

1G09 超低高度衛星技術試験機 (SLATS) の研究開発状況

○高畑博樹, 此上一也, 佐藤洋平, 今村俊介, 川崎春夫 (宇宙航空研究開発機構)

Research and Development Status of Super Low Altitude Test Satellite (SLATS)

Hiroki Kohata, Kazuya Konoue, Yohei Satoh, Shunsuke Imamura and Haruo Kawasaki (JAXA)

Key Words: Super low altitude satellite, SLATS

Abstract

JAXA proposed the brand-new concept of low earth orbit (LEO) satellites, the super low altitude satellite. A high resolution optical observation and a reduction in emission power of active sensors such as radar are expected in an earth observation from the super low altitude orbit. In order to demonstrate this concept, the Super Low Altitude Test Satellite "SLATS" is under research and development by JAXA. The SLATS is planned to operate in the orbits at lower than 250 km of altitude where air drag is not negligible and to verify the concept of the super low altitude satellite in advance. This paper describes the research and development status of the SLATS in 2013.

1. 目的および背景

JAXA では、「これまでに運用されていない低い高度で定常的に運用可能な衛星システム」として、従来実現できなかった超低高度 (180 km～250 km) を継続的に飛行する超低高度衛星の研究を 2007 年から進めている。超低高度衛星は、従来の周回衛星と比較して地表面との距離が短くなるため、災害監視、地球環境観測、サイエンスなどの新たなニーズを実現する可能性を秘めた衛星計画である。

超低高度衛星技術試験機 SLATS (Super Low Altitude Test Satellite) は、超低高度衛星の実用機の開発に向けて、軌道上でしか実施できないミッションを実施する。超低高度では、ごく微量に存在する大気による抵抗を補償する必要があり、また、衛星表面の材料を劣化させる原子状酸素が多く存在するための対策などの技術課題がある。これらの課題解決に向けて、SLATS で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実証し、実用機設計に向けて超低高度軌道環境を実測することを目的としている。2013 年は、これまで設定していた研究開発計画を着実に実施するとともに、より実用機への展開を意識し、新たに小型高分解能光学センサの追加搭載について検討を進めた。本発表では、2013 年現在の SLATS の開発状況、実用機への展開について報告する。

2. 超低高度衛星

2.1. 超低高度衛星の概要

超低高度軌道は図 1 に示すように高度 200 km～300 km 程度の衛星軌道であり、世界的に見ても、唯一欧州宇宙機関(ESA)の重力場観測衛星 GOCE(2009 年打上げ) が運用されているのみである。

この超低高度軌道で運用するリモートセンシング衛星の利点としては、従来の高度 (高度 600 km～800 km 程度) のリモートセンシング衛星と比較して、

- 光学センサによる高分解能観測
- アクティブセンサ送信電力の大幅な低減
- 衛星・センサの小型・軽量化による大幅なコスト低減
- 定点観測と高分解能観測の両対応

などが挙げられる。世界に先駆けて超低高度軌道で運用する技術を確立することで、新たな軌道からのミッションを日本が世界をリードすることとなり、静止軌道 (GEO)、低高度周回軌道 (LEO) に次ぐ新たな衛星軌道を開拓することとなる。

2.2. 超低高度衛星の特徴

軌道高度と観測センサ性能の関係は、

- ① 光学・熱赤外観測における地上分解能：
=> 分解能 \propto 高度
- ② SAR 観測におけるレーダ送信電力：
=> 送信電力 \propto 高度の 3 乗
- ③ LIDAR 観測におけるレーザ送信電力：
=> 送信電力 \propto 高度の 2 乗

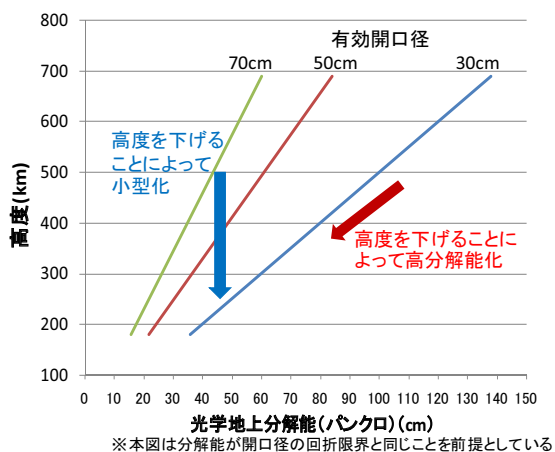


図 1 光学地上分解能と高度の関係

であり、高度を下げることで図 1に示すように光学センサの分解能向上が実現でき、アクティブセンサ（SAR, LIDAR 等）では送信電力が低減できる、また、図 1の通り従来程度の性能要求であれば、センサを小型化することが可能となる。

