

木曾広視野CMOSカメラTomoe データ取得部のシステム設計

菊池勇輝 (東京大学 天文学教育研究センター)

酒向重行・土居守・本原顕太郎・宮田隆志・小林尚人・諸隈智貴・高橋秀則・青木勉・征矢野隆夫・樽沢賢一・前原裕之・三戸洋之・中田好一・藤堂颯哉・白井文彦・松永典之 (東京大学) 田中雅臣・渡部潤一 (国立天文台)・富永望 (甲南大学)・猿楽祐樹・有松巨 (JAXA/ISAS)・板由房・小野里宏樹・花上拓海・岩崎仁美 (東北大学) 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会)・佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館)

東京大学木曾観測所では 105 cm シュミット望遠鏡用の次世代カメラTomoeの開発を進めている。本装置では、84 チップの常温駆動CMOSセンサを使用することにより、シュミット望遠鏡の9度直径の全視野を覆う。常温駆動 CMOS センサはカメラ筐体の軽量化をもたらし、読み出し時間が実質的にゼロの高速連続観測を可能にする。これにより、一晩に20 TB以上の膨大なデータが生成し、適切なデータハンドリングが必要となるため、その方法を検討した。また2015年3月を目処に使用するCMOSセンサの駆動実験を行う予定であり、そのための各種読み出しボードを設計した。本発表では、Tomoeの概要、データハンドリングの方法、各種回路設計およびそれをういた室内実験について述べる。

超広視野CMOSカメラTomoe概要

Tomoeでは 84 チップの常温駆動CMOSセンサで105 cmシュミット望遠鏡の全視野を覆う (図1)。カメラの仕様を表1に示す。また、データの生成レートを表2に示す。最速フレームレート (2 フレーム/秒) で 10 時間連続して観測した場合、27 TBもの膨大なデータが生成される。

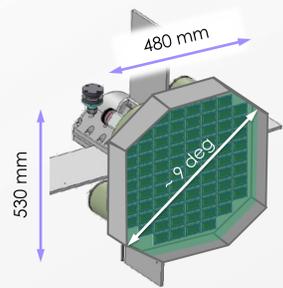


図1 Tomoeの完成想像図。シュミット望遠鏡の主焦点に筐体を設置し、84 チップのセンサを配置する。

総視野	~20 deg ²	
センサチップ数	84 チップ	
フレームレート	全領域読み出し	最大 2 フレーム/秒
	部分読み出し [†]	最大 20 フレーム/秒

表1 Tomoeの仕様 [†]20 × 20画素を10,000領域読み出す場合

	1 チップ	84 チップ
1 フレームのデータサイズ	4.5 MB	380 MB
最速 (2 フレーム/秒) でのデータレート	9.0 MB/秒	760 MB/秒
1晩あたりの最大データ量 (10時間連続観測)	0.32 TB/夜	27 TB/夜

表2 データ生成レート

CMOSセンサ概要

Tomoeに使用するのはCanon製 35 mm フルHD CMOSイメージセンサである (図2)。このセンサの仕様を表3に示す。センサの最大フレームレート30 frame/secに対し、カメラのフレームレートが遅いのは、生成するデータに対する処理能力によるものである。



図2 Tomoeに使用するCanon製 35mmフルHD CMOSイメージセンサ。表面照射型。

有効画素数	2000 x 1128
ピクセルサイズ	19 μm
量子効率	45 % (λ = 500 nm)
感光画素/パッケージ面積率	~ 30 %
内部ゲイン	内部回路により可変
出力信号	16 ch 差動アナログ出力
フレームレート	30 frame/sec (最大)
飽和電子数	55000 e ⁻ /pix
読み出しノイズ	2.3 e ⁻
暗電流	0.05 e ⁻ /sec/pix

表3 CMOSセンサの仕様

データ逐次処理・転送部

Tomoeが生成する27 TB/夜の膨大なデータの全てを生データとして保存することは現実的でない。そのため、科学的に有用なデータを取得後すみやかに抽出し、データサイズを削減する逐次処理システムを検討している。これを実現するために、Tomoeのデータ処理部では、望遠鏡の主焦点にあるカメラ (①) と5 台の制御用PC (②)、ドーム内の制御室に配置した一次サーバ (③)、ドームから離れた観測棟に設置した二次サーバ (④) からなるシステムを用いて、これらの転送および保存を行う (図3)。



図3 Tomoeのデータ処理システムのベースデザイン

制御用PCは多チャンネル転送と計40 TBの大容量ストレージにより、観測1日分の生データを保存できる。このデータを観測終了後の日中に、約10 日分の生データの保存が可能で300 TB容量の一次サーバに転送する。この一次サーバ内で対象天体の周りのトリミングと100 枚程度のco-addの処理により、生データを 1/50 程度のサイズに削減する計画である。その後、リダクション済のデータを観測棟内の300 TB容量の二次サーバに転送し、約600日分を保存する。

