

S7-03 IKAROSの現状と成果

(次のソーラー電力セイル計画の検討状況)



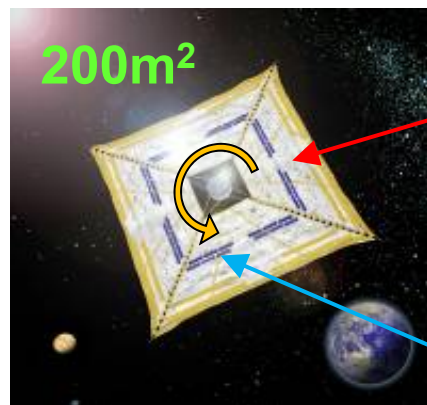
- 森治, 白澤洋次, 三桝裕也, 米倉克英,
津田雄一, 佐伯孝尚, 船瀬龍, 星野宏和,
澤田弘崇, 山本高行, 川口淳一郎,
IKAROSデモンストレーションチーム

IKAROSとは？

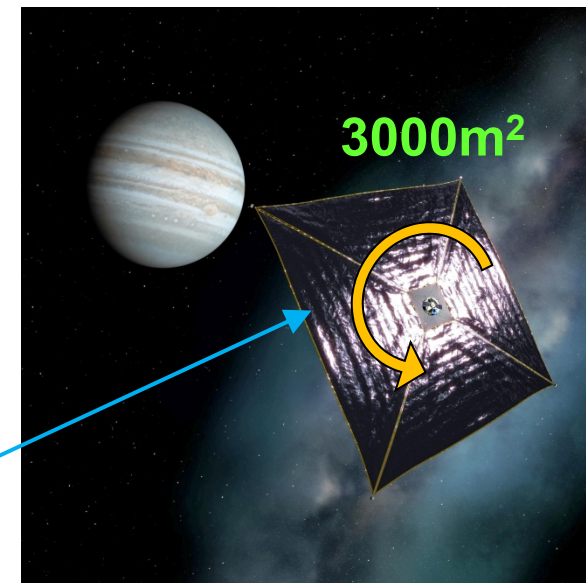
小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」

ソーラー電力セイルとは・・・

ソーラーセイルのセイルの一部に薄膜太陽電池を貼り付けることで、太陽光を受けて加速するだけでなく、太陽光発電も同時に行う日本オリジナルのコンセプト。IKAROSで世界で初めて実証した。次の計画ではこの電力を用いて高性能イオンエンジンを駆動することで、ソーラーセイルとのハイブリッド推進を実現して、外惑星領域探査を行う。



