

分割主鏡制御試験 – 内周鏡 + 試験副鏡での試験検討 I

岡山新技術望遠鏡グループ

平成 22 年 12 月 2 日

目次

1	概要	1
2	光学系の構成と試験の概要	2
2.1	光学系	2
2.2	試験目標	2
3	試験に必須の要素・機構	2
3.1	内周セグメント	2
3.2	試験副鏡	3
3.3	内周セグメント用アクチュエーターとホイップルツリー	3
3.4	セグメント間ギャップセンサー	3
3.5	内周セグメント用アクチュエーター軸上のギャップセンサー	3
3.6	PCS 用ハーフミラーとそのセグメント上への固定機構	3
3.7	PCS 用レーザー光源	4
3.8	SH/PCS カメラと光学系	4
3.9	アクチュエーター・ギャップセンサー制御系	4
3.10	望遠鏡駆動	5
4	試験内容と調整・試験方法、必要な機構	5
4.1	単一セグメントの駆動試験	5
4.2	セグメント間ギャップセンサー駆動試験	6
4.3	副鏡調整	6
4.4	SH カメラ試験	6
4.5	PCS カメラ試験	7
4.6	SH/PCS 結果を利用したセグメント初期位置合わせ試験	7
4.7	ギャップセンサー結果によるフィードバック制御試験	8
4.8	セグメント鏡傾け駆動試験	8

1 概要

内周セグメント鏡 6 枚と試験副鏡が完成した後、両方にアルミ蒸着を行い実際の架台に載せてセグメント鏡動作試験を行う予定である。この検討では、試験副鏡を利用してセグメント鏡位相あわせ技術・機構について、どのような試験や評価が行えるかやその方法について議論する。

2 光学系の構成と試験の概要

2.1 光学系

光学系は内周セグメント 6 枚と試験副鏡で構成される。試験副鏡は通常の副鏡と同じ位置に取り付けられ、全体での焦点位置は主鏡面が構成するパラボラの中心にくる。

試験副鏡の位置あわせについては TBD。

内周セグメントについては、実機での支持・位相合わせ機構の試験を目的とするので、セグメント間ギャップセンサー・セグメント支持機構(アクチュエーターとホイップルツリー)は試験中のものを利用する。

観測機器は、焦点位置が主鏡面と同じレベルにあるので、第三鏡サポートの付近に固定する。

2.2 試験目標

理想的な試験項目は以下のものになる。

- アクチュエーターによるセグメント駆動の精度・能力の実トラス上での確認
- セグメント間ギャップ測定機構の実機試験(静電容量ギャップセンサー)
- SH カメラ・位相測定カメラ(PCS)の実機試験
- セグメント間ギャップ測定結果によるセグメント鏡のフィードバック制御試験

3 試験に必須の要素・機構

以下の項目は試験内容的に必須であるといえる。

- 内周セグメント(枚数 TBD)
- 試験副鏡(位置微調整の駆動機構は TBD)
- 内周セグメント用アクチュエーター・てこ機構とホイップルツリーのセット
- セグメント間ギャップセンサー
- 内周セグメント用アクチュエーター軸上のギャップセンサー
- PCS 用ハーフミラーとそのセグメント上への固定機構
- PCS 用レーザー光源
- SH/PCS カメラと光学系
- アクチュエーター・ギャップセンサー制御系

3.1 内周セグメント

蒸着済みのセグメントが 6 枚あると円形開口を持つ口径 2.36m の望遠鏡としての試験は可能である。ただし、セグメント 6 枚全体を 1 つの曲面に構成する(ギャップをなくす制御をする)ためにはセグメント間ギャップセンサーのみでは情報量が足りなく困難である¹ため、他の何らかの構造やデータを利用する必要がある。

より少ない枚数で行える試験もあり、1 枚あれば 4 種類あるセグメント方向についての実際の望遠鏡架台に載せて傾け駆動を行ってのセグメント位置制御試験が行える。ただし、この場合は現在の京大実験室内でのセグメント傾け試験に対して、セグメントの固定方向を変えての試験をするだけ²となり、アクチュエーターの動作を軸上ギャップセンサーを利用して評価する試験となる。この場合、セグメントが蒸着されているかどうかは関係ない。

