

SMART 太陽全面像高速撮像装置の設計・製作

○仲谷善一、金田直樹、一本潔、永田伸一、木村剛一
京都大学大学院理学研究科附属天文台

1. はじめに

京都大学大学院理学研究科附属天文台は、大学院生の研究指導、学部学生に対する課題研究や課題実習、高校生に対する観測実習など主に教育活動に大きな役割を担っている花山天文台(京都市)と太陽活動を主とする観測の役割を担っている飛騨天文台(岐阜県高山市)とで構成されている。

太陽全面像高速撮像装置は飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡(SMART⁽¹⁾)に搭載されている観測装置の一部である。

2. 飛騨天文台の構成

飛騨天文台は、高い波長分解能を持つ真空垂直分光器と全波長域同時高分解能撮影が可能な水平分光器により太陽表面活動における微細構造の観測を主に行っているドームレス太陽望遠鏡(DST⁽²⁾)。主に惑星観測を行っている65cm屈折望遠鏡。ブラックホール、X線連星や激変星などの突発天体の測光観測を主に行っている60cm反射望遠鏡。H-alpha⁽³⁾全面像、H-alpha部分像、磁場全体像、磁場部分像の同時観測を行なっている太陽磁場活動望遠鏡(SMART)の各観測装置から構成されている。



図-1 飛騨天文台全景

3. 飛騨天文台 太陽磁場活動望遠鏡 (SMART)



図-2 SMART

太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) は、2003 年に完成し、強い太陽面爆発 (フレア) を引き起こすねじれた磁場の発達と、エネルギー蓄積・解放のメカニズムを解明するために開発された世界最先端のシステムである。

太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) は、高さ 16m のタワー上に設置された口径 20cm と 25cm の 4 本の望遠鏡で構成されている。4 本の望遠鏡はそれぞれ T1、T2、T3、T4 と呼んでおり、T1 は口径 20cm で太陽全面像を H-alpha 線で撮像している。今回、この T1 を高速撮像できるよう改造を行った。T2 は口径 20cm で太陽全面の三次元磁場を測定するためのデータを得ている。T3 は口径 25cm で太陽部分像を H-alpha 線と連続光の同時観測を行っている。T4 は口径 25cm で太陽部分像における高精度な磁場測定を行う事ができる。

4. 太陽全面像高速撮像装置

太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) の T1 を高速撮像が可能なカメラや高速で波長の変更が可能な H-Alpha 狭帯域フィルター (リオフィルター) に置き換えることから、イメージングレンズの変更や各種ホルダー類を新規に設計および製作する必要がある。

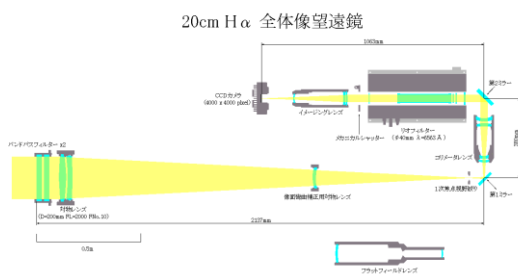


図-3 旧光学系

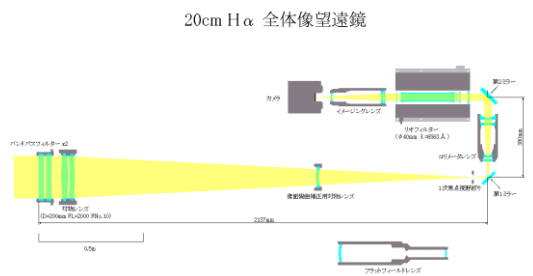


図-4 新光学系

旧光学系では、Apogee 製 AltaU16 (CCD) を使用しており、メカニカルシャッターを有し、チップサイズは $4096 \times 496 \text{pix}$ ($36.8 \times 36.8 \text{mm}$) であった。また、リオフィルターはモータ式回転波長板であったこともあり、1 枚の雑像に約 7sec 要した。(データ転送に 3~4sec、保存に約 3sec) また、観測波長は -0.8\AA 、 -0.5\AA 、 $H\alpha$ センター、 $+0.5 \text{\AA}$ 、 $+0.8 \text{\AA}$ の 5 波長観測を行っていたため、1 セット約 35sec 要していた。

