

1K16 超低高度技術のライダーミッションへの応用

○佐藤洋平，知識柔一，中島正勝，山川史郎，高畑博樹（宇宙航空研究開発機構）

Application of super-low-altitude technology for LiDAR missions

Yohei Satoh, Yoshikazu Chishiki, Masakatsu Nakajima, Shiro Yamakawa and Hiroki Kohata(JAXA)

Key Words: Super-low-altitude, SLATS, LiDAR

Abstract

Super low altitude satellites are satellites orbiting at an altitude less than 250km. They are using ion engines to compensate aerodynamic drag at the altitude. To demonstrate the feasibility and the system concept, Super-Low-Altitude-Test-Satellite named as SLATS has been developed by JAXA. In addition, JAXA has been studying several missions for future actual uses of the orbit. It has been elucidated that the orbit of the super low altitude is suitable for LIDAR(Laser intensity direction and ranging) using missions. This paper shows the results of study for the LIDAR using missions at the super low altitude.

1. 背景

超低高度衛星とは、イオンエンジン等を用いて上層大気による空気抵抗を相殺することにより、高度 250km 以下の超低高度を継続的に飛行する人工衛星である。宇宙航空研究開発機構では、超低高度衛星技術試験機（SLATS）の開発を進めている。SLATS は、超低高度衛星の技術的実現性およびシステムコンセプトを早期に実証することを目的とした小型衛星である。

また、これと平行して、超低高度衛星の実用ミッションについても検討を進めている。本発表では、その 1 つであるライダーミッションへの適用例について報告する。

2. ライダーミッションの超低高度への適合性

各種地球観測ミッションの、軌道高度の低下に対する影響を表-1 に纏める。多くのミッションにおい

て超低高度化は、観測幅の縮小というデメリットを伴う。しかし、もともと点で観測するライダーミッションは、この影響を受けることなくメリットのみを享受することが出来る。また、送信出力を低減可能という特徴は、光アンテナの小口径化・SNR 向上などの特徴に置き換えることも可能である。特に小口径化は、衛星構体の小型化に繋がるため、空力抵抗が問題となる超低高度衛星に適用しやすい。また、口径が小さくなればスキャニング機構付加などの応用も考えられ、実現すれば逆に観測幅を広げることも考えられる。

以上より、ライダーミッションは超低高度衛星に最適なミッションの 1 つといえる。

3. ライダーミッションの種類とスケーリング検討

表-2 に、主なライダーミッションを纏める。このうち、エアロゾル観測や CO₂ 観測・氷床観測については、GOSAT 等で既に観測体制が実現されるか、も

表-1 各種ミッションに対する衛星の超低高度化への影響

分類	ミッション名	分解能	観測幅 (域)	送信出力
RF	パッシブ	リムサウンダ	向上	変化なし
		マイクロ波放射計	高度に比例して向上	高度に比例して縮小
	アクティブ	SAR	変化なし	高度に比例して縮小
		降雨レーダ	高度に比例して向上	高度に比例して縮小
光	パッシブ	高度に比例して向上	高度に比例して縮小	
	アクティブ	ライダー	変化なし	高度の 2 乗に比例して低下

(太字：メリット、斜体：デメリット)

表-2 ライダーの種類と応用先

No.	ライダーの種類	概略	応用先
①	ミー散乱ライダー	大気中のエアロゾルによりミー散乱される後方散乱光から、エアロゾル量を計測する。	エアロゾル観測
②	レーザ高度計	地上構造物からの反射光信号を時間分解し、高度・距離を計測する。	地形・氷床・植生等の観測
③	差分吸収ライダー (DIAL)	注目する大気成分の吸収帯と非吸収帯に該当する波長の光を送信し、地上から帰ってくる2信号の強度比から、当該成分量を計測する。	CO ₂ 等の大気成分観測
④	ドップラーライダー	大気成分からの後方散乱光のドップラーシフトを観測し、視野方向にある大気の風速を算出する。	風向・風速観測

