

# 将来超低高度衛星ミッション検討状況

宇宙航空研究開発機構(JAXA)  
第一宇宙技術部門 SLATSプロジェクトチーム  
高山 慎一郎

第5回 SLATSワークショップ  
2020(令和2)年1月24日(火) TKP新橋カンファレンスセンター

## 超低高度衛星に関わる基盤的な技術・ノウハウを獲得。

**世界初** イオンエンジンを用いた超低高度からの光学画像観測運用

**世界初** 超低高度での長期間の原子状酸素データ取得

### ① 空力解析に基づいた超低高度における軌道制御技術

航空機のように空力データベースを構築した。

取得したGPSデータを用いて、従前の大気モデルとの差を定量的に把握した。

超低高度においても高精度に軌道予測・決定する技術を実証した。

### ② イオンエンジンを用いた軌道制御アルゴリズム

高精度の軌道保持を実証した。

運用ノウハウを蓄積した。

### ③ 原子状酸素（AO）対策

長期間のAOデータを取得した。

AOの環境評価技術や対策方法を実証した

### ④ 超低高度からの撮像の有用性（分解能向上、様々な観測時刻、定点観測）

小型光学センサによる高分解能の画像取得にて、撮像の有用性を実証した。

今後、将来の超低高度衛星の開発に必要な設計基準類を整備する予定。  
 その成果を将来衛星の実現に確実につなげていく。

## 【超低高度衛星ミッションの有望な適用分野】

### 防災・安全保障分野

### 気象分野

### 電波モニタ分野

### サイエンス分野

(1)  
高分解能光学



光学センサやSARを用いた高分解能観測により、高頻度かつ詳細な画像情報として防災関連事業に提供

