

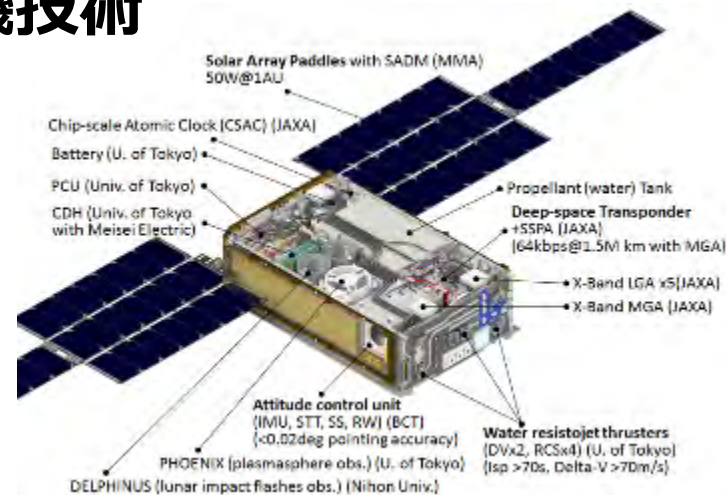
(参考c)

(k) 超小型探査機技術

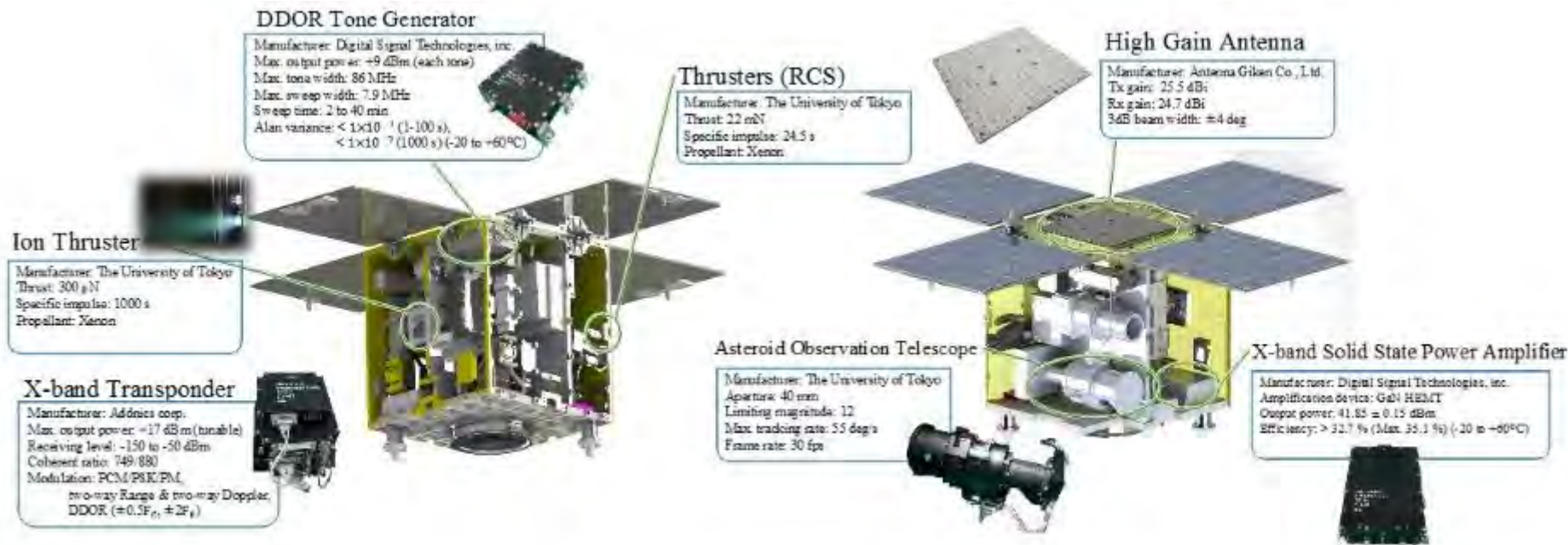
東京大学とISASが連携し、「ほどよし衛星」等、民間のミッションも含めた地球周回の超小型衛星経験を発展させる形で、世界に先駆けて超小型衛星の活動領域を地球近傍から深宇宙空間へ拡大してきている。

