

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-211237

(P2019-211237A)

(43) 公開日 令和1年12月12日(2019.12.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1B 11/00 (2006.01)	GO1B 11/00 G	2F065
GO1P 3/36 (2006.01)	GO1P 3/36 E	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-104917 (P2018-104917)  
 (22) 出願日 平成30年5月31日 (2018.5.31)

(71) 出願人 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100126240  
 弁理士 阿部 琢磨  
 (74) 代理人 100124442  
 弁理士 黒岩 創吾  
 (72) 発明者 太田 健史  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
 ノン株式会社内  
 Fターム(参考) 2F065 AA02 AA06 AA09 AA20 BB15  
 DD04 DD09 FF09 FF41 FF52  
 GG04 GG06 HH03 JJ02 JJ05  
 JJ25 LL00 LL12 LL30 NN06  
 NN08 QQ29 QQ42 QQ44

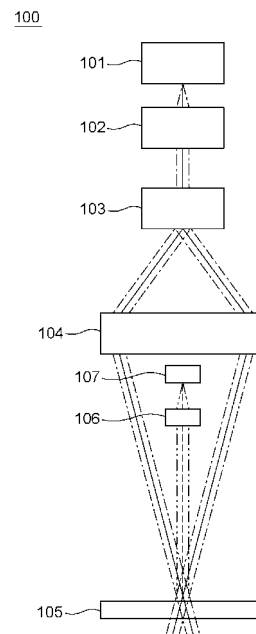
(54) 【発明の名称】 計測器、及び加工装置

(57) 【要約】

【課題】 測定対象までの距離が変化しても高精度に測定対象の移動速度を計測可能なレーザードップラー変位計を提供する。

【解決手段】 測定対象の変位量又は速度を計測する計測器であって、測定対象を照射する照射光学系と、測定対象から出射する第一光束と、第二光束とを、重ね合わせるように集光させる集光光学系と、それらの重畳した重畳光を検出する第一検出器と、集光光学系から出射した出射光束の一部の光束を検出する第二検出器と、を備えており、第二検出器による検出結果は、計測器と測定対象との間の距離に応じて変化するものである。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

測定対象の変位量又は速度を計測する計測器であって、  
光源からの光を整形して照射光束とし、該照射光束で前記測定対象を照射する照射光学系と、

前記測定対象から出射する第一光束と、前記第一光束とは異なる方向に出射する第二光束とを、重ね合わせるように集光させる集光光学系と、

前記集光光学系から出射した出射光束のうち、前記第一光束と前記第二光束とが重ね合わせられた重畳光を検出する第一検出器と、

前記集光光学系から出射した出射光束の一部の光束を検出する第二検出器と、  
を備えており、

前記第二検出器による検出結果は、前記計測器と前記測定対象との間の距離に応じて変化するものであり、

前記計測器は、前記第一検出器による検出結果と、前記第二検出器による検出結果とに基づいて、前記変位量又は前記速度のいずれかを出力する、  
ことを特徴とする計測器。

**【請求項 2】**

前記照射光束は 1 つの光束であって、

前記照射光学系は、前記 1 つの光束で前記測定対象を照射する、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の計測器。

**【請求項 3】**

前記照射光学系は、前記光源からの光を 1 つの平行光束、或いは 1 つの収斂光束に整形した後に、前記 1 つの平行光束、或いは前記 1 つの収斂光束を、前記測定対象に照射する、  
ように構成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の計測器。

**【請求項 4】**

前記照射光学系は、前記測定対象に対する入射角の絶対値が 10 度未満となる状態で、  
前記照射光束を前記測定対象に照射している、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれか  
1 項に記載の計測器。

**【請求項 5】**

前記第二検出器は、前記計測器と前記測定対象との間の距離に応じて、出力する信号が  
変化するよう構成されている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 いずれか 1 項に記載の  
計測器。

**【請求項 6】**

前記第二検出器は、前記測定対象からの光の、前記集光光学系への入射角度に応じて、  
出力する信号が変化するよう構成されている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 いずれ  
か 1 項に記載の計測器。

**【請求項 7】**

前記出力信号の変化は、前記一部の光束の前記第二検出器内の光電変換素子への入射位  
置が変化することによって生じる変化である、ことを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の  
計測器。

**【請求項 8】**

前記集光光学系は、前記第一光束を受光する第一光学系と、前記第二光束を受光する第  
二光学系とを含んでおり、前記第一光学系と前記第二光学系とは互いに異なる光学系であ  
る、ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 いずれか 1 項に記載の計測器。

**【請求項 9】**

前記第一、第二光学系は、該第一、第二光学系と前記測定対象との間に焦点が位置する  
ように配置されており、

前記第一光学系と前記測定対象との間の焦点の位置と、前記第二光学系と前記測定対象  
との間の焦点の位置とのそれぞれに配置された絞りを備える、  
ことを特徴とする請求項 8 に記載の計測器。

10

20

30

40

50

## 【請求項 10】

前記第一光学系の光軸及び前記第二光学系の光軸の両者を含む平面に対して垂直な方向における、前記測定対象の変位量、又は速度を検出するための第三光学系を備える、ことを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の計測器。

## 【請求項 11】

前記第一光学系を介して前記第二検出器に到達した光の強度と、前記第二光学系を介して前記第二検出器に到達した光の強度とを比較して、前記照射光軸に対して前記測定対象が傾いているか否かを判定する請求項 8 乃至 10 いずれか 1 項に記載の計測器。