2 枚以上あれば、SH や PCS のデータを参照しながらのセグメント間の位相合わせ試験が部分的にも可能になる。

¹セグメントギャップセンサーはセンサー設置点での位置ずれは認識できるが、その位置でのセグメント同士の平行性は測定できないため、円周方向の波打ちモードを測定できない。

²4 種類の内周セグメント固定方向では、それぞれ横ずれ防止機構の取り付け向きが異なり、望遠鏡架台が傾いたときのセグメントの保持状況や横ずれ防止機構への圧力のかかり方が異なる。

3.2 試験副鏡

試験副鏡は望遠鏡架台の副鏡マウントに固定するが、実際の望遠鏡と同じように天体を入れて試験する場合には、望遠鏡を傾けた場合に毎回調整が必要となる。よって、自動での位置調節機構があったほうが便利であるが、観測装置側 (SH/PCS カメラボックス) 全体を移動させることでもある程度対処可能かもしれない³。

また、試験副鏡の位置調整を行う方法も必要である。

3.3 内周セグメント用アクチュエーターとホイップルツリー

内周セグメント用アクチュエーターはセグメント枚数の3倍の本数、内周セグメント全体の6枚であれば18本必要となる。18本必要な場合、実機で利用を考えているアクチュエータードライバボックス (アクチュエーター18本分のドライバを格納する) を利用する方が (ドライバボックスの試験をかねることもできるため) いいと思われる。

アクチュエーターとしてこの機構部分の駆動試験や状況確認のために、数本のアクチュエーターには現在の京大での試験でのようにこの機構の移動量を測定するギャップセンサーを取り付けておくべきである。

3.4 セグメント間ギャップセンサー

セグメント間ギャップセンサーはギャップセンサーヘッドと対向金属板の2つで構成される。対向金属板は薄い1枚の金属板で鏡材に貼り付けて⁴利用できる。

ギャップセンサーヘッドの取り付けは、セグメント裏側に固定ブロックを取り付け、腕を伸ばしてセンサーヘッドを隣あったセグメントに貼り付けた対向金属板のところで保持しなければならない。センサーヘッド部分では対向金属板との距離、傾きを微調節できるような構造であることが望ましい。また、ギャップセンサーは、対向金属板のセグメント端からの位置 (セグメント間ギャップ量測定点のセグメント端からの位置に相当する) を任意に決められるほうが望ましい。

センサーの読み出しは3点ごとにドライバボックスが一つ必要で、それぞれをRS-232-C経由で読み出すことになる。

3.5 内周セグメント用アクチュエーター軸上のギャップセンサー

最低でもセグメント1枚分、つまりギャップセンサー3つが利用できるようにしておくこと、セグメントを駆動したときの動作を駆動軸上で測定できるので有用であろうと思われる。

これについては駆動シャフトを現在の試験中の設計で作成しておけば、必要なところにセンサーを取り付けるだけで済むので変更はそれほど必要ではない。

3.6 PCS用ハーフミラーとそのセグメント上への固定機構

単純化したPCS用ハーフミラーとギャップをはさんだセグメントの位置関係は図1の1-4に分類できる。このうち、1の場合は位相ずれなしの回折像が得られる。また、2の場合も左右のセグメントからの光は波長による位相差は出るが同じ波長でのセグメント間での位相ずれは発生せず、レーザー光を利用したPCSでは位相ずれなしの回折像が得られる。3の場合は、単純にセグメント間ギャップに相当する位相差が出た回折像が得られる。

