

# 南ア望遠鏡組み立て報告書～ハード編～

栗田光樹夫

平成 16 年 1 月 9 日

この報告書は 1.4m 望遠鏡の『ハード面』におけるもので、組み上がるまでの過程と、組み上げ精度、一部の機械的な仕組みの解説を含む。この報告書の目的は飛躍を恐れずに云えば以下の点である。

- 望遠鏡の組み上がるまでの過程、歴史を記録する。
- 今後、製作者およびこの望遠鏡をメンテナンスしようとする者が、望遠鏡に触れるときの手助をする。
- 望遠鏡に問題が生じた時、この報告書を回想することで解決の糸口を探る。

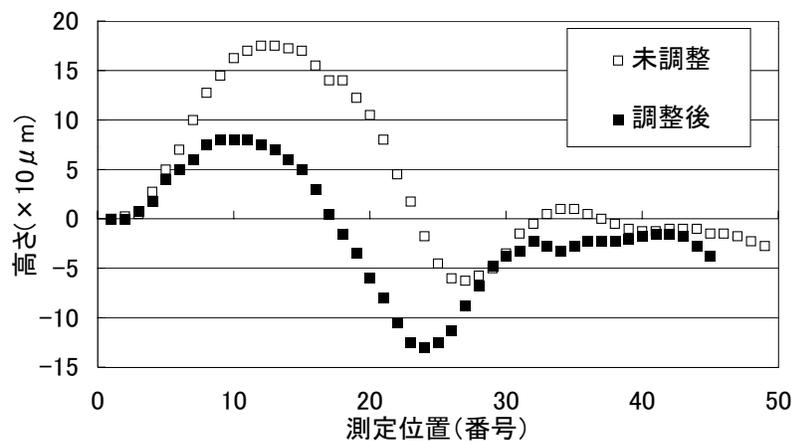
\*ことわり この報告書は望遠鏡の製作者と関係者を対象としたものなので、内容を理解するにはある程度の望遠鏡に関する知識を要する。この報告書はおもに西村製作所に於いて、1999 年 11 月から 2000 年 6 月に行われた仮組のときのものである。本文中にてでくる『(写真 No)』は巻末の写真を参考にしてください。また作業の段取りや、望遠鏡の構造は、その他多数の記録写真や図面を参考にしてください。

# 1 精度検査

- ベースの大まかなレベル出しとレール取り付け面のレベル
- ガイド取り付け後のガイド面レベル
- ガイド動径方向の真円度
- ターンテーブルとRガイドの同心度
- フォークの高さ(参考)
- センターピースの軸取り付け面
- 高度軸
- 高度軸フリクションドラムラジアル方向変位
- 方位軸
- 方位軸と高度軸の直交性
- インストロメントローテータの軸だし
- 副鏡LMガイド直進性
- 方位軸エンコーダマウント(ラジアル方向)
- 方位軸エンコーダ(ラジアル方向)
- 方位軸エンコーダ再現性
- 方位角度割精度(参考)
- 副鏡の光軸と高度の関係
- 副鏡前後装置の直進性
- 副鏡支持部の撓み
- 副鏡光軸(フローティングによる改善後)
- 主鏡の tilt と高度
- 方位角度割精度
- インストロメントローテータ 1
- インストロメントローテータ 2

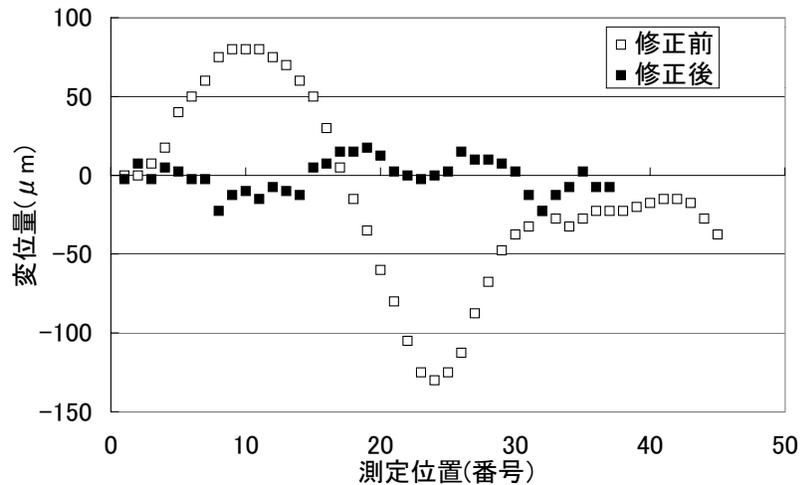
項目	ベースの大まかなレベル出しとレール取り付け面のレベル
日時	1999年11月19日
測定者	河合(水準器読み手)、栗田(記録)
所要時間	ほぼ半日
測定方法	ベースをレベルジャッキ(写真1)の上に置く。Rガイド取り付け面に水準器を全周に沿って隙間なく置き(写真3)、レベルを測定した。測定後、結果からレベルジャッキでベースの高さを調整し、できるだけ水平を出す。以後測定と調整を繰り返す。写真2
測定器具	0.05mm/m 読み水準器 6個
測定回数	レベルジャッキを3個の時に3回、6個の時に2回、計5回行った。
結果	グラフは水準器の読みから予測されるベースのひずみである。縦軸がベースの高さの推移、横軸は中心角の増加に比例している。調整前と後でプロット数が違うのは調整後のほうが水準器をつめながら置く際に隙間が空いたためである。調整前が49点、調整後が45点の測定。上が無調整の時で下が5回の測定と調整を繰り返した後のもの。
考察	5回の測定と調整を繰り返したが、劇的な改善はなかった。ジャッキとベースが固定されていないので、ジャッキを調整してもベースの剛性が自重による変形よりも強いために、変化がそれほど起きない。本番では基礎とジャッキ、ジャッキとベースが固定されるためもっとスムーズに調整できるはずである。また以上の最終結果から一番高いところを基準に全周にわたって入れるシムの厚さを決定した。

