

大学共同利用機関法人自然科学機構

国立天文台殿

超広視野初期宇宙探査ミッション

(WISH)

フリップ式フィルター交換機構設計

設計検討書及び図面

有限会社 オービタルエンジニアリング

1. 設計の目的

国立天文台ハワイ観測所では、JAXA宇宙科学研究本部の宇宙理学委員会により2008年9月に認められたWISHワーキンググループの下に、波長1-5ミクロンの近・中間赤外線における超広視野カメラ(Wide-field Imaging Surveyor for High-redshift; 略称WISH)の開発を進めている。

現在の光学設計では、目標視野1,000平方分にわたって、星像はほぼ回折限界、ストレール比1を達成しており、視野の形は外形直径約400mmのドーナツ状になる。

視野全体を1枚で覆う径400mmの赤外フィルターの製作可能性、および宇宙でのフィルター交換機構の安全性(フィルターのスタックはミッション全体の終了を意味する)を考えると、検出器ごとに、必要な数(8枚程度)の小さな(径80mm程度)フィルターを割り当てる機構を検討することが必要である。

検出器の4辺それぞれに、光軸方向に前後にフィルターを保持し、使用するフィルターが像面と平行になるように倒す機構を設けることで、8枚のフィルターの使用が実現可能である(以下、この機構をフリップ式フィルター交換機構と呼ぶ)。しかし、このフリップ式フィルター交換機構では、各検出器の4辺に、その機構を配置する場所が必要となる上に、フィルターの配置場所では光線が傾いているため、検出器を隙間なく敷き詰めることが原理的に不可能である。

これまでの検討で、この機構部分の大きさが、最終的に得られる視野の広さに大きく影響することがわかっており、10mmを目標に、最大15mm以下に抑える様に設計を行う必要がある。

本設計検討書及び図面は、このフリップ式フィルター交換機構の機械的成立性、および大きさを検証し、フリップ式フィルター交換機構の設計検討を行ったものである。

2. 設計条件

設計にあたっては、下記仕様を満足する事を前提の上に、フィルタ周囲の機械部分を可能な限り小型化するように設計を行った。

- A) 添付資料に示すようにフィルターを駆動させること。
- B) 打ち上げの際の加速度に耐えうるフィルター保持方法が可能なこと。
- C) 宇宙での極低温・真空中においても保持・駆動が可能なこと。
- D) 現在、想定しているフィルター材(合成石英、BK7ガラス、シリコン)のすべてに対して保持・駆動可能なこと。

3. 設計内容

本設計検討は将来衛星へのクラスタ化実装（16～20台）における実現性を考慮しつつ、開発計画において実施予定である、モジュール単体開発試作試験の供試体となるハードウェアの試作を目的としたものである。

（上記により、別途試作供与品の寸法に合致したフィルタガラスの寸法、ロンチロック機構の選定、配置等は、実際の衛星搭載時と一部異なる仕様となっている）

3. 設計結果及び図面

3. 1 概要

図1に概観図を示す。

本図は、打上時のコンフィギュレーション（フィルタ不使用の光路オープン状態）を示したものである。

図に示すように、4枚の角形フィルタガラスが、開口部（光路）を壁状に取り囲むように配置されたコンフィギュレーションとなっている。

また、周囲には、各フィルタを開閉駆動する為の、モータ、減速ギアからなるアクチュエータ、ロンチロック機構、及び解放動作用のアクチュエータが配置されている。

図2に、軌道上における外観図を示す。

図1の状態から、ロンチロックが解放され、また、使用されるフィルタが壁面から倒れ、開口部（光路）を覆う状態となっている。（CASE A と、CASE B は使用状態のフィルタが異なるものである）