しくはその目前に迫っている。一方、植生観測や風速観測については、計画段階のものが存在している (iLOVE/ISS、ADM/ALADIN)のみである。このため、この2ミッションについて、軌道高度を下げた場合の効果について、スケーリング検討を行った。

3.1 植生ライダーの超低高度化

宇宙航空研究開発機構では、きぼう暴露部搭載植生ライダー (iLOVE)の実現に向けた検討活動を行っている。現状の検討状況における緒元は、下記のとおりである。

○光源

- 波長: 1064nm
- 繰り返し周波数: 100Hz
- パルスエネルギー: 150mJ
- 光出力: 15W

- 光アンテナ径: φ70cm
- 軌道: 400km
- 樹冠観測精度: <1m
- 受光素子数: 4素子

最大の特徴は、受光素子を多素子化し、水平方向の分解能を有している点である。しかし、受信信号 SNR の点から、素子数を4(2x2)素子以上に増やすことが難しい状況である。一方で、サイエンスチームからは、素子数を増やせば、より有用なミッションとなることが示唆されている。

そこで、超低高度化することで、素子数をどこまで増やせるか、検討を行った。軌道高度をISSの400kmから半分の200kmに落とすと仮定すると、受信信号強度が4倍となる。この条件で、素子数の条件毎にSNRを見積もった。その結果を表-3に纏める。

当該システムにおいてSNRは10以上が必要と仮定すると、400km条件では2x2素子しか実現できない。しかし、200km条件では4x4

～5x5素子条件においても実現の可能性が示唆された。

以上より、超低高度化は植生ライダーミッションにとって有用ということが出来る。

表-3 SNR 見積もり (暫定値)

素子数	軌道高度: 400km	軌道高度: 200km
5x5	5.2	11
4x4	6.6	14
3x3	8.9	18
2x2	14	27

(斜体: システム実現難)

3.2 ドップラーライダーの低高度化

本検討においては、欧州宇宙機構(ESA)において検討が進められている ADM-Aeolus /ALADIN を基にスケーリングを実施する。当該ミッションの緒元は、下記のとおりである。

○光源

- 波長: 355nm
- ✧ Nd:YAGの3倍波
- 繰り返し周波数: 100Hz
- パルスエネルギー: 150mJ
- 光出力: 15W

- 光アンテナ径: φ1.5m
- 軌道: 400km
- 水平風の鉛直分解能(Δz)および精度(ΔW)
 - Z=0～2km: Δz=0.5km, ΔW=1 m/s
 - Z=2～16km: Δz=1 km, ΔW=2 m/s
 - Z=16～26km: Δz=2 km, ΔW=3 m/s

当該ミッションにおいては、直径1.5mもの光アンテナの実現が最も困難な点と考えられる。しかし、当該ミッションを200kmまで超低高度化すると、この光アンテナをφ75cmまで小口径

化可能となる。これにより、当該ミッションの実用性を大幅に向上できる。

4. まとめ

超低高度衛星の技術は、ライダーミッションと非常に相性が良いことを再確認した。

中でも、高度計による植生観測とドップラーライダーによる風速観測は、既存プログラムの困難を大幅に改善し、その実現性を向上できる。

今後は、この2ミッションについてより詳細なミッション検討を実施していく。また同時に、気象ユーザなど潜在的ユーザ候補と情報交換を実施し、有望な提案パッケージを作成していく予定である。

参考文献

- 1) 超低高度衛星技術試験機(SLATS)の開発, 此上一也, 五十嵐 伸明, 今村 俊介, 山川 史郎, 高畑 博樹, 電子情報通信学会技術研究報告. SANE, 宇宙・航行エレクトロニクス 111(90), 1-5, 2011-06-16
- 2) 衛星搭載用レーザセンサシステムに向けた研究, 第30回レーザセンシングシンポジウム, PA-1, 境澤 大亮, 室岡純平, 鈴木桂子, 今井正, 佐藤亮太, 小林高士, 山川史郎
- 3) ADM-Aeolus satellite, http://www.esa.int/esaLP/ESA_FN52VMOC_LPadmaeolus_0.html