

# P3-107 ソーラー電力セイル用薄膜軽量発電システムの開発

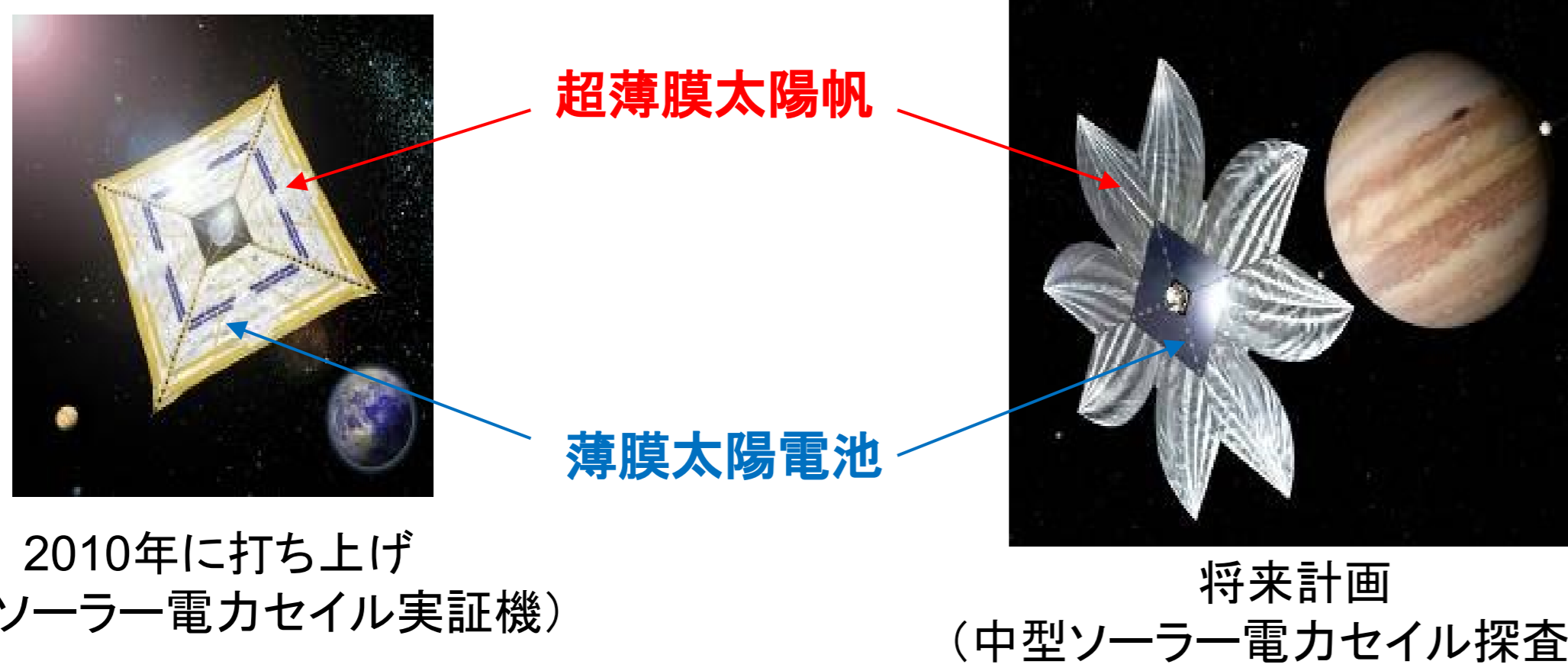
○田中孝治, 豊田 裕之, 相馬央令子, 横田力男, 久木田 明夫, 嶋田 貴信, 奥泉 信克, 細田 聡史 (ISAS/JAXA), 森 治, 津田 雄一, 船瀬 龍, 澤田 弘崇, 遠藤達也 (JSEC), 今泉 充, 島崎 一紀 (研開), 三宅弘晃 (都市大)

## ・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帆(セイル)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る。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する。



