

赤外偏光フィルター自動回転装置の製作

○仲谷善一、木村剛一、一本潔、阿南徹、上野悟、柴田一成
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(京都府京都市)と太陽活動を主とする観測の本拠地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。

今回、赤外偏光フィルター自動回転装置の製作を行った設備は、飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡(DST⁽¹⁾)の偏光特性を測定するために用いる装置である。

2 飛騨天文台の構成

飛騨天文台は、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、太陽のH α ⁽²⁾全体像、H α 部分像、磁場全体像、磁場部分像の同時観測を行っている太陽磁場活動望遠鏡(SMART⁽³⁾)、今回の装置を製作した高い波長分解能を持つ真空垂直分光器と全波長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)の各観測装置から構成されている。



図1 飛騨天文台全景

2.1 ドームレス太陽望遠鏡(DST)の構成

1979年に完成したドームレス太陽望遠鏡(以下DST)は、地上観測で望み得る最高の空間分解能が得られるように設計されている。地表の大気の揺らぎによる影響を極力抑えるため、望遠鏡入射窓は地上23mに設置し、望遠鏡を支える塔体表面も常に気温と同じになるよう冷却がなされる構造となっている。主たる観測装置は、世界第一級の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撮影が可能な水平分光器から構成されており、太陽大気の基本的微細構造と様々な太陽表面活動現象の物理状態を詳しく分析することが可能である。また、垂直分光器焦点面には 0.25Å という非常に狭い透過幅を持つ $H\alpha$ フィルター(リオフィルター)が設置されており、 $H\alpha$ 線輪郭に沿って透過波長を変えることにより、太陽表面の三次元構造とプラズマ流の速度分布を調べることが可能である。

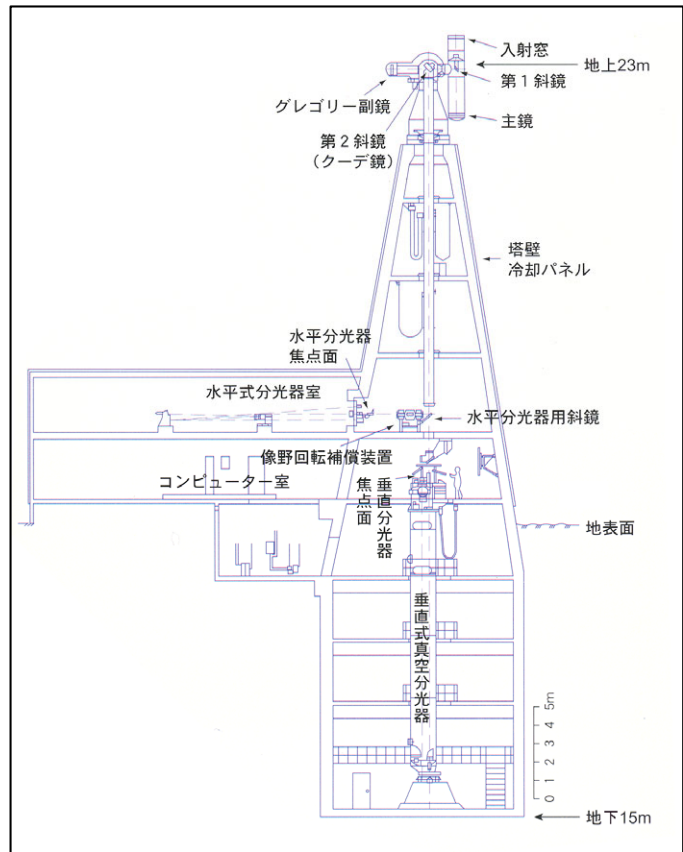


図2 DSTの断面図

2.2 DSTにおける偏光観測

偏光とは電場や磁場の振動方向に偏りのある光で、無偏光、楕円または円偏光、直線偏光に分類でき、ストークスパラメーター(I、Q、U、V)で強度として記述が可能である。電場や磁場の振動方向に偏りのある光ということで、光源や媒質の物理的異方向性によって偏光は生まれる。