新しい光学系は、浜松ホトニクス製 C11440-22CU (CMOS) を使用し、リオフィルターに関しても液晶遅延素子を用いることにより高速撮像が可能となった。新光学系では -9\AA から $+9 \text{\AA}$ までを 0.25\AA ごとに 73 枚を 1 セットとし、撮像を行うが、1sec に約 5 枚撮像し、73 波長の 1 セット約 14sec で撮像を行うことができる。

チップサイズが $2048 \times 2048 \text{pix}$ ($13.312 \times 13.31 \text{mm}$) と小さくなることから、イメージングレンズの焦点距離を

変更する必要がある。

既存のイメージングレンズの焦点距離は532.73mmであったが、新光学系では180mmへ変更する必要がある。この際、一品物で特注した場合とても高価になることから、民生品であるニコン製 180mmf/2.8 を使用することにより安価となるよう設計を行った。

この時、新光学系では結像性能が低下したという事が無いよう、諸収差などについても検討を行った。使用するカメラの最大空間周波数は76.923lp/mm(計算値)に対して、使用するイメージングレンズは20lp/mmにおいて、サジタル方向およびメリジオナル方向ともにコントラスト値0.8を大きく超えており、とてもヌケの良いレンズである。また60lp/mmにおいても0.6を大きく超えており高解像レンズであり、十分に使用に耐えられると考えられる。

望遠鏡内に設置されたカメラなどは、太陽のトラッキング状況によって姿勢変化に伴い荷重方向が変化する。そこで、各ホルダー類について、FEM解析および熱解析を行いながら強度・加工コスト・重量のバランスの良い形状などで設計を行った。

最大タワミ量は、カメラ1pixの1/10以下となるように行った。(1pix:6.5μmに対して、タワミ量は0.5μm)

旧光学系では、望遠鏡のサーボモータなどのノイズによりカメラが動作しない、画像にノイズがのるなどの問題があり、ノイズ対策に苦勞したことから、Cameraの保持にはガラエポを用いて、電気的な絶縁を施した。また、カメラの発熱も考慮し設計を行っている。