図 1: R ガイド 取り付け面レベル変位



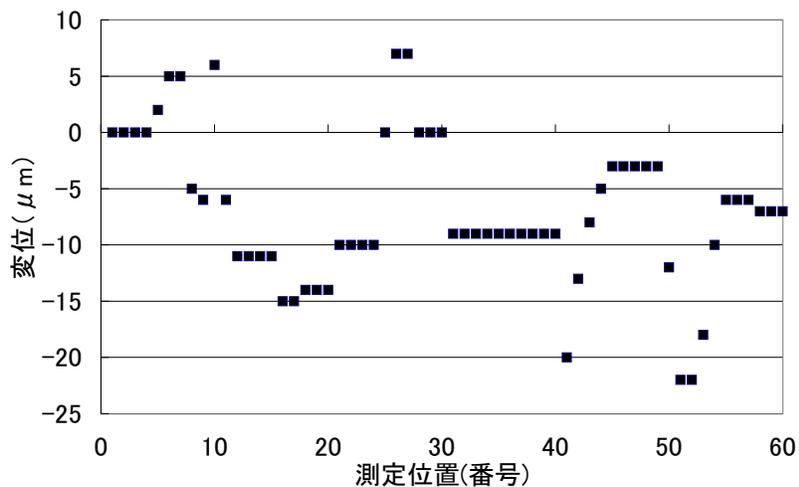
項目	ガイド取り付け後のガイド面のレベル
日時	1999年11月20日～22日
測定者	長田(水準器読み手)、栗田(記録)
所要時間	ほぼ1日
測定方法	ベースの測定法と同様に、ガイド面上を測定(写真5)。シムによる補正前と後を測定した(写真4,6,7,8,10)。
測定器具	0.05mm/m 読みの水準器6個
測定回数	補正前と後それぞれ1回
結果	修正前は45点、修正後は37点の測定。修正前は最大112 $\mu\text{m}$ まで変位していたが、シム入れ後は+17.5～-22.5 $\mu\text{m}$ の変位になった。また6分割されている各ガイド間の継ぎ目の間隔はいずれも規定値(3mm)以内であった(写真10)。
考察	変位幅を40 $\mu\text{m}$ 程度に抑えたかったので、修正後のガイド面の変位は目標値を満たすものである。この修正方法が正しいという事が分かった。ただしまだ無負荷の状態なので、変化する可能性はある。しかし以後の修正は困難であり、またたとえ変化が起きたとしてもこれを基準に組み立てていく方が解析しやすい。

図2: Rガイド面レベル変位



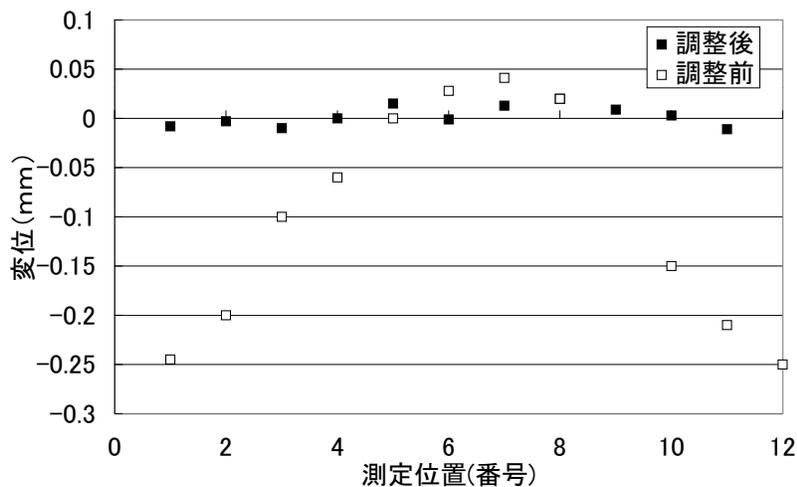
項目	ガイド 動径方向の真円度
日時	1999 年 11 月 22 日
測定者	関、桑田
所要時間	ほぼ半日
測定方法	ベース中心に設けてあるエンコーダ取り付け用のリングに治具を取り付け、ベアリングを固定する。ガイドの直径にチャンネルをわたし(写真 9)、両端をブロックにのせ回転させる。チャンネルの回転軸は中心に置かれたベアリングによって固定されている。両端とブロックはのせるだけで、固定はしない。チャンネルの端にダイヤルゲージを取り付け、ガイドの外周の変位を測定する。一番直径が大きいところを基準に全周にシムを入れる。以後測定とシム入れを繰り返す。測定点はガイド 1 本あたり 10 点、計 60 点。写真 8,10,11
測定器具	デジタル式ダイヤルゲージ(最小目盛り $1\mu\text{m}$ )
測定回数	正確な回数は不明だが、5 回以上は行った。
結果	修正前は数 $100\mu\text{m}$ のずれがあったが、最終値は +7 から $-22\mu\text{m}$ に収まった。その課程のデータは記録を取らなかった。
考察	不連続な変位をするのはガイドが 6 本に分割されているため。直径 $3000\text{mm}$ に対して $30\mu\text{m}$ の変位内の収まり、目標精度の $40\mu\text{m}$ を満たした。この修正方法が正しい事が分かった。またこの変位はダイヤルゲージによる測定誤差、治具の取り付けられているベアリングのがたを考えると、これ以上の測定と修正は困難である。

