

可視3色高速 撮像分光装置 TriCCSの開発

松林 和也
TriCCS
開発チーム

開発メンバー

京都大学

- 松林 和也
- 前田 啓一
- 太田 耕司
- 川端 美穂

東京大学

- 酒向 重行
- 土居 守
- 新納 悠
- 近藤 莊平
- 有馬 宜明
- 紅山 仁

Introduction

可視光
広視野
サーベイ



マルチメッ
センジャー
(重力波・
ニュートリノ)



多種多様な変動天体が続々と発見

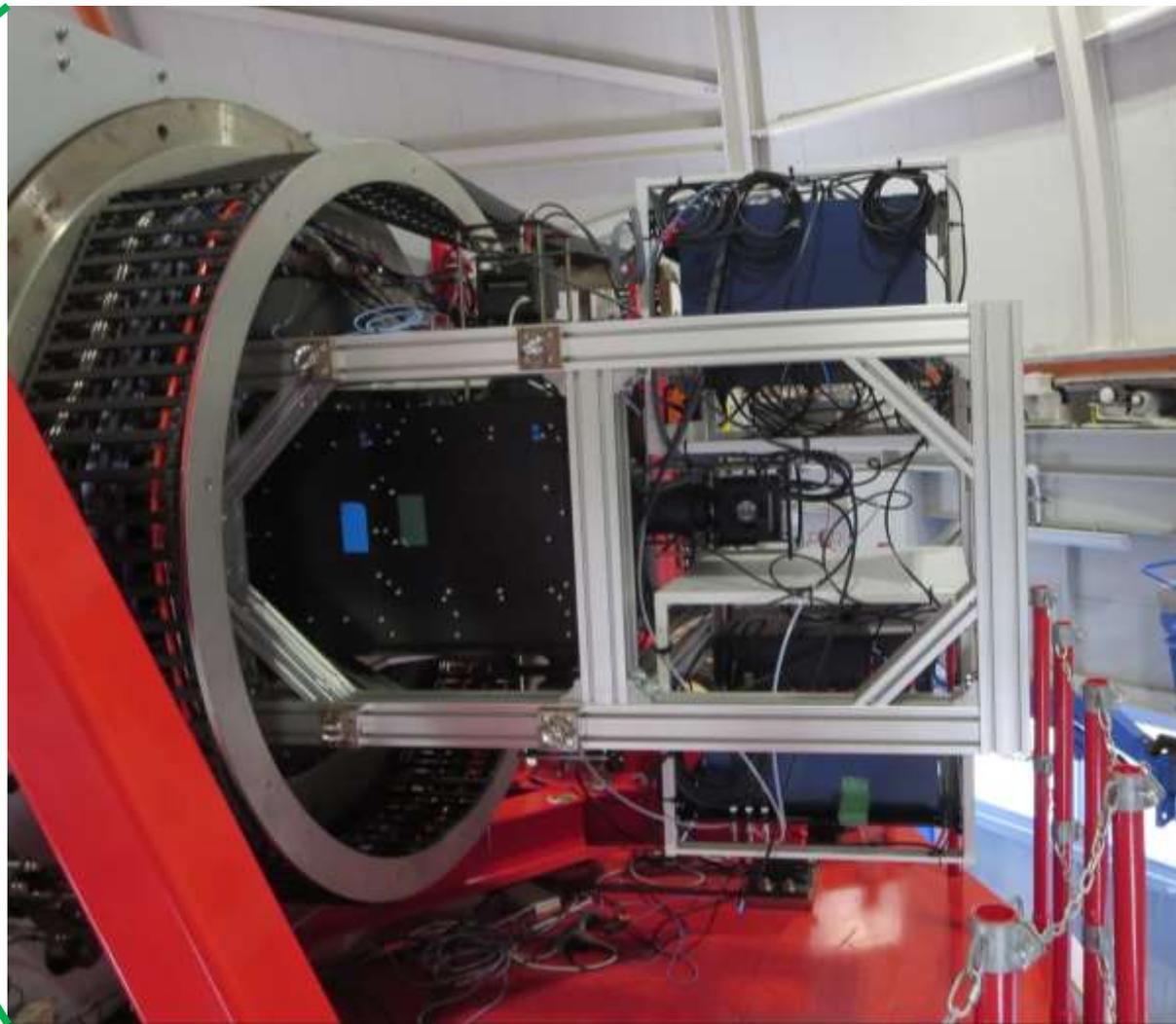
- 超新星爆発、重力波対応天体、超高エネルギーニュートリノ対応天体、BH binary、恒星フレア、太陽系天体など

フォローアップ観測がより重要に！

Tricolor CMOS Camera and Spectrograph (TriCCS) の開発

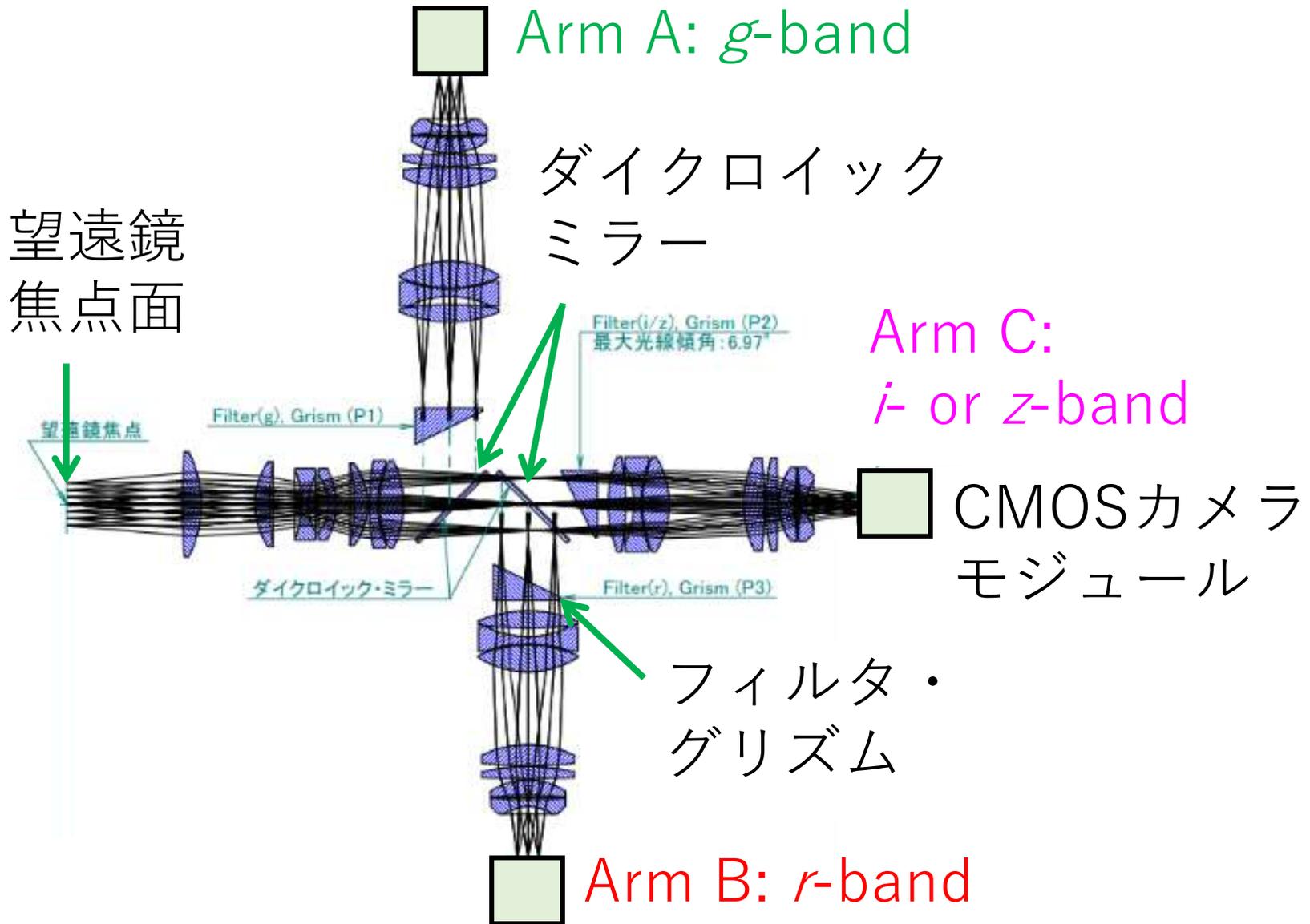
- g & r & (i or z) 3色同時撮像カメラ
- 検出器: CMOS → 全面の高速撮像可能
- せいめい望遠鏡 (口径3.8 m) に接続
- 視野: 12.6×7.5 分角
- $R \sim 700$ のスリット分光可能
- 近赤外撮像偏光装置と接続可能 → J , H -shortでも同時撮像 (最大5色)
 - 近赤外視野: 3'程度
- 2021年後期から共同利用・京大時間で利用可能 (撮像のみ、機能限定)

