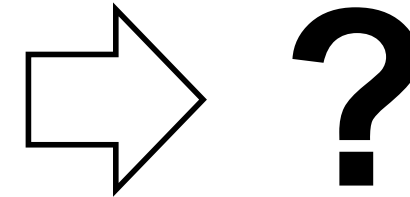
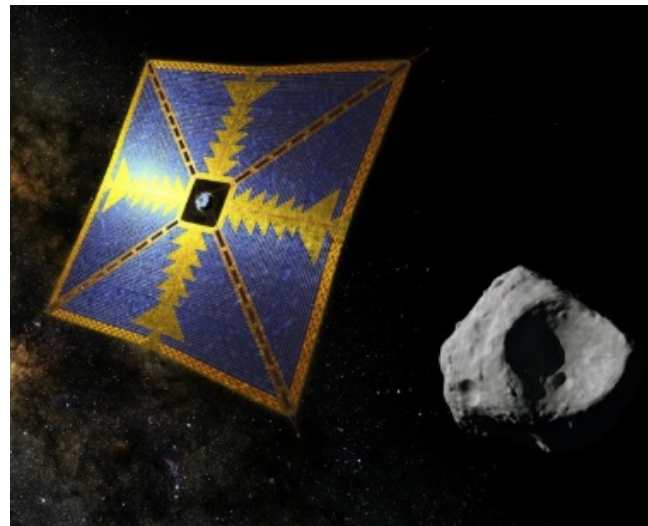
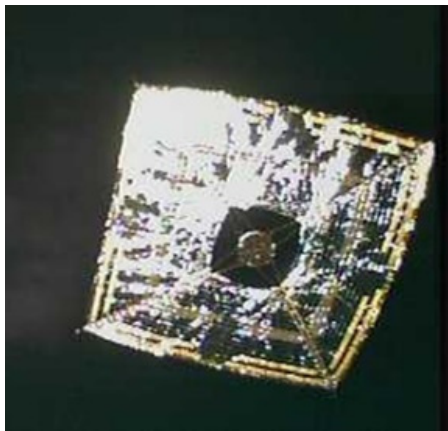


ソーラー電力セイルの拡張化・ 基盤化を踏まえたプログラム



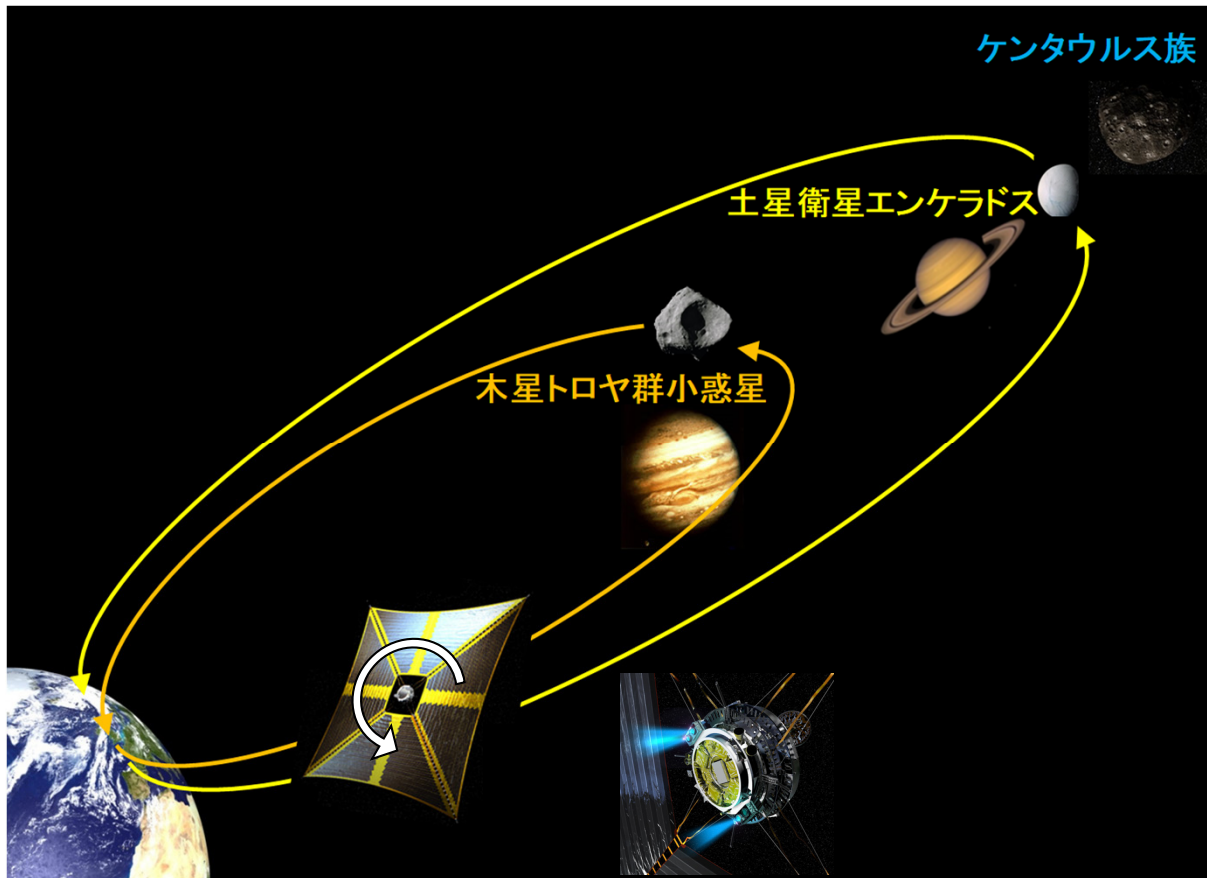
森 治

OKEANOSチーム, HELIOSチーム,
超小型ソーラー電力セイルチーム,
発展型ターゲットマーカチーム

従来のソーラー電力セイルのコンセプト

ソーラー電力セイル

大型のセイル膜面上に搭載した**薄膜太陽電池**で発電し(**電力**の確保),
外惑星領域でも**高比推力イオンエンジン**により航行する(**燃料**の節約).



ソーラー電力セイル技術によって、外惑星領域の着陸・サンプルリターンが可能になる。
しかし、OKEANOSが今後、戦略的中型計画に選定されても、10年以上先の打ち上げ。
もっと貢献できることがあるはず…………

ソーラー電力セイルの幅広い貢献

スピン型ソーラー電力セイルのコンセプトを幅広く宇宙ミッションに適用する。

非スピン化

スピン型ではなく非スピン型(ブーム型/パネル型)構造の採用(100m²以下)

スピン安定方式⇒三軸姿勢制御方式(観測に有利)

中/大型探査機⇒超小型/小型宇宙機(電力・燃料等のリソース制約がより厳しい)

セイルの形状制御⇒太陽光圧による軌道・姿勢同時制御

デバイス貼付

セイルへの各種デバイスの貼り付け

薄膜太陽電池(超軽量大電力発電)

干渉計(高解像度観測)

アレーアンテナ(大容量通信)

再帰性反射シート(展開型ターゲットマーカ)

技術実証計画

薄膜太陽電池, 干渉計, アレーアンテナ(革新的衛星技術実証3号機搭載, HELIOS)

太陽光圧による軌道・姿勢制御(超小型ソーラーセイル)

