

超低高度衛星技術試験機(SLATS)の 検討状況について

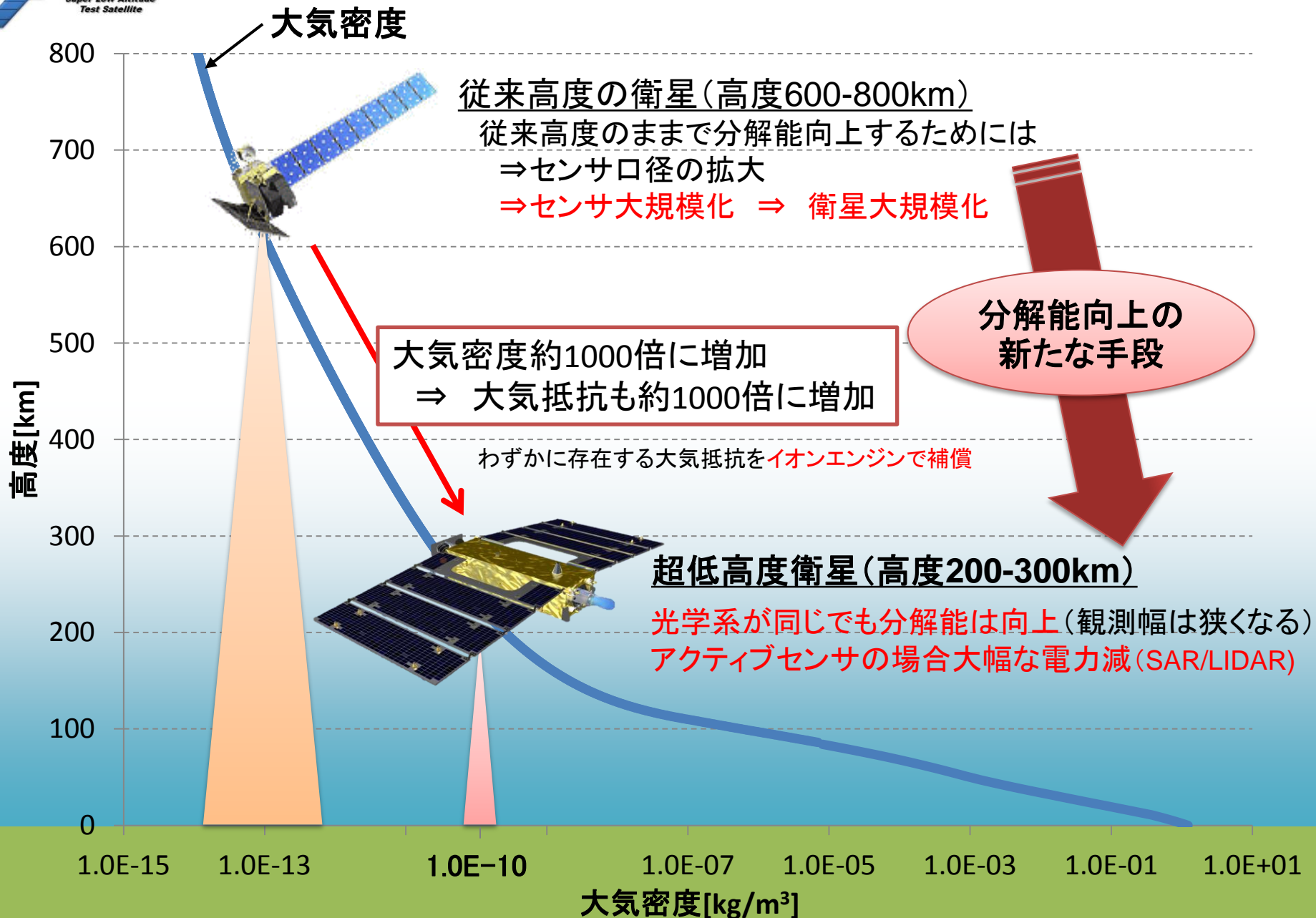
平成25年9月4日

宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

第一衛星利用ミッション本部 先進衛星技術開発室 高畑 博樹

1. 超低高度衛星の概要



2. 超低高度衛星の意義・SLATSの目的

(1) 超低高度衛星の意義

これまで利用できなかった超低高度(200~300 km)における飛行及び軌道変換が可能な超低高度衛星が実現すれば、従来の高度(600~800 km)のリモートセンシング衛星に対し、以下のような新しい可能性が期待できる。

