WISH超広視野初期宇宙探査衛星計画: フィルターシステムおよびフィルター試作

○ 矢部清人 (京都大学)、岩田 生 (国立天文台)、東谷千比呂、山田 亨 (東北大学)、 他WISH検討グループ

A. 概要

WISHは、口径I.5mの主鏡と視野直径約30分角の近赤外線カメラを搭載した宇宙望遠鏡衛星を2010年代中盤以降に打ち上げ、地上からは達成不可能な深さで非常に広域のサーベイを行なう計画である。

現在、我々はこの科学目標を達成するために最適なフィルターセットの検討を行っている。およそI- $5\mu m$ の波長域で6枚程度の広帯域フィルターを2種類仮定し、 $z \approx 8$ -I5のdropout銀河の期待される検出数を評価した。また、現在想定している光学系において、各フィルターセットについての検出限界を推定し、サーベイプランの議論を行なった。

また、フィルターセットの検討と平行して、宇宙での使用を目的とした大型近赤外フィルターの制作可能性を検証するための試作試験を進めている。これまでに、長波長側の3.2μm広帯域フィルターの試作を行い、WISHで想定されている80K程度までの冷却サイクル試験や、5年以上の運用期間中に宇宙線による性能の劣化が生じないかを検証するためのコバルト60によるγ線照射試験などを行った。その結果、これらの試験に対して概ね耐性を持つことが確認できた。

本ポスター講演では、これまでに行ってきたフィルターセットの検討および3.2μmフィルター試作試験の結果を報告する。

B. フィルターシステムの検討

フィルターセットの検討 Wavelength (microns) PEG/Sal/10Mar/Z=0.0.5.1.0Z_/E(B-V)=0-0.6 PEG/Sal/10Mar/Z=0.0.5.1.0Z_/E(B-V)=0-0.6

0.9~4.2 or 4.5μmを6枚でカバーするフィルターセットを考える。対数スペースで等間隔のSet3と,2μmまでを対数スペース等間隔でカバーし,>2μmは幅の広いフィルターとするSet 4を検討した。

Burrows Y-dwarf

Allard L-dwarf

SSP IGyr

Burrows T-dwarf

SSP SSP IGyr

O

Toward

Toward

O

Toward

Toward

O

Toward

O

Toward

To

モデルスペクトル分布を仮定してdropout銀河、 低赤方偏移の銀河、銀河系内の低温度星の予想 される色を二色図上にプロットする。グレーの 領域の銀河を選択すると、dropout銀河(左の例 ではz>8)を選ぶことができる。

(3-1) - (3-2)

(4-1) - (4-2)

(3-1) - (3-2)

(4-1) - (4-2)

(3-1) - (3-2)

(4-1) - (4-2)

(4-1) - (4-2)

(5et3: 0-drop(z=8-9)

Set3: 1-drop(z=11-12)

Set3: 2-drop(z=14-18)

Set4:2-drop(z=12)

Set4:3-drop(z=15-16)

Set4

率を考慮した上で、各フィルターについて28.0ABの限界等級のデータで期待される検出数を求めた。UV光度関数の進化を考慮すると、z~I5の銀河の検出にはI00平方度の広域サーベイが必要である。

測光誤差等による検出失敗の確

 マカ皮あたりの検出期待数
 大度関数進化あり
 光度関数進化なし

 Set 3:0-drop
 8-9
 1,690
 4,000
 Set 4:1

 Set 3:1-drop
 11-12
 104.2
 2,393
 Set 4:2

 Set 3:2-drop
 14-17
 0.723
 1,249
 Set 4:3

光度関数進化あり 光度関数進化なし Set 4:0-drop 3,522 *UV光度関数の進化 Set 4:1-drop 329.9 2,150 は、赤方偏移が大きい ほど典型的な明るさが Set 4:2-drop 12-13 暗くなる進化を考えた Set 4:3-drop 15-18 0.0567

検出限界とサーベイプラン

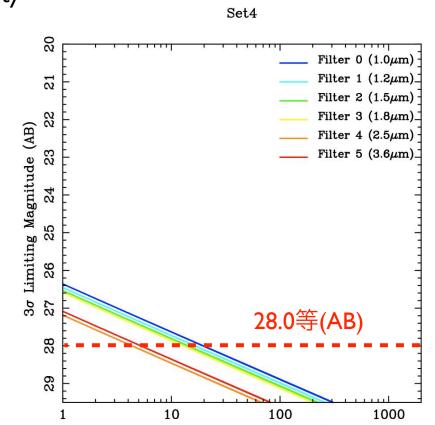
現在WISHで想定されている光学系に基づき、理想的な温度設計が達成出来た場合の検出限界を各フィルターセットについて推定した。

