

小型ソーラー電力セイル実証機 (IKAROS)の計画概要



平成21年9月9日(水)

宇宙航空研究開発機構
IKAROSデモンストレーションチーム
チーム長 森 治

1. 技術的背景

ソーラー電力セイルとは？

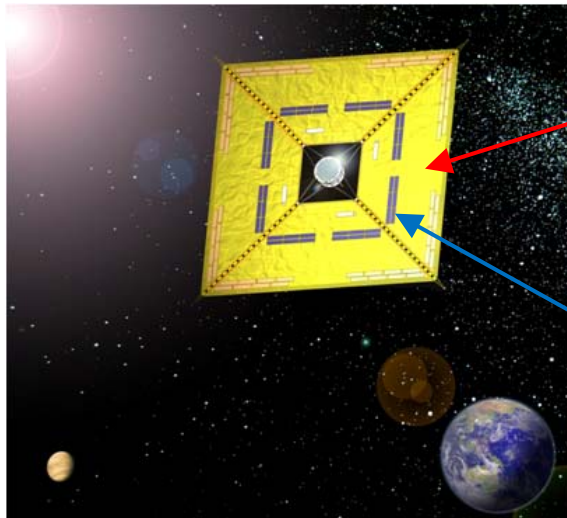
・ソーラーセイルとは・

風を受けて海を走る帆船のように、宇宙空間で大型の薄い膜を展開し、太陽からの光の粒子を反射する力で推進する宇宙船。ソーラーセイルのアイデアは100年程度前からあったが、極めて軽量かつ極めて広い面積を保持できる薄膜鏡が必要であり、まだ実現されていない。

・ソーラー電力セイルとは・

ソーラー電力セイルは、ソーラーセイルによる推進と薄膜太陽電池を貼り付けた電力セイルによる発電を組み合わせた日本オリジナルのコンセプトであり、今回報告する小型機により実証する。

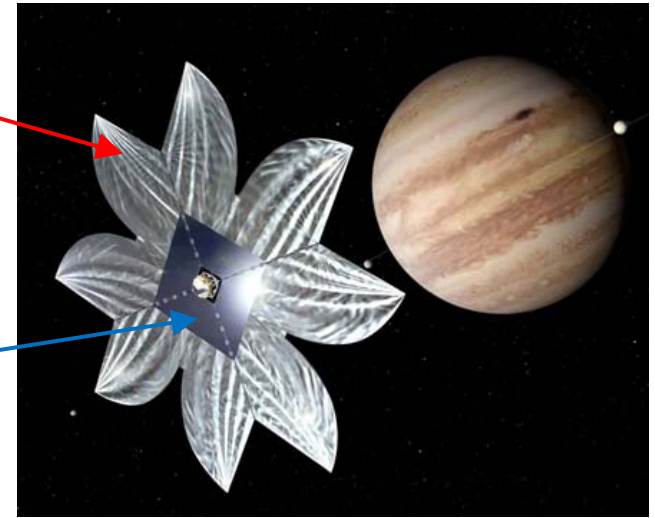
将来的には、この電力を用いて高性能イオンエンジンを駆動することで、更に効率的な光子加速とのハイブリッド推進を実現する。



今回の実証計画
(小型ソーラー電力セイル実証機)

