

東北大学フォーラム2024 in大阪

小型宇宙機技術が拓く新しい宇宙開発利用と 宇宙ビジネス展望

東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻
宇宙システム講座 宇宙探査工学分野 准教授

栞原 聡文



1. 自己紹介
2. 超小型宇宙システムとは？
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成
4. NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望
5. 結言



栞原 聡文 Toshinori Kuwahara, Dr. -Ing.

東北大学大学院工学研究科

航空宇宙工学専攻

宇宙探査工学分野 准教授

株式会社ElevationSpace 共同創業者/取締役

- 大学宇宙工学コンソーシアム UNISEC* 理事長
- 株式会社中島田鉄工所 技術顧問
- 株式会社ALE 技術顧問

研究内容:

超小型宇宙機による宇宙開発利用の高度化

*UNISEC: University Space Engineering Consortium

1. 自己紹介

東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 / 機械知能・航空工学科 航空宇宙コース

航空工学

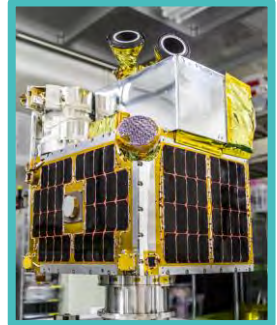
- ・空力設計学
- ・実験空気力学
- ・材料・構造スマートシステム学

宇宙工学

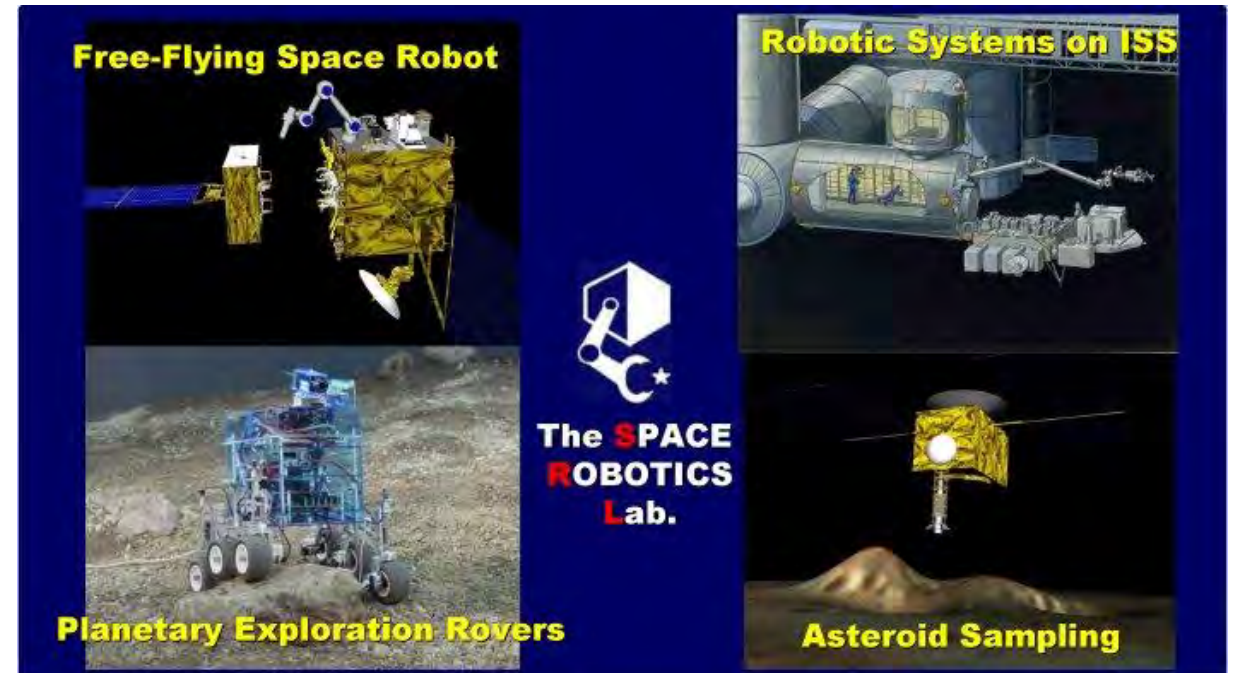
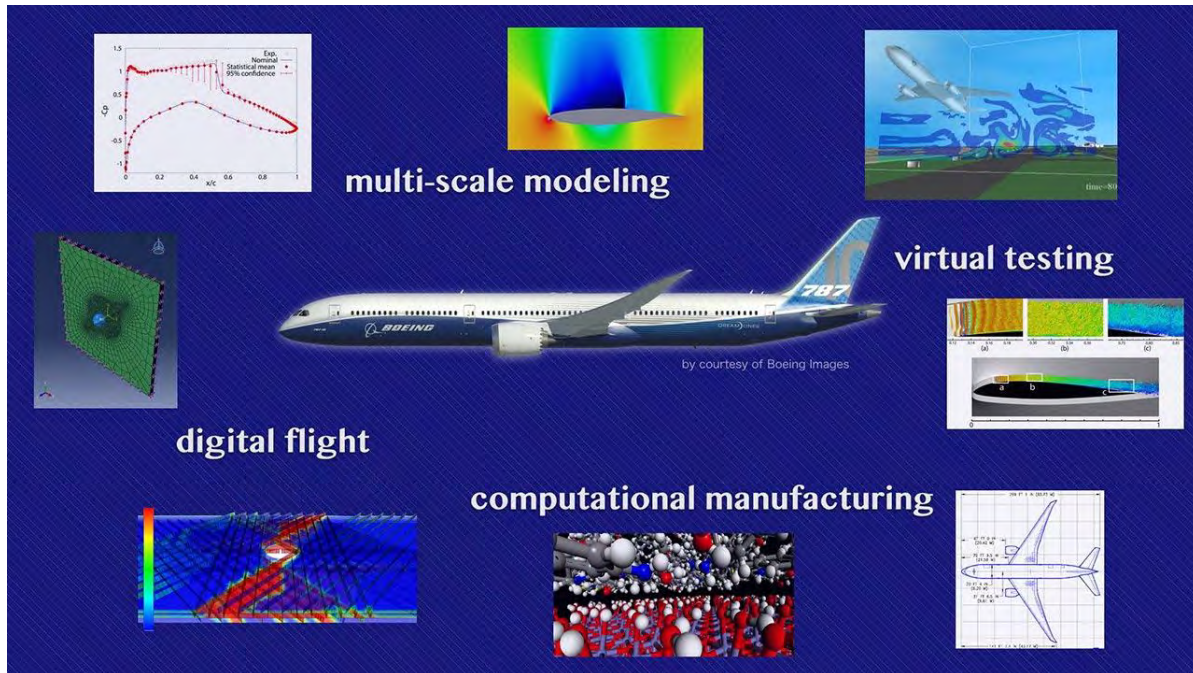
- ・宇宙構造物工学
- ・推進工学
- ・宇宙探査工学



小型月面探査車



超小型人工衛星





1. 自己紹介
2. 超小型宇宙システムとは？
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成
4. NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望
5. 結言

2. 超小型宇宙システムとは？

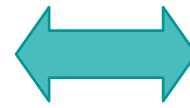
大型衛星と超小型衛星の関係性

大型衛星



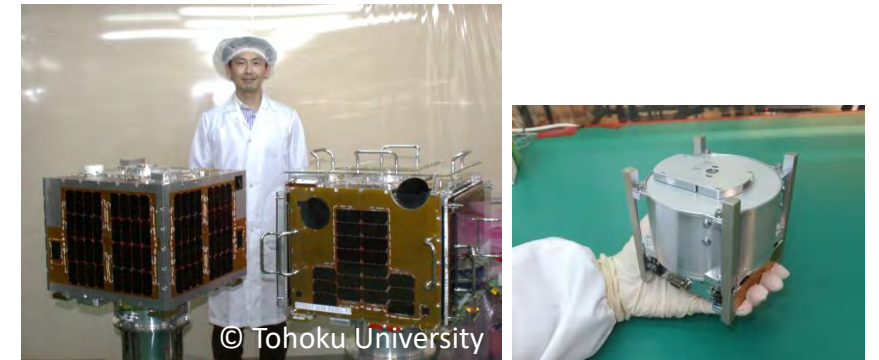
大きい
高額
長期

- 専用の打上げロケットの確保が必要
- 高信頼性が求められ、リスクを許容できない
- 高性能、少数(観測頻度が少ない)



