

安価で自作しやすい 低分散分光器の開発の試み



米子工業高等専門学校

吉田	浩瑛	遠藤	愛
鐘築	昇太郎	柏木	琴葉
前田	孝太郎	仲西	涼
野坂	優一	原田	果歩
松本	一生	松本	有未
森下	央翔	竹内	彰継
足立	悠斗	山脇	貴士

さじアストロパーク

宮本 敦



背景

- 米子高専では天体分光観測を10年以上行なってきた
- 皆既月食の分光観測により地球のオゾン層のモニターが可能であることを報告

→ 高校生でも可能な観測であるため全国の天文部と共同観測を企画

一方, 分光器を所持している高校は少ない



皆既月食

動機

- 分光器は最も普及していない観測機材である(公開天文台白書2018)
- 公開天文台で分光器を保有している割合は2割

→ 分光器が高価かつ自作困難であることが原因

- 分光観測の普及のため、
共同観測を容易にするため、
所有率の向上が望まれる

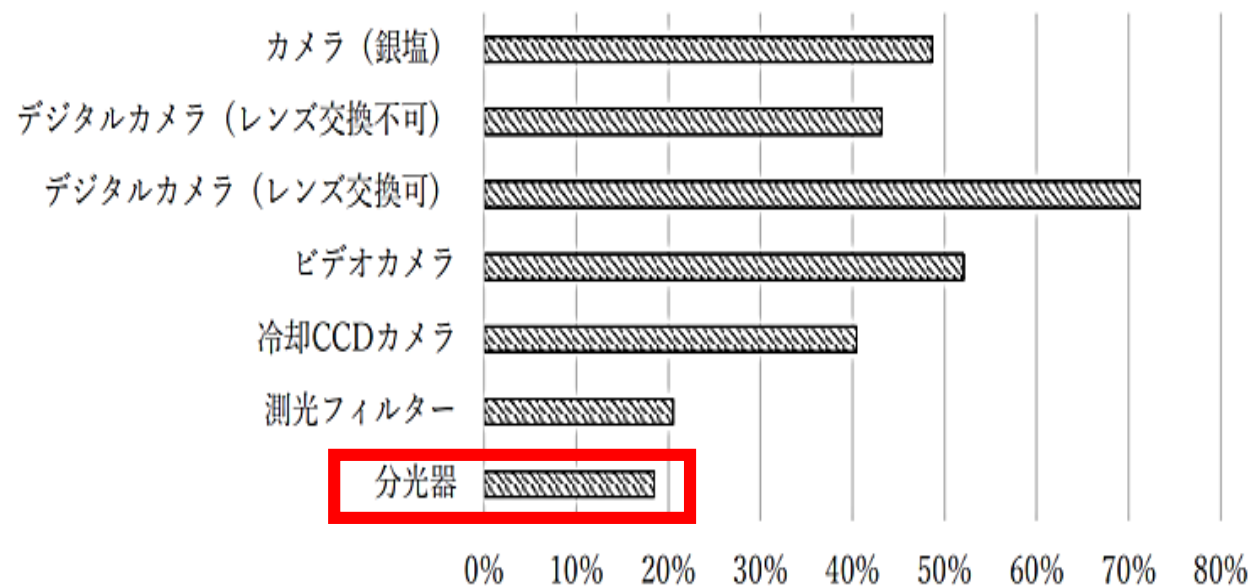


図 22. 観測機材とその保有率 (n=146)