超薄膜太陽帆

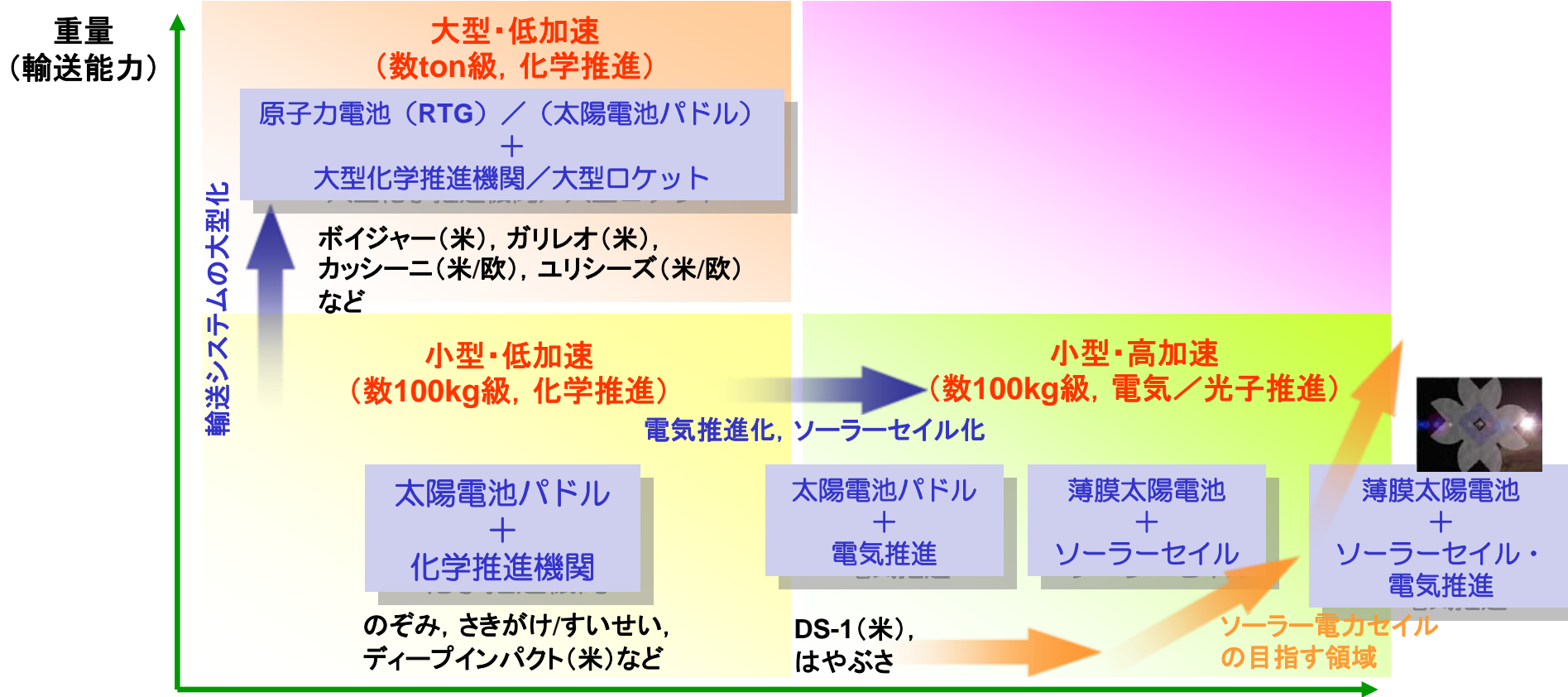
薄膜太陽電池



将来計画
(外惑星探査機)

1. 技術的背景

ソーラー電力セイルの位置付け

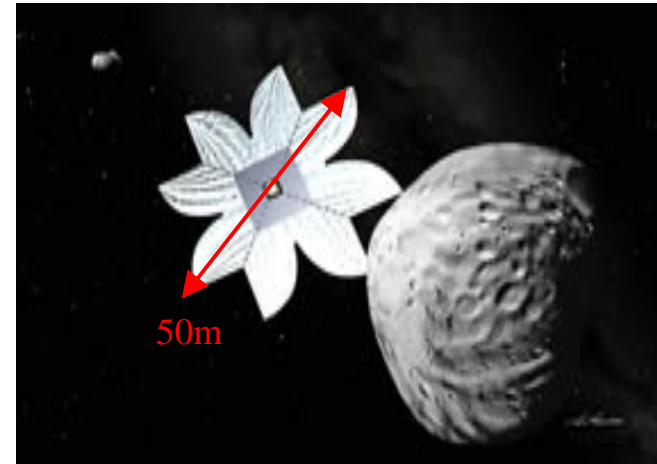
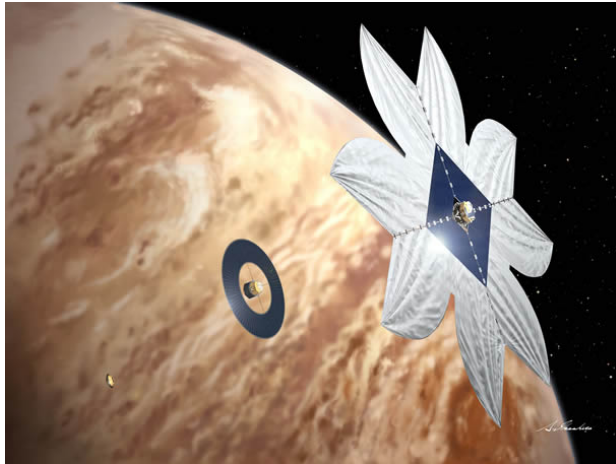


太陽からの距離が増加するに伴い、太陽電池の発電量は低下するため、海外探査機は原子力電池を利用している。近年、大電力を確保するため、原子炉を用いた方法が検討されているがシステムの大型化を招き、加速能力にも悪影響を及ぼす。

ソーラーセイルは、燃料を使用せず効率的な加速能力を有している上、大面積のセイル面に薄膜太陽電池を貼り付けることで、深宇宙でも大電力を確保できる。一方、イオンエンジン等の電気推進は電力供給の制約が外れると一気に高効率化することが見込まれる。この2つの推進システムを組み合わせることで、更に効率よく、柔軟な探査が実現すると考えられる。以上から、近未来の中小型外惑星探査の1つの形態として、ソーラー電力セイルによるハイブリッド推進が有力である。

2. ミッションの目的と意義

将来実現を目指すソーラー電力セイル探査



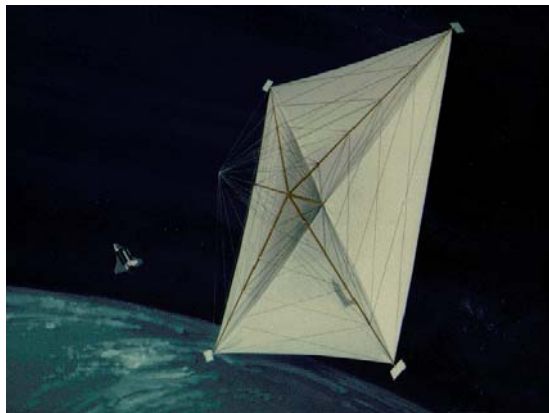
- ・当面は木星やトロヤ群小惑星の探査を想定する.
- ・探査機の膜面(φ50m)の一部は薄膜太陽電池になっており、イオンエンジンをはじめとする探査機システムへ電力を供給する.
- ・光子加速に高比推力イオンエンジンを併用するハイブリッド推進を実現する.