質量
開発費
開発期間

超小型衛星

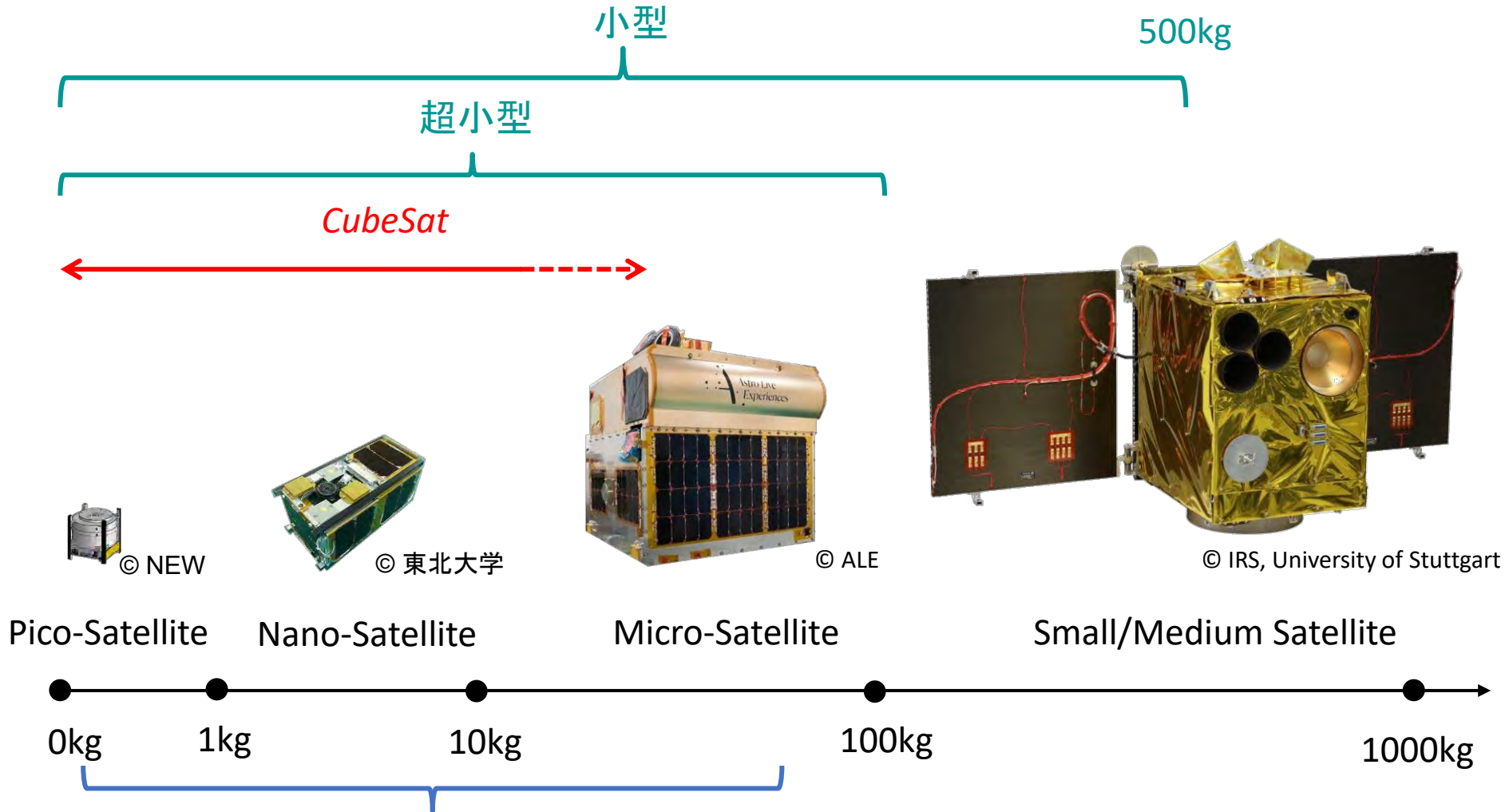


小さい
廉価
短期

- 軽量 = 頻繁な打上げ機会の確保が可能
- 廉価 = リスクを恐れずチャレンジングなミッションに挑戦することができ、多数打ち上げて今ステーション化することができる。(観測頻度の向上)
- 短期 = 最新の技術を活用可能
- 宇宙工学教育と早期宇宙技術実証の最適なプラットフォーム

2. 超小型宇宙システムとは？

衛星の質量クラス分類



東北大学の研究開発、運用実績

2. 超小型宇宙システムとは？

超小型宇宙システムのミッション事例

超小型宇宙システムの利用は多岐にわたる。

地球観測：

- ・ 地球観測 (光学/SAR)
- ・ 電波情報
- ・ 気象・宇宙天気
- ・ GPS掩蔽観測

通信：

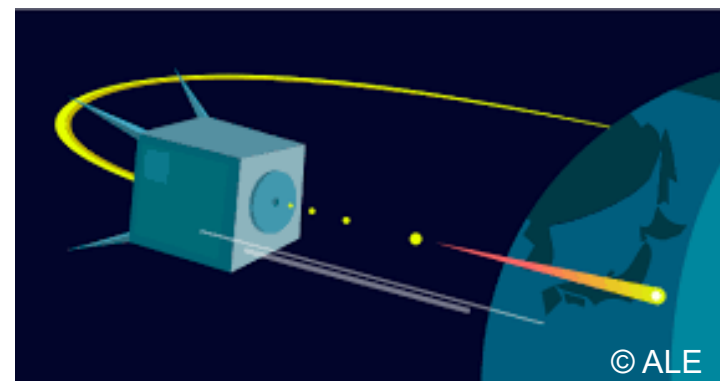
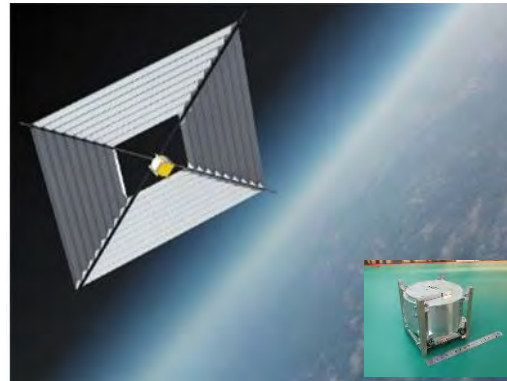
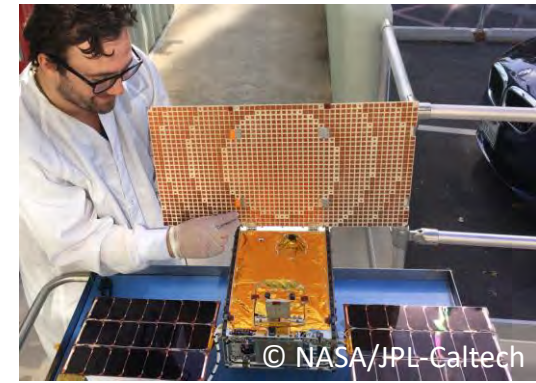
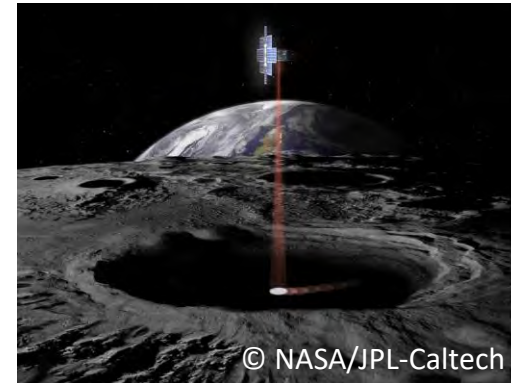
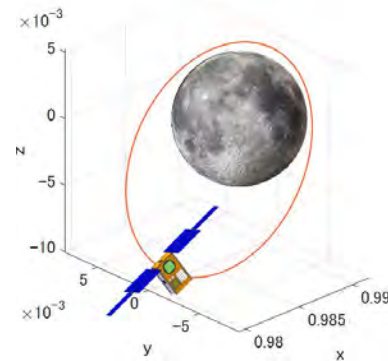
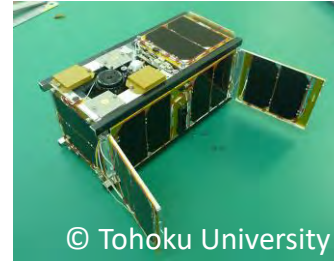
- ・ 低速通信 (M2M / IoT / AIS)
- ・ 光通信

