

調査7—2—1

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

平成15年12月15日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

これまでの調査部会では、以下の検討について報告してきた。

- (1) 運用異常発生前後の事象の整理
- (2) 姿勢・軌道の挙動の詳細整理と検討
- (3) 打上げ以降の100W単位の発生電力変動の事象の整理と検討
- (4) 考えられる発生部位の絞込み
- (5) 考えられる発生シナリオの設定
- (6) シナリオ検証のための検証試験

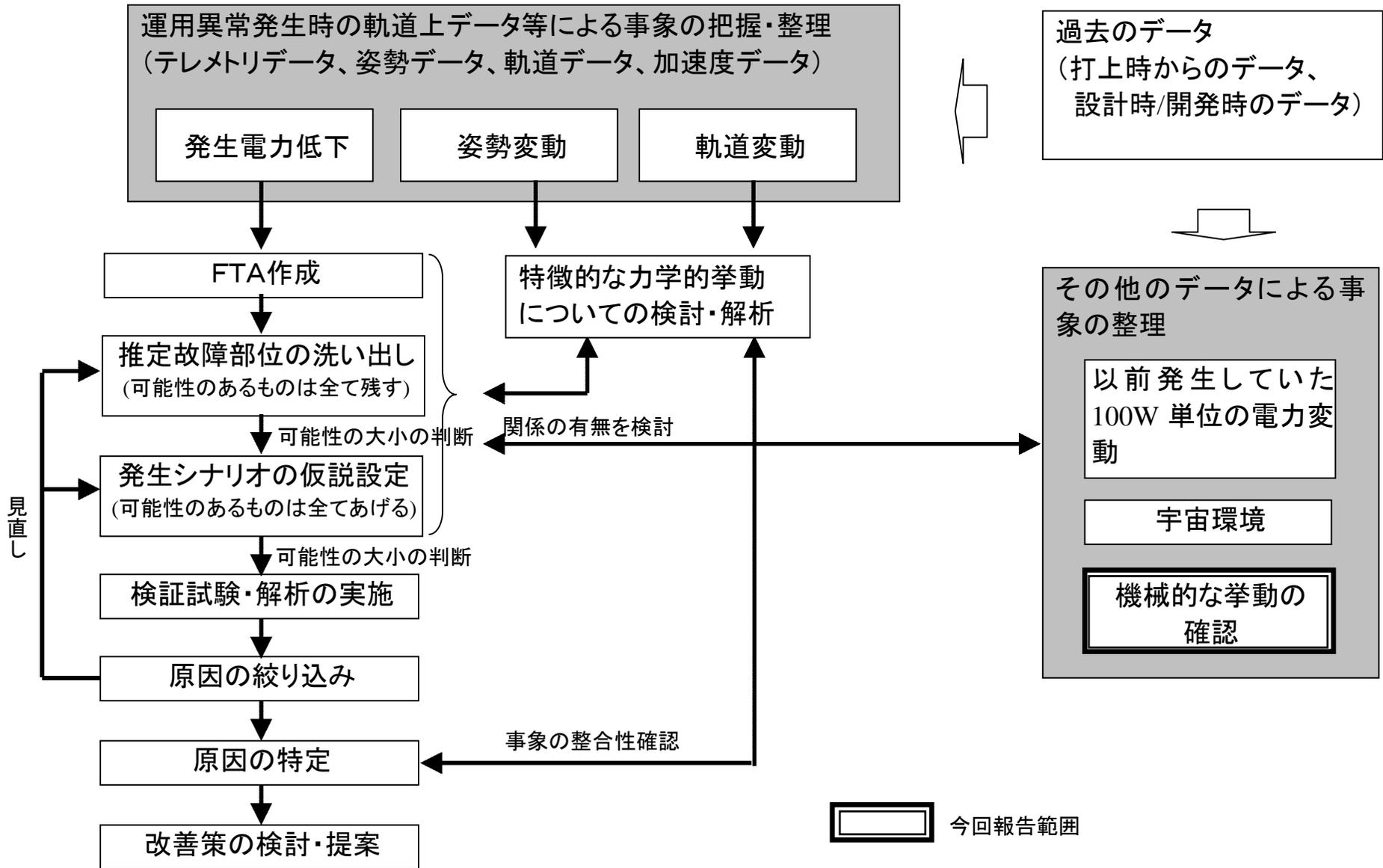
この結果、考えられる発生部位としては下記の3箇所が可能性の高いものと考え、その発生シナリオの検討を進め、全10件の仮説を設定している。

