

# 観測ロケット用小型水平線センサの開発

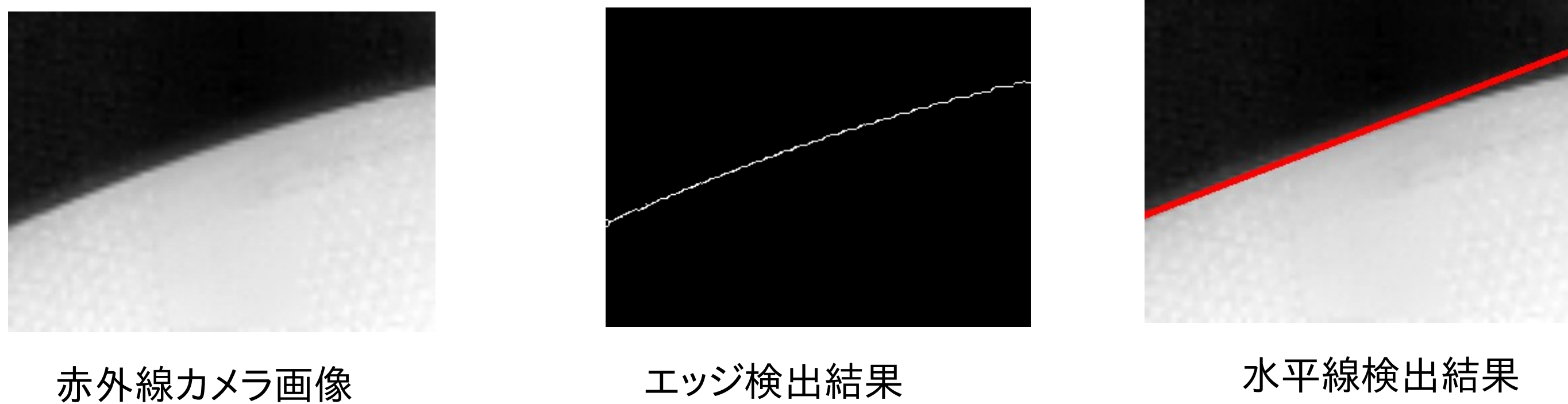
三田 信、福島 洋介 (ISAS/JAXA)

## はじめに

微小重力実験や天体観測などより精度の高い観測ロケット実験を行うには精度の高い姿勢制御が必須である。姿勢制御には姿勢を変えるためのスラスタやアクチュエータの他に姿勢を決定するための観測装置が必要となる。姿勢決定には加速度計やジャイロスコプの他に絶対的な姿勢を観測するための装置も使用する。地球の水平線を観測することでロケットの絶対姿勢を計測する装置が水平線センサ(HOS: Horizon Sensor)である。我々は観測ロケットなどのように限られた容量・重量で使用可能な小型水平線センサを開発し、観測ロケット(S-520 30号機)に搭載して実証試験を行った。

## 水平線検出原理

夜間の打ち上げを考慮し、可視光カメラで無くボロメータ型の長波長赤外線カメラで地球を撮影。地球と宇宙との温度差の違いにより地球と宇宙との境界線(エッジ)を検出する。検出したエッジを元に水平線を検出する



