WISH: 大型フィルター交換機構の開発

W38b

岩田 生 , 常田 佐久 (国立天文台), 近藤善信 (法政大), 岩村哲 (エム・アール・ジェイ), 山田亨 (東北大),
伊藤文成 (JAXA 宇宙科学研究本部), 田村友範 (国立天文台)

WISH 超広視野初期宇宙探査衛星 検討チーム

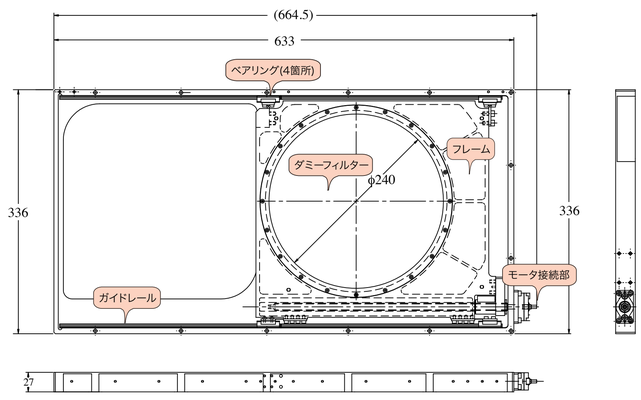
概要

WISH 計画では、宇宙望遠鏡用としては類をみない視野直径約 30 分角の超広視野近赤外カメラ (波長域 1-5μm、焦点面サイズ約 30cm) の搭載を検討している。現在の検討では、5 枚の広帯域フィルターを用いた多波長観測を実施する計画で、フィルターは衛星搭載品としては極めて大きなサイズのものが必要となる。このフィルターの交換およびカメラシャッターの実現が、WISH 計画における重要な技術的課題の一つである。我々は、従来のターレット式に比べ、大幅にコンパクトなスライド式のフィルター・シャッター交換機構を考案し、最初の段階として、冷却を考慮しない設計での試作を行った。この試作品に石英のダミーフィルターを装着した状態で、打ち上げ時を想定した振動試験、および真空環境でのフィルター交換動作の耐久試験を実施した。

振動試験では、液体ロケットによる打ち上げ時並みの振動を想定した正弦波加振、ランダム加振および衝撃試験を実施した。加振前後の共振周波数の変化から、加振に伴うボルトの緩みが見られたが、フィルター本体やベアリング、レール等の駆動機構の破損や深刻な変形は生じなかった。

耐久試験では、真空環境でのフィルター交換の往復動作を連続的に実施し、10 万回の往復動作を達成した。これらの試験から、大型フィルター交換機構の実現への一定の見通しが得られた。今後は低温環境に対応した設計、試作を進めていく。

スライド式フィルター交換機構試作品



材質 : フレーム部 : アルミ、ダミーフィルター : 合成石英 (φ250mm x 2 枚)、フィルター保持部 : テフロン
重量 : アルミ約 5kg+ フィルター 1.8kg
潤滑剤 : ドライコート

試作したフィルター交換機構は、フィルターを保持するフレーム部が、ベアリングを介してシャーシに保持されており、ボールネジで接続されたモータにより往復動作する構造になっている。

フィルター交換機構として一般的なターレット式に比べて、

・上下方向にスタックすることで、多数の複数のフィルターに対応することが可能で、その場合でも水平方向に要する面積が少なくて済む

というメリットがあり、WISH で検討しているような大型フィルターにおいては特に有効と考えられる。一方で、

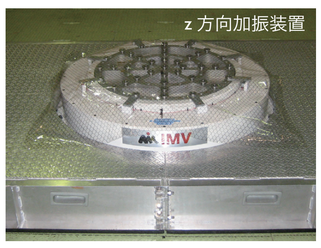
・ベアリングで 4 点が支持されており、ボールネジで駆動する構造のため、単純な 1 軸の回転運動のみで実現されるターレット式に比べ複雑で、特にシャーシの歪みがあると容易に駆動に問題が発生しうる