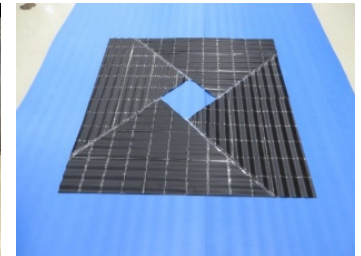
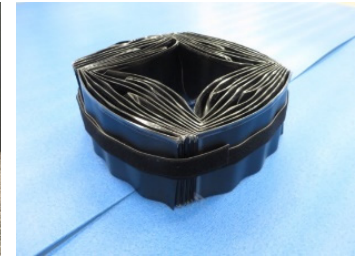
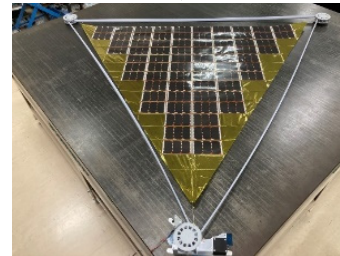
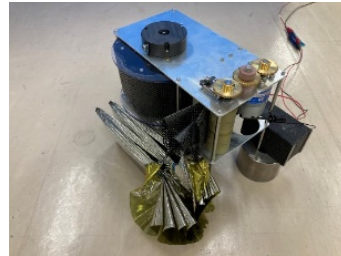
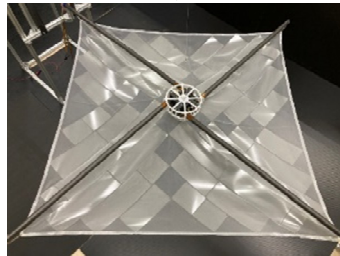
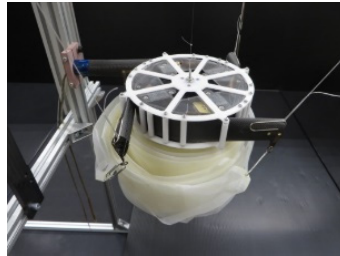
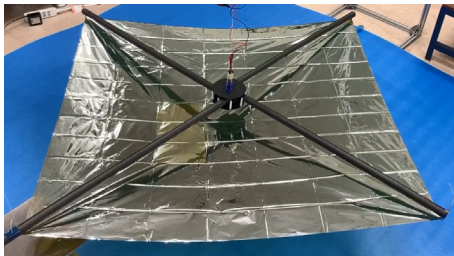
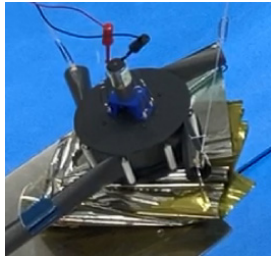
ソーラーセイルとイオンエンジンのハイブリッド推進(超小型ハイブリッドセイル)

これらにより, 軽量・高機能な大型構造物を実現する。

→ 肥大化する宇宙科学・探査ミッションにパラダイムシフトをもたらす。

非スピン型構造

| 非スピン型構造 | ブームの材料・形状 | ブームの本数 | 膜の折り方 | 膜の形状 | 展開力 | 展開同期 |
|------------------|--------------------|--------|------------------|------|-------|------|
| HELIOS方式 | CFRP 円筒ブーム | 4 | 短冊折(三浦折) | 四角形 | 電動モータ | あり |
| OrigamiSat(改良)方式 | CFRP/TPU 円筒ブーム | 4 | 回転二重波折 | 四角形 | 自己展開 | あり |
| 結合ブーム方式 | CFRP 結合ブーム | 1 | 短冊折(三浦折) | 四角形 | 電動モータ | なし |
| 伸展トラス方式 | SK材+FPA ビーコンブーム | 3 | 短冊折(三浦折) 周方向折 | 三角形 | 自己展開 | なし |
| 波型パネル方式 | なし | なし | 波型パネル | 四角形 | 自己展開 | なし |

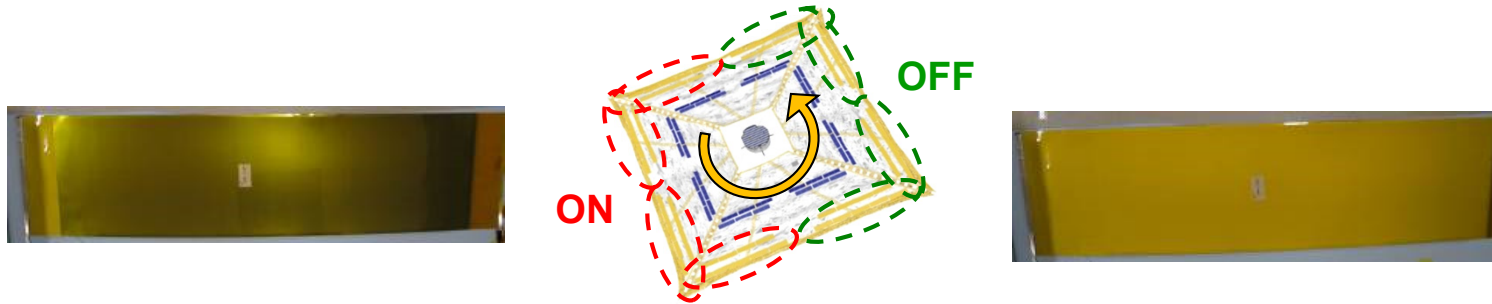


5種類の非スピン型構造(いずれも1m²)の試作・評価を行った。

ポスターPa.09, g16-1 4

太陽光圧による軌道・姿勢制御

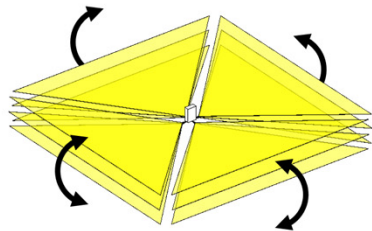
スピン型：液晶デバイスをスピン同期してON/OFFすることで姿勢制御の一部を実現



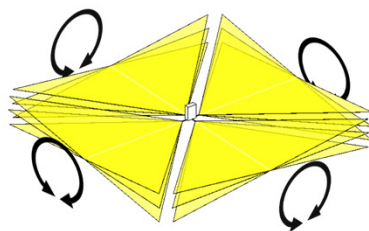
ブーム型/パネル型：可変形状機能によって軌道・姿勢同時制御を実現

- ブームで展張したセイル全体をモーターにより回転駆動
- 太陽輻射圧およびトルクの制御による推進剤フリーな制御を実現

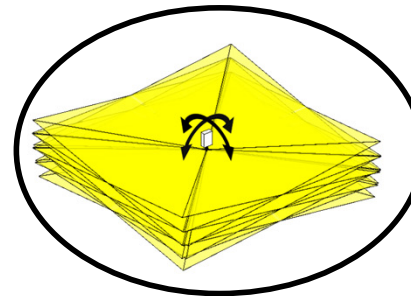
4ペタルたわみ型



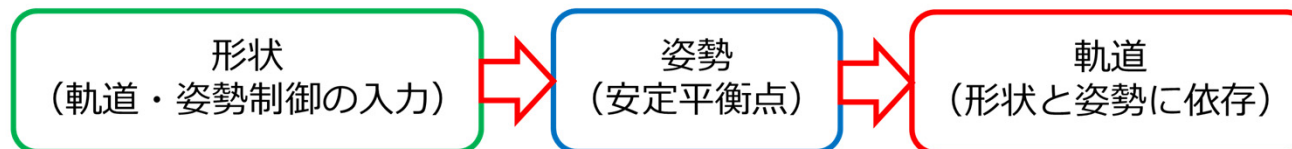
4ペタルねじれ型



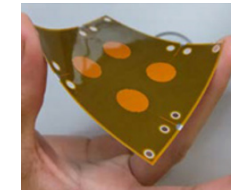
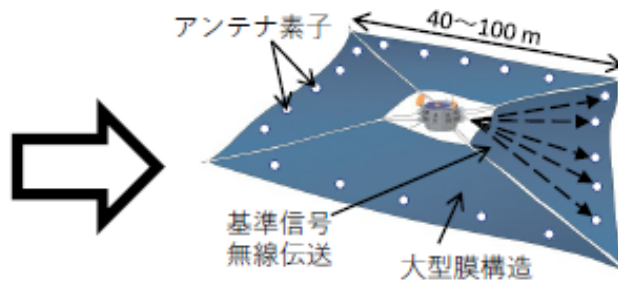
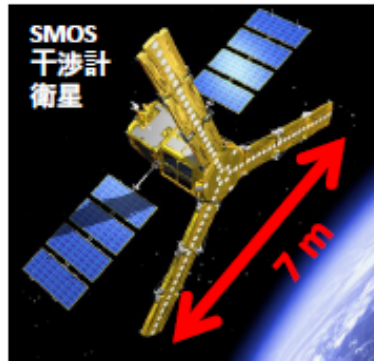
1ペタル2軸ジンバル型