IKAROS計画



ソーラー電力セイルによる
外惑星領域探査計画

前々回, 前回の発表概要

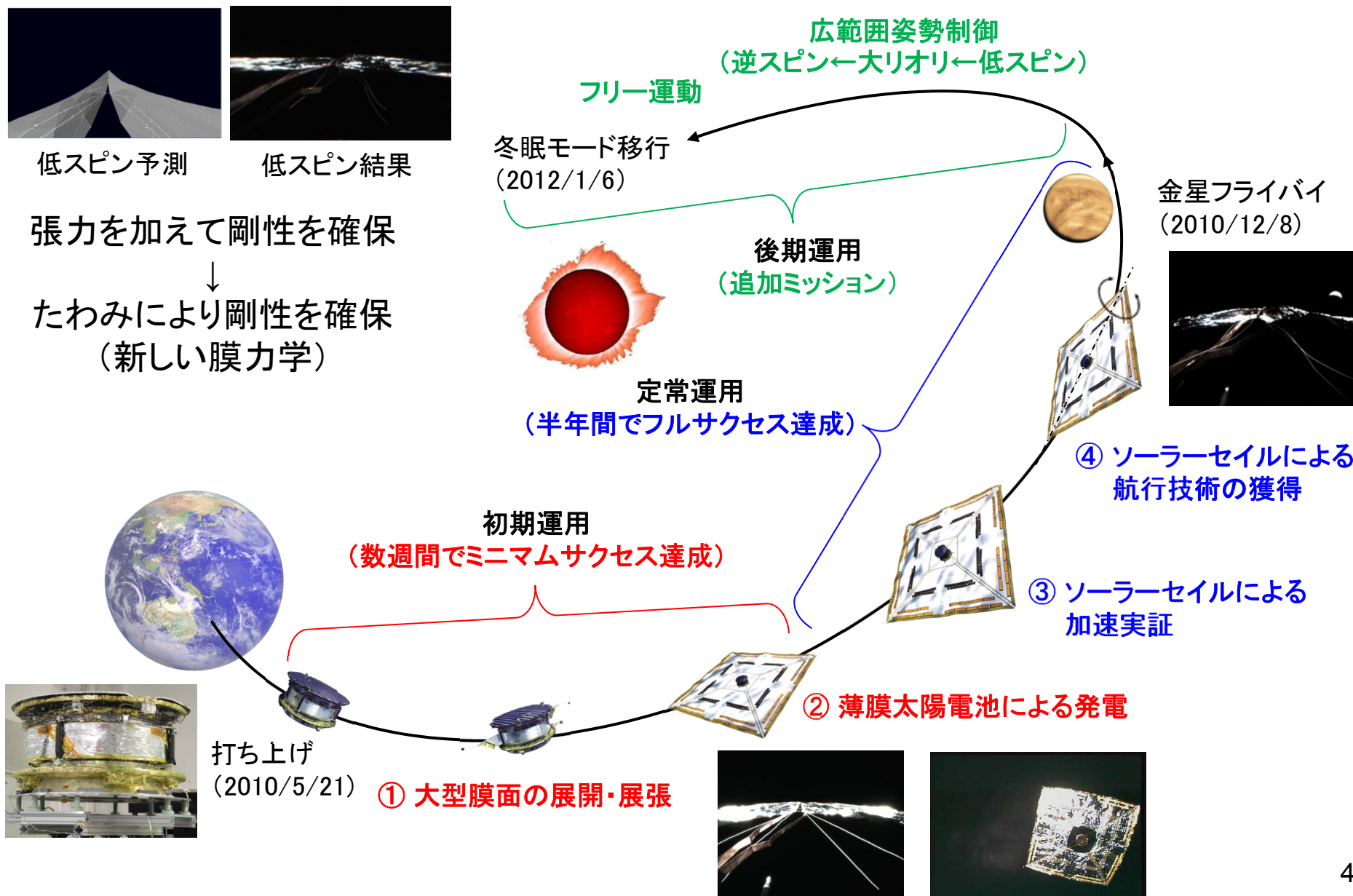
前々回

- ・IKAROSは2010年5月21日に打ち上げられ, 2010年12月までに, フルサクセスを達成した.
- ⇒世界初のソーラーセイルおよびソーラー電力セイルの実証

前回

- ・2011年1月に後期運用へ移行し, 大リオリ, 低スピン, 逆スピン等の追加ミッションを実現した.
- ・2012年1月6日までに太陽角が増大し, 冬眠モード(搭載機器シャットダウン)に移行する様子を確認した.
- ⇒後継機の開発に寄与する技術実証
大型膜構造や太陽輻射圧を含む軌道決定・誘導制御の研究

IKAROSミッションシーケンス



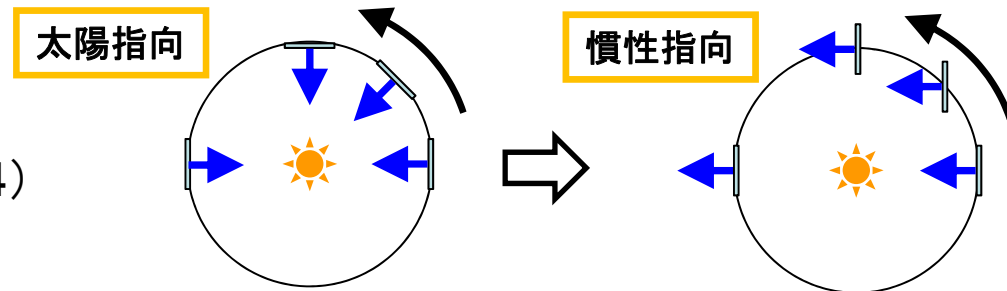
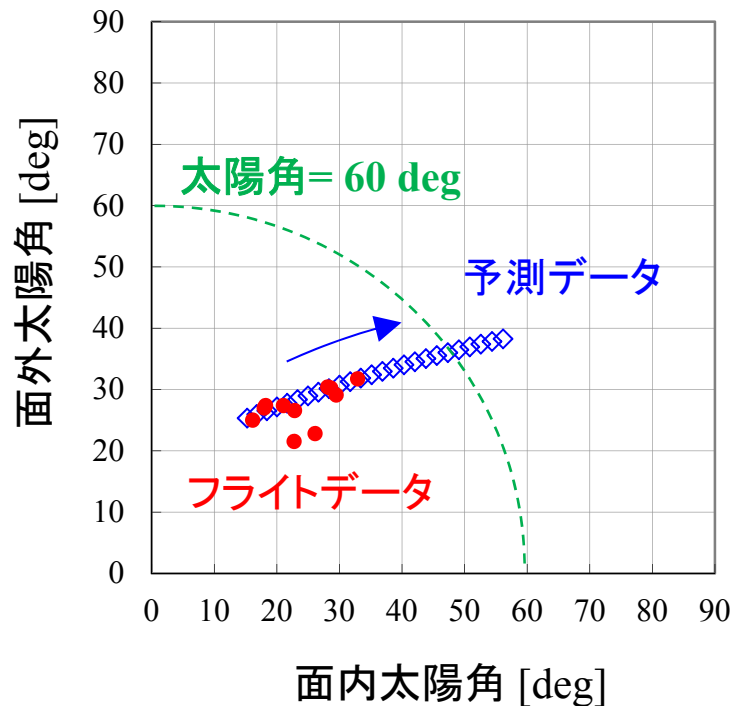
今回の発表概要

- ・IKAROS探索運用を行った結果, 2012年9月6, 8日でIKAROSの電波を捕捉し, 冬眠モードからの復旧を確認した.
- ・2012年10月25日までドップラー&ビーコン運用を実施し, 解析等に必要なデータを取得した.
- ・2012年11月8, 22日の運用にて電波が受信できなかった.
軌道・姿勢予測も踏まえて, 再び冬眠モードに移行したと判断した.
(次の冬眠明けは2013年6月ごろ)
- ・世界記録に2件認定された.
- ・ソーラー電力セイル探査機の計画提案に向け, より挑戦的なミッション
(外惑星領域往復)も含め検討を進めている.

冬眠モード移行前の運動

- ・IKAROSの姿勢(太陽角やスピンレート)はソーラーセイルにより変化する.
- ・2011年12月に推薬枯渇の兆候が出た後は姿勢制御を実施せずに挙動をモニタする方針としたため, 太陽角が増大して, 2012年1月6日までに冬眠モードに移行した.

