

SOLAR-C光学磁場診断望遠鏡:像安定化装置(コリレーショントラッカー)に向けた高速CMOSカメラ検討開発

清水敏文*, 飯田佑輔, 岡本文典, 渡邊恭子(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所),
小出来一秀(三菱電機先端技術研究所)

* shimizu@solar.isas.jaxa.jp

概要

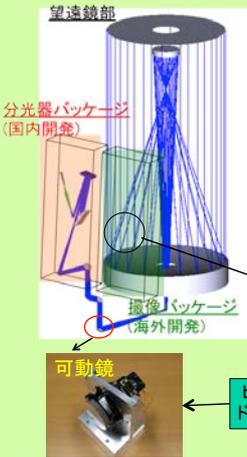
次世代太陽観測衛星SOLAR-Cに搭載される光学磁場診断望遠鏡(SUVIT)は、0.1秒角以下の非常に高い解像度に加え、高精度(10^{-4})の偏光分光観測を行う。この実現には、**0.02秒角(3 σ)の画像安定度**が必要とされる。

その実現のために、望遠鏡内部に**コリレーショントラッカー**と**可動鏡**を組み合わせたシステムを搭載する。「ひので」可視光磁場望遠鏡(SOT, 0.2-0.3秒角)で初めて搭載されたが、さらに高い画像安定度がSOLAR-Cでは要求されるために、擾乱解析の結果によっては、制御帯域の広帯域化や性能向上させる必要がある。

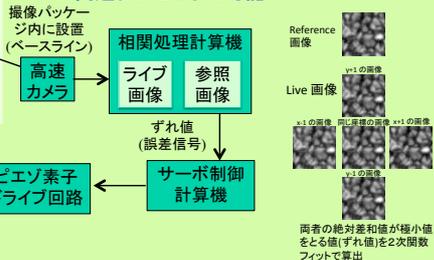
本研究では、コリレーショントラッカー用高速カメラとしてCMOSセンサの採用を検討し、CMOSカメラの電気回路を試作開発した。本ポスターにて、CMOSセンサの選定、ずれ検出能力の評価、試作した制御電気回路の概要、およびその初期結果を報告する。

コリレーショントラッカー

光学磁場診断望遠鏡(SUVIT)

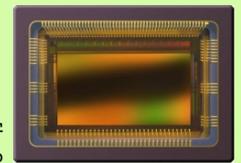


- 概念設計: 「ひので」と同様に、日本製可動鏡・サーボ制御計算機と米国製コリレーショントラッカーを合体
- 国際協力体制動向やコリレーショントラッカーに性能向上が不可欠であることから、日本側でもコリレーショントラッカーの検討を行う
- 画像安定度要求 0.02" (10 [sec], 3 σ)
→ 各誤差要因への配分
カメラ/相関への配分 ~0.01" (TBD)
- 擾乱に対する対応として、どの周波数帯域まで対応するかが未確定
→ **高速化はどこまで可能か?**



CMOSセンサ選定

- クロック高速化の限界に来ていたCCDに比べ、民生で主流となりつつあるCMOSは、画素単位での読み出しのため、非常に高速な読み出しが可能。
- 宇宙機搭載を想定したCMOSセンサ選定を実施。会社訪問での協議を経て、宇宙機CMOSセンサで実績を出しつつある**CMOSIS社のCMOSセンサを第一候補と選定した。**

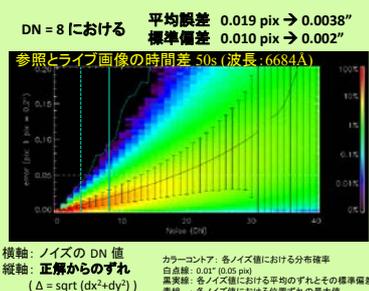


CMOSIS CMV 2000	
フォーマット	2048 (h) x 1088 (v)
ピクセルサイズ	5.5 μ m \square
シャッター方式	グローバルシャッター
フルウェル	13.5 Ke-
ダークノイズ	13e-(rms)
変換ゲイン	0.075 LSB/e-
クロック	5-48MHz (マスターCLK) 50-480MHz (読み出し, LVDS input CLK)
データ出力	16 LVDS outputs, 480Mbps
フレームレート: 全面画素読み出し	340 fps (10bit), 70fps (12bit)
フレームレート: コリレーション視野(50x50pixel)	~7400 fps @ 48Hz, 16 LVDS outputs

- 民生マシーンビジョン向け製品であるが、放射線耐性は高そう(他宇宙機試験結果) (一部カスタム化設計対応は必要ではあるが)

ずれ検出能力

- 懸念: **小さなフルウェルのCMOSセンサは、画像S/Nが低い。**
- CMOSセンサに含まれるノイズ量に基づき、コリレーションによるずれ検出能力をひので画像を用いて解析的に評価
- ノイズ量
光量 7,000e- (フルウェルの約半分, 700DN, assumed 10e-/DN)
→ 光子ノイズ ~80e- (8DN)
c.f., 「ひので」SOT CT CCD
光量 50,000e- (~1000DN, 50e-/DN)
→ 光子ノイズ 220e- (4.4 DN)
- ノイズを印可した画像を用いて、相関計算を行い、正解からのずれを求める
- 0.01" (3 σ)は、ぎりぎり達成可能なレベル**

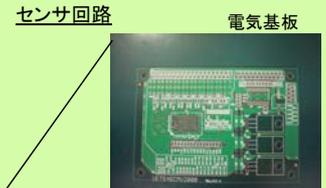
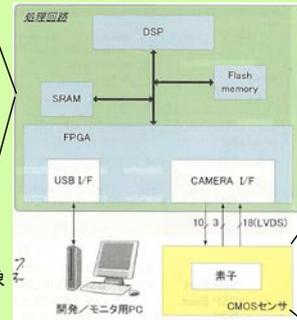


CMOSカメラの回路設計製作

- CMV2000センサ用の電気回路(処理回路およびセンサ回路)を設計して、センサ・回路評価のために試作を行った。



- ### 処理回路
- DSP上S/Wにより処理制御
 - FPGA上に、センサや連続撮像を行う制御等I/F制御を実装
 - 取得画像はSRAMに記録
 - 相関演算機能は未実装(将来)
 - マスタークロック 15MHz
SRAM I/Fによる制約



- 電気部品は、宇宙機搭載を想定して選定(民生ならもっと早いものはあるが)

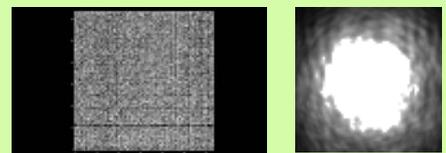
シャーシで覆われたセンサ回路

センサー読み出し速度

- 試作回路 **1430 frames/s (最速)**
(読み出しサイズ: 64x64pixels)
- 20MHz化(取得画像を外部SRAMでなくFPGA内部RAMに保存する)によって、実現可能な最大速度
1906 frames/s
(読み出しサイズ: 64x64pixels)

初期データ

- ダーク画像およびレーザー光入射画像(ともに64x64画素切り出し)。今後、センサーの特性評価等を行う予定



科研費

本研究は、基盤研究(C) 23540278「太陽大気での磁気リコネクション現象におけるエネルギー輸送の観測的研究」(代表者: 清水敏文)他に基づいて行われた基礎開発研究の一部である。