

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12552

研究課題名(和文) スマートグラスを用いた網膜イメージング

研究課題名(英文) Imaging retina using smart glasses

研究代表者

羽根 一博 (Hane, Kazuhiro)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：50164893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：MEMS走査マイクロミラーを用いた眼底画像化装置を光学ベンチ系およびスマートグラス光学系において試作した。マイクロミラーの走査に同期したレーザー反射光を計測し、画像化するシステムを製作した。共焦点光学系を用いることで高感度に測定でき、モデル眼および豚眼の眼底撮影に成功した。摘出した豚眼の視神経乳頭部および血管部を画像化でき、それらの形状を評価できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Retina imaging setups were constructed using MEMS scanning micro-mirrors in an optical bench system and a smart glasses system. Using the constructed systems, we measured the reflected laser light synchronizing with the scanning micro-mirror and generated images. The high sensitivities were obtained by the confocal optics. The retinas of a model eye and pig's eyes were successfully imaged. The optic disc and blood vessel of pig's eye were imaged and their shapes were evaluated.

研究分野：電子工学

キーワード：検査・診断システム スマートグラス 網膜 緑内障

### 1. 研究開始当初の背景

高齢化社会及び過労社会である現在、日々の健康管理はますます重要である。特に将来の医療費増大は、健康管理により抑える必要がある。ウェアラブル機器と情報ネットワークを用いた日々の健康管理は将来の展開が期待されている。具体的な健康診断項目として、網膜写真による緑内障などの検査が挙げられる。緑内障は40歳以上で3~7%の潜在患者がいるとされ、気付かずに手遅れで失明に至る割合も高い。近年スタンフォード大では、iphoneのカメラで網膜写真を撮るためのアダプターとソフトを発表した。一方、スマートフォンを利用したビックデータの利用も可能になりつつある。今後重要な情報端末としてメガネ型ディスプレイであるスマートグラスの普及が期待されている。スマートグラスの光学系では、光源と網膜は光学的共役の関係にある。このため、網膜に光学画像が結像するとき、網膜反射光は光源画素位置に位置誤差なく戻る。また同様の共役光学系を用いた共焦点レーザ顕微鏡では、高分解能の観測が可能であり、光コヒーレントトモグラフィによる網膜断層写真を得る顕微鏡にも用いられている。

### 2. 研究の目的

緑内障などの網膜に関する病気は、加齢に伴い無意識の内に進行し、気付いたときには手遅れの場合が多い。本研究ではメガネ型の網膜検査装置を提案する。スマートグラスはウェアラブルの情報端末ディスプレイとして普及が期待されている。スマートグラスの光学系は、光源と網膜の位置関係が光学的共役になっており、共焦点顕微鏡と同じ光学系になっている。従って網膜からの反射光を高効率で測定できると考えられる。本研究ではスマートグラスに網膜反射光を検出する機能を組み込み、スマートグラスをディスプレイとして使いながら、網膜の健康診断を行うウェアラブル機器を研究する。

### 3. 研究の方法

- 1) 走査型マイクロミラーを用いた共焦点検出システムの実現：マイクロマシン(MEMS)の走査型ミラー、レーザ光源、光学部品によりスマートグラスと同等の光学系を試作する。反射光を測定するための共焦点検出器を製作し、網膜ディスプレイ/共焦点検出系を同時実現する。
- 2) 眼球モデルを用いた網膜反射像の測定：眼球モデルを用いて、製作した網膜ディスプレイ/共焦点網膜検出系を用いて、提案するディスプレイ/共焦点検出系の特性を明らかにする。
- 3) ウェアラブルのスマートグラスにおいて網膜反射像を撮る：メガネ型のウェアラブルなメガネフレームに1)2)において試作した光学系をマイクロ化して搭載する。これにより、ディスプレイとして画像を見ながら、反

