

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3960618号

(P3960618)

(45) 発行日 平成19年8月15日(2007.8.15)

(24) 登録日 平成19年5月25日(2007.5.25)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B 11/14 (2006.01)** GO 1 B 11/14 H  
**GO 1 B 21/16 (2006.01)** GO 1 B 21/16

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-535749 (P2006-535749)	(73) 特許権者	504132272
(86) (22) 出願日	平成17年9月6日(2005.9.6)		国立大学法人京都大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/016289		京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(87) 国際公開番号	W02006/030664	(74) 代理人	100114502
(87) 国際公開日	平成18年3月23日(2006.3.23)		弁理士 山本 俊則
審査請求日	平成19年3月5日(2007.3.5)	(72) 発明者	小森 雅晴
(31) 優先権主張番号	特願2004-265478 (P2004-265478)		京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科内
(32) 優先日	平成16年9月13日(2004.9.13)	(72) 発明者	久保 愛三
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科内
早期審査対象出願		(72) 発明者	織田 祥宏
			京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 歯車の歯やねじのピッチの非接触測定法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを非接触で測定するピッチ測定方法であって、

前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させる第1のステップと、

固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に光学データを取得して記憶する第2のステップと、

記憶した前記光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める第3のステップと、

前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第4のステップとを含むことを特徴とする、ピッチ測定方法。

【請求項2】

前記第3ステップにおいて、前記対象物の少なくとも1つの前記注目形状部が前記経路の前記所定位置を通過する前後における前記合焦評価値に基づいて、前記基準曲線を決定することを特徴とする、請求項1に記載のピッチ測定方法。

【請求項3】

10

20

前記基準曲線は、少なくとも1つの極値とその両側に存在する変曲点の間の区間を含む曲線であることを特徴とする、請求項1又は2に記載のピッチ測定方法。

【請求項4】

前記第1のステップにおいて、前記対象物を略等速で運動させ、

前記第2のステップにおいて、略一定時間間隔で前記光学データを取得して記憶することを特徴とする、請求項1、2又は3に記載のピッチ測定方法。

【請求項5】

略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを算出するピッチ算出方法であって、

前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させ、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に取得した光学データの入力を受け付ける第1のステップと、

前記第1のステップで入力を受け付けた光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める第2のステップと、

前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第3のステップとを含むことを特徴とする、ピッチ算出方法。

【請求項6】

略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを、コンピュータに算出させるためのプログラムであって、

前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させ、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に取得した光学データの入力を受け付ける第1のステップと、

前記第1のステップで入力を受け付けた光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める第2のステップと、

前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第3のステップとを、コンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項7】

略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを非接触で測定するピッチ測定装置であって、

前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物が運動するとき、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に光学データを取得して記憶するデータ取得部と、

前記データ取得部が記憶した前記光学データと、前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求め、該点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定するピッチ演算部とを備えたことを特徴とする、ピッチ測定装置。

【請求項8】

前記データ取得部は、前記対象物が自由運動する状態で取得した前記光学データを、該光学データを取得した時刻と対応付けて記憶し、

前記ピッチ演算部は、前記データ取得部が記憶した前記光学データと該光学データと対応付けられた前記時刻とに基づき、前記合焦位置を決定することを特徴とする、請求項7に記載のピッチ測定装置。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、歯車の歯やねじなどのピッチを非接触で測定するためのピッチ測定方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

歯車などの機械部品は、そのミクロン単位のピッチ誤差が機械の振動、騒音に影響するため、品質管理上、ピッチの測定が必要となる。

## 【0003】

歯車のピッチ測定には、触針を用いる接触式測定法が主に用いられている（例えば、特許文献1参照）。非接触の測定方法としては、光学的な測距方法がある。

## 【特許文献1】特開2002-107142号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

接触式の場合、測定時間の短縮や測定精度の向上に限界がある。非接触式測定法は、必要な作動距離を確保すると測定精度が不十分になること、測定対象の表面性状が限定されること、使用可能な測定環境が限定されることなどの問題があり、ピッチ測定に関しては、ほとんど実用に至っていない。

## 【0005】

本発明は、かかる実情に鑑み、簡易な装置を用いて非接触で短時間に高精度な測定が可能であるピッチ測定方法を提供しようとするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

本発明は、上記課題を解決するために、以下のように構成したピッチ測定方法を提供する。

## 【0007】

ピッチ測定方法は、略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを非接触で測定するタイプのピッチ測定方法である。ピッチ測定方法は、第1～第4のステップを含む。前記第1のステップにおいて、前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させる。前記第2のステップにおいて、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に光学データを取得して記憶する。前記第3のステップにおいて、記憶した前記光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める。前記第4のステップにおいて、前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する。

## 【0008】

上記方法において、第4のステップで注目形状部ごとに決定した基準曲線の当てはめ位置から、例えば隣接する注目形状部間のピッチを算出することができる。あるいは、ピッチの測定値と正規の値との差（ピッチ誤差）を算出する。

## 【0009】

上記方法は、非接触式であるので、接触式よりも短時間で測定を行うことができる。また、対象物の運動や撮影、データの記憶、処理などには、簡易な装置を用いて行うことができる。

## 【0010】

一般に、注目形状部について合焦評価値が極大となるピーク位置近傍では、合焦評価値

10

20

30

40

50

の変化量が相対的に小さく、合焦評価値の測定誤差の方が相対的に大きくなり、ピーク位置を精度よく決定することは難しい。基準曲線を当てはめるようにすれば、ピーク位置前後の測定誤差の影響を小さくし、合焦評価値の曲線全体の形状を考慮して、精度よくピーク位置を決定することができる。

