

鹿児島大学 1m 望遠鏡に搭載する近赤外 3 バンド同時撮像装置の開発

西森 健文 (鹿児島大学大学院 理工学研究科)

Abstract

私は、鹿児島大学 1m 望遠鏡に導入する近赤外線カメラ (新赤外カメラ) の開発を行っている。現在の赤外カメラはフィルターホイールを回転させることで J(1.2 μm), H(1.6 μm), K(2.2 μm) の 3 バンドを別々に撮像している。しかし、新赤外カメラでは HAWAII アレイを 3 つ搭載し、ダイクロイックミラーを用いて光束を 3 つに分けることで、J、H、K の 3 バンド同時撮像を行うことができる。よって、この新赤外カメラは、現在の赤外カメラに比べ観測時間が 1/3 になり、さらに、フィルターが固定されるためトラブルも少なくなると考えられる。

近赤外観測装置は検出器の暗電流、光学系の熱輻射を減らすために装置内部を冷却する必要がある、そのためには装置内部を真空にする必要がある。そこで私はこれまで、この新赤外カメラにおいて以下の 3 つのことを行ってきた。1 つ目は耐圧シミュレーションを行った。耐圧シミュレーションでは装置外壁にかかる応力、変位量を有限要素法を用いて求めた。その結果、応力は降伏の強さを下回り、変位量は 33 μm と非常に小さいため観測装置として問題ないことを確認した。また、変位量は実際に測定し、シミュレーションの結果と 10 μm の差で一致することを確認した。2 つ目は冷凍機を装置内部が無負荷の状態で作動させる実験を行った。その結果、冷凍機コールドヘッドは 27.5 K となり冷凍能力曲線の推定値と 1K 程度の差で一致した。3 つ目は装置内部の熱計算を行った、まず装置外部からの熱流入を 21.1 W と見積もり、その値を用いて、冷凍機稼動時に検出器が 70K、光学系が 100 K を実現できることを確認した。今後は装置内部の設計を進め、来年夏の完成を目指す。

1 新赤外カメラの説明

ダイクロイックミラーを用いた J(1.26 μm), H(1.62 μm), K(2.15 μm) 3 バンド同時撮像
構造: 真空容器・コールドボックスの二重構造
光学系: F 変換レンズ+offner リレー光学系
検出器: HAWAII アレイ \times 3
視野: 5.5' (512 \times 512 pixel)
ピクセルスケール: 0.6"
最終 F 値: F6

2 研究の目的

近赤外天体観測装置は検出器の暗電流、装置自身の熱輻射を抑制するために装置内部を 75K 程度に冷却し、真空に必要がある。そこで、真空容器が大気圧に耐えられる構造にするための強度計算、実際の真空容器を用いた変位の測定、また、検出器、コールドボックスを適切な温度に冷却するために熱計算を行い、無負荷の状態での冷凍機の到達温度を測定した。

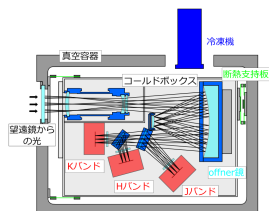


図 1: 新赤外カメラ

3 Results

3.1 強度計算・変位測定

真空容器は大気圧に耐えられる構造でなければならない。一般に、材料力学では、構造部材を”はり”という

モデルを用いて考える。

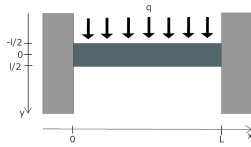


図 2: はりモデル

$$\frac{d^2 M(x)}{dx^2} = -q, \frac{d^2 w(x)}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI(x)}, \sigma(x) = \frac{M(x)}{I(x)} y$$

- ここで、 $M(x)$: 曲げモーメント [$N \cdot m$]
- q : 等分布荷重 [N/m]
- E : ヤング率 [Pa]
- $I(x)$: 断面二次モーメント [m^4]
- $w(x)$: たわみ量 [m]
- $\sigma(x)$: 応力 [N/m^2]
- L : はりの長さ [m]

この式を解析的に解くと、応力は $x=0, L$ で最大、変位は $x=L/2$ で最大となる。この応力が材料特有の降伏の強さを超えると材料として破断してしまう。よって、真空容器はすべての面で応力が降伏の強さを超えないようにする必要がある。