外觀

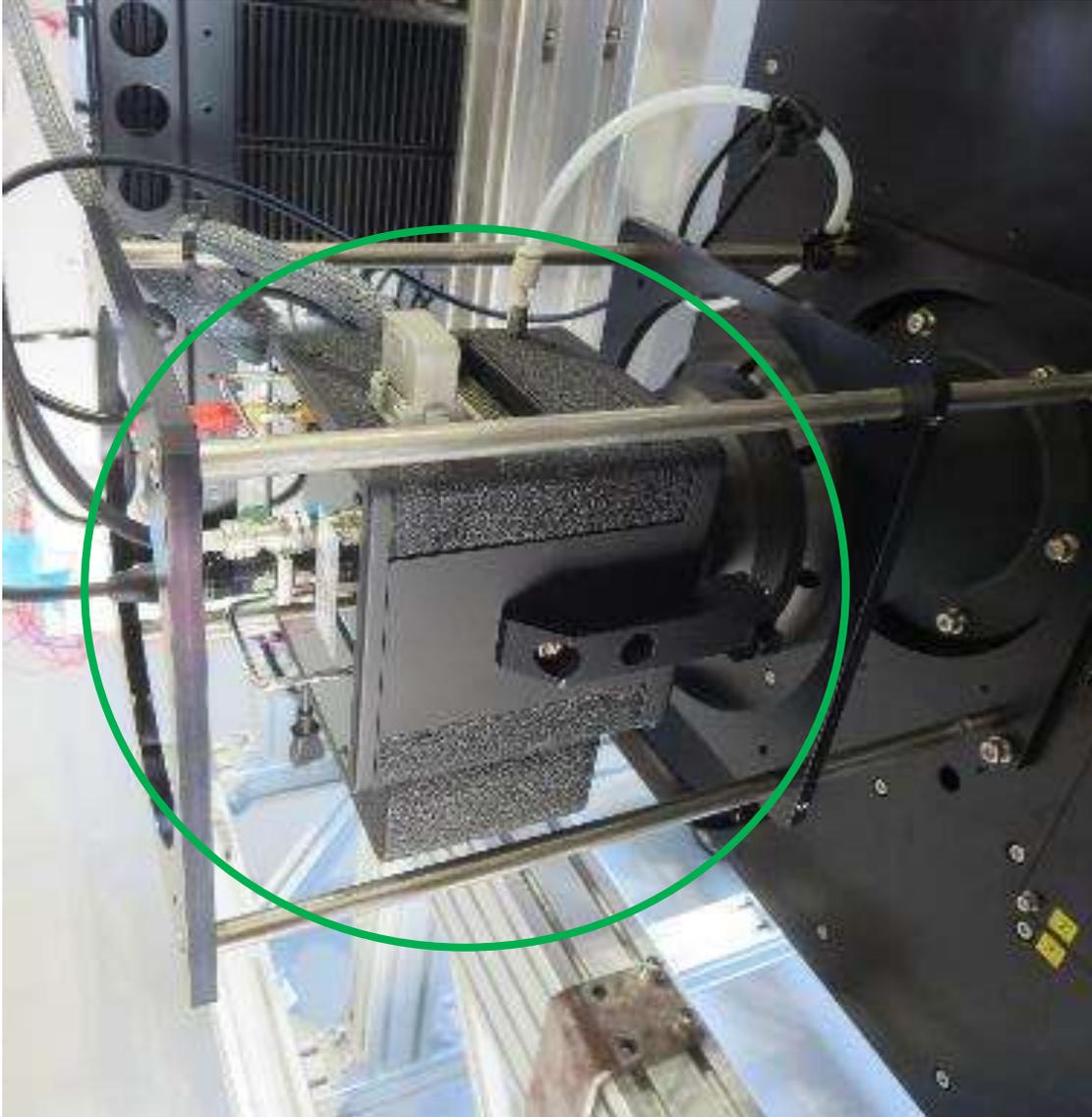


光学系

• F/6 → F/3へ変換



CMOSカメラモジュール

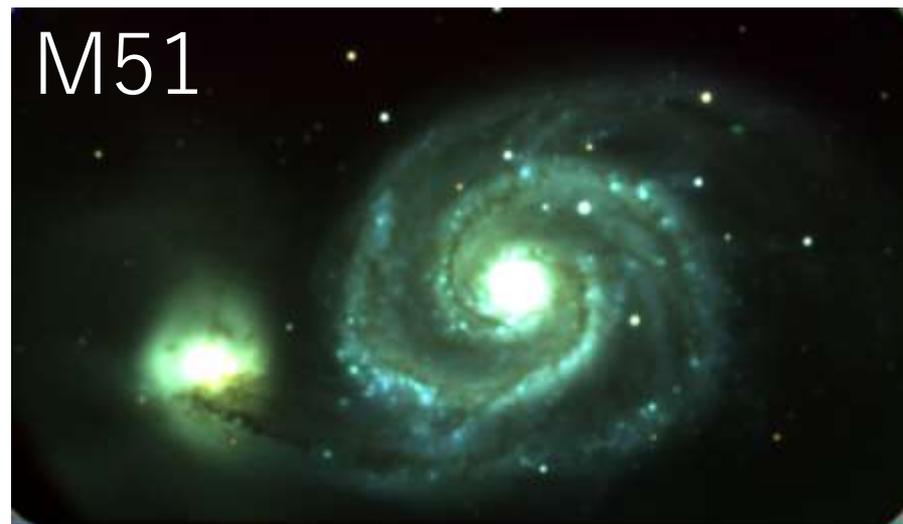


- Canon製 表面照射型CMOS
 - 35MMFHDX SMA 1台
 - LI3030SAM 2台

性能一覧 (一部は予想値)

項目		値	
ピクセルスケール		0.350'' / pixel	
視野		12.6' x 7.5'	
フレームレート (全面)		最大98 fps	
観測バンド		<i>gri</i> or <i>grz</i>	
限界等級 (10 σ)	撮像	1秒積分	~19 mag
		600秒積分	~22 mag
	分光	1秒積分	~15 mag
		600秒積分	~19.5 mag
波長分解能 (1.0''スリット)		$R \sim 700$	

3色合成画像 (g, r, i -band)



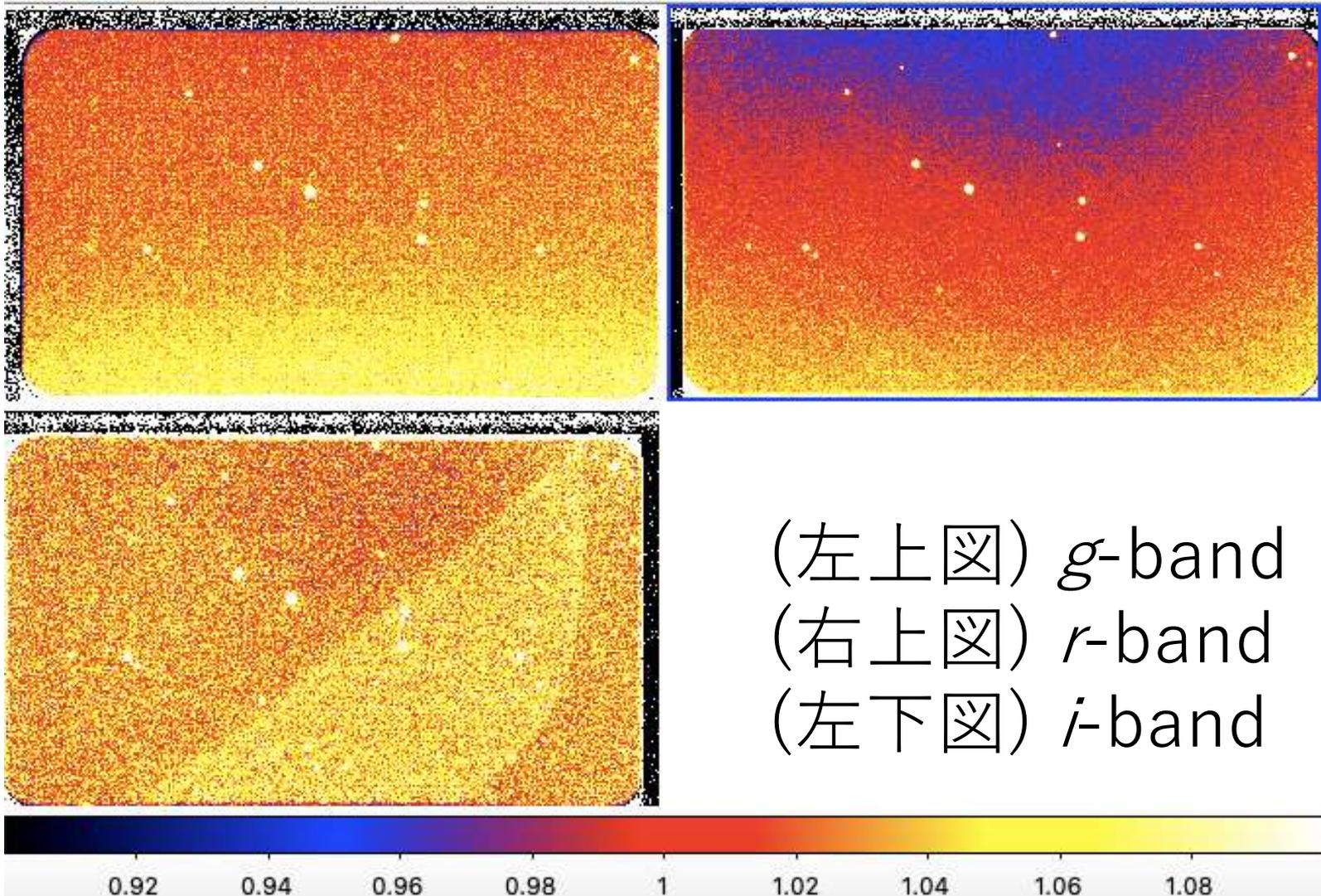
ここまでのまとめ

- 突発天体のフォローアップ観測などに使える、可視3色高速撮像分光装置TriCCSを開発中
- 2021年後期より撮像モードを公開
 - データレートは原則1 fps以下（2021年後期）、10 fps以下（2022年前期）
- ピクセルスケール: 0.350 秒角/pixel
- 視野: 12.6 × 7.5 分角
- 撮像バンド: 「*gri*-band」または「*grz*-band」
- 分光モード開発中（公開は2022年後期以降）