世界初の50kg級深宇宙探査機PROCYONでは、世界最高効率の通信アンプ、高精度DOOR軌道決定技術、超小型推進系等の世界初の深宇宙実証と深宇宙での科学観測に成功し（下図）、現在はCubeSatによる世界初の月ラグランジュ点探査を目指したEQUULEUSミッションを通じて、探査機のさらなる小型化（CubeSatサイズ）に取り組んでいる（右図）。

探査機の「超小型化」（低コスト化・開発期間の短縮も含む）により、その他の革新的な探査技術と組み合わせることで、土星圏等の遠方探査、多数機で価値を出す探査（同時多点観測）、探査の高頻度化等、従来なかった軸での探査ミッションの価値創出を狙う。



EQUULEUSでさらなる超小型化を狙う深宇宙CubeSatバスの構成（20x30x10cm, 10kg）



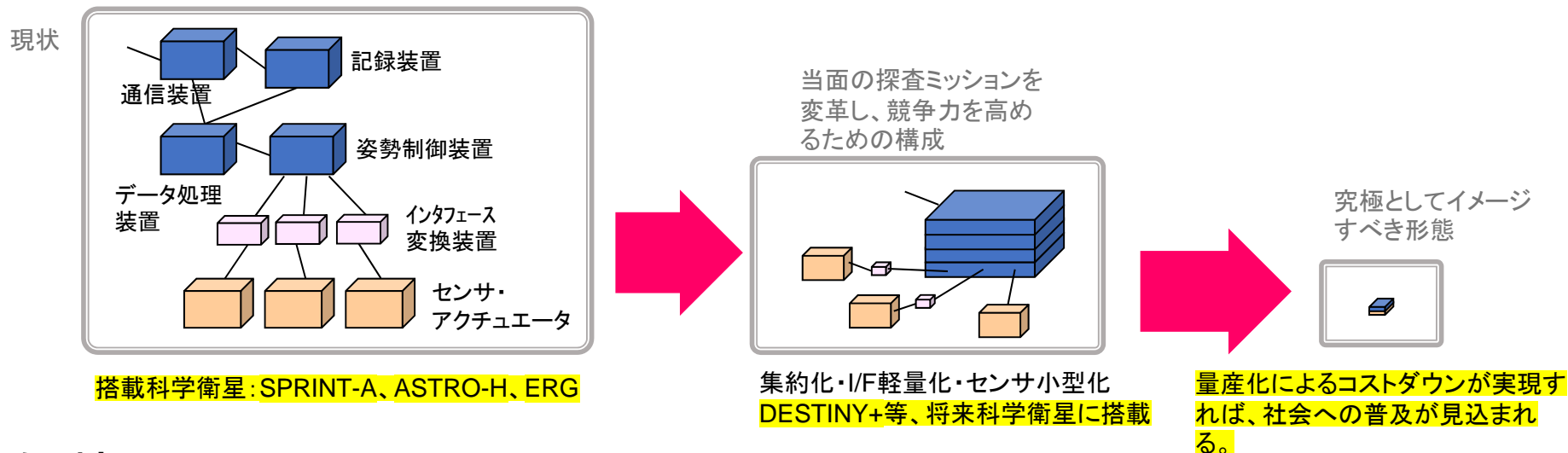
（超小型深宇宙通信系，世界最高効率のSSPA，高精度DDOR軌道決定手法，イオンスラスタ・RCSを統合した超小型推進系，小惑星超近接フライバイ観測用追尾望遠鏡など）

(参考c)