新技術：

- ・ 再突入・回収
- ・ デブリ除去
- ・ 軌道上サービス
- ・ 人工流れ星

理学ミッション：

- ・ 宇宙天文観測
- ・ 月・惑星・深宇宙探査



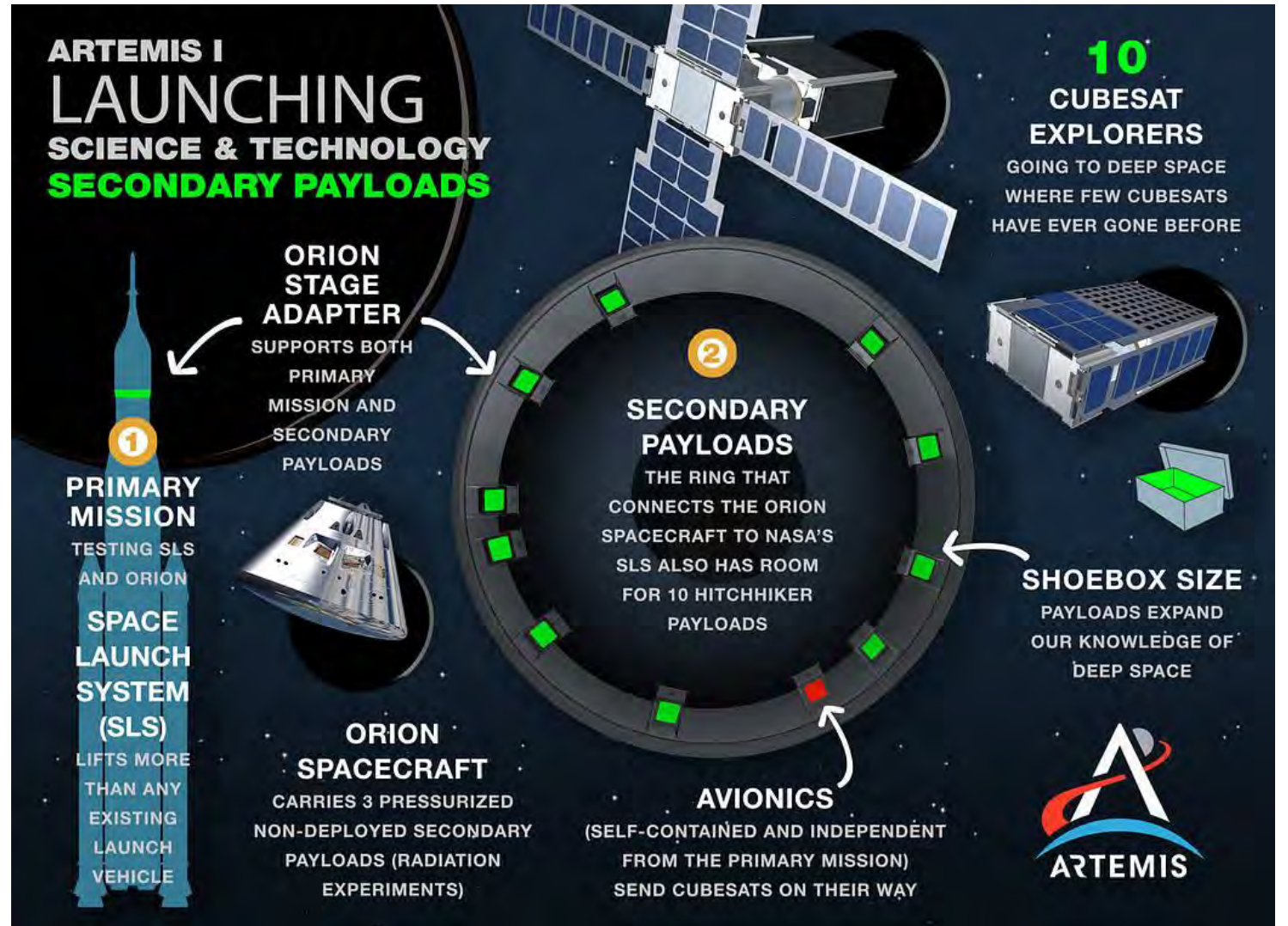
2. 超小型宇宙システムとは？

最新の動向 — ARTEMIS I (アルテミス ワン) ミッションのご紹介



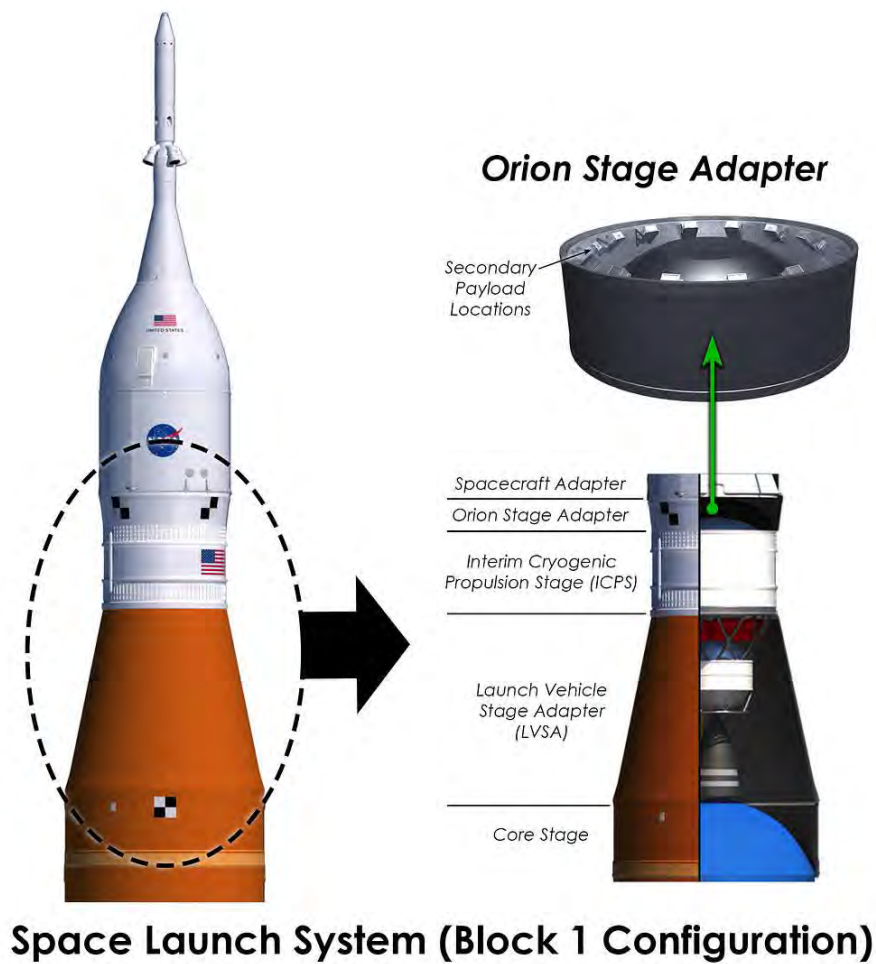
2. 超小型宇宙システムとは？

最新の動向 - ARTEMIS I (アルテミス ワン) ミッションのご紹介



2. 超小型宇宙システムとは？

最新の動向 — ARTEMIS I (アルテミス ワン) ミッションのご紹介



超小型衛星は月・惑星探査にも利用され始めています。

© NASA



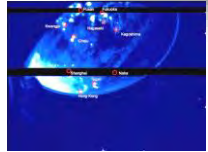
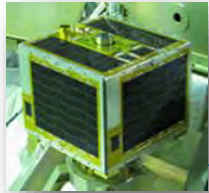
1. 自己紹介
2. 超小型宇宙システムとは？
3. **超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成**
4. **NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望**
5. 結言

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

東北大学における超小型宇宙システム研究開発事例

International Space Education / Collaboration

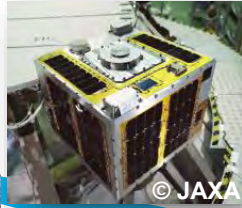
SPRITE-SAT (2009)



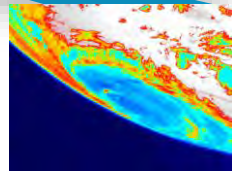
地球環境計測



地表観測



RISING-2 (2014)



赤外観測



DIWATA-1 (2016)



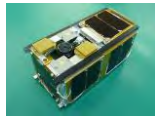
スペクトル観測



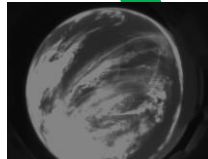
DIWATA-2 (2018)



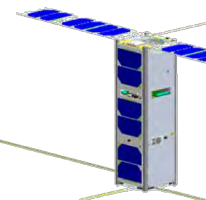
MMSAT-1 (2020)



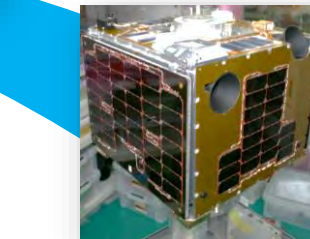
RAIKO (2012)



広域観測



CubeSat (2022)

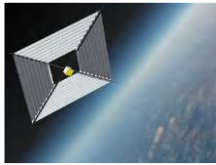


RISESAT (2019)



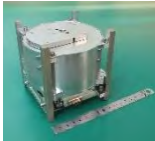
ALE-1 (2019) © ALE

Micro-satellites



FREEDOM (2017)

© NEW, Ltd.



