

第6講

「エマージング・テクノロジーの動向と影響」 (宇宙領域)

宮崎 康行(JAXA宇宙科学研究所教授／日本大学特任教授)

0. 自己紹介

1. なぜ「宇宙」か？

2. 「宇宙」をめぐる昨今の動向

3. ディスカッション

皆さんが今後、政策を研究していく上で参考になることがあればと思い、資料を作成してきました。

ただし、「宇宙」に関する私見が多く含まれますので、意見・反論等をいただけるとありがたいです。

0. 自己紹介

経歴

★ 現在は企業さんと協働で宇宙科学衛星・探査機の研究・開発に従事しています

【現職】

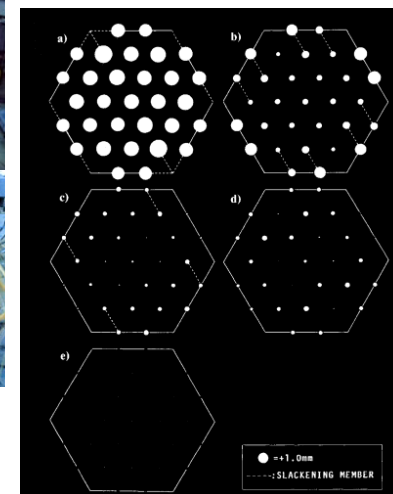
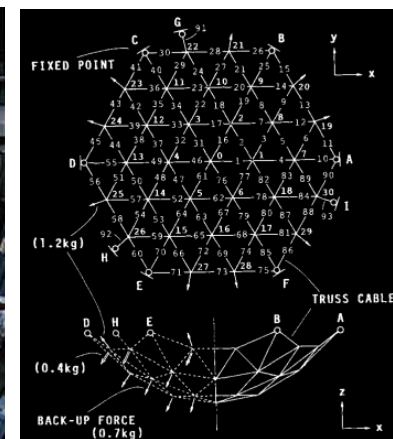
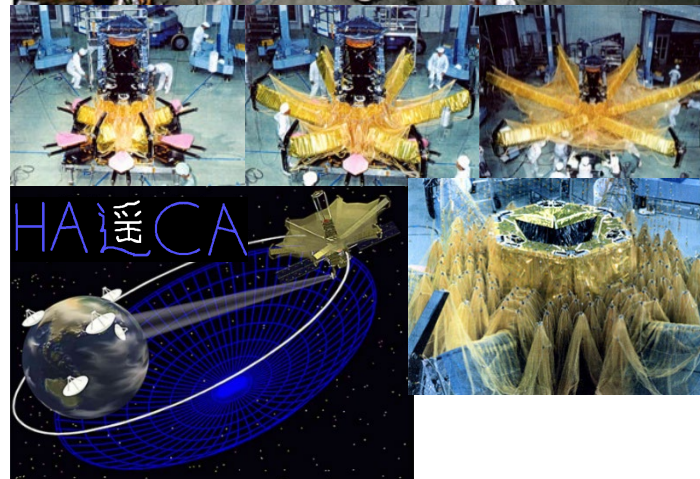
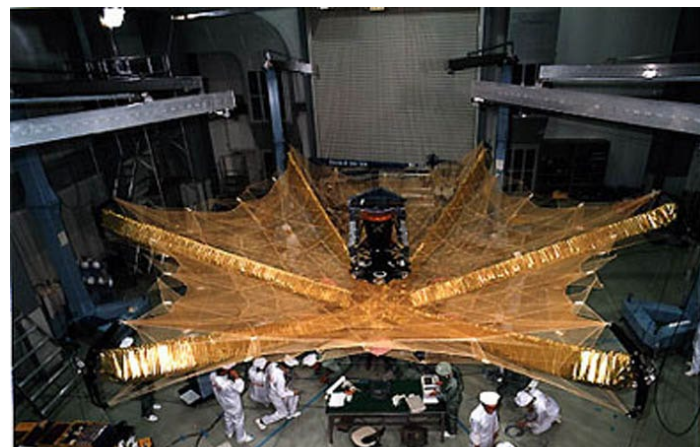
- JAXA宇宙科学研究所 教授(2020年10月～)
 - 総合研究大学院大学 物理科学研究系 教授
 - 日本大学理工学部 特任教授
 - 研究室には総研大生・日大生・神大生・早大生
- <https://stage.tksc.jaxa.jp/taurus>



【専門】

- 宇宙構造物工学(特に, 超軽量展開宇宙構造物)
- 宇宙構造物を利用した宇宙科学・探査(自分の研究成果が宇宙で使ってもらえるのは楽しい. しかし, 意義・価値が問われるので, 真剣勝負)

【経歴1】学生時代(～1993)

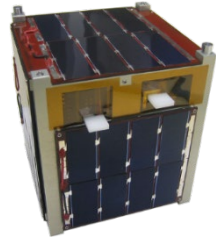


経歴

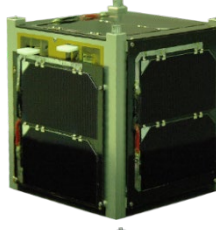
★ 現在は企業さんと協働で宇宙科学衛星・探査機の研究・開発に従事しています

【経歴2】日本大学での人材育成(1993～2020)

SEEDS
(2006)



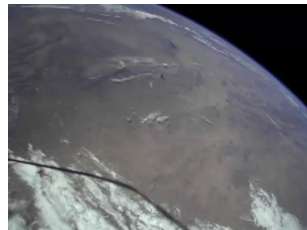
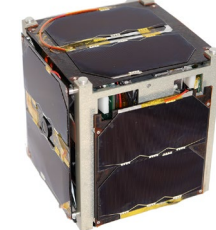
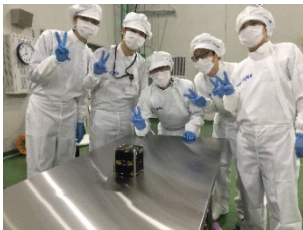
SEEDS-II
(2008)



SPROUT
(2014)

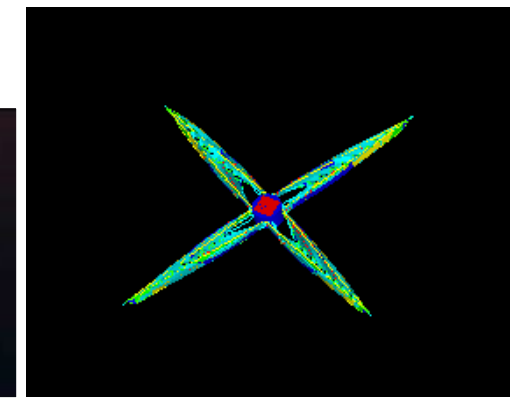
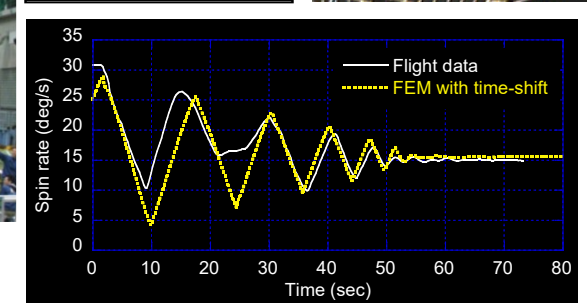
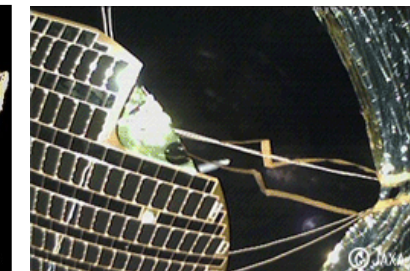
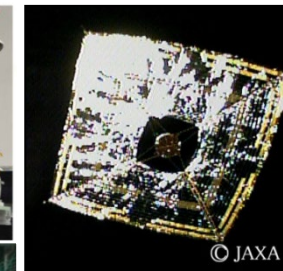
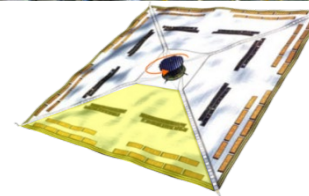
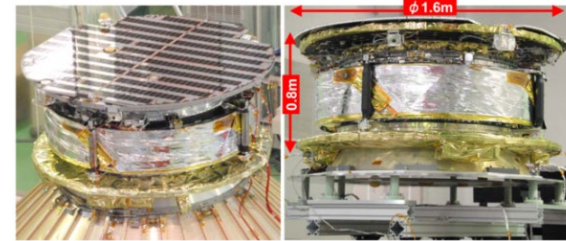


NEXUS
(2019)



【経歴3】JAXAとの共同研究・開発

IKAROS(2010)

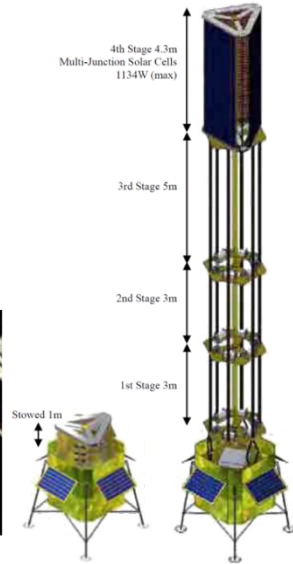
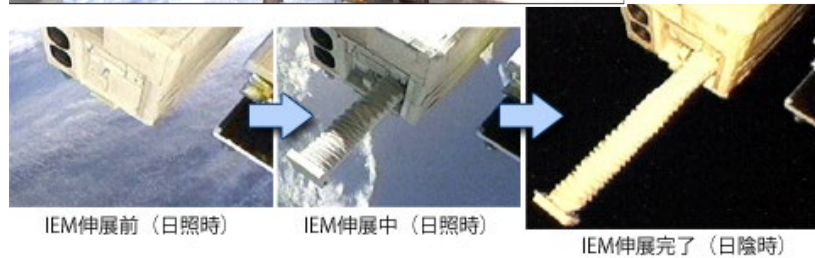
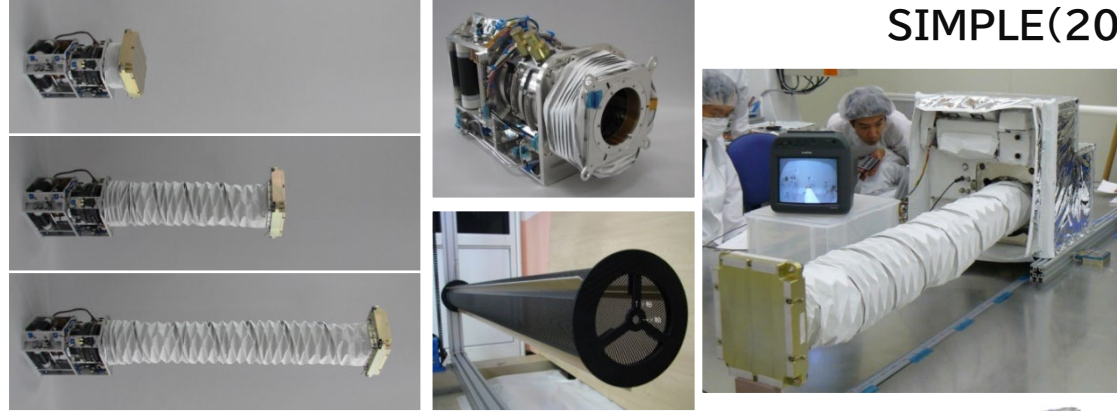


経歴

★ 現在は企業さんと協働で宇宙科学衛星・探査機の研究・開発に従事しています

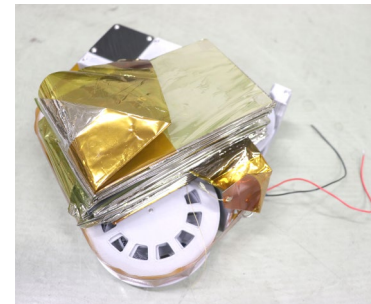
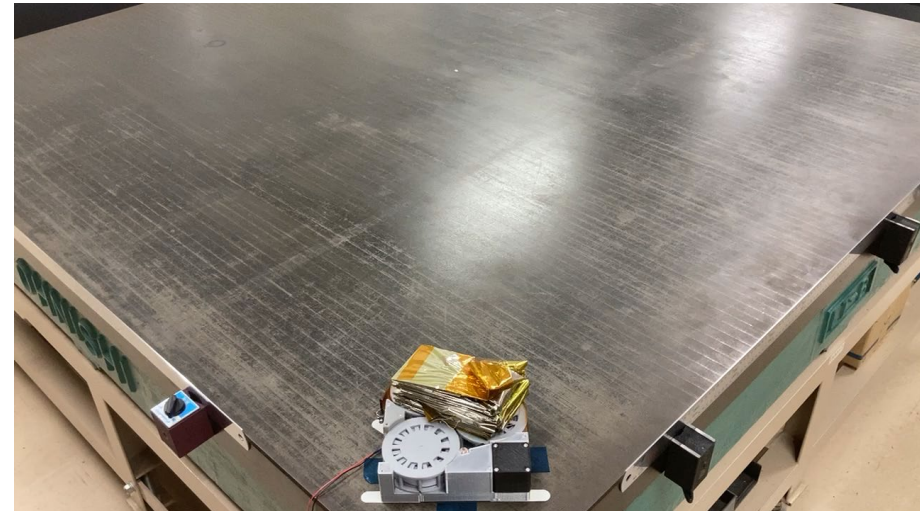
【経歴3】大学・企業・JAXAとの共同研究・開発