【0011】

また、基準曲線の当てはめを移動距離の測定間隔より小さい単位で行えば、ピーク位置を移動距離の測定間隔よりも小さい単位で決定することが可能である。

【0012】

好ましくは、前記第3ステップにおいて、前記対象物の少なくとも1つの前記注目形状部が前記経路の前記所定位置を通過する前後における前記合焦評価値に基づいて、前記基準曲線を決定する。

10

【0013】

この場合、基準曲線は、測定した少なくとも1つの注目形状部についての合焦評価値に基づいて決める。これにより、個々の対象物のばらつきがあっても、適正に基準曲線を定めることができ、注目形状部のピッチを精度よく決定することができる。

【0014】

例えば、最初に測定した注目形状部の合焦評価値の曲線を基準曲線として用いる。あるいは、対象物の注目形状部ごとに合焦評価値の曲線を求め、それを平均化して基準曲線として用いる。

【0015】

好ましくは、前記基準曲線は、少なくとも1つの極値とその両側に存在する変曲点の間の区間を含む曲線である。

20

【0016】

この場合、注目形状部の合焦評価値の全体的な曲線形状に基づいて注目形状部の位置を決定ことができ、各種ノイズの影響を少なくし、ピッチ測定の精度を高めることができる。

【0017】

好ましくは、前記第1のステップにおいて、前記対象物を略等速で運動させる。前記第2のステップにおいて、略一定時間間隔で前記光学データを取得して記憶する。

【0018】

対象物の注目形状部が略一定距離移動するごとに光学データを取得し、その光学データを記憶することになるので、光学データを対象物の移動距離と対応付けることが簡単になり、データ処理が容易となる。また、ピッチ測定の精度を略一定に保つことができる。例えば、歯車について歯形のピッチを精度よく測定することができる。

30

【0019】

また、本発明は、以下のように構成したピッチ算出方法を提供する。

【0020】

ピッチ算出方法は、略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを算出する方法である。ピッチ算出方法は、前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させ、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に取得した光学データの入力を受け付ける第1のステップと、前記第1のステップで入力を受け付けた光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める第2のステップと、前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第3のステップとを含む。

40

【0021】

また、本発明は、上記ピッチ算出方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを

50

提供する。

【0022】

すなわち、略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを、コンピュータに算出させるためのプログラムであって、前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物を運動させ、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に取得した光学データの入力を受け付ける第1のステップと、前記第1のステップで入力を受け付けた光学データと前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求める第2のステップと、前記点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第3のステップとを、コンピュータに実行させるためのプログラムを提供する。

10

【0023】

また、本発明は、以下のように構成したピッチ測定装置を提供する。

【0024】

ピッチ測定装置は、略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物について、隣り合う前記注目形状部の着目点間の隔たり、すなわち前記注目形状部のピッチを非接触で測定するタイプのものである。ピッチ測定装置は、前記注目形状部が同一の経路上を移動するように前記対象物が運動するとき、固定位置から、前記経路上の所定位置を通過する前記注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に光学データを取得して記憶するデータ取得部と、前記データ取得部が記憶した前記光学データと、前記対象物の前記注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、前記移動距離を変数として、取得した前記光学データの前記所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、前記移動距離と前記合焦評価値の組み合わせの点群を求め、該点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定するピッチ演算部とを備える。

20

【0025】

上記構成において、対象物を強制的に駆動しながら光学データを取得しても、対象物が自由運動する状態で光学データを取得してもよい。注目形状部の移動距離は、対象物の基準点の移動距離を直接測る場合のみならず、例えば、対象物の回転角度の計測結果より算出される場合や、対象物の基準点の移動時間の計測結果により算出される場合などがある。

30

【0026】

上記構成によれば、データ取得部により光学データを取得した後、ピッチ演算部により注目形状部の合焦位置を決定することができる。

【0027】

好ましくは、前記データ取得部は、前記対象物が自由運動する状態で取得した前記光学データを、その光学データを取得した時刻と対応付けて記憶する。前記ピッチ演算部は、前記データ取得部が記憶した前記光学データと該光学データと対応付けられた前記時刻とに基づき、前記合焦位置を決定する。

40

【0028】

上記構成によれば、自由運動するときの対象物の運動方程式、あるいは実測データに基づいて、光学データを取得した時刻における注目形状部の移動距離を算出することができるので、対象物を駆動せずにピッチを測定することができる。対象物を略等速回転させる駆動機構等が不要であり、ピッチ測定装置の構成を簡単にすることができる。

【発明の効果】

【0029】

本発明のピッチ測定方法、プログラム及びピッチ測定装置は、簡易な装置を用いて非接触で短時間に高精度な測定が可能である。

50

## 【図面の簡単な説明】

## 【0030】

【図1】ピッチ測定システムの構成図である。(実施例1)

【図2】測定装置本体のブロック図である。(実施例1)

【図3】合焦評価値のグラフである。(実施例1)

【図4】基準曲線の当てはめの説明図である。(実施例1)

【図5】基礎実験の説明図である。(実施例2)

【図6】合焦評価値のグラフである。(実施例2)

【図7】合焦評価値のグラフである。(実施例2)

【図8】基礎実験結果のグラフである。(実施例2)

10

【図9】ピッチ測定システムの構成図である。(実施例3)

【図10】トリガー信号の説明図である。(実施例3)

【図11】基準曲線の当てはめの説明図である。(実施例3)

【図12】歯車のピッチ測定の説明図である。(実施例4)

【図13】合焦評価値のグラフである。(実施例4)

【図14】累積ピッチ誤差のグラフである。(実施例4)

【図15】ピッチ推定誤差のグラフである。(実施例4)

【図16】ラプラシアンフィルタの説明図である。(実施例4)

【図17】プレヴィットのフィルタの説明図である。(実施例4)

