各種の設定部を配置しており、画像表示領域410で表示される画像に対する操作を行える。例えば、上段の「3D」ボタン553、「テクスチャ」ボタン554、「高さ」ボタン555を切り替えることで、合成画像、テクスチャ画像、高さ画像の表示を切り替えることが可能となる。ここで「高さ」ボタン555を押下して高さ画像を選択すると、高さに応じて色分けされた高さ画像が表示される。例えば等高線状に、高さの低い領域を青色、高い領域を赤色とし、その中間領域を青 緑 黄 橙 赤等と連続的に変化させるように着色して、視覚的に高さを認識しやすくできる。また画像表示領域410の隅部には、高さと着色の関係を示すスケールを表示させることができる。

【0256】

さらに3Dプレビュー画面550の操作領域420には、高さ倍率調整欄556、テクスチャ調整欄557、欠測点表示選択欄558、目盛り表示選択欄559、3次元計測選択ボタン560などが配置されている。高さ倍率調整欄556では、高さ方向の拡大率をスライダで調整できる。テクスチャ調整欄557では、合成画像に重ねて表示されるテクスチャ画像の透過率を設定できる。欠測点表示選択欄558では、高さ画像を構成する画素の中で高さ情報が得られていない欠測点をハイライトして表示させる欠測点表示機能のON/OFFを選択する。目盛り表示選択欄559では、座標軸に沿って目盛りを表示させる目盛り表示機能のON/OFFを選択できる。3次元計測選択ボタン560では、3次元計測機能のON/OFFを選択できる。また、擬似的な照明光で陰影を強調したり、画像表示領域410に表示される高さ画像の精細さを調整する品質調整機能などを付加してもよい。

【0257】

以上のようにして、形状測定装置側で高さ画像の生成に必要な作業を効率良く行うことができる。またテクスチャ画像の撮像や保存といった作業は、ユーザ側の指示がなくとも

10

20

30

40

50

適切なタイミングで自動で行わせることで、使い勝手のよい環境が実現される。

【0258】

次に、3D測定画面に戻って他の高さ指定位置を指定する（図32のステップS3204）。ここでは、焦点位置を高い位置に設定して図36に示す状態とする（図32のステップS3202）。図36においては、焦点位置表示欄516bにおける焦点位置の値が大きくなっている。この状態で同様に高さ画像を生成し（図32のステップS3203）、図37に示すように3Dプレビュー画面570に表示させる。図37で示す高さ画像HI2の例では、図35の高さ画像HI1とは異なる高さ範囲の高さ画像が得られている。（合成高さ画像生成機能）

【0259】

ここで、3Dプレビュー画面570においては、取得した高さ画像に、保存済みの異なる高さ画像を合成する合成高さ画像生成機能を実行することができる。図37の例では、画像表示領域410の左上に設けられた高さ画像切替部571である「シングル」ボタン572、「Z連結」ボタン573でもって、単独の高さ画像の表示と、合成高さ画像の表示とを切り替え可能としている。図37では「シングル」ボタン572が選択されて、現在生成された高さ画像を表示している。この状態で「Z連結」ボタン573を押下すると、図38の3Dプレビュー画面580に切り替えられ、図35の高さ画像HI1と図37の高さ画像HI2を合成した合成高さ画像CHI2が、画像表示領域410に表示される。この結果、形状測定装置の仕様上の高さ範囲の制約を超えて、より広い高さ範囲の高さ画像を得ることが可能となる。

【0260】

図38の合成高さ画像CHI2を、図35の高さ画像HI1と比較すると、図35の高さ画像HI1では得られていなかった、測定対象物の左下の円柱状の上面が、図37の高さ画像HI2を加えることによって補完されていることが判る。これによってユーザは、得られた高さ画像を蓄積することで、所望の領域の高さ情報が得られているかどうかを3Dプレビュー画面580上から視覚的に確認できる。そして高さ情報が不足している領域、例えば図38の右上の円形状に欠けた領域の高さ情報を得ようと思えば、3D測定画面に戻ってこの領域の高さ指定位置を指定し、高さ画像を得ることができる。このように3Dプレビュー画面580では、取得済みの高さ画像と合成して得られる合成高さ画像に表示内容を更新することができる。

【0261】

また次の高さ画像を生成する高さを検討するに際して、上述の通り、現在生成しようとしている高さ画像のみを表示させる高さ画像単独表示（「シングル」表示）と、既に生成された高さ画像を合成した合成高さ画像表示（「Z連結」表示）とを、高さ画像切替部571から「シングル」ボタン572、「Z連結」ボタン573で切り替えて3Dプレビュー画面550上で表示させることができる。これに加えて、必要に応じて、高さ画像単独表示と合成高さ画像表示とを一画面で並べて表示させるようにしてもよい。例えば図39に示す3Dプレビュー画面590では、画像表示領域410を二分割して、左側を高さ画像単独表示領域591とし、右側に合成高さ画像表示領域592としている。このように一画面上で現在生成中の高さ画像と、これを加えた合成高さ画像とを並べて表示させることで、所望の合成高さ画像が得られるかどうかをユーザは視覚的に確認でき、高さ画像を生成する高さ指定位置の指定が正しく行われているかどうかを判断し易くなる。

【0262】

このようにして、3Dプレビュー画面上で高さ画像として必要な部位を視覚的に確認しながら、高さ画像を追加していくことが可能となる。

【0263】

またこの方法であれば、ユーザが高さ情報を求めたい高さに焦点を合わせた状態で、この高さを高さ指定位置として指定することにより、指定された高さを基準にして高さ画像を生成できる。この結果、精度の高い高さ情報を有する高さ画像を生成できる。特に高さ画像を生成する際に撮像する縞画像等の立体形状データについて、この立体形状データを

10

20

30

40

50

撮像した高さを基準に高さ情報を演算するという原理上、高さ指定位置の近傍ほど高さ情報の精度が高くなる傾向がある。そこで、ユーザが欲しい高さを直接指定させ、この高さを基準に高さ画像を生成し、さらにこれを複数合成することで、ユーザが必要な高さ情報を精度よく取得でき、測定においても有効利用できるという利点が得られる。いいかえると、単純に深度方向に深度測定範囲を変えて順次高さ画像を取得して連結する構成と比べ、必要な部位の高さ情報をより正確に得られるという利点が得られる。

【0264】

このようにして、深度拡張により高さ画像の深度方向の制約を解除した観察や測定が実現される。

(合成高さ画像生成機能の実行不可能時の警告)

10

【0265】

なお、合成高さ画像生成機能は、異なる高さ指定位置の高さ画像が既に保存されている場合に実行可能となる。例えば上述した図35の3Dプレビュー画面550では、高さ画像が未だ一枚も保存されていないので、合成高さ画像生成機能を実行できない。よってこの画面では「シングル」ボタン572、「Z連結」ボタン573等の高さ画像切替部571を表示させていない。これによって、ユーザは誤って合成高さ画像生成機能を実行することがない。一方、図37の3Dプレビュー画面570では、既に高さ画像が保存されているため、高さ画像切替部571が表示されている。これによりユーザが、合成高さ画像生成機能を実行できない状態で、誤って高さ画像切替部を操作しようとする誤操作を回避でき、使い易さが高められる。また、合成高さ画像生成機能の禁止は、上述した高さ画像切替部の表示、非表示の切り替えに限られず、他の構成、例えば高さ画像切替部をグレースアウトさせて選択不能とするなど、種々の態様が適宜利用できる。

20

【0266】

このようにして、異なる高さ画像を確認した上で、これを保存する場合は、同様に「登録」ボタン551を押下して、処理を継続し、図40の合成高さ画像CHI3が得られる。

【0267】

なお合成高さ画像は、必ずしも高さ方向に連続している必要はなく、離散的であってもよい。図40の合成高さ画像CHI3を、異なる方向から見た3Dプレビュー画面550の例を図41に示す。この例では、測定対象物の円筒状の部分の中間の高さ画像が得られていない。測定対象物の内で、計測したい部位が含まれておれば、観察や測定の目的は達成できる。このように合成高さ画像は、必ずしも深度方向に連続していることを要さず、離散しているものも含まれる。

30

【0268】

また合成高さ画像の生成や保存は、各高さ画像と個別に行ってもよいし、同時に行ってもよい。例えば、図40の合成高さ画像を表示させた状態で、「登録」ボタン551を押下すると、図40の合成高さ画像CHI3を保存すると共に、他の高さ画像も合わせて保存してもよいし、あるいは高さ画像を図35、図37で個別に保存する一方で、これらの高さ指定位置やその他の高さ情報から、図40の合成高さ画像を構築できるように相対関係のみを保存し、図40の合成高さ画像を呼び出す際には、図35、図37の各高さ画像データと共に、これらの相対関係情報から、合成高さ画像を表示させるように構成してもよい。

40

【0269】

このようにして、手動で深度拡張を行う手動深度拡張機能を実行できる。

【0270】

以上のようにして形状測定装置は、高さ情報を有する高さ画像を生成することができる。このようにして得られた測定対象物の三次元の形状に対して、形状測定装置を用いて測定を行うことができる。例えば指定した寸法や高さの測定や、これらの平均値や最大値、最小値、面積、体積の算出等が行える。

【0271】

また、ステージ上に載置した測定対象物を同じ姿勢のまま、測定設定として記憶し、連

50

続測定に用いることもできる。例えば、基準品の測定対象物について、これらの値を測定し、測定設定として保存部に保存した後、比較品の測定対象物をステージ上に逐次載せ替えて、基準品の値との比較を行うこともできる。このような比較測定の場合、比較品の測定対象物の値を測定するには、基準品と同じ姿勢で測定する必要がある。すなわち、基準品の測定対象物の高さ画像を取得した際の姿勢と同じ姿勢で、ステージ上に載置する必要がある。このためユーザに対して、ステージ上に測定対象物を置く位置を示すガイドを表示させたり、治具を用いて物理的にガイドする等の方法を用いることが好ましい。

