

岡山 3.8 m 望遠鏡エッジセンサーの開発

河端 洋人 (京都大学大学院 理学研究科)

Abstract

京都大学、名古屋大学、国立天文台、(株) ナノオプトニクスエナジーが協同で推し進める岡山 3.8 m 望遠鏡計画において、主鏡には 18 枚の扇形分割鏡を用いる。分割鏡は望遠鏡構造の重力変形と熱変形により、鏡同士の位置にずれが生じ、焦点が合わなくなる。これを補正するため、分割鏡セグメントの境界において、隣り合うセグメントの相対位置を検知するセンサーが必要になる。本計画においては日本システム開発のインダクタンス型センサーを用いるが、このセンサーは温度・湿度・圧力等の環境依存性を持ち、正確な距離測定には補正が必要になる。本講演では、これまでに行われたセンサーの温度特性を調べる実験及び補正の手法、これからの研究について述べる。

1 岡山 3.8 m 望遠鏡計画の概要と目的

1.1 岡山 3.8 m 望遠鏡計画

岡山 3.8 m 望遠鏡（以下、本望遠鏡）開発計画は、可視光・赤外線の良い観測場所である国立天文台岡山観測所隣接地に、新技術を用いた 3.8 m 口径の光学赤外線望遠鏡を建設するというものである。その目的は、次世代望遠鏡に必要な技術開発を行うとともに、ガンマ線バーストなどの突発天体現象や星・惑星形成の現場の観測を行うことである。

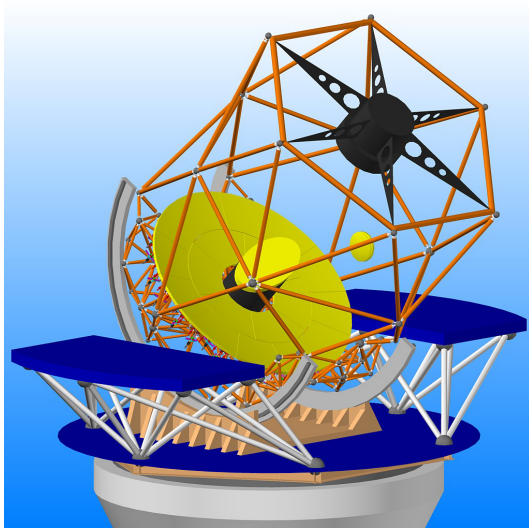


図 1: 岡山 3.8 m 望遠鏡完成予想図。

1.2 分割鏡制御とエッジセンサー

本望遠鏡の主鏡には、18 枚の扇形の分割鏡を用いる（図 2）。本望遠鏡の主鏡には、内周 6 枚外周 18 枚の扇形の分割鏡を用いる（図 2）。分割鏡の材質はクリアセラム Z（オハラ）で、内外周共に質量約 70 kg、1 m ほどの大きさで中心の厚みがおおよそ 40 mm の平凹形状である。

望遠鏡の仰角が変化すると、重力による歪みが生じ、焦点がずれる。これを防ぐため、分割鏡の境界にセンサー（エッジセンサーと呼ぶ）を取り付け、ずれの大きさを測定して補正を行う。このエッジセンサーには静電容量型、自己インダクタンス型などがあり、各研究機関が適した方式の検討を行っている (Menzies et al. (2010), Buckley et al. (2010))。

静電容量型では、センサー先端を測定対象である対向金属面に近づけると、対向金属面がコンデンサーとなり、静電容量 C が生じる。 C は、誘電率を ϵ 、センサー先端の面積を S 、センサーと対象との間の距離を d とすると、