開発する分光器の要件

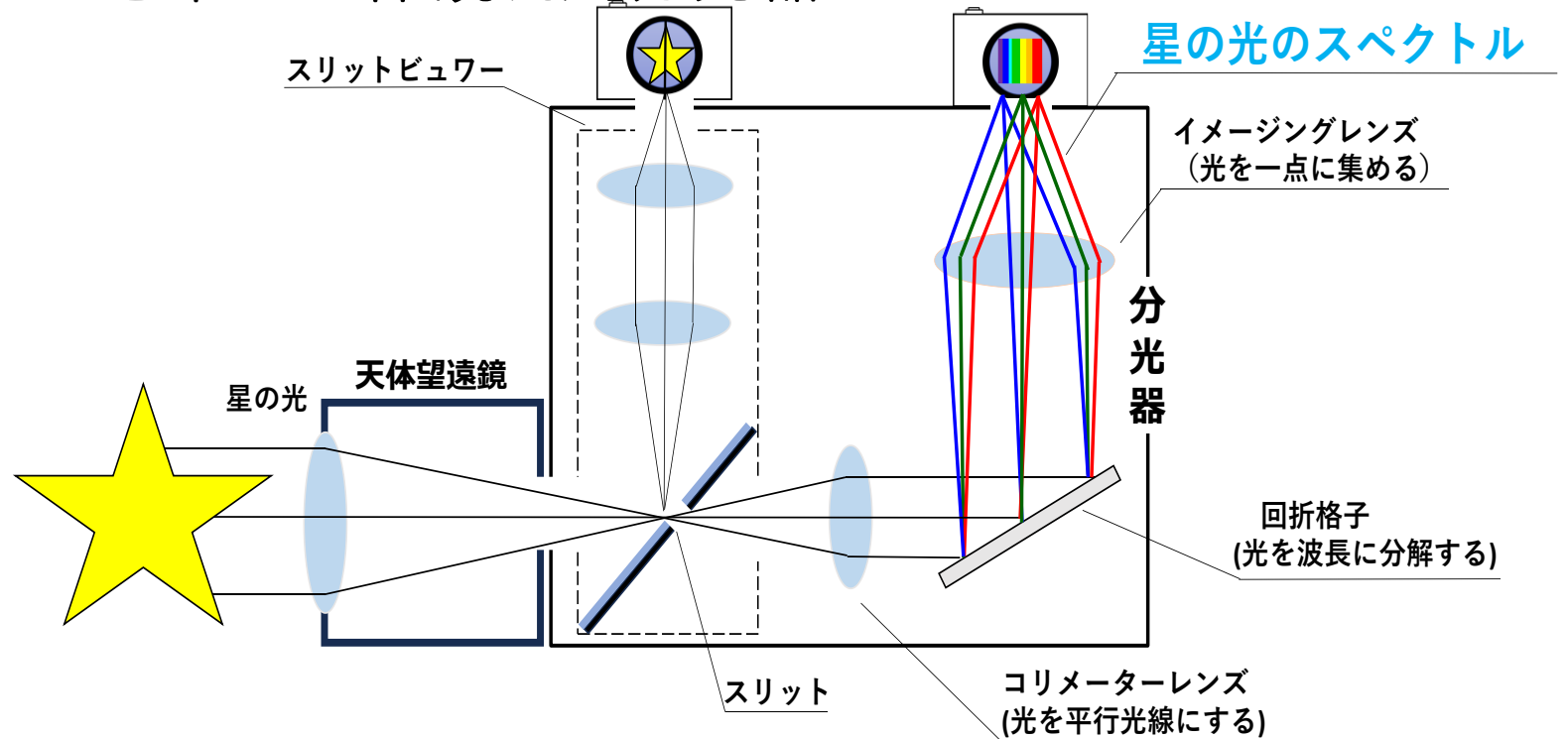
- **低分散分光器:** 可視光線領域(4,000~8,000 Å)のスペクトルが一度に撮像できる
- **高い分解能:** ナトリウムのD線が分離できる ($R \geq 1,000$)
- **スリットビューワ:** 容易に自作できるスリットビューワ
- **容易に自作可能:** 既製の接続リング等を多用し, 工作を最小限にとどめ、安価かつ簡単に製作できる
- **波長校正ユニット:** 波長校正が簡単にできる波長校正ユニットを備える

通常分光器の基本構造

通常の分光器にあるもの:

- ・アルミ蒸着のスリット
- ・スリットビューワ

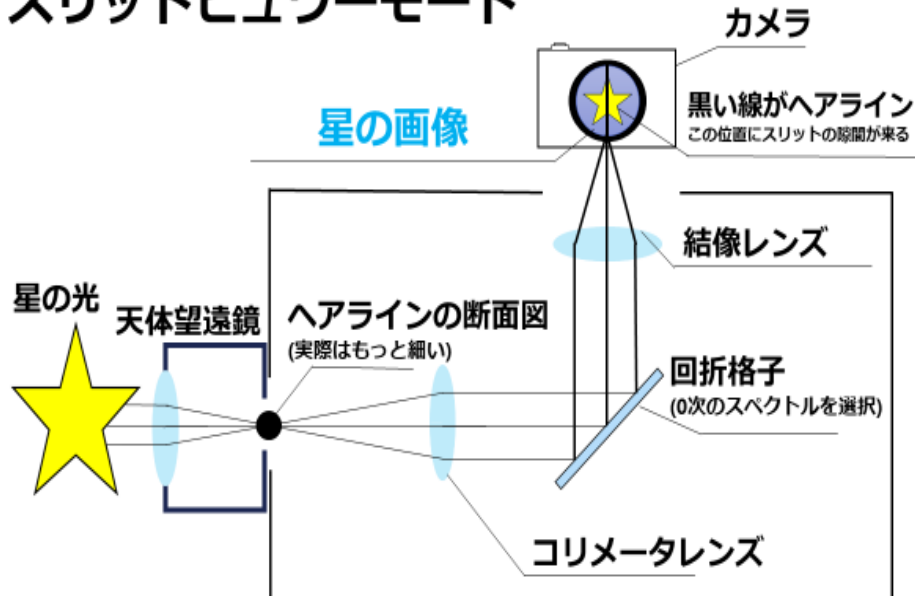
通常天体観測用分光器



本分光器の基本構造

0次スペクトルを
スリットビューワーとして使用

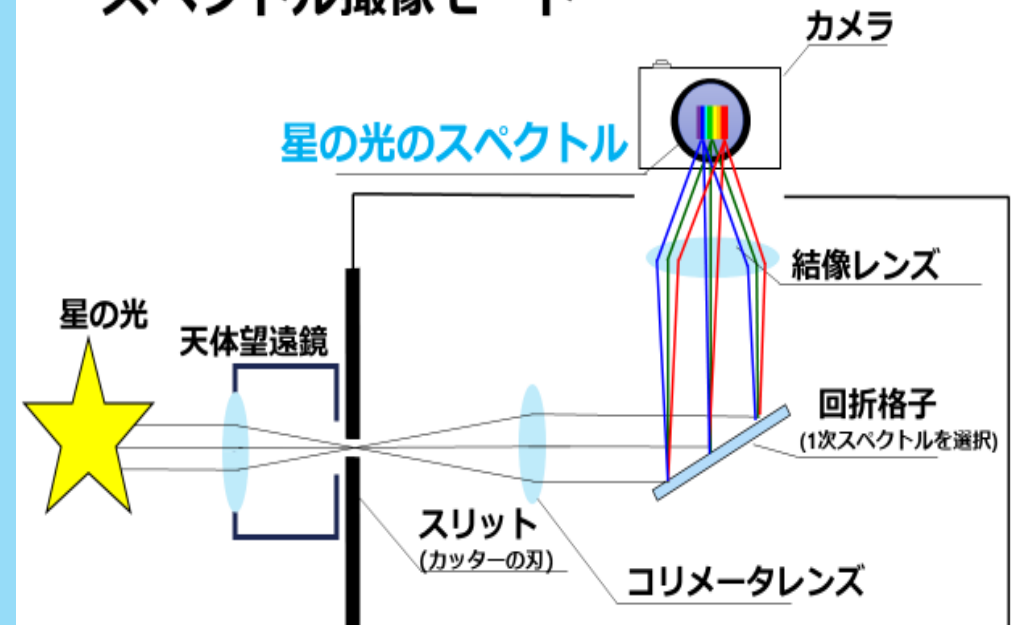
スリットビューワーモード



回折格子を
回転させて切替

1次スペクトルを
スペクトルとして使用

スペクトル撮像モード



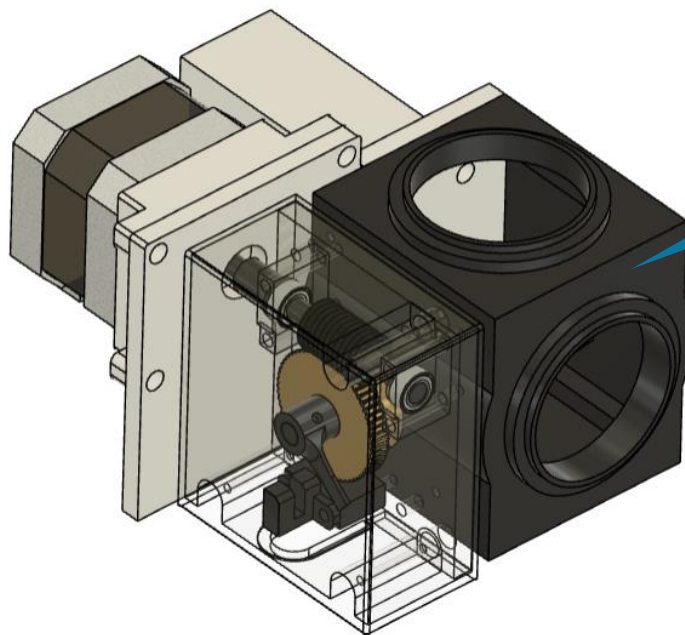
本分光器の回折格子

回折格子	諸元
