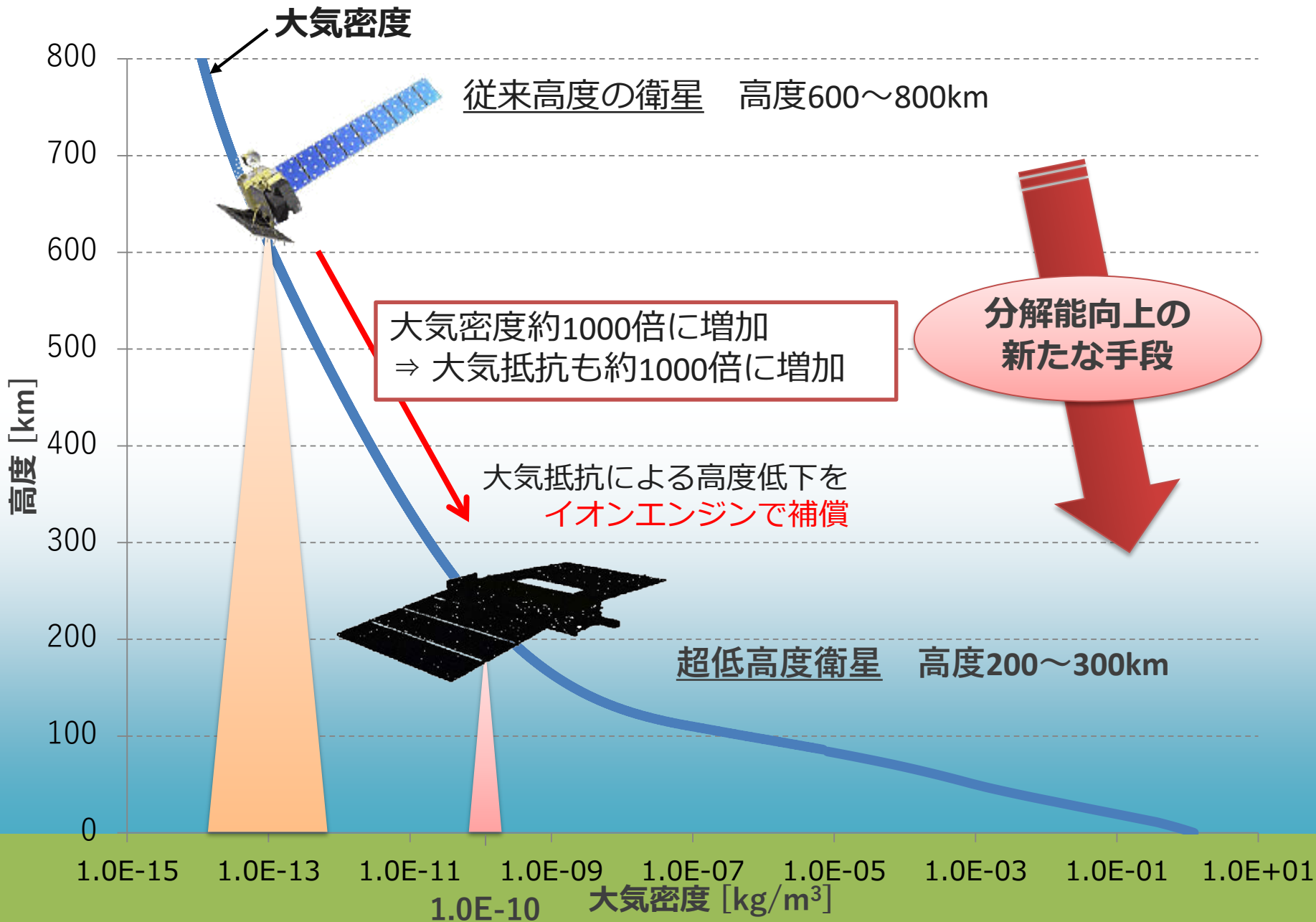


超低高度衛星の将来構想について

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
三浦健史、高山慎一郎

超低高度衛星の利用に向けたワークショップ（第4回）
2018(平成30)年9月18日(火)ソラシティ御茶ノ水カンファレンスセンター



能動センサ

SAR

高分解能SAR観測

超低高度で S/N向上 $\left(\propto \frac{1}{r^3}\right)$

⇒レーダ出力低減による機器小型化等

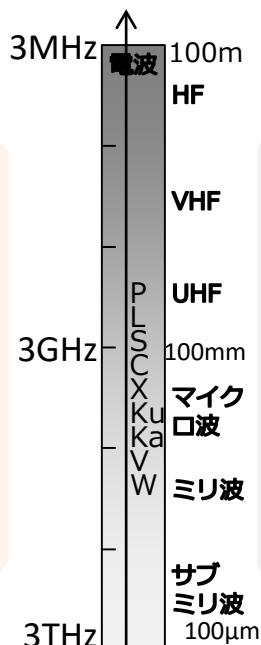
LIDAR

風向・風速観測

超低高度で S/N向上 $\left(\propto \frac{1}{r^2}\right)$

⇒レーザ出力低減による機器小型化

長波長



受動センサ

受動電波

電波モニタ(船舶検出等)

超低高度で S/N向上 $\left(\propto \frac{1}{r^2}\right)$

⇒電波強度が強まり、受信範囲が限定され混信の影響が低減

光学

高分解能光学観測

超低高度で 分解能向上 $\left(\propto r\right)$

⇒高分解能画像の取得、光学系の小型化等

短波長

超低高度のメリット：光学の高分解能化やSAR, ライダの高S/N化またセンサの小型化など

SLATSミッション：将来の超低高度衛星の実現に向けた試験機

- ① 超低高度衛星技術の実証
- ② 大気密度・原子状酸素に関するデータの取得
- ③ 小型高分解能光学センサによる撮像実験



SLATSの成果を反映し課題解決に貢献

将来の超低高度衛星の新たな利用が有望と考えられる分野

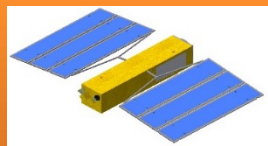
防災分野

地球環境観測分野

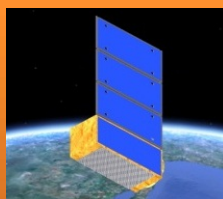
気象分野

超高層大気サイエンス分野

(1)
高分解能光学



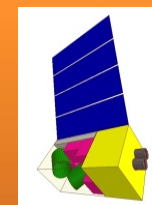
(2)
高分解能SAR



(3)
