

**環境観測技術衛星（ADEOS - ）「みどり」の  
運用異常に係る原因究明及び今後の対策について**

**平成16年7月28日  
宇宙開発委員会**

環境観測技術衛星（ADEOS-2）「みどり」の運用異常  
に係る原因究明及び今後の対策について

平成16年7月28日  
宇宙開発委員会

宇宙開発委員会では、調査部会に対し、環境観測技術衛星（ADEOS-2）「みどり」の運用異常について、その原因究明及び今後の対策の調査審議を付託していたが、本日、その報告（別添）を受け、委員会として了承した。

本報告書では、「みどり」の運用異常について、その原因究明及び今後とるべき対策がとりまとめられている。

「みどり」の運用異常については、地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS-2）「みどり」に引き続き、太陽電池パドルという衛星にとって最も重要な機能において、発生箇所やその直接原因は違うものの、どちらも宇宙環境下における熱設計についての注意が十分に払われていなかったという点では、共通的な背景を持つものであり、その点について、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下「機構」という。）及び製造企業において、重く受け止める事態であると考える。

今後、機構においては、今回の教訓を踏まえ、信頼性を第一に据え、衛星についての総点検活動に、本報告書で提言されている事項を活かす必要がある。本委員会としても、機構が行う衛星の総点検活動に対し、技術的な助言を与えるため、必要な調査審議を行うこととしている。

また、今後の人工衛星の開発を考えると、本報告書が提言しているように地上試験の充実等を図り、打上げ前にトラブルの芽を可能な限り摘む努力を継続するとともに、信頼性の確立に向けあらゆる取組みを強化する必要がある。本委員会としても、衛星の信頼性を向上させる観点から、今後の衛星開発において重視すべき事項についてさらに調査審議を行うこととしている。

今回の調査審議に当たっては、関係機関に多大の協力をいただくとともに、調査審議に当たられた調査部会の各委員には、御多忙にもかかわらず長期間にわたり精力的に活動していただいた。ここに心から感謝の意を表したい。

別 添

環境観測技術衛星（ADEOS - ）「みどり」の  
運用異常に係る原因究明及び今後の対策について

平成16年7月26日  
宇宙開発委員会調査部会

- 目次 -

はじめに	1
. 「みどり」の概要	
1 . 「みどり」の概要	2
(1) 「みどり」の目的	2
(2) 「みどり」の概要	2
2 . 「みどり」の電力システムの概要	2
2 - 1 . 太陽電池パドル系の概要	2
(1) 太陽電池パドル	3
(2) パドル駆動機構	4
(3) 太陽電池パドルハーネス	4
(4) パドル駆動機構電力ライン	4
2 - 2 . 電源系サブシステムの概要	5
(1) 電力制御器	5
(2) シャント	5
3 . 「みどり」の開発経緯	6
(1) 「みどり」の開発経緯	6
(2) 「みどり」の機能停止を踏まえた設計変更	6
4 . 「みどり」の運用概要	8
(1) 打上げ後の運用状況	8
(2) 地球観測運用によって得られた成果	9

. 「みどり」の運用異常について	
1 . 「みどり」の運用異常までの経緯及び状況	10
2 . 「みどり」の運用異常時等の状況	10
2 - 1 . テレメトリデータ等の解析結果	10
2 - 2 . 運用異常時の宇宙環境	12
2 - 3 . レーダ映像による評価	12
3 . 「みどり」の運用異常の原因究明	13
3 - 1 . 故障の木解析 ( F T A )	13
(1) 電力発生機能の低下の可能性についての検討	13
(2) 電力伝送機能の異常の可能性についての検討	14
(3) 電力制御機能の異常の可能性についての検討	14
(4) まとめ	14
3 - 2 . 運用異常発生前に発生した電力変動	14
(1) 運用異常発生前に発生した電力変動についての検討	14
(2) 運用異常時に残存する回路数の検討	15
3 - 3 . 電力伝送機能での異常発生の可能性についての検討	15
(1) 太陽電池パドル電力ラインで異常が発生する可能性についての検討	16
(2) 太陽電池パドルハーネスで異常が発生する可能性についての検討	17
(3) パドル駆動機構電力ラインで異常が発生する可能性についての検討	18
(4) パドル駆動機構接続ハーネスで異常が発生する可能性についての検討	19
(5) 電源系サブシステムで異常が発生する可能性についての検討	19
3 - 4 . 異常部位の絞り込み結果 ( まとめ )	20
3 - 5 . 異常発生のシナリオについての検討	21
(1) 太陽電池パドル電力ラインでの異常発生についての検討	21
(2) 太陽電池パドルハーネスでの機械的、電気的要因による異常発生に についての検討	22

3 - 6 . 異常発生シナリオの検証試験等	22
3 - 6 - 1 . 太陽電池パドル電力ラインに係る検証試験等	22
(1) 太陽電池セルでの帯電及び放電についての検証	22
(2) 銅ハーネス接続部での放電についての検証	23
3 - 6 - 2 . 太陽電池パドルハーネスに係る検証試験等	23
(1) 太陽電池パドルハーネスの熱解析	23
(2) 太陽電池パドルハーネスの損傷発生に係る検証	24
(3) 太陽電池パドルハーネスの帯電に係る検証	25
(4) 太陽電池パドルハーネスの放電に係る検証	25
(5) 衛星の姿勢変動に係る評価	26
3 - 7 . 異常発生シナリオに対しての検証結果(まとめ)	27
(1) 太陽電池パドル電力ラインでの異常発生シナリオ	27
(2) 太陽電池パドルハーネスでの異常発生シナリオ	27
. 今後の対策について	
1 . 当時の設計の考え方(背景分析)	30
(1) 太陽電池パドルハーネスの熱設計について	30
(2) 太陽電池パドルハーネスのMLIの接地について	31
(3) まとめ	31
2 . 電力系における今後の対策	32
(1) 電力ハーネスの設計	32
(2) MLIの帯電及び放電	32
(3) 太陽電池パドル上回路の耐放電性	33
(4) その他	33
3 . 今後の人工衛星開発への反映事項	33
3 - 1 . 今後の人工衛星開発の基本となる反映事項	34
(1) 開発に当たっての基本方針	34

(2)地上試験の充実	34
(3)人材養成等	34
3 - 2 . 各人工衛星の設計における反映事項	35
(1)サバイバル性の確保と故障モード影響解析	35
(2)軌道上等のデータの蓄積及び設計基準の整備	36
(3)微小な宇宙デブリの衝突に対する対策	36
4 . おわりに	36
. 図表集	38
. 用語・略語集	91
(参考1)環境観測技術衛星(ADEOS - )「みどり」の運用異常に係る原因究明及び今後の対策について	97
(参考2)宇宙開発委員会調査部会構成員	98
(参考3)環境観測技術衛星(ADEOS - )「みどり」の運用異常に係る原因究明及び今後の対策に係る宇宙開発委員会調査部会開催状況	99

はじめに

宇宙開発委員会調査部会は、環境観測技術衛星（ADEOS - ）「みどり」（以下「みどり」という。）の運用異常の原因究明及び今後の対策について、平成15年10月27日、宇宙開発委員会より調査審議の付託を受けた。

本部会では、審議付託以来、16回の会合を開催し、慎重かつ精力的に調査審議を進め、ここに本報告書を取りまとめた。

今回の原因究明に当たっては、「みどり」から得られたテレメトリデータの解析、検証試験、熱解析等の結果をもとに、調査審議を実施した。

なお、今回の原因究明の調査審議では、テレメトリデータが限られていたため、詳細な検討を行う必要があったので、「環境観測技術衛星（ADEOS - ）「みどり」の運用異常に係る電源系に関する検討会」を11回開催し、電源系の異常について集中的に検討を行った。

こうした調査審議の結果、今回の運用異常に係る原因究明と今後の対策について結論を取りまとめたものである。

現在、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（旧宇宙開発事業団を含む。以下「機構」という。）は、今後の衛星の確実な開発、打上げと運用に向けて万全を期することを目的として、今回の一連の不具合の直接的原因に対する対策だけでなく、設計の基本にまでさかのぼって人工衛星の総点検を行っている。

今回の原因究明の過程を通じて得られた知見や経験が、人工衛星の点検活動や研究開発に活かされることを強く希望する。



## ．「みどり」の概要

### 1．「みどり」の概要

#### (1)「みどり」の目的

「みどり」は、地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）「みどり」（以下「みどり」という。）の観測ミッションを継承し、地球温暖化等のグローバルな環境変動メカニズムの把握や、気象や漁業等の実利用面への貢献を図るとともに、観測技術の開発・高度化等を目的とする地球観測衛星である。

また、「みどり」には、米国航空宇宙局（NASA）ジェット推進研究所（JPL）、仏国立宇宙研究センター（CNES）の観測センサを搭載しており、国際協力プロジェクトでもある。

#### (2)「みどり」の概要

「みどり」は、一翼式太陽電池パドルを有する地球観測衛星で、高度約800キロの太陽同期準回帰軌道を101分で周回し、回帰日数は4日である。

「みどり」では、海外を含め5つの観測センサを搭載している（表 - 1 - 1）。「みどり」の形状及び主要諸元は、図 - 1 - 1、表 - 1 - 2 に示すとおりである。

### 2．「みどり」の電力システムの概要

今回の運用異常の原因となっている「みどり」の電力システムは、太陽電池パドル系及び電源系サブシステムから構成され、その概念図は図 - 2 - 1 に示すとおりである。

#### 2 - 1．太陽電池パドル系の概要

太陽電池パドル系は、太陽光から電力を発生する太陽電池パドル、発生した電力等を電源系サブシステムに伝えるパドル駆動機構及びそれらをつなぐ太陽電池パドルハーネスとパドル駆動機構接続ハーネスに分けられる。

## (1)太陽電池パドル

### 太陽電池パドル

「みどり」の太陽電池パドルは、観測センサの校正及び冷却のため、太陽光及び地球からの輻射光が当たらない深宇宙側が構造物で遮られないようにすることなどが必要なため、「みどり」と同様に一翼式太陽電池パドルを採用している。太陽電池パドルの構成及び主要諸元は、図 - 2 - 2、表 - 2 - 1 に示すとおりである。

太陽電池パドルは、高い収納性及び軽量化を実現するため、太陽電池セル（高効率シリコンセル）が膜面構造からなるフレキシブルなブランケット部（48枚のアレイブランケットと2枚のセルを貼っていないブランケットから成る。）に配置されている。ブランケット部には、発生した電力及び各種信号を伝達するため、銅ハーネスが埋め込まれている。

打上げ後は、まずブーム部を展開し、高剛性の伸展マストを伸ばして太陽電池パドルを展開する。ブランケット部は、定張力機構により定められた範囲の張力に保たれている。

また、太陽電池パドルには、その状態をモニタリングする加速度計や温度センサ等が取り付けられており、これらの信号は、電力線と同様に銅ハーネスから太陽電池パドルハーネスを通り、パドル駆動機構を経由して衛星本体に送られる。

### 太陽電池パドルの電力ライン

太陽電池パドルの電力ライン（以下「太陽電池パドル電力ライン」という。）は、1系当たり32回路の2系統（合計64回路）に分かれている。

各太陽電池セルは、インタコネクタ及びバスバーで接続され、870枚で1回路を構成している。各回路は、アレイブランケットに埋め込まれた銅ハーネスを通じてコネクタに接続される。

銅ハーネスは、ポリイミドフィルムでできたアレイブランケットの間に埋め込まれている。また、各ブランケット間は、ピンヒンジ及び接着ヒンジで結合されており、銅ハーネスははんだで接続されている。

太陽電池ブランケットの断面図は、図 - 2 - 3 に、太陽電池パドル上での銅ハーネス配線図は、図 - 2 - 4 に示すとおりである。

## (2)パドル駆動機構

太陽電池パドルは、太陽を追尾するため回転することから、パドル駆動機構を通じて、電源系に電力及び信号を伝えている。パドル駆動機構シャフト内部と衛星構体取り付け部付近内側の2箇所に温度センサが取り付けられており、スリップリング側及び衛星構体インタフェース温度をモニタリングしている。パドル駆動機構の構造は、図 - 2 - 5 に示すとおりである。

## (3)太陽電池パドルハーネス

太陽電池パドルとパドル駆動機構間は、電力または信号を伝達するため、196本のハーネス(以下「太陽電池パドルハーネス」という。)で接続されている。太陽電池パドルハーネスの設計に当たっては、熱及び放射線等の耐宇宙環境、ハーネスに流れる電流値、及び打上げ後にバネ力により駆動されるブーム部の展開動作への影響が考慮されている。

この観点から、被覆には耐宇宙環境性に優れる架橋E T F E(四フッ化エチレン-エチレン共重合)樹脂を用いた電線(ハーネス)が使われている(図 - 2 - 6)。また、ブーム部の展開動作を阻害しないためには、ハーネスの太さはできるだけ細いものが望ましく、太陽電池パドルで発生する最大電流値を考慮した上で決定されている。実装は、2本の柱で構成されるブーム部に沿って、ほぼ同じハーネス本数となるよう2つの束に分けられて束線ひもで固定されている。さらに、ハーネスが低温化し、剛性が高くなることにより展開時の抵抗力が増すことを避けるため、多層断熱材(M L I)で覆うこととした。これらは、「みどり」の設計を踏襲している。

一方、「みどり」の機能停止を踏まえた設計変更により、センサ等の信号線が増えたため、ハーネスの束ね方を変更している。電力線128本(64回路)及び信号線68本を、電力線が信号線に与えるノイズをできるだけ低減する観点から、104本の電力線と2本の信号線からなる束(以下「大電力ハーネス束」という。)と、24本の電力線と66本の信号線からなる束(以下「小電力ハーネス束」という。)の2つとした。

太陽電池パドルハーネス実装の概念図は、図 - 2 - 7 に示すとおりである。

## (4)パドル駆動機構電力ライン

太陽電池パドルハーネスからパドル駆動機構内部のスリップリングまで

はコネクタを介しハーネスで接続されておりパドル駆動機構内は、スリップリングとブラシが接触して導通している。板バネを介してブラシが固定されているブラシブロックは、ネジ止めにより筐体に固定されており、ブラシブロックと出力側コネクタ間もハーネスで接続されている。

パドル駆動機構と電源系サブシステム間は、パドル駆動機構接続ハーネスにより接続されている。

## 2 - 2 . 電源系サブシステムの概要

電源系は、電力制御器 ( P C U )、シャント ( S H N T )、バッテリー ( B A T ) 等から構成される。電源系の主要諸元は表 - 2 - 2 のとおりである。

### (1)電力制御器

「みどり」では、電力制御器により、バス電圧を日照中は約 5 0 . 0 ~ 5 2 . 0 V、日陰中は 3 3 . 5 ~ 5 0 . 0 V に維持している。また、日照中は、4 台のバッテリーを充電する。

なお、「みどり」では、シャントの電流値 ( シャント電流 ) 及び電力制御器の電流値 ( P C U 入力電流 ) をモニタリングしており、太陽電池パドルで発生する電流 ( 発生電流 ) は、シャント電流と P C U 入力電流の合計となる。

### (2)シャント

太陽電池セルは、軌道上で徐々に劣化するため、設計寿命の末期でも、必要な電力に対して余裕をもった電力を発生させる必要がある。このため、通常は、シャントにより、必要以上の電流を電力制御器に流さないように制御している。

日照が開始されると、太陽電池パドルでの発生電力が増加し、メインバス及びバッテリー充電に必要以上の電力が発生すると、シャント回路を短絡させることにより消費する ( シャント回路のオン )。

シャントの制御は、バス電圧に応じて動作し、太陽電池パドルの先端側の回路から順次シャント回路がオンとなる設計としている。

シャントの構成等は、図 - 2 - 8 に示すとおりである。

### 3. 「みどり」の開発経緯

#### (1) 「みどり」の開発経緯

##### 「みどり」の開発経緯

「みどり」は、「みどり」の後継機として、平成7年度から開発を開始した。機構は、開発に当たり、「みどり」の衛星バスを使用し、「みどり」の開発成果を最大限に活用することによりコストを低減し、地球観測のための高度なシステムの開発を目標とした。

「みどり」開発期間中に、平成8年8月に打ち上げられた「みどり」が、平成9年6月に太陽電池パドルの不具合により機能停止に陥ったことを受け、機構は、宇宙開発委員会での原因究明及びその対策についての調査検討結果を踏まえ、「みどり」の太陽電池パドル等の設計変更を行った。

さらに、機構は、H-A試験機2号機の打上げ結果を確実に後続号機の打上げに反映させることとし、その結果、「みどり」の打上げが平成13年度から平成14年度に変更された。このため、延期期間を有効活用し、新たな手法の適用によりこれまで発見できなかった潜在不具合を抽出し、対策をとることで、更なる開発の確実性向上を図ることを目的として「みどり」の特別点検を実施した。

##### 「みどり」の開発体制

「みどり」の開発体制は、製造企業がインテグレーション技術を蓄積し自立化を図ることが、今後の我が国の宇宙開発の発展にとって望ましいとの観点から、「みどり」で採用したインテグレータ方式（注）から、衛星バスに関してはプライム方式（注）を採用した。なお、太陽電池パドル等のバス機器の一部については、「みどり」の開発成果を最大限活用するとの観点から、機構が製造企業を予め指定している（図 - 3 - 1）。

（注）

インテグレータ方式：機構がサブシステムごとに複数の製造企業と契約し、  
機構が全体をとりまとめる方式

プライム方式：機構が製造企業1社と契約し、その製造企業が一元的に全体  
をとりまとめる方式

#### (2) 「みどり」の機能停止を踏まえた設計変更

「みどり」が、平成9年6月に太陽電池パドルの不具合のため機能停止し

たことを受け、宇宙開発委員会での原因究明及びその対策についての調査検討結果を踏まえ、機構は、同種の原因による異常が発生しないよう、「みどり」の太陽電池パドル等に対策を講じている。

太陽電池パドルについては、部分モデル試験等による検証を行った上で、定張力機構の見直し、ブランクセットピンヒンジ部の構造等の見直しを実施した。設計変更の妥当性を確認するため、設計検証試験を実施した（表 - 3 - 1）。

また、軌道上の各種データ収集のため、視覚モニタや加速度センサ等の機器を追加した。

#### 1) 太陽電池パドルハーネスの熱設計

##### 「みどり」の太陽電池パドルハーネスの熱設計

「みどり」の太陽電池パドルハーネスの熱設計では、ブーム部の展開機能不全が重大な不具合を招く（クリティカル）点であるとの認識から、前述のとおり、ハーネスの低温化を防止する目的でハーネスをMLIで巻く設計としている。

熱解析においては、MLIが細長い形状で太陽電池パドルハーネスに巻かれ、MLIの面積が小さいことを考慮し、NASAの文献も参考にした結果、MLIの実効放射率（注）の値は、低温側に安全となる0.2を採用した熱数学モデルによる解析を行い、詳細設計を確定した。

その後、太陽電池パドルの熱サイクル環境下での健全性評価の確認を目的とした熱真空試験を実施した。この試験では、ハーネスには微少電流を流しているが、軌道上でパドルに発生するレベルの電流は流していなかった。この熱真空試験の結果を基に、太陽電池パドルハーネス表面とそれを覆うMLIの外表面に装着した温度センサの実測データより、MLIの実効放射率の計算を行い、この計算結果が0.2となったことから、熱数学モデルが妥当であると判断した。

##### 「みどり」の太陽電池パドルハーネスの熱設計

「みどり」では、「みどり」と同様の理由から、太陽電池パドルハーネスをMLIで巻く設計とした。「みどり」の熱解析においては、「みどり」の軌道上の太陽電池パドルハーネス温度を計測していないこともあり、「み

どり」と同じ太陽電池パドルハーネスの熱数学モデルによる解析を行い、軌道上温度を予測して問題がないと判断し、詳細設計を確定した。

その後、「みどり」の機能停止に対する対策として、太陽電池パドルの信号線が増加されたことにより、ハーネスの束ね方が変更されたことを反映し、再度、同じ熱数学モデルによる太陽電池パドルの熱解析を実施した。その結果、軌道上で予測される太陽電池パドルハーネスの最高温度が143℃と、部品メーカーが規定した許容温度（以下「許容温度」という。）（200℃）以下であることから、その温度に問題がないと判断した。

（注）

MLIの実効放射率：MLIで覆った対象物表面とMLI最外層間の各層の放射・伝導熱結合を、実効的に一枚の熱結合に置き換えたパラメータで、熱の逃げやすさをいう。

## 2)多層断熱材（MLI）の接地

人工衛星のMLIは、機構が定めた電磁適合性設計基準に基づき、原則として接地することが要求されている。同基準では、設計上接地が困難な場合には、個別に技術検討を行い、措置を決定することとしている。

「みどり」では、開発当時、低軌道衛星の帯電・放電現象について、放電に起因して重大な故障に至る不具合事例が報告されておらず、「みどり」での設計を踏襲し、太陽電池パドルハーネスを覆うMLIを接地しないこととした。

## 4. 「みどり」の運用概要

### (1)打上げ後の運用状況

「みどり」は、平成14年12月14日10時31分（日本標準時、以下同じ。）に種子島宇宙センターよりH-Aロケット4号機により打ち上げられた。

その後、すべての初期機能確認を平成15年4月14日までに完了し、定常観測運用が開始されて以降、10月25日の運用異常に至るまで、校正・検証段階として24時間の全球観測運用を継続し、観測画像をインターネット

ト等に公開するとともに、観測データの校正・検証や処理アルゴリズムの更新等を行った。

## (2)地球観測運用によって得られた成果

「みどり」搭載の5つのミッション機器は、運用断念に至るまでの10ヶ月間に良好な観測データを取得している。

観測データにより得られた成果としては、高性能マイクロ波放射計（AMSR）により、広域の定量観測が難しかった土壌水分の観測、全天候下での全球の海面温度観測（世界で唯一）及び水循環の定量観測を行ったことがあげられる。歴代のマイクロ波放射計の中でも最高の空間分解能を持つAMSRの観測データは、数値天気予報モデルを通じて、毎日の天気予報の精度向上に役立つことが確認された。AMSRによって得られた成果は、図 4 - 1 に示すとおりである。

また、グローバル・イメージャ（GLI）の観測により、1 km解像度では世界初となる海上・陸上両方のエアロゾルを広域で捉えることに成功し、気候変動に大きく影響を与える雲・エアロゾルに関するデータセットを作成した。また、雪氷の不純物、粒径分布を求め、高緯度地域の融雪に係る世界初のデータセットを作成した。GLIによって得られた成果は、図 4 - 2 に示すとおりである。

さらに、衛星間通信技術の習得として、日本と直接交信できない地域で「みどり」が撮影した画像データを、静止軌道上のデータ中継技術衛星（DRTS）「こだま」を中継して、機構地球観測センター（埼玉県鳩山町）へリアルタイムで伝送することに成功し、Ka帯周波数衛星間通信技術を利用したデータ中継機能を実証することができた。Ka帯周波数衛星間通信によって得られた成果は、図 4 - 3 に示すとおりである。

この他、将来の観測センサの高性能化への対応や、観測技術の発展を目的として搭載した高精度姿勢軌道制御系や光ディスクデータレコーダ等の新規開発機器（技術）の軌道上実証を行い、今後の地球観測ミッション等に反映できる技術や知見を得ることができた。