※超小型ソーラーセイル
で実証予定



干渉計(高解像度観測)



薄型干渉計

セイルに干渉計を貼り付け、開口合成により大面積アンテナを実現することで、世界最高の角分解能を実現する。

地球観測: 土壌中の水分, 海洋の塩分濃度を観測(農業, 災害対策など)

SMOS(ESA)L帯放射計(7m): 高度758kmで空間分解能50km

⇒角分解能をより高くする. 静止軌道などより高い高度から観測する.

惑星観測: ガス惑星(木星・土星など)の大気深層部を観測

JUNO(NASA)600MHz放射計

⇒角分解能をより高くする. より低い周波数でより深い領域を観測する.

膜形状計測: 膜上の干渉計の位置を把握することで膜形状を計測

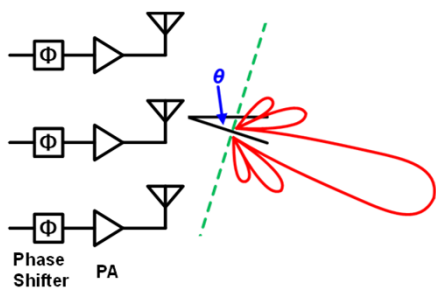
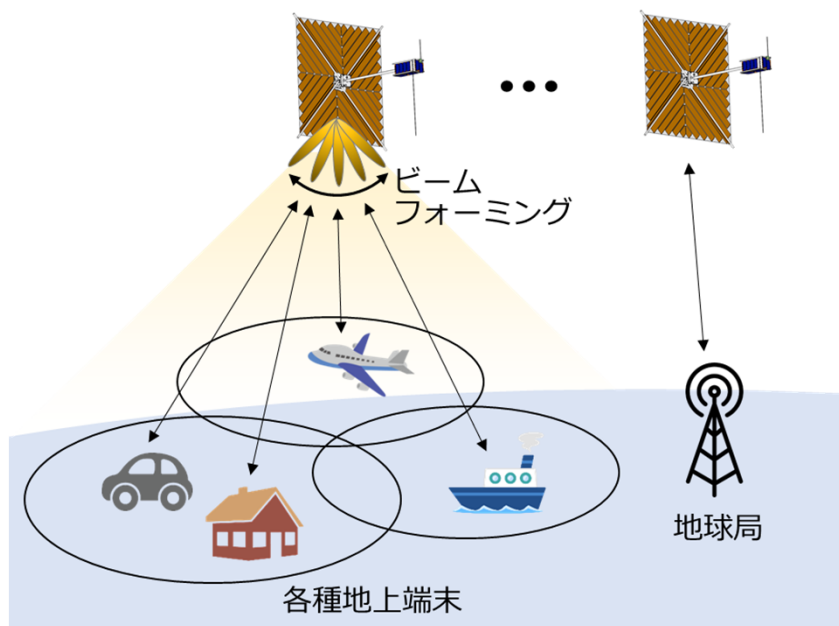
正確な膜形状を把握することで, ソーラーセイルの軌道・姿勢制御を高精度で実現する.

※HELIOSで実証予定

アレーアンテナ(大容量通信)

セイルに非平面を許容するアレーアンテナを貼り付けて、大容量通信を実現する。

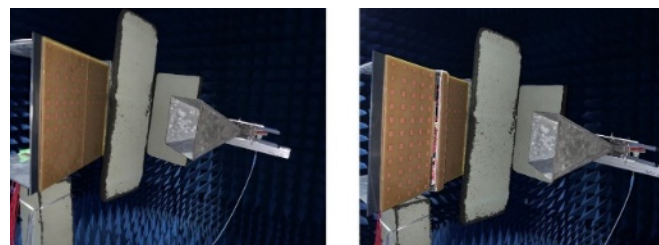
フェーズドアレー無線機
(5Gミリ波帯に対応)



ビームフォーミングのイメージ

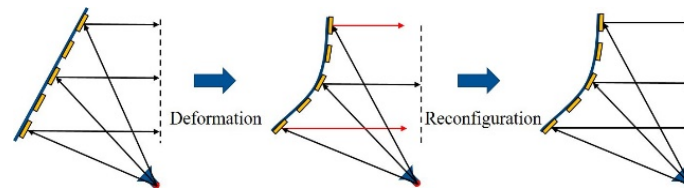
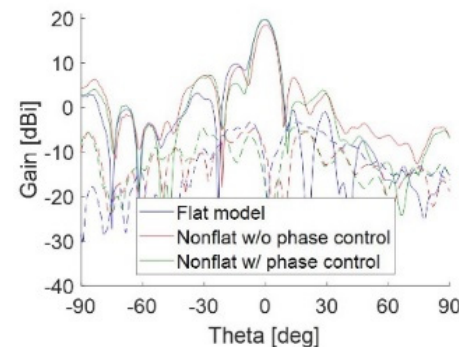
※HELIOSで実証予定

リフレクトアレーアンテナ
(本体上の一次放射器から給電, 配線不要)



(a) Flat condition

(b) Nonflat condition



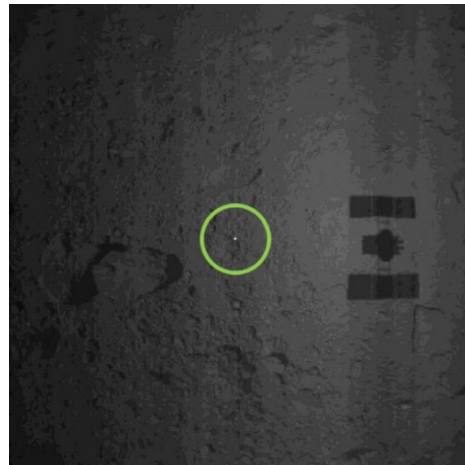
反射位相調整のイメージ

ポスターg16-4

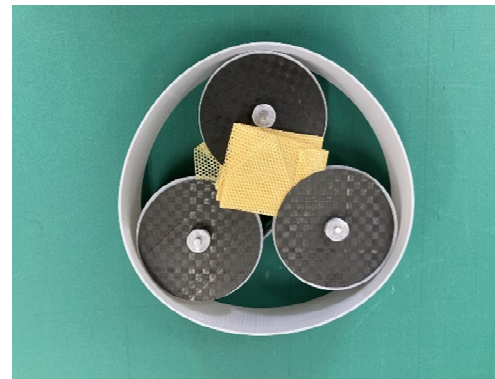
再帰性反射シート(展開型ターゲットマーカ)