2010年に打ち上げ  
(小型ソーラー電力セイル実証機)

将来計画  
(中型ソーラー電力セイル探査機)

## 木星圏探査計画における電源系への要求

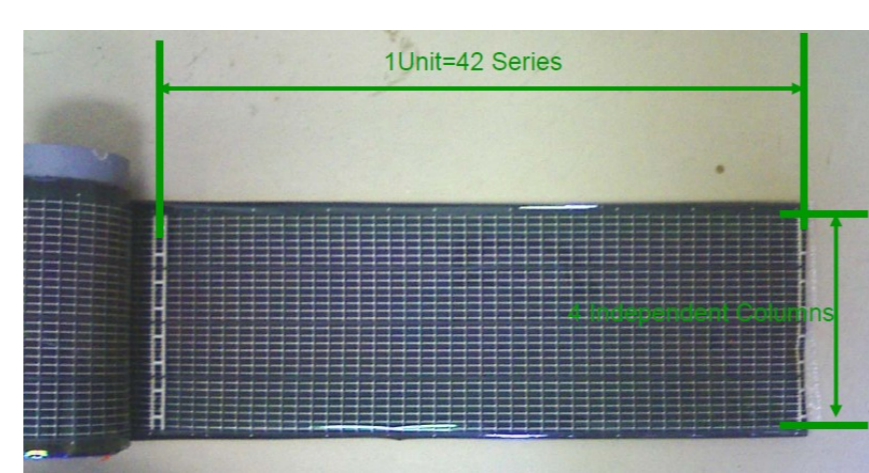
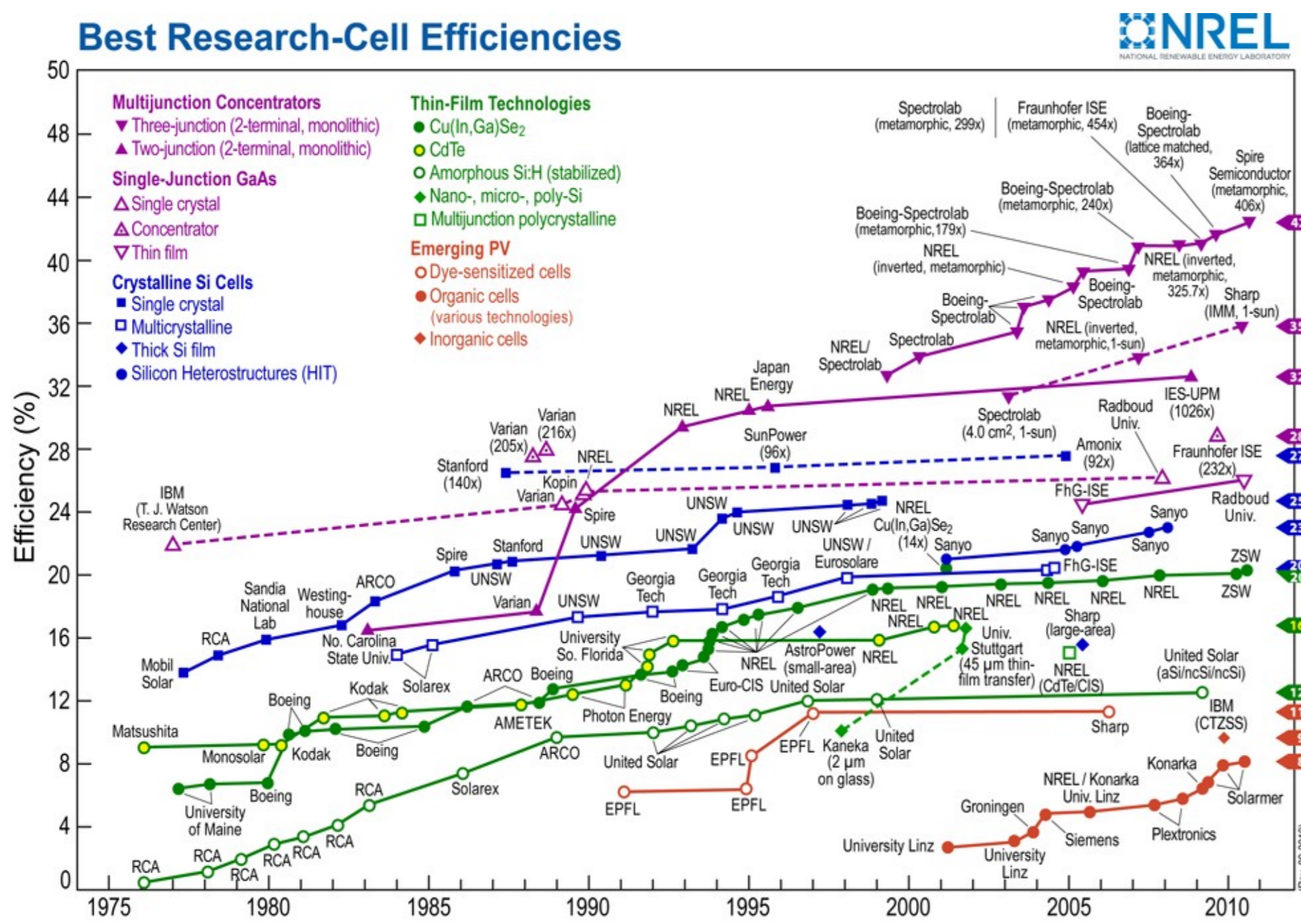
木星圏で12kWの電力を発生し、特に高比推力電気推進のための安定した電力供給を行い、ミッション期間を通じた発電性能の維持。