3. 2 形状及び寸法

図3-1に各方向から見た見取り図を示す。

図3-2に平面図（4面図）を示す。

図に示すとおり、ほぼ鏡面对称形状となっている。

（厳密にはフィルタ光路方向の高さが若干異なるため、完全な鏡面对称ではない）

図は、打上時コンフィギュレーションのものである。

また、衛星搭載時のクラスタ化のコンフィギュレーションにより、開口部の

何れの側からも入光可能な構造となっている。

図3-3に、主要寸法を示す。

本主要寸法は、本設計後に予定されている試作モデル製造において、支給予定のフィルタガラス（□80mm 厚さ5mm）の寸法をベースとしたものである。

なお、微少なフィルタガラス寸法の変化に際しては、主要寸法はほぼ線形に増減すると考えられる。

フィルタ開閉駆動用アクチュエータ部の寸法は現時点では参考寸法であり、今後、熱設計上の断熱要求により本体からの距離が増減する可能性がある。

同様に、ロンチロック解放用のアクチュエータの寸法も暫定的なものであり、開発試験の計画により試作モデル製造時には異なる仕様選定となる可能性がある。

また、衛星搭載用クラスタ化実装時においても同様に変更される可能性がある。

4. フィルタガラスの実装設計

(1) フィルタガラス装着位置及び光路寸法

図4に、フィルタガラスの実装状態、及び機能部の詳細寸法を示す。

図に示すように、フィルタガラスサイズは□80mm、フィルタ厚さは、5mmを前提としている。

なお、図示のとおり、フィルタガラスサイズは実体寸法であり、枠状のフィルタフレームに実装された状態の実開口寸法は、□79mmとなっている。

また、開口部から4度の広がり度で光路が拡大確保されている。

なお、4度の光路拡大についてはクラスタ化実装のコンフィギュレーションによっては必要無くなる可能性も有るが、現時点では安全側の設計となっている。

(2) フィルタガラス固定方法

フィルタガラスは、金属製のフレームのコの字状の溝の中に、同じくコの字状のチャンネル材形状のテフロン製クランプを介して、嵌めこまれるように固定されている。

また、金属製フレームの材質は、フィルタガラスの各材質に対応して熱膨張率の近い材質を使用する。

組合せとしては以下の物が考えられるが、

- (A) BK7 → 高強度チタン合金 (Ti-6Al-4V)
- (B) 合成石英 → スーパーインバー (FN315)
- (C) シリコン → インバー (FN36)

組立時から軌道上観測時までの200℃以上の温度低下により、上記何れの組合せにおいても、テフロンクランプ部の収縮が大きく、フィルタガラスの嵌め合いは軌道上観測時において、面内方向、厚さ方向ともに緩む方向に変化する。

これにより、打上時の荷重負荷時にはガタが生じない高強度のタイトな嵌め合いを確保し、軌道上ではフィルタガラスを変形させない様に緩む設計となっている（フィルタの位置精度要求が低いため、軌道上で緩みが問題となる事はない）。

しかしながら、極低温において特性が特異に変化するもの、また、極低温下における公的データが存在しない材料もあるため、さらに詳細な検討を行い、必要に応じて材料測定を実施する。

(3) 機構部寸法

フィルタガラス外側の機構部寸法は、図に示すように、アクチュエータ、ロンチロック機構の無い直交2面で 15 mm となっている。

また、開閉駆動用アクチュエータ（ステップモータ＋ハーモニックドライブ減速ギア）、ロンチロック機構及び解放動作用アクチュエータ（形状記憶合金トリガ式電動ピンプラー）側の直交2面の寸法は、（アクチュエータ自身の寸法を除いて） 36 mm である。

目標値の10 mmは難しく、15 mmの限界寸法となっており、また2面のみの寸法確保となっているが、後述するようにクラスタ化の工夫により高密度の実装が可能であり、実現可能な設計であると考えられる。

なお、目標値の10 mmに近づけると、フィルタフレームが弱くなり、フィルタガラスを支える事が困難になる（実質的にフィルタガラス自身が荷重を支えることになる）。

フィルタガラスのみで（金属枠無しの方持ち支持で）荷重を支持できる可能性は皆無ではないが、厳密な振動荷重の評価が必要であり、また、極低温で安定し、200℃に及ぶ温度差でフィルタガラスに熱変形ストレスを与えない強固な接着剤が必須となり、現時点では実現性を確立できないため、本設計においては採用していない。

5. 各部の詳細構造および図面

5. 1 全体構成図

図5-1に分解図（全体図）を示す。

図に示す様に、

- (1) フィルタ、ASSY：4個
- (2) アクチュエータ、ASSY：4個
- (3) ロックビーム、ASSY：2個
- (4) ブラケット、ベアリング：4種各1個（合計4個）
- (5) シャーシ：1個

