

国立研究開発法人連携講座フロンティア  
宇宙工学研究拠点  
(地球観測センサ科学研究拠点)  
第二回 ワークショップ

# SARセンサの開発方向性について

三菱電機株式会社  
中村 聖平

2022年02月15日

## 0.自己紹介

---

### ■自己紹介

中村 聖平

三菱電機株式会社 鎌倉製作所

衛星情報システム部 衛星技術第二課 チームリーダー（係長）

### ■職歴

2006年：三菱電機株式会社入社 情報技術総合研究所配属

2011年：同社 鎌倉製作所異動(一度研究所に戻りましたが、割愛)

### ■担当業務

主に、合成開口レーダ（SAR）のハードウェア開発、及びセンサの信号処理を担当する部署  
これまで、ALOS-2衛星、ALOS-4衛星、ASNARO-2衛星、ImPACT/Strix衛星等の  
SARシステム開発・軌道上運用を担当。

H/W設計に加え、SAR画像再生処理等の開発等を実施

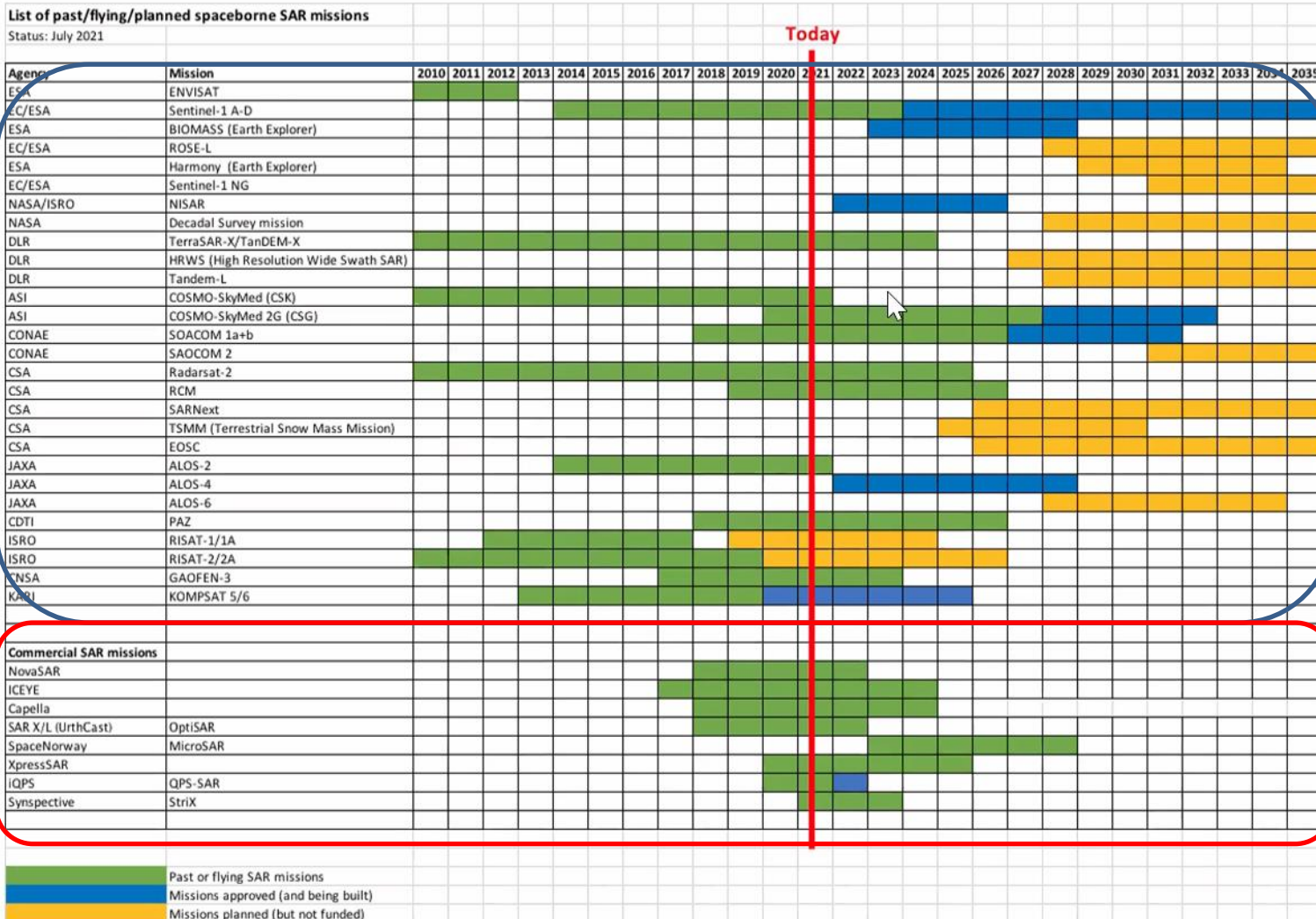
その他、研究所時代に、画像レーダ（パッシブレーダやSAR利用等）関係の信号処理に従事

