

# 深層学習を用いた革新的地球センサ・スタートラッカ 「DLAS」の開発

菊谷侑平, 佐々木謙一, 林雄希, 小澤俊貴, 新谷勇介, 小泉翔, 増田雄斗, 岩崎陽平, 竹内優一郎, 古谷航志, 渡邊奎, 間宮英生, 谷津陽一, 松永三郎(東工大)

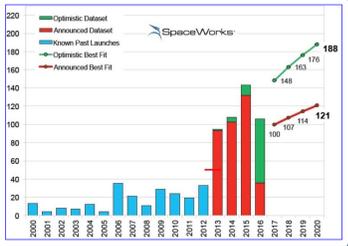
## 要旨

革新的衛星技術実証1号機に搭載される「DLAS (Deep Learning Attitude Sensor)」は、一般に入手可能なIoT機器とDeep LearningなどのAI技術を応用した超小型衛星のための姿勢センサ実証機であり、2018年度にイプシロンロケットで打ち上げられる。DLASには広視野のカラーカメラと高感度のモノクロカメラが搭載されており、高性能なオンボードコンピュータを駆使して、地上の陸地パターンや恒星を画像認識によってリアルタイムで識別する。現在、フライトモデルの実機開発をほぼ完了し、ソフトウェアの最終統合を行っている。本発表では、プロジェクトの概要と開発状況について紹介する。

## プロジェクト概要

### 背景

- 小型衛星のミッション高度化  
⇒高精度姿勢決定が重要
- 依然として宇宙用機器は高価
- データ増大, 地上局は有限  
⇒通信リソースの律速



→超小型衛星の打ち上げ頻度

### ミッション

- 安価・高性能な姿勢センサの実証
- 民生品を利用
- 放射線や迷光等を, ソフト的に対策
- 軌道上・リアルタイム画像識別の実証
- 深層学習を用いた自律画像識別
- 地球センサと画像識別による姿勢決定の実証
- 小型, 広視野な可視光カメラを用いた3軸姿勢決定

### 成功基準

項目	基準
Minimum HW 健全性の確認・基本動作確認	-結像性能・温度制御等H/Wの動作状況を確認 -実装した全機能が動作することを確認 -画像データの取得・転送
Full 機能実証	-軌道上姿勢決定実験の実施 -姿勢決定制度・成功・失敗率の評価 -教師画像データ取得(目標500枚) -性能目標 ・ ECAM: 陸地/雲/海の識別(識別成功率 70%) ・ STT: 恒星の検知(7等級の検知成功率70%) ・ 寿命: ~1年
Extra 長期運用・信頼性評価・精度向上	-教師画像データ取得(1000枚以上) -センサ劣化・OBCの放射線障害の評価 -連続した安定動作の実証(軌道上1年) -性能目標 ・ ECAM,STT: 設定した目標精度の達成 ・ 寿命: 1年以上

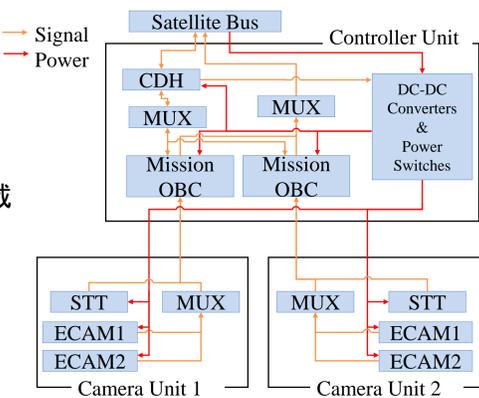
### 目的

- 民生品と画像識別技術を利用した姿勢センサ開発  
⇒安価・高性能な姿勢センサの実現
- 軌道上で自律画像識別  
⇒通信リソースの有効活用

## 装置概要

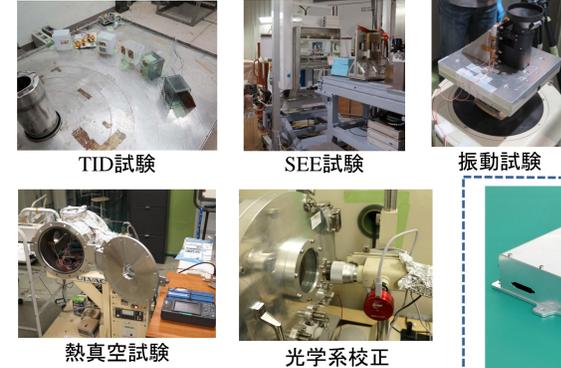
### システム構成

- コントローラユニット×1
  - 衛星バスとの通信は2系統
    - コマンド用(低速)
    - データ用(高速)
  - 衛星バスから電力供給
  - 高性能ミッションコンピュータ搭載
- カメラユニット×2
  - 独立した2系統⇒冗長系
  - 各ユニットに2種類のセンサ
    - 高感度・狭視野なSTT ×1
    - 広視野なECAM ×2



