

可視赤外線同時カメラHONIRの 開発

広島大学 D2 先本清志

Contents

- HONIR(Hiroshima Optical and Near-Infrared camera)
- 開発状況-真空冷却系-
- 開発状況-光学系-
- 開発状況-駆動・制御系-
- 開発状況-検出器系-
- ファーストライト結果-装置効率-
- ファーストライト結果-光学性能-
- ファーストライト結果-その他-
- まとめと今後

HONIR

東広島天文台:

- 高エネルギー突発天体の多波長観測連携拠点の一つで、すざく・Fermiと連携している

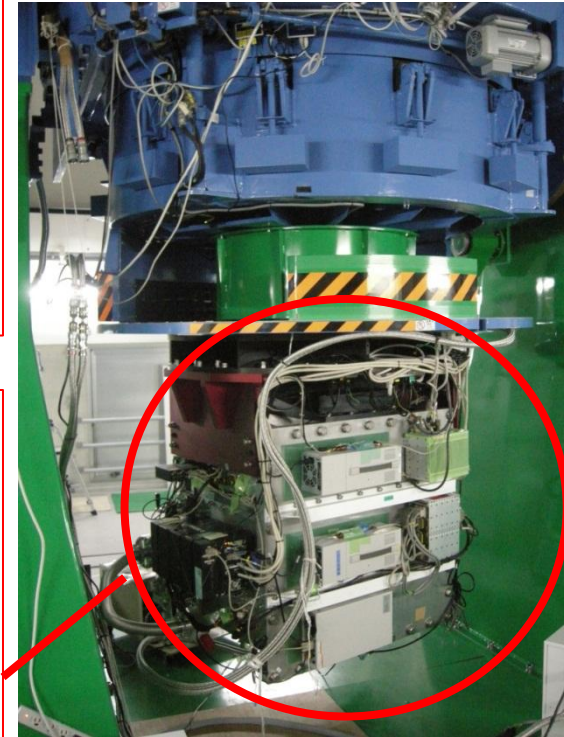
かなた望遠鏡:

- 口径1.5-mの突発天体に特化した高機動性の望遠鏡で、豊富な観測時間とフレキシビリティあり



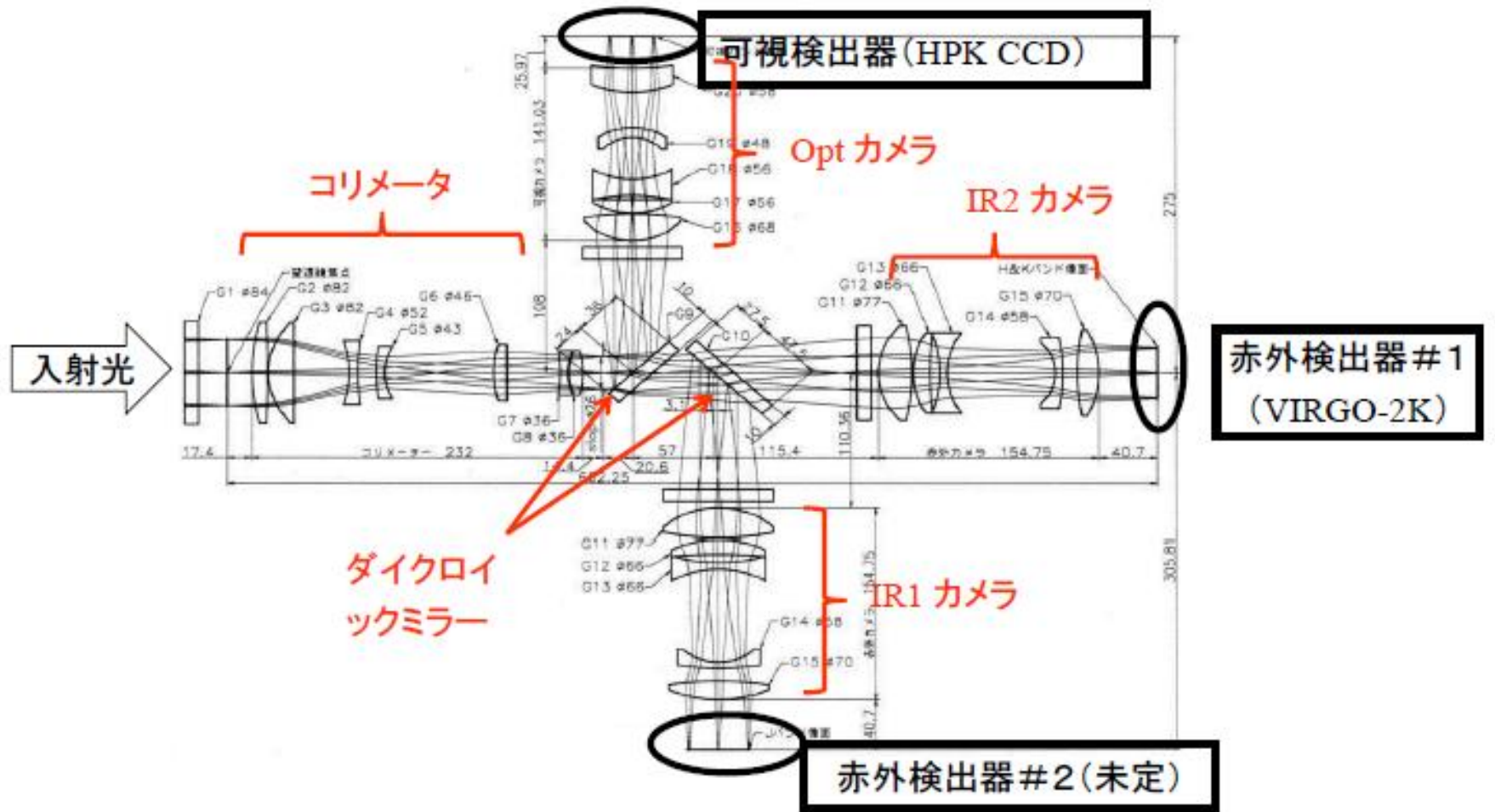
HONIR:

- HONIR(Hiroshima Optical and Near-Infrared camera)
- かなた望遠鏡専用可視赤外線同時カメラ
- 可視1バンド赤外線2バンド同時撮像
(現在は可視1バンド赤外線1バンド実装)
- 撮像・偏光・分光・偏光分光の多モード観測が可能



高エネルギー突発天体の即時多モード観測に特化した稀な体制

HONIR光学系



かなたに最適化された光学

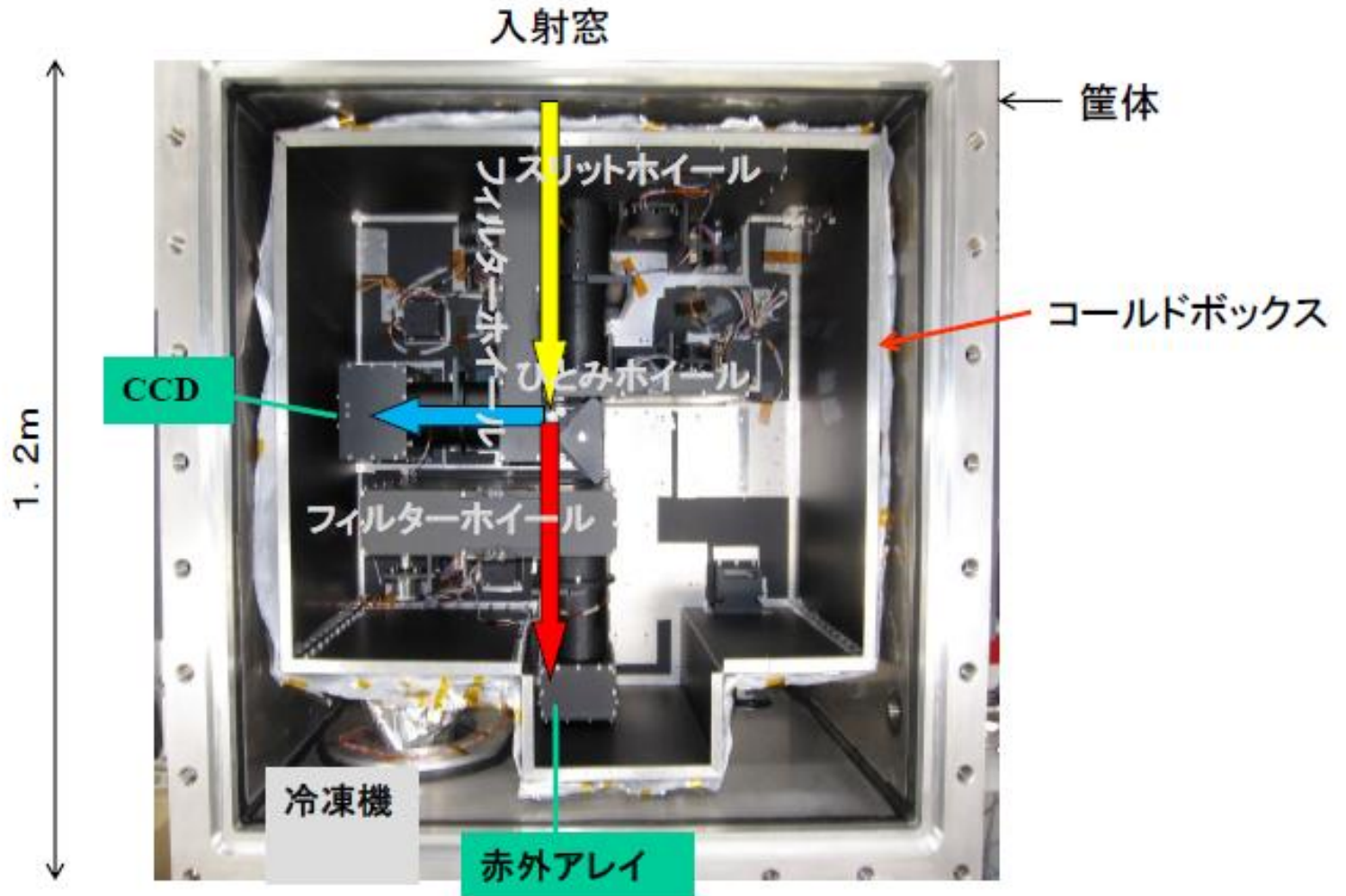
TRISPECの後継機

可視・近赤外線3バンド同時観測(最終目標)