①光学センサの分解能の大幅な向上(参考資料p.10参照)

軌道を低くすることで、結果的に分解能を高める効果が得られる

②アクティブセンサ(SAR・LIDAR)の送信電力の大幅な低減(参考資料p.10参照)

SAR*では電力余裕を活用することで、大電力を必要とする高周波数化(広帯域化)が可能となり、高分解能観測を実現

LIDAR**では小型化が可能となり、複数のセンサを搭載することで、風向・風速の2次元観測など新たな対象の観測を実現

注)*: Synthetic Aperture Radar、合成開口レーダー **: Light Detection and Ranging、レーザレーダ

③センサの小型・軽量化による大幅な衛星の製造・打上げコストの低減

高分解能の要求を小型軽量化システムで実現できることから、製造・打上げコストも低減

④定点観測と高分解能観測への両対応

ニーズに応じて、特定地域の1日1回観測(定点観測)と低高度での高分解能観測の軌道上での切替えを実現(詳細は参考資料p.11参照)

(2) 超低高度衛星技術試験機(SLATS)の目的

今後の衛星利用の新たな可能性を拓く超低高度衛星(高度200~300km)の実現に向け、JAXAが培ってきたイオンエンジン技術による超低高度における軌道維持・軌道変換技術を実証する。併せて下記データ取得、評価についても実施する。

* 超低高度衛星の設計に必要な大気密度や原子状酸素に関するデータを取得

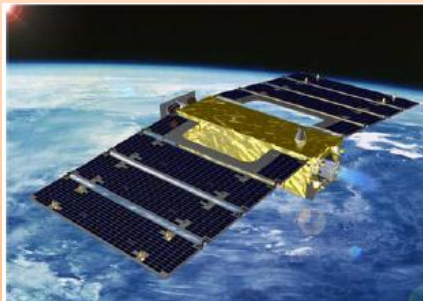
* 観測・ポインティングとイオンエンジン制御の相互の影響についての評価

3. SLATS実証後の超低高度衛星の展望

イオンエンジン技術

活用

超低高度衛星技術試験機
Super Low Altitude Test Satellite
(SLATS)