## 【請求項 12】

前記集光光学系から出射した出射光束を、前記第一検出器に向かう光束と、前記第二検出器に向かう光束とに分離するとともに、前記第一光束と前記第二光束とを前記第一検出器上で重ね合わせる分離光学系を備える、ことを特徴とする請求項 1 乃至 11 いずれか 1 項に記載の計測器。

10

## 【請求項 13】

前記第一光学系の光軸と前記第二光学系の光軸の両者を含む平面と垂直な方向と、前記平面内で前記第一光学系の光軸と垂直な方向との両者における前記測定対象の変位量又は速度を検出した結果に基づいて、前記測定対象の変位量又は速度を出力することを特徴とする、請求項 8 乃至 12 いずれか 1 項に記載の計測器。

## 【請求項 14】

前記第二検出器はラインセンサであることを特徴とする、請求項 1 乃至 13 いずれか 1 項に記載の計測器。

20

## 【請求項 15】

前記第二検出器の検出結果に基づく、前記計測器と前記測定対象との間の距離の分解能の、前記計測器と前記測定対象との間の距離が長くなることによる低下を抑制するための補正光学系を備える、ことを特徴とする請求項 1 乃至 14 いずれか 1 項に記載の計測器。

## 【請求項 16】

前記計測器と前記測定対象との間の距離の検出分解能が、前記計測器と前記測定対象との間の距離が所定範囲内である場合に、該所定範囲外である場合に比べて高分解能となるような光学系を備えている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 15 いずれか 1 項に記載の計測器。

30

## 【請求項 17】

前記第二検出器が取得した波形データを補間またはフィッティング、あるいはその両方を行うことで、前記計測器と前記測定対象との間の距離の検出分解能を高めることを特徴とする、請求項 1 乃至 16 いずれか 1 項に記載の計測器。

## 【請求項 18】

測定対象の変位量又は速度を計測する計測器であって、光源からの光を整形して照射光束とし、該照射光束で前記測定対象を照射する照射光学系と、前記測定対象から出射する第一光束と、前記第一光束とは異なる方向に出射する第二光束とを、重ね合わせるように集光させる集光光学系と、前記集光光学系から出射した出射光束のうち、前記第一光束と前記第二光束とが重ね合わせられた重畳光を検出する検出器と、を含む計測器と、

40

前記測定対象と前記計測器との距離を測定する測距センサと、を備えており、

前記測距センサが出力する距離情報を用いて、前記計測器が出力する前記変位量又は前記速度を補正することによって、前記測定対象の変位量又は速度を出力する、ことを特徴とする計測システム。

## 【請求項 19】

加工対象物を加工する加工部と、

前記加工対象物の変位量又は速度を計測する、請求項 1 乃至 17 いずれか 1 項に記載の計測器と、

50

前記計測器の計測結果に応じて、前記加工部を制御する制御部と、  
を備えることを特徴とする加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光を用いた計測器、特に非接触変位計（速度計）、及びそれを用いた加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、非接触変位計として、被測定物体の移動方向の速度あるいは長さを測定する速度計（測長計）が、特許文献1のように提案されている。 10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平7-229911号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1は、光源から出力された光を二つに分岐し、その二光束を測定対象上で重ね合わせるレーザードップラー変位計を記載している。測定対象に向かって互いに異なる方向から照射された二光束が重なり合った領域を測定対象が通過すると、二光束に基づく散乱光が発生する。この散乱光による干渉光を検出器で検出することによって、測定対象の変位（速度）を検出することが可能となる。 20

【0005】

しかしながら、この特許文献1に記載された速度計は、二光束が重なり合っている領域のみでしか測定対象の変位を測定できない。このため、二光束を重ね合わせることができる領域、つまり測定可能領域を大きくしようとすると、照射光学系が相当大きくなってしまふ、という課題があった。

【0006】

そこで、本発明は、測定可能領域を大きくすることが可能な変位計（速度計）、特に計測装置からの距離方向に測定可能領域が広い変位計（速度計）を提供することを目的とする。 30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の計測器は、測定対象の変位量又は速度を計測する計測器であって、光源からの光を整形して照射光束とし、該照射光束で前記測定対象を照射する照射光学系と、前記測定対象から出射する第一光束と、前記第一光束とは異なる方向に出射する第二光束とを、重ね合わせるように集光させる集光光学系と、前記集光光学系から出射した出射光束のうち、前記第一光束と前記第二光束とが重ね合わせられた重畳光を検出する第一検出器と、前記集光光学系から出射した出射光束の一部の光束を検出する第二検出器と、を備えており、前記第二検出器による検出結果は、前記計測器と前記測定対象との間の距離に応じて変化するものであり、前記計測器は、前記第一検出器による検出結果と、前記第二検出器による検出結果とに基づいて、前記変位量又は前記速度のいずれかを出力する、ことを特徴としている。 40

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、測定装置と被測定対象との距離に関する許容範囲の広い変位計、又は速度計を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】従来の変位計の概要を示す図である。

【図 2】本発明の概要を示す図である。

【図 3】第 2 実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

レーザードップラー法では、移動する物体に光源から発せられた光を照射光束に整形して照射する（光源からの光を用いて移動する物体を照明する）。移動する物体によって散乱した光がドップラー周波数シフトによって光周波数が変化することで、干渉信号にビート周波数が生じる。その周波数成分を観測することで、移動する物体の移動速度を算出する。