## ．「みどり」の運用異常について

### 1．「みどり」の運用異常までの経緯及び状況

「みどり」は、平成14年12月14日に種子島宇宙センターよりH-Aロケット4号機により打ち上げられた。

平成15年10月25日7時28分頃、地球観測センターで予定していた地球観測データの受信ができなかった。このため、緊急に設定した外国局（マスパロマス局）による臨時交信において、8時49分頃に「みどり」が軽負荷モード（注）になっていることが判明した。さらに、8時55分頃、「みどり」のバス電源電圧低下に伴う通信機器動作停止により、衛星からの通信が途絶した。

機構は、通信途絶後、衛星との交信回復のため、国内外の追跡管制局等を使用してコマンド送信及びテレメトリデータの受信を試みたが、衛星データの受信はできなかった（図 - 1 - 1）。

その後、交信途絶直前の衛星状態のデータ及びドイツ応用自然科学研究協会（FGAN）高周波物理研究所（FHR）のレーダ観測結果を踏まえ、「みどり」の姿勢等を解析し、三軸姿勢を確立するために必要な電力の発生は期待できないことから、機構は、観測運用の復旧は困難であると判断し、平成15年10月31日に観測運用を断念した。

（注）

軽負荷モード：異常発生時に衛星が消費する電力を抑え、最低限の機能を維持し、衛星システム全体の安全を確保するモード。異常時に自動移行する。

### 2．「みどり」の運用異常時等の状況

#### 2-1．テレメトリデータ等の解析結果

テレメトリデータ等から確認された「みどり」の運用異常時等の状況は、以下のとおりである。

平成15年10月25日1時12分25秒頃、太陽電池パドルからの発生電流（PCU入力電流＋シャント電流）が低下し始めた。

1時13分40秒頃から、1系及び2系のシャント電流がほぼ同期するかたちで、1回路(約100W)の倍数で低下し、1時15分10秒頃に0A(ゼロ・アンペア)となった。また、シャント電流が0Aとなった以降は、バッテリーの充電電流が低下し、1時16分00秒頃よりバッテリーからの電力の供給を開始した。

なお、メインバスの電圧は、シャントがオフされることにより規定の範囲に維持されたが、その後はバッテリー電圧に依存して低下している。

1時16分30秒頃までに、1系と2系の発生電流の和は108Aから19Aまで減少し、その後19Aで維持された。

なお、108Aから19Aへの発生電流の低下は、発生電力に換算して、約6kWから約1kWの低下に相当している。

発生電力低下時の電源系テレメトリデータは、図 - 2 - 1 に示すとおりである。

この発生電流の低下する前後では、太陽電池パドルの温度、ストロークモニタ、張力モニタ等のデータに途絶や異常は観測されておらず、太陽電池パドルの挙動及び太陽追尾状態についての異常は見られない。

一方、シャント1及びシャント2の温度は、発生電流の低下に伴い、低下している。また、パドル駆動機構の温度は、発生電流の低下を境に低下している(図 - 2 - 2)。

1時13分から17分にかけて、「みどり」のロール・ピッチ・ヨーの3軸全ての姿勢角で、1回帰前の姿勢と比べてわずかながら変動が生じている。また、同時期に軌道高度もわずかに低下している。詳細な評価結果は、図 - 2 - 3 に示すとおりである。

その後もバッテリーからの電力の供給状態が続き、7時18分頃に低電圧(バッテリー1セルあたり1.1V)を検知したことから軽負荷モードに移行した(図 - 2 - 4)。

なお、軽負荷モードでは、その状態を維持するためには、衛星の状態にもよるが、約1.7kWの発生電力が必要であったと考えられる。

マスパロマス局におけるデータ受信中の8時55分15秒、衛星の電源電圧低下に伴う通信機器動作停止により、「みどり」からの通信が途絶した。

なお、1時12分頃に起きた発生電力低下後、約4時間半分の全てのテレメトリデータ及びミッションデータは正常に取得されており（その後は通信途絶まで断続的に取得）、それらのデータからは、太陽電池パドルの太陽追尾制御も含め、姿勢制御系に異常は認められず、GPS信号を用いた高精度姿勢制御状態を維持していた。

## 2 - 2 . 運用異常時の宇宙環境

平成15年10月23日に大規模な太陽フレアが発生したことが確認されている。

米国海洋大気庁の気象観測衛星17号（NOAA-17）のプラズマ観測データを解析した結果、「みどり」が運用異常時直前に横切った極域オーロラ帯では、静穏時の前日の結果と比べて30keV以上の電子の流量が2桁程度増加していた。

また、豪州の人工衛星（FedSat）のデータによると、「みどり」が運用異常時の直前に極域のオーロラ帯を通過する際、通常の10倍程度の大きな磁場変動（2000nT）を受けたと考えられる（図 - 2 - 5）。

なお、「みどり」に搭載された宇宙環境計測装置では、高エネルギー電子（0.4～4.7MeV）、陽子及びヘリウムの計測データに大きな変化は見られなかった。

## 2 - 3 . レーダ映像による評価

FGANの協力を得て、逆合成開口レーダにより、「みどり」の撮像を3回実施した。この結果、「みどり」の機能停止（平成9年6月）で観察されたような太陽電池パドルのブランケット部が完全に破断している状況は観測されなかった（図 - 2 - 6）。

### 3. 「みどり」の運用異常の原因究明

#### 3-1. 故障の木解析 (F T A)

テレメトリデータ等の解析を基に、発生電力が、約3分間に1系及び2系がほぼ同様に、約100Wの倍数で、約6kWから約1kWに低下したことを頂上事象とする故障の木解析 (F T A) を行った結果は、図 - 3 - 1 及び表 - 3 - 1 に示すとおりである。

発生電力が、約3分間に約6kWから約1kWに低下した要因として、次の3つの異常事象が考えられる。

- a) 電力発生機能の低下
- b) 電力伝送機能の異常
- c) 電力制御機能の異常

#### (1) 電力発生機能の低下の可能性についての検討

電力発生機能の低下としては、太陽電池パドルの指向方向の異常、太陽電池セルの機能劣化が考えられる。

「みどり」の電力異常時には、テレメトリデータより、太陽電池パドルの発生電力の低下につながるような姿勢異常、及び太陽電池パドルの太陽追尾に異常がなかったことが確認されている。

また、2-2で示したとおり、運用異常時に宇宙環境の変化が観測されているが、太陽電池セルを突然劣化させるような大量の放射線、大きな磁場変動ではなく、または大量のデブリ等は観測されていないため、発生電力を約6分の1にするような太陽電池セルの機能劣化の可能性はないと考える。

さらに、太陽電池パドルについて、機械的な破断が発生した可能性を検討するため、太陽電池パドルの挙動を示す各テレメトリデータにより、太陽電池パドルの主要振動モード毎の固有振動数と強度について評価し、電力低下発生後に変化がないことを確認した。この結果より、太陽電池パドルの機械的な破断の可能性はないと考える。なお、この点については、2-3で示したとおり、F G A Nのレーダ映像より、「みどり」で観測されたような太陽電池パドルのブラケット部が破断しているような状況は観測されていない。

以上のことから、電力発生機能の低下による電力低下の可能性はないと考える。

## (2) 電力伝送機能の異常の可能性についての検討

電力伝送機能の異常が発生する部位としては、太陽電池パドル電力ライン、太陽電池パドルハーネス、パドル駆動機構電力ライン、パドル駆動機構接続ハーネス、電源系サブシステムでの異常が考えられる。

## (3) 電力制御機能の異常の可能性についての検討

電力制御機能の異常としては、電源系の機器の故障による制御の異常が考えられる。

「みどり」の電力異常時には、発生電流の低下とともにシャント回路は順次オフされ、メインバスの電圧は正常に制御されている。また、シャント電流が0 Aとなった後も、バッテリーの充電電流制御によりメインバスの電圧を正常に制御しており、電力制御機能は設計どおり動作している。

このことから、電力制御機能の異常による電力低下の可能性はないと考える。

## (4) まとめ

以上の結果から推定すると、発生電力が、約3分間に1系及び2系がほぼ同様に、約100Wの倍数で、約6kWから約1kWに低下した要因は、電力伝送機能の異常によるものである。

## 3 - 2 . 運用異常発生前に発生した電力変動

### (1) 運用異常発生前に発生した電力変動についての検討

打上げ後から運用異常発生までに、「みどり」では、1回路（約100W）単位での発生電力の変動（低下及び復帰）が7回路で、合計10回発生している。運用異常発生前に発生した電力変動の特徴及び推定される原因は以下のとおりである。

なお、これまでに取得されたテレメトリデータで、これ以上の原因の特定に至っていないが、約6kWから約1kWに発生電力が低下した運用異常の原因の予兆になっていた可能性は見出せなかった。

シャント動作時の2回路分の電力変動

シャント回路がオンになる際、本来1回路分の動作であるものが、2回路

分の電力変動が発生している。この原因としては、シャントより上流側でのプラス側ハーネス同士の短絡（ショート）、または直列接続されているセルの途中とプラス側銅ハーネスの短絡の可能性が考えられる。

#### 日照全期間における発生電力の低下

シャントの動作にかかわらず、発生電力が低下している。この原因としては、太陽電池パドル駆動機構より上流側での短絡、またはプラス側かマイナス側の開放（断線）故障の可能性が考えられる。

#### 日陰明けに低下していた発生電力の日照中の復帰

日陰明けには低下していた発生電力が、日照中に、シャント電流がある電流値となった時点で復帰する。この原因としては、ある抵抗を有したシャント上流側での短絡、あるいは直列接続されているセルの途中での短絡、またはシャント内のブロッキングダイオードの開放故障の可能性が考えられる。

### (2)運用異常時に残存する回路数の検討

上記の電力変動について、シャント動作の時期等の解析により、運用異常が発生する直前には2回路分の発生電力が低下し、62回路になっていたと考える。

また、この2回路のうち、1回路は大電力ハーネス束を經由する回路であると考えられるが、もう1回路が、どちらのハーネス束を經由するかについては特定に至っていない。

### 3 - 3 . 電力伝送機能での異常発生の可能性についての検討

電力伝送機能を有する太陽電池パドル系及び電源系サブシステムにおいて、異常が発生する可能性のある部位は、次のとおりである(図 - 3 - 2 )。

- a)太陽電池パドル電力ライン
- b)太陽電池パドルハーネス
- c)パドル駆動機構電力ライン
- d)パドル駆動機構接続ハーネス
- e)電源系サブシステム

なお、異常発生の可能性の検討に当たっては、故障モードを電気回路における開放（断線）または短絡（ショート）とし、故障を生じさせる要因としては、熱サイクル、振動、デブリ等の機械的要因、帯電・放電等の電氣的要因、放射線、電子線、原子状酸素等の宇宙環境要因及び製造不良等が考えられる。

このうち、宇宙環境要因については、運用異常時には、電力伝送機能に異常を引き起こすような大量の放射線や大きな磁場変動は観測されていない。また、製造記録等を確認した結果、異常は認められないことから、製造不良等に伴う異常発生の可能性は低いと考える。

#### (1) 太陽電池パドル電力ラインで異常が発生する可能性についての検討

太陽電池パドル電力ラインで異常が発生する要因としては、機械的要因、電氣的要因が考えられる。

##### 機械的要因についての検討

太陽電池パドル電力ラインでの機械的要因による異常としては、はんだ付け部とコネクタ部の破断が考えられる。

はんだ付け部としては、太陽電池セル部、ブランケット間接続部（拌み部）、ミニブランケット部があり、そのはんだの破断が考えられる。これらの箇所におけるテレメトリデータに基づく軌道上予測温度は、すべてはんだ熔融温度以下である。また、太陽電池セル部及びブランケット間接続部では、熱サイクル試験において問題ないことを確認している。

太陽電池パドルの機械的な破断については、3 - 1 . (1)と同様に、可能性はないと考える。また、電力異常後においても、ブランケット部中央部の銅ハーネスで送られる信号線からのデータは正常に送信されており、断線していないことから、電力ラインのみの破断は考えられない。

ハーネスとコネクタとの接続は、すべて圧着タイプのコネクタを使用しており、1系及び2系がほぼ同様に、パドルの機械的挙動に変化を現さずに破断した可能性はないと考える。

##### 電氣的要因についての検討

太陽電池パドル電力ラインでの電氣的要因による異常としては、帯電・放電による太陽電池セルと銅ハーネスの間の短絡、ブランケット間接続部にお

ける銅ハーネス接続部の開放または短絡、あるいは太陽電池セル間の短絡によるものが考えられ、それぞれが連鎖的に波及し、約3分間で異常発生直前の62回路のうち51回路の開放または短絡が発生した可能性は否定できない。

#### まとめ

以上のことから、太陽電池パドル電力ラインにおいて、機械的要因によって異常が発生した可能性はないと考えるが、電気的要因によって異常が発生した可能性は否定できない。

#### (2)太陽電池パドルハーネスで異常が発生する可能性についての検討

太陽電池パドルハーネスで異常が発生する要因としては、接続部での機械的要因と、太陽電池パドルハーネスの機械的要因、電気的要因が考えられる。

##### 接続部における機械的要因についての検討

太陽電池パドルハーネスの接続部は、コネクタにより接続されており、機械的要因による異常が考えられる。

コネクタは、ねじ止めされており、5個のコネクタのうち電力低下分に相当する4個のコネクタが約3分間に順次、劣化または破損した可能性は低いと考える。

##### 太陽電池パドルハーネスにおける機械的要因、電気的要因についての検討

太陽電池パドルハーネスの異常が発生する事象としては、機械的要因、電気的要因によって、順次開放または短絡することにより電力低下が発生することが考えられる。前述のとおり、今回の電力低下の特徴は、約3分間に1系及び2系がほぼ同様に、約100Wの倍数で、約6kWから約1kWまで低下したことであり、この発生電力の低下は、62回路が11回路に減少したことに相当する。

「みどり」の太陽電池パドルハーネスは、大電力ハーネス束と小電力ハーネス束の2つに分けられている。大電力ハーネス束には、1系と2系の両方の電力用のハーネス合計52回路(104本)及び信号線が束ねられ、小電力ハーネス束には、1系と2系の両方の電力用のハーネス合計12回路(24本)及び信号線が束ねられており、図3.2で示したとおり、そ



れぞれ接地されていないMLIで覆われている。

発生電力については、3 - 2 . (2)で示したとおり、異常発生前において、既に2回路分が低下していたと考えられている。この2回路のうち1系か2系か特定されていない1回路が小電力ハーネス束を經由した回路であり、大電力ハーネス束の51回路すべてが、約3分間で開放または短絡したと考え、これまでに判明している現象と良く一致している。

さらに、小電力ハーネス束には信号線も一緒に束ねられており、その信号線の信号に異常が見られない。信号線に異常がなく、電力ハーネスのみが開放または短絡する事象は考えにくいことから、小電力ハーネス束に異常が発生した可能性は低いと考える。

#### まとめ

以上のことから、電力低下は、太陽電池パドルハーネスの大電力ハーネス束の異常により発生した可能性が高いと考える。

### (3)パドル駆動機構電力ラインで異常が発生する可能性についての検討

パドル駆動機構電力ラインで異常が発生する要因としては、機械的要因、電気的要因が考えられる。

#### 機械的要因についての検討

コネクタは、ねじ止めされており、5個のコネクタのうち電力低下分に相当する4個のコネクタが約3分間に順次、破損する可能性は低いと考える。

また、パドル駆動機構内のスリップリングとブラシの間の開放については、ブラシが冗長構成になっていること及びブラシブロックがねじ止めされていることを考慮すると、51個のブラシが、約3分間で順次開放に至る可能性は低いと考える。

さらに、パドル駆動機構内部にはんだ付けを用いているが、テレメトリデータに基づく軌道上予測温度ははんだ溶融温度より十分低く、はんだが順次溶融した可能性は低いと考える。

#### 電気的要因についての検討

パドル駆動機構電力ラインが電気的要因により短絡する可能性が考えられる。しかし、テレメトリデータは、電力低下の発生と同時にパドル駆動機

構内の温度も低下していることを示しているので、パドル駆動機構内の電力ラインが短絡した可能性はないと考える。

#### まとめ

以上のことから、パドル駆動機構電力ラインで異常が発生した可能性は低いと考える。

#### (4)パドル駆動機構接続ハーネスで異常が発生する可能性についての検討

パドル駆動機構接続ハーネスで異常が発生する要因としては、ハーネスまたはコネクタ部における機械的要因と、ハーネスにおける電気的要因が考えられる。

##### 機械的要因についての検討

パドル駆動機構接続ハーネスの開放の可能性について、パドル駆動機構接続ハーネスは、複数のコネクタに分岐して接続されているため、51回路分のハーネスが約3分間に順次開放した可能性は低いと考える。

パドル駆動機構接続ハーネスの短絡の可能性について、テレメトリデータは、電力低下の発生と同時にパドル駆動機構内の温度も低下していることを示しているので、短絡した可能性はないと考える。

##### 電気的要因についての検討

パドル駆動機構接続ハーネスは、MLIで巻かれているが、接地されているため、帯電及び放電が発生する可能性は低く、帯電及び放電によって発生電力が約6kWから約1kWに低下する可能性は低いと考える。

#### まとめ

以上のことから、パドル駆動機構接続ハーネスで異常が発生した可能性は低いと考える。

#### (5)電源系サブシステムで異常が発生する可能性についての検討

##### 機械的要因についての検討

発生電力の低下及びパドル駆動機構の温度低下を示すテレメトリデータの事象に一致する電力系サブシステムにおける故障の要因は、シャント回路

のブロッキングダイオードの開放が考えられる。ブロッキングダイオード開放故障の可能性として異常発熱が考えられるが、それらはアルミニウム合金製の台（シャシ）に並べて実装されており、仮に1つのダイオードが異常により定格ジャンクション温度上限（200）になっても、隣接するダイオードは最大7程度しか上昇せず、異常が波及することはない。また、ブロッキングダイオードの接続にはんだ付けが用いられているが、軌道上予測温度からは、はんだが順次溶融する可能性は低いと考える。

なお、短絡故障の場合は、発生電力の低下とならずテレメトリデータと一致しない。

#### 電氣的要因についての検討

ブロッキングダイオードのサージ電流特性は、図 - 3 - 3 に示すとおりであり、この電流値以下であれば故障には至らない。また、仮に上記の値を越えるサージ電流がブロッキングダイオードに流れた場合でも、使用しているブロッキングダイオードはメタロジカルボンディングで接合したタイプ（溶接タイプ）であるため、過大サージ電流の故障モードとしては短絡であり、この場合でも発生電力の低下とならずテレメトリデータと一致しない。

また、シャント回路の1系と2系は独立の筐体であり、偶発故障により、それぞれのブロッキングダイオードで、1系及び2系がほぼ同様に約3分間で51個の開放故障が発生する可能性は低いと考える。

#### まとめ

以上のことから、電源系サブシステムで異常が発生した可能性は低いと考える。

### 3 - 4 . 異常部位の絞り込み結果（まとめ）

以上の発生電力低下に係る故障の木解析（FTA）の結果、可能性のある故障部位及び発生事象を、以下のように推定した。

#### 太陽電池パドルの電力ライン

- ・ 太陽電池セルと銅ハーネス間の短絡
- ・ 銅ハーネス接続部の開放または短絡
- ・ 太陽電池セル間の短絡

## 太陽電池パドルハーネス

- ・太陽電池パドルの大電力ハーネス束の開放または短絡

### 3 - 5 . 異常発生シナリオについての検討

これまでの検討結果から、太陽電池パドル電力ラインでの電氣的要因による異常、または太陽電池パドルハーネスの大電力ハーネス束での機械的、電氣的要因による異常により、電力低下が発生したと推定できるが、異常発生シナリオ（仮説）について検討する。

#### (1) 太陽電池パドル電力ラインでの異常発生についての検討

太陽電池パドル電力ラインでの電氣的要因による異常発生としては、次の事象が考えられる。

##### 太陽電池セルと銅ハーネス間での短絡

太陽電池パドルのブラケット部は、ポリイミドシート（高分子化合物）の間に銅ハーネスが埋め込まれ、そのシートの上に太陽電池セルがシリコン樹脂で貼られている。このポリイミドシートの損傷等により、太陽電池セル裏面（アレイ回路）と銅ハーネス間での放電による短絡が考えられる。このような短絡が、約3分間で62回路のうち51回路に発生することが考えられる。

##### 銅ハーネス接続部の開放または短絡

太陽電池パドルのブラケットは、ピンヒンジ及び接着ヒンジで結合されており、銅ハーネスははんだで接続されている。このはんだ付け部において、隣接する銅ハーネス間（はんだ付けランド間）での放電による開放または短絡が考えられる。このような開放または短絡が、約3分間で62回路のうち51回路に発生することが考えられる。

##### 太陽電池セル間での短絡

太陽電池セルの端部間で放電による短絡が考えられる。このような短絡が、約3分間で62回路のうち51回路に発生することが考えられる。

## (2)太陽電池パドルハーネスでの機械的、電氣的要因による異常発生についての検討

太陽電池パドルハーネスの大電力ハーネス束での機械的、電氣的要因による異常発生としては、隣接するハーネス（プラス側とマイナス側）間で短絡が発生し、その短絡による発熱により、さらに隣接するハーネスへ波及し、約3分間でハーネス束全体が開放または短絡することが考えられる。

### 3 - 6 . 異常発生シナリオの検証試験等

3 - 5 で示した異常発生シナリオについて、シナリオの成立に必要な事象が生じる可能性についての評価を行うため、検証試験及び関連事象の解析を実施した。

#### 3 - 6 - 1 . 太陽電池パドル電力ラインに係る検証試験等

##### (1)太陽電池セルでの帯電及び放電についての検証

太陽電池セル裏面（アレイ回路）での帯電及び放電については、技術試験衛星型（ETS - ）等で放電試験が実施されている。「みどり」とETS - のアレイ回路断面及び試験環境の比較は、図 - 3 - 4 に示すとおりである。

ETS - の試験結果から、アレイ回路とCFRP基板間のポリイミドシートに損傷がある場合には、単発のパルス放電（トリガ放電と呼ばれる）により発生したプラズマを介し、損傷部位で持続放電が発生し1回路が短絡したことが確認されているが、隣接回路への波及は確認されていない。

また、ETS - のカバーガラスとインタコネクタ間の放電を引き金（トリガ）として、隣接セル間の電位差が130Vの場合、1回路の持続放電及び短絡が確認されているが、隣接回路への波及は確認されていない。

この2つの実験結果について、「みどり」と比較すると、軌道上の環境や、アレイ回路の電位差及び太陽電池セル間の間隔等から、「みどり」はETS - よりも太陽電池セル裏面と銅ハーネス間の持続放電による短絡及び隣接回路への波及、並びに太陽電池セル間の持続放電による短絡及び隣接回路への波及は生じにくいと考える。

## (2)銅ハーネス接続部での放電についての検証

太陽電池パドルの部分試作品を用いて、銅ハーネス接続部における放電についての検証試験を実施した(図 - 3 - 5)。

軌道上と同等のプラズマ環境下において、銅ハーネス接続部のはんだ付けランド間において、トリガ放電が確認されたが、持続放電及び隣接回路への放電の波及は確認されなかった。

## 3 - 6 - 2 . 太陽電池パドルハーネスに係る検証試験等

### (1)太陽電池パドルハーネスの熱解析

#### 1)熱解析の条件

太陽電池パドルハーネスの軌道上温度について、原因究明の一環として、新たに熱平衡試験を実施した(図 - 3 - 6)。この実験では、ハーネスに軌道上と同等の電流を流してブーム及びハーネスの温度を測定し、新たな熱数学モデルを構築した。設計時点で使用した熱数学モデルからの主な改良点は、次のとおりである。