射光を検出し、網膜像を撮る。

### 4. 研究成果

走査型マイクロミラーを用いた網膜撮影用共焦点検出システムの製作と評価

1) MEMS マイクロミラーを用いた光学ベンチ光学系の設計と製作

MEMS マイクロミラーとして、シリコンの2軸走査型ミラーを用いた。図1に製作した光学系の構成を示す。レーザとしてHe-Ne 633nm波長レーザを用いた。レーザ光は単一モード光ファイバーに入射し、後の光学系へ運ばれる。ファイバー端面から出射したレーザ光は、レンズで平行光にして、マイクロミラーで反射及び走査される。投影の光学系では2つの凸レンズによるリレー光学系を構成し、走査したレーザ光を眼底に送る。反射光は同じ光路を逆に進み、光ファイバーの出射端面に戻る。ファイバー端面のコア部が、共焦点光学系のピンホールの役割を兼ねる。ファイバー端面のコア径は10 $\mu$ m以下で、厳密な共焦点光学系を構成できる。反射光はファイバーを導波し、ファイバーカプラーで分岐されて、光検出器に入射する。光検出器としては、フォトダイオードおよび光電子増倍管を用いた。マイクロミラーと光ファイバーを用いることで、小型の光学系を構成できた。

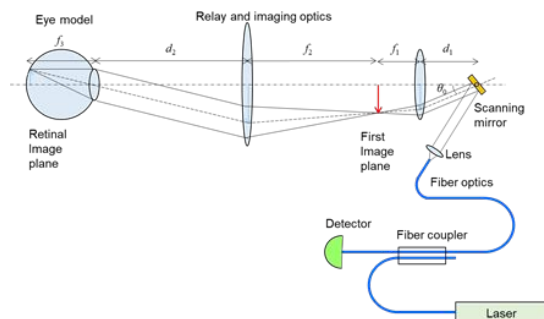


図1 光学ベンチ上の実験光学系の構成

### 2) レーザ光の走査による画像形成

MEMS マイクロミラーを用いた画像形成のためにコンピュータシステムとプログラムを製作した。増幅器、AD変換機等を接続し、単色レーザの走査による画像形成を行い、レーザの強度変調、投影画素位置の制御を行うための電子制御回路およびコンピュータシステムを製作した。

### 3) 共焦点検出光学系の性能評価

製作した共焦点光学系を用いて、反射光の検出感度を評価した。環境からの光が外乱光となるので、外乱光の影響を極力抑える必要がある。共焦点光学系のため、外乱光は抑えられ、室内光が存在しても問題なく測定できることを確認した。空間分解能として、数十 $\mu$ mが得られた。

### 3) 眼球モデルを用いた測定と評価

眼球モデルを用いて製作した光学システムにより、反射像を測定した。眼球モデルの実験に対する有効性と安全性が確認できた。

#### 4) 豚眼による測定

眼球モデルによる測定結果から、眼底に許容できる光量で、反射光が測定でき、加えて画像化できることが確認できたので、豚眼による測定を試みた。豚眼は人間の眼に近い構造で、容易に入手できる。実験により、摘出した豚眼の劣化は早く、眼の硝子体が曇って光の散乱が多くなった。信号の検出効率、プログラム積算、検出器の改善、レーザ光源の高速変調によるノイズ低減などを実施し、光学系を評価した。加えて、模型眼を用いて測定を行い、視神経乳頭部の画像を得た。得られた像の解像度および反射光検出感度等を評価した。その後、図2に示すように、摘出した豚眼の網膜測定を行い、視神経乳頭部の撮影に成功した。

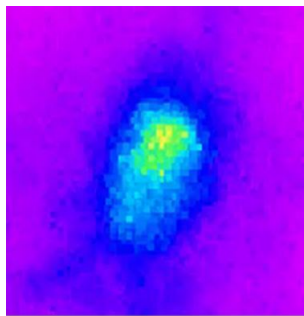


図2 測定した豚眼の乳頭部画像

#### 5) 反射光の同期蓄積と雑音の除去

光源の強度はスマートグラスにおいて情報端末の表示用ディスプレイに用いられる光量であるので、眼科検診の場合より弱い、また外乱光があり、信号は外乱光の影響を受けやすい。共焦点光学系は外乱に最も強い光学系であるが、これらの影響を出来るだけ抑える必要があった。このため、測定で得られる信号光強度を入射光強度で規格化し、長時間の蓄積を行った。スマートグラスに用いられる光強度レベルにおいても計測が行えるシステムに改善した。

