

環境観測技術衛星(ADEOS-)「みどり」運用異常 に関する機械的挙動の検討状況について(その2)

平成15年12月24日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

第7回調査部会では、太陽電池パドルの機械的な挙動を示すテレメトリデータ(姿勢、太陽電池パドルの固有振動数、ストローク、張力、温度、画像)について、発生電力低下前後のデータ比較や打上げから発生電力低下までの、特に太陽電池パドルの固有振動数の時間的变化に着目した評価を行い、発生電力低下が太陽電池パドルの機械的破断に起因した可能性についての検討結果を報告した。

第8回調査部会では、第7回調査部会において指摘、質問のなされた振動モード、振幅、応力分布などの太陽電池パドルの機械的挙動について補足的な説明を行うとともに、改めて発生電力低下が太陽電池パドルの機械的破断に起因しているかについて確認した内容を報告する。

なお、本報告の原因究明作業全体における位置付けを図1-1に示す。

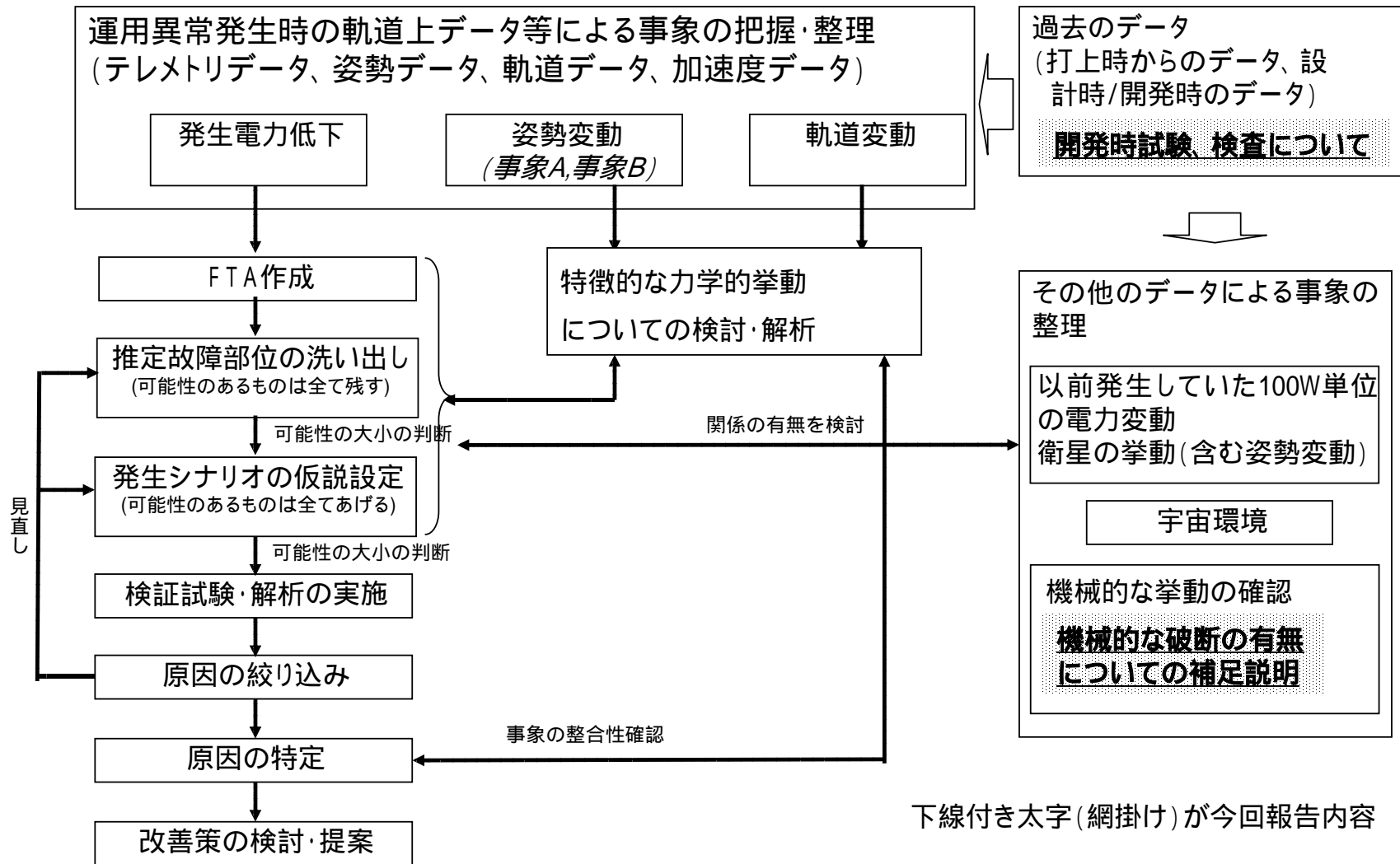


図1-1 当面の作業の進め方(案) (H15.12.24)

2. 太陽電池パドルの構造

(1) 太陽電池パドル概要

ADEOS - の太陽電池パドルは、全長約26.2m×幅約2.6mのフレキシブルタイプの太陽電池パドルで、積層薄膜構造のブランケット部、アルミ合金製3角柱トラスの伸展マスト、コンテナベース、プレッシャーボード、ブームから構成される。ブランケット部には、ポリイミドシートに銅ハーネスが埋め込まれており、その片面に55,680個の太陽電池セルが貼り付けられている。

太陽電池パドルは、コンテナベースに搭載されている太陽センサにより太陽を追尾し回転動作を行っているため、衛星構体座標系と太陽電池パドルの面内・面外方向は、軌道周回に伴ない変化する。

図2 - 1に、太陽電池パドルの全体図を示す。

図2 - 2に、衛星の軌道上位置と太陽電池パドルの向きを示す。

(2) 定張力機構(TCM)

太陽電池パドルのマストとブランケットの線膨張率が異なるため、軌道上の温度変化により伸縮量に差が生じる。この伸縮量の差を吸収し、ブランケット膜面に一定の張力を与える機構が定張力機構である。