2. ミッションの目的と意義

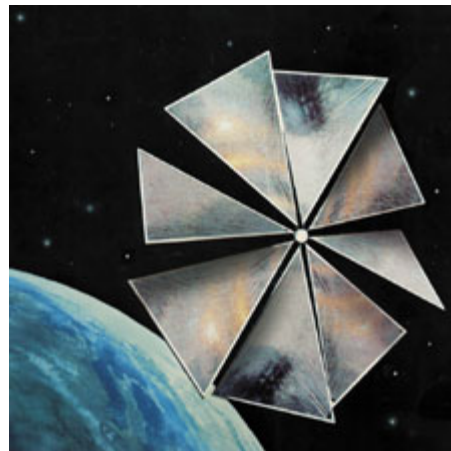
ソーラー電力セイル研究開発の意義

- ・従来より格段に効率良く、柔軟な探査を実現する光子加速と電気推進のハイブリッド推進による航行を世界で初めて実証する。
ソーラーセイルは欧米でもミッションを検討中であるがまだ実現されていない。
- ・木星圏で高性能イオンエンジンを駆動するのに十分な電力供給を可能とする。
宇宙太陽光発電システムの電池開発の先駆けとして、商業利用や地球環境への貢献にも期待。
- ・搭載燃料の軽減化及びその余剰重量を活かしたミッションの多様化を達成する。
ソーラー電力セイルにより太陽系探査を日本が先導。

＜海外で検討されているソーラーセイル＞

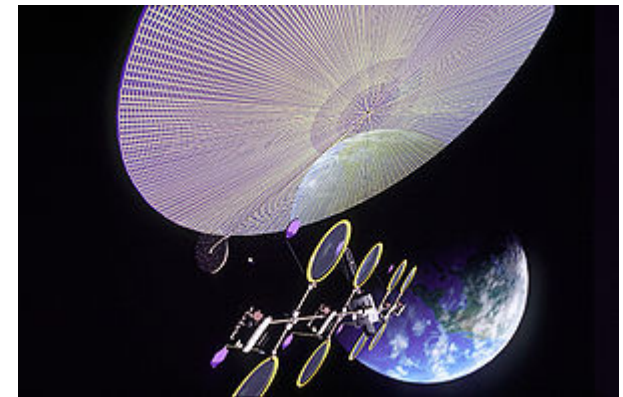


ブーム型
ソーラーセイル



インフレータブル型
ソーラーセイル

＜宇宙太陽光発電システム＞



2. ミッションの目的と意義

小型ソーラー電力セイル実証機の目的

- ・ 世界に先駆け、ソーラーセイルによる光子加速を小型衛星により実証し、同時に将来のハイブリッド推進に向けた電力セイルでの発電を確認する。これを小型ソーラー電力セイル実証機という。
- ・ 小型ソーラー電力セイル実証機は、将来実現を目指すソーラー電力セイルによる外惑星探査計画における開発リスク軽減のためのフロントローディングであり、同時に単独ミッションとしても以下の世界初・世界最先端の技術実証を目指す。
 - 大型膜面の展開
 - 電力セイルによる発電
 - ソーラーセイルによる加速実証
 - ソーラーセイルによる航行技術の獲得
- ・ 略称を**IKAROS**とする。
Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun

2. ミッションの目的と意義

IKAROSミッション定義

IKAROSは、下記の4項目を主ミッションとする。いずれも成功すれば世界初となる。

(1) 大型膜面の展開・展張

【目標1】

- ・将来探査機と相似の機構を用いて、真空かつ無重量状態で差し渡し20mの大型膜面を展開・展張する。
- ・展開運動および展張状態を評価し、展開・展張シミュレーションに使用する解析モデルに反映する。

(2) 電力セイルによる発電

- ・セイル上に搭載された薄膜太陽電池で発電し、膜面上ハーネスを通じてIKAROS本体で確認する。
- ・セイル上に搭載された薄膜太陽電池のデータを取得し、特性を把握する。

(3) ソーラーセイルによる加速実証

【目標2】

- ・ソーラーセイルによる加速効果を、軌道決定(測距データ、距離変化率データ)により確認する。
- ・加速性能を評価し、目標天体までの軌道を設計する計算手法に反映する。

(4) ソーラーセイルによる航行技術の獲得

- ・光子加速状態での探査機の軌道決定技術を確認する。
- ・セイル操舵(p.12参照)による光圧ベクトル(光子加速の方向)の能動的制御、および、それを用いた航法誘導技術を確認する。