#### M L Iの実効放射率の見直し

設計時には、 . 3 . (2)で示したとおり、M L I実効放射率を0 . 2としていたが、上記熱平衡試験結果と実装状況にあわせた要素試験での評価により、ブームにおいて束線ひもで固定した箇所を0 . 05とした。

#### 熱数学モデルの詳細化

熱数学モデルは、太陽電池パドルハーネス内部の温度勾配を正確に予測できるように、設計時点の10節点から34節点に増加することなどの改良を行った。

#### 2)熱解析の結果

新たな熱数学モデルによる解析の結果、最も高温となる部分は大電力ハーネス束の中心部であり、その中心部での予測温度サイクルは、約100 ~ 230 (注)となった。また、大電力ハーネス束の中心部と周辺部との温度差は、約15 である。

設計時の大電力ハーネス束の予測最高温度は約143 であったが、今回

の新たな熱解析の結果から、最高温度は約 230 まで上昇していた可能性が高いと考えられ、ハーネスの許容温度(200)を超えていた可能性が高い。

(注)

この熱解析には、10～15 の解析誤差が含まれているため、予測最高温度は  $230 \pm 15$  となる。

## (2)太陽電池パドルハーネスの損傷発生に係る検証

### 温度サイクル試験

軌道上での温度予測結果を踏まえ、「みどり」の太陽電池パドルハーネスが遭遇したと思われる温度サイクル環境が、ハーネスの被覆に与える影響を確認することを目的とした検証試験を実施した。

試験は、約15分で約100～250 の温度サイクルをかけて、ハーネスの被覆での損傷の発生を確認するものである。約5000サイクルを経過した時点で、少なくとも被覆の一方に芯線に達する損傷が発生したことが確認された。その後の顕微鏡観察により、被覆同士が固着していたところで損傷が発見された(図 - 3 - 7)。

このことから、高温となったハーネスの被覆同士が固着することにより、少なくとも被覆の一方に芯線に達する損傷が発生する可能性が高いと考える。

### 高温放置・温度サイクル試験

前述の温度サイクル試験において、被覆の固着部で損傷が発生したことに着目し、ハーネスの被覆同士の固着の再現確認等を目的とした検証試験を実施した。この試験では、ハーネスを高温下に放置した後、130 差の温度サイクルをかけた。

高温放置の結果、ハーネスの被覆同士の固着が確認された。その後、当該ハーネスは温度サイクル試験に供され、約2400サイクルを経過した時点で、少なくとも被覆の一方に芯線に達する損傷の発生が確認された(図 - 3 - 8)。

このことから、ハーネスの被覆同士が固着することにより、芯線に達する損傷が発生する可能性が高いと考えられるが、この実験で見られるハーネスの損傷がどのようなメカニズムで発生するののかの特定には至っていない。

### (3) 太陽電池パドルハーネスの帯電に係る検証

#### MLI帯電電位の解析

NOAA-17が平成15年10月25日にオーロラ帯を通過した時に観測した電子流入量から計算すると、「みどり」の太陽電池パドルハーネスのMLIとハーネス間には、少なくとも約-1200Vの帯電電位が発生した可能性が高いと考えられる。

なお、アメリカ空軍が使っている軍事衛星のDMSP (Defense Meteorological Satellite Program) 衛星 (高度約840km) や、「みどり」の観測例から推定すると、「みどり」の太陽電池パドルハーネスのMLIは、每周回ごとに日陰、またはオーロラ帯を通過時に帯電し、ハーネスとの間に1000V程度の電位差を生じていた可能性は高いと考える。

#### MLI帯電電位検証試験

「みどり」の実機と同等のMLIを用いて、外側から電子照射し、MLIの帯電電位の検証試験を行ったところ、約-1200Vに帯電することが確認された。

### (4) 太陽電池パドルハーネスの放電に係る検証

太陽電池パドルハーネスは、MLIで覆われていることから、ハーネスとMLIとの間での放電の発生を確認する目的で試験を実施した。

#### MLIとハーネス間でのトリガ放電に係る検証

「みどり」と同等のハーネスを用い、被覆に芯線を露出させる環状の傷を付けたハーネス (損傷ハーネス) を2本対向させ、真空チャンバ内でMLIに電位差を与え、放電が発生することの確認を行った。試験条件等は、図-3-9に示すとおりである。

この結果、MLIと1本の損傷ハーネスの間でトリガ放電が発生するとともに、隣接したもう1本の損傷ハーネス間にも単発的な放電が確認された。

#### ハーネス間の持続放電及び隣接ハーネスへの波及に係る検証

ハーネス間で発生した単発的な放電から、持続的に放電が継続すること及び隣接ハーネスへ波及することの確認を目的とした検証試験を実施した。ハーネス間の持続放電確認試験の概要は図-3-10に、多数回路波及確認



試験の概要は図 - 3 - 1 1 に示すとおりである。

この結果、損傷ハーネスの芯線の露出部が対向している場合は、損傷ハーネス間の単発的放電が発生した箇所で損傷ハーネスの被覆が炭化され、この炭化された被覆（炭化導電路）を介し、発熱を伴う短絡が持続（持続放電）し、隣接する無傷のハーネスへも波及することが確認された。

さらに、多数の回路を用いて検証試験を2回行った結果、1回目の試験では、1組のハーネスの持続放電は隣接するハーネスに波及し、約30秒間で10回路すべての回路が開放または短絡することが確認された。また、2回目の試験では、約30秒間で8回路が開放または短絡することが確認された。

以上のことから、MLIと損傷ハーネス間でのトリガ放電及び損傷ハーネス間の単発放電が繰り返されることにより、損傷ハーネスの被覆が炭化し、隣接する損傷ハーネス間に炭化導電路が形成され、これを介して発熱を伴う短絡（持続放電）に発展すると考える。さらに、損傷ハーネス間の持続放電による発熱が隣接するハーネスに波及し、その被覆が熱損傷することにより生じた炭化導電路を介して発熱を伴う短絡が新たに発生し、数分間で隣接するハーネスに次々と波及し、最終的にハーネス束全体の回路の開放または短絡に至った可能性があると考えられる。

#### MLI内圧に係る検証

太陽電池パドルハーネスは、MLIで巻かれていることから、軌道上の温度変化により、その内圧の変化を確認することを目的とした検証試験を実施した。

この結果、温度の上昇に伴い、MLIの内圧も上昇することを確認した。

このことから、太陽電池パドルハーネスが高温になることにより、MLI内部の圧力が高くなり、放電が発生しやすい環境が作られた可能性があると考えられる。

#### (5)衛星の姿勢変動に係る評価

「みどり」の電力低下が発生している10月25日1時13分から17分にかけて、ロール・ピッチ・ヨーの3軸全ての姿勢角で、1回帰前の姿勢と比べてわずかながら変動が生じている。また、同時期に軌道高度もわずかに低下している。

この変動が生じている際の衛星の動作による擾乱量を差し引いた後の姿

勢変動量及び角運動量は、それぞれ次のとおりと推定される。

ロール： - 0 . 0 0 4 度、 - 1 . 0 N m s

ピッチ： + 0 . 0 0 3 度、 + 0 . 6 N m s

ヨー　： - 0 . 0 0 5 度、 - 2 . 0 N m s

この蓄積された角運動量が、何らかの力により発生したと仮定し、力積の作用点が存在する範囲を求めた結果は、図 - 3 - 1 2 に示すとおりである。

3 - 4 で示したとおり、これまでの F T A による異常部位の絞り込み結果を考慮すると、太陽電池パドルハーネスから太陽電池ブランケットの一部の範囲に力が加わっている可能性が高いと考える。

また、ハーネスを高温で加熱した場合の発生ガス量や組成を測定し、推定した上記の力は、「太陽電池パドルハーネスの熱損傷に伴って発生したガスが、M L I の隙間や破損箇所から噴出したために生じた」と仮定すれば説明が可能である。

### 3 - 7 . 異常発生シナリオに対する検証結果（まとめ）

「みどり」では、運用異常までに得られたテレメトリデータが限られているが、これまでの検証試験等の結果から、異常が発生したシナリオを推定した。

#### (1) 太陽電池パドル電力ラインでの異常発生シナリオ

太陽電池パドル電力ラインでは、これまでの検証試験等からは、持続放電により 1 回路の開放または短絡が発生する可能性がある。約 3 分間で異常発生直前の 6 2 回路のうち 5 1 回路にも及ぶ開放または短絡に至る要因は確認されていないが、何らかの要因により開放または短絡が継続し他の回路に及ぶ可能性は、現時点では否定しきれない。

#### (2) 太陽電池パドルハーネスでの異常発生シナリオ

「みどり」は、打上げから運用異常が発生するまでの約 1 0 ヶ月間で、約 4 4 0 0 回の熱サイクルを受けている。この間に、太陽電池パドルハーネスは、日照中にそれ自身の発熱により、高温時には許容温度（2 0 0 ）を超え、2 3 0 まで上昇していた可能性が高い。このことを踏まえ、これまで行ってきた検証試験等から推定する有力なシナリオは、以下のとおりであ

る（図 - 3 - 13）。

#### 1) 10月25日以前の事象

##### ハーネスの損傷

ハーネスが高温となり固着することにより、被覆に損傷が発生する。

なお、損傷がいつ発生するかという時期は特定できないが、かなりの回数の熱サイクルを受けた後に損傷が発生することが、検証試験で確認されている。

一方、微小な宇宙デブリの衝突によりハーネス被覆が損傷した可能性は否定できない。

##### M L I とハーネス間のトリガ放電及びハーネス間の単発放電

日陰中またはオーロラ帯通過時に、接地されていない太陽電池パドルハーネスの M L I が帯電し、その帯電した M L I と損傷したハーネス間でトリガ放電が起こり、放電プラズマが発生する。この放電プラズマを介して、損傷が隣接しているハーネス間で単発放電が発生する。

トリガ放電、ハーネス間の単発放電が繰り返し発生することにより、損傷したハーネス間に炭化導電路が形成され、成長する。

#### 2) 10月25日の事象

運用異常が起こる直前の10月25日0時50分前後に、「みどり」は、極域のオーロラ帯を通過している。

##### ハーネス間の持続放電

「みどり」が極域のオーロラ帯を通過する際、M L I が通常よりも多く帯電し、放電が起こりやすい環境となっていたと考えられる。なお、「みどり」とほぼ同時刻に極域のオーロラ帯を通過した N O A A - 17 は、通常よりも2桁程度多い電子の流量があったことを観測している。

M L I とハーネス間のトリガ放電及びそれに続くハーネス間の単発放電から、損傷したハーネス間にできていた炭化導電路を介して発熱を伴う短絡（持続放電）に発展した。

#### 隣接ハーネスへの波及

1組の損傷ハーネスが、持続放電による発熱により熱損傷し、開放または短絡に至る。また、熱損傷による発熱が隣接するハーネスに波及し、その被覆が熱損傷することにより生じた炭化導電路を介して発熱を伴う短絡が新たに発生し、ハーネスの開放または短絡が継続する。この事象が徐々にハーネス束全体に至り、大電力ハーネス束が開放または短絡した。

なお、ハーネスの熱損傷により発生したガスがMLIから噴出したと仮定すれば、電力低下中に起きた「みどり」の姿勢変動及び軌道低下も説明が可能である。

## ．今後の対策について

「みどり」の運用異常は、太陽電池パドルの熱設計の基本段階において、標準的な温度解析や熱設計は実施されていたが、太陽電池パドルハーネスの高温側についての温度環境に適切な注意が払われず、その軌道上での温度上昇が第一義的な誘因となって発生した可能性が高い。なお、MLIを接地しないことによる帯電及び放電が、ハーネスの劣化と相まって電力低下に発展した可能性がある。

その背景、直接的な対応策とあわせて、審議の過程で明らかになった今後の人工衛星開発への反映事項は、以下に示すとおりである。

### １．当時の設計の考え方（背景分析）

#### (1)太陽電池パドルハーネスの熱設計について

「みどり」は、「みどり」による地球観測を継続することを目的とし、開発開始当初は、「みどり」の運用が終了する平成10年度の打上げを目標に開発された地球観測衛星である。

「みどり」の太陽電池パドルハーネスの設計においては、「みどり」と同様の設計方法を採用したが、「みどり」の開発時に太陽電池パドルハーネスの温度解析に使用したMLIの実効放射率の値が結果的に適切でなかったにもかかわらず、3. (2)で示した熱真空試験の結果からMLIの実効放射率の値が妥当であると判断したため、高温側でも十分な余裕（マージン）があると判断したとしている。加えて、万が一電力ハーネスの許容温度を超えて使用した場合にどのような不具合を発生させるかの認識が足りなかったため、その後の熱真空試験や、設計審査会においても、電力ハーネス自身の発熱とその影響が議論されることがなかった。

また、「みどり」の開発を行っていた、平成9年6月に、「みどり」が太陽電池パドルの不具合により機能停止し、その対策を行っている。この際に、太陽電池パドルハーネスの束ね方を変更しているが、機構及び製造企業は、3. (2)で示したとおり、当初の設計思想に沿っていること、電氣的及び熱的マージン上も問題ないと判断したことから、改めて議論されることはなかったとしている。

## (2) 太陽電池パドルハーネスのMLIの接地について

「みどり」の太陽電池パドルハーネスのMLIの接地については、設計上、当該部位の接地が困難であることから、機構の電磁適合性設計基準に基づき、電磁適合性についての技術検討を行い、MLIが帯電しても搭載機器へのノイズの影響はないと判断し接地しないこととした。

低軌道衛星の帯電及び放電現象については、「みどり」の開発当時、重大な故障に至る不具合事例は報告されておらず、このため、太陽電池パドルハーネスの劣化と相まって、帯電及び放電が発生電力の低下という重大な不具合に発展する可能性についての議論がなかった。

## (3) まとめ

「みどり」の運用異常の第一義的な誘因は、前述のとおり、太陽電池パドルハーネスが、軌道上で設計時の予測温度以上になった可能性が高いことである。

今回の運用異常において、電力ハーネスがクリティカルな高発熱体になり得るとの認識があれば、問題の芽は摘みとられていたと考えるが、仮に、そのような認識の不足があっても、問題点が識別できた可能性として以下の点を指摘しておきたい。

- ・ 当該部位が「みどり」からの変更点であり、「みどり」では、1本当たり流す電流値も束ねる本数も多くなっていることから、変更点として意識を集中する。
- ・ 「みどり」でも、温度特性に対する熱設計への配慮不足が一因となって運用異常が発生している。温度環境の解析について、直近を含む過去の不具合事例を水平展開することに十分留意するとともに、一側面からの検討で済ませず、十分に検討する。
- ・ 温度予測には、「みどり」で用いたパラメータを使っている。「みどり」で想定値の検証に用いた試験が不十分であったため、その誤差が「みどり」での温度予測の誤差につながった。今回の原因究明において実施した調査と同じ慎重さで、モデル化とシミュレーションを行い、それらの妥当性については地上試験により検証を行う。

今回のハーネスで発生した問題は、変更点管理（「みどり」から「みどり」へ）の重要性を示すとともに、システム全体に致命的な影響を与え得る

にもかかわらず、必ずしも十分な注意が払われなかった事例ともなっている。

## 2．電力系における今後の対策

### (1)電力ハーネスの設計

今回の原因究明から、「みどり」の太陽電池パドルハーネスについては、束線規定(MIL-STD-975)を適用し、電氣的に余裕がある電力ハーネスを選択していたが、熱設計の段階での問題点があげられている。

「みどり」のように、電力ハーネスを束ねた形態で使用する場合には、そのハーネスを一つの独立したコンポーネントとして位置付け、熱設計及び検証を行う。特に、電力ハーネスを束ね、大電力を流したりする場合には、そのハーネスそのものが発熱することを認識した熱設計及び検証を行う。

この点について、電力ハーネスの設計では、電氣的な設計と熱的な設計が密接に関連しており、その両面から設計の妥当性を評価する必要がある。

また、衛星の設計寿命が長くなっていることを踏まえ、電力ハーネスがおかれる軌道上環境(熱、帯電・放電、放射線、原子状酸素、並びにこれらの複合環境)、及びそれらによる材料の劣化について、解析や試験による評価を行い、設計に反映する。設計者は、解析や試験による評価の結果を理解した上で、材料に対する要求値を設定し、さらに設計の結果に余裕(マージン)が十分あるかという評価を行って材料を選定し、仕様値を決定する。

### (2)MLIの帯電及び放電

「みどり」でのMLIの接地については、電磁適合性設計基準に基づく対応を行っているが、設計当時は、低軌道衛星についての帯電及び放電現象についての知見が十分ではなく、重大な不具合の要因になり得るという認識もなかった。

今後も、MLIは原則接地とすべきであるが、設計上の制約からMLIを接地できない場合には、今回の原因究明の過程で知見として得られたように、帯電により部分的には1000V以上の電位差が生じ得ること、またMLIの帯電及び放電が、他の要因と結びついて、発生電力低下のような重大な不具合を誘発する可能性があることに留意し、帯電及び放電の影響の有無を評価すべきである。

人工衛星の帯電及び放電現象については、軌道上の宇宙環境データを継続

的に蓄積し、設計に資するよう整理する。この点については、広く内外の資料・文献等を参考にすることは当然のことながら、国際会議、学会等の場を通じて、情報収集を継続することは有益である。

### (3)太陽電池パドル上回路の耐放電性

太陽電池パドル電力ラインにおける開放または短絡が継続して他の回路に波及することは現時点では否定しきれないことから、太陽電池パドル上回路の放電に対する耐性を評価し、耐放電性試験等により確認すべきである。

### (4)その他

電力ハーネスや絶縁体シートのように取扱や検査に注意が必要なものについては、作業者が重要性を認識して作業に当たれるよう教育訓練を日頃から充実する。特に、設計段階で製造にかかる注意事項がある場合には、作業手順書に具体的な注意事項を記入するなどして、設計者の意図が作業者に的確に伝わるようにする。

## 3．今後の人工衛星開発への反映事項

本部会では、第18号科学衛星(PLANET-B)「のぞみ」の火星周回軌道への投入失敗や、「みどり」に引き続き発生した「みどり」の運用異常について原因究明の調査審議を行ってきた。

宇宙開発は、極めて厳しい技術的条件を満足することが求められているが、人工衛星の研究開発には一定のリスクが内在するものである。これを克服していく手法等の開発・実施が必要であるとともに、人材、技術力、産業基盤の確保・維持が不可欠である。今後の地球観測・通信技術試験衛星の研究開発を進めるに当たり、ミッションの達成に向けて重要と思われる事項を以下に具体的に示す。

今後、人工衛星の研究開発に当たり、以下の事項を着実に実施するとともに、機構が行っている人工衛星の総点検活動においても、これらの事項に留意して行っていくべきである。



### 3 - 1 . 今後の人工衛星開発の基本となる反映事項

#### (1)開発に当たっての基本方針

我が国の宇宙開発は、段階的にプロジェクトを進行することにより、新規性の高い、大規模なシステムを厳しい制約条件の下で効率よく開発する方式を採用している。具体的には、「研究」、「開発研究」及び「開発」の段階を経て打上げを行っている。

機構は、各プログラムで設定された目標を達成するために研究開発を行う機関であり、ミッション要求を実現するためには、基盤となる技術力の蓄積が成功の鍵である。

この点については、システム概念を構築する「研究」段階と、そのシステム概念を詳細に検討し、設計要求仕様を固める「開発研究」段階が重要であり、そこに限られた資源(人材、資金、時間)を手厚く配分することにより、人工衛星の成功につなげることが求められる。

#### (2)地上試験の充実

宇宙開発は、真空での熱的環境、微小重力下での振動等の機械的環境、宇宙線環境及び原子状酸素による材料劣化、打上げ時の音響、振動環境といった、地上では模擬できない過酷な環境下での運用が求められている。

また、人工衛星の要求寿命は延びる傾向にあり、各機器やコンポーネントの寿命設計の重要性が増している。

人工衛星の開発では、新規技術を採用したり、改良等を行いながら進められているが、地上設備等の制約の中で、エンジニアリングモデルやコンポーネント単位での実証試験等により詳細設計を決定し、実機サイズでの各種環境試験等を行い、設計の妥当性を評価している。

地上において、できるだけ宇宙環境を模擬した検証を実施するとともに、可能な限り「end-to-end」の試験をするように努めるとの観点から、地上試験の充実が求められる。例えば、低軌道衛星においても耐放電性を確認するために、地上試験設備や試験方法を充実させる必要がある。

#### (3)人材養成等

技術基盤を構築・維持していくためには、継続的な衛星開発プロジェクトを通じた機構及び製造企業の人材育成により、実証データや経験に裏打ちされた設計力と検証能力を持った、いわば眼力のある人材を確保するとともに、

その技術を継承し、その人材が強く動機づけられて実行力を発揮できる環境を整えることが重要である。

また、欧米諸国に比べて、打上げ機会の乏しい我が国にとって、独自の技術と経験の蓄積が一段と重要である。特に、知見の宝庫ともいべき失敗経験については、その蓄積と有効利用について工夫が望まれる。一方、同じ視点から、各国での開発や運用の情報を入手し、我が国の研究開発につなげることが重要であり、あらゆる機会を通じて、情報収集を継続し、その情報を関係者間で共有するネットワークシステムの充実が必要である。

### 3 - 2 . 各人工衛星の設計における反映事項

#### (1) サバイバル性の確保と故障モード影響解析

人工衛星のシステムの信頼性を向上させるためには、システム設計要求を充実させ、ミッションに即した信頼度を設定する。設定された信頼度を達成するため、サブシステムやコンポーネントの質を向上するとともに、それらの不具合への対応は、バックアップ機能等、その上位のシステムでカバーすることが基本となる。

「みどり」では、ハーネスに発生した問題により運用断念という極めて重大な事態に至ったが、研究開発衛星という観点からは、搭載機器の一部に不具合が生じて、他のミッションが継続できるよう、故障分離等の研究開発の目的を踏まえたサバイバル性の確保が求められている。特に、宇宙技術を実証するためには、重度な不具合が発生した場合でも、人工衛星の状態が確認できるように最低限のテレメトリデータの取得が可能となるような設計が求められる。

これまでの人工衛星のトラブルを顧みると、2つあるいはそれ以上の事象が関連し、重大な不具合につながっていることがある。一つ一つの要因は、材料選択や強度計算等での重大なミスではないため、見落としてしまう危険がある。この点について、故障モード影響解析(FMEA)等の評価手法を用いることは有益なことである。FMEAでは、搭載・作動環境のストレス想定や今までの不具合事例を参照して故障モードを発想することが大きな鍵になることは言うまでもない。さらに、故障モードの影響解析を他の構成部品や上位システムへの影響の視点から行って、連鎖事象を明らかにすることが重要である。これにより、システムの機能喪失に至るシーケンスを明ら

かにすることが可能であり、故障分離等の適切な対策を検討することに結びつく。

また、設計変更をする場合、特に軌道上で実証されているものであっても、その適用の範囲を見極め、変更の内容について様々な角度から検討を行う。

## (2) 軌道上等のデータの蓄積及び設計基準の整備

今回の事故でも知見が得られたように、厳しい宇宙環境で長期間の運用を行うためには、まだまだ未解明の現象があると言わざるを得ない。

宇宙環境が必ずしも十分に把握しきれていないことを踏まえると、人工衛星の軌道上でのデータを蓄積することは、我が国の宇宙開発の中核的研究開発機関である機構の責務である。