姿勢履歴(2011/11/29~2011/12/24)



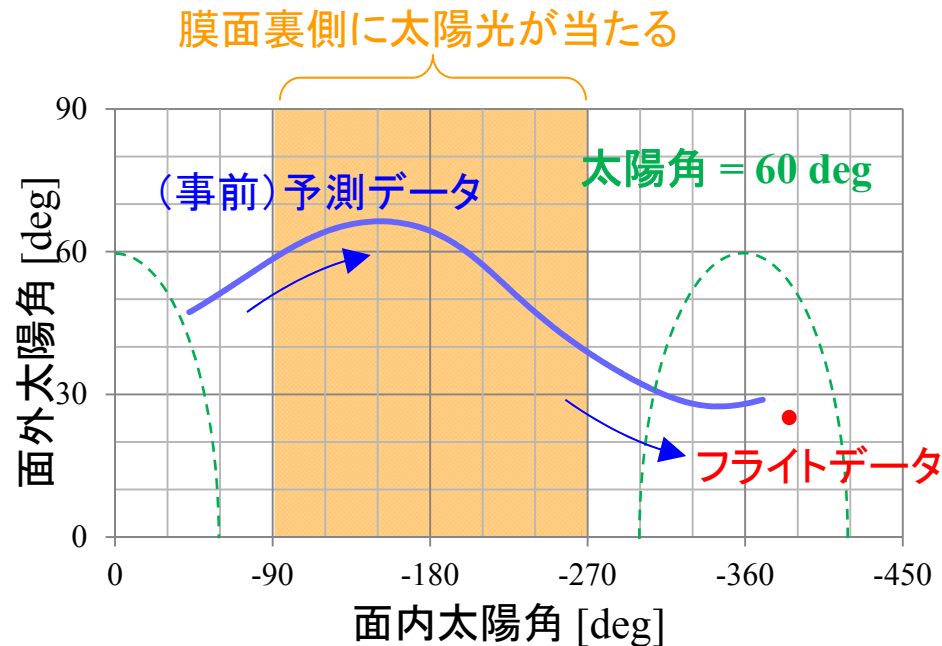
スピンレート履歴(2011/10/18~2011/12/26)
日付



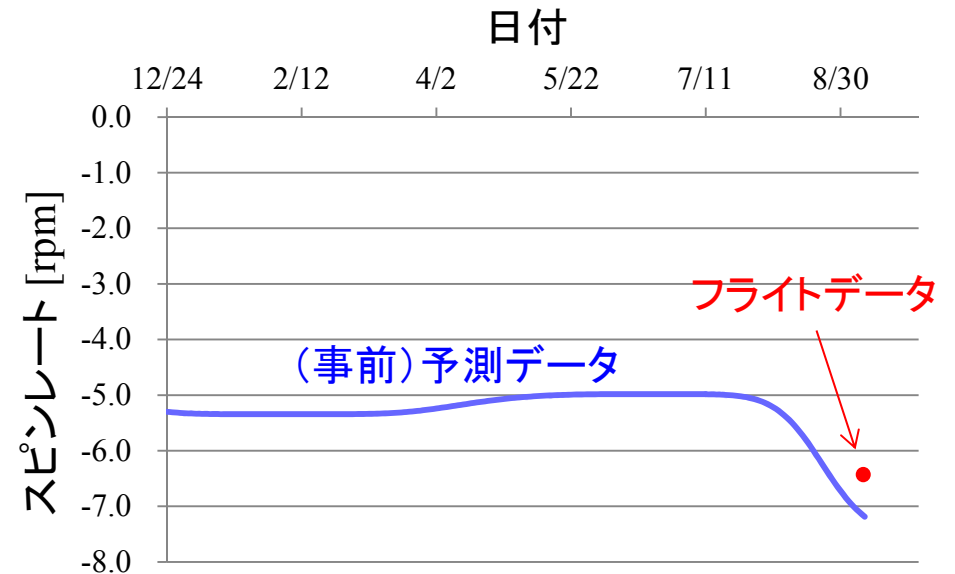
冬眠モード移行後の運動

- ・姿勢の予測データ(膜面裏側に太陽光が当たる期間を含む)を踏まえて探索し、2012年9月6日にIKAROSの電波を捕捉した.
- ・2012年9月8日に姿勢のフライトデータを取得し、予測データとほぼ一致することを確認した.

姿勢履歴(2011/12/24~2012/9/8)



スピンレート履歴(2011/12/24~2012/9/8)



※はやぶさ探索運用との違いは、ソーラーセイルにより姿勢および軌道が変化すること.

IKAROS再捕捉後の運用

- ・ドップラー&ビーコン運用にてIKAROSの状態(姿勢, 角速度, 各種温度, タンク圧力, 冬眠明け時期等)を把握した.
- ・LGAからMGAに切り替えてビーコン運用も行った.
IKAROS搭載用に開発した機器すべてが正常に機能したことを確認した.
- ・推進系(気液平衡スラスト)を噴射し, 予想通りスピニアップすることを確認した.
慣性モーメントに変化がなく, 膜面に大きな破損はないと考えられる.
- ・カメラ撮影を行い, セイルの画像データを保存した(データ取得は行っていない).

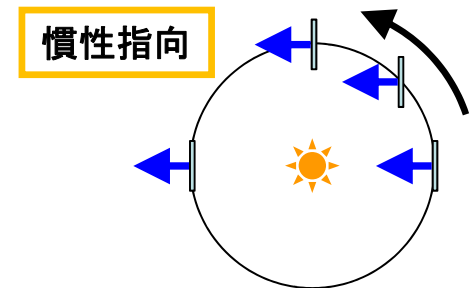
※IKAROSを再捕捉したことは, 長期間のフリー運動を精度よく把握(予測)できるようになったことを意味し, 大きな成果が得られた.

