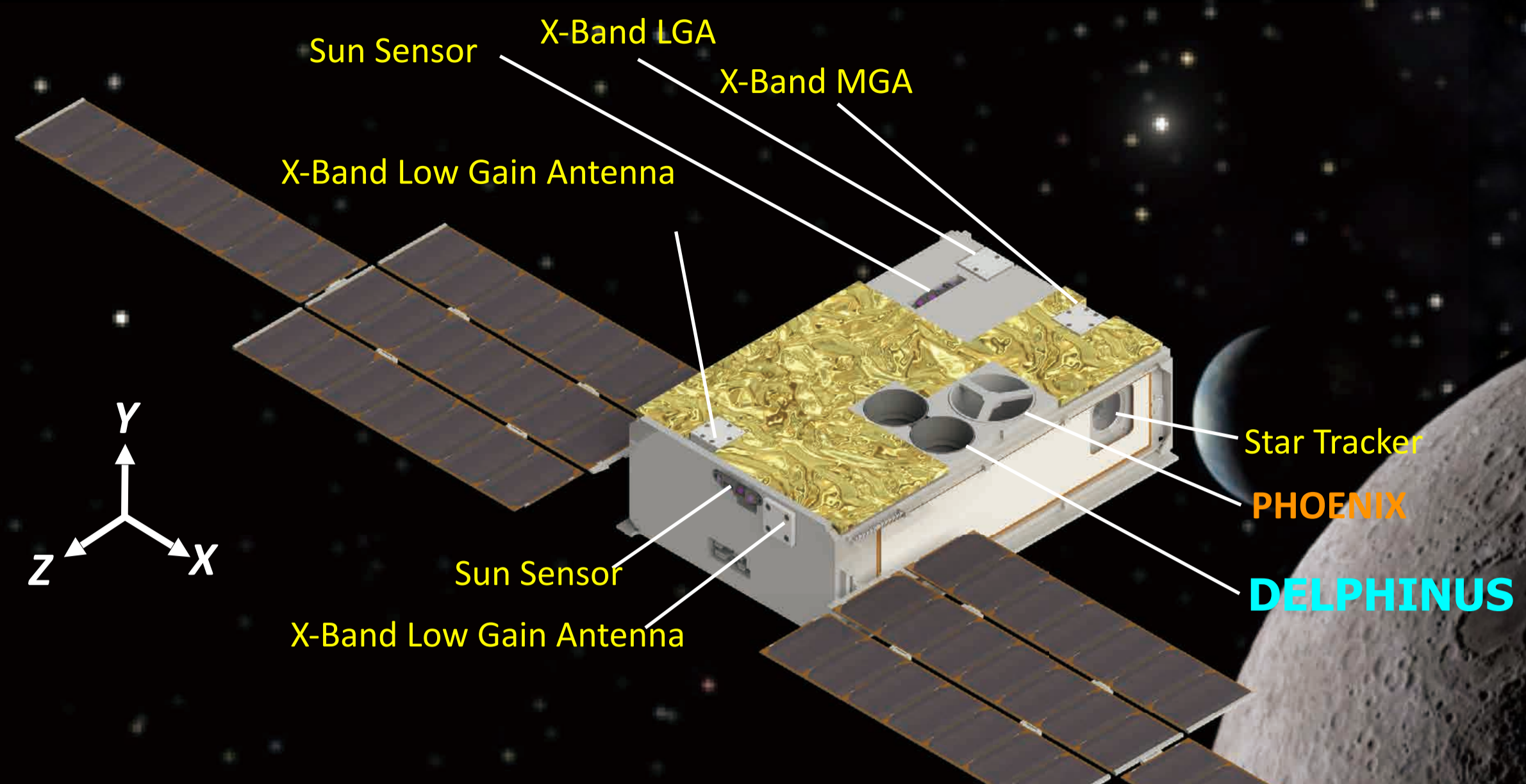


# 超小型6U深宇宙探査機EQUULEUS搭載カメラDELPHINUSの開発 Development of DELPHINUS camera system onboard 6U cubesat : EQUULEUS

阿部 新助 Shinsuke ABE<sup>1</sup>, 柳澤 正久 Masahisa YANAGISAWA<sup>2</sup>, 布施 綾太 Ryota FUSE<sup>1</sup>,  
小栗 健士郎 Kenshiro OGURI<sup>3</sup>, 井倉 幹大 Mikihiro IKURA<sup>3</sup>, 矢野 創 Hajime YANO<sup>4</sup>, 船瀬 龍 Ryu FUNASE<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> Dept. of Aerospace Eng., Nihon University, <sup>2</sup> The University of Electro-Communications, <sup>3</sup> The University of Tokyo, <sup>4</sup> JAXA/ISAS



