

環境観測技術衛星(ADEOS-)「みどり」の運用異常の原因究明の進捗状況について(その2)

平成15年11月27日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1.はじめに

第3回調査部会においては、それまでのFTA等の解析結果として可能性のある故障部位として推定される下記の3箇所について、故障に至るまでのシナリオを推定するとともに、シナリオを検証のために必要となる検討事項や確認事項についての整理を行った。

- 太陽電池パドルの電力ラインの開放または短絡
- 太陽電池パドルハーネス(パドルとパドル駆動機構間の電力ライン)の開放または短絡
- パドル駆動機構接続ハーネス(パドル駆動機構とシャント間の電力ライン)の開放

また、発生電力低下前後に見られた姿勢・軌道変動についての解析状況として、何らかの擾乱トルクが衛星に働いていたことを報告するとともに、本年3月から7月にかけて観測された約100W単位での電力変動事象の分析状況を報告した。

第4回調査部会では、これまでの議論などを踏まえ、以下の内容について報告する。(【 】内に資料番号を示す)

- (1) 発生電力低下前後に見られたデータを再整理(時系列に整理等)し、現象の全体像を明確にした。【調査4-1】
- (2) 約100W単位の発生電力変動、及び発生電力低下時に見られた姿勢・軌道変動について、その後の評価状況を報告する。特に、発生電力低下時の姿勢変動については、要因となる力についての推定を行った。【調査4-1】
- (3) これまでのFTAに見落としのないこと、及び論理性を確認するため、FTAの再確認を行った。その過程において、前回ご指摘のあったシャントを故障部位から消去することの妥当性を確認した。【調査4-2】
- (4) 発生シナリオについて評価したところ、仮説の一つについては発生する可能性が極めて低いことが明らかとなった。【調査4-2】
- (5) 発生シナリオを検証するために行う試験について、目的、状況、今後の計画を説明する。【調査4-3】
- (6) 太陽電池パドル等に対する設計・製造時の試験について、その目的・概要を説明する。【調査4-4】

2. 原因究明作業の検討状況

太陽電池パドル発生電力低下に係る原因究明作業として、テレメトリデータをもとに異常発生シナリオの仮説を設定し、解析や検証を進めている。発生電力低下前後の姿勢・軌道変動と約100W単位の発生電力変動については、事象の整理を行い、運用異常との関連についての検討を進めた。

以下、各検討項目別に、検討状況を報告する。

- (1) 事象の整理
- (2) 100W単位の発生電力変動の分析
- (3) 姿勢・軌道データの解析

3. 事象の整理

発生出力低下前後においては、いくつかの特徴的なデータの挙動が存在し、発生電力低下との因果関係を調査中の状況である。

図3 - 1に、電源系の系統図概要を再掲する。

図3 - 2に、発生電力低下近辺で確認された事象の概要を示す。

表3 - 1に、姿勢変動(事象Aと事象B)の概要を示す。

図3 - 3に、事象A / Bにおける姿勢角変動(4日前との差)を再掲する。

図3 - 4に、事象A / Bにおける蓄積角運動量(4日前との差)を再掲する。

図3 - 5に、事象Bにおける作用点と力積ベクトルの存在する範囲を再掲する。

図3 - 6に、事象Bの姿勢シミュレーションにおけるトルクパターンを示す。

図3 - 7に、事象A / B発生時におけるストロークを再掲する。

図3 - 8に、事象A / B発生時における張力を再掲する。

なお、これらの事象は4日前との比較に加えて、8日前のデータとの比較も実施したが、他の事象はみつからなかった。

4. 100W単位の発生電力変動の分析

(1) 事象の整理

今回は、日陰明け25分間の平均値を評価して100W単位の発生電力変動の状況を報告した。今回はこれに加えて、日陰明けから日陰入りまでの発生電力のトレンド評価を実施したので報告する。

発生電力変動の特徴としては、今回報告の次項を含めると3種類の特徴的な現象が発生している。

- 特徴1 : 発生電力変動を伴わないシャント電流変動
- 特徴2 : 発生電力の低下および復帰
- 特徴3 : 日照中の発生電力の復帰 (次項参照)

表4 - 1に、100W単位の電力変動の概要を示す。

図4 - 1に、発生電力の長期トレンドと評価点を示す。(前半/中央/後半)

