

最近の技術から

天体補償光学用可変形鏡

高 遠 徳 尚

理化学研究所光工学研究室 〒351-01 和光市広沢 2-1

1. はじめに

地上に設置された天体望遠鏡での観測は、いわば大気の底から星を見ているわけで、空気の屈折率ゆらぎによる星像の悪化は避けられない。そこで考案されたのが adaptive optics (補償光学あるいは適応光学) である。これは参照光源を使って天体からの光の波面を計測し、実時間でその波面を制御して、乱れを受ける前の波面に直す装置である (図 1)。

ここで紹介する可変形鏡は、鏡面形状を変えることにより、波面の位相を高速に変化させる鏡である。さまざまなタイプの可変形鏡が提案されているが¹⁾、おもに分割鏡と一枚鏡とに分けられ、後者は変形の与え方により、変位を制御するタイプと曲率を制御するタイプがある。また液晶を使った位相制御素子の使用も検討されている²⁾。それぞれに一長一短があるが、ここでは我々が試作中の、変位制御タイプの一枚鏡でできた可変形鏡について述べる³⁾。

2. 可変形鏡の構造

図 2, 図 3 に我々が試作した可変形鏡の外観と、断面構造を示す。鏡を変形させるアクチュエーターには、ピエゾ素子を使用している。アクチュエーターの数が多いほど、波面の細かい乱れを直すことができるが、それ

に伴ってアクチュエーターの故障率も高くなる。我々の可変形鏡は、あるアクチュエーターが壊れた場合に鏡を外してそれを交換できることが特徴である。鏡は厚さ 0.5 mm, 直径 55 mm の熔融石英でできており、裏面に平行平板から切り出したプッシャーが、紫外線硬化接



図 2 可変形鏡の外観

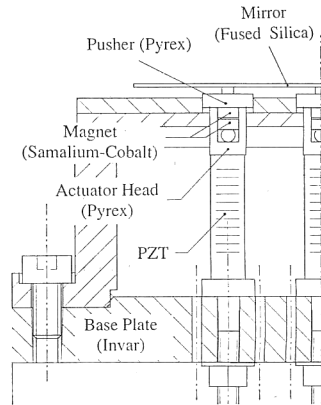


図 3 可変形鏡の断面図

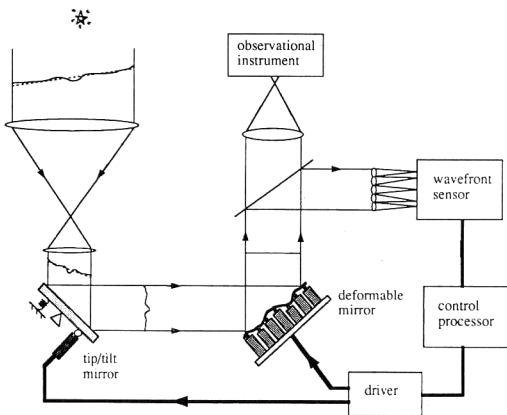


図 1 補償光学系概念図

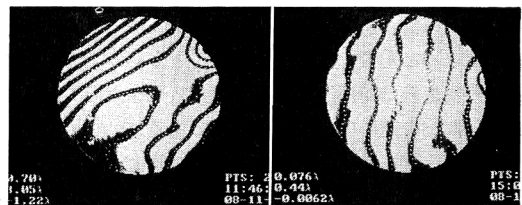


図 4 可変形鏡の鏡面精度 (左: 無調整, 右: 調整後)