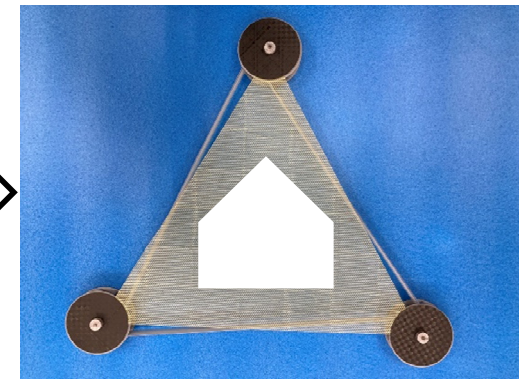
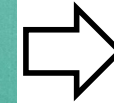
直径100mm



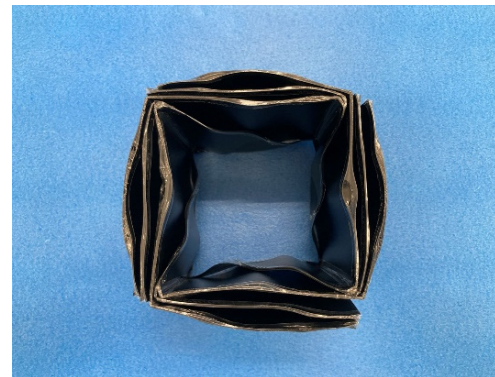
従来型ターゲットマーカ
再帰性反射シートを貼り付けた球を投下し、ターゲットマーカ単体の相対位置を計測する。



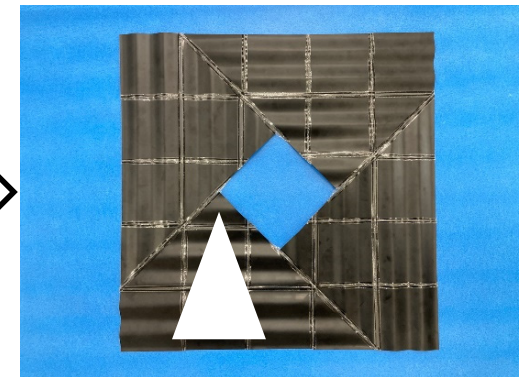
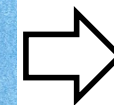
116x108x25mm



一辺294mm



125x125x100mm

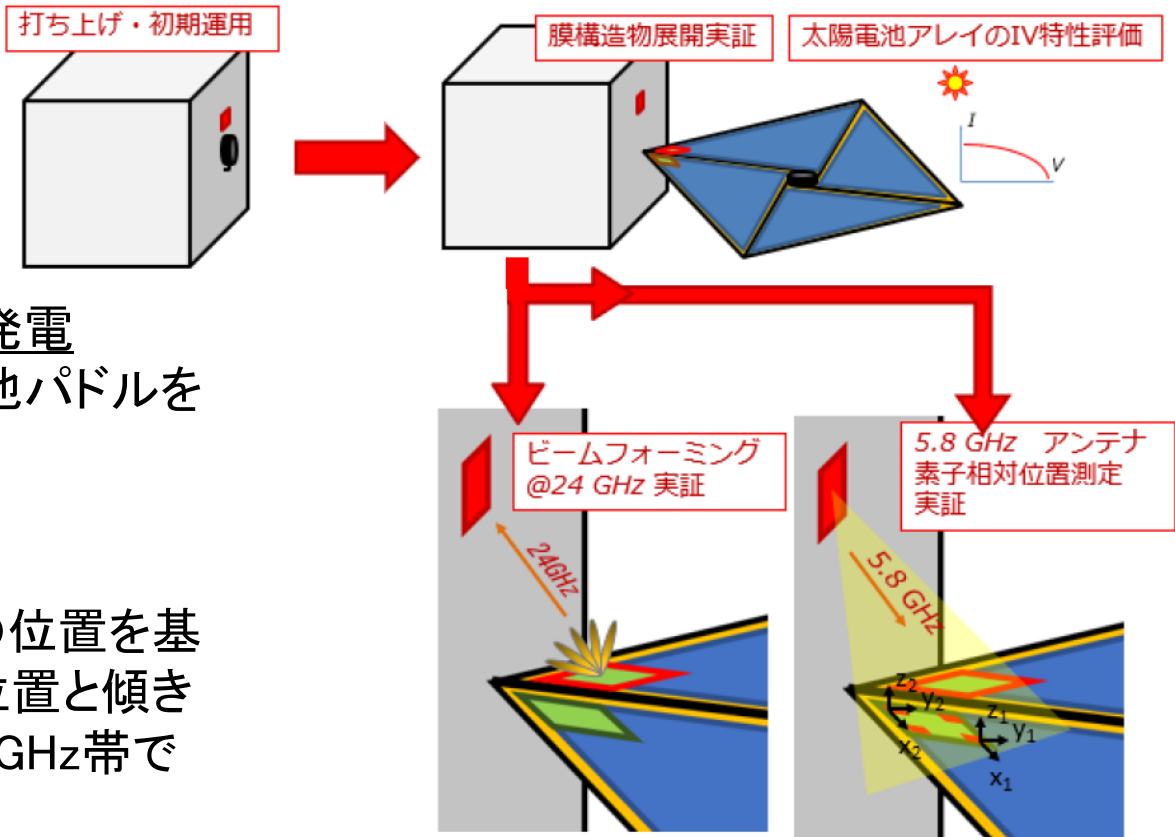


一辺500mm

展開型ターゲットマーカ
再帰性反射シートを貼り付けた膜/パネルを投下・展開し、複数のターゲットマーカの相対位置・姿勢を同時計測する。さらに、より遠方からの識別も可能とする。
(伸展トラス方式、波型パネル方式を活用し、従来型と同等の収納サイズで実現する)

HELIOSのミッション

革新的衛星技術実証3号機の
搭載コンポーネントとして
3つの技術実証を行う。



薄膜太陽電池による超軽量大電力発電
世界最高200W/kgの展開型太陽電池パドルを
実現する技術を実証する。

干渉計による膜面形状計測
衛星側面に位置する送信アンテナの位置を基
準に電波干渉法で受信アンテナの位置と傾き
を測定する膜面形状計測技術を5.8 GHz帯で
実施する。

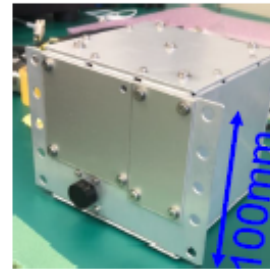
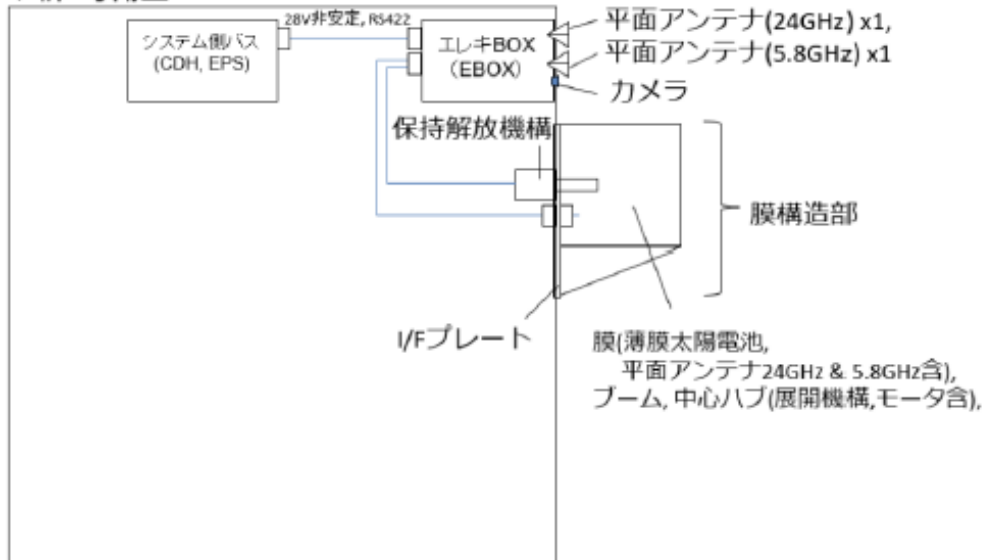
アレーアンテナによるビームフォーミング
平面度を要求しないアレーアンテナ送信機を
搭載し、非平面を補償するビームフォーミング
技術を実証する。周波数は5Gの28GHzに近い
24GHzで実施する。