図-5 新光学系

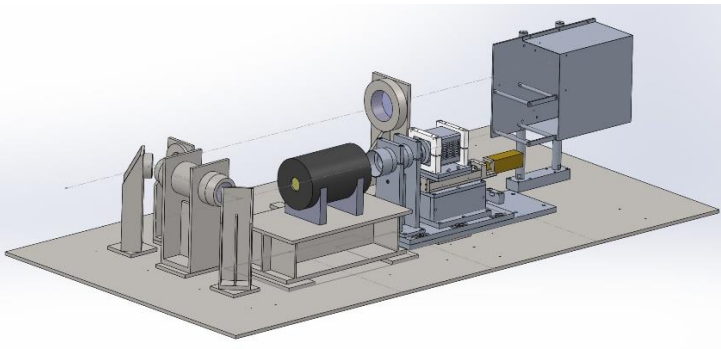


図-6 新光学系の機器配置

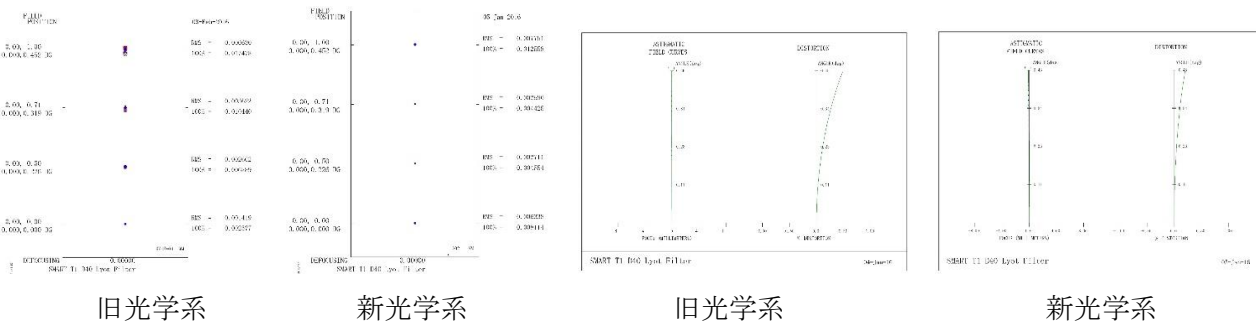


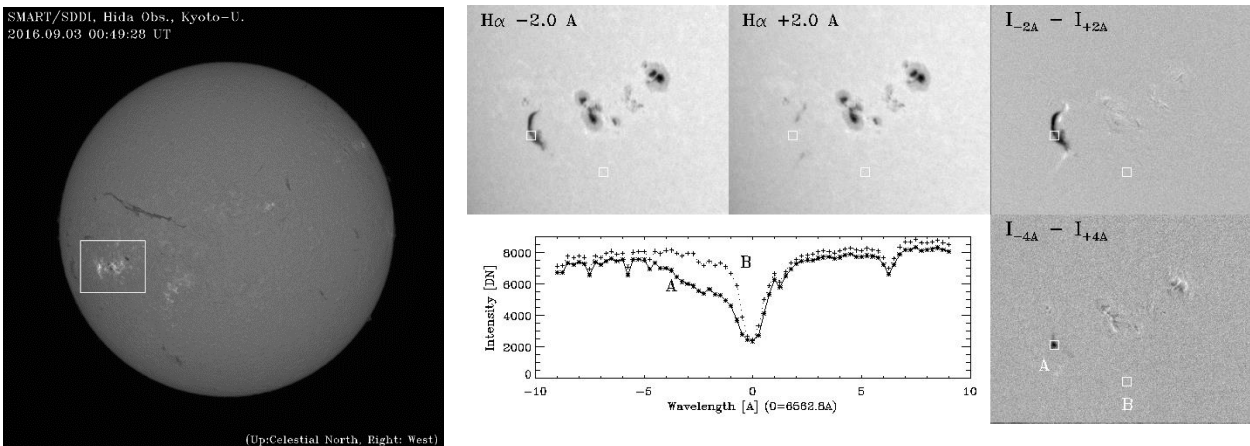
図-8 スポット(左)、縦収差(右)

5. 初期成果

活動領域(フィラメント)においてマイナスとプラスとの差分をとることにより、視線方向に沿ったブルーシフト、レッドシフトを得ることができる。(ドップラーグラム)

ブルーシフトは黒く、レッドシフトは白く表示している。

また、各波長で明るさの変化をグラフにすると、活動領域(図中の A)と静音領域(図中の B)とで変化していることが分かる。この変化量から運動するフィラメントの三次元速度場を導出することができる。



太陽全面像

ドップラーグラム

図-9 観測結果

6. まとめ

台内で設計から製作を行うことにより、安価に短時間で実装することができた。また、自身で設計から製作まで行っていることから、メンテナンスや修理、改造などの際も迅速に対応できることが期待できる。

今回の装置は高時間分解能での観測と広い波長範囲、多くの波長(73 波長)での観測が可能となり、より詳しい三次元速度場の導出が可能となった。このような方法で定常観測を行っている観測市背悦は他には存在しない。

注記

- (1) Solar Magnetic Activity Research Telescope の略。
- (2) Domeless Solar Telescope の略。
- (3) 水素原子の線スペクトルであるバルマー系列のうち波長 656.28nm の光。