

## 審査の結果の要旨

氏名 根岸 真人

測定と修正研磨を繰り返す形状創成技術は1970年代から急速に発展し、今や超高精度光学素子の製作には無くてはならない技術となっている。しかし単品加工のため望遠鏡や露光装置など高額な特殊用途に限られた発展でもあった。近年、光学を利用した情報機器、特にカメラなどの急速な小型高性能化の要求を背景に、民生品用光学素子においても高精度への要求が高まっている。この要求に応えるシーズとして修正研磨技術は有望であり、産業界にとっても意味の大きい工学分野である。

しかしながら民生品への展開は高い形状自由度に対応しなければならず、しかも経済的な生産システムを構築することが困難なため進んでいない。特に多面を組み合わせた自由曲面光学素子に対する取り組みは例が無い。本論文は多面自由曲面に対応可能な高精度測定方法、そして経済的な修正研磨方法を開発し、両者を合体した加工システムの構築を目指している。

高精度測定については干渉計が一般的に用いられているが自由曲面には対応できない。本論文は、修正研磨においては必要な空間周波数が限定されているという性質を利用し、接触式測定法を検討、実際に測定装置を開発しナノメートルオーダーの精度が現実的な測定時間で可能なことを実証している。次にこれを多面自由曲面へ展開する必要から、複数測定結果の接続法として、位置マークを用いる方法および2本のプローブを用いる方法を検討している。さらに接続したデータから有効な目標修正形状を算出する方法について検討を進めている。

修正研磨については重要課題として除去の安定性をあげ、シミュレーションに基づいた解析を行っている。その結果をもとに工具保持、揺動機構を含む装置全体構成を提案している。この装置を制御する滞留時間分布の計算方法として、従来の除去のシミュレーションによる方法にかわる新しい方法を検討し、実際の測定と加工を通じて全体が有効に機能することを実証している。

以上のように本論文では自由曲面における修正研磨を行うために必要となる加工計測システム全体について検討を行っている。

本論文は[修正研磨による自由曲面創成に関する研究]と題して全9章からなっている。

第1章「序論」においては既往研究の背景、そして修正研磨による形状創成の必要性和意義を述べている。また修正研磨における計測要求の検討から測定に対する方向性を明らかにし、さらに応用分野を民生品に向けたときの課題を抽出、本研究の狙いを明らかにしている。

第2章「大型自由曲面測定」においてはメトロロジフレームを3軸に応用することにより、修正研磨装置と一体化になった測定法を提案している。特にプローブを含む移動軸の姿勢を補償することにより接触式形状測定法においても高精度測定が可能なことを明らかにしている。また、大きな誤差要因となるよごれについて仮説モデルを提案し、実際の現象と合致することを確認している。

第3章「小型自由曲面測定」においては計測基準を箱構造にすることにより精度を向上できることを示している。また、接触プローブに関する3つの誤差要因を同時に補正する方法を提案、さらに高い精度が可能であることを確認している。

第4章「両面同時測定」においては、2本のプローブと箱型の計測基準を貫通する被測定物搭

載台の構造をもつユニークな装置構成を提案している。この構成により被測定物の重量変動をキャンセルできるため、さらに高い精度と両面同時測定が可能であることを実際の装置開発を通じて実証している。

第5章「複数自由曲面解析方法」においては、自律的にチェック可能な4つの球を用いる測定結果の接続方法を提案している。また、それをもとに複数面のデータを設計形状にフィットする手法を提案している。これによれば被測定物の取り付け誤差の影響を排除できる他、従来にくらべて格段に少ない除去量で相対位置と形状誤差を同時に修正する目標除去量が計算できることを示している。また、大きな誤差要因である直角度を複数姿勢の原器測定から導き出す方法を提案し、原器の形状誤差に影響されない高精度補正を実現している。

第6章「自由曲面の修正研磨加工」においては、工具の支持点を被加工物との接触面上に配置する機構を提案し、シミュレーションにより効果を確認している。またその工具の揺動方法についてもシミュレーションにより最適な運動条件を見出し、装置全体の構成および制御の方法を明らかにしている。

第7章「修正研磨戦略」においては従来法である除去のシミュレーションにかわるFFTを用いたデコンボリューション計算法を提案し、新しい方法が加工残差および計算時間、従って経済性について格段に優れていることを確認している。

第8章「自由曲面修正研磨システムの検証」においては、前章までで開発したシステムを使用し、平面とトロイダル面において実際に修正研磨が可能であり、本論文で提案した方法が有効に機能することを実証している。

第9章「結論」は以上の章を要約したものである。

以上のように、本論文は自由曲面光学素子の生産技術に新しい分野を開くものであり、工学的にも工業的にも非常にインパクトのある結果を導出している。機械加工学の進展に大いに寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。