電波モニタによる
船舶・航空機の位
置検出



(4)
風向・風速ライダ



(5)
重力場・磁場
超高層大気

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

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

ライダ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

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

超低高度衛星コンステレーションによる防災・減災ミッション

○ミッション概要

光学観測衛星2機（1軌道面に2機ずつ配置）とSAR観測衛星8機（4軌道面に2機ずつ配置）から構成される「超低高度衛星コンステレーション」※により、「**全天候・高頻度観測**」を実現。

大規模広域災害の被害状況を高分解能かつ高頻度に把握することで、住民や行政機関等への的確な情報発信や避難指示、防災行政における各機関への速やかな人命救助指示や応援要請などの意思決定に役立てる。

※光学・SAR衛星ともに初号機はJAXAの研究開発衛星としての位置付けを想定。また2号機以降はユーザ省庁や民間企業等との資金負担や役割分担を行うことを想定。

ミッション要求（案）

項目	SAR	光学	備考
プロダクト提供時間	5時間以内		日本周辺任意地点に対して観測要求からデータ提供までに要する時間の目標値。
GSD	1m以下 @入射角35°	0.5m以下 @衛星直下	災害把握に係る衛星画像に対するユーザ機関からの要望内容等を参考に設定。
観測幅	10km以上	8km以上	高度350km以下として設定した目標値。

◆従来の地球観測衛星による「災害状況把握」での課題

- ・災害発生後の状況は刻一刻と変化するため、被災状況の把握のためには観測頻度が不足。
- ・災害状況の把握のためには、状況を明確に理解することが必要であり、更なる高分解能化が望まれている。



「超低高度衛星コンステレーション」の高分解能・高頻度観測とALOSシリーズの広域観測を組み合わせることで、災害発生前後の観測データから被災状況を迅速に把握出来る体制を構築。