#### 6) スマートグラス用光学系の製作と測定

メガネ型の光学系を設計試作した。MEMSミラーおよびレーザ光源はもともと小さいので、レンズ系と光検出系を小型化した。図3に光学系の基本構造を示す。

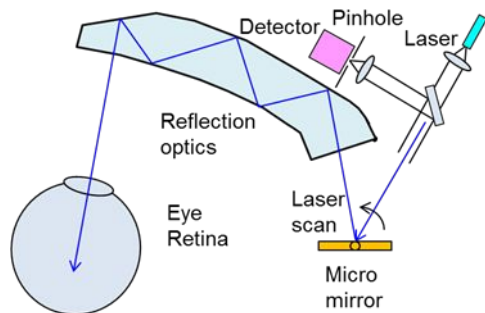


図3 スマートグラス型光学系

導波路全反射型光学系を利用して、光学系の設計を行った。全反射導波路型の光学系の入射面に、レーザ光により像を結像する光学系を設計した。MEMSミラーの設置を決定し、光検出系を集積した。網膜面に画像が表示できることを確認した。眼球モデルを用いて、製作した集積型スマートグラス光学系の試験を行った。光量の測定および画像の取得実験を繰り返し、投影に用いるレーザパワーを変えて、画像の測定を行い、得られた画像の特性を明らかにした。

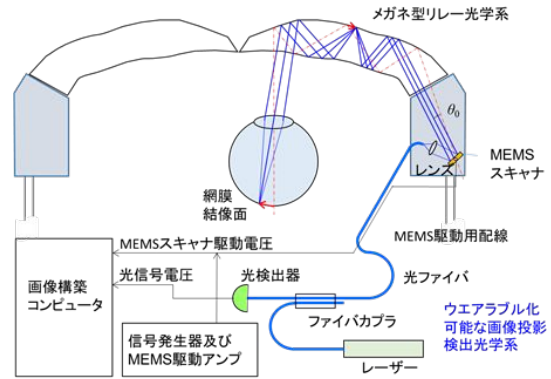


図4 スマートグラス光学系と測定系の概略図

図4に製作したスマートグラスと計測システムの構成の概略を示す。光学ベンチで用いた測定系を改善し、スマートグラスに集積した構造である。



図5 製作したスマートグラス測定装置

図5に製作したスマートグラス測定装置を示す。用いたMEMSミラーの拡大写真も示した。特に提案デバイスの基本となる共焦点光学系およびスマートグラス光学系において、高感度化のための研究を実施した。高感度化において欠かせない、ノイズの低減法として、レーザ光源の高速変調法を実験した。およそ10MHz以上の高速変調により、可干渉性が低下でき、干渉ノイズを低減できることを確かめた。

スマートグラスの光学系を用いた検出感度の向上のための開発も並行して実施した。光学シミュレーションソフトにより、レーザ導入部のスポットダイアグラム、収差等を評価し、光学系を改善できた。スマートグラスのリレー光学系の片道透過率が6%程度であることが明らかにできた。このため往復の損

失が大きく、効率が悪いことが明らかになった。スマートグラスを用いない共焦点光学系より1桁効率が悪いと考えられた。これはスマートグラスがシースルー型で、ハーフミラーによる損失が大きいことが主要な原因と考えられる。検出用ファイバーの口径をこれまでに用いていたシングルモードファイバーのコア径(10 $\mu\text{m}$ 以下)から、マルチモードファイバーの数十 $\mu\text{m}$ のコア径に変更することで、検出感度を改善した。MEMS スキャナーによるレーザ光の第1結像面の結像特性を改善するため光学シミュレーションソフトウェアによる解析を行い、レンズ系を改良した。画像取得ソフトウェア等の改善も進め、模型眼を用いた実験を繰り返し、スマートグラスを用いない共焦点光学系を同等の画像を模型眼において得られることが確認した。さらに摘出豚眼を用いた眼底撮影実験を繰り返し、眼底血管部の撮影に成功した。豚眼の濁りが、摘出後の時間に依存するようで、摘出後すぐに測定することも重要であることが分かった。

