

# 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

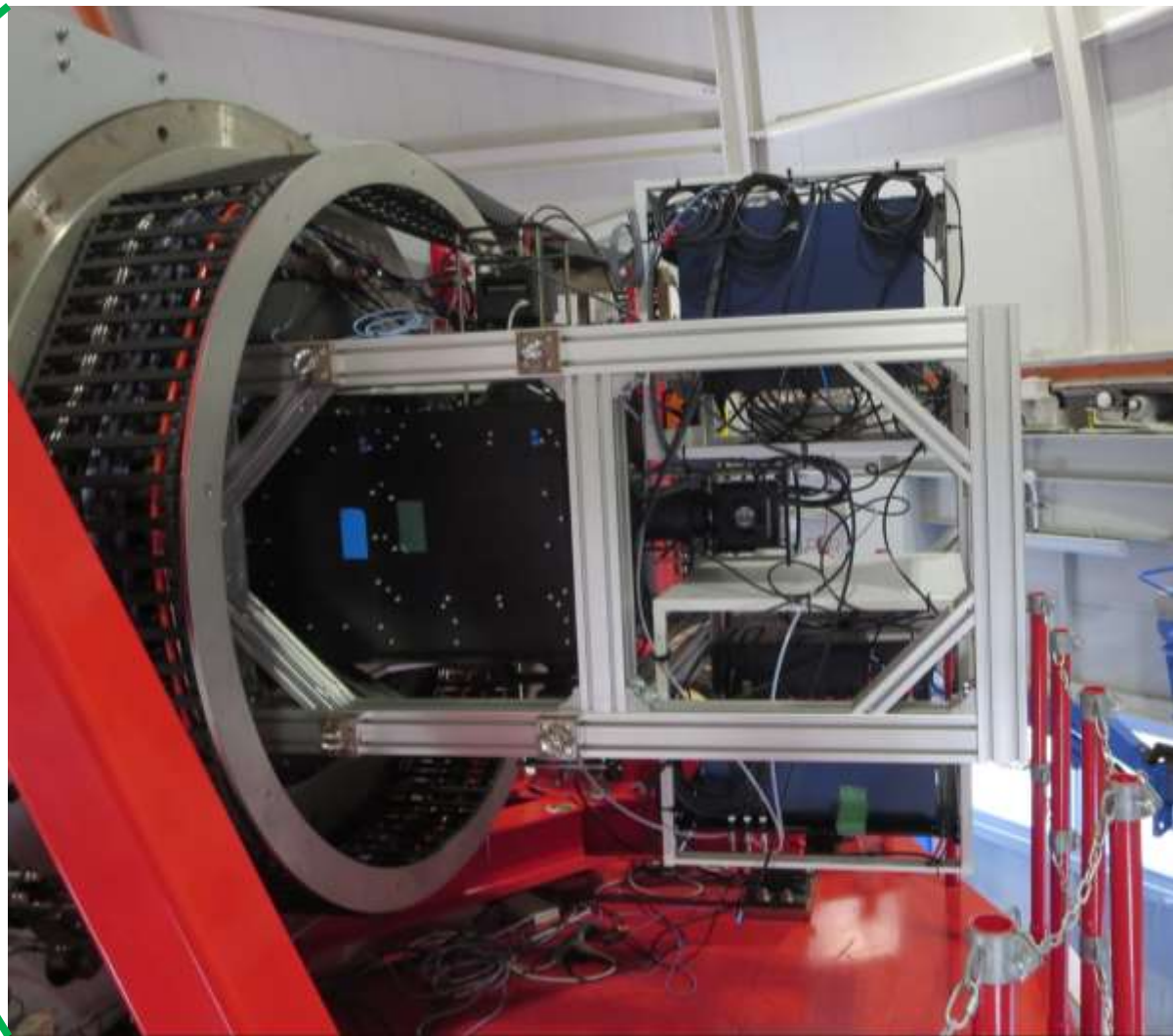
- 超新星爆発、重力波対応天体、超高エネルギーニュートリノ対応天体、BH binary、恒星フレア、太陽系天体など

フォローアップ観測がより重要に！

# Tricolor CMOS Camera and Spectrograph (TriCCS) の開発

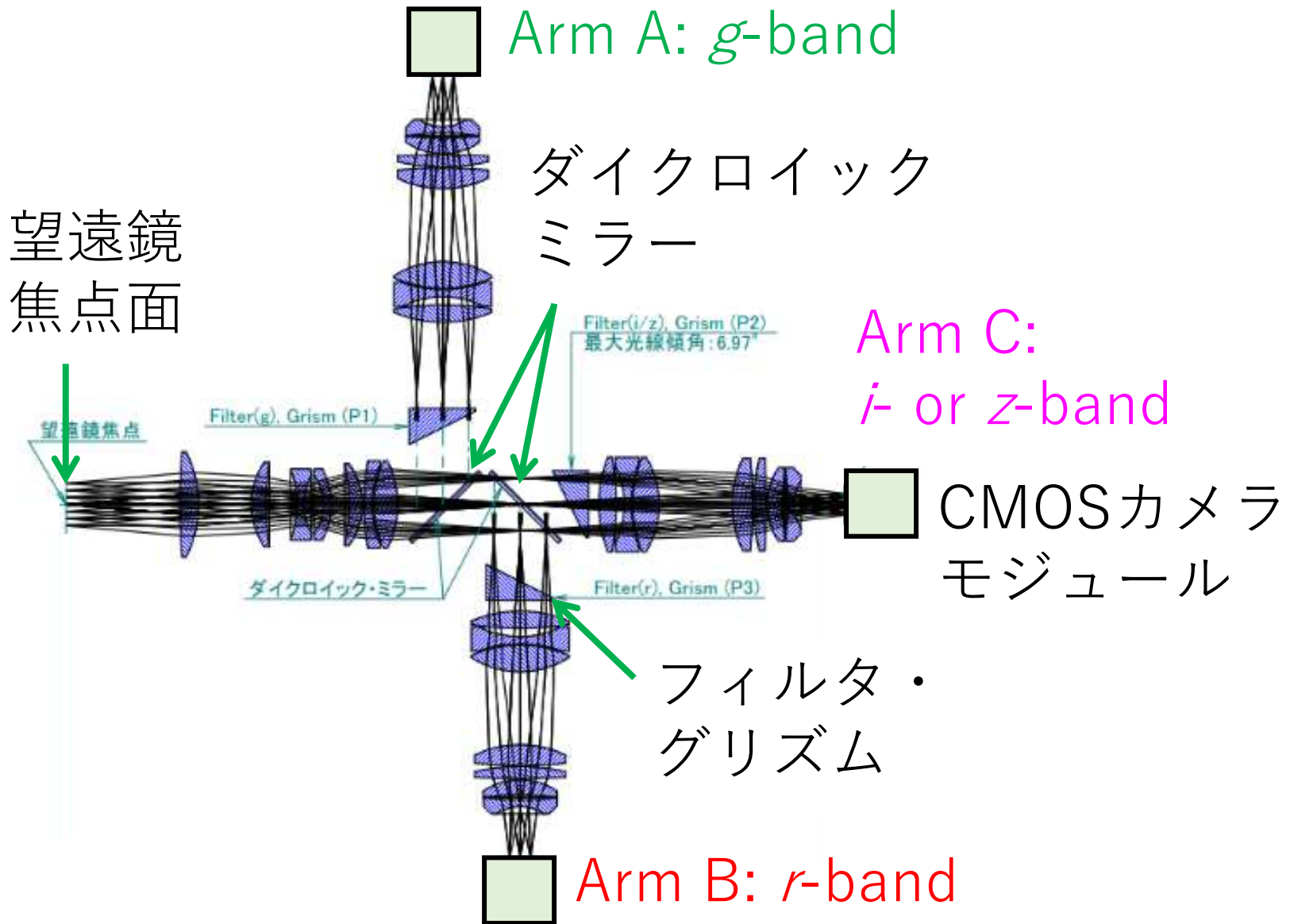
- $g$  &  $r$  & ( $i$  or  $z$ ) 3色同時撮像カメラ
- 検出器: CMOS → 全面の高速撮像可能
- せいめい望遠鏡 (口径3.8 m) に接続
- 視野: 12.6 x 7.5分角
- $R \sim 700$ のスリット分光可能
- 近赤外撮像偏光装置と接続可能 →  $J$ ,  $H$ -shortでも同時撮像 (最大5色)
  - 近赤外視野: 3'程度
- 2021年後期から共同利用・京大時間で利用可能 (撮像のみ、機能限定)