【0272】

また、ステージ140をZステージ142のみならず、XYステージ141も電動で駆動するようにした場合は、ステージ側を移動、回転させて、このステージ上の測定対象物の姿勢を、基準品の測定対象物の姿勢と同じ状態に調整することもできる。この場合、例えば比較品の測定対象物のテクスチャ画像や輪郭画像、高さ画像等を取得し、基準品の測定対象物でパターンマッチングを行い、対応する位置及び姿勢（回転角度など）を求め、得られた位置及び姿勢に比較品の測定対象物を配置するようにXYステージ141をステージ駆動部で移動させる。この方法であれば、ステージ140上に比較品の測定対象物を置く作業を簡素化できる。

（自動画像XY連結機能）

【0273】

また本実施形態に係る形状測定装置によれば、高さ画像等の立体形状データをXY方向に連結する画像連結に際して、各立体形状データを生成する際の測定設定を個別に調整すると共に、この調整作業を自動化することもできる。例えば、受光部の光軸方向と直交する平面であるXY平面において画像を連結するXY連結に際して、図42に示すように低倍率で撮像した画像、あるいはナビゲーション用の連結マップ画像を広域画像として、この広域画像を複数の部分領域に分割し、各部分領域で生成した立体形状データである高さ画像をXY方向に連結して合成高さ画像を生成する場合を考える。このようなXY平面での画像連結処理において、各部分領域で順に高さ画像を生成するに際して、測定を行う測定設定を設定する必要がある。ここで、測定設定を各部分領域で共通にしてしまうと、十分な精度の高さ画像が得られないことがある。例えば測定対象物が部分的に異なる材質で構成された場合は、投光したパターン光が金属のような光沢面で多重反射されたり、半透明の樹脂の部分ではパターン光が潜り込みを生じる等して、通常の測定では正しい高さ画像が得られないことがある。この場合には、多重反射や光の潜り込みに適した測定設定にて高さ画像を測定する必要があるところ、このような測定では撮像を複数回行う必要があるなど、高さ画像の生成に時間がかかる。このため、すべての部分領域で同じ測定設定として高さ画像を生成すると、トータルでかかる時間が長くなってしまふ。同様に測定対象物中に凹凸の起伏が大きい領域と平坦な領域が混在する場合は、凹凸の高低差がある領域ではZステージを深度方向に駆動させて異なる高さでの撮像を繰り返す必要があるところ、平坦な領域で同様に高さの異なる撮像を繰り返すと、無駄な動作が増える上時間がかかる。また、このような様々な部分領域に対してユーザが手動で適切な測定設定を個別に設定することも考えられるが、この作業は非常に手間がかかるという問題があった。

【0274】

さらに一方では、部分領域毎に測定後の立体形状データをユーザに表示させて、ユーザがその部分領域の形状測定をやり直したい場合には、測定設定を変更した上で再度測定を行い、所望の測定結果が得られると、この新たに得られた立体形状データに置き換える方法も考えられる。しかしこの場合であっても、ユーザが測定結果を一々確認して、再測定の必要性を判断しなければならず、手間がかかっていた。また、測定設定をどのように変更すれば所望の測定結果が得られるかについても、容易には判断できないことがあり、更に作業を複雑にしていた。

【0275】

そこで本実施形態においては、このような高さ画像等の立体形状データをXY連結して合成立体形状データを生成するに際しての測定設定の調整作業を自動化させることで、容

10

20

30

40

50

易に視野の広い立体形状データを取得することを可能としている。すなわち、複数の部分領域に対して、設定条件を個別に自動調整可能としてユーザの負担を軽減している。特に、一旦取得した受光データや立体形状データに基づいて、部分領域測定設定を適切な条件に調整すると共に、必要に応じて調整後の各部分領域の測定設定でもって再度立体形状データを生成して、より高品質あるいは高精度な立体形状データを取得することができる。また部分領域毎に調整した各部分領域の測定設定を保存することで、同様の測定対象物の検査を行う際にはこれを読み出して測定設定とすることにより、測定設定の自動調整の工程を省略して処理の簡素化を図ることもできる。

(測定設定自動調整部 2 1 7)

【 0 2 7 6 】

このような測定設定の自動調整は、図 1 等で示す測定設定自動調整部 2 1 7 で行う。画像 X Y 連結に際して、測定設定自動調整部 2 1 7 は、部分領域測定設定の調整を全自動で行う他、ユーザが測定設定部 2 5 5 で設定した測定設定を、測定設定自動調整部 2 1 7 で自動で調整したり、あるいは逆に、測定設定自動調整部 2 1 7 で自動で調整した測定設定を、ユーザが測定設定部 2 5 5 で調整するようにしてもよい。また自動設定に際しても、形状測定装置側で初期値として設定した測定設定を、測定設定自動調整部 2 1 7 で調整して調整測定設定とすることもできる。このように測定設定自動調整部 2 1 7 は、高さ画像等の立体形状データを生成するための測定設定を完全自動で調整する他、ユーザによる設定を組み合わせた半自動としてもよい。なお測定設定部 2 5 5 は、初期の測定設定をユーザが手動で設定するための部材である。ただ測定設定部 2 5 5 を、形状測定装置側で予め準備した測定設定の初期設定値を入力する部材としてもよい。そして各部分領域の測定設定は、ユーザが指定した部分領域測定設定、あるいは機器側で用意された初期設定値を、測定設定自動調整部 2 1 7 により自動調整された条件である。

(反射光、潜り込み光除去モード)

【 0 2 7 7 】

ここで、反射光や潜り込み光の存在する場合に、これら除去する測定設定で測定を行う測定モードについて説明する。例えば図 4 3 に示すように、半透明の樹脂製の拡散板を備える測定対象物に対して、一般的な測定設定で測定を行った場合、すなわちパターン光を投光して縞画像から生成された高さ画像の例を、図 4 4 A に示す。この図に示すように、通常のスキャンモードでは潜り込み光の影響により、半透明な拡散板部分はうまく測定できず、高さ画像のデータが欠損した状態となる。これに対して、測定モードを反射 / 潜り込み光除去モードとして測定した高さ画像の例を、図 4 4 B に示す。上述のとおり反射 / 潜り込み光除去モードにおいては、測定光の投影パターンを通常よりも細かくすることで、間接光成分を低減する。潜り込み光除去モードで測定した結果、図に示すように、半透明な拡散板部分も相当部分で測定ができていることが判る。

【 0 2 7 8 】

ただ、このような特殊な測定モードは通常よりも処理時間が長くなってしまふ。このためすべての部分領域において、あるいはすべての X Y 位置において、潜り込み光除去モードで測定すると、測定時間が長大になってしまう。そこで、潜り込み光や多重反射光が多い領域についてだけ、この測定モードを使うようにすることで測定時間を短縮できる。上述の例では、一旦スタンダード測定モードで高さ画像を生成し、図 4 4 A に示すように欠損している領域が生じた部分領域においては、部分領域測定設定を測定設定自動調整部 2 1 7 で再設定して、高さ画像を生成し直して差し替えることで、図 4 4 B に示すような欠損部分の少ない高さ画像を得ることができる。

【 0 2 7 9 】

同様に、測定対象物の高低差が大きい領域については、深度範囲を拡張して測定しつつも、高低差が小さい領域では深度範囲を限定して測定を行うことで、測定時間を圧縮して効率良く測定処理を行える。例えば図 4 4 A、図 4 4 B の例において、すべての X Y 位置で測定対象物の高さ範囲 (図中において矢印で示す範囲) を測定すると時間がかかるころ、測定対象物の外殻の領域のみ (図 4 2 において連結領域の周囲に位置する部分領域)

10

20

30

40

50

について深度拡張測定モードを行う一方で、それ以外の部分領域（図 4 2 において連結領域の内部に位置する部分領域）では Z 範囲拡張を行わないことで、測定時間を短縮できる。（潜り込み光と空隙との判別）

【 0 2 8 0 】

また測定設定自動調整部 2 1 7 は、測定モードの自動選択にあたり、高さ画像の一部に欠損部分が生じている場合に、その原因が潜り込み光によるものか、あるいはそもそも形状自体が欠損しているものなのか（空隙や穴など）を区別する。いいかえると、潜り込み光が原因と判定した場合は、部分領域測定設定を変更した再測定を行うものの、空隙と判定した場合は、再測定を行わない。このような判定方法の一例を、図 4 5 A ~ 図 4 5 D に基づいて説明する。これらの図において、図 4 5 A はある測定対象物の縞画像のイメージ図を、図 4 5 B は図 4 5 A の測定対象物の内、金属部分の輝度プロファイルを、図 4 5 C は穴部分の輝度プロファイルを、図 4 5 D は白樹脂部分の輝度プロファイルを、それぞれ示している。この内図 4 5 B に示す金属部分については、輝度プロファイルで明確なピークが表れており、正しく高さ情報を測定できることが判る。一方、図 4 5 C の穴部分と、図 4 5 D の白樹脂部分は、縞画像上ではいずれも黒く、パターン光が得られていない。ただし、図 4 5 C の穴部分では輝度プロファイルのベース部分が殆どゼロであるのに対し、図 4 5 D の樹脂部分ではベース部分に一定の変位（輝度）が得られていることが判る。このように、図 4 5 C、図 4 5 D 共、輝度プロファイル上でピークが殆ど得られていないものの、ベース部分に輝度信号が得られているか否かでもって、存在しない形状なのか、光の潜り込みによって輝度が得られていないのかを、測定設定自動調整部 2 1 7 でもって区別することが可能となる。

