

# SLIM画像航法の開発進捗報告 ～アルゴリズムとそのハードウェア実装～



石田貴行<sup>1)</sup>, 福田盛介<sup>1)</sup>, 鎌田弘之<sup>2)</sup>, 高玉圭樹<sup>3)</sup>, 狩谷和季<sup>4)</sup>, 野村出<sup>2)</sup>, 滝野達也<sup>2)</sup>, 森部美沙子<sup>2)</sup>, 白居浩太郎<sup>3)</sup>, 石井晴之<sup>3)</sup>, 坂井真一郎<sup>1)</sup>, 澤井秀次郎<sup>1)</sup>, SLIM WG

1) JAXA, 2) 明治大学, 3) 電気通信大学, 4) 総合研究大学院大学

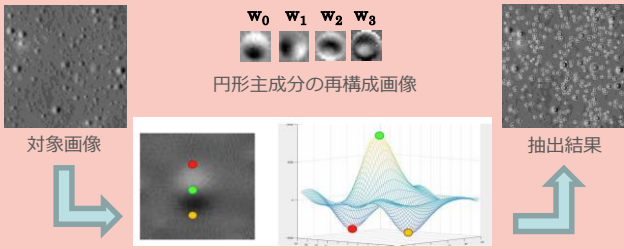
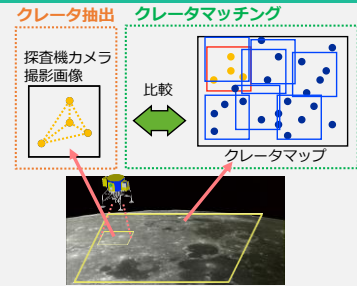


## 降りたいところに降りる。

高精度着陸は、将来の太陽系科学探査において必須とされている。なぜならば、対象となる天体についての知見が増え、探査すべき内容がより具体的になっているからである。しかし、「降りたいところに降りる」ためには、探査機は自分がどこにいるのかを正確に知る必要がある。そのためには、これまでより高度な航法技術が必要となる。

## 降りたいところに降りるために。

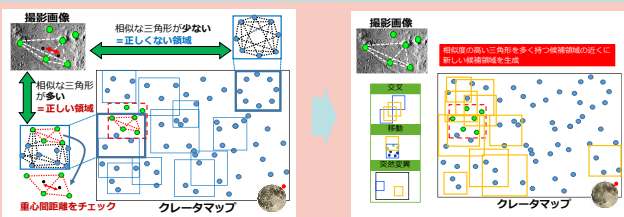
SLIMのピンポイント着陸を実現する技術が光学カメラを用いた自律的な画像航法である。探査機は定期的に月面をカメラで撮像し、その画像からクレータを認識して自身の位置を推定する。特に月では着陸までの時間が短いため、高度な自律機能が必要である。現在、「クレータ抽出処理」と「クレータマッチング処理」の研究を進めているほか、プロジェクト化を見据えた様々な研究開発を進めている。



### 主成分分析を用いたクレータ抽出

(明治大・鎌田研究室を中心に検討)

- 低演算リソース環境に適したアルゴリズム
- 理論的に画像の輝度に依存しないクレータ検出を実現
- 検出物体の形状を考慮し、円形主成分を採用。クレータ周囲の地形の影響を排除。積和演算の回数を削減。クレータ中心座標推定の精度向上
- クレータサイズ推定をクレータの明暗方向で行い、サイズ推定の精度を向上



### 進化的三角形相似マッチング(ESTM)

(電通大・高玉研究室を中心に検討)

- 抽出されたクレータが形成する三角形と、候補領域内の12個の三角形(上下左右3つずつ)の相似度を計算
- 遺伝的アルゴリズムにより、相似度の高い三角形を多く持つ候補領域の近くに新しい候補領域を生成
- 候補領域に生成する三角形の増加、辺の比による相似度の精度向上、そして、重心間距離のチェックによって、クレータの検出ずれと高度誤差に対して、ロバストな自己位置推定が可能

遺伝世代数	クレータマップ総数	乱数の種	一致度最小閾値	サイクル数	10 MHz動作時換算時間 (ms)	50 MHz動作時換算時間 (ms)
0	150	123123	$1.0 \times 10^*$	961,603	96,100	19,232
1	150	3656	$1.0 \times 10^*$	2,141,477	214,148	42,830
2	150	956842	$1.0 \times 10^*$	3,319,545	331,955	66,391
3	150	123	$6.0 \times 10^*$	4,740,958	474,096	94,819
100	150	3656	$1.0 \times 10^*$	128,358,628	12,835,863	2,567,173

ESTMの評価例

### 画像処理アルゴリズムのFPGAリソース評価

- C言語アルゴリズムをシームレスにFPGA化し、ゲート数や処理速度等のH/Wリソースを評価するスキームを確立
- 最新のSpaceWire対応FPGAボードでの開発環境の整備

### 画像航法用月面クレータマップの整備

- 画像航法においては照合のランドマークとしてクレータを活用しており、月面地図としてのクレータマップを、クレータ抽出・クレータマッチングアルゴリズムの特性に沿うよう整備
- クレータマップの元として、「かぐや」の地形カメラによる数値地形データを用いたCG画像を利用
- CG画像と月面で実際得られる画像との同質性を保ちつつクレータマップを作成することで、画像照合の精度が確保される

CG画像の例 (MHH縦孔周辺)



### 画像航法用搭載カメラの検討・試作

- 露光・データ出力が高速で、画像の質に悪影響を与えづらいカメラを検討・試作
- STT用耐放射線CMOSセンサとFPGA基盤を用いたカメラモジュールを評価中
- 高帯域を要する画像のデータ伝送にはSpaceWireの採用を検討

本研究は、専門的な個別技術を有する民間企業と共同で進めている。