スケジュール

- ・2021年3月末: EM&熱構造ダミー引き渡し
- ・2021年7月末: PFM引き渡し
- ・2022～2023年度: 軌道上実証実験・運用

HELIOSのシステム

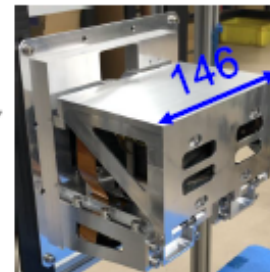
革新3号衛星



EBOX (BBM)

エレキボックス (EBOX)

コマンド/テレメトリデータ処理, 電源供給, 各種制御を行う回路基板



膜構造部 (EM)

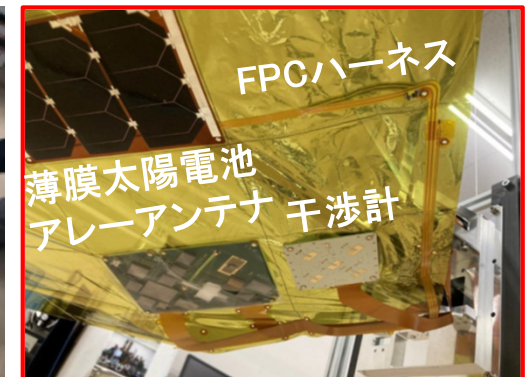
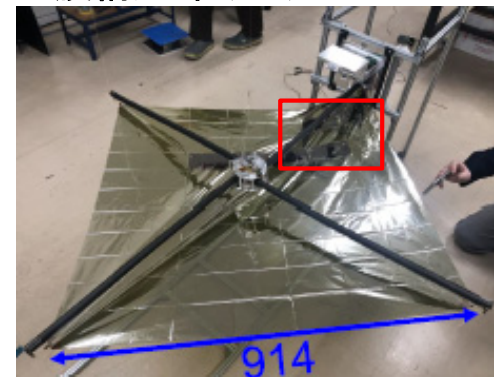
膜構造部

薄膜太陽電池, 干渉計, アレーアンテナを貼付した膜, 固定具, I/Fプレート

開発体制

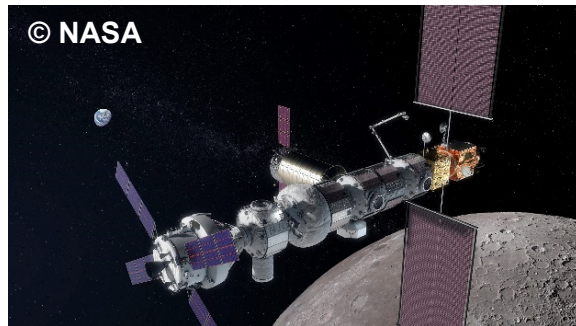
- ・サカセ・アドテック:
提案代表, 実施責任者
- ・JAXA ソーラー電力セイル:
太陽電池膜, 機器システム (EBOX含む)
- ・東工大 坂本研・岡田研:
アレーアンテナ
- ・JAXA 川崎研:
干渉計

※ 太陽電池膜のビジネス化検討において, 複数の企業が興味を示している。

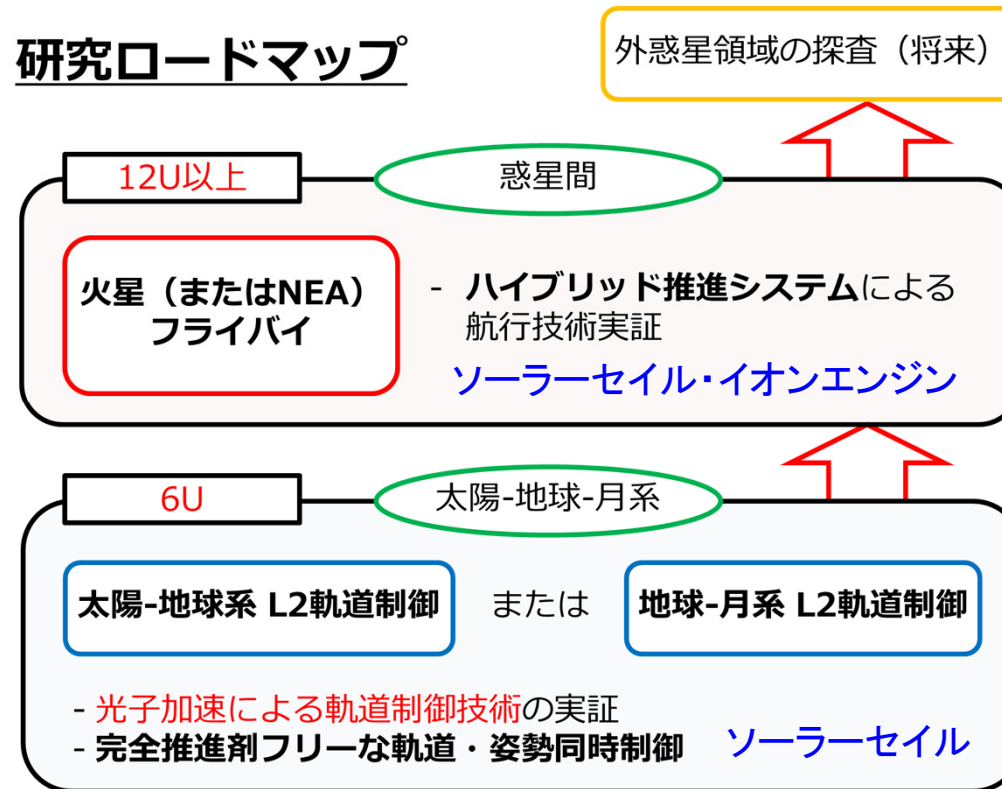


超小型機による早期技術実証

月遷移軌道または月軌道プラットフォームゲートウェイからの放出を想定。
宇宙機のサイズ(6Uまたは12U以上)に応じた**2つのミッションを検討**。



研究ロードマップ



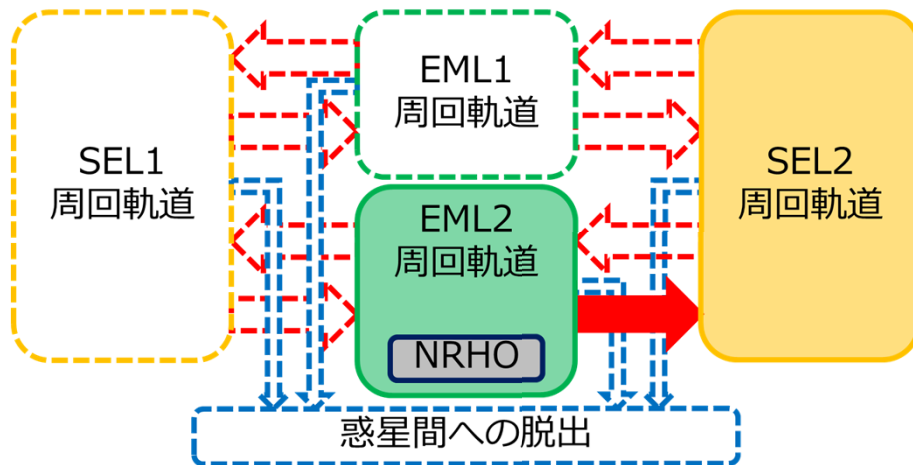
検討チーム

中条 俊大 (東工大), 高尾 勇輝 (JAXA), 森 治 (ISAS), 松永 三郎 (東工大), 船瀬 龍 (ISAS), 渡邊 奎 (東工大), 奥泉 信克 (ISAS), 松浦 周二 (関学大), 松下 将典 (ISAS), 杉原 アフマツ清志 (ISAS), 津村 耕司 (都市大)