Lessons learned 事案集

迷光？

ダーク・フラット処理
画像中心の背景光で規格化



瞳像確認

望遠鏡
焦点面

Arm A: *g*-band

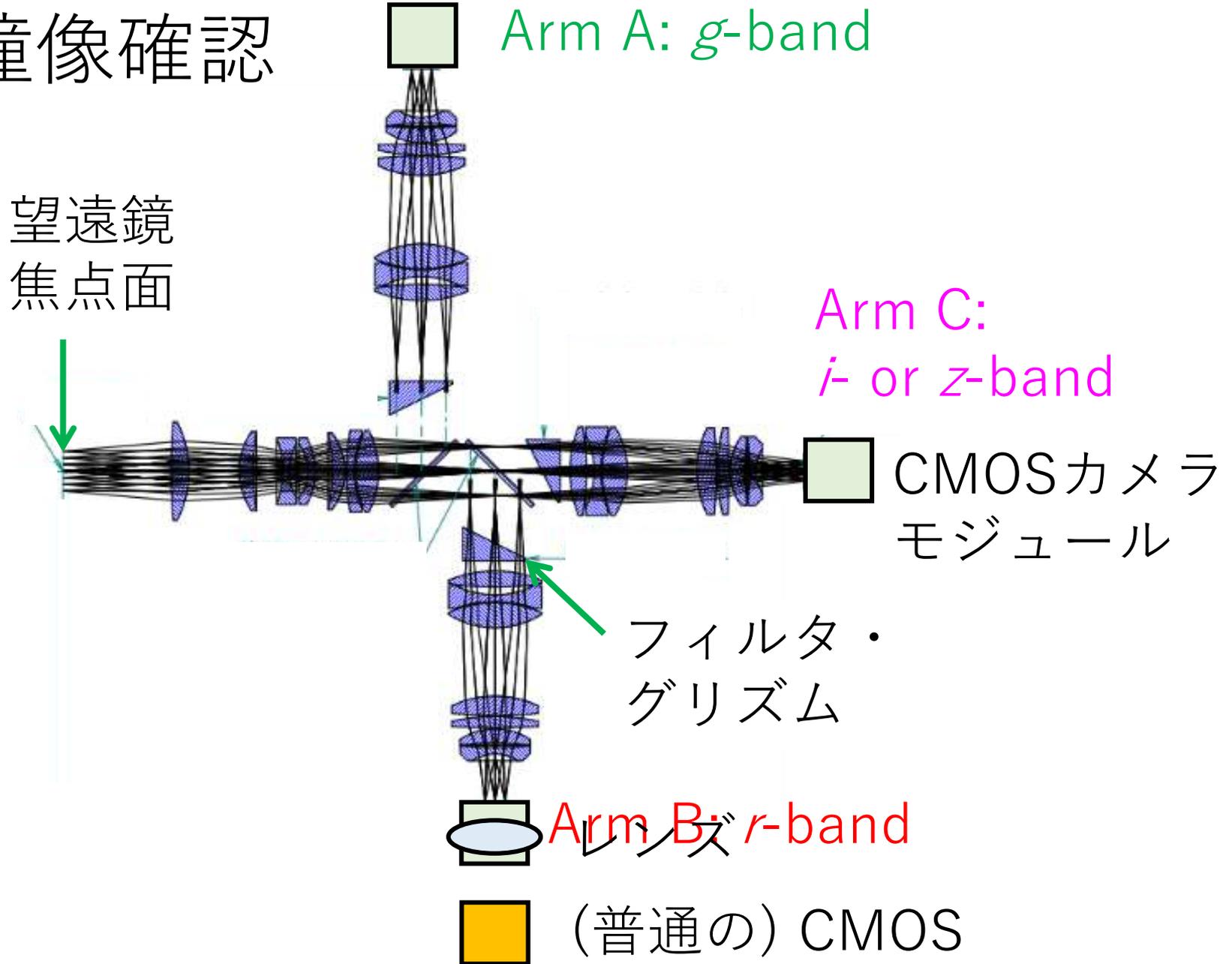
Arm C:
i- or *z*-band

CMOSカメラ
モジュール

フィルタ・
グリズム

Arm B: *r*-band
レンズ

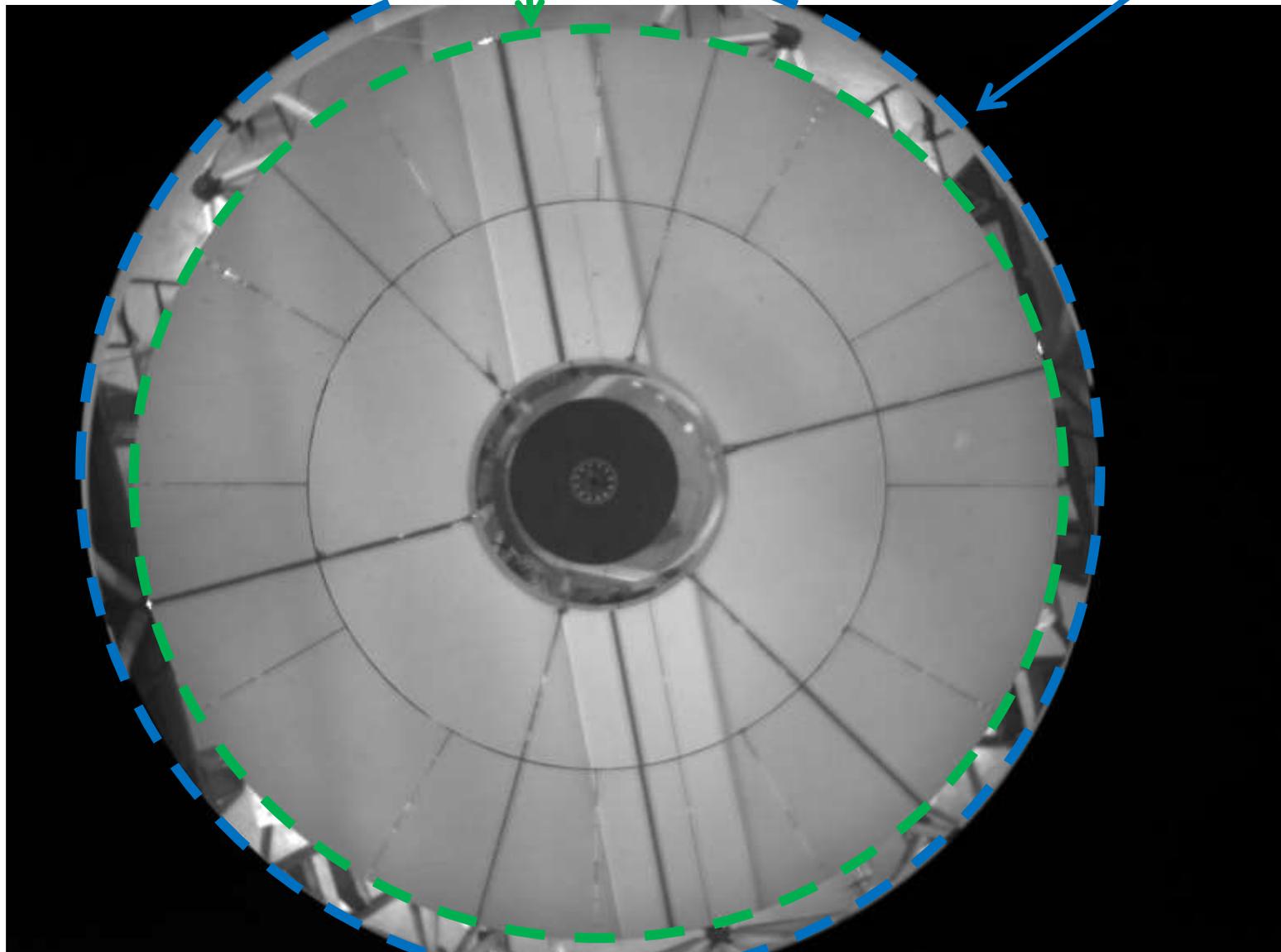
(普通の) CMOS