10

20

【 0 2 8 1 】

このようにして X Y 連結領域が設定された状態で、立体形状データを測定する測定設定を設定する。ここでは、図 2 8 で示したように、深度方向への拡張の有無や範囲を決定する深度拡張測定モードを深度拡張モード選択部 2 5 4 で選択し、図 2 9 で示したように、測定モードを測定モード選択部 2 5 7 で選択し、図 3 0 で示したように、投光部 1 1 0 による測定方向を測定方向指定部で選択し、さらに図 3 1 で示したように、画像表示領域 4 1 0 で表示される画像の明るさを測定明るさ設定部で設定する。

【 0 2 8 2 】

このようにして測定設定が設定された状態で、連結測定の開始する。ここではユーザによる「測定」ボタンの押下を受け付ける。そして測定を実行し、立体形状データを生成すると共に、テクスチャ画像を撮影する。

30

【 0 2 8 3 】

次に深度探索範囲内領域があるか否かを判定し、ある場合は、深度探索範囲内領域を測定可能な高さ位置に Z ステージを移動させる。この際、既に測定した高さ位置は除く。また高さ位置が複数ある場合は、最も近い高さ位置に移動させて処理を繰り返す。

【 0 2 8 4 】

一方、深度探索範囲内領域がない場合は、連結領域内のすべての合成画像データが生成されたか否かを判定する。未だの場合、すなわち未測定の部分領域が存在する場合は、X Y ステージを当該部分領域に移動させた上で、処理を繰り返す。

40

【 0 2 8 5 】

そして各部分領域の測定を終えて、連結領域内のすべての合成高さ画像データが生成されたと判定された場合は、生成された合成高さ画像を表示させる。

【 0 2 8 6 】

このようにして、合成高さ画像を X Y 連結した広域合成高さ画像を生成することができる。

（部分領域測定設定の自動調整）

【 0 2 8 7 】

一方、このような広域合成高さ画像の生成に際して、各部分領域毎に部分領域測定設定を自動調整することも可能である。このような広域合成高さ画像の生成手順を、図 4 6 の

50

フローチャートに基づいて説明する。まずステップS 4 6 0 1において、ステージ1 4 0上に測定対象物を載置させる。次にステップS 4 6 0 2において、マップ画像を作成する。さらにステップS 4 6 0 3において、連続領域の設定を行う。

【0 2 8 8】

次にステップS 4 6 0 4において、X Yステージを所定の部分領域に移動させる。ここでは、平面方向駆動部でもってX Yステージを、最初に立体形状データを生成する部分領域に移動させる。

【0 2 8 9】

次にステップS 4 6 0 5において、この部分領域における測定設定を設定する。ここでは、最初に立体形状データを生成する部分領域における測定設定の初期値を設定する。この測定設定は、初期設定値を予め形状測定装置側で指定したり、部分領域の光学画像から測定設定自動調整部2 1 7が自動で解析したり、あるいはユーザが手動で測定設定を設定してもよい。

10

【0 2 9 0】

次にステップS 4 6 0 6において、測定を実行する。ここでは立体形状データ生成部で立体形状データを生成すると共に、テクスチャ画像取得部2 1 8でテクスチャ画像を撮影する。

【0 2 9 1】

次にステップS 4 6 0 7において、部分領域測定設定を自動調整する。ここでは測定設定自動調整部2 1 7が、必要に応じて部分領域測定設定を変更した部分領域の測定設定にする。そしてステップS 4 6 0 8において、部分領域の測定設定で再度測定する必要があるか否かを判定し、必要と判定された場合はステップS 4 6 0 6に戻って再度立体形状データを生成する。なお、テクスチャ画像の再撮像は不要である。ここで再測定の必要性の判断は、例えば測定設定自動調整部2 1 7が、部分領域測定設定を妥当と判断して変更しなかった場合は、再測定の必要なしとする。

20

【0 2 9 2】

このようにして測定が実行された後、ステップS 4 6 0 9に進み、未測定の部分領域があるか否かを判定し、存在する場合はステップS 4 6 0 4に戻って、当該未測定の部分領域への移動や測定を同様に行う。

【0 2 9 3】

そしてすべての部分領域の測定が終了すると、ステップS 4 6 1 0に進み、得られた立体形状データを合成して合成立体形状データを作成する。

30

【0 2 9 4】

このようにして、自動で部分領域測定設定を調整し、必要に応じて再測定を行って立体形状データを取得し直し、最終的に広視野の合成立体形状データを高品質で得ることができる。

(X Y 連結測定設定の編集)

【0 2 9 5】

また連結測定の完了後に、ユーザは測定結果を確認できる。例えば、得られた広域合成高さ画像を表示部に表示させて、所望の結果が得られているかを視覚的に確認できる。また必要に応じて、各部分領域において分割測定設定を変えて測定をやり直すことができる。この際には、部分領域測定設定を再編集することができる。

40

【0 2 9 6】

また一部の部分領域でのみ測定し直して得られた高さ画像を用いて、広域合成高さ画像を再生成できる。

【0 2 9 7】

さらに、各部分領域における測定設定を測定設定保存部2 4 3に保存しておくことで、この測定設定を検査実行時に再利用することができる。例えば測定対象物として、基準品の測定対象物との差分を調べる良品検査を行う場合は、検査の運用時において短時間で正確な結果が得られるよう、基準品の測定対象物から各部分領域の測定設定を設定する作業

50

には長めの時間をかけることができる。これによって検査運用時における迅速かつ精度の高い測定が実行可能となる。

(連続測定モード)

【0298】

この場合、立体形状データ生成部は、通常測定モードと、連続測定モードとを切り替え可能とすることができる。通常測定モードは、上述した通り測定設定自動調整部217で部分領域毎に部分領域測定設定を変化させて、立体形状データを生成する測定モードである。一方連続測定モードは、測定設定保存部243に予め保存された部分領域測定設定を部分領域毎に読み出して、立体形状データを生成する測定モードである。いいかえると、連続測定モードにおいては、部分領域測定設定を自動調整することは行わず、保存済みの部分領域測定設定を読み出して使用することで、処理時間の短縮化を図ることができる。

10

【0299】

例えば図47の側面図に示すような表面に突起を部分的に備えた測定対象物の測定を行う場合を考える。突起は色が異なり、また測定対象物の表面の一部に半透明の樹脂部を備えている。このような測定対象物に対して、部分領域A～Dを設定する例を考える。この場合において、各部分領域の部分領域測定設定を、図48のように予め設定して保存しておく。例えば部分領域Aと部分領域Bとでは、材質の色が異なるため、露光レベル(露光時間や測定光の強度)を異ならせることで、それぞれの縞パターンのコントラストが表現され易くしている。また部分領域Bにおいては潜り込み光が発生するため、測定モードを反射/潜り込み光除去モード(ファインモード)としている。さらに部分領域Dでは高低差が大きいため、深度拡張測定モードとするようZ測定範囲を拡大している。このように、各部分領域に適した測定設定に予め設定して保存しておき、多くの測定対象物の検査を行う連続測定モードに際しては測定設定の自動調整を省略して保存済みの測定設定を読み出して使用することにより、処理時間を短縮させつつも精度の高い測定や検査を行うことが可能となる。

20

(誘導部)

【0300】

連続測定モードにおいては、撮像手段から見て、測定対象物の位置及び姿勢が、保存済みの部分領域測定設定を設定した際の位置及び姿勢である基準姿勢と同じになるように調整する必要がある。このため基準姿勢と同じ位置及び姿勢で測定対象物を配置するようにユーザに促す誘導部を備えてもよい。誘導部は、例えば表示部上に、ユーザに対して測定対象物をステージ140に載置する際、基準姿勢と同じ位置及び姿勢で配置するように誘導メッセージを出力する。

30

(測定対象位置姿勢検出部)

【0301】

また、ステージ140上に載置された測定対象物の位置及び姿勢を検出する測定対象位置姿勢検出部を設けてもよく、測定設定保存部243に保存された部分領域の測定設定の取得時の測定対象物の位置及び姿勢に基づいて、測定対象位置姿勢検出部で検出された測定対象物の位置及び姿勢を、平面方向駆動部を駆動させて調整するよう構成してもよい。

(位置決め治具)

40

【0302】

あるいは、位置決め治具を用いて物理的に測定対象物の位置及び姿勢を規制してもよい。位置決め治具でもって、ステージ140上に載置された測定対象物の位置及び姿勢を、測定設定保存部243に保存された部分領域の測定設定の取得時の測定対象物の位置及び姿勢と一致させる。

【産業上の利用可能性】

【0303】

本発明の形状測定装置、形状測定方法、形状測定プログラム及びコンピュータで読み取り可能な記録媒体並びに記録した機器は、三角測距の原理を利用した顕微鏡や計測器、検査装置やデジタイザに好適に利用できる。