(2)  
高分解能SAR



光学センサやSARを用いた高分解能観測により、高頻度かつ詳細な画像情報として防災関連事業に提供

(3)  
風向・風速ライダー



ライダー観測により風向風速データを取得し、気象予測モデルの精度向上に貢献

(4)  
船舶・航空機の位置検出



船舶レーダやAIS信号、ADS-B信号等の電波観測により船舶や航空機の位置を検出

(5)  
重力場・磁場  
超高層大気



大気密度・組成，重力場や磁場などの観測により、資源探査に加え、火山活動監視に貢献

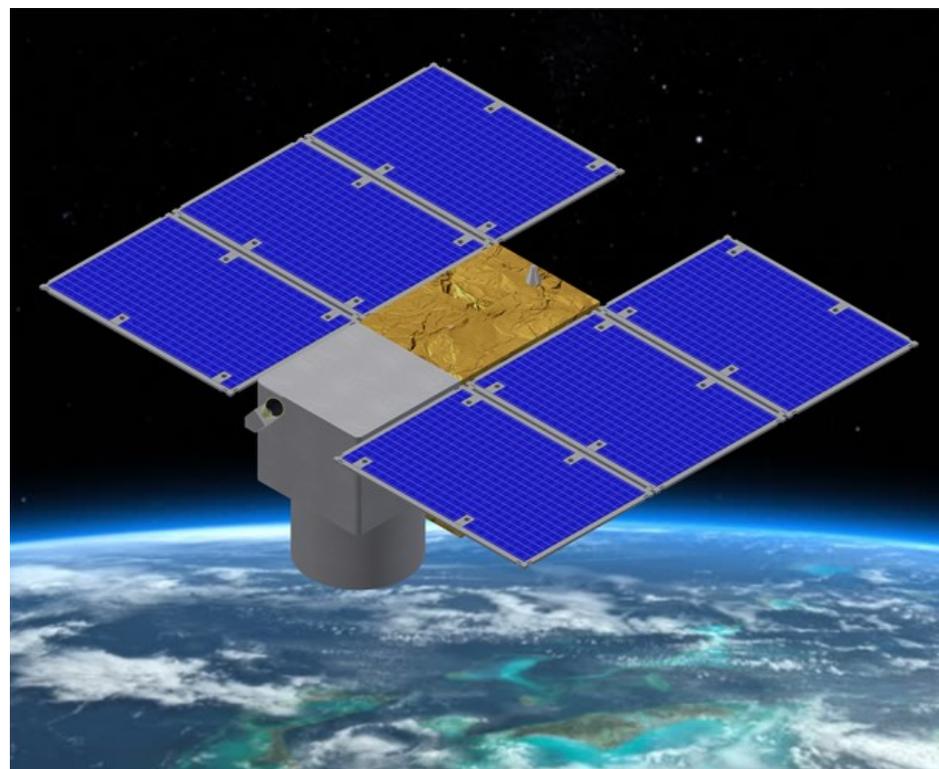
## 【コンステレーション化による価値向上】

- 超低高度衛星は低い軌道を利用することで、高品質な衛星画像を従来の観測衛星と比べて小さな衛星システムにより取得可能である。そのため、イプシロンロケットによる打上げや、H3による複数機打上げが可能であり、大型衛星に比べてコンステレーションをより低コストで構築できるメリットがある。
- コンステレーションを組むことで、観測頻度の向上、災害発生時等の緊急観測への対応性向上が期待できる。

## ○ 光学観測衛星の概要及び検討状況

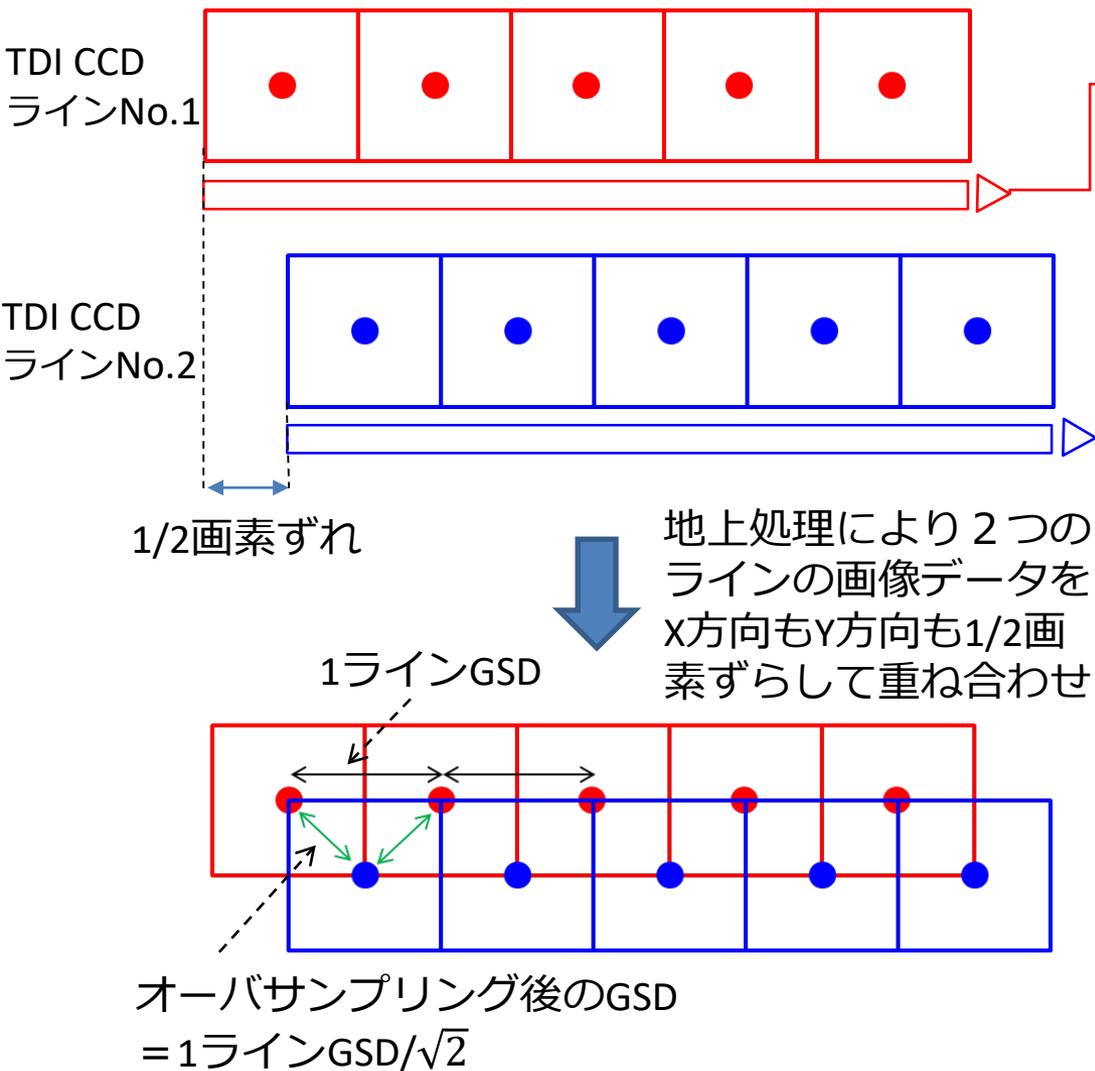
新型イプシロンにも搭載可能な小型な衛星システムにより、海外商用衛星を超える「GSD31cm以上」の実現を目標とし、システム成立性検討を実施している。さらなるGSD向上策として、2ラインTDI-CCDによるオーバサンプリング技術等の検討も並行して実施中。