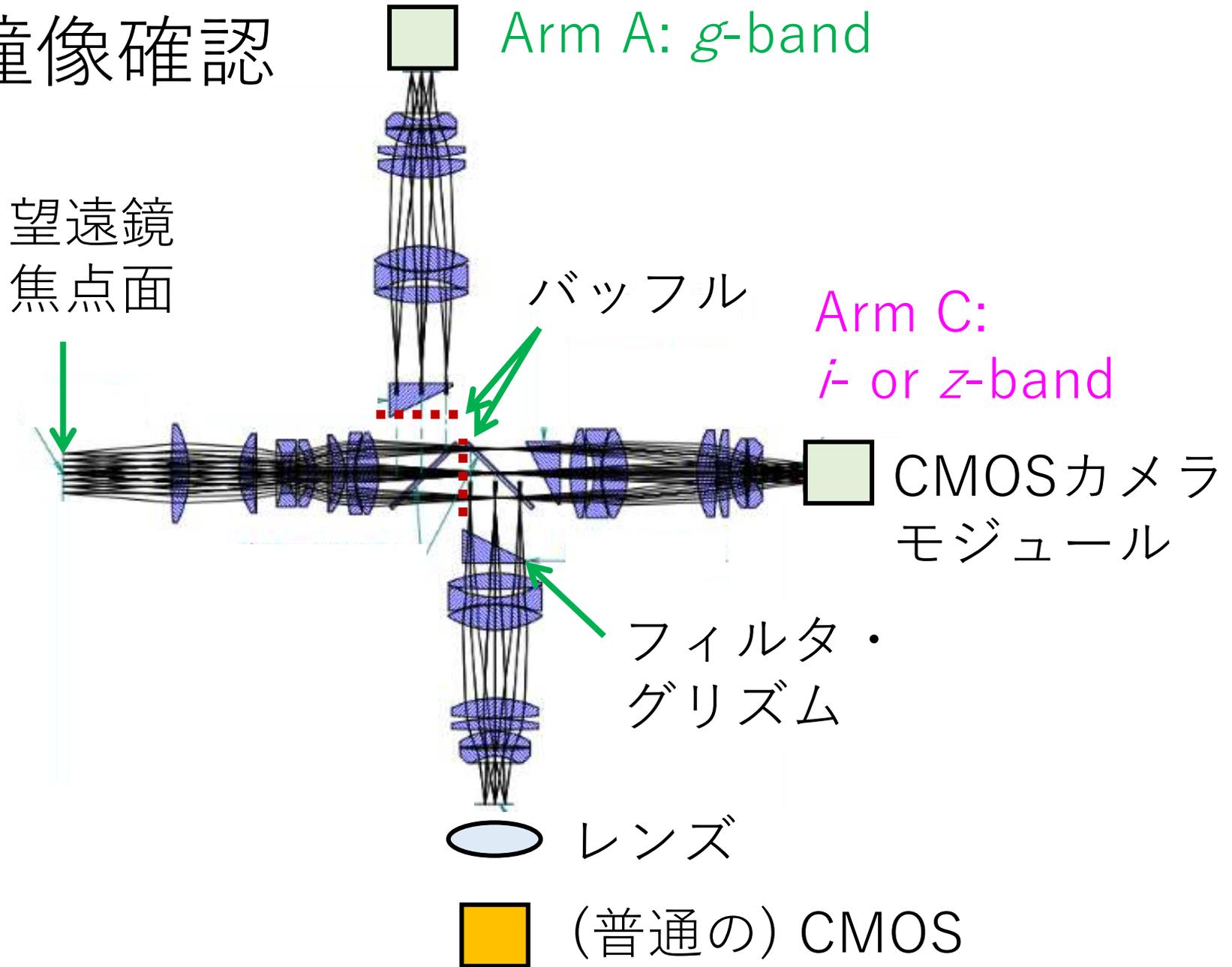
瞳像

望遠鏡主鏡

TriCCS筐体

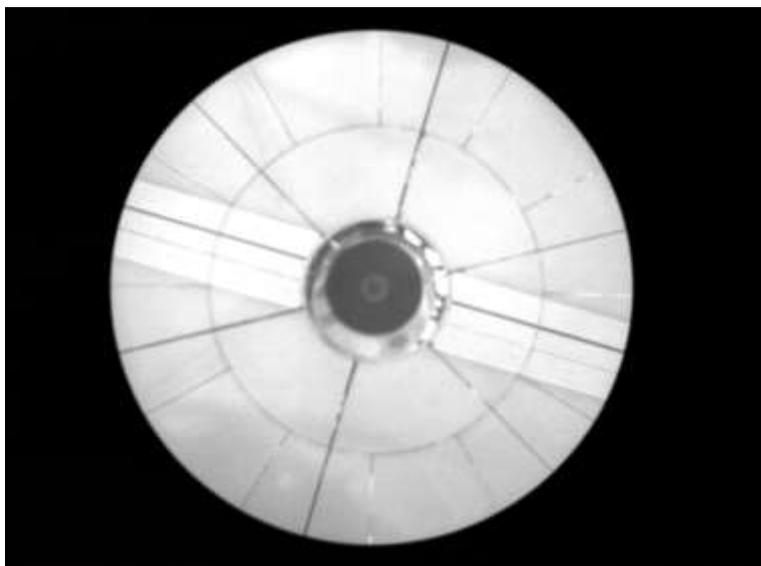


瞳像確認

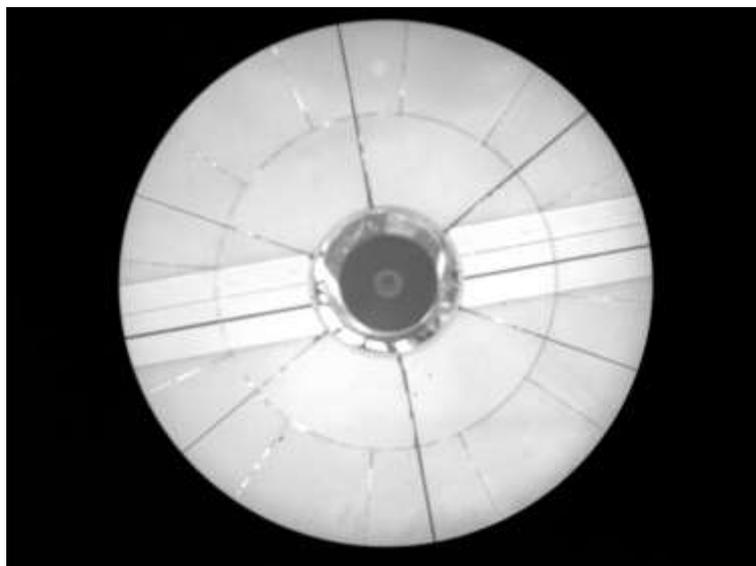


瞳バッフル交換

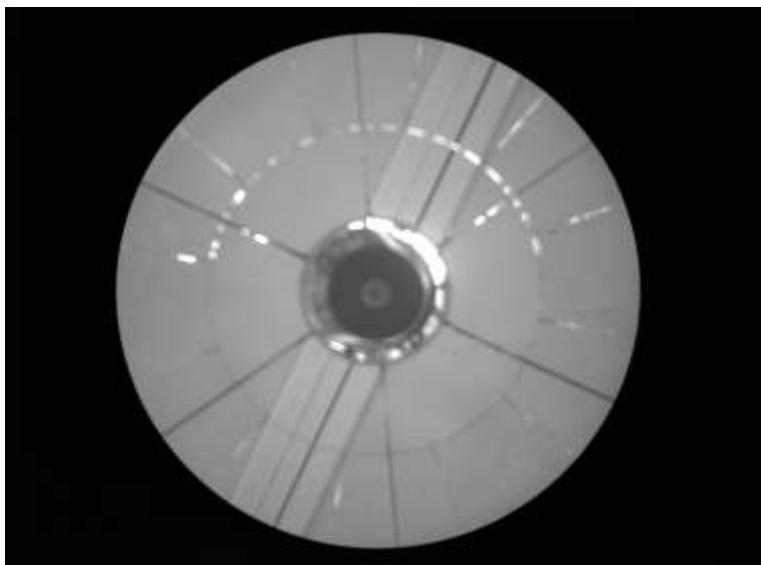
θ



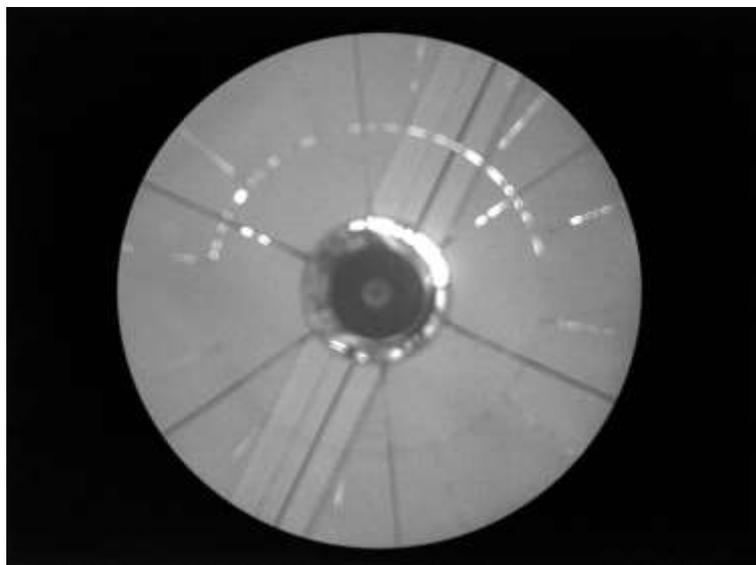
r