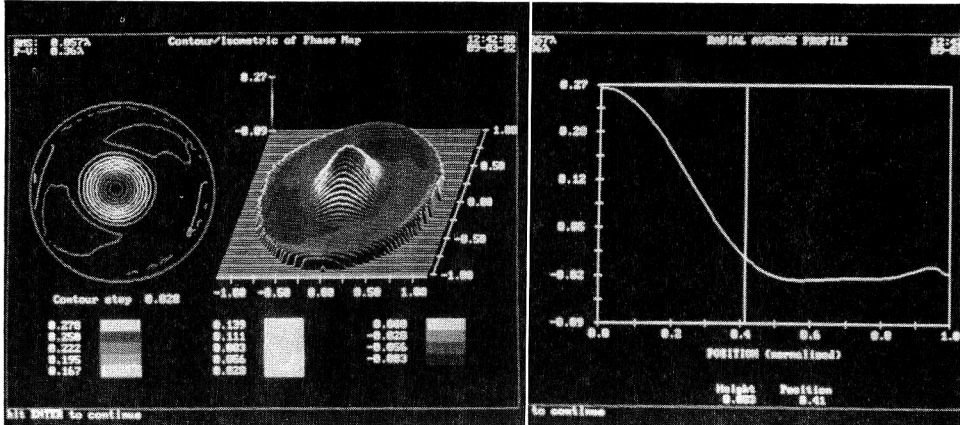


図5 可変形鏡の influence function

着剤で接着してある。プッシャーには永久磁石が接着されており、アクチュエーター・ヘッドに埋め込んであるもう一つの永久磁石との間の磁力で、鏡とアクチュエーターとを結合している。アクチュエーター数は37本、その間隔は8mmで、正三角格子上に配置されている。ピエゾ素子にパイレックスのヘッドを接着して、インパー板上に37本並べた状態で、まとめてヘッドを研磨することにより、ヘッド上面の平面度を確保している。ストロークは約10 μm だが、隣接したアクチュエーター間での変位差は、鏡の強度で制限されており、安全をみて約5 μm である。

3. 鏡面精度

鏡を接着後、なにも調整していない状態と、各ピエゾ素子にオフセットを与えて平面になるようにした状態を、フィゾー干渉計で見たフリンジを図4に示す。鏡の直径は55mmあるが、最外周のアクチュエーターの外側は制御できないので、有効径は40mmにしてある。調整前には3 λ_{pv} 、0.7 λ_{rms} ($\lambda=632.8\text{nm}$)であったのが、調整後には0.44 λ_{pv} 、0.08 λ_{rms} に改善することができた。

また、ある一つのアクチュエーターを動かした時に、鏡面がどのように変形するか (influence function) を図5に示す。図5右でx軸の原点が変位を与えたアクチュエーターの位置、 $x=0.4$ 付近の垂直な線が隣のアクチュエーターの位置である。変位は約0.3 λ 与えてある。非常に滑らかで、かつ隣のアクチュエーターより外にはほとんど影響を与えていないことがわかる。このことは可変形鏡の制御行列がほぼ対角行列になることを意味し、制御の簡単化のために重要である。

大気ゆらぎを補正するために必要な時間応答は、補正しようとする光の波長と揺らぎのモード数に依存するが、数kHzの応答速度があれば、可視光に対して回折

限界の像を得ることができる。我々の鏡には2kHz(-3dB)の周波数特性を電氣的に持たせてある。機械的には20kHz付近に共振周波数がある。

4. 今後の課題

可変形鏡製作で問題になるのは、鏡とアクチュエーターの接着方法と全体の信頼性である。我々の鏡でも接着前と後とで大きく変形してしまった。これは接着剤が硬化するときの収縮と、接着速度が鏡の場所ごとに違ってしまったためと思われる⁴⁾。今後の課題である。信頼性は主にアクチュエーターの信頼性に依存している。我々の鏡では、交換可能な構造にして、アクチュエーターの信頼性に対する制限を弱めたが、アクチュエーター数あまり多くなるとこの構造にするのは困難である。アクチュエーターの信頼性を高めることが、可変形鏡における最大の課題である。

ここでは可変形鏡の製作に限って述べてきたが、じつは天文用補償光学での現在の最大の課題は、暗い参照星でも働く高感度波面センサーの開発である。現在設計されているものより、もう一桁暗い天体でも働くシステムができれば、地上天文学に大きな変革をもたらすことができるであろう。

この研究は理化学研究所基礎科学特別研究員制度のもとで行われた。

文 献

- 1) R.K. Tyson: *Principles of Adaptive Optics* (Academic Press, London, 1991).
- 2) G. Love, *et al.*: ICO-16 Satellite Conference on Active and Adaptive Optics (Garching/Germany, 1993).
- 3) 高遠徳尚, ほか: 1992年日本天文学会秋季年会, A 64 (1992).
- 4) D.R. Green: Proc. SPIE, 1999 (1993) 22-24.

(1993年11月2日受理)