→ 当面は可視・近赤外線の計2バンド

偏光モード・分光モード×偏光モードを搭載予定

HONIR筐体内部



HONIRと現行装置の比較

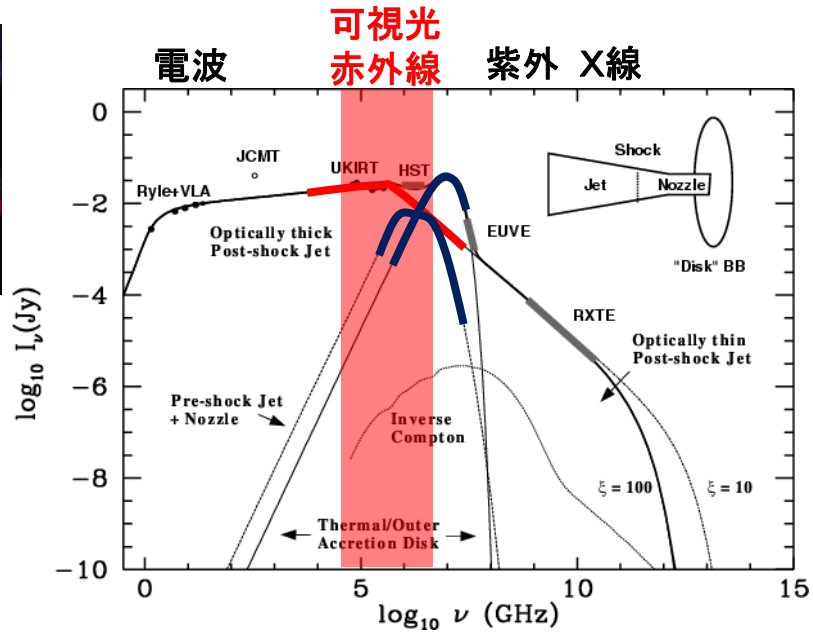
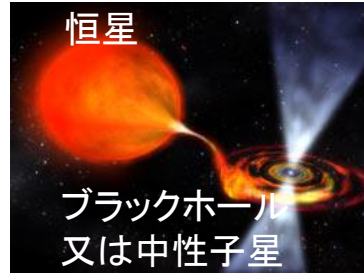
	TRISPEC	HONIR
検出器	OPT: 512 × 512 IR2: 256 × 256	OPT: 2048 × 2048 IR2: 2048 × 2048
視野	OPT: 7分角 IR2: 7分角	OPT: 10分角 IR2: 10分角
ピクセルスケール	OPT: 0.82"/pix IR2: 1.65"/pix	OPT: 0.29"/pix IR2: 0.29"/pix
観測効率(5秒積分)	IR2: 40%	IR2(VIRGO): 53%(4ch-mode) 88%(16ch-mode)

- ・検出器が大フォーマット
- ・ピクセルスケールがシーイングとマッチ
 - 適正なサンプリング(0.3"/pix)で撮像!
(cf. 東広島天文台のベストシーイング 1")
 - スカイレベルが相対的に減少
Kバンドの限界等級が3等程度下がる

観測効率:
積分時間・画像読み出し時間など
オーバーヘッドタイムを考慮した時の
総時間に対する積分時間のこと

観測ターゲット

X-Ray Binary



Markoff et al. (2001)

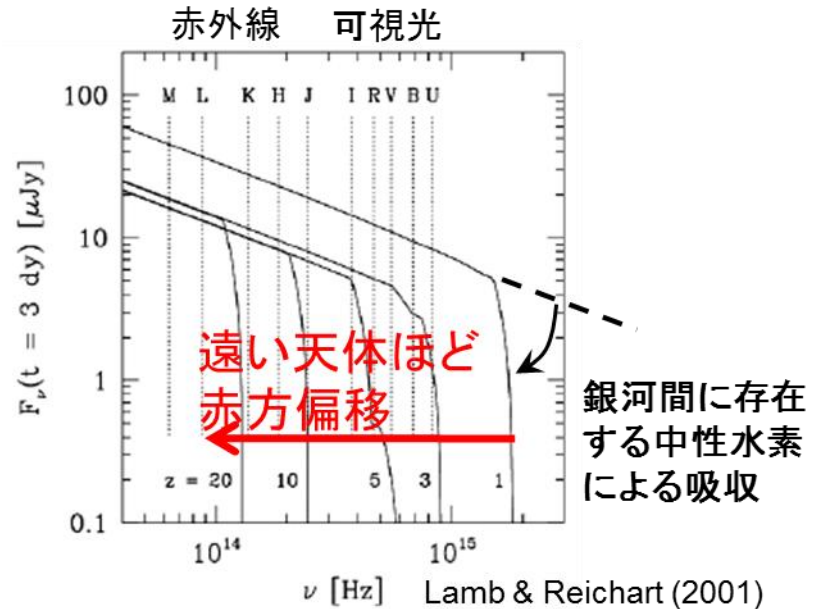
HONIRによる可視近赤外同時偏光撮像によるjet成分寄与の研究:

- 赤外線がジェット、可視光が降着円盤を起源としている可能性あり
- シンクロトン放射の直接検出

Gamma-Ray Burst

HONIRによる可視近赤外測光による距離推定:

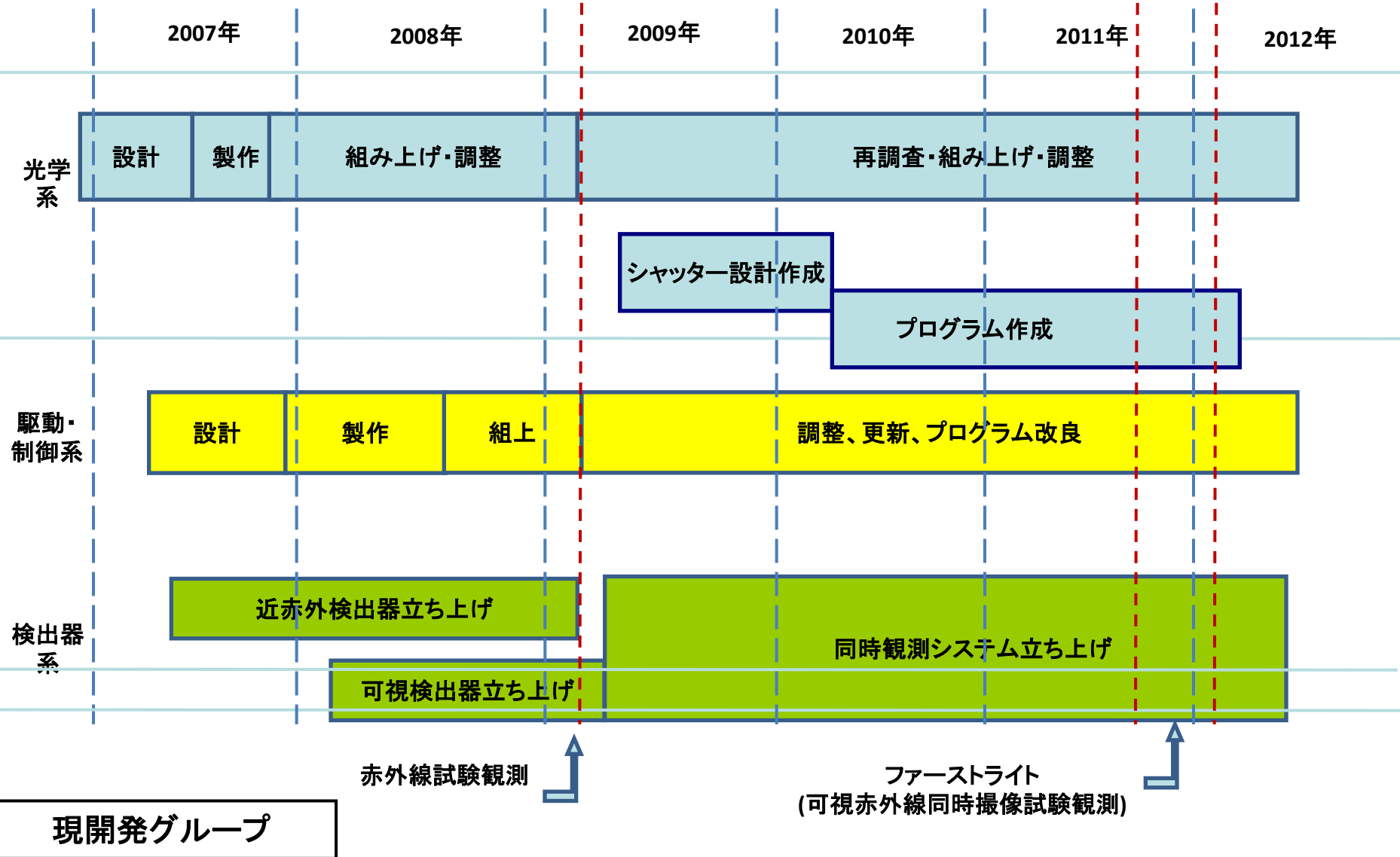
- 多波長でライトカーブを追う
- スペクトルのライマンドロップからGRBまでの距離を推定する



Lamb & Reichart (2001)

矮新星・原始星・褐色矮星など

HONIR開発タイムスケジュール



現開発グループ

(広島大)

先本清志、原尾達也、(宮本久嗣、小松智之)、
秋田谷洋、川端弘治、吉田道利

(国立天文台)

中島亜紗美、山下卓也、中屋秀彦

開発状況-真空冷却系-

真空冷却系:

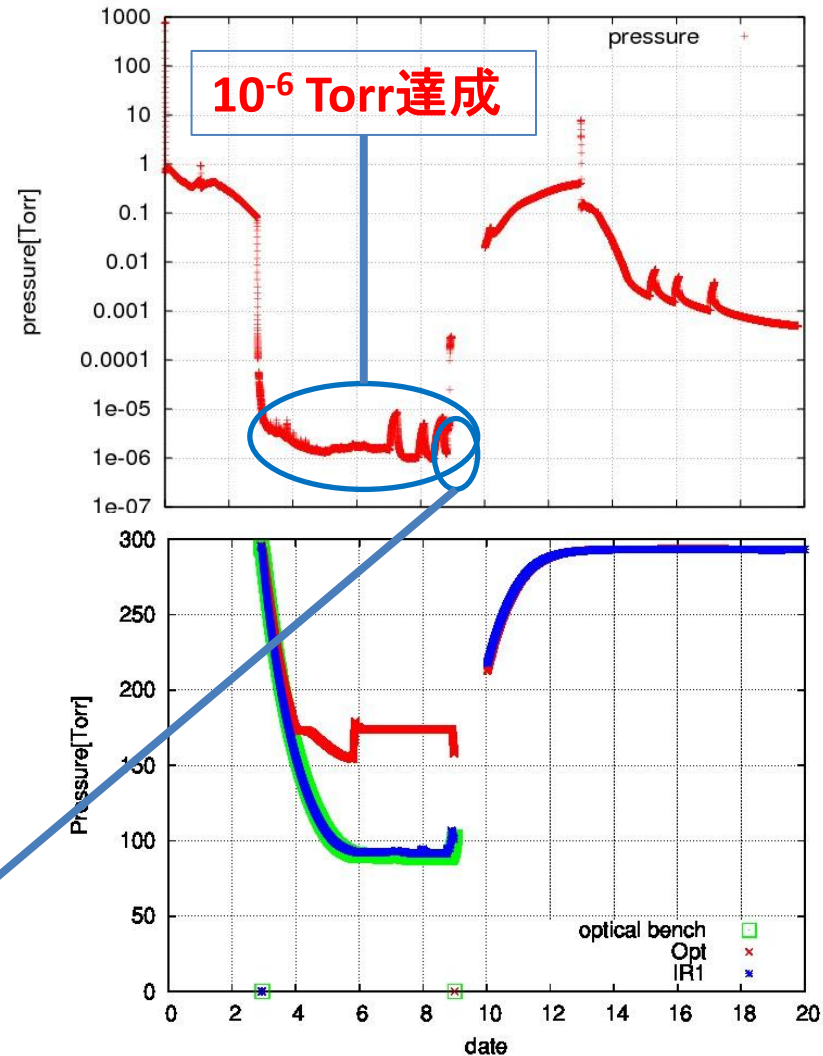
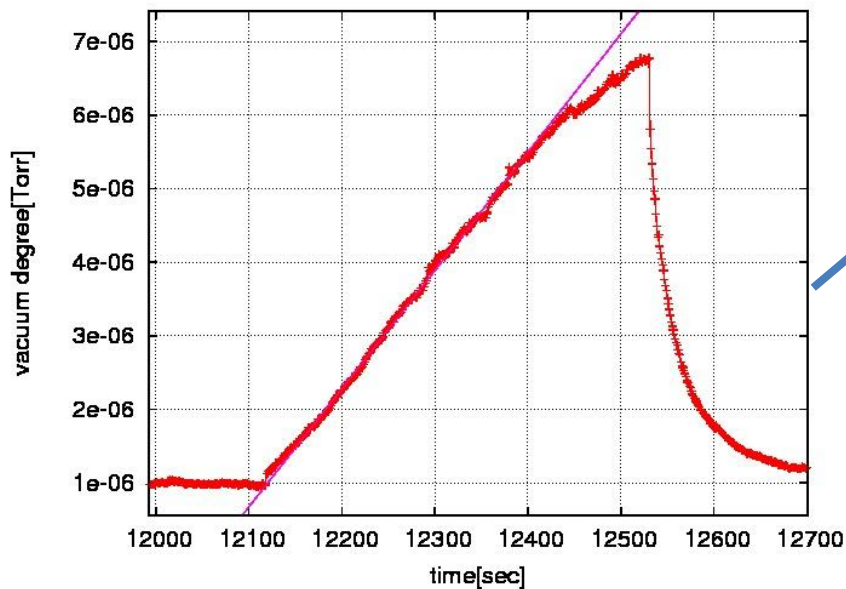
装置内赤外線バックグラウンドを防ぎ、且つ
検出器最適駆動温度にするため~80K保持

評価試験 装置内圧力と温度保持

- 到達圧力 $10^{-4} \rightarrow 10^{-6}$ Torr
- 圧力温度保持:二時間 \rightarrow 一週間程度

冷却対策:

アウトガス吸着剤ケースの設計・製作
評価試験を今後行う



温度保持できる圧力 10^{-4} Torrと
した時に、保持期間は1週間程度

開発状況-光学系-

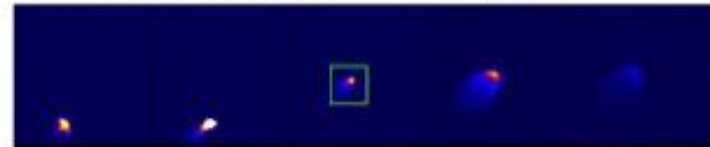
レンズホルダー・スペーサーの再製作および再組み上げ(面取り)
各レンズの偏心調整、公差内に

常温下・冷却下での結像試験
→焦点位置が大きくずれている

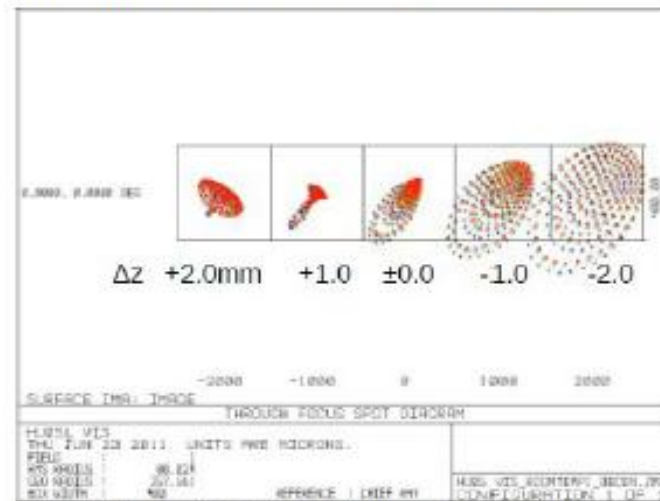
常温下での光学調整
光学設計と機械設計との差異
ZEMAXシミュレーションとの比較