図 3: R ガイド 動径方向の変位



項目	ターンテーブルとRガイドの同心度
日時	1999年11月24日～25日
測定者	関(ダイヤルゲージ読み手) 桑田、栗田
所要時間	ほぼ1日半
測定方法	ターンテーブルの中心部にあるエンコーダヘッド取り付け用リングにダイヤルゲージを固定し(写真12)、ゲージをベースの中心部のリング側面に当ててテーブルを1周まわして12点で測定する。方位軸のフリクション部でも同様に測定(写真13)。その結果からもっとも大きく張り出しているテーブルの部分をベースに固定した治具(写真14)で押してずらす。以後測定と修正を繰り返す。
測定器具	ダイヤルゲージ
測定回数	エンコーダリング部で10回以上。フリクション部で4回。
結果	エンコーダ取り付けリング部で修正前は300 $\mu\text{m}$ くらいの偏心があったが、修正後は+20 から - 11 $\mu\text{m}$ に収まった。またフリクション部では変位の幅が 64 $\mu\text{m}$ あった。
考察	この測定で重要なのはテーブルが偏心なく回転する事で、エンコーダの読み取りと方位軸の駆動フリクションが正しく働く事である。またこの測定には同軸度だけではなく測定面の加工による真円度の影響も加わっている。エンコーダは別に調整機構があり、ここまで同心度が出ていれば、残りは調整機構で追い込める。但しエンコーダ取り付け精度は 10 $\mu\text{m}$ である。またフリクション部もモータをばねで押し付ける構造のため、この精度で十分である。

図 4: ターンテーブルと R ガイドの同心度



項目	フォークの高さ(参考)
日時	1999年11月26日
測定者	関、桑田
所要時間	
測定方法	二階のテラスに固定されたダイヤルゲージで一つ目のフォーク上面を測定し、方位を回転させもうひとつのフォークの上面を測定した。
測定器具	ダイヤルゲージ
測定回数	1回
結果	2つのフォークで20 $\mu$ mの違い。
考察	測定状態が不安定である事、ベースに対して1個所でしか測定できない事から参考までとしたい。

項目	センターピース軸取り付け面
日時	1999年11月29日
測定者	関、桑田、栗田(トランシット, コリメータ読み手)
所要時間	1日
測定方法	センターピースの高度軸取り付け面にレチクルをセットする(写真15)。レチクルを回転させ、取り付け穴の中心座標をトランシット(写真16)で読み出す。レチクルをはずし、トランシットで誘導しながら、穴の中心に十字線を張る。もう一方の穴も同様に中心を出す。次に二つの中心を結ぶ直線上にトランシットをセットする。これでトランシットの光軸が駆動軸にきた事になる。次に十字線をはずし軸穴に平面鏡をセットする。平面鏡を45度ずつ回転させ、先ほどのトランシットをコリメータとして使い、8点の測定を1回として行う。平面鏡から反射してきた光の十字線とトランシットの十字線を合わせるように調節ネジを操作し、そのときの座標を読み取る。
測定器具	ライカ製トランシット、ニコンオートコリメータ(最小目盛り1分調整ネジは0.5秒)
測定回数	各軸穴に対して3回ずつ
結果	3回の測定の平均をプロットすると下図のようになった。プロットが分散するのは平面鏡を回転させる治具に正確に取り付けていないからである。その大きさから取り付け精度が分かる。単純に傾いていれば円を描くはずである。そこで計24点の平均を取りそれを軸取り付け面に直交する角度とした。高度軸に対する取り付け面の直交のずれは軸穴(手前)で水平方向に10秒角、鉛直方向で56秒角。軸穴(奥)で水平方向に10秒角、鉛直方向に4秒角であった。
考察	軸穴(手前)の結果はさほどきれいな円とはならなかった。測定にまだ熟練していなかった事と、平面鏡の回転が正確ではなかったか、軸取り付け面が平面ではなかったかである。センターピースに関してはベアリングとの関係もあるのでここでは修正しない事にした。結果から精度の出ている軸穴(奥)に駆動側の軸をつけ、悪い方に受け側をつける事にした。

	水平方向	鉛直方向
高度軸	235 °3 25	90 °7 55
軸穴 ( 手前 )	235 °3 55	90 °6 59
軸穴 ( 奥 )	235 °3 35	90 °7 59

図 5: センターピース精度 (手前)

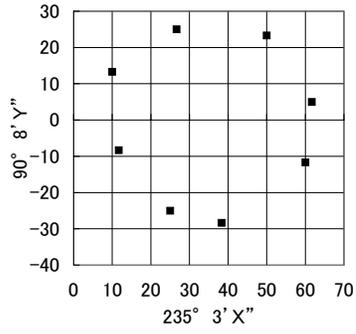
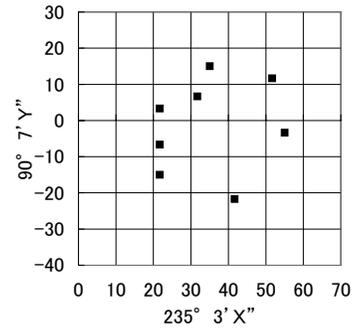


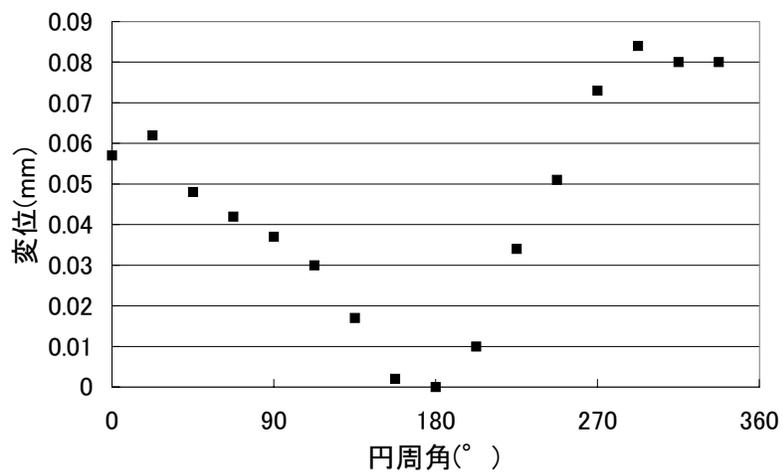
図 6: センターピース精度 (奥)