10

【0011】

レーザードップラー法に基づく速度計の原理を、従来のレーザードップラー変位計（光を用いた速度計、計測器）の構成を用いて説明する。

【0012】

従来のレーザードップラー変位計の構成の概要を図 1 に示す。

【0013】

光源 101 から出力される光は、コリメータレンズ 102 を伝搬し、平行光となる。ここでは、光源からの光（光束）をコリメータレンズの作用によって平行光束に変換しているが、その限りではなく収斂光束に変換しても構わない。光源から出力される光の波長をとす。その後、回折格子やビームスプリッタのような光分岐素子 103 によって二光束に分岐される。それぞれの光束は、集光光学系 104 によってある位置に集光される。この時、集光される角度をとす。二光束が重なり合う位置に被測定対象 105 がある場合、干渉光が散乱され、受光光学系 106 を介して受光器 107 によって散乱された光の干渉光が検出される。この時、被測定対象 105 の移動速度を  $V$  とし、検出される信号の周波数を  $F$  とすると、以下の関係式（1）となる。式（1）より、検出された信号の周波数から、被測定対象の移動速度  $V$  が求まる。移動速度  $V$  を時間積分することで、被測定対象の移動変位を算出できる。これにより、変位計として機能する。

20

【0014】

【数 1】

$$V = \frac{F \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \varphi} \quad (1)$$

30

【0015】

また、光分岐素子 103 と二光束が重なり合う集光位置までの間に、光音響光学素子（AOM）や電気光変調素子（EOM）や光路長変化素子などのような光の周波数を変調する機構を入れても良い。このことで、二光束間で異なる光周波数を有することとなり、測定対象物が静止していても、検出信号がビート周波数の周波数成分を有し、速度 0 を検出することが可能となる。

【0016】

40

式（1）より、干渉し合う散乱光について、移動する物体からの散乱光の伝搬角度と、波長を正確に決定することで精度の高い速度計測が可能となる。

【0017】

特許文献 1 に示される従来のレーザードップラー変位計では、二光束の照射角度が光学設計によっており、さらに受光器の位置が固定されているため、散乱光の伝搬角度が決定されている。そのことによって、速度を算出できる。

【0018】

本発明では、照射光を一光束とし、被測定対象までの距離を測定する（距離情報を得る）距離計測機構を有していることを特徴とする。被測定対象に照射された光は様々な方向に散乱され、受光光学系を伝搬したのち、受光器で受光される。受光器は式（1）の  $F$  に

50

相当する周波数を有した電気信号を出力する。照射光は一光束であるので光路は決定されており、距離測定機構によって装置と被測定対象との距離が測定される（距離情報が得られる）ので、受光される散乱光の角度が分かる。照射光の波長は光源の仕様によって決定され、上述のように受光器からの電気信号が有する周波数  $F$  と距離測定機構から算出された参考の角度を式（１）に代入することにより、被測定対象の移動速度を算出することが可能となる。

#### 【 0 0 1 9 】

図 2 を用いて本発明のレーザードップラー変位計（光ドップラー変位計、レーザードップラー速度計、光ドップラー速度計）の概要を説明する。各構成素子の番号を図 2 a ) で示し、以下の原理説明で用いる式のキャプションを図 2 b ) で示す。本実施例の計測器は、被測定対象（被測定物、移動物体）203 の、図 2 の左右方向（通常は左方向、右方向のうち 1 つの方向）の移動量（変位量）、或いは移動速度を検出することが目的である。この中で、被測定対象が左右方向に移動する際、被測定対象自体が若干上下方向（図 2 の紙面上下方向、計測器との距離が変化する方向）に移動してしまうケースがある。この被測定対象の上下方向の移動によって、計測結果に誤差が発生してしまうため、この誤差を低減することが本実施例の計測器の目的となっている。

10

#### 【 0 0 2 0 】

まず、コリメータレンズ（照射光学系、照明光学系）202 は、光源 201 から出力された光を平行光（略平行光）に変換した（整形した）上で、この平行光（照射光束）を被測定対象 203 に照射する（照明する）。このとき、この平行光と、被測定対象の被照射面の法線方向とのなす角度（平行光の被測定対象への入射角度）の絶対値は 10 度未満（好ましくは 5 度未満）であることが望ましい。ここで、この被測定対象の被小斜面の法線方向は、被測定対象の移動方向と垂直な方向、と読み替えても構わない。

20

#### 【 0 0 2 1 】

被測定対象 203 によって散乱された光（被測定対象を介した光、被測定対象から出射した光）の一部は、第一の光路上の第一の受光光学系 204 に入射し、別の一部は第二の光路上の第二の受光光学系 205 に入射する。そして、集光光学素子（集光光学系、重畳光学系）206 は、第一、第二の受光光学系から射出した光束同士を重ね合わせる（1 点で重ね合わせる）ような屈折力（光学的パワー、焦点距離）を有している。但し、集光光学素子 206 は、第一、第二の受光光学系から射出した光束同士を実際に重なり合う必要は無く、集光光学素子の後に何も光学系が無ければ第一、第二の受光光学系を出射した光束同士が重なり合うような屈折力を持っていれば良い。