の各部から構成されている。

構成部（ASSY）は同型のものが多く、単純な構造となっている。

5. 2 フィルタ部の構造

図5-2にフィルタ、ASSYの分解図を示す。

金属製のフレームにフィルタガラスが、テフロン製のクランプ材を介して挟み込まれる構造となっている。

また、フレームには展開ヒンジ用のシャフトが固定されている。

5. 3 アクチュエータ部の構造

図5-3に、アクチュエータ、ASSYの分解図を示す。

宇宙実績の有る既開発品の□20mmステッピングモータに、1/100の大減速比を有する小型ハーモニックドライブ減速ギア（宇宙化可能品）を組み合わせて使用する。

フィルタ部と断熱し、動作温度を高く保つために、駆動シャフト、支持構造ともに低熱伝導率素材を使用し、またアイソレータ形状の設計としている。

5. 4 ロンチロック部の構造

図5-4にロックビーム、ASSYの分解図を示す。

国内外で多数の使用実績を有する形状記憶合金トリガ方式の電動アクチュエータ（ピンプラー）により、ヒンジシャフトのレバーロックを解除する単純な構造となっている。

また、ロック部には、ニードルベアリングを使用した、カムフォロアを使用し、信頼性を確保している。

5. 5 開閉機構部の構造

図6にフィルタ開閉機構部の詳細構造を示す。

図に示すように、ヒンジの軸受け部は、テフロンスリーブを使用した固体潤滑である。

本方式は転がり軸受（ボールベアリング）より小型で極低温での安定性、低速での摩擦特性に優れ、金属面に固体潤滑剤を塗布したものよりも耐摩耗性に優れている。

また、テフロン熱変形（収縮）により、打上時にタイトな軸との隙間が軌道上観測時の極低温下において緩むことになり、安全性が高い点に大きな利点がある。

アクチュエータ側のシャフトにはロンチロック用のレバーが一体化されている。

シャーシ、及び、ベアリングブラケットは、低熱膨張合金のスーパーインバーを使用している。

5. 6 ロンチロック機構部の構造

図7にロンチロック機構部の構造と機構動作を示す。

ピンプラーの引き込み動作により、ストップレバーをレバーロックとの間に挟んで押さえつけていたロックビームが外れ、フィルタが回転可能となる簡便な動作方式を採用している。

また、両端に装着したカムフォロア（ニードルベアリング付ローラ）により挟み込み接触部の摩擦を低減し、信頼性を確保している。

6. クラスタ化実装コンフィギュレーション

本フィルタ交換機構が衛星に搭載される場合には、本モジュールが多数（16～20台相当）クラスタ化された状態で搭載される。

図8に、クラスタ化実装の検討案を示す。

6. 1 高密度実装方法の検討

図に示すように、本設計の単体モジュール（フィルタ4枚）は、周囲2辺に、フィルタ動作用、ロックリリース用の機構、及びアクチュエータ類が突出しているため、これらが干渉して単純に並べて高密度に実装する事は難しい。

しかしながら、下記の方法により、図に示すように実用となる高密度化実装は可能と考えられる。

(1) 2連結合方式

- 2つのモジュールを結合し、直列となる開閉用アクチュエータ（モータ、ギア）を共用化する。
- 短編側（反モータ側）のロンチロック用アクチュエータ（ピンプラー）の位置を変更する。
- 上記2連結合モジュールを風車状に配置する。

(2) ダブルサイズフィルタ方式

- フィルタグラスを2枚分の長方形サイズとする

- 上記大型フィルタモジュールを風車状に配置する.

上記2案は、いずれも実現可能であるが、(1)の2連結方式の方が、より現行設計に近い技術で実現が可能であると考えられる。

6. 2 ロンチロック方式の改良

図に示すように多数のモジュールがクラスタ化された場合、現行設計（1モジュールに2台使用）のままでは、ロンチロック用のアクチュエータの数が増大しすぎるといった問題が生ずる。

しかし、図（右側）に示すように、パッシブ動作（スプリング式）をワイアにより連結し、1台のアクチュエータ（ラインカッター等）にて同時にリリース動作させる事が可能となる。

本方式は太陽電池パドル等を始め、宇宙用の保持解放機構としては極めてオーソドックスなものであり、信頼性も確立されているため、クラスタ化実装にあたっては必須の検討項目であると考えられる。

添付資料