地球周辺(Cis-Lunar空間)の直径cm~数10cmサイズのメテオロイド(meteoroids)や小天体のサイズ分布と時間変化(フラックス)を明らかにする。また、月面活動を行う上でのリスク評価を行う。

地上望遠鏡で観測される直径数10mサイズ以上の小天体(小惑星や彗星)と、地上からの流星観測やレーダーで計測されるμm~mmサイズのダストを繋ぐ空白領域を埋めることになる。  
地球-月L2点からは、月表面積3,800万km<sup>2</sup>の1/4程度をモニターできることから、地上の単点観測でモニターできる空の領域の数10倍以上の領域を一度に見渡すことになり、地球での火球や隕石衝突に匹敵するcm~mサイズの衝突閃光の観測確率が格段に向上する。

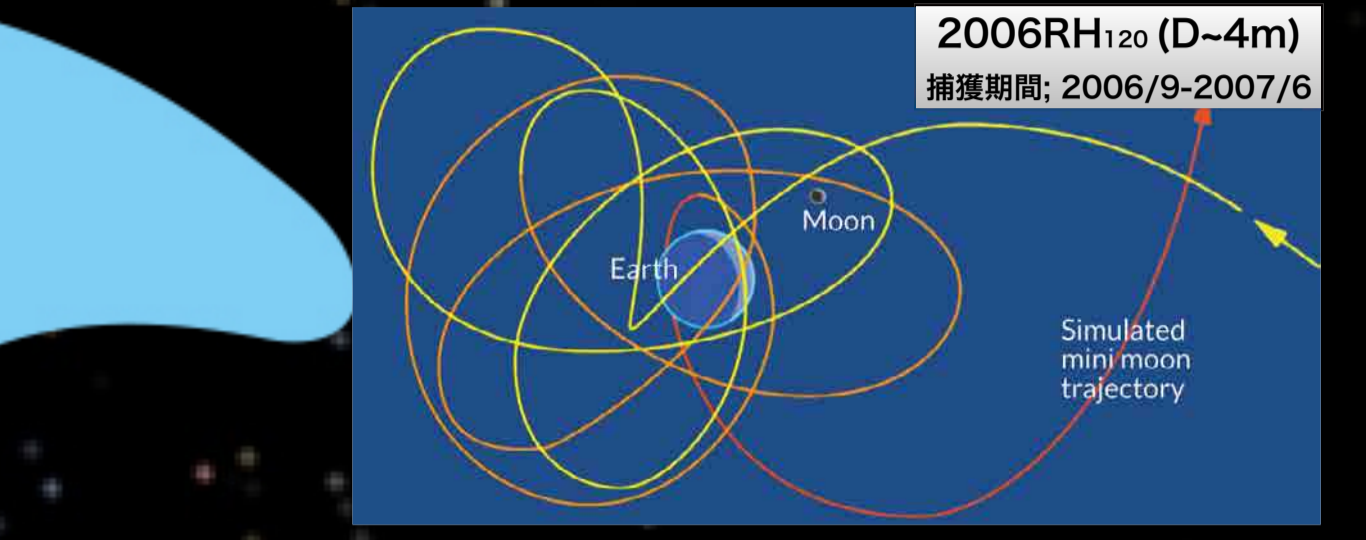
地上観測では低空での数時間程度の観測となり、観測機器や気象条件も異なるため、連続的な定量評価が困難。一方、EQUULEUSから観測した場合、大気減光や天候の影響を受けず、同一機器での連続長時間観測により、バイアスの無い高品質データの取得が可能。

月震計との共同観測が成立する場合、地上からは網羅できない月裏のインパクトフラッシュを捉えることで、月の内部構造探査に貢献可能。

DELPHINUSで観測可能な地球衝突危険性天体(Pho.Neo)やTCO(地球重力捕獲天体)が地上望遠鏡で発見された際、フォローアップ観測を行い、軌道・自転などの物理パラメータ導出に寄与する。

あわよくばフライバイと近接撮像を狙う!