なお、発生電力変動時の姿勢データを評価したところ、7月19日と7月22日の蓄積角運動量に変化がみられた。詳細は次章で記述する。

(2) 日照中の発生電力の復帰

日陰明けから日陰入りまでの発生電力を評価すると、日陰明け直後には低下していた発生電力が、あるシャント電流を境にしてステップ状に復帰する現象が確認されている。この現象は、打ち上げ直後は発生しておらず、以下のタイミングで発生している。

太陽電池パドル1系

4月14日以降 シャント1電流が約15Aを超えたタイミングで上昇

7月17日以降 シャント1電流が約33Aを超えたタイミングでさらに上昇

太陽電池パドル2系

7月19日以降 シャント2電流が約28Aを超えたタイミングで上昇

7月22日以降 現象が消えた

図4 - 2に、太陽電池パドル1系の日照中の復帰現象を示す。

図4 - 3に、太陽電池パドル2系の日照中の復帰現象を示す。

(3) 発生電力変動回路の特定について

発生電力変動が発生している回路は、シャント回路の動作メカニズムを使って、ある程度の特定は可能である。現在は、前項までに抽出できた特徴とあわせて発生回路の特定の評価中である。

図4 - 4に、発生電力変動回路の特定方法を示す。

(4) まとめ

100W単位の発生電力変動について、確認できている事項をまとめた。今後は、以下の事項について確認・検討していく予定である。

各事象が発生している回路の絞り込み
加速度オフセット・ノイズとの関係
「みどり」における類似事象の発生有無
姿勢変動との関係
運用異常に至る発生電力変動との関係の考察
考えられる原因

5. 姿勢・軌道データの解析

5.1 発生電力と姿勢変動の評価

(1) 全体評価

「みどり」と「みどり」の日陰入り時に発生した姿勢変動のトレンドの評価を行った。「みどり」においては、ヒンジ部一列破断と推定されるPDL構造特性が変化した1996年12月17日以降においては姿勢変動のパターンが大きく変化していた。これに対して、「みどり」の姿勢は安定しており、「みどり」で見られたような大きな姿勢パターンの変動は通信リンク途絶直前の最後のテレメトリまでなかった。

図5 - 1に、「みどり」における発生電力と姿勢のトレンドを示す。

図5 - 2に、「みどり」における発生電力と姿勢のトレンドを示す。

(2) 100W単位の発生電力変動時の評価

打ち上げ後に10回発生した約100W単位の電力変動が起こったときの姿勢データについて、1回帰(4日)前のデータと比較し、評価を行った。評価の結果、電力変動発生していた7月19日から7月22日にかけて蓄積角運動量に有意な差が見られた。

(7月19日から22日かけて発生した事象の説明)

7月19日4時10分(食明け)から日照期間中、ピッチ軸にのみ蓄積角運動量が約1.3Nms増加した。本事象は、7月22日の3時13分まで、日照期間中、繰り返されている。7月22日3時13分以降は本事象は現れていない。また、姿勢については、事象A、事象Bで見られたような変動は見られていない。

表5 - 1に、発生電力変動事象に関する姿勢評価結果を示す。

図5 - 3に、7月19日の推定姿勢角を示す。

図5 - 4に、7月19日の蓄積角運動量を示す。

図5 - 5に、7月19日の8日前(7月11日)の推定姿勢角を示す。

図5 - 6に、7月19日の8日前(7月11日)の蓄積角運動量を示す。

図5 - 7に、7月19日との8日前の推定姿勢角の差分を示す。

図5 - 8に、7月19日との8日前の蓄積角運動量の差分を示す。

これらの事象の原因について、PDLを含む衛星内部の電流ループの変化に伴う残留磁気により外力が発生した可能性があり、現在確認中である。

5.2 事象Bにおいて作用した力の推定

以下では、「事象B」における発生力の推定方法について述べる。

(1)前提条件

前回報告した姿勢変動の事象A及び事象Bのうち、事象Bは発生電力低下と同時に発生しており、かつ、軌道変化が発生した時刻の近傍であることが特徴的である。このことから、事象Bと軌道変化を発生させた要因が同一であると仮定し、作用した力積の大きさ、向きを推定する。

但し、5.1(2)で述べた発生電力変動に伴うピッチ軸の角運動量の寄与により、力の作用点が存在する面(図3-5)が変化する可能性があるが、以下で述べる推定ではこの影響は考慮していない。現在、5.1(2)の原因究明とともに、発生力推定への影響について評価中である。