また、各機器やコンポーネントの設計に際しては、過酷な環境下でのデータを蓄積することが重要である。機構では、H - ロケット 8 号機の失敗を踏まえ、独立行政法人物質・材料研究機構が発行している、材料に関するデータシートの整備に連携して取り組むなど、基盤技術の確立に努力している。

今後、各衛星のミッション等も考慮しつつ、宇宙環境データや、人工衛星の状態についてのテレメトリデータ等の各種データの取得を継続的に行う。また、諸外国での基準を参考にしつつ、各種データの蓄積を図り、設計基準等の整備・見直し、設計解析手法の向上を継続的に進めることが必要である。

## (3) 微小な宇宙デブリの衝突に対する対策

今回の原因究明の過程で否定できなかった微小な宇宙デブリとの衝突については、確率と影響度の評価を行い、重大な不具合に至らないよう設計に反映させる必要がある。

## 4 . おわりに

本報告書では、今回の運用異常の原因究明の過程を通じて得られた貴重な知見や経験を整理している。本報告書が、信頼性向上のため機構が行う人工衛星の総点検活動や、機構及び製造企業における今後の衛星の研究開発に活かされることを強く希望する。

また、言うまでもないことであるが、宇宙開発の資源（人材、資金、時間）には限りがある。その限られた資源を活用して、いかに所期の目標を達成す

るかには、「選択と集中」の判断及び行動力が問われ、その決定は、目標達成に責任をもつ組織が、自身の力で行わなければならない。事故対策においても、外部からも種々の助言が寄せられるが、有限な資源の中では、それを咀嚼し、取捨選択しながら、有効な実行策として設定する作業は、最終責任を負う組織が決定しなければならない。機構において設計力の強化を基底にして、適切な選択を行い、実行されることを希望する。

表 - 1 - 1 観測センサの概要

センサ	開発機関	概要
高性能マイクロ波放射計 (AMSR)	JAXA	地表及び大気から自然に放射される微弱なマイクロ波帯の電波をマルチバンドで受信することにより、水に関する様々な物理量を昼夜の別なく、また雲の有無によらず高精度で測定し、主として全地球規模の水、エネルギー循環を把握するためのデータを取得する。
グローバル・イメージャ (GLI)	JAXA	陸、海といった地球表面あるいは雲等からの太陽反射光あるいは赤外放射光を多くの波長で測定し、生物に関する様々な物理量や、温度、雪氷、雲の分布・特性などを高精度で観測し、主として全地球規模の炭素循環や、気候変動を把握するためのデータを取得する。
改良型大気周縁赤外分光計 型(ILAS- )	環境省	太陽掩蔽法(太陽を光源として日の出、日の入り時に地球接線方向に大気を測定)によって極域のオゾン、二酸化炭素等の大気微量成分の高度分布を観測する。
海上風観測装置 (SeaWinds)	NASA/JPL	コニカルスキャンするアンテナからマイクロ波のパルスを発射し、海面からの反射を計測することによって海上風の風向と風速を測定する。
地表反射光観測装置 (POLDER)	CNES	地球表面や大気で反射される可視近赤外域の太陽光の偏光と方向性を測定し、エアロゾル等の平面分布を観測する。

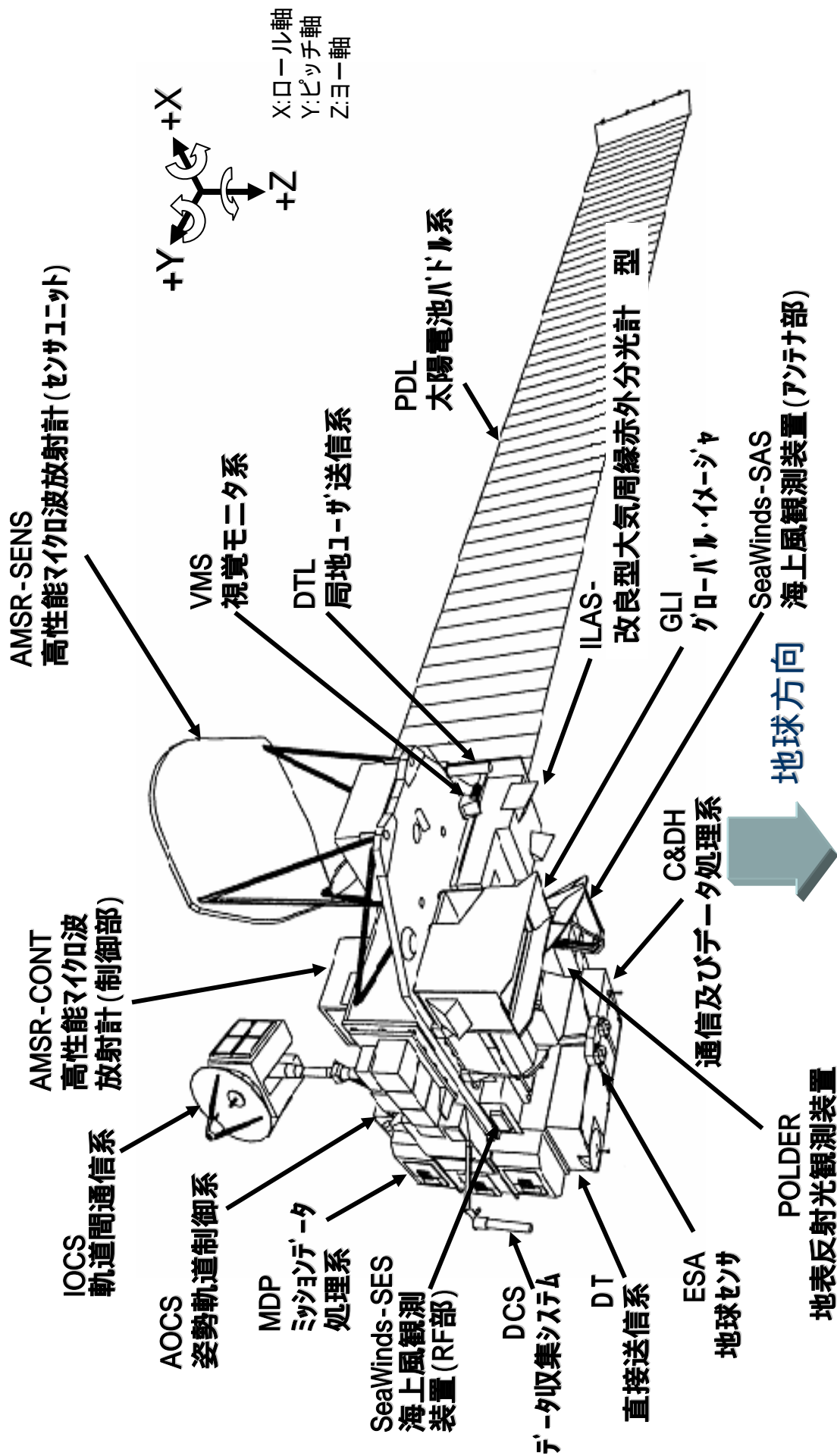


図 - 1 - 1 「みどり」の外観図

表 - 1 - 2 「みどり」の主要諸元

外観・形状	一翼式太陽電池パドルを有するモジュール方式
寸法 衛星本体 太陽電池パドル	約6m×4m×4m(X軸×Y軸×Z軸) 約3m×2.4m
質量	3.68t うち搭載ミッション機器 1.23t
発生電力	5,350W(寿命末期)
設計寿命	3年(燃料5年分搭載)
軌道 高度 軌道傾斜角 周期 回帰日数 降交点通過地方時	太陽同期準回帰軌道 802.92km 98.62° 101分 4日 AM10:30
打上げ場所	種子島宇宙センター
打上げロケット	H-Aロケット4号機
打上げ日	2002年12月14日

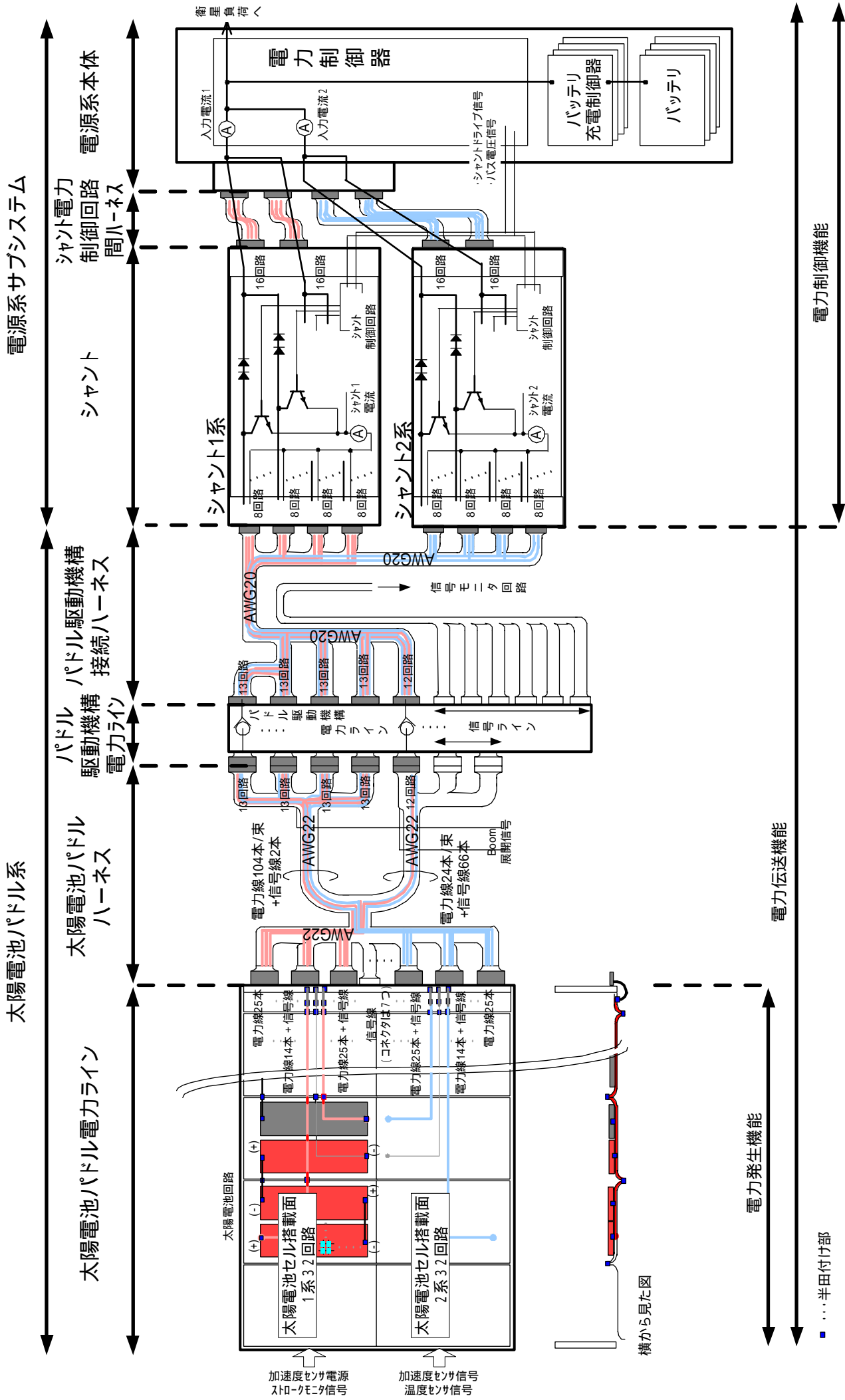
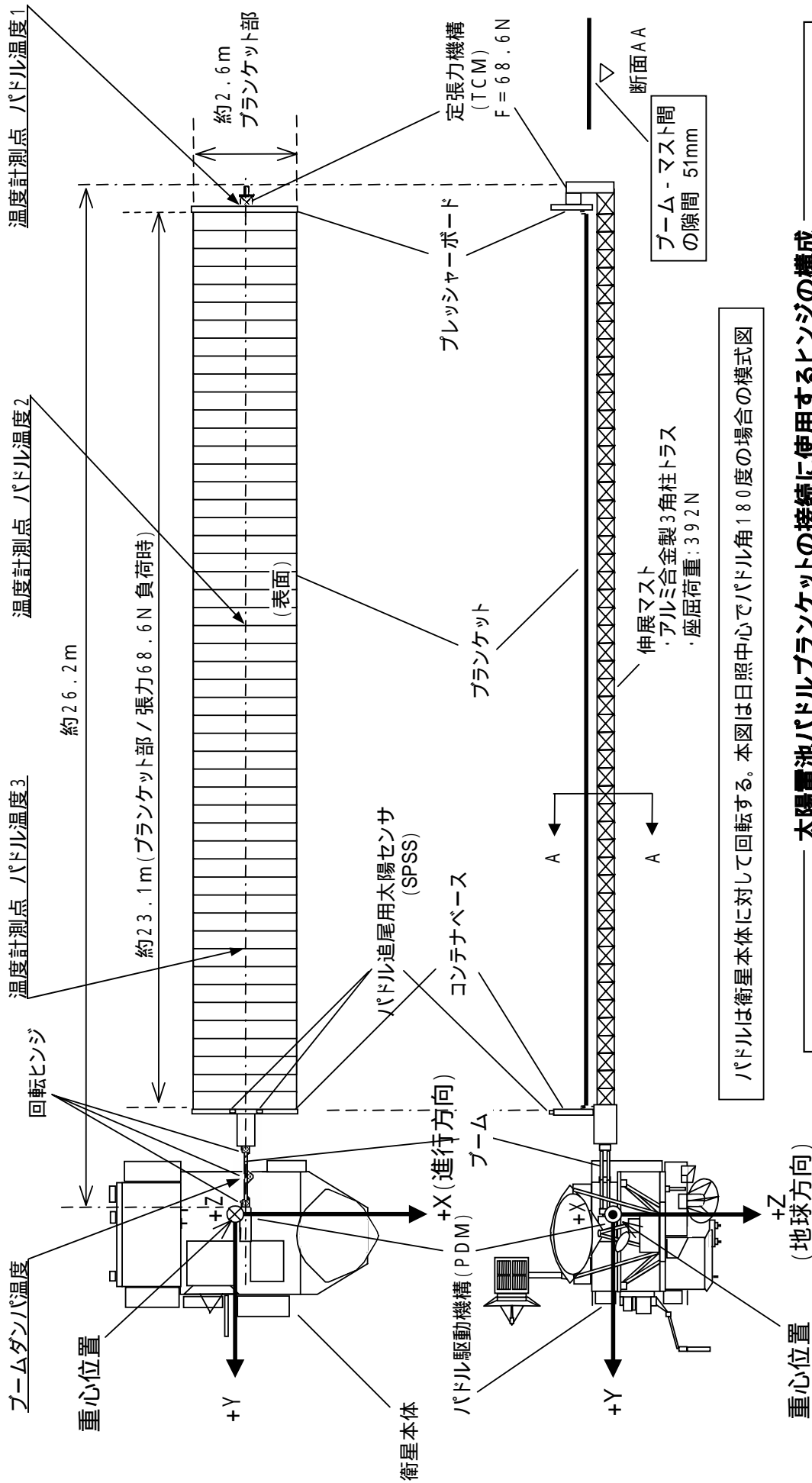


図 一 2 - 1 太陽電池パドル～電源系サブシステム概念図

■ …半田付け部





パドルは衛星本体に対して回転する。本図は日照中心でパドル角180度の場合の模式図

### 太陽電池パドルブランケットの接続に使用するヒンジの構成

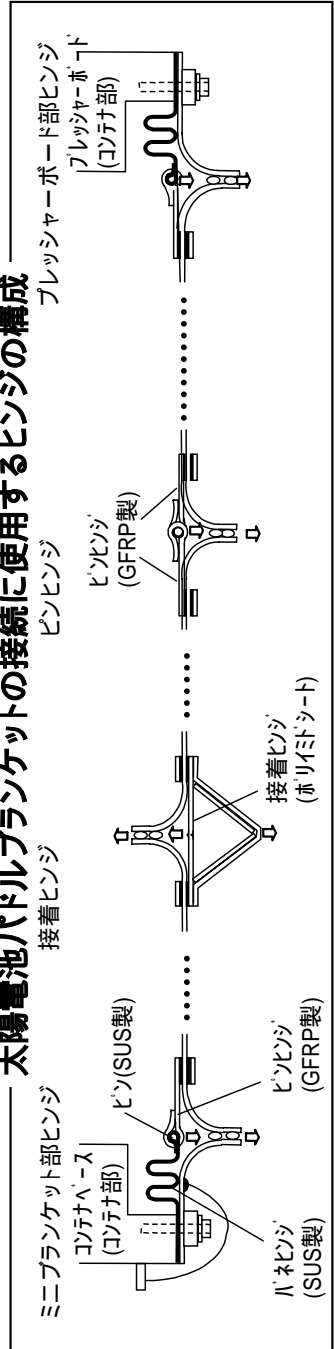


図 - 2 - 2 太陽電池パドルの構成

表 - 2 - 1 太陽電池パドル主要諸元

項目	性能
発生電力	定常軌道上(PDM出力端電圧:55.13V) EOL(3年後) 5,350W以上 (太陽光入射角 13~28度、温度条件 50~93 )
重量	189.8kg
剛性	収納時 機軸方向 35Hz以上 横軸方向 35Hz以上 (PADとPDMの構体との取付点を固定した状態) 展張時 0.035Hz以上 (PDMの構体との取付点を固定した状態)
消費電力(配分値)	9W(太陽追尾モードノミナル平均)
パドル追尾性能	ステップ角誤差(1回転) 120,000 <sup>+400</sup> <sub>-100</sub> パルス クロックレート 3.60 deg/分(ノミナル) スルーレート 11.25 deg/分(ノミナル)
太陽角検出性能	±2 deg以内(太陽とPDL面が正対した時)
展開性能	ブーム展開 5分以内 パドル展開 40分以内
コマンド項目	なし
テレメトリ項目	12項目 なお、PDL構成要素で軌道上技術評価に使用するPMA(5ch)、PTM(1ch)、PSM(1ch)はDMSのテレメトリ、伸展マストの伸展量モニタ信号(1ch)、伸展完了信号(1ch)、SPSS信号(2ch)はAOCSのテレメトリとして計上する。