読み出しボードの設計

Tomoeカメラセンサ部の概略図を図4に示す。Tomoeでは4枚のセンサを1ユニットとし、一つのドライブボードで駆動する。ADCボードは各センサに一枚ずつ搭載し、それぞれが16 ch分のデータの変換を行う。電源の供給や駆動パルスへの入力にはマザーボードからドライブボードを通して行う。

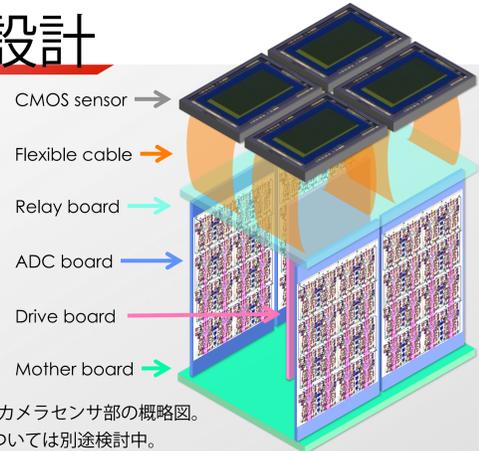


図4 Tomoeカメラセンサ部の概略図。筐体については別途検討中。

ADCボード

センサからは差動信号が出力される。これを差動アンプ回路により増幅、レベルシフト、フィルタリングした後、16bit ADコンバータでデジタル化する。フィルタ回路にはフィルタ特性がOPアンプに左右されにくく、かつ位相特性、トランジェント応答のよいサレン・キー型 2 次ベッセル特性を採用した。読み出しボードについては図4の様にセンサ1枚の裏に隠れるようなコンパクトな設計とする。

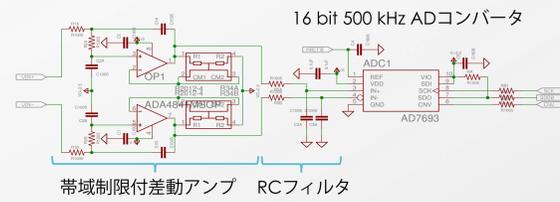


図5 1ch分のフィルタ回路。使用部品数を抑えた、省スペースかつ低発熱の設計をコンセプトとしている。

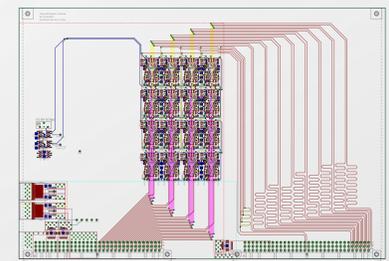


図6 設計したADCボード

ノイズ推定

抵抗器のジョンソンノイズ	~ 31 μV
OPアンプの漏れ電流によるノイズ	~ 42 μV
OPアンプの電圧ノイズ	~ 28 μV
合計ノイズ	~ 54 μV

発熱推定

1 chあたりの発熱量	~ 25 mW
センサ 1 チップ分のADCボードでの発熱量	~ 400 mW
センサ84チップ分の発熱量	~ 30 W

ドライブボードの設計

ドライブボードではセンサの駆動に必要な電源と定電圧の供給、クロックパルスの入力を行う。ボード全体の制御はI²C通信によって行う。電源および定電圧には投入順序が決められており、本ボードではレギュレータによる電圧の生成とアナログスイッチによる投入順序の制御を行う。

電源供給部

センサ駆動のため 4 種の電源を供給する。電圧と同時に数百mAの電流を供給する必要があるため、レギュレータおよびアナログスイッチには大きな電流を流す事ができるものを選定した。

定電圧供給部

12種のバイアス電圧を供給する。

駆動パルス転送部

センサの動作には28種のクロックパルスの入力が必要となる。本ボードでは、外部から入力したクロックパルスをアナログスイッチによって制御し、供給する。

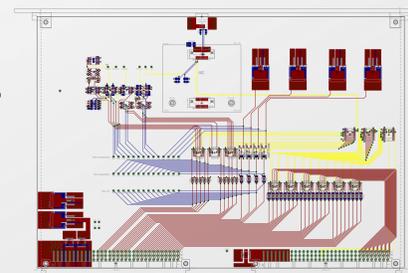


図7 設計したドライブボード

センサ駆動実験

設計した読み出し用の各種ボードを用いて2015年3月を目処に室内実験を行う予定である。この実験からセンサおよび、回路を含めた場合のノイズやダイナミックレンジなどの性能を評価する。