



JAXA
STEPS **シンポジウム** 2026

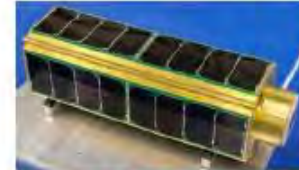
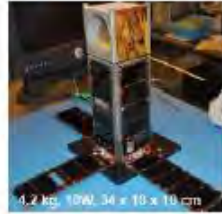
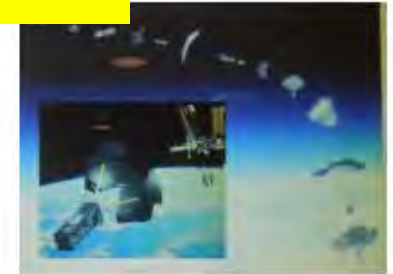
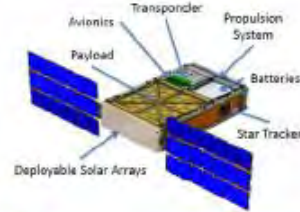
基調講演

立命館大学 中須賀真一

問題提起のまとめ

1. 超小型衛星の柔軟な活用が世界を変えつつある。
➤ その流れに追いついていない日本の現状
2. 衛星やコンポーネントの開発数で圧倒的に負けている。海外製コンポを使わないといけない状況も
3. 実証の回数が足りない
4. カテゴリーを決めて技術の拠点を整備する必要性
5. JAXA-STEPSプログラムへの期待と提言

21世紀の宇宙開発は小型・超小型の時代！



教育衛星(大学・高校)
OPUSAT (1U: 1kg)
XI-IV (1U: 1kg)

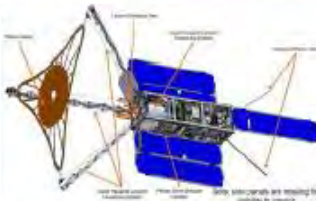
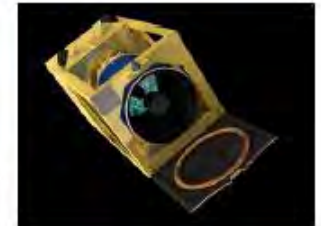
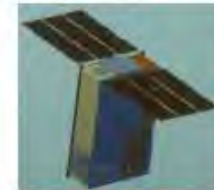
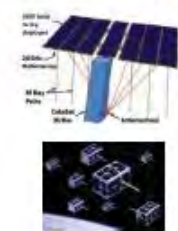
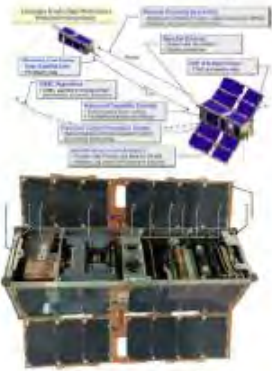
リモートセンシング
AeroCube (1.5U: 2kg)
Dove, Flock (3U: 4kg)

宇宙望遠鏡
AAReST

気象観測
MiRaTA (3U)
MicroMAS (3U)

バイオ実験衛星
BioSentinel計画案(6U)
SPORESAT (3U: 5.5kg)

Re-entry De-Orbit
再突入回収(3U)
Sunjammer



ランデブー
ドッキング衛星
INSPIRE (3U)

通信衛星(低速・高速・戦域)
高速通信・ISARA (3U)
低速通信・AISAT-1 (6kg)

サイエンス衛星
RACE (3U)
FS-7 (3U)

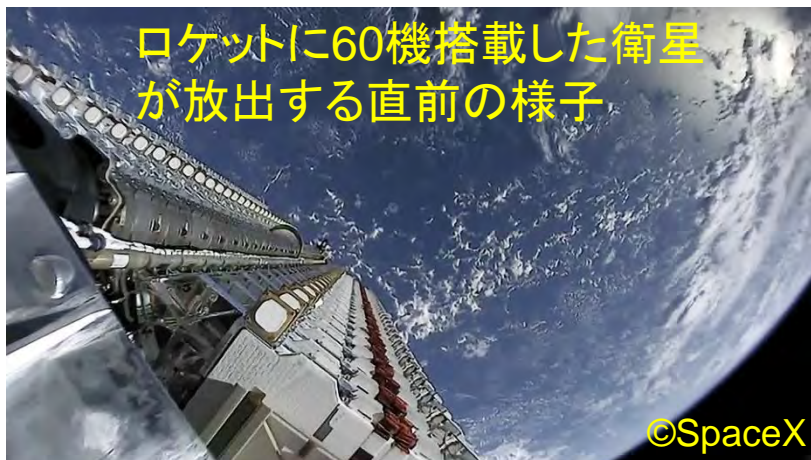
大気汚染観測衛星
(可視・近赤外)
NEMO-AM (15kg)