4のようにセグメント同士が傾いた状態の場合、二つのセグメントから反射したレーザー光が戻ってくる方向が違いため、あまり傾きが大きくなると干渉しなくなると考えられる。エアリー環の大きさ程度はなれると干渉できないとするとその角度 θ は

$$\theta = \arcsin\left(1.22\frac{\lambda}{d}\right)$$

となり、片側セグメントに対応するハーフミラーのサイズを $d \sim 3[\text{cm}]$ としレーザー波長を $\lambda = 600[\text{nm}]$ とすると、 $\theta \sim 160''$ となる。これは、1m離れた支持点間⁵で $20\mu\text{m}$ 程度の高さずれに相当する。

³ただし、3次元に移動させないといけない上に、副鏡の傾きを補正するように装置を傾けないといけないはずなので難しいと思われるが。

⁴京大での実験ではアロンアルファで貼り付けている。が、板に衝撃が加わるとすぐにはがれる。

⁵実際のアクチュエーターでの駆動点はこれより近い距離である。

以上より、PCS 用ハーフミラーは架台を傾けたときにずり落ちていかなければあまりきちんと調整可能な固定方法でなくてもよいといえる。

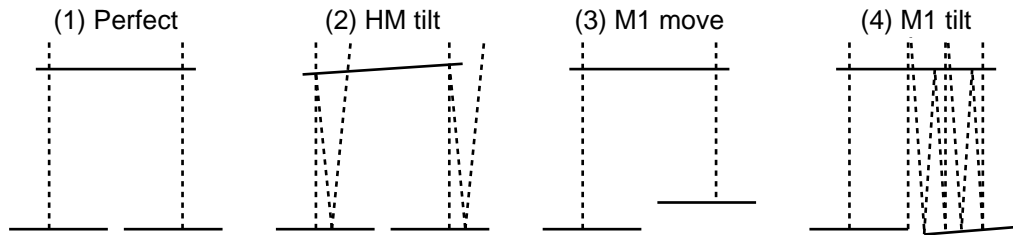


図 1: PCS ハーフミラー配置模式図

3.7 PCS 用レーザー光源

PCS 用レーザー光源は M1 の主軸方向の天体が焦点で像を結ぶ位置を中心として、SH/PCS カメラと対称な位置から射出する必要がある。

3.8 SH/PCS カメラと光学系

SH/PCS カメラと光学系は、現在の初期実験用の試験ベンチを活用することを想定している。このベンチは図 2 のような設計⁶であり、現状では次の機能が組み込まれている。

- カメラ光学系
- レンズ交換機構 (MLA, カメラのみの素通し)
- フィルターセル (Apogee カメラに運用中にも手動で切替可能なセルを固定)

必要とされるが足りない機能としては次のようなものがあり、多少改造が必要である。また、現在は試験ベンチのボックスを小型望遠鏡の出射口に直接マウントで固定する形になっているため、ボックスを焦点位置 (M3 固定位置) に固定する機構も必要である。

- SH での位置リファレンスとなる内部光源の固定機構
- PCS への光学系の対応

3.9 アクチュエーター・ギャップセンサー制御系

内周セグメント 6 枚全てを利用して試験を行うことにした場合、最終的な実機で予定している制御系ボックス (アクチュエーター・ギャップセンサー・バス延長ボックスなど) 1 セット分に相当する。よって、実機で利用する予定の機構を試験する意味も含めて 1 セット製作し利用すると、この試験だけを目的とした固定方法や配線方法を検討しなくてよいという点でもメリットがあるといえる。