# 外觀

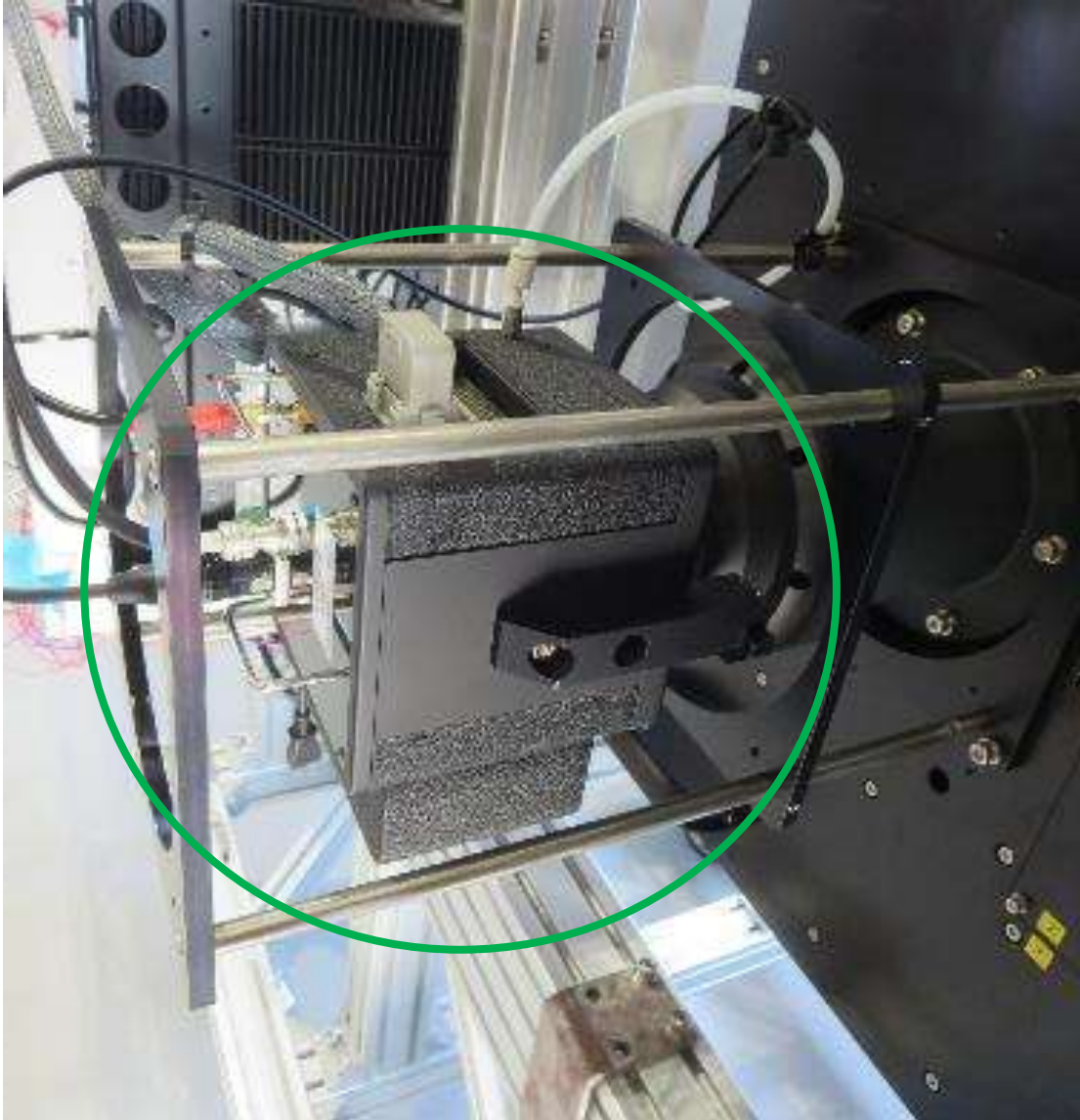


# 光学系

• F/6 → F/3へ変換



# CMOSカメラモジュール



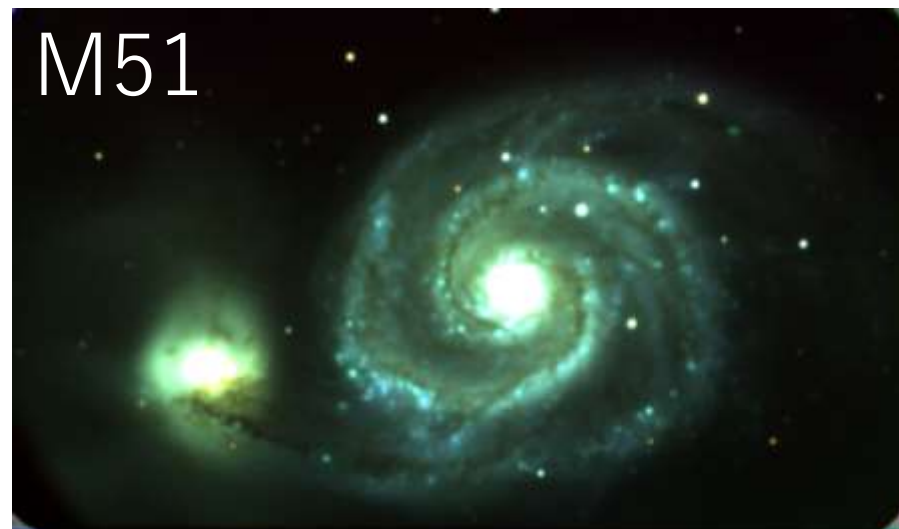
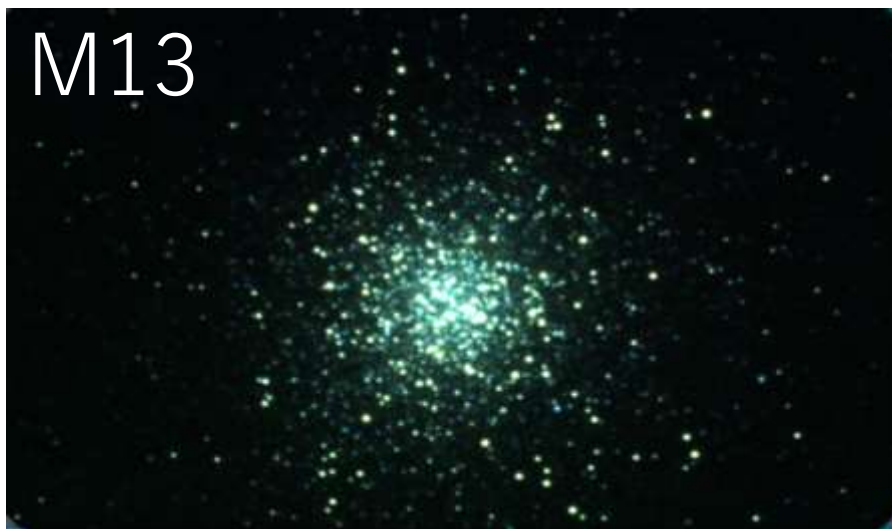
- Canon製 表面照射型CMOS
  - 35MMFHDX SMA 1台
  - LI3030SAM 2台

# 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 $\sigma$ )	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)