格子定数	$d = 1/600 \text{ mm}$
ブレース角	13°
製造元	エドモンドオプティックス

Vixen **フリップミラー**を改造して
回折格子格納部とした。



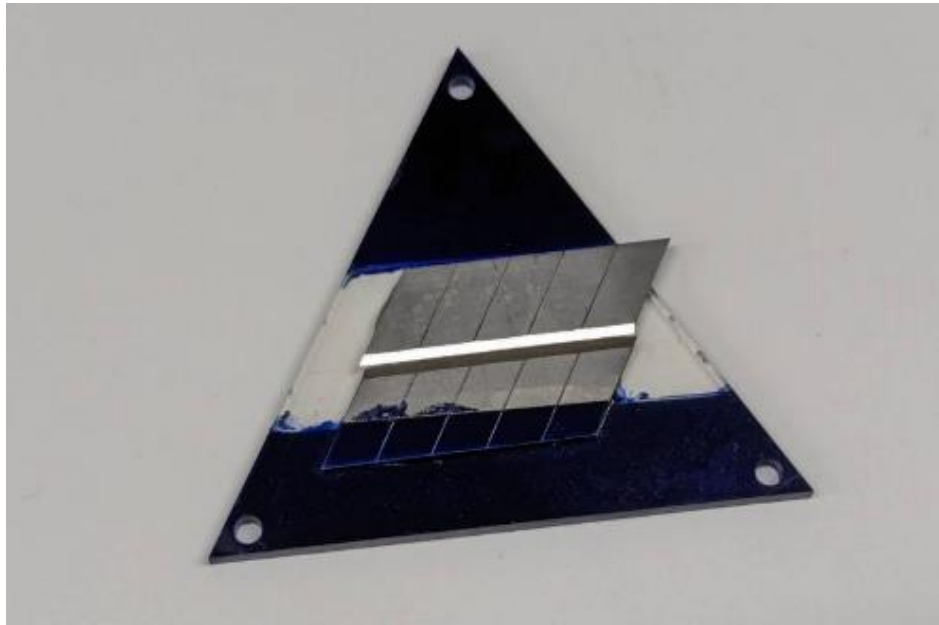
改造



回折格子格納部

本分光器のスリット

- カッターの刃を向かい合わせて製作 (最小スリット幅: $15\mu\text{m}$)
- ZWOのフィルターホイールに取り付け



組付け



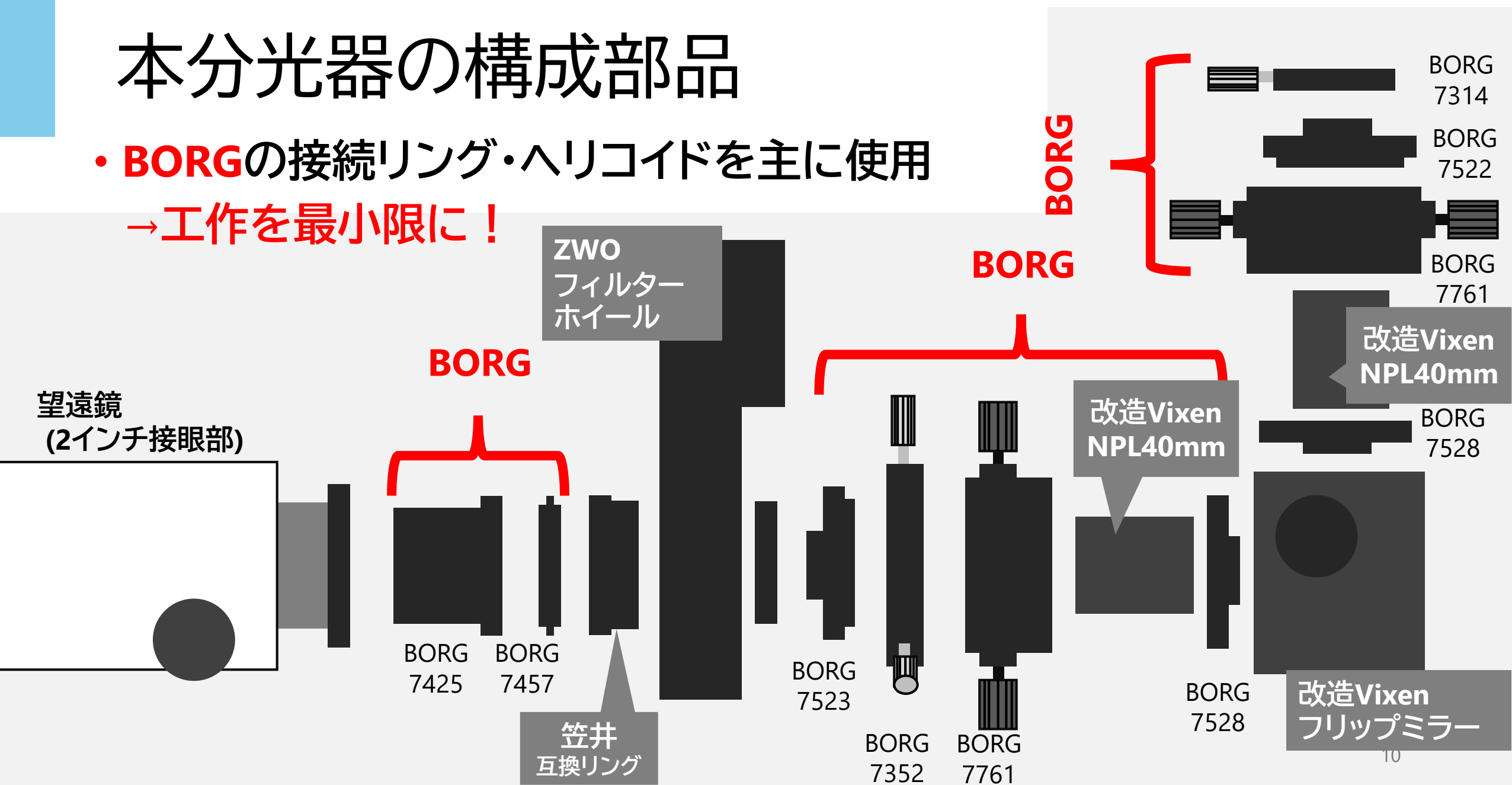
本分光器のレンズ

- コリメータレンズ, カメラレンズ共にビクセン製 40 mm 接眼鏡を改造
