

ソーラー電力セイルによる 木星トロヤ群探査に向けた大型セイル設計・製作

松本純¹, 白澤洋次², 野々村拓², 後藤健², 森治²
材料部会², セイル製作部会², ソーラーセイルWG²

¹ 東京大学大学院 ² JAXA

概要

ソーラーセイルWGでは、ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星往復探査を検討中である。
本ミッションでは、外惑星領域往復探査を実現するため、全面に薄膜太陽電池を貼り付けた大型セイルを展開し、十分な電力を確保することでイオンエンジンを駆動する。
本稿では、ミッションの中核をなす大型セイルの、設計・解析状況及び試作状況について述べる。

セイルに対する要求

ミッションシナリオ及び小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSのフライト結果から、大型セイルへ以下の事項が要求されている。

- (1) ミッション成立性の観点から
 - (1-1) 太陽距離5.2AUで、十分な電力(～7kW)を確保するだけの、薄膜太陽電池を搭載
 - (1-2) ハーネス(集電路)が一部破断しても、全体に与える影響を極力小さくする
 - (1-3) セイル重量の削減
- (2) 発電、姿勢制御の観点から
 - (2-1) 軌道上で、要求された形状となる
- (3) 打ち上げ時の振動対処の観点から
 - (3-1) Launch Lock機構を搭載
- (4) 宇宙環境性の観点から
 - (4-1) 接着部の評価
- (5) 製作場所の観点から
 - (5-1) セイルのサイズを極力小さくする
 - (5-2) 小さい作業空間でも製作可能

<<補足>>

- (1) まず、軌道から要求される必要電力を発電できるだけの、薄膜太陽電池を搭載する必要がある。この要求を満たすためには、**約3000 m²のセイルサイズが必要**である。さらに、この巨大なセイル全体で発電した電力を、ハーネスにより探査機本体へ輸送しなければならない。これらのハーネスが破断した場合に、多くの電力が失われてしまうと、ミッション遂行が不可能になる。そのため、1つのハーネスに流れる電力を小さくし、破断の影響を小さくする必要がある。
- (2) IKAROSのフライトデータから、IKAROSセイルは軌道上で平面形状ではなく、ある種の変形をしていることが分かっている。この変形は、薄膜太陽電池に代表される薄膜デバイスの反りによるものである。このようにセイル形状が平面形状からずれると、有効面積が減ることによる発電効率の低下および太陽光圧による姿勢擾乱が発生し、ミッション遂行に深刻な影響を与える。そこで、**少なくとも大局的なセイル形状を、セイル設計により一意に決定できるようにする必要がある**。現在は、ベタル間を結ぶブリッジや、本体とセイルを結ぶテザーの取り付けを工夫することで、セイル形状コントロールが出来るか研究中である。
- (4) ポリイミドフィルム同士の接着は、シラスコンとよばれる接着剤で行う。長期間にわたる本ミッションでの動作を保证するため、シラスコンの耐宇宙環境性を再評価する必要がある。なお、**熱融着可能なポリイミドフィルムの開発も同時に進めており、開発状況によっては接着を融着で行う可能性もある**。熱融着は、アウトガスの観点からも、有利である。
- (5) 製作および試験場所の観点から、セイルのサイズを極力小さくする必要がある。そのため、IKAROSのように、正方形形状のセイルを台形による1/4分割とするのではなく、さらに細かく分割して製作する。**現状の設計では、正方形を1/8分割して製作することとしている**。地上で展開できるのは、この1/8セイルであり、セイル全体形状を地上で見ることはない。これはIKAROSでも同様である。また、セイルをハンドリングするための**折りたたみ支援治具も、現在開発中**である。

セイル設計

図1に、設計されたセイルの外観(1/8部分)を示す。**正方形一辺は55.6mであり、一段の折り幅は、ハンドリングの観点から450mmと設定している**。図1の青い部分は、実際には図2に示すような8枚の薄膜太陽電池から構成されている。ハーネスが非常に長く、ジュール損失が無視できないことから、薄膜太陽電池を直列に接続し、**電圧を高く設定することで(～200V)、ジュール損失を抑える設計**となっている。