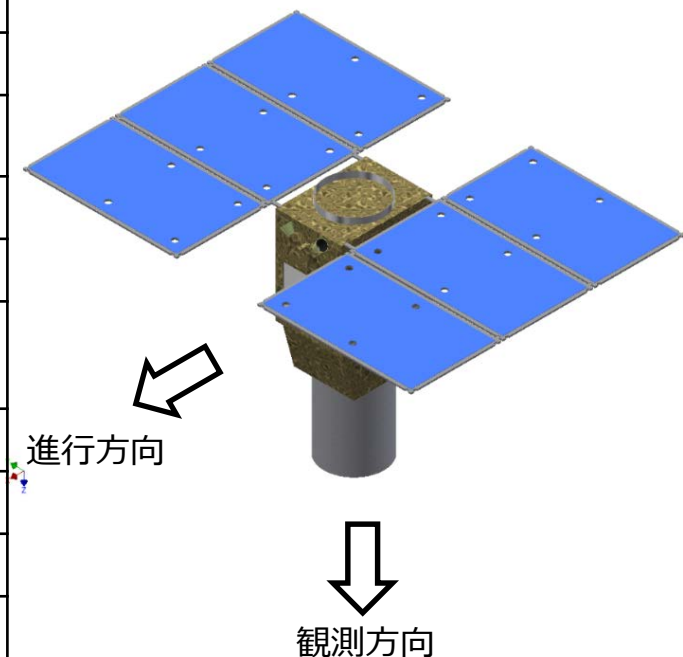
従来の問題点・課題	SLATS後継機での対応
衛星1機では観測頻度が不足	<p>【高頻度観測の実現】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 超低高度衛星群にて、観測要求から「ユーザが使えるデータ」の提供までを5時間以内。 ➤ 3時間ごとに観測可能。
災害による建物、道路等の人工構造物の被害状況を把握するには不十分。	<p>【高分解能観測の実現】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Xバンド、KuバンドないしKaバンドで1m以下の分解能を実現。 ➤ 光学観測はSARでは観測できない衛星直下や倒れ込み、レーダ陰領域を補完。

○ 光学観測衛星の概要

- (1) 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、世界最高のパンクロ分解能25cmを実現することを目標とし、システム成立性検討を実施している。
- (2) 並行して防災関連ユーザ等へのヒアリングを通じて具体的なニーズを把握し、ミッション要求案を策定する予定。また、そのミッション要求案を踏まえ、衛星性能等に必要な要件を整理し、衛星計画を立案する計画。

検討中の光学衛星システム案

項目	ミッション要求案	衛星性能等の要件
ロケット	N/A	新型イプシロンまたはH3
打上げ質量	N/A	800kg以下
軌道	N/A	高度349km, SSO, 7日回帰
LST	10:30	同左
GSD	Pa 25cm Mu 100cm	同左
観測幅	8km	同左
SNR	100以上	北緯35°/春秋分/反射率15%
総合MTF	0.08以上	北緯35°/春秋分/反射率15%
寿命	5年以上	同左