探査
LWaDi (6U)
CAT (3U)

高分解能光学
SCOUT (50kg)
Skysat (120kg)

大量の官民投資により繰り返し数を経た大学・ベンチャーが力をつけ、実利用・ビジネスに貢献。政府の投資も増大。低コスト・迅速な活用がさらに進むループに入る

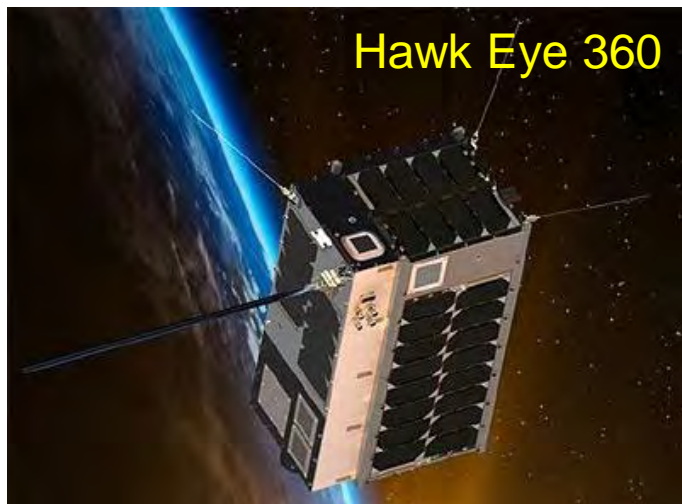
小型衛星コンステレーションによる 各種の新しいサービスの登場



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を目指す



Planet社は190機以上の5kg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



HawkEye: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



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

NASAの超小型衛星発展への戦略

- Cube/Nano/Microsatelliteの重要性を認識し、科学ミッションを割り当てる。NASAは戦略的に進める。
 - Astrophysics、Heliophysics, Planetary, Earth Scienceを対象 (Decadal Surveyの結果のうち小型でできるものは利用)
 - 深宇宙探査の機器開発・CubeSatをシリーズ化
 - INSPIRE、MarCO、Cupid's Arrow, Chariot, JUMPER, SNAP.....
- そのための技術開発を大学と連携して開始
 - お題を決めて得意技をもった大学に研究開発費で拠点形成
 - Small Satellite Technology Partnerships(STP) 2013～
 - ミッションはNASA-大学の連携で大学名で実施。
 - NASA側から経験者が入って確実な開発・連携を担保(1人・年など)
 - 逆に大学で経験を持った教授がNASAのプロジェクトのリーダーにも(人材交流が盛ん)。NASAにも小型衛星ノウハウが

