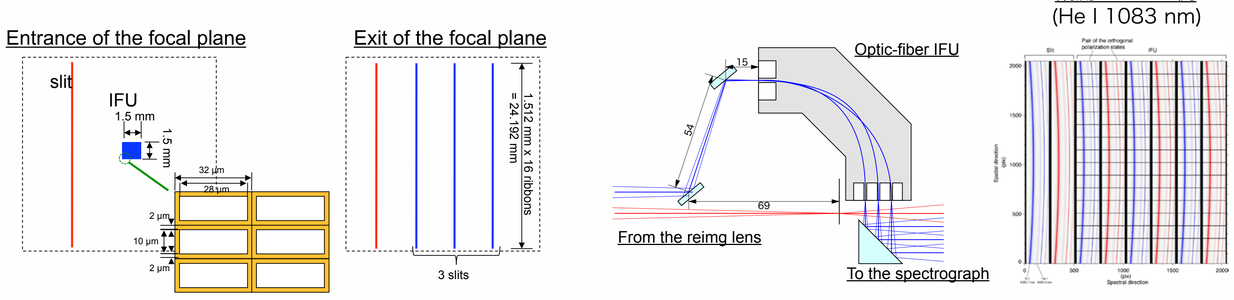
SOLAR-C偏光分光観測に向けた面分光装置と近赤外線カメラの性能と課題

勝川行雄, 鎌田有紀子 (国立天文台), 阿南徹 (京都大),坂東貴政, 原弘久, 末松芳法 (国立天文台), 一本潔 (京都大), 清水敏文 (ISAS)

SOLAR-Cにおける彩層偏光分光観測

次期太陽観測衛星SOLAR-Cでは、高精度偏光分光観測により光球に加えて彩層の磁場診断を実現することが最重要要求である。従来のスリット(1次元)分光に加え、2次元同時に偏光分光情報を取得する面分光装置を搭載することである。光学ファイバーを用いた面分光装置の開発とともに、彩層観測に適したスペクトル線のある波長800 nm～ 1.1 μmを高感度かつ高速で観測できるカメラの性能検証を行っている。

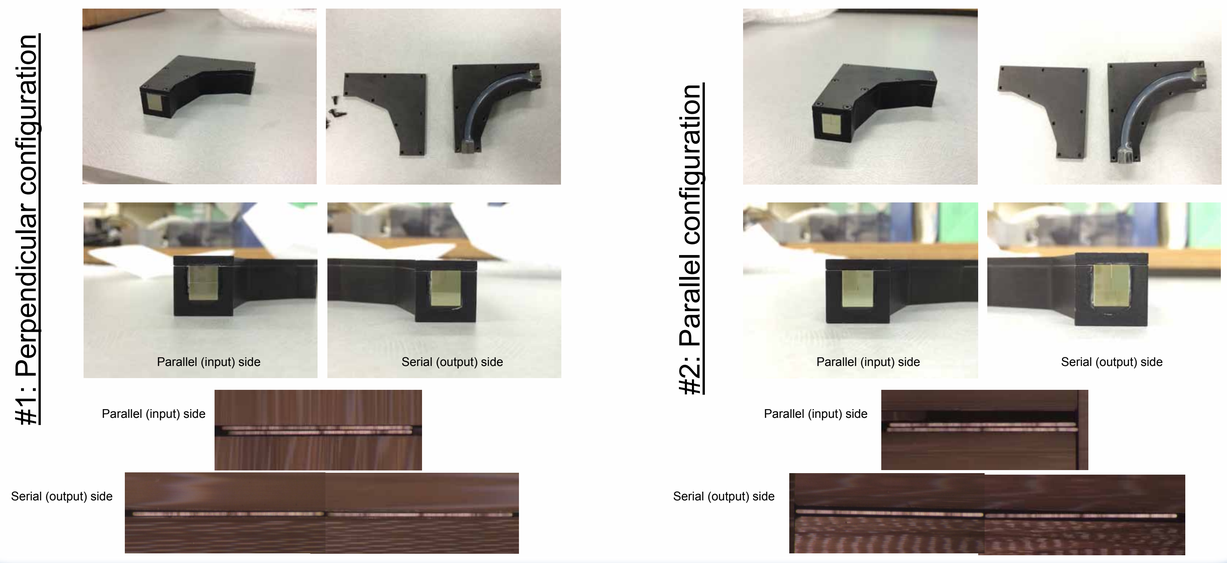
面分光装置は2次元同時に偏光分光情報を取得できる一方、スリット分光はスループットや波長分解能の点で有利である。そこで、通常のスリットと面分光装置をどちらも焦点面上に配置する。検出器の読み出し範囲を切り替えることで、スリット分光と面分光装置の２つのモードを切り替える。偏光維持性能のある矩形ファイバーコアからなるファイバーリボンを用いることが特徴である。