### ■衛星SAR開発経験

ALOS-2/PALSAR-2、ALOS-4/PALSAR-3、ASNARO-2 SAR、ImPACT/Strix SAR

# 1.SAR技術トレンド

官需/民需や大型/小型ともに継続的な開発が計画されている。



「INTERNATIONAL COORDINATION OF FUTURE SPACEBORNE SAR MISSIONS - AN OVERVIEW」

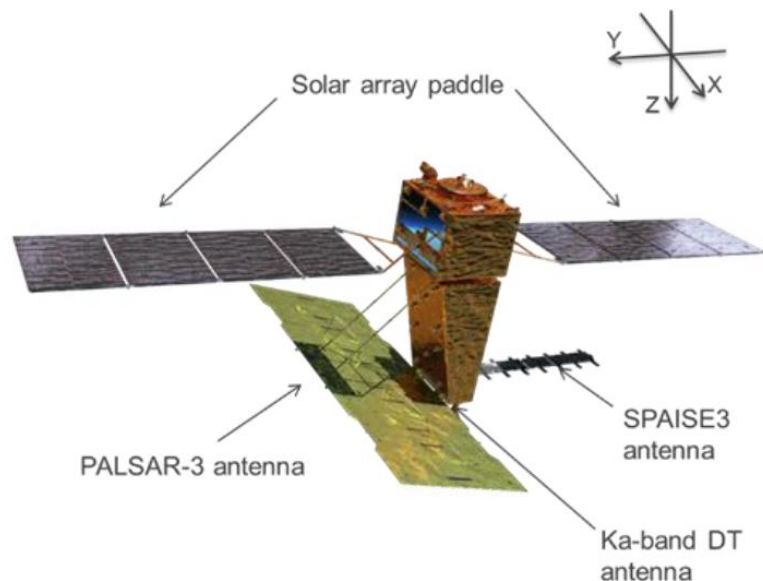
著者： Maurice Borgeaud, European Space Agency (ESA), Italy; Charles Elachi, California Institute of Technology, United States

## ALOS-4/PALSAR-3

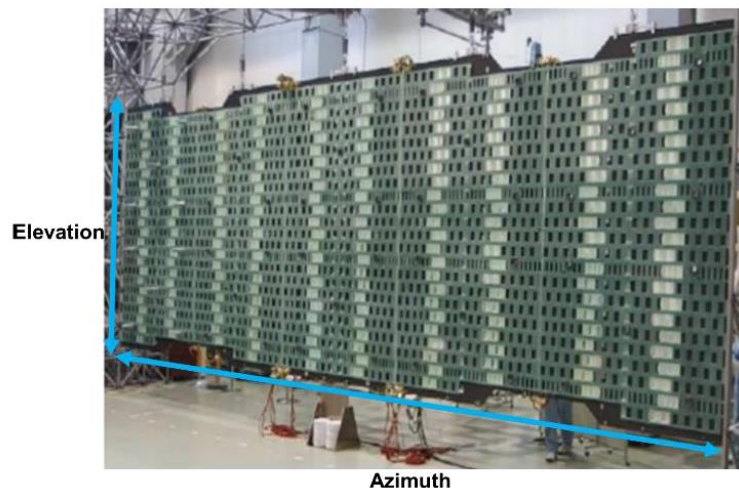
ALOS-2/PALSAR-2の後継ミッションでDBF技術導入による広域観測実現による高頻度なベースマップ観測を実現。観測幅200kmを実現することで、活火山などの観測頻度を3か月に1回から2週間に1回と大幅に向上。

また、ALOS-2/PALSAR-2と同一軌道によるデータ継続性を実現。

高性能型船舶自動識別装置 (AIS)であるSPAISE3を搭載し、SARとの協調観測による海洋監視を実現  
2022年度内の打ち上げ予定



Parameter	Value
Frequency	L-band
Bandwidth	84MHz (max)
Incidence angle	8 – 70 [deg]
SAR observation mode (tentative)	Spotlight / Stripmap / ScanSAR
Spatial resolution	3m x 1m (Spotlight) 3m x 3m, 6m x 6m, 10m x 10m (Stripmap) 25m x 25m (ScanSAR)
Observation swath	35km x 35km (Spotlight) <b>100km – 200km (Stripmap)</b> <b>700km (Scan SAR)</b>
NESZ	< -20dB
Satellite observation	Right looking / Left looking (switchable)
Polarimetry	Single / Dual / Quad
Antenna	Active Phased Array Antenna
Antenna size	3.7m x 10m
Transmit Power	7,888W



# 1.SAR技術トレンド

## ROSE-L

Sentinelの拡張ミッションとなるL-band SAR衛星で2機によるコンステレーションを予定。軌道をSentinel-1A/B (C-band) と同一軌道とし、デュアルバンド観測によるサイエンス目的の利用を実施。  
ALOS-4と同程度の観測性能を有し、DBF等による広域観測を実現し、主にベースマップ観測が目的とする。

