



超小型衛星利用シンポ2023

～超小型衛星の世界の状況と
本シンポジウムの狙い～

東京大学 中須賀真一

世界の宇宙開発利用における 2つの大きなゲームチェンジ

宇宙開発利用の現場で起きている2つの大きなゲームチェンジ

- ▶ **小型衛星コンステレーション（衛星群）**による低価格化、データ量の飛躍的増大による新しい価値創造(通信、地球観測分野中心に)
- ▶ 国家機関主導による研究開発に加え、**ベンチャー主導による研究開発+サービス調達が活発化**（SpaceX社宇宙船打上げ、CLSPなど）

<戦略面でのTrend>

- ・民生利用と防衛ニーズの連携による横通しの戦略と技術開発(米)
- ・拡大する通信ニーズへの官民一体となった戦略的な技術開発と実証(欧州)

<技術面でのTrend>

- ・Digitalization, Digital Transformation、ソフトウェアベースでの柔軟性確保
- ・技術進化のスピード加速、多品種少量生産への対応のためAgile開発
- ・大量製造技術（OneWeb:800、Starlink:12000、Planet:200、Spire:50など）

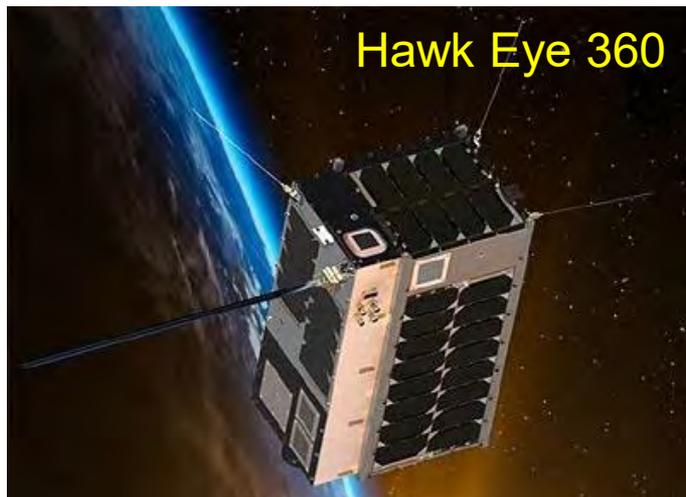
小型衛星コンステレーションによる 各種の新しいサービスの登場



SpaceXのStarlinkは12000機の小型コンステで宇宙のインターネット網構築目指す



Planet社は170機以上の4kg衛星により、3m中分解能の地球画像の撮像を高頻度で実施



3から4機の超小型衛星(20kgクラス)により電波の到来方向を検知。MDAに利用



Spire Global社は100機以上のGPS掩蔽観測で局地気象情報をNOAAに販売,AIS,ADS-Bも

通信小型コンステレーションへの参入企業群

Operator	Country	Band*/orbit	Size**	Capacity	Lifetime	Target markets	Status
SES[▲] OSO mPOWER	U.K.	Ka-MEO	7-22	200+ Gbps per satellite	> 10 years	Trunking, backhaul, Enterprise, Civil Govt., Military, Mobility (primarily maritime)	Development (contracted)
SPACEX STARLINK	U.S.A.	Ku-LEO	Up to 4000	~20 Gbps per satellite	~5 years	Consumer broadband, Enterprise, Backhaul, Military, Commercial Aviation	Deployment
TELESAT	Canada	Ka-LEO	292	~40-50 Gbps per satellite	10 years	Backhaul, Enterprise, Civil Govt., Mobility, Military	Development (uncontracted)
amazon	U.S.A.	Ka-LEO	3236	NA	7 years	Consumer, Enterprise, Backhaul, Civil Govt., Mobility	Development
OneWeb	U.K.	Ku-LEO	648	~7.5 Gbps per satellite	7 years	Enterprise, backhaul, Civil Govt., Aero, Maritime, Military	Deployment
Viasat[▼]	U.S.A./NED	Ka-LEO	288	~100 Gbps per satellite	N/A	Consumer, Enterprise, Civil Govt., Aero, Military	Planning (uncontracted)
AST	U.S.A./PNG	LTE-LEO	243	N/A	N/A	Consumer/Enterprise (Mobile Network Operators)	Development (in-house)
MANGATA	U.S.A.	Ka-V-MEO/HEO	up to 800	~75-100 Gbps per satellite	N/A	Backhaul, mobility, enterprise, IoT	Planning
Hongyun (CASIC)	China	Ka-LEO	156	<5 Gbps per satellite	N/A	Consumer, enterprise, backhaul, mobility, satnav, EO	Development
Hongyan (CASC)	China	Ka-L-LEO	320-864	10 Gbps per satellite	N/A	Consumer, backhaul, enterprise, IoT	Development
Galaxy Space	China	Q-V-LEO	144-650	10 Gbps per satellite	N/A	Consumer, backhaul, enterprise, civil govt.	Planning