30

#### 【 0 0 2 2 】

集光光学素子（集光光学系）206 から出射した光束（出射光束）のうち一部の光束は分離され、第一の受光光学系から出射した光束と第二の受光光学系から出射した光束とが重なり合った状態で、受光素子 208 に入射する。この受光素子 208 は、被測定対象から別々の方向に散乱した光束（第一、第二の受光光学系に入射した光束）同士が重なった状態の光束（重畳光束、重なり合っただけで干渉が発生している状態の光束）を検出している。この実施例では、光分岐素子 207 は、集光光学素子 206 の直後で 2 つの光束が重なり合う前の光路上に配置されているがその限りではなく、2 つの光束が重なり合う位置、或いは重なり合った後に分離した位置に配置しても構わない。

40

#### 【 0 0 2 3 】

また、集光光学素子から出射した光束のうち、別の一部の光束は、第一、第二の受光光学系からの光束のいずれも 1 点に集光しない位置（集光光学素子の焦点位置とは異なる位置）に配置された距離測定機構（受光素子）209 に入射する。この距離測定機構（受光素子）209 は、被測定対象 203 の位置（計測器からの距離、或いは第一、第二受光光学系からの距離）に応じて、被測定対象からの散乱光の入射位置が異なるように構成されている。別の言い方をすれば、測定対象の  $z$  方向の位置が変化すると、測定対象からの散乱光の距離測定機構の中の受光素子（光電変換素子）への入射位置（この検出器内での光の入射位置）が変化する。従って、この距離測定機構 209 の検出結果から、被測定対象

50

までの距離、或いは後述する  $c$  を得ることができる。ここで、 $c$  とは、被測定対象で散乱された後、第一、第二の受光光学系の焦点位置を通過して互いに平行な光線となる 2 つの光線同士の、被測定対象で散乱された直後になす角度の半分のことである。

【0024】

ここで、受光素子 208 からの光出力信号は被測定対象 203 の移動速度に応じたビート周波数を有する。一方で、光分岐素子 207 において反射せずに透過した光は距離測定機構 209 で検出され、変位計 200 と被測定対象 203 との距離が算出される。算出された変位計 200 と被測定対象 203 との距離から、照射光の光軸に対する散乱光の角度  $i$  が算出され、式 (1) の  $\theta$  に代入し、光源出力波長  $\lambda$  と、観測される周波数  $F$  を用いて被測定対象の移動速度  $V$  が求まる。

10

【0025】

受光光学系 204、205 と被測定対象 203 間の距離を  $z$ 、受光光学系 204、205 の焦点距離を  $f_i$  とし、受光光学系の位置を距離の基準  $z = 0$  とする。照射光の光軸中心から受光光学系 204 あるいは 205 の中心までの距離を  $D_{ci}$  とし、散乱光が伝搬する光束の中心が受光光学系 204 あるいは 205 を伝搬する位置と照射光の光軸中心との距離を  $D$  とする。第一と第二の光路を伝搬した光を重ね合わせる集光光学素子 206 から、重ね合わせ位置までの距離を  $f_c$ 、重ね合わせ位置から距離測定機構のセンサとして用いられるラインセンサ 209 までの距離を  $l_{LS}$  とする。第一と第二の光路を伝搬した光を重ね合わせる際のそれぞれの光の光軸の角度を  $c$  とする。ラインセンサ 209 の中心から散乱光が検出される位置までの長さを  $x_{LS}$  とすると、

20

【0026】

【数 2】

$$\begin{aligned} x_{LS} &= l_{LS} \times \tan \theta_c \\ &= l_{LS} \times \frac{z}{z - f_i} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci} \end{aligned} \quad (2)$$

【0027】

となり、受光光学系と被測定対象 203 間の距離  $z$  は

【0028】

30

【数 3】

$$z = \frac{x_{LS} \times f_i}{x_{LS} - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci}} \quad (3)$$

【0029】

となる。ラインセンサ 209 のピクセルサイズを  $\Delta x_{LS}$ 、ピクセル番号を  $k = -N/2 \sim N/2$  として数式 (2)、(3) を書き直すと

【0030】

40

$$x_{LS} = k \times \Delta x_{LS} \quad (4)$$

【0031】

【数 4】

$$z = \frac{k \times \Delta x_{LS} \times f_i}{k \times \Delta x_{LS} - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci}} \quad (5)$$

【0032】

が得られる。したがって、ピクセルサイズによる距離方向の不確かさは

50

【 0 0 3 3 】

【 数 5 】

$$\begin{aligned} \Delta z &= \frac{\Delta x_{LS} \times (k+1) \times f_i}{\Delta x_{LS} \times (k+1) - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci}} - \frac{\Delta x_{LS} \times (k) \times f_i}{\Delta x_{LS} \times (k) - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci}} \\ &\quad - \Delta x_{LS} \times f_i \times l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci} \\ &= \frac{\left\{ \Delta x_{LS} \times (k+1) - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci} \right\} \times \left\{ \Delta x_{LS} \times (k) - l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci} \right\}}{\quad} \end{aligned} \quad (6)$$