2012年度の後期運用ミッションテーマ

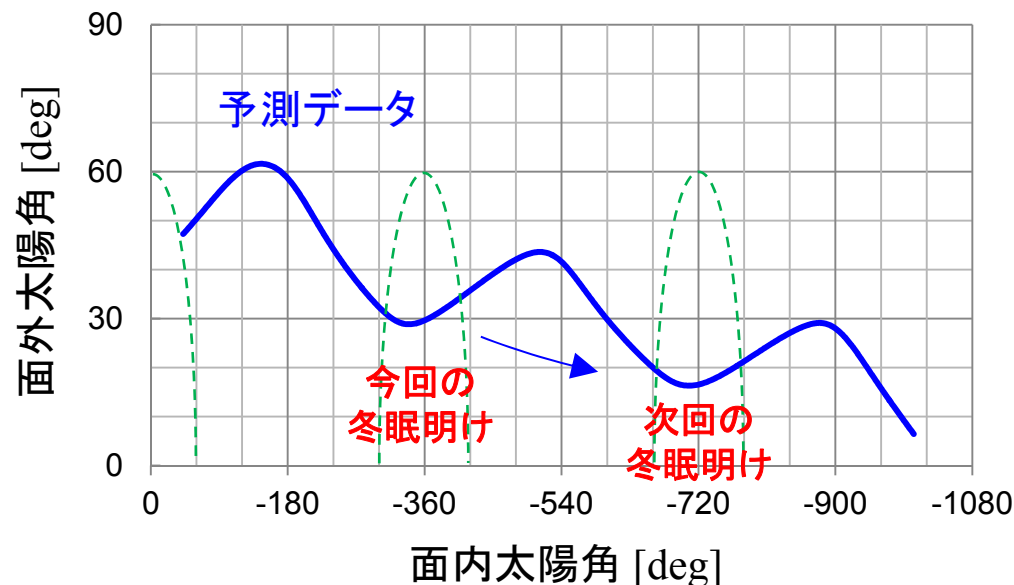
「長期間姿勢制御を行わず, スピンレートや姿勢運動を監視することで, 挙動を把握し, 膜面の力学モデルや光学パラメータモデルを詳細化する.」

今後の運動

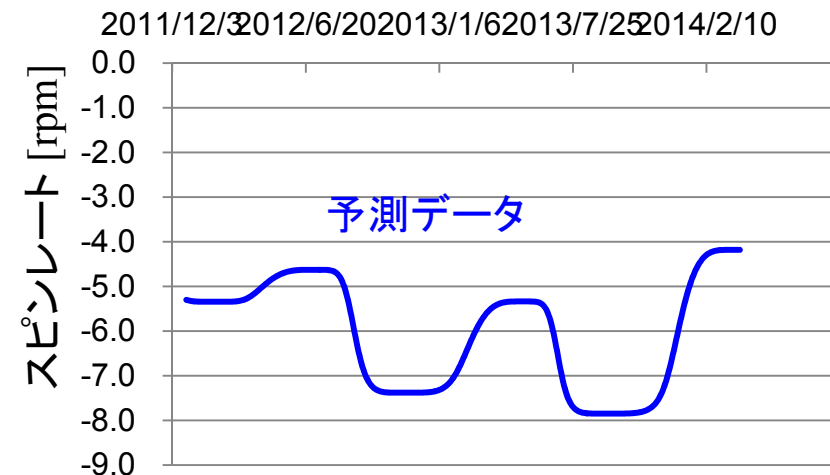
- ・姿勢の予測データを踏まえると次回の冬眠明けは、2013年6月ごろとなる。
- ・技術的には、今回冬眠明けのデータを取得したことで、次回の冬眠明けの発見の可能性が高まった。
- ・次回以降の冬眠明けではテレメトリが取れる可能性があり、研究費等にて運用を継続したい。



姿勢履歴 (2011/12/24～2014/3/31)