## 発電システムの要求仕様

- 重量: 300kg程度
- 12kW@5AU
- 曲率半径は1cm程度
- 搭載面積: 2500m<sup>2</sup>以下
- 熱構造: 木星圏ミッションに対応した温度制御、耐熱構造
- 耐放射線性: 木星圏ミッションに対応した耐放射線性
- 低コスト化

## 薄膜太陽電池の研究開発状況と薄膜発電システムの利点

- 太陽電池の変換効率の推移を下図に示す。薄膜太陽電池では、CIGS太陽電池が小面積で20%以上の効率が得られており、30cm角の大面積においても15%以上の効率が実現されている。フレキシブル基板を用いた場合でも10%以上の変換効率が達成されている。
- 現在商業ベースで先行している薄膜太陽電池はa-Si電池であり、フィルム状電池も商品化されている。小面積の変換効率は12%以上が得られているが、大面積では7~8%程度の性能である。
- 薄膜太陽電池の特徴は、低コストと大面積化である。25μmあるいは50μmのフィルム上に1μm程度の発電層が形成されるのみであるため、軽量化も実現できる。
- 太陽電池はレーザートリミングにより直並列回路を構成できるため、大面積化した発電部で直並列化を実現できる。外部の配線を大幅に削減できる。また、導電性インクを用いた回路パターン印刷技術等を用いれば、低コストで大面積な発電システムを構築できる。