- 2 satellites: L-band SAR (85 MHz available bandwidth)
  - Option for 3<sup>rd</sup> satellite
- Spatial resolution better 50 m<sup>2</sup> (e.g. 5 x 10m)
- Min. revisit time (2 satellites): < 6 days, < 3 days (Europe), < 1 day (Arctic & costal areas of Antarctic)
- Swath Width > 260 km compatible with S-1 IWS mode
- **Same orbit and acquisition geometry as S1 (two frequency system of systems)**
- Polarisation: Single (Wave Mode), Dual- and Quad-pol
- Supports of repeat-pass and option for single-pass interferometry
- NESZ < -28 dB & DTAR < -23 dB
- High radiometric accuracy
- Right-looking (coverage of Arctic prioritised)
- Mission duration: 7 years (nominal)

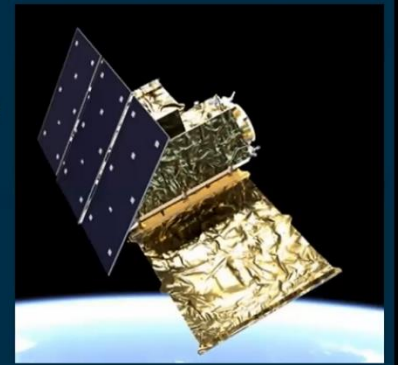
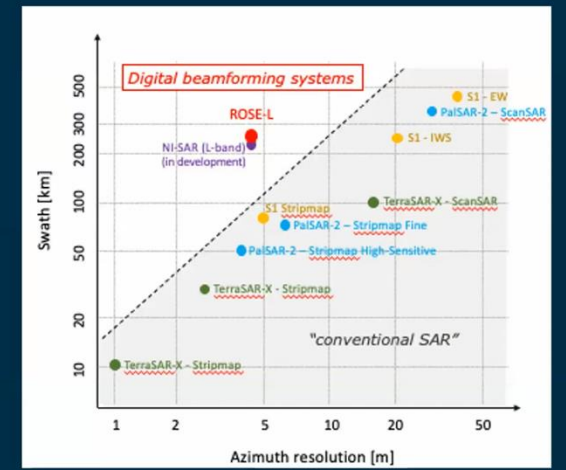


TABLE I. DUAL- & QUAD-POLARISATION MODE KEY PARAMETERS

Parameter	Value
Ground resolution cell size (dual-pol)	< 50 m <sup>2</sup>
Ground resolution cell size (quad-pol)	< 100 m <sup>2</sup>
NESZ	< -28 dB
DTAR	< -23 dB
Swath width	> 260 km
Incidence angle access (dual-pol)	25 – 46 deg
Incidence angle access (quad-pol)	1 swath within 25–46 deg
Radiometric stability (3-sigma)	< 0.5 dB
Absolute radiometric accuracy (3-sigma)	< 1.5 dB

- Swath width: 260 km
- + Azimuth resolution: 50m2 e.g. 5 x 10m
- + NESZ < -28 dB
- + Total ambiguities < -25 dB
- + Dual-pol (baseline) + quad-pol mode at lower resolution (100m2)
- + L-band
- + VEGA-C launcher
- + High Duty Cycle
- = *Satisfying the Copernicus Users*