SIMPLE(2012)

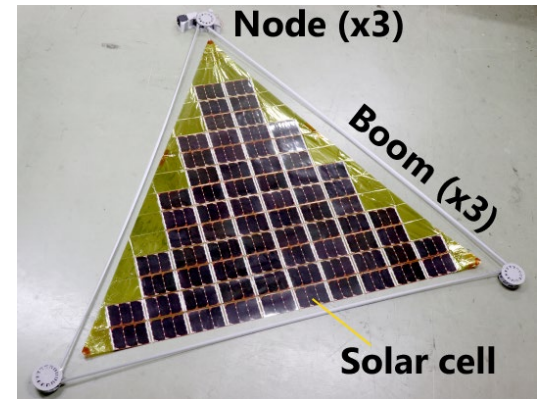


【経歴3】大学・企業・JAXAとの共同研究・開発

超軽量太陽電池パドル (2018-)



膜+セル245g
ブーム219g
ノード225g
1次0.5Hz



現在の研究・開発活動

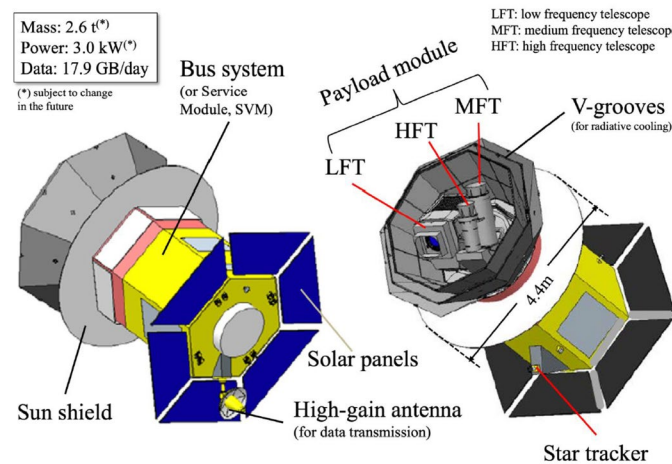
★ JAXAの宇宙科学衛星／探査機の枠組みの中での研究・開発

これから開発しようとしているものの設計・試作を企業さんと一緒にやっています

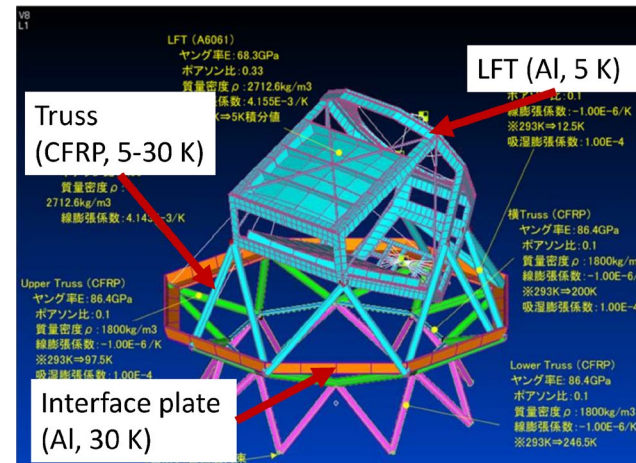
戦略的中型衛星／探査機(総額300～400億円以下)

公募型小型衛星／探査機(総額150～180億円以下)

その他(超小型衛星／探査機／月面の科学)



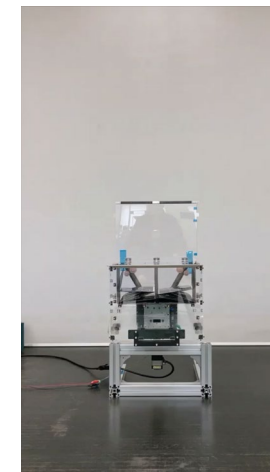
LiteBIRD(戦略的中型)



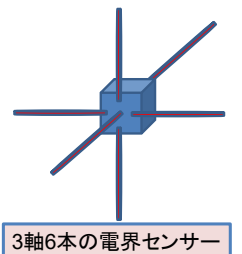
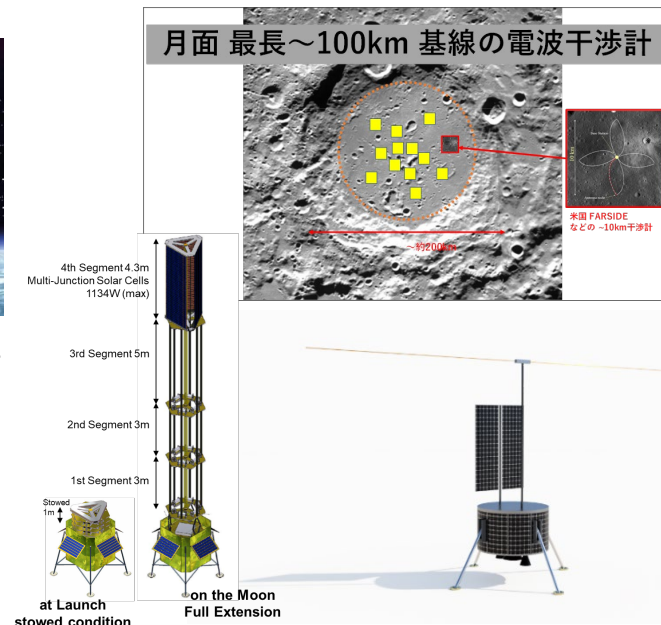
企業さんと宇宙研のメンバーとで設計している望遠鏡のお手伝い



<https://themachinemarket.com/ja/thales-alenia-space-selected-by-esa-to-build-comet-chaser-spacecraft/>



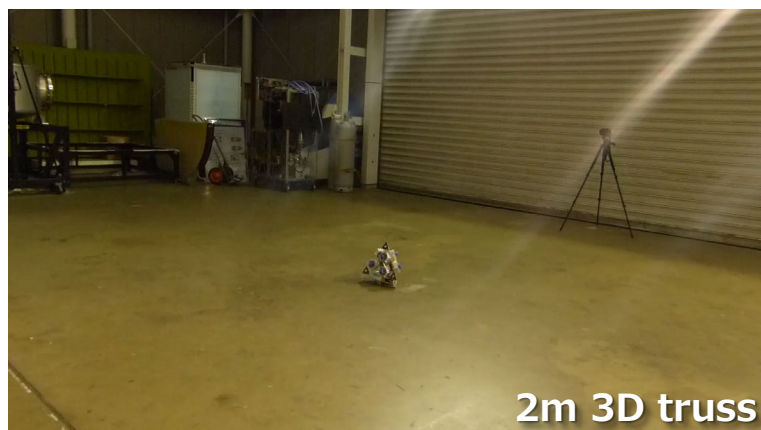
企業さんと一緒に要素開発(解析)



3軸6本の電界センサー

現在の研究・開発活動

★一研究者として, 将来, 宇宙で使ってもらえそうなものを研究
理論的に検討し, 数値シミュレーションと実験で確認し, 打ち上げる, という流れ



1. なぜ「宇宙」か？

宇宙の開発／利用／探査／観測を(税金で)やる理由は？

例えば,

- 1) 人類の英知の獲得
- 2) 人類の活動領域の拡大
- 3) 科学技術のフロンティア
- 4) 人材育成
- 5) 経済成長の推進力
- 6) 社会インフラ
- 7) 経済活動
- 8) 安全保障
- 9) ...

「宇宙を利用しなくても生活にはそれほど困らない」,
「費用対効果が低い」といった考えも従来はあったので,
宇宙関係者は常に「理由」を模索してきた(今では生
活に密着しつつあるが, それでも, 「理由」を自分自身に
問い続けることが大事).

当然だが, 例えば, 「人類の活動領域の拡大」のゴールは
何で, その意義・価値は何で, ゴール到達に向けてどん
な戦略をたてて, どうやって進めていくのかを考えない
といけない.

実際, 米国主導のアルテミス計画がスタートし, 日本も月
や火星の探査を進めることになったが, 日本として何を
狙うのかの議論が進められている.

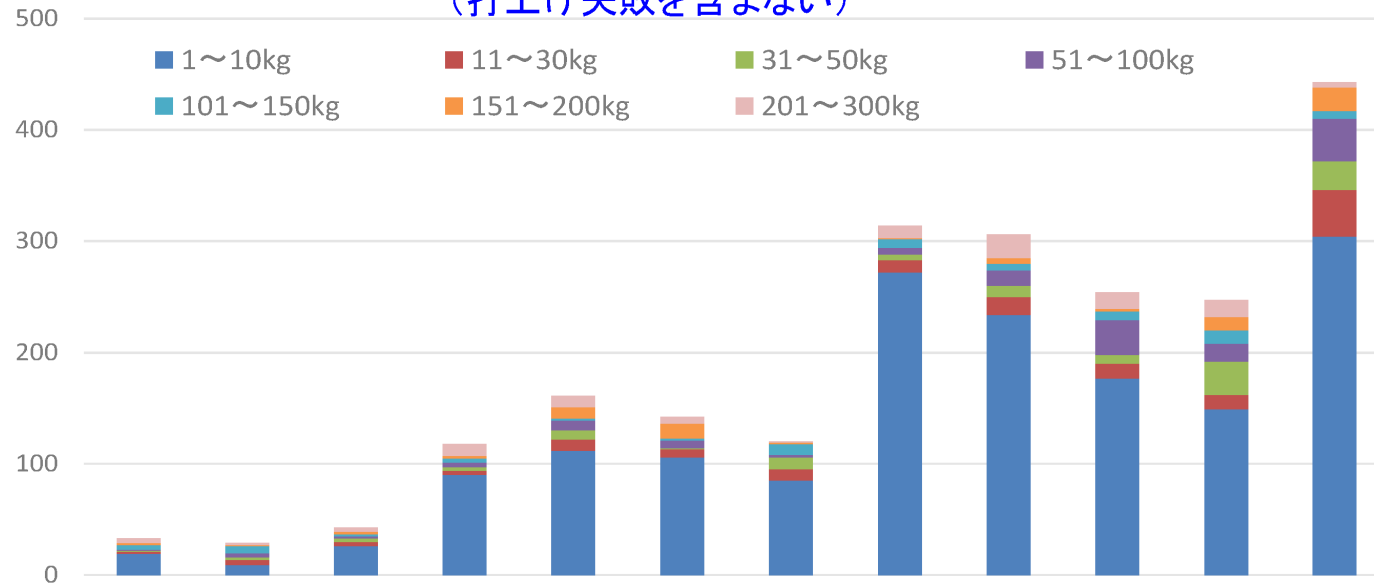
ただし, 長期にわたるので, 内外の状況が変化すること
がふつうで, その変化に対応しながら進めていく必要が
ある.

2. 「宇宙」をめぐる昨今の状況

2.1 民間の超小型衛星の急速な発展

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

(StarlinkやONEWEBを含まない) 1～300kg衛星における打上統計
(打上げ失敗を含まない)



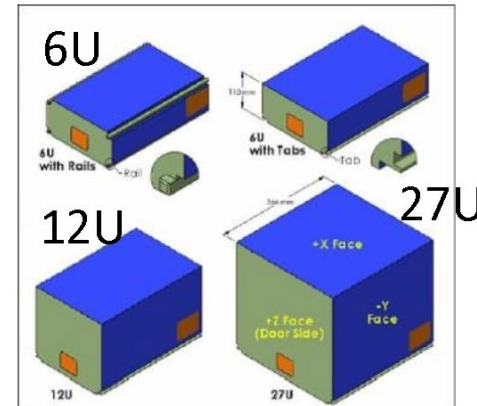
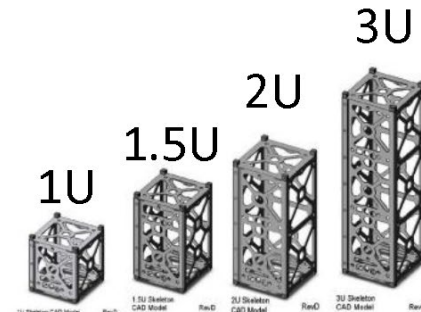
	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
1～10kg	19	9	26	90	112	106	85	272	234	177	149	304
11～30kg	2	5	4	4	10	7	10	11	16	13	13	42
31～50kg	1	2	3	3	8	1	11	5	10	8	30	26
51～100kg	1	4	2	4	9	7	2	6	14	31	16	38
101～150kg	4	6	2	4	2	2	10	8	6	8	12	7
151～200kg	2	1	2	2	10	13	1	1	5	2	12	21
201～300kg	4	2	4	11	10	6	1	11	21	15	15	5
合計	33	29	43	118	161	142	120	314	306	254	247	443

- 2020年打上予定だった小型衛星打上が翌年ズレたことで、メガコンステを除いても2021年小型衛星数は過去最多。
- 民間投資拡大による民間地球観測(光学&SAR)、IoT(AIS/ADS-B/M2M)通信、SIGINTビジネス衛星の打上が増加。
- 民間コンステ: PLANET, SPIRE, SWARM, KLEOS, Kepler, HawkEye360, Satellogic, Blacksky, ICEYE, Axcel Space等

✓ 古くは、中型／大型衛星を用いた、国による地球観測や技術開発、天文観測等の科学、測位、民間による通信や放送が主であったが...