(L) 深宇宙探査機アビオニクス革新的小型軽量高性能化

目的： 月惑星探査等の宇宙機に搭載される電子装置(アビオニクス)の重量は、航行距離や運搬するミッション機器の規模を大きく左右するため、これを革新的に小型軽量化し、また極限環境への耐性などで高性能化を図ることで、探査ミッションを新たなステージへ拓く研究開発を進める。

概要： 現状の探査機アーキテクチャから、当面の探査ミッションを変革し競争力を高めるための構成、さらにその先の究極としてイメージすべき形態と、段階的な成果創出を企図し、部品や機器の開発や実装技術の耐環境性・信頼性の研究を行う。その成果はドローンやロボットなどの社会インフラにデュアルユースとして波及するとともに、国産の衛星/機器の市場拡大や競争力向上に貢献する。



個別事項

- ① 探査機アーキテクチャを変革するSoC(システムオンチップ)の開発→ロボティクス分野、産業機械等への波及
- ② 高効率な機器内の電源供給→災害監視無人機等への応用
- ③ 高密度実装技術の宇宙機適用(信頼性評価)→超小型衛星の高信頼化による市場拡大
- ④ 国際標準機器間通信プロトコル(SpaceWire)へのネイティブ対応→国産機器の国際市場での競争力向上
- ⑤ 極限環境でも動作可能なセンサの開発→原発現場(廃炉内確認カメラ等)への貢献
- ⑥ 異種なベアチップを3次元実装することによるアビオニクスのワンチップ化(センサチップ応用)
→災害監視ドローン等社会インフラへの適用

(参考c)

(M) 火星の飛行探査用ドローン

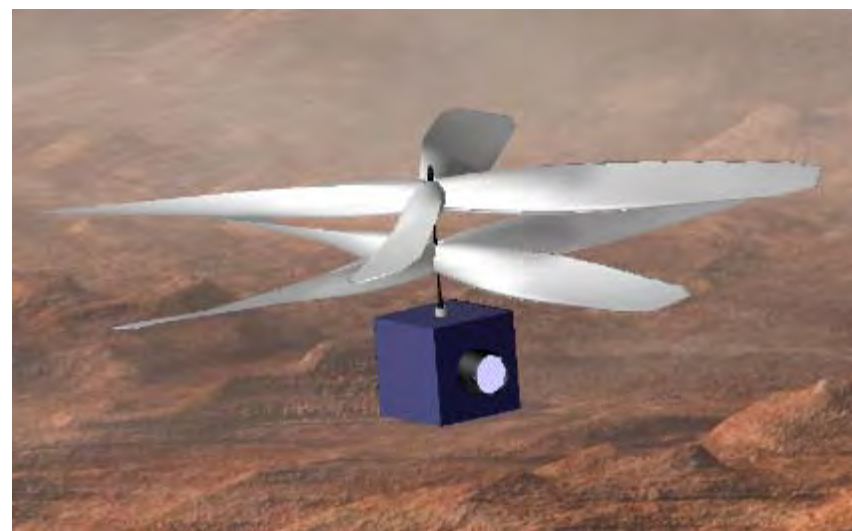
飛行機型ドローン

観測衛星や着陸機では実施することが難しい広範囲かつ高解像度な観測を実現することを目的とした飛行機型ドローンの研究を進めている。2016年には大気球を利用して高高度飛行試験を実施した。現在も国内の大学の研究者らとともに研究を進めている。



ヘリコプタ型ドローン

火星表面で発見された縦孔・地下空洞の探査を目的としてヘリコプタ型ドローンの研究を進めている。2018年9月に開催されたAIAA SPACE FORUMにて概念設計結果を発表した。現在も風洞試験や数値流体シミュレーションを用いて、精力的に研究をすすめている。



(参考c)