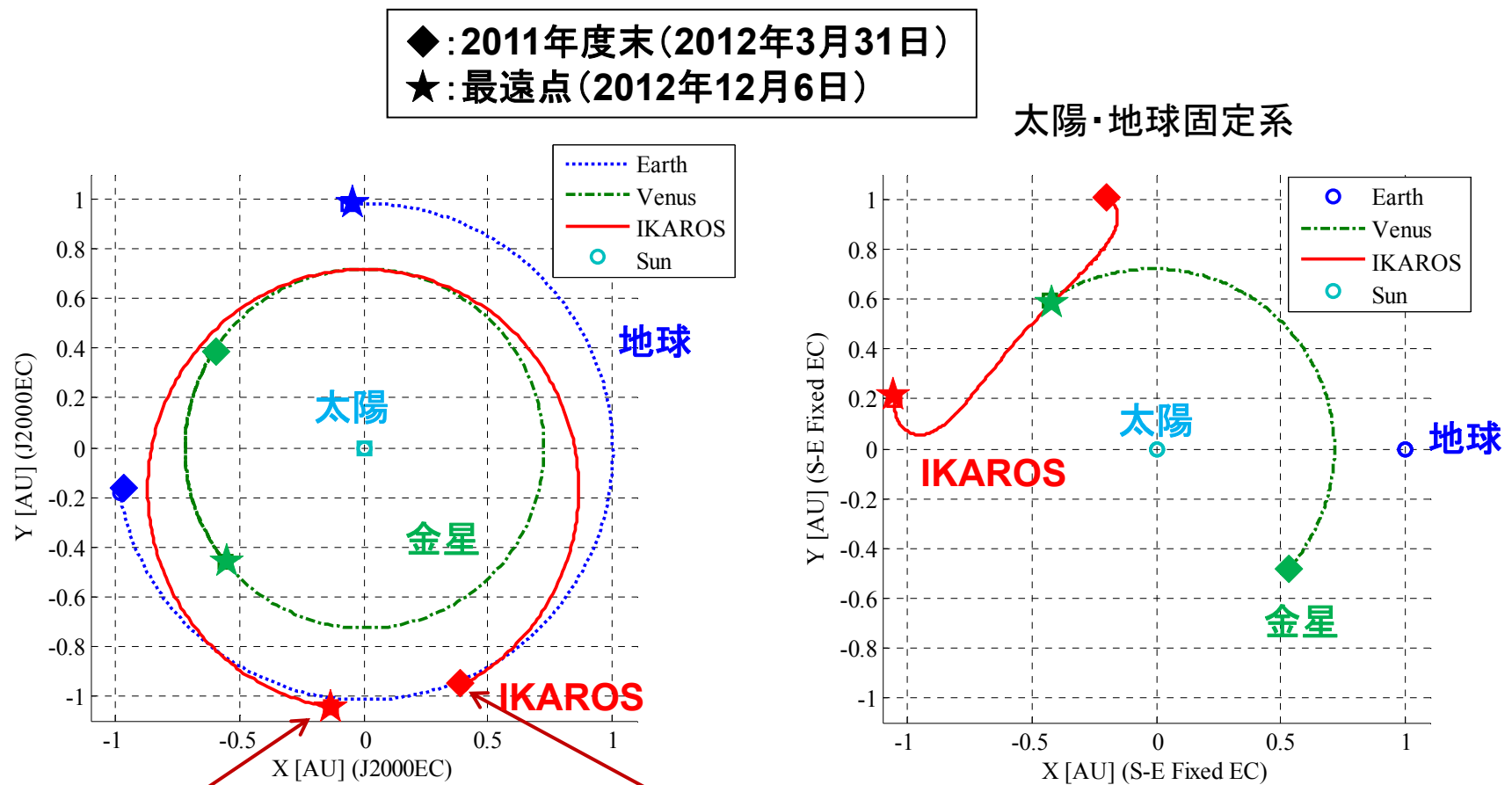


スピンレート履歴 (2011/12/24～2014/3/31)
日付



軌道運動(2011年度末からこれまで)