【図18】ピッチ測定システムの構成図である。(実施例5)

20

## 【符号の説明】

## 【0031】

2 歯車(対象物)

4 歯形(注目形状部)

6 所定位置

10, 11 ピッチ測定システム

12 回転駆動部

13 保持装置

14 カメラ(データ取得部)

15 レンズ(データ取得部)

30

16, 18 測定装置本体(データ取得部、ピッチ演算部)

32 試験部材(対象物)

34 測定面(注目形状部)

36 カメラ

S 基準曲線

T 基準軸

X ピーク位置(当てはめ位置)

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0032】

以下、本発明の実施の形態として実施例について、図1～図8を参照しながら説明する。

40

## 【0033】

まず、第1実施例について、図1～図4を参照しながら説明する。

## 【0034】

図1は、ピッチ測定を行うピッチ測定システム10の全体構成図である。対象物である歯車2は、不図示の回転ステージに載せ、回転駆動部12により略等速で回転駆動する。回転駆動部12は、歯車2の回転角度を検出するロータリーエンコーダを含む。なお、後述するように、歯車2は、完全な等速回転でなくても、滑らかに回転すればよい。また、強制的に回転駆動する代わりに、自然回転させるようにしてもよい。この場合、歯車の回転角度は、時間計測から算出することも可能である。

50

## 【 0 0 3 5 】

注目形状部は歯車 2 の歯形 4 であり、歯車 2 の歯形 4 が回転移動する経路上の所定点 6、例えばピッチ円 8 上の点を、カメラ 1 4 で撮影する。カメラ 1 4 の撮影レンズ 1 5 は、所定点 6 にピントが合うよう設定する。カメラ 1 4 は、撮影レンズ 1 5 が所定点 6 から作動距離 L だけ離れた位置に固定する。

## 【 0 0 3 6 】

測定装置本体 1 6 は、所定のプログラムを実行し、歯車 2 を回転駆動する回転駆動部 1 2 やカメラ 1 4 の動作を制御する。測定装置本体 1 6 は、図 2 のブロック図に示すように、制御を統括する制御部 2 0 に、表示パネル等を含む表示部 2 2 と、測定条件の設定や測定の開始・終了などの操作を行うための操作パネル等を含む操作部 2 4 と、カメラ 1 4 や 10  
回転駆動部 1 2 との間で通信するためのインターフェース部 2 6 と、カメラ 1 4 で撮影した画像のデータ等を記憶する記憶部 2 8 とが接続されている。制御部 2 0 は、CPU 等を含み、演算機能を有する。測定装置本体 1 6 は、汎用のパソコンで構成することも可能である。

## 【 0 0 3 7 】

次に、測定システム 1 0 の動作について説明する。

## 【 0 0 3 8 】

回転駆動部 1 2 は、測定装置本体 1 6 からの指令信号に基づき、指定された略一定速度で歯車 2 を回転駆動する。カメラ 1 4 は、測定装置本体 1 6 からの指令信号に基づき、指定された略一定時間間隔で撮影を行う。各々の撮影ごとに、あるいは、ある程度撮影データが 20  
集積された状態で、撮影した画像のデータを測定装置本体 1 6 に送信する。測定装置本体 1 6 は、カメラ 1 4 からのデータを受信し、受信したデータを記憶部 2 8 に格納する。所定数のデータが記憶部 2 8 に格納されると、測定装置本体 1 6 は指令信号を送信し、回転駆動部 1 2 及びカメラ 1 4 の動作を停止させ、測定動作を終了する。

## 【 0 0 3 9 】

測定装置本体 1 6 は、測定動作の終了後、又は測定動作と並行して、解析動作を行う。すなわち、記憶部 2 8 に格納されたカメラ 1 4 からのデータを読み出し、所定点 6 について合焦評価値を算出する。例えば、所定点 6 の近傍領域に対応する画素について、R, G, B の輝度レベルのラプラシアンをそれぞれ求め、それらに適宜な係数を乗じて足し合わせた値を、合焦評価値として算出する。この場合、合焦評価値は、画像のシャープさを数 30  
値化したものである。

## 【 0 0 4 0 】

図 3 に模式的に示すように、合焦評価値は、歯車 2 の回転に伴い、歯形 4 が所定位置を通過するごとに変動を繰り返す。合焦評価値のピーク位置  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots$  を求め、隣接するピーク位置間の回転角の差、すなわちピッチ  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$  を算出する。

## 【 0 0 4 1 】

合焦評価値のピーク位置（合焦位置）は、例えば次のように算出する。

## 【 0 0 4 2 】

まず、図 4 に示すように、基準曲線 S と、基準曲線 S のピーク位置 X に対応する基準軸 40  
T とを決める。

## 【 0 0 4 3 】

例えば、歯車の各歯形に対応する合焦評価値のそれぞれの点群を平均化した基準曲線 S を用いる。この場合、適宜な方法で平均化することができる。一例を挙げると、横軸を回転角、縦軸を合焦評価値とし、ある特定の歯形の点群について補間曲線を求め、他の歯形の点群を横軸方向に移動しながら、その点群の各点について、特定の歯形の点群の補間曲線に対する縦軸方向の偏差の二乗和を求め、その二乗和が最小となる位置に点群を移動する。このようにして移動した特定の歯形以外の歯形のそれぞれの点群と特定の歯形の点群とについて、対応する点同士を平均化し、それらの平均化した点を補間又は近似する補間曲線又は近似曲線を、基準曲線 S とする。

## 【 0 0 4 4 】

あるいは、基準となる1つの歯形についての点群のみから、補間曲線あるいは近似曲線を求め、それを基準曲線 $S$ とし、ピーク位置 $X$ 、基準軸 $T$ を定めてもよい。

