

P-080:ピンポイント月着陸のための画像航法および自律誘導制御

Vision based navigation and

autonomous guidance and control for pinpoint lunar landing

植田 聡史、伊藤 琢博、坂井 真一郎、石田 貴行、福田 盛介(宇宙航空研究開発機構)

上野 誠也、樋口 文浩(横浜国立大学)、鎌田 弘之(明治大学)

高玉 圭樹(電気通信大学)、小島 広久(首都大学東京)、狩谷 和季(総合研究大学院大学)

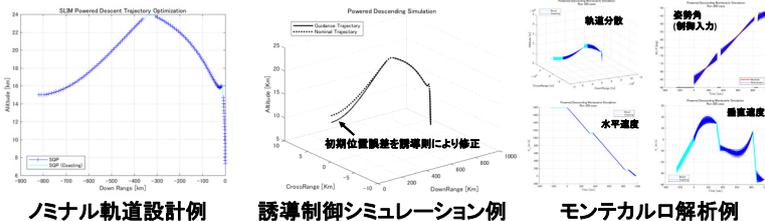
今後の月探査では、月面上のより科学的関心が高い特定の地点にピンポイントで着陸することが求められる。ピンポイント着陸の実現には、軌道決定精度の限界、月面地図が内包する誤差、地上系を介した誘導が難しい短時間での着陸飛行運用が要求される、等の課題があり、従来技術からの革新が必要である。小型月着陸実証機SLIM計画では、「画像照合航法技術:自律的な画像ベースの高精度航法技術」と「自律誘導制御技術:最適着陸軌道を自律的に算出し、追従する誘導制御技術」を組み合わせ、高精度月面着陸技術を実証する。

■ SLIM動力降下軌道設計技術と誘導則の研究

・ノミナル軌道設計:「複合領域システム最適化技術」(Multidisciplinary System Design Optimization:MSDO)を適用した月着陸軌道と探査機システム/パラメータの同時最適設計

・自律オンボード誘導則:軽負荷な「多項式誘導則」により、誘導開始時の位置・速度の誤差に対応し、誘導経路終端で目標位置速度を達成

・設計、検証環境:ノミナル軌道設計、誘導制御シミュレーション、モンテカルロ解析による誘導則のロバスト性検証を一貫して実施する環境を構築

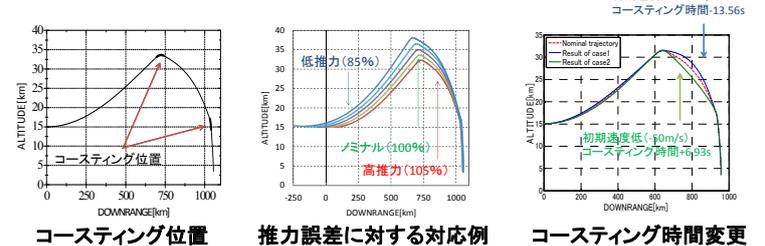


■ SLIM動力降下誘導則のロバスト性向上の研究

・誘導則のロバスト性向上:航法誤差・システム誤差などに伴う降下軌道時における誘導則のロバスト性の向上を目指す

・推力誤差対応:推力誤差を検出した際の動力降下開始位置を変更することによる軌道再設計と誘導則の構築

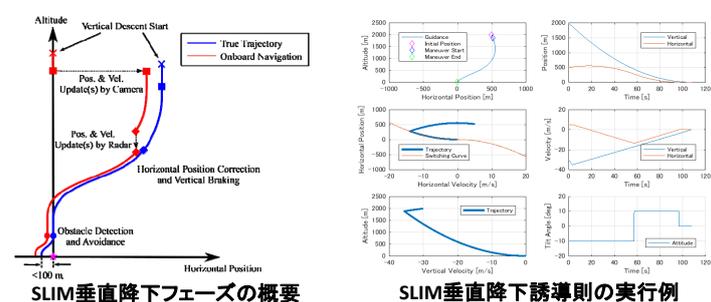
・コースティング時間調整:誘導における限界に達した際、コースティング時間を短く・長くすることによりさらに高い誘導性能を実現



■ SLIM垂直降下(着陸終盤)誘導則の研究

・SLIM垂直降下フェーズの特徴:レーダ、カメラによる航法値の更新が頻繁 → 瞬時に何度も軌道を生成する機能を備えた誘導則を開発

1. 消費燃料を最小化すること(着陸機ペイロード重量の最大化)
2. 水平移動時間を最小化すること(高精度着陸、安全な軟着陸への貢献)

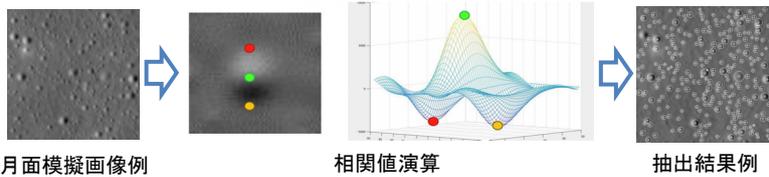


■ クレータを特徴点とした画像照合航法の研究

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)

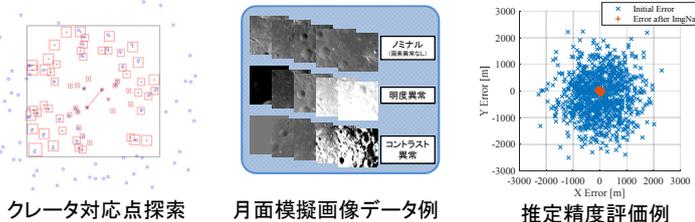
- ・多数のクレータ画像の主成分分析によって推定された第一主成分を利用した相関値計算からクレータを検出
- ・宇宙用FPGAのような低演算リソース環境下で高速処理が可能
- ・画像の平均輝度に依存せず、かつコントラストに依存しない相関値処理を加えることで、未学習画像に対する汎化性能を獲得
- ・1つの主成分画像からある範囲の様々なサイズのクレータの検出が可能
- ・クレータエッジの検出を利用した誤検出の抑制・サイズ検出が可能



クレータ同士の位置関係を用いたマッチング

(JAXA/電通大・高玉研究室を中心に検討)

- ・クレータ同士で構成される線分・三角形といった位置関係を用いて、クレータマップ抽出クレータ間の対応点を探索、撮像位置を推定
- ・輝度変化やコントラスト変化、放射線ノイズなどによって起きうるクレータの未検出・誤検出・位置ずれに対しロバストな位置推定を実現
- ・設計軌道における模擬月面画像を生成し、モンテカルロ解析による画像照合航法の推定精度・処理時間・地形依存性などの検証を行う環境を構築



■ 月面着陸時における障害物検知の研究

(首都大・小島研究室を中心に検討)

- ・着陸に不適な急斜面・ボルダ・クレータを画像中の局所領域における輝度値の分布から検出
- ・着陸機の誘導誤差を考慮した上で、障害物・急傾斜に降りる危険性が最も低い領域を決定