- 2012年12月に最遠点を通過するまでは地球距離は増加し続ける。

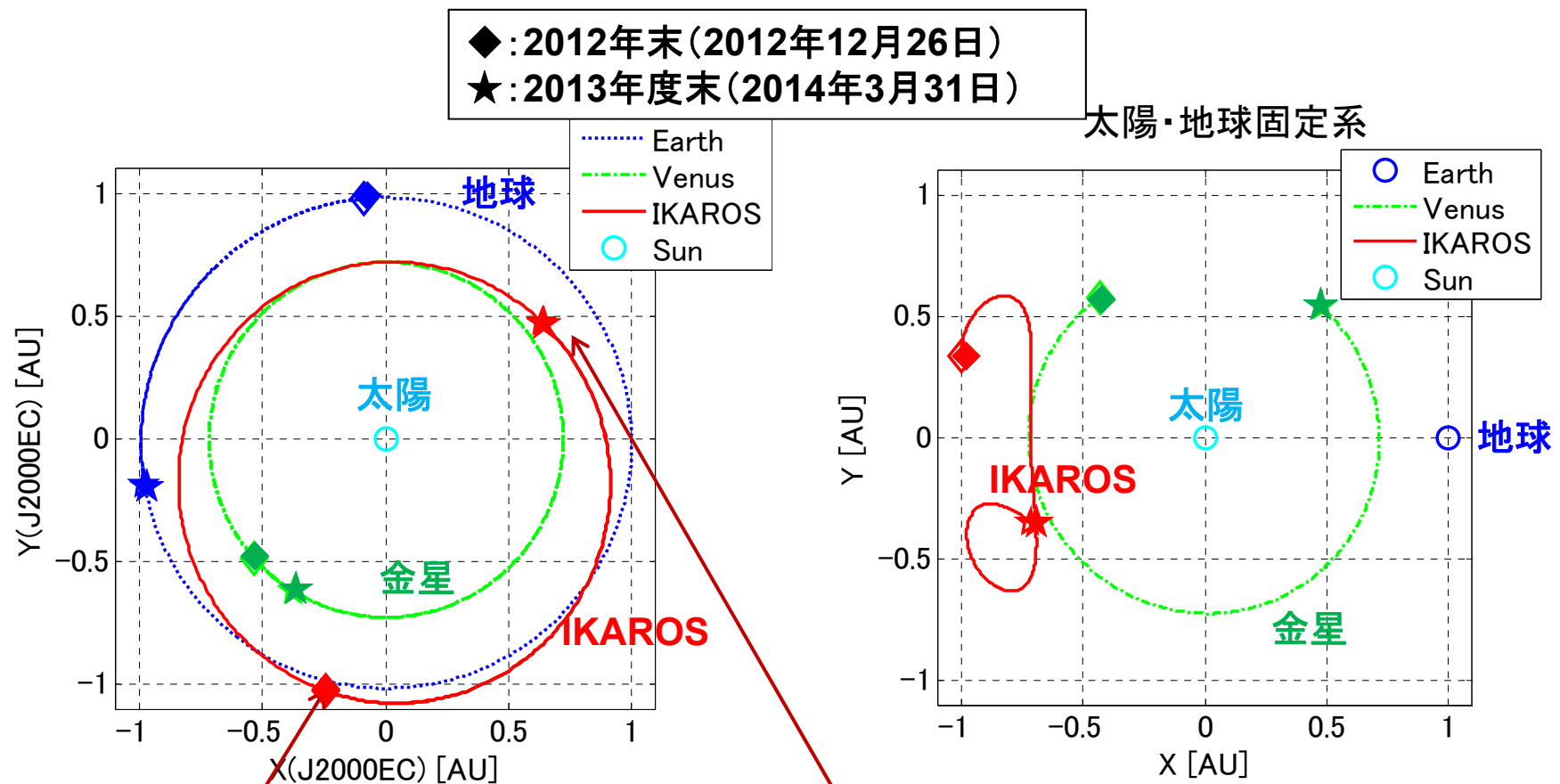


最遠点(2012年12月26日)★

2011年度末(2012年3月31日)◆

軌道運動(これから2013年度末まで)

- ・2012年12月に最遠点を通過後、徐々に地球距離が減少し始める。



2012年末(2012年12月26日) ◆

2013年度末(2014年3月31日) ★

世界記録に認定

IKAROSと分離カメラがギネス世界記録™に認定された.

1. 最初の惑星間ソーラーセイル宇宙機「IKAROS」
(First interplanetary solar sail spacecraft)
2. 最小の惑星間子衛星「DCAM1とDCAM2」
(Smallest interplanetary subsatellite)



※ギネス世界記録™はギネスワールドレコードリミテッドの登録商標

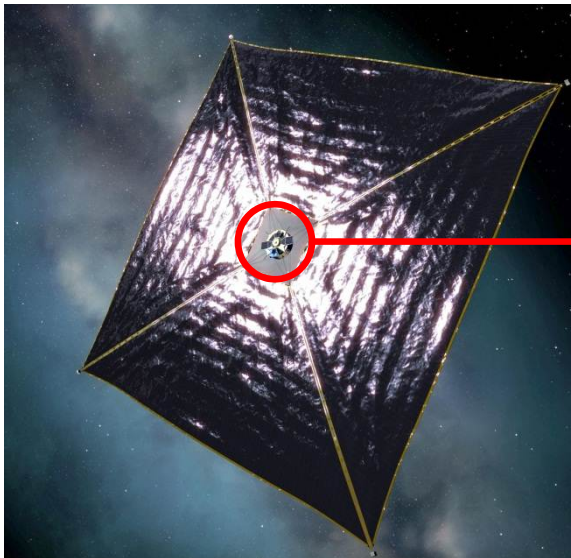
このほか、オプション機器のGAP(ガンマ線バースト偏光検出器)の成果について、日本物理学会やアメリカ物理学会の最近のトピックとして大きく取り上げられている。

⇒ **小型計画でも世界一級の技術実証や科学観測ができることを示した。**

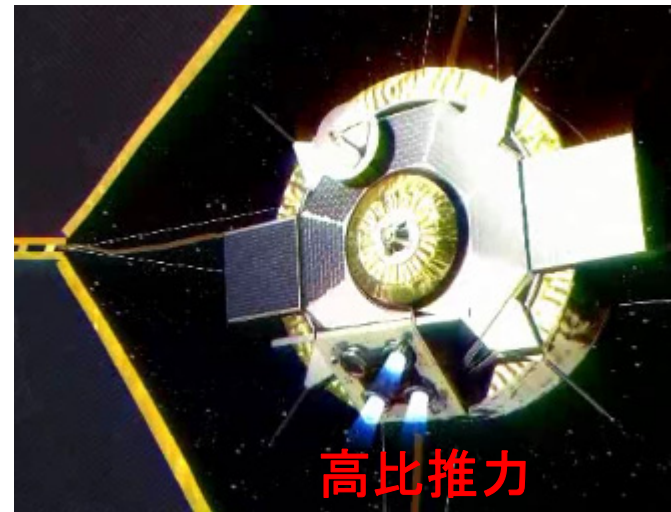
ソーラー電力セイルWGでの検討状況

＜ソーラー電力セイル探査機＞

- ・**大型ソーラーセイル**(面積: 3000m^2 , IKAROSの15倍)で光子加速だけでなく,
高比推力イオンエンジン(比推力: 6000~9000秒, はやぶさの2~3倍)も駆動し,
外惑星領域で大きな増速量(数km/s規模)を達成.
⇒通常の化学推進を用いると燃料が莫大になる.
- ・セイル全体に**薄膜太陽電池**を貼り付け, 外惑星領域で大電力($5\text{kW}@5\text{AU}$)を確保.
⇒既存の発電技術(太陽電池パドル, 原子力電池)では, 実現が困難.
- ・本探査機で日本独自の外惑星領域探査(「より遠く, より自在な」探査)を確立する.
⇒本探査機で実現できるサイエンスの可能性も最大限追求する(ひてん等).