⁶<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/Kyoto3m/SHcam.html>

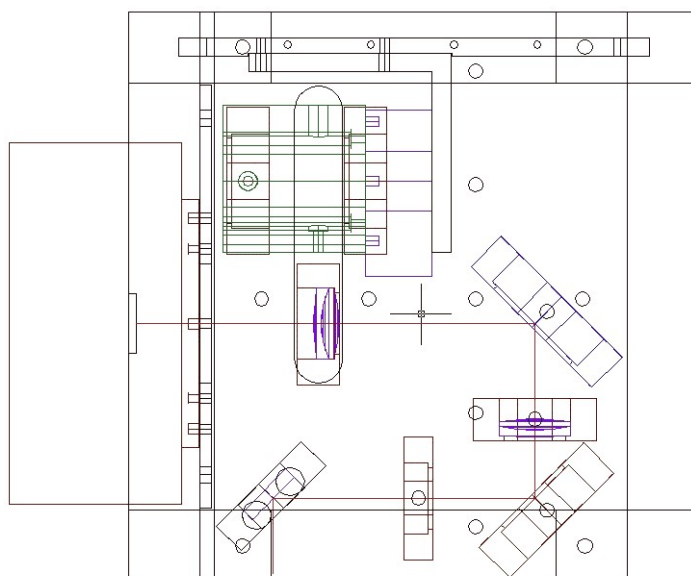


図 2: SH/PCS 試験ベンチレイアウト – 光軸面に投影

3.10 望遠鏡駆動

望遠鏡駆動は、天体追尾を行わないのであれば任意位置で動かないように固定可能な機構が架台についていれば問題ない。

しかしながら、天体追尾が必要な試験、つまり任意積分時間⁷の天体の撮像 (もしくは SH などの点源を利用したイメージの取得) が必要な試験には、EL/AZ 両方の軸の指向駆動制御が必要となる。

4 試験内容と調整・試験方法、必要な機構

具体的な試験内容とそれに必要な調整項目、調整・試験方法、及びそれらの試験に必要な (もしくはあれば望ましい) とされる機構について検討する。

4.1 単一セグメントの駆動試験

4.1.1 目的

主鏡トラス上のセグメント位置によって、望遠鏡 EL が傾いたときのセグメントへの重力方向が変わり、ラテラル支持機構でのセグメント荷重保持の状態が変化する。このさまざまな状態でのラテラル支持機構の動作状況を確認し、アクチュエーターによるセグメント位置駆動への影響を試験する。

4.1.2 (追加で) 必要な機構

なし

⁷任意とはいえ、天体の移動速度 $15''/\text{sec}$ を考えるとかなり短い時間の積分だけしか許容されない。

4.1.3 想定される手順・評価方法

現在の実験室でのセグメント駆動試験と同一。

4.2 セグメント間ギャップセンサー駆動試験

4.2.1 目的

2枚のセグメント間に取り付けたギャップセンサーの動作試験を目標とする。セグメント間ギャップセンサーの機構の基本的な試験は完了済みであるとして、実際に主鏡セルのトラスに載せた複数の鏡でアクチュエーターを駆動した際の振る舞いを試験する。

4.2.2 (追加で) 必要な機構

なし(セグメント間にギャップセンサーを取り付けるので、複数用意できれば便利)

4.2.3 想定される手順・評価方法

架台の傾きを変えることによる変化を見る試験は、主鏡保持トラス自体の傾けたことによる変形の影響を差し引きできないので困難である。よって、架台を動かさずに固定している間の試験のみに限定される。これには、次のような試験がありえる。ただし、それぞれは任意のEL角に架台を固定したうえで行う試験とする。

- セグメント間ギャップセンサーの読み出し値の安定性を評価する試験
- アクチュエーターを駆動した際のギャップセンサー読み出し値の変化の評価

4.3 副鏡調整

4.3.1 想定される手順・方法

- M3 からレーザーを打ち上げて副鏡から反射して戻ってくる光をみる(X-Y位置と傾きの縮退が取れない?)

4.4 SH カメラ試験

4.4.1 目的

SHカメラで理想曲面に対するセグメントの傾きを測定する。

4.4.2 (追加で) 必要な機構

SHカメラを利用する際は、主鏡鏡面に平行光が入射している必要がある。このため、恒星のような点源を追尾する、トップリング付近から平行レーザー光を主鏡に照射する、などで実現する必要がある。