項目	高度軸
日時	1999年12月1日
測定者	関(コリメータ読み手) 関、栗田
所要時間	ほぼ半日(方位軸ぶれの測定と含めて)
測定方法	方位ベースのほぼ真ん中の地面に鉛直上向きにオートコリメータをセットする(写真18)。センターピースの方位軸上付近に両面鏡を置く(写真17)。オートコリメータで両面鏡を見る。そして次に方位を180度回転させ、コリメータで両面鏡を見て、180度回転前との十字線のずれを記録し、ずれがなくなるように平面鏡とオートコリメータを調整するこの作業によって方位軸上にコリメータの光軸と両面鏡を持っていくことになる。次にセンターピースを180度回転させて両面鏡を見る。両面鏡からの反射した十字線が180度センターピースを回転させる前と後とのずれを見る。
測定器具	ニコンオートコリメータ(最小目盛り1分調整ネジは0.5秒)
測定回数	
結果	高度軸のぶれは3秒角以内に収まっていた。
考察	この測定はセンターピースの回転や測定条件が悪く熟練が要する。高度軸上の1点に関しての結果なのでもっと測定を繰り返す必要がある。またこの測定法は方位軸の検査もかねる。

項目	高度軸フリクシヨンドラム表面のラジアル方向変位
日時	1999年12月6日
測定者	関、栗田
所要時間	1時間
測定方法	高度軸に取り付けたフリクシヨンドラムにダイヤルゲージをあて(写真19)、ドラムを1回転させてその変位を読み取る。
測定器具	ダイヤルゲージ(デジタル $1\mu\text{m}$ 読み)
測定回数	
結果	グラフの横軸がドラムの中心角度、縦軸がフリクシヨン面の変位(mm)をあらわしている。結果より使用部分は最も滑らかな0度から90度までの部分とした
考察	使用部分を見ると変位の大きさは $20\mu\text{m}$ 以内に収まっている。この変位が大きさと、指令回転角度と実際の回転角度に誤差を生むことになる。しかしその誤差の大きさは、フリクシヨンドラムの大きさに対するでこぼこの大きさなので、十分小さい。

図 7: フリクシヨン面ラジアル方向変位



項目	方位軸
日時	1999年12月1日
測定者	関、桑田、栗田
所要時間	ほぼ半日(高度軸測定と含めて)
測定方法	基本的には高度軸の検査法と同じ。オートコリメータをターンテーブルのほぼ中心となる位置で、地面に設置する(写真21)。次に平面鏡(実際は両面鏡)を方位軸に直交する角度で、方位軸上にくるようにセンターピースに取り付ける(写真20)。まずこの状態で、大体において方位軸上にオートコリメータと平面鏡を設置したことになる。次に平面鏡からの反射光をオートコリメータで見る。方位軸を180度回転させ、回転前との反射光のずれを測定する。平面鏡とコリメータの調整と180度回転を繰り返すことで平面鏡がオートコリメータの光軸にくるようにする。
測定器具	ニコンオ-トコリメータ(最小目盛分角、0.5秒角読み) 両面鏡
測定回数	
結果	上記の調整法を繰り返した結果、平面鏡から帰ってきたコリメータの十字線が2秒角以内で変動する。また十字線の描く軌跡は円ではなかったが、その正確な軌跡は確認できなかった。
考察	これより方位軸の軸振れは1秒角以内である。この結果は、測定限界を超えており、この誤差は十分小さいといえる。また方位軸が味噌播り運動をおこしている場合十字線は円を描くはずであるので、これはRガイドによる特性が出たと考えられる。

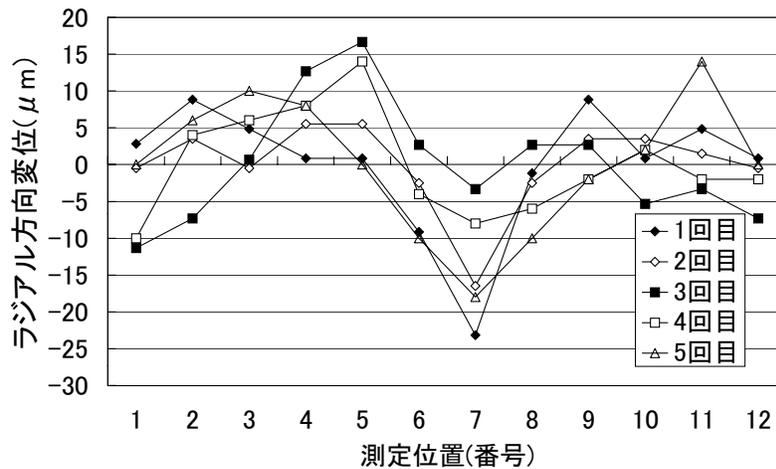
項目	高度軸と方位軸の直交性
日時	1999年12月1日
測定者	関、桑田
所要時間	2時間
測定方法	「方位軸の軸振れ」の測定終了後の状態から、次にセンターピースを180度回転させる。取り付けてある鏡は両面鏡(写真20)なので、その状態で反射光をコリメータ(写真21)で測定する。この結果、高度軸の方位軸に対する直交性からの誤差がわかるので、どちらかの高度軸の軸受けメタルの下にシムを入れることで、修正を施す。以後調整と測定を精度を出せるところまで繰り返す。
測定器具	ニコンオートコリメータ(最小目盛1分角、0.5秒角読み) 両面鏡
測定回数	4回
結果	この測定には立ち会っていないため、コリメータの記録はありません。ただし測定結果から導き出したシム厚 $50\mu m$ を軸受け側に入れたが変化がなかった。次に $100\mu m$ を足し、合計 $150\mu m$ にしたら過修正になった。最終調整後の結果は2秒角以内。また入れたシムの厚さは軸受け側に $50\mu m$ である。
考察	測定結果から出される修正量が予想通りに行かなかったことは、現地での作業でもある程度の勘と時間を必要とすることになる。