- 傾向は概ね一致している
- 冷却化では、依然ずれたままかなた込みの光学系だから？

方針：
この状態のままで、かなたに取り付けて試験観測を行うことにした



常温下で撮影した小孔マスク像(上)と、その状況を模したZEMAXでのスポットダイアグラム計算結果(下)との比較
CCD面位置移動(Δz)に伴う収差の変化の様子がうまく再現されている

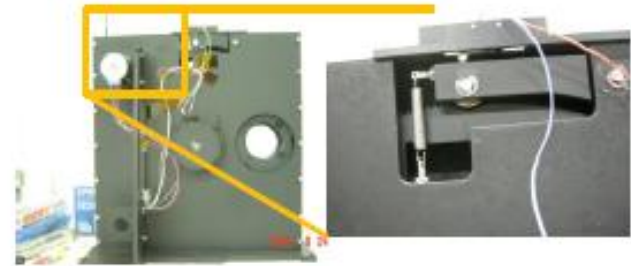


詳しくは秋田谷ポスター参照

開発状況-駆動・制御系-

光学系ホイールの駆動試験・調整

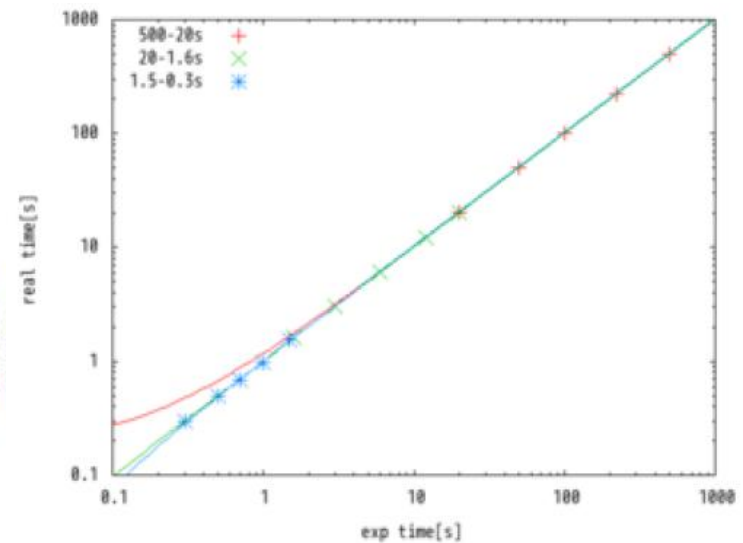
- ・モーター励磁OFF・バネ引き込みによる位置決め機構のバネ強度変更による調整と動作確認
- ・焦点ホイールで位置再現性確認
- ・他のホイールも同様に調整
- ・最も大きいマスクホイールはトルク不足がみなので、十分なトルクを持つ真空モータに交換する必要あり
- ・それ以外はこれまでと同じ手製の改造モータで対応



シャッターの動作試験

- ・良い駆動再現性(重力方向に依らない)
- ・最短露出 0.286s
- ・露出時間1365sで動作モード変更
- ・露出時間キャリブレーションが必要

→さまざまな露出時間でフラット光源を撮像して、露出時間の校正を行った。



0.3~500sまで約3%以内の精度で露光時間のリニアリティを保てる

開発状況-検出器系-

IR (Raytheon HgCdTe 2k2k) と Opt (HPK CCD) の同時駆動・読み出し

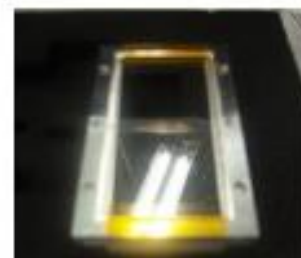
- スクリプトを作成 (Messia5 + Mfront2 / MACS2にて駆動)
- 動作は良好
- HgCdTeのダークに奇妙なリセット時間依存性

HgCdTeについてはリセットモードを変えたより効率的な読み出しの実現を目指している (DSPプログラム偏光)

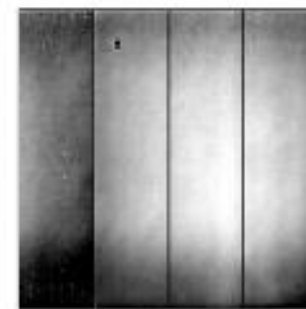
出力FITSへのヘッダー記載プログラム実装中



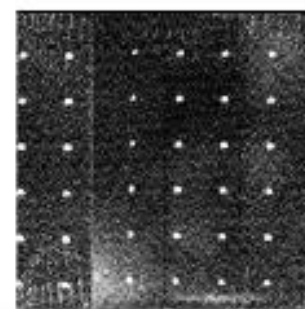
Raytheon Virgo
2k2k HgCdTe



HPK
2k4k Si (FD)



差分前



差分後

ファーストライト:可視赤外線同時撮像の試験観測

2011年10月-2012年02月初旬まで、
かなたにHONIRを取り付けて、
ファーストライトを行った。

試験項目:

装置効率

-様々な高度の標準星の観測

大気減光係数

結像性能

-星像サイズとその歪みの視野依存性

-収差成分の分離と今後の光学系調整方針

露出時間の精度

-光学シャッターのキャリブレーション

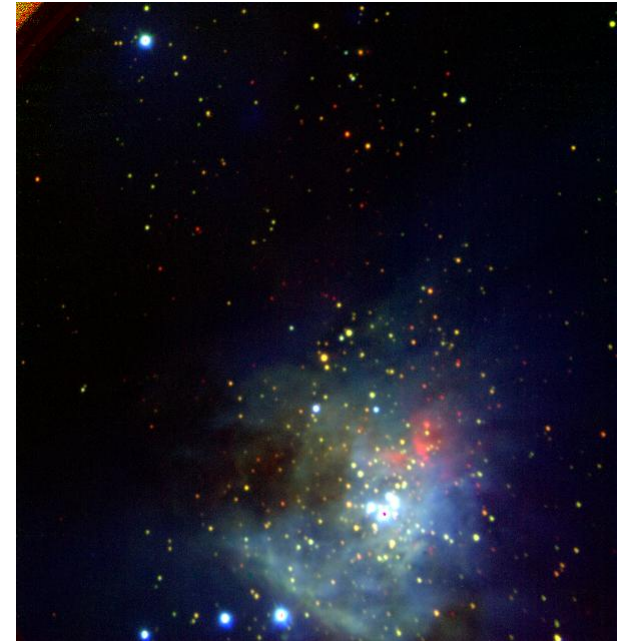
-露光時間較正

検出器ノイズ

-各種ノイズ対策

など

M42:VJK三色合成

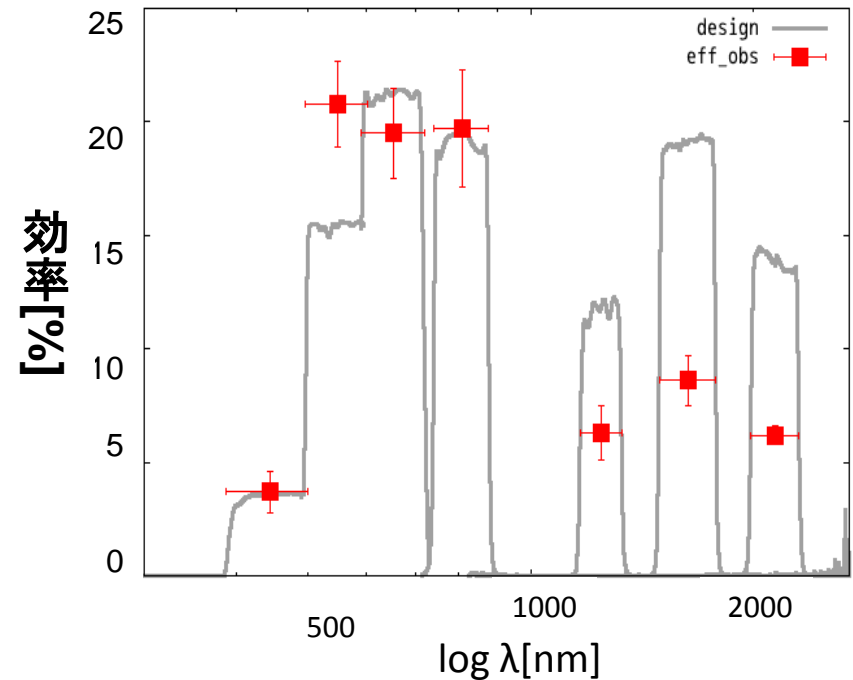


ファーストライトにおける
平均星像サイズ(FWHM)=2''
最良星像サイズ:
可視=1.9''、赤外=0.9''

装置効率

効率の設計値の導出

- 望遠鏡の反射率(典型値)
- 窓材の透過率(設計値)
- レンズ系の透過率(設計値)
- DMの反射・透過率(測定値)
- フィルター透過率(測定値)
- 検出器の量子効率(仕様値)



近赤外の効率悪化の原因

- 電荷変換効率の不定性
 - 回路設計に基づいた値を使用している
 - 光子統計誤差を用いた手法では2~3倍異なる
 - 但し、ノイズが大きいため正確に測定できていない
- レンズ透過率の不定性
 - ~80K冷却下での光学ガラスの特性は、依然よく判っておらず、設計値の誤差が大きい可能性がある。