## 【 0 0 4 5 】

次に、任意の歯形に対応する一群の合焦評価値のデータ $D_n$ に、基準曲線 $S$ を当てはめ、基準曲線 $S$ が最もよく当てはまるときの基準軸 $T_n$ に対応する歯車の回転角度(例えば、基準となる歯形の合焦評価値の点群 $D_0$ について求めた基準軸 $T$ からの角度 $K_n$ )を算出する。

## 【 0 0 4 6 】

例えば、基準曲線 $S$ を少しずつ動かし、それぞれの基準曲線 $S$ の位置において合焦評価値の点群 $D_n$ の各点と基準曲線 $S$ との合焦評価値のずれ量(図4において矢印90, 92などで示す上下方向のずれ量)の二乗和を算出する。そして、このずれ量の二乗和が最も小さくなるときの基準曲線 $S$ の位置における基準軸 $T_n$ に対応する歯車の回転角度を求める。

10

## 【 0 0 4 7 】

基準曲線 $S$ の当てはめは、少なくとも合焦評価値の曲線の変曲点 $P_i, P_j$ の間の幅 $W$ の区間を含み、好ましくは、その2倍( $2W$ )程度の区間に含まれる各点のデータについて行う。これにより、合焦評価値の全体的な曲線形状から基準軸の位置を決定することができ、各種ノイズの影響を少なくし、ピッチ測定の精度を高めることができる。

## 【 0 0 4 8 】

ピッチ測定システム10は、歯形測定装置のような同期制御駆動が不要であり、簡易な装置を用いることができる。また、非接触方式であるので、短時間に測定を行うことが可能である。さらに、測定システム10は、カメラ14の作動距離 $L$ を実用的な範囲(50mm程度)に設定して、 $1\mu\text{m}$ 以下の測定精度で歯形ピッチを測定することが可能である。

20

## 【 0 0 4 9 】

次に、上記の測定精度を達成できることを検証するための基礎実験(実施例2)について、図5~図8を参照しながら説明する。

## 【 0 0 5 0 】

図5に示すようにリニアテーブル30上に、垂直な測定面34を有する試験部材32を固定し、測定面34に対して垂直方向からカメラ36で撮影を行う。カメラ36の撮影レンズ38は、測定面34が基準位置にあるときにピントが合うように焦点を固定する。撮影レンズ38の焦点距離は55mmである。

30

## 【 0 0 5 1 】

リニアテーブル30を駆動し、測定面34を移動しながら、カメラ36で撮影を行い、測定面34の位置と撮影した画像のデータとを対応付けて記憶する。同一の測定面34を10回繰り返し測定する。測定後、1回目のデータから合焦評価値を算出し、基準曲線を定める。次に、2回目以降のデータについて合焦評価値を算出し、基準曲線を当てはめ、合焦評価値の曲線のピーク位置(合焦位置)を算出する。このとき、合焦評価値の曲線の変曲点の幅の2倍の範囲について、基準曲線を当てはめる。その結果、図8に示すように、合焦位置の測定値のばらつき幅は、 $\pm 0.3\mu\text{m}$ であった。

40

## 【 0 0 5 2 】

合焦評価値は、測定面34の移動に伴い、図6に示すように変化する。ピーク近傍部分Aでは、図7に示すように、細かい振動的なばらつきが生じ、全体的になだらかなピーク位置近傍部分において、合焦評価値の最大値からピーク位置を正確に求めることは困難である。ピーク位置近傍部分よりも広い範囲を含む基準曲線を当てはめることにより、合焦位置を $1\mu\text{m}$ 以下の精度で求めることができる。

## 【 0 0 5 3 】

次に、第3実施例のピッチ測定システム11について、図9~図11を参照しながら説明する。第3実施例では、第1実施例と略同様の方法でピッチを測定する。以下では、第

50



1 実施例と相違する点を中心に説明し、同じ構成部分には同じ符号を用いる。

【0054】

図9に示すように、歯車2を保持装置13により回転自在に保持する。歯車2に適宜な方法で外力を加え回転させた後、外力を加えるのを止める。そして、歯車2が自然回転する状態で、実施例1と同様に、カメラ14で撮影を行う。

【0055】

測定装置本体18は、カメラ14から受信したデータを、内部クロックの時刻と対応付けて記憶する。測定装置本体18は、内部クロックの時刻から歯車2の回転角度を算出し、実施例1と同様に合焦評価値と回転角度の組み合わせの点群に基準曲線を当てはめ、合焦位置からピッチを求める。

10

【0056】

歯車2の回転角度は、自然回転する歯車2の運動方程式に基づいて、時刻から求めることができる。すなわち、自然回転するときの歯車2の運動方程式は、次のように表すことができる。

【数1】

$$I \ddot{\theta} + D \dot{\theta} = 0 \quad \dots (1)$$

ここで、 $I$ 、 $D$ は定数である。

【0057】

上記の式(1)は2階微分方程式であるので、図10に示すように、例えば歯数 $Z$ の歯車の1回転ごとの時刻 $t_0$ 、 $t_z$ 、 $t_{2z}$ から関数 $\theta(t)$ を決めることができる。例えば、静圧気体軸受により歯車2の回転軸3を軸支すると、歯車2は非常に滑らかに自然回転するので、精度よく関数 $\theta(t)$ を決めることができる。

20

【0058】

関数 $\theta(t)$ は運動方程式を解く方法だけでなく、回転角度と時刻の関係を曲線で近似することにより、例えば1回転ごとの時刻から、任意の時刻における回転角度を求めることができる。

【0059】

時刻 $t_0$ 、 $t_z$ 、 $t_{2z}$ は、例えば歯車2に検出マークを設け、光学センサにより検出マークを非接触で検出することにより測定することができる。