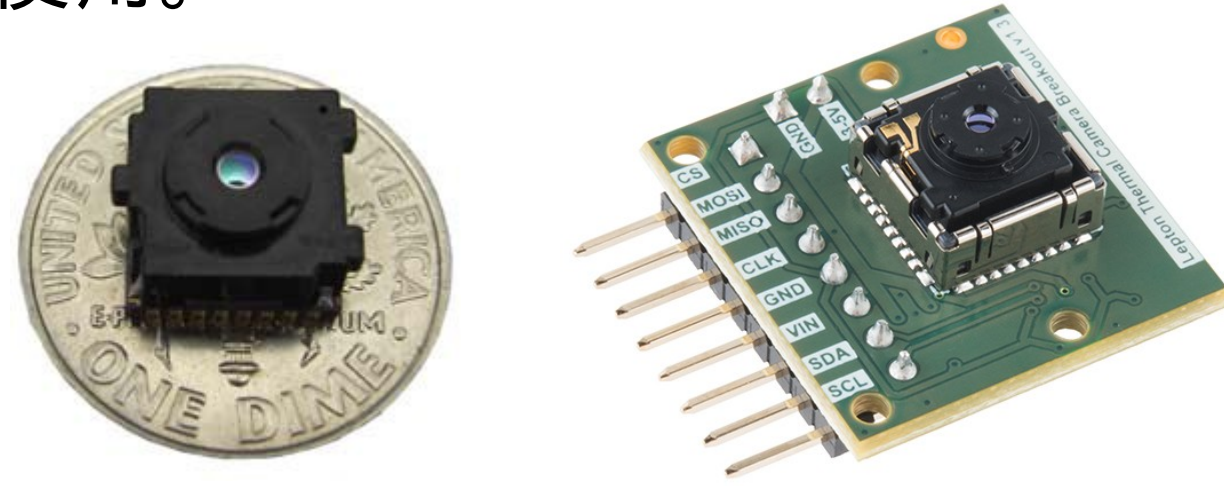
赤外線カメラ画像

エッジ検出結果

水平線検出結果

## 長波長赤外線(LWIR)カメラ

廉価の長波長赤外線カメラ「Flir lepton」を使用。  
解像度: 80x60ピクセル  
視野: 水平方向50°、垂直方向39°  
感度波長: 8um-14um  
撮像周期: Max 9Hz

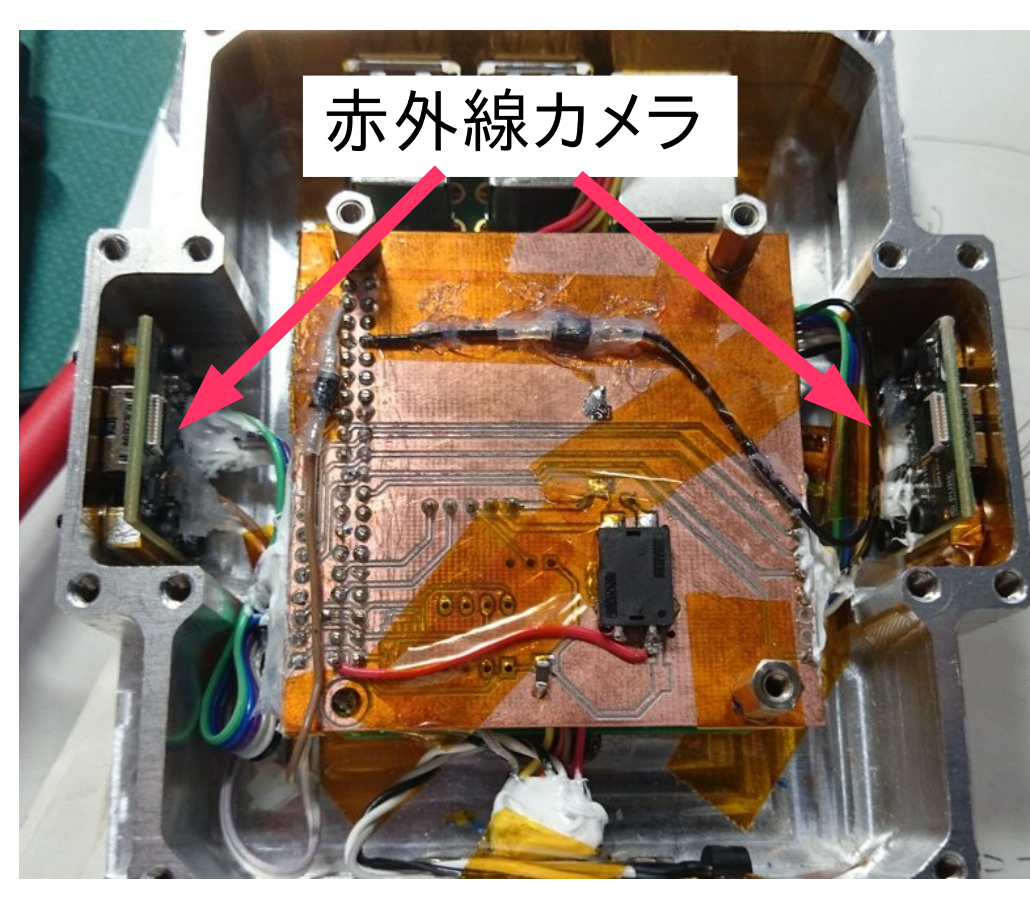


## 水平線センサの仕様

上記の長波長赤外線カメラを2個使用  
電源電圧: +5V  
処理ボード: Raspberry Pi B+  
データはSCU経由でロケットに送られテレメトリとして地上に送信する