項目	インストロメントローテータ(以下 InR)の軸だし
日時	1999年12月6日
測定者	関、桑田、栗田
所要時間	2時間
測定方法	「方位軸」測定のとおり同様に、オートコリメータをターンテーブルのほぼ中心となる位置で、地面に設置する(写真23)。次に平面鏡を方位軸に直交する角度で、方位軸上にくるように InR に取り付ける(写真22)。そして方位軸に平面鏡を直交させる。次にローテータのみを180度回転させ、コリメータで角度ずれを測定する。このとき注意することは鉛直方向の角度ずれは無視でき、高度軸との角度を読み取ることである。このずれを補正するために、主鏡セルと8本のトラスの間にシムを入れる。
測定器具	ニコンオーオコリメータ(最小目盛1分角、0.5秒角読み)、平面鏡
測定回数	3回
結果	最終の測定の結果角度誤差は、今回の測定器具では確認できなかった。確実に1秒角以内に収まっている。
考察	ここまでの作業の結果、次の精度が決まった。方位軸の確定、方位軸と高度軸の直交性、方位軸と InR の直交性、である。つまりこれによって自動的に高度軸と InR の平行度も決まったことになる。また今後、光軸は今回決まった InR の回転軸にあわせなければならない。直接精度とはかかわることではないが、主鏡セルの取り付けは非常に難しい。主鏡セルはチェンブロック4個を使用して持ち上げる必要がある。8本あるトラスをボルト穴に同時にもっていくため、この作業はできれば4人くらいの人手で行いたい。

項目	副鏡 LM ガイド 直進性
日時	1999 年 12 月 27 日日
測定者	桑田、栗田
所要時間	1 時間
測定方法	副鏡ユニットを組み立て、副鏡が取り付くところに平面鏡 (写真 26) を取り付ける。ガイドをスライドさせ、コリメータで平面鏡からの反射光を測定する。写真 24,25
測定器具	ニコンオートコリメータ (最小目盛 1 分角、0.5 秒角読み)
測定回数	
結果	100mm のスライドの結果、鉛直方向に 5 秒角変化した。水平方向のずれは確認できなかった。
考察	スライドした部分が円弧を描いていると仮定すると 100mm 間に $3.8 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 変化したことになる。つまり LM ガイド 1mm あたり $3.8 \times 10^{-6} \mu\text{m}$ の誤差が生じる。主鏡とトップリング間距離 3000mm。鉄の熱膨張率 $11.8 \times 10^{-6}/K$ 。一晩の観測中の温度変化 10 度 (仮定)。この場合 $3000 \times 11.8 \times 10^{-6} \times 10 = 354 \mu\text{m}$ の副鏡位置調整が必要となり、これにより LM ガイドから生じる直進性誤差は $1.3 \times 10^{-6} \mu\text{m}$ これは十分小さく副鏡の調整機構は精度を満たしている。

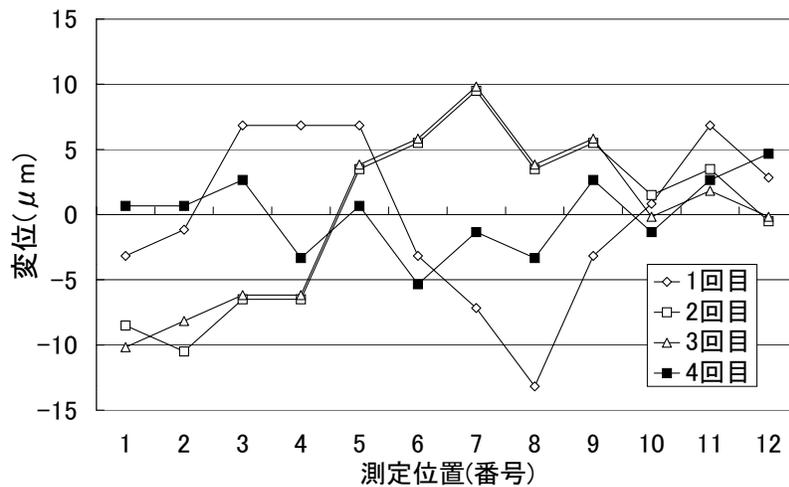
項目	方位軸エンコーダマウント(ラジアル方向)
日時	2000年1月19日
測定者	関、栗田(記録)
所要時間	1時間
測定方法	エンコーダ取り付けマウントのはめあいを取る部分のラジアル方向をダイヤルゲージで1周にわたり12点測定する(写真28)。エンコーダ取り付け精度である心振れを $10\mu\text{m}$ 以下に押さえるまで測定と修正を繰り返す。写真27
測定器具	ダイヤルゲージ( $2\mu\text{m}$ 読み)
測定回数	5回
結果	5回以上修正と測定を繰り返したが、 $30\mu\text{m}$ 以下の誤差内には収められなかった。
考察	マウントの心振れが5回の測定の結果、これ以上押さえ込めないと判断した。これはマウントが真円からずれているためと考えられる。

図8: 方位エンコーダマウントラジアル変位



項目	方位軸エンコーダ (ラジアル方向)
日時	2000年1月19日
測定者	関、栗田 (記録)
所要時間	1時間
測定方法	エンコーダードラム側面部分 (ラジアル方向) をダイヤルゲージで1周にわたり12点測定する (写真 29)。誤差をエンコーダ取り付け精度である $10\mu\text{m}$ 以下に押さえるまで測定と修正を繰り返す。写真 30
測定器具	ダイヤルゲージ ( $2\mu\text{m}$ 読み)
測定回数	4回
結果	4回目にして誤差 $10\mu\text{m}$ 以下に押さえ込むことができた。
考察	最初の3回目までは変位が sin カーブを描いている。これはマウントに比べてエンコーダ本体の真円度が高いことと、回転軸からずれていることをあらわしている。4回目の測定後も若干回転軸はずれている様子がグラフからわかる。