✓ CubeSatの普及

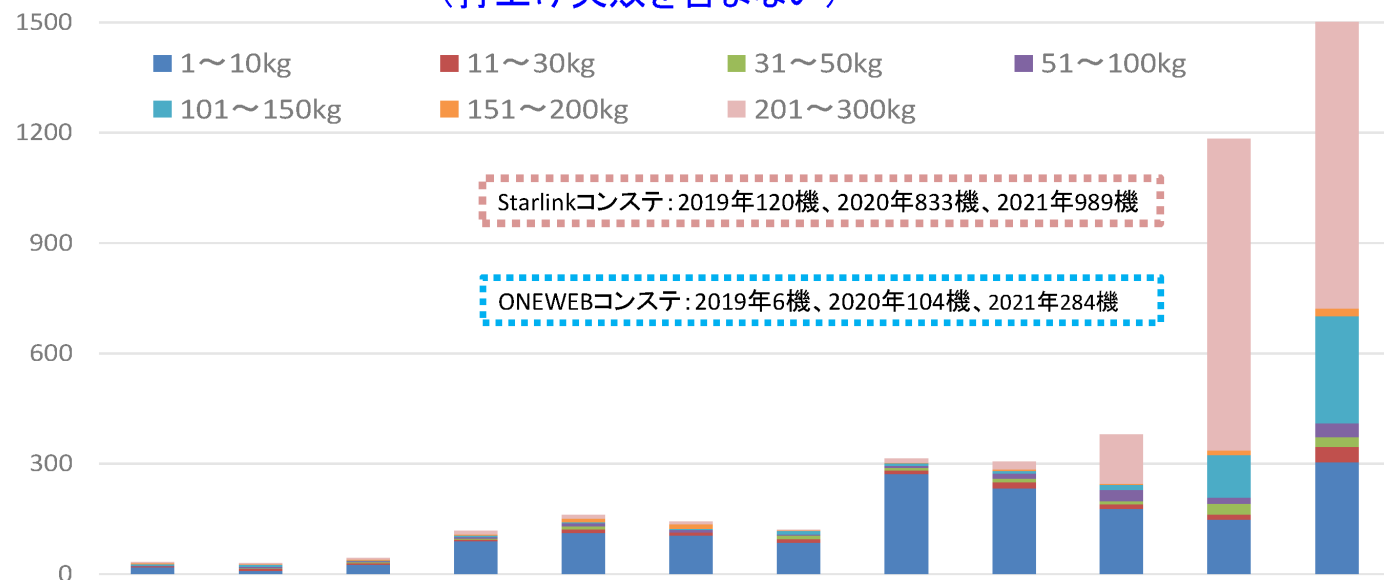
✓ そして、100～300kg級衛星へ



2.1 民間の超小型衛星の急速な発展

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

1～300kg衛星における打上統計(2010年～2021年末)
(打上げ失敗を含まない)



	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
1～10kg	19	9	26	90	112	106	85	272	234	177	149	304
11～30kg	2	5	4	4	10	7	10	11	16	13	13	42
31～50kg	1	2	3	3	8	1	11	5	10	8	30	26
51～100kg	1	4	2	4	9	7	2	6	14	31	16	38
101～150kg	4	6	2	4	2	2	10	8	6	14	116	291
151～200kg	2	1	2	2	10	13	1	1	5	2	12	21
201～300kg	4	2	4	11	10	6	1	11	21	135	848	994
合計	33	29	43	118	161	142	120	314	306	380	1184	1494

- 2020年打上予定だった小型衛星打上が翌年ズレたことで、メガコンステを除いても2021年小型衛星数は過去最多。
- 民間投資拡大による民間地球観測(光学&SAR)、IoT(AIS/ADS-B/M2M)通信、SIGINTビジネス衛星の打上が増加。
- 民間コンステ: PLANET, SPIRE, SWARM, KLEOS, Kepler, HawkEye360, Satellogic, Blacksky, ICEYE, Axcel Space等

- ✓ さらに、100～300kgの衛星によるメガコンステレーションへ
- ✓ 特に、通信網の構築



<https://www.gizmodo.jp/2022/11/russia-against-shooting-down-u-s-sat.html>

2.1 民間の超小型衛星の急速な発展

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

Cubesat打上実績の分析

サイズの傾向

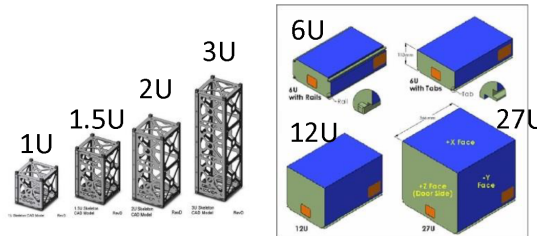
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	合計
0.25U									4	4	44	84	136
0.5U												3	3
1U	5	6	15	43	17	12	12	15	35	26	4	31	221
1.5U	4	2		13		18	2	4	2	9	2	4	60
2U			2	3	6	7	6	37	14	5	3	11	94
3U	7	2	6	27	107	76	59	203	141	92	72	124	916
3.5U、5U								2	0	0	0	0	2
6U					2	2	2	12	36	24	26	49	153
12U										3	3	7	13
16U									1	2	0	0	3
他	5	7	7	8	19	18	15	10	17	26	8	33	173
合計	21	17	30	94	151	133	96	283	250	191	162	346	1774

備考：他とはPocketCube(5cm四方)、ThinSat、15cm四方、17cm四方など30kg以下の衛星、探査機、ローバなど

開発組織の傾向

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	合計
大学・高校衛星	9	9	20	35	32	28	22	67	71	53	26	63	435
宇宙機関	3		2	10	4	16	10	13	11	19	5	18	111
軍事・国家研究所	7		3	27	3	15	11	10	41	25	14	47	203
民間企業	2	8	5	22	112	74	53	193	127	94	114	218	1022
合計	21	17	30	94	151	133	96	283	250	191	162	346	1075

- ・欧静止大手EutelsatがIoT衛星ELO Alpha(6U)を1機試験打上
- ・6U、12Uは年間打上数が最多を更新(Cubesatの大型化の動き)
- ・SPIREは18機、PLANET-DOVEは48機、Swarm Technologies社は76機
- ・Cubeと携帯直接通信規格のSATELIOT DEMO-1(3U)打上
- ・スイス、カナダ、ルクセンブルグ、豪州、ポーランドの民間コンステ打上
(IoT、SIGINT、地球観測、温室効果ガスモニタリングビジネス)
- ・日本は9機のCubesat打上(大学、民間、一般社団法人等)



Source: CSP-JAPAN作成

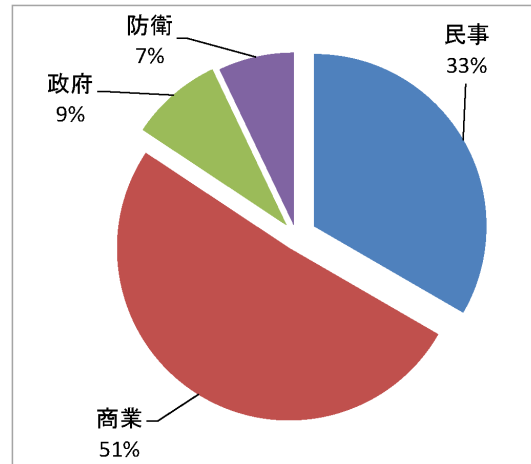
- ✓ CubeSatについては、教育目的から技術実証、民間実用、安全保障利用へと利用範囲が拡大してきている

2.1 民間の超小型衛星の急速な発展

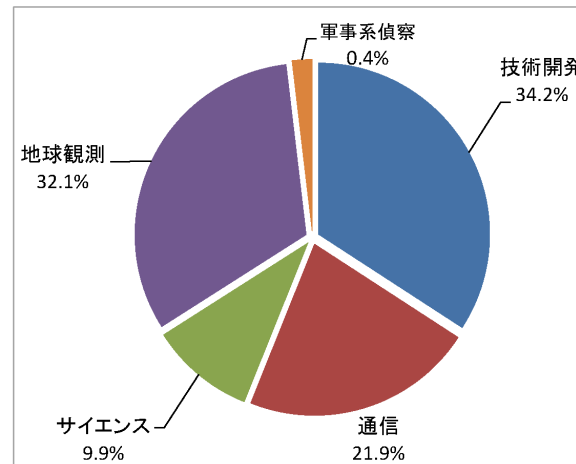
© CPSジャパン殿の調査結果を引用

100kg以下衛星の種類及びミッション (2003～2021年)

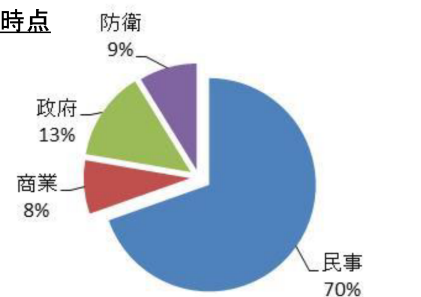
2003～2021年データ 衛星の分野分析



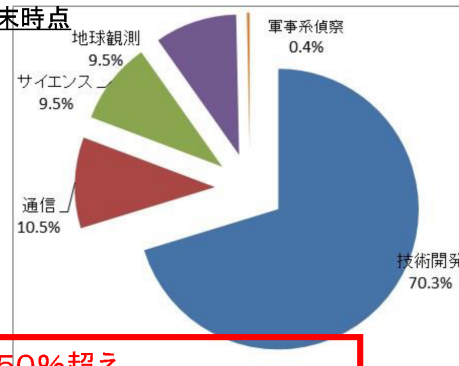
2003～2021年データ 衛星のミッション分析



2003年～2013年末時点



2003年～2013年末時点



2003年の統計開始から、商業の比率が初めて50%超え

IoT/M2M/ADS-B/AIS衛星の打上増により通信比率が20%超えたため、地球観測比率減

✓ CubeSatや100kg以下のマイクロ衛星については、技術開発から、商用利用、安全保障利用へと利用範囲が拡大してきている

2.1 民間の超小型衛星の急速な発展



✓ なぜ, 衛星通信網か？

- 1) 衛星携帯電話, 衛星インターネットによるビジネス
- 2) 電子商取引への参入(例えば, 手数料ビジネス)
- 3) 安全な通信(量子暗号通信等とからめて)
- 4) 老朽化した海底ケーブルの代替
- 5) ...

※「なぜ？」を考えてみるのが大事

2.1 民間の超小型衛星の急速な発展

© CPSジャパン殿の調査結果を引用



✓ 加えて、様々な分野を組み合わせたサービス(経済圏)構築へ？

単一目的というよりは、多目的／大目標達成のためのインフラとして宇宙を利用？

2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

小型衛星商用ミッション動向2021(100社以上)

地球観測(光学)



Planet (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

BlackSky Global (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

AxelSpace (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

AstroDigital (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

Earth-i (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

EarthNow (画像・動画配信) (高頻度画像&動画の販売) (画像の販売) (光学MSの販売) (フルカラー動画) (動画中継)

Satantis (光学画像の販売)

UrtheCast (光学+MS画像の販売)

DMCii (MS画像の提供)

Satellologic (画像+動画+ハイパー) (高品質MS画像の提供)

OMNI Earth (画像+動画+ハイパー) (高品質MS画像の提供)

Norstar space data (ハイパー+衝突回避情報)

DAURIA Aerospace (高分解画像の提供)

EARTH NOW (ハイパー+衝突回避情報)

地球観測(SAR)



Synspective/Iceye/Capella Space (小型SAR衛星)

Umbra-Lab/PredaSAR/QPS (小型SAR衛星)

電波情報



HawkEye 360 (電波混雑・解析等)

unseenlabs (電波混雑・解析等)

KLEOS (電波混雑・解析等)

高速通信(インターネット)



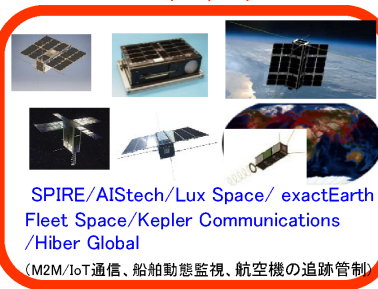
OneWeb Ltd (HTS)

Starlink (HTS)

Tesat LEO (HTS)

Kuiper (HTS)

低速通信(M2M/IoT/AIS/ADS-B)



SPiRE/AISTech/Lux Space/ exactEarth (M2M/IoT通信、船舶動態監視、航空機の追跡管制)

Fleet Space/Kepler Communications (M2M/IoT通信、船舶動態監視、航空機の追跡管制)

Hiber Global (M2M/IoT通信、船舶動態監視、航空機の追跡管制)