定張力機構は、マストとブランケットの伸縮量の差に応じて引き出されるパンタグラフに対して、渦巻きバネを用いて一定の張力がかかるような機械的な仕組みとなっており、250mmの駆動可能範囲を有している。

定張力機構の初期引き出し位置は、打上げ前の常温で全展開された状態における位置(約110mm)である。日照域の高温環境下においてはブランケットがマストよりも膨張することにより、定張力機構は引き込まれ、逆に日陰域の低温環境下においてはブランケットがマストよりも収縮することにより定張力機構が引き出される。

図2 - 3に、定張力機構の動作概念図を示す。

3. 太陽電池パドルの主要振動モード

太陽電池パドルの機械的挙動を把握するためには、主要振動モード毎の固有振動数の変化について評価することが有効である。

太陽電池パドルの主要振動モードの概要を図3 - 1に示す。

パドル主要振動モードにおけるパドル各部位の変形を表3 - 1にまとめると。

表3 - 1 パドル主要振動モードにおけるパドル各部位の変形

主要振動モード (解析周波数)	パドル各部位の変形
ねじり1次モード (0.097Hz)	ブランクett中央がブランクett長手軸(Y軸)廻りにねじれるモードである。 マスト、ブームのねじれはブランクettと比較して小さく、ブランクettの振動が支配的であるため、衛星本体の動きは他の振動モード時と比較して小さい。
面外1次モード (0.10 ~ 0.11Hz)	ブーム、マスト、ブランクettともにパドル面外方向に振動するモードである。 マストとブランクettが同位相で変形する。
面内1次モード (0.11 ~ 0.13Hz)	ブームの回転ヒンジ廻りのパドル面内方向に振動するモードである。 マスト、ブランクettの変形量は小さい。
面外2次モード (0.14 ~ 0.15Hz)	ブーム、マスト、ブランクettともにパドル面外方向に振動するモードである。 マストとブランクettが逆位相で変形する。
面外3次モード (0.22Hz)	ブーム、マスト、ブランクettともにパドル面外方向に振動するモードである。 マストの変形は小さい。 ブランクett先端部はマストと逆位相、ブランクettの衛星側の部分は同位相で変形する。