図 9: 方位エンコーダラジアル変位



項目	方位軸エンコーダ再現性
日時	2000年2月8日
測定者	関、加藤、栗田
所要時間	1日弱
測定方法	経緯台ベースにダイヤルゲージを固定する。ターンテーブルに鉄板をダイヤルゲージと接触するように固定する(写真31)。その状態でのエンコーダとダイヤルゲージの値を記録する。次にハンドコントローラーで鉄板がダイヤルゲージから離れる方向にテーブルを回転させ、ほぼ1周したところ(ダイヤルゲージに鉄板をぶつける手前)で反転させ、再び鉄板がダイヤルゲージに接触したところで回転を止める。そしてこのときのエンコーダとダイヤルゲージの値を記録する。ダイヤルゲージの読みを角度に変換し、エンコーダの読みと比較する。
測定器具	ダイヤルゲージ(2 $\mu$ m読み)
測定回数	数回
結果	下の表を参照。誤差とはダイヤルゲージの値から導出された角度とエンコーダから導出された角度の差。
考察	エンコーダの分解能である1秒角以下の精度で再現性があることがわかった。少なくともエンコーダが信号を読み落とししたりはしないことがわかる。ただし回転の往きと帰りを行って1回の測定とするので、同じところを読み落としている場合、この測定にはその現象は現れない。しかしその可能性はエンコーダの読み取り方式から低いと考えられる。またこの測定からエンコーダの再現性を見るだけでなく、経緯台全体の再現性も高いということもわかる。なお誤差40秒角のときは測定の失敗だと考えている。

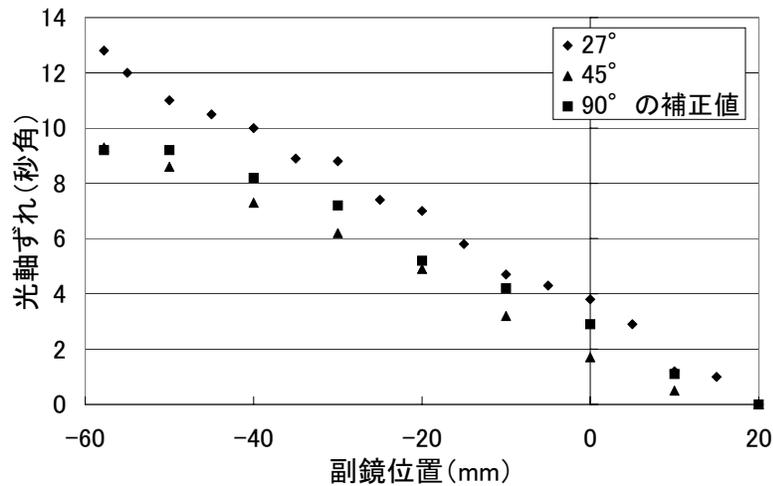
	1回目	2	3	4	5	6	7	8	逆回転1回目	2	3	4
誤差(秒角)	1.8	1.7	- 1.6	- 2.2	2.2	1.3	0.7	- 0.9	0.4	40	0	0.6

項目	方位角度割精度 (参考)
日時	2000年2月9日
測定者	関、加藤、栗田
所要時間	半日
測定方法	オートコリメータつきトランシットで、ターンテーブルに乗せた両面鏡を見る。そのときのトランシットの値とエンコーダの値を記録する。トランシットはそのまま固定して、方位をおよそ360度や180度回転させ、再びコリメータで測定し、そのときのエンコーダの角度とトランシットの角度を記録する。ただし、この2種類の角度に限定したのは、両面鏡の大きさに制限があるため。
測定器具	ライカトランシット(オートコリメータつき、精度5秒角)、両面鏡
測定回数	
結果	参考にならず
考察	測定器具の精度と測定法を考えて10秒角程度の測定誤差はあると考えていたが、それ以上の誤差とばらつきがある。これではエンコーダの評価はできないと判断する。ただし測定回数が少なかったため、時間の許す限りもう一度測定したい。

項目	副鏡の光軸と高度の関係
日時	2000年2月16日
測定者	関、桑田、栗田
所要時間	3時間
測定方法	InRのフランジにオートコリメータを取り付ける(写真32カセグレンから見る)。副鏡中央のコーンがつくところに平面鏡を取り付ける(写真33)。高度軸を変化させながらオートコリメータで副鏡に取り付けた平面鏡を見る。
測定器具	ニコンオートコリメータ(最小目盛1分角、0.5秒角読み)、平面鏡
測定回数	2回
結果	2回とも高度を90度から30度に変化させた場合副鏡が1分20秒角お辞儀した。
考察	この測定から考えられることは以下のことである。・トップ側およびセル側のトラスの撓み・InRのフランジ及びオートコリメータの取り付け部の撓み・スパイダーの撓み・副鏡取り付け部および副鏡ユニット内の撓み・センターピースの変形である。ただしここで注意することは、セル側のトラスやオートコリメータなどの変化はお辞儀させるのとは逆向きに働くことである。以上複数の要因によっておきていると考えられるので、それぞれについて測定する必要がある。