ガスエミッション



GHGSat (メタン、CO2、大気汚染)

Bluefield (メタン、CO2、大気汚染)

BRIGHTSKIES (メタン、CO2、大気汚染)

SCEPTERAIR (メタン、CO2、大気汚染)

気象・宇宙天気



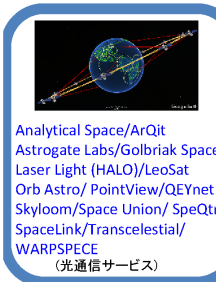
SPiRE/PlanetiQ/Geo Optics (GPS掩蔽観測)

デブリ除去



Astroscale/D-Orbit/ALE/Launchspace Technologies (デブリ除去)

光通信(超高速通信)



Analytical Space/ArQit (光通信サービス)

Astrogate Labs/Golbriak Space (光通信サービス)

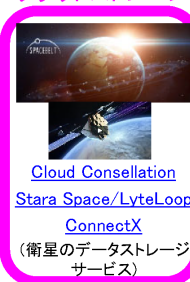
Laser Light (HALO)/LeoSat (光通信サービス)

Orb Astro/ PointView/QEYnet (光通信サービス)

Skyloom/Space Union/ SpeQtral (光通信サービス)

SpaceLink/Transcelestial/ WARPSPECE (光通信サービス)

クラウドストレージ



Cloud Constellation (衛星のデータストレージサービス)

Stara Space/LytleLoop (衛星のデータストレージサービス)

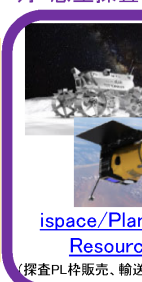
ConnectX (衛星のデータストレージサービス)

軌道上サービス



Orbit Fab (LEO燃料補給)

月・惑星探査



ispace/Planetary Resources (探査PL特販売、輸送、資源探査)

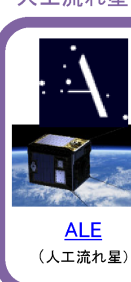
実験・再突入・回収



Terminal Velocity (再突入・回収サービス)

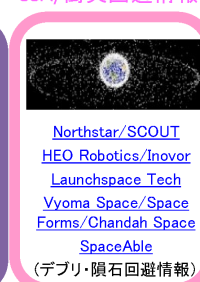
ElevationSpace (再突入・回収サービス)

人工流れ星



ALE (人工流れ星)

SSA/衝突回避情報



Northstar/SCOUT (デブリ・隕石回避情報)

HEO Robotics/Inovor (デブリ・隕石回避情報)

Launchspace Tech (デブリ・隕石回避情報)

Vyoma Space/Space Forms/Chandah Space (デブリ・隕石回避情報)

SpaceAble (デブリ・隕石回避情報)

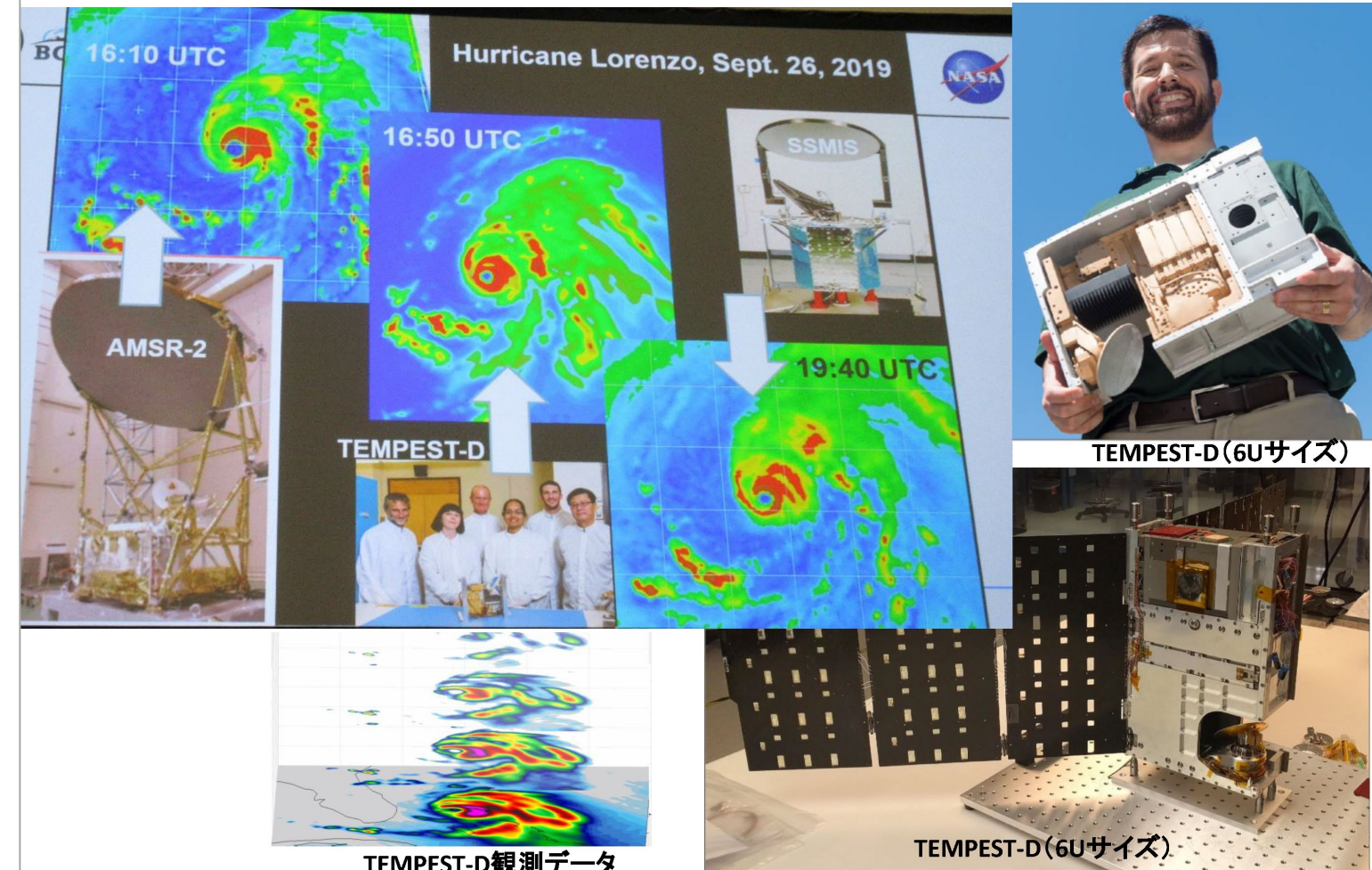
- ✓ 一通りできるようになってきた。
- ✓ スペックも商用に耐えうるものになった(海外)。

2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

日本AMSR-2と米TEMPEST-Dの差

- ✓ 例えば、日本の大型衛星に搭載した高性能マイクロ波放射計AMSR-2と同等(同等以上?)のものを4Uサイズで実現.



日本のAMSR-2センサー(GCOM-W衛星搭載)の同機能を4Uサイズで実現

2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

大型地球観測衛星Landsat-8と同じ 波長観測カメラをCubesat(R3)でやってみた



米空軍の出先会社、AerospaceCorpが3U Cubesatで開発@2020発表

- ✓ LANDSAT-8(2780kg)ではGSD 30m/Swath 185km
- ✓ R3 Cubesat衛星(5kg)は GSD44m/Swath 56km(多少分解能悪く、観測幅も3分の1)
- ✓ LANDSAT-8開発費:850億円、R3 Cubesat 3~5億円(推測だがコスパは100倍以上)

空軍がこういう実験をやるということは、将来のLANDSATはCubesatコンステか？

R3 Spacecraft and Multispectral Imaging Payload

R3 Launched on Rocket Lab's Electron Launch Vehicle on 16 Dec. 2018



R3 sensor and camera board hardware in lab



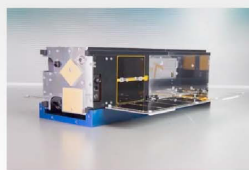
R3 uses 6 Landsat bands

Landsat Band	Band Name	Wavelength
1	Coastal / Aerosol	0.43 – 0.45μm
2	Blue	0.45 – 0.51μm
3	Green	0.53 – 0.59μm
4	Red	0.64 – 0.67μm
5	Near Infrared	0.85 – 0.88μm
8	Panchromatic	0.50 – 0.68μm

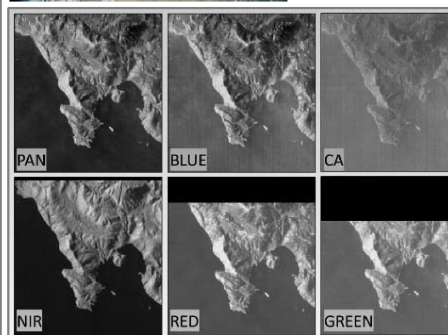
R3 Sensor Parameters

Sensor Specifications	R3
Lens f-number	6.4
Lens Focal Length (mm)	160
Pixel Pitch (μm)	14
Spectral Band (μm)	6 (0.43-0.89)
Quantization (bits)	10
Integration Time (ms)	~1.0 nominal, 0.1-1.8 for various daytime albedos
Frame Rate (Hz)	163 (rate after on-orbit tuning)
Array Size	1280x1024 (1280x206 read out)
Nominal Alt. (km)	500
GSD (m)	44
Swath Width (km)	56

Nadir (left) and zenith (right) views of completed R3 spacecraft with solar wings deployed in lab.



Multispectral payload fits in ~ 1.5 of ISARA's 3U volume. Custom Aerospace Corporation refractive telescope feeds a Materion Precision Optics filter (identical to ones created for Landsat-8) and a ON Semi. LUPA 1300-2 Si:CMOS chip.



29 July, 2019 15:43:50 UT, TDI processed data from all 6 R3 spectral bands imaging the coast of Greece.

- ✓ LANDSATレベルの画像も3Uで取得可能

分光カメラのCubesat搭載化を進めて、分光アプリ開発を側面でサポートするアメリカ空軍会社

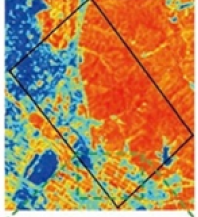
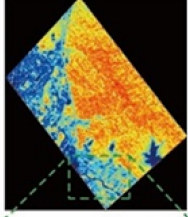
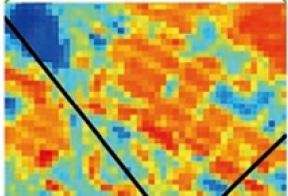
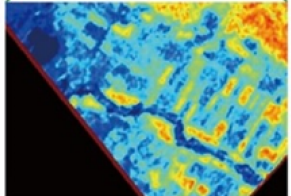
2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

アメリカがLANDSATカメラをCubesat化開発した一方で、、、、

Land-Satを超える多色バンド観測を

我が国発のCubesatでも実行できるという主張をしている国内企業がある①

比較対象	Landsat-8	我が国の超小型衛星*
撮影対象（広域）  滋賀県彦根市 山地、農地、市街地を含む地域	撮影 2013 年 8 月 14 日 	撮影 2014 年 9 月 14 日 
撮影対象（拡大）  農地領域 農地区画は矩形に整備されている	 個別の農地区画の弁別不能	 区画ごとに植生分類されている
GSD (1 ピクセル相当の地上サイズ)	30m	5m
刈幅	180km	3.2km
狭帯域バンド数	9	400
衛星重量	2600kg	50kg

* 東北大/北大衛星 RISESAT

- ✓ 分光観測・多波長観測は日本が強い
- ✓ 科学者や光学メーカーによる科学センサの技術を他の用途に使うことが今後の主流の一つになっていく？
- ✓ 衛星を使って何かをやるときには、どこにどんなセンサ技術があるのかを把握するのも重要（全部自分でやる必要はない）

実は我が国の実績は、米国空軍より5年も先行していた事実をご存じでしょうか？

2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

AerospceCorpの3U 近赤外観測と光通信実証成功

- 米空軍会社の開発したRouge- α, β 。3Uサイズに光通信, 光学カメラ2台, RW, バスの5kg以下
- COTSカメラ(近赤外と可視光の2台搭載)にてイラン/イラク国境の油田観測、ロケット打上の赤外観測(FALCON-9とSOYUZ)
- 光通信200Mbpsで衛星-地上間光通信にデータDLに成功(1パスで2.5GB)
- 光地上局は40cm直径のテレスコープレーシーバー、場所はカリフォルニア州El Segundo。天候と軌道カバー範囲の制限によりリンク速度は限定的
- 光地上局は増強中。2021年遅く運用開始

Lasercom – Novel satellite-to-satellite alignment technique utilized

Large data volume downlink enabled by compact laser communication transmitter

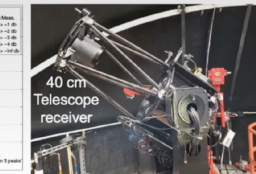
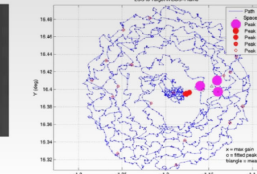
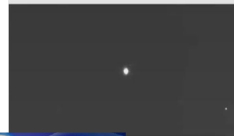
El Segundo, CA

- Laser communications downlink at 200 Mb/s has enabled large payload data downlink – 2.5 Gigabytes downlinked in a single laser communication pass
- Single optical ground station in El Segundo, CA initially had limited link opportunities due to weather, orbital coverage.
- Lasers were aligned in space using 1064nm sensitive star sensors saving months of ops. time and need for on-site staff. Remotely operated stations planned for deployment later in 2021, will enable more frequent laser downlinks.