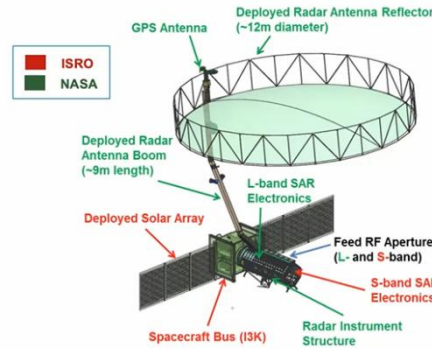




# 1.SAR技術トレンド

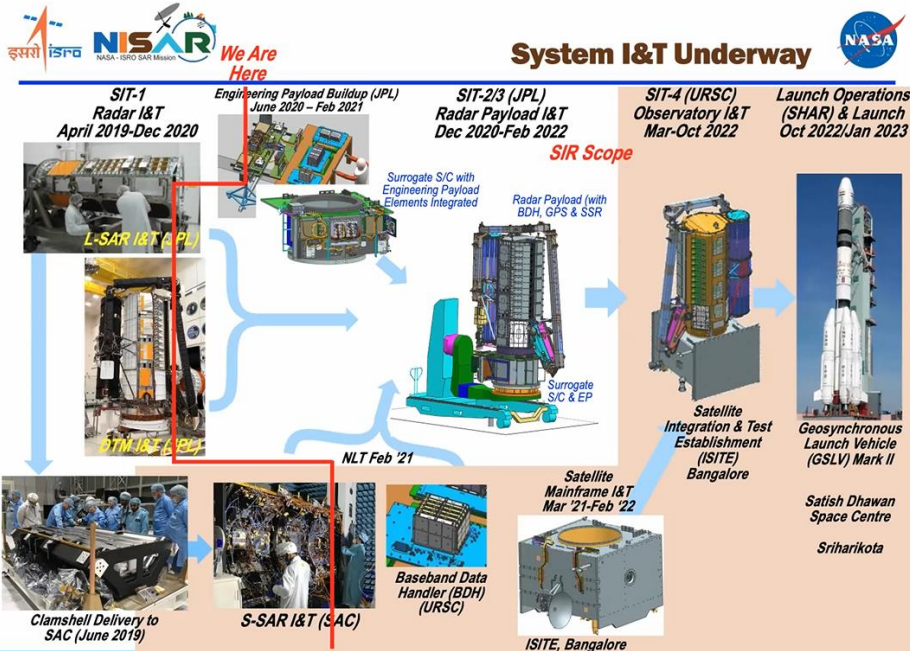
## NISAR

L-band(NASA)/S-band(ISRO)のデュアルバンドSAR衛星で、ベースマップ観測が主目的のため、left-look固定で、継続的な観測を実施する。  
広域観測（240km観測幅）を実現するために、SweepSAR方式を採用している。  
SARサブシステムはL/S-bandともに開発が完了しており、2022/10-2023/01打ち上げ予定



	Mass (kg)	Power (W)
Spacecraft Mainframe	920	1312
Engineering Payload	134	640
L-SAR	283	1515
S-SAR	314	2757
Common Instrument Structure	466	
Reflector and Boom	292	
Propellant	269	
<b>Total</b>	<b>2678</b>	<b>6224</b>

NASA Provides	ISRO Provides
<ul style="list-style-type: none"> <li>L-band SAR</li> <li>Shared P/L structure &amp; 12m reflector and boom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S-band SAR</li> <li>S-SAR baseband data handling (BDH)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Engineering payload                             <ul style="list-style-type: none"> <li>GPS, Power &amp; Pyro</li> <li>Payload Data System with 12 Tb recorder</li> <li>NEN-compatible high rate Ka-band system</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spacecraft Bus (I3K)</li> <li>ISRO-compatible high rate Ka-band system</li> <li>Observatory I&amp;T</li> <li>GSLV Launch Vehicle</li> </ul>
Integrated radar observation planning and operations	Spacecraft operations (command uplink, telemetry and tracking)
L-SAR data downlink to NEN Ka-band stations	S-SAR, select L-SAR data downlink to ISRO stations
L-band science data processing and distribution	S-band science data processing and distribution
NASA Science Team	ISRO Science Team



# 1.SAR技術トレンド

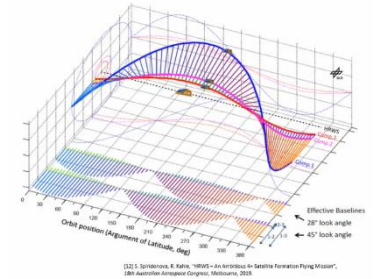
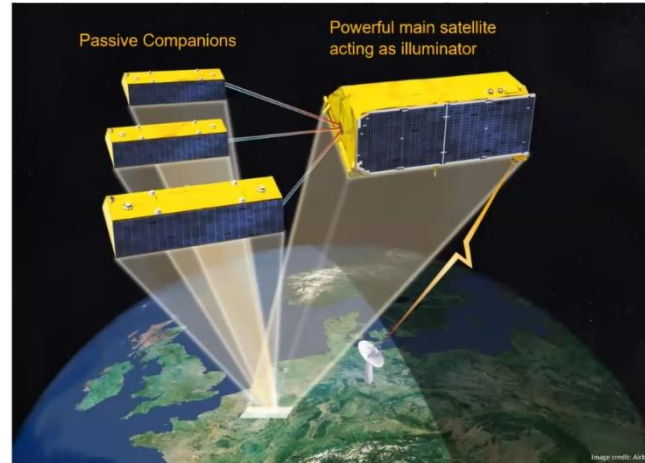
## HRWS

TerraSAR-X/Tandem-Xの後継機として開発。InSARによるDEM生成のためにマルチスタティックSAR

(MirrorSAR)を採用。MirrorSARでは、送受信衛星(メイン衛星)の他に受信専用衛星が3機、ヘリックス軌道で飛行する。

TerraSAR-Xから継続し、X-band、最高1200MHz帯域幅(0.25cm分解能)を実現する。また、多様な観測モードを有している。

MirrorSARでは、MirrorSAR-Linkによる衛星間通信による同期を実現することで、受信専用衛星はRF回路部のみを有し、データ記録部等を排除。観測信号は全てメイン衛星に送信され、メイン衛星にて地上にダウンリンクする。

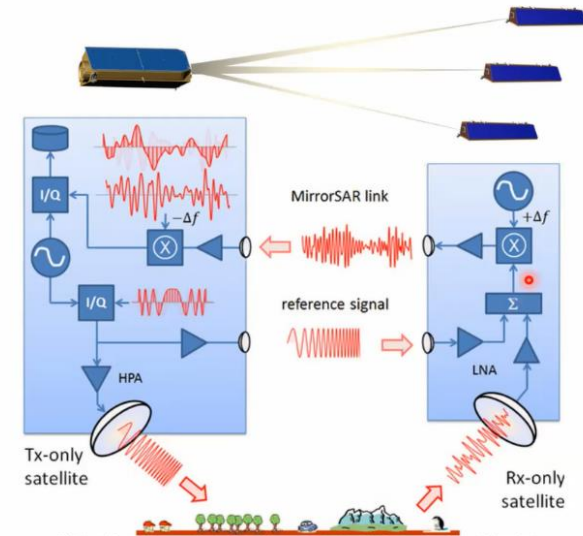


### Multistatic operation

- Main Satellite on TerraSAR-X reference orbit
- Companions flying in helix formation
- Cross-track baselines with radius  $R_1 \leq 1650$  m