50

【符号の説明】

【 0 3 0 4 】

1 0 0、1 0 0 C ... 撮像手段	
1 0 1 ... 上ヘッド	
1 0 2 ... 下ヘッド	
1 1 0 ... 投光部 ; 1 1 0 A ... 第一投光部 ; 1 1 0 B ... 第二投光部	
1 1 1 ... 測定光源	
1 1 2 ... パターン生成部	
1 1 3 ~ 1 1 5、1 2 2、1 2 3 ... レンズ	
1 1 6 ... 左右投光レンズ	10
1 2 0 ... 受光部	
1 2 0 A ... 低倍率用撮像素子 ; 1 2 0 B ... 高倍率用撮像素子	
1 2 1 ... カメラ	
1 2 1 a ... 撮像素子	
1 2 4 ... プリズム	
1 2 5 ... 二分岐両側テレセントリック受光レンズ	
1 3 0 ... 照明光出力部	
1 4 0 ... ステージ	
1 4 1 ... X Y ステージ	
1 4 2 ... Z ステージ	20
1 4 3 ... ステージ	
1 4 4 ... ステージ操作部 ; 1 4 4 C ... 撮像系操作部	
1 4 5 ... ステージ駆動部 ; 1 4 5 C ... 撮像系駆動部	
1 4 6、1 4 6 C ... 光軸方向駆動部	
1 4 7 ... スケールカバー	
1 4 8 ... ステージ平面方向駆動部	
1 4 9 ... ベース筐体	
1 5 0 ... 測定制御部	
1 5 1 ... 土台部	
1 5 2 ... ステージ支持部	30
1 6 0、1 6 0 X ... スケールユニット	
1 6 1 ... センサ移動部	
1 6 2 ... スケール部	
1 6 3 ... 球状体	
1 6 4 ... 板材	
1 6 5 ... 板状部材	
1 6 7 ... 保持部	
2 0 0 ... 制御手段	
2 1 0 ... C P U	
2 1 2 ... 立体形状データ生成部	40
2 1 2 b ... 高さ画像生成部	
2 1 2 c ... 形状測定処理部	
2 1 3 ... 三次元画像合成部	
2 1 4 ... 判定処理部	
2 1 5 ... 深度拡張処理部	
2 1 6 ... 合成処理部	
2 1 7 ... 測定設定自動調整部	
2 1 8 ... テクスチャ画像取得部	
2 1 9 ... 立体形状データ連結部	
2 2 0 ... R O M	50

2 3 0 ...作業用メモリ	
2 4 0 ...記憶部	
2 4 1 ...高さ画像記憶部	
2 4 2 ...テクスチャ画像記憶部	
2 4 3 ...測定設定保存部	
2 5 0 ...設定部	
2 5 1 ...位置指定部	
2 5 2 ...終了条件設定部	
2 5 3 ...深度範囲設定部	
2 5 4 ...深度拡張モード選択部	10
2 5 5 ...測定設定部	
2 5 6 ...連結領域設定部	
2 5 7 ...測定モード選択部	
3 0 0 ...光源部	
3 1 0 ...制御基板	
3 2 0 ...観察用照明光源	
4 0 0 ...表示部	
4 1 0 ...画像表示領域	
4 1 6 ...第一表示領域	
4 1 7 ...第二表示領域	20
4 2 0 ...操作領域	
4 2 7 ...「観察画像」ボタン	
4 2 8 ...「測定画像」ボタン	
4 5 0 ...操作デバイス	
4 9 0 ...観察画像撮像条件設定手段	
5 0 0、5 0 0 B、5 0 0 C ...形状測定装置	
5 1 0 ...撮像設定領域	
5 1 1 ...カメラ調整欄	
5 1 2 ...カメラ選択欄	
5 1 3 ...倍率設定欄	30
5 1 4 ...「カメラ設定」ボタン	
5 1 5 ...フォーカス設定欄	
5 1 6 ...フォーカス調整欄 ; 5 1 6 b ...焦点位置表示欄	
5 1 7 ...「オートフォーカス」ボタン	
5 1 9 ...メンテナンス設定欄 ; 5 1 9 b ...「測定調整」ボタン	
5 3 1 ...「3 D測定」タブ	
5 3 2 ...「画像観察」タブ	
5 3 3 ...「フルオート」ボタン	
5 3 5 ...「マニュアル」ボタン	
5 4 0 ...マニュアル観察画面	40
5 4 1 ...「Z測定範囲」指定欄	
5 4 2 ...「測定モード」選択欄	
5 4 3 ...「測定方向」指定欄	
5 4 4 ...「測定明るさ」設定欄	
5 4 5 ...「テクスチャ撮影」選択欄	
5 4 6 ...「測定」ボタン	
5 5 0 ...3 Dプレビュー画面	
5 5 1 ...「登録」ボタン	
5 5 2 ...「再測定」ボタン	
5 5 3 ...「3 D」ボタン	50

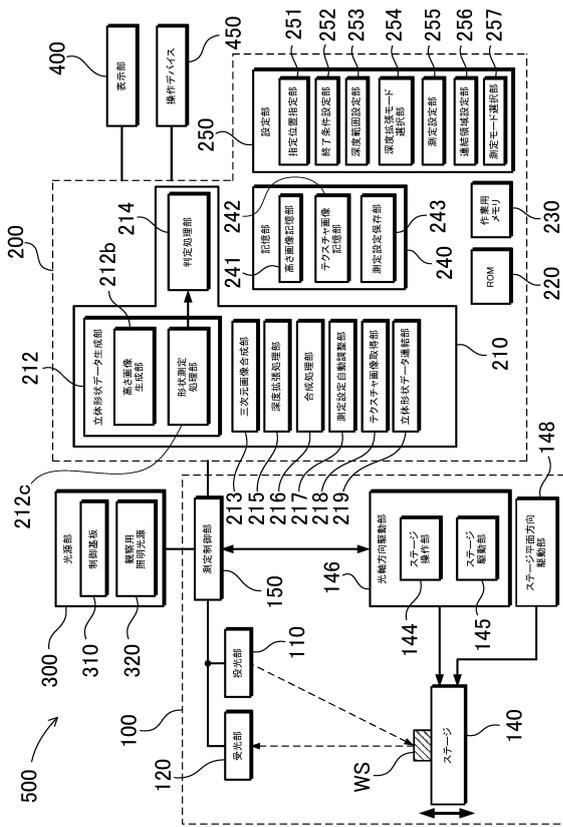
- 5 5 4 ... 「テクスチャ」ボタン
- 5 5 5 ... 「高さ」ボタン
- 5 5 6 ... 高さ倍率調整欄
- 5 5 7 ... テクスチャ調整欄
- 5 5 8 ... 欠測点表示選択欄
- 5 5 9 ... 目盛り表示選択欄
- 5 6 0 ... 3次元計測選択ボタン
- 5 7 0 ... 3Dプレビュー画面
- 5 7 1 ... 高さ画像切替部
- 5 7 2 ... 「シングル」ボタン
- 5 7 3 ... 「Z連結」ボタン
- 5 8 0 ... 3Dプレビュー画面
- 5 9 0 ... 3Dプレビュー画面
- 5 9 1 ... 高さ画像単独表示領域
- 5 9 2 ... 合成高さ画像表示領域
- WK、WK 2 ... 測定対象物
- CHI、CHI 2、CHI 3 ... 合成高さ画像
- HIA、HIB、HIC、HI 1、HI 2 ... 高さ画像
- OL 1、OL 2 ... 重複領域
- HT 1、HT 2、HT 3、HT 4 ... 深度測定範囲
- IG 1、IG 2、IG 3、IG 4 ... 画像
- S 1 ... 第一測定画像；S 2 ... 第二測定画像