面分光装置要素試験モデル

耐打上環境のため、32μm 幅の細いファイバーを樹脂で金属筐体に固定する方式としており、その有効性を検証するため、2本のファイバーリボンをシリコン樹脂DC SE 9187Lで固定した面分光装置の試験モデルを製作した。

入口側でファイーを90度ひねったものと(perpendicular config)と平行なもの(parallel config)の２種類を製作した。ファイバー製作時からある欠損コアはあるが、シリコン樹脂によるストレスによる欠損は発生していない。



ファイバー保持用シリコン樹脂アウトガス測定

光学ファイバーリボンを金属筐体に固定するため、柔らかいシリコン樹脂によりファイバーへのストレスを小さくできることが分かっていた。そこで、ファイバー間に充填しやすい流動性のあるシリコン樹脂として３つの候補を選定し、アウトガス測定を行った。

- DC 93-500
  - 宇宙用、Collimated Holes社で硬化させたサンプルを使用 (サンプルを作成はアウトガス測定の半年前)
- DC SE 9187L
  - 民生用、最も粘度が低い。NAOJで硬化させたサンプル作成
- DC SE 9120
  - 民生用、粘度はDC 93-500と同程度。NAOJで硬化させたサンプル作成

硬化後サンプルをエフュージョンセルに入れ、25℃/40℃/アウトガスが小さい場合にはさらに60℃でアウトガス量をTQCMで測定した。

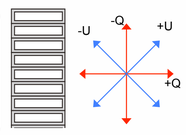
	質量 (g)		TQCM測定 (Hz/hr)				
	アウトガス測定前	アウトガス測定後	サンプル 25℃		サンプル 40℃		60℃
			TQCM -15℃	TQCM -20℃	TQCM -15℃	TQCM -20℃	TQCM -20℃
DC 93-500	1.196	1.179	0.11	0.41	0.34	0.97	N/A
DC SE 9187 L	2.934	2.934	0.29	0.07	0.22	0.20	0.61
DC SE 9120	1.718	1.717	0.25	0.39	0.50	0.67	N/A

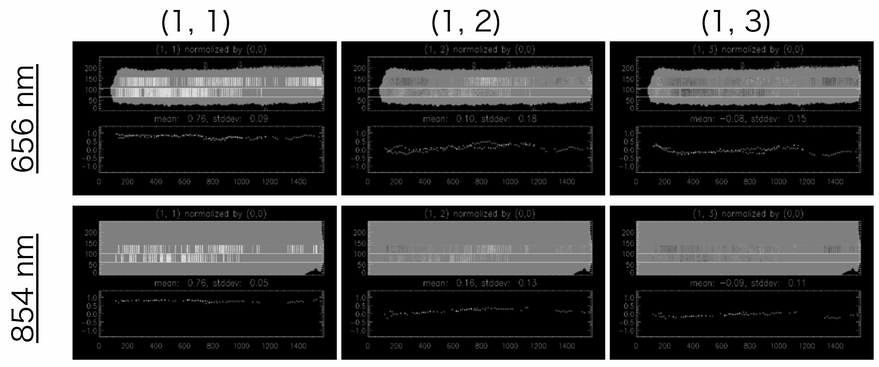
流動性のよいDC SE 9187Lがアウトガスが最も少ないことが判明した。硬化後の硬さもDC SE 9187Lが小さいため、ファイバー保持材料として、DC SE 9187Lを選定した。

偏光維持性能

面分光装置要素試験モデル(parallel config)の偏光特性(Mueller行列)を以下に示す。要求より大きなクロストーク成分(U→Q, V→Q)が見られた。今後温度依存性を測定する。

$$\begin{pmatrix} I_{out} \\ Q_{out} \\ U_{out} \\ V_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{in} \\ Q_{in} \\ U_{in} \\ V_{in} \end{pmatrix}$$