- | | |
|-------------------|---------|
| (1) 太陽電池パドル電力ライン | 仮説1—1～4 |
| (2) 太陽電池パドル接続ハーネス | 仮説2—1～5 |
| (3) パドル駆動機構接続ハーネス | 仮説3—1 |

また、パドル構造系、パドル駆動機構、シャント等の部位における故障の可能性、並びに運用異常発生時の姿勢変動についても、さらに検討を進めている。

第7回調査部会では、打上げから発生電力低下発生までの太陽電池パドルの機械的な挙動、特性を示すテレメトリデータ(張力、ストローク等)のトレンドを示し、設計と軌道上の挙動の比較を示す。さらに、発生電力低下時のデータを比較することにより、今回の異常事象が、パドル構造系の機械的破断によるものであるかどうかの検討結果について報告する。

図1—1に当面の作業の進め方(案)と今回の報告範囲を示す。



2. 太陽電池パドルの機械的な挙動について

2.1 発生電力低下時の各種テレメトリデータの評価

約3分間に約6Kwから1Kwへ発生電力が低下した時のパドルの機械的な挙動について、打上時から異常事象発生まで、以下のテレメトリデータから評価を行った。

- ① 姿勢データ
- ② 太陽電池パドル固有振動数データ
- ③ 太陽電池パドルストロークデータ
- ④ 太陽電池パドル張力データ
- ⑤ 太陽電池パドル温度データ(テンションコントロール機構部)
- ⑥ 太陽電池パドル温度データ(ブランケット)
- ⑦ 視覚モニタ系(VMS)画像データ

(1) 姿勢データ

図2-1に示すように、発生電力低下前後の姿勢データを4日前／8日前のデータと比較したところ、事象 A／事象 B 以外に有意差のあるデータは存在しなかった。また、図2-2に示すとおり、打上げ以降の長期トレンドデータにおいても、以前の調査部会において報告した7月19～22日の蓄積角運動量の増加以外に特に異常と見られるデータはなかった。

図2-1に、事象 A と事象 B の推定姿勢角を再掲する。

図2-2に、発生電力と姿勢のトレンドを再掲する。

なお、上記7月19～22日の蓄積角運動量の変化は、姿勢角には表れない微少な挙動であることから、磁気モーメントや大気抵抗のような外部環境の影響と考えており、現在詳細検討中である。

(2) 太陽電池パドル固有振動数データ

発生電力低下時を含む1周回について、慣性基準装置(IRU)で計測された姿勢レートのフーリエ変換(FFT)を実施することにより、太陽電池パドルの機械的特性を示す固有振動数について評価した。図2-3に示すように、発生電力低下前後で固有振動数の変化は見られなかった。また、図2-4に示すように、打上げ以降の長期トレンドにおいても、特に異常と見られるデータはなく、解析値とも整合している。

図2-3に、発生電力変動前後の固有振動数データを示す。

図2-4に、固有振動数データの長期トレンドを示す。

(3) 太陽電池パドルストロークデータ

図2-5に示すように、太陽電池パドルストロークのデータについても、発生電力低下前後のデータを4日前／8日前のデータと比較したが、有意差のあるデータは存在しなかった。また、図2-6に示すように、打上げ以降の長期トレンドデータにおいても、特に異常と見られるデータはなく、打上げ前解析値とも整合している。図2-6や図2-7に示されるように、軌道上でのパドルストローク動作については、設計値、試験結果、解析結果とよく整合しており、十分なストロークマージンが確保できていると考えている。