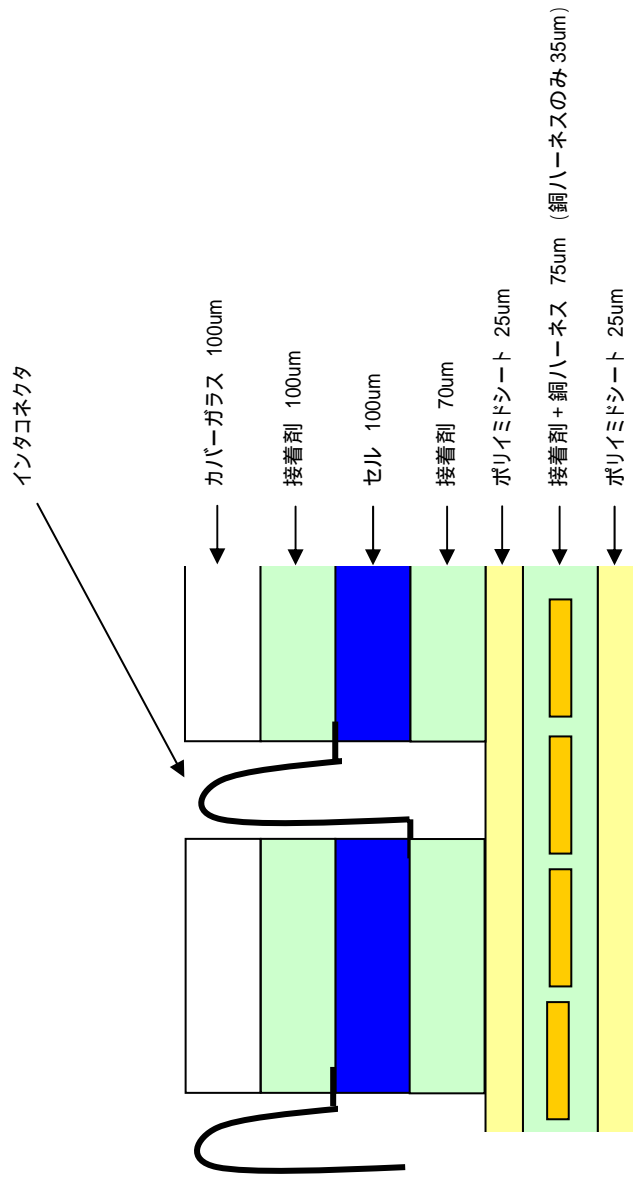


図 - 2 - 3 太陽電池ブラケット断面図

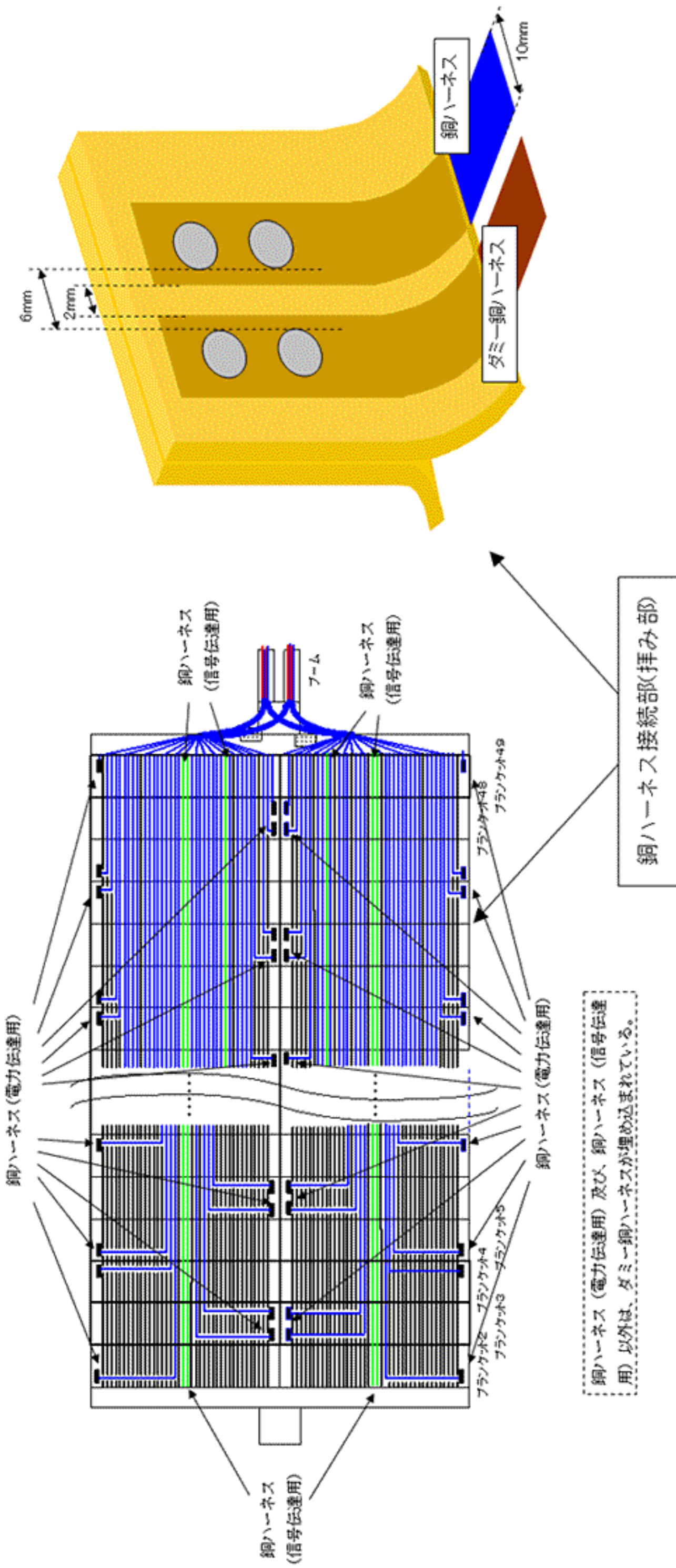


図 I-2-4 太陽電池パドル上での銅ハーネス配線図

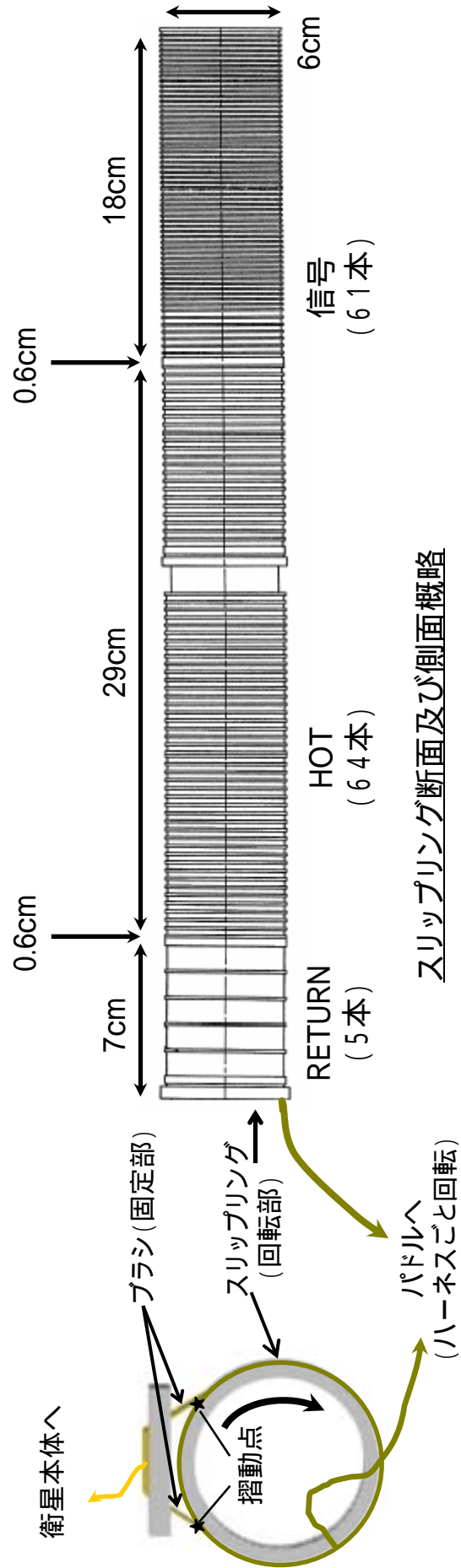
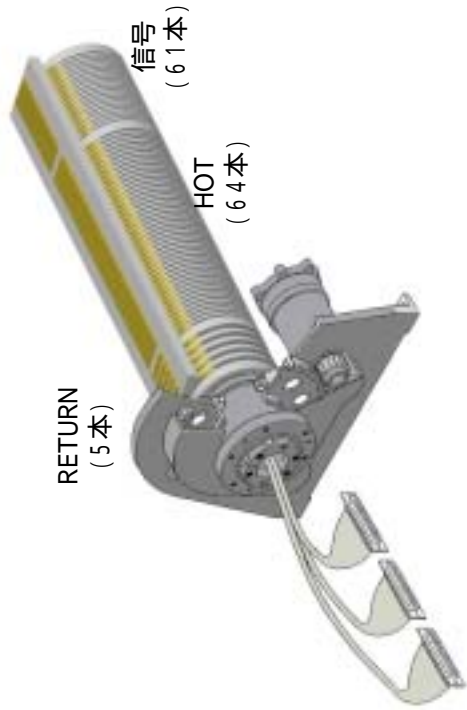
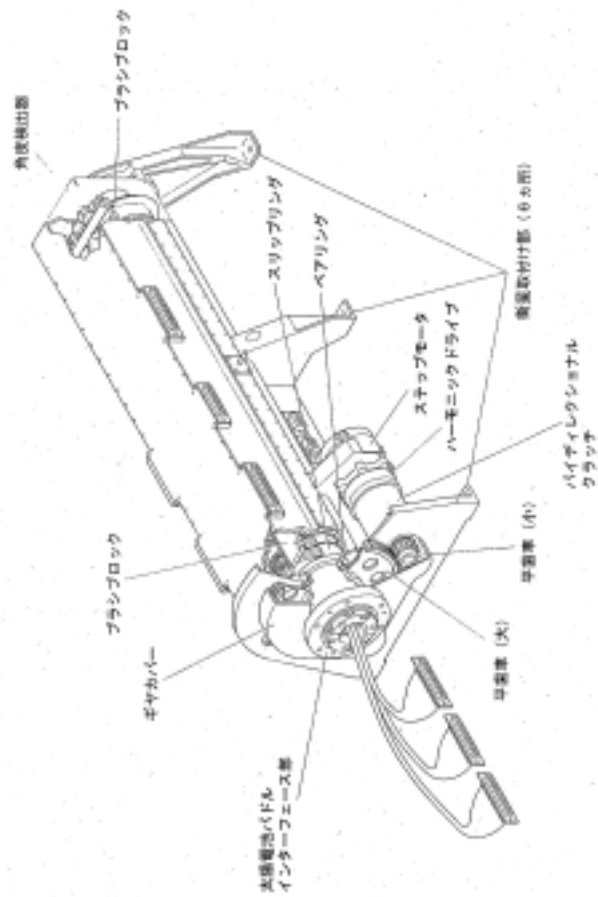


図 - 2 - 5 パドル駆動機構詳細図(イメージ図)

ハーネス名	線材名	より素線数 × 素線径 (ノミナル)	被覆厚 (ノミナル)	仕上外径 (ノミナル)	被覆材質	許容温度	許容電流	設計電流値
太陽電池 パドルハーネス	22番線 (AWG22)	19本 × 0.16mm	0.17mm	1.09mm	架橋ETFE樹脂 (四フッ化エチレン - エチレン共重合樹脂)	-65 ~ +200 (連続動作)	4.5A (2.25A)	2.18A
パドル駆動機構 接続ハーネス (パドル駆動機構 構電カラインで 使用されている ハーネス含む)	20番線 (AWG20)	19本 × 0.20mm	0.15mm	1.27mm			6.5A (3.25A)	2.25A

束線規定 (MIL-STD-975 ; 15本以上束ねて使用する  
場合は許容電流に0.5を乗ずる)

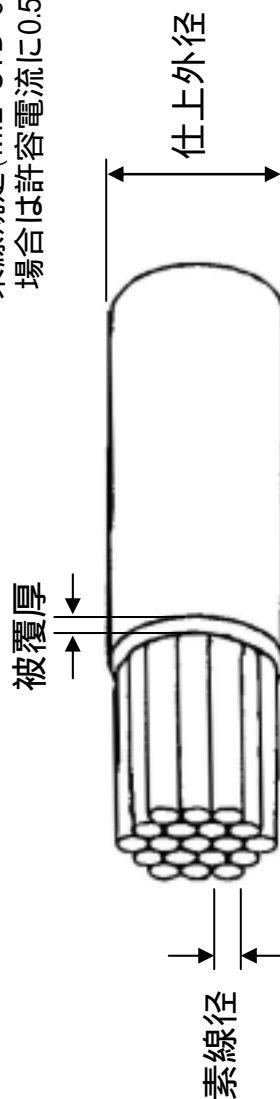
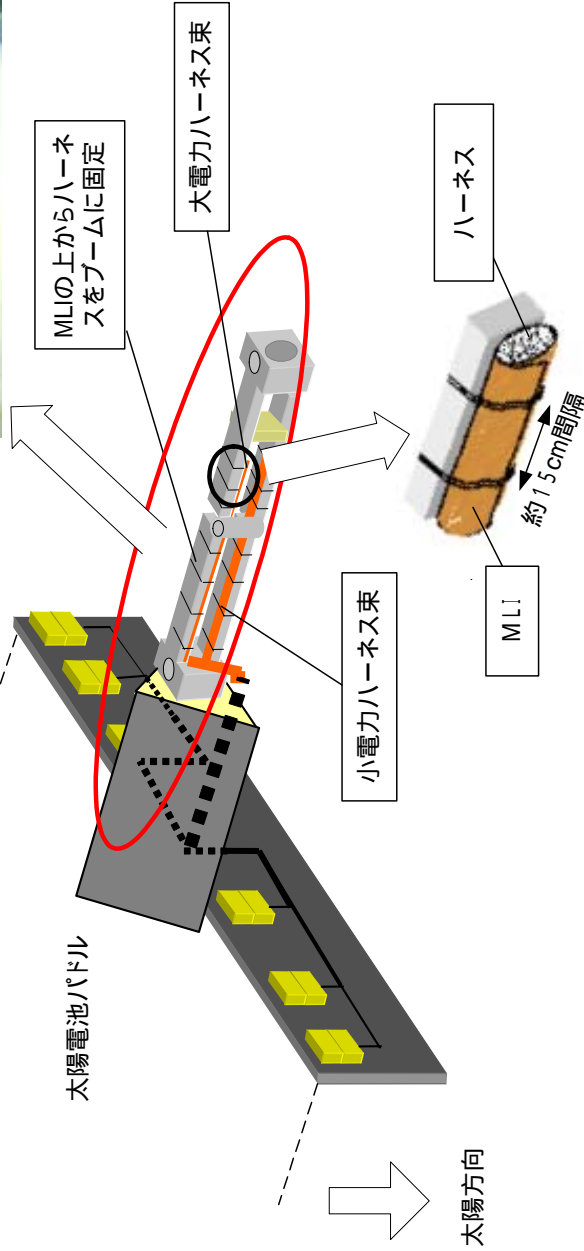
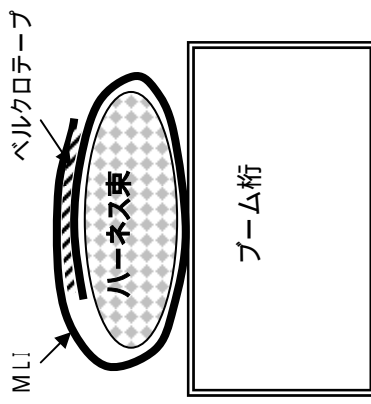


図 - 2 - 6 ハーネス仕様図



**MLIの巻き方**



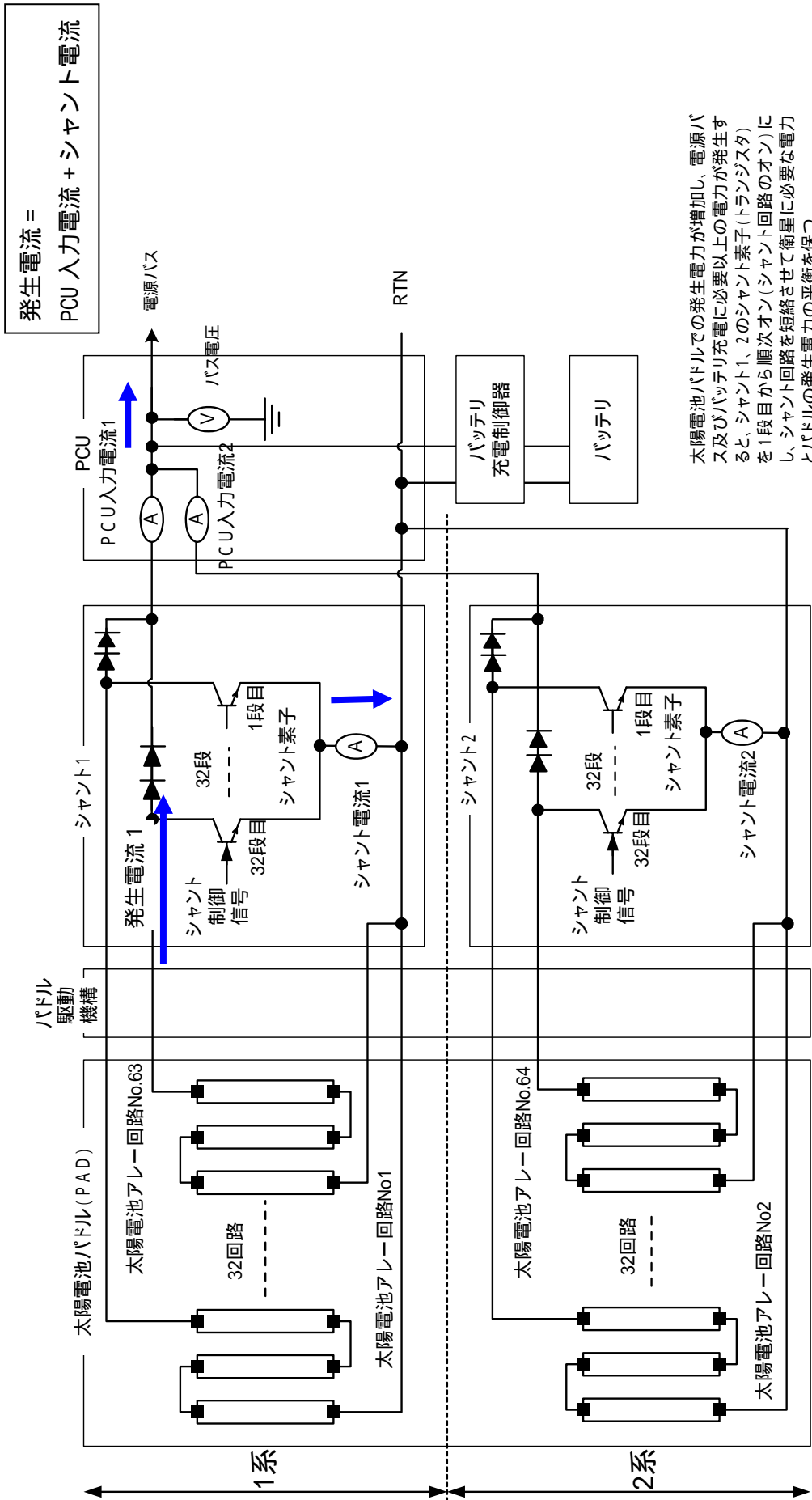
	電力線	信号線	計
大電力ハーネス束	104本	2本	106本
小電力ハーネス束	24本	66本	90本

図 - 2 - 7 太陽電池パドルハーネス実装図

表 - 2 - 2 電源系主要諸元

供給電力 バス分配点にて 日照中 日陰中	4900W以上(BOL) 2700W以上(EOL)
バス電圧(バス分配点にて) 日照中 SHNTモード BCCUモード 日陰中	50.0~52.0V 51.0~52.0V 50.0~51.0V 33.5~50.0V
シャント能力 最大	7000W
バッテリー 最大放電深度(DOD)  容量 バッテリー構成	22%(定常) 60%(打上げ直後) 25%(1台故障時) 50Ah/1台 NiCdセル 32段x4台
電力の蓄積 定電流時 充電制御 定電圧時	0~12.5±0.5Aの定電流充電 V/Tカーブによる制御、カーブ本数8本 テーパ充電
バッテリー温度制御 低温ヒータ制御  高温充電制御	OFF ON 2±2 ON OFF 5±2 ON OFF 33±2 OFF ON 30±2
バッテリー下限電圧保護 UVC動作電圧	4.40V/セルグループ電圧
その他 爆管制御  バッテリー制御 衛星分離信号の発生 軽負荷モード テレメトリ/コマンド  負荷側短絡時のバスの保護 キャパシタバンク	DCS、SeaWinds、AMSR、PDL及び IOCSアンテナ展開 低電圧保護、リコンディショニング制御 AOCEの起動 UVC制御 テレメトリ項目:117 コマンド項目:103 負荷側のヒューズまたはカレントリミッタ 16520μF(ノミナル)





太陽電池パドルでの発生電力が増加し、電源バス及びバッテリー充電に必要な以上の電力が発生すると、シャント1、2のシャント素子(トランジスタ)を1段階目から順次オン(シャント回路のオン)にし、シャント回路を短絡させて衛星に必要な電力とパドルの発生電力の平衡を保つ。

図 - 2 - 8 シャントの構成

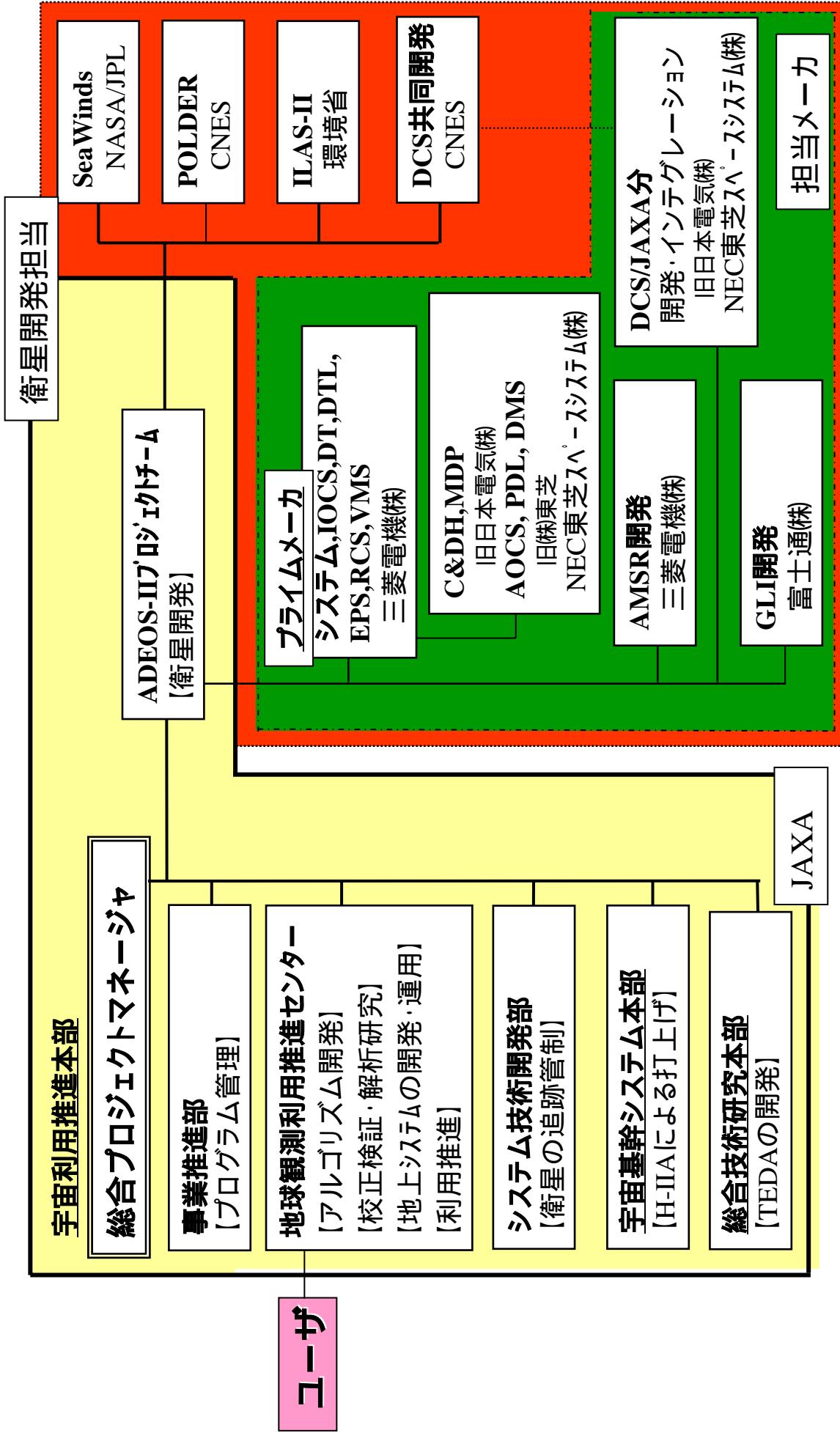


図 - 3 - 1 開発体制

表 - 3 - 1 「みどり」の機能停止を踏まえた主要検証試験

試験対象		試験検証方法	試験目的	
			性能、打上環境	寿命、軌道上環境
サブシステム レベル	太陽電池パドル	「みどり」事故の反映に伴う変更点 ( )は「みどり」の実績	プロトフライト試験 熱真空中総合評価試験	熱真空試験
	ソーラーアレイブランケット	(1)TCMストローク250mm ( 150mm) (2)プランケット荷重集中緩和 (3)軌道上モニタ追加	部分モデル線膨張率測定 部分モデル静荷重試験 クーポンブランケット 照射試験	ソーラーアレイブランケット熱真空試験 クーポンブランケット熱衝撃試験(軌道上寿命3年相当の16000サイクルに対し27000サイクル実施)
コンポーネント レベル	ピンヒンジ	ピン径 1.5mm ( 1mm) ヒンジ幅 15mm ( 40mm) ヒンジ数 72個 ( 25/個)		ヒンジ部各種評価試験 (引張強度、放射線、原子状酸素、紫外線、クリーフ)
	定張力機構(TCM)	ストローク:250mm ( 150mm) パンタグラフ + 非接触渦巻きばね ( 筒型方式+ねじリコイルばね)	TCM評価試験(機能性能、振動) TCM高真空評価試験 プロトフライト試験	寿命試験(単体):軌道上寿命3年相当の16000サイクルに対し54000サイクル(真空中)実施

## モンゴル高原の土壌水分分布

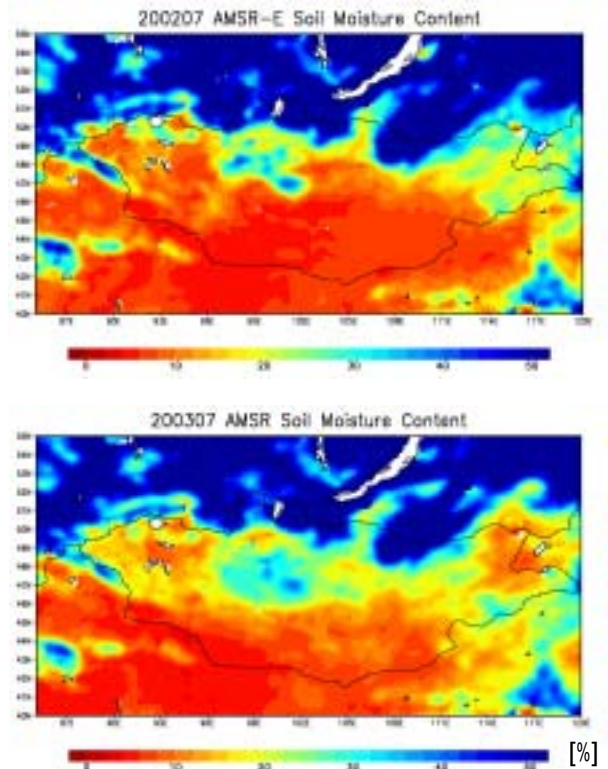
高性能マイクロ波放射計 (AMSR) および改良型マイクロ波放射計 (AMSR-E)\* は新しい周波数 (7GHz) の活用により、土壌水分量を広域で定量的に観測できる世界で初めてのセンサである。