大型GEOと小型LEOコンステの併存

日本企業も投資

PNT (Position, Navigation and Time: 位置時刻情報) が重要な提供情報

*User links **Current generation only

2029までの衛星数

Ref. Euroconsult, Satellites to be built & launched by 20

JPLのCubeSatイニシヤティブ



A New Revolution in Spacecraft – The CubeSat Era

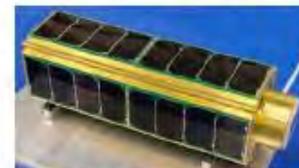
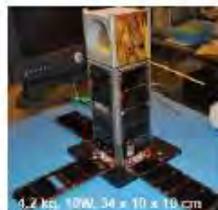
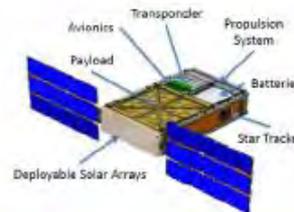
<https://www.jpl.nasa.gov/cubesat/info.php>

結果: センサーの超小型化進む

	Selva* and Krejci, 2012	Freeman 2017	Justification
Atmospheric Chemistry Instruments	Problematic	Feasible	PICASSO, IR sounders
Atmos Temp and Humidity Sounders	Feasible	Feasible	
Cloud Profile and rain radars	Infeasible	Feasible	JPL RainCube Demo
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,
Lidars	Infeasible	Feasible	DIAL laser occultation
Lightning Im			
Magnetic Fi			
Multiple direction/polarization radiometers	Problematic	Feasible	HARP Polarimeter
Ocean color instruments	Feasible	Feasible	SeaHawk
Precision orbit	Feasible	Feasible	CanX-4 and -5
Radar altimeters	Infeasible	Feasible	Bistatic LEO-GEO
Scatterometers	Infeasible	Feasible	GPS refl. (CyGNSS)

CubeSat導入により「やらざるを得ない小型化」により、小型化できなかったものが小型化できるようになる

21世紀: 世界で進行中の超小型衛星革命 (<100kg)



教育衛星(大学・高校)

リモートセンシング

宇宙望遠鏡

気象観測

バイオ実験衛星

Re-entry De-Orbit

OPUSAT (1U: 1kg)

AeroCube(1.5U: 2kg)

AAReST

MiRaTA (3U)

BioSentinel計画案(6U)

再突入回収(3U)

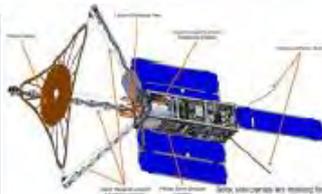
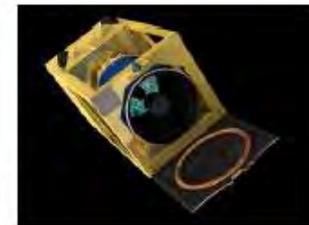
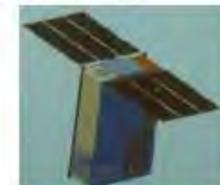
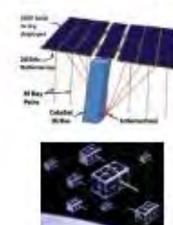
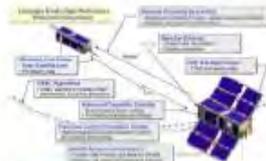
XI-IV (1U: 1kg)

Dove, Flock (3U: 4kg)

MicroMAS (3U)

SPORESAT (3U: 5.5kg)

Sunjammer



ランデブー

通信衛星(低速・高速・戦域)

サイエンス衛星

大気汚染観測衛星

探査

高分解能光学

ドッキング衛星

高速通信・ISARA (3U)

RACE (3U)

(可視・近赤外)

LWaDi (6U)

SCOUT (50kg)

INSPIRE (3U)

低速通信・AISAT-1 (6kg)

FS-7 (3U)

NEMO-AM (15kg)

CAT (3U)

Skysat (120kg)

NASA(年間300億円)、ESA(20億円)、中国等: 大量の官民投資により大学・ベンチャーが力をつけ、実利用・ビジネスに貢献。低コスト・迅速な宇宙利用・実証進む