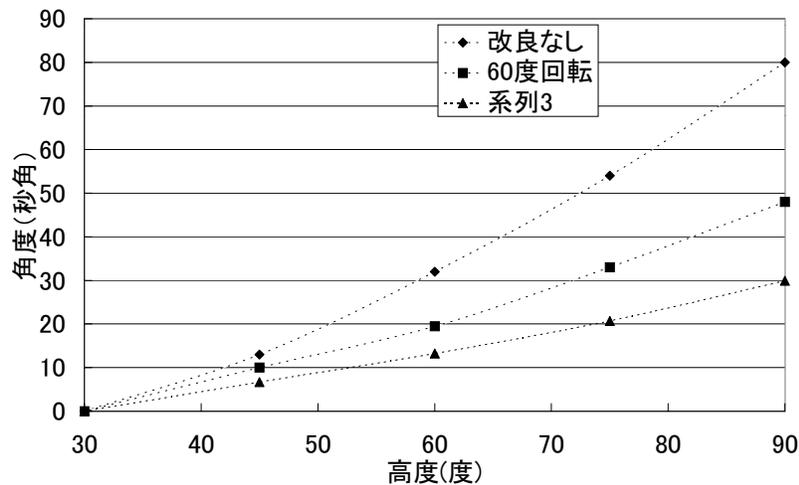
項目	副鏡前後装置の直進性
日時	2000年2月21日
測定者	関、桑田、長田、栗田
所要時間	1時間
測定方法	望遠鏡の高度角 90°、45°、27° の 3 箇所において副鏡前後装置を限界まで 5mm ごとに前後させ。カセグレンからオートコリメータ (写真 32) で副鏡中央に取り付けた平面鏡 (写真 33) を見る。そのときの副鏡からの反射光の変化をオートコリメータで見る。
測定器具	ニコンオートコリメータ (最小目盛 1 分角、0.5 秒角読み)、平面鏡
測定回数	
結果	下のグラフ参照。横軸は副鏡前後装置に取り付けてあるリニアスケールの値。縦軸はリニアスケールで初期値を 20mm とし、そのときの副鏡の角度を 0 秒角としてそこからの角度変化である。
考察	高度角 27° の時はほかよりも多く重力によって副鏡を支えている LM ガイドの H 鋼が撓んだと考えられるが、45° と 90° が逆転していることから高度角による依存性はあまりない。また 90° は予想としては変化しないと思えたが、ほかのものと同様である。このことから、このずれは LM ガイドの直進性を表し、また LM ガイドとともに前後する部分以外のユニットの剛性は高いといえる。また実際の観測では一度きめた位置からほとんど副鏡は動かないので、LM ガイドの直進性も問題にはならない。

図 10: 副鏡位置-光軸ずれ-高度



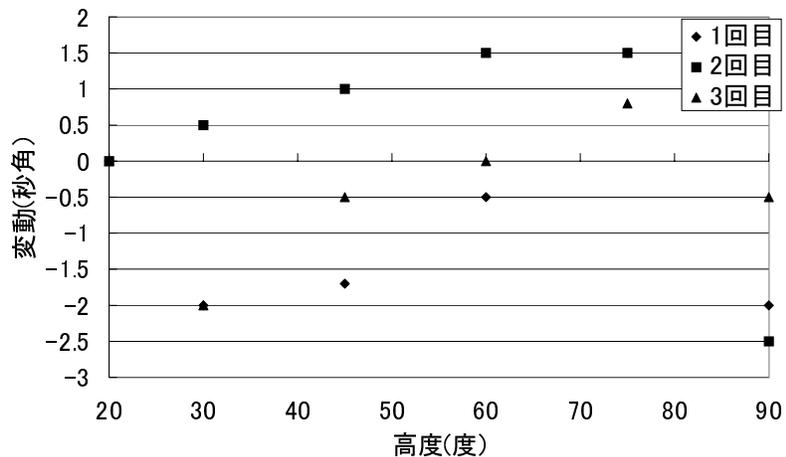
項目	副鏡支持部の撓み
日時	2000年2月21日
測定者	桑田、関、長田、栗田
所要時間	1時間(改良を含めると1日)
測定方法	「副鏡の光軸と高度の関係」の時と同じ *注:この測定を行う前に、高度を変化させると副鏡の光軸がずれることを「副鏡の光軸と高度の関係」でたしかめたが、どこが原因かはわかっていなかった。しかし副鏡支持部に若干の力を加えるだけで、光軸が大きく変わることを発見した。そこでここに原因があると考え、その部分に以下の補強を行った。・LMガイドと副鏡をつなぐステージは断面がHのかたちをしている(写真24)その断面2次モーメントは $864000(mm^4)$ これを縦にして使うとその断面2次モーメントは $9684000(mm^4)$ で約11倍の強度をもてる。そこでひとまずユニットの円筒カバーにあらかじめあいているタップの関係から60度全体を回転させた。これによって断面2次モーメントは大幅に増えることが期待された。・60度回転で効果が現れたので、次にユニットカバーに加工を施し90度まで回転できるようにした。さらにLMガイドの中の鋼球が弾性変形すると考えられたので、レールにガイドブロックを押さえつけるような補助器具を取りつけた。写真24,25,34
測定器具	ニコンオートコリメータ(最小目盛1分角、0.5秒角読み)、平面鏡
測定回数	
結果	下のグラフ参照
考察	これまでの改善で、ずれ量は許容値以内まで追い込むことができた。しかしいずれにしても副鏡の荷重がある限りユニットの剛性から14秒角程度はどうしてもずれることになる。

図 11: 副鏡の光軸ずれ-高度



項目	副鏡光軸 (フローティングによる改善後)
日時	
測定者	
所要時間	
測定方法	副鏡にフローティングをつけることによって、あらゆる高度で副鏡の撓みをキャンセルできるようにした。
測定器具	
測定回数	
結果	はじめは 10 秒角程度までの改善であったが、フローティングの LM ガイドを調整するとグラフに示すように 4 秒角以下に収まった。しかし変動がいくら小さくても再現性が無くヒステリシスもある。この場合、後に T-Point などの解析補正ができなくなるという問題が残る。その後の調整であらゆる高度で光軸のずれは確認できなくなった。
考察	LM ガイドは二本使っており、その 2 本を正確に平行におかないとカウンタウエイトの動きは滑らかにならず、正確にバランスを取ることができなくなる。