項目	主要仕様案	備考
ロケット	新型イプシロン	H3にも搭載可
打上げ質量	800kg以下	
軌道高度	高度349km	SSO, 7日回帰
LST	10:30	他のLSTにもカスタマイズ可能
GSD	Pa 31cm以下 Mu 124cm以下	更なる向上策を検討中
観測幅	8km以上	
SNR	100以上	北緯35°/春秋分/反射率15%
総合MTF	0.05以上	同上
寿命	5年以上	
アジリティ	1deg/sec以上	オプションとして3deg/sec以上を検討

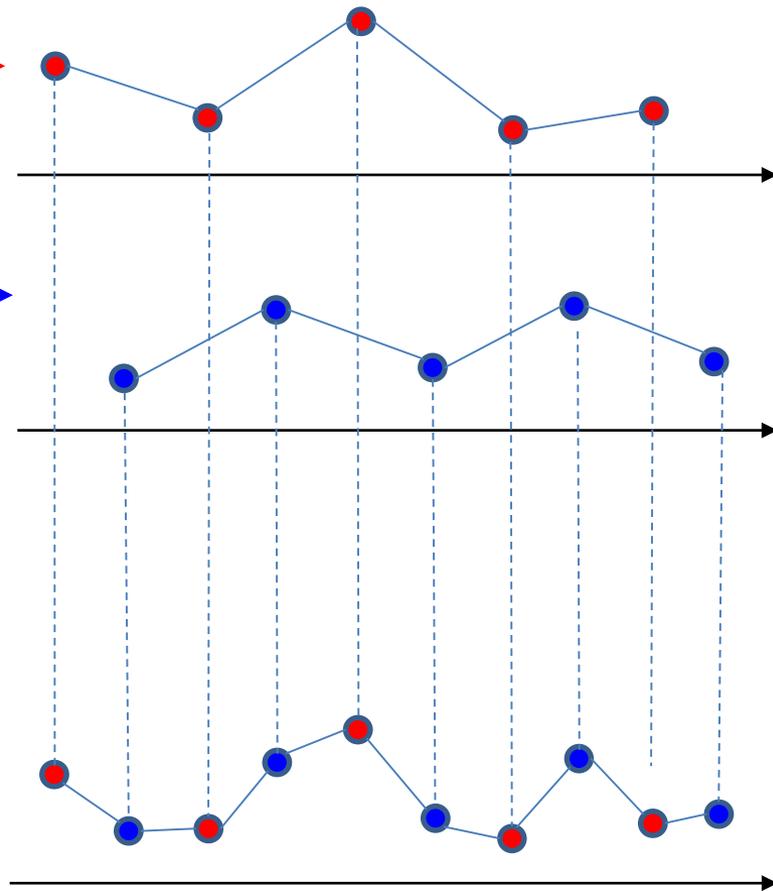


高分解能光学 軌道上外観イメージ

## 2ラインTDI-CCDを用いたオーバサンプリング技術の概念図



TDI CCDの出カイメージ



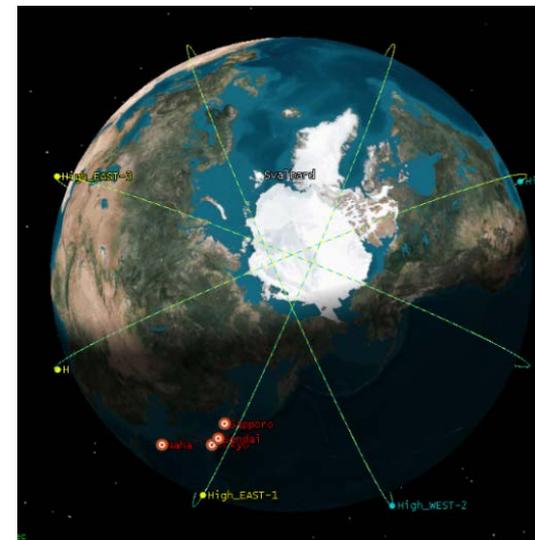
光学系の口径を最大限大きくした上で、さらに分解能向上を図る場合に期待される方策

## OSAR観測衛星の概要及び検討状況

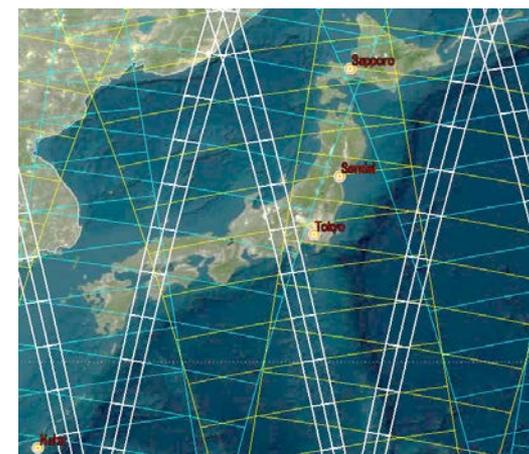
新型イプシロンの衛星搭載能力を最大限に活用し、高分解能化を図る SAR 衛星。更なる小型化・高分解能化を狙い、高周波帯域の SAR について検討中。

- ① 4つの軌道面 (LST 7:30/10:30/13:30/16:30) にそれぞれ2機 (計8機) の SAR 衛星を高度 350 km に配置。
- ② およそ3時間おきに日本周辺の任意地点の観測を実現。
- ③ 観測要求受付から情報提供までを目標 5 時間以内。

項目	主要仕様案	備考
ロケット	新型イプシロン	H3 にも搭載可とする。
衛星打上げ質量	800kg以下	
観測頻度	3時間おき <sup>注)</sup>	高度350km、 LST 7:30/10:30/13:30/16:30
ターンアラウンド時間	5時間以内目標	
分解能	Az 0.5m × EI 0.86m	Sliding Spot Lightモード
	Az、EI 共に 10~20m	Scan SARモード
観測領域	Az 10km × EI 10km	Sliding Spot Lightモード
	Az 1350km × EI 500km	Scan SARモード
NESZ	-19.1dB	Sliding Spot Lightモード
	-20.9dB	Scan SARモード
寿命	5年以上	