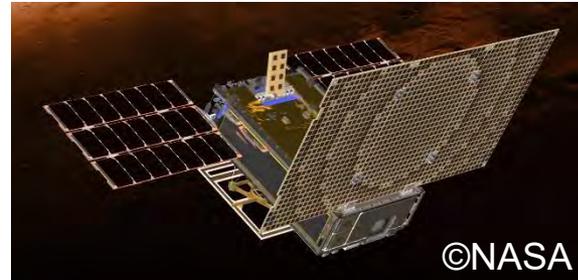
超小型衛星による宇宙科学探査・地球観測分野の世界の状況と日本

- NASAによる超小型衛星を使った実宇宙科学探査ミッションが登場



ASTERIA(宇宙科学)

系外惑星探査
10x20x30cm(6U)
12kg (2017)
<安定度(20分)>
姿勢:0.5秒角
温度:0.01度



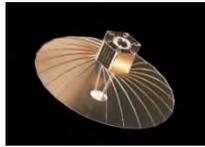
MarCO(宇宙探査)

火星フライバイ
(火星着陸機の電波の中継)
34x24x12cm(6U)
13.5kg (2018)

- 3Uで**1 Gbps以上の光通信成功**: MIT
- トロント大: **20-50kg宇宙科学・観測プロジェクト多数受注**
- **“Starshade” (occulter)などのFFミッションもすでに計画中**
- 欧米のベンチャー会社は**3~6U衛星受注を1社20~100機受注**
 - BCT, GomSpace, Tyvak, ISIS, NewSpace, ClydeSpace, -----
- 日本でも超小型衛星で宇宙科学をやろうという動きが...
 - **日本で頼めるところがないので、海外企業への発注を検討**
- 日本と海外宇宙機関のマインドに大きな差
 - 政府の継続的・戦略的投資の**あるなしが大きな違い**を生んできた

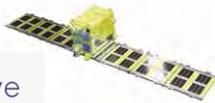
国内にも宇宙ベンチャーが増えつつある

小型SAR衛星開発・画像販売



QPS研究所

九州大学での技術を中心に、九州に宇宙産業を根差すべく2005年設立。現在約20社が衛星開発に協力。合成開口レーダー(SAR)を搭載した小型衛星の開発、製造、観測データの販売を行う。2019年に初号機打上げ成功。36機の衛星コンステレーションの整備を目指す。



シンスペクティブ

2018年設立。合成開口レーダー(SAR)を搭載した小型衛星の開発、製造、観測データの販売、ソリューションの提供を目指す。2021年2月、日本の民間初の小型SAR画像の取得に成功。

小型光学衛星開発・画像販売



アクセルスペース

2008年設立。低コスト・短期に超小型衛星の開発・製造から運用まで行う。2023年までに10機の光学衛星を打ち上げ、毎日地球全体を観測し、データを解析して提供するプラットフォームサービスを構築。2019年5月末よりサービス開始。2021年3月に新たに4機打上、6月より5機体制のサービスを開始。

スペースデブリ除去



アストロスケール

2013年設立。スペースデブリを除去し、宇宙機の安全航行確保を目指す。2021年3月に世界初のデブリ除去技術実証衛星打上げ。

小型衛星用ロケット



インターステラテクノロジズ

2013年設立。低コストで打上げ可能な小型の液体燃料ロケットを開発中。2019年5月に観測ロケットの打上げに初成功。民間企業単独で開発・製造したロケットの宇宙空間到達は国内初。2021年7月にもMOMO6号機、7号機の打上げに成功。

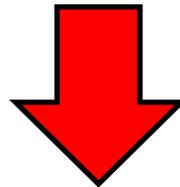


スペースワン

キヤノン電子やIHIエアロスペース等により2018年に発足した小型ロケット開発会社。和歌山県串本町に民間企業が建設する日本初の小型ロケット打上げ射場を建設し、2022年末までの運用開始を目指す。

日本で何をやらないといけないか？

- 超小型衛星の能力を向上させる先端的技術開発
 - Software defined satellite, DX(開発時、運用時)
 - 小さい衛星を「大きく使う」アイデアと技術
 - 特定の分野で「尖った」バス技術、センサー技術、等
- 人材育成
 - 超小型ベンチャーは深刻な人材不足、特に「システム人材」
 - ミッションから衛星設計へ落とし込み、それを確実に実現する力
- 宇宙科学探査・地球観測の**担い手**になれる企業の育成
 - 高度なミッションを持った超小型衛星を確実に作れる企業