(2)力積の作用点候補

事象Bの力積の作用点は、約 $\pm 7\text{deg}$ の誤差範囲を持つ平面内(図3-5)に存在する。FTAで絞り込まれている部位と平面との交点を考慮すると、以下の点が作用点の候補となる。なお、PDM接続ハーネス上は誤差範囲を考慮しても平面との交点がなく、力積の作用点候補は存在しない。

PDL ブーム上の PDM 出力点近傍

PDL ブーム上のダンパ搭載位置近傍

PDL MDM(マスト伸展機構)上

PDL コンテナベース近傍

PDL ブランケット端部

(作用点が衛星中心から-Y軸方向に最も近いケース)

PDL ブランケット端部

(作用点が衛星中心から-Y軸方向に最も離れるケース)

図5-9に、事象Bにおける力積の作用点の候補を示す。

(3)作用した力の算出方法

- 1 mm / 秒に相当する軌道変化はロール方向に作用した力積に換算すると約 - 3.7Nsとなる。事象Aが寄与したと推定される力積約 - 0.3Nsを考慮すると、約 - 3.4Nsが事象 B 中に作用した力積となる。これらの力積と角運動量ベクトル(表3 - 1参照)を用いることによって、前項で挙げた各候補点で作用した力を以下のように求めることができる。

表5 - 1 候補点と作用した力の大きさ

	px	py	pz
PDL ブーム上の PDM 出力点近傍	約-3.4Ns	約 0.2Ns	約 2.3Ns
PDL ブーム上のダンパ搭載位置近傍	約-3.4Ns	約 2.6Ns	約 2.5Ns
PDL MDM(マスト伸展機構)上	約-3.4Ns	約 6.0Ns	約 2.6Ns
PDL コンテナベース近傍	約-3.4Ns	約 8.4Ns	約 3.1Ns
PDL ブランケット端部(衛星中心側)	約-3.4Ns	約-19.8Ns	約-6.2Ns
PDL ブランケット端部(衛星中心から最も離れるケース)	約-3.4Ns	約-37.3Ns	約-6.6Ns

(px:ロール方向に作用した力積、 py:ピッチ方向に作用した力積、 pz:ヨー方向に作用した力積]

図5 - 9に、事象Bの作用点の推定作用力を示す。

なお、事象 B と軌道変化の主要因は、衛星からの質量放出の可能性が高いと考えるが、今後は異常事象の発生シナリオの仮説への取り込みも含めて検討をすすめていく。

5.3 加速度データの評価

加速度データのオフセットは打ち上げ以降頻繁に発生しており、100W 単位の発生電力変動前後や姿勢変動事象 A、B との関連等を評価している。このオフセットは、以下の項目から力学的な挙動ではなく、電気的な影響による変動であると考え、データの整理を行っている。

- (1) 一方向のみの加速度が実際に印加された場合、衛星構体内に搭載された加速度計に変化が見られるはずであるが、観測されていないこと。また、軌道に関しても、事象 B 付近で観測された軌道変化(1mm/sec の減速制御に相当)と比較して、大きな変化が見られるはずであるが、実際の軌道決定値には観測されていないこと。
- (2) ステップ状の力が印加された場合、PDL の固有振動数が励起されるはずであるが、そのような振動が観測されていないこと。
- (3) 加速度データのオフセットは、打ち上げ後より発生しており、シャント動作とほぼ同じタイミングで主に日照中に発生していることが多いこと。
(図5 - 10、図5 - 11参照)

図5 - 10に、発生電力低下時(2003年10月24日)の加速度計出力とシャント電流データを示す。

図5 - 11に、2003年2月13日、オフセット発生時の加速度計データとシャント電流を示す。

6. まとめ

発生電力低下前後に発生した事象として、姿勢・軌道変動、パドルの状態、宇宙環境の状態について全体像が把握しやすいよう再整理を行った。

また、約100W単位の発生電力変動ではトレンドデータの詳細を、姿勢・軌道変動では前述の発生電力変動や発生電力低下時のデータを再確認し、発生電力低下時に現れた衛星の角運動量変動の要因となる力についての推定を行った。

発生電力低下とこれらの事象の関連性についてはまだ明確にできていないが、今後は異常事象の発生シナリオの仮説への取り込みも含めて検討をすすめていく。