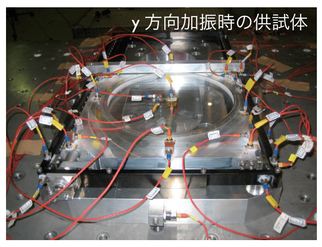
というデメリットがある。視野全面を覆う形状のため、このフィルター交換機構の動作不具合は、ミッション遂行に大きな影響を与えるので、この機構が十分な信頼性をもつようにすることが重要である。

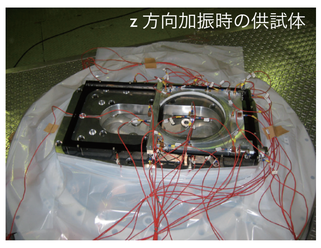
振動試験

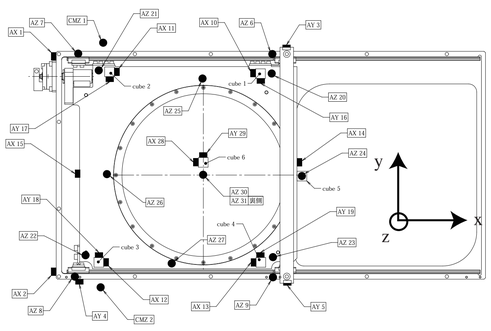
2008 年 1 月 28 日〜31 日
於 : JAXA 宇宙科学研究本部 振動試験設備

現時点では、衛星全体のサイズ・構造、フィルター交換機構の衛星内部での配置などが決まっていない。このため、液体ロケットでの一般的な加振レベルとして、European Cooperation for Space Standardization (ECSS) が発行した “Space Engineering” の試験に定義された加振レベルを基に、試験設備の仕様に合わせた若干の変更を加えた試験内容を実施した。