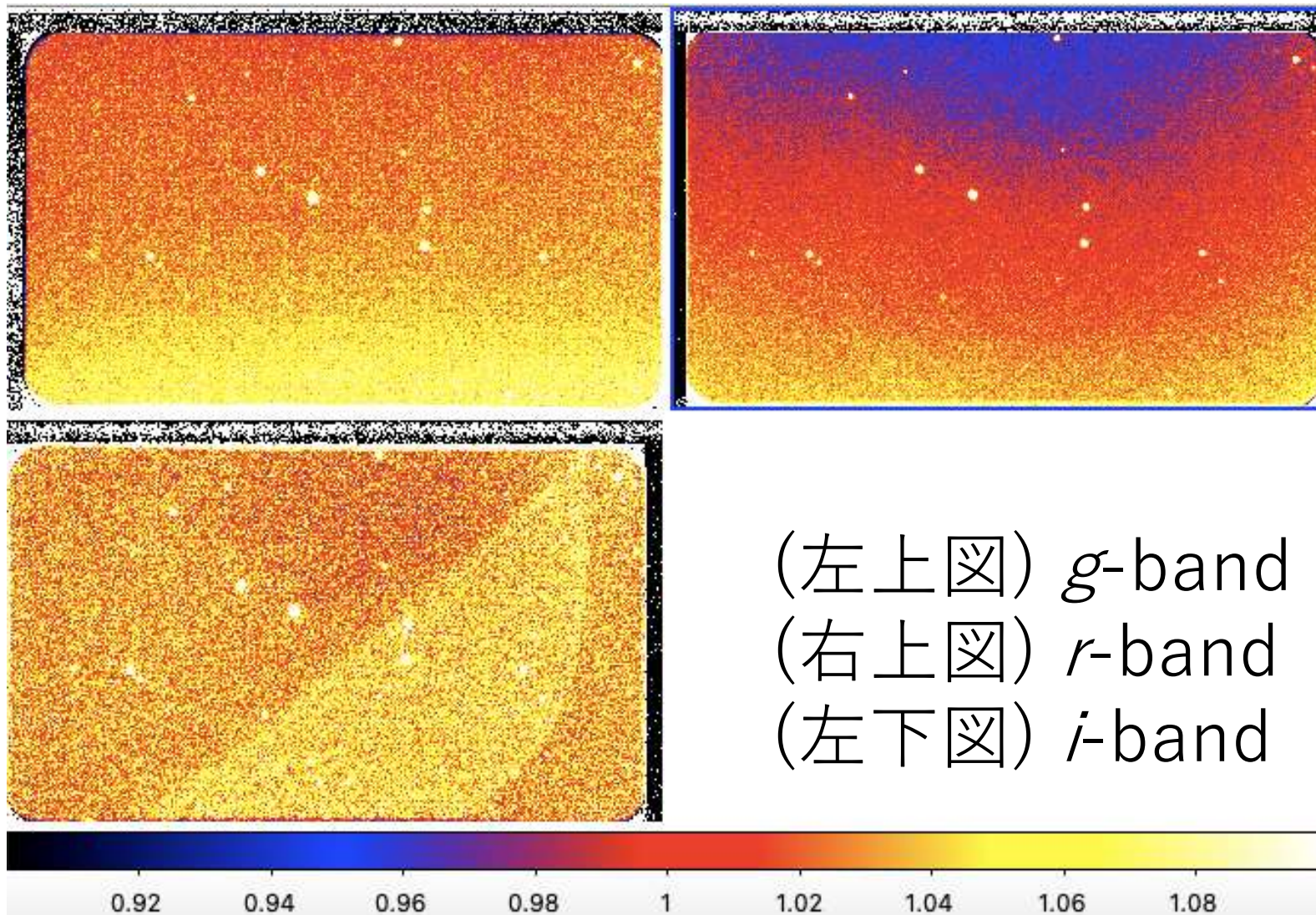
# ここまでのまとめ

- 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



(左上図) *g*-band  
(右上図) *r*-band  
(左下図) *i*-band

# 瞳像確認

望遠鏡  
焦点面

Arm A: *g*-band

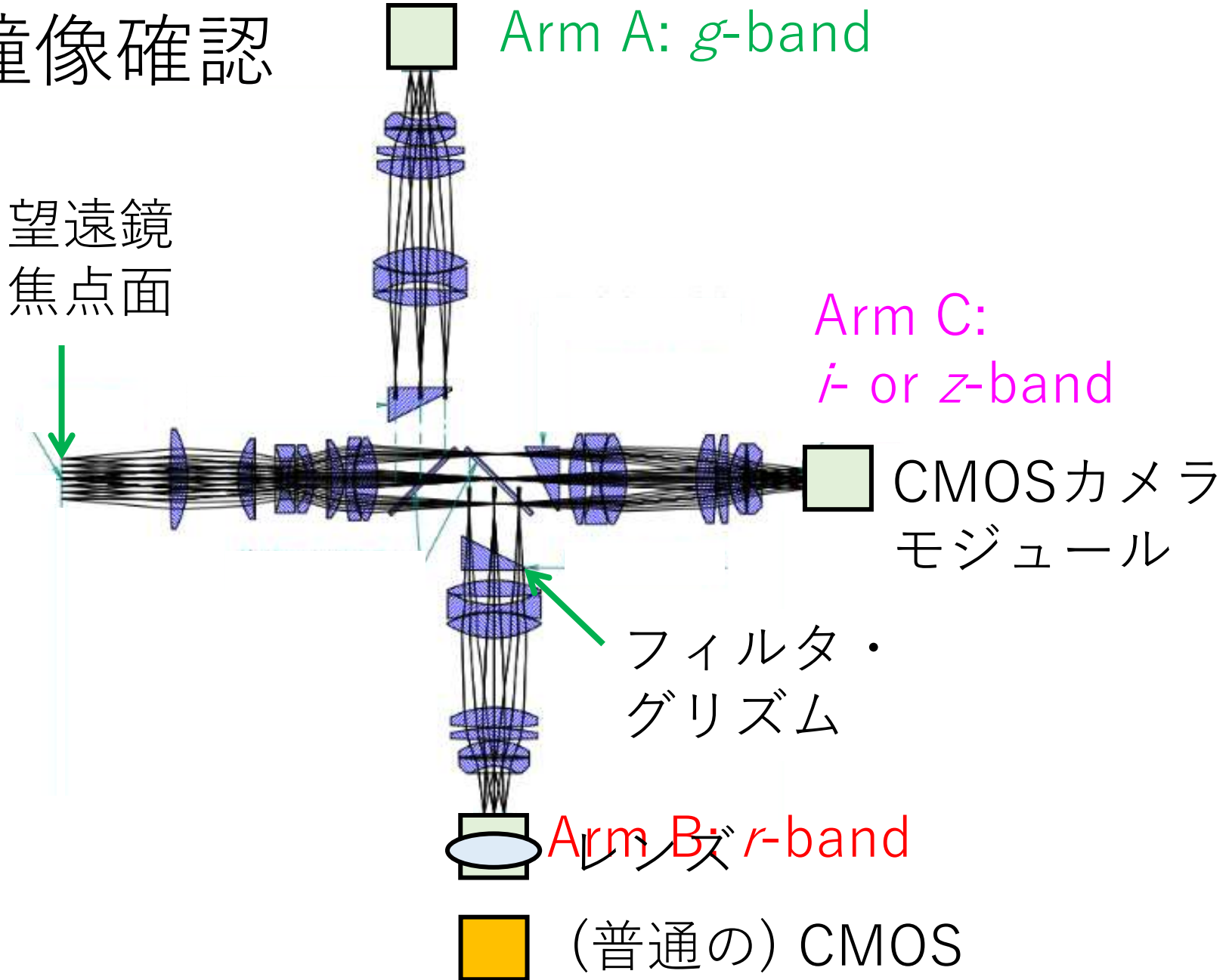
Arm C:  
*i*- or *z*-band

CMOSカメラ  
モジュール

フィルタ・  
グリズム

Arm B: *r*-band  
レンズ

