The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	シンクロトロン放射光用集光ミラー作製のための超精密形状測定装置の開発
Author(s)	東, 保男
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3169533
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【 84 】

氏　　名	東（ひがし）　保（やす）　男（お）
博士の専攻分野の名称	博　　士（工　　学）
学 位 記 番 号	第　15002　号
学位授与年月日	平成11年11月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	**シンクロトロン放射光用集光ミラー作製のための超精密形状測定装置の開発**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 森　勇藏 （副査） 教 授 片岡　俊彦　助教授 遠藤　勝義　助教授 山内　和人

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、シンクロトロン放射光を利用する場合に、基盤技術として極めて重要な集光ミラー作製のための超精密形状測定装置の開発に関する研究成果をまとめたものである。

第1章では、本研究の背景および目的ならびに本研究に関連する分野の現状とその課題について述べている。

第2章では、光波干渉法や3次元座標測定法のような基準面を用いる方法と異なり、レーザー光線の光路の安定性を利用して、被測定面上の任意の点における法線ベクトルを高精度に測定し、これらを補間・積分することにより形状を求める超精密形状測定法を提案している。そして、法線ベクトルを 5×10^{-7} rad 以上の精度で測定すれば、測定範囲100 mm において10 nm 以上の形状測定精度を実現できることを示すとともに、測定装置の各要素に求められる精度解析を行っている。

第3章では、前章の結果をもとに、法線ベクトルを 5×10^{-7} rad 以上の精度で測定するための測定光学系と試料台の設計・製作について述べている。さらに、測定環境の変動による屈折率の変化を定量的に解析し、測定中の温度変化の許容値を理論的に導くとともに、その対策を施している。その結果、製作した測定装置では、分解能 1.8×10^{-8} rad で法線ベクトルの測定が可能であることを示している。

第4章では、測定環境の変動による測定精度への影響をなくすためには、初期設定から測定までを外部から自動で行えるシステムが必要であることを示し、自動制御のためのハードおよびソフトウェアーの開発について詳述している。そして、開発したゼロメソッドに基づく法線ベクトルの自動かつ高速な検出システムにより、直径100 mm の放射光用凹面ミラーに対して40分間で形状測定することを可能にしている。

第5章では、紫外光から軟X線領域の放射光の分光器に用いる曲率半径3 m、直径100 mm の凹面鏡を測定し、製作した測定装置の性能を評価している。合計5回の測定の結果、全測定点の法線ベクトルが 5×10^{-7} rad 以上の再現性で測定されていることを示し、さらに、ミラーを光軸周りに90° 回転してセットした場合の測定値との整合性について調べた結果、製作した測定装置では、装置固有の誤差を含めて形状測定精度7 nm 以上を達成していることを明らかにしている。

第6章では、すでに実用化されている原子間力プローブ搭載超高精度3次元座標測定法で測定した結果との比較検討を行っている。その結果、それぞれの保証精度内で測定形状が一致することを確認し、また、測定結果の再現性では、本測定法の方が優れていることを示している。

第7章では、本測定装置により溶融石英製の凹面ミラーの形状を測定し、その結果をもとに理想形状からの偏差分を数値制御EEM（Elastic Emission Machining）によって修正加工した後、再度本測定装置により測定している。その結果、理想形状からの偏差が7 nm以下であることを確認するとともに、放射光用集光ミラーの加工システムとして、数値制御EEMと本測定方法を組み合わせた方法が有効であることを明確に示している。

第8章では、得られた成果を総括し、本研究の結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

シンクロトロン放射光ビームラインにおいて、ビームの平行度や集束性、形状等の特性を決める最も重要な要素がミラーである。しかし、ミラー面全域に渡って0.01 μm を上回る形状精度が必要な場合もあり、その性能を十分に満足するミラーは、未だ実現されていない。加工技術においては、幾つかの方法が実用に供するレベルに達しつつあるが、その形状を評価する形状測定法がないのが現状である。これまでに実用化された形状測定法には、光波干渉を利用した測定法や3次元座標測定法等があるが、どちらも基準面を使用する必要があり、その精度に依存するために原理的な限界がある。また、後者においては、プローブや試料の移動・位置決めシステムに関して、既に限界の域に達している。本論文では、基準面を用いず、レーザー光線の光路の安定性を利用し、被測定面上の任意の点における法線ベクトルを高精度に測定し、これらを補間・積分することにより形状を求める形状測定法を提案して開発するとともに、その方法が従来の測定法の精度を上回ることを実証している。そして、製作した測定装置により、現状のシンクロトロン放射光用ミラーの形状を測定し、その結果をもとに、必要形状からの偏差分を数値制御EEMによって修正加工し、再度本測定装置により測定した結果、形状精度7 nm以上の高精度ミラーが実現できたことを示している。これらは、シンクロトロン放射光用高精度ミラー開発に向け、新しい加工および計測技術を、実用化が可能なレベルで提示したものであり、その主要な成果は次の通りである。

(1)基準面を必要とせず、被測定面上の任意の点における法線ベクトルを高精度に測定し、補間・積分することにより形状を得る新しい形状測定法を提案している。

(2)法線ベクトルの検出にゼロメソッドを導入し、構成機器要素の精度解析をもとに測定装置を製作した結果、分解能1.8×10^{-8} radでの法線ベクトルの検出を実現している。

(3)測定精度およびその信頼性の確保に必要な測定環境を得るため、初期設定から形状測定までの全自動化を実現している。特に、任意の点における法線ベクトルを自動的かつ高速に探索・検出するシステムを開発するなど、実用機として十分な性能を持つ測定装置を完成させている。

(4)測定結果の繰り返し再現性ならびに絶対精度の検証を行い、測定範囲100 mmにおいて絶対精度7 nmを達成していることを確認している。

(5)本測定装置により、現状のビームラインに用いられる溶融石英製の凹面ミラーの形状を測定し、その結果をもとに理想形状からの偏差分を数値制御EEM加工によって修正加工した後、再度本測定装置により測定した結果、理想形状からの偏差が7 nm以下であることを明らかにすることによって、シンクロトロン放射光用高精度ミラー作製を本測定装置の適用実例として具体的に示している。

以上のように、本論文は、超精密形状測定法の実現を目的に行われた長年の独創性に満ちた研究成果と新しい知見を数多く含んでおり、さらに、その成果をシンクロトロン放射光用ミラーの加工システムに組み入れ、測定技術と加工技術の互いの特性を活かすことで、今までにない高精度なミラーの製作が可能であることを具体的に示している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。