新たな軌道
開拓により、
衛星利用の
新たな可能
性を拓く

超低高度の
・飛行技術獲得
・環境データ取得
・リモセン衛星の
事前実証

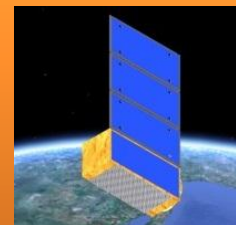
超低高度衛星

高分解能光学



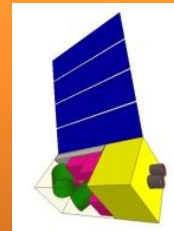
小型・低コストで海外
商用衛星を超える
分解能の実現

高分解能Ku帯SAR



Kuバンドを活用して
海外衛星を超える
分解能の実現

2次元風向・風速LIDAR



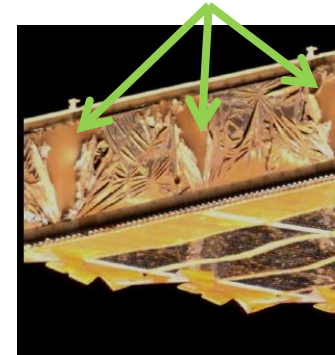
世界初の2次元風
向・風速観測を実現

4. SLATSの概要

SLATSのミッション

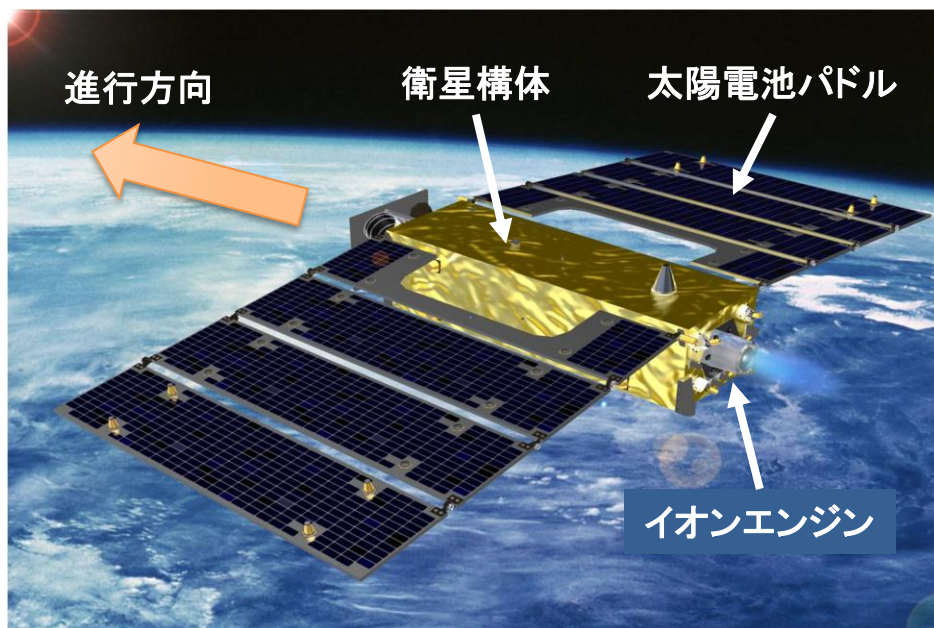
- ① 超低高度衛星技術の実証 (システムコンセプトの確認)
 - イオンエンジンによる自律軌道保持制御・衛星運用の実現性確認
- ② 大気密度に関するデータの取得
 - 実測データの不足している超低高度域の大気密度に関するデータを取得
- ③ 原子状酸素に関するデータの取得
 - 衛星の材料を劣化させる原子状酸素(AO)の超低高度域環境及び材料への影響を把握
- ④ 小型高分解能光学センサによる高分解能撮像
 - 超低高度域での衛星姿勢と協調した高分解能地上撮像実証実験

熱制御材の劣化(破損)



国際宇宙ステーション(高度約400km)の太陽電池パドル側面部のAOによる劣化の様子(宇宙空間に1年間曝露)

<SLATS外観図>



<SLATS主要諸元>

軌道	ロケットから分離後、超低高度域の250 kmに自ら軌道変換
サイズ	2.5 m(X)×5.2 m(Y)×0.9 m(Z) (軌道上展開状態)
質量	400 kg以下(暫定)
設計寿命	2年程度(燃料上の寿命は軌道に依存)
主要ミッションセンサ	(1) 原子状酸素(AO)モニタシステム (a) AO計測センサ (b) 材料劣化モニタ (2) 小型高分解能光学センサ

<SLATS総開発費>

約34億円

5. 研究開発スケジュール(実績・予定)

- (1) 平成18年度より概念検討を実施。
- (2) 平成19年10～12月にミッション定義審査(MDR)、平成20年8月にシステム要求審査(SRR)を実施。
- (3) 平成21年5月、システム定義審査(SDR)を実施し、システムを確定し基本設計フェーズに移行。
- (4) 平成23年11月、設計のベースラインに対する確認会(PDR相当)を開催し、詳細設計フェーズに移行。

研究開発スケジュール案

	FY24	FY25	FY26	FY27	FY28
マイルストーン			△設計審査 (システムCDR)		△ 打上げ △ 開発完了審査
衛星システム 開発 スケジュール	詳細設計		維持設計		
			システム製作・試験		射場
			バス機器製作・試験		運用
			ミッション機器製作・試験		

6. 開発方針

超低高度衛星は、観測精度の向上やこれまでの技術では困難であったミッションを実現可能とする先端的かつ戦略的な計画として、早期の実現をめざす。

このため、SLATSは以下の方針のもと、開発を行う。

- (1) 早期に成果を出すために、小型衛星での技術実証とし、短期間・低コストで開発を行う。
- (2) 搭載機器は海外を含め可能な限り既存技術を活用することとし、新規に開発する必要がある機器は、フロントローディングの成果を活かし、早期にPFMを製作して打上げる一段階開発方式とする。
- (3) 研究開発本部を含め、全JAXAの専門家を含めた連携協力により、技術課題の克服および効率的な開発を推進する。
- (4) SLATSの開発を通じ、実用機設計に必要な技術およびノウハウの蓄積を行う。