## HRWS | MirrorSAR

LN	観測方式	分解能	観測幅
1	Staring Spotlight	25cm	10 x 10 km <sup>2</sup>
2	Sliding Spotlight		25 x 25 km <sup>2</sup>
3	Sliding Spotlight		15 x 15 km <sup>2</sup>
4	Stripmap	1m (az)	Swath 50km
5	Stripmap	3m (az)	Swath 80km
6	Stripmap	2m	Swath 30km
7	Spotlight Theatre	25cm	7.5 x 7.5 km <sup>2</sup> 8area within 100km <sup>2</sup>
8	ScanSAR	2m(rg) x 16m(az)	up to 500+ km
9	Ship detection	>5m or > 15m	200km or 100km



[5] G. Krieger, M. Zorno, J. Mittermayer, A. Moreira, S. Huber, M. Rodriguez-Cassola, "MirrorSAR: A Fractionated Space Transponder Concept for the Implementation of Low-Cost Multistatic SAR Missions", EUSAR 2018, ISBN 978-9-8007-4836-1

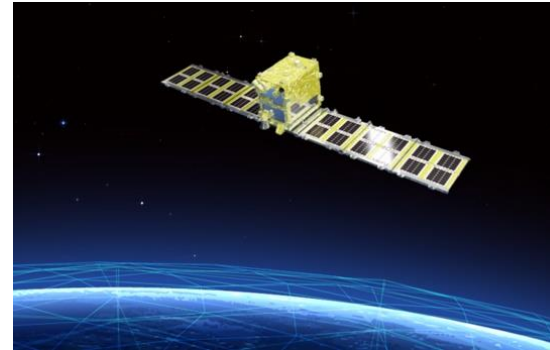


# 1.SAR技術トレンド

Synspective



2018年に設立。小型SAR衛星によるサービスの提供を目指し、2020年12月に最初の衛星を打ち上げ。2022年までに4機を打ち上げ、最終的には30機でコンステレーションを構築することを計画。



<https://synspective.com/jp/satellite/>

	StriX-a
SARモード	Sliding Spotlight /Stripmap
周波数	X帯
地上分解能	1m / 3m
観測幅	10km/30km
偏波	VV
NESZ	-16dB / -20dB
S/A	>15dB
アンテナ寸法	4.9m x 0.7m
衛星質量	100kg級



Sliding Spotlightモードによる羽田空港(21年4月)

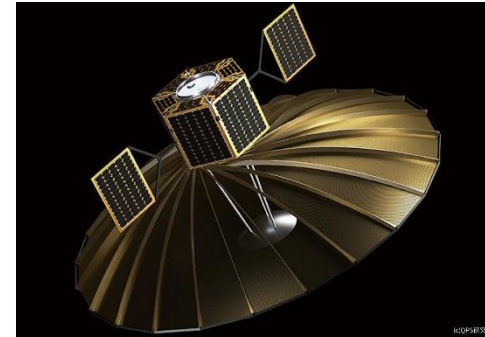




# 1.SAR技術トレンド

## QPS研究所

2005年に設立。九州大学を中心に九州の中小企業の技術を結集し、小型SAR衛星他衛星搭載機器の開発を行う。小型SAR衛星では2019年12月に初号機、2021年1月に2号機を打ち上げ同3月に初画像取得。2025年を目標に36機のコンステレーションを計画。



<https://i-qps.net>

	Izanami
SARモード	High resolution/Stripmap
周波数	X帯
地上分解能	1m (High resolution mode) 1.8m(Stripmap mode)
アンテナ	カセグレンアンテナ
質量	10kg級 (アンテナ)
寸法	3.6mΦ
ゴール	世界のほとどの地点でも約10分で観測してデータを提供する

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000011.000049970.html>



Stripmap modeにおける倉敷市の画像 (21年2月)

<https://i-qps.net/news/476>



# 1.SAR技術トレンド

## ICEYE

2014年に設立。小型SAR衛星を開発・運用を行い、18機の衛星コンステレーション構築を目指す。2018年12月にICEYE-X2の打ち上げに成功。21年8月現在、14機のSAR衛星を軌道上にて運用。  
2020年7月に、SAR衛星観測データを研究者向けに無償で提供することを発表。