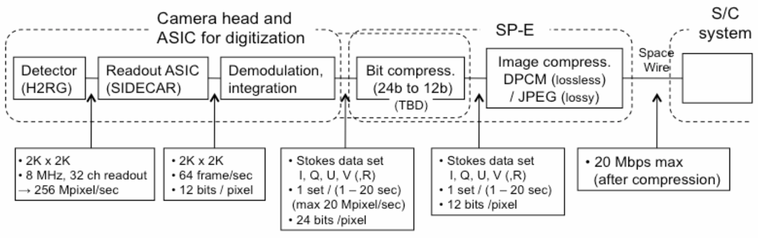
SOLAR-C用近赤外線カメラ

SOLAR-CではHe I 1083 nmやCa II 854 nmの彩層ラインを高感度で偏光分光観測する必要がある。これらの波長で量子効率0.8以上を達成できるHgCdTe検出器として、H2RG (2k x 2k, Teledyne) を候補として検討を行なってきた。読み出しASICであるSIDECARとともに、JWSTをはじめとしたスペースでの利用を想定した宇宙環境実証がなされ、高いTRLを獲得している。1.7μmカットオフのHgCdTe素子なら放射冷却のみで暗電流を小さくできる見込みである。

高精度偏光観測のため、集光された光を漏らさず用いる必要があり、そのためには、高速読み出しが必要である。H2RGとSIDECARでは我々の要求を満たす高速読み出し(>8MHz, 32ch)も実現されている。

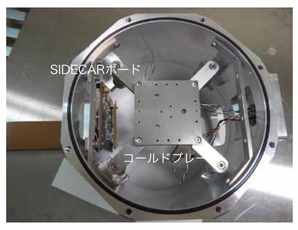
Detector: H2RG (Teledyne)	
Type	HgCdTe 1.7 μm cutoff
Wavelength coverage	500 – 1100 nm
Pixel format	2K x 2K
Pixel size	18 μm
QE	50-80 % (500 – 1500 nm)
Readout noise	~70 e^- (reset-read)
Full well	~10^5 e^-
Output ports	32
Temperature	Lower than 200 K

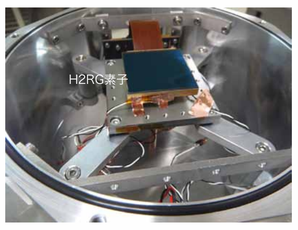
Readout electronics: SIDECAR (dual, Teledyne)	
Readout speed	8 MHz
Frame rate	64 fps
Bit depth	12 bits



H2RG(1.7μmカットオフ) エンジニアリンググレードによる評価

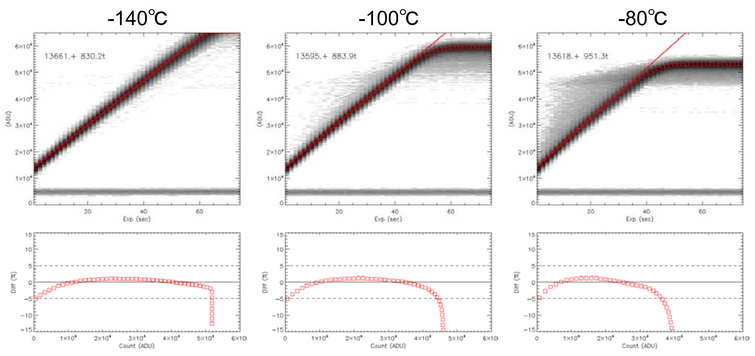
1.7μmカットオフH2RGの評価用素子と読み出しASIC (SIDECAR、ただしシングル構成なので32fps読出まで対応)を入手し、液体窒素による冷却とヒーターで使用予定温度である素子温度-140℃ ~ -70℃(SIDECARは約-10℃)における性能検証を行うシステムを構築した。低速読出(100k Hz)での性能評価を実施している。



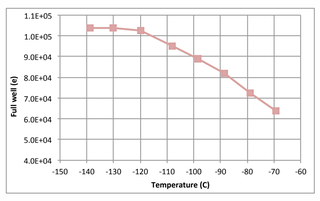


線形性・フルウェル

暗電流画像を露出時間を変えて取得し(Up the Ramp)、線形性・full wellを異なる素子温度で評価した(ゲインの設定は2e/ADU)。飽和するまで良好な線形性を示すこと、full wellが素子温度と共に変化することが分かった。