- 39mmのねじ切りを行う



本分光器の構成部品

- **BORG**の接続リング・ヘリコイドを主に使用
→ 工作を最小限に！

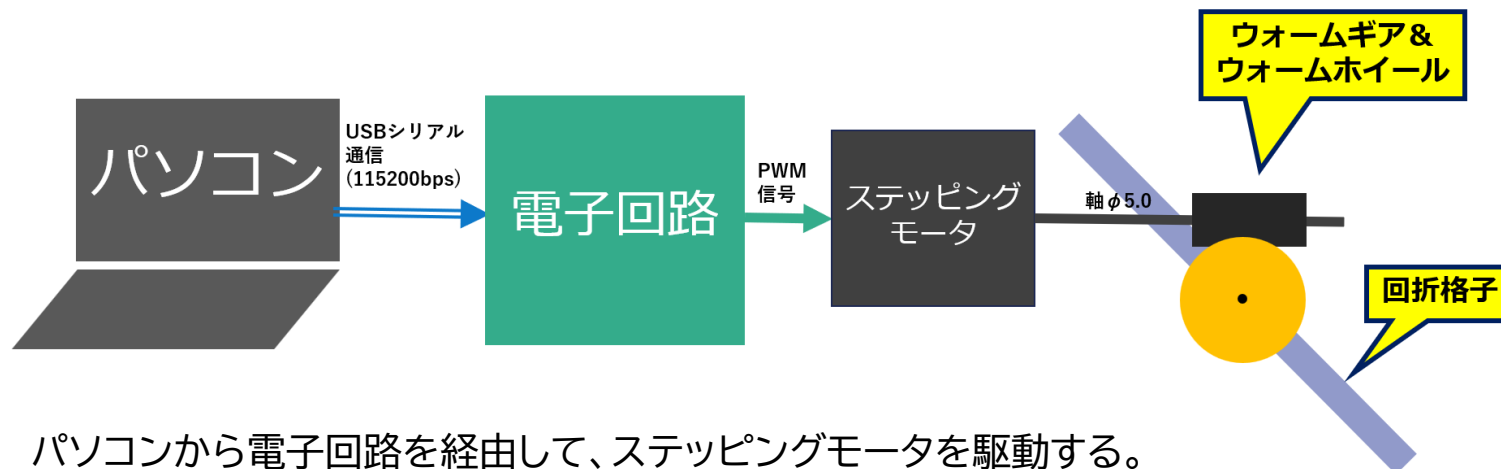


外觀

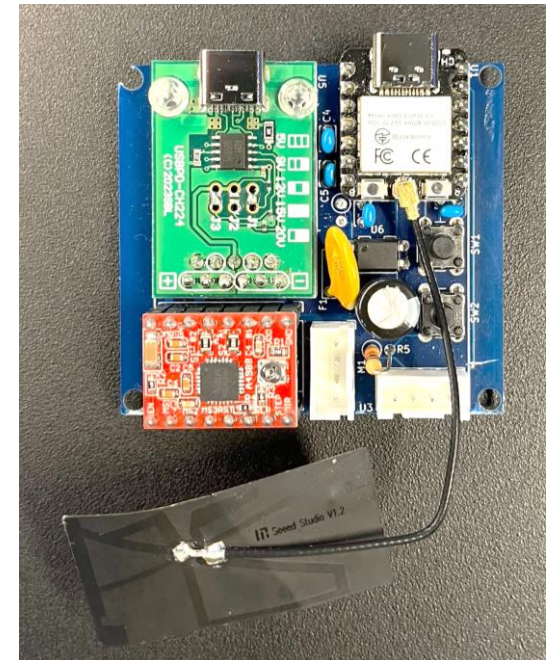


本分光器には電子回路を使用

- 回折格子の角度は, ステッピングモータを回転させることによって精度良く変更可能とした.
- ステッピングモータはPCから電子回路を経由して制御
 - PCから操作できる
 - 遠隔観測に対応できる可能性