ALE-EDT

Nano-satellites

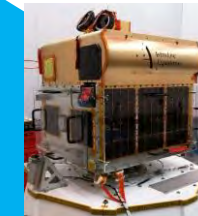


BioCube

© AAC Clyde Space



ALE-2 (2019)



ALE-3



ELR-R100

© 東北大学

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

地球周回軌道からの地球観測の需要

高度なスペクトル撮像など先端的計測によって開拓される潜在的ニーズが存在する。

- 防災・減災：
 - リアルタイムでの情報収集 豪雨などの現象，被害地域，交通網の把握
 - 土砂災害など危険地域の事前把握，被災後の農地や森林の復興状態把握
- 農業：
 - 病害虫の早期発見 → 農薬の大幅削減
 - 土壌水分量の推定 → 灌水の最適化
 - 成長段階の把握 → 刈り入れ時期の決定（商品価値を大きく左右）
 - タンパク含有量の空間的把握 → 高品質農産物の生産管理
- 水産業：
 - 漁場の推定 → 燃料代の大幅削減
 - 養殖場候補領域の開拓
- 森林計測：
 - 高精度樹種判別及び成長速度推定 → CO₂排出量推定
 - 土壌水分量 → 火災発生確率の推定、土砂災害の予測
- 鉱業：
 - 高解像度・高精度の鉱物同定 → 資源探査の飛躍的効率化

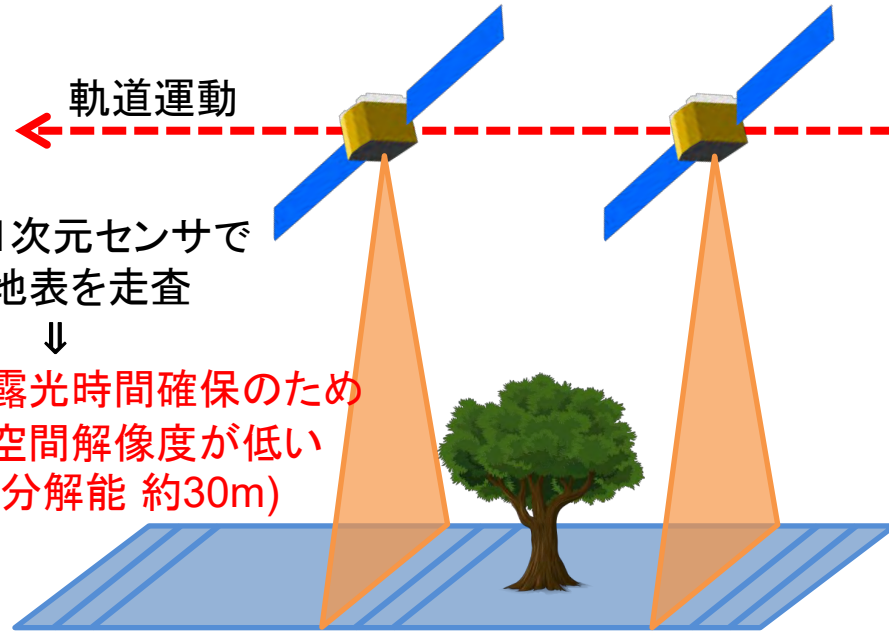
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型マルチスペクトル(分光)観測衛星の例

- 超小型衛星ならではの観測手法を用いた大型衛星との協調観測の実施

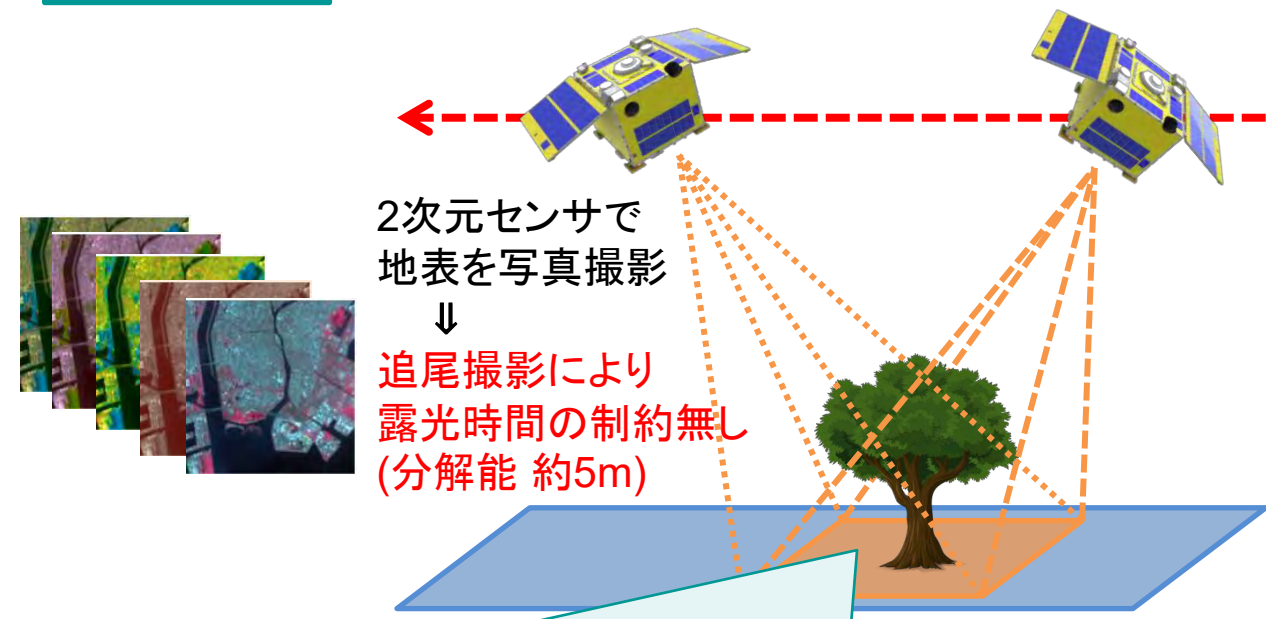
大型衛星

プッシュブルーム：衛星は固定姿勢を維持



小型衛星

定点観測：衛星は観測目標を追尾



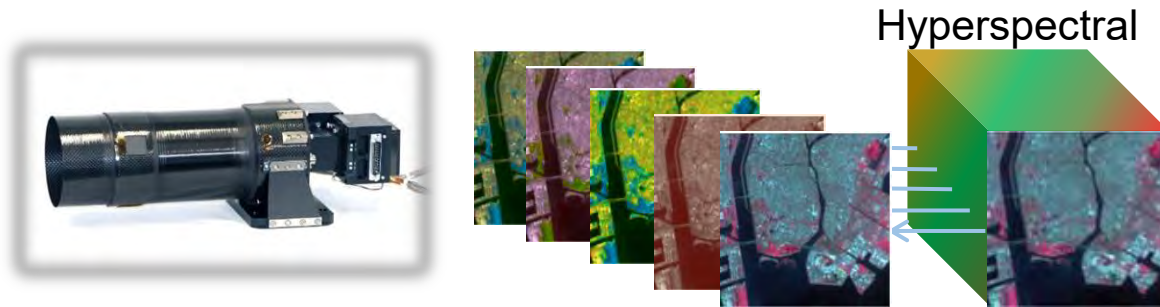
- ・定点指向制御の導入で露光時間を稼ぐ
 - ・軌道運動からの制約を受けにくいいため高解像度化可能
- ⇒ 大型衛星との協力運用で **低コスト・オンデマンド地球観測** を実現

