

近赤外線多天体分光撮像装置 MOIRCS の冷凍技術

小俣孝司

国立天文台ハワイ観測所

概要

すばる望遠鏡の第 2 期観測装置として開発されている MOIRCS は、赤外ディテクターアレイ(Hawaii II)2 つを搭載し、4x7 分という広い視野での複数の天体の赤外同時分光が出来る世界の最先端を行カメラである。光学系はアレイ 2 つに対応して 2 チャンネルあり、天体の光は自動交換式のスリットマスクを通ったあと 2 分割され、それぞれの光路でレンズやフィルター、グリズムを通してディテクター上に焦点を結ぶ。メインデューアの中で冷却された状態でメカニカルに動作する機器はスリットマスクエクステンジャーやフィルター・グリズムターレット、シャッター、焦点移動機構などがあるが、ここでは低温下での動作が困難であった大型のターレットユニットの実験と改良について述べる。

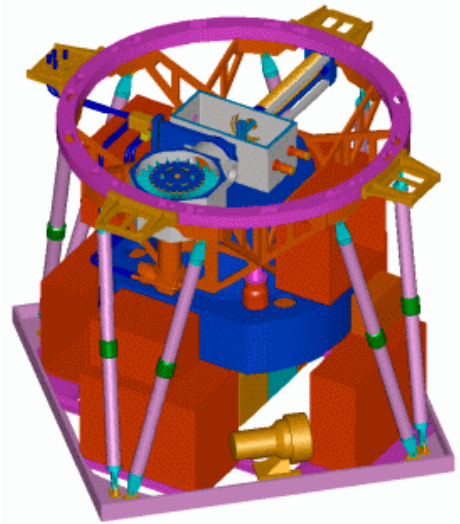


図 1. 全体図

1 MOIRCS について

1.1 MOIRCS の冷凍方法

MOIRCS の光学ベンチ(アルミ製 300Kg)はヘリウム冷凍機で 77K 付近まで冷やすことになっているが、補助的に液体窒素を使って冷やしている。ただしフューズドシリカやカルシウムフッ化物などの素材を使ったレンズになるべくストレスをかけないように、3 日かけてゆっくり冷やす。メインデューアの内側にはラジエーションシールドは無く、すべてスーパーインシュレータ(MLI)を使用して断熱を行っている。スーパーインシュレータは薄い銀色のプラスチック箔と、それを適度に隙間を持たせるための網目状のものを幾層にも積み重ねたもので、断熱効果は十分にある。これを光学ベンチ本体に巻きつけることによって断熱を行っている。

1.2 ターレットユニットの概要

MOIRCS におけるターレットは 1 チャンネルにつき 3 枚あり、フィルター用 2 枚、グリズム用 1 枚となっている。これらは 1 枚につき 12 個のフィルター(グリズム)を搭載することが出来、直径 60cm あまりの直径となっている。さらにこれら 3 枚のホイールがひとつの箱に入ってユニット化され、2 チャンネル分作られている。ターレットを回すのは低温に対応した真空モーターであり、ゼネバギアによって回転

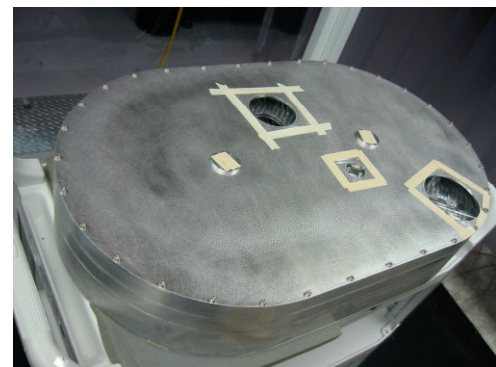


図 2. ターレットユニット

させる。ネジとベアリング以外はすべてアルミ製であり、1チャンネルにつき50Kgあまりの大きな内容物になってしまった。幅60cm以上、高さ20cmの大きさの物を入れる実験用の大型デュアーは無く、低温(ここでは真空での液体窒素温度、約77K)での動作確認が出来るのは、本体デュアーの中だけであった。