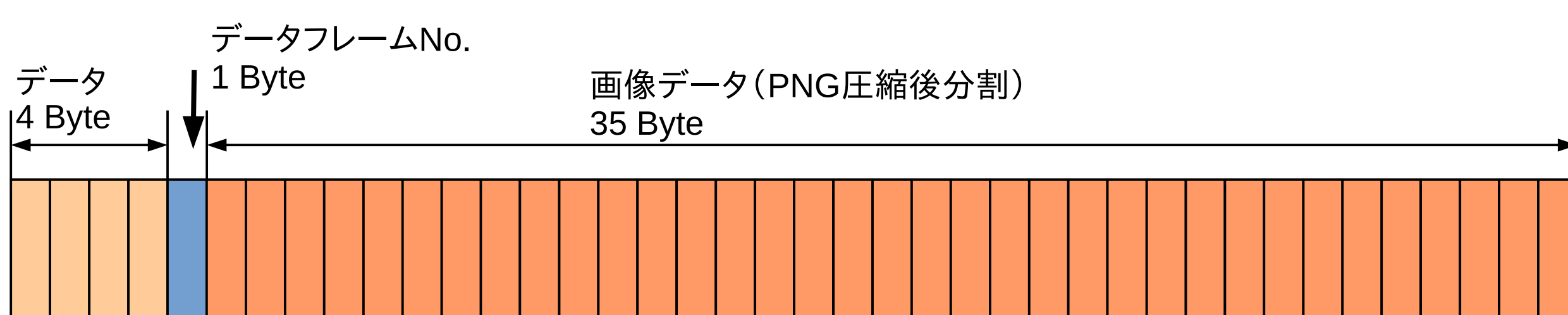


外観



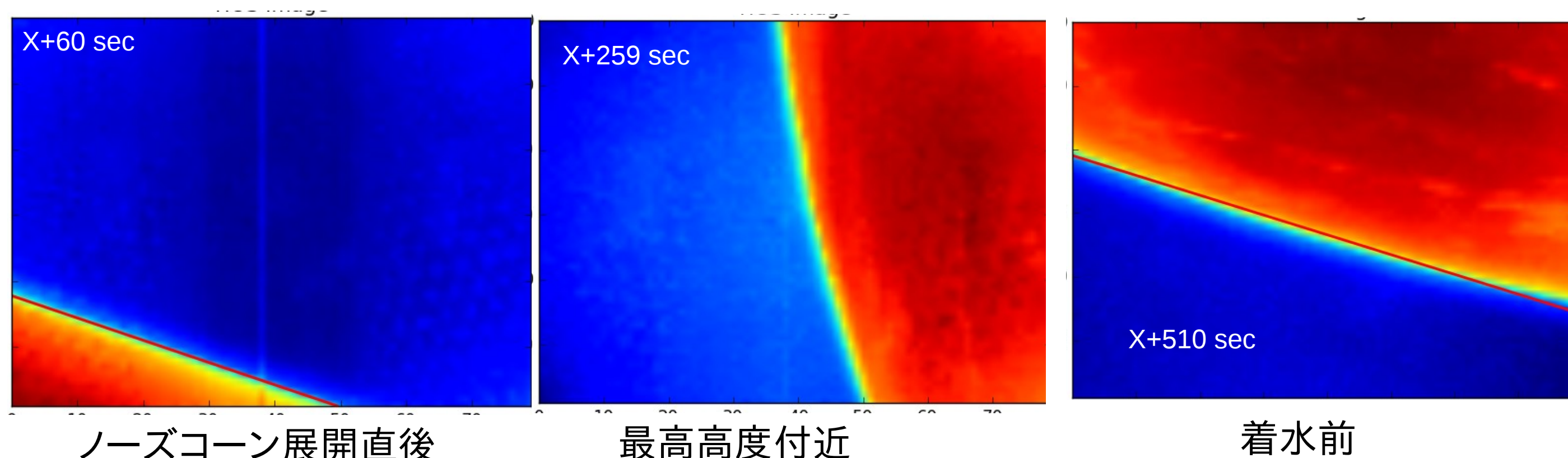
内観

- データ送信のみでコマンドは無し
- 40 byte x 20Hz
  - 水平線、温度データ: 4 byte、データフレーム番号: 1 byte、画像データ: 35 byte