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型マルチスペクトル(分光)観測衛星の例

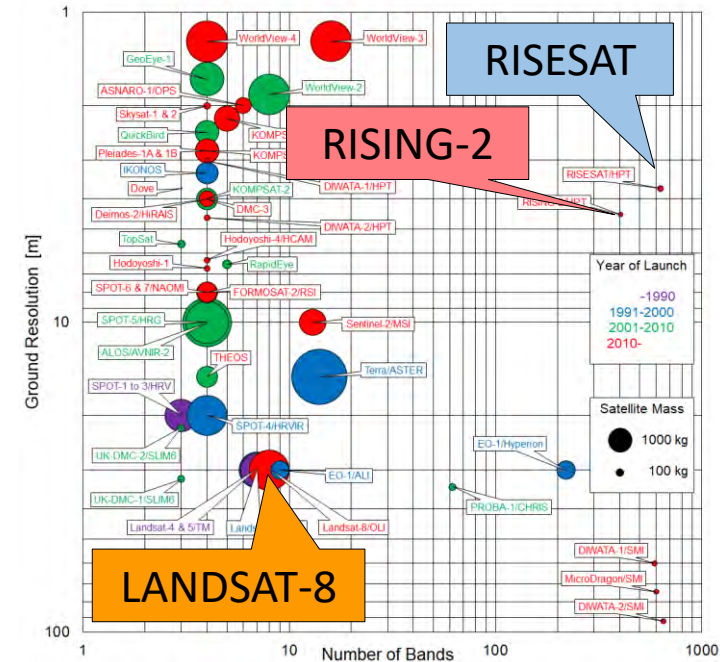
- カセグレン望遠鏡と2台の液晶可変波長フィルタ(LCTF) (420-650nm, 650-1050nm)を用いた630バンドでの3.7m地表空間分解能のマルチスペクトル(分光)観測技術の実証
- マルチスペクトル観測を実現するための**高精度地表定点指向観測技術**の実証

高解像度マルチスペクトル望遠鏡(HPT)



液晶波長可変フィルタ(LCTF)技術により、可視域～近赤外域(420～1050 nm)から自由に波長を選択してスペクトル撮像が可能
地上分解能は 3.7 m (※軌道高度500 kmの場合)

GSD – Number of Bands

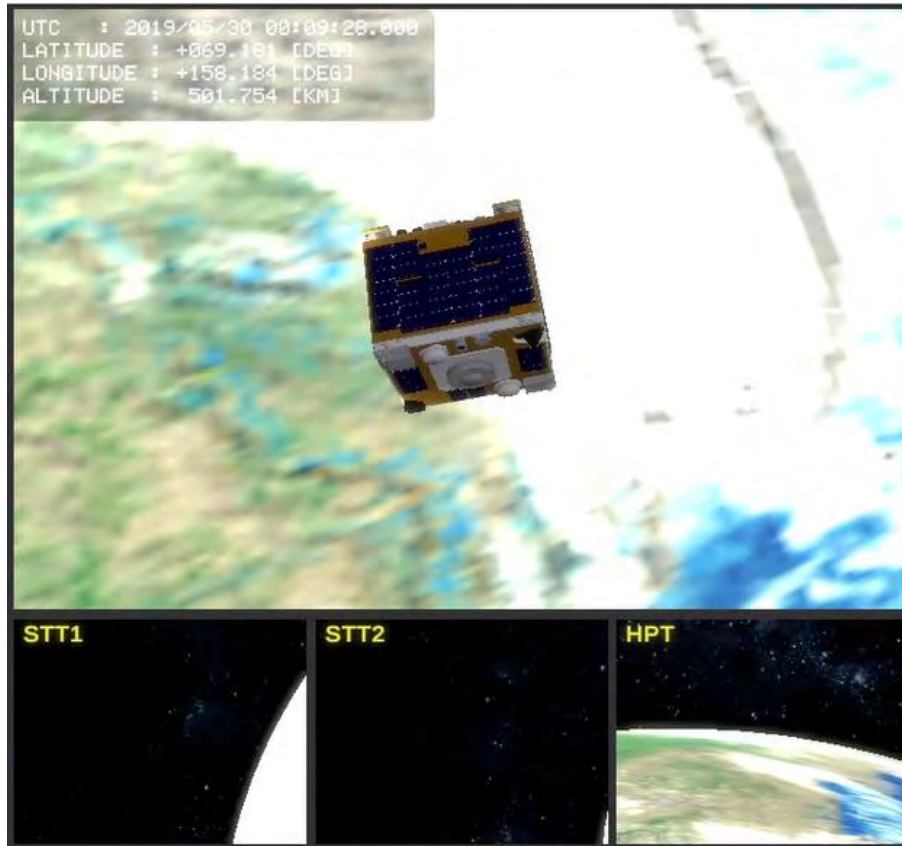


世界に類を見ない分光観測技術を確立

© 東北大学, 北海道大学

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型マルチスペクトル(分光)観測衛星の例 – 軌道上実証成果



2019/05/30 00:09:28 ~ 00:19:02 UTC

- 実際の姿勢制御ログ(1Hz)からCGを生成
- 約50倍速再生
- 地表の状態は当時とは異なる



500 m

First Light

Sendai (2019/5/30), True Color Composite

True color

R: 670 nm (Red)

G: 555 nm (Green)

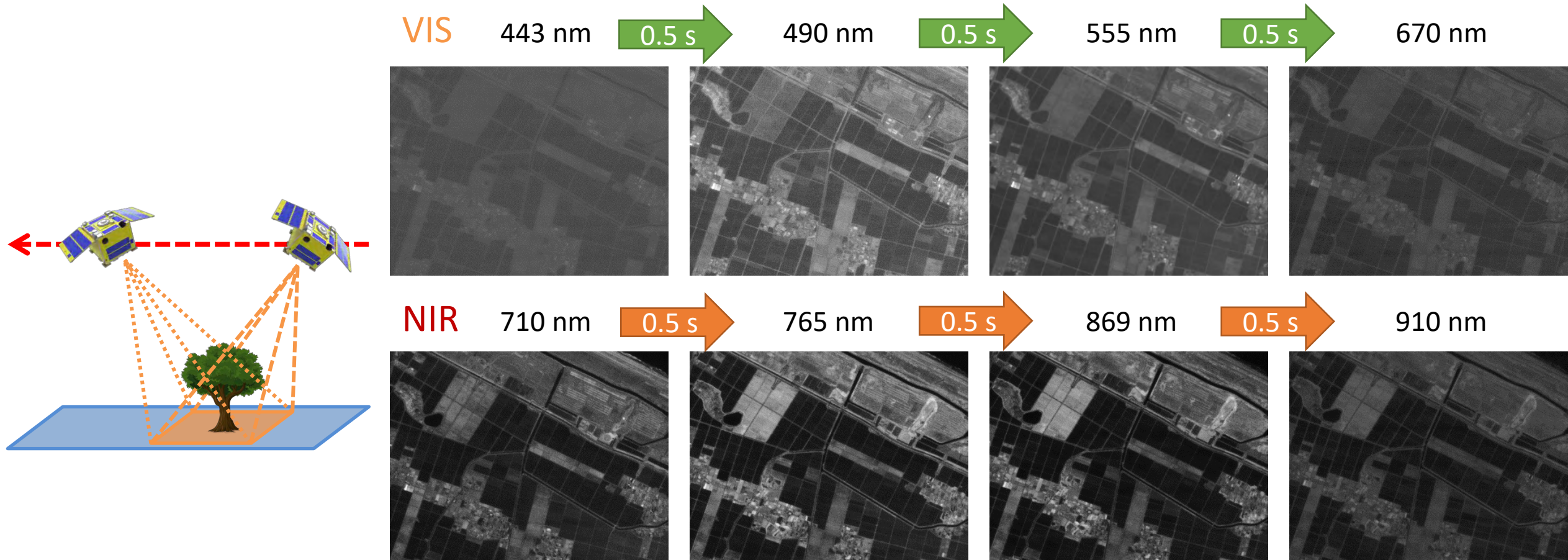
B: 490 nm (Blue)

GSD: ~3.7m

© 東北大学, 北海道大学

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型マルチスペクトル(分光)観測衛星の例 – 軌道上実証成果



約2秒間にわたり、観測カメラを観測対象地点に定点指向することで、複数のスペクトルでマルチスペクトル観測を可能にすることができる。

© 東北大学, 北海道大学

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型マルチスペクトル(分光)観測衛星の例 – 軌道上実証成果

RISESAT HPT (true color)



500 m

True color

R: 670 nm (Red)

G: 555 nm (Green)

B: 490 nm (Blue)

RISESAT HPT (false color)