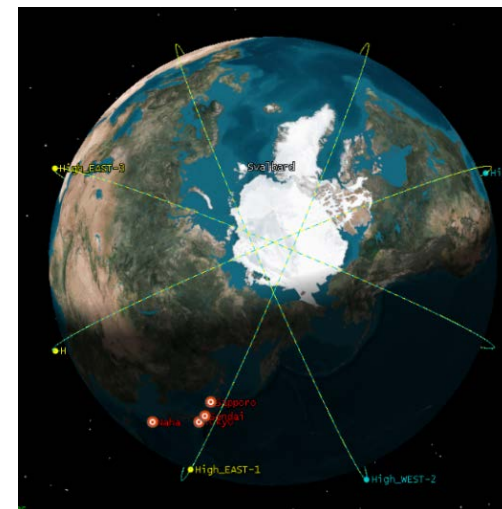
軌道上外観イメージ

○ SAR観測衛星の概要

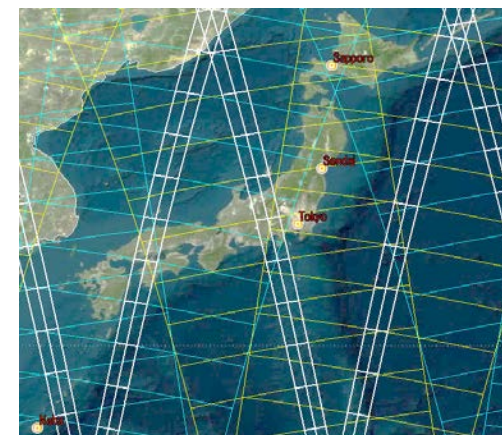
- (1) 現在検討中のSAR観測衛星システム案を下記に示す。
- (2) 本システムは4つの軌道面 (LST 7:30/10:30/13:30/16:30) にそれぞれ2機 (計8機) のSAR衛星を高度350kmに配置する。
- (3) およそ3時間おきに日本周辺の任意地点の観測を実現。
- (4) 観測要求から情報入手まで5時間以内を目標。

検討中のSAR衛星システム案

項目	ミッション要求案	衛星性能等の要件
ロケット	N/A	新型イプシロンまたはH3
衛星質量	N/A	800kg以下
観測頻度	3時間おき ^{注)}	高度350km、 LST 7:30/10:30/13:30/16:30
ターンアラウンド ^{注)} 時間	5時間以内目標	同左
分解能	(高分解能モード時) Az 0.5m × El 0.86m	同左 (広域観測モードについても検討中)
観測領域	(高分解能モード時) AZ 10km × EL 10km	
NESZ	-19.1dB	同左
寿命	5年以上	同左



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。

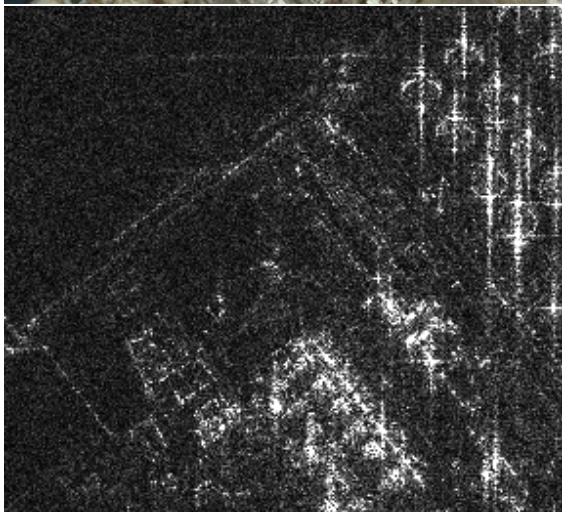
項目	Lバンド	Xバンド	Kuバンド	Kaバンド
周波数帯	1.2GHz	9.6GHz	13.5GHz	35.75GHz
国際周波数割当	85MHz	1.2GHz	500MHz	500MHz
レンジ分解能	3m級	30 cm級	60 cm級	60 cm級
大気減衰量	◎ ほぼ影響なし	◎ 0.12dB 程度	○ 0.17dB 程度	△ 0.7dB 程度
降雨損失の影響	◎ ほぼ影響なし	◎ 0.17dB	○ 0.57dB	△ 5.6dB
アンテナサイズ	△ 大型アンテナが必要	- (基準)	○ Xより小さい	◎ Kuより小さい
新規性	△ ALOSシリーズで実績有。	△ 国内・海外含めて多数の実績有。	◎ 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。

光学観測の例



ALOS-2の観測
 画像例
 分解能：3m



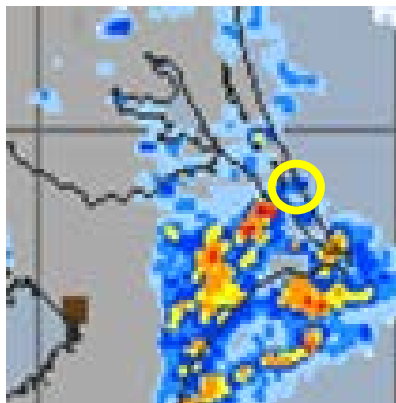
Xバンド航空機
 SARによる観測
 画像例
 分解能：0.7m



Kuバンド航空機
 SARによる観測
 画像例
 分解能：0.5m

- 下図にXバンドおよび Ku バンド SARによる雨天時における観測画像例を示す。
- 一般的な5mm/hour程度の降雨時は、Kuバンドでゴースト上の偽像（アンビギュイティ）が見られるものの、降雨減衰により後方散乱が弱くなり、画像が暗くなる影響は無いことが分かる。