結果: センサーの超小型化進む

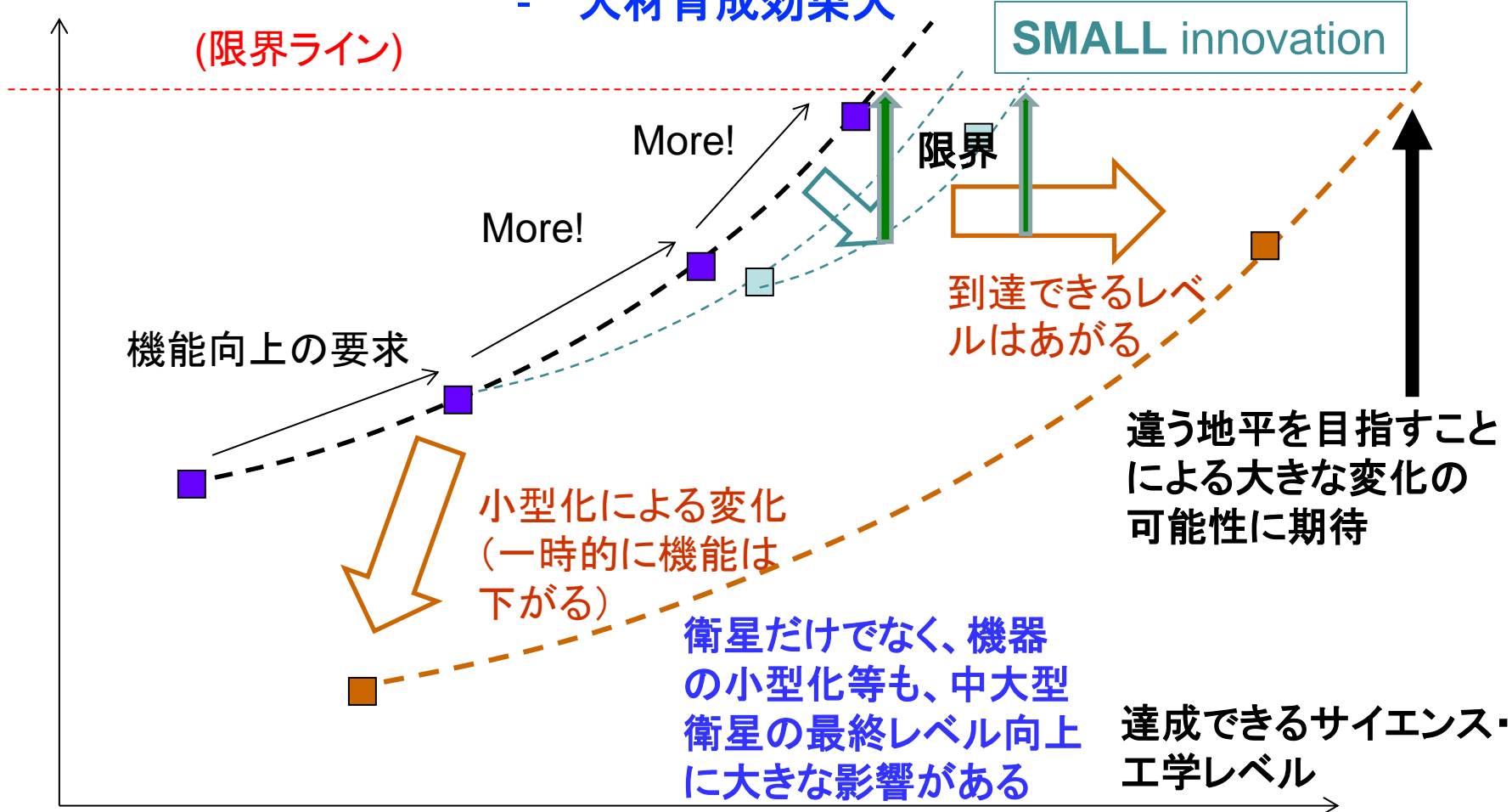
	Selva* and Krejci, 2012	Freeman 2017	Justification
Atmospheric Chemistry Instruments	Problematic	Feasible	PICASSO, IR sounders
Atmos Temp and Humidity Sounders	Feasible	Feasible	
Cloud Profile and rain radars	Infeasible	Feasible	JPL RainCube Demo
Earth Radiation Budget radiometers	Feasible	Feasible	SERB, 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

NASAの目指す超小型衛星の将来の野望

- 同じ予算内でミッション数を増やせる
- 開発された小型機器は中大型衛星にも有効に利用できる
- 人材育成効果大

必要なリソース
(e.g. コスト、重量、開発期間)