## DELPHINUS DEtection camera for Lunar impact PHenomena IN 6U Spacecraft



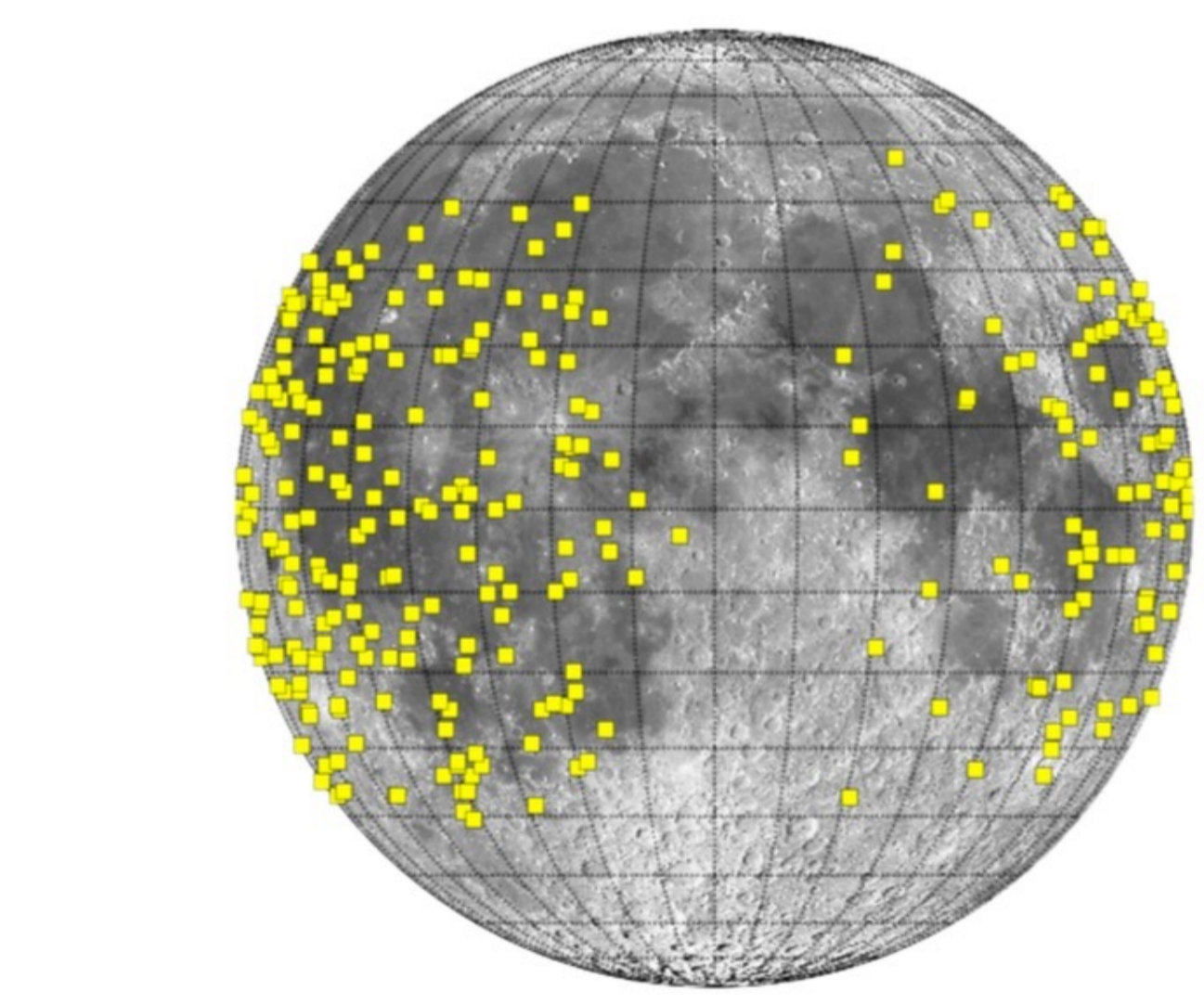
TCOs = mini-Moons  
(Temporarily Captured Orbiters)