4.4.3 想定される手順・評価方法

SH カメラ用の光源が用意できれば、SH カメラを利用したセグメントの傾き検出が可能になり、セグメントの初期方向合わせが実現できる。

SH カメラ用の光源については、以下のような方法が考えられ、それぞれ () 内の機構が必要となる。

- 恒星のような点源を追尾する (EL/AZ ポインティング駆動機構)
- トップリング付近から平行レーザー光を照射 (相対並行度が変化しないレーザー射出装置)
- トップリング付近に対応するセグメント間で相対傾きが変わらない反射板を置く (反射板とその固定機構、焦点面からのレーザー射出)
- セグメント中心部にハーフミラーを置く (ハーフミラーとその固定機構、焦点面からのレーザー射出)

トップリング付近から平行レーザー光を照射する場合、その傾きの変化はダイレクトに SH の検出結果に影響する。このため、何らかの方法で出射の方向の変化を追跡する必要がある。ただし、SH で利用するだけであるので、この光源は f が非常に大きく細いビーム状であってもかまわない。

この相対傾きの変化による影響は、トップリング付近に反射板を置く場合も同じである。この際の焦点面からのレーザー射出は PCS でのものと同じ機構でよい。

主鏡セグメント上に個別にハーフミラーを配置した場合、ハーフミラーの傾きを光軸に垂直に近い状態にしなければそもそもレーザー光が焦点面に戻らないが、セグメントが傾いていた場合にハーフミラーに当たって戻る光の方向はハーフミラーとセグメント鏡面の相対角にも依存するため、高精度にセグメント上にハーフミラーが固定されていなければならない。

4.5 PCS カメラ試験

4.5.1 目的

セグメント間ギャップ部に配置したハーフミラーを利用してセグメント間のずれを測定する PCS カメラの実機動作試験を行う。

実験室では、内周・外周間の適当な場所での簡易試験⁸を行う可能性があるが、それではなく実際の運用時に利用すると思われる場所で、実際の光学系を利用した安定性や測定可能性についての試験やレーザー光源への制約などを検証する。

4.5.2 (追加で) 必要な機構

PCS 用レーザー光源の射出機構はさまざまなレーザー光源が利用できるように構成されていると最終的な展開時を考慮した試験ができる。

4.5.3 想定される手順・評価方法

- さまざまなレーザー光 (帯域 Hz、波長 nm、強度 mW) での干渉測定パフォーマンスの評価
- セグメント間の状況変化に対して PCS がどの程度変化するか
- いろいろな状況にセグメントを駆動して対応するギャップ量が PCS から出力されるかどうか

4.6 SH/PCS 結果を利用したセグメント初期位置合わせ試験

4.6.1 目的

リファレンスデータを利用して全てのセグメントを理想的な曲面を形成するように駆動できるかを試行する。

⁸実験室スペースなどの都合上、実機と同じ光学系ではないという制限がある。

4.6.2 (追加で) 必要な機構

特になし?

4.6.3 想定される手順・評価方法

SH/PCS のデータを取得し、フィードバック値を導出し、その値までセグメントを駆動し、そのときの状況を SH/PCS で評価することを繰り返して追い込んでいく。

4.7 ギャップセンサー結果によるフィードバック制御試験

4.7.1 目的

初期の位置あわせが完了したところから、ギャップセンサーの結果を利用してフィードバックによる安定化制御の試験を行う。

4.7.2 (追加で) 必要な機構

特にはないが、SH が適宜利用できれば評価がしやすいと思われる。

4.7.3 想定される手順・評価方法

ギャップセンサーの結果からのフィードバック制御をしながら、PCS によりギャップ量の変動を測定することで安定性などを検証する。また、PCS ではわからないセグメントの傾きなどを SH により検証する。

4.8 セグメント鏡傾け駆動試験

4.8.1 目的

望遠鏡を駆動した時のセグメント保持機構の駆動試験を行う。

4.8.2 (追加で) 必要な機構

- EL を動かしたときのセグメント支持グローブの移動量測定結果

4.8.3 想定される手順・評価方法

望遠鏡を傾けて、ある傾きでの補正テーブルをもとにアクチュエーターを駆動してから、SH や PCS などのデータを利用して初期位相合わせを行い、どの程度の速さで位相あわせが可能になるかや精度などの評価を行う。