7. 開発体制

JAXA

- ・衛星、光学センサ、地上系開発
- ・打上げ、軌道上運用、データ取得

第一衛星利用ミッション本部
SLATSプロジェクト
推進チーム

研究開発本部
電子部品・デバイス
材料グループ

- ・原子状酸素フルエンスセンサ
材料劣化モニタ開発
- ・耐原子状酸素設計

統合追跡
NW技術部

- ・追跡管制
- ・軌道決定

第一衛星利用ミッション
本部
地球観測研究
センター

研究開発本部

情報・計算工学
センター

環境試験技術
センター

- ・各サブシステム技術連携
- ・環境試験、等

実用機
外部ユーザ候補

- ・将来ミッション意見交換

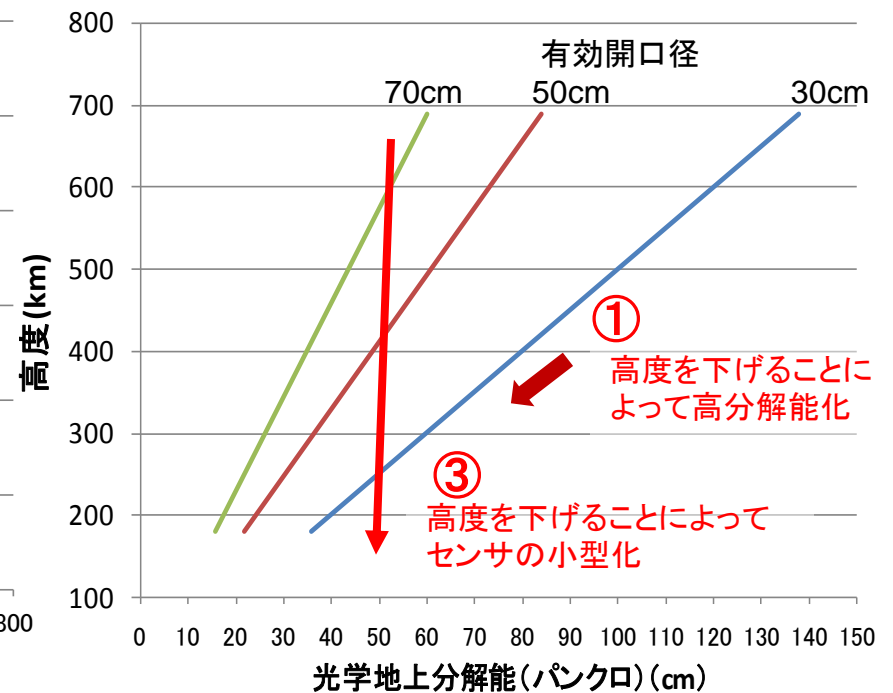
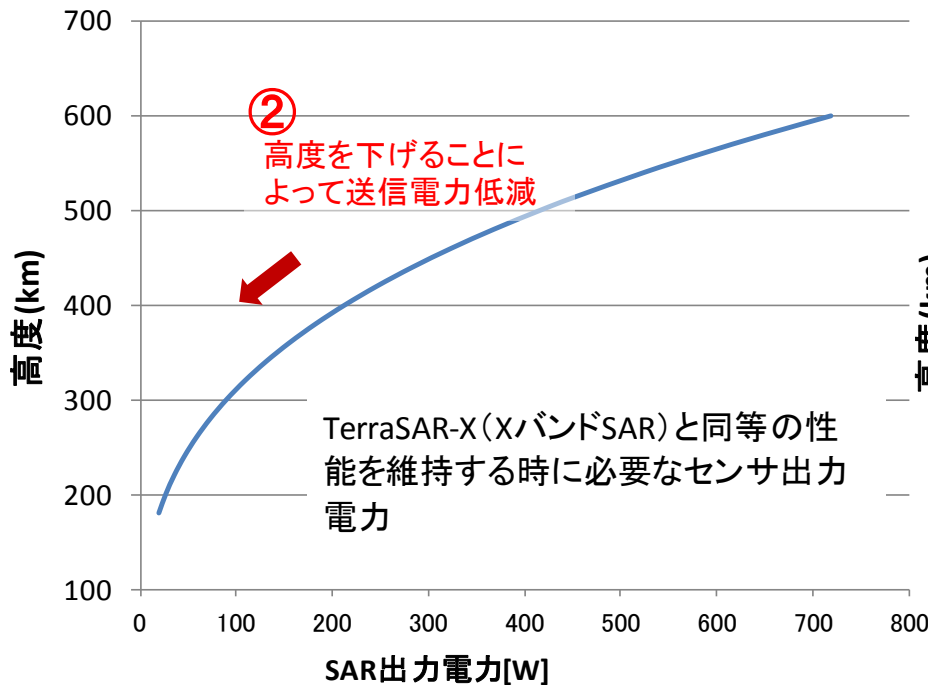
参考資料

