

環境観測技術衛星(ADEOS-II)「みどり」 100W単位の発生電力変動について

平成16年1月9日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

みどり では、平成14年12月の打上げ後、平成15年3月に約100Wの電力低下を観測して以来、10回の約100W単位の電力変動が見られており、平成15年の第3回、第4回調査部会において、これらの電力変動事象について事象を整理するとともに、今後の検討課題を報告した。

今回の調査部会では、その後の検討状況を踏まえ、以下の事項について報告する。

- (1) 100W単位の発生電力変動の概要(2章)
- (2) 100W発生電力変動回路の特定と発生メカニズムの考察(3章)
- (3) 特徴3(7月19～22日)の発生電力変動の発生メカニズム(4章)
- (4) 「みどり」における発生電力変動の有無の調査結果(5章)

2. 100W単位の発生電力変動の概要

100W単位の発生電力変動は、全て100W単位で変動していることおよび1系と2系各々に独立して発生していることが特徴的であり、その点においては、運用異常に至る約6kWから1kWへの発生電力低下とは異なる。

また、これら100W単位の発生電力変動のうちいくつかの事象は、時間の経過によ復帰もしくは解消する特徴もあり、運用異常発生直前には太陽電池パドルの64回路のうち62回路(1系 31回路 + 2系 31回路)が動作していたことが確認されている。

【発生回数】

太陽電池パドル1系 発生6回 (うち解消2回)

太陽電池パドル2系 発生4回 (うち解消1回)

【変動の分類】

特徴1 シャント動作時の2回路分の電流動作

特徴2 日照全期間における発生電力の低下

特徴3 日陰明けに低下していた発生電力の日照中の復帰

(なお、7月19～22日では、特徴3に加え蓄積角運動量及び特定のテレメトリに変動が発生している。)

; 各特徴の定義等は3章参照のこと

図2 - 1に、太陽電池パドル1系において発生している100W単位の発生電力変動の一覧を再掲する。

図2 - 2に、太陽電池パドル2系において発生している100W単位の発生電力変動の一覧を再掲する。

図2 - 3に、日陰明け + 1分の関連データのトレンドを再掲する。

図2 - 4に、日陰明け + 30分の関連データのトレンドを再掲する。

図2 - 5に、日陰明け + 58分の関連データのトレンドを再掲する。

3. 100W単位発生電力変動回路の特定と発生メカニズムの考察

3.1 回路の特定方法

図3 - 1に、「みどり II」の電源系統図および各回路の太陽電池パドル上の搭載位置の概要を示す。

図3 - 2に示すとおり、100W単位発生電力変動の発生回路は、電力変動時のシャント電流値から±1回路程度の精度で特定することができる。

注1 : 以下、()内のNo. は、図2 - 1/図2 - 2におけるNo. に対応する。

注2 : 回路番号は、図3 - 1の番号に対応する。

3.2 特徴1:シャント動作時の2回路分の電流動作

(1) 事象の定義

本事象は、図2 - 3、図2 - 4、図2 - 5に示す日陰明けの特定時刻における発生電流値の長期トレンドグラフにおいて、発生電力変動がないのにシャント電流がステップ上に増加している事象である。長期トレンドグラフにおいてシャント電流がステップ上に増加しているのに対し、発生電流に変化がみられないのは、シャント電流の増加に相当するPCU入力電流の減少が発生しているためである。

図3 - 3に、8月24日の太陽電池パドル1系のテレメトリ出力を例示する。もともと、シャント1系とシャント2系は製造誤差を除くとまったく同じタイミングでON/OFFするように設計されているため、シャント1系とシャント2系の差電流は常に最大でも1回路程度(約2A)となる。しかしながら、この差電流の中央値が1回路程度オフセットする現象が23:14頃から確認できる(図3 - 3 参照)。この事象が以降継続しているのが、特徴1である。

正常動作 : 図3 - 3

シャントがONすることによりシャント電流が増加し、その分PCU入力電流が減少している。この電流は約2A(=1回路分)であり正常である。シャント電流よりもPCU入力電流の動作が速いのは、シャント電流モニタテレメトリに実装されているフィルタの影響である。

異常動作 : 図3 - 3

シャントがONすることによりシャント電流が増加し、その分PCU入力電流が減少するのは正常動作と同様であるが、この電流が約4A(=2回路分)であることが異常である。

(2) 回路の特定 (図3 - 3 参照)

本現象は、日照中のある特定シャント電流値において発生することから回路の特定が可能である。具体的には、前項(1)の異常動作が発生しているシャント電流により回路を特定する。