10

【 0 0 3 4 】

となる。

【 0 0 3 5 】

被測定対象からの散乱光の角度  $i$  について説明する。ラインセンサ 209 の中心から散乱光が検出される位置までの長さを  $x_{LS}$  は、

【 0 0 3 6 】

【 数 6 】

$$\begin{aligned} x_{LS} &= l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times (f_i \times \tan \theta_i + D_{ci}) \\ &= l_{LS} \times \frac{f_i}{f_c} \times \tan \theta_i + l_{LS} \times \frac{1}{f_c} \times D_{ci} \end{aligned} \quad (7)$$

20

【 0 0 3 7 】

であり、  $i$  は

【 0 0 3 8 】

【 数 7 】

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( \frac{f_c}{f_i} \times \frac{1}{l_{LS}} \times x_{LS} - \frac{1}{f_i} \times D_{ci} \right) \quad (8)$$

30

【 0 0 3 9 】

である。ピクセルサイズ  $x_{LS}$  とピクセル番号  $k$  を用いて式 (8) を書き直すと

【 0 0 4 0 】

【 数 8 】

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( \frac{f_c}{f_i} \times \frac{1}{l_{LS}} \times k \times \Delta x_{LS} - \frac{1}{f_i} \times D_{ci} \right) \quad (9)$$

40

【 0 0 4 1 】

となり、角度の不確かさは

【 0 0 4 2 】

【数 9】

$$\Delta\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{f_c}{f_i} \times \frac{1}{l_{LS}} \times \Delta x_{f,LS} \times (k+1) - \frac{1}{f_i} \times D_{ci}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{f_c}{f_i} \times \frac{1}{l_{LS}} \times \Delta x_{LS} \times (k) - \frac{1}{f_i} \times D_{ci}\right) \quad (10)$$

【0043】

10

となる。

【0044】

算出される速度は式(1)に基づいているため、角度の不確かさに応じて速度も不確かとなる。

【0045】

&lt;第1実施形態&gt;

図2を用いて第1実施形態のレーザードップラー変位計(速度計)を説明する。ここで、図2の紙面左右方向がx方向(右側が+)であり、同じく紙面上下方向がz方向(上側が+)であり、その両者と直交する紙面と垂直な方向がy方向(奥側が+)である。つまり、本実施形態の計測器は、x方向の変位、速度を検出することを主目的としている。このx方向は別の言い方をすれば、第一受光光学系(第一光学系)の光軸と第二受光光学系(第二光学系)の光軸の両者を含む平面内で、これらの光軸の少なくとも一方に対して垂直な方向のことである。また、z方向は、第一、二受光光学系(第一、二光学系)の光軸方向のことであり、y方向はその両者に対して垂直な方向、つまり前述の第一、二受光光学系の2つの光軸を含む平面と垂直な方向、のことである。このx方向の変位や速度の検出精度向上のために、被測定対象のz方向の位置検出を行いその結果を用いて被測定対象のx方向の変位や速度の検出精度を向上させている。

20

【0046】

光源201には波長650nmを有するレーザダイオードを用いた。出力光はコリメータレンズ202を通して平行光束となり被測定対象203へ照射される。第一の受光光学系204および第二の受光光学系205は直径10mmで、焦点距離10mmのレンズを用いた。受光光学系のレンズは、照射光の光軸から10mm離れた位置にレンズの中心を持つように配置した。集光光学素子206は直径25mmで、焦点距離25mmのレンズを用いた。集光光学素子206のレンズと焦点位置の間に光分岐素子207としてハーフミラー(分離光学系、重畳光学系)を挿入し、散乱光の一部が受光素子208へ伝搬するようにした。受光素子208は直径1mmのセンサを有するフォトディテクタであり、応答速度は10MHzのものを用いた。距離測定機構209にはラインセンサを用いた。ハーフミラー207を透過した光の集光位置から20mmの距離で、第一の光路を伝搬する散乱光を受光するようにラインセンサ209を配置した。ラインセンサ209はピクセルサイズ10μmで、2048ピクセルを有している。したがってセンササイズはおよそ20mmである。

30

40

【0047】

上述の構成とすることで、測定可能深度レンジである変位計200と被測定対象203との距離は30mm~無限遠となる。測定可能速度は、遠方になればなるほど高速となり、1m遠方ではおよそ162m/secの速度まで測定可能となる。しかしながら、速度分解能は劣化し、不確かさが増大し、1m遠方では12.5%程度の不確かさとなる。本実施形態では、変位計200と被測定対象203との距離が100mm程度としている。この場合、測定可能な最大速度は14.7m/sec程度であり、±10mmの範囲で誤差は1%程度である。

【0048】

50

なお、本実施形態では、上述のような光学素子を用いた構成としたが、同様の機能を有する素子であれば上述の光学素子に限らない。また、数値も目的に応じて変更しても良い。例えば、光源はレーザーダイオードに限らず、波長も被測定対象に応じて選択しても良い。また、受光光学系や集光光学系も単レンズの光学系に限らず複数のレンズを用いても良いし、ミラー等を用いても良い。光分岐素子もハーフミラーに限らず、回折格子等を用いても良い。

#### 【0049】

##### <第2実施形態>

図3を用いて第2実施形態のレーザードップラー変位計(速度計)を説明する。座標系は第1実施形態(図1)と同じである。

10

#### 【0050】

第1の実施形態と異なり、干渉用ハーフミラー301を集光光学素子206によって散乱光が集光され重ね合わされる位置に配置する。干渉用ハーフミラー301を透過することで、第一の干渉光と第二の干渉光が生成される。第一と第二のそれぞれの干渉光は、第一と第二の光分岐素子であるハーフミラー302と303により、一部が反射され、第一と第二の受光器304と305によって受光され第一と第二の干渉信号に変換される。差動検出器306により第一と第二の干渉信号の差動検出を行い、DC成分を打消し振動成分のみを取り出す。なお、第一と第二の受光器304と305にて効率良く検出するために、ハーフミラー302と受光器304およびハーフミラー303と受光器305の間に光学系を入れて波面を補正しても良い。