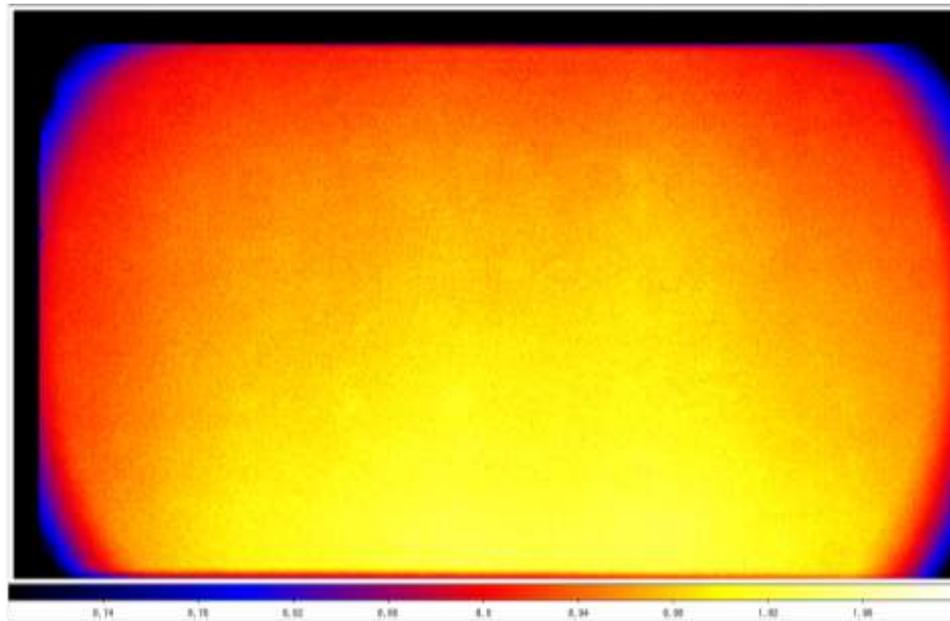
i



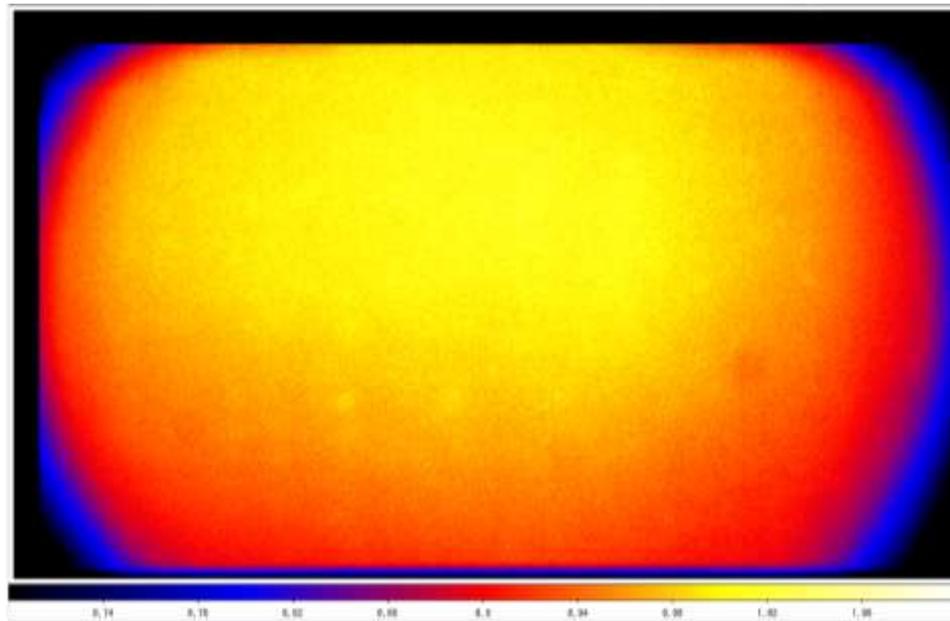
z



画像上下の光量差

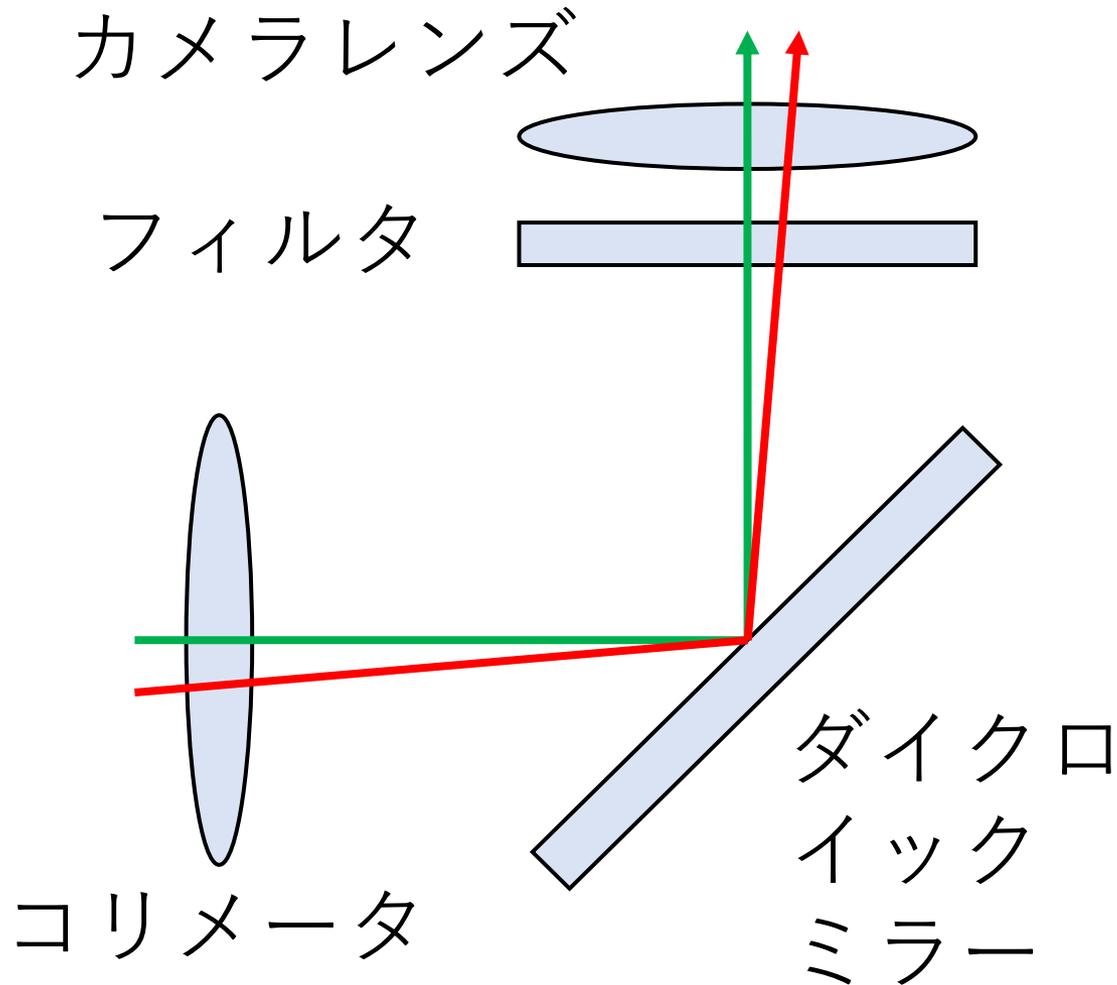


g -bandのsky flat



r -bandのsky flat

視野ごとの波長依存性



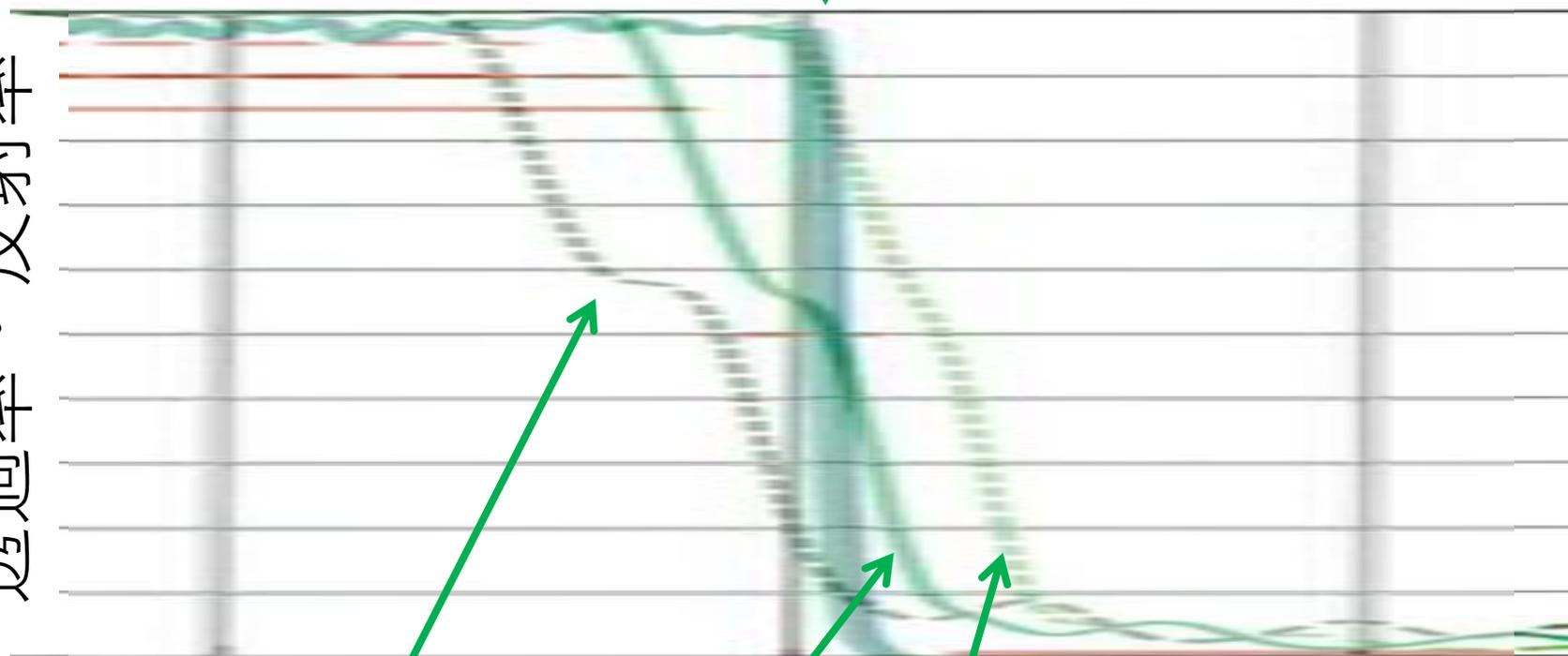
- 視野ごとにダイクロイックミラーへの入射角度が異なる
→ 視野ごとに波長特性が違う