目標1;ミニマムサクセス相当

目標2;フルサクセス相当

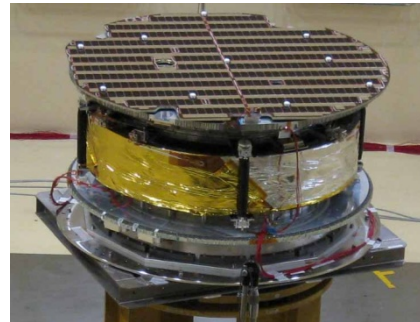
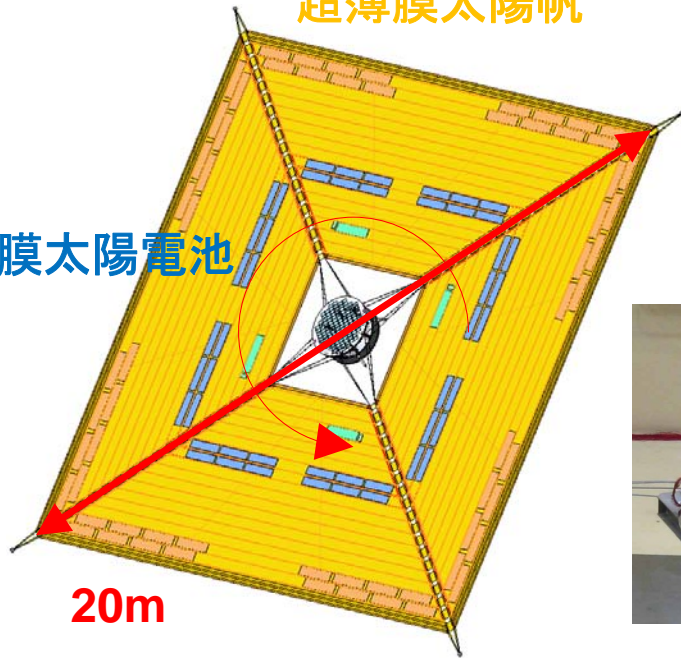
3. 開発方針

- 1) IKAROSは将来実現を目指すソーラー電力セイル探査機の技術実証ミッションとして、小型実証機により小規模で迅速な開発を目指す。
- 2) 地球の重力の影響を避けるため、ソーラーセイルによる加速実証を行うには惑星間軌道への投入が必要である。このため、金星への遷移軌道に投入されるPLANET-Cと相乗りとする。
- 3) 開発項目を極力ミッションの4項目(前ページ)に関連する部分に限定し、人員リソース分散リスクを回避する。
- 4) 開発リスク低減のため、ミッション以外は他プロジェクトからの既存品・既開発品を多く採用し、十分なマージンを確保した設計とする。