30

【0060】

カメラ14で撮影したデータを利用し、時刻 $t_0$ 、 $t_z$ 、 $t_{2z}$ を測定することも可能である。例えば、図11に示すように、歯車の回転角 $\theta$ の代わりに内部クロックの時刻 $t$ を用い、ある基準歯の時刻 $t$ と合焦評価値 $f$ の組み合わせの点群 $D_0'$ と、1回転後のその歯についての点群 $D_z'$ に、実施例1と同様に基準曲線 $S'$ を当てはめ、基準軸 $T'$ に対応する時刻 $t_0'$ 、 $t_z'$ を求める。

【0061】

ピッチ測定システム11は、歯車2を等速回転させる駆動機構が不要であり、構成を簡単に行うことができる。

40

【0062】

次に、歯車の歯のピッチの測定例(実施例4)について、図12~図17を参照しながら説明する。

【0063】

図12に示したように、被測定歯車40が取り付けられた軸42を、歯車測定装置(不図示)のセンター主軸に取り付け、カメラ44で歯面を測定する。基準となる歯41の歯面中央に焦点が合うように焦点位置を調節し、カメラ44を設置する。また、ライトガイド46、47を用いて、基準となる歯41の歯面を、略半径方向と略歯筋方向から照明する。

【0064】

50

被測定歯車 40 の諸元は次のとおりである。

- ・モジュール 2
- ・圧力角 20°
- ・ねじれ角度 L30°
- ・歯数 40
- ・歯幅 20mm
- ・ピッチ円直径 92.376mm

なお、被測定歯車 40 の歯のうち 1 つは、意図的にピッチをずらして製作した。

#### 【0065】

測定時には、矢印 49 で示すように歯車測定装置によって被測定歯車 40 を回転させ、  
0.01° 毎にカメラ 44 で撮影を行い、画像データから合焦評価値を算出してピッチを  
求める。

10

#### 【0066】

具体的には、カラービットマップ形式の画像データのうち、焦点を合わせた歯面中央領  
域に対応する 64 × 64 ピクセルについて、R (赤)、G (緑)、B (青) のそれぞれの明  
るさを 0 から 255 までの数値に置き換える。画像のピントがあっているときは、画像内  
の明暗の差が大きく現れると考えられるので、これを数値化したものを合焦評価値とする  
。

#### 【0067】

例えば、図 16 に示すように、2 階微分 (差分) 系フィルタである 8 方向ラプラシアン  
(Laplacian) フィルタを用いる。すなわち、注目画素を中心とした上下左右の  
9 つの画素値に対し、それぞれ係数を乗算した後それらの和を求め、その絶対値をとる。  
解析する範囲 (64 × 64 ピクセル) 内の全ての画素に対して、同様に絶対値を求め、絶  
対値を合計した後、解析する範囲の面積で除し、絶対値の平均値  $f$  を算出する。R (赤)  
)、G (緑)、B (青) それぞれについて、絶対値の平均値  $f^R$ 、 $f^G$ 、 $f^B$  を算  
出し、それぞれに輝度寄与率 (赤、緑、青の三原色の輝度が全体の輝度値に寄与する割合  
)  $c^R$ 、 $c^G$ 、 $c^B$  をかけて合計したもの、すなわち、  
 $f = c^R \cdot f^R + c^G \cdot f^G + c^B \cdot f^B$   
を画像の合焦評価値とする。

20

#### 【0068】

あるいは、1 階微分 (差分) 系フィルタであるプレウィット (Prewitt) フィル  
タを用いてもよい。この場合、8 方向ラプラシアンフィルタと同様に、注目画素を中心と  
した上下左右の 9 つの画素値に対し、図 17 (a) に示す係数を横方向に、図 17 (b)  
に示す係数を縦方向に、それぞれ乗算し、横方向の差分値  $f_x$  と縦方向の差分値  $f_y$  を求  
め、絶対値の 2 乗和  $(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$  を求める。解析する範囲 (64 × 64 ピク  
セル) 内の全ての画素に対して、同様に絶対値の 2 乗和を求め、絶対値の 2 乗和を合計し  
た後、解析する範囲の面積で除し、絶対値の 2 乗和の平均値  $f$  を算出する。R (赤)、  
G (緑)、B (青) について、絶対値の 2 乗和の平均値  $f^R$ 、 $f^G$ 、 $f^B$  を算出し  
、それぞれに輝度寄与率  $c^R$ 、 $c^G$ 、 $c^B$  をかけて合計したもの、すなわち、  
 $f = c^R \cdot f^R + c^G \cdot f^G + c^B \cdot f^B$   
を画像の合焦評価値とする。

30

40

#### 【0069】

図 13 に、歯車の回転角と、合焦評価値との関係を示す。被測定歯車 40 の歯を撮影す  
る順に、1 番歯、2 番歯、3 番歯・・・とし、連続する 7 枚の歯について合焦評価値を算  
出した。各歯の合焦評価値の曲線の回転角 (横軸) は、対象歯と 1 番歯の間の理論上の角  
度を差し引いた回転角で示している。すなわち、 $n$  番歯の回転角は、理論ピッチ (この例  
では、9°) × ( $n - 1$ ) の角度を差し引いた回転角で示す。合焦評価値は、図 16 の 8  
方向ラプラシアンフィルタを用い、輝度寄与率は、 $c^R = 0.299$ 、 $c^G = 0.587$   
、 $c^B = 0.114$  とした。図 13 より、各歯とも歯車の回転に伴い合焦評価値が増加し  
、極大値を取ったのち減少する変化の曲線が得られた。各歯ごとに合焦評価値の曲線の高