- 1系(No.9) 8月24日 シャント電流 = 約28A、回路31
8月25日に解消(No.10)
- 2系(No.5) 7月5日 シャント電流 = 約3A、回路4

(3) 発生メカニズムの考察

(1)項で述べたように、本事象はシャント1回路が動作するときに2回路分の電流が流れることが特徴である。1回路に2回路分の電流が流れるのであるから、当該回路の上流でHOTライン同士が接触し、シャントがオンすることにより、本来負荷に流れるべき回路(シャントOFFの回路)の電流が、短絡先の回路に4Aの電流が流れてしまうことが考えられる。

図3 - 4に、特徴1の発生メカニズムの考察を示す。

3.3 特徴2:全日照間における発生電力の低下

(1) 事象の定義

特徴1や特徴3は、毎週回、シャント電流が特定の電流値に達したタイミングで発生しているのに対し、本事象はシャント制御とは無関係に、日照中の全期間を通じてそれまでのトレンドよりも発生電力が低下している事象である。日照中の全期間で発生しているため、長期トレンドグラフ(図2-3、図2-4、図2-5)で確認すると、日陰明け後のどの時間であっても発生電力の低下が確認できる。

(2) 回路の特定 (図3-5参照)

本事象は、シャント電流と無関係に発生するため回路の特定は不可能である。一方、シャント電流と無関係であることは、常にシャントがオフの回路で発生していると判断できるため、以下のように回路の範囲は特定できる。

発生電流の長期トレンドグラフにより、発生電流が最大となる日陰明けの時間を確認する。(日陰明け+56分が相当する)
特定された時間の最大発生電流を動作回路数で割ることにより1回路あたりの発生電流を算出する。

$$\begin{aligned} & \text{1回路あたりの発生電流} \\ & = \text{最大発生電流} \div \text{動作回路数} \end{aligned}$$

で特定した時間と同じタイミングのシャント電流の長期トレンドデータを用意する。

で求めた1回路あたりの発生電流から、常時シャントがオフの回路番号を算出する。

$$\begin{aligned} & \text{常時OFF状態のシャント回路No.} \\ & = (\text{シャント電流} \div \text{1回路あたりの発生電流}) \times 2 - 1 \end{aligned}$$

| | |
|----------|---|
| 1系(No.1) | 3月20日 シャント連動せず、回路43～63 5月9日に解消(No.4) |
| 2系(No.3) | 4月29日 シャント連動せず、回路44～64 |

(3) 発生メカニズムの考察

本事象については、日照中の全期間を通じて発生電力が低下していること以外に顕著な特徴がないため発生メカニズムの考察は難しい。シャントのブロッキングダイオードより上流であれば短絡であっても、開放であっても本事象を説明できる。

図3 - 6に、特徴2の発生メカニズムの考察を示す。

3.4 特徴3：日陰明けに低下していた発生電力の日照中の復帰

(1) 事象の定義

日陰明け後各時間のトレンドグラフ(図2 - 3、図2 - 4、図2 - 5)に示すとおり、日陰明け直後には低下していた電力が日陰明け後のある特定時間以降に復帰している現象が特徴3である。

本事象は、図3 - 7に示すように長期トレンドグラフだけでなく日照時間を横軸にとった短期グラフでも容易に確認できる。即ち、日陰明け直後には発生電力が得られなかった回路が日照中に復帰したようにみえる現象である。

(2) 回路の特定 (図3 - 7参照)

本現象は、日照中のある特定シャント電流値において発生することから回路の特定が可能である。具体的には発生電力の復帰タイミングと一致するシャント電流から発生回路を特定した。

| | | |
|-----------|-------|------------------------|
| 1系(No. 2) | 4月14日 | シャント電流 = 約15 A、回路17に相当 |
| 1系(No. 6) | 7月17日 | シャント電流 = 約33 A、回路39に相当 |
| 2系(No. 7) | 7月19日 | シャント電流 = 約28 A、回路32に相当 |
| | 7月22日 | に解消(No. 8) |

(3) 発生メカニズムの考察

日陰明け直後には発生電力が得られなかった回路が、日照中に復帰したように見えるということは、日陰直後のシャントOFF状態においてはPCU入力電流として流れなかった発生電流が、シャントがONになることによりシャント電流として流れるものと推定できる。これはシャントトランジスタのON状態ではトランジスタ端子間電圧が約1V程度であることに對し、トランジスタOFF状態のバス電圧は50V程度であることによるものと考えられる。