2016 HO3 (D~100m)  
100年前に捕獲  
今後数100年間存在

常に存在するTCOの数  
D = 1.0m : 2個  
D = 50cm : 1ダース  
D = 1cm : 1,000個

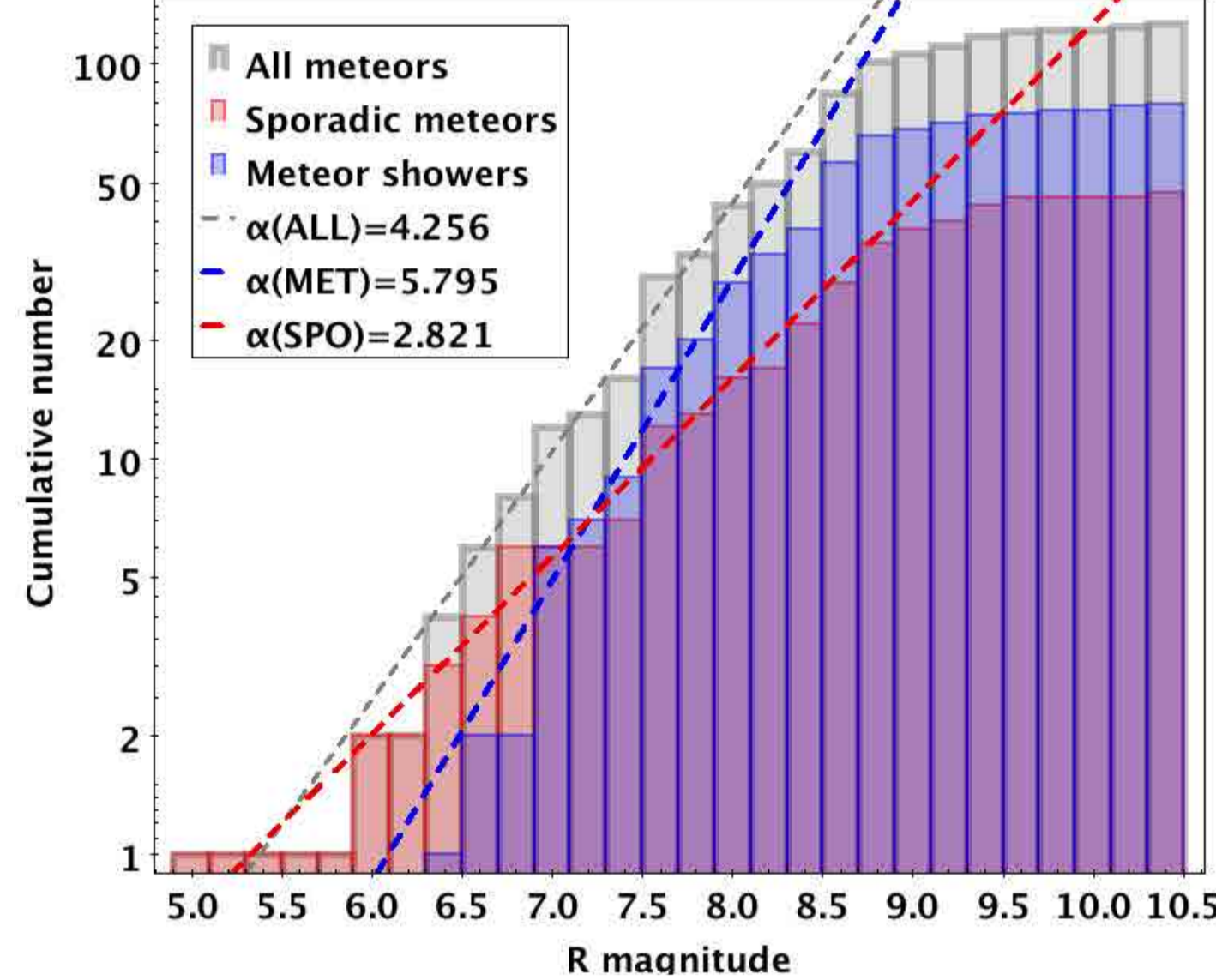
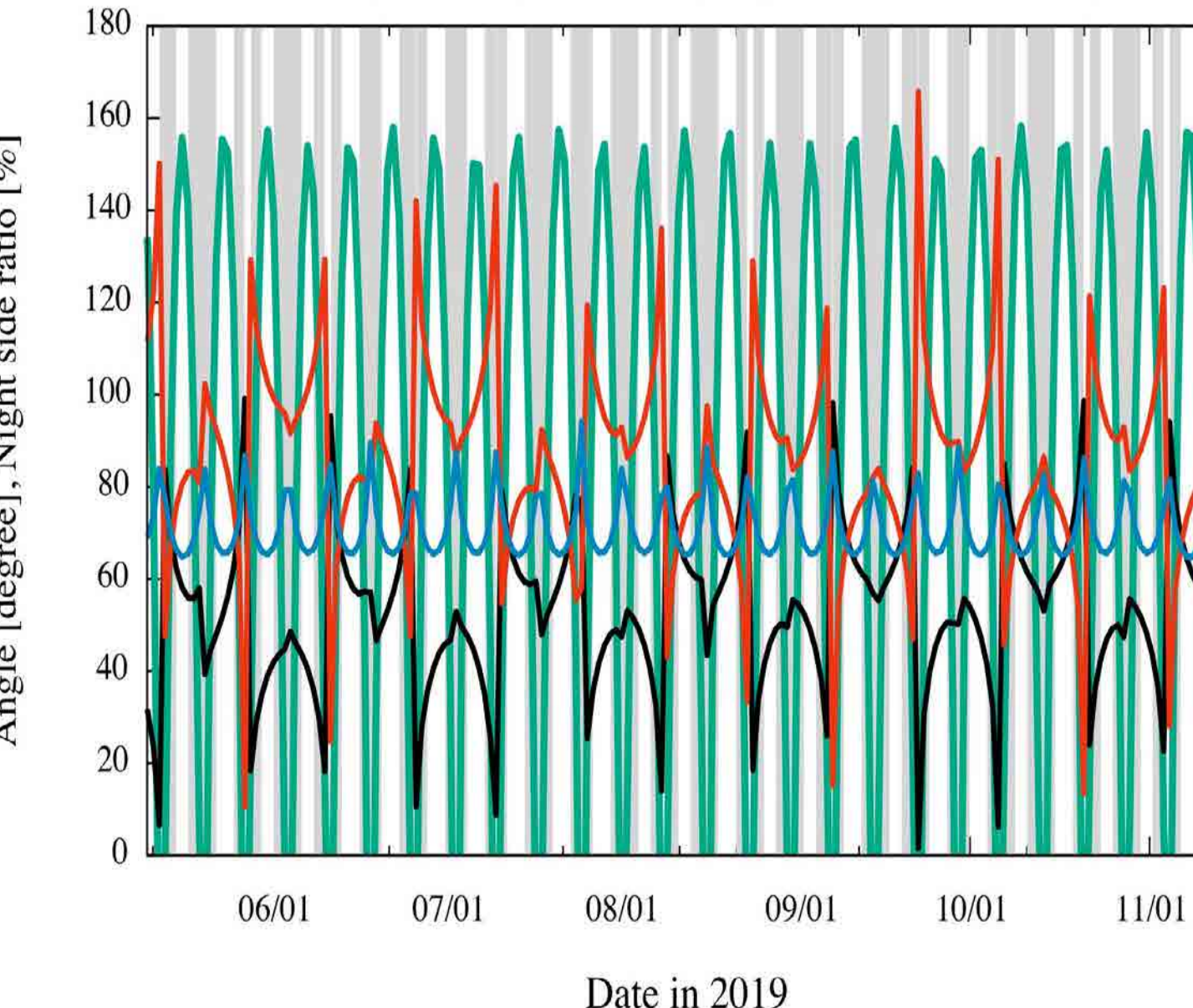
NEO(Pho) 2014RC  
~0.1LD, D~12m, Sq-type