今後、個別に調査する

現行装置との比較

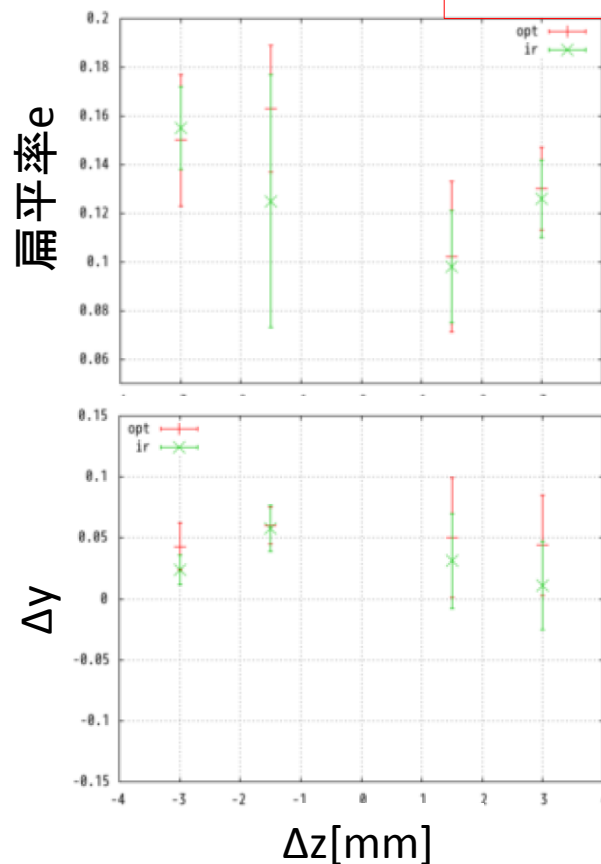
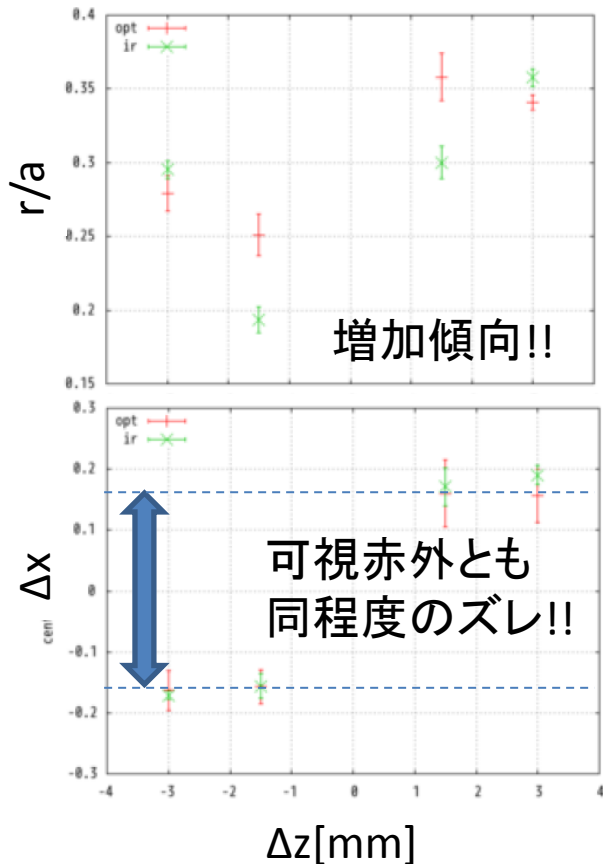
	TRISPEC (Watanabe+06)	HONIR
視野	7分角 × 7分角	10分角 × 10分角(約2倍)
画素の大きさ	OPT 0.82秒角 IR1, IR2 1.64秒角	OPT 0.30秒角 IR 0.30秒角
検出器ノイズ	OPT 18e- IR1 54e-, IR2 87e-	OPT 5e- IR 100e-
装置効率	OPT(0.65 μ m) 11% IR2(2.2 μ m) 36%	OPT(0.65 μ m) 18-19% IR(2.2 μ m) 6%
限界等級 (600秒露出、 $\sigma=0.1$ mag、 9秒角開口)	OPT(0.65 μ m) 18.5 mag IR2(2.2 μ m) 15.1 mag	OPT(0.65 μ m) 20.4 mag (5.6倍深い) IR(2.2 μ m) 15.4 mag (1.3倍深い)

ファーストライト結果-光学性能-

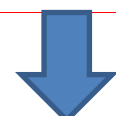
デフォーカス像による収差の調査
 主鏡像:楕円、副鏡影:円でそれぞれFit
 -副鏡の半径 r /主鏡の長軸 a
 -主鏡の短軸 b /主鏡の長軸 a =扁平率 e
 -主鏡中心と副鏡中心の差 Δx 、 Δy
 -それぞれの Δz 依存性を調べた



- ・球面収差が残っている
- ・ほとんど非点収差は見られない
- ・ Δx が変化していることから、光軸ズレが疑われる。視野内依存性も確認されたため、コマ収差もある。



- ・主な収差は
 - 軸ズレ
 - 球面収差
 - コマ収差
 であり、コリメータレンズ以前で起こっている



コリメータレンズ群の再調整
 および、見直し
 or
 観測装置取り付けインター
 フェースの見直しなど

他の評価項目について

- 結像性能
 - 近赤外域で最良星像サイズ 0.9秒角
 - 収差の解析を行い、コリメーターレンズかそれ以前の軸ズレ・球面収差・コマ収差の存在を確認
- 光学シャッターのキャリブレーション
 - 良い露光平坦性(どの露出時間でも $\Delta < 1\%$)
 - 0.3秒 – 500秒の広い時間幅に対して充分良い線形性($\Delta < 3\%$ 、露出1.5秒以上では $\Delta < 1\%$)
- 真空冷却
 - 全面スーパーインシュレーターで覆うことで80K達成した
 - 外気温に影響されやすく、冬場は一か月以上真空温度保持可能
 - 今後は分子吸着剤を導入して様子を見る
- 検出器ノイズ
 - CCDは検出器電源の筐体への短絡により、要求性能通りのノイズ値を示した
 - Virgoは電源の筐体への短絡でも依然高いノイズ値(30e-)
 - 望遠鏡本体が施設GNDに繋がっていないなど、更なる対処が必要

まとめ

- 可視赤外線撮像のファーストライトを行った
 - まだ調整の余地は残っているが、可視赤外線ともに性能は現有装置を超えている
 - 装置効率は可視では20%と目標性能達成(赤外は半分)
 - 赤外検出器のノイズ()、収差が残っている
 - 撮像モードとして運用できる目途が立った

今後

- 偏光モード分光モードの実装
- 赤外検出器ノイズ対策と新読み出しボード制作
- 赤外域における装置効率
 - コリメータレンズの80Kにおける透過率
 - レンズホルダーの見直しとコリメータレンズの再組み上げ