図2-5に、発生電力変動前後のストロークデータを再掲する。

図2-6に、ストロークデータの長期トレンドおよび解析値を示す。

図2-7に、ストロークデータの設計／地上試験結果／軌道上テレメトリを示す。

なお、ストロークデータに重畳されているスパイクノイズは、以下の理由により電源系シャント動作に伴う信号ラインへのノイズであると推定している。

- ① スパイクノイズは日照中に発生しており、シャント動作と連動していることが多いこと。
- ② 電源系シャント動作を除くバス機器、ミッション機器の動作とノイズ発生に関連性が見られないこと。
- ③ ストロークモニタ信号ライン、発生電力の電力ライン等の浮遊容量による結合を考慮した等価回路に、シャント動作時の電圧変化を入力した回路シミュレーション結果と、テレメトリデータがほぼ整合したこと。

(4) 太陽電池パドル張力データ

図2-8に示すように、太陽電池パドル張力データについて、発生電力低下前後のデータを4日前／8日前のデータと比較したところ、有意差のあるデータは見られなかった。また、図2-9に示すように、打上げ以降の長期トレンドデータにおいても、特に異常は見られなかった。

図2-8に、発生電力変動前後の張力データを再掲する。

図2-9に、張力データの長期トレンドを示す。

なお、張力データの変動については、以下の事項からブリッジ回路を構成している4枚の歪ゲージのうち1箇所(張力測定側)が浮きもしくは部分的に剥離しているためと考えており、張力に異常は発生していないと考えている。

- ① ブリッジ回路の1枚の歪みゲージを剥離させた条件で検証試験を実施し、張力データと同様の挙動を示していることを確認していること
- ② 歪ゲージが1枚剥離していたとしても、同一温度条件における張力値の変化は検出できると考えられること
- ③ ストロークデータから張力調整機構がなめらかな動作をしていること
- ④ 太陽電池パドルの固有振動数が解析と整合していること

図2-10に、張力測定用歪ゲージのブリッジ構成を示す。

(5) 太陽電池パドル温度データ(テンションコントロール機構部)

図2-11に示すように、テンションコントロール機構部温度について、発生電力前後のデータを4日前/8日前のデータと比較したところ、有意差のあるデータは見られなかった。また、打ち上げ以降の長期トレンドデータにおいては、3月22日に温度が15℃程度低下したこと以外には、顕著な変動は見られなかった。

図2-11に、発生電力前後のテンションコントロール機構部の温度を示す。

図2-12に、テンションコントロール機構部の温度データの長期トレンドを示す。

3月22日の温度低下については、以下の理由から、テンションコントロール部を覆うMLIを止めているテープが剥がれたことによる断熱性能の劣化が原因であり、この温度低下は、テンションコントロール部の機能(張力およびストローク)には影響がないと考えている。

- ① VMSにより撮像した太陽電池パドル先端部断熱シート上のしわが、同日以降変化していること(図2-15参照)

- ② 温度低下前後において、ストロークや張力、姿勢、固有振動数などパドルの状態を示すテレメトリに異常が見られないこと
- ③ MLIが剥がれた状態での低温最悪条件での温度解析でもテンションコントロール機構部の最低温度が -23 度という計算結果となり、 15°C のマーヅンを考慮しても許容温度に対して十分にマーヅンがあること。(許容温度範囲 $-52\sim+65^{\circ}\text{C}$;設計値)
- ④ 打ち上げ前のテンションコントロール機構単体の試験において -52°C における正常動作が確認されていること。

(6) 太陽電池パドル温度データ(ブランケット温度)

図2-13に示すように、太陽電池パドル温度について、発生電力低下前後のデータを4日前/8日前のデータと比較したところ、有意差のあるデータは見られなかった。また、図2-14に示すように、打上げ以降の長期トレンドデータにおいても、顕著な変動は見られない。

図2-13に、発生電力前後のブランケット温度を示す。

図2-14に、ブランケット温度の長期トレンドを示す。

(7) 視覚モニタ系(VMS)画像

図2-15に、打上げ後から異常発生時までの太陽電池パドルのVMSによる撮像データを示す。

なお、3月22日以降の画像について、PDL先端部の断熱シートに顕著なしわが見られている。これは(5)で述べたテンションコントロール部を覆うMLIを止めているテープのはずれにより、プレッシャボード(PDL先端部)の断熱シートがずれたためと推定している。