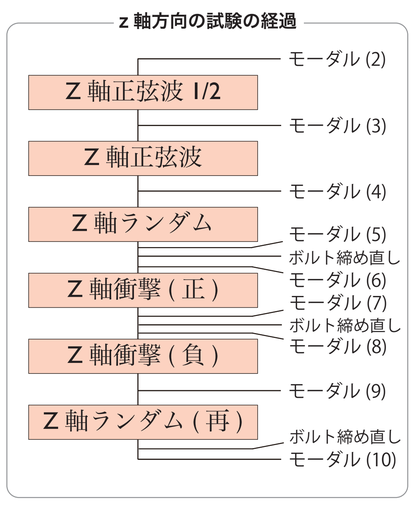
供試体上の加速度センサの配置。合計 31 箇所を測定した。

試験項目

・治具特性試験
・水平方向 (x,y 軸): 正弦波加振
・垂直方向 (z 軸): 正弦波加振、ランダム加振、衝撃試験
* 各試験の前後にモーダルサーベイを実施

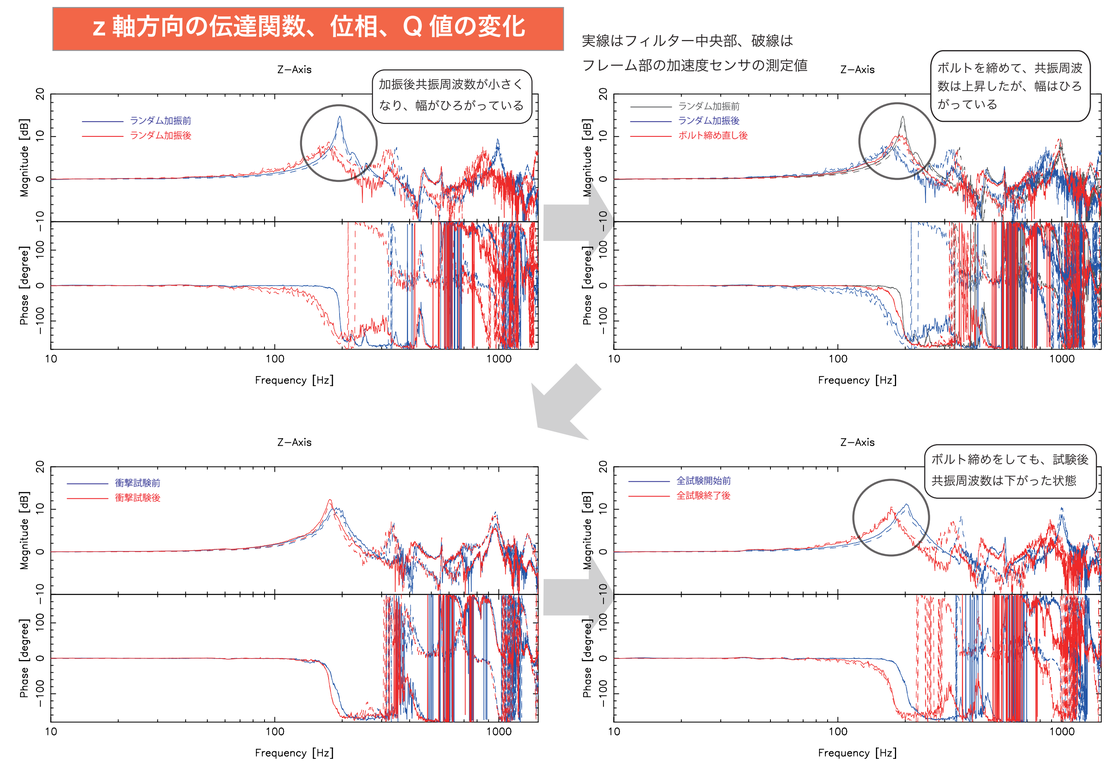
・モーダルサーベイ : 5-2,000 Hz, 0.5 G rms, 16 秒間
・正弦波加振 : 5-21 Hz: 15.4 mm (0-peak), 21-60 Hz: 14G, 60-100 Hz: 6G, 1 分 2 オクターブ
・ランダム加振 : オーバーオール 11.6 G rms, 60 秒間
・衝撃試験 : 40 G, 10msec, 正負各 1 回

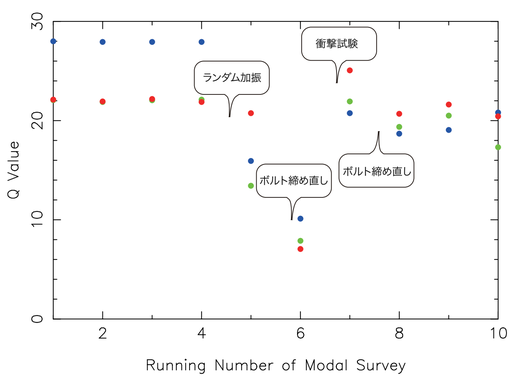
水平方向 2 軸、垂直方向の加振試験を実施したが、加振後に特に顕著な変化がみられた垂直 (z 軸) 方向の試験について結果を示す。



z 軸方向の伝達関数、位相、Q 値の変化

実線はフィルター中央部、破線はフレーム部の加速度センサの測定値





・正弦波加振までは伝達関数に変化がなかった。ランダム加振の後、共振周波数が落ちるとともに、Q 値が減少した。
・ボルトのゆるみを可能な範囲で締め直したが、完全に元の状態には戻らなかった。
・フィルターが保持しているテフロンが振動により変形している可能性がある。

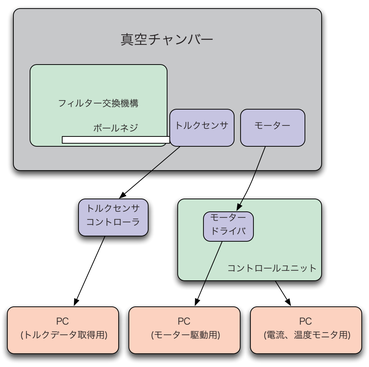
・液体ロケットを想定した加振、衝撃を加えたが、フィルターは破損せず、フィルターのスライド機構も機能した。
・ボルトの緩み、フィルター保持部の変形が観察されたので、改良を施す必要がある。今後、衛星構造検討の進展を受けてさらに試験を行う必要が出てくるであろう。