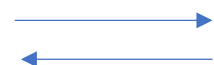
(N) X線パルサーによる軌道決定

従来の軌道決定

- 地上アンテナと探査機間の電波のドップラーを計測
- 視線方向の位置・速度決定に有利
 - 視線方向の位置精度 $\sim 1\text{m}$ 、速度精度 $\sim 1\text{mm/s}$
- 視線方向と鉛直な面内の精度に難があり、その結果
 - 位置精度 $\sim 1\mu\text{rad}$ (数 $100\text{km}@1\text{AU}$)
- DDOR技術により鉛直面内の精度向上
 - 位置精度 $\sim 2\text{nrad}$ (数 $100\text{m}@1\text{AU}$)



地上アンテナ

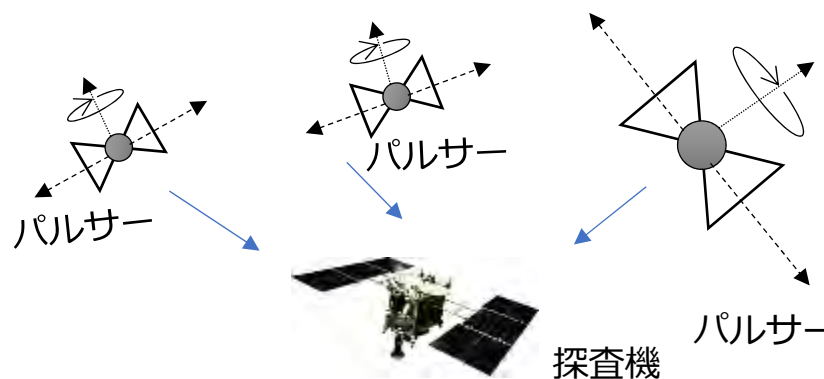


電波による
ドップラー計測



探査機

X線パルサーによる軌道決定



特徴

- 3つ以上のパルサーをGPS衛星のように使用して位置決定
- 地球からの距離によらず**絶対位置決定精度 $< 10\text{km}$** を目標
- 従来手法との併用に加え、地球との交信なしに**自律的な位置決定**の実現

必要となる要素技術

- 高い空間分解能を実現するX線光学技術(X線ミラー・キャピラリーレンズ等)
- 高い時間分解能を達成するX線検出器および時刻較正技術
- 探査機搭載のための小型軽量化
- オンボード処理によるX線パルサーDBとシミュレーション結果マッチング

将来的にはどの探査機にも搭載される
コアコンポーネント化を目標：
姿勢決定といえば Star Tracker (STT)のように
軌道決定といえば Pulsar Phase Tracker (PPT)

(参考c)

(0) 深宇宙大容量通信

背景

既存RFによる深宇宙通信の増強には大型の地上局または多数の小型地上局のアレイ化が重要であるが、画期的な回線向上には光通信技術の導入が必要である。安定し信頼性の高いRF回線と潜在能力で飛び抜ける光回線を融合した回線構成が求められる。