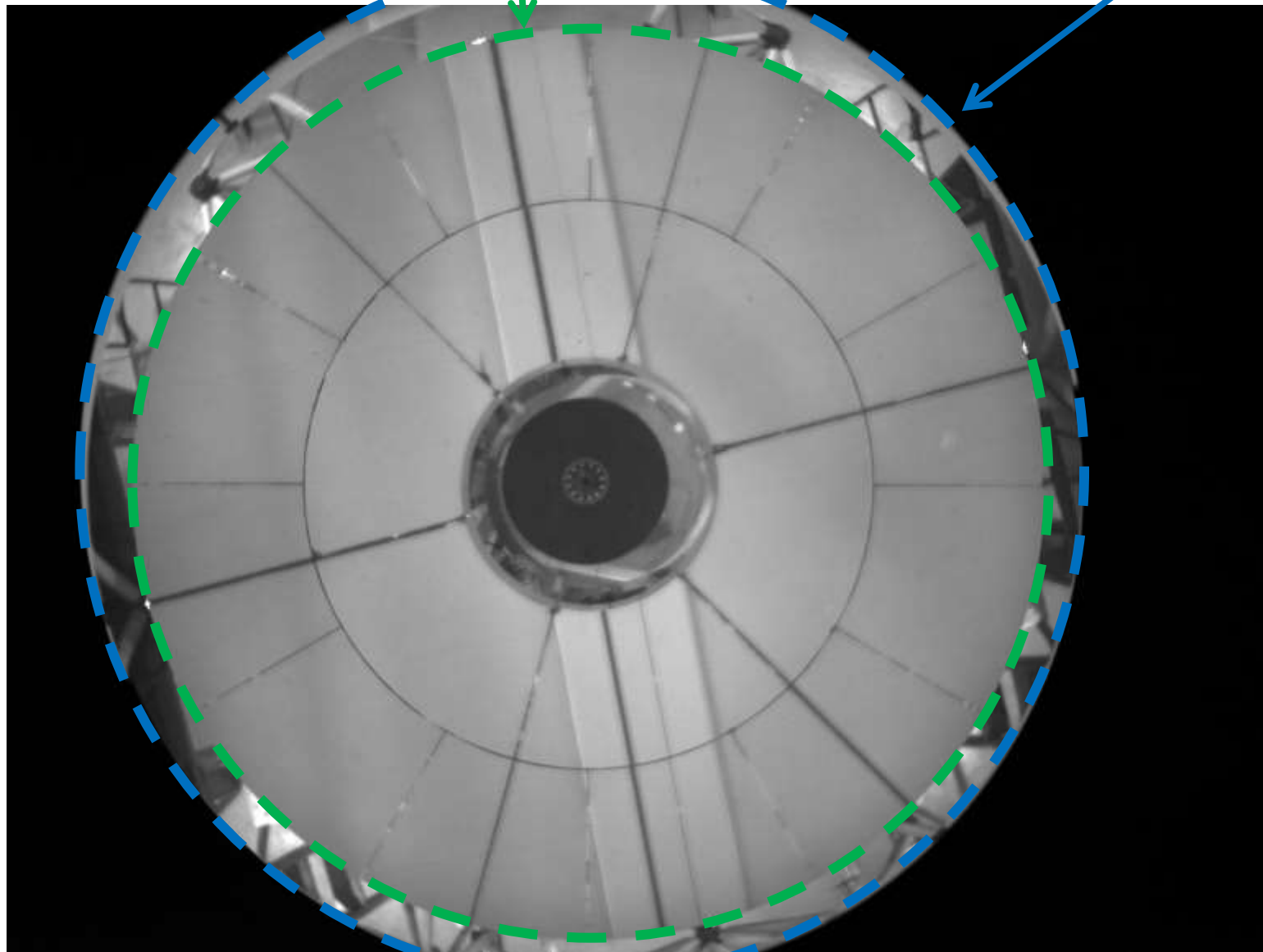
(普通の) CMOS



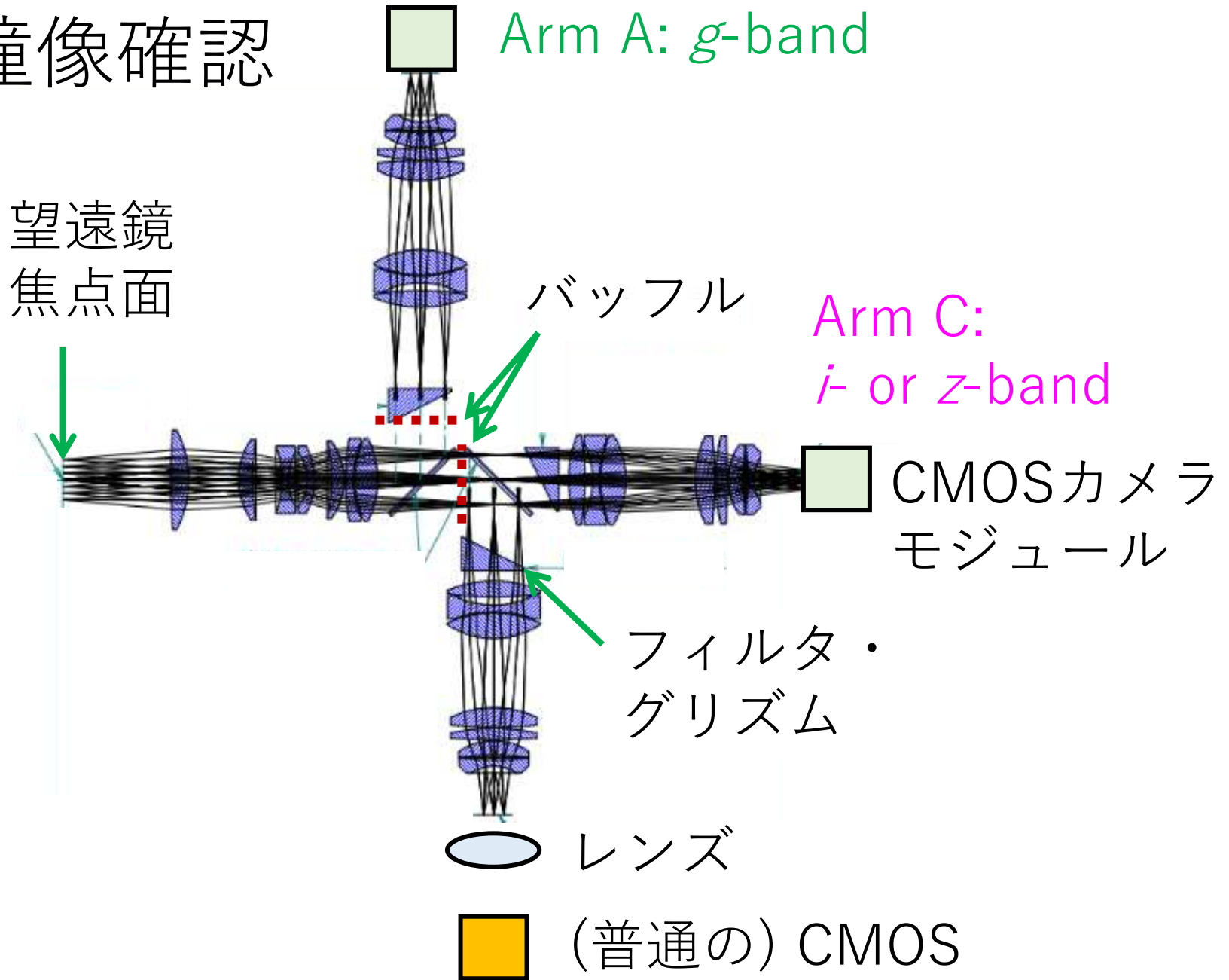
瞳像

望遠鏡主鏡

TriCCS筐体

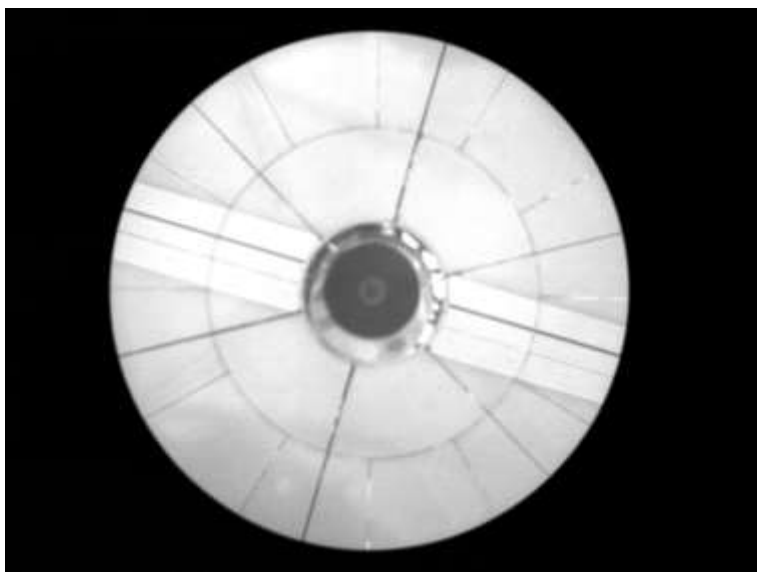


# 瞳像確認

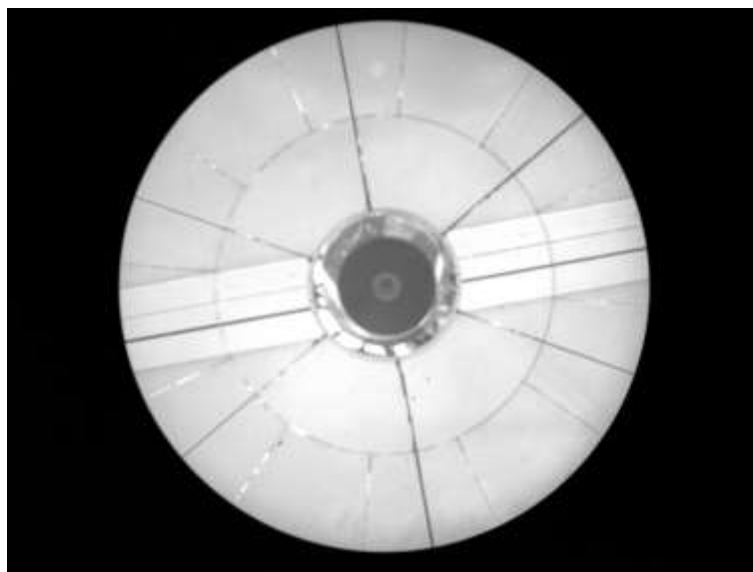


# 瞳バッフル交換

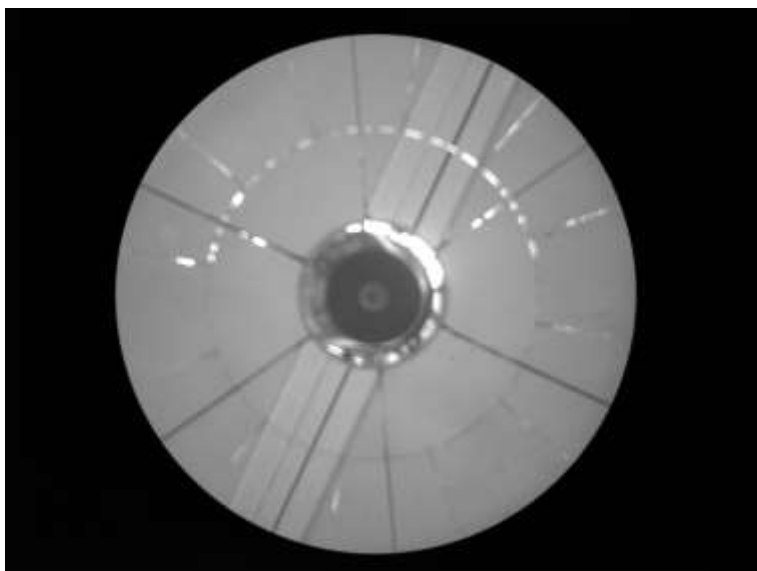
$\theta$



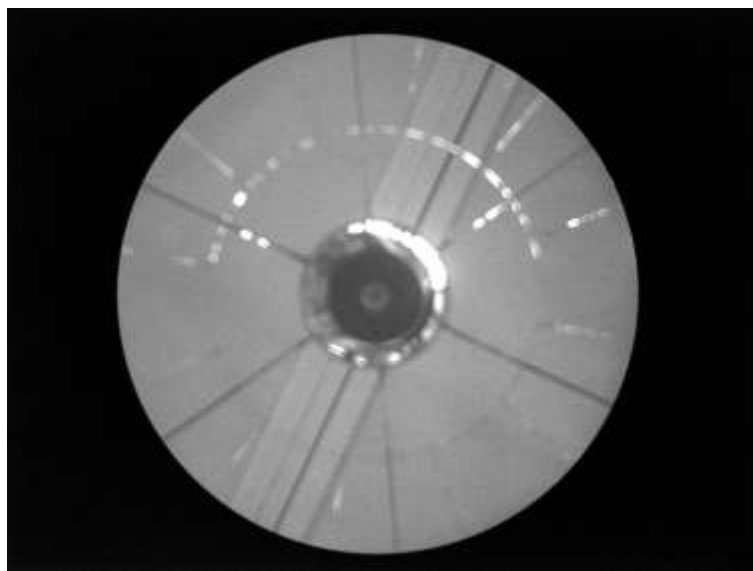
$r$



$i$