False color

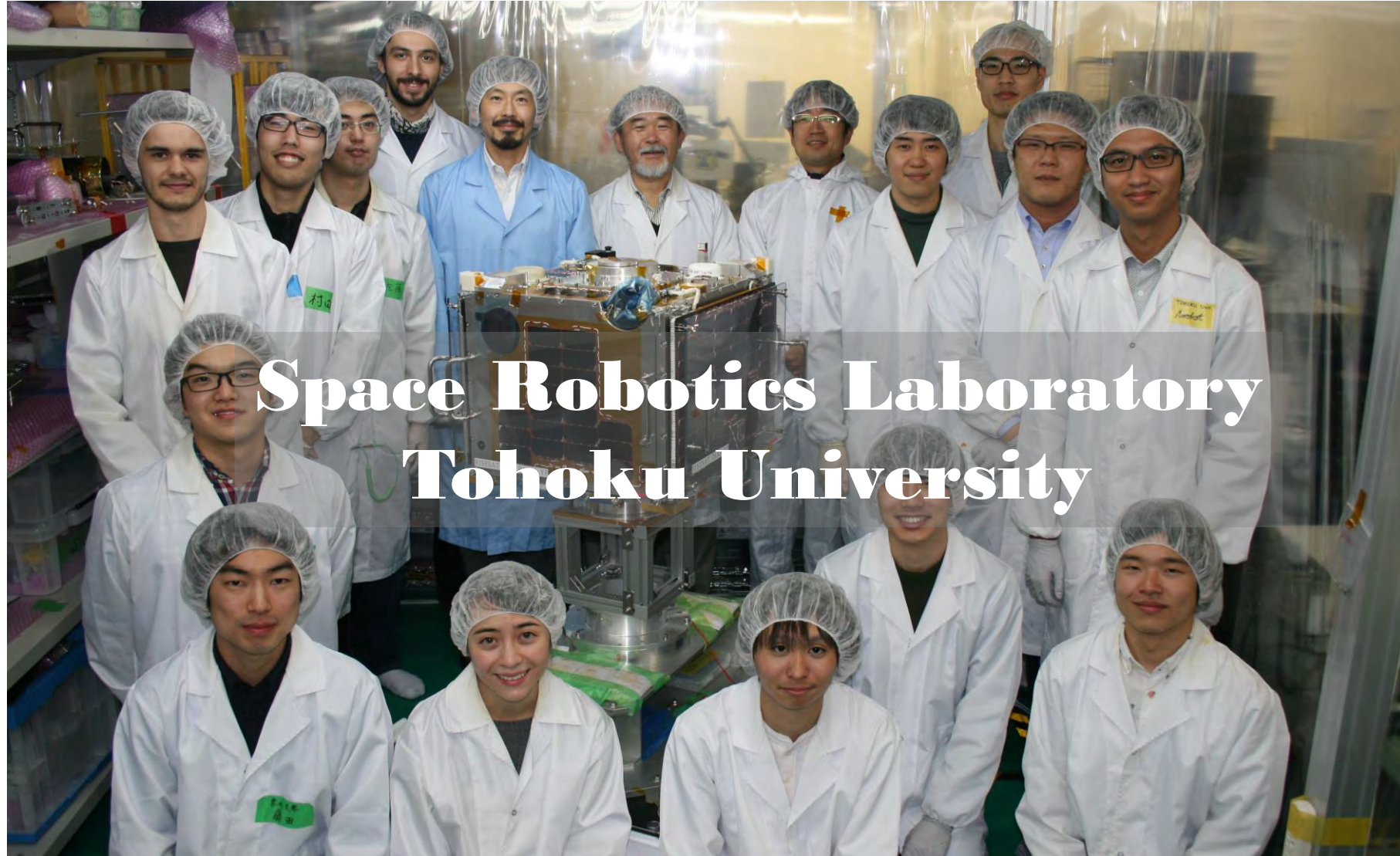
R: 869 nm (NIR)

G: 670 nm (Red)

B: 555 nm (Green)

3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

東北大学における超小型宇宙システム研究開発事例



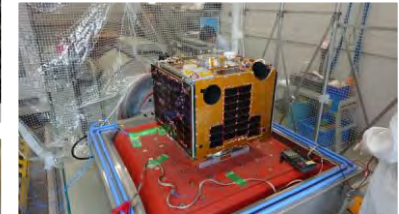
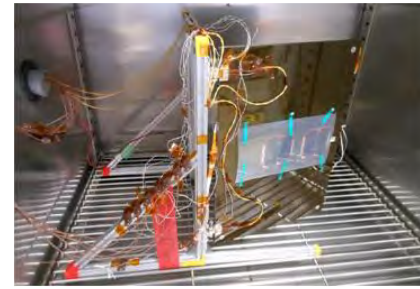
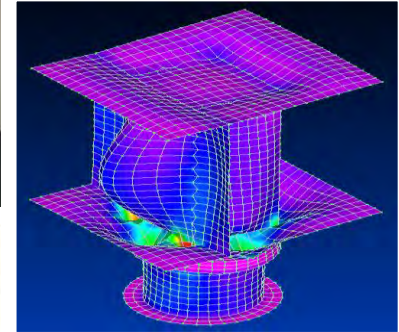
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

超小型人工衛星プロジェクトを通じた大学研究機関における研究開発・人材育成

学生、プロジェクトメンバが経験するプロセス:

- ・ プロジェクトミッション検討
- ・ システム概念設計
- ・ システム詳細設計
- ・ 部品調達
- ・ コンポーネント要素技術研究開発
- ・ システムインテグレーション
- ・ 搭載ソフトウェア、制御アルゴリズム設計解析
- ・ 地上動作検証
- ・ 地上環境試験
- ・ 安全設計、安全審査対応
- ・ 衛星納品、打上げ
- ・ 地上局整備
- ・ 初期運用、軌道上キャリブレーション、定常運用
- ・ データ解析評価

衛星ミッションの全ての工程を経験. 即戦力となる
人材の育成: (システムエンジニア) + (専門分野)

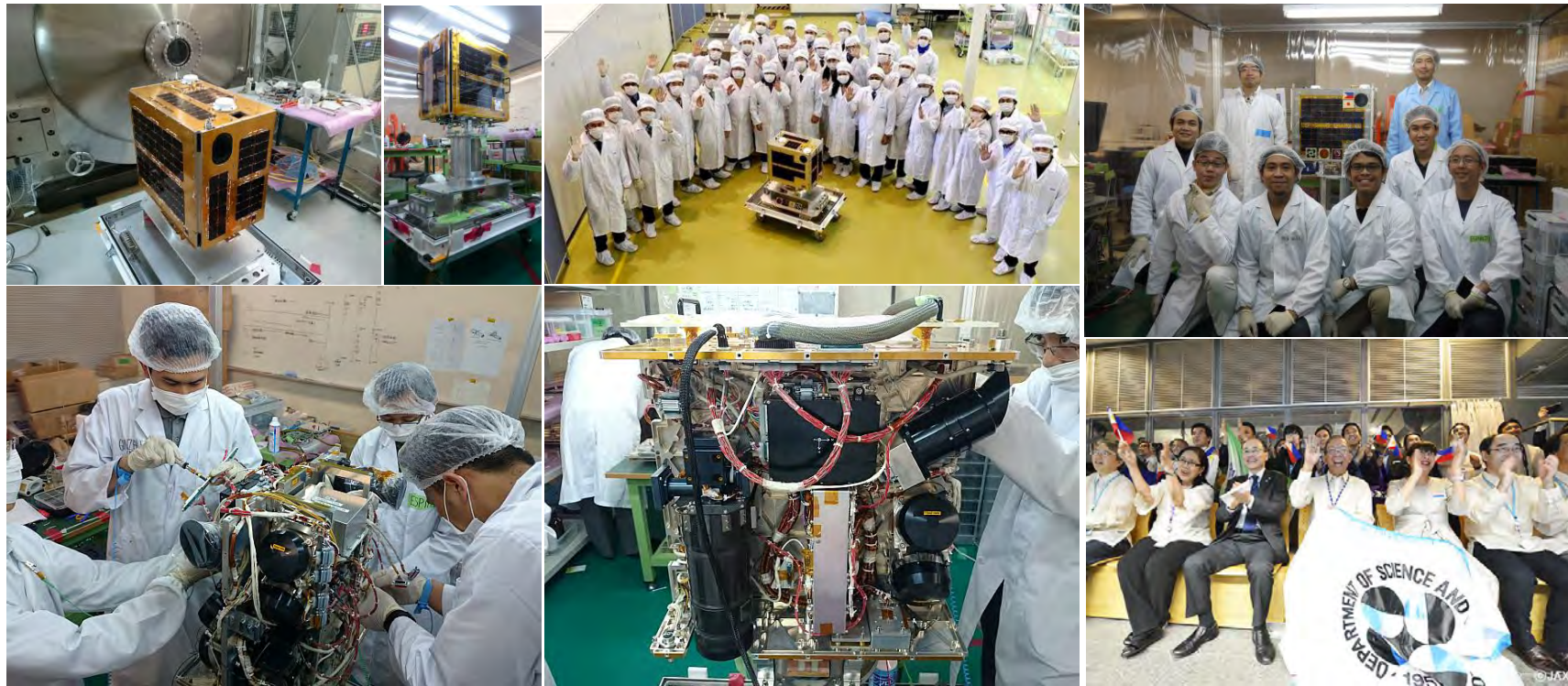


3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成

国際宇宙教育と宇宙人材育成

教育機関における国際宇宙教育プログラム

- 北海道大学/東北大学: **AMC (Asian Micro-satellite Consortium)**・・・アジア諸国とコンソーシアムを設立し、超小型地球観測衛星を用いた共同運用・データ利用と、国際宇宙教育/宇宙人材育成を実施