## 撮像結果

ノーズコーン展開直後から良好に撮像ができた。  
赤い部分が温度の高い領域(=地球)、青い部分が温度の低い領域(=宇宙)

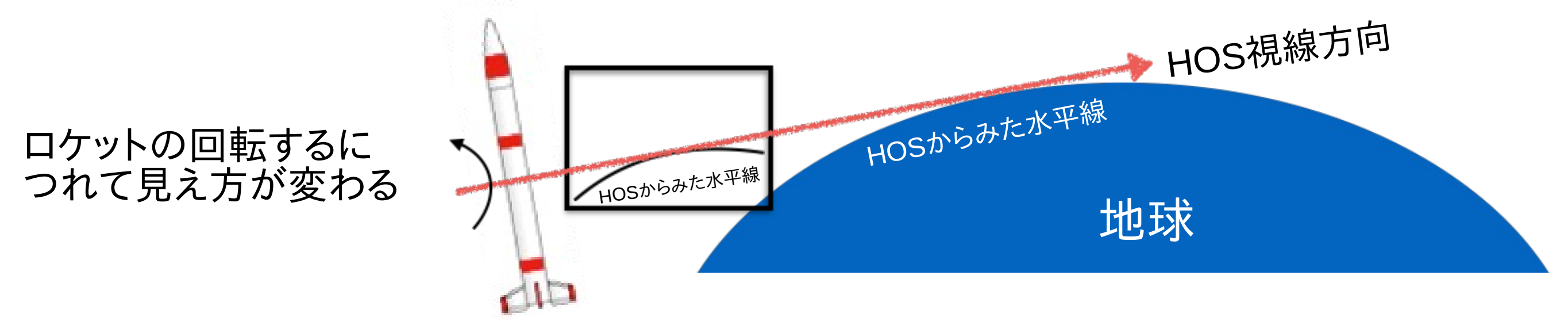
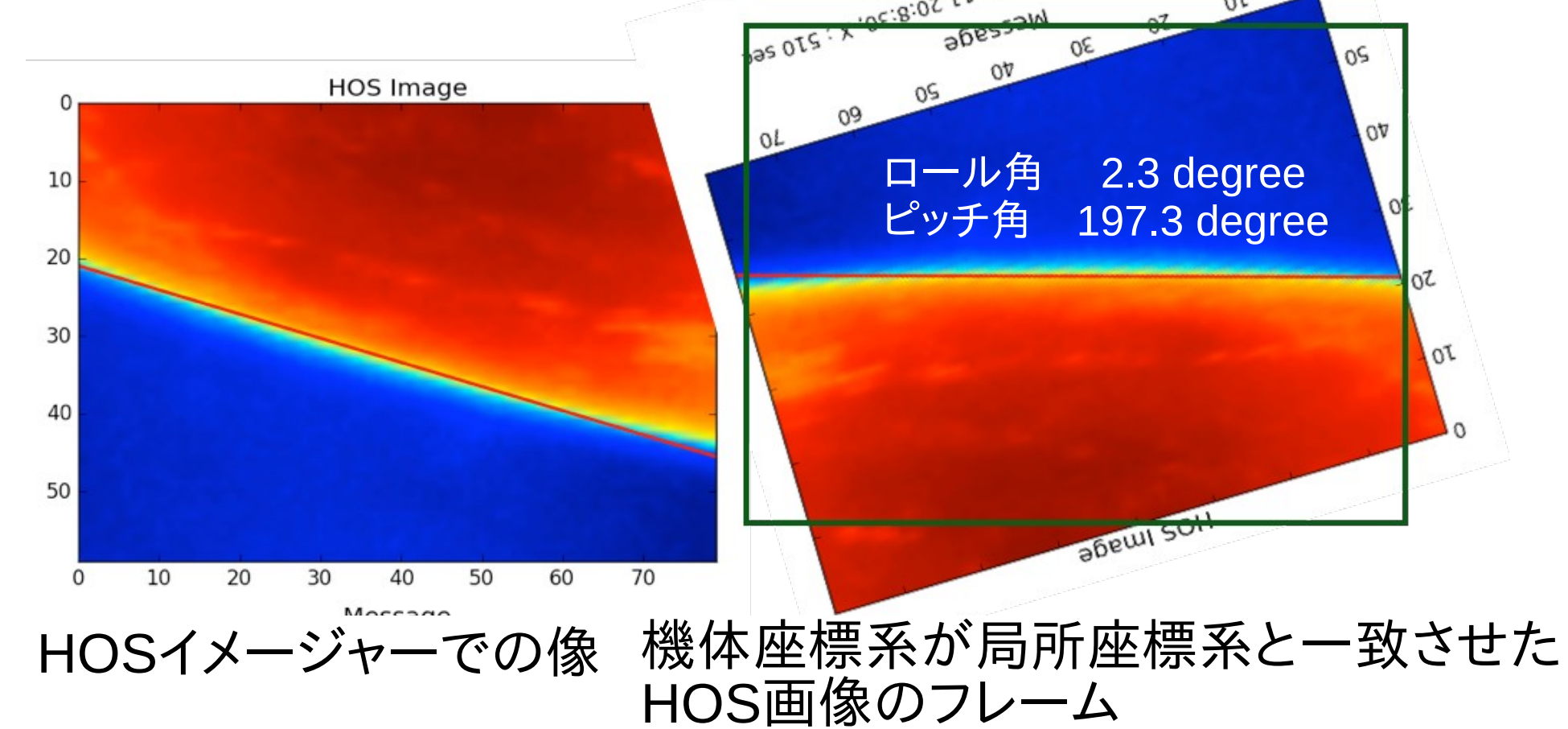