50

さや形が異なっている。特に4番歯のみ、大きなピッチ誤差があることが分かる。

【0070】

1番歯の合焦評価値の補間曲線を基準曲線とし、2～7番歯に基準曲線を当てはめ、基準曲線の当てはめ位置から、累積ピッチを求めた。これから理論ピッチを差し引いたものを累積ピッチ誤差とした。比較例として、被測定歯車40の歯の撮影箇所近傍を、接触式測定機でピッチ測定した。図14に、累積ピッチ誤差の推定値と接触式での測定値を示す。

【0071】

測定した各歯について、非接触式による累積ピッチ誤差の推定値から接触式による測定値を差し引き、これをピッチ推定誤差とした。これを図15に示す。1番歯から7番歯についてピッチ推定誤差の標準偏差を求めると、 $1.0\ \mu\text{m}$ となった。カメラ44を用いた非接触式測定によって、接触式と同程度の精度でピッチ測定できることが分かる。

【0072】

次に、直線運動させてピッチ測定を行う場合(実施例5)について、図18を参照しながら説明する。

【0073】

図18(a)は、光ファイバアレイのV溝基板50のV溝51のピッチを測定する場合の説明図である。図18(b)は、図18(a)の線B-Bに沿って切断した断面図である。

【0074】

図18(a)に示すように、V溝基板50を、V溝51が形成された面を上にしてスライドテーブル52の上に置き、矢印53で示すように、V溝51の延在方向に対して直角方向にV溝基板50を直線運動させながら、上方の固定位置からカメラ54でV溝基板50のV溝51を撮影する。V溝51の延在方向に対して斜め方向にV溝基板50を直線運動させてもよいが、その場合には、その直線運動方向のピッチが測定できる。このとき、カメラ54は矢印54aで示すように、V溝基板50の主面の法線方向から撮影しても、矢印54xで示すように斜め方向から、すなわちV溝51の斜面の略法線方向から撮影してもよい。

【0075】

撮影は、V溝基板50のV溝51の斜面中央55に焦点を合わせた状態で行う。また、図18(b)に示すように、ライトガイド57, 58を用いて、撮影方向54aと略同じ方向57a, 58aから、焦点を合わせたV溝基板50のV溝51の斜面中央55近傍部分を照明する。

【0076】

測定時には、測定装置本体56からの制御によって、スライドテーブル52が駆動してV溝基板50を直線移動させ、その直線移動距離を測定しつつ、これと同期してカメラ54が撮影を行う。測定装置本体56は、実施例1～4と同様に、カメラ54からの画像データのうち、焦点を合わせた所定範囲のデータを抽出して合焦評価値を算出し、合焦評価値と直線移動距離の関係を示す点群に基準曲線を当てはめることによって、V溝51のピッチを算出する。

【0077】

図18と同様の構成を用いて、液晶パネルのバックライト用の導光板や反射板の溝のピッチやマイクロレンズアレイのピッチ、ねじのピッチ、ラックのピッチなどの測定を行うことができる。また、これらを製作する金型のピッチを測定することも可能である。

【0078】

以上に説明したように、簡易な装置を用いて非接触で短時間に高精度なピッチ測定が可能である。

【0079】

なお、本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、種々変更を加えて実施可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 0 】

例えば、歯車について説明したが、歯車のピッチ測定に限定されるものではない。ねじなどのピッチの測定にも適用できる。また、異なるピッチで注目形状部（例えば、切り欠き部）が形成された対象物や、直線状に注目形状部（例えば、ラック）が形成された対象物などにも適用可能である。

## 【 0 0 8 1 】

また、データの取得や記憶と、データの解析（ピッチの算出）とを別々の装置で行うようにしてもよい。その場合、後者のデータの解析を行う装置（例えば、コンピュータ）は、所定のプログラムに従って、略同一形状の複数の注目形状部を有する対象物を、注目形状部が同一の経路上を移動するように運動させ、固定位置から、経路上の所定位置を通過する注目形状部について、該所定位置に焦点を合わせて連続的に取得した光学データ（例えば、所定位置を撮影した画像のデータ）の入力を受け付ける第1のステップと、第1のステップで入力を受け付けた光学データと対象物の注目形状部の移動距離との対応関係に基づき、移動距離を変数として、取得した光学データの所定位置に対応する部分について合焦の程度を数値化した合焦評価値を算出し、移動距離と合焦評価値の組み合わせの点群を求める第2のステップと、点群に基準曲線を当てはめ、該基準曲線の当てはめ位置に基づいて前記ピッチを決定する第3のステップとを実行する。

10

## 【 0 0 8 2 】

また、対象物の移動距離と撮影した画像のデータに対応付けることができれば、合焦評価値の点群に基準曲線を当てはめることができるので、対象物を等速で回転したり、撮影間隔を一定にしたりすることは、必ずしも要しない。

20

## 【 0 0 8 3 】

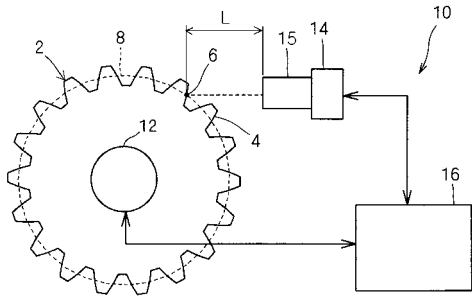
撮影方法や合焦評価値は、対象物の表面性状等に応じて適切なものを選択すればよい。例えば、カメラやセンサで用いられているアクティブ方式やパッシブ方式の測距手法に準じて、撮影した画像のデータから合焦評価値を算出することができる。単純に、1つの光学系で撮影し、輝度変化を合焦評価値としてもよい。あるいは、光軸が平行な2つの光学系で撮影し、それぞれの光学系における結像の輝度ピーク位置の差（視差）から、合焦評価値を算出してもよい。