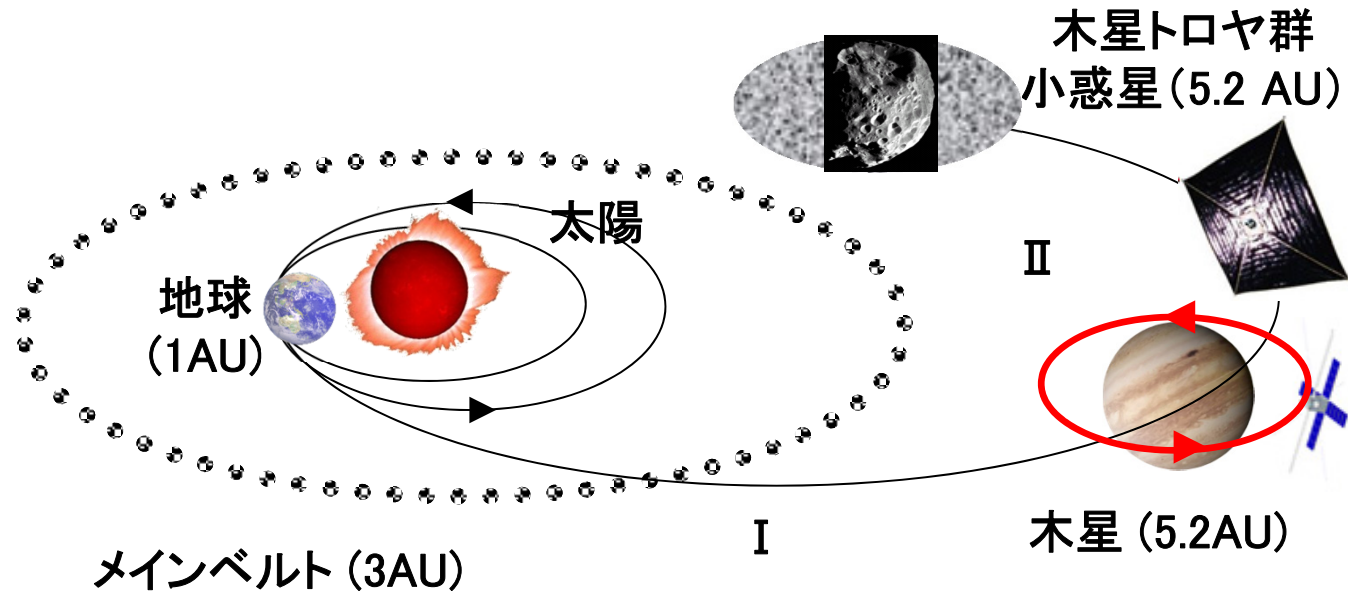


大型ソーラーセイル&薄膜太陽電池



高比推力
イオンエンジン

ミッションシーケンス (従来案:木星オービター投入)



I. クルーシングフェーズ

- ・赤外線背景放射の掃天観測
- ・黄道光の立体的観測
- ・太陽系ダスト分布のその場計測※
- ・ガンマ線バーストの偏光観測※
- ・小惑星帯フライバイ観測

II. ランデブーフーズ

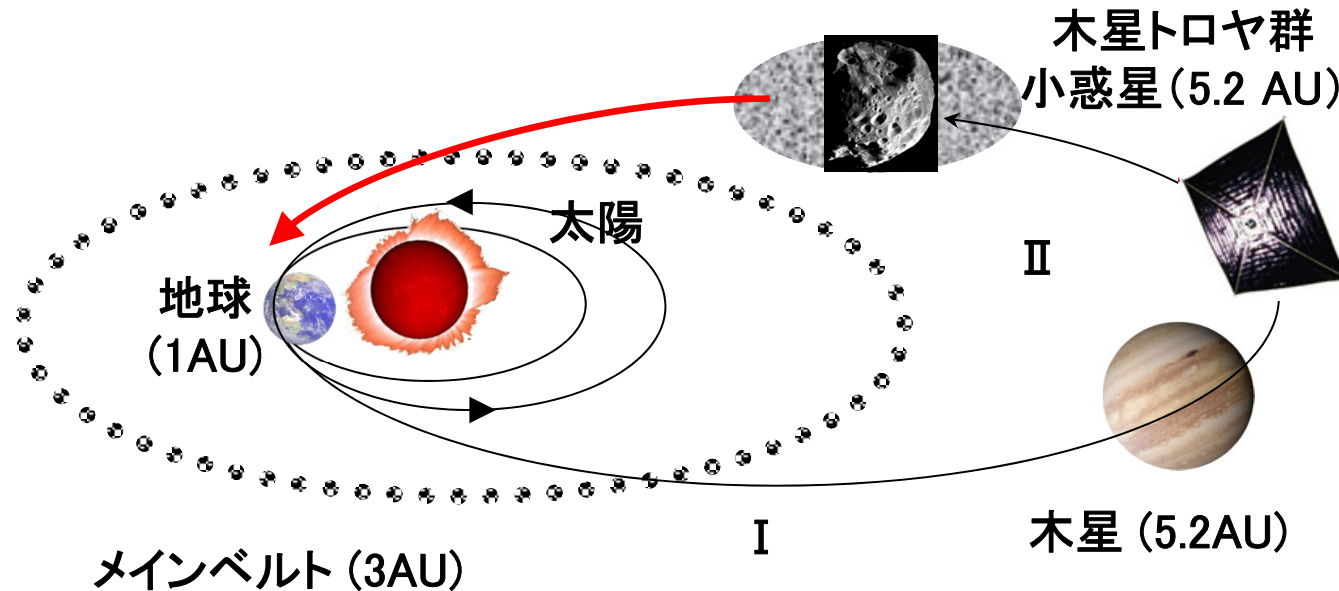
- ・木星磁気圏観測(子機)
- ・木星トロヤ群小惑星の探査

<運用スケジュール>

- ・2021年ごろ: 打ち上げ
- ・2023年ごろ: 地球スイングバイ
- ・2025年ごろ: 木星スイングバイ
(木星オービターを投入)
- ・2030年ごろ: 木星トロヤ群小惑星到達

※IKAROSオプション機器の
ALDNとGAPで事前実証済み

ミッションシーケンス (挑戦案: 外惑星領域往復)