ロール状の薄膜フレキシブル太陽電池

## 木星圏探査計画

探査機は、母船、木星オービター、(木星プローブ: オプション)で構成される。

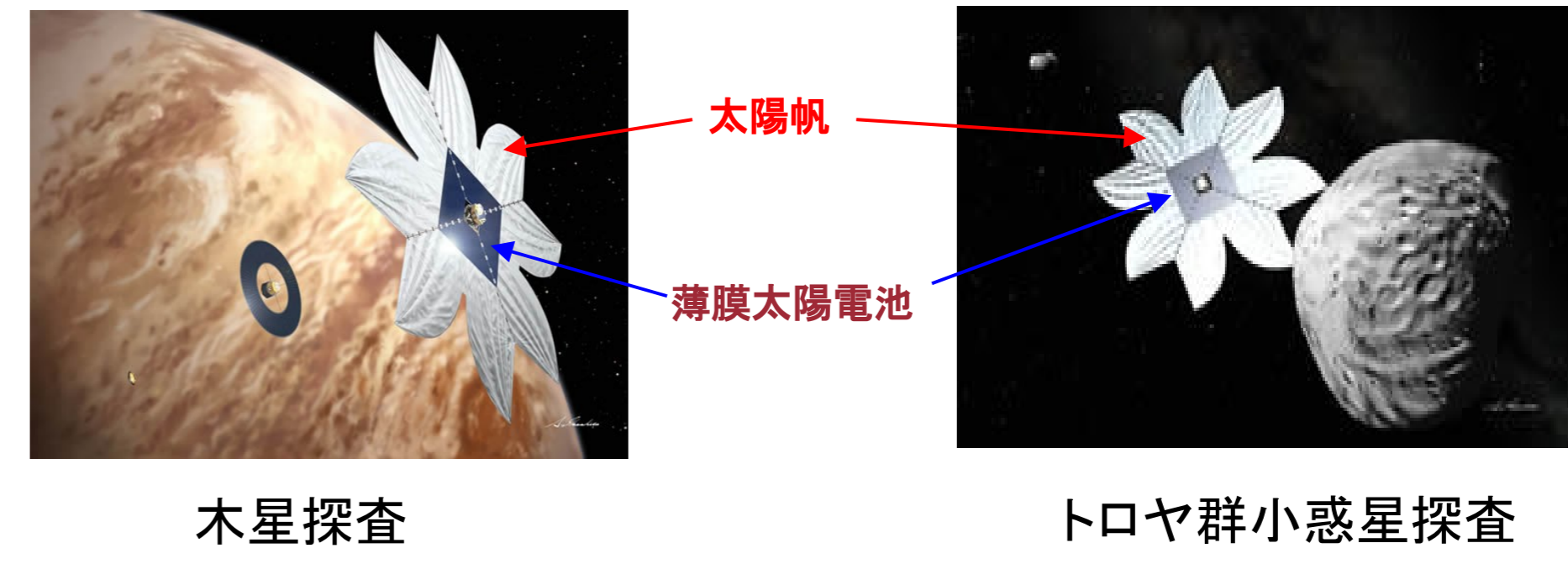
探査機は4.5年かけて木星へ到達する。

木星スイングバイ時にオービターが分離され、木星周回軌道へ投入される。

プローブは木星大気へ突入し、木星極域の大気の観測を行う。

母船はさらに5年かけてトロヤ群小惑星へランデブする。

太陽帆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。



木星探査

トロヤ群小惑星探査

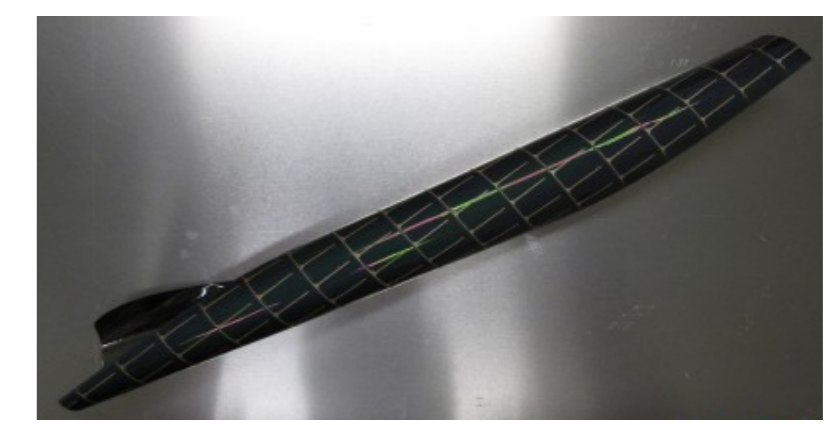
## 発電システムの規模の比較

木星近傍での要求電力 (kW)	地球近傍での発電電力 (kW)	従来システムとの比較	必要面積 (m <sup>2</sup> )			発電膜質量 (kg)		
			変換効率 (%)			質量特性 (W/kg)		
			5%	10%	20%	50 (W/kg)	100 (W/kg)	1000 (W/kg)
0.5	12.5	大型衛星	179	89	45	250	125	12.5
			13.4m角	9.5m角	6.7m角			
1	25	超大型衛星	357	179	89	500	250	25
			18.9m角	13.3m角	9.5m角			
10	250	将来技術 (ISSの2~3倍)	3571	1786	893	5000	2500	250
			60m角	42m角	30m角			

## 研究開発課題: カールしない薄膜構造

IKAROSの発電膜の断面図

単位: μm  