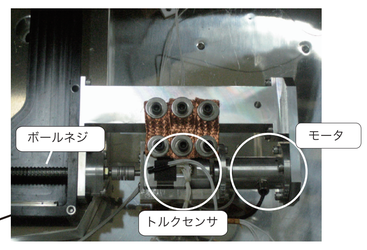
耐久性試験

2008 年 2 月〜11 月
於 : 国立天文台先端技術センター

国立天文台先端技術センターの中型チャンバー内に供試体を設置し、常温真空環境下で連続動作試験を実施した。往復回数の目標は 10 万回に設定した。これは、5 年のミッションライフタイムでの 1 枚のフィルター交換回数の予想を十分に上回るものである。

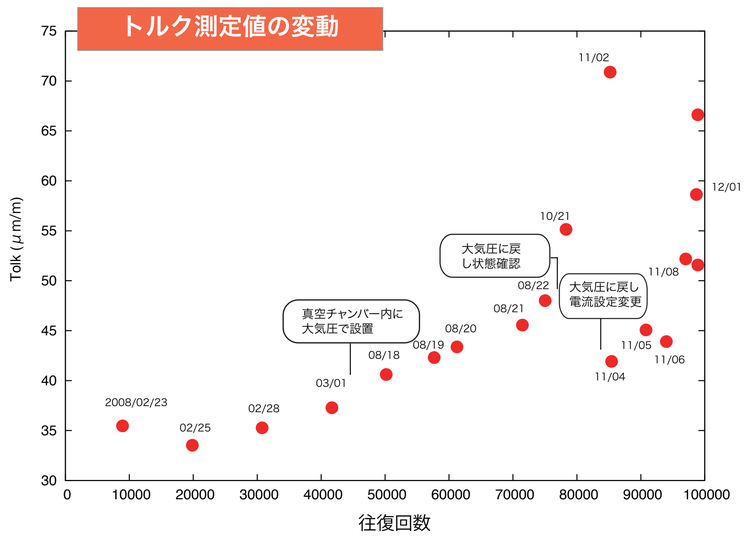
コンフィグレーション





モータからの発熱をシャーシに逃がすため、銅編線で接続している

トルク測定値の変動



往復回数の増加に伴い、徐々にトルクが上昇していく様子がとらえられた。潤滑剤がガイドレール上から徐々に失われていくことによるものと考えられる。往復回数が 8 万回に近づいたところで頻繁にモーターの脱調が発生するようになった。一旦大気圧に戻すと一時的にトルクが減少するがすぐに再び増加する。これは、大気圧になった際にアルミの酸化皮膜が形成されるが、往復動作ではがれるためと考えられる。

・およそ 10 万回の往復動作を達成した。
・潤滑剤の枯渇によるトルク増加が明瞭にとらえられた。今後冷却環境での試験に進むが、高信頼性の確保のためトルク増加を防ぐことが必要。

まとめと今後の展開

・試作したスライド式フィルター交換機構について、振動試験と耐久性試験を実施した。
・振動試験では、液体ロケットでの打ち上げを想定した加振、衝撃を加えたが、フィルターは破損せず、フィルターのスライド機構も機能した。
・耐久性試験では、ミッションライフタイムで想定される動作回数を超える約 10 万回の往復動作を達成した。
・WISH ミッションは冷却望遠鏡であり、100K 以下の低温環境での安定動作を実現する必要がある。2009 年度には現行の試作品での低温試験を行い、フィルターと駆動機構の温度勾配の調査などを行う。

・焦点面全体を覆う大型フィルターは、それ自体の製作性にも開発要素がある。また、複数フィルターの切替のために交換機構をスタックすることになるが、一台の不具合がミッションに深刻な影響を与えるリスクを考慮し、別の解として、個別の検出器 (現行案では 10 個の 4k x 4k アレイ検出器) の前に、倒立型のフィルター交換機構を設置する案を検討している。2009 年度からはこの方式の概念設計と試作も進め、大型スライド式と個別倒立式のどちらが実現性が高いか、検討していく予定である。

謝辞

・フィルター交換機構の設置用治具の設計にあたっては国立天文台先端技術センターの岡田則夫氏にアドバイスを頂きました。
・先端技術センター中型チャンバーでの耐久試験では、国立天文台天文情報センターの中桐正夫氏にご支援頂きました。