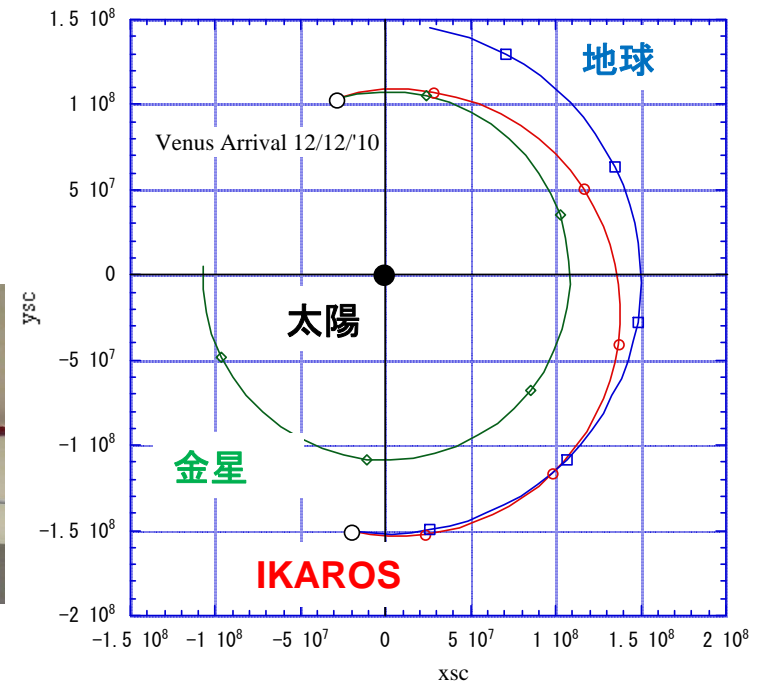
4. システム選定および基本設計要求 計画概要

超薄膜太陽帆

薄膜太陽電池



地球から金星までの軌道

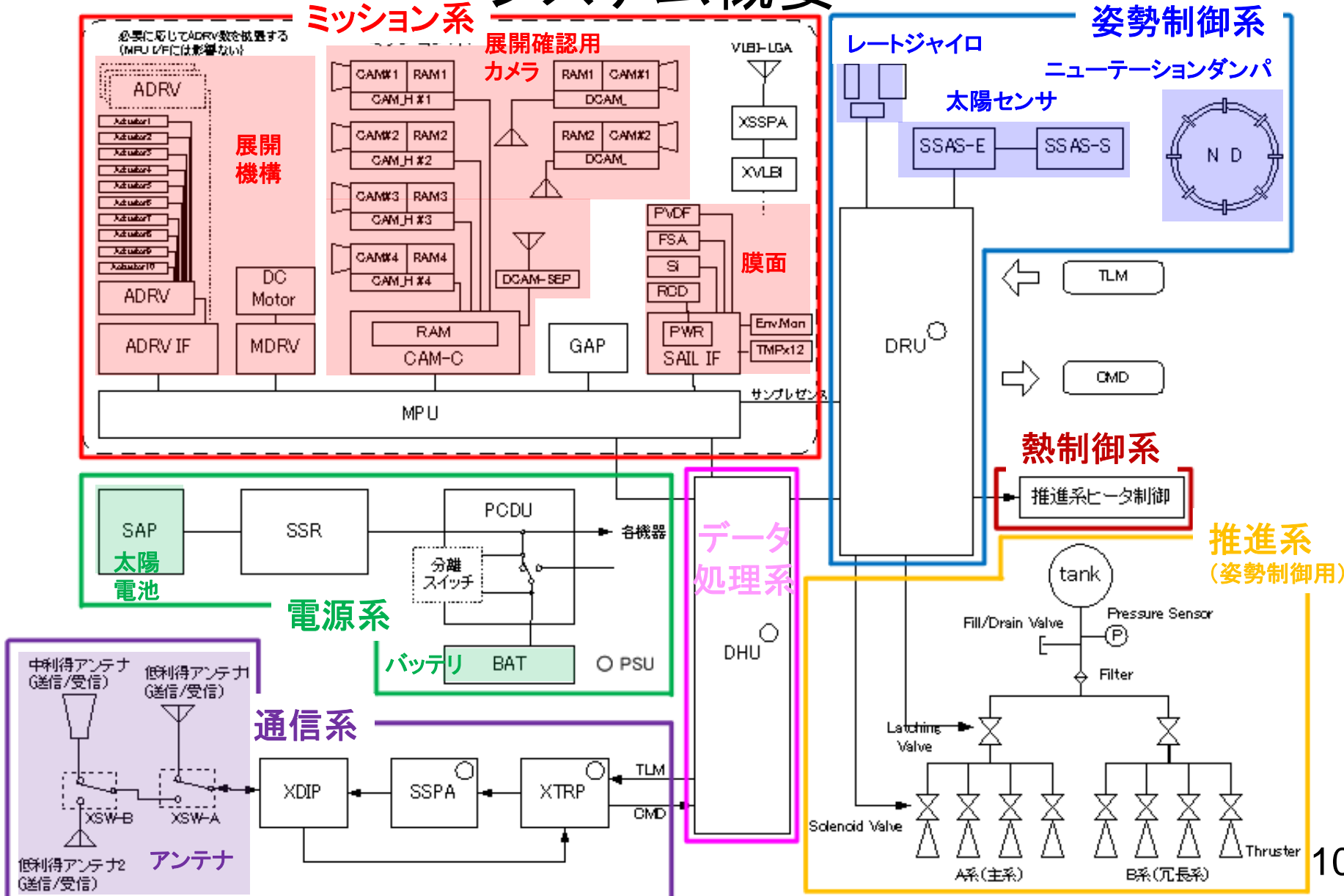


膜面の一部に薄膜太陽電池が貼り付けられている。イオンエンジンは搭載しない。

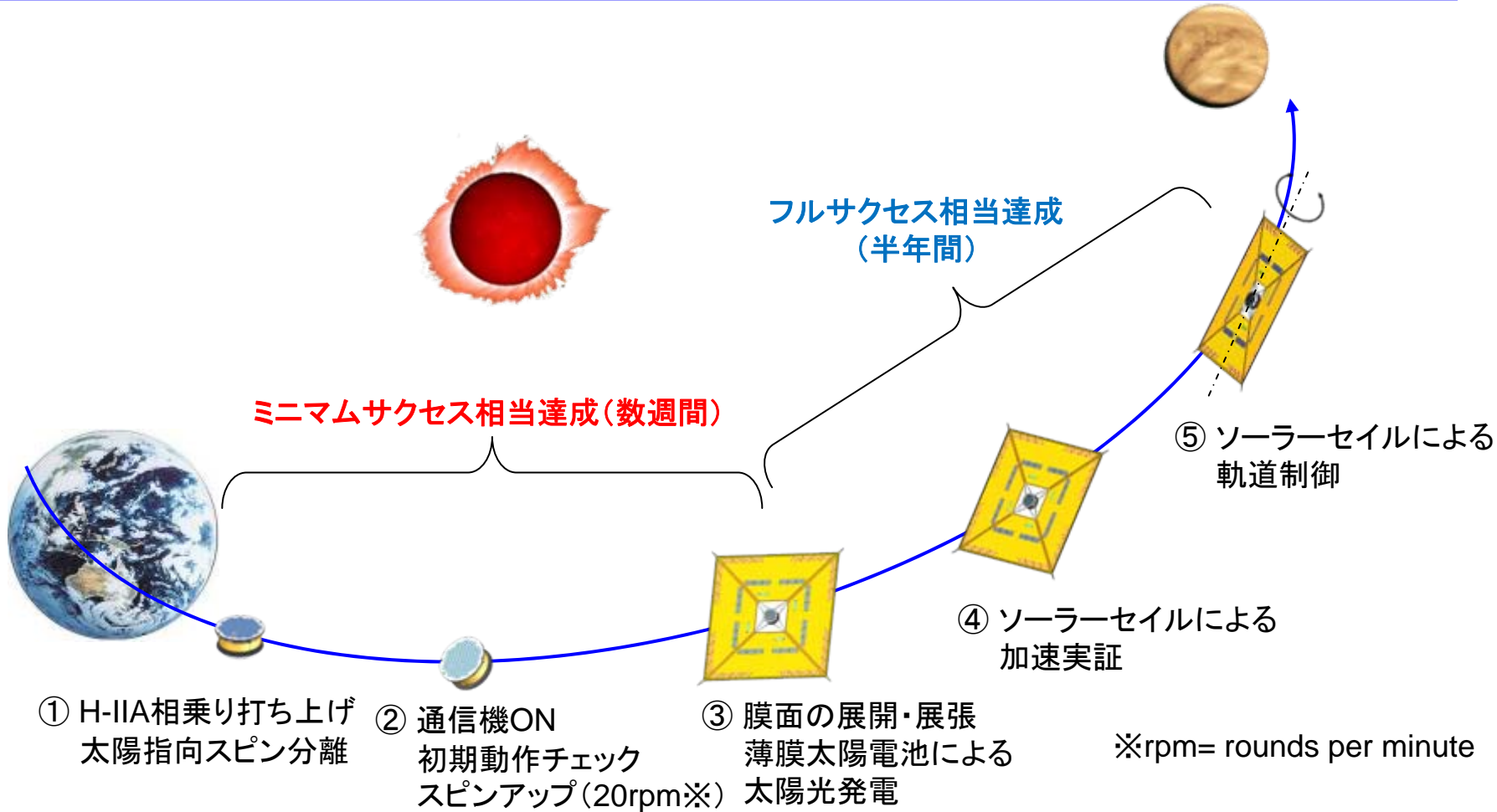
【諸元】

- ・寸法: 本体 直径1.6m × 高さ1m
膜面 差し渡し20m × 厚さ7.5 μm
- ・重量: 315kg (うち、膜面 15kg)
- ・打上げ: 平成22年度
- ・打上げロケット: H-IIA (PLANET-Cとの相乗り)