7.5 (ISASポリイミド膜)  
10~20  
25 (太陽電池膜)  
10~20  
25 (太陽電池膜)  
50  
25 (ポリイミド膜)  
合計 150~180 μm



カールする太陽電池

- 太陽電池は材料物性値の違いから、カールする。太陽電池膜のカールをとるために、IKAROSでは太陽電池を貼り合わせて使用した。
- 発電面には保護膜(紫外線除去、物理的保護)として、比較的透明なISASポリイミド膜を張り合わせた。保護膜の必要性に関しては要検討。
- 放熱面には十分な放射率を確保するために、ポリイミド膜を接着した。

## 研究開発課題: 膜面回路

- 軽量・フレキシブルという薄膜太陽電池のメリットを最大限に生かすために、大型建造物の構築を視野に入れ、集電路の大面積プリント回路実装技術の開発に取り組んでいる。
- 要求される機能性能(膜面上への実装機能)の検討
  - 外惑星探査: 日照条件、温度環境の大幅な変化に伴ない太陽電池の電流電圧(IV)特性は大きく変化する。その全てに対応できる電源系バス機器は無駄の多い設計になる可能性がある。
  - 大規模システム: 局所的故障の全体への波及の抑制が必要。
    - 故障箇所特定のための機能の実装
    - モジュール化による部分的な故障波及の最小化
- 様々な規模の発電設備の構築への対応を考慮
  - 科学衛星から大電力惑星探査機、太陽発電衛星

## 研究開発課題: 軽量化

発電膜システムの機能構成

本研究で開発を行う発電膜システムは、保護層、発電層、回路/熱制御層から構成される。

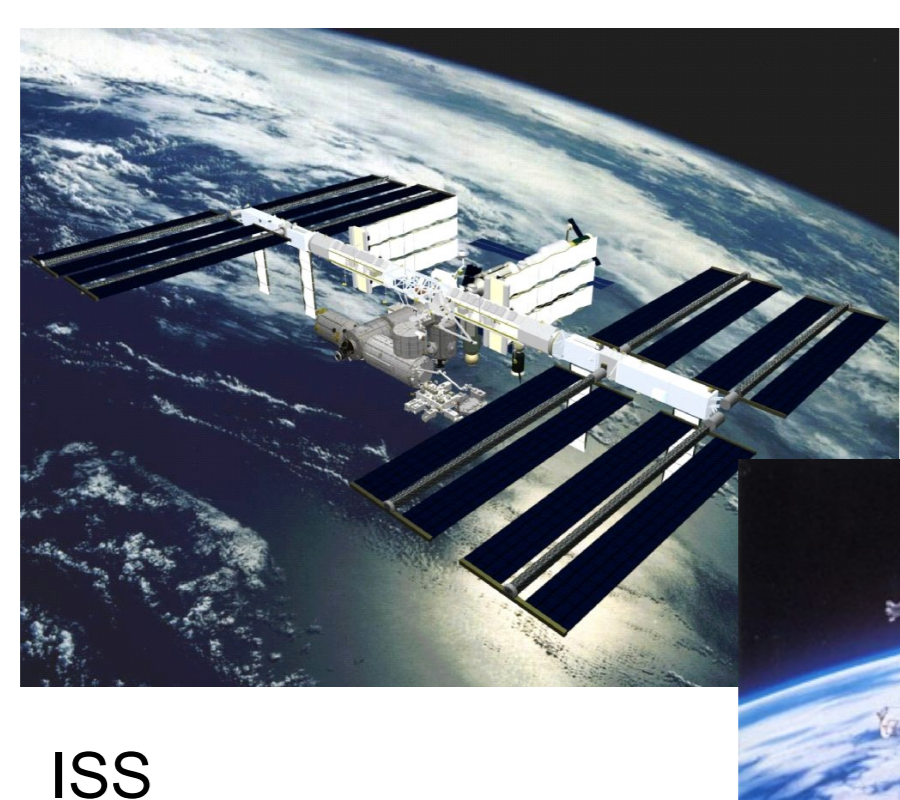
保護層: 透明フィルム層(10μm以下)

