圧電アクチュエーターを用いた可変焦点レンズ

金子　卓・大矢　信之・川原　伸章

近年，液晶の屈折率変化を利用した液晶レンズや電気光学材料を用いたEO (electro-optic) レンズなど，光学特性を電気的に制御するいくつかの可変焦点レンズが研究されている[1,2]．これらの可変焦点レンズは従来の焦点合わせのように光学系の機械的な移動を伴わず，高速かつ広範囲で焦点距離を調節できるため，光を用いた情報通信分野で装置の大幅な小型化を実現する可能性をもっている．筆者らはマイクロマシン研究を通じて開発された新しい圧電アクチュエーターを用いて，眼の水晶体のようにレンズ形状を連続的に変化させる可変焦点レンズを開発した[3]．本稿では開発したレンズの構造や特性について解説するとともに，最大の特徴である高速焦点移動特性を応用した，顕微鏡の焦点深度の拡大手法についても紹介する．

1. 可変焦点レンズの構造

図1，図2に試作した可変焦点レンズの構造と外観を示す．このレンズは直径10 mmと直径14 mmの2枚のガラスダイヤフラムを有する容器に，シリコーンオイルを封入した構成となっている．図3に示すように片側のダイヤフラムを介してアクチュエーターでシリコーンオイルの圧力を変えることにより，凸状から凹状までレンズ形状を変化させて焦点距離を変えることができる．焦点距離の可変範囲は凸レンズ側で約50 cm～∞，凹レンズ側で－∞～約－50 cmとなる．液晶レンズのように偏光の影響を受けないため，92％ (633 nm) の透過率が得られている．

このレンズにおいて，開発のポイントとなったものは，レンズを変形させるための高発生力，大変位量をもつアクチュエーターの実現である．マイクロアクチュエーターが共通に抱えるこの問題に対するひとつの解として，筆者らはマイクロマシンの移動デバイスに用いるための力積層型圧電バイモルフアクチュエーターを開発している[4]．この可変焦点レンズにおいても，圧電バイモルフ構造によってPZTの変位を拡大し，そのバイモルフ4枚を図1のように出力パイプに取り付けて発生力を合成する構造を採用した．開発したアクチュエーターの全長は12 mmで，印加電圧±30 Vに対して無負荷の状態で±20 μmの変位を発生

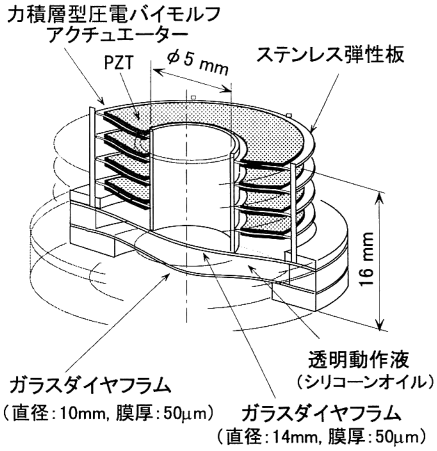

図1　可変焦点レンズの構造．

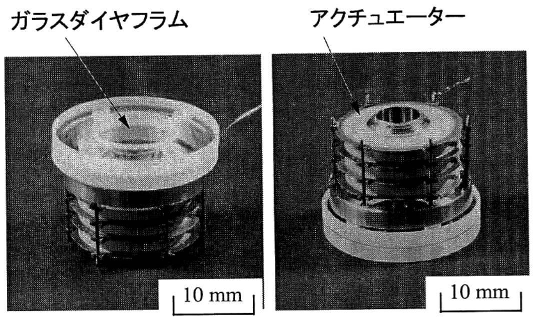

図2　可変焦点レンズの外観．

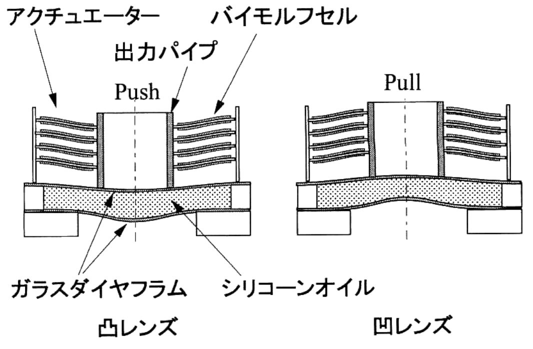

図3　可変焦点レンズの動作原理．

(株)デンソー基礎研究所（〒470-0111 日進市米野木町南山500-1）
E-mail: tkaneko@rlab.denso.co.jp

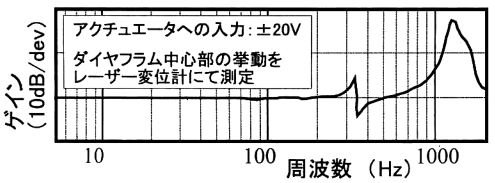

図4 可変焦点レンズの周波数特性.