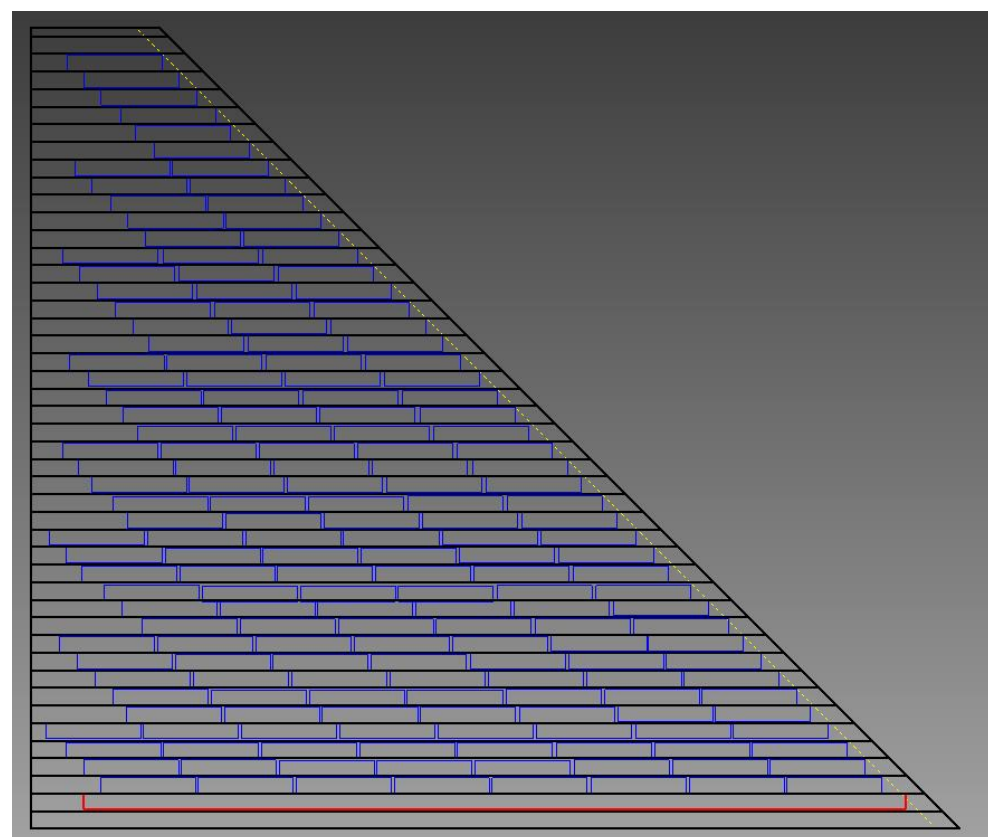


図1 セイル設計外観

青:薄膜太陽電池ユニット, 赤:液晶デバイス

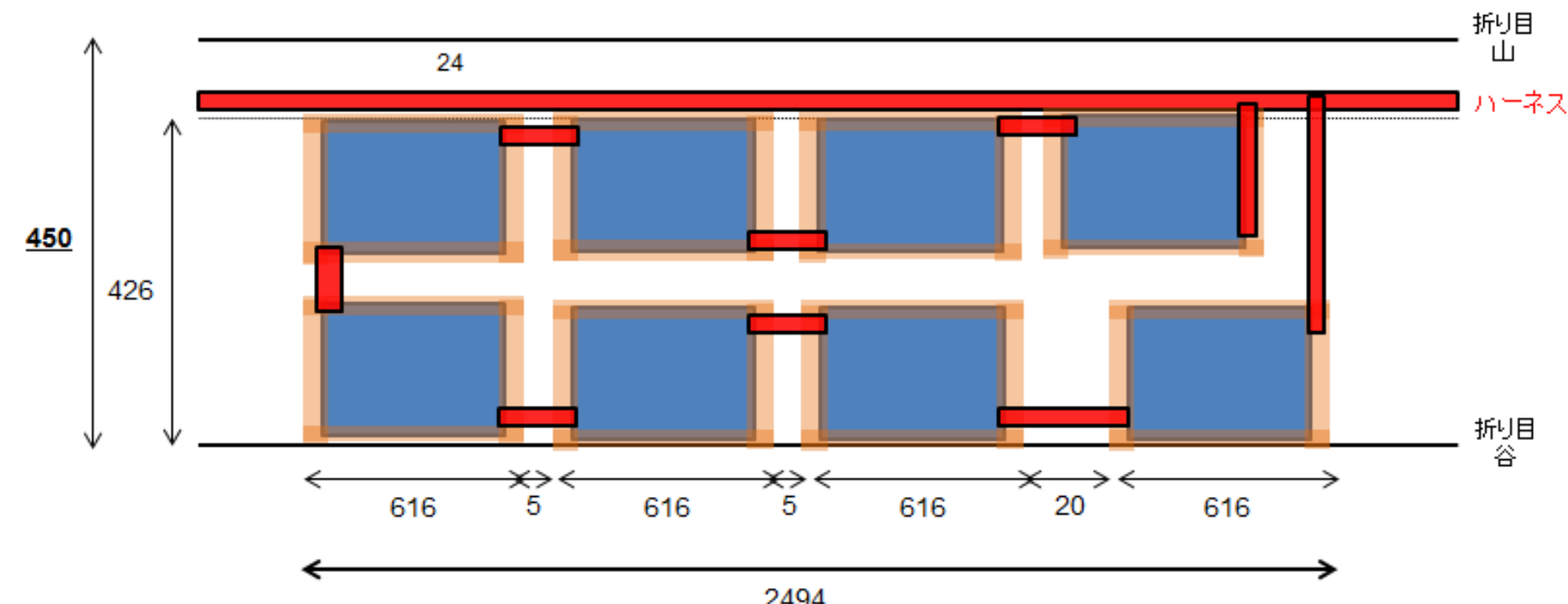


図2 各段の構成

青:薄膜太陽電池, 赤:ハーネス, 黄:カプトンテープ

試作セイル製作

セイル設計検討を踏まえて、**2012-2013年度にかけて、試作セイルの製作を行った**。以下に外観を示す。本試作の目的は製作手順の確認であることから、サイズは縮小版となっている。実際のセイルはアルミ蒸着ポリイミドフィルムを用いて製作されるが、今回は安価なPETフィルムを用いてセイルを製作した。また、セイル上には、薄膜太陽電池及び液晶デバイス(姿勢制御デバイス)と同等の剛性を持つPETフィルムをダミーとして搭載している。