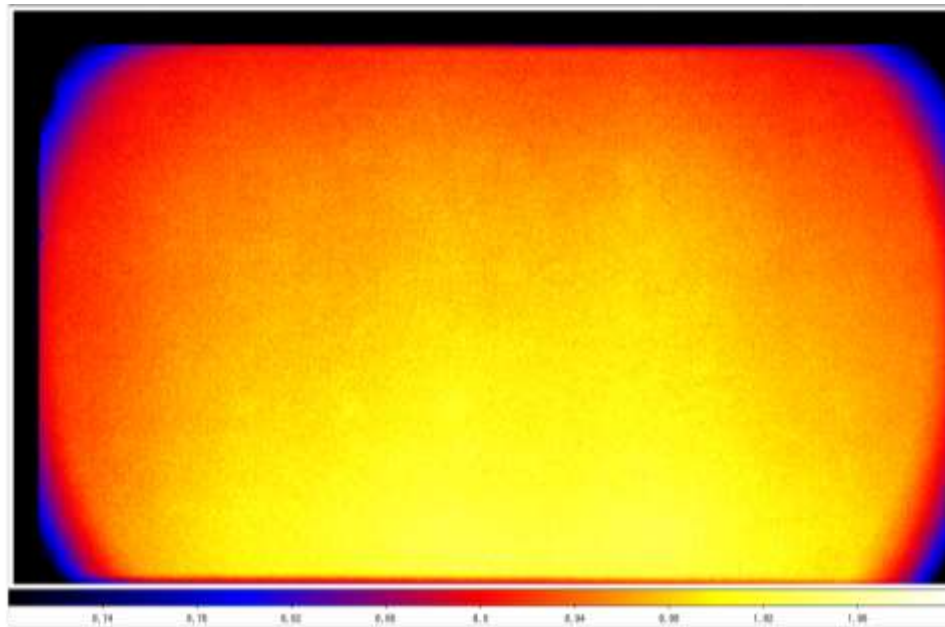


$z$

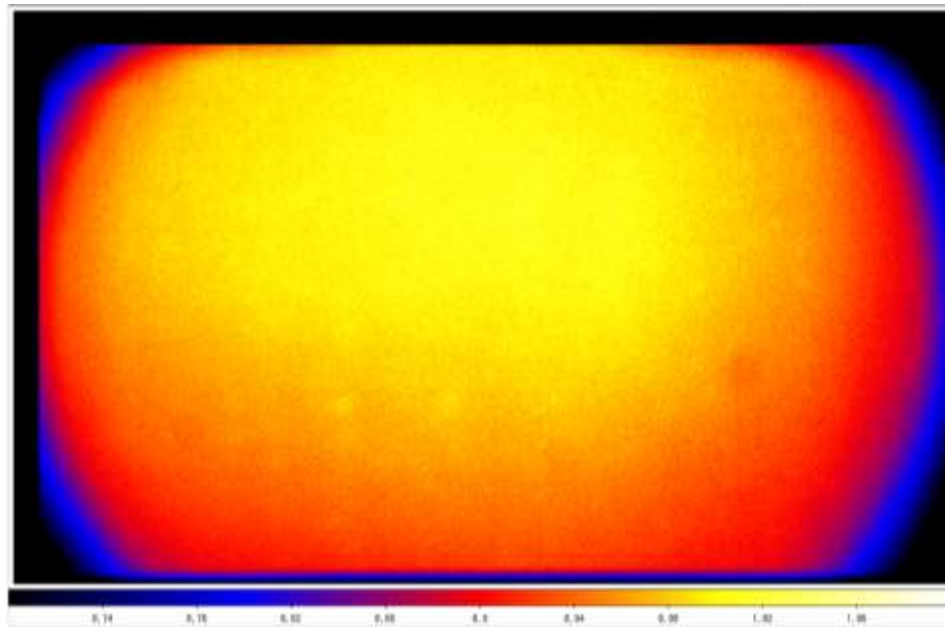




# 画像上下の光量差

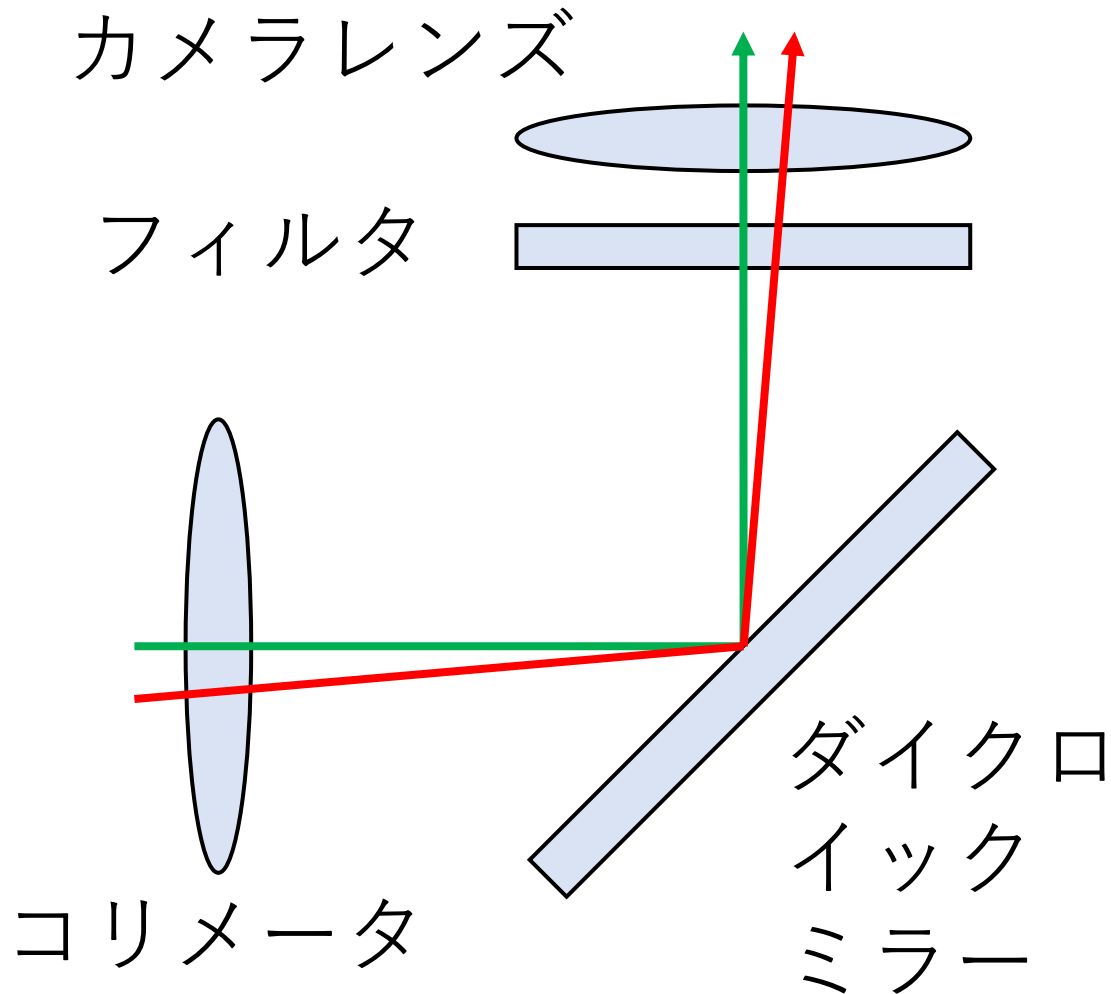


$g$ -bandのsky flat



$r$ -bandのsky flat

# 視野ごとの波長依存性



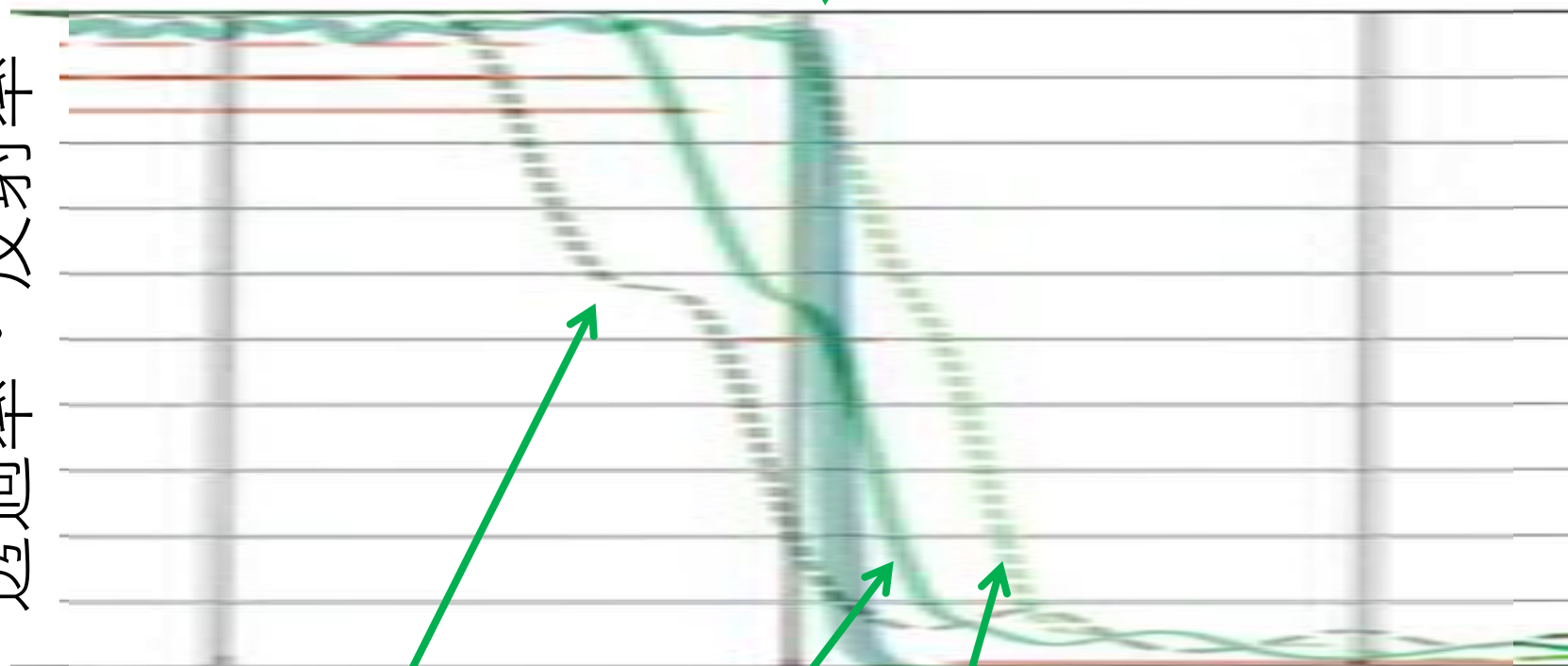
- 視野ごとにダイクロイックミラーへの入射角度が異なる  
→ 視野ごとに波長特性が違う

# 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°

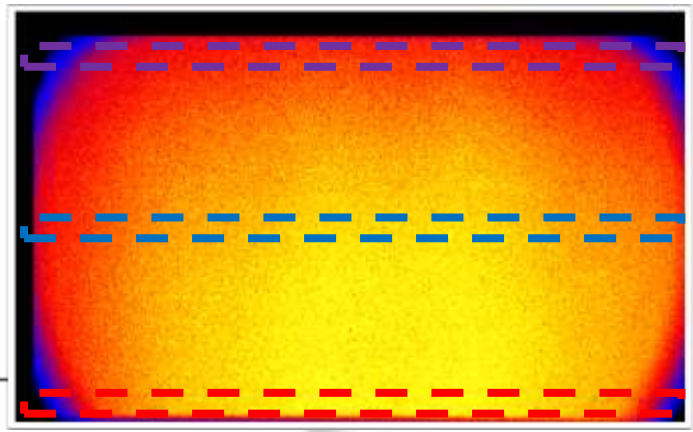