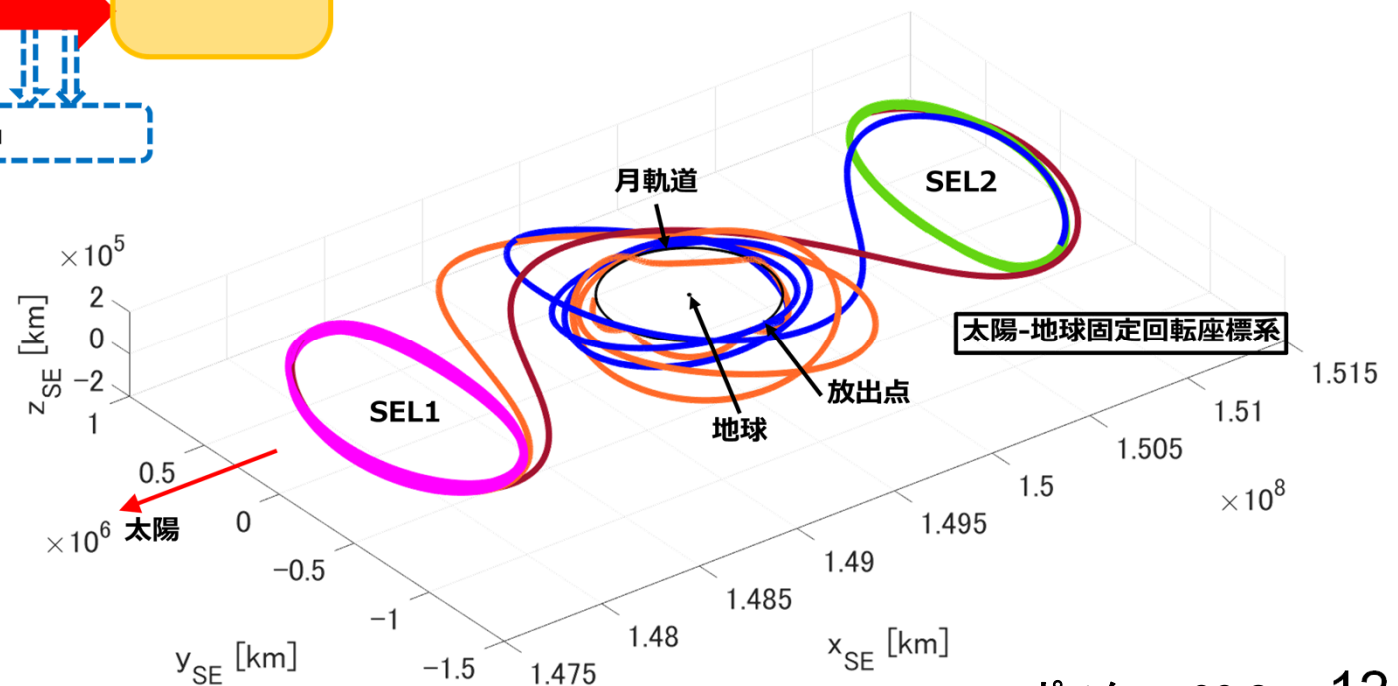
超小型ソーラーセイルのミッション

イオンエンジンの搭載は前提としないが、太陽光圧による軌道・姿勢同時制御を用いた、**ラグランジュ点周辺の推進剤フリーな長期間の航行技術を実証**。

太陽-地球-月系航行のイメージ
(実線は本ミッションで目指す)



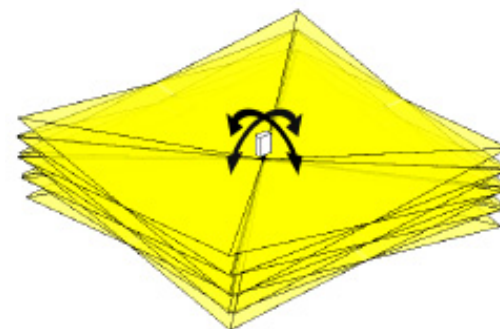
超小型ソーラーセイルで実現可能な軌道例
ミッションではこの一部を実証
(SEL2ハロー軌道への投入および長期間維持)



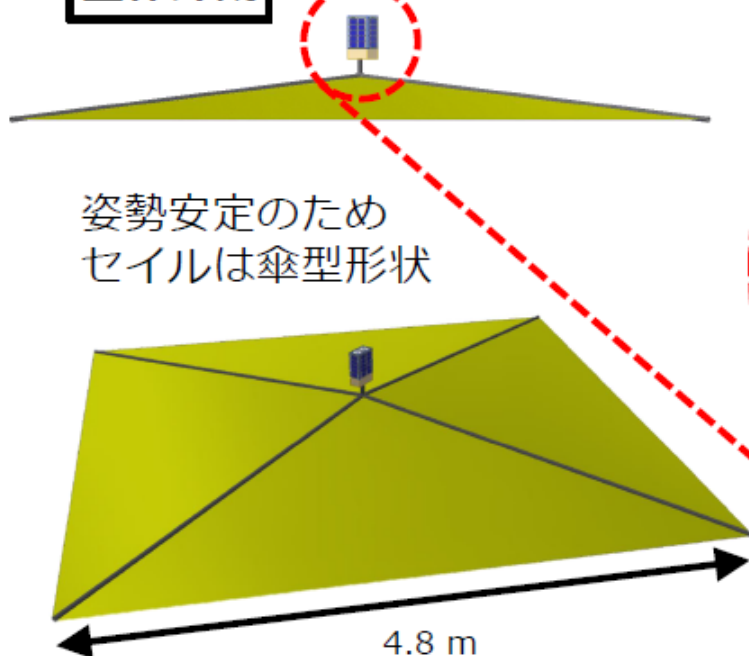
超小型ソーラーセイルのシステム

6UのCubeSatを想定

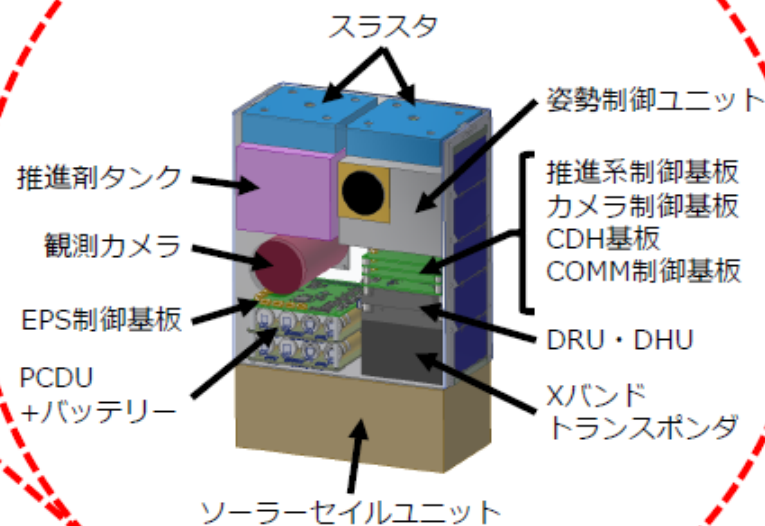
- ・総重量は約14 kg
- ・セイルは1辺4.8mの四角形，傘型形状（姿勢安定）
- ・1ペタル2軸ジンバル型の可変形状機能



