

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名 金 玖奎

本論文は、共焦点顕微内視鏡への応用を目的として、ソリッドレンズに液体レンズを組み合わせたレンズシステムについて述べたものである。共焦点顕微内視鏡では、高い分解能を持つために被写界深度が浅い、すなわち開口数が高い非球面ソリッドレンズを用いるが、組織の動きや表面に凹凸があり形状が不規則な場合において焦点位置が生体組織内の適切な範囲から外れる場合がある。それに対して、ピエゾ素子を用いた焦点位置調整機能を実装したシステムが提案されている。しかしながら、ピエゾ素子による焦点位置調整法では、レンズの外表面が物理的に動くため、レンズ外表面が組織に安定して接触しない。レンズシステム全体を透明なカバーで覆うなどの対策を施した場合でも、画質の低下を抑えるためにレンズ外表面とカバーの間に水を充填した **water-immersion** にする必要があり、レンズ外表面の動きで生じた内水圧変化で焦点位置の制御精度が低下する。一方、レンズ外表面が物理的に移動をしない液体レンズは、レンズ外表面が物理的に移動することなく可変焦点を実現できるが、ソリッドレンズのように形状を最適化することが困難であるため、開口数が低くなる傾向があった。本論文では、高開口数なソリッドレンズと可変焦点液体レンズを組み合わせることで、高い開口数を持つ可変焦点液体レンズを提案している。共焦点顕微内視鏡の応用を踏まえてレンズシステムの設計および試作を行い、その光学적および機械的な性能を評価している。また、豚の食道に対して組織のイメージングを行い、実用可能性を評価している。

第一章は、序論であり、共焦点顕微内視鏡の有効性および臨床応用への課題について説明している。診断の際、常に組織の表面に焦点を合わせるための可変焦点の必要性および従来の可変焦点手法における問題点について説明している。また、可変焦点手法としての液体レンズの有効性および共焦点顕微内視鏡へ応用するために解決すべき課題について整理している。

第二章は、提案手法である高開口数な可変焦点液体レンズについて述べている。提案したレンズの構成および各部品の材料について説明している。また、高開口数な可変焦点液体レンズの設計および加工方法について検討している。プロトタイプを試作し、顕微鏡の光学系を用いてイメージングおよび可変焦点の実現可能性の評価を行い、提案手法の有効性を示している。

第三章は、食道癌診断用のための共焦点顕微内視鏡への応用を目指し、小型かつ高開口数な可変焦点液体レンズの設計および試作を行い、その性能評価をしている。レンズの要求仕様を整理し、レンズパラメータを最適化している。また、試作したレンズの光学적および機械的な性能の評価を行い、要求される性能を満たしていることを示している。

第四章は、第三章で試作したレンズシステムの臓器組織イメージングへの応用について検討している。豚の食道組織を切り取り、レンズシステム表面からの焦点の奥行き距離を変化させながらイメージングを行い、画質および焦点可動範囲を評価している。結果より、十分な画質を保ちながら求められる焦点可動範囲を実現したことを示している。

第五章は、本論文の総括と他の臨床への適用可能性について説明している。第二章から第三章の研究の理論および成果について述べ、本論文において提案した手法の効果および限界について述べている。

第六章は、本論文を章ごとに振り返り、全体を総括している。

以上をまとめると、本論文は、共焦点顕微内視鏡の応用を目指して、ソリットレンズと液体レンズを組み合わせた高開口数な可変焦点液体レンズを提案している。食道癌診断を目的とし、共焦点内視鏡の要求仕様に基づいてレンズパラメータの最適化およびレンズシステムの試作を行った。光学的および機械的な性能評価を行い、十分な性能を持つことを検証している。さらに、豚の食道組織に対してイメージングを行い、画質を保ちながら、十分な焦点可動範囲および速度を持つことを確認している。これらの結果より、本研究はバイオエンジニアリング分野に貢献していると判断できる。

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。