## 【 0 0 8 4 】

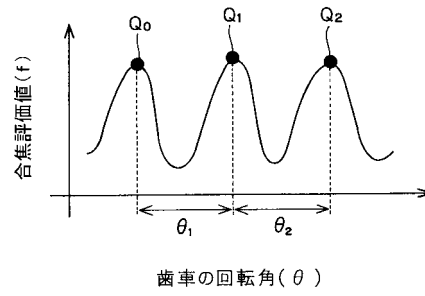
また、基準曲線の当てはめ位置を定義するため、ピーク位置以外の所定位置、例えば基準曲線の幅を2等分する中間点、基準曲線の変曲点、基準曲線の始点や終点などを用いても、基準曲線の当てはめ位置としてピーク位置を用いるのと実質的に同じである。また、合焦評価値は、極小点が合焦位置に対応するように定義することもできる。この場合、基準曲線の凹凸が逆になるが、極大点が合焦位置に対応する場合と同様に、合焦評価値の点群に基準曲線を当てはめることによってピッチを求めることができる。

30

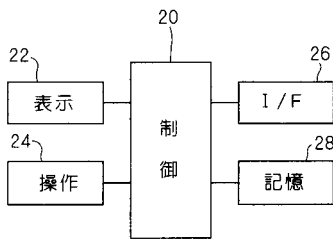
【 図 1 】



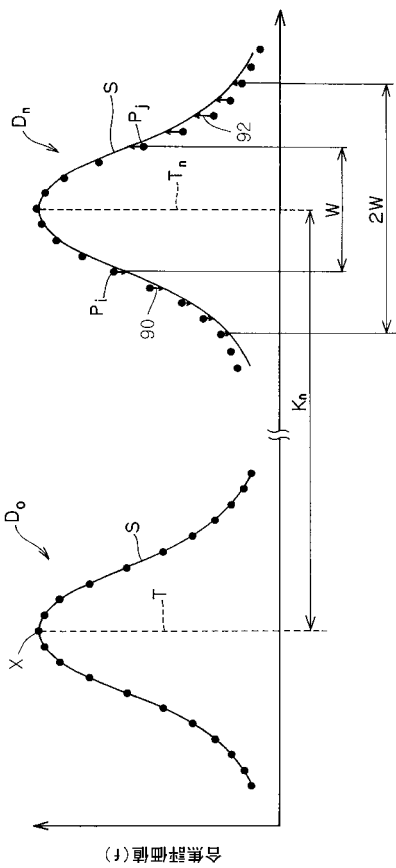
【 図 3 】



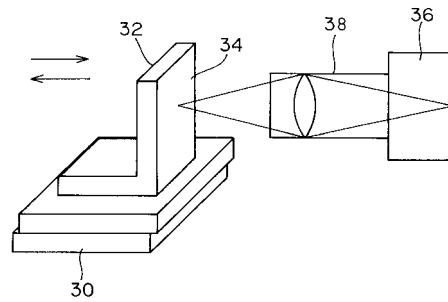
【 図 2 】



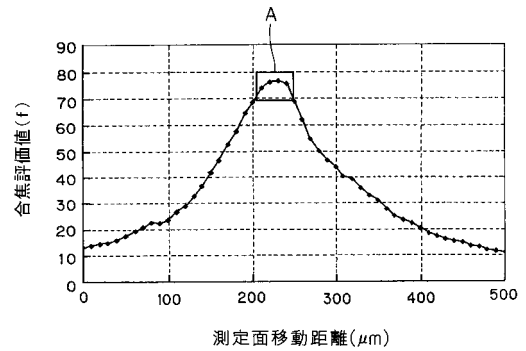
【 図 4 】



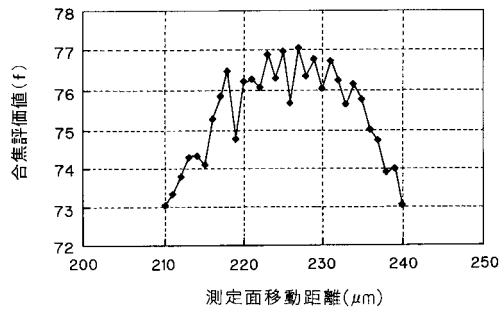
【 図 5 】



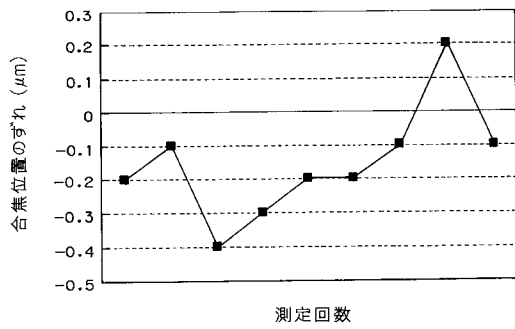
【 図 6 】



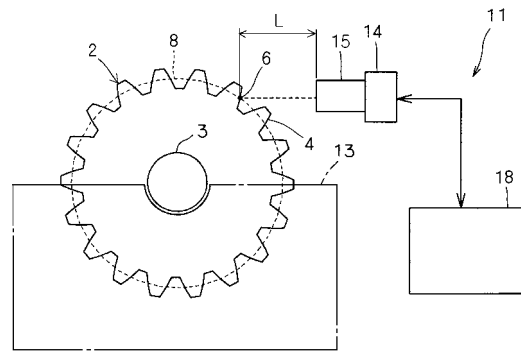
【 図 7 】



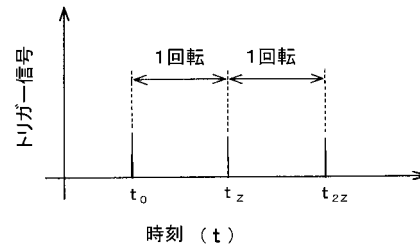
【 図 8 】



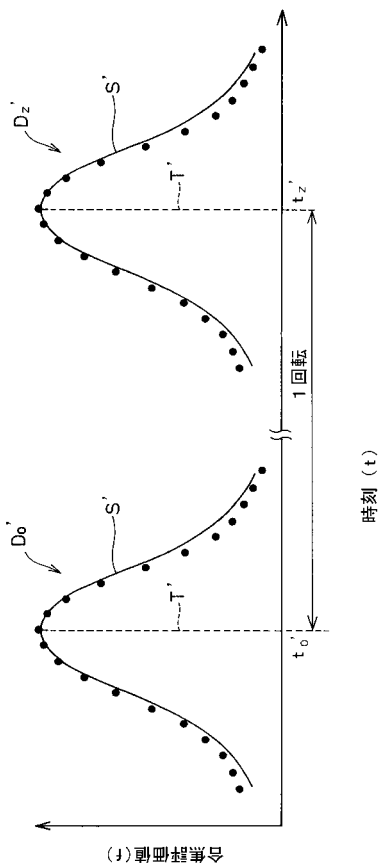
【 図 9 】



