

審査の結果の要旨

氏名 郭江

本論文は「**Research on Ultraprecision Finishing of Micro-Optic Mold by Vibration-Assisted Polishing**」(マイクロ光学素子用金型の振動援用精密研磨に関する研究)と題し英文で書かれており、レンズ等の光学素子の成形用精密金型を対象とする振動援用研磨装置の開発とその利用技術に関する一連の研究で得られた成果をまとめたものである。

本論文は、全6章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を記述し、本論文の構成について簡潔に述べている。マイクロ光学素子用金型に対する精密研磨加工の必要性を述べ、研磨の材料除去メカニズムと研磨に影響する要因を説明している。現状の研磨方法および研磨ツールを調べ、回転研磨方法と振動援用研磨方法を比較し、マイクロ光学素子用金型の精密研磨加工として振動援用研磨加工の有用性を明らかにしている。そして、新しい機構による2自由度振動援用研磨装置の開発と制御法などの利用技術の確立を本論文の研究目的とすることを述べている。

第2章「振動研磨ツール」では、振動ステージと振動ポリッシャーの開発について記している。

振動ステージは加工対象となる金型を搭載し、XYの2自由度の任意軌跡の高速運動を実現することを目的として開発したものである。2対の積層型圧電素子を用い、変位拡大機構と弾性ヒンジを組み合わせた新規の機構を工夫することにより、X軸とY軸を振幅が $150\mu\text{m}$ で任意の位相差で 1kHz で振動させることに成功している。

振動ポリッシャーは、磁歪振動子と研磨ツールで構成されている。磁歪材料として鉄コバルト合金であるパーメンジュールを用いることを特徴としている。磁歪特性は超磁歪材料に比べて劣るが、透磁率が格段に大きいことにより、起磁力に対する歪が同程度になることに着目したものである。コイルを巻いた4個の柱で構成される2自由度のマイクロ磁歪振動子を考案し、研磨ツールの先端を 9kHz で $30\mu\text{m}$ の円運動を得ている。

第3章「研磨圧力制御システム」では、マイクロ研磨加工に不可欠である研

磨圧力の調整機構について検討している。機械式レバーの錘を調整することによって一定の力を加えることができる従来の機構では、精密な研磨圧力の制御を行うことができないことから、ロードセルで加工力を検出し目標に追随させるように研磨ツールの位置をピエゾステージとリニアステージで制御する機構を開発した。さらに、ボイスコイルモータとリニアステージの組み合わせることにより、一定の研磨圧力を得る制御システムも開発している。

第4章「振動援用研磨装置」では、第2章で述べた振動研磨ツールと第3章で述べた研磨圧力制御システムの組み合わせることによる、種々の振動援用研磨システムの構成について記している。次章の研磨実験の実験方法の具体的な機器の構成について述べている。

第5章「研磨実験と討論」では、開発された振動支援研磨装置を用い広範な項目について研磨実験を行い、提案した手法の有効性を確かめている。

具体的には、振動軌跡の観察、材料除去機能、研磨効率と表面粗さ、ダイヤモンドスラリーの特性、ポリッシャーの特性及び研磨パラメータ間の関係を含む基本的な研磨特性などを詳細に調べている。特に、従来の1自由度の振動による研磨で避けられなかった特定方向につく微細な研磨痕を、2自由度の振動を利用することにより無くすことが出来ること実証したことは大きな成果である。

第6章「結論と今後の計画」では、本研究で得られた成果をまとめ、開発した振動援用研磨装置に関連した技術の将来を展望し、さらに取り組むべき課題を述べている。

このように、圧電素子や磁歪材料を利用した革新的な振動援用研磨システムを開発し、その有効性を実証している。本論文での研究成果は精密工学の発展に寄与するだけでなく、振動援用研磨装置としてマイクロ光学素子用金型の研磨等に利用され産業の発展に貢献することが期待される。

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。