Optical Ground Station

Laser signal detected on-orbit Space to Space Laser Alignment Spiral Scan



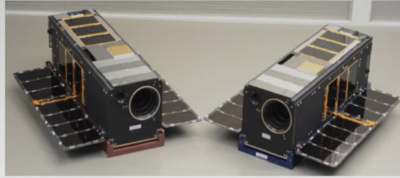
40 cm Telescope receiver

Rouge- α, β Overview

AeroCube heritage (bus, ACS, advanced star tracker, Lasercom), uncooled IR sensor

Objectives

- Rapid prototyping demonstration to deploy a remote sensing capability in LEO (Goal: 18 months from "go")
- LEO CONOPS & Calibration Research & Evaluation
 - Commanding/Tasking/Data Management (pointing modes, frame rate, agile sensor tasking, multi-satellite CONOPS)
- Utility of 1.4 μ m SWIR Spectral Band
 - Validate & evaluate sensor performance (backgrounds, different collection modes & solar conditions, rockets, flares, fires, weather phenomenon)
- Data Collection for Algorithm Development
 - Data processing, data pipeline, data fusion



Description

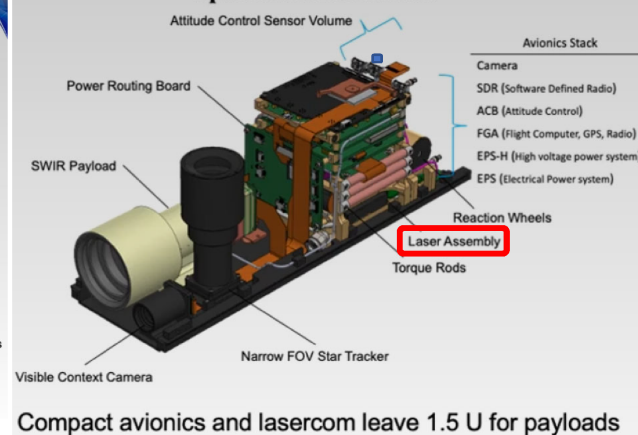
- 2 Identical 3U CubeSats
 - 460-km orbit, 52° inclination, ~30° FOV (diagonal)
 - <5 kg per satellite
- FLIR InGaAs SWIR camera with a 1.4-micron filter and custom optics, plus VIS context camera
- RF command/telemetry & low-bandwidth mission data download, Lasercom for high-bandwidth download (~200 Mbps)
- Bus uses Aerocube heritage design, maximized COTS parts usage

Milestones

- | | |
|---|---|
| 1 May 2018
18 Sep 2019
2 Nov 2019
14 Jan 2020
9 Feb 2020 (α), 11 Feb 2020 (β)
10 Mar – 25 Jun 2020
May 2020
Aug 2020
Sept 2020 - present | "Go" Decision
Two satellites delivered (~17 months)
Launched on Cygnus NG-12
Boost and Deployment
First light
Laser alignment / RadCal/Metric star observations
Multi-frame observations begin / stereo obs.
Metric/radiometric pipeline completed
Successful lasercom begins, longer collections |
|---|---|

ACS Attitude Control Subsystem

Spacecraft Architecture



- ✓ 例えば, 18か月で3Uを製造・打ち上げまで行い, 地上観測(油田の可視・近赤外観測やロケット打ち上げの熱観測)と光通信(Lessons Learnedも得る)

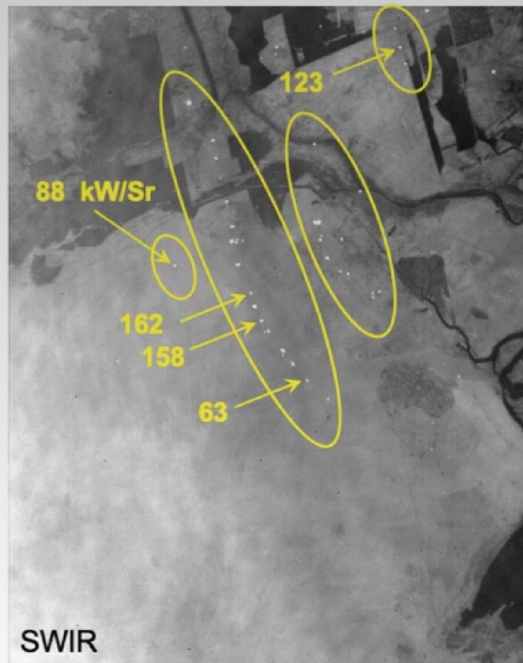
2.2 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

AerospceCorpの3U(Rouge- α , β)によるイラン/イラク国境のガス油田の撮像

Daytime observation of bright gas flares on Iraq/Iran border

Rogue Beta 2020 Jun 15 @ 14:14:10.29, VIS gain 1 0.5ms, 2020 Jun 15 @ 14:14:10.53 SWIR gain 1, 20ms, point-and-stare-imaging



Regional map of gas flares from VIIRS (see Elvidge et. al. "VIIRS nightfire: Satellite pyrometry at night." *Remote Sensing* vol. 5, no. 9. 4423-4449.)

Stellar calibration results applied to observations of very large gas flare infrared emission sources. Rumaila gas oil separation plant flares are among the world's largest.

Aperture photometry applied to symmetric flare emission sources. Near-nadir gas flare intensities agree reasonably with preflight modeling based on VIIRS pyrometry. Visible context camera sees no flares, only ground features

- ✓ 例えば, 18か月で3Uを製造・打ち上げまで行い, 地上観測(油田の可視・近赤外観測やロケット打ち上げの熱観測)と光通信(Lessons Learnedも得る)

2.2 CubeSatを利用した技術開発

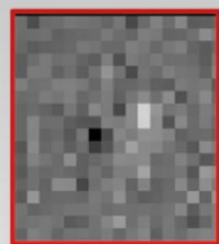
© CPSジャパン殿の調査結果を引用

AerospceCorpの3U (Rouge- α , β)による FALCON-9打上の熱観測

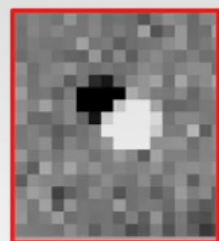
- ✓ 例えば, 18か月で3Uを製造・打ち上げ
まで行い, 地上観測(油田の可視・近赤外
観測やロケット打ち上げの熱観測)と光
通信(Lessons Learnedも得る)

Subtracted SWIR camera Rogue- α frames showing Stage 1& 2 burns + VIS Earth Image

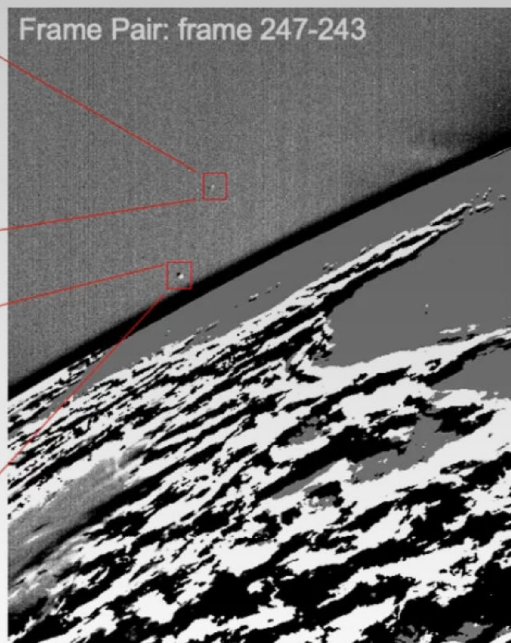
Falcon 9 Block 5 | Starlink 13 - 18 Oct 2020 12:32:23.42 UT



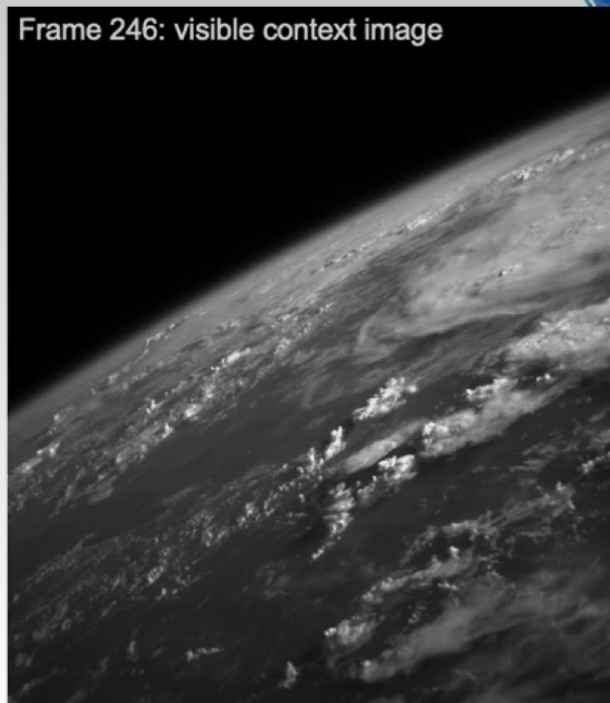
Stage 2



Stage 1
retro fire



Frame Pair: frame 247-243



Frame 246: visible context image

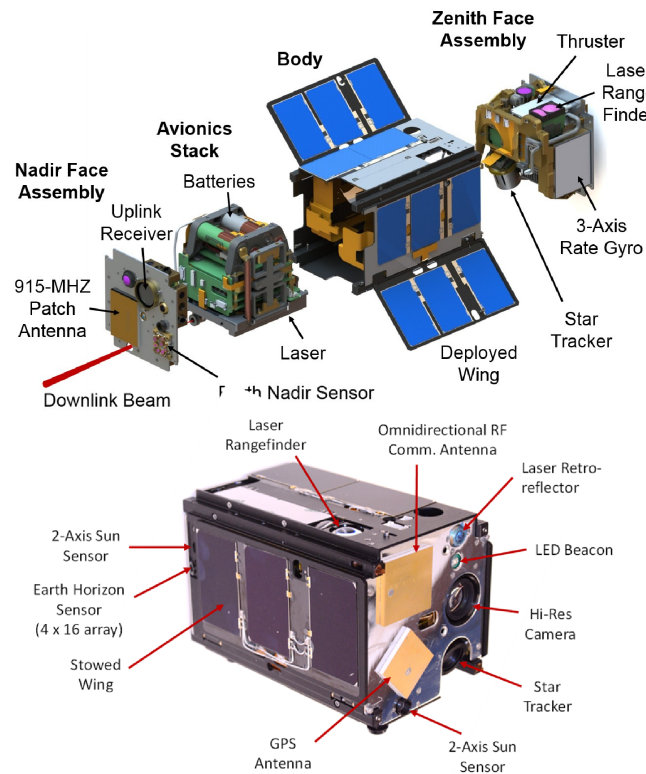
Frame pair and image chips show hot IR targets and unsaturated cloud
with subtracted shadows showing relative motion

2.2 CubeSatを利用した技術開発

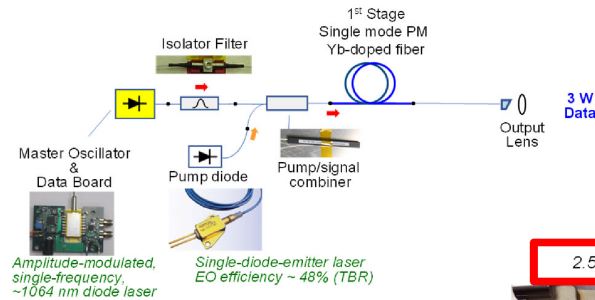
© CPSジャパン殿の調査結果を引用

(補足説明): 地上衛星間の光通信は2Uサイズで達成済
2016年～2017年に3基打上

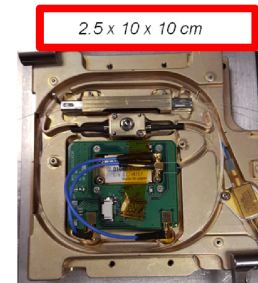
- 光通信ユニットは0.25Uサイズ。2017年に200Mbps達成
- 慌ててドイツのTESATが製品化の動き



OCSD-B,C Downlink Laser



- Gain-switched laser diode + 1-stage fiber amp
- Operation at 1.06 μm
- All-fiber design, 20% wallplug efficiency
- Passively cooled; ΔT capability $\sim 25^\circ$



光通信技術に加え、基盤技術である精密姿勢制御技術(ADCSユニットやスタートラッカー等)をコツコツ育てて成立

AC-7B&C will also have an additional steam propulsion module. Proximity operations will use variable drag and warm gas propulsion for maneuvering.