このことから、以下の仮説が考えられる。図3 - 8に、各々の仮説の説明を示す。

仮説1 :

太陽電池パドルのHOT - RTN間に抵抗成分を持った接触があり、シャントONではシャントに流れた電流がシャントOFFでは本来のPCU側に電流が流れずに、この抵抗成分をもった接触に電流が流れる。

仮説2 :

太陽電池アレイの中間とRTNラインとの短絡があり、太陽電池アレイのHOT - RTN間電圧がバス電圧より低くなってしまい、シャントOFFでもPCU側に電流が流れない。

仮説3 :

シャント内のブロッキングダイオードの実装ラインが開放故障を起こしており、シャントがOFFとなってもPCU側に電流が流れない。

3.5 特定された回路の一覧

前項までの回路の特定で示されるように、100W電力変動が発生している回路は、特定の回路番号に集中している訳ではなく、ある程度ばらついた範囲に存在している。

図3 - 9に、特定された回路の太陽電池パドル上における位置を示す。

なお、10月24日の運用異常に至る発生電力変動においては、残存した回路のシャントがオンとならないため、回路の特定は不可能である。

4. 特徴3(7月19~22日)の発生電力変動の発生メカニズム

3章であげた10回の発生電力変動のうち、7月19~22日に2系で発生している特徴3の発生電力変動では、他のケースと異なり、電力変動以外にも以下のような関連事象と思われる現象を伴っている。これらを総合的に検討することにより、当該発生電力変動の発生メカニズムを推定する。

【電力変動以外の関連事象】

特定のテレメトリ及び加速度センサ2系のオフセット
蓄積角運動量の増加

4.1 特定のテレメトリ及び加速度センサ2系のオフセット

(1) 特定のテレメトリデータへのオフセット

発生電力変動の発生に伴い、図4-1に示すようなRIU#5のアクティブアナログ(AA)テレメトリで、かつRTN2及びRTN17のリターンラインの系統に接続されているテレメトリ項目にのみオフセットが発生している。

オフセットのかかり方は、図4-2のPSM電源電圧の例のように、日陰明けと同時に約0.15~0.18V程度のオフセットがかかり、シャント2電流が28Aを超えるタイミングで正常値に復帰している。

オフセットがかかる現象、は7月19日の発生電力変動の発生とともに始まり、7月22日の発生電力変動の解消とともに復帰している。

注1 : RIU(Remote Interface Unit)

テレメトリ信号、およびコマンド信号を集配信するためのユニット。いくつかの搭載機器毎に設置され、機器から出力されるアナログ電圧値のA/D変換等を行う。各RIUに対応する中央のユニットとしてCU(Central Unit)がある。

注2 : アクティブアナログ(AA)テレメトリ

RIUが収集するアナログ値テレメトリのうち、搭載機器が電圧を出力しRIU側でA/D変換のみを行うテレメトリ。

他に、パッシブアナログ(PA)テレメトリ(搭載機器がテレメトリ測定

用の抵抗のみを有する)、シリアルデジタル(SD)テレメトリ(搭載機器側でA/D変換まで行う)がある。

(2) 加速度センサデータへのオフセット

図4 - 2の加速度センサ2系(PMA2)のデータに示すように、上記のRIU # 5のアクティブアナログ・テレメトリのうちリターンライン2(RTN2)及びリターンライン17(RTN17)のテレメトリデータのオフセットと同時に、加速度センサ2系にもオフセットが発生している。ただし、加速度センサ2系ではさらに他のタイミングでもオフセットが発生している。

注3 : 加速度センサ2系(PMA2)のオフセット

ここでいう加速度センサ2系のオフセットは、第4回調査部会において報告した打上げ以降継続して発生しているオフセットとは大きさが全く異なる。

| | |
|-----------------------|-----------------|
| 7月19～22日に発生しているオフセット量 | 4.5V (22mG)程度 |
| 打上げ以降に発生しているオフセット量 | 0.04V (0.2mG)程度 |

4.2 オフセット発生メカニズム

特徴3(7月19～22日)の発生電力変動で、発生電力変動と同時に特定のテレメトリ及び加速度センサ2系のオフセットが発生する現象のメカニズムについて検討する。

(1) 発生電力変動について

3章で述べたように、特徴3(7月19～22日)の発生電力変動では、日照中のシャント電流 I_2 が約28Aになるタイミングで発生電流が復帰する。この現象は、以下の仮説により説明することができる。