ノーズコーン展開直後

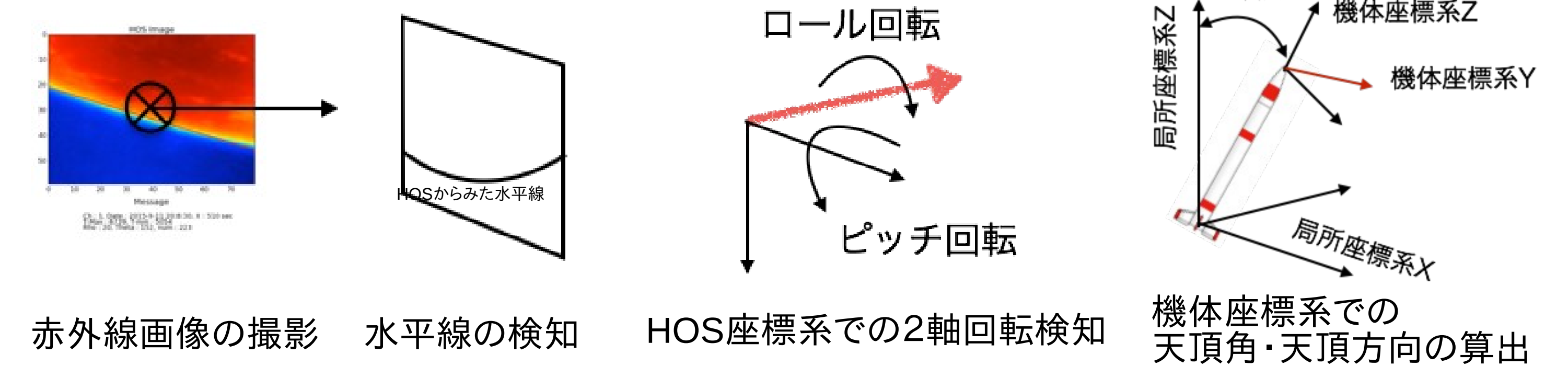
最高高度付近

着水前

## 水平線センサの視野



## 姿勢決定原理

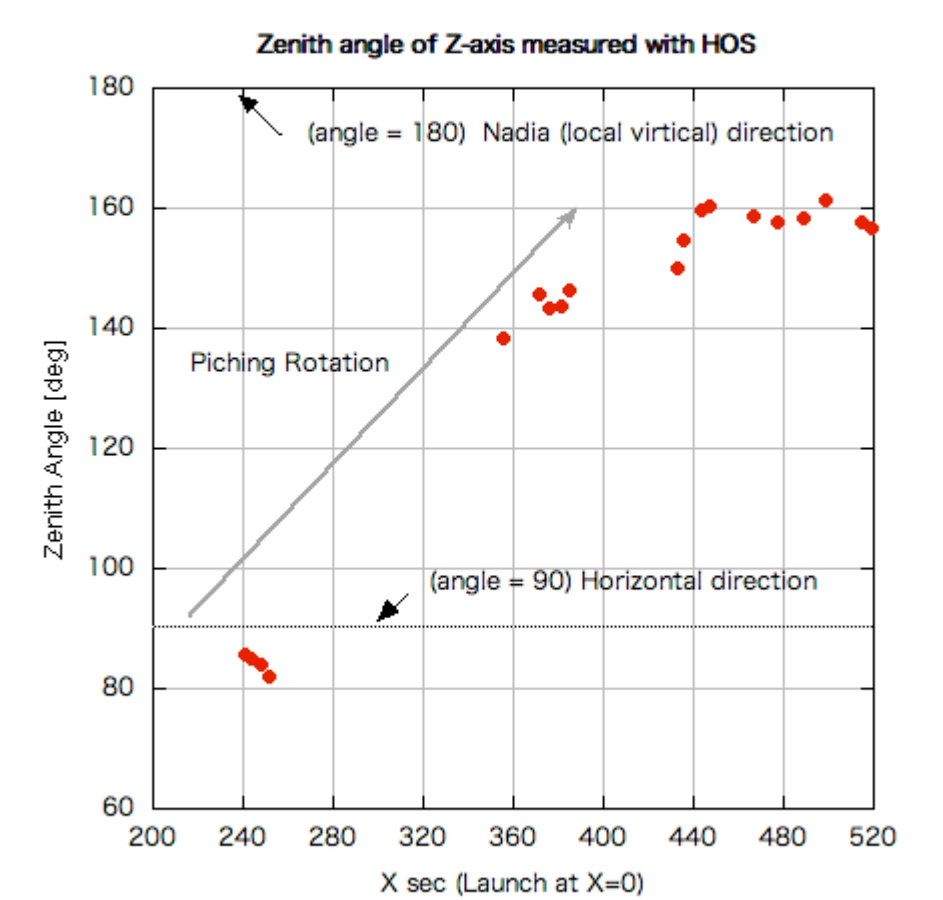


HOSイメージから機体のロール・ピッチ回転を推定する。その角度をもとに、局所座標系の+Zの方向(天頂方向)を機体座標系で計算し、それを観測値とする。  
+Z方向は局所座標系での成分(理論値)は(0, 0, 1)である。  
以上から、局所座標系(理論値)、機体座標系(観測値)が求まったことになる。もう1組のベクトル(例えばGAにより地磁場方向ベクトル)が求まれば、原理的には姿勢決定が可能。