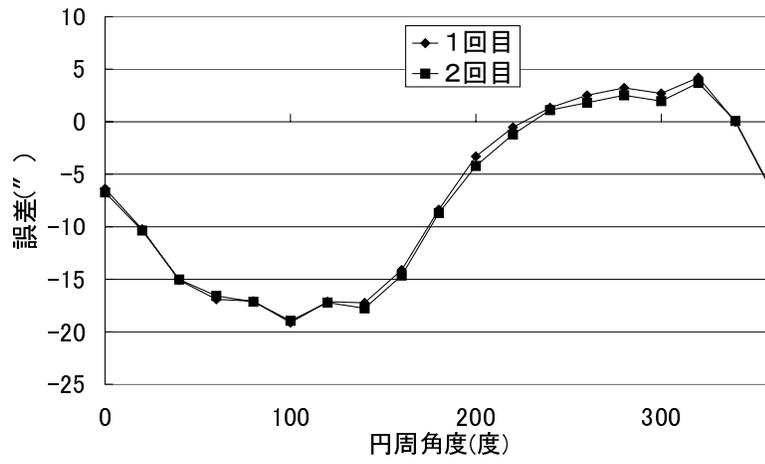
図 12: 副鏡の光軸ずれ-高度 (フローティング)



項目	主鏡の tilt と高度
日時	記録なし
測定者	関、桑田
所要時間	記録なし
測定方法	主鏡にあいているカセグレン口をふさぐように平面鏡つきの治具 (写真 37) を取り付ける。その平面鏡をオートコリメータで見る (写真 32)。
測定器具	
測定回数	
結果	
考察	十分な精度である。フローティングとホイップルツリーによる支持が正しく働いている。

項目	方位角度割精度
日時	2000年5月3日~6日
測定者	長田、西村有二
所要時間	9時間
測定方法	2つのダイヤルゲージをベースの方位角度20度の位置に向かい合わせにセットする。4mm厚のアルミ板を2つのダイヤルゲージの間でターンテーブルに固定する。板は方位を回転させると、ダイヤルゲージを押し込むようになる(写真31)。エンコーダ読みで20度回転させ、ダイヤルゲージを0にリセットする。次に板をはずし、方位を20度回転させる。板を再び2つのダイヤルゲージの間にセットし、そこで20度回転をし、その時のダイヤルゲージの値を読む。この作業を方位が1回転するまで繰り返す。尚、2つのダイヤルゲージがアルミ板をはさんで同じ位置に接するようにセットしないと、アルミ板の動径方向からのずれを拾うので注意する。2つのダイヤルゲージの値から各方位角度での偏差を導き出す。なお今回の場合、ダイヤルゲージで測定する位置は中心から1750mmなので、そこでの方位1秒角は距離にして約 $9\mu\text{m}$ である。
測定器具	ダイヤルゲージ ( $1\mu\text{m}$ 読み)
測定回数	2回
結果	
考察	変位の振幅は23秒角でほぼ正弦波であった。また2回の測定の再現性もあるのでこの値は確かであると思われる。ハイデンハインのカタログによるとエンコーダが $1\mu\text{m}$ 偏心している場合、振幅1.44秒角の誤差を生じることから、われわれの取り付け精度は $16\mu\text{m}$ ずれているということになる。なおエンコーダの取り付け精度は $10\mu\text{m}$ 程度だったので、読み取りヘッドの取り付け精度を加味してもほぼ一致した結果が出た。このような誤差の場合 pointing analysis で補正できる。

図 13: 方位エンコーダ角度割精度



項目	インストロメントローテータ 1 ( InR )
日時	2000 年 6 月
測定者	西村製作所、名古屋大学
所要時間	
測定方法	InR に任意の負荷を与え速度 1 ~ 400 秒角毎秒で動かし、ホストからの指令とエンコーダの結果との比較をする。
測定器具	
測定回数	
結果	回転中心 (光軸) に対して対称な負荷であれば、80kg の負荷で 1,20,100,400 秒角毎秒の速度でも 10 秒角未満の誤差で駆動した。またギアのバックラッシュは 1 分角程度。しかしその後の測定の繰り返しのうちに追尾精度が 1 分角に落ちた。ジョイント部分にがたが生じ始めていたので、より強いものと交換したが結果は変らなかった。そこで次はモータを点検に出すことにした。しかしモータに異常はなかったので、駆動力が足りないと考えてギア比を 2 倍 (ピニオンギアの歯数 60 を 30 に変更) にした。
考察	SIRIUS の detector は $1024 \times 1024$ なので視野回転は $\frac{1}{512 \cdot \sqrt{2}} = 4.6'$ で 1pixel ずれることになる。つまり InR の駆動制度は 1 分角程度でよい。今回の結果は問題が生じるまえなら、それを満たしている。ただし以後バックラッシュを 30 秒角以下に抑えることにする。

項目	インストロメントローテータ 2 ( InR )
日時	2000 年 6 月
測定者	西村製作所、名古屋大学
所要時間	
測定方法	InR に SIRIUS 相当の 100kg の錘をつけて回転させる。速度 1 ~ 400 秒角毎秒を各 5 分間の等速運転し、ホストからの指令とエンコーダの結果との比較をする。
測定器具	
測定回数	
結果	<p>測定を繰り返すうちに誤差が大きくなり、ローテータの動きが渋くなり回転しなくなった。それまでの検査でモータの分解能、駆動トルク、ジョイントの伝達能力には問題はないことは判明している。ローテータは以下の駆動伝達をしている。モータ ジョイント 小ギア (歯数 60 から 30 に変更) 中間ギア (歯数 360) ローテータギア (歯数 720)。中間ギアはベアリングなどで固定されているのではなくメタルの滑りで動く機構となっている。結局その部分が回転を繰り返すうちに潤滑が低下し動かなくなっていた。摺動部分の金属を交換することで改善された。</p> <p>その結果最大で 30 秒角だった追尾誤差が、2.5 秒角以下の誤差に収まっていた。</p>
考察	<p>今回の測定で、「耐久性」という側面が露呈した。最初がよくても運転を続けるうちに精度を満たさなくなることがわかった。今後追尾精度などの具体的な駆動試験を行うが、ある程度の連続運転と、時間を取る必要がある。</p>