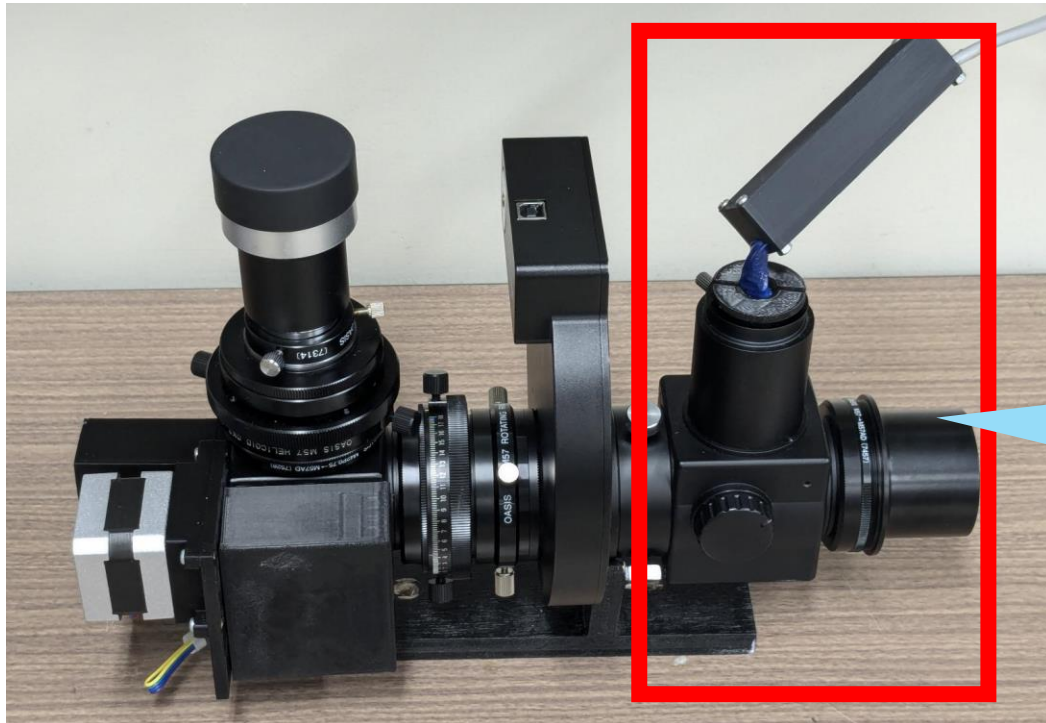
パソコンから電子回路を経由して、ステッピングモータを駆動する。



作製した電子回路、基板は国外企業に外注した。

波長較正モジュール

→ フリップミラーをもう一台使用することで実現できる



ネオンランプ等を
基準光源として使用

フリップミラーのミラー
をそのまま使用

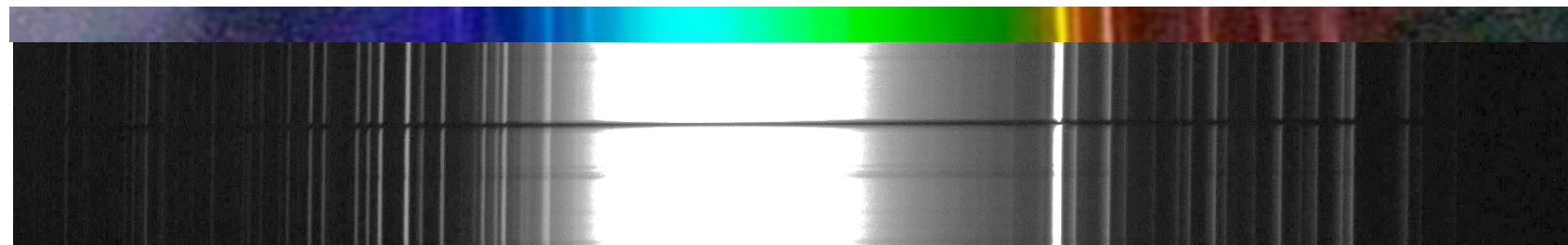
波長校正光源の検討

- ・サトーパーツ社「ネオンブラケット」で波長校正ができる！

緑色



<https://www.monotaro.com/p/0862/4402/>



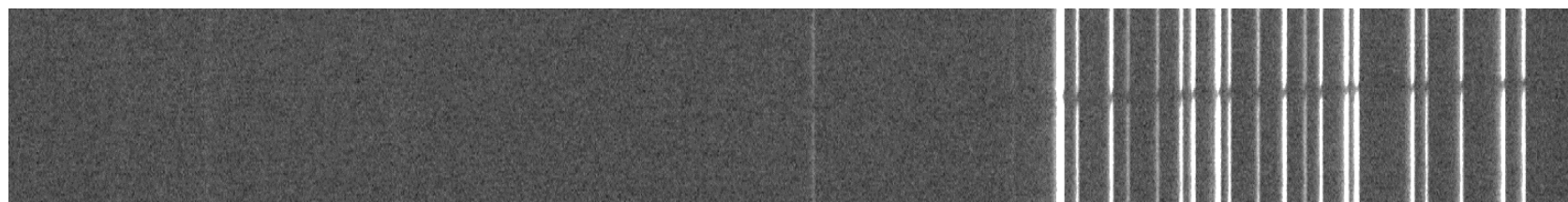
キセノン

ネオン
ネオン

透明



<https://www.monotaro.com/p/0862/4427/>



波長校正に使える！

波長校正モジュール価格：3万円！

製作した分光器の仕様

- 寸法: 260(L) x 160(W) x 170(H) mm
- 質量: **1700g**
- 製作費用: **25万円**
- 分解能: **R = 1000**

仕様比較表

	製作した 分光器	既製品D ※1	既製品V	既製品K
価格	25万円	40万円※2	30万円	150万円
カメラ	1台	1台	2台	2台
分解能R	1,000	300	600	300
波長校正	○	△	△	○

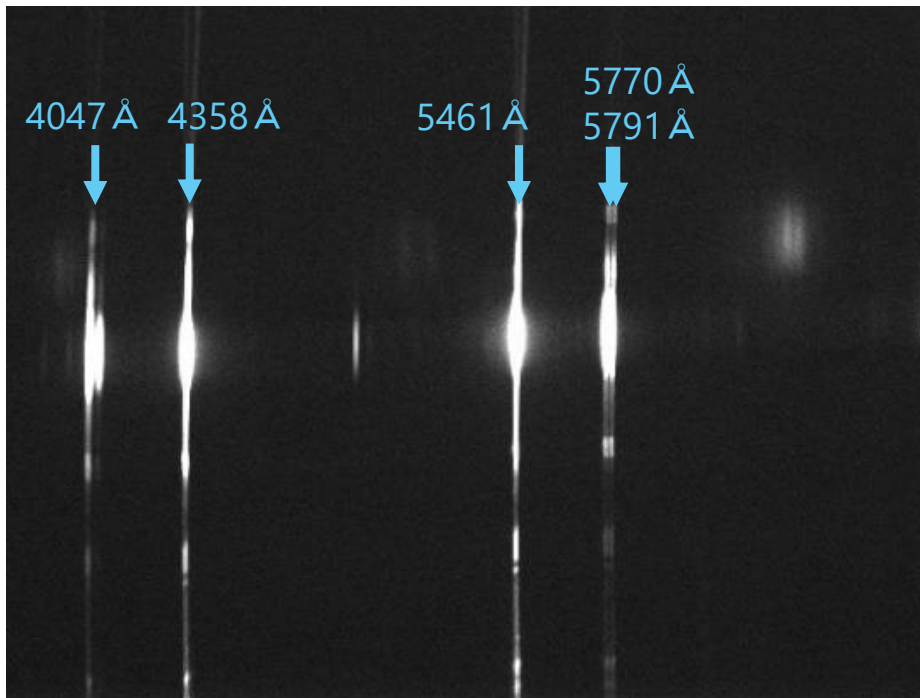
※1 製造中止

※2 現在の為替レートにおいて

観測結果(スペクトル光源)