各モードの固有振動数については、衛星本体に搭載された慣性基準装置(IRU)から出力される姿勢レートをフーリエ変換(FFT)することにより求めることができる。

図3 - 2に示すとおり、パドル固有振動数の長期トレンドは安定しており、また解析値とも整合している。

4. 太陽電池パドル振動モードと荷重

パドル主要振動モードにおけるブランケット荷重に関して述べる。太陽電池パドルにおける荷重は、ブランケット根元のコンテナベースとブランケットの接合部のミニブランケット部のヒンジに発生するものが最も高く、バネヒンジより強度が低いガラス繊維強化プラスチック(GFRP)製のピンヒンジの強度が標定となる。

図4 - 1に、バネヒンジの搭載場所と構造を示す。

【静荷重ケース(ノミナル)】

図4 - 2に、定張力機構がノミナル荷重(7kgf)を発生した場合におけるミニブランケット部ピンヒンジにおける荷重分布を示す。

図に示されるようにピンヒンジにおける最大の発生荷重は約0.16kgfであり、温度等の最悪値を考慮した部材試験によって確認されているピンヒンジ強度(16kgf)は、約100倍の強度マージンを持つ。

【振動モードの影響】

各振動モードによる発生荷重の増加とヒンジ強度の関係について述べる。

(1)ねじり振動

軌道上の姿勢データからブランケット中央部両端の変位を算出した結果、最大変位は±46mm以下であることを確認している。この変位に対応する発生荷重の増加は0.01kgf以下であり、16kgfの強度をもつピンヒンジに対して十分なマージンがある。

(2)面内振動

軌道上においては最大の面内振動が発生する20Nスラスト噴射時においては、VMS画像よりパドル先端の変位量が440mm程度であることを確認している。この変位量に対応する発生荷重は約0.3kgfであり、16kgfの強度を持つピンヒンジに対して約50倍のマージンを持つ。

図4 - 3に、20Nスラスト噴射時のVMS撮像画像を示す。

(3) 面外振動

面外振動はブランケットが面外方向に一様に変形するため、それによる荷重の増加は無視できるレベルである。

以上から、パドルの主要振動モードのブランケット荷重に関しては、ブランケットの部材強度に関して十分小さく、問題ないと考えられる。

5. 太陽電池パドル各振動モードと定張力機構動作

太陽電池パドルの各振動モードは、日陰入り/日陰明けにおけるブランケット・マストの熱収縮/熱膨張や太陽電池パドルアレイトリム^(注)により励起される。これらの振動によるブランケットの張力変化は小さく、定張力機構の動作には影響しない。

図5 - 1に示すように定張力機構のストロークはなめらかに動作している。

また、「ねじり1次」と「面外2次」の固有振動数は、定張力機構発生張力に依存するが、3. に示したノミナル張力7kgfにおける解析値と固有振動数は整合しており、長期的にも安定した状況にある。

図5 - 2に、定張力機構発生張力に対する固有振動数の依存性を示す。

(注)パドルアレイトリム:

1周回に1回、パドル追尾用太陽センサ(SPSS)の信号を用いて、太陽電池パドルの太陽追尾誤差を最小にする動作。

6.まとめ

太陽電池パドルの機械的な挙動について、特にパドルの固有振動モードの観点からの検討を実施し、以下のことを確認した。

- (1) 固有振動数から見て、10月24日の運用異常前後を含めた長期トレンドとして、パドルは安定した挙動を示していることを確認した。
- (2) パドル主要振動モードにおいて、ブランケットにかかる荷重は十分な設計マージンの範囲内であることを確認した。
- (3) 太陽電池パドルの振動によるブランケットの張力変化は小さく、定張力機構の動作には影響しないことを確認した。