衛星配置 (北極から見る)



注) 3時間毎の任意地点の観測は衛星直下の非観測域(ALOS-2と同じ±8deg以内)を除く。

○ SARの観測バンドについては、高分解能化に有利であることからXバンドをベースラインとしている。Ku/Kaバンドについても、より小さなアンテナで高画質（NESZ）が期待出来ることから、衛星搭載化に係る評価・研究を実施予定。並行して観測ニーズについて調査を進める予定。

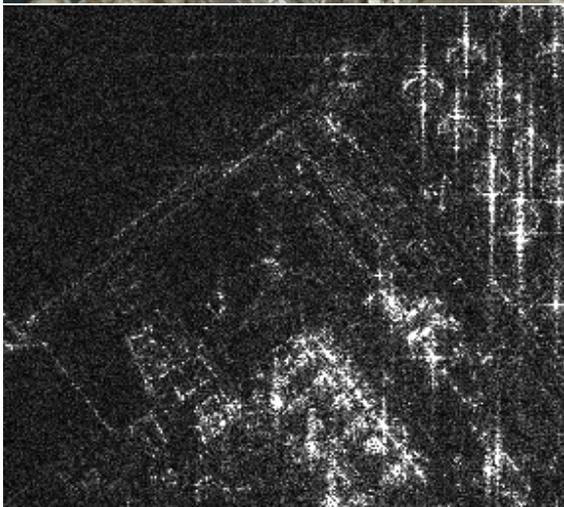
項目	Lバンド	Xバンド	Kuバンド	Kaバンド
周波数帯	1.2GHz	9.6GHz	13.5GHz	35.75GHz
国際周波数割当	85MHz	1.2GHz	500MHz	500MHz
レンジ分解能	3m 級	30 cm級	60 cm級	60 cm級
大気減衰量	◎ ほぼ影響なし	◎ 0.12dB 程度	○ 0.17dB 程度	△ 0.7dB 程度
降雨損失の影響	◎ ほぼ影響なし	◎ 0.17dB	○ 0.57dB	× 5.6dB
アンテナサイズ	△ 大型アンテナが必要	- (基準)	○ Xより小さい	◎ Kuより小さい
新規性	△ ALOSシリーズで実績有。	△ 国内・海外含めて多数の実績有。	◎ 衛星は世界初。新規需要の可能性有。 ※航空機実績有	◎ 衛星は世界初。新規需要の可能性有。 ※海外で航空機実績有
ユーザビリティ	○ 過去30年にわたるデータベースの活用が可能。	○ 各国のX帯SAR衛星との連携、干渉SAR等の信号処理も可能となり利便性が高い。	△ 実績が少なく、散乱特性も異なる。画像判読について学習・経験の蓄積が必要。	△ 判読性の向上が期待できるが、詳細な評価が必要。
備考	ユーザビリティ・実績等優れている。 H/W大型の課題あり。	低解像度ならばフィンランドICEYE社やASNARO-2, ImPACT有。	X帯SARと比較し画質の違いは特にない。 (航空機SARによるX,Kuの比較実験済み)	反射特性がX帯、Ku帯から大きく変化すると推定される。(航空機SAR実験評価が必要)

- X やKuバンドの高周波 SAR を採用することで、人工建造物の見え方が光学センサの画像により近づくため、被災後の状況把握が容易になると期待される。
- 災害による建物・道路等の人口建造物の被害状況を詳細に把握するには、より高分解能な画像を取得できる X やKuバンドなどの高周波 SAR の採用が必要と考えられる。

