

衛星システム横断的考察による  
「ほどよし衛星」太陽電池パドル構造の最適設計の探索  
九州工業大学大学院 工学府 先端機能システム工学専攻 宇宙工学国際コース  
学生番号 13350922 氏名 西尾治果

## 1. はじめに

現在の宇宙産業において大型から小型まで多種多様な宇宙機が開発されている。ミッションの多様化に伴い、宇宙機の電力確保が急務となり、展開型太陽電池パネルを搭載する宇宙機が増えている。

また、ミッション多様化に伴いコスト増加、開発期間増加の問題が挙げられる。その為、宇宙機の規格化や最適化設計が現在多くの研究者により進められている。設計や解析上で上手く行っていても試験段階でのトラブルも多い。特に宇宙機開発時には担当を分ける事が主流となっており、機械系、熱系、電気系、ミッション系、等と別れて活動する事が多く、各系の問題はそれぞれで解決する。しかし、各系は密接に関わり合っている。

本研究では展開型太陽電池パネルを持った「ほどよし衛星」に焦点を当てて太陽電池パネルの最適設計を機械・熱・電気特性といった各系に横断して探索することを目的としている。

## 2. 最先端研究開発支援プログラムとほどよし衛星

内閣府の最先端研究開発支援プログラムに採択された「日本発の”ほどよし信頼性工学”を導入した超小型

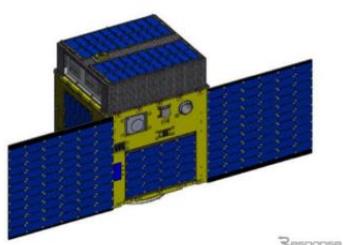


図1 ほどよし3号機の外観<sup>1)</sup>

衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」プロジェクトが中須賀真一教授（東京大学）を中心として多くの大学や企業が連携しながら研究開発が行われている。これは日本の強さである小型衛星の技術力の更なる向上を目指しており、約4年の間に4機の小型衛星（以下、ほどよし衛星）を開発するプロジェクトである。ほどよし衛星の開発では、ミッ

ションの発掘から設計、開発、打ち上げ後の軌道上運用までの全てを行い、その成果を次の開発に生かす事を目指している。<sup>1-2)</sup>

本研究で解析の対象にするのは図1に外観図を示すほどよし3号機の太陽電池パドルである。ここでは太陽電池パドルを極めて単純化したモデルを用い、最適設計について考察する。

## 3. 解析手法

本研究では太陽電池パドル単体を極めて単純化したモデルに対して振動解析、熱解析を行い、その結果を搭載された太陽電池セルの温度特性と比較し、最適設計を探索する。打ち上げロケット側からの要求を考慮すると、太陽電池パドルは固有振動数が機軸方向に100[Hz]以上となるように設計しなければならない。

この要求を満たすためには単純に太陽電池パドルの板厚を厚くすればよいが、その一方でパドル背面からの放熱が妨げられ、太陽電池の温度が上昇し、発電電力が低下する恐れがある。