10

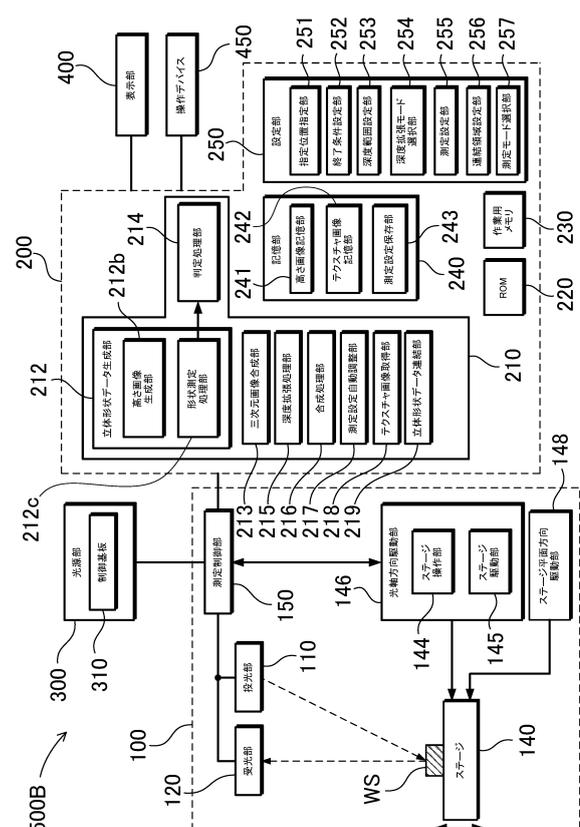
20

【図面】

【図 1】



【図 2】

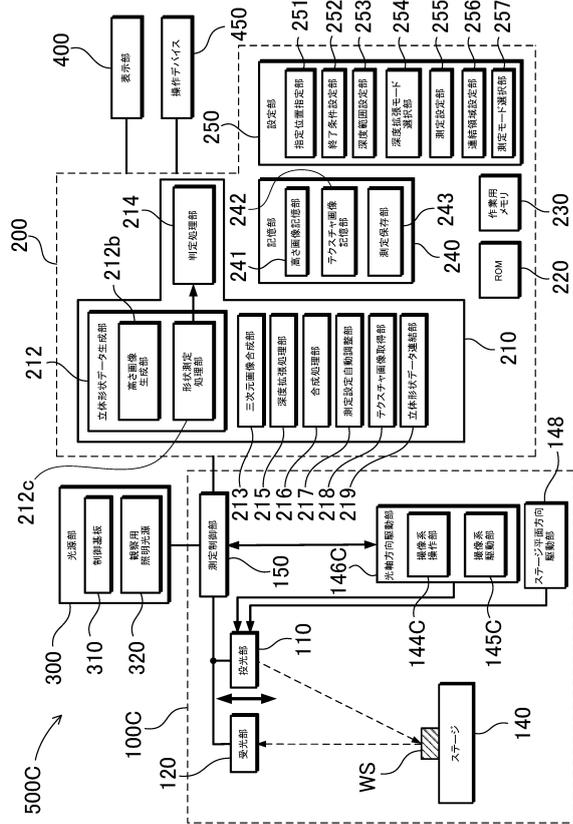


30

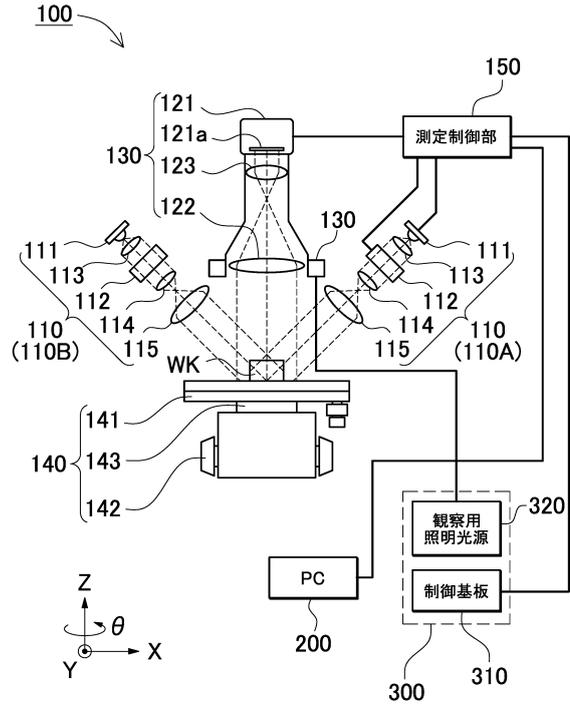
40

50

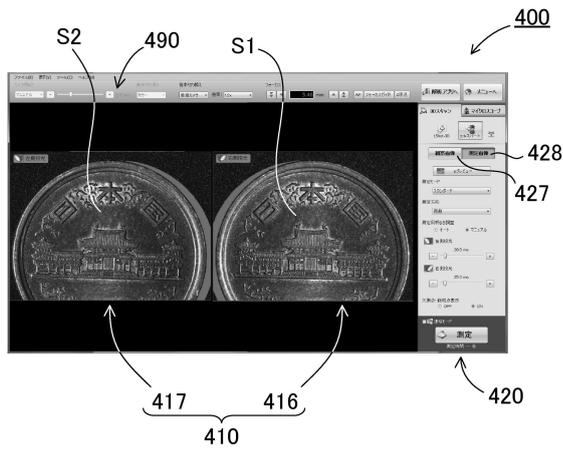
【図3】



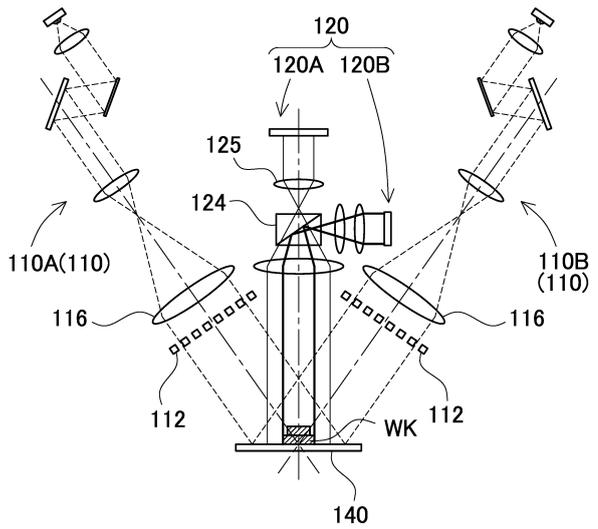
【図4】



【図5】



【図6】



10

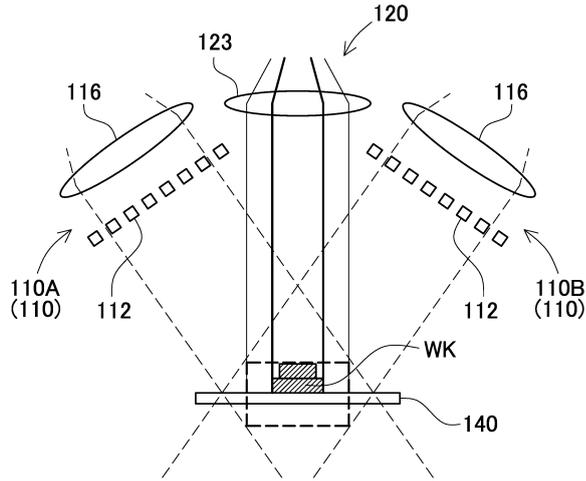
20

30

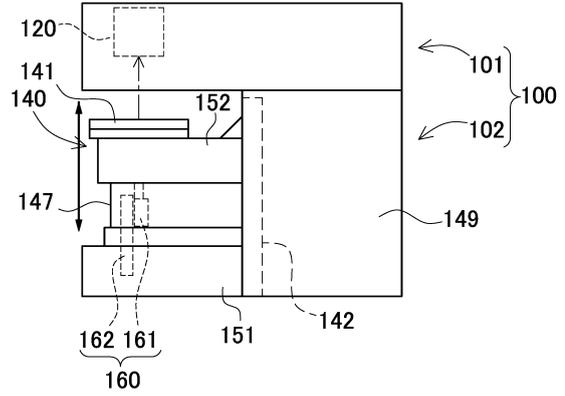
40

50

【図7】

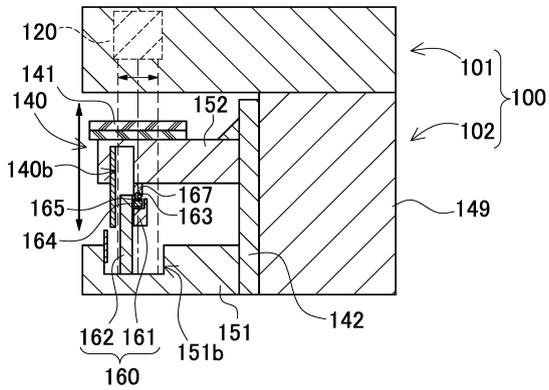


【図8】

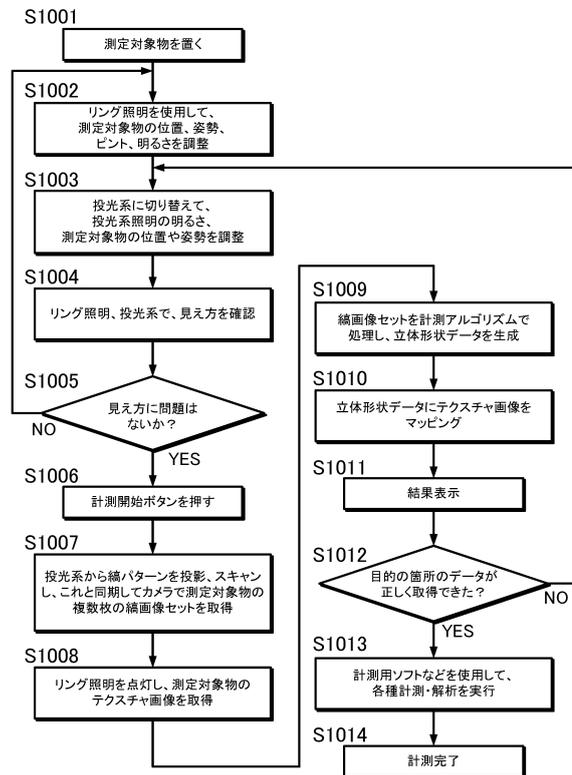


10

【図9】



【図10】



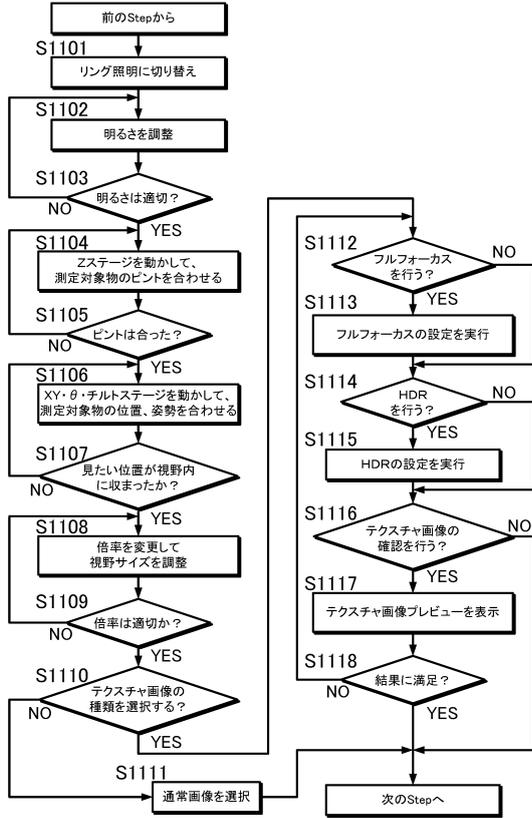
20

30

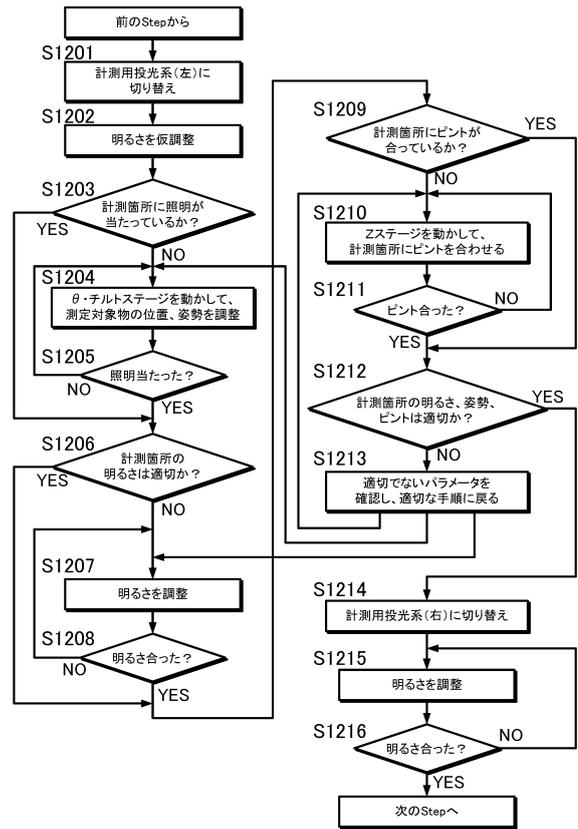
40

50

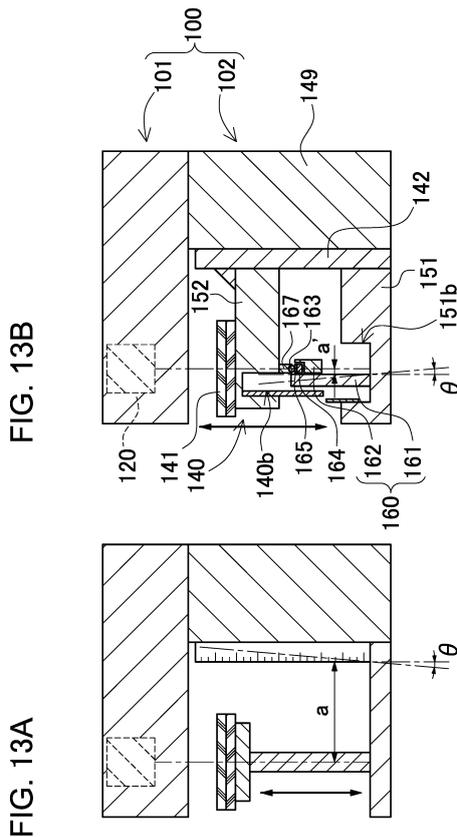
【 図 1 1 】



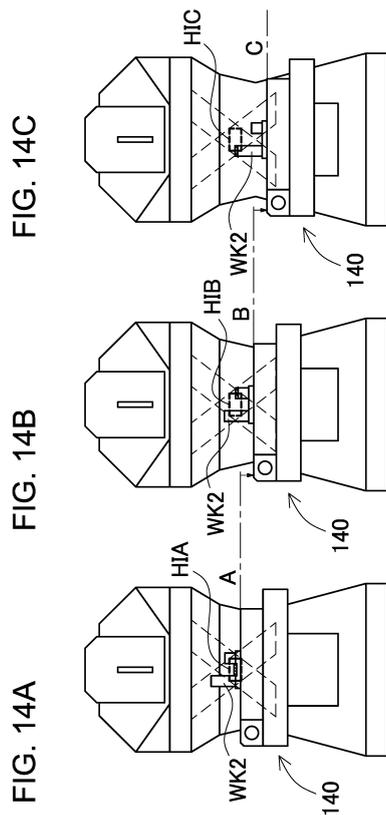
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