### ハードウェア開発状況

#### 環境試験



#### PFM / FM 開発



## ECAM

### 深層学習を用いて海岸線を検知し、3軸姿勢を決定

#### 姿勢決定シーケンス

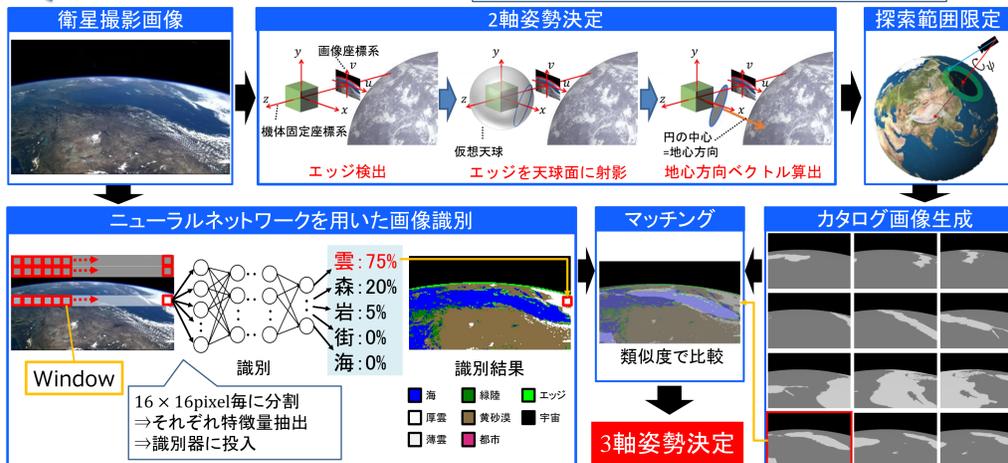
- 画像取得
- 2軸姿勢決定
- 探索範囲限定
- カタログ画像生成
- 画像識別
- ④と⑤のマッチング
- 3軸姿勢計算

#### 2軸姿勢決定シーケンス

- 輝度値を用いた微分フィルタによる地球エッジ検出
- 仮想天球面へ地球エッジを射影
- 地心方向ベクトル算出

#### 画像識別シーケンス

- Windowサイズ毎に切り出し
- 特徴量抽出
- ニューラルネットワークを用いた画像識別



### ソフトウェア開発状況

#### 深層学習を応用した画像識別開発状況

- オンボードで動作確認
- テスト誤差0.2%程度
- 識別時間 5.0s
- パラメータ数 20kB以下  
⇒1パスで送信可能

#### 今後の課題

- 識別精度の向上⇒ネットワーク選定

#### 地表画像を利用した3軸姿勢決定開発状況

- オンボードで動作確認
- 2軸姿勢決定(シミュレーション結果)
  - 視野の94%の範囲で誤差 ≤ 0.3°, 実行時間 ≤ 3s
- 3軸姿勢決定(シミュレーション結果)
  - 姿勢決定精度 ≤ 1, 実行時間 ≤ 15s

#### 今後の課題

- 粗密探索法を用いた実行時間短縮
- 陸や海の割合が低い際のマッチング手法の検討
- 実際の識別結果を用いた際の姿勢決定精度評価

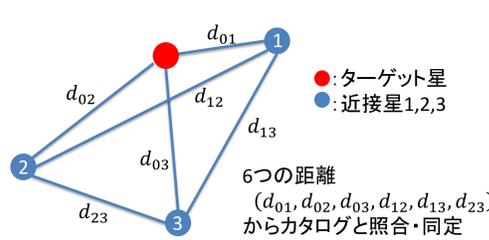
## STT

### 写った恒星を同定して、三軸姿勢を決定

#### 最終目標: 科学ミッションでの使用を想定

- 姿勢決定精度: 10秒角, 更新頻度: 1Hz

#### 4天体による星の識別の実装



#### 姿勢決定シーケンス

- 画像取得  
星を撮像
- 星像検出  
画像から星を抽出  
星の座標(重心計算), 明るさ(開口測光)
- 星の同定  
星の配置と恒星カタログを比較
- 姿勢計算  
星の座標から視野中心の方向を計算

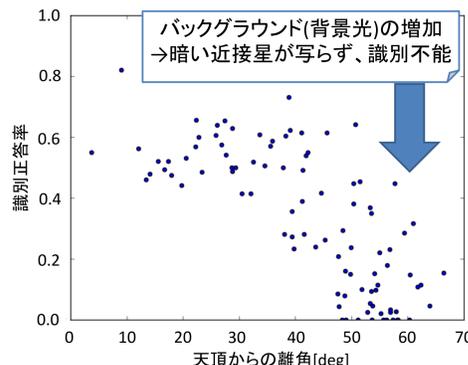
### ソフトウェア開発状況

#### 動作確認試験

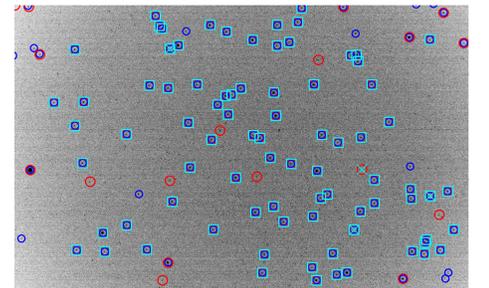
- 東工大屋上で夜空を複数回撮影
- 識別結果と計算時間を評価

#### 実行結果

- 天頂からの離角と識別正答率



#### 天頂付近での実行結果



識別正答率: 80%

- : カタログにある星
- : 抽出された星
- : 同定された星
- ✕: 同定に失敗した星

#### 考察

- 背景光によるバックグラウンドの変動  
⇒現状では最悪恒星識別不能  
⇒宇宙線によるセンサの劣化を模擬

#### 今後の課題

- 天頂からの離角と星の抽出数で解析  
⇒イレギュラーに強い識別手法へ

- 計算時間: 0.6秒以内@オンボード