右図：  
 光学観測の例



右図：  
 ALOS-2の観測  
 画像例  
 分解能：3m



左図：  
 Xバンド航空機  
 SARによる観測  
 画像例  
 分解能：0.7m



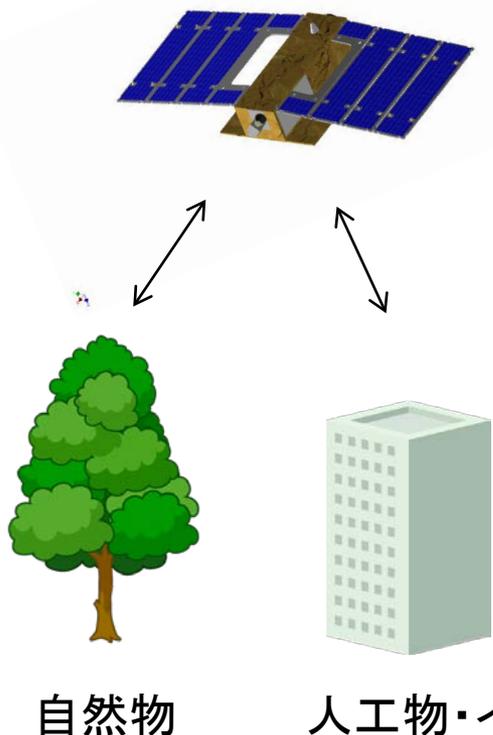
左図：  
 Kuバンド航空機  
 SARによる観測  
 画像例  
 分解能：0.5m

- Kaバンドは他の周波数帯（L、X、Kuバンド等）と比べて人工物に対して相対的に高い散乱強度が期待できるが、定量的な知見は不足。
- 室内実験設備（JAXAセンサ研究グループ所有）を活用して人工物の散乱実験を実施により散乱強度について定量的な特性を把握し、レーダの送信電力等のセンサ設計、そしてセンサ設計を受けた衛星システムを設計に反映する予定。



レーダ散乱計

超低高度SAR衛星

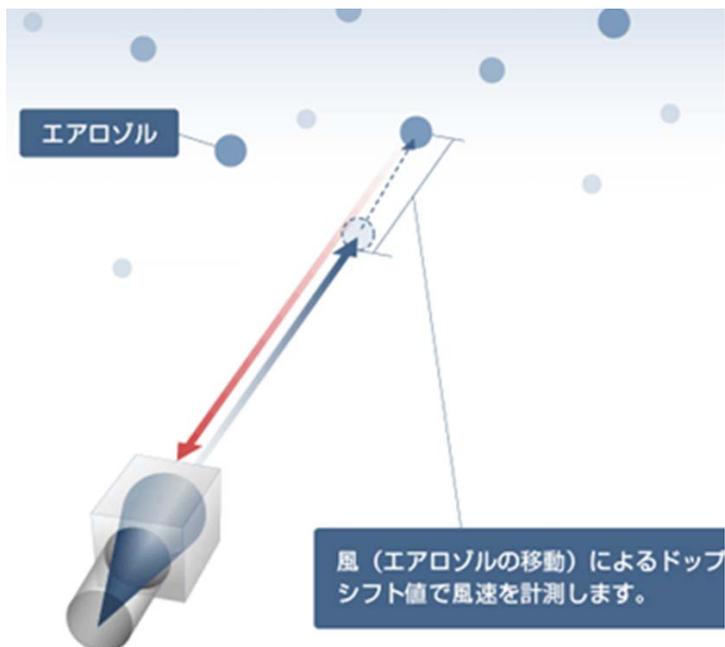


## 模擬人工物の散乱強度を比較

<p>コーナ リフレクタ</p>	<p>瓦*2</p>	<p>軽量ブロック*3</p>
<p>針葉樹 広葉樹 樹木類*1</p>	<p>石膏ボード*4</p>	<p>木材*5</p>
<p>建材類</p>		

図の引用: \*1 <https://wood.co.jp/10-chishiki/newface/> \*2 <https://ja.wikipedia.org/wiki/瓦>  
 \*3 <https://joyfulhonda.jp/item/196829/> \*4 <https://joyfulhonda.jp/item/144899> \*5 <https://joyfulhonda.jp/item/121091/>