発電層: 現在入手可能な薄膜太陽電池(ペラーセル)の密度を仮定した質量特性を下図に示す。厚さ: 25 μm, 密度: 5mg/cm<sup>2</sup> → 1.4~2.6kW/kg

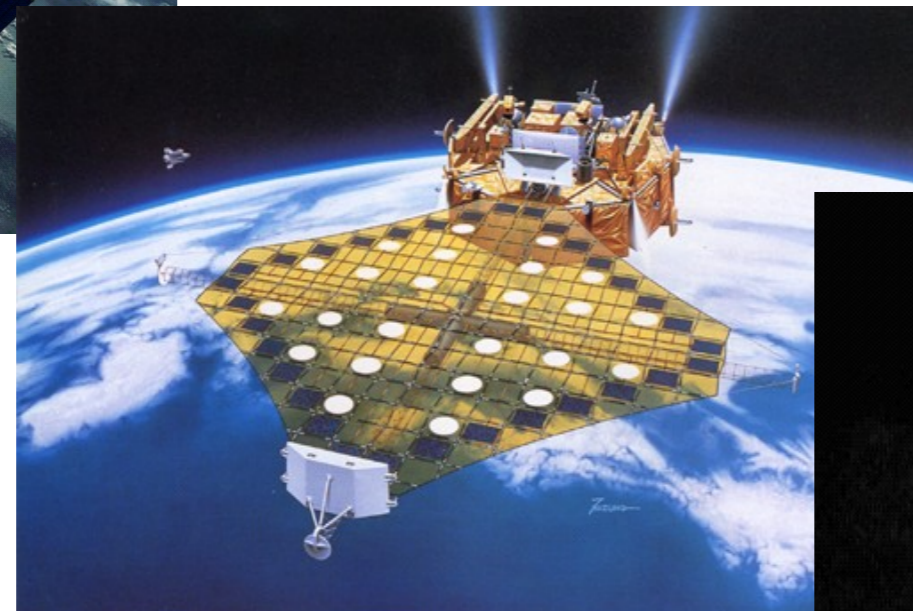
回路(集電含む)/熱制御層: 2種類の密度を仮定した場合の質量特性を下図に示す。本研究では、厚さ20~50 μm程度の膜上に回路と熱制御機能の実装を目指す。接着層をできるだけ削減。  
ケース1 密度: 3.8mg/cm<sup>2</sup> → 厚さ25 μmのポリイミド膜相当(ピンクの直線)  
ケース2 密度: 7.2mg/cm<sup>2</sup> → 厚さ50 μmのポリイミド膜相当(黄色の直線)  
従来技術: 左の図に示す従来技術での質量特性を青線で示す。