1. 軌道高度と観測センサ性能の関係

(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の送信電力	:	送信電力	\propto	高度の2乗

2. 高度を下げることで以下の性能向上を実現

- ① 光学センサの分解能向上
- ② アクティブセンサ(SAR、LIDAR等)の送信電力低減
- ③ 同じ性能であれば、センサの小型化・省電力化が可能



※本図は分解能が開口径の回折限界と同じことを前提としている

フレキシブルな軌道変換がもたらす新たな利用

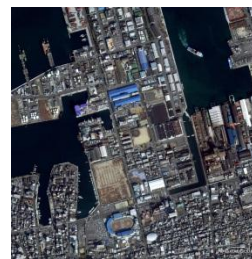
いままでにない自由度をもつ衛星

- 超低高度衛星は、衛星規模も小さく、更に燃料効率(比推力)の高いイオンエンジンを搭載するため、積極的に軌道変換を行うことが可能となる。そのため、従来の衛星にはないフレキシブルな軌道変換を運用期間中繰り返し実施することが可能。
- これまでの衛星は、ミッション期間中は一つの固定された軌道で運用されてきたが、状況に応じて完全回帰軌道への変更や回帰日数、直下点軌道の変更など運用軌道を切り替えることで、新たな衛星の使い道が開ける。

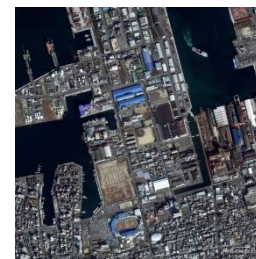
【運用例】通常時：準回帰軌道(高度320km) ⇔ 完全回帰軌道(高度268km、定点観測)

※観測対象が特定された場合に集中的に観測が可能

緊急時の定点観測(撮像イメージ)

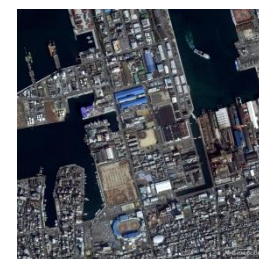


N day



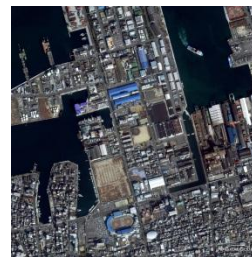
N+1 day

...



N+5 day

定常時の全球観測(サブサイクル5日)(撮像イメージ)