### Scientific Motivation



NASAが2005 Nov - 2014 Janに地上望遠鏡で検出した約300個の月面衝突閃光 Suggs et al. (2014)

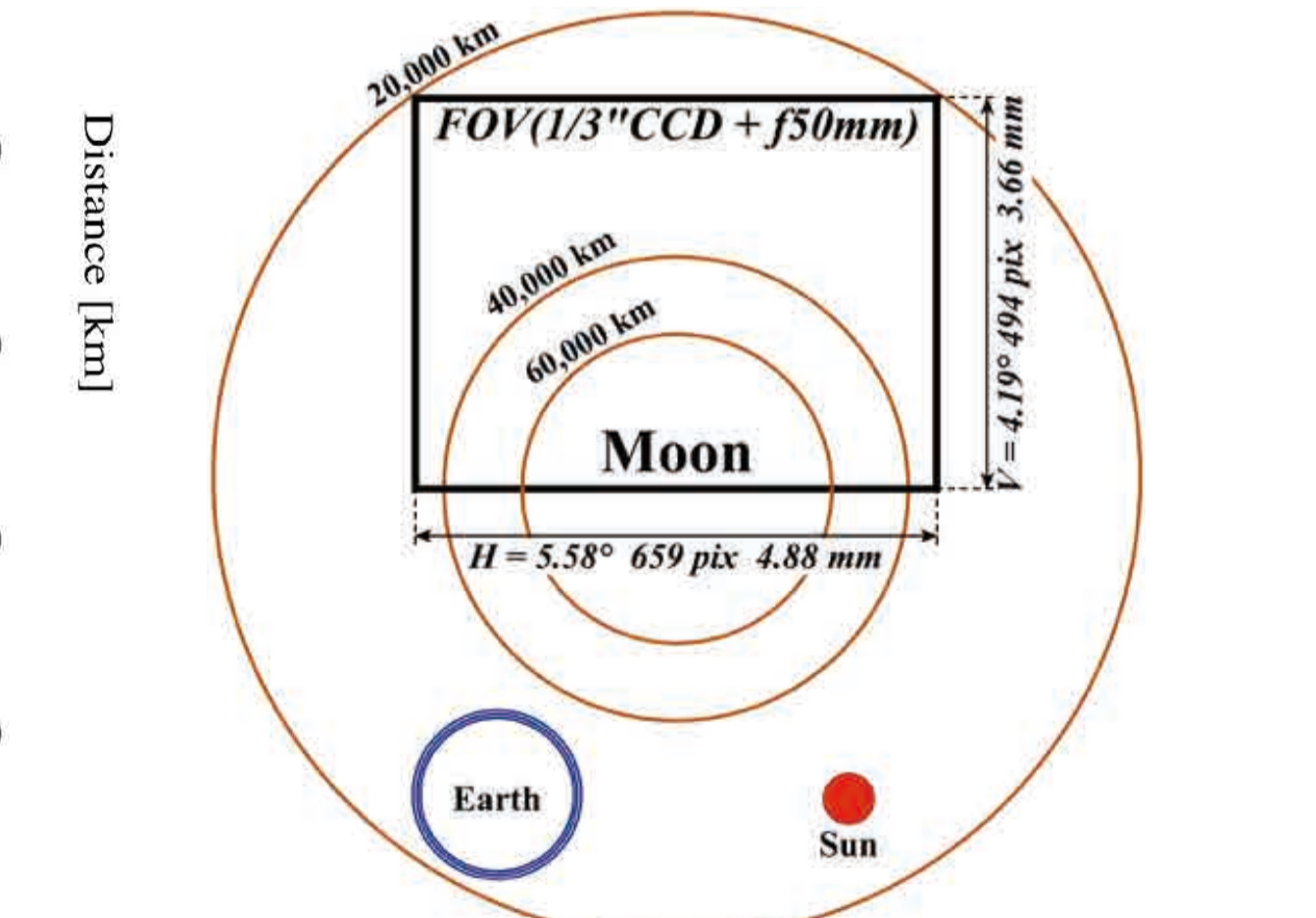
ミッションフェーズでの観測条件  
軌道案: 20190509\_1040\_26N



Suggs et al. (2014)から求まる月面衝突体のサイズ分布関数。散在流星(SPO)のサイズ分布を採用し、月面衝突閃光の観測可能数の見積りを行った。

Limiting Magnitude	Total num	Rate /hour	Observable Days
3.0	1,050	0.54	81/195
4.0	2,961	1.52	

Assuming effective FOV on the night side surface = 30%



### Key technology-1 レンズ・鏡筒・センサー

**f50mm F1.4**

COSSINA #60 CONFIDENTIAL

WATEC T065センサー

カバーガラス

CCDセンサー

月光遮光対策

迷光シミュレーション

条件: 月面距離2万km  
半月フラックス = 9.0E-02[W/m<sup>2</sup>]  
太陽フラックス = 1.4E+03[W/m<sup>2</sup>]  
許容値: センサ飽和の10% = 4.30E-03[W/m<sup>2</sup>]

太陽からの迷光は、10%以下  
サテンブラックアルマイトをセンサ遮光板に使用  
離角=45度: 4.09E-03[W/m<sup>2</sup>] = 9.5%  
離角=50度: 3.64E-03[W/m<sup>2</sup>] = 8.5%  
離角=55度: 2.47E-03[W/m<sup>2</sup>] = 5.7%  
離角=60度: 2.52E-03[W/m<sup>2</sup>] = 5.9%

