

酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 一木真, 小島悠人, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 満田和真, 有馬 宣明, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森 由貴, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘, 春日敏測 (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (日本流星研究会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所)

## トモエゴゼン

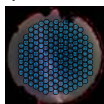


木曾観測所: 木曾町立木曾観測所, 建設費1.3億, 4.4x10<sup>6</sup>km<sup>2</sup> (約10%) image: TMG image Archive.

## 科学目的

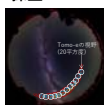
### ■2時間頻度の全天サーベイ

- 夜空の全域を巡回監視
- <18等級のイベントを全て録画



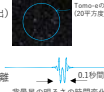
### ■重力波可視光対応天体の探査

- ① 重力波望遠鏡からアラートを受信
- ② Tomo-eで即座にサーベイ追観測
- 重力波望遠鏡の初期運用時 (位置決定精度=数100平方度) にアバタンテージ



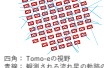
### ■太陽系外縁小天体による掩蔽

- 1視野を10Hzで動画観測 (部分抽出)
- 約1万個の天体を監視 (<14等級)

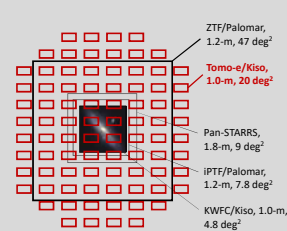


### ■地球近傍天体、微光流星

- <12等級の微光流星を約1万個/夜 (2秒毎) 検出
- みかけの移動が速い地球接近天体の検出



## 視野比較

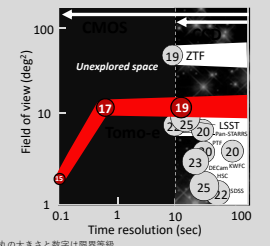


## CMOSセンサ

Pixel	2000 x 3128
Pixel size	12 μm
Architecture	Front gate + reset bias setup
Surface protection	Cover glass with AR coating
Output	16 ch differential analog out
Internal amplifier	40 Transimpedance
Transimpedance	Boasting read out
Read out mode	250 MHz 800 Transimpedance
OE I/O	40 0V 400 mV 1000mV
Read out noise	2.2 mV @ 100 Hz @ 1000mV
50000 gbit/s @ 1000mV	
Dark current	0.01 e-/s @ 1000mV
Filling factor	Sensor area/Package area = 0.3
Package size	400 mm x 400 mm

- 35 mm フルHD CMOSセンサ
- 常温でも低い暗電流
- 高速駆動でも低い読み出しノイズ

## 時間変動探査能力



## 実機設計概要

Tomo-e Gozen実機は同設計の4台のカメラユニット (Q1, Q2, Q3, Q4) から構成される。各カメラユニットには21台のCMOSセンサが搭載される。センサは木曾シュミット望遠鏡の焦点面 (球面) に沿って配置され、常温・常圧下で駆動される。センサから発生する熱は、筐体を経由して側面のヒートシンクから自然放熱される。センサの温度は一定温度に制御せず、外気温に連動する設計。非真空設計のため軽量の筐体を実現する。カメラ部の総重量は約80kg。フィルタ交換機構などの駆動部を搭載せず、長期安定なシステムを実現する。カメラが生成する最大30TB/夜に及ぶ動画ビッグデータは光信号として約30m離れた計算機室に送られる。解析はオンサイトのデータ処理システムにて実施し、生データの保存期間は3日程度とする。

センサ読み出し  
エレクトロニクス

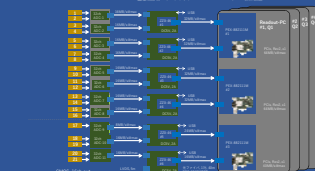
望遠鏡  
スライダ

CMOSセンサ x84チップ  
フィルタを各チップ毎に設置  
初期運用時はフィルタ無し (透過窓)