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (1)$$

と表される。 ϵ 、 S は定数であるから、 C を測定することにより、 d が分かる。

インダクタンス型では、センサー先端に平面コイルが埋め込まれ、対向金属面に近づくとショートして自己インダクタンス L が小さくなる。回路内の LC

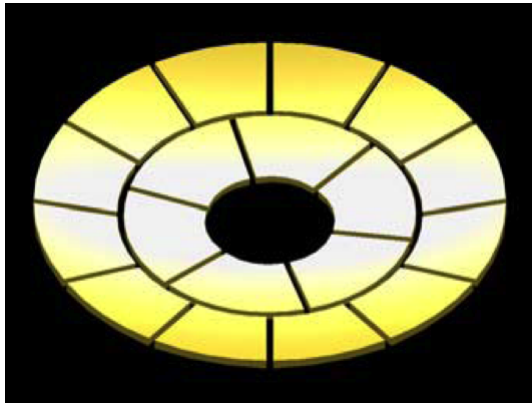


図 2: 18 枚の分割鏡の配置図。隙間は誇張してある。

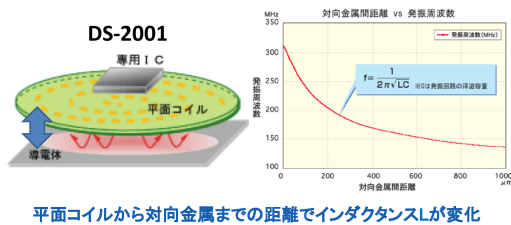


図 3: 使用するエッジセンサー。

発振の振動数

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

を測定することにより、対象までの距離 d を測定する。 d と f の関係は、実験的に求められている (図 3)。30 m 望遠鏡 (Thirty Meter Telescope, TMT) などには静電容量型が使われているが、本望遠鏡では、実験の結果比較的高い精度を示した、日本システム開発社製のインダクタンス型センサーを用いる。

1.3 エッジセンサーに求められる性能

エッジセンサーが満たすべき性能をまとめると、表 1 のようになる。

安定性については、波長 λ の光に対して波面収差 δ が

$$\delta \leq \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

を満たせばその波面収差は許容できるとする Rayleigh の判定条件がある。要求される鏡面精度は、反射による往復を考慮して $\lambda/8$ 以下となる。AO (補償光

表 1: エッジセンサーに求められる仕様

項目	仕様
分解能 (RMS)	RMS < 10nm
安定性 (P-V)	50nm/10h
リニアリティ	> 90%
サンプルレート	> 2Hz
測長レンジ	TBD
温度変化	< 0.1 °C/min
湿度変化	< 1%/min

学) を導入することも加味して、 $\lambda/20$ 以下の精度を持たせる。よって近赤外線 ($\lambda \sim 1 \mu\text{m}$) の観測においては 50 nm 以上の精度が求められる。センサーの安定性に問題があった場合、ずれが発生していないにも関わらずずれを検知してしまい、誤った補正によって鏡面精度が悪化してしまう可能性がある。よって、夜間の観測のためには、この安定性が一晩以上持続する必要がある。

また他に、

1. 安価であること
2. 小型・軽量であること

も求められる。1. については、本望遠鏡には 50 個以上のセンサーを設置する予定であり、単価が大きいと大量使用が難しいことによる。2. については、分割鏡セグメントは薄いガラスセラミックでできているので、重いセンサーを取り付けると歪みが生じてしまうためである。

2 これまでの研究

-エッジセンサの環境依存性-

望遠鏡が設置される屋外の気温・気圧・湿度等は時々刻々と変化する。したがって、こうした環境の変化に対するセンサーの振る舞いを調べる必要がある。そこで我々は、LC 発振の振動数 f について、導体板とセンサーとの距離 d だけでなく外気温 T に対する依存性も考え ($f = f(d, T)$)、ジグを用いて d を固定し (図 4)、恒温槽内に設置して T を変化させていく実験を行った。この実験結果を図 5 に示す。低