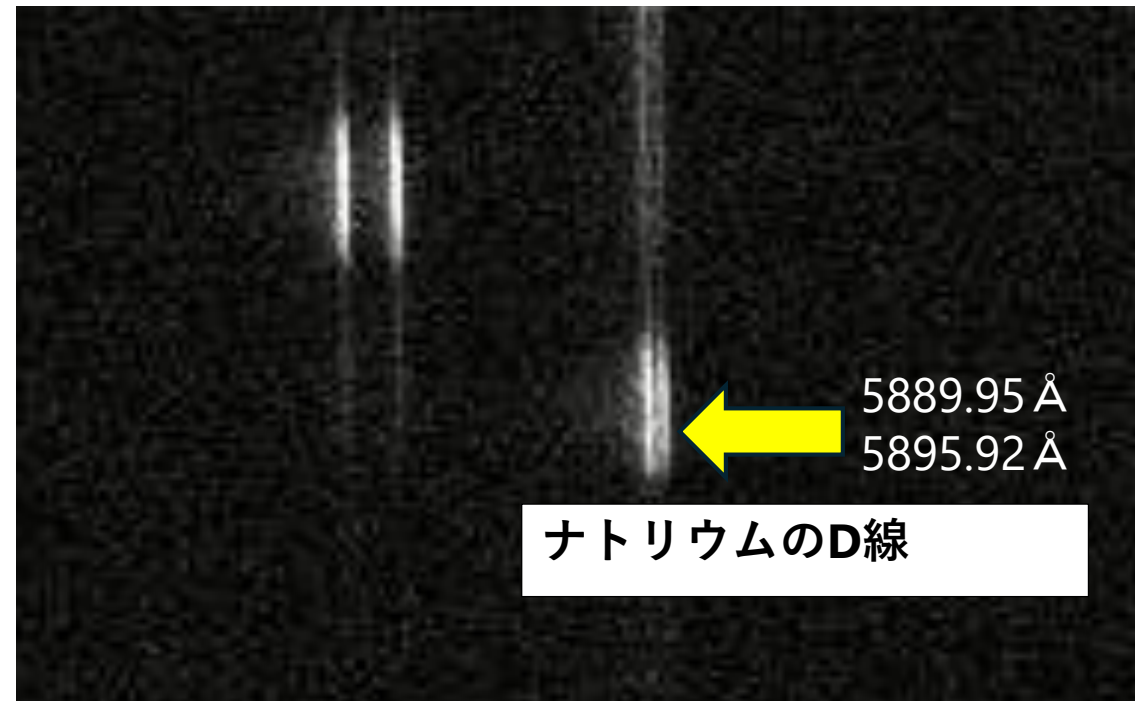
- ・性能確認のためにスペクトル光源を撮像

水銀灯の撮像結果



→可視光線領域全域を分光できている

ナトリウム灯の撮像結果



→ナトリウムのD線が2本に分解できている

観測結果(月)

日時: 2023年5月23日

望遠鏡: Vixen ED81S (口径81mm屈折式、焦点距離625mm)

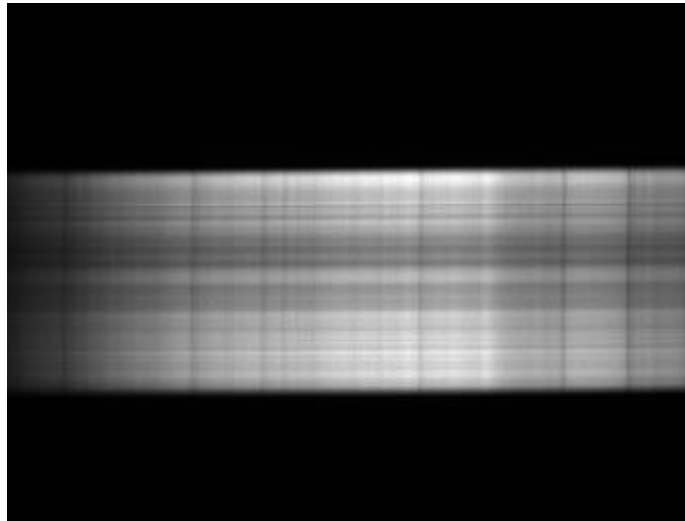
赤道儀: タカハシ JP型 (恒星時追尾)

カメラ: 冷却CCDカメラ, ビットラン製 BJ51L, 冷却温度0.0°C

分光器: **TORIHIME** 試作機 + 15 μ mスリット「コケキチ」



スリットビューワー画像

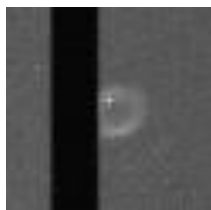


スペクトル画像

複数の
フラウンホーファー線
→問題なく分光でき
ると考えられる

観測結果(散光星雲)

- M57の分光観測の結果(F7.7屈折, 露光時間=30分)