I. クルージングフェーズ

- ・赤外線背景放射の掃天観測
- ・黄道光の立体的観測
- ・太陽系ダスト分布のその場計測※
- ・ガンマ線バーストの偏光観測※
- ・小惑星帯フライバイ観測
- ・木星磁気圏観測

II. ランデブー・帰還フェーズ

- ・木星トロヤ群小惑星の探査
- ・小惑星帯以遠のダスト, 木星トロヤ群小惑星のサンプル採取

<運用スケジュール>

- ・2021年ごろ: 打ち上げ
- ・2023年ごろ: 地球スイングバイ
- ・2025年ごろ: 木星スイングバイ
- ・2030年ごろ: 木星トロヤ群小惑星到達
- ・2035年ごろ: 地球帰還

※IKAROSオプション機器の
ALDNとGAPで事前実証済み

本ミッションで実証される新規技術

大型膜構造物の展開・展張	■ ■ ■ ▶ 面積3000m ² (IKAROSの15倍), 熱融着膜	セイル・柔軟構造物 ⇒座屈管理した大型建造物
薄膜太陽電池システム	■ ■ ■ ▶ 重量電力量: 650W/kg, 発電量: 5kW@5AU	電源一般・有人基地技術 ⇒低価格電池の大量生産
低推力推進系による軌道操作	■ ■ ■ ▶ 電気推進と光圧推進のハイブリッド航行	誘導航法技術
USO・ΔVLBI軌道決定・航法	■ ■ ■ ▶ 遠距離高精度軌道決定技術	深宇宙航行技術

IKAROS (オプション機器VLBIを含む)で部分的に実証

高比推力イオンエンジン	■ ■ ■ ▶ 比推力: 6000~9000秒(はやぶさの2~3倍) 最低運転時間: 40000時間	宇宙推進 ⇒プラズマ反応炉技術, 先端デバイス産業の成膜
低温2液推進機関	■ ■ ■ ▶ 動作温度: -50℃, 比推力300秒	宇宙推進・宇宙システム
推進系統合型燃料電池	■ ■ ■ ▶ 木星距離でピーク電力を確保する方策	電源一般・有人基地技術 ⇒耐腐食性極板開発
Ka通信系／膜面上Phased Array	■ ■ ■ ▶ 遠距離高速通信技術	宇宙通信
惑星間フォーメーションフライト	■ ■ ■ ▶ 高度な誘導航法技術の獲得	誘導航法技術 ⇒産業・介護ロボット
耐高放射線環境機器	■ ■ ■ ▶ 木星環境に耐える技術.	宇宙環境 ⇒SOI等の新電子デバイス
超高速減速技術	■ ■ ■ ▶ 超高速リエントリー	リエントリー技術

いずれも今後の深宇宙探査に必須の技術である(宇宙以外の技術にも応用可). 16

ミッションの主な特徴

- **世界初**の光子推進と電気推進のハイブリッド推進
- **世界最高性能**のイオンエンジン
- **世界初**の小惑星帯以遠での赤外背景放射観測
- **世界初**の木星トロヤ群小惑星探査
- **世界初**の小惑星帯以遠のダスト採取
- **世界初**の木星トロヤ群小惑星サンプル採取
- **世界最高速度**の地球帰還カプセル

本計画は、「より遠く、より自在な」宇宙探査活動を実現する総合工学ミッションであり、日本独自の外惑星領域探査技術を確立することで、日本が太陽系探査およびスペース天文学を先導し、新しい科学分野を切り拓く。

スケジュール案

＜開発＞

- ミッション検討:~2014
- 基本設計:2014~2015
- プロトフライトモデル製作, 熱・機械環境試験:2016~2017
- 詳細設計, フライトモデル製作:2018~2019
- 総合試験:2020~2021

＜運用＞

- 打ち上げ:2021
- 地球スイングバイ:2023
- 木星スイングバイ:2025
- 木星トロヤ群小惑星到達:2030
- 地球帰還:2035

結論

- ・IKAROS探索運用を行い, IKAROSの電波を捕捉することに成功した.
- ・冬眠明けのIKAROSの姿勢・軌道を把握し, セイルモデルを修正・詳細化した.
- ・IKAROSの今後の姿勢・軌道を踏まえ, 次回冬眠明けの時期を予測した.
- ・これらの成果も踏まえ, ソーラー電力セイル探査機による外惑星領域探査計画を検討中.



IKAROSホームページ: http://www.jspec.jaxa.jp/ikaros_channel/index.html
(ブログ, twitter)

発表リスト

<IKAROS関連>

P4-055: IKAROSの探索運用

P4-056: 小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSのセイル膜面の軌道上構造特性の検討

P4-057: IKAROS-ALLADINによる内惑星領域ダストの往復計測と後継機器への技術的教訓

<ソーラー電力セイル探査機関連>

P2-125: ソーラー電力セイルによる外惑星探査ミッションの検討・開発状況

P2-126: ソーラー電力セイルによるトロヤ群小惑星帯サンプルリターンのミッション解析

P2-127: ソーラー電力セイル用イオンエンジンの開発状況

P2-128: ソーラー電力セイルの大型セイル膜面開発およびその収納・展開方法の検討

P2-129: 次期大型セイルに向けての宇宙環境性を持つ熱融着・熱可塑性ポリイミド薄膜の開発

P2-130: ソーラー電力セイルの燃料フリー姿勢制御のための可変反射率デバイスの開発と
最適制御則の研究

P2-131: ソーラー電力セイル理学観測機器開発の現状