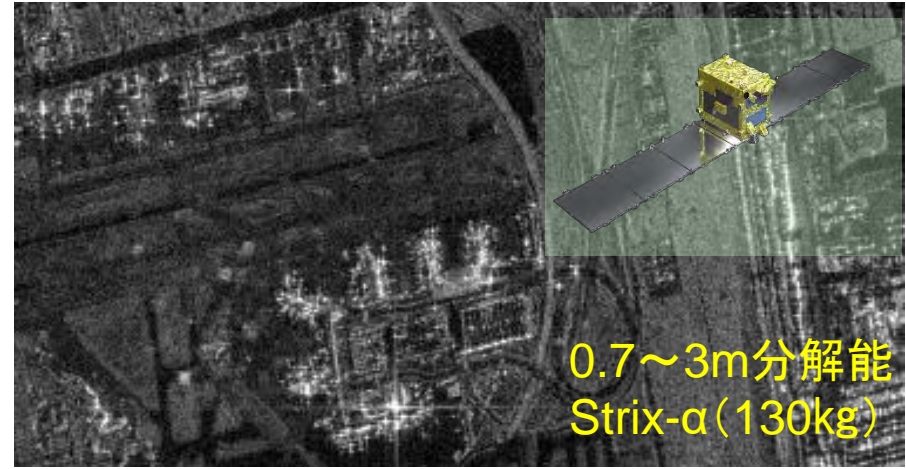


日本における小型コンステレーション会社



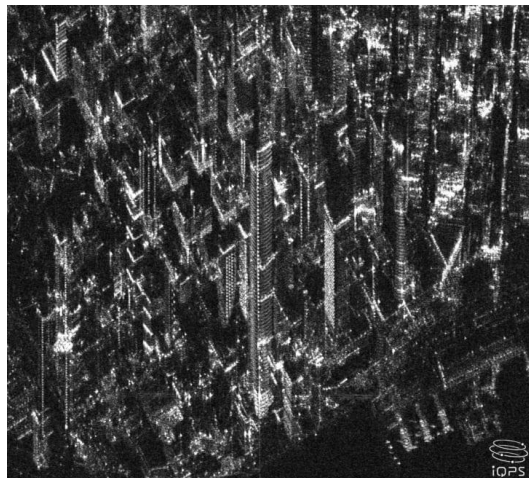
2.5m分解能
GRUS (90kg)

Axelspace社は5機の光学衛星コンステ運用中。小型コンステで世界中1日1回の撮像目指す

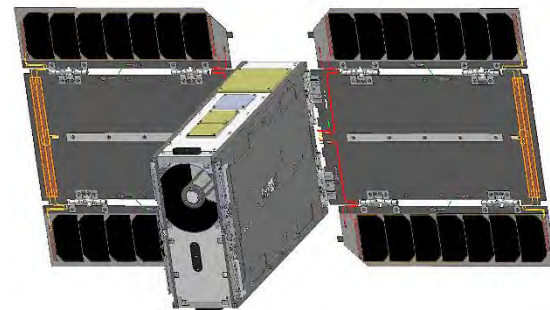


0.7~3m分解能
Strix-α (130kg)

Synspective社はSAR衛星による数時間に一回の観測を目指す(30基目指す)



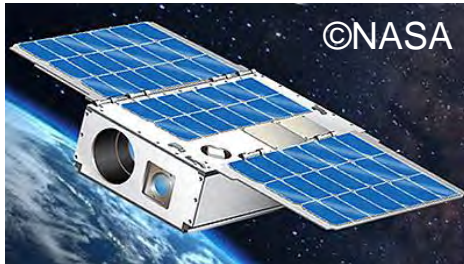
QPS研究所
(30基目指す)
70cm分解能実現



Arkedge Space社は6U衛星による
VDES/MDA/IoTコンステ開発中

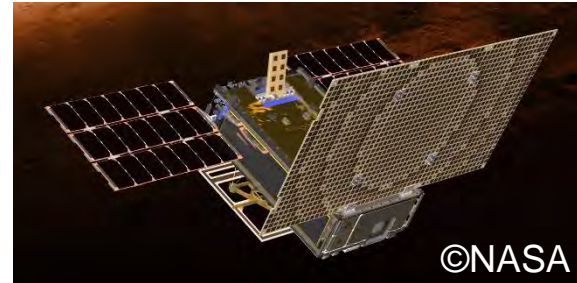
超小型衛星による宇宙科学探査・地球観測分野の世界の状況と日本

- 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**200Gbpsの衛星—地上間光通信成功**:MIT、NASA
- トロント大:**20-50kg宇宙科学・観測プロジェクト多数受注**
- **“Starshade”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10~30機受注**
 - BCT, GomSpace, Tyvak, ISIS, NewSpace, ClydeSpace, -----
- 宇宙の後進国でもあったフィンランド(ICEYE)、リトアニア(Nano-Avionics)、ブルガリア(Endurosat)などが世界から衛星受注
- 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、上記海外企業への発注**

なぜ日本で「衛星数」が増えないんだろう？

- ブルガリア、リトアニア、フィンランドなどで100に近い衛星数を実現している企業が登場した理由は何か？
 - 宇宙開発の長い歴史が逆に制約条件になっていないか？
 - すべての地上試験をしっかりとやる、PDR、CDRなどをやる----
 - 安全基準を緩和することへの抵抗感
 - 人材の移動や集中が起こりにくい日本の課題？
 - 柔軟な人材市場を持った欧州との違い？
 - 政府のアンカーテナンシーの多寡の違い？
 - 特定のコンステ(地球観測など)開発に特化して、お客の要望で衛星を創ることはやりたくなかった？
 - 国際的に営業をする気があったのか？
- 繰り返し数により、性能・信頼性は向上する
- 衛星数が増えると、コンポメーカーも育つ