↑
H γ

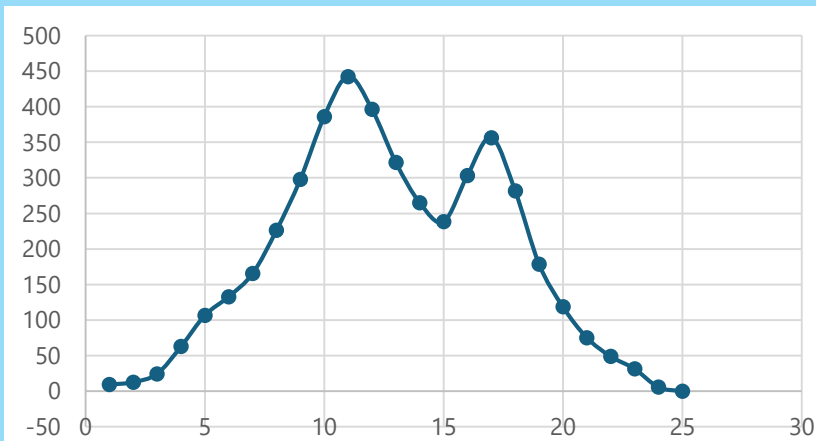
↑ ↑
H β OIII

↑
H α , NII

↑
SII
6717, 6731 Å

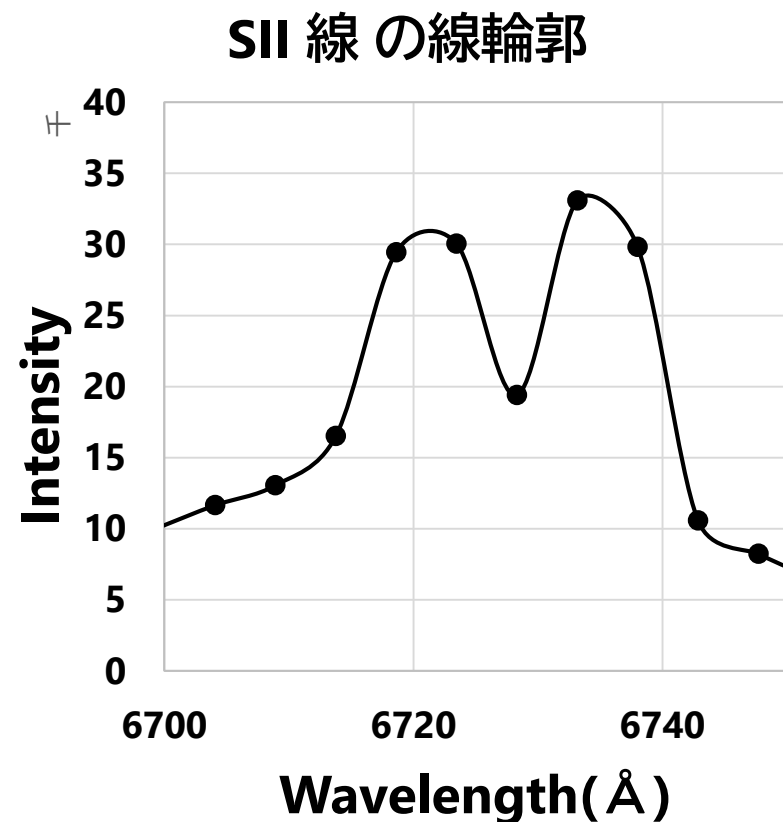
SII 線が分離できている
→従来の低分散分光器よりも
高い分解能を持つ

S II 線の線輪郭



観測結果(散光星雲)

- M42の分光観測の結果



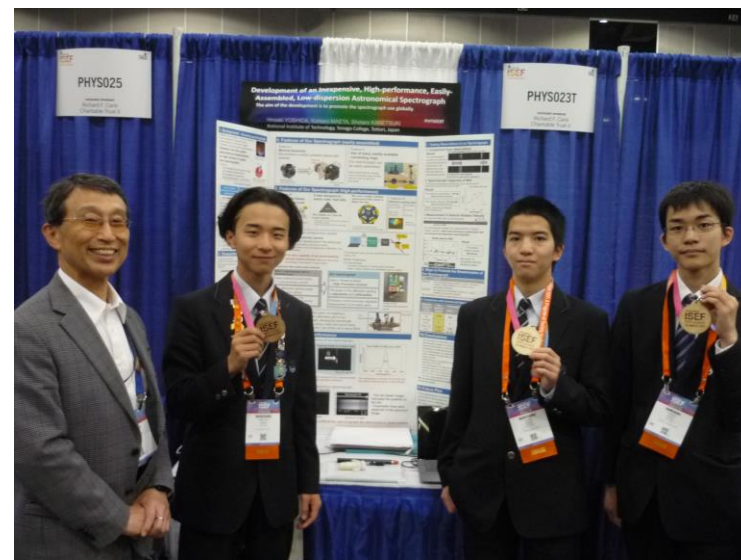
電子温度： 10^4 (K).
(OIII 線 で測定)

電子密度： 10^3 (pcs/cm³).
(SII線で測定)

→ 既存の文献と一致
→ 物理観測が可能

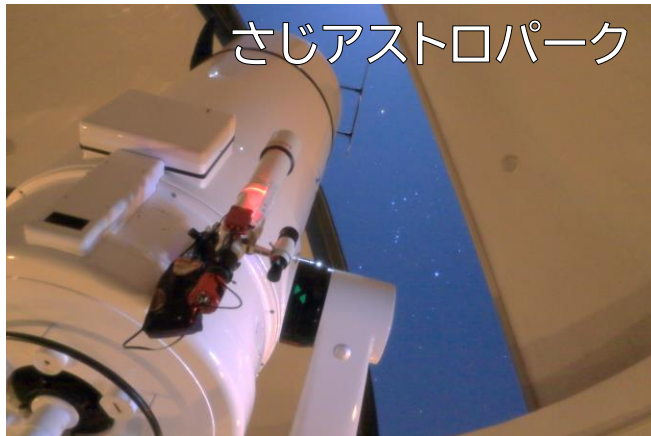
これまでの実績

- **JSEC2023** (第21回 高校生・高専生科学技術チャレンジ)
 - 本分光器について発表
 - ソニー賞 (上位10位以内に相当する賞) を受賞
- **Regeneron ISEF 2024** (リジェネロン国際学生科学技術フェア)
 - 世界に向けて分光器をアピール！
 - 物理学・天文学分野で 4等入賞



地元公開天文台等への寄贈

- 本分光器は「とっとり夢プロジェクト事業補助金」(鳥取県教育委員会の高校生向け活動事業) により作製
- 本分光器を**これまでに3台製作** → 地元の**天文台・科学館に寄贈**
 - 鳥取市さじアストロパーク(103cm反射望遠鏡)
 - 米子市児童文化センター (15cm屈折望遠鏡)



<https://www3.nhk.or.jp/lnews/tottori/20230907/4040016047.html>



<https://www3.nhk.or.jp/lnews/tottori/20240216/4040017149.html>

結論

- 簡単に組立でき, 物理観測が可能な分光器の開発を試みた.
- 分解能は $R=1,000$ となり, 低分散分光器としては高い分解能を持つ.
- 本分光器は少ない工作で製作できる.
- 本分光器には, 波長較正モジュールを簡単に取り付けられる.
- 本分光器が, 分光器普及のきっかけとなれば幸いである.