

| | |
|---------|--|
| ふりがな | かんがい |
| 氏名 | 宦海 |
| 学位 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 新大院博(工)第285号 |
| 学位授与の日付 | 平成20年3月24日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 博士論文名 | Study on multi-period fringe projection interferometry for shape measurements (多周期縞投影干渉法を用いる形状計測に関する研究) |

| | |
|--------|--------------|
| 論文審査委員 | 主査 教授 佐々木 修己 |
| | 副査 教授 佐藤 孝 |
| | 副査 教授 大河 正志 |
| | 副査 教授 鈴木 孝昌 |
| | 副査 教授 菊池 久和 |

博士論文の要旨

精密加工技術の発達に伴い、物体の形状を高精度で測定する必要性が高まっている。ナノオーダーの精度で表面形状を測定するレーザ干渉計は、すでに数多くの製品が市販されている。一方、マイクロオーダーの精度で数 mm 程度の大きさで変化する表面形状を測定する測定器は、点測定であるため測定時間が長い、測定精度が低いなどの欠点があり、十分な性能を有している測定器は数少ない。そこで本論文では、異なる周期の複数の光縞パターンを測定対象面に投影することによって表面形状測定を行う多周期縞投影法を用い、数 mm の段差を有する表面形状、および2つの反射面を有する物体形状を測定する縞投影干渉法を提案し、本方法による干渉計の構成方法とその特性について論じている。

第1章では、従来の多周期縞投影法の特性・問題点を説明すると共に、解決すべき内容を明らかにしており、本研究の目的および本論文の構成について述べている。

第2章では、本研究で用いる正弦波位相変調レーザ干渉法の原理について述べている。正弦波位相変調干渉法では、振動するミラーで容易にかつ正確に参照光に位相変調を与えることができ、検出された干渉信号の周波数解析を行うことによって、本研究で必要とする干渉信号の振幅および位相が求められることを述べている。また正弦波位相変調干渉法を用いて、参照光のミラーの変位をフィードバック制御し、検出面のある1点における干渉信号の位相を時間的に一定値にする位相ロック方法について説明しており、本研究に必要な高精度な位相基準面を得ることができることを述べている。

第3章では、1つの表面形状をもつ物体を測定対象としており、多周期縞投影レーザ干渉計の装置構成および逆伝搬法による表面形状の算出演算方法について説明している。ミラーで反射された2つの平行レーザ光を重ね合わせることによって生じる干渉縞パターンを投影縞パターンとして用いており、1つのミラーの傾斜角を調整することで多周期の干渉縞を得ている。他方のミラーを正弦波振動させ干渉縞に正弦波位相変調を与え、かつミラーに平行移動変位を与えることにより位相ロックを行っており、干渉投影縞の中に位相基準面を発生させている。縞パターンが物体表面に投影され、物体表面の形状に応じて変形した縞パターンを2次元 CCD イメージセンサ上で結像し、各検出点で得られ

た干渉信号から正弦波位相変調法を用いて干渉縞パターンの振幅と位相を検出している。検出された振幅と位相から検出面における検出光場を作り、この検出光場を位相基準面の方向に逆伝搬することによって作られる逆伝搬光場を全ての縞周期について総和した再生光場は、位相基準面においては再生光場の振幅が最大となり同時に位相が零となることを導出しており、このときの逆伝搬の距離から測定対象面の位置を求めることができることを述べている。この逆伝搬方法による測定誤差は従来の方法より小さいことを数値解析によって明らかにしている。実験では段差幅 1mm を有する鏡面形状が測定され、本方法の測定誤差は $2\mu\text{m}$ 以下であることが明らかにされ、段差幅 2mm を有する粗面段差形状の測定においては繰り返し測定誤差は $7\mu\text{m}$ 程度となったことが示されている。

第 4 章では、2つの反射面をもつ物体の表面と裏面の位置形状を測定することについて述べている。この場合、検出される干渉信号は物体の表面と裏面で反射された 4 つの平行レーザ光同士の干渉から生じているが、逆伝搬法による表面位置の算出演算過程では不要な干渉成分は除去され、位相基準面では再生光場の振幅は 2 つのピークを持ち、位相分布が零あるいは π となる位置から、それぞれ物体の表面と裏面の位置が求まることを理論的に導出している。実験では、厚さ 2mm の光学平面ガラス板を測定対象とし、本方法の測定誤差は $3\mu\text{m}$ 以下であることが明らかにされている。また、厚さが 1mm から 2mm と場所的に変化するアクリル板を測定した結果、繰り返し測定誤差は $4\mu\text{m}$ 程度であり、共焦点レーザ変位計の測定結果と非常に良く一致したことが示されている。

第 5 章では、異なる縞周期を与えるごとに干渉信号を検出していた前章までの離散縞周期走査方法とは異なり、縞周期を時間連続的に与える連続縞周期走査方法について述べている。この場合、干渉信号の検出は縞周期走査期間内で時間連続的に行われるため、測定時間が大きく短縮されることとなり、また縞走査間隔は小さくなるため測定範囲が拡大されることを述べている。干渉信号から時間的に変化する振幅および位相を求める演算処理方法を説明し、また測定対象をミラー表面とした場合には与えた縞周期を正確に求めることができることを明らかにしている。実験では、第 4 章で測定したアクリル板を連続縞周期走査方法で測定した結果、離散縞周期走査方法の場合と同様に表面および裏面の位置形状を測定結果できることを明らかにしている。

第 6 章では、本研究の成果を総括しており、本方法が従来の多周期縞投影法よりも優れている点を明確に述べている。

審査結果の要旨

従来の多周期縞投影法では以下のような問題点があった。(1) 複数の縞パターンに対して縞位相の値が等しくなる位相基準面の設定が困難である。(2) 検出された干渉信号に含まれる雑音成分の影響を受け易い。(3) 表面と裏面を有する物体の両面の形状を測定することが出来ない。本論文では、これらの問題点を解決するため、光場の逆伝搬法を用いる多周期縞投影干渉法を提案しており、逆伝搬法を用いて表面形状位置を求めることによって、問題点(2)および(3)を解決している。また、電気的なフィードバック制御によって問題点(1)を取り除いている。更に、時間連続的に縞周期を走査する方法を提案しており、非常に短時間で測定が行えるようにしている。

以上のように、本論文では独創的で新規な方法を多周期縞投影法に取り入れることによって、従来は測定が困難であった物体形状を容易かつ正確に測定できる多周期縞投影レーザ干渉計を構築しており、本論文の成果は精密加工製品の形状計測におけるレーザ干渉計の適用範囲を拡大し、干渉計測の発展に寄与するところが非常に大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認定した。