全体外観



構体内部イメージ

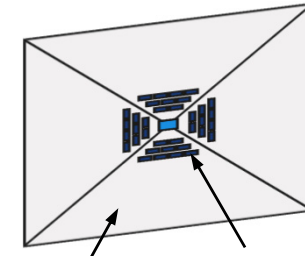


超小型ハイブリッドセイルのミッション

ハイブリッド推進による惑星間における軌道制御の技術実証を行う。

- ソーラーセイルとしての光子加速
- 薄膜太陽電池の発電による電気推進

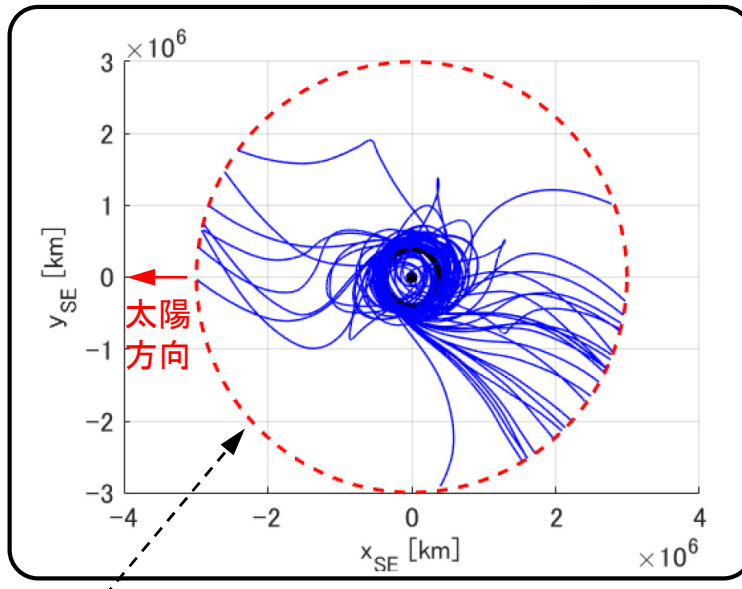
⇒ 大推力かつ高燃費なハイブリッド推進



アルミ蒸着面 薄膜太陽電池

ゲートウェイからの離脱

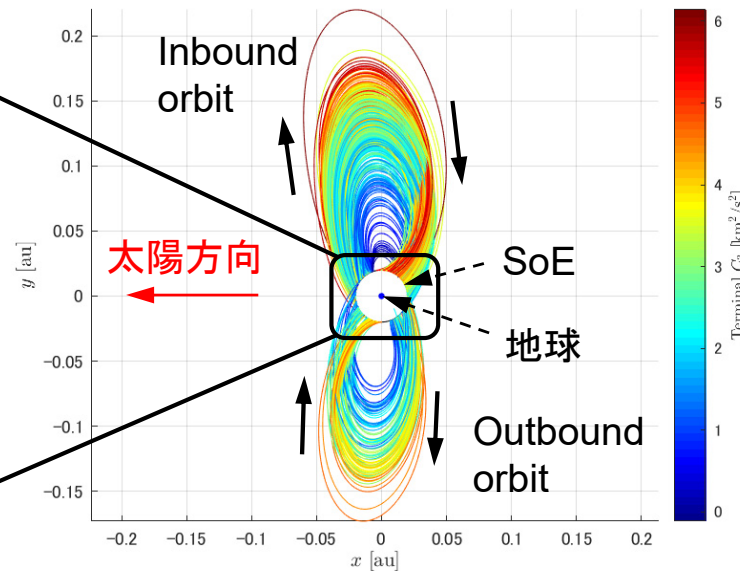
NRHOから10 m/sの ΔV で出発し、半年以内に惑星間へ離脱する軌道を探索



SoE 地球重力が太陽重力の1/10以下となった時点で惑星間へ離脱したとみなす

地球スイングバイによる増速

1年同期の ΔV VEGA軌道へ投入して、火星遷移のための地球スイングバイを行う



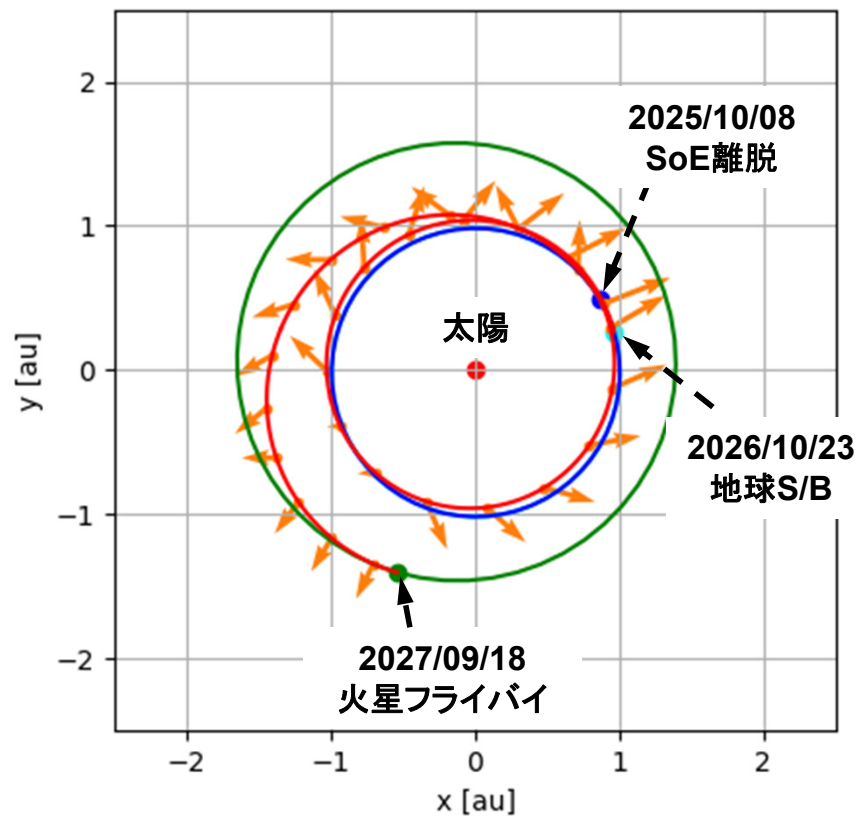
再会合時の地球相対速度を、 C_3 換算で $1 \text{ km}^2/\text{s}^2 \rightarrow 6 \text{ km}^2/\text{s}^2$ 程度にまで増速