# ICEYE

## ICEYE-X1



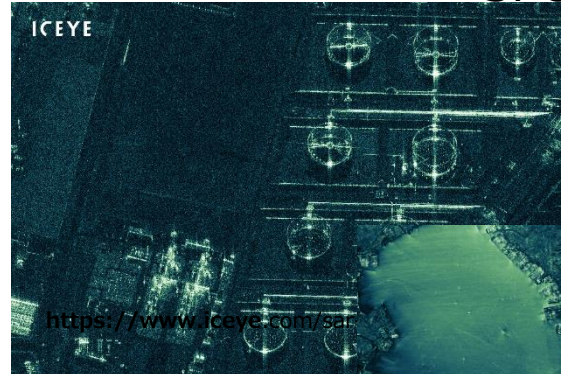
## ICEYE-X2



	ICEYE constellation(2021)
SARモード	SPOT / Stripmap / (Scan :開発中)
周波数	X帯
地上分解能	1m / 3m / (15m)
観測幅	5km/30km / (100km)
偏波	VV
NESZ	-15dB / -20dB / -22dB
S/A	15dB(Az) 20db(Rg)
アンテナ寸法	3.2m x 0.4m
衛星質量	85kg
観測duty	最大3分/軌道、連続2分/起動
特長	14機の内、特定顧客衛星を含む

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/iceye-constellation>

## SPOT



## Strip

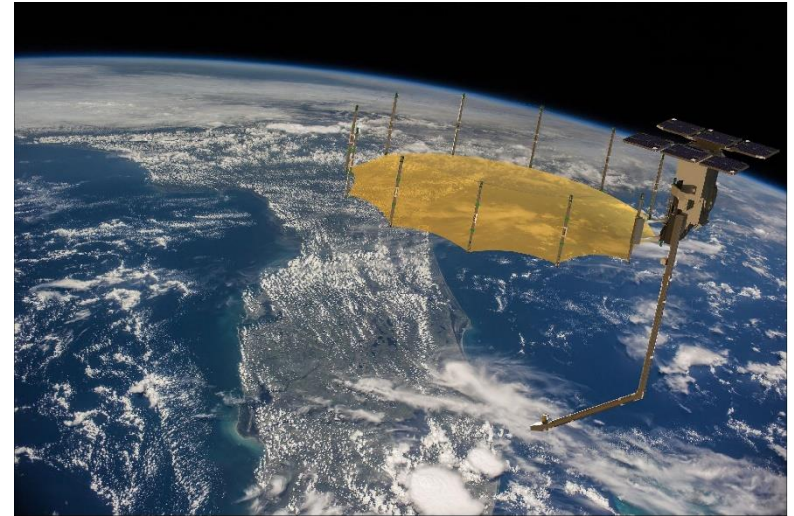


# 1.SAR技術トレンド

## Capella

2016年に設立。2018年12月に試験機(Denali)の打ち上げに成功。2020年に米国初の商業SAR衛星Capella-2の打ち上げ成功。その後2020年までに18基の打ち上げを完了、年間12機の打ち上げを目指し、Revisit time 1時間を目指して開発・運用を継続。

SARモード	Spot/Site(SLDspot)/Strip
周波数	X帯
地上分解能	~0.5m/~0.8m/~1.2m
観測幅	5km / 5km x 10km/ 5km x 20km
偏波	HH
NESZ	不明
S/A	不明
アンテナ	メッシュ型展開アンテナ
アンテナ寸法	8m <sup>2</sup> /直径3.5m
衛星質量	100kg以下
観測duty	10分 /周回 連続観測時間：約500秒



<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/capella-x-sar>



Kenedy Space Center 打ち上げ台 (LC39A)



「SARセンサを設計する」とは？

### ①ミッションの決定

ユーザからの要求を刈り取り、衛星システムとして実現すべきミッション要求を決定します。  
例：地球観測センサ、昼夜観測可能、年間n回以上の観測実現、災害情報の利用、海洋観測等

### ②衛星の検討（近年は、衛星と地上の機能配分を実施する総合システム検討から実施することが多い。）

ミッション要求を受けて、衛星の実現性・規模の概念設計を実施します。  
例：衛星サイズ（大型/小型等）、LバンドSAR衛星、運用形態（必要機数、コンステレーション）、  
観測性能（分解能xxm、観測幅xxxkm）、データ配信時間XX分以下、  
打ち上げ時期や定常運用開始時期 XX年、総開発費用■円等

### ③衛星・SARセンサ開発

衛星の検討結果を受けて、本格的な衛星の開発を実施する。  
例：開発メーカーの選定、要求仕様の確定、開発内容の決定  
SARセンサ開発（アンテナ方式、電気回路要求等）、  
機械設計（衛星質量xx t級、打ち上げロケットとのI/F設計）  
地上システムのサーバ台数、開発計画の決定等