コンポーネント名	温度(K)	emissivity(%)	立体角 (str)
主鏡	100	5	0.036
副鏡	100	5	0.036
平面鏡(表面)	100	5	0.023
平面鏡(裏面)	100	5	0.16
第三鏡	100	5	0.057
フィルター	80	10	2.8
クライオスタット	80	10	2.8
スパイダー	100	90	4.5×10 ⁻³

各コンポーネントからの熱放射はgray bodyを仮定し、各積分時間で3σ限界等級(0.6"Φ)を求めた。検出器の効率は60%程度を仮定。また、フィルターに1×10⁻⁵リークがあると仮定している。

表BI. 各コンポーネントの温度とemissivity _{Set3}

28.0等(AB)



図BI. 積分時間に対する3σ限界等級(AB)

この見積りを元に28.0等(AB)までのサーベイプランを考えると、

Set3 Filter 1, 2, 3, 4で100平方度をサーベイする場合、約900日
 Set3 Filter 2, 3, 4で100平方度をサーベイする場合、約600日
 Set4 Filter 2, 3, 4, 5で100平方度をサーベイする場合、約1000日

z≃12-15の検出を目指す場合、Set4だとFilter 2,3,4,5が必要であるのに対し、Set3だと最低限Filter 2,3,4で済むことを考えると、Set3の方がサーベイ時間として有利であると考えられる。

C. 3.2µm広帯域フィルター試作試験

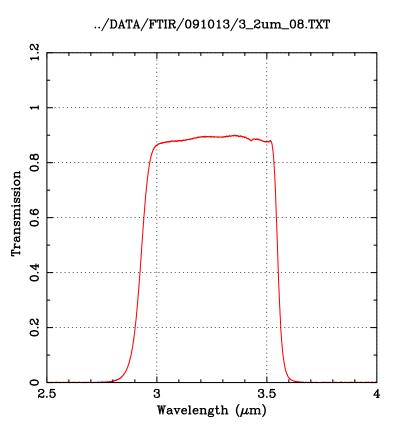
試作試験の概要

宇宙で使用可能な大型近赤外フィルターの制作を検討するにあたり、まず長波長側での試作試験を行った。今回中心波長 3.2μ m幅 0.6μ mの広帯域フィルターを試作した。このフィルターはSi基盤に膜を蒸着させた干渉フィルターでバンドパスフィルター(BPF)とカットフィルター(CUT)の2枚で1セットになっている。サイズは2枚で80mm x 80 mm x t10 mmで、これに加え25 mm Φ x t2 mmのテストピースも試作した。

今回、この試作フィルターに対し、透過率や表面精度などの測定や冷却サイクル試験や放射線試験などの耐性試験を行なった。



図CI. 80 mm角の製品フィルター (上)と25 mmΦのテストピース (下)



図C2. 常温での透過率。使用したFTIRの性質上透過率の絶対値には数%の不定性があることに注意 (以下同様)。

冷却サイクル試験

宇宙環境下での運用や打ち上げ時に起こりうる急激な温度変化に耐性を持つかを調べるため、冷却サイクル実験を 行なった。

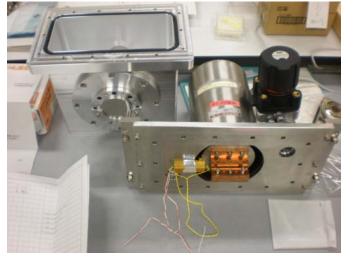
常温から80Kまで冷やし、その後常温に戻す温度変化をIサイクルとし、Iサイクル当たり4時間かけるものと2時間かけるものの2種類の実験を行なった。

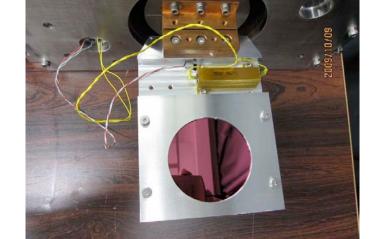
実験の方法は、真空を引いたデュワー内にフィルターを設置し、液体窒素に接触させながらヒーターで温度変化をコントロールすることで行なった。各サイクルについて、温度および真空度の変化は図C8の通り。