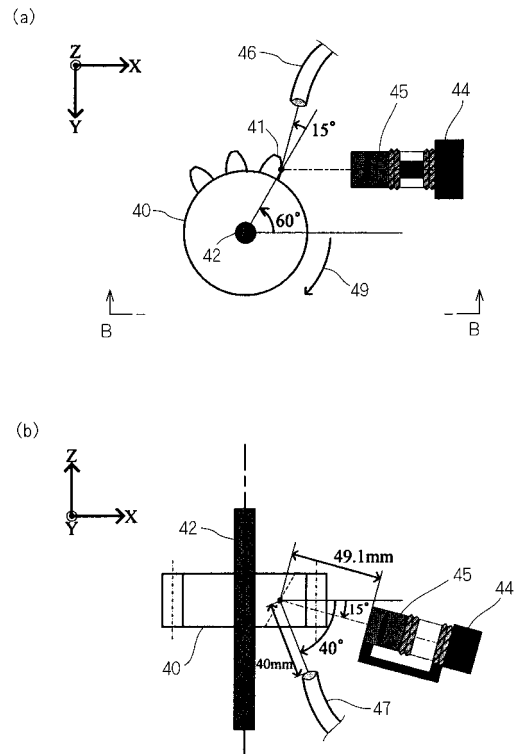
【 図 10 】



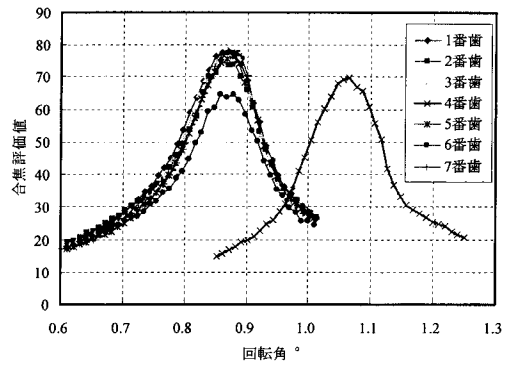
【 図 11 】



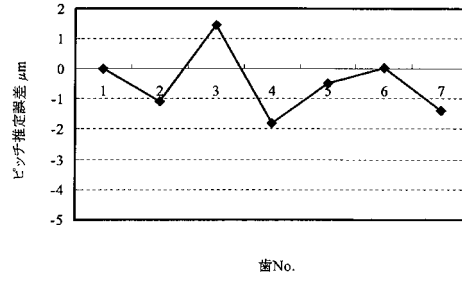
【 図 12 】



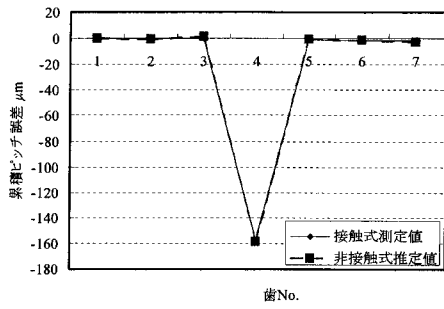
【 図 1 3 】



【 図 1 5 】



【 図 1 4 】



【 図 1 6 】

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

【 図 1 7 】

(a)

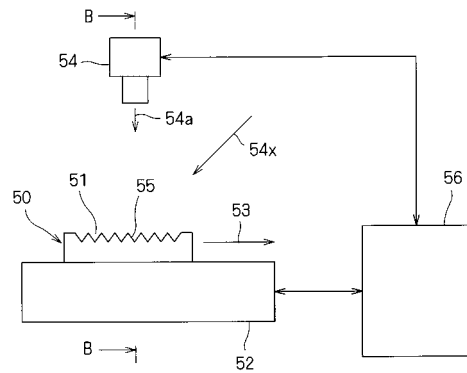
-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

(b)

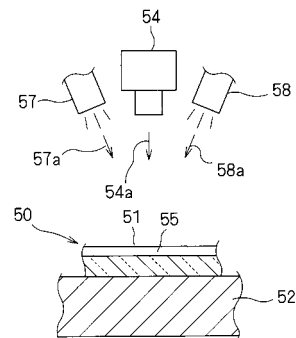
-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

【 図 1 8 】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

審査官 うし 田 真悟

- (56)参考文献 特開平01-285807(JP,A)  
特開平04-236311(JP,A)  
特開2004-12134(JP,A)  
特開昭64-053105(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00-11/30

G01B 21/00-21/32