1.3 ターレットのベアリングについて

かねてよりフィルターターレットに使用されるベアリング(Kaydon製KC050XP0)については、低温で動かないであろうという予想もされていた。しかし、シカゴ大学で同じ型番のベアリングが動いたという実績があり、まったく可能性が無いわけでもないので改良を施しつつ動作させることを目指した。

2 実験と改良

2.1 低温動作実験1(全体冷却試験・8月、1ch)

ターレットユニットが納入されて初めての低温動作試験を行った。この試験の主目的は、そもそもメインデュアーの中身が冷えるかどうかの試験であったので、ターレットが動くかどうかは、低温になってから行った。片側1チャンネルの試験を行った。

【結果と次の方針】: モーターの動作音は聞こえたが、ターレットは固まって動かなかった。常温に戻るときに120K付近から回り始めた。この時点では原因がよくわからなかったので、ターレット単独で試験をすることにした。

2.2 低温動作実験2(ターレットホイール単独試験)

実験用デュアーにターレットユニットは入らなかったため、ホイールとモーターだけで現象が再現できるように治具を作り、低温で実験を行った。上下をさかさまにもしてみた。

【結果と次の方針】: 低温下(72K)でもターレットは回っていた。ユニットに入っている時の現象の再現は出来なかった。次は再びユニットでの冷却試験で確認することにした。

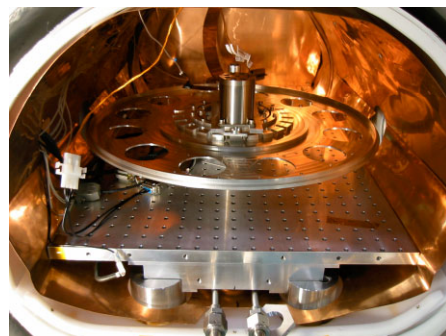


図3. ホイール単独試験

2.3 低温動作実験3(全体冷却試験・10月、2ch同時)

また全体冷却実験の最後に時間をもらって回転試験を行った。全体冷却試験の主目的は光学系の試験だったので、それが終わってからの回転試験だった。2チャンネルともモーターを取り付けた。

【結果と次の方針】: モーターの回転の音はしたが、ターレットはやはり回転はしなかった。常温に戻ったら回転した。ベアリングが怪しいので、ベアリングだけ液体窒素につけてみる実験をした。

2.4 低温動作実験4(液体窒素試験):

ベアリングとハブを液体窒素に漬けてみた。完全に漬かったあと、窒素沸騰の泡が出なくなるのを待って、外に取り出して回してみた。

- ベアリングのみ単独
- ベアリングとハブ

【結果】: ベアリングのみの場合、スムーズに回った。ベアリングとハブの場合、ベアリングがハブに噛み付いて回らなくなった。これはハブに厚みがあって液面より外に出ていたため、ハブの温度が高かったためで、

全部を完全に沈めたらベアリングとハブはゆるくなって外れた。

【考察】: ここで、ベアリングとハブが噛み付く現象が見られた。両方とも低温下では収縮率の違いにより緩む方向となるはずが、ハブの方の温度が高かったためにベアリングがハブを締め付けてベアリング自体力が加わって回転できなくなった。結果収縮率の差が動作不良につながるのではないかと疑われた。収縮による変量の簡単な計算をしてみると、

膨張率の差 $((23.1-14.7)+(12.2-11.4))/2*193*10E-6=0.7E-3$

127 の円上でのアルミとステンレスの収縮量の差は約 **0.1mm**,
そこで、ホイールの内側を **0.2mm** だけ削って実験してみることにした。

表 1. 膨張率(x 10E-6) [1]