© JAXA

将来の宇宙開発には国際連携と若手人材育成が重要な鍵を握っている



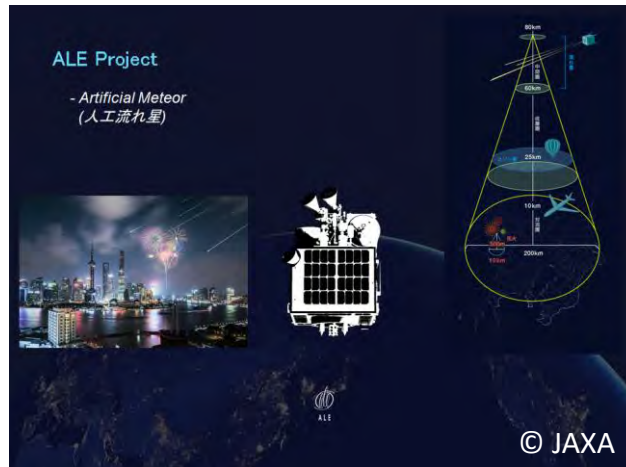
1. 自己紹介
2. 超小型宇宙システムとは？
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成
4. **NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望**
5. **結言**

4. NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望

株式会社ALEの事例：人工流れ星衛星を用いた宇宙エンターテインメント

- 宇宙開発利用の高度化/多様化と裾野の拡大が進んでいる
- 例) 株式会社ALE：人工衛星流れ星プロジェクト
 - 宇宙エンターテインメントと上層大気観測データサービスの実現への挑戦
 - 東北大学との共同研究として超小型人工衛星システムの研究開発を実施
- 産学官連携の強化（「JAXA革新的衛星技術実証プログラム」）
 - 大学/研究教育機関で培われた超小型人工衛星技術の社会実装、人材育成
 - 文部科学省、経済産業省、総務省、JAXA等の宇宙利用促進支援の強化

最先端の現場での人財共育、リカレント教育の実践。迅速な技術実証。学位取得。



人工衛星流れ星プロジェクト構想



東北大学における共同研究/人材育成



革新的衛星技術実証1号機の関係者

© JAXA

4. NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望

株式会社ElevationSpace：宇宙環境利用・回収事業



ELEVATION
SPACE

東北大学発宇宙スタートアップ企業
株式会社 ElevationSpace

誰もが宇宙で生活できる世界を創り、人の未来を豊かにする

Create a world where everyone can live in space and elevate your future

創業

2021年2月

代表者

代表取締役CEO 小林稜平

社員数

30名（インターン生含む）

事業内容

地球低軌道における宇宙環境利用
プラットフォーム

拠点

仙台本社
R&Dセンター
東京支社
福島支社
川崎燃焼試験場

備考

東北大学吉田・栞原研究室の技術を基に設立された東北大学発のスタートアップ



宇宙環境利用・回収プラットフォーム事業 (ELS-R)

打ち上げ前の準備から回収後の引き渡しまで、一気通貫でサービスを提供します

① 打上準備

② 打上

③ 宇宙実証

④ 地球帰還・回収

⑤ 荷物引き渡し

地球周回軌道上で無人で
オペレーションを実施

地球周回軌道離脱・
大気圏再突入

地球周回軌道

大気圏

緩降下

回収

海上輸送

ペイロード
引き渡し

衛星へ搭載

ロケット（他社）
に搭載

ペイロード
（荷物）

地球に帰還可能という点が最大の特徴であり、高頻度かつ短リードタイムの実現に加えて、回収による詳細な実証・実験データの獲得を通じて、従来の宇宙実証の在り方を変えていきます