N day



N+1 day

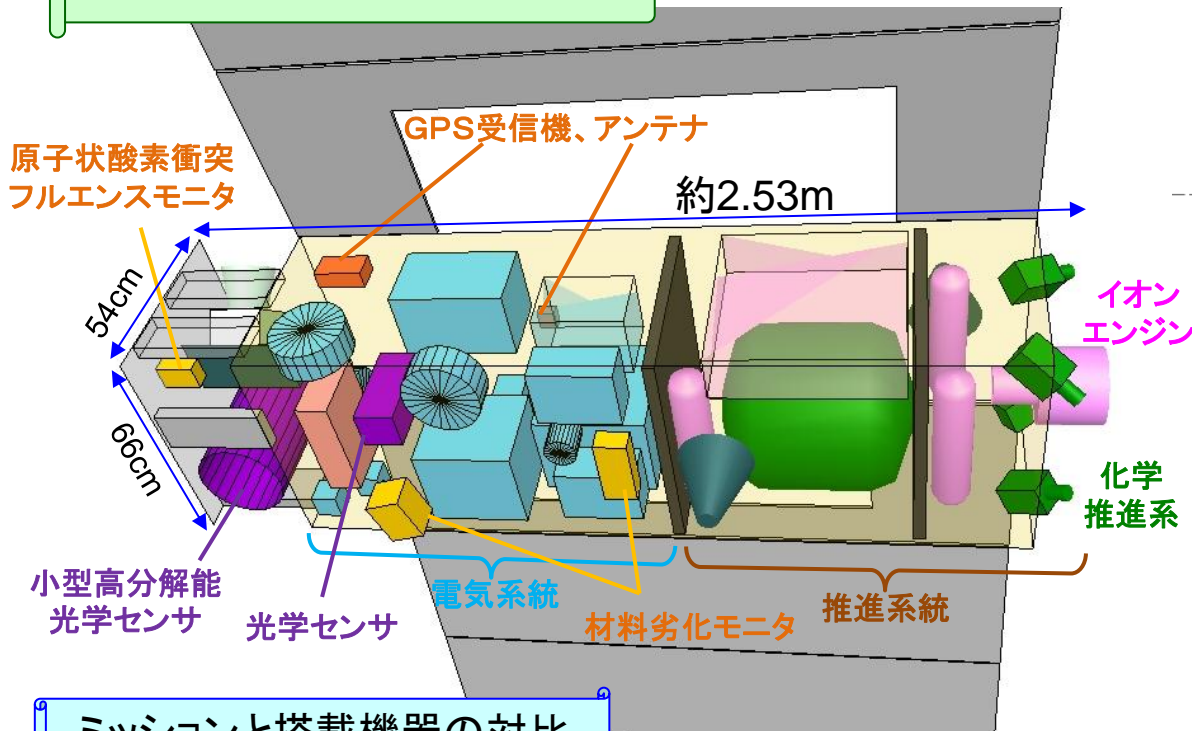
...



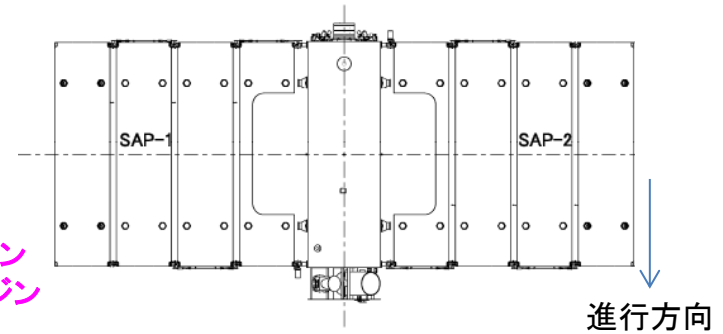
N+5 day

SLATS: 衛星システム概要

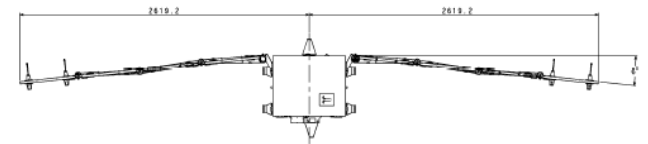
SLATS・透視図



SLATS (Top View)



SLATS (Front View)



ミッションと搭載機器の対比

SLATSのミッション(再掲)

- ① 超低高度衛星技術の実証 (システムコンセプトの確認)
- ② 大気密度に関するデータの取得
- ③ 原子状酸素に関するデータの取得
- ④ 小型高分解能光学センサによる高解像度撮像

SLATS搭載機器

- ① イオンエンジン(大気抵抗補償用)
- ② GPS受信機(軌道決定用)
- ③ 原子状酸素衝突フルエンスモニタ、材料劣化モニタ
- ④ 小型光学センサ

サクセスクライテリア(案)