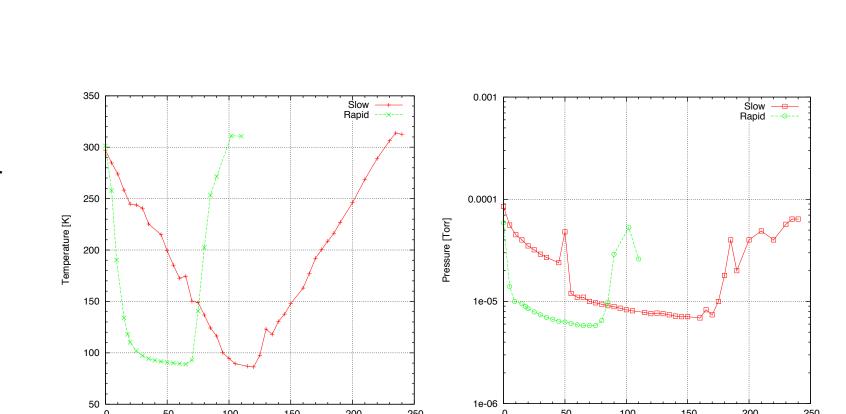
各サイクルの後に、目視およびテープ テストを行なったが、フィルター表面 および膜に異常は見られなかった。



図C7. (左上) 冷却サイクル実験の様子。(左下) 冷却サイクル実験に使用したデュワー。(右下) フィルターホルダーに収まったフィルター



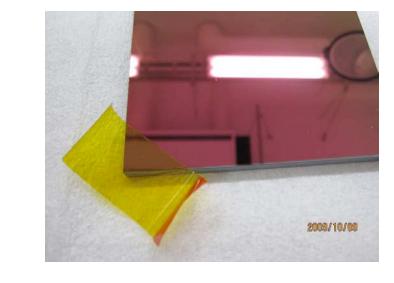




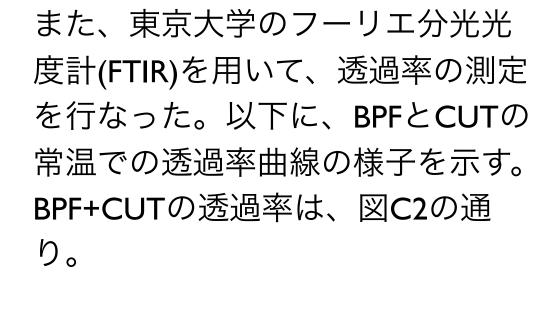
図C8. 冷却サイクルにおける温度変化および真空度変化。図中のSlowは4時間のサイクル、Rapidは2時間のサイクル。

納品検査/透過率測定/表面精度測定

試作フィルターの納品時にキズや膜の剥がれなどがないかどうかの検査を行なった。表面のキズの有無は目視確認で行ない、膜の剥がれの有無はテープテストで検査した。テープテストはフィルターの角部分に絶縁テープを貼り、それを剥がした時に膜の状態に変化がないかをみることで行なった。



図C3. テープテストの様子



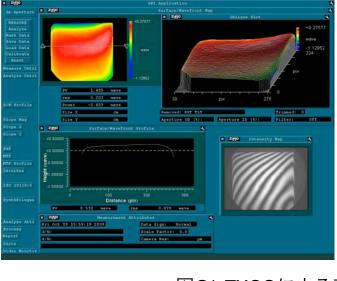


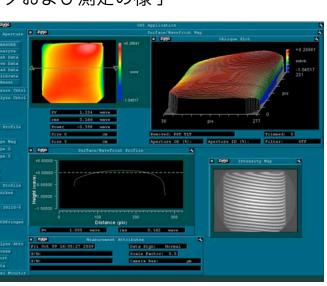
../DATA/FTIR/091016/3_2um_47.txt .../DATA/FTIR/091016/3_2um_79.txt

Wavelength (μm) Wavelength (μπ) Wavelength (



図C5. ZYGOのセッティングおよび測定の様子





図C6. ZYGOによる表面精度測定の結果

国立天文台先端技術センターのZYGO社GPIを用い BPFとCUTの両面に対し表面精度の測定を行なった。測定波長 λ =500 nmに対し、RMSで0.2-0.6 λ という結果になり、『光学研磨程度』という試作の条件を満たしていることを確認した。

納品検査の結果、重大なキズや膜の剥がれなどは見られなかった。透過率測定の結果、ほぼ仕様通りの透過率のフィルターが出来たことが分かった。また、表面精度も仕様通りに出来ている事が分かった。