- ・ミッション期間: 半年間以上
- ・軌道: 金星直行軌道
- ・軌道決定: レンジ(測距)・ドップラー(距離変化率)
- ・姿勢制御方式: スピン(膜面の展開・展張)
- ・推進系: コールドガスジェットスラスタ(気液平衡スラスタ)
- ・通信系: LGA(2個), MGA(1個)

4. システム選定および基本設計要求 システム概要



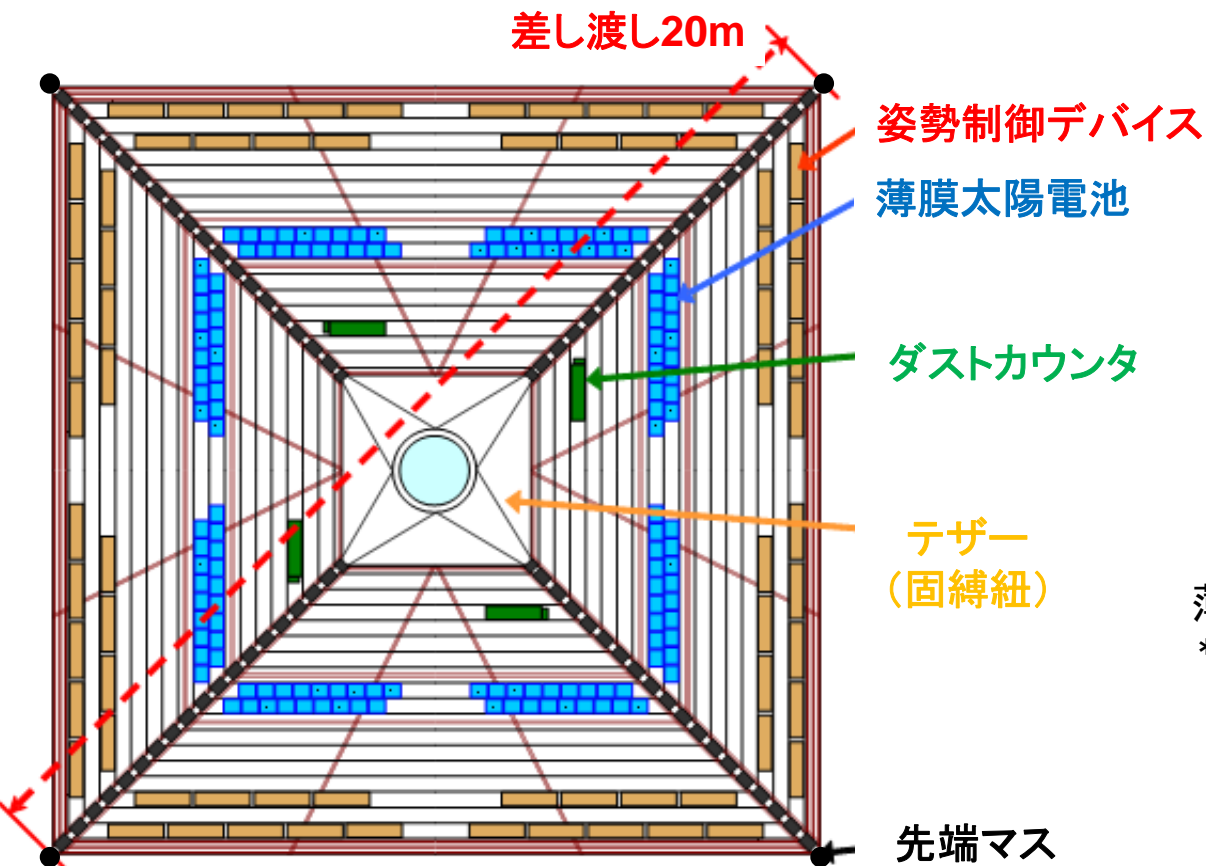
4. システム選定および基本設計要求 運用手順



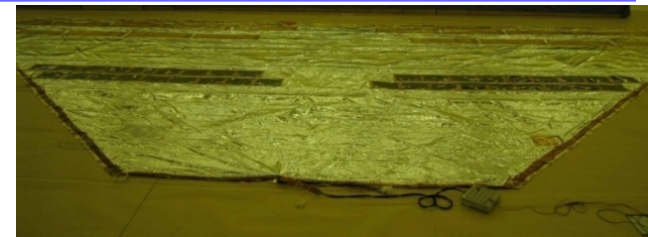
ミニмумサクセス相当：大型膜面の展開・展張，薄膜太陽電池による発電
フルサクセス相当：ソーラーセイルによる加速実証・航行技術の獲得