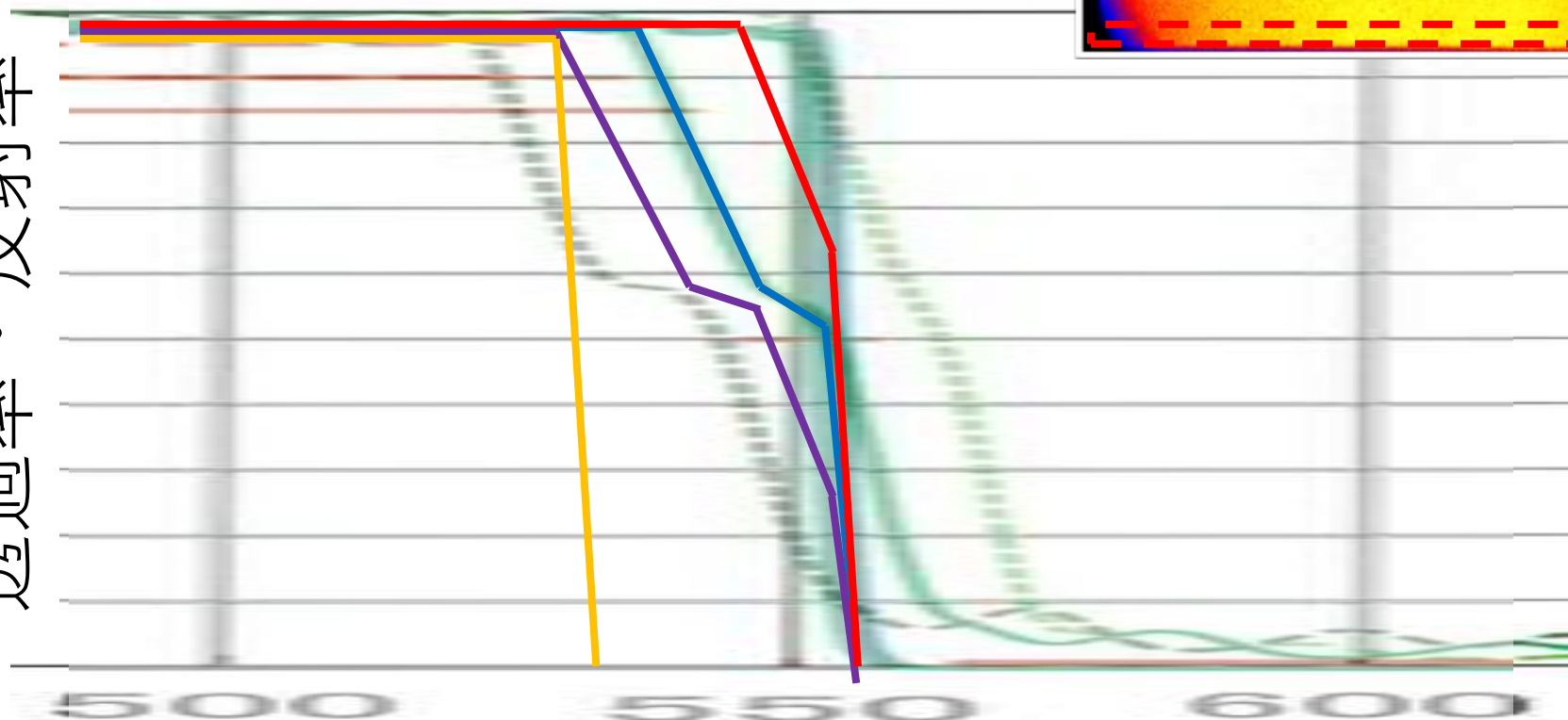
DM 38°

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]

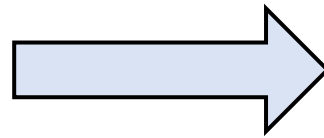
# リミットセンサからの迷光



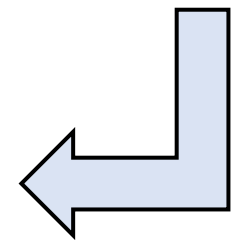
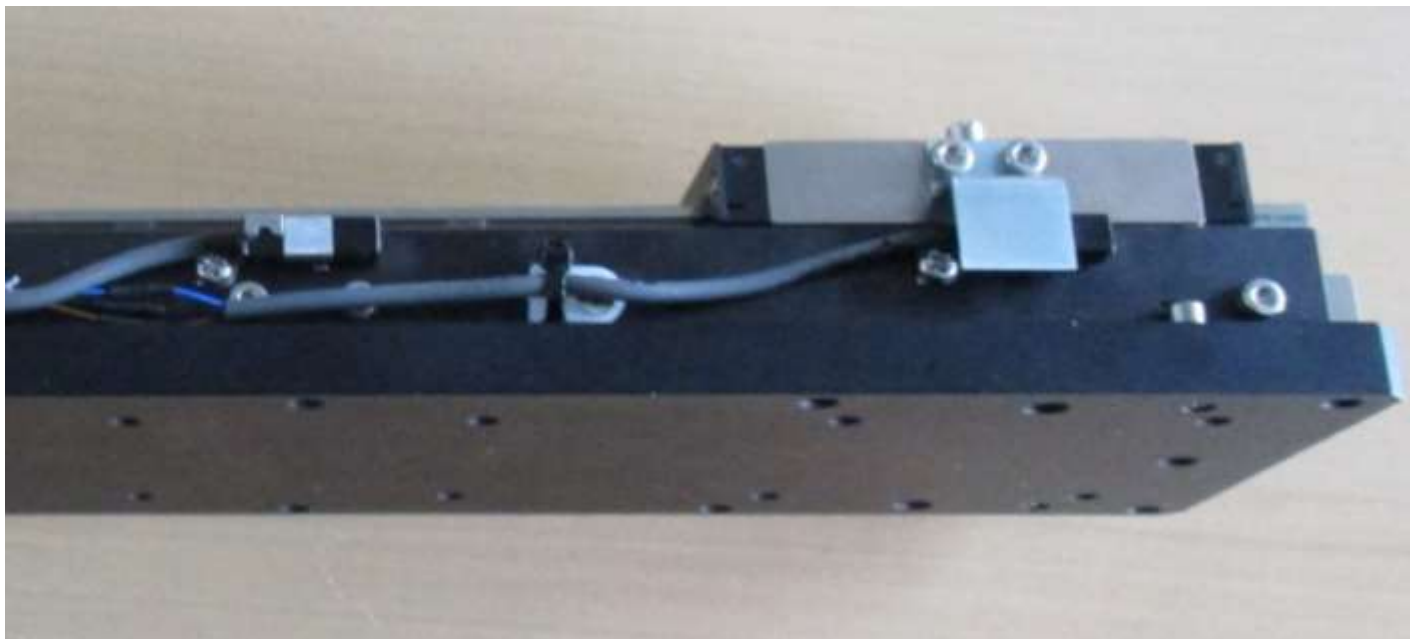
- 駿河精機、神津精機の電動ステージを使用
- リミットセンサがフォトセンサ方式  
→ 迷光の原因