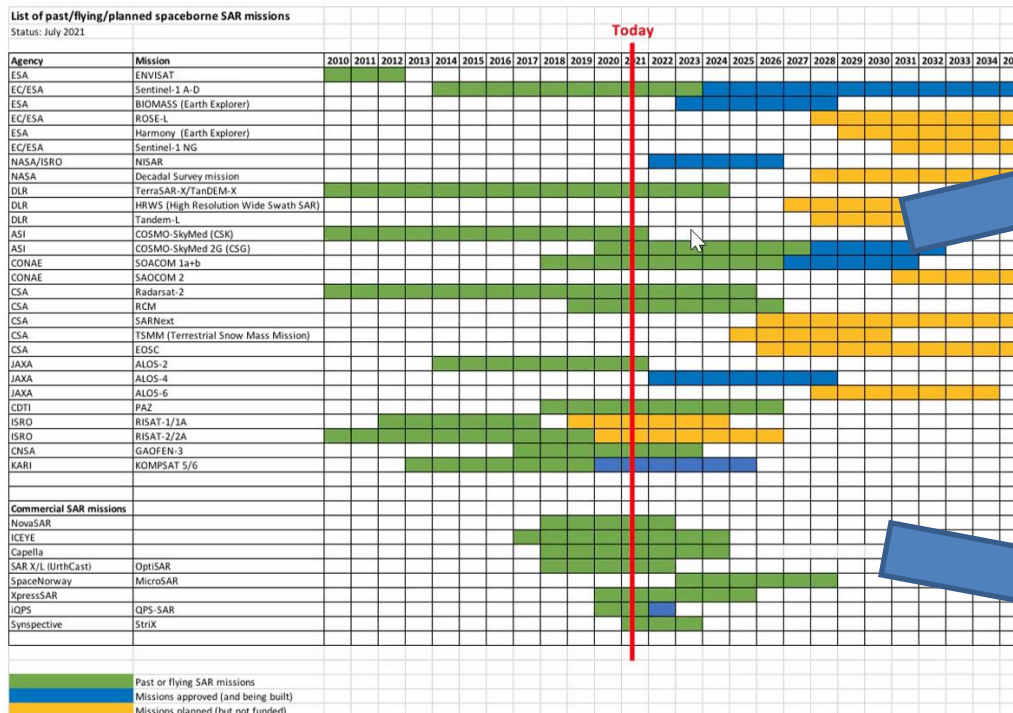
## 2.SAR開発の方向性

### 大型SAR衛星

高画質・広域観測の両立を実現し、【安定的に】ベースマップ観測を実現  
 災害時などのイベントに向けた準備の観測あり、広い観測目的に沿ったインフラのような立ち位置に近い。このため、政府等の資本による開発・運用が必須  
 ⇒多様な観測要求に応えられるマルチビームSAR方式の開発が必要

### 小型SAR衛星

大型では実現できない【即応的な】局所観測を実現  
 災害発生時等のイベント発生からの観測等、観測目的に沿った観測が可能であり、特定ユーザ等に向けた商用開発が容易  
 ⇒衛星のアジリティ向上のための軽量化及び画像配信時間短縮に向けたオンボード処理開発が必要



広域・高頻度観測  
 ・広域を高画質  
 ・リピート観測

局所・即応観測  
 ・狭域を高画質  
 ・機数でアジリティを上げる。

### 3.MELCOの取り組み

MELCO（メーカー）としては、大型/小型SARを実現するSARシステムの開発を供することが出来ることが大事と認識している。

ALOS-4等の大型SAR衛星向けの高機能SARシステム開発に加えて、小型SARシステム向けのSARシステムとして、電気回路部及びアンテナ部の開発を実施してきた。



### 3.MELCOの取り組み

#### ■ 超小型電気回路及び2次元APAA方式アンテナ開発

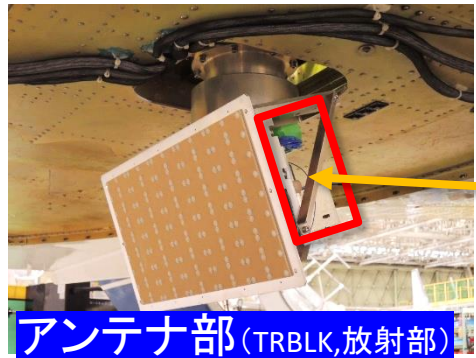
超小型電気回路部の製造及び軽量APAA方式アンテナの開発を実施。APAA方式アンテナはスケラブルな設計としており、システムに応じてアンテナ規模の変更が可能である。

2次元APAA方式アンテナによるマルチモードSARを実現可能である。2021年4月にフライト試験を実施、SAR画像化を実施。

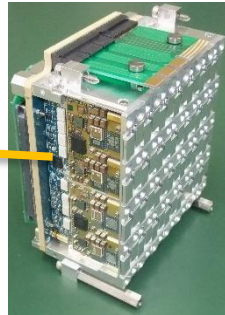
#### ■ 小型電気回路及びSAR-ANT開発



ラック部 (M-ELU, 電源, レコーダ)



アンテナ部 (TRBLK, 放射部)



M-ELU: 小型電気回路部  
TRBLK : 送受信ブロック



名古屋港撮像例(4/6火)