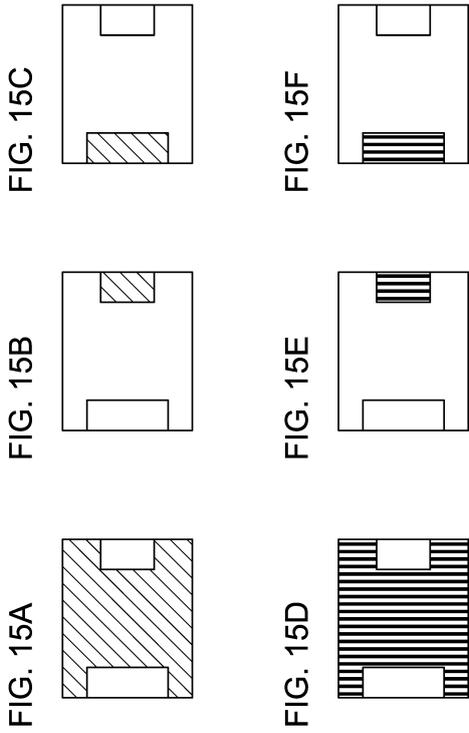
20

30

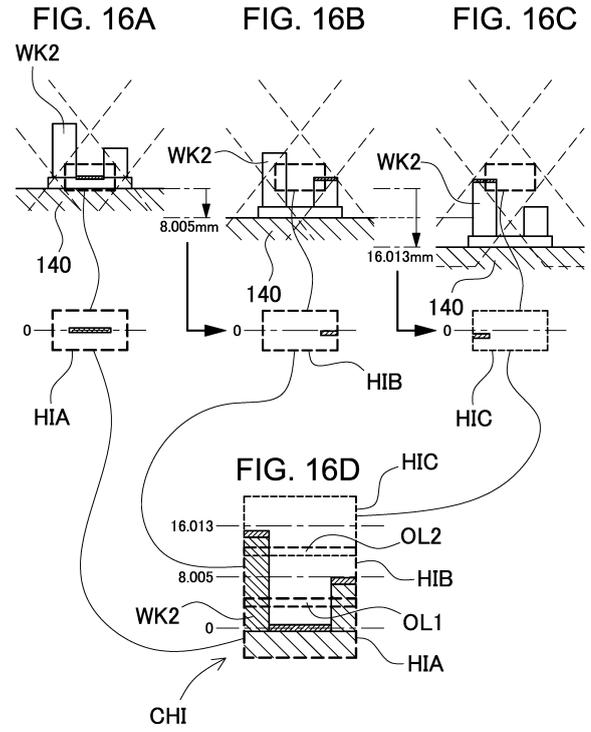
40

50

【 15 】



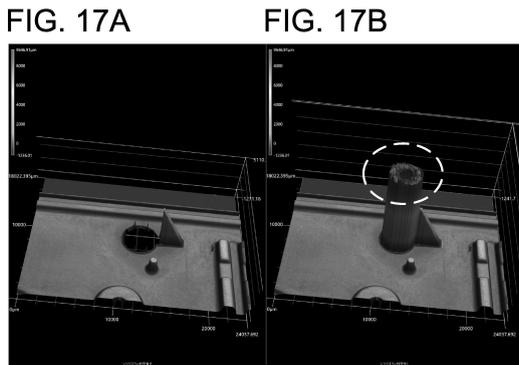
【 16 】



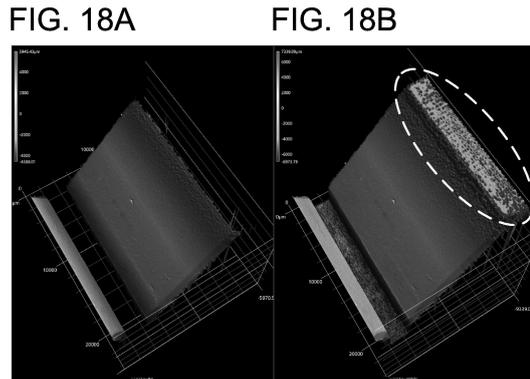
10

20

【 17 】



【 18 】

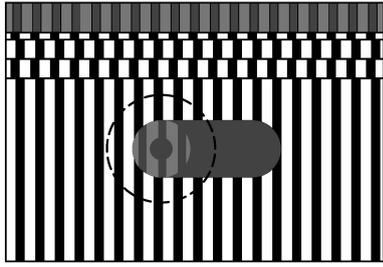


30

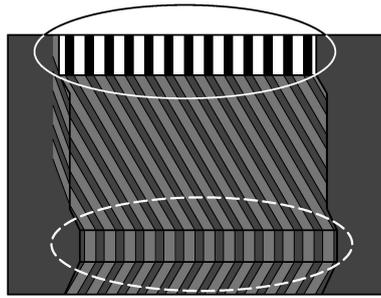
40

50

【図 19】

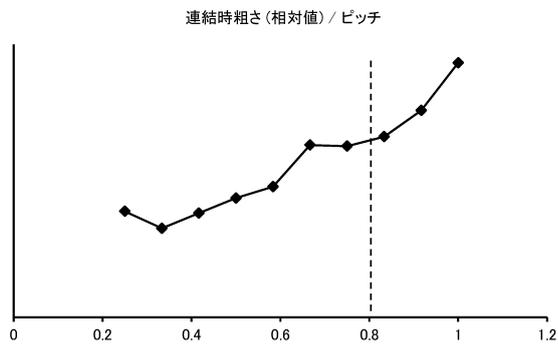


【図 20】

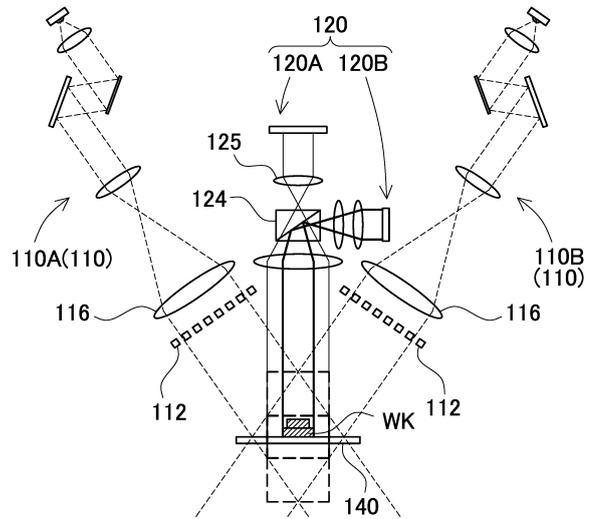


10

【図 21】



【図 22】



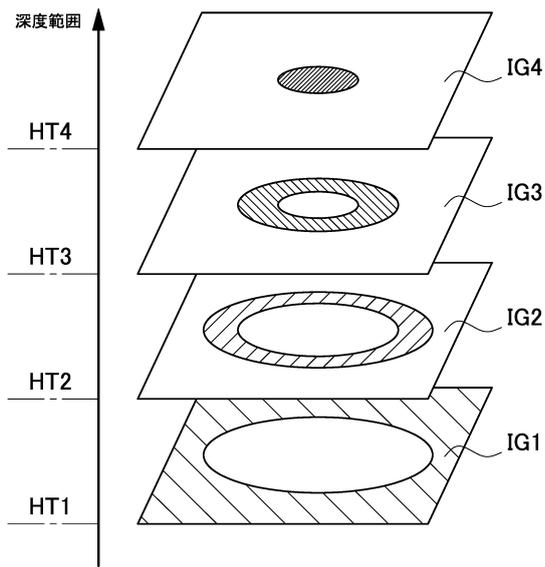
20

30

40

50

【図 2 3】



【図 2 4】

FIG. 24A

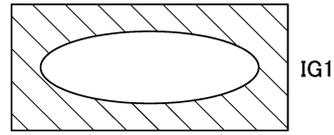


FIG. 24B

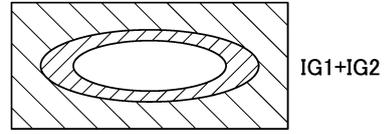


FIG. 24C

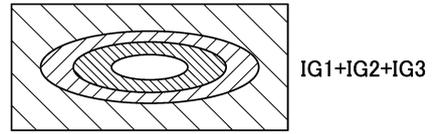
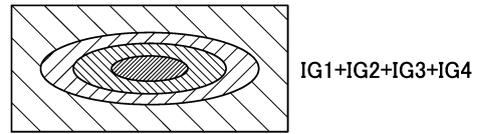