図5 試作セイル外観
一辺は18mである。
写真にある台形形状のセイルを4枚組み合わせて、正方形セイルを構成する。

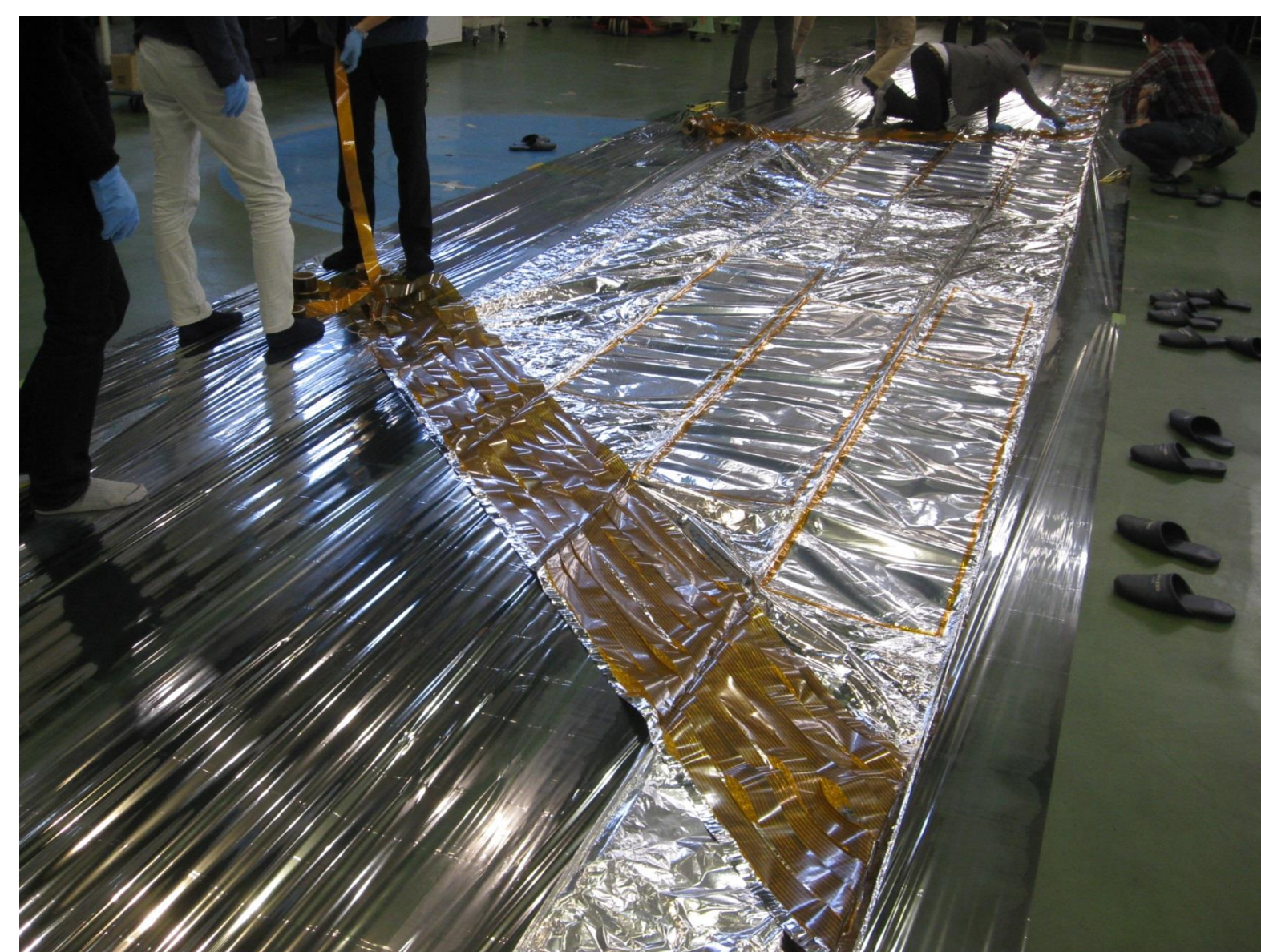


図6 ハーネスの搭載
図5の台形斜辺部分にハーネスが搭載されている様子。この部分は、実機相当のサイズとなっている。

熱解析

セイルの熱解析結果の1例を示す。熱解析の結果より、太陽距離1AU付近であっても、薄膜太陽電池の温度が許容温度を超えないことから、**特に放熱対策は設けないこととなっている**。