透過曲線比較

(*g*-band長波長側)

フィルタ

透過率・反射率



DM 52°

DM 45°

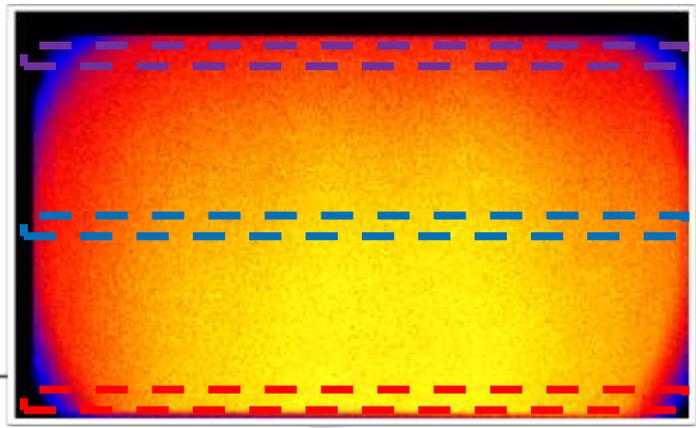
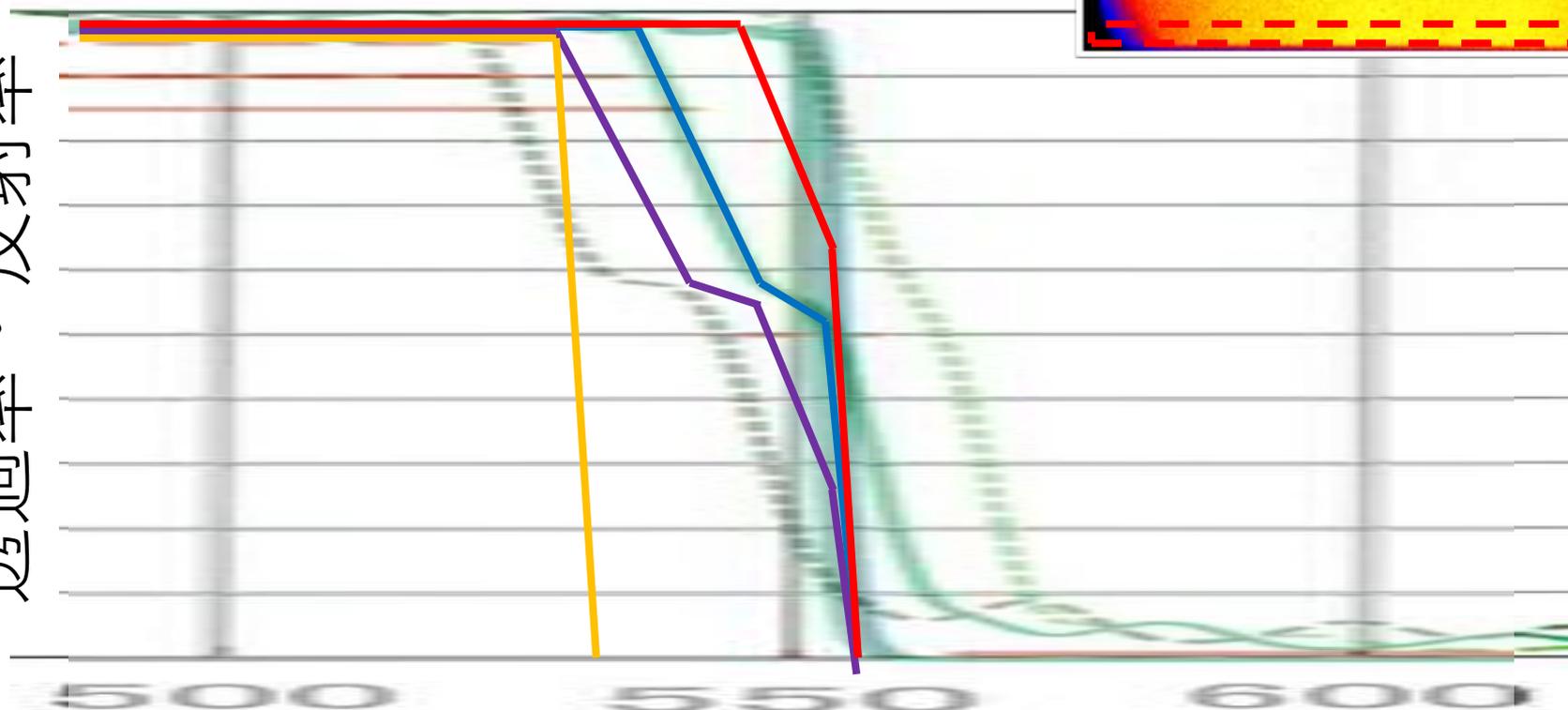
DM 38°

波長 [nm]

(実際の傾きの変化は $\pm 4^\circ$)

透過曲線比較 (*g*-band長波長側)

透過率・反射率



波長範囲を狭めたフィルタに
交換することを検討中

波長 [nm]

リミットセンサからの迷光



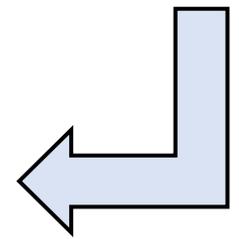
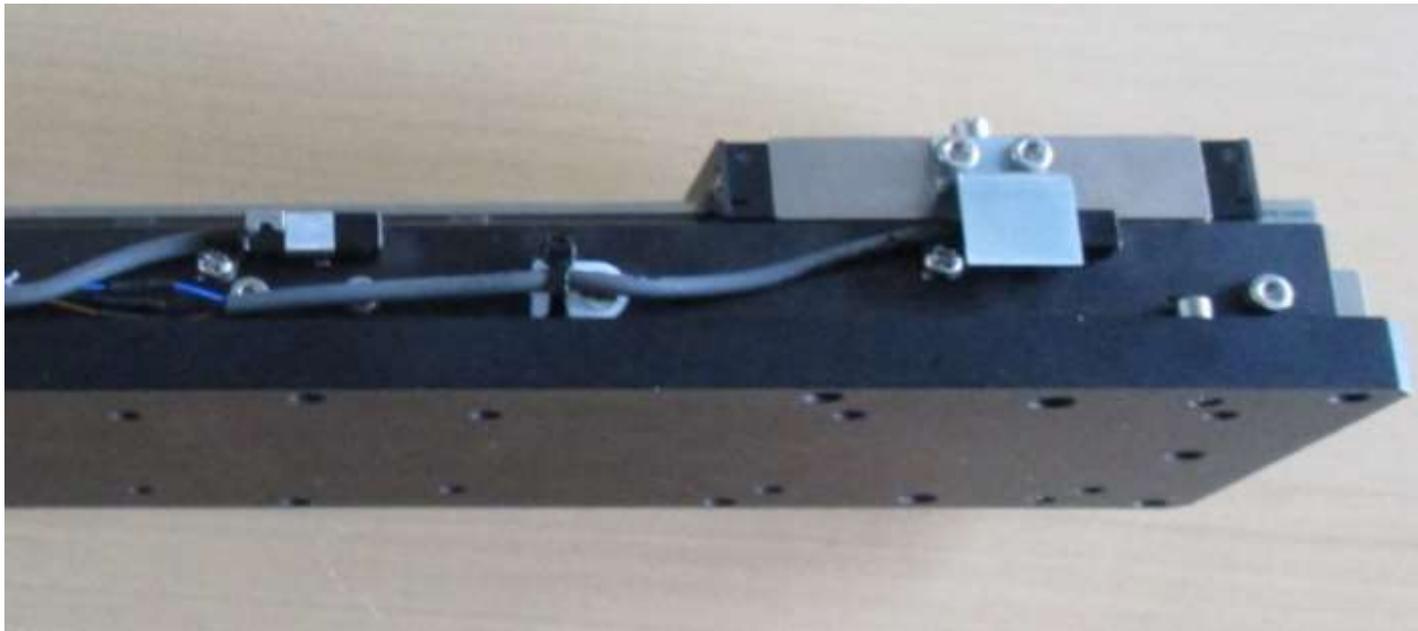
- 駿河精機、神津精機の電動ステージを使用
- リミットセンサがフォトセンサ方式
→ 迷光の原因