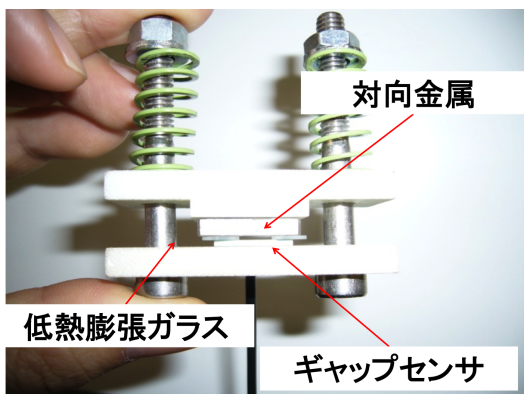


図 4: ジグ (固定用の器具) にセットされたセンサーの様子。

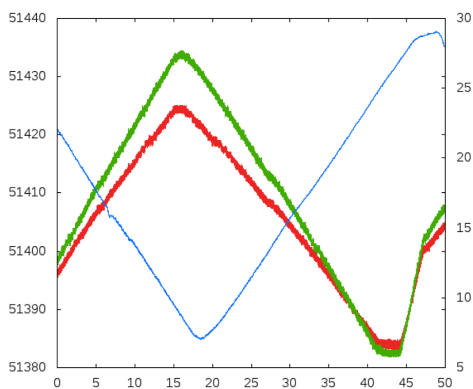


図 5: センサーの温度依存性。横軸は時刻、左側縦軸は LC 発振のカウンタ数、右側縦軸は温度。グラフは赤・緑線がセンサー A・B の発振カウンタ数、青線が温度。

熱膨張ガラスで距離を固定したにも関わらず、発振振動数は温度に応じて変化した。原因として、環境温度の変化によるセンサー本体の浮遊容量 (キャパシタンス) 及び極板間の空気の誘電率の変化等が考えられるが、断定はできていない。

図のように、温度と発振振動数の間には逆の相関が見られた。また、真の値からのずれのばらつき幅は 750 nm 程に達した。そこでセンサー A の温度特性ををリファレンスにして、センサー B を補正すると、ずれのばらつき幅を 30 nm 程度に抑えることができた (図 6)。

以上のように、リファレンスを用いる補正方法に

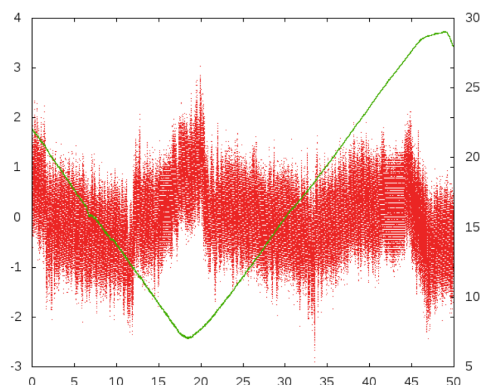


図 6: センサーの温度依存性。横軸は時刻、左側縦軸は LC 発振のカウンタ数の正常値からのずれ、右側縦軸は温度。赤線はセンサー A をリファレンスとして補正したときのセンサー B の発振カウンタ数、緑線は温度のグラフ。

より、恒温槽の中で、かつ、極板間固定では仕様を満たすセンサーを実現したが、湿度や気圧等も変動する実環境での精度実証はまだできていない。

3 今後の研究

実際の環境下で仕様を満たすセンサを実現するためには、温度以外の湿度や極板間距離など複数の変数において性能評価を行い、誤差要因を究明する必要がある。そのために、本研究では以下のことを行う。

1. 固定距離を変えて前章と同様の実験を行い、同じ温度特性が見られるかの検査
2. センサーと導体の相対位置を固定するためのより良いジグの設計・製作
3. 温度特性によるずれの補正手段の考案
4. センサーの湿度・気圧特性を調べる実験

Reference

Menzies J. and Gajjar H. and Buous S. and Buckley D. and Gillingham P. 2010. Modern Technologies in

2013 年度 第 43 回 天文・天体物理若手夏の学校

Space- and Ground-based Telescopes and Instrumentation. Edited by Atad-Ettedgui, Eli; Lemke, Dietrich. Proceedings of the SPIE, Volume 7739, article id. 77390X, 5 pp

Buckley D. and Schindler F. and Gajjar H. and Leveque S. and Menzies J. and Sandig K. 2010. Modern Technologies in Space- and Ground-based Telescopes and Instrumentation. Edited by Atad-Ettedgui, Eli; Lemke, Dietrich. Proceedings of the SPIE, Volume 7739, article id. 773912, 14 pp