2.3. フレキシブルな軌道変更

超低高度の飛行を実現するためには、従来高度の衛星では無視できていた大気抵抗を補償するだけの推力を、常に衛星が発生する必要がある、イオンエンジン等の推力発生装置が必須となる。その機能を積極的に活用し、軌道保持・変換機能を持つことで迅速に軌道変換を行い、状況に応じて運用軌道を切り替えることも可能となる。例えば通常時は準回帰軌道でのグローバルな観測を行い、災害発生時等に完全回帰軌道（高度 268 km）に移行（軌道変換）すれば、毎日同一時刻に定点観測（同一視線方向観測）が可能となり、特定の地域の被害状況の把握等に効果を発揮することが期待できる（図 2参照）。

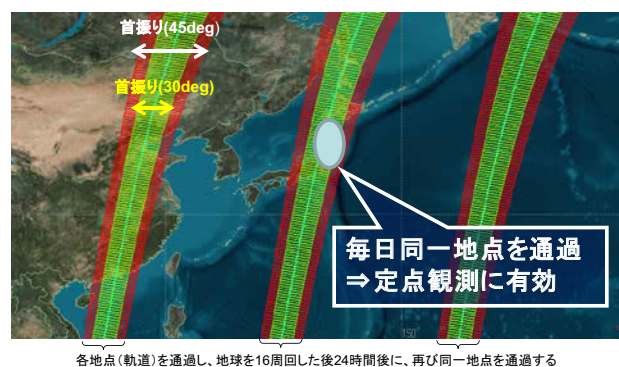


図 2 完全回帰軌道（高度 268 kmの場合）

3. 超低高度衛星実用機への展開

SLATS は軌道上技術実証を目的とした技術実証衛星である。SLATS の開発・実証意義を明確にするために、SLATS の研究開発と並行して、実用機についても検討を行った。実用機検討については、超低高度軌道の利点である地表面距離の短さと、イオンエンジンと大気抵抗を利用した軌道変換機能を活かした超低高度衛星によるリモートセンシング衛星を中心に実施した。

3.1. 超低高度光学観測衛星

高分解能光学観測を実現する場合、従来の軌道高度のままであれば光学系の規模を拡大する必要があり、そのために、衛星規模が拡大するとともに、大幅なコスト増加も想定される。2.2項で述べたように、光学観測の場合、衛星の軌道高度を低下させれば、高度に比例して地表分解能(GSD)は向上する。そこで、以下のコンセプトのもと、高分解能光学観測衛星システムを検討した。

- ① 海外高分解能商用衛星を凌ぐ高分解能の実現
- ② 従来ハードウェアをベースとした低コスト化
- ③ 自在な軌道変換・制御技術の活用（定点観測および全球観測の併用）

超低高度光学観測衛星の外観例を図 3に示す。

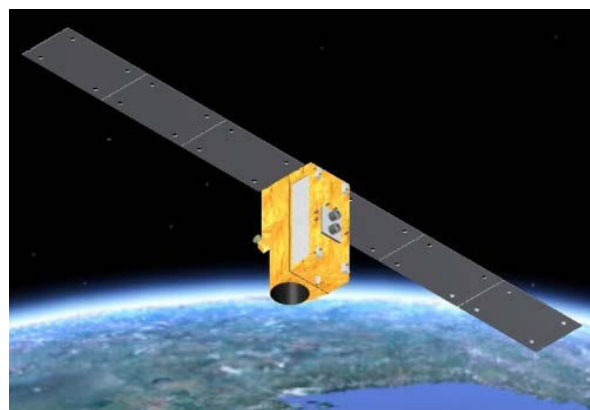


図 3 超低高度光学観測衛星外観例

有効開口径 60 cm 程度の光学センサを高度 220 km で運用すると、GSD のみで比較すれば、WorldView-2 等の海外高分解能商用観測衛星を凌駕する分解能の実現が可能である。また、光学観測衛星を開発する場合、最も開発コスト、期間を要する光学センサを既存技術ベースで開発し、衛星規模を比較的小型に抑えることで、打上げ機会（ロケット）の選択肢が広がり、全体コストの低減を図ることができる。

さらに、イオンエンジンによる高度保持技術を積極的に活用することにより、たとえば、「高度 268 km の完全回帰軌道での毎日同一時刻の定点観測と高度 220 km での緊急観測を要求により切り替える」といったミッションが実現できる。軌道変更は、衛星自体の姿勢変更による大気抵抗制御と衛星搭載推進系を組み合わせる。