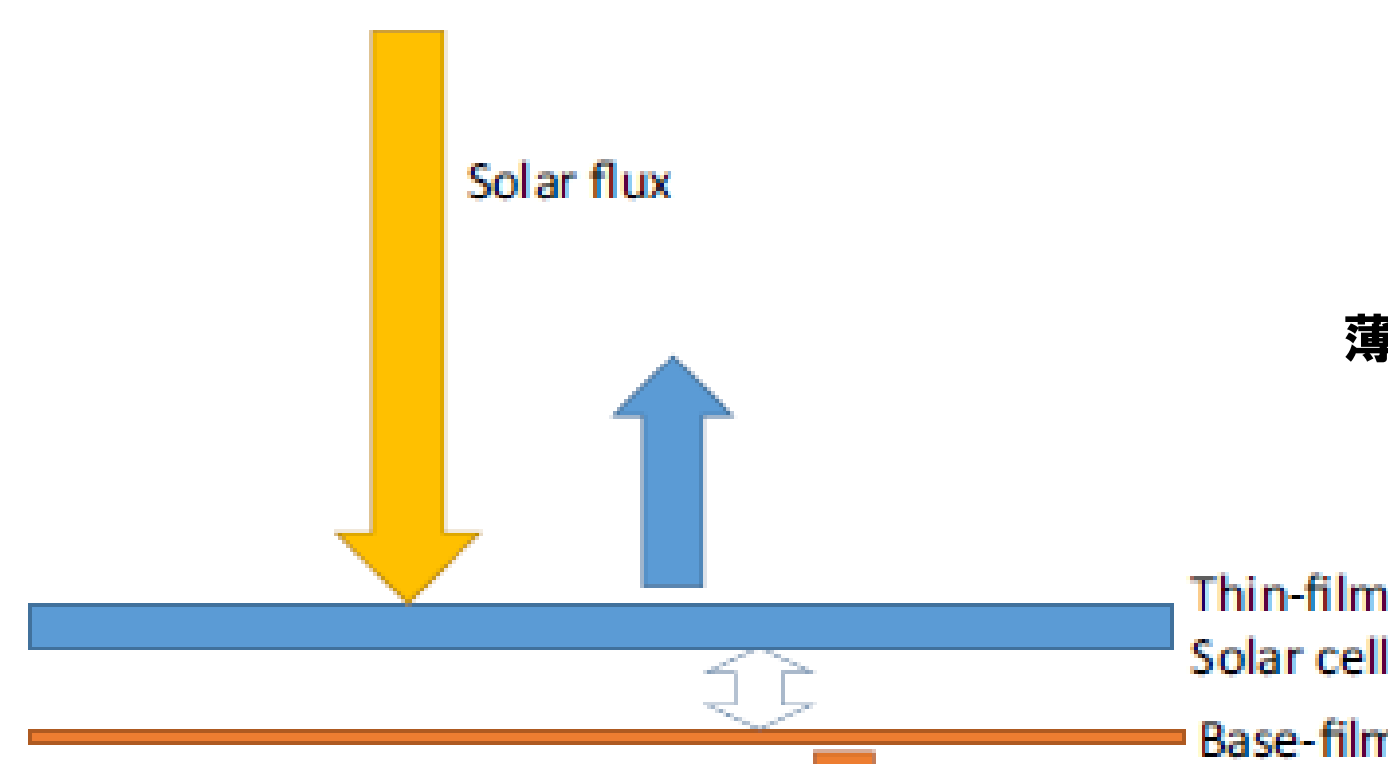


図3 熱解析モデル

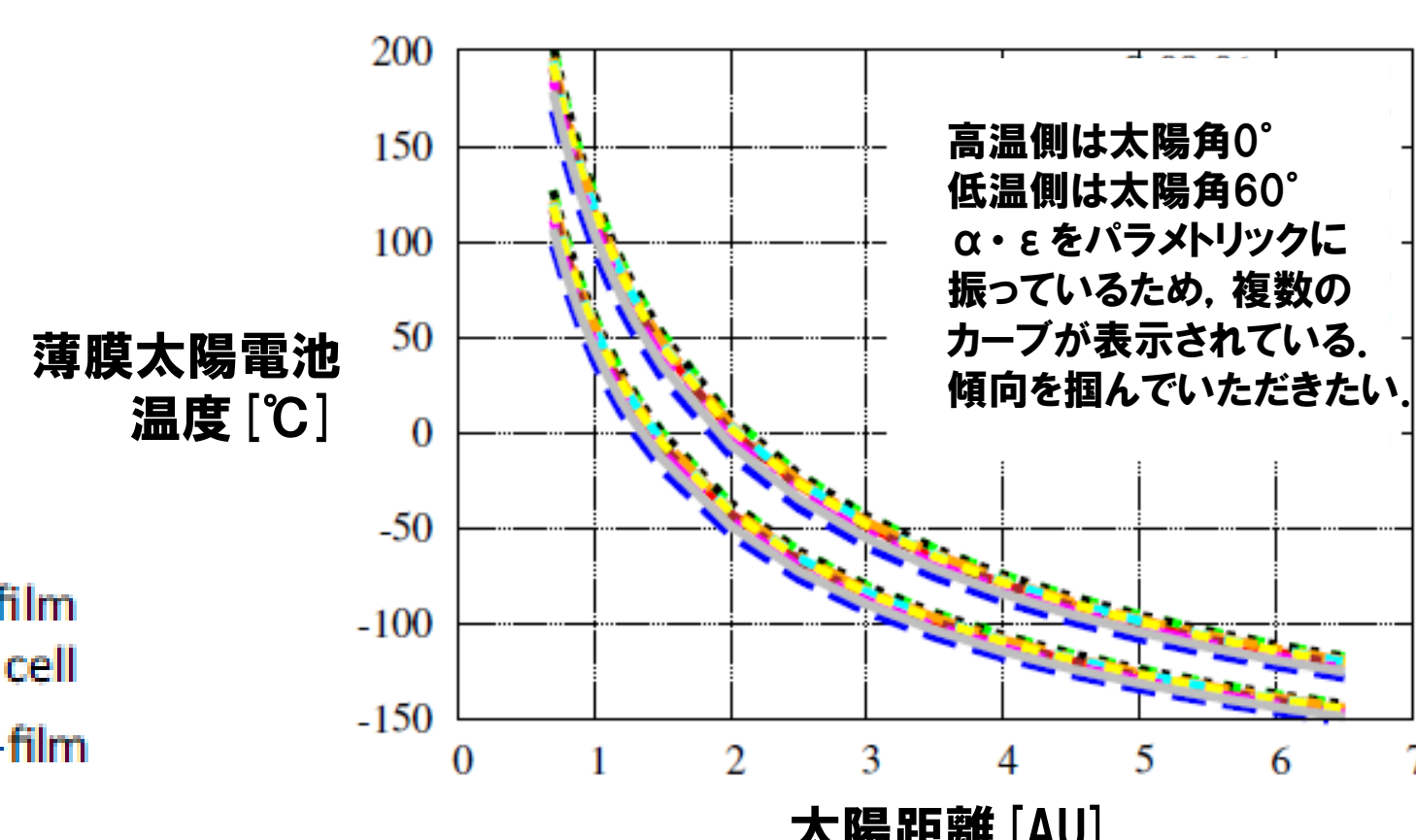


図4 解析結果

結論及び今後のスケジュール

本稿では、セイルに対する要求と、それを踏まえた設計・解析・試作状況について述べた。試作については、**2014年度にフルサイズの試作セイルを製作する予定**である。今後、2015年提案に向けて、さらなる詳細解析及び複数回のセイル試作を通じてセイル設計を固めていく。