ポスター-g06-3

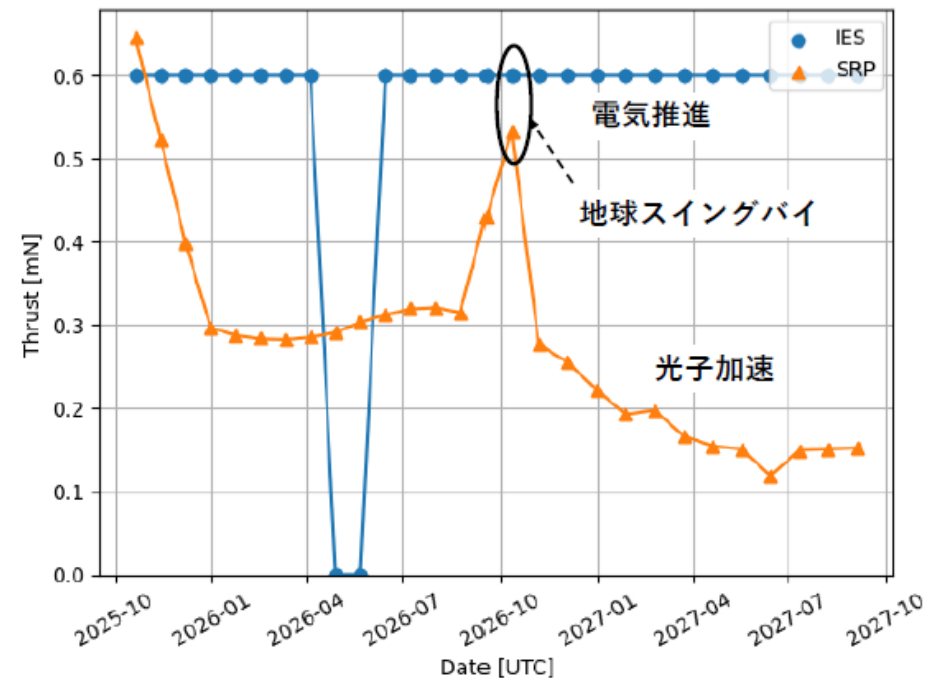
超小型ハイブリッドセイルのシステム

火星遷移軌道

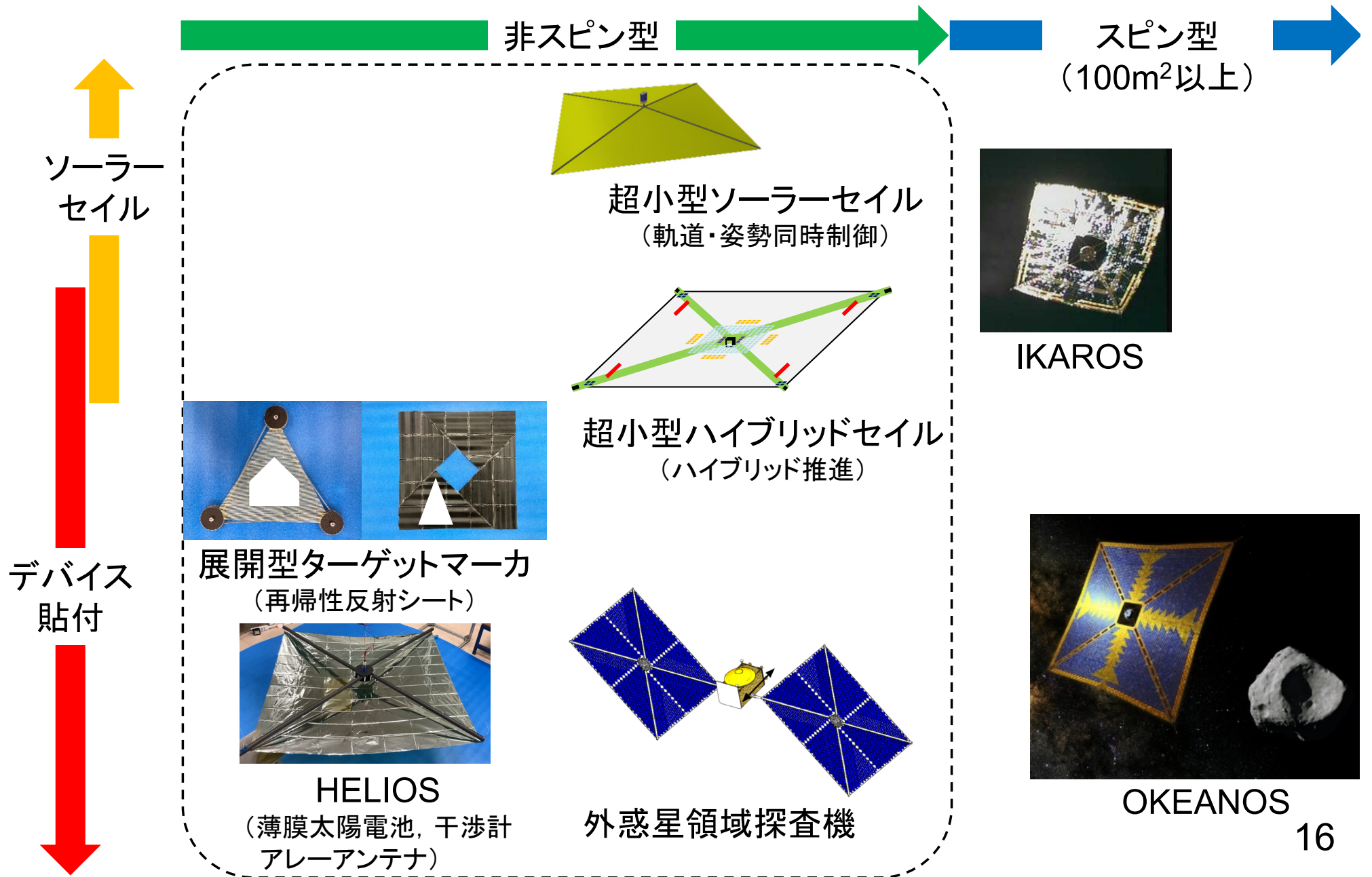
ゲートウェイから離脱する軌道群のうち、最も好条件なものを選び、惑星間軌道の最適化を実施



| 探査機諸元 | 設計値 |
|--------|-------------------|
| サイズ | 12U |
| Wet質量 | 25 kg |
| セイル面積 | 75 m ² |
| 電気推進推力 | 600 μ N |
| 比推力 | 1000 s |



ソーラー電力セルの拡張化・基盤化プログラム



ポスター

膜展開構造関連

Pa.09 : 大型軽量膜面展開構造物の研究開発

奥泉, 宮崎, 佐藤(ISAS), 古谷(東工大), 森, 松下(ISAS), 渡邊(サカセ・アドテック)

HELIOS関連

g16-1 : HELIOSの2020年度開発状況

松下(ISAS)ほか, HELIOSチーム

g16-2 : HELIOSエレキボックスの開発状況

大平(総研大)ほか, HELIOSチーム

g16-3 : HELIOS展開膜形状測定系の開発状況

杉原, 須田, 川崎, 森(ISAS), 和田(FIT), 名田, 藤田(東大)

g16-4 : 非平面を許容する膜面アレーアンテナの研究開発

坂本, 白根, 戸村, 岡田(東工大)

超小型計画関連

g06-1 : 月軌道放出による超小型ソーラー電力セイルの深宇宙ミッション計画概要

中条(東工大)ほか, 超小型ソーラー電力セイルチーム

g06-2 : 超小型ソーラーセイルによる太陽-地球-月系における長寿命航行技術実証ミッション

中条(東工大)ほか, 超小型ソーラー電力セイルチーム

g06-3 : 超小型ソーラー電力セイルによる火星フライバイミッション

高尾(ISAS)ほか, 超小型ソーラー電力セイルチーム