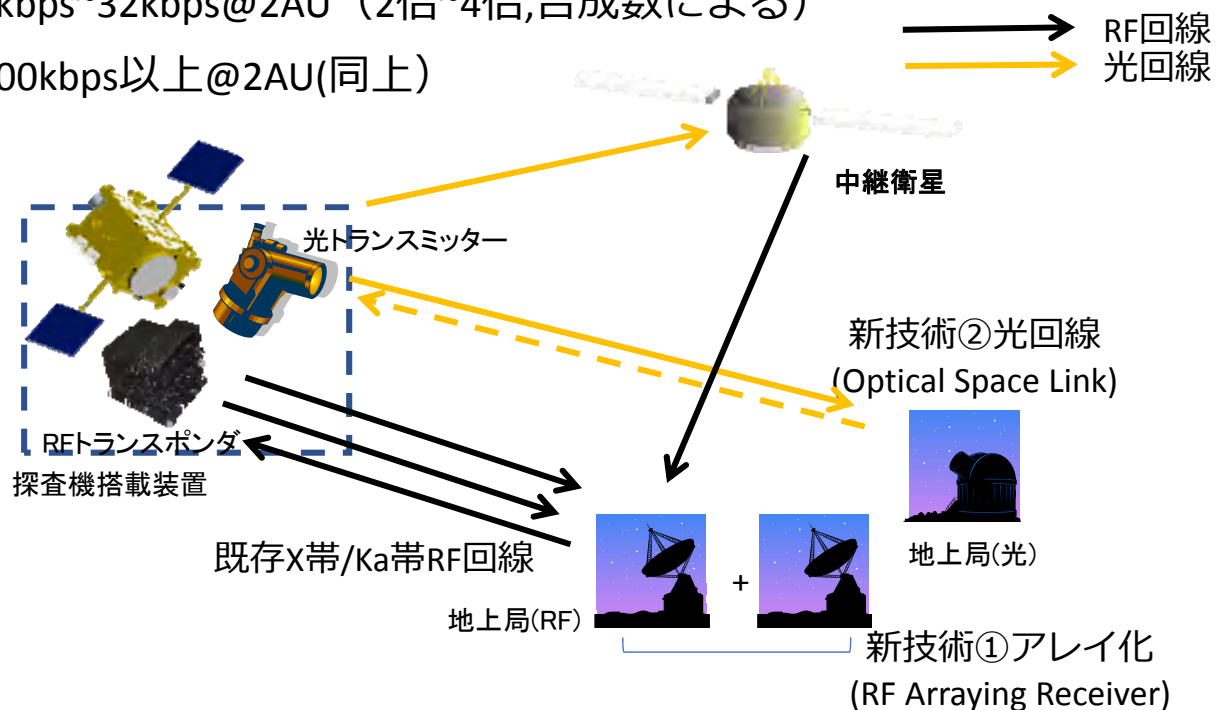
大容量化の段階的目標

(現在：既存RF回線) 4~8kbps@2AU

→新技術①の導入によって8kbps~32kbps@2AU (2倍~4倍,合成数による)

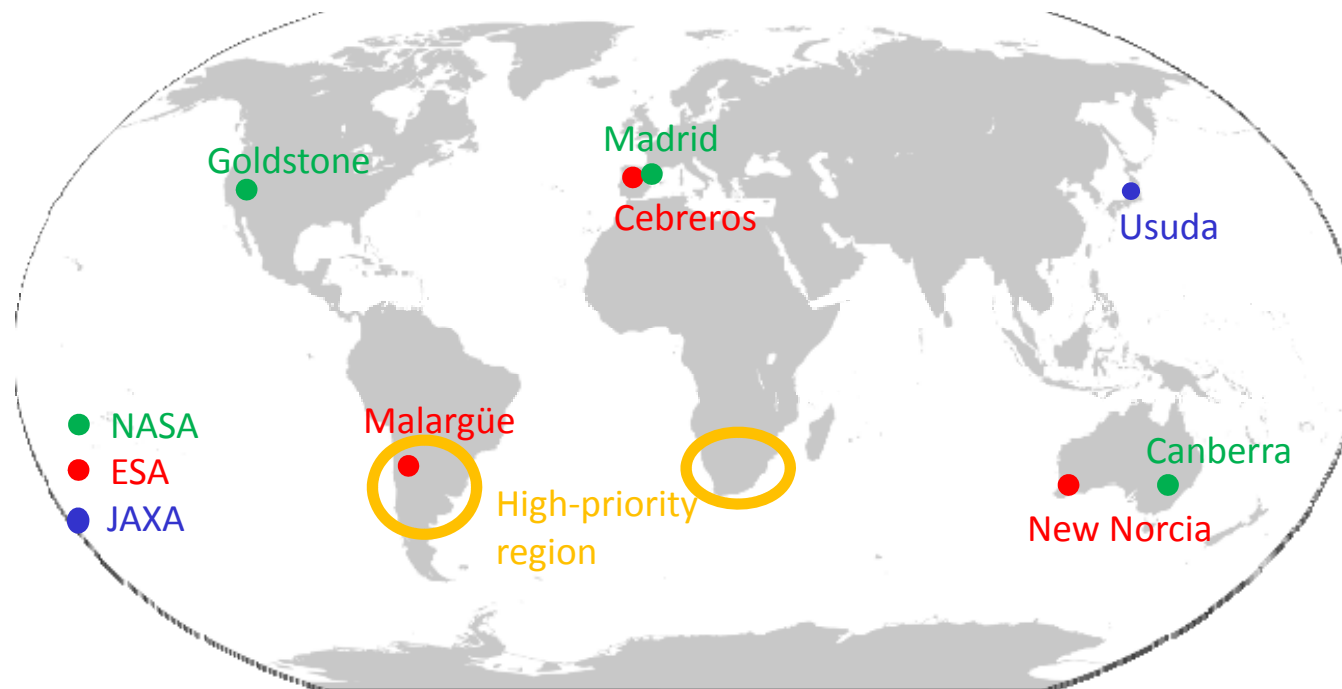
→新技術②の導入によって100kbps以上@2AU(同上)