4. システム選定および基本設計要求

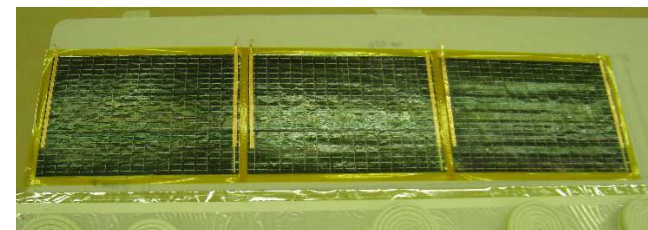
膜面形状・配置



- ・膜面は差し渡し20mの正方形
- ・テザーにより膜面と本体を結合
- ・先端マスにより膜面・展張をサポート



膜面材料:ポリイミド(厚さ $7.5\mu\text{m}$)



薄膜太陽電池:a-Si*¹セル(厚さ $25\mu\text{m}$)
 *1 アモルファスシリコン(薄膜シリコンの一種)



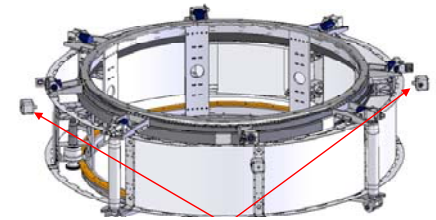
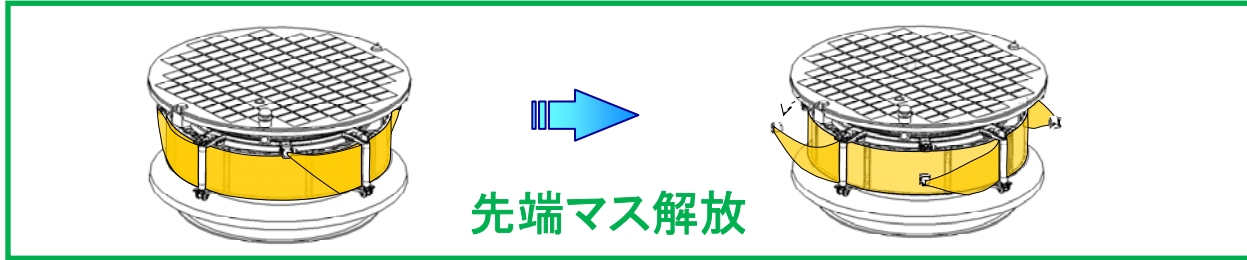
電源ON
(鏡面反射)

電源OFF
(拡散反射)

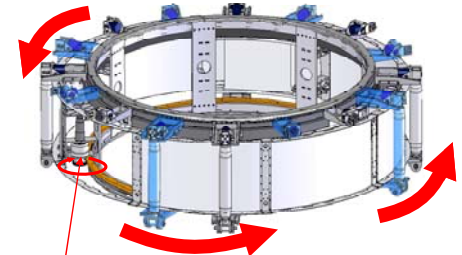
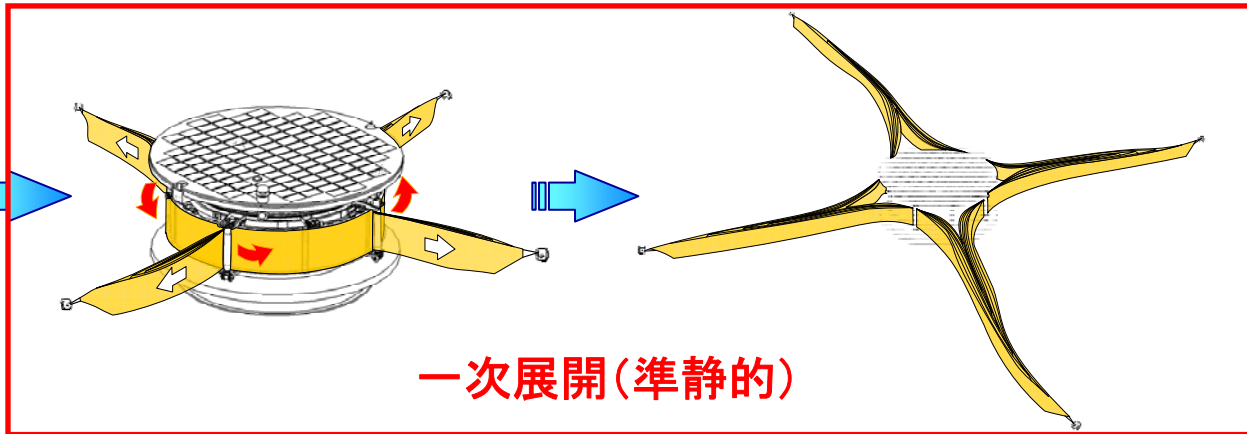
姿勢制御デバイス:電源ON/OFFにて
 反射条件を切り替え、トルクを発生