\* AMSR-Eは、NASAの地球観測衛星Aqua(アクア)に搭載された。

上段は2002年7月、下段は2003年7月の土壌水分分布図である。

2003年のモンゴル高原は2002年に比べて冬季の積雪が多く、また降水も例年より多かったことが報告されている。そのため、土壌水分量が多く、日本に飛来した黄砂も例年に比べ少なかったと考えられる。

本画像は、JAXAと東京大学の共同研究により得られた。



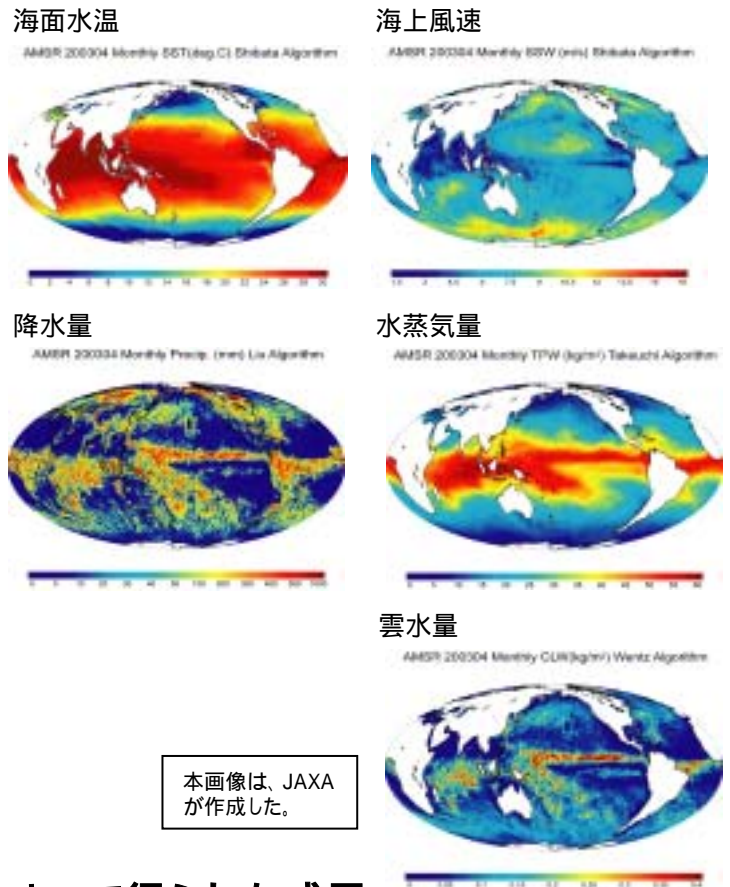
## 水循環の長期・定量観測

AMSRデータから算出した2003年1月28日～31日の4日平均全球海面水温分布。

マイクロ波観測の特徴は、雲がある場合もそれを透過して海面水温を測定可能なことであり、AMSRはAMSR-Eと共に全球の海面水温をほぼ全天候で観測できる現在唯一のセンサである (上段左)。

海面水温および海上風速 (上段右) は、海面から大気にどれだけの水が蒸発するか等の定量的な見積もりが可能となる。

また、海洋上の降水量、水蒸気量、雲水量等、大気中で異なる姿で存在している水の定量的分布を表している。 (中・下段)

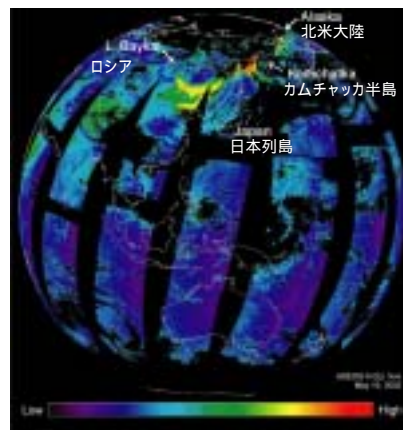


本画像は、JAXAが作成した。

図 - 4 - 1 AMSRによって得られた成果

## 1km解像度での陸域におけるエアロゾル検知(世界最高)

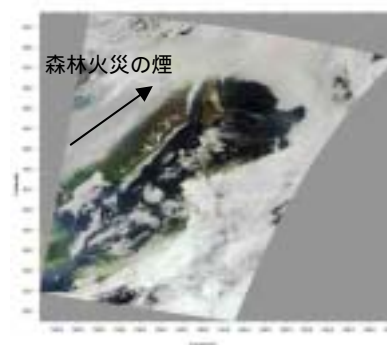
上図は、2003年5月19日に観測された広域(ロシア～北米)のエアロゾル(大気中の微粒子)濃度を示している。グローバル・イメージャ(GLI)を用い、1km解像度では世界初となる海陸両方のエアロゾルを広域に捉えることに成功した。



下図はGLIの観測による同日の日本付近の図であり、ロシア東部の森林火災の煙が写しだされている。

ロシア東部の森林火災で発生した煙がシベリア方向へ流れ出しており、その煙はカムチャッカ半島北部を通り抜けてはるか北極海まで流れ出ていることが分かる。(上図)

過去の様々な研究で、大気中を漂うエアロゾルが気候変動に対して大きな影響を与えることが判っていたが、GLI以前のセンサーを用いた全球規模かつ高分解能での観測は、海洋域に限定されていた。



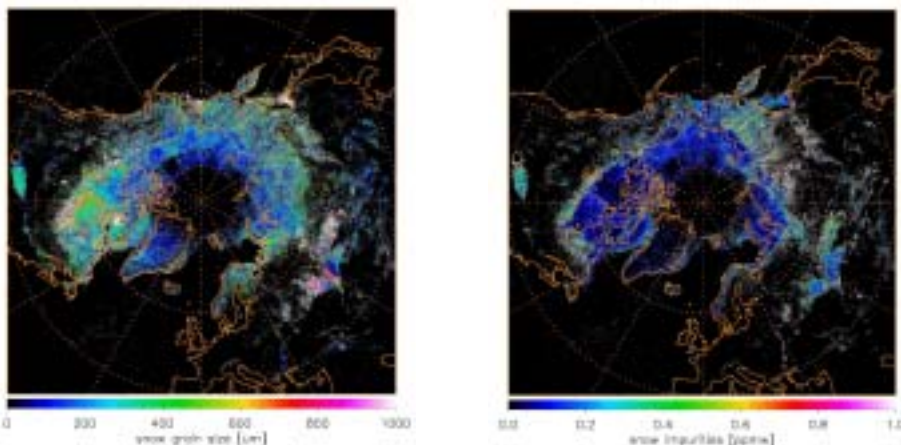
本画像は、JAXAと東京大学の共同研究により得られた。

## 広域の積雪特性観測(世界初)

下図は、2003年4月の1ヶ月間のGLIデータから得られた、北極を中心とする北半球における積雪粒径( $\mu\text{m}$ , 左図)と積雪不純物濃度(ppmw, 右図)。GLIの1km解像度チャンネルを用いて、広域観測として世界初となる積雪特性を捉えることに成功。

積雪粒径は周囲の気温が高いと大きくなり、極域での温暖化発現の指標となる。

一方積雪不純物濃度は、主に人間活動に伴って大気中に排出された汚染微粒子による雪面の汚れ具合を示している。雪面が汚れると太陽放射を多く吸収するようになることで融雪時期が早まる。地表面が長期間露出していると、それだけ多くの太陽光を地球が吸収し、地球温暖化を促進させると考えられている。



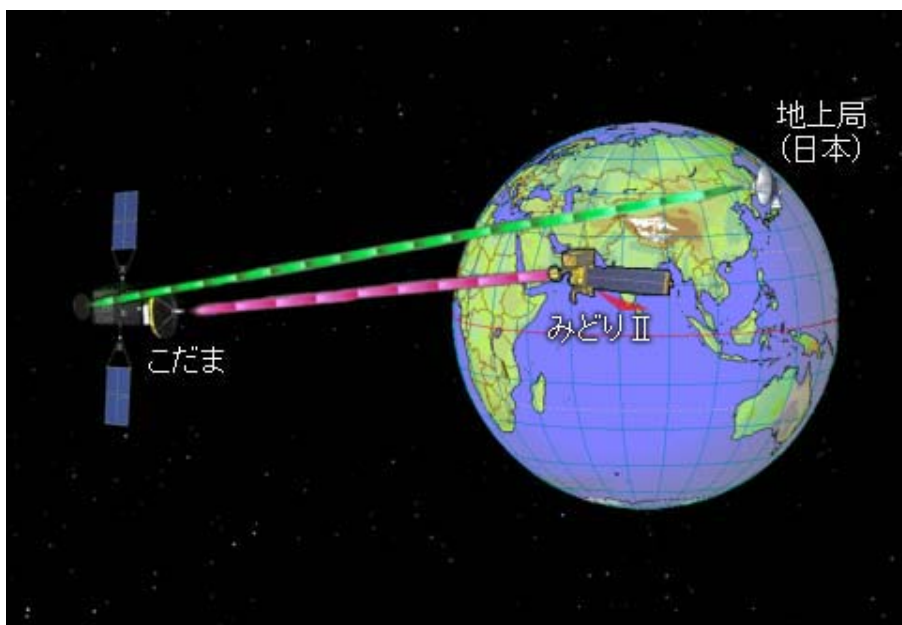
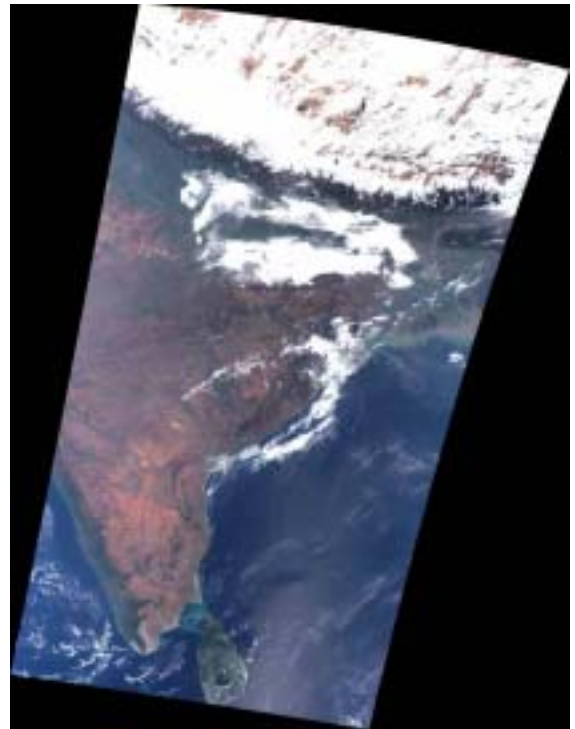
本画像は、JAXAとステューブンス工科大学の共同研究により得られた。

図 - 4 - 2 GLIによって得られた成果

## 「こだま」を經由してリアルタイムで取得した「みどり」観測画像

2003年2月20日 日本時間の午後2時頃の雪をかぶったチベット高原からインド亜大陸、セイロン島にかけての広い範囲が観測された。

グローバル・イメージャ(GLI)の3つの可視光観測波長帯、660ナノメートル(チャンネル22)、545ナノメートル(チャンネル21)、460ナノメートル(チャンネル20)のデータをそれぞれ赤、緑、青色に割り当てた、目で見た状態に最も近い合成画像である。



「こだま」による「みどり」観測データ中継イメージ

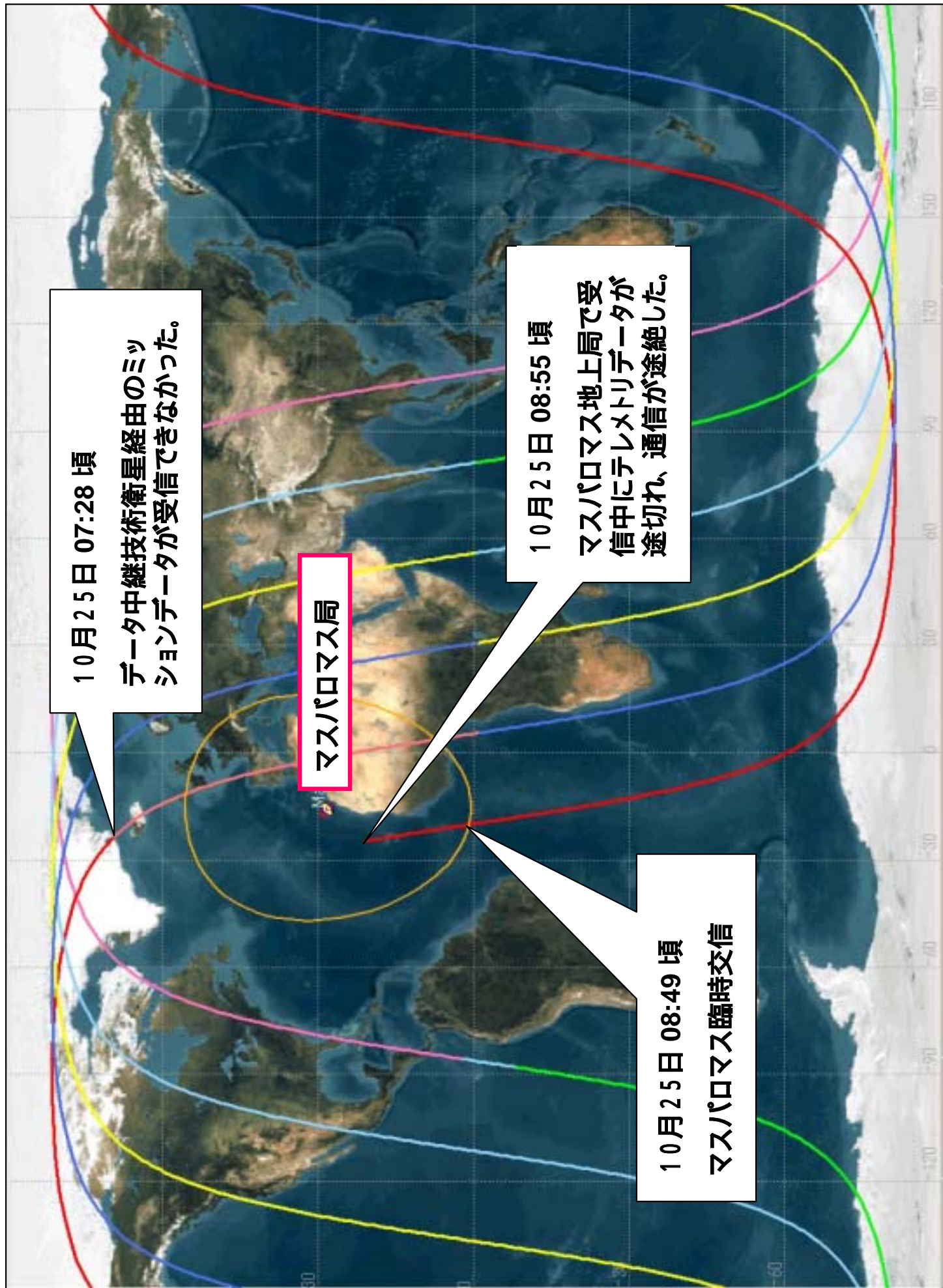


図 - 1 - 1 運用異常時の交信状況

(日時は日本標準時)

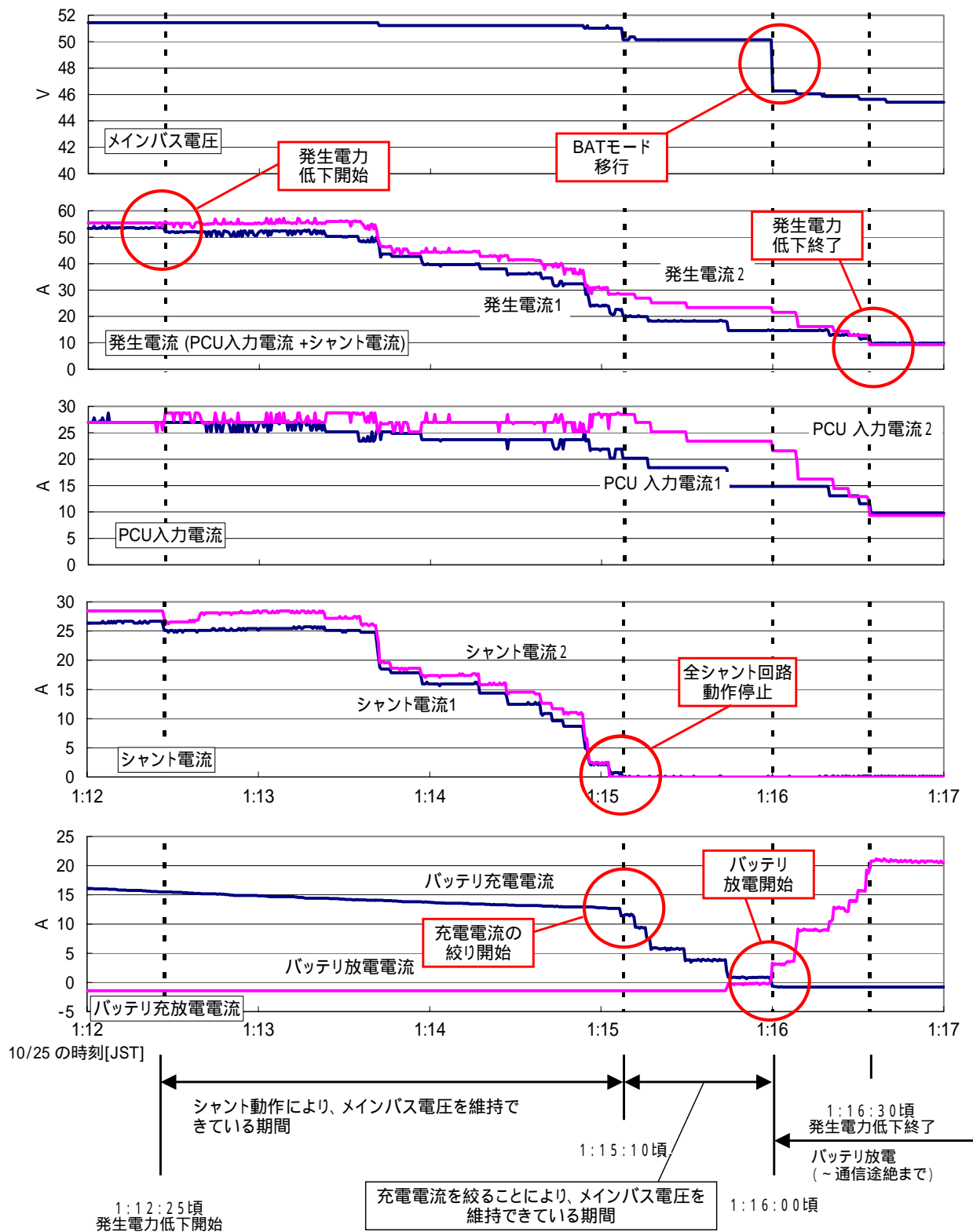
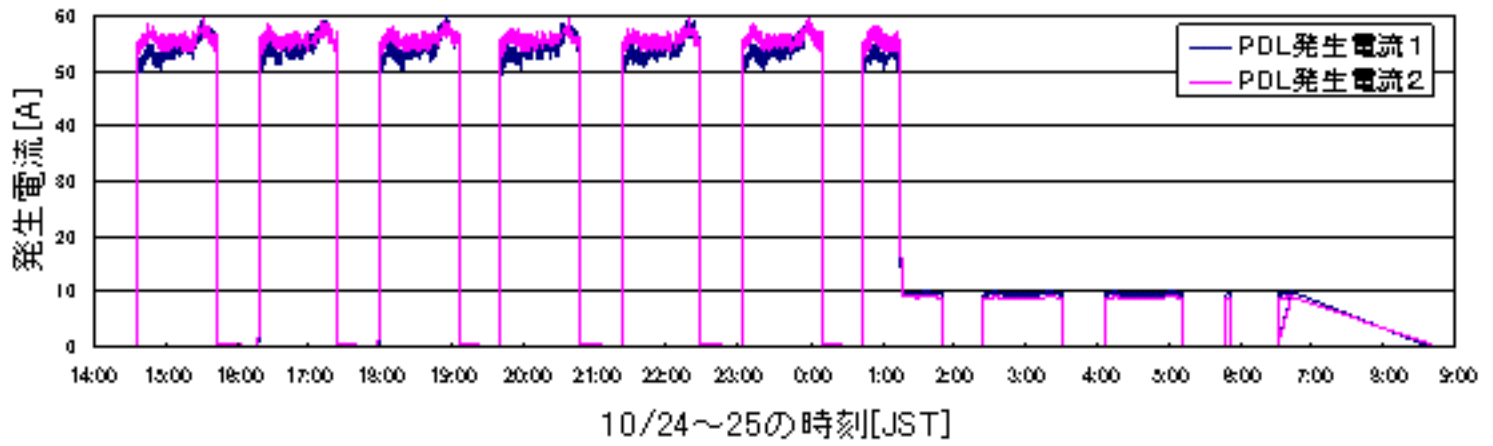