- ① 超低高度衛星ミッションのアイデアの一つとして、ドップラーライダー（DWL）を搭載した超低高度衛星による「宇宙からの風速観測」ミッションの検討に着手。
- ② レーザ出力は高度の2乗に比例して低減可能であることから超低高度軌道との相性が良く、また、DWLはアクティブセンサであることから昼夜を問わず観測可能のため、電力確保が容易なDawn-Dusk軌道の採用により衛星搭載DWLの実現性を高めることが可能。
- ③ 衛星システムの実現性検討やDWL実現のキー技術である大出力レーザの要素試作等を進める予定。



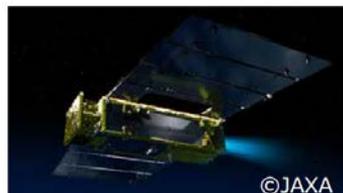
## ドップラーライダーの原理

Copyright Mitsubishi Electric Corporation.  
<http://www.mitsubishielectric.com/bu/lidar/lidar/>

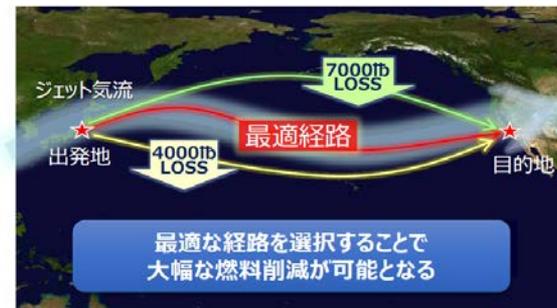
## S-booster 2017 全日本空輸（ANA）の提案

- 超低高度衛星に搭載したドップラーライダーから得られる3次元の風速データを基に、飛行機の最適な飛行経路・高度を算出。飛行中の飛行機に都度その情報を伝達することで、燃費を大幅に向上。
- これにより、年間364万トンの燃料削減効果、3,200億円の経済効果が期待（※提案者試算）。

### 超低高度衛星搭載ドップラーライダー



3次元の風速データを随時収集



Copyright by ANA at S-booster 2017

<http://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai64/siryou1-2.pdf>

(1) 軌道上実績を有する「つばめ」バスの活用方法として以下を検討している。

- ① 小型センサ搭載による実利用ミッション（下表に搭載可能なセンサ例を示す）
- ② 将来ミッション創出に向けた新規センサ技術に係る軌道上実証ミッション

(2) 下表のような小型センサは、大型センサに比べ量産化が容易であることから、コストダウン効果も期待できると考えている。

センサ候補案	主要諸元例 @高度268km	備考
Φ20cm パンク口	GSD 73cm, 観測幅 4.7km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SLATSセンサ技術を流用</li> <li>・組み合わせが容易</li> </ul>
Φ20cm マルチ	GSD 1.2m~2.9m, 観測幅 5.8km~9.4km (パンク口に合わせてカスタマイズ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SLATSセンサ技術を流用</li> <li>・組み合わせが容易</li> </ul>
Φ30cm パンク口	GSD 49cm, 観測幅 3.9km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カセグレン光学系</li> </ul>
Φ40cm パンク口	GSD 37cm, 観測幅 2.9km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カセグレン光学系</li> </ul>
Φ20cm 赤外 (非冷却型)	GSD 15.2m, 観測幅 15.6km	
Φ20cm 赤外 (冷却型)	GSD 5.8m, 観測幅 3.7km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却技術に課題</li> </ul>
AIS	SDS-4やALOS-2搭載AISと同等	

- SLATS「つばめ」の成果を発展・継承させたミッション案として、防災分野等への貢献を目的とした後継ミッションの検討状況を報告した。
- 超低高度衛星のメリットを活かし、防災機関等のユーザーニーズを踏まえ、社会課題解決に貢献する有望なミッションを創出していく。