太陽表面で発生する黒点やフレアなどのプラズマ現象は太陽表面の磁場が重要な役割を果たしていると考えられている。よって、太陽表面のプラズマ現象を解明するためには太陽光の多波長での偏光観測がとても重要である。DSTでは回転波長板を用いて偏光観測を行っている。回転している波長板を通ってくる光は入射時の偏光状態によって振る舞いが違うため、時系列データとして撮影を行い、時間変化の様子からストークスパラメーターを求めることが出来る。

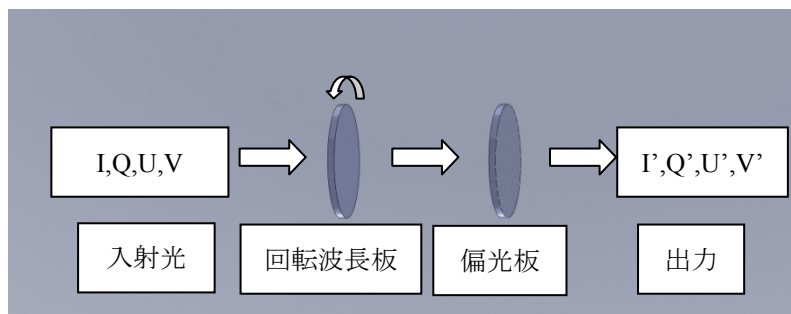


図3 回転波長板を用いた偏光観測

3 赤外偏光フィルター自動回転装置を製作するにあたって

レンズ、鏡、フィルターなどには偏光成分(機械偏光)が含まれているため、その機械偏光分を得られたデータから補正を行わなければ正しい偏光観測データを得ることが出来ない。

機械偏光については、使用する光学機器特有のものがあり、理論値から求めることも可能であるが、実測する方法が最も信頼性がある。

機械偏光を測定する方法として、望遠鏡の入射口に偏光フィルターを取り付けて、角度が分かった偏光信号を望遠鏡に入力し、その画像を観測用カメラで撮像することにより、機械偏光成分の確認が可能である。この時、偏光フィルターを任意の角度に回転させながら数点の確認を行うことにより高い精度で機械偏光の測定が可能となる。

しかし、これまでは地上 20m 以上に望遠鏡入射口があるため直接偏光フィルターを取り付けるだけが精一杯であり、一度に1つの偏光状態のデータしか取得できず、機械偏光測定に必要なデータをすべてそろえることは困難であった。

そこで一度望遠鏡入射口にセットしたら地上の観測室から自動的に偏光フィルターを回転させることが出来る赤外偏光フィルター自動回転装置を天文台内にて製作した。

3.1 赤外偏光フィルター自動回転装置の概要

赤外偏光フィルター自動回転装置の製作にあたって求められることは、回転角の位置精度は 0.5deg 以内、面振れは±1deg 以内、この自動回転装置は常に望遠鏡に設置しておくものではなく、1年に数回機械偏光測定を行うときのみ設置するという事で、脱着を行っても位置精度は損なわないこと、地上 20m 以上の塔体上部に入射口があるため、そこまでの配線経路や電源が無いということである。

これらについて、位置制御については減速機を用いたステッピングモータを用いることによって高精度な位置決めは可能、面振れについては機械精度によって要求精度を満たすことは可能、脱着については、フィルター枠に原点検出用のドグを設置することにより要求精度を保つことは可能である。また、配線経路や電源が無いことに関しては、制御は無線により行い、電源はバッテリーを用いることですべての要求を満たすことは可能である。

3.2 赤外偏光フィルター自動回転装置

実際の設計および製作において、より高精度を求める場合はサーボモータを用いるなどクローズド制御を行うべきであるが、今回は制御に免許不要の特定小電力無線を用いるという事で通信量に限りがあることからステッピングモータを用いたオープン制御とした。ステッピングモータであっても、低負荷の回転体を回転させるのみの制御であるため脱調の恐れは無いと考えられる。位置精度は減速機