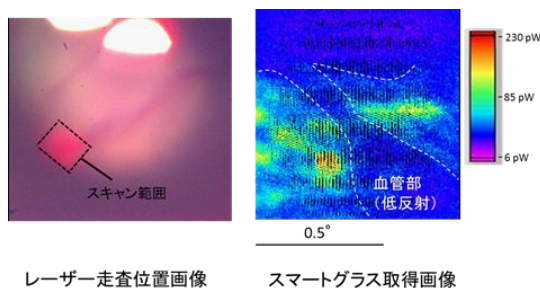


図6 スマートグラスを用いた豚眼眼底血管部像

さらに測定を繰り返し、スマートグラスを用いた光学系において、解像度チャートを用いて解像度を測定した結果、数10 $\mu\text{m}$ であると評価できた。また眼底撮影実験を行った結果を以下に述べる。走査条件として、見込み角、水平方向、約0.8°(約0.6cmに対応)、垂直方向:約0.8°(約0.6cmに対応)、バックグラウンド減算機能を使用した。結果を図6に示す。左図はレーザ走査のCCD画像である。血管が一本通過している範囲を走査した。右図はレーザ反射像で、血管部は反射が低いので、画像中央の反射が弱い範囲が血管部に相当すると考えられた。レーザ走査により眼底が画像化されていると考えられた。模型眼と比べて不明瞭であったが、豚網膜血管部の検出に成功した。

## 5. まとめ

共焦点光学系を用いた、MEMSミラーによる眼底測定装置を光学ベンチ光学系およびスマートグラス光学系において試作した。測定感度の改善、ノイズの低減を行い、眼底に損傷を起こすことがない程度に低い強度のレーザにより、モデル眼および豚眼の眼底の部

分撮影に成功した。摘出した豚眼の劣化により、測定が難しい場合も多かったが、摘出後、さらに短い時間で測定するか、生きた状態で測定することができれば、より良い画像が得られると考えられた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

1. T. Izawa, T. Sasaki, K. Hane, "Scanning Micro-Mirror with an Electrostatic Spring for Compensation of Hard-Spring Nonlinearity," *Micromachines*, 8(8), (2017), 240(13pp). (査読有)

[学会発表](計4件)

1. N. Kaushik, T. Sasaki, Y. Takahashi, T. Nakazawa, K. Hane "MEMS-based Retinal-Imaging System for Visual Health Monitoring", *Int. Display Workshops*, 2017年12月6-8日, 仙台.
2. Y. Takahashi, T. Sasaki, N. Kaushik, T. Nakazawa, K. Hane "Fabrication of smart glasses type retinal inspection system using MEMS mirror", *The 34th Sensor Symposium*, October 31st-Nov 2, 2017年10月31日 11月2日, 広島.
3. T. Izawa, T. Sasaki, K. Hane, "Nonlinearity compensation of micro-mirror hard-spring by electrostatic combs," *Transducers 2017*, June 18-22, 2017年6月18-22日, 高雄、台湾
4. T. Sasaki, T. Nakazawa, and K. Hane, "Eyeglasses-type retinal imaging system using MEMS scanner," *The 16th Int. Conf. Nanotechnology*, 2016年8月22日, 仙台.

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者 羽根一博 (Hane Kazuhiro)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 50164893
- (2) 研究分担者 佐々木敬 (Sasaki Takashi)  
東北大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 60633394
- (3) 研究協力者 Neelam Kaushik  
東北大学・大学院工学研究科・特任助教