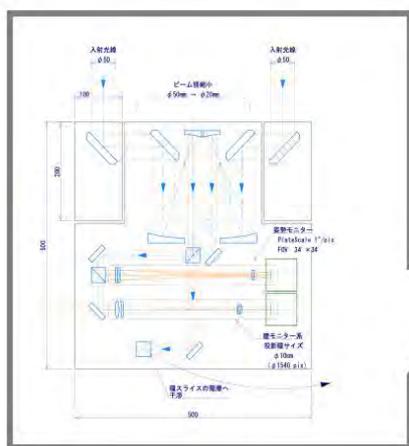
拡充Pの狙い！

- 「出来高」「教育目的だけ」のプロジェクトではなく、高度な実ミッションを実施する中で鍛錬しないと育たない。

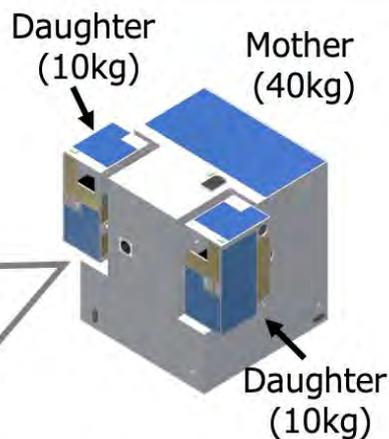
Next Step: 複数衛星による宇宙科学探査の新しい方向 “Formation Flying (FF) 編隊飛行”

赤外干渉計編隊飛行衛星 “SEIRIOS”

(Space Experiment of IR Interferometric Observation Satellite)



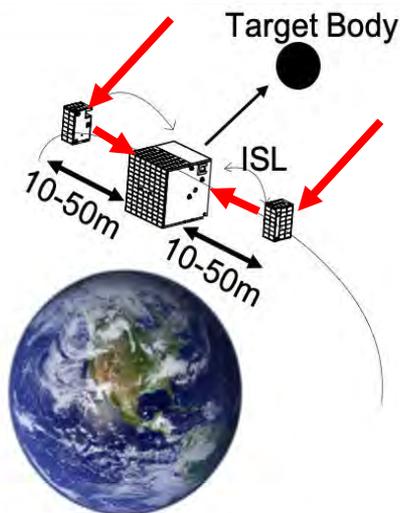
Science payload



50cm cubic size

Minimum Success

Observation by docking configuration



Full Success

Accurate Formation Flying



Image Reconstruction
(e.g. Europa)

Extra Success

Image reconstruction of
Solar system objects

複数衛星が近傍で、協調してミッションを実現するFormation Flying

本シンポジウムの狙いと構成

- モチベーションは「世界からの遅れの危機感」
- 超小型衛星の**実用化の機運**を高めよう！
 - 宇宙科学探査・地球観測ミッションの超小型衛星による実証ではなく「**実用**」の可能性を探る
 - ミッションのアイデアとそれを実現する衛星技術のアイデア
 - どう開発するか「座組み」のアイデア
- シンポジウムの構成
 - 拡充Pと2022年度採択ミッションの紹介（60分）
 - 世界の超小型衛星の国際戦略・動向（30分）
 - 地球観測ミッション（12分×3）
 - 宇宙科学・探査ミッション（2セッション、12分×10）
 - 宇宙環境利用ミッション（12分×4）
 - 超小型衛星に関連する新しい構想（12分×5）
 - 打ち上げサービスについて（12分×2）

1日に押し込めたので、発表が短時間であることをご了解ください。時間厳守をお願いします。

繰り返し(衛星開発)数と失敗の重要性

- 世界の開発スピードに遅れないためには、技術実証と結果のフィードバックを、早いサイクルで多数、繰り返していくことが必要。失敗は重要な知見の源

$$\text{技術の向上度} = (1 + a)^N$$

1回の実証の技術向上度

実証の頻度

Nの向上がスピードアップのカギ
(指数関数的な向上)

- スペースXが、創業から20年弱で有人ロケットまで到達した理由の一つに、失敗をおそれず、実際に造って試すことを重視したことが挙げられる。

<ギャレット・リースマン氏のインタビュー(スペースX顧問、元NASA宇宙飛行士)>

- ✓ スペースXでは、机上で何年も考え込んで素晴らしい設計図を描くことよりも、実際に造って試してみても、描いた設計図が本当に機能するかどうかを試すことを優先。
- ✓ 設計の問題点をすべて修正し、また実際に試してみると、今度は別の問題が見える。これをスピーディーに繰り返すことで、どんどん成功に近づいていく。失敗を早く重ねることこそが、短期間で高い技術力を身につけられた一番の要因。
- ✓ コストも、実際にやってみて失敗したほうが安くつく場合が多い。失敗を恐れて実験をしなければ、もっと長い年月がかかる。高給で優秀な技術者を長期間、雇い続けなければならない。



2020.12.9の試験で爆発するスターシップ(ロイター)

日経新聞のインタビュー記事(2020.12.29)を要約

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOFK248FP0U0A221C2000000/>

"If things are not failing, you are not innovating enough" 13
「失敗していないとすれば、イノベーションを起こしていないということだ」(イーロン・マスク)