半月からの迷光は、3%以下  
サテンブラックアルマイト: 1.33E-03[W/m<sup>2</sup>] = 3.1%  
メタルベレット: 9.85E-04[W/m<sup>2</sup>] = 2.3%

CCD (SONY ICX424AL) 感度曲線

イメージサイズ 対角6mm (1/3インチ型)  
有効画素数 659 (H) x 494 (V)  
セルサイズ 7.4 μm (H) x 7.4 μm (V)  
月面衝突閃光 1/60 sec  
小惑星観測 低速シャッター: 1~1023 frames  
フライバイ 高速シャッター: 1/60~1/4,000s  
特性  
電圧 1.0  
電流 5V  
消費電力 定格160mA  
外形寸法 50.0 x 50.0 x 6.0 (mm)  
重量 <34g

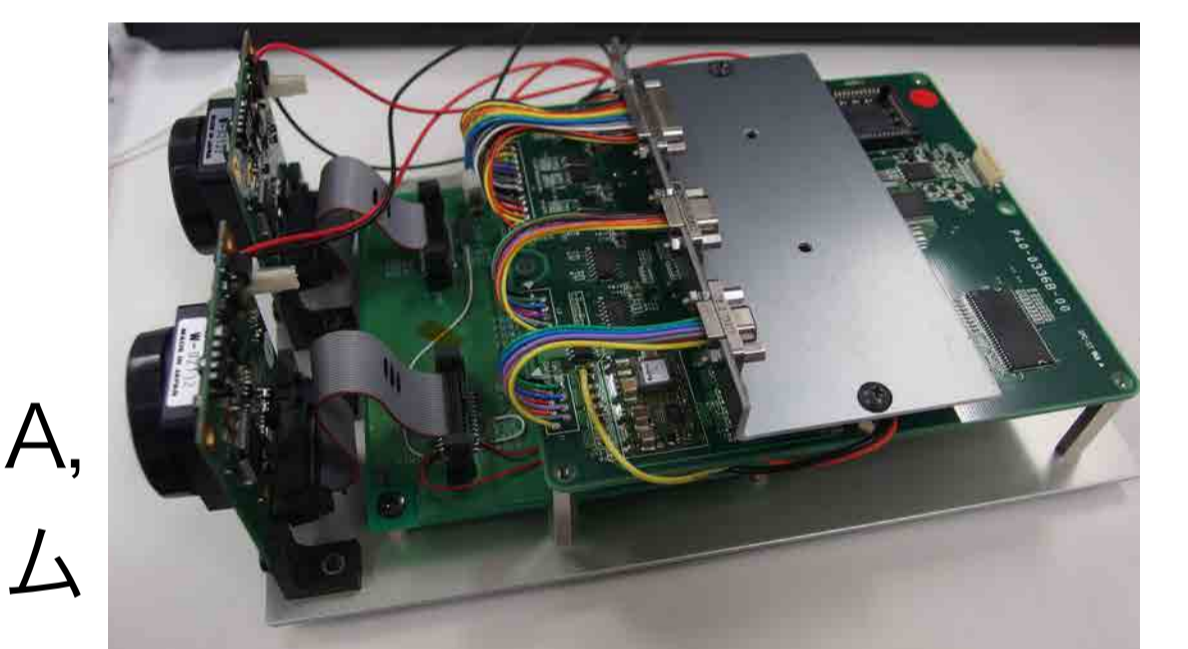
### Key technology-2 月面衝突閃光検出

#### FPGA基板

#### FPGA開発プログラム

##### 1. カメラ設定・画像取込みプログラム

露光時間、ゲイン等のカメラ設定やFPGA、メモリへの画像取込みに関するプログラム  