# リミットセンサ交換

近接センサに  
変更

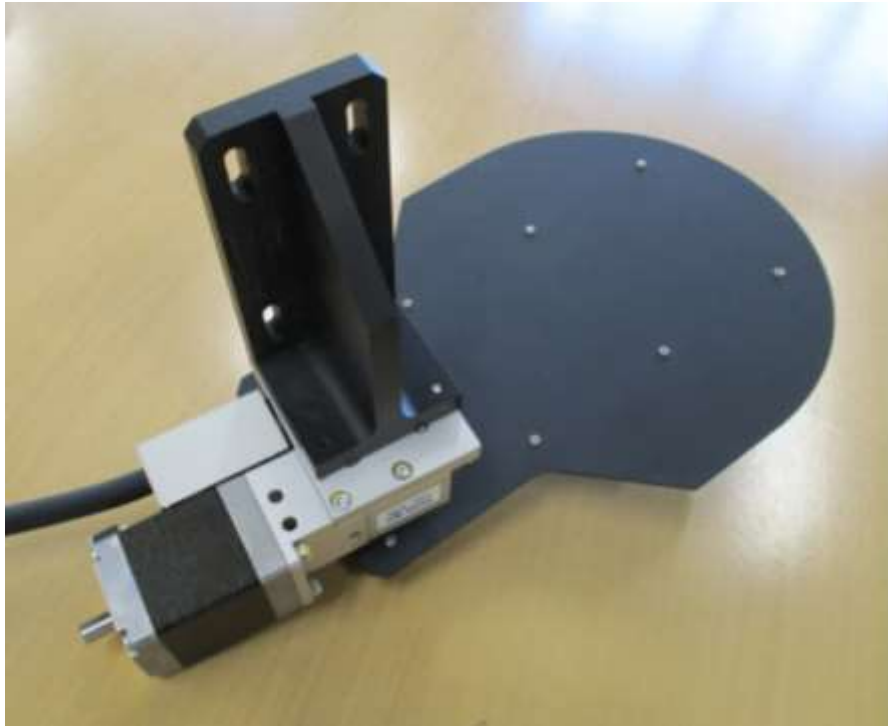


黒塗装

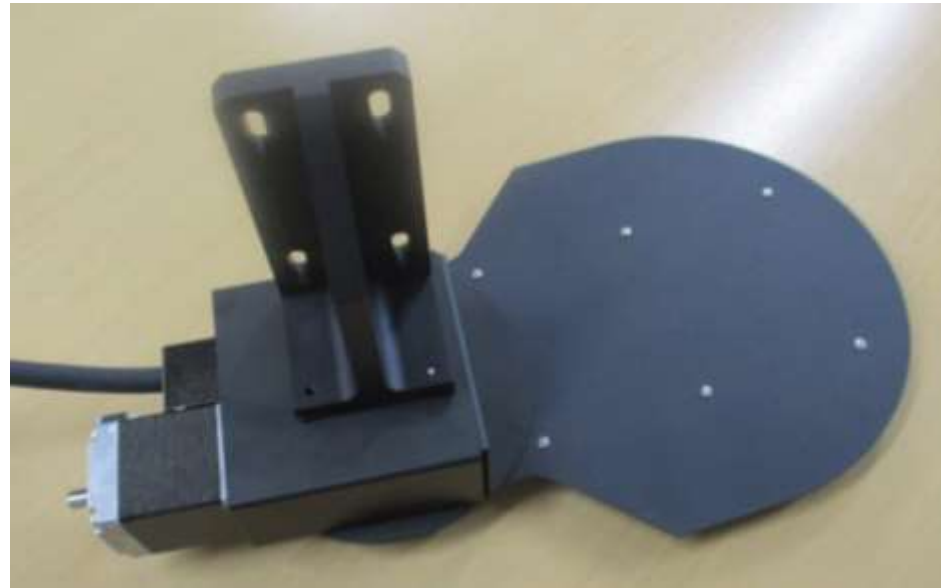


テープ  
追加

# 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

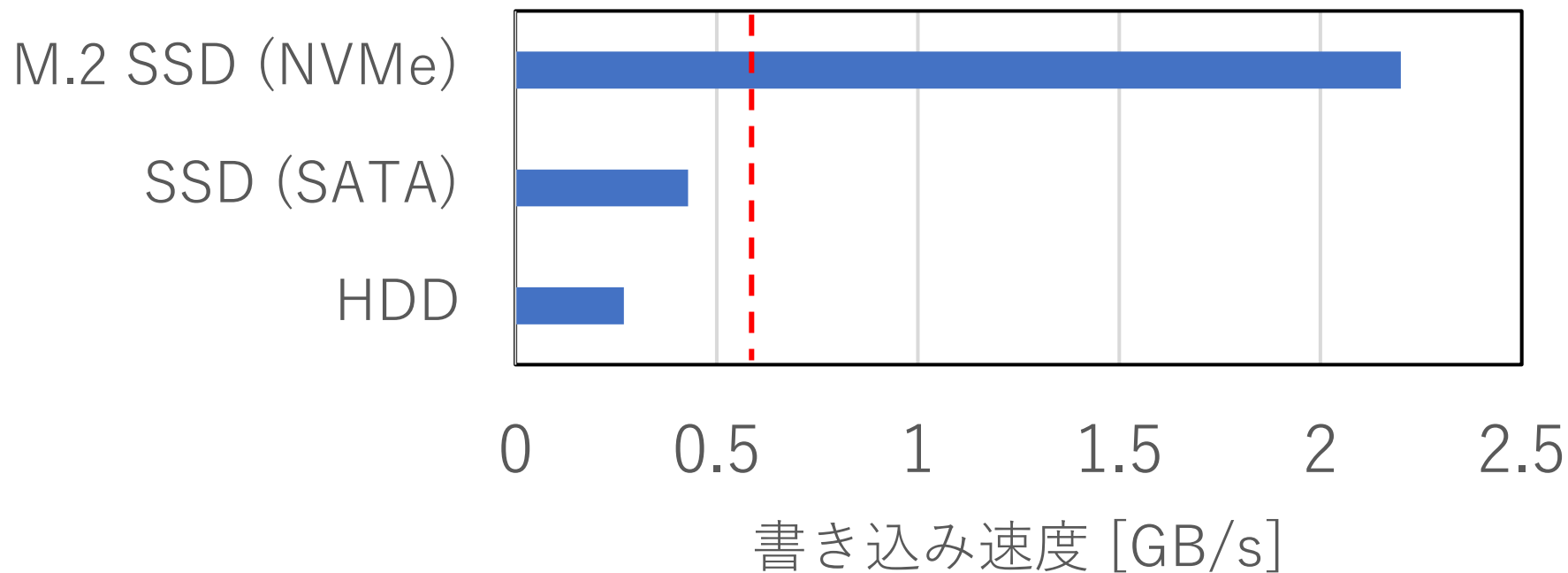
# TriCCSの特徴

- 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



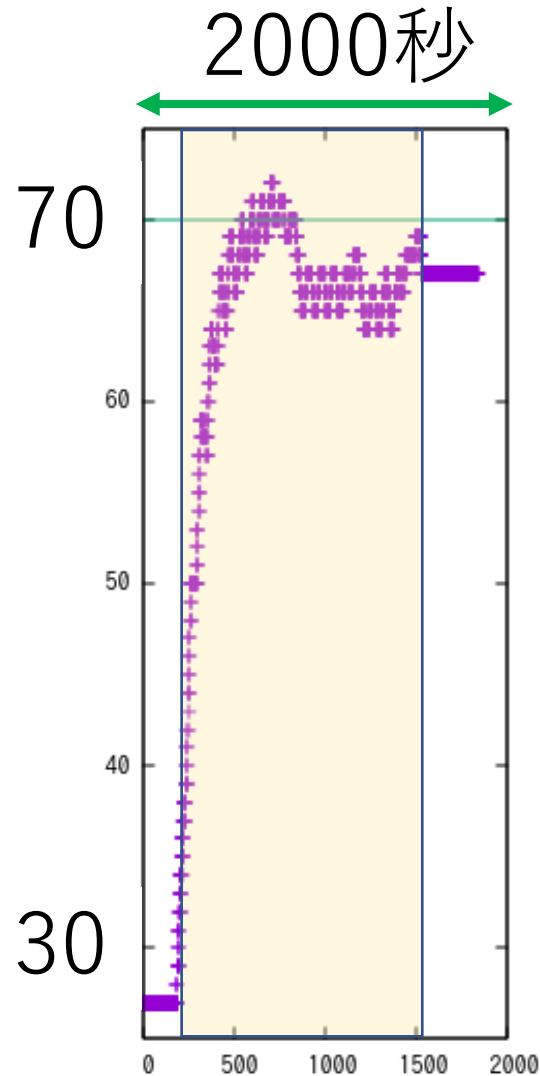