20

#### 【0051】

本実施形態によって、DC成分を取り除き、ドップラー周波数成分のみを取り出すことが可能となり、SN比が高まる。

#### 【0052】

測距用に光を分岐するハーフミラー207は、集光光学素子206と干渉用ハーフミラー301との間でも良いし、干渉用ハーフミラー301と受光器302あるいは303との間でも良い。

#### 【0053】

##### <第3実施形態>

第3実施形態のレーザードップラー変位計(速度計)では、受光光学系204および205と被測定対象203の間の焦点位置にアパーチャを挿入する。

30

#### 【0054】

本実施形態では散乱光の光路を限定するため、散乱光の角度が制限され、測距および速度の精度を高めることが可能となる。

#### 【0055】

##### <第4実施形態>

第4実施形態のレーザードップラー変位計(速度計)では、照射光を平行光(コリメート光)ではなく特定の距離で集光点を持つように、光源と被測定対象との間に照射レンズを挿入する。レーザー光は直線性が良く、平行光のまま遠方まで伝搬するが、実際にはわずかに発散している。そのため、変位計と被測定対象との距離が遠くなると、照射光のビーム径が拡がり、受光される散乱角度の広がりが大きくなる。そのため、速度精度が劣化する。本実施形態によって遠方でもビーム径が限定され、受光される散乱光の角度広がりが抑制され、速度精度を高めることが可能となる。

40

#### 【0056】

本実施形態では、10mの距離で集光されるようにした。照射レンズの入射するビーム径は4mmであり、10m遠方でのビーム径は2mmである。

#### 【0057】

##### <第5実施形態>

第5実施形態のレーザードップラー変位計(速度計)では、計測器から被測定対象までの距離を測定する距離測定機構で用いるラインセンサ209の前に拡大光学系を挿入する

50

。本実施形態の計測器による距離測定は、距離の違いが散乱光の光学系への入射角度の違いとなり、結果としてラインセンサへの入射位置の違いに反映される。従って、拡大光学系を挿入することで、ラインセンサ上の位置の違いが大きくなり、距離および角度分解能を向上させることができる。このことで、算出される速度分解能も向上する。

**【 0 0 5 8 】****< 第 6 実施形態 >**

第 6 実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、距離測定機構で用いるラインセンサ 2 0 9 の前に補正光学系を挿入する。式（ 3 ）あるいは式（ 8 ）のように距離  $z$  あるいは角度  $i$  と、ラインセンサで受光される散乱光の位置は一次関数の関係ではない。そのため、変位計と被測定対象との距離が大きくなると、距離  $z$  あるいは角度  $i$  の分解能（検出分解能）が劣化する（低下する）という課題があった。

10

**【 0 0 5 9 】**

そこで、本実施形態では、補正光学系によって、ある距離範囲内（本実施形態では 1 0 0 m m ± 1 0 m m の範囲）で距離  $z$  あるいは角度  $i$  とラインセンサで受光される散乱光位置  $x L S$  がほぼ一次関数の関係となるようにする。

**【 0 0 6 0 】**

本実施形態により、変位計と被測定対象との距離が変化しても距離  $z$  あるいは角度  $i$  の分解能が変化せず（無い場合に比べて分解能の変化量の低減が可能な、或いは分解能の変化を抑制することが可能な）、一様の精度で変位を測定できるようになる。

20

**【 0 0 6 1 】****< 第 7 実施形態 >**

第 7 実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、距離測定機構で用いるラインセンサ 2 0 9 の前に範囲内補正光学系を挿入する。範囲内補正光学系は、ある距離範囲内（本実施形態では 1 0 0 m m ± 1 0 m m の範囲）で距離  $z$  あるいは角度  $i$  の分解能が高まるようにし、狙った距離範囲外の分解能（検出分解能）は劣化させる。つまり、変位計と測定対象物体の距離が所定範囲内における両者の距離の検出分解能が、所定範囲外における距離の検出分解能よりも高くなるように（高分解能になるように）構成している。

**【 0 0 6 2 】**

本実施形態により、ラインセンサのピクセルサイズやピクセル数が限られていても、特定の距離範囲内で高精度な変位測定が可能となる。

30

**【 0 0 6 3 】****< 第 8 実施形態 >**

第 8 実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）について説明する。ここでは、受光光学系 2 0 4 および受光光学系 2 0 5 が、被測定対象との間に集光点を有している単レンズのような光学系の場合を想定している。この場合、照射光軸に対して受光光学系の単レンズの外側（ 2 つの光学系の光軸の間の領域の外側）を伝搬する光しか受光されない。そこで、第 8 実施形態では、照射光軸に対して受光光学系の単レンズの内側（ 2 つの光学系の光軸の間の領域）を削ったレンズを用いる。