✓ 光通信自体は2017年には2Uサイズで達成済

2.3 CubeSatを利用した技術開発

<https://sorabatake.jp/29423/>

ニュース 2022/11/7

小型衛星ベンチャーSpireが電離層の特性を研究する衛星設計をDARPAから受注【宇宙ビジネスニュース】

【2022年11月7日配信】一週間に起きた国内外の宇宙ビジネスニュースを宙畑編集部員がわかりやすく解説します。

11月1日、超小型衛星事業者Spire Global（以下Spire）は、上空70～500kmにあたる電離層における高周帯（HF）電波の伝搬について調査する超地球低軌道衛星を設計する契約を米国防高等研究計画局（DARPA）から受注したことを発表しました。

宙畑メモ 超地球低軌道

超地球低軌道（Very Low Earth Orbit、通称VLEO）とは、高度200～300kmの超低高度のことを指します。

今回Spireが契約を受注したのは、DARPAの地球低軌道衛星を利用した高周帯電波の研究プログラム「Ouija」の一環です。DARPAによると、アメリカ軍は高周帯無線通信を多く利用しているため、電離層についての理解を深める必要がありましたが、これまで地上からの観測が中心でした。衛星から得られるデータは、貴重な情報源になるのではないかと考えられます。

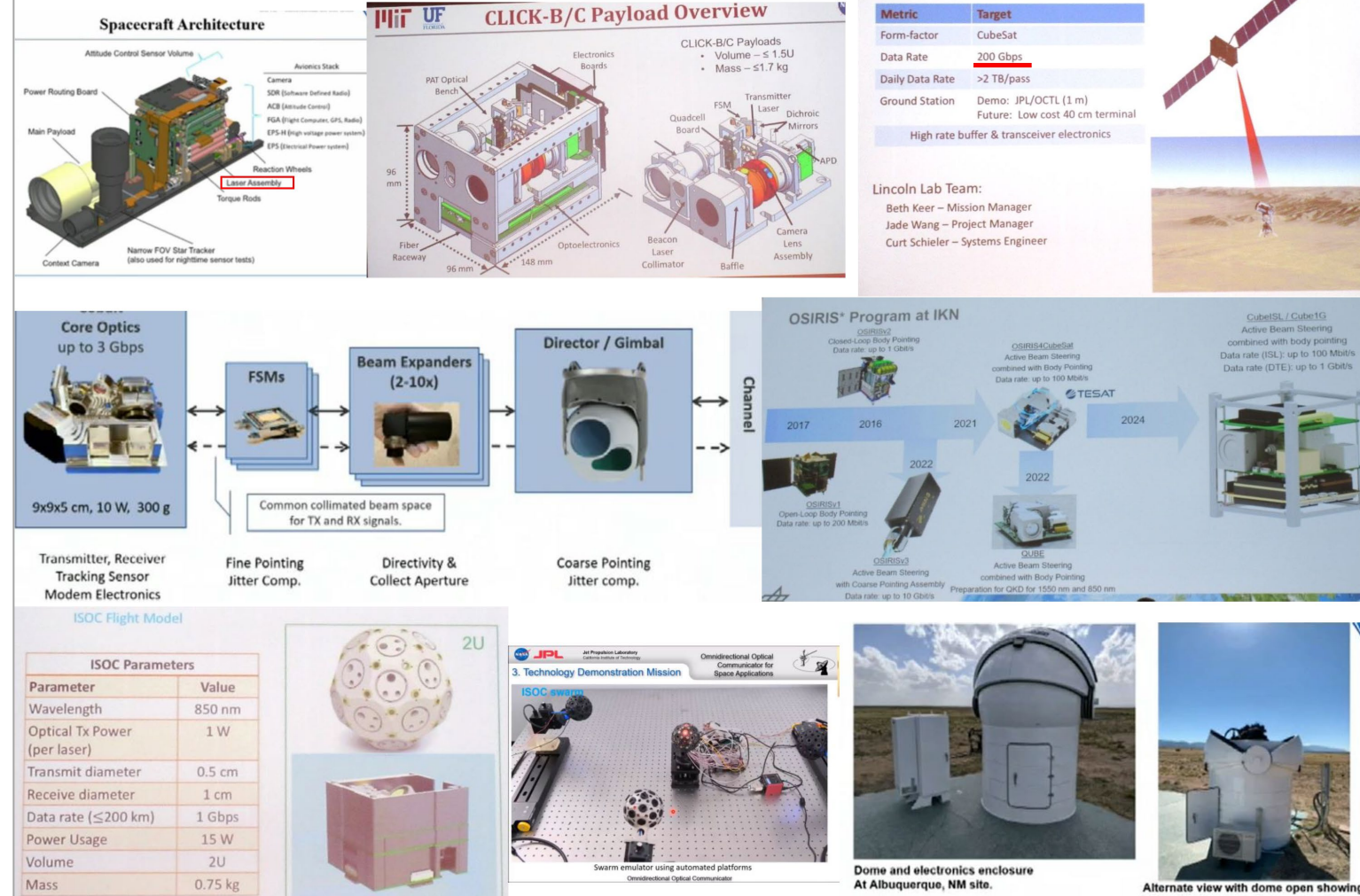
- ✓ 小型衛星ベンチャーSpireが電離層の特性を研究する衛星設計をDARPAから受注（通信への影響を検討？もともと、GPSの精度向上に不可欠で、やってきているはずだが、それを小型衛星でやる。しかも高度は超低軌道（VLEO）
- ✓ 「科学者がやっているものを軍が使う」という図式

2.3 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

Cubesat搭載型光通信装置の開発競争

✓ 技術実証プラットフォーム&実用プラットフォームとしてCubeSatをフル活用

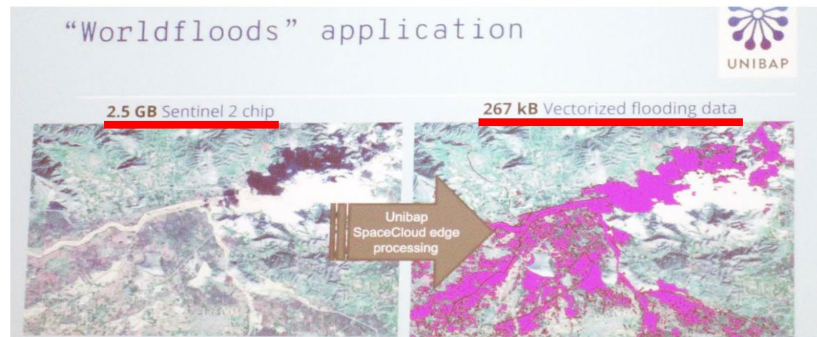


2.3 CubeSatを利用した技術開発

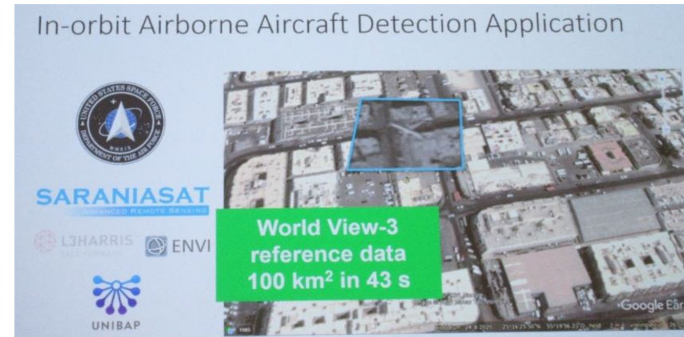
© CPSジャパン殿の調査結果を引用

地球観測データの軌道上エッジ処理(数分以内に解析)

- 衛星画像解析を宇宙空間で実施(エッジ処理)、迅速に顧客先へデータを配布する技術
- オンボード処理技術はUNIBAPが先行。データ解析の迅速化によって意思決定も迅速化

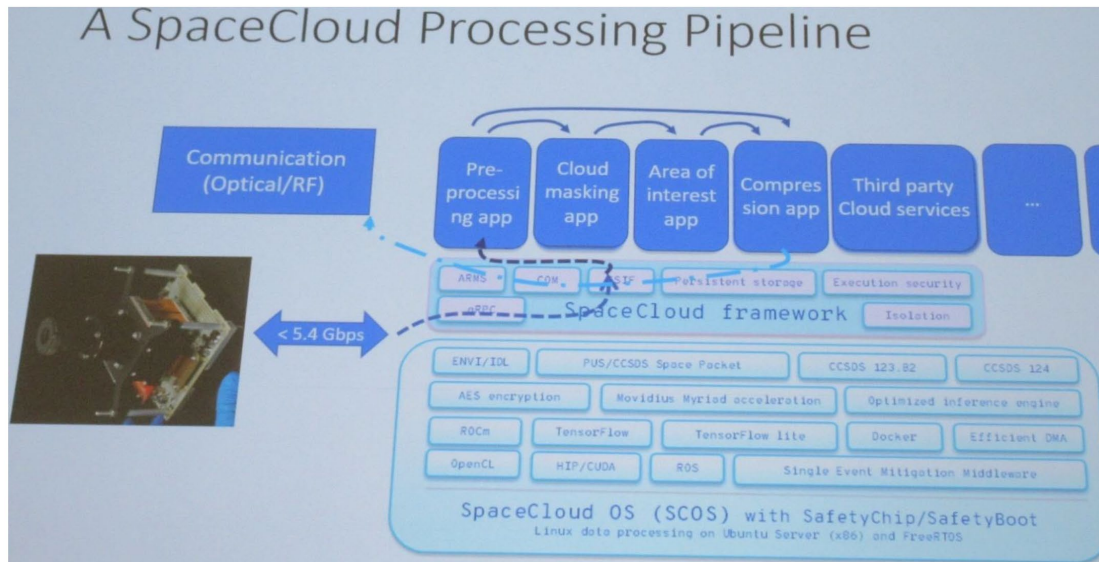


SENTINEL衛星生データだと2.5GBだが、エッジ処理で267kBへ



100平方キロの画像、航空機検出はたったの43秒

- ✓ エッジ処理も軌道上でやる(そのために必要となるメモリの開発も行われている)。



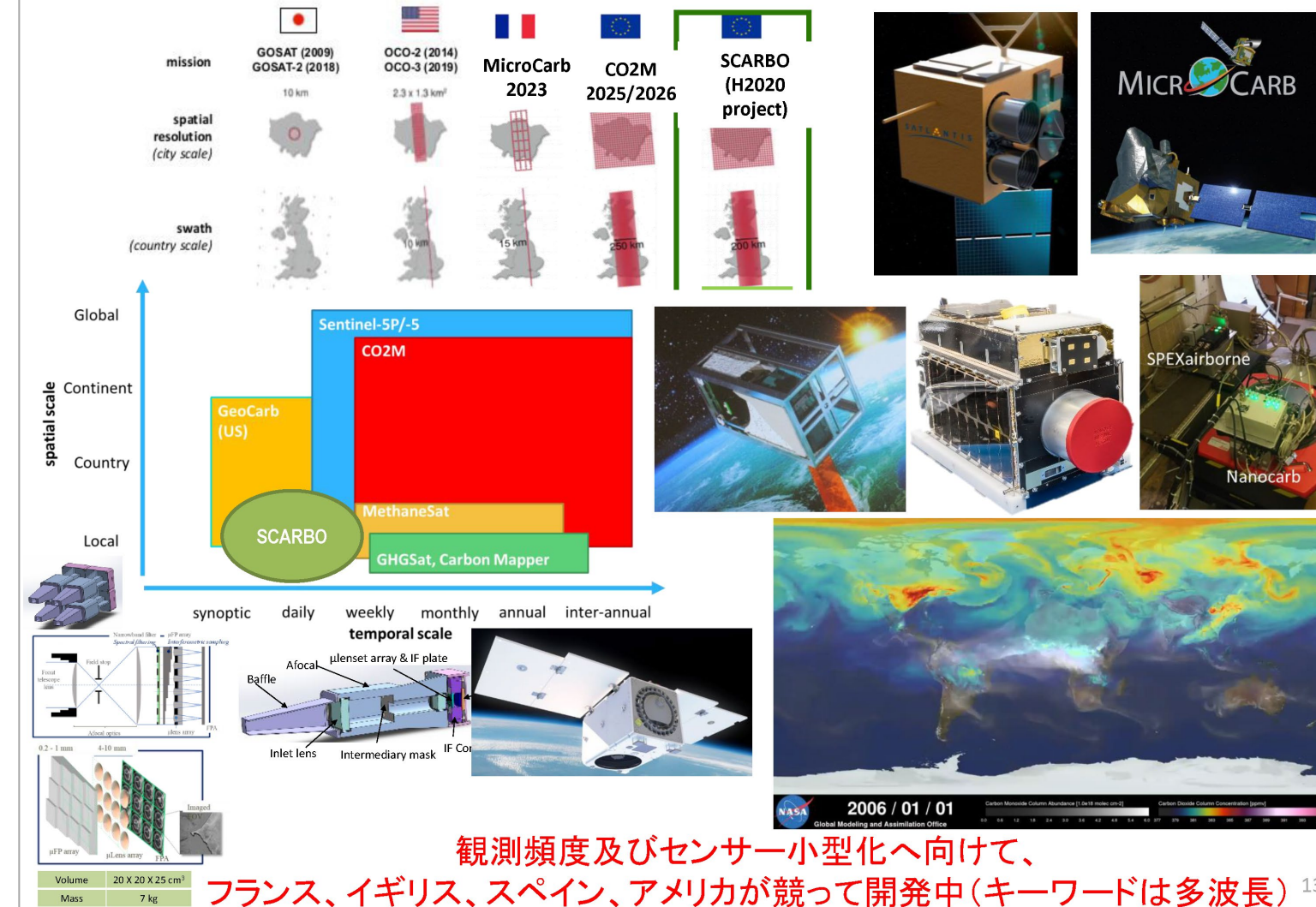
オンボード・エッジ処理HW
(Cubesat仕様も)