# データ書き込み速度

- 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

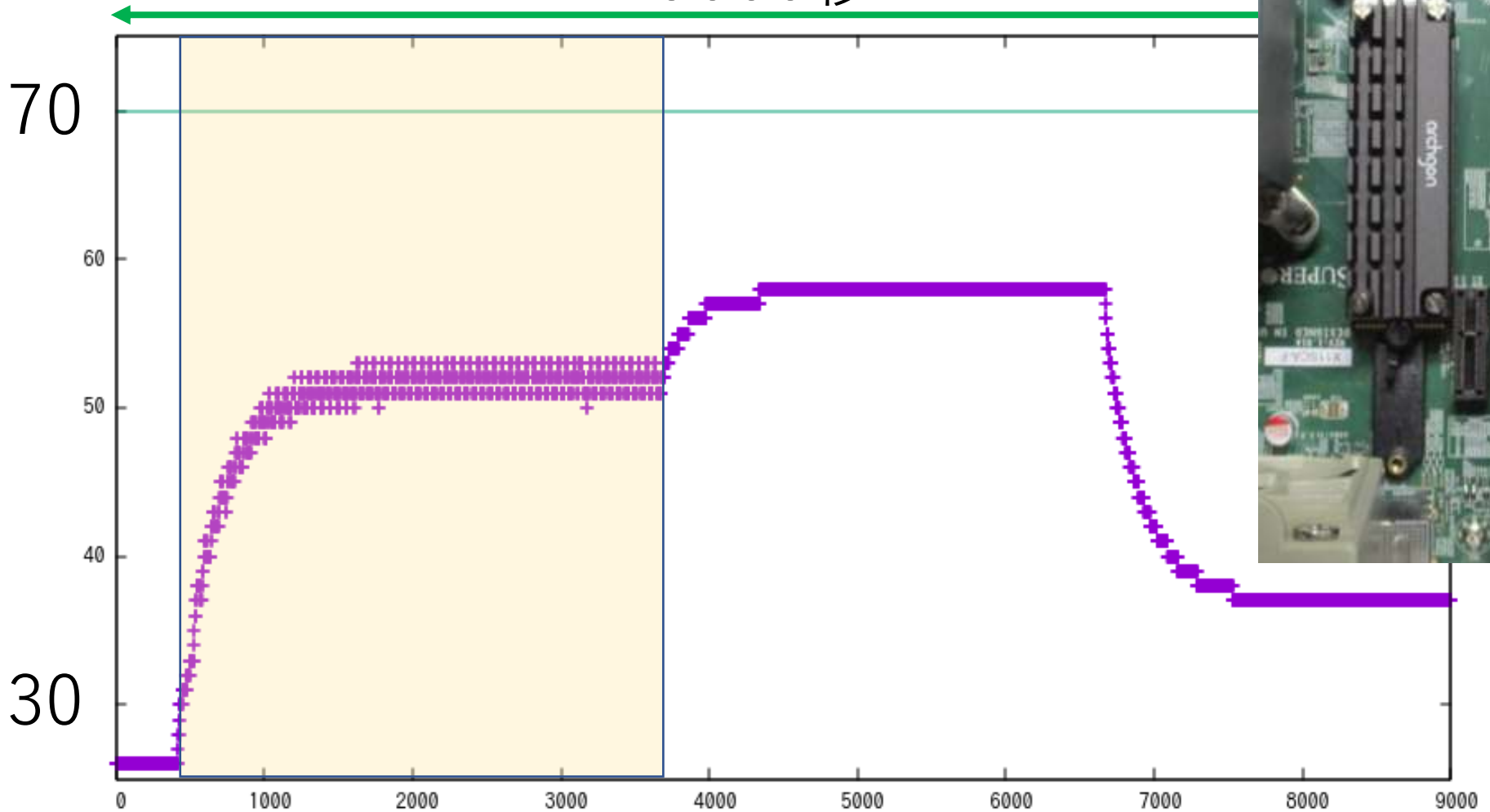
- CMOS 98 fpsで連続読み出し
- データ書き込み遅延あり



# 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

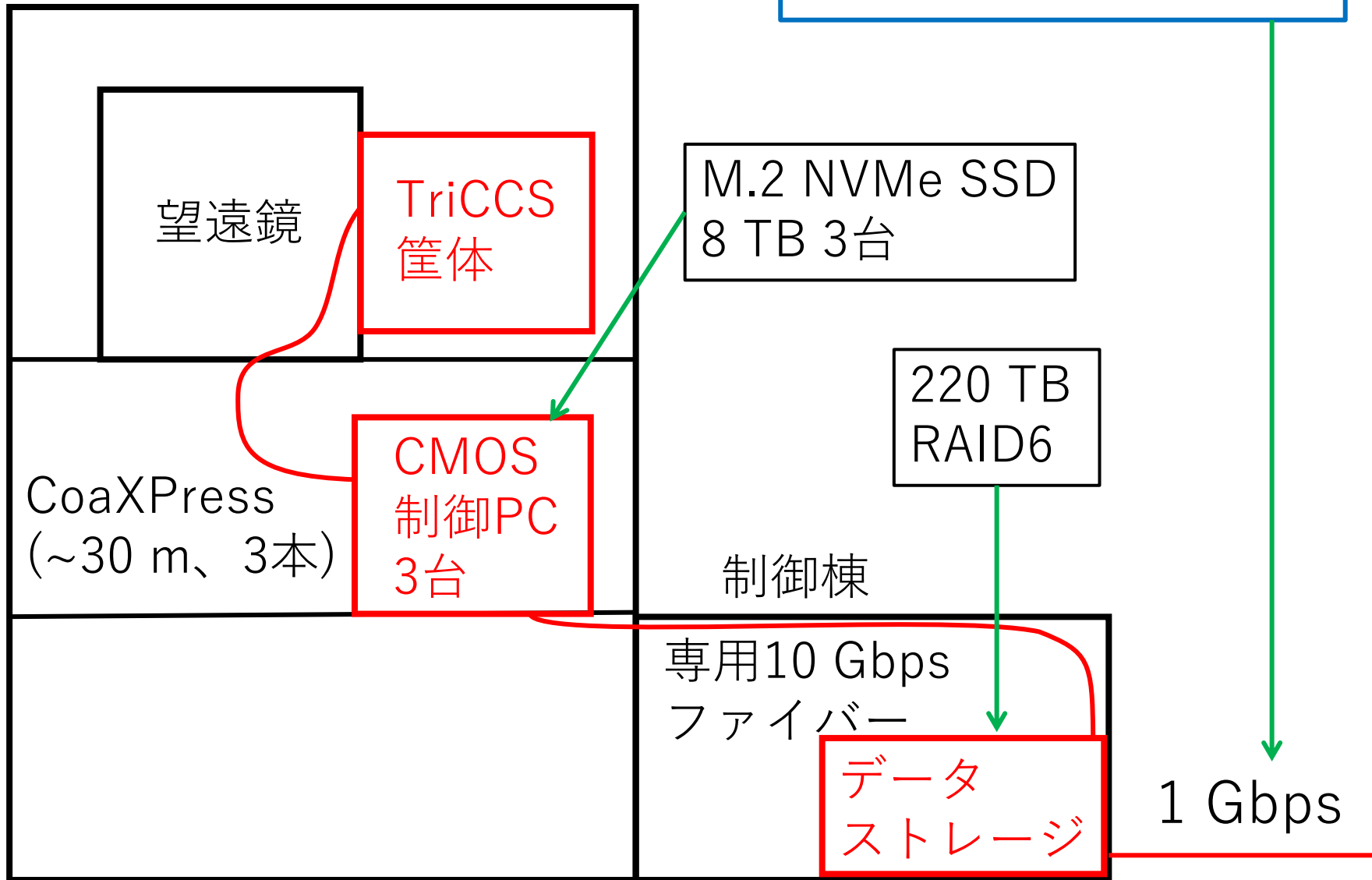
制御棟

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