**【 0 0 6 4 】**

本実施形態によって、変位計を小型・軽量化できる。

40

**【 0 0 6 5 】****< 第 9 実施形態 >**

これまでの実施形態では、距離測定機構で用いるラインセンサ（光電変換素子） 2 0 9 で検出された散乱光の波形データ（強度分布、データ波形）の中で、光強度が最大となるピクセルの位置を用いていた。つまり、光強度が最大となるピクセルの位置に基づいて、そのピクセルの位置（ピクセルの中心位置）に基づいて、計測器と被測定対象までの距離あるいは被測定対象からの散乱光の入射角度を算出していた。具体的には、式（ 3 ）あるいは式（ 8 ）に基づいて、上記の演算を行っていた。

**【 0 0 6 6 】**

この第 9 実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、距離測定機構で用いる

50

ラインセンサ 209 で検出された（取得された）散乱光の波形データ（光強度分布）に対して、データ処理（加工）を行う。

【0067】

補間やフィッティング（或いはその両方）などのデータ処理を行う。このようなデータ処理を行うことによって、ピーク検出精度（光強度分布のピーク位置の検出精度）を高めることができ、被測定対象までの距離や被測定対象からの散乱光の入射角度の精度が高めることができる。そして、最終的に、測定対象の測定方向（図2の左右方向）の変位量の検出精度や速度の検出精度を向上させることが可能となる。

【0068】

<第10実施形態>

第10実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、第一と第二の散乱光光路を伝搬するそれぞれの光を、距離測定機構でそれぞれ検出する。距離および角度は、それぞれの検出データから算出して平均化して算出する。あるいは、二つのピーク位置の距離から算出しても良い。

【0069】

本実施形態のように2つの信号を用いることで、第一と第二の散乱光の光路の違いを平均化し、調整の負荷を下げる事が可能となる。

【0070】

<第11実施形態>

第11実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、受光素子がマルチセンサである。レーザードップラー変位計では、散乱光のランダムな重なりにより、光が打ち消し合い、干渉信号強度が0となってしまうドロップアウトという現象が起き得る。本実施形態では、受光素子が複数あるため、いずれかの受光部で0となっても他の受光部で信号を出力する。そのため、ドロップアウトを回避することが可能となる。

【0071】

<第12実施形態>

第12実施形態は計測システムに関する。この計測システムでは、前述のレーザードップラー変位計（速度計）が持つ機構のうち距離測定機構をなくし、別体の測距センサ（距離情報を取得できる装置）を用いる。本実施形態では、レーザーを用いた三角測量に基づく測距センサを用いた。測距センサで用いたレーザー光の波長は、変位計で用いる波長（650nm）と異なる532nmとし、100nm以上（波長が長い方の波長が短い方の105%以上、より好ましくは110%以上）波長を異ならせることにより両者の干渉を回避した。

【0072】

本実施形態により、距離測定精度をより高精度化でき、散乱光角度の精度を高め、測定される速度の精度を高めることが可能となる。

【0073】

なお、測距センサはレーザーを用いた三角測量に基づくものでなくても良く、パターン投影やマイケルソン干渉計に基づくものでも良い。また、非接触に限らず、接触式のものでも良い。

【0074】

<第13実施形態>

第13実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、第一と第二の受光光学系が計測する変位方向（x方向）に対して直交するy方向における測定対象の変位（速度）を計測する。ここで、y方向とは、第一、二受光光学系の2つの光軸が形成する平面に垂直な方向（照射光軸の方向と垂直な方向）である。このy方向における測定対象の変位（速度）を計測する第三と第四の受光光学系および第二の受光素子を有する点がこの実施形態の特徴である。ここで、図と照らし合わせると、x方向は紙面左右方向、z方向は紙面上下方向、y方向は紙面奥行き方向である。

【0075】

10

20

30

40

50

被測定対象が一様に光を散乱する表面を有するとすると、散乱光は全方位に伝搬する。これまでの実施形態では、第一と第二の受光光学系により、第一の方向（x方向）の変位を測定していた。本実施形態では、さらに第三と第四の受光光学系と第二の受光素子を有することで、第一の方向（x方向）とは直交する第二の方向（y方向）の変位を測定することが可能となる。

【0076】

さらに、第一と第二の変位から、斜め方向の変位を算出することが可能となる。

【0077】

<第14実施形態>

第14実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、第10実施形態と同じ構成である。第一と第二の散乱光光路をそれぞれ伝搬して距離測定機構で測定された第一と第二のデータの強度値を比較し、照射光軸に対する被測定対象の傾きを判定する。

10

【0078】

一般的に散乱光の光量は直接反射光軸を中心に減少していく。そのため、被測定対象が傾いている場合には、第一と第二の散乱光光路を伝搬する光量が異なる。そのため、距離測定機構で測定された第一と第二のデータの強度値を比較することで、照射光軸に対して被測定対象の測定面が傾いているかどうか判断することが可能となる。

【0079】

本実施形態によって、変位計を設置する際に、第一の受光光学系を介して距離測定機構に到達した光の強度を示す第一のデータと、第二の受光光学系を介して距離測定機構に到達した光の強度を示す第二のデータと、を比較する。この比較の結果、バランスが崩れている場合には、自動的に照射光軸、或いは第一、二受光光学系の光軸を調整する駆動機構を制御する。