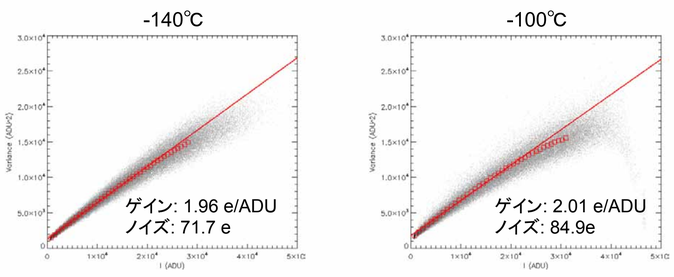


線形性が5%以上乖離する強度からfull wellを求めた。素子温度が-120℃以下のときは1x10^{5}e以上ある。それより高温ではfull wellが低下し、-80℃で7x10^{4}e程度になることが分かった。



ゲイン・ノイズ

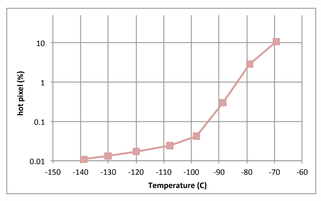
暗電流画像を露出時間を変えて取得し(Up the Ramp)、信号強度と分散の関係から、ゲインとノイズを評価する(light transfer)。ゲイン設定は2e/ADUであったが、ほぼその値であることを確認した。-100℃より低温では読出(reset-read)ノイズは70~85e程度であった。低速読出(100 kHz)時に想定していた読み出しノイズ<30eよりも大きく、今後原因を調査する。

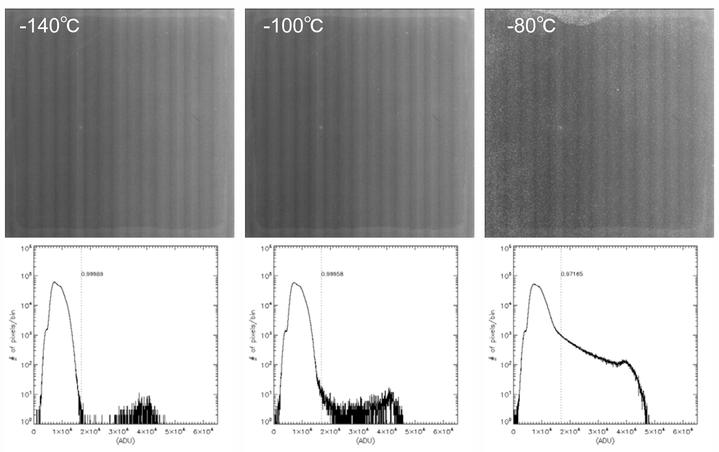


ホットピクセル・暗電流

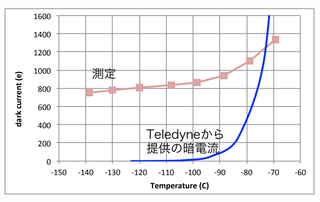
各素子温度で露出時間を変えて暗電流画像を取得し、バイアス・暗電流とホットピクセルの割合を評価した。

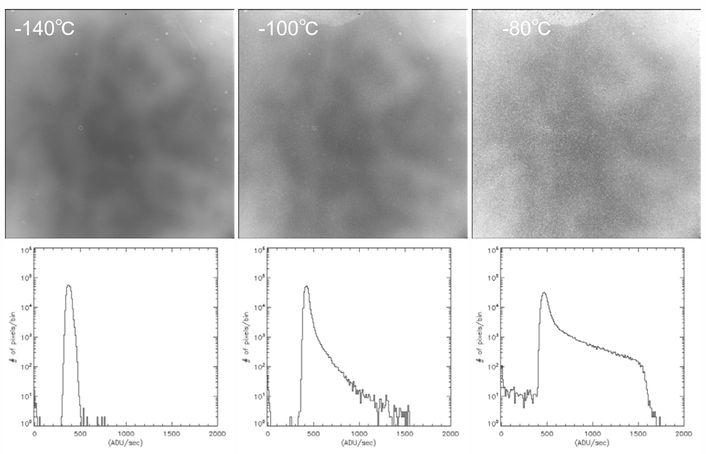
バイアス画像には32ch読出ポートに対応した縞模様が見える。ホットピクセルは、温度とともに増え、特に -100℃ より高温で著しく増加する。





暗電流は-80℃で1200~3000 e/s程度(64fpsで20~ 50e/frame)でほぼ想定通りである。低温で暗電流が低下しないのはデュワー内の赤外輻射のため。





This document is provided by JAXA.