2.2 機械的な破断の可能性の評価

2.1項に示すように、太陽電池パドルの挙動を示す各テレメトリには長期的にも、また異常発生前後においても、異常を示すデータは見られていない。

ここでは、約6kW から約1kW への発生電力低下が太陽電池パドル上に発生した機械的な破断によるというケースについて検討を行う。

(1) 破断箇所に対する検討

① ブランケット中央部

ブランケット中央部には、パドル温度テレメトリやストロークモニタなどの信号線がブランケット内に埋め込まれている。

発生電力低下後も、太陽電池パドル上のパドル温度テレメトリやストロークモニタは正常に機能しており、断線していないことが確認されている。このため、これら信号線が埋め込まれているブランケット中央部の破断の可能性はないと考えられる。

② 先端側ブランケット(ブランケット1～40)の破断

太陽電池パドル面上においては、太陽電池アレイからの電力伝送ラインはパドル先端から根元へ向けて埋め込みライン数が徐々に増えていく。つまり、どんな破断モードであっても、破断箇所より衛星本体側の太陽電池アレイからの電力ラインは影響を受けない。

一方、発生電流回路の残存動作回路数の変化は以下のように特定されている。このことから、以下の先端側ブランケットの破断の可能性はないと考えられる。

1系回路 :

6回路残存 → ブランケット1～40の可能性はない

2系回路 :

5回路残存 → ブランケット1～41の可能性はない

③ ブーム側ブランケット(ブランケット41～50)の破断

当該箇所については、図2-16の1系、2系の□で囲った範囲で破断が生じたと仮定すれば、約6kW から約1kW への発生電力低下の事象を説明することができる。

以上より、③の部位については故障部位としての可能性が残されるものの、①及び②の箇所については、発生電力低下の事象と整合がとれないため、故障部位としては考えにくい。

図2-16に、発生電力低下事象とパドルのエリアの関係を示す。

(2) 破断発生の可能性に対する検討

(1)で故障部位として可能性があるとした③のエリアについて、さらに破断の可能性について検討する。破断可能性の箇所としてヒンジ部とブランケットの各々について検討した。

図2-17に、部分破断とした場合の破断モードを示す。

① ヒンジ部の破断

ヒンジ部が破断したのであれば、まず荷重を支えるヒンジが破断する。ヒンジ部の半田接続までの余長は14mmあり、発生電力が低下するには、さらに2つの半田接続部を含めた32mm以上拡がる必要がある。一方、テレメトリのストロークデータは2mm以上の検出能力があるが、このような挙動はテレメトリ上見られない。

なお、一列破断でない部分破断の場合はストロークデータに表れないことも論理的には考えられるが、ヒンジ部の一部が32mmも部分破断する破断モードは膜面として考えにくい。

② ブランケットの破断

ブランケットの破断が開始し、その破断が進行し、さらに信号線の直前で停止するためには、各々に原因が必要と考えられるが、以下のようにいずれも考えにくい。

- a) ブランケットの外周はダブラで補強しており、姿勢に表れない機械的な破断は考えにくい
- b) 破断の進行が信号線の手前で停止するためのストッパのようなものが存在しない
- c) 1系と2系がほぼ同数に破断することが考えにくい

以上の検討から、今回の運用異常が太陽電池パドルの機械的破断で発生した可能性は少ないものと考えている。

- 理由1 : 発生電力低下直前までパドルは設計通り適切な強度マージンのもとで動作していたと判断できること。
- 理由2 : 発生電力低下中に機械的な破断を示唆するような挙動のデータが存在しないこと。
- 理由3 : 太陽電池パドル上の破断によって、発生電力低下の事象を説明できる部位が存在しないこと。

3. まとめ

以上報告したとおり、太陽電池パドルの機械的な挙動について、打上げから異常事象発生までのテレメトリデータの評価を行ったが、機械的な破断の可能性を示すデータは見られていない。