20

【0080】

このようにすれば、変位測定中に被測定対象の測定面が傾いたかどうかを判定し、搬送系あるいは被測定対象の歪みを検出することが可能となる。ここで、第一のデータ（第一散乱光路を介した光強度）と第二のデータ（第二散乱光路を介した光強度）とを比較し、大きい方が小さい方の120%以上（好ましくは105%以上）の場合、照射光学系（の光軸）の傾きを自動的に調整することが望ましい。

【0081】

また、初期の設置の段階で、この両者の強度値のバランスの測定結果に基づいて、光学系の傾きを調整するようにしても良い。

30

【0082】

<第15実施形態>

第15実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）では、変位計により測定される移動方向の変位xと、距離測定機構により測定される距離変位zを用い、測定対象の長さlを以下の式（11）を用いて算出する。

【0083】

【数10】

$$l = \sqrt{x^2 + z^2} \quad (11)$$

40

【0084】

さらに第13実施形態での変位計を用いることで、xともzとも直交する変位yを計測でき、測定対象の長さlを

【0085】

【数11】

$$l = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (12)$$

50

## 【 0 0 8 6 】

により算出することが可能となる。

## 【 0 0 8 7 】

本実施形態により、被測定対象が移動方向以外に振動した場合でも、正確な長さを算出することが可能となる。特に、布や線材などでは振動しやすいため、変位誤差が大きくなりやすい。本実施形態により、誤差を小さくすることが可能となる。

## 【 0 0 8 8 】

## &lt; 第 1 6 実施形態 &gt;

第 1 6 実施形態は、第 1 ~ 1 5 実施形態のレーザードップラー変位計（速度計）の中のいずれかの変位計を用いた加工装置の例である。この加工装置は、被加工対象物（被測定対象）を加工する加工部と、この加工部を制御する制御部と、この制御部に制御信号を入力する入力装置とを備えている。この加工装置では、加工部によって加工された被加工対象物の長さが予め設定した長さになった場合、或いは被加工対象物が予め設定した距離を移動した（加工された上で移動した）場合を検知（検出）している。この検知をきっかけにして、加工部による被加工対象物の成形（或いは移動）動作を停止させたり、或いは被加工対象物を切断したりするための制御信号を、入力部から制御部に送信している。

10

## 【 0 0 8 9 】

本実施形態により、正確な長さで被測定対象を停止させたり、切断したりすることが可能となるため、高精度で素早く加工を実施することができる。

## 【 0 0 9 0 】

## &lt; 第 1 7 実施形態 &gt;

第 1 7 実施形態の加工装置では、被測定対象の x、y、z の変位をフィードバックし、オンザフライで加工する場合に同期を取って加工可能とする。

20

## 【 0 0 9 1 】

本実施形態により、被測定対象が搬送方向とは異なる方向に移動した場合にも精度の高い加工を行うことが可能となる。

## 【 0 0 9 2 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、これらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

## 【 符号の説明 】

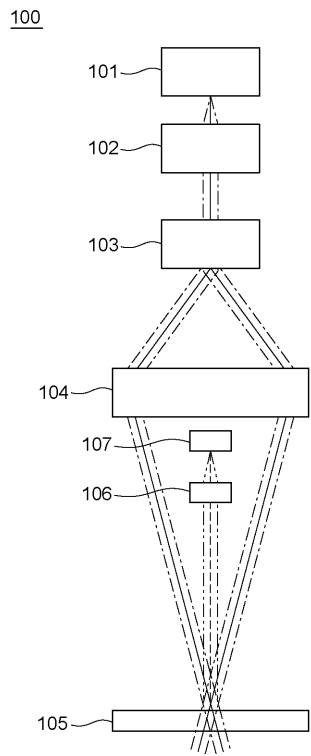
30

## 【 0 0 9 3 】

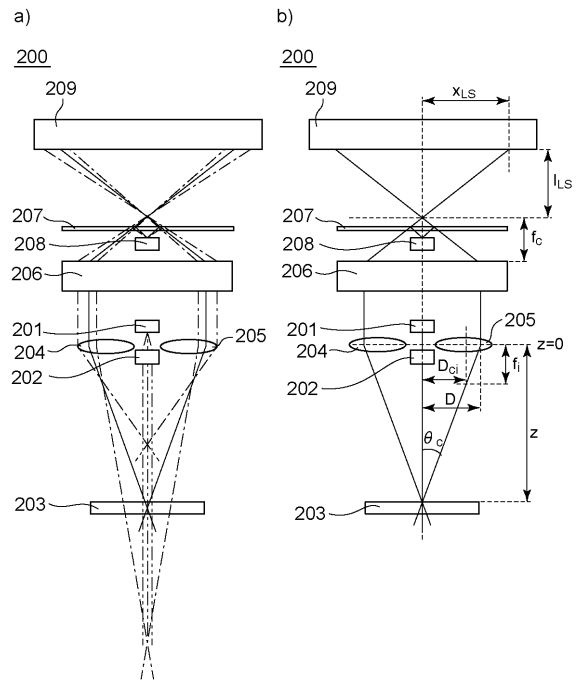
- 2 0 0 本発明による変位計
- 2 0 1 光源
- 2 0 2 コリメータレンズ
- 2 0 3 被測定対象
- 2 0 4 第一の光路上の第一の受光光学系
- 2 0 5 第二の光路上の第二の受光光学系
- 2 0 6 集光光学素子
- 2 0 7 光分岐素子
- 2 0 8 受光素子
- 2 0 9 距離測定機構

40

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

