静電駆動 MEMS 可変形状ミラーの開発

京都大学　大学院工学研究科
土屋智由

１．はじめに

眼底検査は眼の機能検査，網膜の疾患だけでなく，網膜が毛細血管を直接観察できる唯一の組織であるため，眼底検査を通じて高血圧，動脈硬化などの診断にも利用されている。眼底カメラで眼球を通して網膜を観察するときに,目の歪みつまり近視や乱視などと同じ要因によって観察像の波面収差，画像にゆがみが生じる。これを光学的に補償して画像を鮮明にする技術が補償光学であり，眼底検査装置に組み込まれて鮮明な画像を得ることに寄与している。このゆがみはヒトそれぞれで異なり，また動的に変化するため常に波面のひずみを計測しながらこれをリアルタイムに補正するシステムが必要である。波面収差の補正には波面補償デバイスが必要であり，微小電気機械システム（MEMS）技術を用いた可変形状ミラーがその高い反射率などを理由として利用がなされている。

本稿では静電駆動方式を用いた MEMS 可変形状ミラーについて他の駆動方式と比較しながらその特徴を明らかにするとともに，著者が提案したその課題を解決する新しい構造について紹介する。

２．可変形状ミラーを用いた補償光学システム

2-1　補償光学系の原理

補償光学は天文学分野において天体望遠鏡による観測の高精度化において研究がおこなわれ，1980年代の終わりごろに実際の観察に導入されてきた。宇宙から届く光は大気のゆらぎにより透過している間に波面のゆがみが生じ，結果として画像のぼやけを引き起こす。この光の波面収差を検出し，形状可変のミラーで反射する際に収差を除去して波面を整え観測することで鮮明な天体観測画像が得られるようになった。2000 年代の初めに眼底検査への応用がおこなわれ，その後活発に研究，応用が進んでいる。眼底検査の補償光学系を図 1 に示す。網膜像は眼球を通過する間にその歪みによって波面がひずんでいる。このため，波面のひずみを波面センサで検出し，それを補償するように光路に設置した波面補償デバイスを動作させる。波面補償デバイスには液晶空間光変調器（Liquid crystal on silicon - spatial light modulator: LCOS-SLM）と可変形状ミラー(Deformable mirror: DM）が用いられている。前者は液晶の配向によって透過する光の位相を変調することで波面を補償する。デバイスの構造は比較的シンプルで実用も進んでいるが，波長依存性，損失が大きい，応答速度が低いなどの課題がある。一方で反射面の形状を任意に変化させて光路差を生じさせて波面を整えるのが可変形状ミラーである。反射を用いるので損失が少ない，応答性が良いなどの利点があるが，構造や動作が複雑になるなど様々に課題がある。特に近年では，網膜組織の断面像を観察する光干渉断層撮影（OCT）においては高速応答可能でストロークが大きいMEMS-DMが主流だとされている。

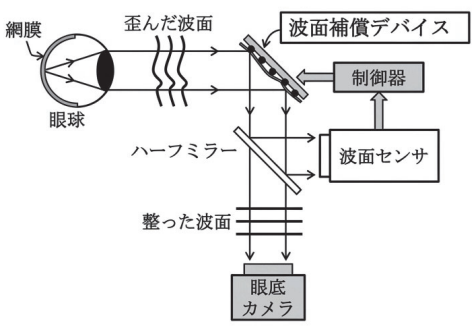

図１　眼底検査用補償光学系