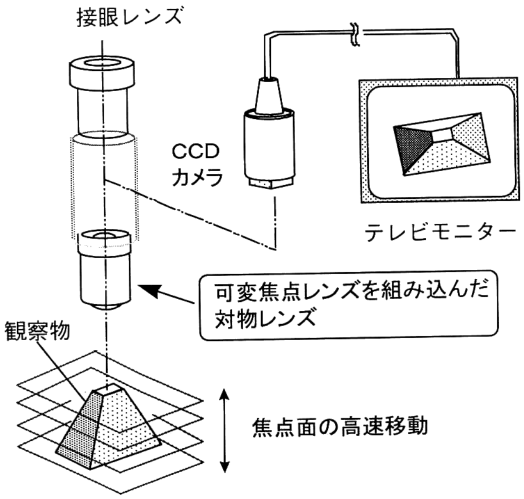

図5 可変焦点レンズを用いた顕微鏡.

する.

以上のように，この可変焦点レンズでは焦点合わせに必要となる機械的な質量の移動量が数十μmオーダーであるため，従来の機構に比べて非常に高速で応答することができる.周波数応答を測定した結果，図4に示すように150 Hzまで応答可能であることが明らかになった.

2. 顕微鏡の焦点深度拡大への応用

可変焦点レンズの最大の特徴である高速動作を応用した例として，焦点深度を拡大した顕微鏡について図5を用いて紹介する．この顕微鏡では対物レンズに可変焦点レンズを組み込んで焦点面を光軸方向に移動させ，観察者に観察物の各部に連続的に焦点の合った像を表示する．焦点面の移動周期を60 Hz以上にすると，視覚がもつ残像現象によりすべての像が重ね合わされて，観察物全体の像を得られるものである．この手法の最大の特徴は，画像処理を行うことなくリアルタイムで焦点深度の深い像が得られることで，マイクロマニピュレーションにおける観察装置などに応用が期待される.

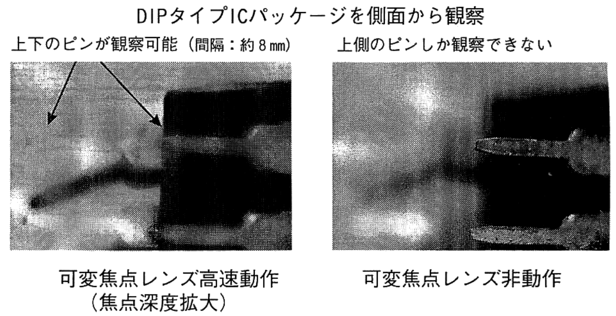

図6 顕微鏡による観察例.

試作した顕微鏡では，対物レンズとして焦点距離25 mmの接写レンズを用いており，この接写レンズの前側約10 mmの位置に可変焦点レンズを配置している．CCDカメラで撮像したものを15インチモニター上で観察することにより約50倍の倍率が得られる．可変焦点レンズによって焦点面を約±4 mmの範囲で高速移動（60 Hz）させることで，約8 mmの焦点深度を実現した.

試作した顕微鏡による観察例を図6に示す．約8 mmの間隔で入出力ピンをもつICパッケージを側面から観察したもので，可変焦点レンズを動作させない場合には片側のピンしか観察できないのに対して，高速動作させた場合にはIC全体が観察できており，焦点深度が拡大されていることがわかる.

以上，圧電アクチュエーターを用いてレンズの形状を変化させ，150 Hzまで高速応答を可能にした可変焦点レンズについて紹介した．今後はアクチュエーターを中心にレンズの形成プロセスの研究を進め，さらなる小型化を目指していく予定である.

文　献

1) 佐藤　進：“液晶によるレンズ”，O plus E, **136** (1991) 101-105.
2) 佐藤平八：“E-O (Electro-Optic) レンズ”，O plus E, **136** (1991) 106-111.
3) T. Kaneko, T. Ohmi, N. Ohya, N. Kawahara and T. Hattori: “A new, compact and quick-response dynamic focusing lens,” *Proc. 1997 Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators* (Transducers '97, Chicago, 1997) pp. 63-66.
4) S. Kawakita, T. Isogai, N. Ohya and N. Kawahara: “Multi-layered piezoelectric bimorph actuator,” *Proc. of 1997 Int. Symposium on Micromechatronics and Human Science* (Nagoya, 1997) pp. 73-78.

(1998年1月30日受理)