降雨時



出典：気象庁HP

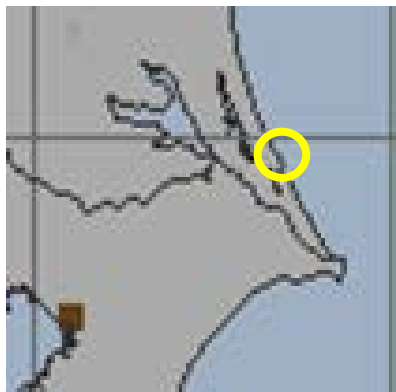
Kuバンド



Xバンド



晴天時



出典：気象庁HP

Kuバンド



Xバンド



貨物船(全長317m)



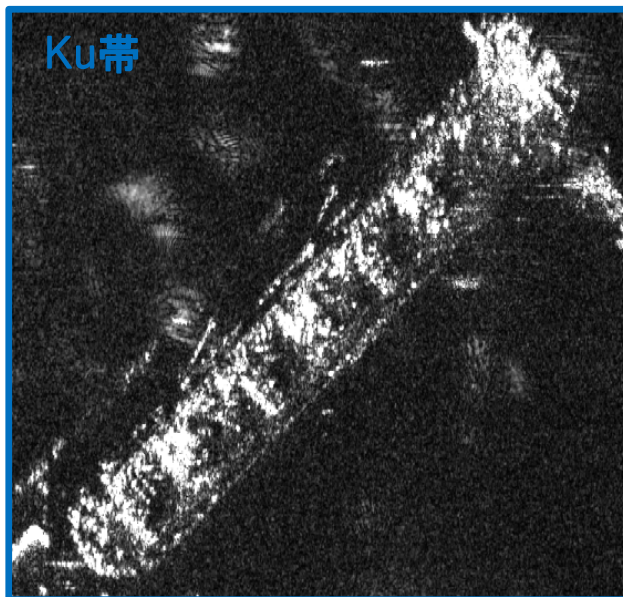
Ku帯



X帯

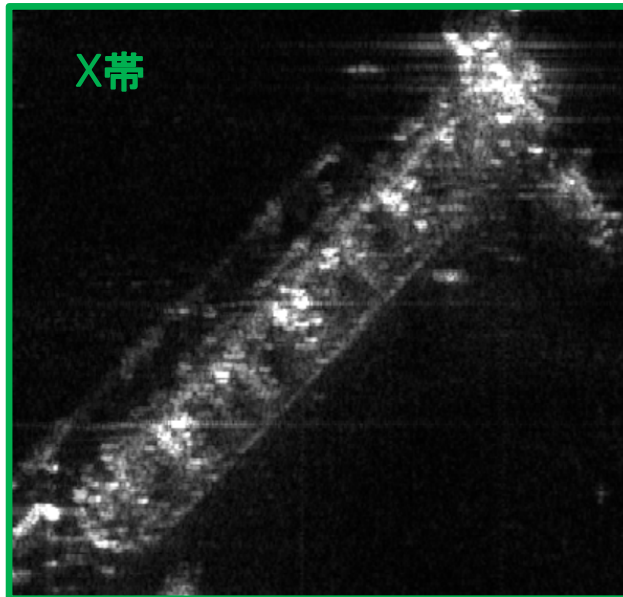


Ku帯



Kuバンド航空機
SARによる観測
画像例
分解能：0.5m

X帯



Xバンド航空機
SARによる観測
画像例
分解能：0.7m

電波モニタミッション

地上における電波環境を衛星から広範囲に測定し、発信位置を特定することで、地上および海上の活動や電波利用状況を把握し、船舶動向の多角的な把握および混信解消などの社会課題の解決を目指す。