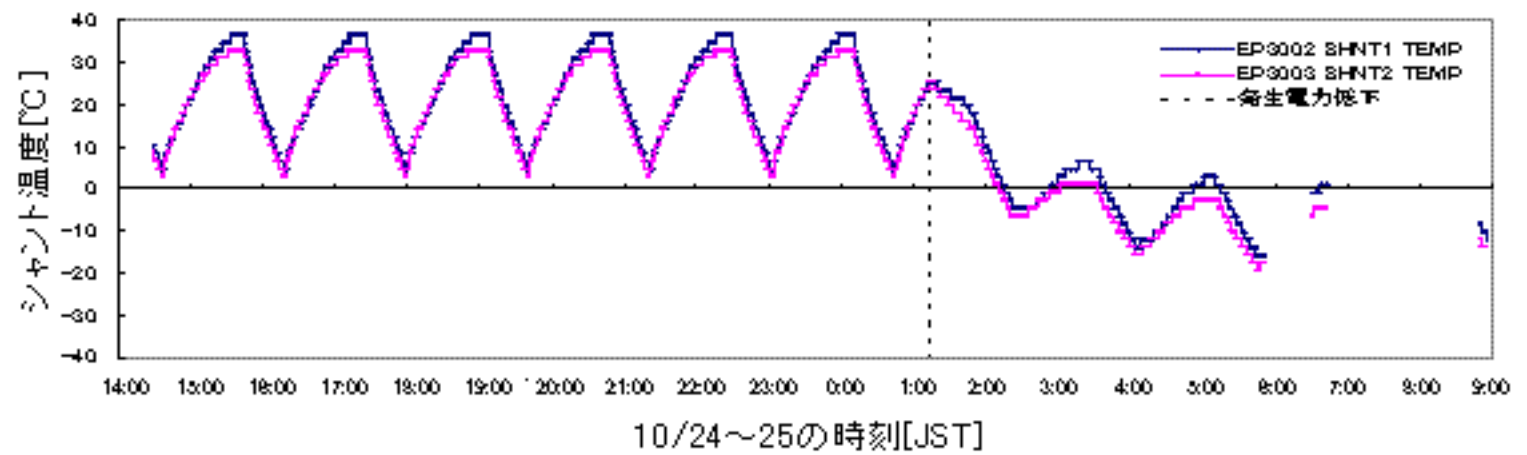
図 - 2 - 1 発生電力低下時の電源系テレメトリ



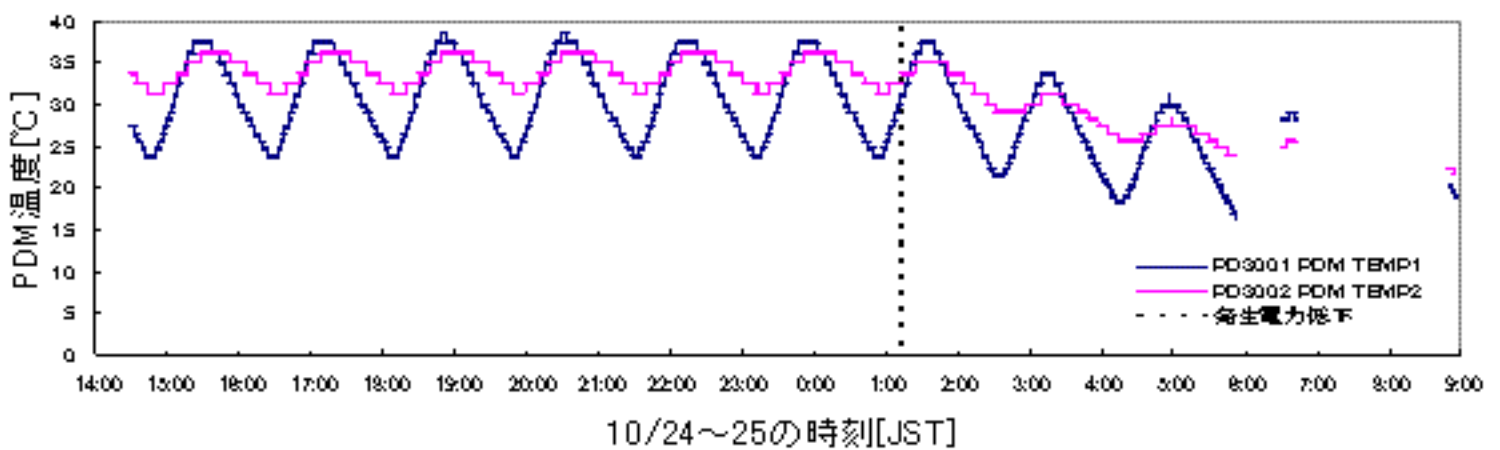
### 発生電流



### シャント温度

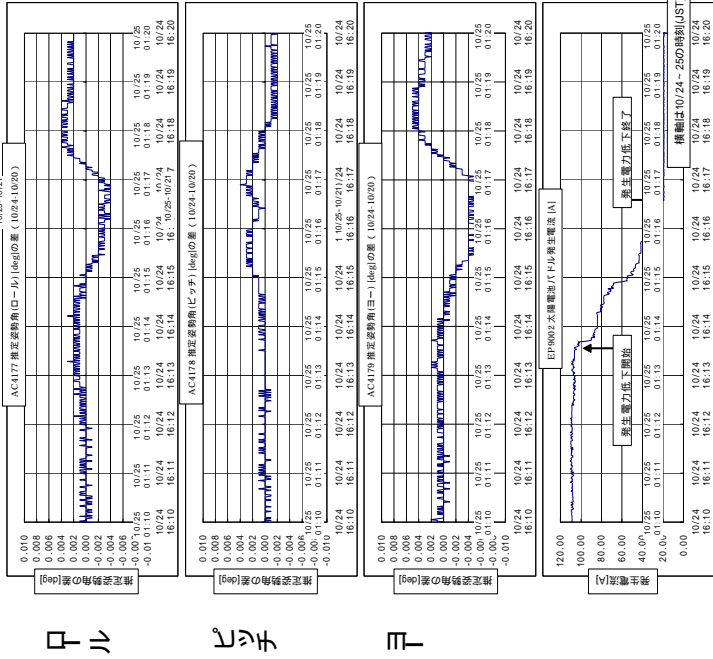


### パドル駆動機構温度

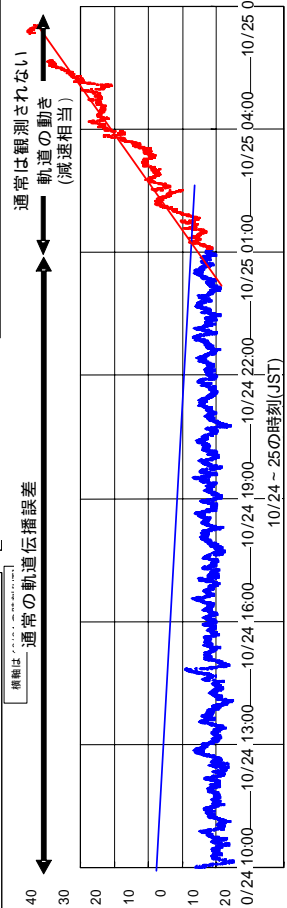


図Ⅱ-2-2 発生電力低下に伴うシャント及びパドル駆動機構の温度傾向

・姿勢変動

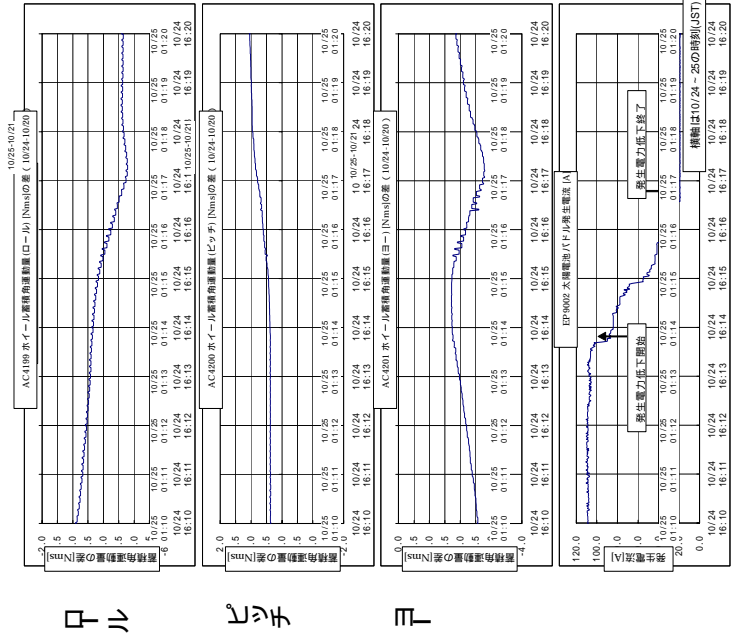


・軌道変化

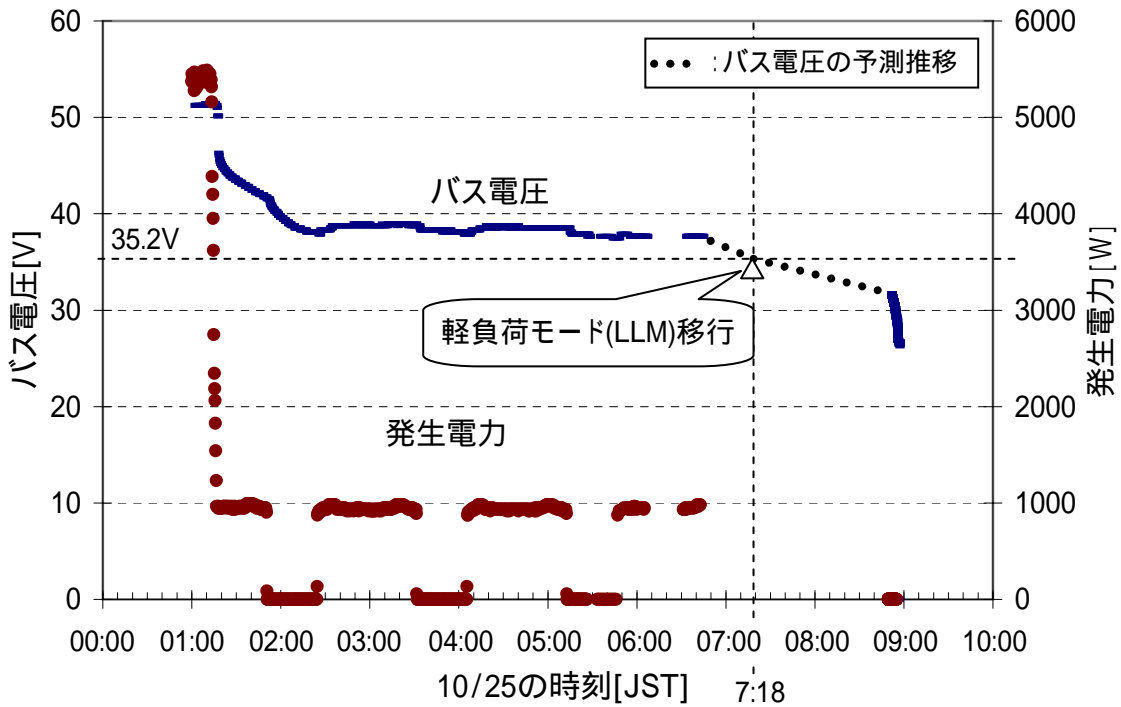


GPSによる観測値と地上観測による推定値の差

・角運動量変化



軌道は10/24-25の時刻(JST)



LLMシーケンスによるHKMU動作

記録開始

マスパロマス局で得られたHKMU記録  
アドレスから、記録時間を逆算してLLM  
発生位置を特定した

**軽負荷モードとは**

異常発生時に衛星が消費する電力を抑え、安全なモードに自動移行するモード。基本的にはミッション機器ヒータとバス機器等の必要最低限な機器のみがONであるモード。

以下の異常に対して実施される。本事象では により軽負荷モードに移行した。

- バッテリー電圧低下
- 姿勢異常
- 自動制御用オンボードコンピュータの異常
- テレメトリ・コマンド系コンピュータの異常
- テレメトリ・コマンド用信号の応答時間超過

**図 - 2 - 4 軽負荷モード移行時のバス電圧データ**

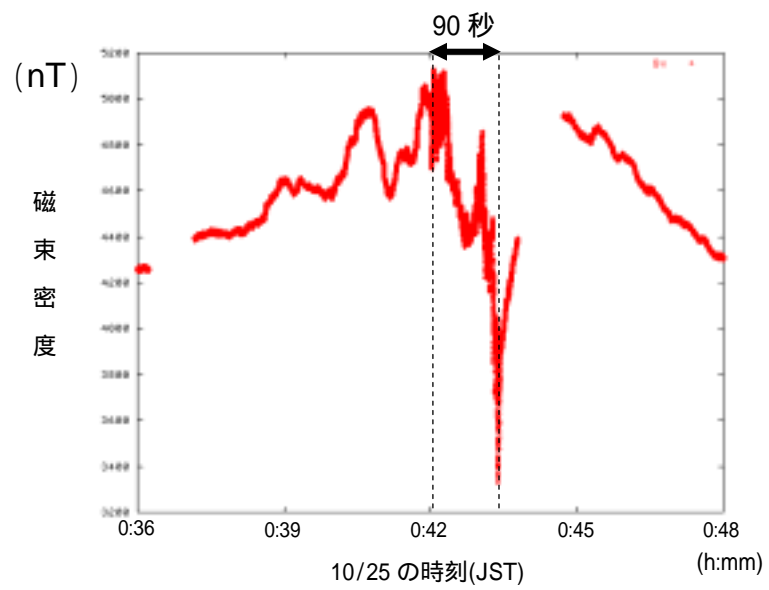


図 - 2 - 5 FedSat で観測された「みどり」不具合時の北極域での磁場変動

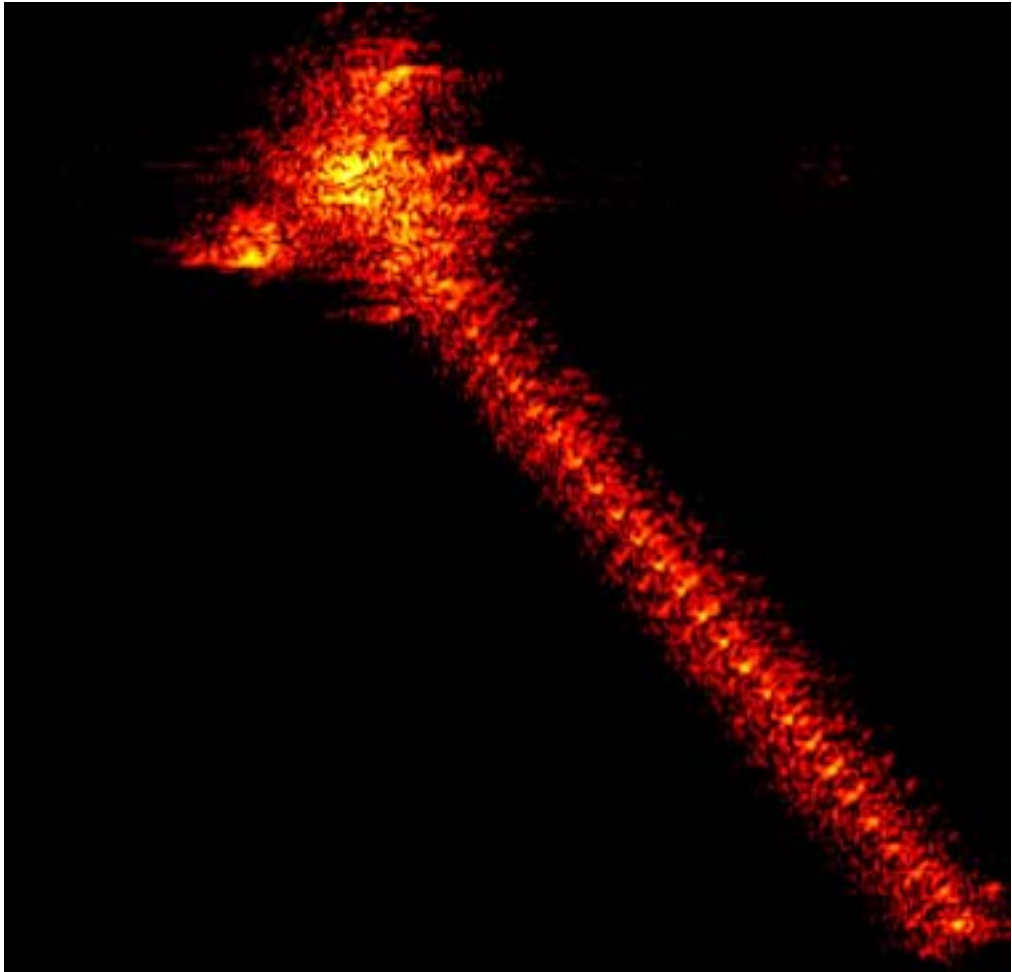


図 - 2 - 6 応用自然科学研究協会(FGAN)高周波物理研究所  
(FHR)のレーダによる「みどり」の画像  
(平成15年10月28日 6:01(日本標準時)撮像)

FGAN : Forschungsgesellschaft fuer Angewandte Naturwissenschaften e.V.  
FHR : Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik

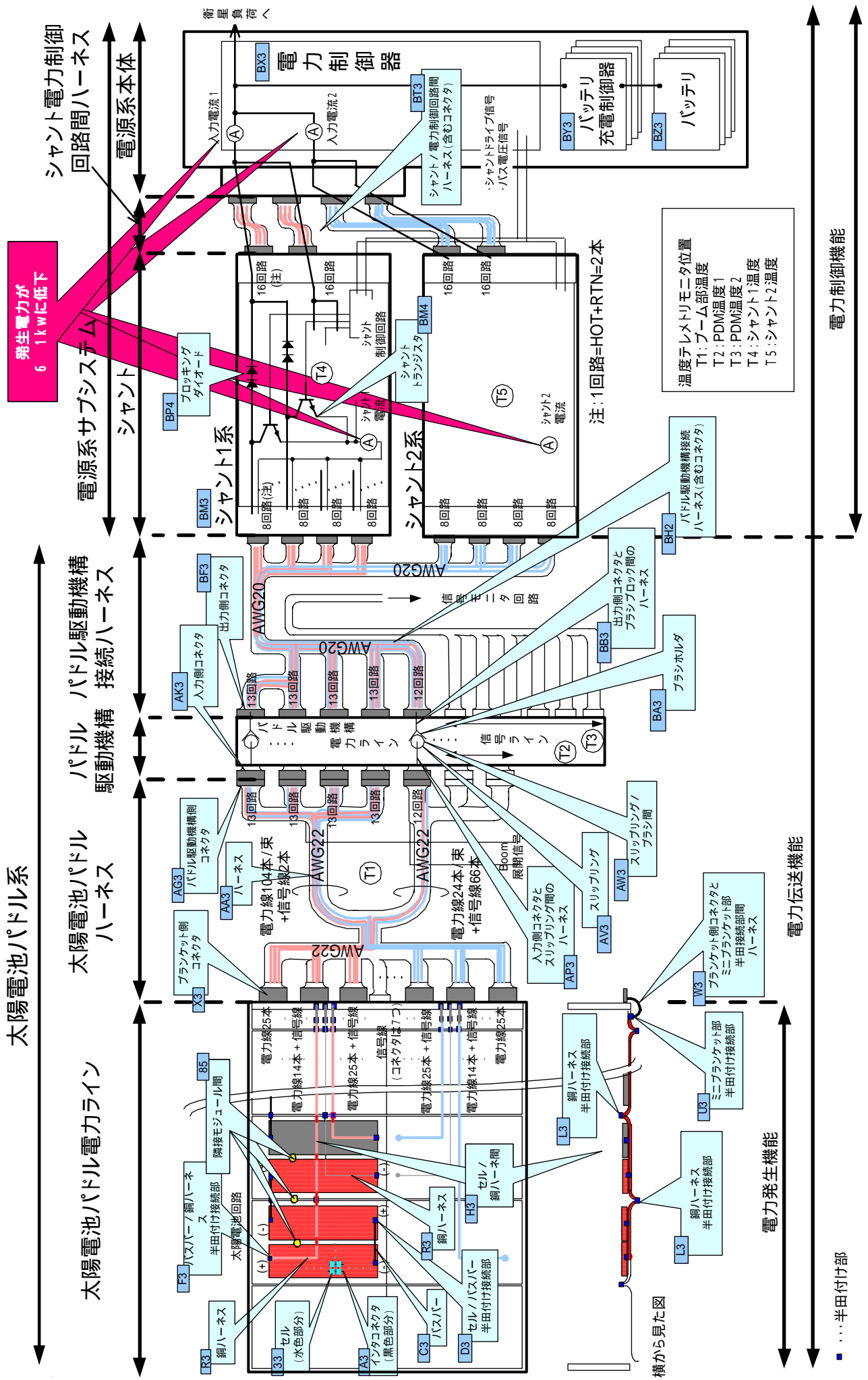


図 - 3 - 1 故障の本解析(FTA) (補足図)

電力制御機能

電力伝送機能

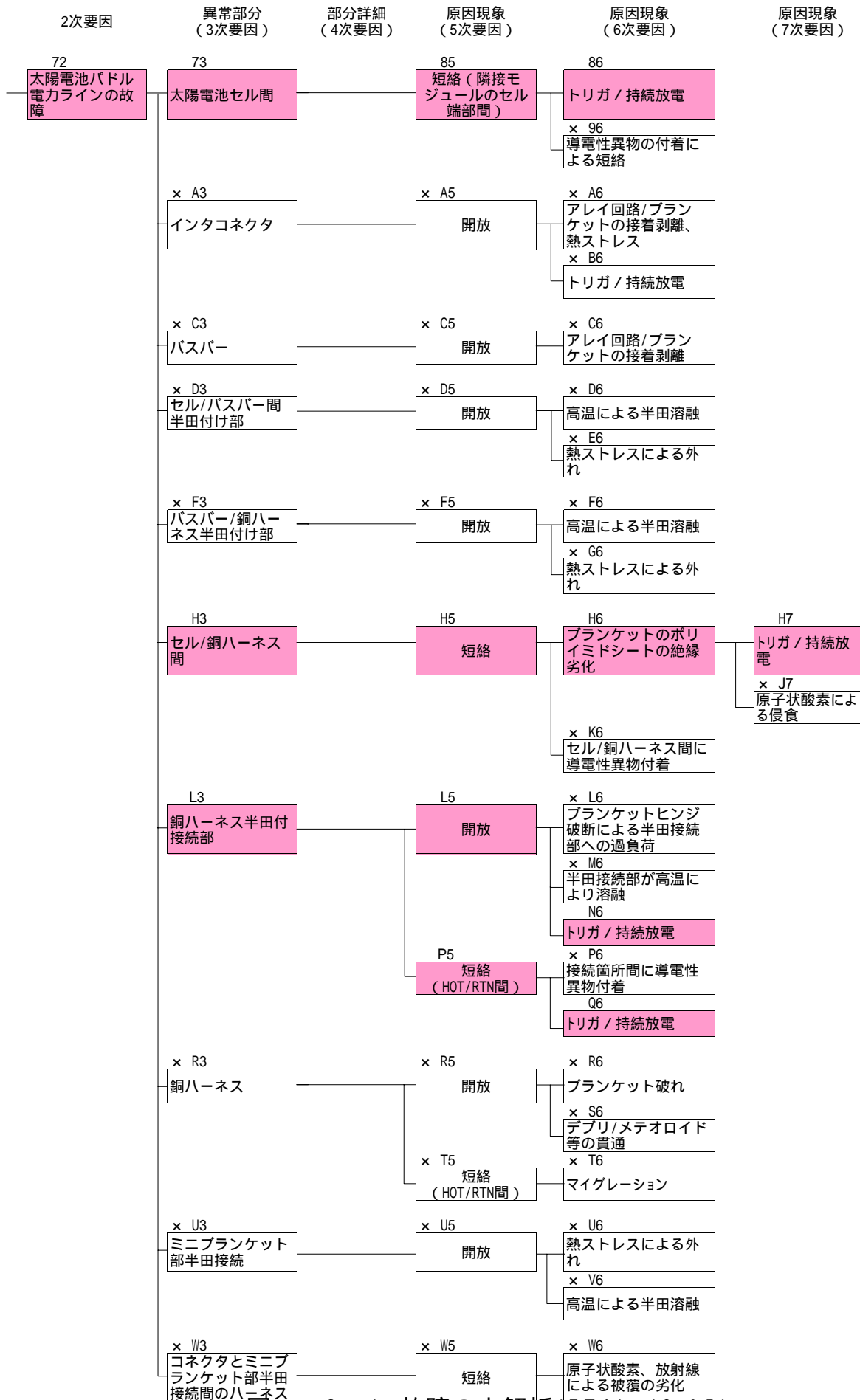
電力発生機能

● ……半田付け部



凡例  
 :可能性が否定できない。  
 x :可能性がない、又は可能性が低い。

図 - 3 - 1 故障の木解析(FTA) (1 / 5)



☒ - 3 - 1 故障の木解析 (FTA) (2 / 5)