図4 - 3の に示すように、太陽電池パドル上においてセルが短絡し、その結果、供給側(太陽電池パドル側)の電圧が、バス電圧(50V)を下回り、電流がPCU入力側(負荷側)へ流すことができなくなり、発生電流の低下が観測される。また、日照中のある時点で当該回路がシャントされると、シャント側にはバス電圧の制約に依らず電流が流れるため発生電流が復帰するように観測される。

(2) 特定のテレメトリ及び加速度センサ2系のオフセットについて

一般にアナログテレメトリにオフセットが発生する場合として、信号ラインにオフセット電圧がかかっている場合とリターンラインにオフセット電圧がかかっている場合が想定される。本事象では、共通リターンラインを使用しているテレメトリにのみオフセットが発生していることからリターンラインにオフセット電圧がかかっていると考えられる。

さらに、加速度センサ2系にのみオフセットが発生しており、他の加速度センサにオフセットが発生していないこと、及び図4 - 3の に示すとおり、加速度センサ2系のリターンラインとPSMの電源系のリターンラインは共通となっていることから、このラインにオフセット電圧がかかっていると考えられる。

(3) 短絡場所

上記の(1)と(2)の事象は、シャント電流2が約28Aになる時に同時に発生していることから、短絡場所は共通で、具体的には図4 - 3の に示す回路32の中央付近であると考えられる。これは、セル裏面と直下の埋め込み銅ハーネスを使用している加速度センサ2のリターンラインが短絡した場合には説明できる。

4.3 蓄積角運動量変化との関係

特徴3(7月19～22日)の発生電力変動では、図4 - 4(b)にみられるように、日照期間中のみピッチ軸の蓄積角運動量が約1.3Nms 増加していた。本発生電力変動時には、4.2章で述べたように太陽電池パドル上で短絡が発生し、通常とは異なる電流ループがパドル上に発生していたと考えられる。

太陽電池パドル上の短絡により生じた電流ループによる磁気モーメントと発生電力変動日照期間中の蓄積角運動量増加の関係について評価を行った。

図4 - 5に示すように、本事象では太陽電池パドルの回路32と加速度センサ2系のリターンラインが短絡したものと推定すると、太陽電池パドル上に新たに発生した電流ループに伴う磁気モーメントの変化量が、ピッチ軸の角運動量増加量とほぼ一致する。

上記以外の100W 発生電力変動事象についても、太陽電池パドル

上に電流ループが形成されていた可能性は否定できないが、有意な角運動量の変化としては観測されていない。

4.4 特徴3(7月19～22日)の事象に関するまとめ

以上のように、太陽電池パドル2系で発生している特徴3(7月19～22日)の発生電力変動は、同時期に蓄積角運動量の変化等が発生しており、「太陽電池パドル上の銅ハーネスと太陽電池パドルセル裏面の短絡」と仮定すれば、かなりの事象の説明ができる。

5. 「みどり」(ADEOS)における発生電力変動の有無の調査結果

ADEOSにおける同様な100W単位の発生電力変動の有無を調査した。

その結果、平成15年第4回調査部会において報告した以下の3回の発生電力低下以外には発生電力変動は発生していないことを確認した。なお、これらは、いずれもADEOS事故の原因であるヒンジの一系列破断によると考えられるものである。

- 12月17日 ヒンジの一系列破断と同時期の100W電力低下
- 3月10日 1回路分の半田外れと考えられる100W電力低下
- 6月23日以降 運用断念に至る発生電力の低下

図5 - 1に、ADEOSの発生電力のトレンドと姿勢のトレンドを示す。

6. まとめ

運用異常までに発生した100W単位の発生電力変動について、それぞれの特徴を整理するとともに、シャントの動作タイミングから発生回路の特定を行った。また、特徴3(7月19～22日)の発生電力変動に対しては発生メカニズムの推定を行った。

これらの100W単位の発生電力変動と、発生電力低下の運用異常との因果関係については明確にできていないが、以下のような特徴を抽出することができた。今後の発生電力低下運用異常の原因究明作業の中で、引き続き関係について検討を行っていく必要がある。

100W単位の発生電力変動は1系と2系で無関係に発生している。

発生回路の特定の結果、パドル上の発生位置に規則性はない。

発生電力変動の中には現象が解消したケースもあれば、復旧していないケースもある。

特徴3(7月19～22日)の発生電力変動については、太陽電池パドル上で短絡が発生したとすると、テレメトリデータへのオフセットや蓄積角運動量の増加等、関連事象を説明できる。