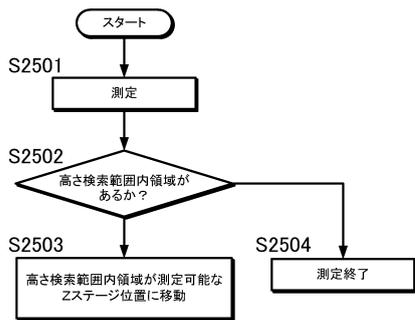
FIG. 24D



10

20

【図 2 5】



【図 2 6】

FIG. 26A

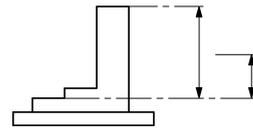


FIG. 26B

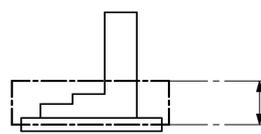


FIG. 26C

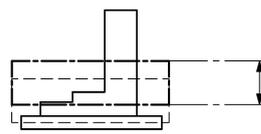


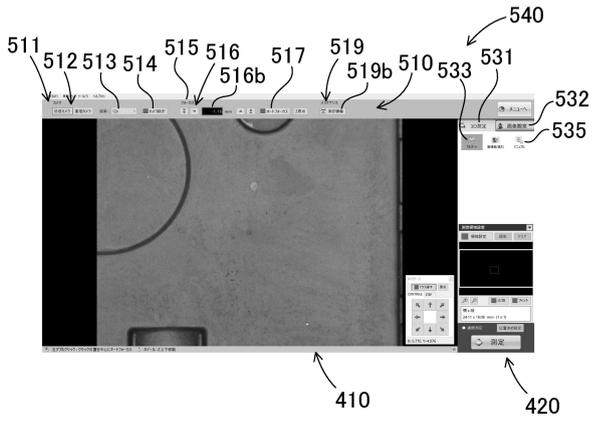
FIG. 26D



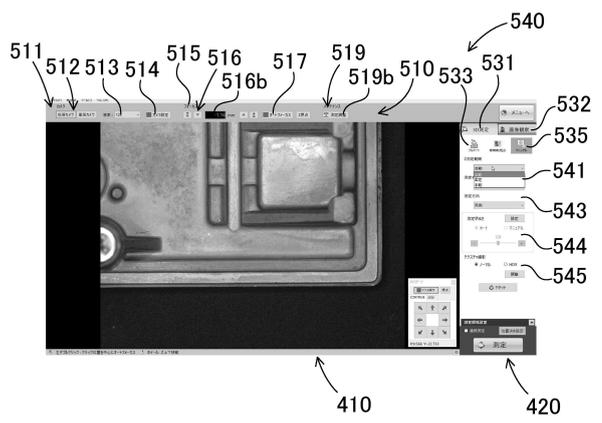
30

40

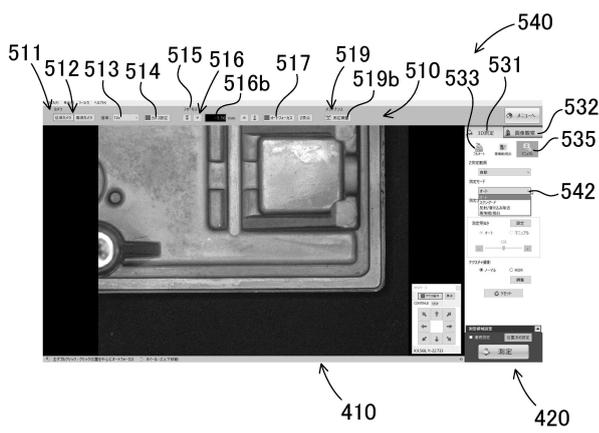
【図 27】



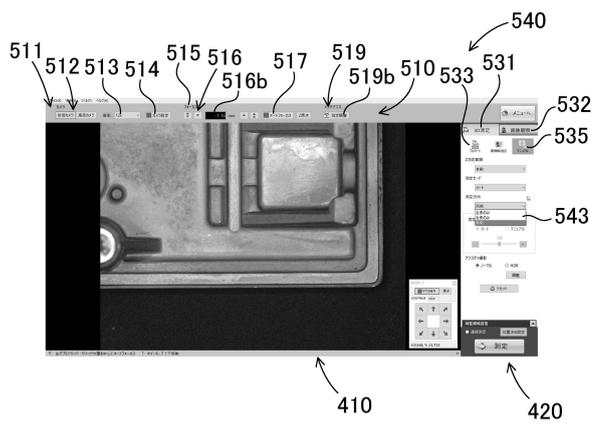
【図 28】



【図 29】



【図 30】



10

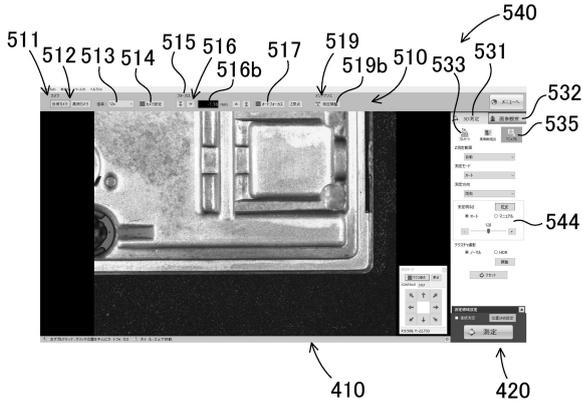
20

30

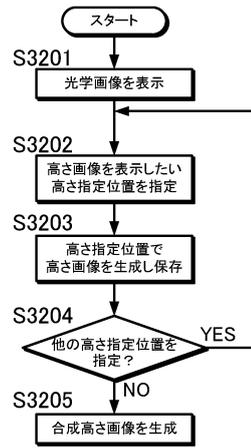
40

50

【図 3 1】

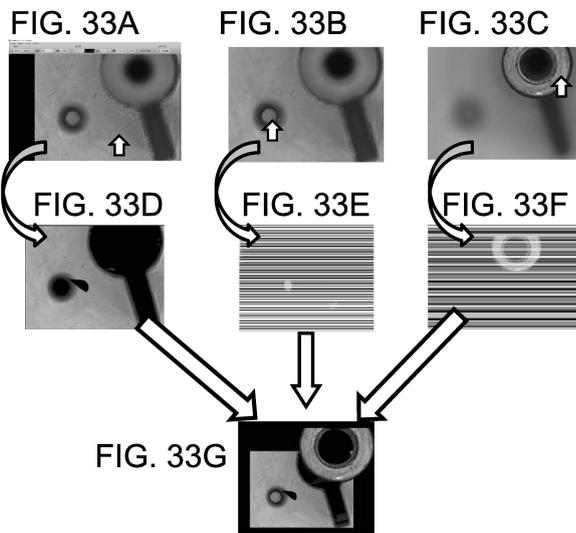


【図 3 2】

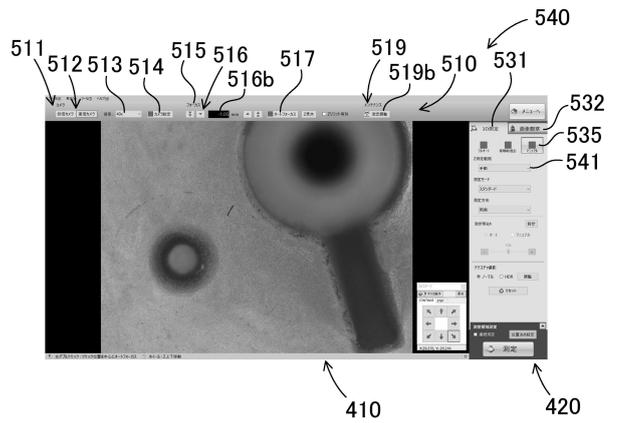


10

【図 3 3】



【図 3 4】



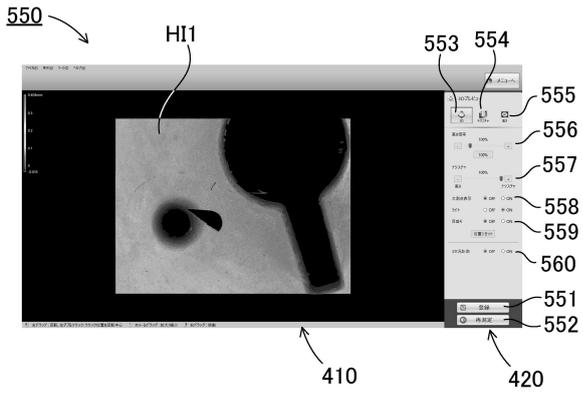
20

30

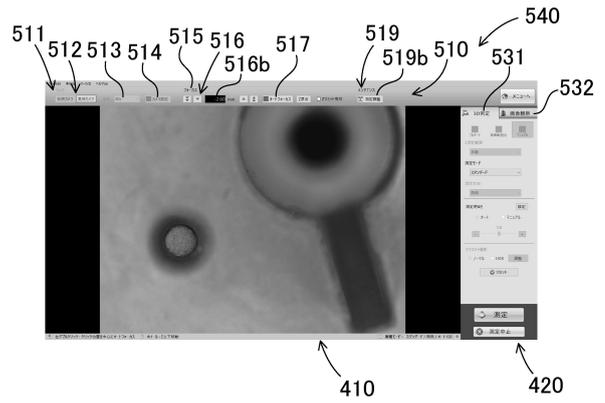
40

50

【図 3 5】

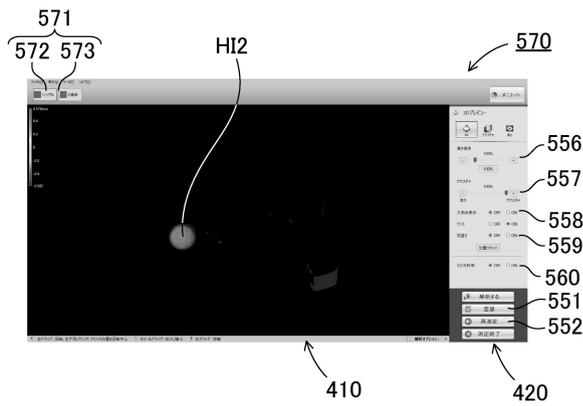


【図 3 6】

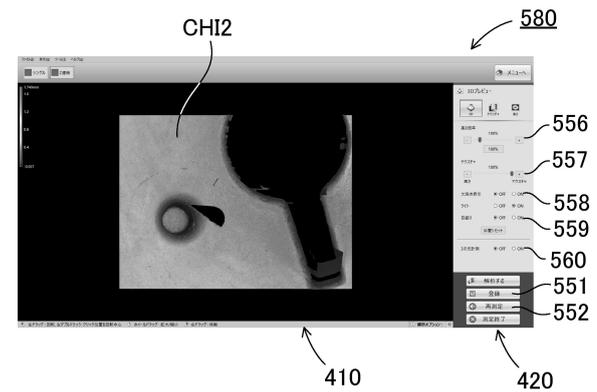


10

【図 3 7】



【図 3 8】



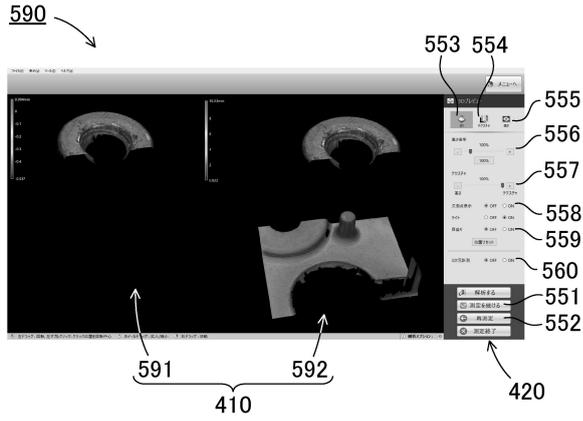
20

30

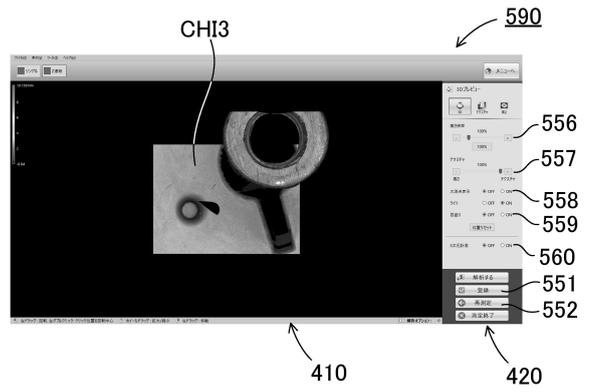