- ① 地上局アレイ合成による受信品質向上に伴う回線品質の向上。
- ② 光回線に及び光中継衛星回線による回線能力の増強。



(参考c)

(P) JAXA深宇宙局のネットワーク化



- JAXA深宇宙局は日本国内一局体制であったため、これまでの日本の深宇宙ミッションはJPL/ESA局の支援を仰ぐことが必須であった
- 各宇宙機関の将来需給予測によると今後深宇宙ミッション数の増加により追跡コストの増大が見込まれており、我が国の深宇宙ミッション遂行の自在性確保のために海外局の立地検討や、地上局インターフェースの国際標準化を推進する
- Ka帯や光通信など気象の影響を受けやすい状況下における最適化運用技術の開発、アンテナアレイ化・電波光融合追跡技術の開発、複数周波数の同時送受による精密測距技術の開発も進める

(参考c)

(Q) 発展型観測ロケットによる小型探査機分野の牽引

技術発展著しい小型・超小型衛星・探査機分野を支える初期段階の技術実証プラットフォームの構築は急務。先行的な宇宙実証を通じ、大規模ミッションを支える技術シーズをいち早く、かつ技術鮮度の高いうちに検証、大型プロジェクトへの移行前に潜在的な技術リスクを取り除く。

また、観測ロケットのような弾道飛行から、超小型衛星の軌道投入までカバーする運用性に富む機体により、先端学問研究の発展を目指す。

① 機体

- 3段式超小型衛星打上げ機 (= SS-520-5号機発展型)
 - 平時は、実験目的に応じて宇宙理工学用の超小型衛星打上げ機、あるいは観測ロケットとして運用
- 【JAXAメリット】
- 総経費を抑えた超小型宇宙機の開発を通じ、JAXA・大学等の我が国の技術者・研究者の育成基盤とする。(=人材育成プラットフォーム化)
 - 先端技術の先行的な宇宙実証により、潜在的な技術リスクのあぶり出しなど、大規模ミッション実行前のリスク低減に寄与。
 - 数少ない機体開発のチャンス。工学系研究者にとって貴重。

② 観測ロケットのリニューアル・低コスト化

- 現行の機体運用経費高。コスト低減の要求あり。
- 機体開発費のねん出困難 (ISAS)
- 機体1段部分を観測ロケットとして運用し、打上げ数の維持向上でコスト低減に寄与。

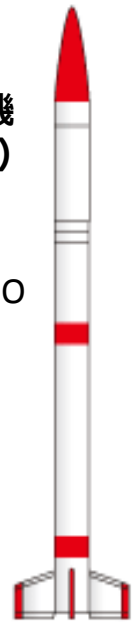
超小型衛星打上げ機 (SS-530? イメージ)