ンド。

807/10/08



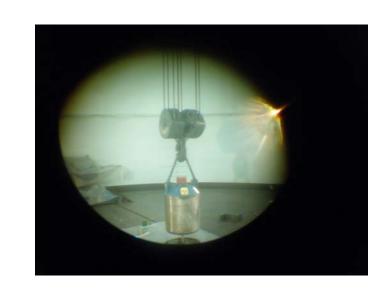
図**C9**. (左上) 液体窒素にじゃぶ 浸けする実験の様子。(右上)実験 直後のフィルターの様子。(左下) テープテストの様子。

更に急激な温度サイクルとして、 テストピースを液体窒素の中に直 接入れる実験を行なった。

約15分間液体窒素に浸した後、 フィルター表面の状態を目視確認 したが、異常は見られなかった。 また、テープテストの結果、膜に 異常は見られなかった。

放射線照射試験

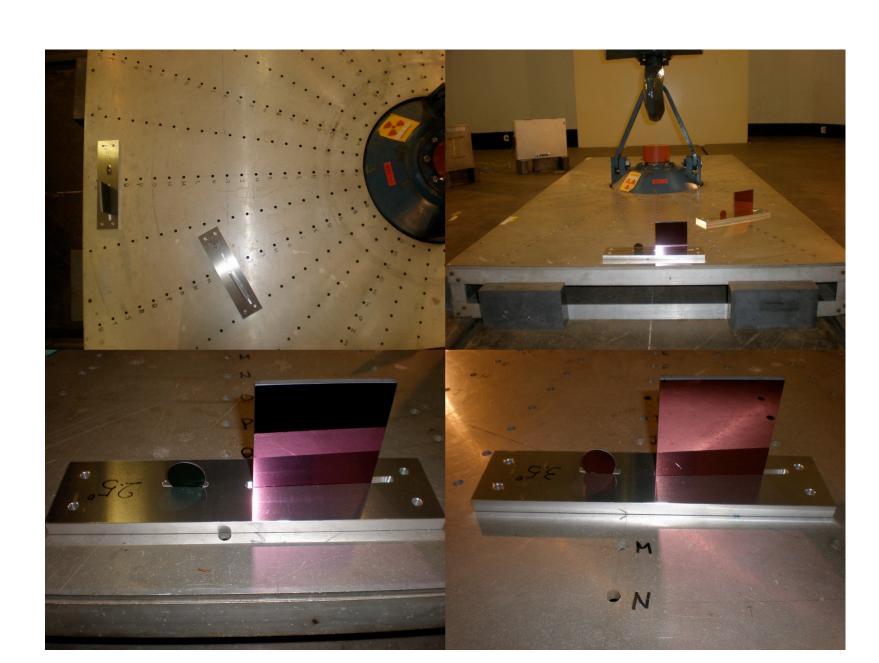
都立産業技術センター協力の元、コバルト60によるγ線照射試験を行った。 照射量はフィルターの放射線源からの距離で決まり、5時間で計7 kradと I4 kradの2種類を設定した。この照射量はL2点上での典型的な宇宙線量とエネ ルギーをそれぞれI0 prticles/cm2/sと300MeVと仮定した時の5年間(WISHが予 定するミッション期間)の放射線量に対応する。



図CII.放射線源が露出している様子。 中央やや下にフィルターと同じ高さに ある棒状の放射線源が見える。

目標の放射線量を照射した後に、フィルター表面を目視検査した結果、目立った変化はなかった。また、テープテストを実施した結果、表面の膜が剥がれるなどの現象は起こらなかった。

また、常温での透過率を測定した所、透過率曲線の形や波長範囲の変化などは見られなかった。



図CI0. 放射線試験の様子。(左上) 上から見たフィルターの配置。右側の球体が放射線源の位置に対応。(右上) 正面から見たフィルターの配置。(左下) 7 kradに対応する位置のフィルタースタンド 。(右下) I4 kradに対応する位置のフィルタースタ

D. まとめと今後の課題

WISHの科学目標を達成するために最適なフィルターセットの検討を行った。およそI- $5\mu m$ の波長域で6枚程度の広帯域フィルターを2種類仮定し、z=8-15のdropout銀河の期待される検出数を評価した。また、現在想定している光学系において、各フィルターセットについての検出限界を見積り、サーベイプランの議論を行なった。

また、長波長側の3.2μm広帯域フィルターの試作を行い、WISHで想定されている80K程度までの冷却サイクル試験や、5年分に相当する量のγ線照射試験などを行った。その結果、これらの試験に対して概ね耐性を持つことが確認できた。

今後、短波長側のフィルターの試作も含め、振動や曲げ応力 試験など更なる耐久試験を行う予定である。