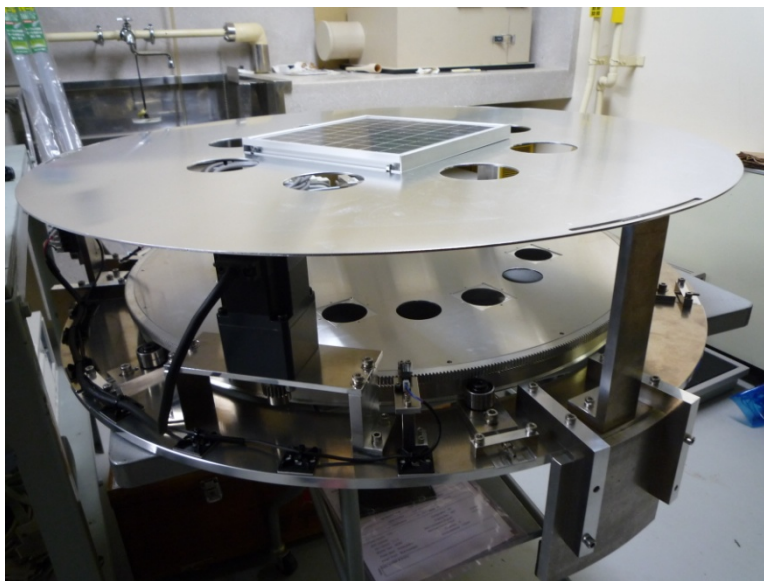


図4 赤外偏光フィルター回転装置

も組み込んでいるという事で 10arcsec 単位での制御が可能である。回転伝達に歯車を介して行っているためバックラッシュが問題である。これについてはバックラッシュ量を実測した結果 4arcmin 以下と要求精度以下である。またソフト上での補正も可能である。

面振れについても実測の結果±23arcsec 以内と要求精度を十分に満たしている。

電気制御システムは、汎用 PLC (Programmable Logic Controller) を用いて望遠鏡入射口に取り付けるフィルター自動回転装置に設置し、400MHz 帯の無線を経由して PC から制御を行う。また、望遠鏡入射口付近には外部電源が存在しないため、AGM (Absorbed Glass Mat) バッテリーにより電源供給を行っているが、極力バッテリーの重量を抑えたいという事でソーラーセルを用いてフィルターの回転が停止している間は充電を行う仕組みとした。

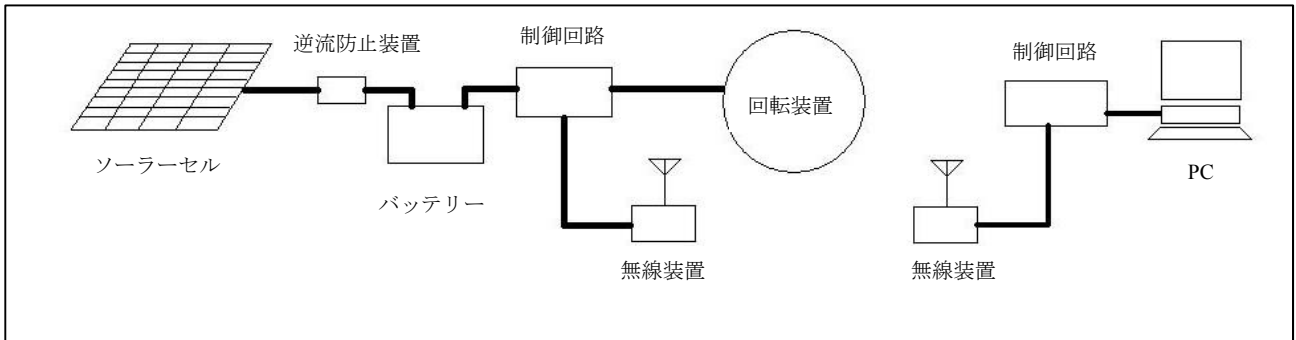


図5 配線系統図

4 まとめ

汎用制御機器を用いることによって比較的安価で短時間にシステムを構築することが出来た。また、汎用制御機器ということで、入出力点数に空きがあることと増設も容易であるという事で、観測方法などが変化したとしても柔軟に対応が可能だと考えられる。

同時にソーラーセルやバッテリーを電源とし、情報の受け渡しに無線を用いたということで、今後は電源が無い場所における自動観測装置などにも応用が期待できる。

赤外偏光フィルター自動回転装置の製作は、京都大学大学院理学研究科附属天文台のスタッフの協力の下で完成することが出来ました。皆様に感謝致します。

注記

- (1) Dome less Solar Telescope の略。
- (2) 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。
- (3) Solar Magnetic Activity Research Telescope の略。