## 二次元展開光太陽発電システム

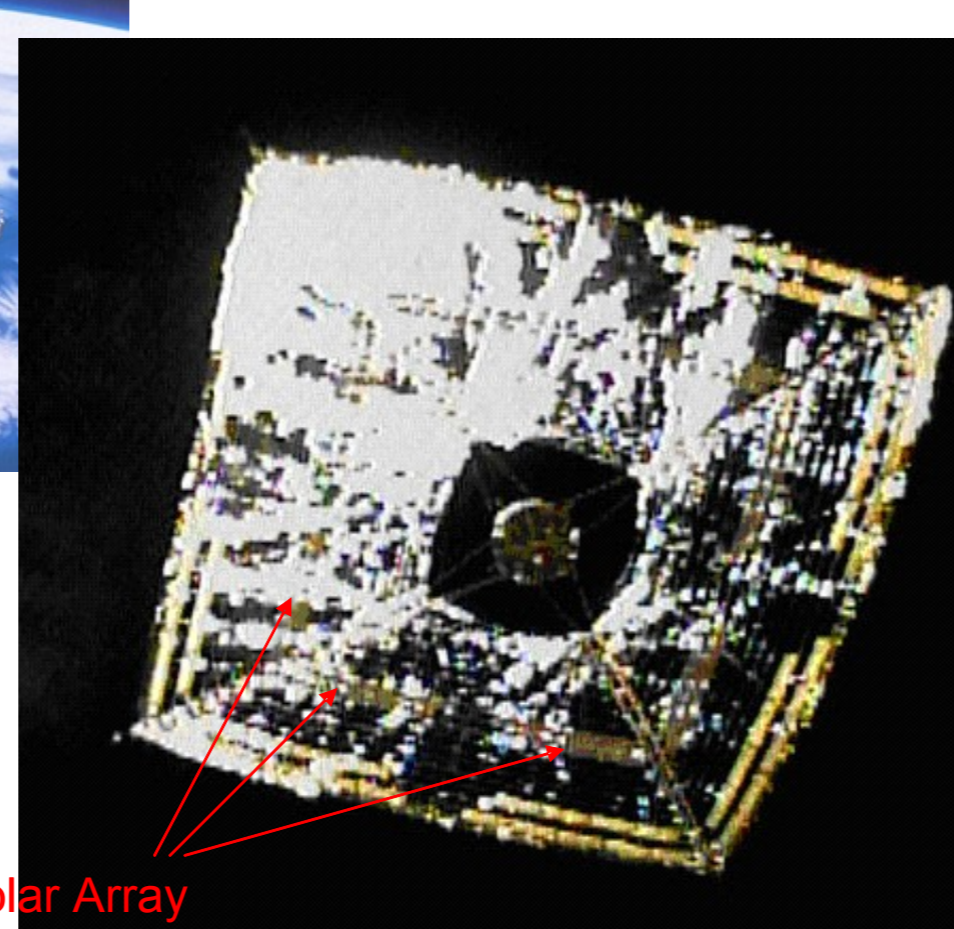
- 従来の衛星搭載太陽電池パネルは、一次元展開型であり、フレキシブル基板の応用はあるが、太陽電池はバルク型が使用されている。
- 最初の太陽電池パネルの2次元展開は、1995年にSFUミッションにおいて約6m四方の展開実験が成功している。しかし、太陽電池にはバルク型電池が用いられている。
- ソーラー電力セイルでは、太陽電池の薄膜面への搭載、膜面の収納、極限の軽量化から、薄膜柔構造発電システムが要求されている。IKAROSにおいて世界で初めて柔軟構造物上のフレキシブル発電システムの2次元展開と軌道上発電に成功した。