従って、機械・熱・電気特性を横断的に考慮した時に、これらの特性のトレードオフとなる最適設計があると考えられる。

本研究ではまず、振動解析で梁の曲げの固有振動数の式を、熱解析で熱収支の式を使用し、板厚と材質を変化させた時のパラメトリック解析を行う。

図2に解析対象の模式図を示す。

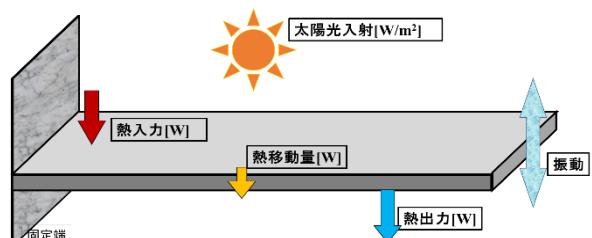


図2 解析する太陽電池パネルの模式図

## 4. 解析結果

単純アルミニウム板と CFRP 板の二種類で解析を行った結果、固有振動数が 100[Hz]を超える為にはアルミニウム板が 23.0[mm]以上、CFRP 板では 19.7[mm]の厚みが必要であるという結果を得られた。この結果は実際のサイズと相容れないものになっている。又、太陽電池セルは既存試験結果より、低温の方が発生電力は高くなることが分かっており、その為太陽電池パネルを出来る限り低温に保つ事が要求される。熱解析では、アルミニウム板は厚みを変えてても 25[°C]前後からほぼ変化が無く、CFRP 板では厚みを 1[mm]から 30[mm]まで増やした際に太陽電池パネル上面温度が 24.1[°C]から 30.9[°C]まで上昇した。図 3 に CFRP 板における固有振動数の変化を、図 4 に CFRP 板における太陽電池パネル上面と下面の温度を示す。

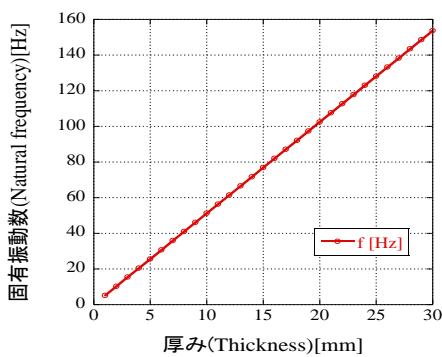


図 3 CFRP 板における厚みによる  
固有振動数の変化

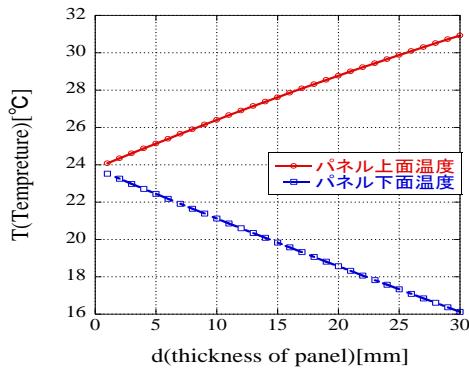


図 4 CFRP 板厚みによる上面と下面の温度

## 5. 考察

まず機軸方向に固有振動数が 100[Hz]以上という条件を満たす板厚に関して考えると、アルミニウム板 23.0[mm]の場合 25[°C]、CFRP 板 19.7[mm]では 28.8[°C]という結果が得られた。アルミニウム板の方が温度は低くなる。しかし、CFRP 板 6.0[kg]というのは超小型衛星であるほどよし衛星 3 号機にとって現実的ではない。ここで軽量化の方法を考察する。

太陽電池パネルの大きさを変えずに軽量化を行う方法をとして厚さ  $d[\text{mm}]$  の変更が考えられる。厚さ  $d[\text{mm}]$  のみを小さくすると固有振動数が小さくなる為、固有振動数の要求条件を満たせない。

そこで板厚を変えずに板内部をくり抜き軽量化すると固有振動数は増加する為、コア材として密度の低いアルミニウムハニカムを使用し、重量を大幅に増やすことなく、構造体として成立させることができる。

その一方で熱的観点から見るとアルミニウムハニカムをコア材にすることによって熱伝導率が著しく低下し、太陽電池パネル上面温度が上昇する可能性が有るためアルミニウムハニカムコア CFRP サンドイッチパネルについてはコア厚やスキン板厚等の最適設計が必要であると考えられる。

## 6. 今後の予定

今回は定常状態の解析のみで終わっているが、非定常状態での解析や実験による解析結果の検証が必要である。今後はより具体的なアルミハニカムを使用した太陽電池パネルに対して解析や実験を行い、比較を行う事が望ましい。これらの解析及び検証実験を通じて将来的に太陽電池パネルの統一的な最適設計手法の確立が可能になると考えられる。

## 参考文献

- 1) 超小型衛星センターホームページ ;  
<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nsat/main.html>
- 2) 西尾治果、石原弘士、奥山圭一、「小型衛星用の機能性複合材の熱特性」、第56回宇宙科学技術連合講演会講演集(2012)