ミッション例	意義・必要性等
<p>①船舶等監視 (AIS@VHF帯と相補的に船舶レーダ@X帯の受信など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AISは観測幅が広いいため、東シナ海や日本海等の船舶過密域で混信により受信率が低く、また、AISを発信していない船舶が存在する。 • 超低高度では観測幅が狭くなるものの、AIS信号の受信領域が限定されることで過密域における混信を回避できる。 • また、X帯のレーダ波を受信することで、AISでは検出できない船舶動向を把握することが可能となる。 • 上記により、海洋監視能力向上に貢献する。
<p>②電波監視 (総務省電波監視システム DEURAS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 地上で行われている電波環境の利用・混雑状況を、海上、海外を含めて広域的に把握する(国際協力に寄与する)ため。 • 不法電波を監視し、電波干渉を防止する手段の検討に資する。
<p>③電波源インフラモニタ (航空関連、基地局等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 無人の電波源インフラを衛星を用いて点検することにより、無線局管理コストを低減させることが期待できる。

- ① 2017年10月、内閣府主催で開催された民間宇宙ビジネスアイデアコンテスト「S-Booster 2017」にてANA社員より提案された「超低高度衛星搭載ドップラーライダーによる飛行経路・高度最適化システム構築」が大賞およびスカパーJSAT賞を受賞された。
- ② 衛星観測（ドップラーライダー）で大気の動きを検出し、航空機の飛行航路を最適化するというもの。提案者によると、1年間の経済効果は3000億円以上になると試算されている。
- ③ SLATS後継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を搭載した超低高度衛星のシステム実現性について検討を行いたいと考えている。

ANA殿のS-Booster2017における提案概要

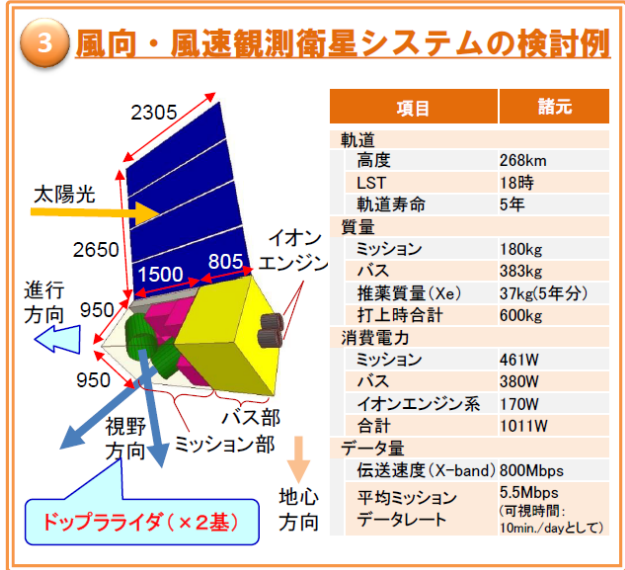
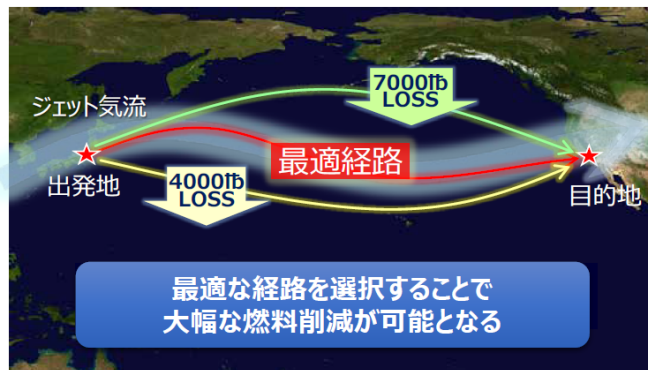
出典：<http://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai64/siryou1-2.pdf>

- 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



DWL搭載超低高度衛星の検討例
(SLATS後継バスで対応可能な
リソース)

- SLATS後継ミッションとして「超低高度衛星コンステレーション」による防災ミッションの検討状況を報告した。
- 超低高度衛星群による高分解能・高頻度のスポット観測とALOSシリーズの広域観測の組合せにより災害発生前後の観測データから被災状況を迅速に把握出来る体制を構築し、防災分野等に貢献する。
- 防災対応に関連するユーザ機関からの意見を元にミッション要求を策定し、上記ミッションの実現に向けた計画を具体化したいと考えている。