リミットセンサ交換

近接センサに
変更

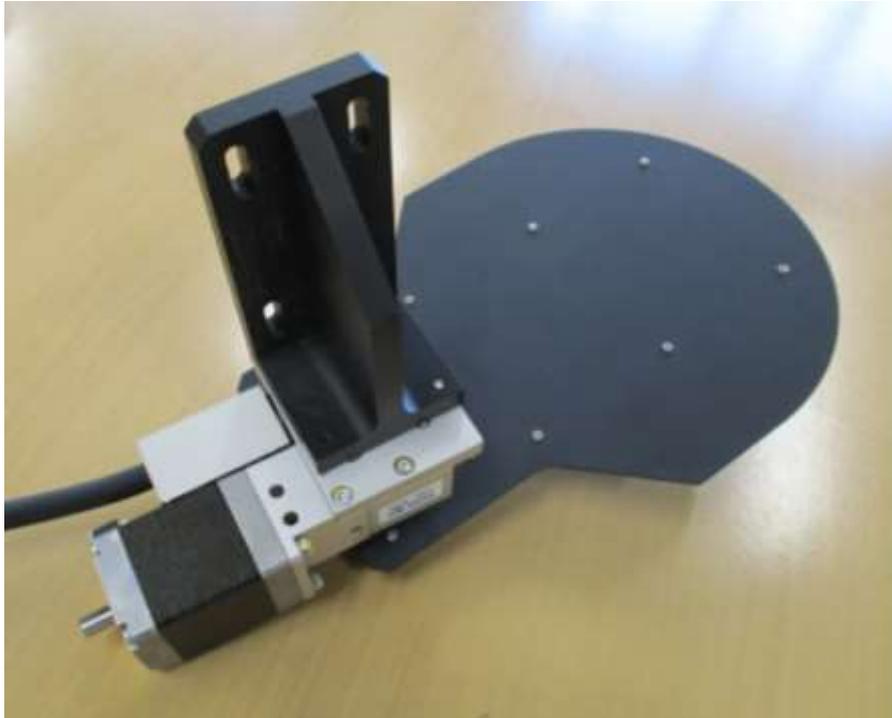


黒塗装

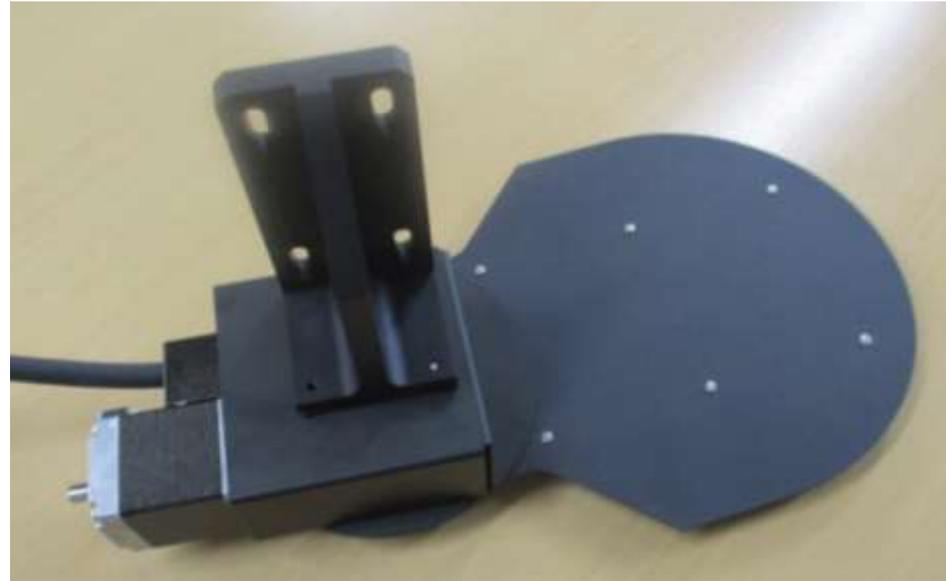


テープ
追加

遮光対策 (進行中)