目的	達成目標		
	ミニмумサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
超低高度衛星技術の実証	超低高度軌道への投入が成功すること 【判断時期: 高度250km到達時点】	①高度 ³ 220km(ノミナル)において、27日間以上、自律的に高度保持を実施し、高度保持精度 $\pm 1\text{km}(1\sigma)$ を満足すること ②異なる高度から光学センサにより撮影できること	緊急高度上昇運用の有用性を示せること
大気密度データの取得	高度250kmより高い高度において、大気密度に関するデータを取得できること 【判断時期: 高度250km到達時点】	高度250kmから180kmにおいて、90日間の大気密度に関するデータを取得できること	①高度250kmから180kmにおいて、90日間を超えて大気密度に関するデータを取得できること ②高度180kmより低い高度において、大気密度に関するデータを取得できること
原子状酸素データの取得	原子状酸素衝突フルエンスセンサが正常に動作すること 【判断時期: 打上げ3ヶ月後】	高度250kmから180kmにおいて、90日間の原子状酸素衝突フルエンス(F_{AO})を計測できること	①高度250kmから180kmにおいて、90日間を超えて F_{AO} を計測できること ②高度180kmより低い高度において、 F_{AO} を計測できること
	材料劣化モニタ機器の全機能が正常に動作すること 【判断時期: 打上げ3ヶ月後】	高度180km以上において、材料劣化状況を原子状酸素衝突フルエンスと共に取得できること	原子状酸素による材料劣化について新たな知見が得られること
小型高分解能光学センサによる高分解能撮像	高度250kmより高い高度において、小型高分解能光学センサで撮像ができること 【判断時期: 高度250km到達時点】	超低高度軌道(高度250km以下)において、衛星の姿勢制御と協調した高分解能撮像ができること	超低高度軌道(高度250km以下)において、衛星姿勢との協調制御による画質向上の効果や大気抵抗およびイオンエンジン噴射による画質への影響を評価できること

*1 : フルサクセスの達成判断時期は全て定常段階終了時とする。

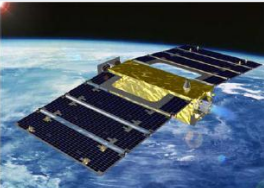
*2 : ミニмум/エクストラサクセスは、項目ごとに達成判断をする。

*3 : 高度は「平均軌道長半径－赤道半径」の値とする。

*4 : ミッション期間中に取得できるデータを用い、環境モデルの評価解析を行う。

他国の超低高度衛星との比較

- ESA は 2009年3月に地球重力場観測衛星 (GOCE) を超低高度軌道 (約260km) に投入し、地球重力場に関する科学データを取得
 - ⇒ 超低高度環境を利用した先行事例ではあるものの、重力場観測ミッションを主目的としているため、軌道高度を高精度に保持する必要があり、**イオンエンジン制御が複雑となり、質量・サイズともに大型化**
 - ⇒ 実用的なりもリモートセンシング衛星の実現に必要な、ポインティング技術や超低高度軌道に長期間 (5年以上) 運用可能とする **設計基礎データ (原子状酸素や材料劣化に関するデータ) は未習得**
- SLATS では実用的なりもリモートセンシング衛星を超低高度軌道環境で実現するために必要となる技術要素 (ポインティング、効率的な軌道制御技術など) を他国に先行して獲得

	SLATS (JAXA)	GOCE (ESA)
打上げ	2016年度目標 (GCOM-C1相乗り)	2009年3月打上げ (Rockot) 運用中
ミッション	①超低高度衛星技術の実証 (システムコンセプトの確認) ②大気密度に関するデータの取得 ③原子状酸素に関するデータの取得 ④新規コンポーネントの軌道上実証 	地球重力場観測 (地球観測センサ・リアクションホイール・原子状酸素モニタ装置は搭載されていない) 
質量	400kg以下	1100 kg
衛星サイズ	2.5 (X) × 5.2(Y) × 0.9m(Z)	5.3 (X) × 約1m(Φ)
総コスト	34.15億円	約450億円 (350M€を当時レート換算)
イオンエンジン制御	一周回毎のON/OFF切替えのみで軌道を保持 (軌道離心率保持のために大気効力を利用。JAXA独自の方式)	高精度加速度計で検出した微弱な大気抵抗をイオンエンジン推力で常時キャンセル

英国、ドイツ、中国などで、超低高度衛星の検討が行われているとの情報も得られている。このことから、世界に先駆け、我が国が超低高度という新たな軌道で利用を開拓するためにも、SLATSによる早期の実証が必要。