3.2. 超低高度高分解能 Ku バンド SAR 観測衛星

SAR 観測衛星では、衛星軌道高度を低下させることで送信電力の低下が見込まれるが、高周波数化および広帯域化により、更なる分解能の向上が図れる。そこで、従来の SAR 観測で広く使用されている L/C/X バンドに次ぐ新たな周波数帯として、より広帯域が使用可能な Ku バンドでの SAR 観測衛星を検討した。Ku バンドを使用するメリットとしては、広帯域幅により高分解能観測が可能となるとともに、ハードウェア（送信アンテナ）の小型化が図れる。

超低高度 SAR 観測衛星の外観例を図 4 に示す。

SAR 画像の信号品質は RF 送信電力に依存するが、通常の低軌道高度と比較して高度が低くなるため、必要電力の低減が見込まれ、ハードウェア実現性は高まる。

SAR 観測の最大の特徴として、リピートパス干渉により対象物の変化の観測が可能となることであるが、高度 268 km の完全回帰軌道にて運用することで、毎日定点観測を行い、たとえば、災害時の被害地域の定点観測や移動体のモニタ、火山監視、農産物の発育状況把握等に役立てることが可能となる。

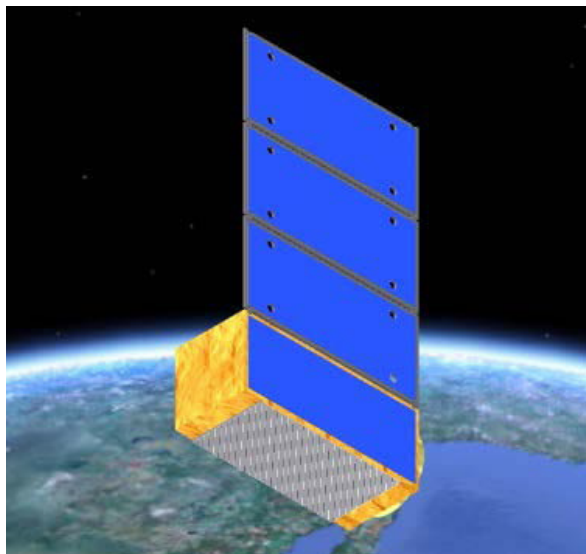


図 4 超低高度 Ku バンド SAR 観測衛星外観例

3.3. その他の地球観測衛星

その他、超低高度軌道の特徴を活用した観測衛星としては、ライダーによる風向・風速観測や GOCE で実施している地球重力場観測が超低高度軌道のメリットを活かせる有望なミッションである。ライダーについては、SAR と同様に高度低下により送信出力を低減できるメリットにより、ハードウェア実現性が高まるだけでなく、もともと点で観測することが多いことから、光学ミッションでの高度低下に伴う観測幅の縮小のデメリットによる影響をあまり受けない。このように、超低高度衛星の技術はライダー観測ミッションと相性が良いため、現在、ドップラーライダーによる風向・風速観測ミッションのより詳細なミッション検討を実施するとともに、気象ユーザなど潜在的ユーザ候補と議論を深めている。

4. 超低高度衛星技術試験機 (SLATS)

JAXA では、これまで利用されていなかった新たな軌道の開拓につながる超低高度衛星のコンセプトを提案し、そのシステム実現性を示し、後続の実用機設計に不可欠な軌道上環境データ、技術データを取得することを目的とした技術試験機 SLATS の研究開発を行っている。

SLATS のミッションは下記の通り。

- ① 超低高度衛星技術の実証（システムコンセプトの確認）
 - －イオンエンジンによる自律軌道保持制御・衛星運用の実現性確認
 - －小型光学センサによる超低高度軌道での撮像と今後の超低高度衛星に向けた課題抽出
- ② 大気密度に関するデータの取得
 - －実測データの不足している超低高度域の大気密度に関するデータを取得
- ③ 原子状酸素に関するデータの取得
 - －衛星の材料を劣化させる原子状酸素 (AO) の超低高度域環境及び材料への影響を把握
- ④ 小型高分解能光学センサによる高分解能撮像
 - －超低高度域での衛星姿勢と協調した高分解能地上撮像実証実験

特に上記④については、実用機の展開検討の中で、将来利用が想定されるユーザから、「システムコンセプトの実証に加え、センサによる観測の実証も必要」との意見を踏まえて、実用機につながる技術実証の観点から新たなミッションとして設定し、小型高分解能光学センサの検討に着手したところである。