実際の真空容器は、はりのような単純な構造になっていない。よって、3次元 CAD の強度計算ソフトを用いて、強度シミュレーションを行った。強度シミュレーションは有限要素法をもちいている。

3.1.1 シミュレーション結果

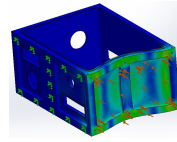


図 3: 応力シミュレーション結果

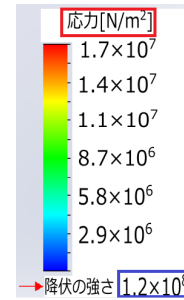


図 4: 応力シミュレーション数値

KN500 の降伏の強さ: $1.2 \times 10^8 [N/m^2]$, 最大応力: $1.7 \times 10^7 [N/m^2]$
よって、降伏の強さが最大応力の 7 倍であることから、真空容器の強度に問題はないと考えられる。

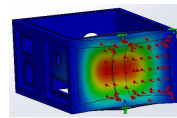


図 5: 変位シミュレーション結果

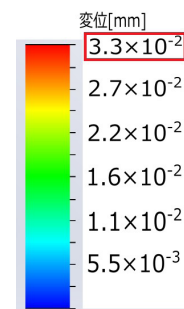


図 6: 変位シミュレーション数値

最大変位: $33 [\mu m]$

よって、最大変位は十分小さい値であり、装置内部に影響を与えることはないと考えられる。

3.1.2 測定結果

実際の測定ではダイヤルゲージを用いて変位の測定を行った。測定位置は最も変位が大きいと考えられる壁の中心である。



図 7: 変位測定

測定結果

変位: $19[\mu\text{m}]$

すべての面について同様のシミュレーションを行い問題ないことを確認した。以上の結果より真空容器は大気圧に耐えられる強度を持ち、変位についても十分小さいことから問題ないと考えられる。

3.2 熱計算・冷凍機到達温度

3.2.1 熱流入

適正冷却温度・冷却目的

- ・コールドボックス (100K): コールドボックス内壁からの熱輻射を抑制するため
- ・検出器 (75K): 検出器自身の熱による暗電流を抑制するため

コールドボックス・検出器を適切な温度に冷却するためには、可能な限り熱の流入を減らし、流入してきた熱は冷却システムを用いて取り除く必要がある。熱流入には、3つの要因(熱伝導・熱輻射・対流)がある、それぞれについて計算した。

21.1W の熱負荷のとき、アルバック冷凍機 RMS10 の到達温度は 40K になる。(右上図) この冷凍機を用いることで、熱収支として目標温度 (75K) に冷却するには十分余裕がある考えられる。

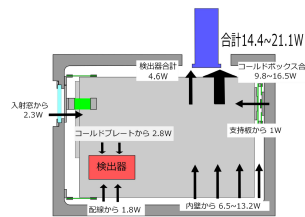


図 8: 熱流入

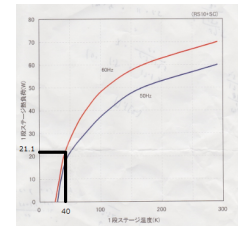


図 9: 冷凍能力曲線

冷却システム

コールドボックス、検出器を適切な温度にするための冷却システムを考える。冷凍機のコールドヘッドに直接接触させると温度を下げすぎてしまうため、コールドボックスと冷凍機間の熱の流れを調整する”熱パス”を用いて、適度な温度にする。



図 10: 熱パス

3.2.2 冷凍機到達温度

冷凍機を無負荷の状態で作動させ、白金抵抗温度計を用いてコールドヘッドの温度を測定した。

測定結果

コールドヘッド温度: $27[\text{K}]$

これは冷凍能力曲線が無負荷の状態では $26[\text{K}]$ となることとほぼ一致している。

4 議論 & 今後の課題

以上の結果より、真空容器の強度に問題はなく、コールドボックス、検出器は観測に支障がない温度に冷却できると考えられる。また、真空容器の変位、コールドヘッド温度は予想されていた値とほぼ一致した。今後は、熱収縮による光学像の変化などを中心に進め、カメラの完成を目標に取り組んでいく。

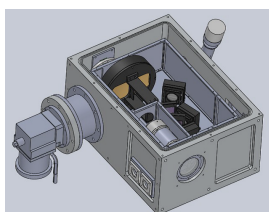


図 11: 完成予定

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04)
及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。