宇宙基本計画（平成25年1月25日宇宙開発戦略本部決定）

第3章 宇宙開発利用に関し政府が総合的かつ計画的に実施すべき施策

3-1. 宇宙利用拡大と自律性確保を実現する4つの社会インフラ

B. リモートセンシング衛星

(3) 今後10年程度の目標

(前略)また、リモートセンシング衛星については引き続き、地図作成、資源探査、農林漁業への活用、災害監視、海洋観測等に取り組むとともに、衛星データの利用拡大により、産業、行政の一層の高度化、効率化を実現する。

(4) 5年間の開発利用計画

② 衛星システムの計画的な構築

リモートセンシングの利用拡大のためには、官民の利用ニーズや海外ニーズを取りまとめて衛星の仕様設定に反映する。
(中略)

具体的には、我が国衛星技術の強みをいかした「ASEAN防災ネットワーク構築構想」に賛同するアジア各国と共同でリモートセンシング衛星のコンステレーションを整備し、我が国のみならずアジア全体でのリモートセンシング衛星の利用拡大を図る。
(中略)

このような社会インフラとしての衛星システムを高度化するために必要となる研究開発を推進する。

3-3. 宇宙空間の戦略的な開発・利用を推進するための8つの横断的施策

(2) 強固な産業基盤の構築と効果的な研究開発の推進

② 5年間の開発利用計画

b) 産業基盤の強化

(前略)民間事業者の国際競争力強化を図るため、宇宙実証の機会の提供や研究開発の支援を行うとともに、技術水準の持続的な維持、向上により信頼性向上やコスト低減を図る。

(前略)通信・放送分野は、商業衛星市場の約75%を占めるため、この市場を獲得することが産業基盤を維持する上で重要である。通信・放送衛星については、バスの大型化、需要変化に柔軟に対応可能な技術の開発、実証を行う。また、地球観測衛星については、低コスト化、高分解能センサー、複数衛星の連携運用技術等、市場ニーズを満たす技術を官民連携により開発、実証する。

文部科学省における宇宙分野の推進方策について(平成24年12月宇宙開発利用部会)

Ⅲ. 文部科学省の取組の方向性

2. 宇宙を支える

(1) 技術基盤の強化

③ その他の技術基盤

ア. 意義

(前略)具体的には、(中略)、社会的ニーズを踏まえつつ、新たな技術分野を開拓して実利用につなげていくことが求められる。特に、先進的な衛星技術の研究開発や新たな宇宙利用の可能性につながる研究(中略)は、明日への投資との観点から重要な意義を有する。

ウ. 具体的な推進方策

宇宙を支えるとの観点から、将来の宇宙利用の可能性を拓く技術革新に取り組みつつ、ユーザーニーズに応え得る技術基盤を提供していくことが重要であり、そのための仕組みを構築すべきである。

(ア) 実利用との結節点

a. ユーザーニーズに応える技術の獲得

プロジェクト立上げ当初から、ユーザーニーズを反映させる取組を進めるべきである。(中略)しかし、宇宙開発利用の進展に伴い、今後の利用拡大のためには、幅広い分野のユーザーニーズを集約して活用されるプロジェクトの実現や衛星技術・センサ技術の開発が必要である。(後略)

第3期中期計画

1. (2) リモートセンシング衛星

① 防災等に資する衛星の研究開発等

我が国の防災、災害対策及び安全保障体制の強化、国土管理・海洋観測、リモートセンシング衛星データの利用促進、我が国宇宙システムの海外展開による宇宙産業基盤の維持・向上、ASEAN諸国の災害対応能力の向上と相手国の人材育成や課題解決等の国際協力のため、関係府省と連携を取りつつリモートセンシング衛星の開発を行う。その際、(中略)光学(可視域中心)及びSAR(略)の衛星により構成される衛星コンステレーション(略)とすべく衛星開発等に取り組む。具体的には、(中略)、安全保障・防災に資する静止地球観測ミッション、森林火災検知用小型赤外カメラ等の将来の衛星・観測センサに係る研究を行う。

4. (2) ① 基盤的・先端的技術等の強化及び国際競争力強化への貢献

(前略)民間事業者の国際競争力強化を図るため、宇宙実証の機会の提供等を行う。(後略)