### 3.MELCOの取り組み

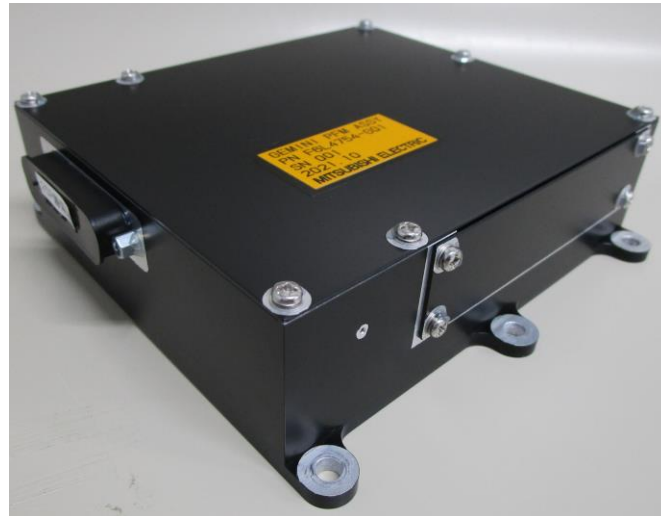
#### ■ オンボードデータ処理装置の開発

大容量データを扱うSAR信号処理のオンボード処理実現ためにGPU（民生品）を用いたオンボード処理装置（GEMINI）を開発。革新的衛星技術実証3号機に搭載予定(2022年度打ち上げ予定)。

- ・ オンボード処理として、GEMINI内でSAR画像再生処理及び高次処理を実施。
- ・ 同処理装置開発において、電気性能試験に加えて、機械環境試験、GPUへの耐放射性試験を実施し、適正な結果を得られた。PFM開発までが完了し、JAXA殿引き渡し済み。



GPU: Jetson AGX Xavier



GEMINI外観図

GEMINI: cots GPU based Edge-computing for Mission systems utilizing model based systems engineering

RAISE-3: RAPid Innovative payload demonstration SatellitE-3

平栗 慎也, 大迫 庸介, 吉田 実, 中村 聖平, 久恒 敬一, 渡 正行, 尾島 努: 民生GPU実証機の軌道上実証と開発状況,第65回 宇宙科学技術連合講演会



### 3.MELCOの取り組み

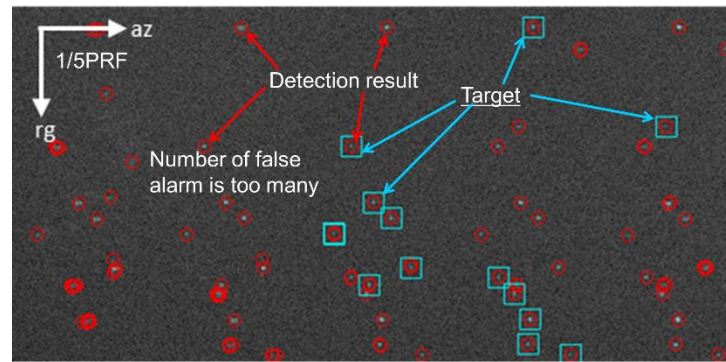
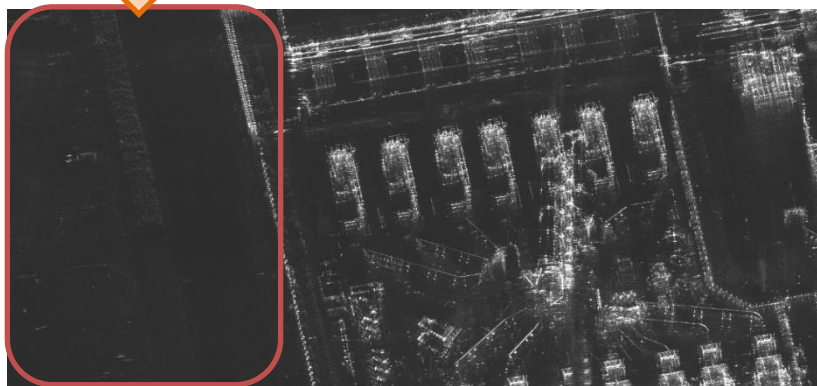
#### ■ 海洋監視モード

将来の海洋監視としての船舶検出目的として、超広域を観測するモード。観測幅拡大のために低PRFでの観測を実施することで、アジマスアンビギュイティが従来よりも強く発生し、誤検出が増加する。

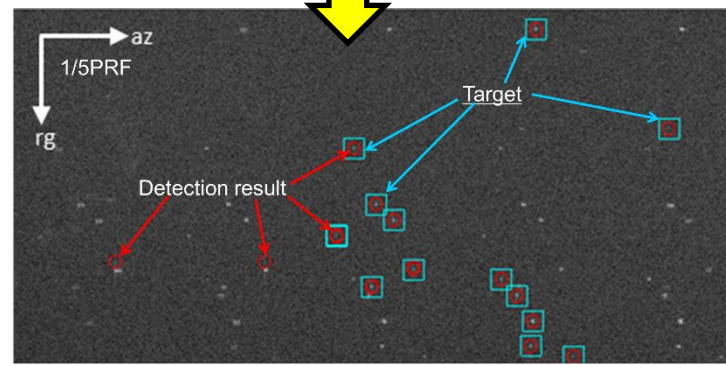
アジマスアンビギュイティの抑圧処理とターゲットを識別する画像処理により、現状の信号抽出処理(CFAR処理)の場合、多数のアンビギュイティによる多数の誤検知率を大きく低下させることが可能となる。



偽像抑圧処理



誤検知率低減



- SAR衛星の海外動向について報告した。
- SARセンサ設計及び動向調査結果から大型/小型SARの方向性について報告した。
- MELCOの開発内容について報告した。

ご清聴ありがとうございました。