40

50

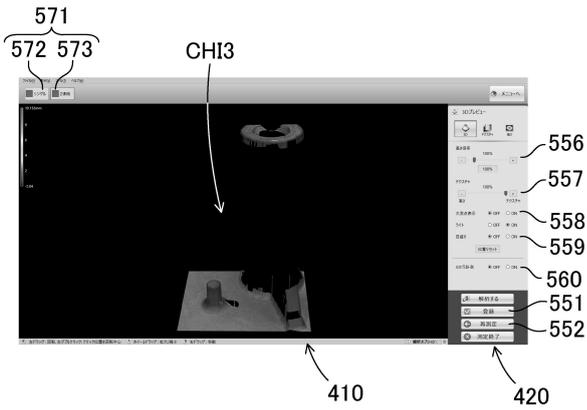
【 39 】



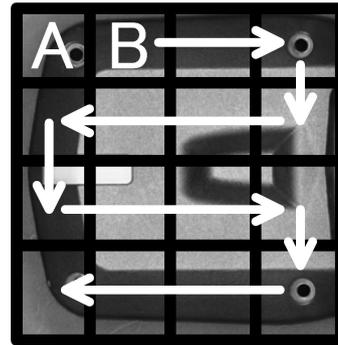
【 40 】



【 41 】



【 42 】



10

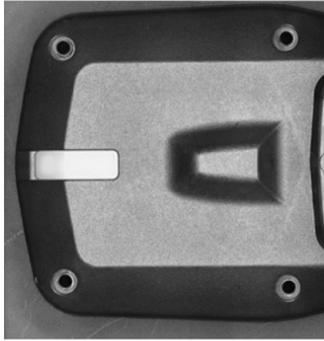
20

30

40

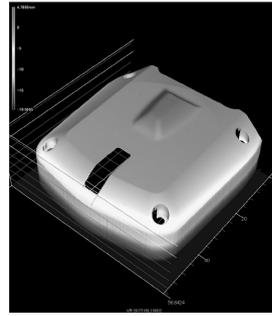
50

【図 4 3】



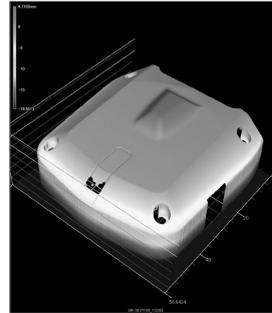
【図 4 4】

FIG. 44A



10

FIG. 44B



20

【図 4 5】

FIG. 45A

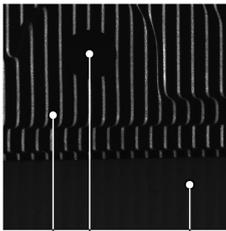


FIG. 45B

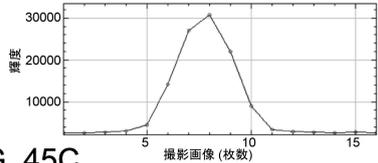


FIG. 45C

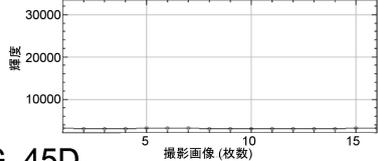
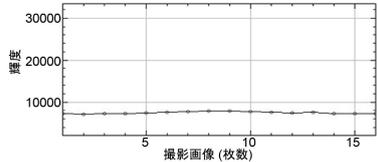
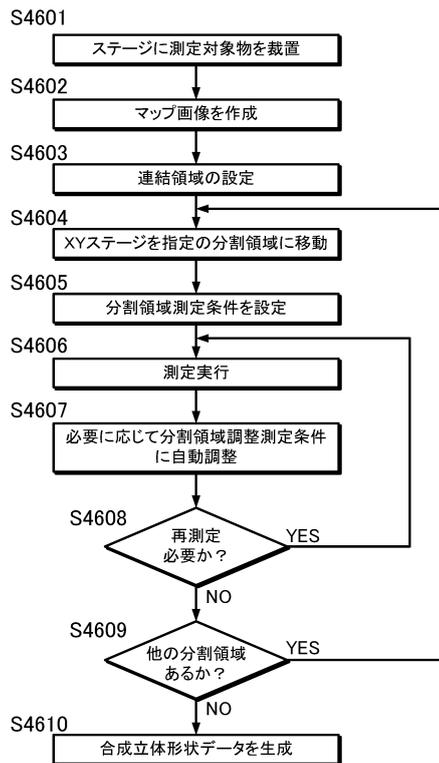


FIG. 45D



【図 4 6】

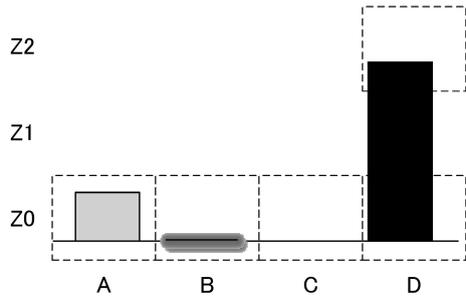


30

40

50

【図 4 7】



【図 4 8】

	A	B	C	D
測定モード	通常	Fine	通常	通常
露光レベル	1	3	3	10
Z測定範囲	Z0	Z0	Z0	Z0+Z2
左右投光	ON	ON	ON	ON

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-092490(JP,A)
特開2007-333582(JP,A)
特開2018-010021(JP,A)
特開2004-226072(JP,A)
特開2014-055813(JP,A)
特開平11-190616(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/00 - 11/30
G06T 1/00 - 9/40