

狭帯域チューナブル・フィルターの開発 ～製作についての報告～

木村剛一¹、一本潔¹、萩野正興²、仲谷善一¹、上野悟¹、
篠田一也²、原弘久²、末松芳法²、清水敏文³

¹京都大学理学研究科附属天文台、²国立天文台、³宇宙科学研究所

概要

将来の太陽観測衛星や地上観測において主力装置となる狭帯域フィルターの実現に向け、高波長分解能で短時間に可視-近赤外の波長シフトができる「狭帯域チューナブル・フィルター」開発プロジェクトについて担当した構造設計、組み立て作業などについて報告する。

1. はじめに

太陽観測衛星や高分解能地上望遠鏡による成果から、太陽大気はダイナミックなプラズマ運動で満たされている事が明らかとなり、さらなる現象の解析が必要となった。このような現象を観測するため、高時間分解能、広視野、高分解能で速度場および磁場のイメージング観測等が必要であることから新しい狭帯域チューナブル・フィルターを開発した。

今回開発したフィルターは、広視野観測で広帯域でのチューニングが可能で、太陽観測に必要な様々な波長で高速でのチューニングが可能な狭帯域チューナブル・フィルター（UTF: Universal Tunable Filter）を開発および観測に至るまでの経緯を説明する。

2. UTF の特徴

リオ・フィルターは偏光板と厚みの異なる複屈折結晶（方解石又は水晶）を交互に重ねることにより狭い波長範囲の光を取り出すものである。本フィルターは7つのブロックにより構成される。これらの各ブロックは入射角依存性を低減（広視野化）するための1/2波長板と、510-1100nmという広帯域での使用を可能とする広帯域偏光板、波長チューニング用の液晶遅延素子から構成される。我々は波長チューニング用素子として液晶可変遅延素子(LCVR: Liquid Crystal Variable Retarder)を用いることで、従来のリオ・フィルターには必要不可欠であった機械駆動部分と油槽を排除できた。今回の開発において油槽を排除する理由の一つとして素子回転、保持機構の可動部分より発生する金属粉と考えられる微粉末による素子汚染を防ぐということがある。