## 姿勢決定結果

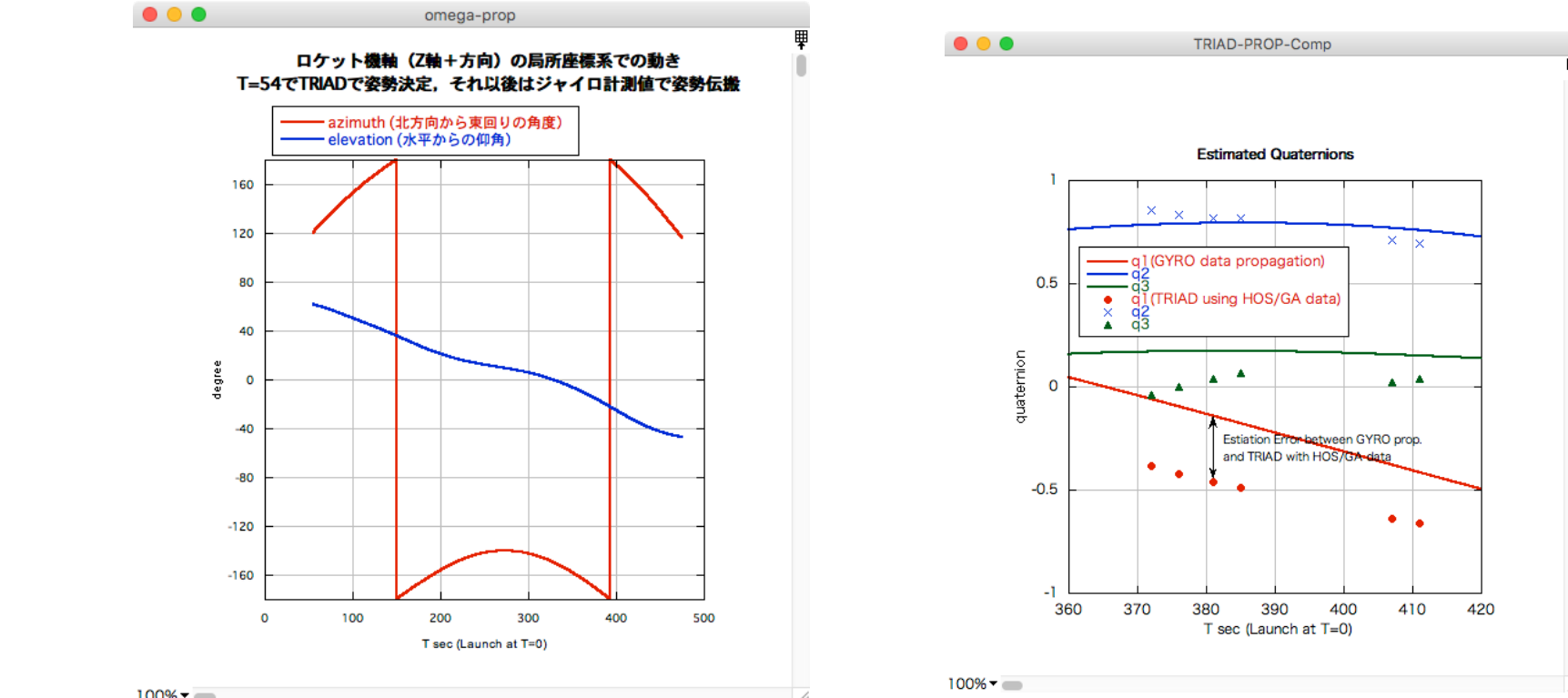
HOSから推定した天頂角を確認すると、ロケット機頭は下向きへと変化していることを確認できる

時刻	ロール	ピッチ	Z_x	Z_y	Z_z	天頂角
20:08:09	-7.3	185.3	0.09162	0.12706	-0.98765	171
20:08:30	2.3	197.3	0.29714	-0.04013	-0.95399	162
20:08:44	23.6	172.6	-0.11802	-0.40035	-0.90873	155



HOSと独立に、GAとジャイロから姿勢決定は実施している(姿勢伝搬計算)。ジャイロはバイアス誤差をそのまま蓄積するので、数百秒姿勢伝搬すると数十度ズレる可能性がある。

HOSとGAのデータをつかって姿勢決定した結果を比較したが、数十度ずれている。姿勢伝搬後5分以上経過しているので、ジャイロのバイアス誤差を蓄積しているようである。GAによる地磁場の計測値もGAバイアスの影響を受けている。



## まとめ

廉価な長波長赤外線カメラを用いて観測ロケット用小型水平線センサを開発した。開発した水平線センサをS-520-30号機に搭載し実証試験を行い、地球と宇宙の境界線の撮像に成功し、水平線の検出にも成功した。現状のコンフィグレーションでもHOSとして機能している。ただし、測定精度が不十分であり、  
・HOS画像のキャリブレーション(歪み)  
・搭載系での水平線検知の高度化を確実に実施することが前提条件である。  
超低コストHOSとしての目標精度は1degreeと設定するが、これは併用するセンサの精度との兼ね合いによってその意味合いが変わってくる。