Tomo-e Gozen実機カメラ部の概観

## センサ制御

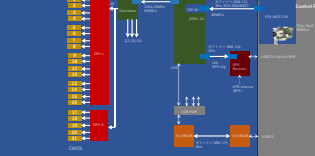
読み出し系



- 計16ch x 84台 = 1344個のADCチップにて読み出し

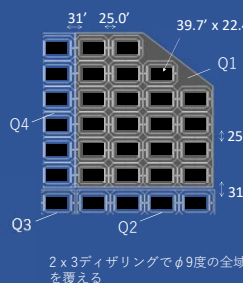
- 光変換ボード (ZZD-46) をインタフェース社との共同研究にて開発中
- 光変換ボードは発熱するため鏡筒外ラックに設置

制御系

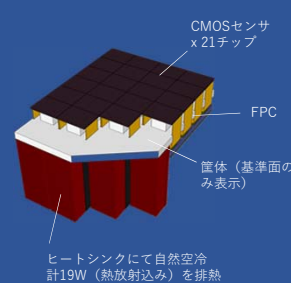


- 21台のセンサを1台の計算機で読み出し
- 84台のセンサを1台の計算機で制御

センサの配置とプレートスケール



カメラユニットのセンサ部



ヒートシンクにて自然空冷  
計19W (熱放射込み) を排熱

## 筐体の熱試験と製作

- 筐体の熱試験機を製作, ダミーセンサ (ヒーター) を設置
- センサ温度が外気温+5°C以下となるヒートシンクのサイズを実験的に導出



- 国立天文台先端技術センターにて筐体を一体加工。形状精度30 μm p-pの達成を確認。完成した筐体 (左) 仮組みしたカメラ, (中央) 窓枠, (右) 筐体背面



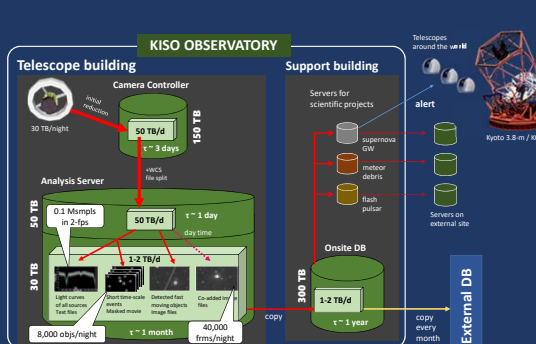
## 計算機・通信整備



東京大学天文学教育研究センター三鷹に納入された計算機群

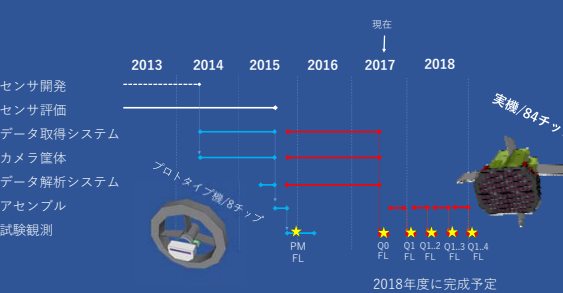
- オンサイト逐次データ解析システムの構築を開始
- カメラ制御、パッファ、解析、ストレージの4種の計算機システムから構成
- 木曾観測所内の通信を高速化 (10Gbps)

## データフロー



- 生データの保存期間は約3夜
- オンサイトの逐次解析でデータ量を数%に削減。オンサイトDBに格納。
- サイエンスチームはオンサイトDBより一次解析済みデータを取得
- 京都3.8m望遠鏡との連携による即時追観測体制を計画中

## 開発スケジュール



## 関連文献

- Sako et al. "Development of a prototype of the Tomo-e Gozen wide-field CMOS camera" Proc. SPIE 9908, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI, 99083P, 2016
- Ohsawa et al. "Development of a real-time data processing system for a prototype of the Tomo-e Gozen wide field CMOS camera" Proc. SPIE 9913, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy III, 991339, 2016
- 木曾シュミットシンポジウム2016  
(<http://www.mtk.iasa.u-tokyo.ac.jp/kisoph/RESEARCH/symp2016/>)