画像解析は様々なIT業者御用達のツールが利用可能

2.3 CubeSatを利用した技術開発

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

温室効果ガス観測の小型衛星開発競争(メタン・CO₂観測)



- ✓ 環境ビジネスに向けた？, 温室効果ガス観測衛星開発競争
- ✓ 例えば, 環境に対する自社の取り組みの実証(客観的データの取得)
- ✓ 加えて, 問題のある他社の指摘などにも？

観測頻度及びセンサー小型化へ向けて、

フランス、イギリス、スペイン、アメリカが競って開発中(キーワードは多波長)

2.4 地上との連携

<https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html>



NTTグループについて ニュース 事業案内 株主・投資家情報 研究開発 災害対策 サステナビリティ 会社案内 採用情報 NTT STORY

能な社会に求められるインフラ実現に貢献していきます。

2. 宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

宇宙統合コンピューティング・ネットワークは、NTTのNW/コンピューティングインフラと、スカパーJSATの宇宙アセット・事業を統合して構築する新たなインフラです。地上から高高度に浮かぶHAPS、宇宙空間の低軌道・静止軌道まで複数の軌道を統合します。また、それらと地上を光無線通信ネットワークで結びコンステレーションを構成し、分散コンピューティングによって様々なデータ処理を高度化します。また、地上のモバイル端末へのアクセス手段を提供し、超カバレッジを実現します。

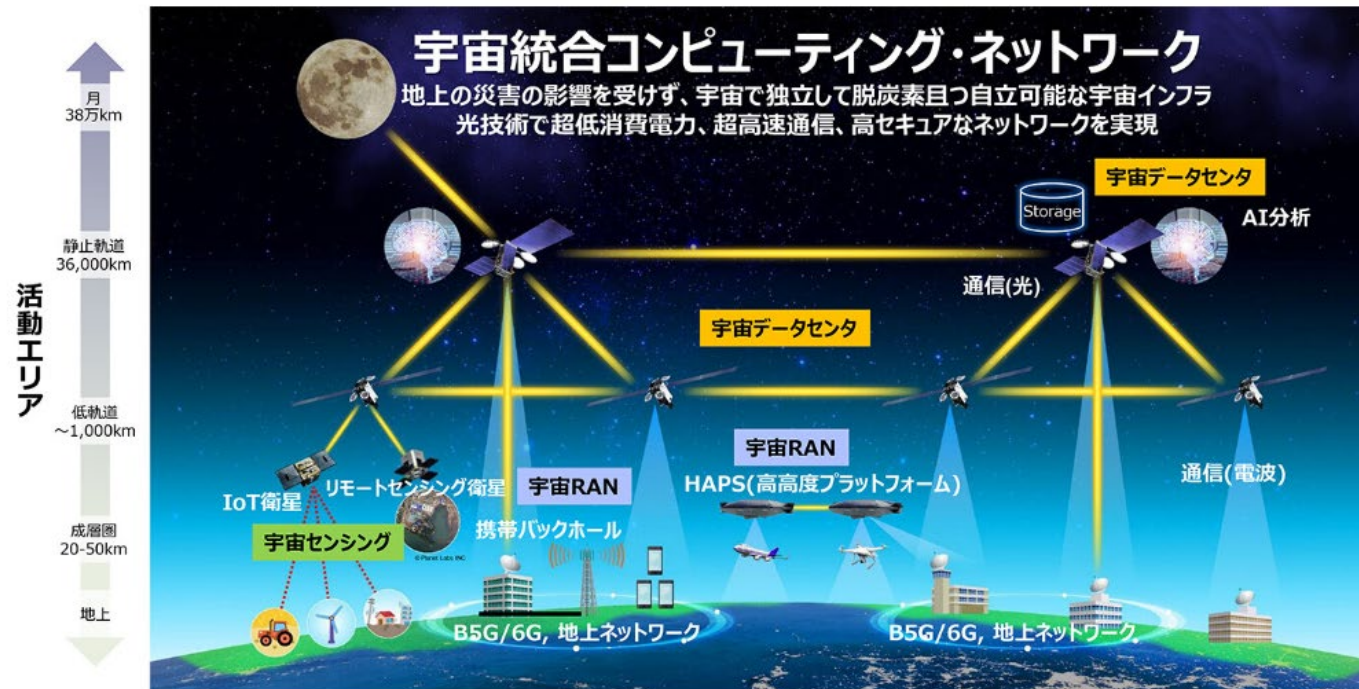


図1：宇宙統合コンピューティング・ネットワークがめざす世界観イメージ

✓ 地上インフラとの連携(シームレス化)

NASA小型衛星ミッションの実績と計画(2022年)



OPERATING, PAST, & FUTURE SMALLSAT/CUBESAT FLEET

Legend:

- RECON (Red)
- JASO (Yellow)
- EARTH SCIENCE (Green)
- HELIOPHYSICS (Light Green)
- PLANETARY SCIENCE (Blue)
- ASTROPHYSICS (Purple)
- BIOLOGICAL & PHYSICAL (Orange)
- STMO (Pink)
- ON-ORBIT MISSIONS (Light Blue)
- FUTURE MISSIONS IN ROLD (Dark Blue)
- PARTNER-LED MISSIONS* (Light Blue)
- COMPLETED MISSIONS* (Dark Blue)
- SmallSat Mission* (Light Blue)
- Constellation Mission* (Dark Blue)

Satellites and Missions:

- Operating (Red):** PANDORA, SPHEREX, SPIRIT, ASPERA, BURSTCUBE, BLACKCAT, STARBURST, SPARCS, NEASCOUT, JANUS, ACS3, ST-1, GPX2, MINI-CARB, INCUS, PETITSAT, SPORT, R6-S1, NACHOS2, CSIM-FD, CIRIS-BATC, CTIM-FD, CUBERT, TEMPEST, EcAMSat, LUNAR FLASHLIGHT, CU-E3, TEAM MILES, CISLUNAR EXPLORERS, LUNAR TRAILBLAZER, LUNAH-MAP, LUNAH, LUNAR LASCUBE, CARSTONE, PTD-1 HYDROS, PTD-3 T-BIRD, PTD-4 LISA-T.
- Past (Yellow):** PANDORA, SPHEREX, SPIRIT, ASPERA, BURSTCUBE, BLACKCAT, STARBURST, SPARCS, NEASCOUT, JANUS, ACS3, ST-1, GPX2, MINI-CARB, INCUS, PETITSAT, SPORT, R6-S1, NACHOS2, CSIM-FD, CIRIS-BATC, CTIM-FD, CUBERT, TEMPEST, EcAMSat, LUNAR FLASHLIGHT, CU-E3, TEAM MILES, CISLUNAR EXPLORERS, LUNAR TRAILBLAZER, LUNAH-MAP, LUNAH, LUNAR LASCUBE, CARSTONE, PTD-1 HYDROS, PTD-3 T-BIRD, PTD-4 LISA-T.
- Future (Green):** PANDORA, SPHEREX, SPIRIT, ASPERA, BURSTCUBE, BLACKCAT, STARBURST, SPARCS, NEASCOUT, JANUS, ACS3, ST-1, GPX2, MINI-CARB, INCUS, PETITSAT, SPORT, R6-S1, NACHOS2, CSIM-FD, CIRIS-BATC, CTIM-FD, CUBERT, TEMPEST, EcAMSat, LUNAR FLASHLIGHT, CU-E3, TEAM MILES, CISLUNAR EXPLORERS, LUNAR TRAILBLAZER, LUNAH-MAP, LUNAH, LUNAR LASCUBE, CARSTONE, PTD-1 HYDROS, PTD-3 T-BIRD, PTD-4 LISA-T.
- Planned (Blue):** PANDORA, SPHEREX, SPIRIT, ASPERA, BURSTCUBE, BLACKCAT, STARBURST, SPARCS, NEASCOUT, JANUS, ACS3, ST-1, GPX2, MINI-CARB, INCUS, PETITSAT, SPORT, R6-S1, NACHOS2, CSIM-FD, CIRIS-BATC, CTIM-FD, CUBERT, TEMPEST, EcAMSat, LUNAR FLASHLIGHT, CU-E3, TEAM MILES, CISLUNAR EXPLORERS, LUNAR TRAILBLAZER, LUNAH-MAP, LUNAH, LUNAR LASCUBE, CARSTONE, PTD-1 HYDROS, PTD-3 T-BIRD, PTD-4 LISA-T.

Other Satellites and Missions:

- Operating (Red):** AERO, LLITED, CIRBE, CUSP, DAILI, PADRE, CubiXSS, I-COVE, SWFO-L1, QuickSounder, TECHEDSAT-12, TECHEDSAT-7, COURIER SEP DEMO, TILE DEMO, X-NAV, DUPLEX, CLICK-A, CLICK-B/C, NODES-C, MC/COVE-2, V-R3x, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Past (Yellow):** AERO, LLITED, CIRBE, CUSP, DAILI, PADRE, CubiXSS, I-COVE, SWFO-L1, QuickSounder, TECHEDSAT-12, TECHEDSAT-7, COURIER SEP DEMO, TILE DEMO, X-NAV, DUPLEX, CLICK-A, CLICK-B/C, NODES-C, MC/COVE-2, V-R3x, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Future (Green):** AERO, LLITED, CIRBE, CUSP, DAILI, PADRE, CubiXSS, I-COVE, SWFO-L1, QuickSounder, TECHEDSAT-12, TECHEDSAT-7, COURIER SEP DEMO, TILE DEMO, X-NAV, DUPLEX, CLICK-A, CLICK-B/C, NODES-C, MC/COVE-2, V-R3x, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Planned (Blue):** AERO, LLITED, CIRBE, CUSP, DAILI, PADRE, CubiXSS, I-COVE, SWFO-L1, QuickSounder, TECHEDSAT-12, TECHEDSAT-7, COURIER SEP DEMO, TILE DEMO, X-NAV, DUPLEX, CLICK-A, CLICK-B/C, NODES-C, MC/COVE-2, V-R3x, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.

Other Satellites and Missions:

- Operating (Red):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Past (Yellow):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Future (Green):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Planned (Blue):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.

Other Satellites and Missions:

- Operating (Red):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Past (Yellow):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Future (Green):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Planned (Blue):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.

Other Satellites and Missions:

- Operating (Red):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Past (Yellow):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Future (Green):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Planned (Blue):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.

Other Satellites and Missions:

- Operating (Red):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Past (Yellow):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE, GLIDE, WindCube, DYNALGO, MUSE, HeliSwarm, SunCET, Mars Helicopter/Ingenuity, MARCO-C, MARCO-A/B, ESCAPEDE, ACES, TROPICS, TROPICS PATHFINDER, ARCKSTONE, SNOOPI, GRIFEX, MIRATA, CHEMIRIT, SEEKER-1, PACE4.
- Future (Green):** EZIE, CERES, MINIXSS-2, 3U3-A, SOLAR CRUISER, CURIE, REAL, CUPID, PUNCH, ITC, AEPEX, VISTA, TRACERS, SUNRISE, DIONE

2.5 NASAの戦略

© CPSジャパン殿の調査結果を引用

⑦センサーのCubesat搭載化は？（センサ小型化2012→2019年時点）

Technology	Selva* and Krejci, 2012	Freeman 2019	Justification
Atmospheric Chemistry Instruments	Problematic	Feasible	PICASSO, IR sounders
Atmos Temp and Humidity Sounders	Feasible	Feasible	CiRAS
Cloud Profile and rain radars	Infeasible	Feasible	RainCube
Earth Radiation Budget radiometers	Feasible	Feasible	SERB, RAVAN
Gravity Instruments	Feasible	Feasible	Need a demo mission
Hi-res Optical Imagers	Infeasible	Feasible	Planetlabs
Imaging microwave radars	Infeasible	Feasible	Ka-Band 12U design
Imaging multi-spectral radiometers (Vis/IR)	Problematic	Feasible	AstroDigital
Imaging multi-spectral radiometers (μ Wave)	Problematic	Feasible	TEMPEST-D, TROPICS
Lidars	Infeasible	Feasible	Lunar Flashlight
Lightning Imagers	Feasible	Feasible	RaioSat
Magnetic Fields	Feasible	Feasible	InSPIRE
Multiple direction/polarization radiometers	Problematic	Feasible	HARP Polarimeter
Ocean color instruments	Feasible	Feasible	SeaHawk
Precision orbit	Feasible	Feasible	CanX-4, -5
Radar altimeters	Infeasible	Feasible	SNoOPI
Scatterometers	Infeasible	Feasible	GNSS refl. (CyGNSS)