遮光対策前の
シャッター機構



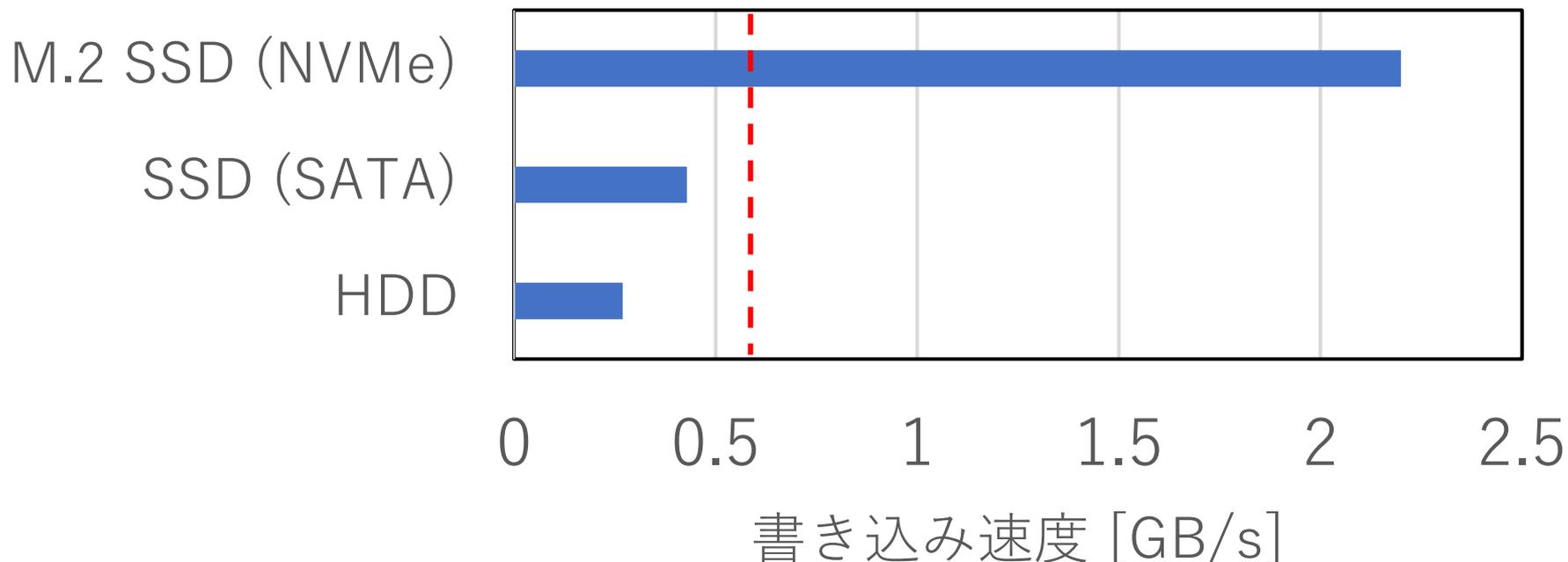
遮光対策後のシャッター
機構。黒塗装、バッフル
追加

TriCCSの特徴

- 長所:
 - 全面高速読み出しができること
- 短所:
 - 全面高速読み出しができてしまうこと
= データ生成レートが高い

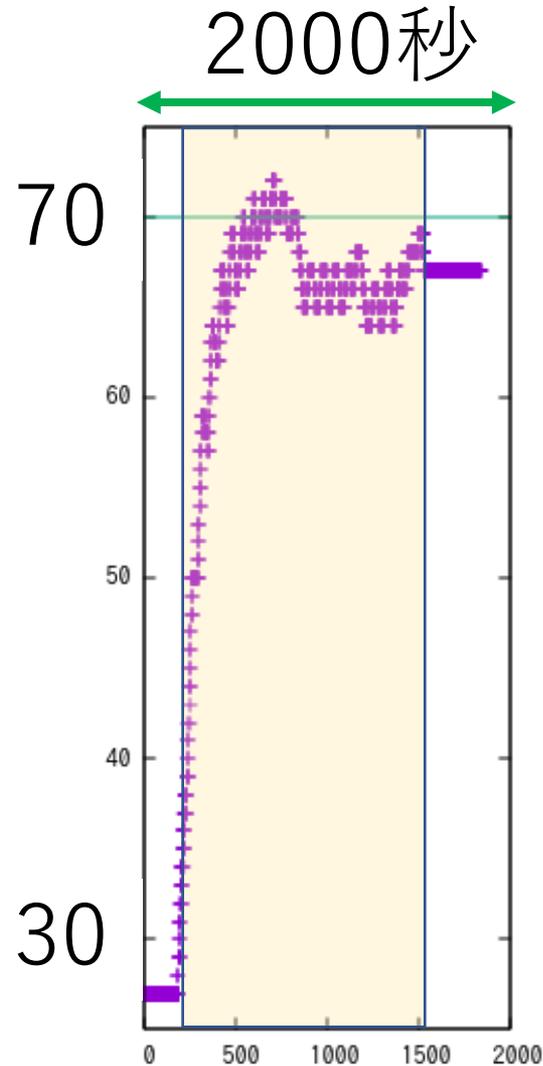
データ書き込み速度

- 画像1枚のデータ容量: 6 MB
- 最短積分時間: 10.168 ms
- 最大データ生成レート: 590 MB/s



SSD温度

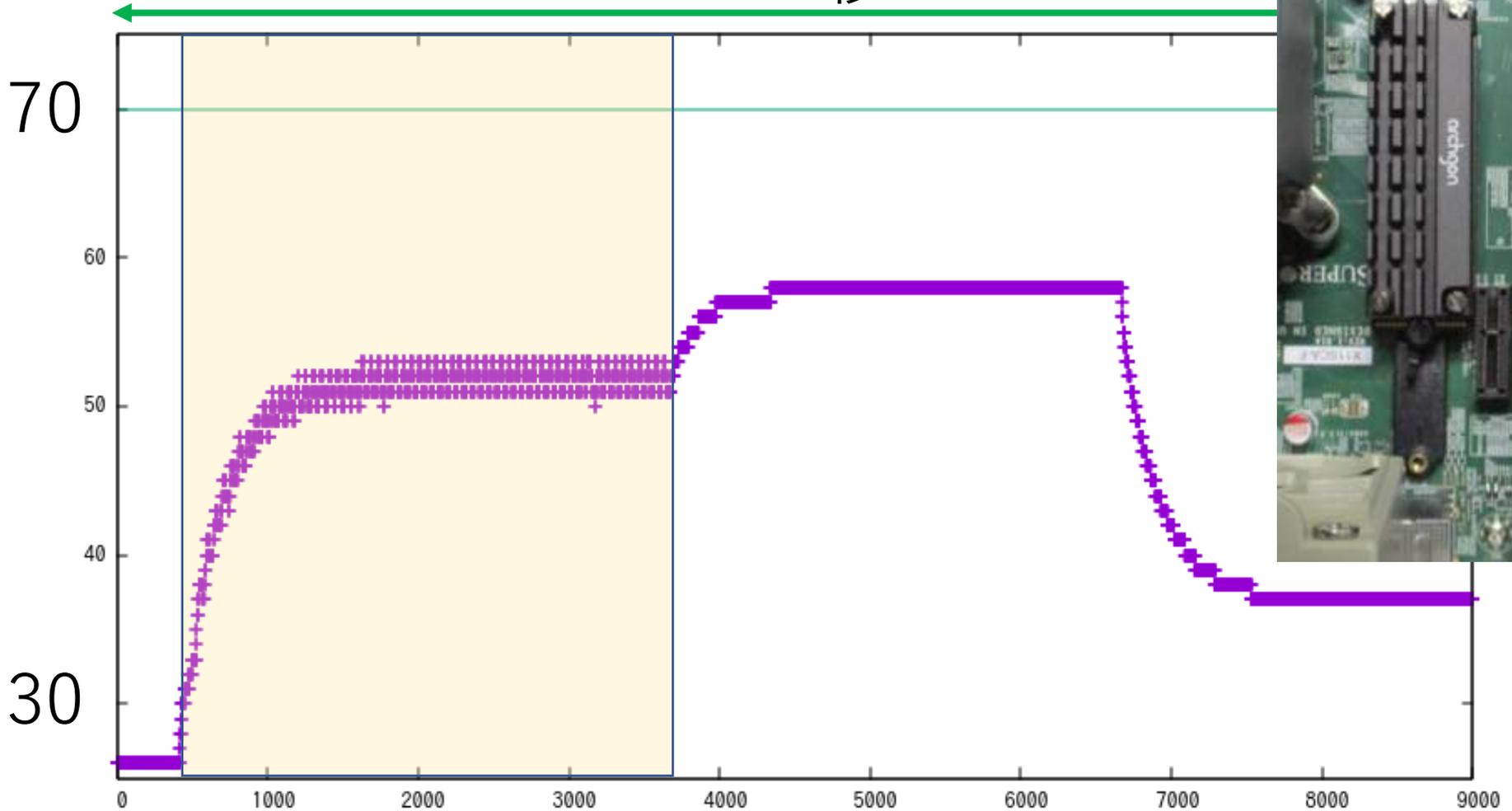
- CMOS 98 fpsで連続読み出し
- データ書き込み遅延あり



SSD温度

- ヒートシンクを大型化
- CMOS 98 fpsで連続読み出し
- データ書き込み遅延無し

9000秒



データサイズ

- 画像1枚 = 6 MB、5,000枚 = 30 GB
 - CMOS制御PC 1台当たりのデータ容量 (観測データ) は8 TB
- 積分時間10 msで観測し続けると、
約3.7時間でデータ容量の限界に到達する
- 3 CMOS同時に撮影可能 → 最大データ生成量は24 TB / night
 - 転送にかかる時間は10 Gbpsで4.9時間
 - データストレージ (220 TB) の容量オーバーまで最短9.2日

データフロー

ドーム棟

外部へ高速データ
転送が必要

3階

望遠鏡

TriCCS
筐体

M.2 NVMe SSD
8 TB 3台

2階

CoaXPress
(~30 m、3本)

CMOS
制御PC
3台

220 TB
RAID6

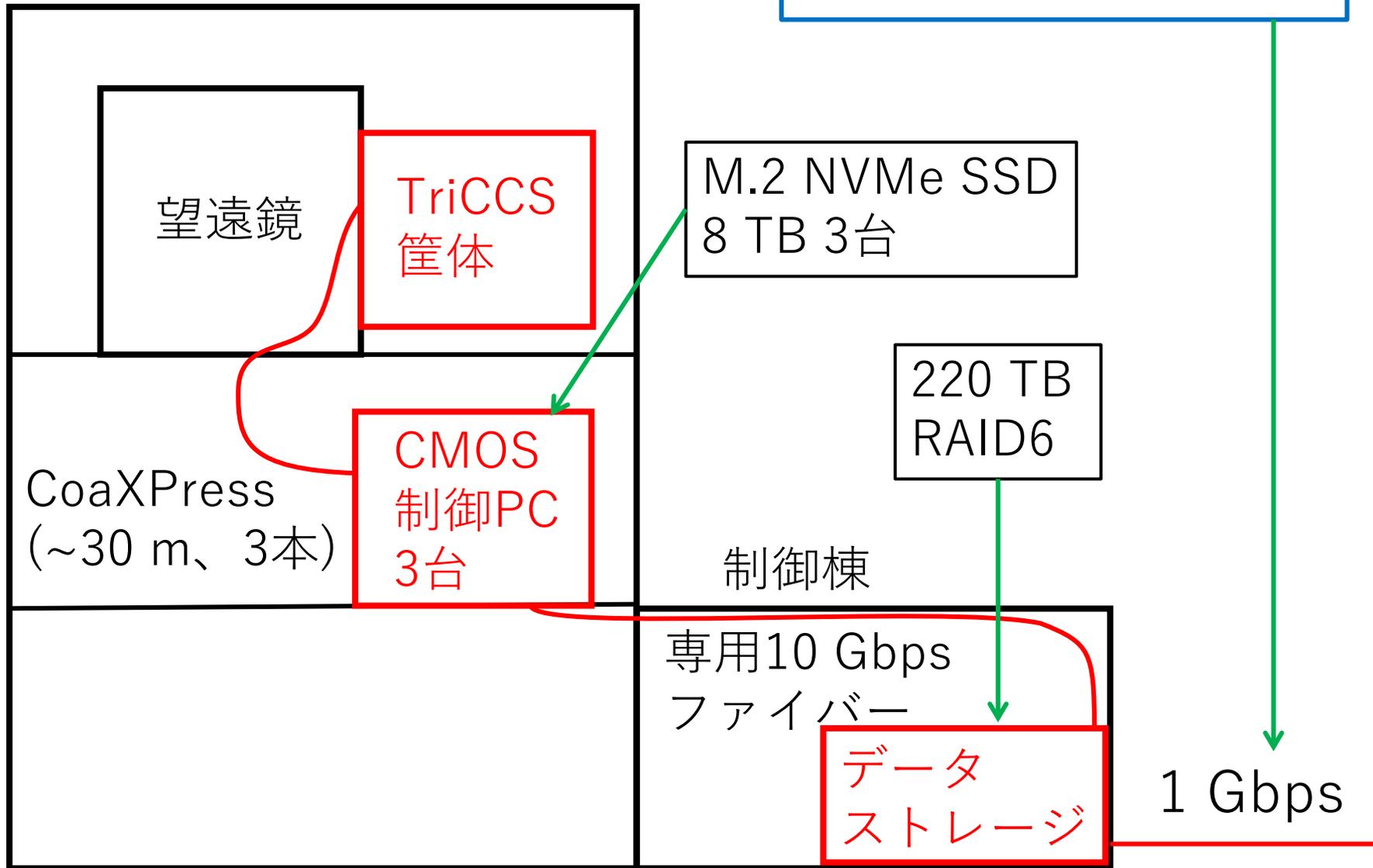
制御棟

1階

専用10 Gbps
ファイバー

データ
ストレージ

1 Gbps



ディスクエンクロージャ導入

ハードディスクにデータを書き込み、ハードディスクを輸送することを計画



ディスク
アレイ
(RAID6)

ディスク
エンク
ロージャ

Lessons learnedまとめ

- バッフルは重要（特に撮像装置）
- ダイクロイックミラーへの入射角度の違いによる波長シフトに注意
- 市販の高精度電動ステージは大体光る
- TB単位になってくると、ハードディスクの読み書き速度、1 GbpsのLANが遅いことを実感する
- 大容量SSDで連続高速読み書きするときは熱対策が必要
- NVMe接続M.2 SSD 16 TBが欲しい