図 1 旧リオ・フィルター機械駆動部の汚れ（金属微粉末）と素子汚染状況

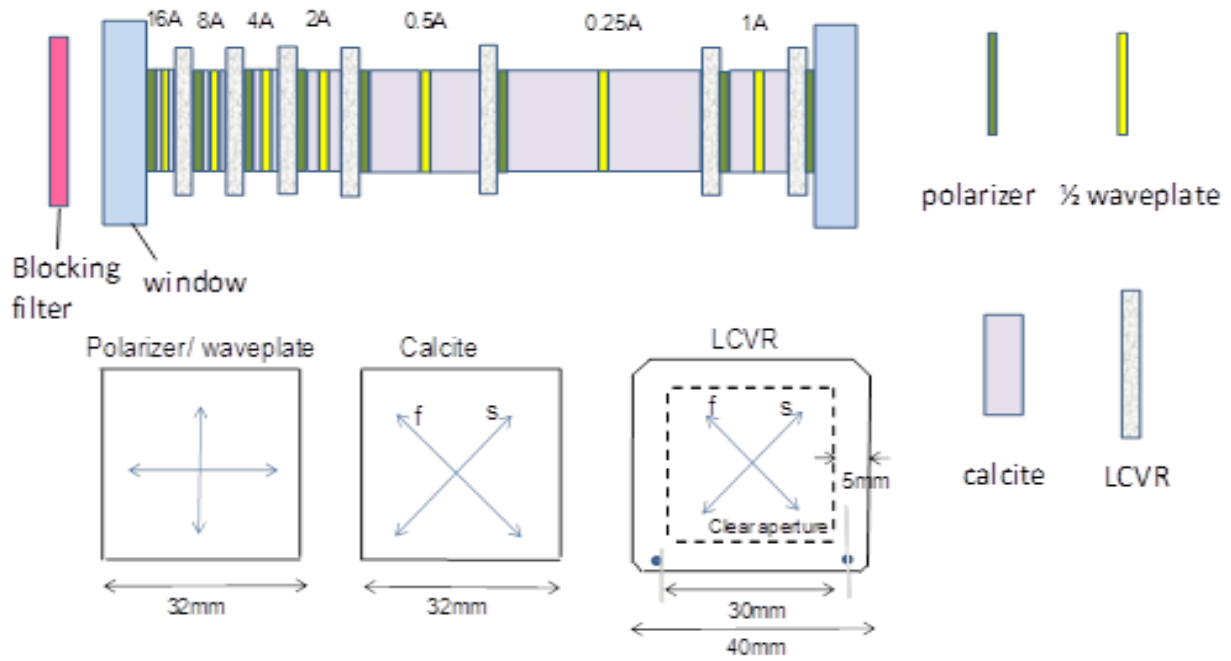


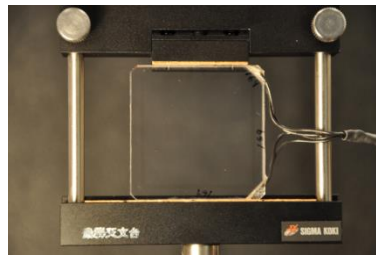
図 2 UTF の構造概念図

3. 素子の入手

今回製作した狭帯域チューナブル・フィルタはリオ・タイプのフィルタであり、主な光学素子として複屈折結晶（方解石）、液晶可変遅延素子、波長板、偏光板を使用する。



図 3 複屈折結晶【方解石】



液晶可変遅延素子



広帯域波長板（右）

4. 光学素子の検査と特性試験

入手した各種素子類は波面特性、偏光特性、表面のキズ調査等を実施、各素子の状況を把握し各種特性の良い物を選択し使用する。

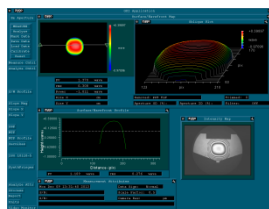
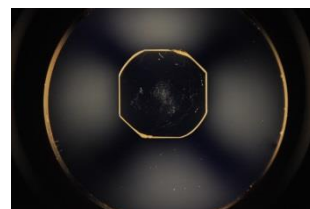


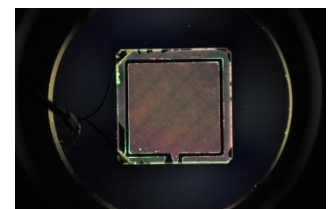
図 4 波面測定



偏光特性測定



素子傷状況確認



液晶状況確認

5. 組み立て作業

(1) 素子を専用ホルダに接着

UTF は各種サイズや形状の違う素子を 40 枚近く積層してそれぞれシリコンオイルによって貼り合わ

せ光軸上に正確に固定する必要があった。光学素子のみでは固定が不可能であるため素子固定用治具を製作し、扱いやすく且つ正確に積層可能な専用の治具を設計した。各種専用治具類製作は国立天文台先端技術センターに加工依頼した。

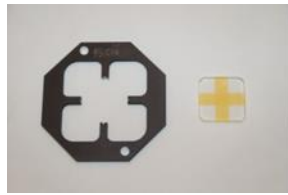
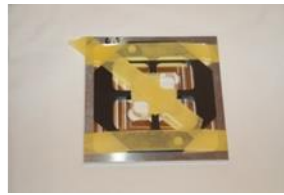


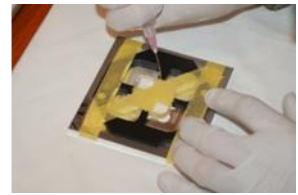
図 5 専用治具と素子



固定用治具にセット



テープで仮固定する



接着作業

(2) 組み立て作業

専用治具に接着された光学素子を積層する作業を行った。専用治具にガイドロッド用の穴をあけ、その穴にダミーのガイドロッド（プラスチック製）に通しつつシリコンオイル（東レダウコーニング SH200 10,000cs）を約 0.025ml 滴下し素子を重ねる。このシリコンオイルはそれぞれの素子の隙間を埋め、干渉縞の軽減する機能をもつ。専用治具のスパイダー部分には浸み出したシリコンオイルを吸収する紙片を挟み、一週間程度放置してなじませる。

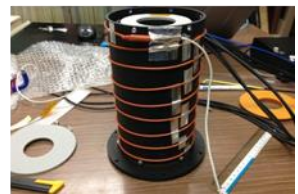
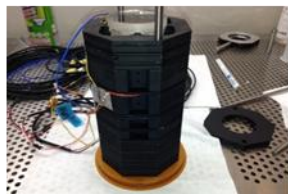
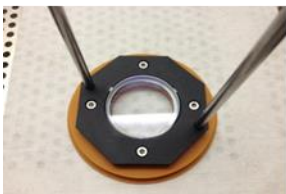
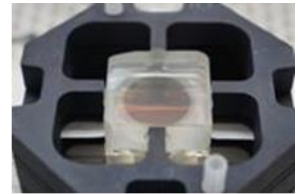
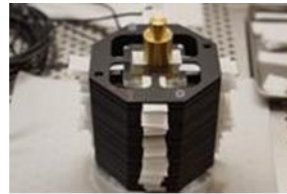
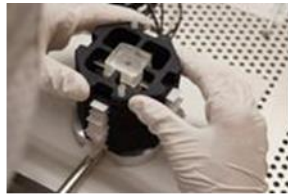


図 6 (上段左から右に向かって) オイル滴下状況 貼り合わせ 貼り合わせ完了 オイル拡散状況

(下段) 素子固定治具ガイドロッド 素子積層状況 内筒取り付け状況 ヒーター取り付け状況

オイルの最適な滴下量は、シリコンオイルの量が多いと光学素子を貼り合わせた後にシリコンオイルが光学素子全体に広がる時間が短縮できる。しかし、治具の外への染み出すシリコンオイルの量が多くなり、シリコンオイルが治具一面に汚れる。一方、シリコンオイルの量が少なすぎると光学素子全体にシリコンオイルが十分に広がるまでに長い時間がかかる。我々は試験片（32mmφガラス板）を用いて試験したところ、0.02ml 滴下したとき、貼り合わせ時間とシリコンオイルの漏れ出す量のバランスが最適である事が分かった。