全長	11 m
全備重量	3,000 kg
衛星質量	20kg/ LEO
軌道	TBD

【参考】

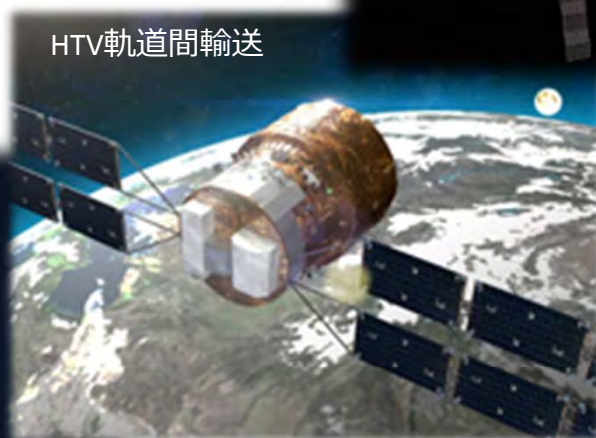
SS-520-5号機

全長	9.54 m
全備重量	2,600 kg
衛星質量	3.0 kg
軌道	180x1500 km



(参考c)

(R) 大電力ホールスラスタによる月近傍への軌道間輸送



ETS-9用
ホールスラスタ



下記をBBM地上試験で実証済み（連続作動継続中）

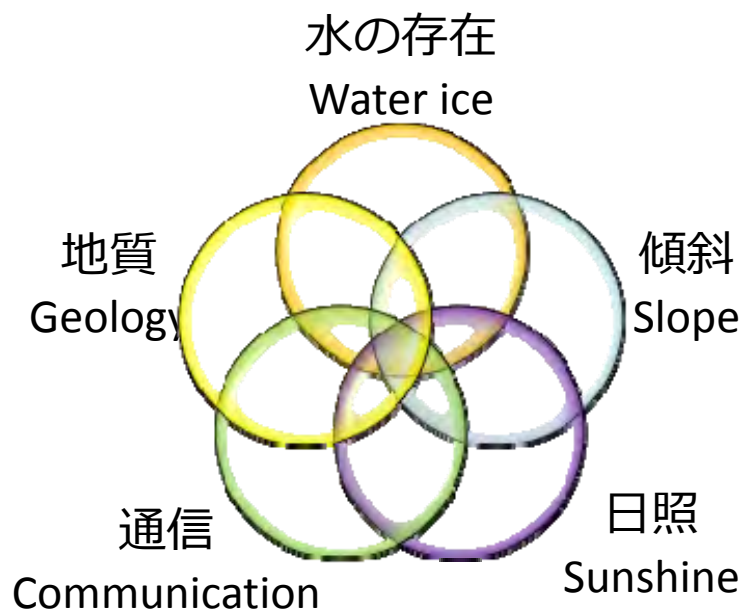
- 3,000時間の連続作動（静止軌道上昇相当）による4MN・sのトータルインパルス（はやぶさIEの4倍）
- 電力6kWに対し, Isp 1573s, 推力330mN以上（静止化時点）

- NASAは月軌道プラットフォームゲートウェイ（LOP-G）の動力モジュールのメインエンジンとして、12kW級の大型ホールスラスタを用いる計画としている
- 初の国産ホールスラスタが相模原で開発・試験中であり、ETS-9プロジェクトにて、ホールスラスタによる静止軌道上昇などの技術実証なされる予定
- 国産ホールスラスタによる軌道間輸送により、月近傍への高ペイロードかつ柔軟な物資輸送を実現することで、国際探査への貢献が可能