主要センサーのCubesat搭載化は達成

✓ コンポーネント開発の目標を設定して、CubeSat等で実証してfeasibleにする。

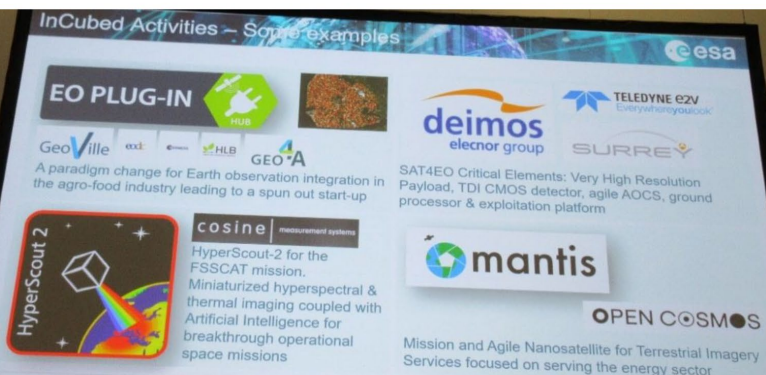
ESAの小型衛星戦略

- ✓ ESA's Technology CubeSat Fleet

-
- The infographic features a large image of Earth on the left, with various cubesat missions orbiting it. On the right, there is a detailed view of a cubesat in orbit around a grey, cratered asteroid. The ESA logo is in the top right corner. The missions are labeled as follows:
- SCIENCE (EU)**
studying atmosphere re-entry
 - PRETTY (EU)**
demonstrating GNC reflectometry
 - WARRIOR (EU)**
demonstrating extended rendezvous and identifying in-situ resources
 - RAIS (EU)**
demonstrating rendezvous and docking
 - CLIMATE (EU)**
measuring climate variables
 - HERA CUBESATS (DAR)**
demonstrating asteroid deflection assessment (DART)
 - COMET (EU)**
demonstrating constellation technologies
 - COMEX-5 (DAR)**
demonstrating next generation constellation technologies
 - ORION-3 (EU)**
demonstrating new platform technologies
 - LUINO & VIKING (DAR)**
measuring lunar surface impact hazards & in-situ resources
 - REKUB (EU)**
measuring space radiation and magnetic field
 - PEACOCK (EU)**
studying the atmosphere
 - SolarWind (DAR)**
measuring X-Ray fluxes
- At the bottom, the text reads: **→ ESA'S TECHNOLOGY CUBESAT FLEET** and **European Space Agency**. Below the main title, it says **Funded in GSPF Fly**.

ESAの小型 & 大型衛星の年次実証計画

Φ-lab Investing in Industrial Innovation (InCubed)		esa
What is it	Industry-led commercial programme in Earth Observation	
Focus	18 countries with a total size of 104 MC Develop innovative & commercially viable products and services based on strong customer engagement	
Managed by	Φ-lab in ESRIN (Frascati, Italy)	
Wide scope	Anything from building satellites to data platforms, flight HW and SW and innovative business models. Start TRL 4 up to at least TRL 7 (Minimum viable product)	
When	Always, it is an open call (some delegations choose to operate calls)	
Who	ESA, National Delegations, and Industry	
Aim	Development de-risk to reach minimum viable product triggering customers and potential investors interest	
Co-Funding	Typically 50%, up to 80% SMEs	
Present portfolio	~73 activities - ranges 150k to 17 MEuros (co-funded)	



民間企業へ対し73件の投資を実施(150k~17Mユーロ/約2000万~22億円)

2.7 日本の戦略

<https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>

宇宙基本計画工程表（令和3年度改訂）のポイント

令和3年12月28日
内閣府
宇宙開発戦略推進事務局

<最近の情勢>

<工程表改訂のポイント>

1. 宇宙安全保障の確保

- 安全保障における宇宙の役割が拡大
- 米国では、極超音速滑空弾（HGV）等への対応策として小型衛星コンステレーション構築の動きが加速

- ミサイル防衛等のための衛星コンステレーションについて、特に極超音速滑空弾（HGV）探知・追尾の実証に係る調査研究を行う。
- 宇宙作戦群（仮称）を新編（自衛隊）し、2023年度から宇宙状況把握システムの実運用を行うとともに、宇宙状況監視衛星を2026年度までに打上げるなど、国として宇宙状況監視の体制強化を進める。
- 準天頂衛星システム、情報収集衛星、通信衛星等の宇宙システムを着実に整備する。

2. 災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決への貢献

- 災害対策・国土強靱化が喫緊の課題となる中、衛星による貢献の可能性
- 2050年カーボンニュートラル達成に向けた宇宙からの貢献への期待

- 高頻度観測が可能な我が国独自の小型のレーダー（SAR）衛星コンステレーションを2025年度までに構築すべく、関係府省による利用実証を行い、国内事業者による衛星配備を加速。
- 宇宙太陽光発電の実現に向けて、各省が連携して取組を推進。マイクロ波方式の宇宙太陽光発電技術について、2025年度を目途に地球低軌道から地上へのエネルギー伝送の実証を目指す。
- 衛星等を活用した国際的な温室効果ガス観測ミッション構想を策定・推進し、世界各国によるパリ協定に基づいた気候変動対策による削減効果の確認に活用されることを目指す。

3. 宇宙科学・探査による新たな知の創造

- 欧米や中国等の火星探査計画が活発化
- アルテミス計画について、着実に取組を進める必要

- アルテミス計画による月面探査等について、ゲートウェイの機器開発や、移動手段（有人と圧ローバ）の開発研究など、月面活動に必須のシステムの構築に民間と協働して取り組む。また、米国人以外で初となることを目指し、2020年代後半を目途に日本人による月面着陸の実現を図る。
- 2029年度の人類初の火星圏からのサンプルリターン実現に向け、2024年度に火星衛星探査計画（MMX）の探査機を確実に打ち上げる。

4. 宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現

- 衛星データの利用拡大に向けて、自治体等とも連携し、地域の課題解決につながるデータ利用ソリューションの集中的な

2.7 日本の戦略

<https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>

4. 宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現

- デジタルトランスフォーメーションを支えるインフラとしての役割が拡大
- 新たな宇宙活動のための制度環境整備の必要性

- 衛星データの利用拡大に向けて、自治体等とも連携し、地域の課題解決につながるデータ利用ソリューションの集中的な開発・実証を推進する。
- 米国との連携なども視野に入れながら、宇宙港の整備などによるアジアにおける宇宙ビジネスの中核拠点化を目指して、必要な制度環境を整備する。
- 2021年度内に軌道利用のルール全般に関する中長期的な方針を策定し、軌道利用に関する国際的な規範形成に向けて取り組む。

5. 産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化

- 海外で小型衛星コンステレーションの活用拡大に向けた取組が加速
- 光通信等の次世代の宇宙技術が、民生・安保の分野を問わず必要不可欠となり、経済安全保障上も、ますます重要に

- 次世代の小型衛星コンステレーションの重要基盤技術である低軌道衛星間光通信、軌道上自律制御技術等について、できる限り早期に実証衛星を打ち上げることを念頭に、我が国が先行して獲得するための取組を行う。
- 将来宇宙輸送システムについて、抜本的な低コスト化等の実現に向けて、国際的な市場動向を踏まえつつ、官民共創で研究開発を推進。
- 日米豪印の4か国で気候変動リスクや海洋・海洋資源の持続可能な利用等に関する衛星データの交換や、インド太平洋地域の国々への能力構築支援、国際的ルールづくり等についての議論を進めていく。
- 人工衛星の開発等宇宙活動に参画する機会を提供する等を通じて、人材育成を推進する。

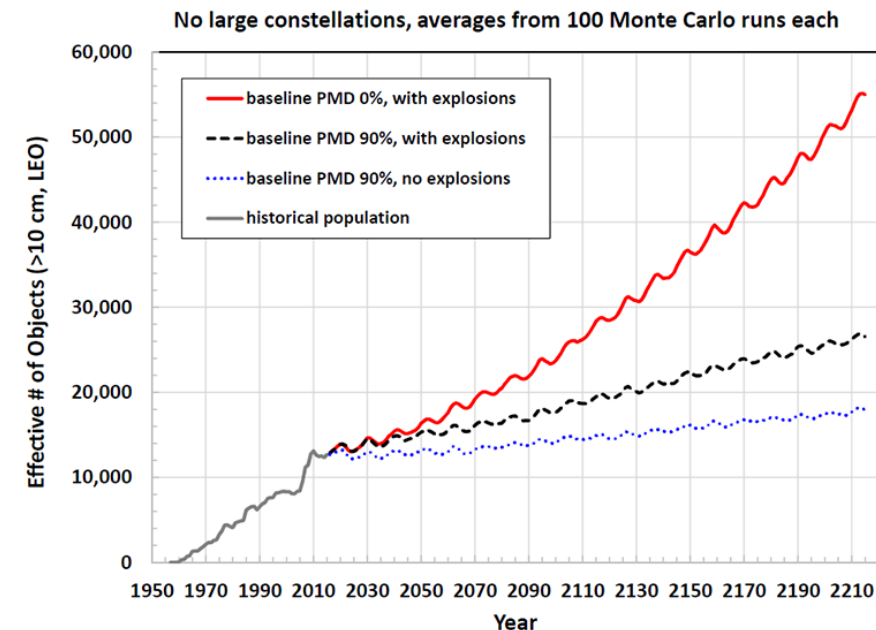
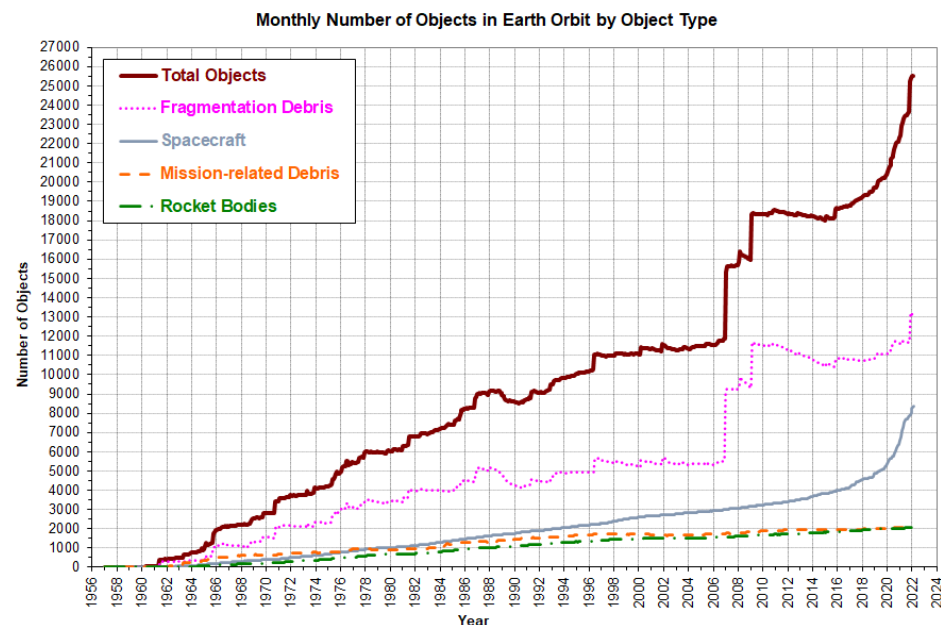
- ✓ 日本の宇宙予算の規模は増えてきたとはいえ、米国と比べると一桁小さい。そこをカバーするには、日本の強みを活かすしかない。
- ✓ 例えば、日本はシミュレーション技術に長けているので、DXを推進して開発コストを下げる、といったことも大事。

2.8 宇宙環境保全

今日は触れませんでしたでしたが、メガコンステが現実になって、宇宙環境問題がクローズアップされています。例えば、

- ✓ Space Traffic Management (STM, 宇宙交通管理)
- ✓ Space Capacity Management (SCM, 宇宙容量管理)
- ✓ Space Sustainability Rating (SSR, 宇宙持続性格付け)
- ✓ Space Situational Awareness (SSA, 宇宙状況認識)

といったものが注目されてきています。



ここまでのお話しのキーワード

1. 宇宙の開発／利用／探査／観測を(税金で)やる理由は？
2. 超小型衛星
3. メガコンステレーション
4. 民間
5. CubeSat
6. 衛星通信網
7. 「なぜ？」を考えてみるのが大事
8. インフラとしての宇宙
9. 技術開発
10. 大型衛星と同等
11. 分光観測・多波長観測
12. 科学センサの技術を他の目的に使う
13. 光通信
14. VLEO
15. 電離層
16. オンボードエッジ処理
17. 環境に対する自社の取り組みの実証
18. 宇宙統合コンピューティングネットワーク
19. NASA Smallsat/CubeSat Fleet
20. ESA Technology CubeSat Fleet
21. 宇宙基本計画
22. 工程表

3. ディスカッション

もし、宇宙政策立案に携わることになったら、どうしますか？