小型・超小型衛星用コンポーネーターが 日本で育たないのはなぜ？

- Stellenbosch大学(南ア)周りでは、コンポのスタートアップ企業が多数誕生し、数100から1000個のコンポ(カメラ、磁気センサー・トルカー、ホイール等)を販売
- 全くないわけではない
 - アマチュア通信機の西無線、電源系のAstrex等は数が多いが100は超えない(国内市場だけ)
- JAXAの革新実証などで実証は進めているのに、なぜ、日本ではそんなコンポ企業が出てこないのか？
 - ビジネスでやろうと思っていない？
 - コンポ作りより、衛星づくりの方が好きだから？
 - 国内に大量の衛星を作るシステム企業がないから？
 - 世界的な販路開拓・営業のノウハウがないから？

繰り返し(衛星開発)数の重要性

- 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。

$$\text{技術の向上度} = (1 + a)^N$$

実証の頻度

1回の実証
の技術向上度

Nの向上がスピードアップのカギ
(指数関数的な向上)

JAXA小型技術
刷新Pのロゴ



- 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、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)

実証した成果が「売れる力」になる

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” 12
「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) 12

NASA HQの Small Satellite Technology Partnerships(STP)プログラム (2013～現在、4回実施)

各年度ごとに「お題」を決めて参加大学を公募。お金だけでなくNASAの人も貸与。NASAは大学流の衛星作りを勉強できる⇒大学を技術ごとの拠点化

STP Grant Award Caps

STP Proposal Year	University	NASA/JPL FTE
2013, 2015, 2016	\$100k / yr 2-year max	1.0 FTE for NASA/JPL partner \$25k procurement to NASA/JPL in second year
2018	\$200k / yr 2-year max	0.5 FTE for NASA/JPL partner \$25k procurement to NASA/JPL in second year

STP Class	2013	2015	2016	2018
Technology Topic Areas	Communications	Avionics / C&DH Subsystem	Enhanced Power Generation and Storage	Instruments for SmallSats incl. Multiple SmallSats
	GN&C	Communication Subsystem	Cross-linking Communications Systems	Technologies That Enable Large Swarms of Small Spacecraft
	Propulsion	Ground Data Systems	Relative Navigation for Multiple Small Spacecraft	Technologies That Enable Deep Space Small Spacecraft Missions
	Power	GN&C / ADCS Subsystem	Instruments and Sensors for Small Spacecraft Science Missions	

2つの重要な施策

- ・毎年、違う技術テーマを与え、それで公募かける
- ・NASAの人が大学に1, 2年派遣され一緒に開発

	Manufacturing	Subsystem		
		Propulsion Subsystem		
		Structures and Mechanisms		
Proposals	n/a	109	80	111
Grants	13	8	8	8

JAXA—STEPSへの期待と提言

- 宇宙戦略基金よりも短期・小予算・小手続きで迅速な衛星・技術の研究開発ができるスキームとして重要
- 実証の機会を提供できることが特に重要
 - コンポの実証後は、世界に売るための営業をしよう
 - 実証した成果をもっと「公」にしてはどうか。
- 観測センサーなどの研究開発・実証を加速したい
- 超小型衛星による宇宙科学探査・地球観測等の「実証」ではなく「実用への応用」を加速する機会に
 - 「尖った目標」に応える中で、技術力・人材の向上を生む
 - そのミッション自体に意義がある(実質的貢献)
 - 小型だが世界と勝負できるミッションアイデア創生の機会
 - 小型宇宙科学探査衛星の専門スタートアップが欲しい
- 今、日本で足りていない「宇宙人材」の育成の機会

宇宙開発利用に必要な人材の供給源に

1. 衛星・ロケット・コンポ等開発の技術・マネジメント力

- ① 与えられたミッションから設計に落とし込む上流のシステム技術
- ② 宇宙環境・開発の進め方などを熟知した「宇宙特有」の素養
- ③ 一般の電気・通信・熱・構造・制御・ソフト等の要素技術分野の素養
- ④ 大量生産のラインの設計、品質維持などの製造面の素養

2. 利用を開拓し、ユーザーと共にそれを継続・発展させる力

- ① 社会問題などに敏感で、宇宙を使って解けるものを見つける構想力
- ② 必要なスペックを持った人材・機関などをつなげる力・ネットワーク力
- ③ ビジネス一般に必要な各種素養(ファイナンス、法等含む)
- ④ 政府のルール・習わしなどを熟知し、利用への予算を引き出せる力

3. 国際連携・交渉力

- ① 国際標準のプロトコル(進め方)、ルールなどを熟知していること
- ② 国際的ネットワーク力
- ③ 知らない世界に飛び込んで、何かを持って帰ってこれる力

4. ベースとして必要: 問題解決力、粘り、継続力、決断力---