	@100K	@293K
アルミ	12.2	23.1
ステンレス	11.4	14.7

2.5 低温動作実験 5(改変 MOIRCS デュアー内試験)

1 チャンネル側のホイールの内側を 3 つすべて **0.2mm** 削って、2 チャンネル側との差を見ることにした。

【結果】: 全体冷却試験に比べ、冷えが悪いので苦労したが、**90K** 付近で差が見られた。1 チャンネル目はすべてのホイールが回っているのに対して、2 チャンネル目はすべてのホイールが止まっていた。明らかに改良の効果が見られた。

2.6 低温動作実験 6(全体冷却試験・12月)

2 チャンネル側のホイールの内側も **0.2mm** 削り、全体冷却試験の最後で回転を行ってみた。

【結果】: 予想とは裏腹にすべてのホイールが回らなかった。モーターが回転しようとする音は聞こえた。

【考察】: 確かに前回の試験よりも温度が下がっているが、また別の原因も検討してみる必要も出てきた。ただし、この時点でホイール内径をさらに削ること以外に有効な手立てを考えつかなかったため、またホイールだけの単独実験をすることにした。

2.7 低温動作実験 7(液体窒素試験)

今度はホイール全体を液体窒素で冷やす実験を行った。発泡スチロールで **1m x 2m x 0.4m** の箱を作り、その中に液体窒素を溜めてホイールを完全に沈めた。ベアリングのクランプが収縮の邪魔をしているのではないかと疑った。また、リテナーが締め付けすぎているのではないかと疑った。ホイールの有無、クランプの有無、リテナーの切断、ホイールの内径や溝を削り、色々なパラメータを変えて実験をしてみた。

【結果】: 以下の表のようになった。特にホイールの内径と溝を深く削ったので、ベアリングとホイールのハメアイは常温ではガタガタとなった。しかし、低温下ではしっかりと収まっているようだった。

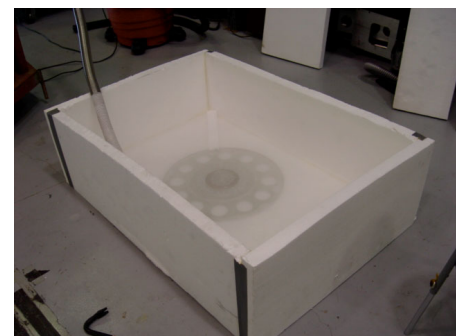


図 4. 液体窒素漬け試験

表 2. ホイール実験結果

リテナー	ホイール	ハブ	クランプ外側	内側	ホイール内径	溝深さ	回転具合	備考
通常			硬締	硬締	OR+0.4	OR-0.1	×	
通常				硬締	OR+0.4	OR-0.1	×	
通常					OR+0.4	OR-0.1	×	
通常				硬締			×	要検討
通常								
切断								
切断			硬締	緩締	OR+0.6	OR+0.1		
通常			硬締	緩締	OR+0.6	OR+0.1		

3 全体の考察：

現時点でまだ結論は出ていないが、低温でのベアリングの挙動について以下のような傾向があるように見受けられる。

- ・ アルミとの収縮率の差によりベアリングが内径方向、クランプ方向ともに締め付けられる。
- ・ 収縮によりベアリングの玉と外輪、内輪の大きさに差が出て回転が少々きつくなる。
- ・ 収縮により外輪、内輪に変形が起こる。
- ・ リテナーが内輪側に寄る。

また、これを踏まえて以下の様な改良項目が予想される。

- ・ 低温下でのベアリングは常温でのベアリングより玉を小さくしたほうがよい。
- ・ ベアリングは適度なクリアランスが必要。低温下では少しの締め付けでも動かなくなる可能性が高い。
- ・ 収縮率の差は計算の5倍くらいは見えておいたほうがよい。

4 今後の予定：

全体冷却試験、1/1000”程度玉を小さくした特注のベアリングを使ってみる。

参考文献

- [1] 理科年表 2003 年版、丸善