4. システム選定および基本設計要求

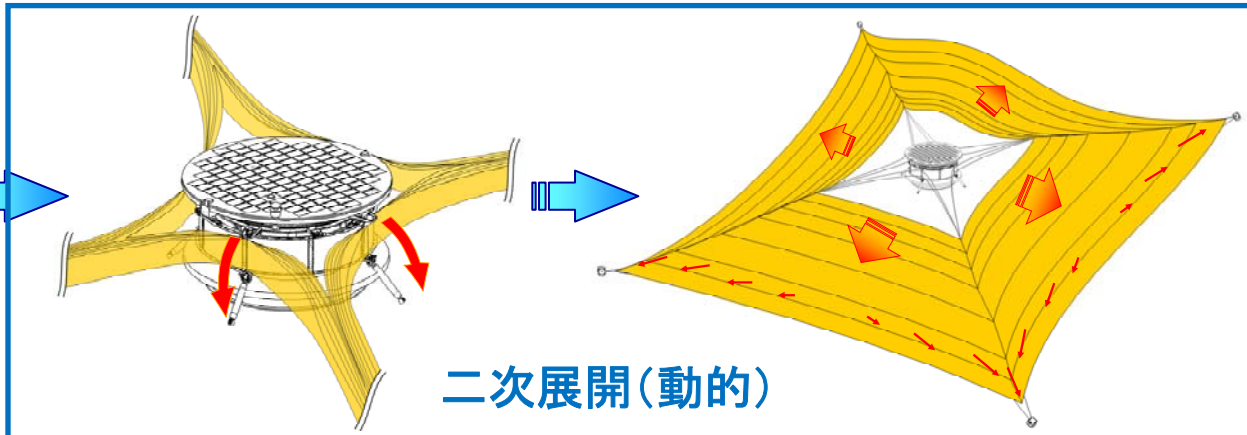
膜面展開手順・機構



アクチュエータにより先端マスを分離



モータ駆動により回転ガイドを相対回転



アクチュエータとバネヒンジにより回転ガイドを解放

5. 実施体制

JAXA内外の実施体制

月・惑星探査プログラムグループ

事業推進室
研究開発室
SE室*1

IKAROS デモンストレーションチーム

チーム長
プロジェクト管理グループ

システム開発

ミッション系開発
構造系専門部会
材料系専門部会
加速度専門部会

*1 システムエンジニアリング室

JAXA他本部

宇宙科学研究本部

・技術開発支援(専門グループ)

研究開発本部

・技術開発支援(専門グループ)

宇宙輸送ミッション本部

・ロケットI/F調整

統合追跡ネットワーク技術部

・追跡運用支援

安全・信頼性推進部

・安全・信頼性のチェック/提言

連携・支援

大学・研究所

日本大, 東京工業大, 東京理科大, 東京大, 青山学院大,
電気通信大, 東海大, 首都大東京, 早稲田大, 金沢大,
山形大, 九州工業大, 九州大, 理化学研究所等と協力

WG(ワーキンググループ)

ソーラーセイルWG(宇宙工学委員会)

ソーラー電力セイルWG(宇宙探査委員会)

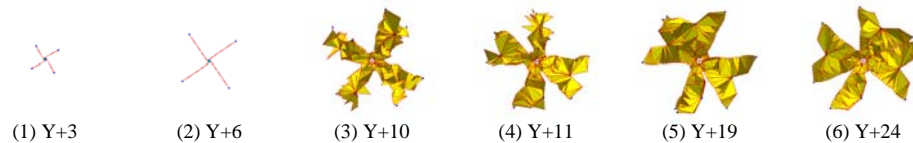
6. 過去のソーラーセイル展開実験

(写真)

一次展開

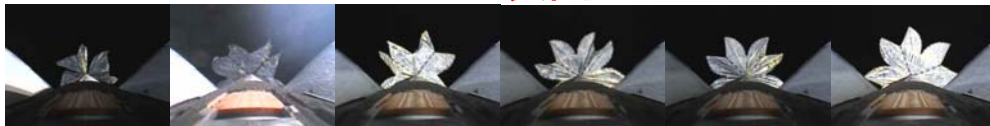


(解析)

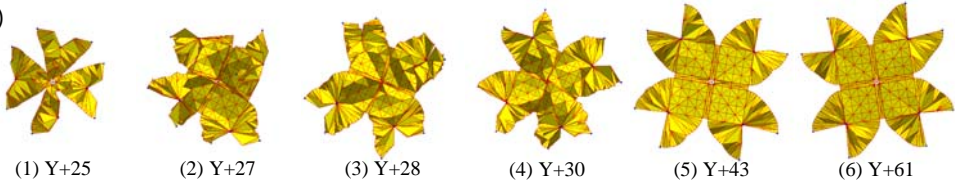


(写真)

二次展開



(解析)



時期：2004年8月

方法：S310観測ロケット34号機

内容：動的展開試験

膜面：直径10mのクローバ型

目的：膜面運動モデルの構築

結果：良好に展開, 取得データを解析モデルに反映

時期：2006年8月

方法：B200大気球7号機

内容：準静的展開試験

膜面：差し渡し20mの四角型

目的：準静的展開機構の実証

結果：良好に展開, 取得データを展開方式・展開機構に反映



一次展開

二次展開

7. まとめ

IKAROSは、平成22年度打上げを目指し、開発試験や射場／運用準備作業等、順調に開発を進めている。