→開発済み



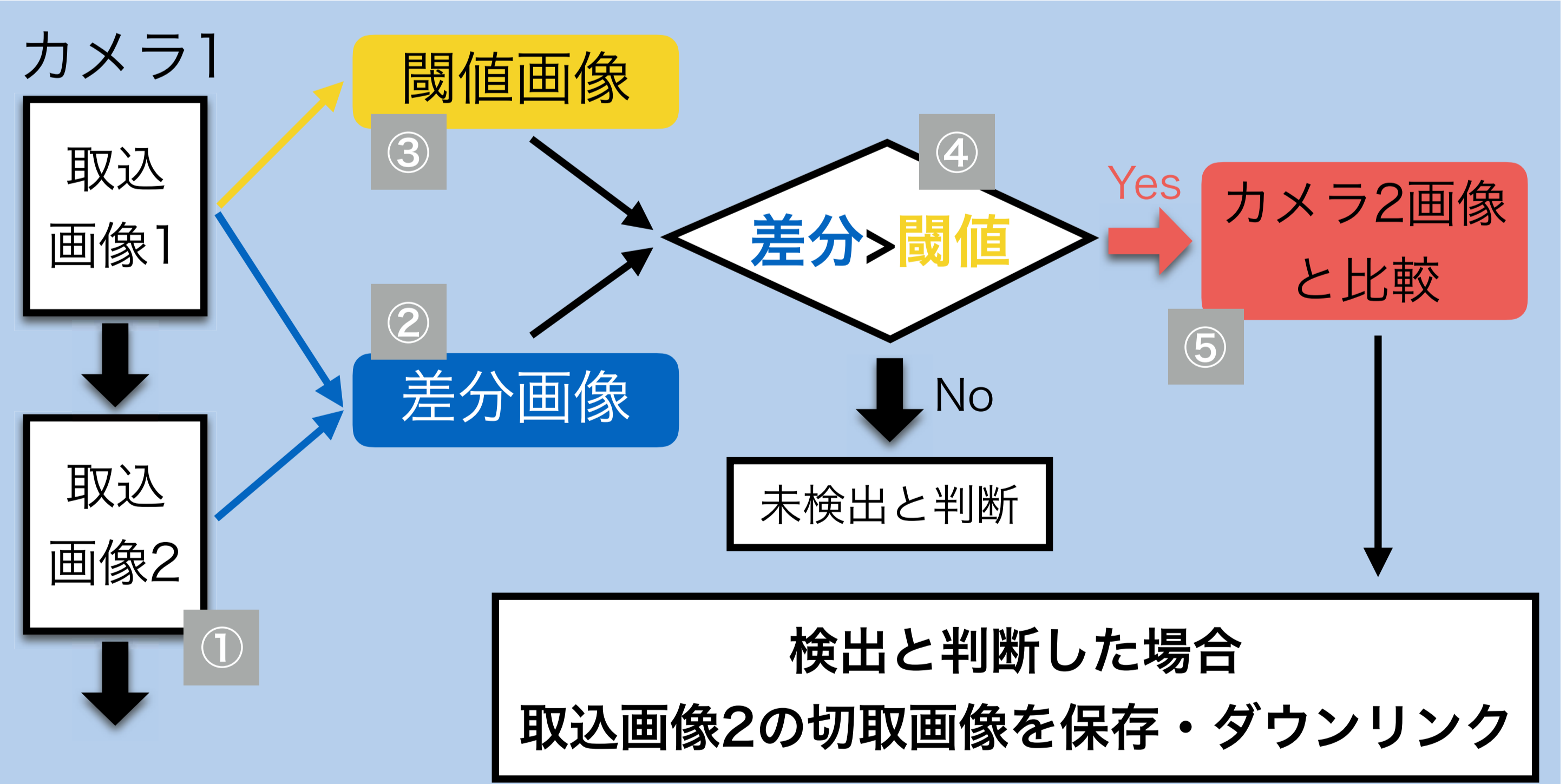
FPGAプログラム開発用基板

##### 2. OBC-FPGA間通信I/Fプログラム

OBC-FPGA間の通信を確立するためのOBC側ドライバー等の開発  
→開発中(1/E完成目標)

##### 3. 月面衝突閃光検出・画像処理プログラム(下図参照)

軌道上において月面衝突閃光の検出、画像処理を行うプログラム  
→未開発(12/E完成目標)



#### 月面衝突閃光検出・画像処理アルゴリズム

- 1/60sおきに取り込まれる全画像で④までの検出アルゴリズムを実行
- 連続する2枚の取得画像での差分画像(画像2-画像1)を作成  
→差分を取ることで発光(閃光orノイズ)部分のみを抽出
- 取得画像1から閾値画像を作成  
→閾値を設けることである閾値以下の弱いノイズによる発光を④で排除
- 差分画像と閾値画像を比較  
→「差分>閾値」の場合、その発光は閃光or強力なノイズと判断でき⑤へ
- カメラ1差分画像と同時刻でのカメラ2差分画像を比較  
→同位置での発光の場合、月面衝突閃光と判断し、取得画像2の切取画像を保存・ダウンリンクする(データ量削減)