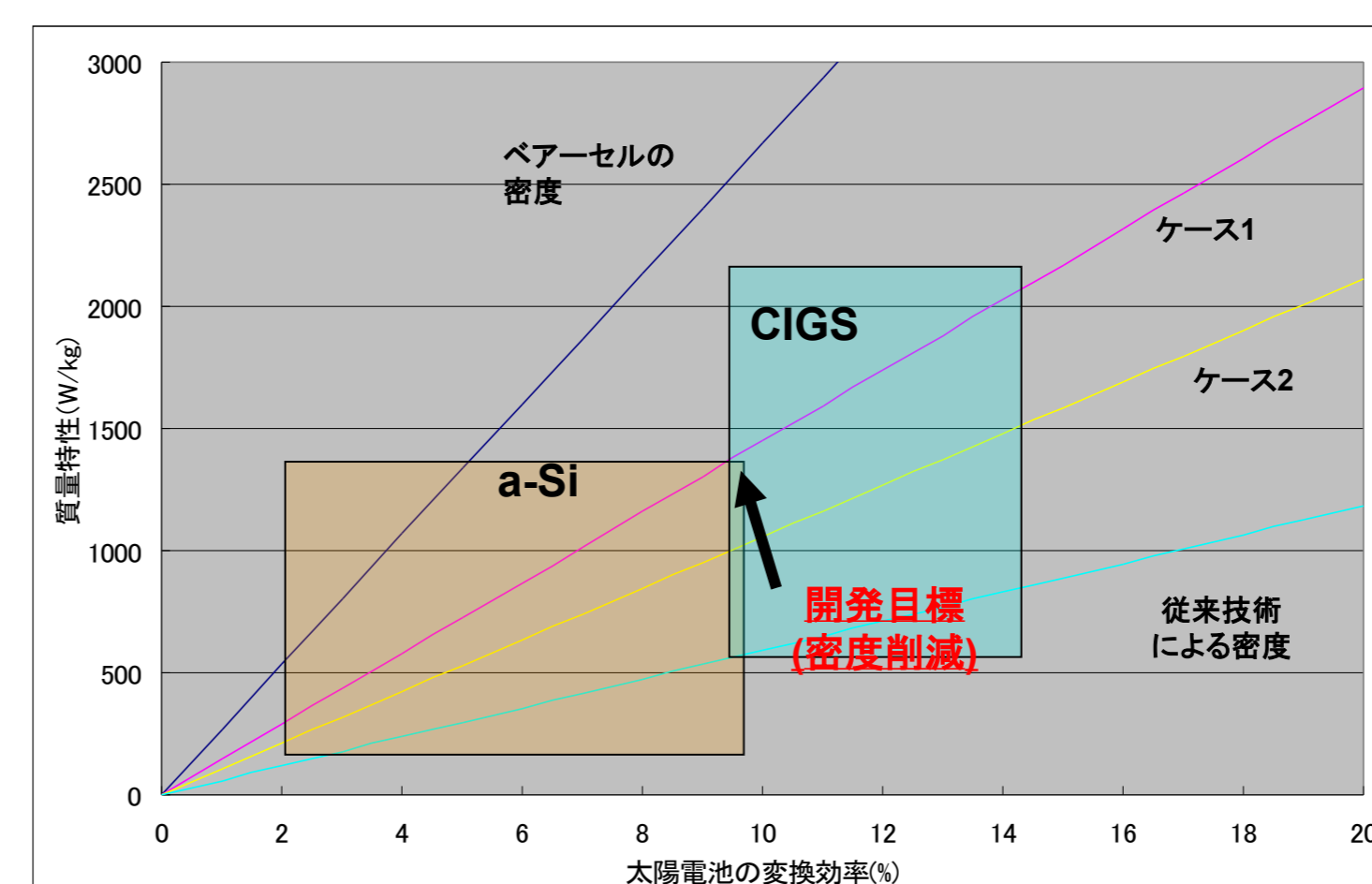
ISS



SFU



IKAROS



**a-Si太陽電池での推定性能(右図の茶色の領域)**  
ペラーセル変換効率は5~10%弱であるので、その質量特性は1.4~2.6kW/kgとなる。これに、保護層と回路/熱制御層を付加し、1kW/kg以上の達成を目指す。

**CIGSの可能性(右図の青の領域)**  
将来的に変換効率10%以上が期待できる。  
2kW/kg程度が視野にはいる。

現有技術から質量特性向上に必要な主要技術  
・カールのない太陽電池技術の実装  
・接着層の削減  
・極薄熱制御層の実装