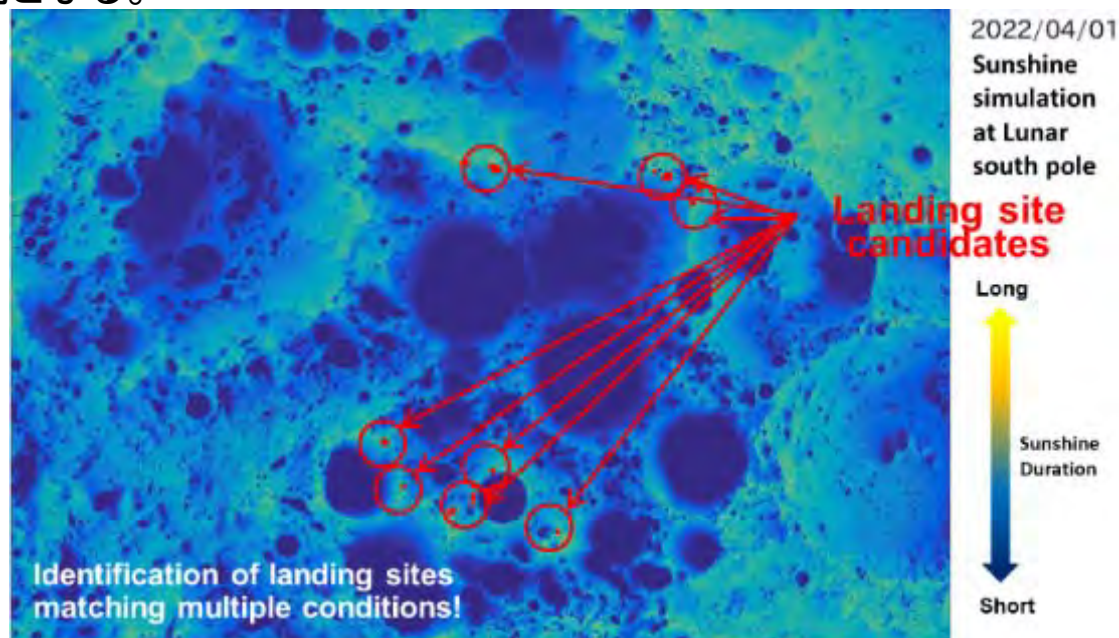
(参考c)

(S) 月極域拠点選定のための探査データ解析技術

月極域探査において戦略的な拠点候補の選定を行うためには、世界の探査で取得されたペタバイト級のビッグデータを用いて、水分布や地質(含水鉱物・その他有効資源の分布)、傾斜等の安全性、日照条件(太陽光エネルギーの確保)、地球との通信可能時間等を考慮した複合的な解析が必要である。JAXAでは、月周回衛星「かぐや」のデータ処理・解析のヘリテージを活かし、他大学・研究機関と連携して、ビッグデータの解析技術(アルゴリズム、計算システム)の開発を進めてきている。この実現により、月極域探査における拠点構築で日本が優位な地点の選定等に活かすことが可能となる。



月極域探査の着陸候補地点検討に必要な要素



月極域探査の着陸候補地点の検討例

(参考c)



SLIMで実証される技術

(T) 重力天体着陸技術



将来の重力天体着陸へ適用するために求められる研究・開発

高精度着陸技術 (ピンポイント着陸)

- 画像照合航法技術
 - ✓ 月・中緯度域への着陸で実証



- 他天体や、より極端な地形への適用
 - ✓ 月極域: 極端な日陰・日照条件
 - ✓ 他天体: フォボスなど

- 自律的航法誘導制御技術
 - ✓ 予め設計された最適着陸軌道近傍の、適切な軌道を自律的に選択



- その場 (In-situ) での多目的最適化
 - ✓ 地球からの距離増大に伴い、その場最適化の必要性も増大
 - ✓ 消費推薬や着陸性等、複数指標の最適化

不整地への着陸技術 (探査可能領域の拡大)

- 2段階着陸方式
 - ✓ 小型・軽量機体で斜面着陸性を実現



- より大型の着陸機においても、高い斜面着陸性を実現する着陸方式の検討

- 衝撃吸収材
 - ✓ 3D積層技術により、高効率な着陸エネルギー吸収デバイスを実現



- 上記を支えるキーデバイスとして活用
 - ✓ 大型化や形状最適化など