宇宙環境利用・回収 プラットフォーム ELS-R

無人小型でかつ地球に帰還可能な人工衛星を用いて、地球低軌道上で従来よりも気軽に実証や実験を可能にするサービスを提供

提供価値

低頻度

高頻度

- ◆ 民間であるため生産能力に応じて機会を提供可能
- ◆ また、小型衛星であるため、打上機会も豊富に存在

長リード
タイム

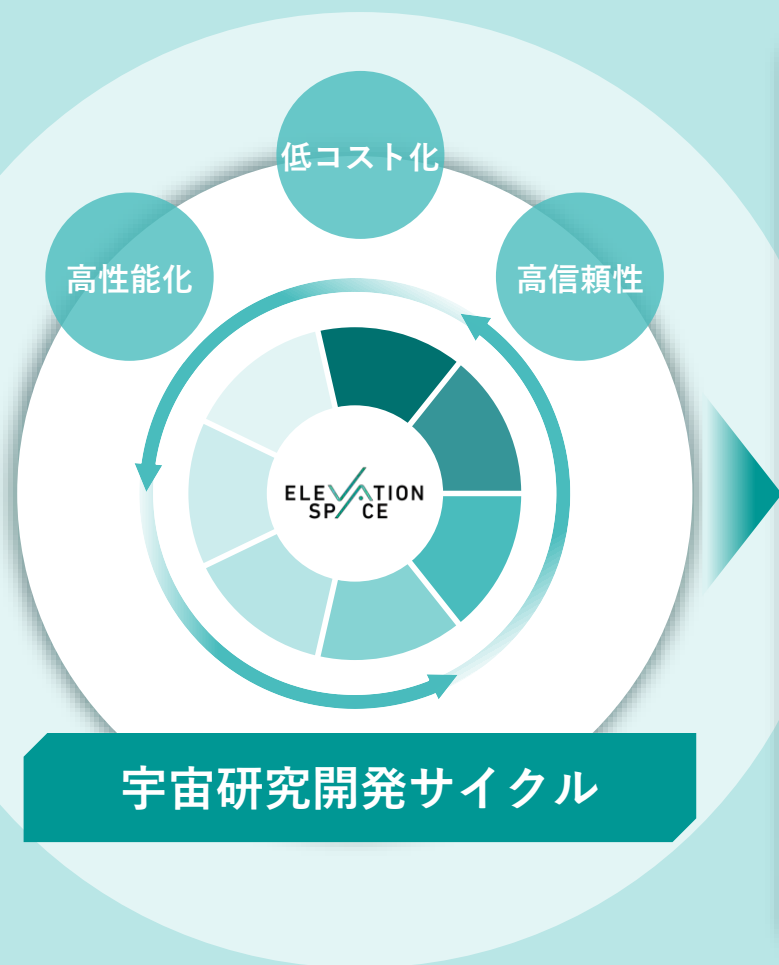
短リード
タイム

- ◆ 実績などは不要であるため、すぐに利用が可能
- ◆ また、無人機であるため安全審査も短い

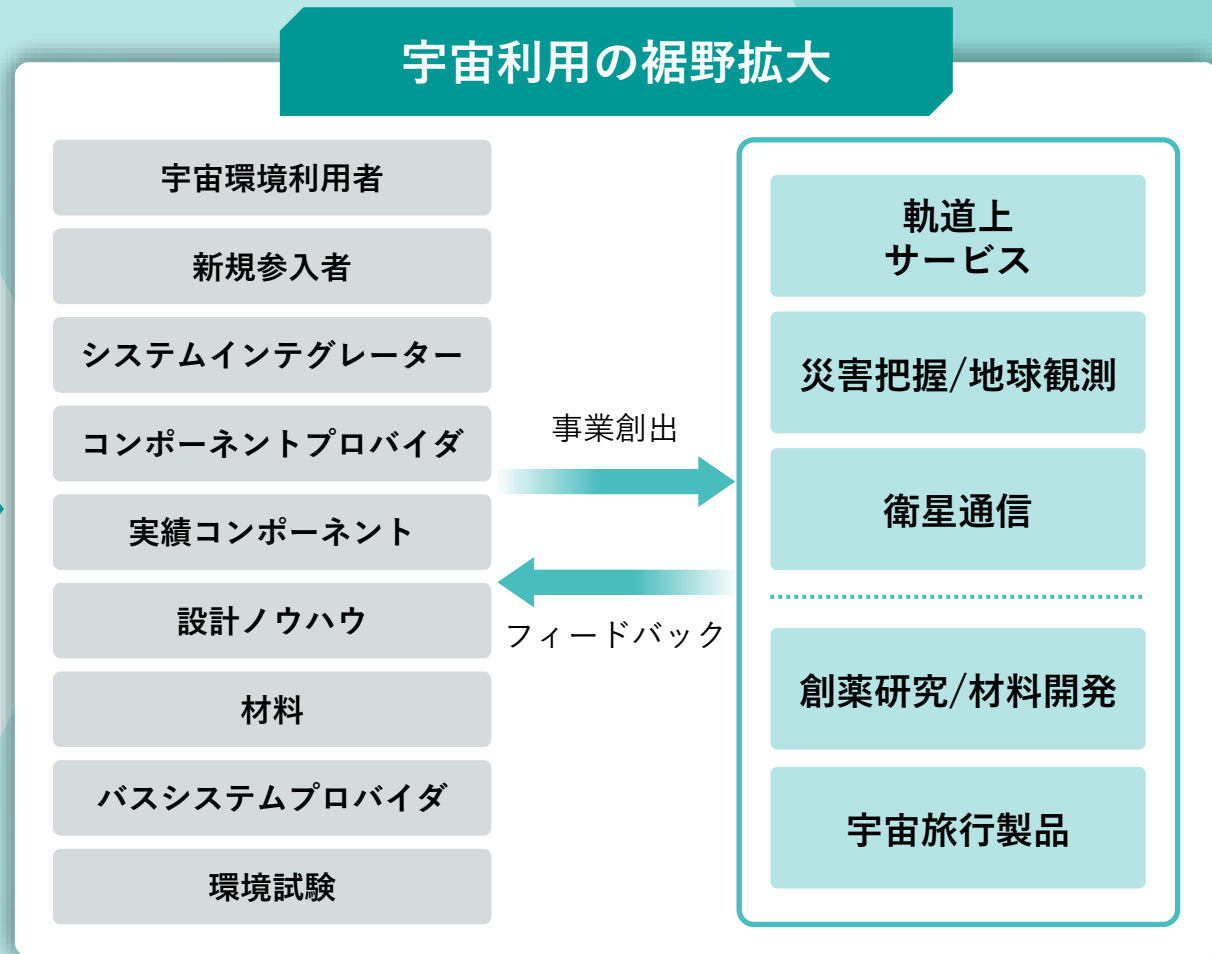
取得データが
限定的

豊富な
データ取得が
可能

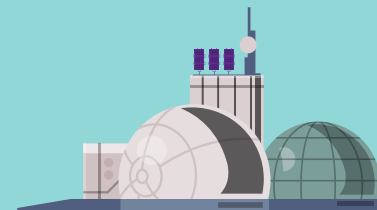
- ◆ 回収可能なため、劣化具合など詳細なデータ取得が可能
- ◆ 豊富なデータを基に解析することで少ない実証で製品化可能



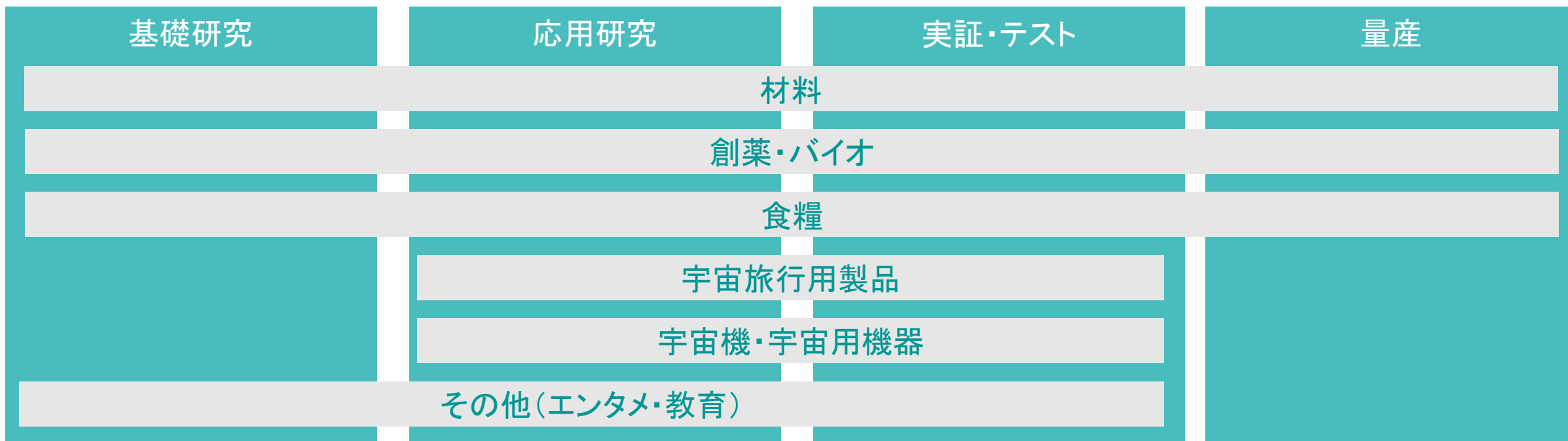
宇宙利用の裾野拡大



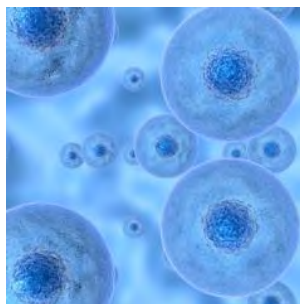
持続可能で
豊かな地球-宇宙
社会の実現



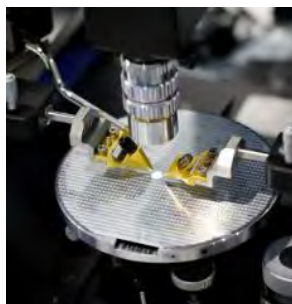
現状の宇宙開発利用の発展状況を鑑みると、幅広い領域においてニーズが見込まれる



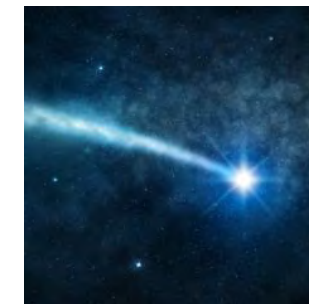
➤ 実験・試験系



➤ 製造系



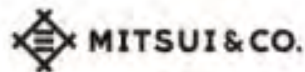
➤ エンタメ・教育系



ELS-RSに関するJAXAとの共同事業化（J-SPARC）



- ユーザーニーズをふまえた事業計画検討
- 地球低軌道拠点からの高頻度物資回収システムの検討



[連携協力]

- 日本モジュール事業の検討



- 小型回収カプセル技術実証で培った知見による支援
- 関連する要素技術の軌道上実証計画の検討

宇宙環境利用の高頻度化・低コスト化を実現し、さらなる宇宙利用を促進

再突入回収機の大型化・有人化に繋がる技術を獲得

宇宙から地球への“帰りの便”の提供を目指す

©ElevationSpace/JAXA



1. 自己紹介
2. 超小型宇宙システムとは？
3. 超小型人工衛星の利活用事例と宇宙人材育成
4. NewSpaceの活躍と宇宙ビジネスの展望
5. 結言

5. 結言

- 超小型宇宙システムの特徴を、大型衛星との比較を通してご説明致しました。超小型宇宙機は短期・低コストな開発が可能であり、多岐にわたる活用分野が存在すると共に、これまでに無い新しい宇宙開発を可能にします。
- 超小型人工衛星技術についてご紹介し、その活用事例として東北大学の研究開発実績の一つである、高空間分解能マルチスペクトル分光観測装置等を用いた最新の地球観測の事例についてご紹介致しました。また、宇宙開発分野での国際宇宙人材育成の状況についてもご説明致しました。
- 宇宙開発における産学官民の連携と、近年のNewSpaceの活躍について触れ、人工流れ星衛星や、宇宙環境利用・回収プラットフォーム事業についてご紹介致しました。民間による宇宙開発利用ビジネスが活発化してきており、大学研究機関の役割も多様化してきています。

小型宇宙機技術を活用した、高頻度な宇宙開発・利用・探査が将来の鍵！



ご清聴ありがとうございました。

For more Information:

: Prof_Kuwahara (Japanese)

: profkuwahara (English)