図 7 右から 0.04ml, 0.03ml, 0.02ml, 0.005ml 滴下



貼り合わせ 26 時間経過後

6. 完成後の性能評価と活用状況

完成した UTF は地上太陽大型望遠鏡を用いた初めての観測として中国昆明市にある中国国家雲南

天文台の撫仙湖太陽観測所(FSO: Fuxian Solar Observatory)に 2015年1月18日から約2週間滞在し、口径1mの太陽望遠鏡(NVST: New Vacuum Solar Telescope)を用いて太陽彩層のイメージング観測を行った。

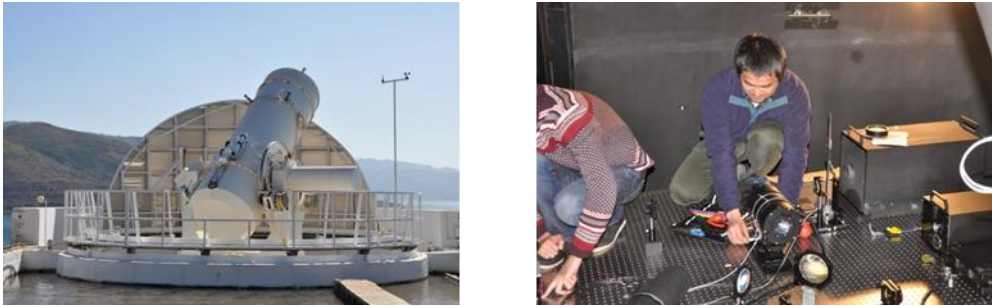


図 8 撫仙湖太陽観測所の1m太陽望遠鏡(NVST)とUTF設置作業

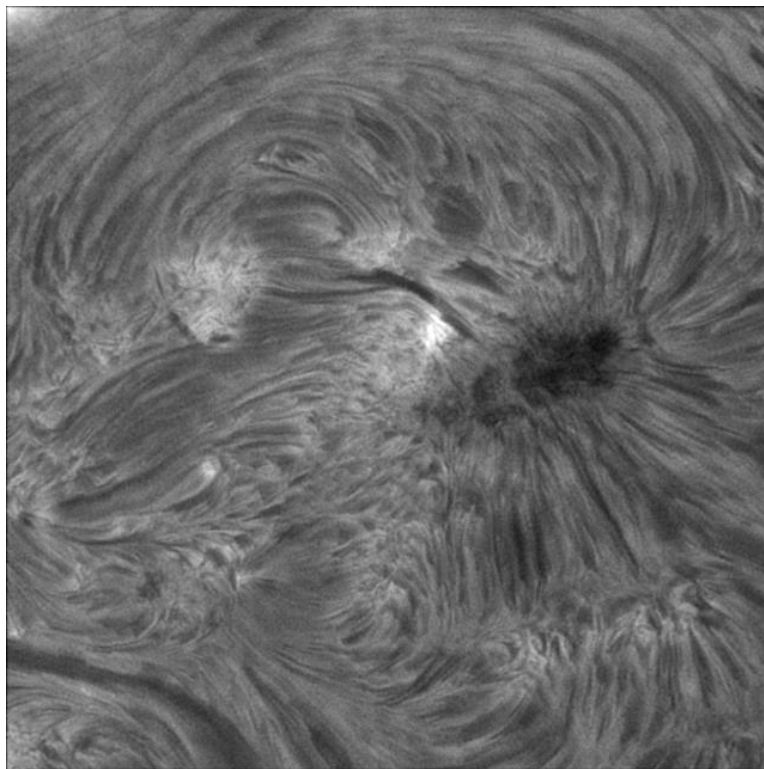


図 9 NVSTにて観測されたH α 線像

現在は京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡のスリットジョーを観測するために、定常的に使用されている。さらにUTFに広帯域の偏光ビームスプリッターを取り付けた。これにより、2台の高速撮像用CMOSカメラ(Hamamatsu Orca Flash 4.0)を用いた二波長同時撮像による二波長同時速度場観測ができる。これらの観測装置が同一光軸上に配置できる治具類の設計製作も実施した。一方で、この狭帯域チューナブル・フィルターと組み合わせて用いる高速回転する中空アクチュエーターと遅延量127度の波長板を用いて太陽彩層の偏光観測(Chro-Mag-Ro: Chromospheric Magnetograph with Rotating wave-plate)を進めている。さらに、これまでのUTFにより狭帯域チューナブル・フィルター制作の過程において技術が獲得され、その応用として京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡で使用する口径40mmの狭帯域チューナブル・フィルターの製作を始めている。

謝辞：本研究は宇宙科学研究所搭載機器基礎開発実験費(代表：一本 H23、24年度)、国立天文台共同開発研究(代表：一本 H23、24年度)、JSPS 科研費 25400230(代表：萩野 H25-27年度)により行われた。