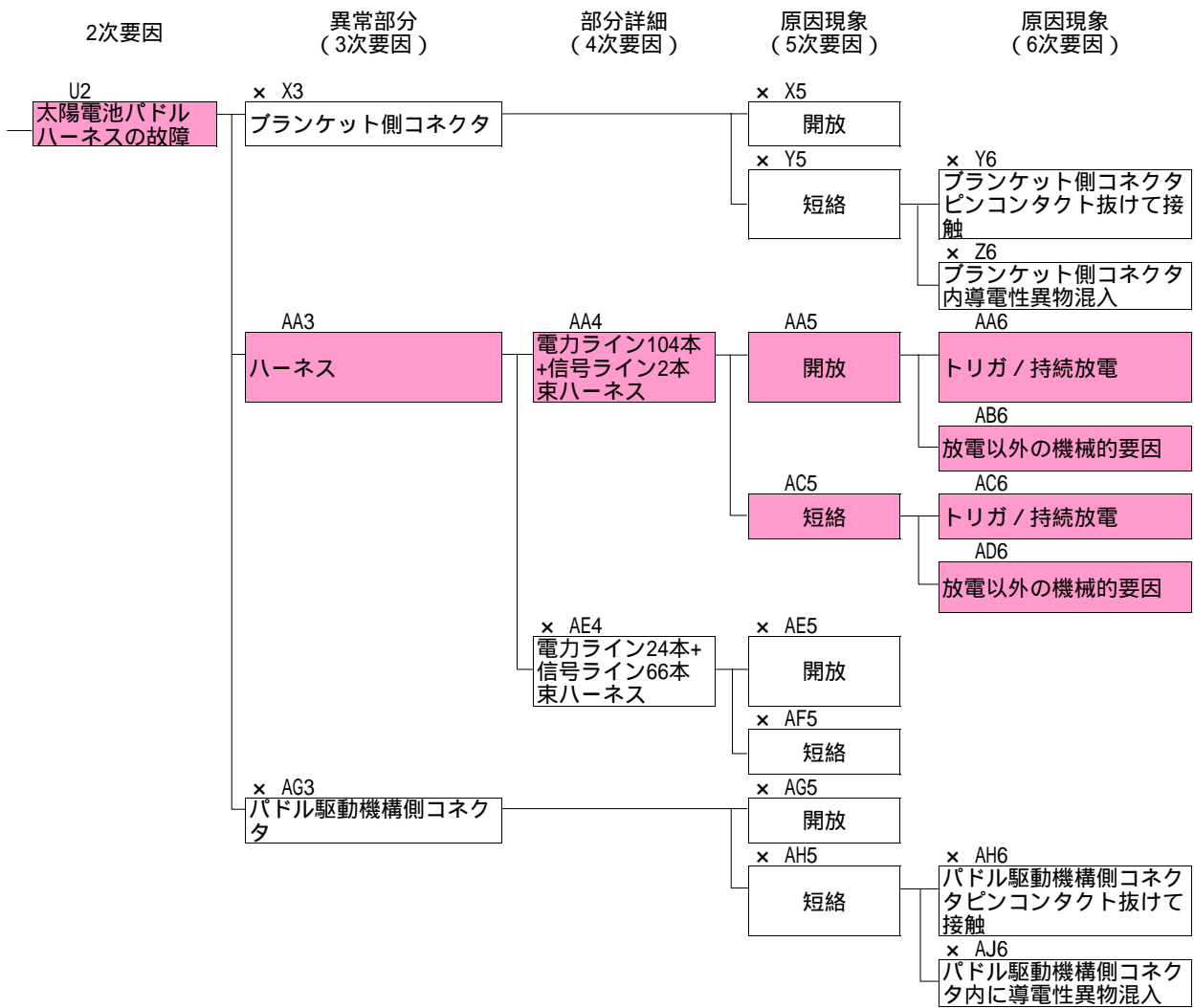


図 - 3 - 1 故障の木解析(FTA) (3 / 5)

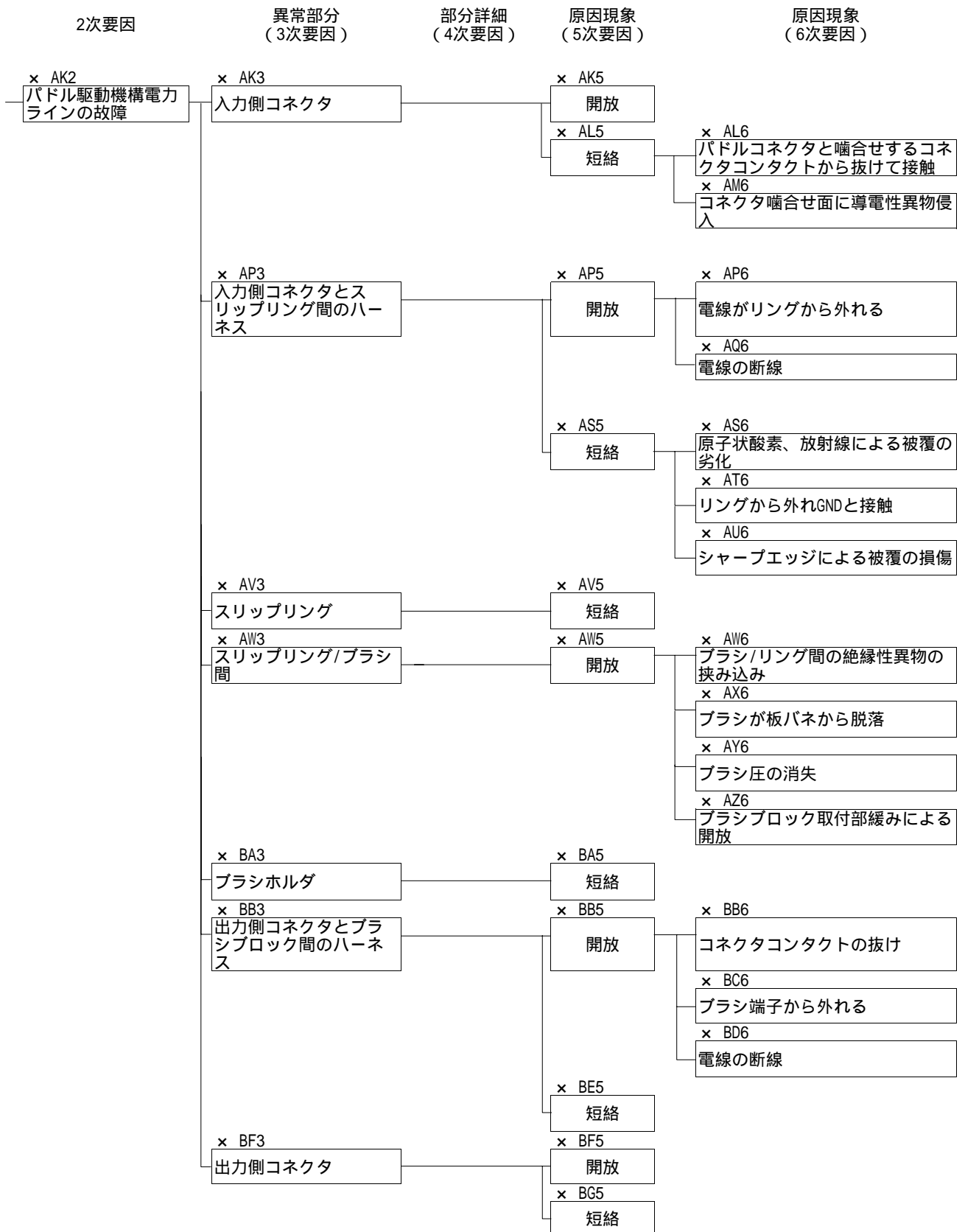


図 - 3 - 1 故障の木解析(FTA) (4 / 5)

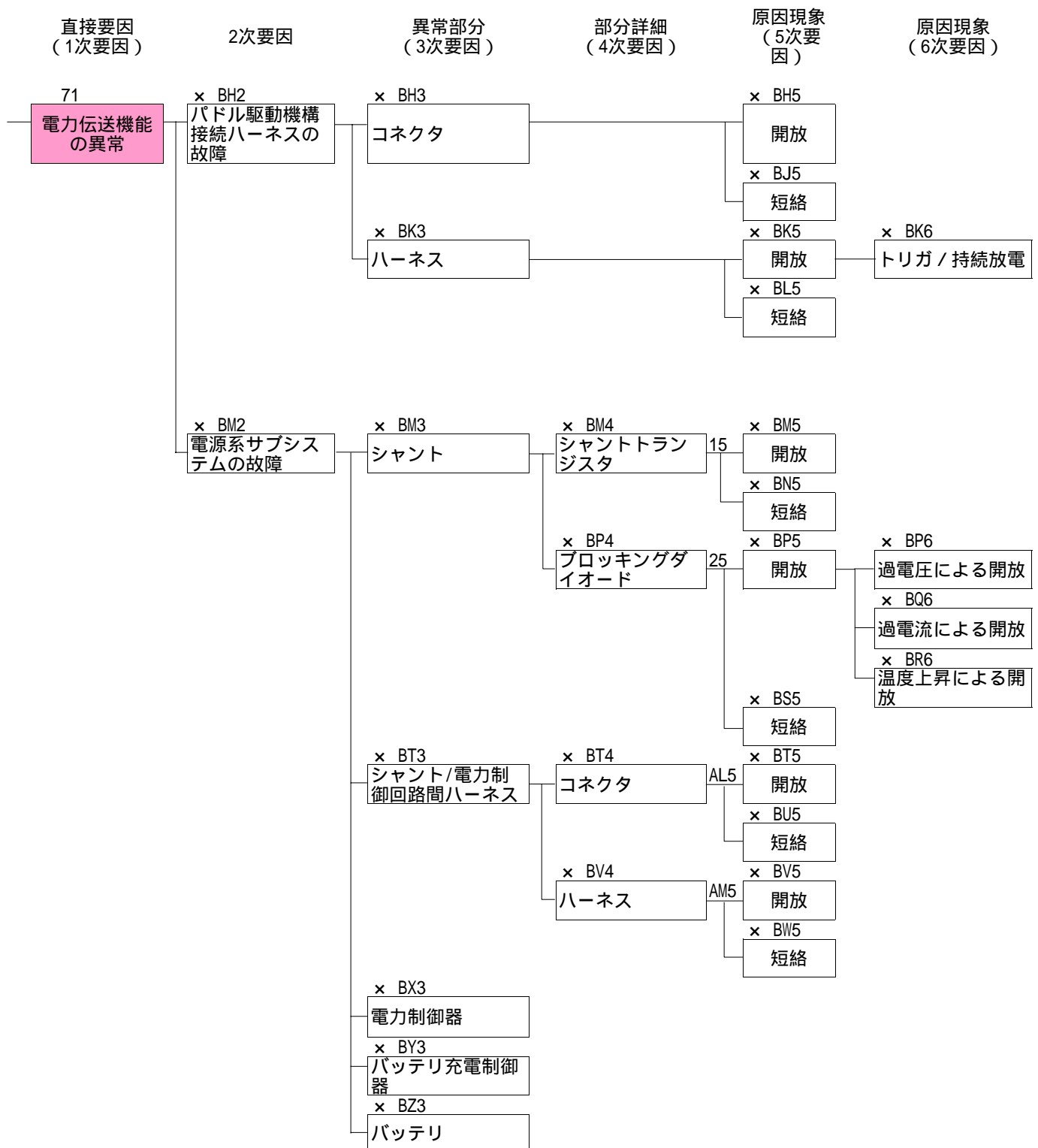


図 - 3 - 1 故障の木解析(FTA) (5 / 5)

表 - 3 - 1 故障の本解析評価理由 (1 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評価理由
太陽電池パドル		15	x	電力低下につながるレベルの角度変動がないことをテレメトリで確認した。
姿勢制御系		25	x	電力低下につながるレベルの姿勢変動がないことをテレメトリで確認した。
		35	x	約3分間で発生電力を1/6に低下させるような大量の放射線はTEDAにより観測されていないことを確認した。
		45	x	セルは約56000枚あり、約3分間で発生電力を約1/6に低下させるような大量のセルの機械的損傷は考えにくい。
太陽電池セル		55	x	セルは約56000枚あり、約3分間で発生電力を1/6に低下させるような大量のセルの短絡の要因としては、環境磁場の変動が考えられるが、観測された磁場変化により誘起される電圧は十分小さいことを解析で確認した。
		65	x	打上げ10ヶ月後に発生電力を約1/6に低下させるようなアウトガス発生源はない。 スラスタ噴射によりセルの発生電力低下は起こり得ない。(電力低下時にスラスタ噴射がないこともテレメトリで確認している。)
		75	x	約3分間で発生電力を1/6に低下させるような大量の紫外線や放射線は観測されていない。
太陽電池セル間		86		1回路で放電が発生し短絡することはあり得る。 他衛星の試験で隣接回路に波及しないことが確認されている。類似性の評価を実施し、他衛星の試験の方が厳しい条件であることを確認した。
		96	x	導電性の異物が約3分間に50回路相当にほぼ同時に付着し、短絡する可能性は極めて低い。
インタコネクタ		A6	x	クーポンブランケット試験により、27000サイクルでも半田付けに問題ないことを確認しており、5000サイクル以下で外れることはない。 アレー回路は5並列構成で、カバーガラス付セル(Coverglass Integrated Cell ; CIC)あたり3点の接続点を持っており、CICの開放が1回路の開放につながるには15箇所開放が必要であり、可能性は極めて低い。 電力低下の傾向が1系及び2系でほぼ同様に起こる事象に対しては、1系及び2系の回路がほぼ同じ回路数ずつ破損し、これが連続的に起こらなければならないが、このような破損がパドルの機械的挙動に現れず起きる可能性は極めて低い。 約50回路の故障に及ぶようなテンション、温度は観測されていない。
		B6	x	アレー回路は5並列構成で、CICあたり3点の接続点を持っており、CICの開放が1回路の開放につながるには15箇所の開放が必要であり、放電によりすべてが開放する可能性は極めて低い。

:可能性を否定できない x:可能性がない x:可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (2 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評価理由
バスバー		C6	x	バスバーは8mm幅のアルミメッシュでできているため、機械的には、十分な強度を有し、開放する可能性は極めて低い。 約50回路が約3分間に続けて開放する可能性は極めて低い。 電力低下の傾向が1系及び2系でほぼ同様に起こる事象に対しては、1系及び2系の回路がほぼ同じ回路数ずつ破損し、これが連続的に起こらなければならないが、このような破損がパドルの機械的挙動に現れずに起きる可能性は極めて低い。
セル / バスバー間半田付け部		D6	x	半田の融点は180程度であるが、そのような高温になる要因はない。 アレー回路は5並列構成で、CICあたり3点の接続点を持っており、CICの開放が1回路の開放につながるには15箇所開放が必要であり、CICの開放が回路の開放につながる可能性は極めて低い。 約50回路が約3分間に続けて開放する可能性は極めて低い。
		E6	x	クーポンブランケット試験により、27000サイクルでも半田付けに問題ないことを確認しており、5000サイクル以下で外れることはない。 約50回路が約3分間に続けて開放する可能性は極めて低い。
		F6	x	半田の融点は180程度であるが、そのような高温になる要因はない。 2点で半田付けされている。 約50回路が約3分間に続けて開放する可能性は極めて低い。
バスバー / 銅ハーネス半田付け部		G6	x	クーポンブランケット試験により、27000サイクルでも半田付けに問題ないことを確認しており、5000サイクル以下で外れることはない。 2点で半田付けされている。 約50回路が約3分間に続けて開放する可能性は極めて低い。
セル / 銅ハーネス間		H7		アレー回路と銅ハーネスはポリイミドで絶縁されているが、傷があればその部分で放電が発生し、短絡することは有りうる。 他衛星の試験で、隣接回路に波及しないことが確認されている。類似性の評価を実施し、他衛星の試験の方が厳しい条件であることを確認した。
		J7	x	ミッション期間中のポリイミドの原子状酸素による侵食は数ミクロン以下と評価されており、アレー/銅ハーネス間には25ミクロンのポリイミドシート及び接着剤層があることから、絶縁劣化はない。
		K6	x	信号ラインを除く約50回路を短絡させるほどの数の異物が混入することはあり得ない。 打上げ前に短絡がないことを確認しており、打上げ10ヵ月後の約3分間に約50回路が異物により短絡することはあり得ない。

:可能性を否定できない x:可能性がない または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (3 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評価理由
銅ハーネス半田付け接続部	L6	x		PSM出力のプロファイル及び固有振動数は電力低下前後で変化がないのでブラケットは伸びていない。従って、ブラケット間ヒンジが破断していることはなく、ヒンジ破断による半田付け部への過負荷はない。
	M6	x		パドル温度テレメトリデータは70度以下であり、広範囲にわたり高温となっていたことはない。半田の融点(180程度)まで余裕がある。 約3分間に約50回路の半田付け部の温度が融点まで上昇する要因はない。
	N6			試験により、単発の放電発生は確認されたが、持続放電は見られなかった。 1回路の放電が約50回路に波及する可能性は否定できない。
	P6	x		信号ラインを除く約50回路を短絡させるほどの数の異物が混入することはあり得ない。 打上げ前に短絡がないことを確認しており、打上げ10カ月後の約3分間に約50回路が異物により短絡することはありません。
	Q6			試験により、単発の放電発生は確認されたが、持続放電は見られなかった。 1回路の放電が約50回路に波及する可能性は否定できない。
	R6	x		周囲をダブラで補強してあるため、姿勢に表れない破断は考えられない。 信号線前で破断が止まるストップパがない。 1系、2系同時に切れることは考えられない。
銅ハーネス	S6	x		幅1cmの銅ハーネスを3分間に50回路相当切断するほどの数のデブリが衝突することは考えられない。 信号ラインを除いてデブリが当たるとは考えられない。
	T6	x		保管されていたブラケットサンプルでマイグレーションがないことを確認した。

:可能性を否定できない      x:可能性がない。または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の本解析評価理由 (4 / 10)

異常部分 (3次要因)	番号	評価	評価理由
ミニブラケット部 半田接続	U6	x	約50回路が約3分間に続けて開放することはあり得ない。 ハーネスは十分なストレスリリフを有している。
	V6	x	ハーネスのジュール熱により半田が溶融しないことを解析で確認した。 当該半田付けはシリコン接着材コーティングされているため、放電の可能性はない。
コネクタとミニブラケット 部半田接続部間のハーネス	W6	x	使用しているE T F E 被覆電線 (宇宙空間に露出) は原子状酸素と放射線の複合環境に対して十分な耐性があるため、通常の環境条件・使用条件下では短絡・地絡に至る被覆劣化は生じ得ない。 (放射線被曝量： $1 \times 10^7 \text{ rad} < \text{耐性} : 5 \times 10^8 \text{ rad}$ ) この事象が仮に発生したとしても時間的にも3分間で上記の現象が約50回路分の電線で徐々に起きる可能性はあり得ない。
	X5	x	ねじ止めされている電力出力用コネクタ6個のコネクタが約3分間に順次、劣化/破損を生じて外れることはあり得ない。 信号線には異常が見られないため、6個のコネクタのうち信号線を含まない2個のコネクタの異常では、約5kVの電力低下にはならない。 コネクタコンタクトはかじめタイプである。
ブラケット側コネクタ	Y6	x	開放から短絡に至るモード。X5参照
	Z6	x	約3分間に約50回路が導電性の異物により短絡しなければならないが、その可能性はない。 信号線には異常が見られないため、6個のコネクタのうち信号線を含まない2個のコネクタの異常では、約5kVの電力低下にはならない。 コネクタはMLIで覆われており、異物混入の可能性は極めて低い。

:可能性を否定できない      x :可能性がない。または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (5 / 10)

異常部分 (3次要因)	番号	評価	評価理由
ハーネス	AA6		電力ライン104本+信号ライン2本のハーネス束が開放すれば電力が約1kWに低下する事象を説明できる。地上試験により20本のハーネス束が開放または短絡することを確認した。
	AB6		電力ライン104本+信号ライン2本のハーネス束が開放すれば電力が約1kWに低下する事象を説明できる。デブリ、熱サイクル等が要因として否定できない。
	AC6		電力ライン104本+信号ライン2本のハーネス束が短絡すれば電力が約1kWに低下する事象を説明できる。地上試験により20本のハーネス束が開放または短絡することを確認した。
	AD6		電力ライン104本+信号ライン2本のハーネス束が短絡すれば電力が約1kWに低下する事象を説明できる。デブリ、熱サイクル、放射線等が要因として否定できない。
	AE5	x	電力ライン24本 + 信号ライン66本のハーネス束のうち、信号ラインのみを残して開放することはあり得ない。
	AF5	x	電力ライン24本 + 信号ライン66本のハーネス束のうち、信号ラインのみを残して短絡することはあり得ない。
パドル駆動機構側コネクタ	AG5	x	ねじ止めされている電力出力用コネクタ5個のうち、4個のコネクタが約3分間に順次、劣化 / 破損を生じて外れることはあり得ない。 コネクタコンタクトはかめタイプである。
	AH6	x	開放から短絡に至るモード。AG5参照
	AJ6	x	約3分間に約5kWの電力低下を起こすには、電力出力用コネクタ5個のうち、4個のコネクタの全ピンが導電性の異物により短絡しなければならないが、その可能性はない。
入力側コネクタ	AK5	x	ねじ止めされている電力出力用コネクタ5個のうち、4個のコネクタが約3分間に順次、劣化 / 破損を生じてはずれする可能性はない。
	AL6	x	開放から短絡に至るモード。AK5参照
	AM6	x	徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力入力用D-subコネクタ5個のうち、4個のコネクタ噛合面に徐々に導電性の異物が混入しなければならないが、コネクタの噛合面は密封状態であり、異物が侵入する可能性はない。 この事象が仮に発生したとしても時間的に3分間でも時間的に3分間で上記の現象が徐々に起きる可能性はあり得ない。

:可能性を否定できない      x :可能性がない      x :可能性が低い。



表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (6 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評価理由
入力側コネクタとスリップリング間のハーネス		AP6	x	<p>徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング (HOT) 6 4 リングのうち、約80%にあたる約5 0 リングのすべての電線、または電力用 (RTN) 5 リングのうち、約80%にあたる約4 リングのすべての電線 (合計5 1 本) が、徐々にリング内周面の端子 (リングと一体加工) から外れて接触しなければならぬが、そのようなことはあり得ない。</p> <p>電線はこの端子に半田付けし、その周りは電線ごと樹脂で固めており、電線を引き抜くような外力は作用しない。</p> <p>約3分間で上記の現象が徐々に起きる可能性はあり得ない。3分間のPDM回転角は約10度。同じPDM内のコネクタにある同様の信号用リングを介するテレメトリには異常がない。</p> <p>温度テレメトリの上昇は観測されていない。</p>
		AQ6	x	<p>徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング (HOT) 6 4 リングのうち、約80%にあたる約5 0 リングのすべての電線が断線しなければならぬが、通常の環境条件・使用条件下では、電線が断線するような外力は作用しない。</p> <p>同じPDM内のコネクタにある同様の信号用リングを介するテレメトリには異常がない。</p>
		AS6	x	<p>約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング (HOT) 6 4 リングのうち、約80%にあたる約5 0 リングのすべての電線とRTN側の電線の被覆が劣化し接触しなければならぬが、スリップリングからPAD側ハーネスに使用しているE T F E被覆電線 (一部宇宙空間に露出) は原子状酸素と放射線の複合環境に対して十分な耐久性があるため、通常の環境条件・使用条件下では短絡・地絡に至る被覆劣化は生じ得ない。</p> <p>放射線被曝量: <math>1 \times 10^7 \text{ rad} &lt; \text{耐性} : 5 \times 10^8 \text{ rad}</math></p> <p>この現象が仮に発生したとしても時間的にも3分間で上記の現象が約5 0 リング分の電線で徐々に起きる可能性はあり得ない。</p> <p>同じPDM内にある同様の信号用リングを介するテレメトリに異常がない。</p>
		AT6	x	開放から短絡に至るモード。AP6参照
		AU6	x	<p>電線と金属部品エッジが接触する部分は樹脂による保護を実施しており、通常の環境条件・使用条件下では被覆損傷は生じ得ない。</p> <p>仮に、損傷して短絡した場合温度は上昇するが、近傍の温度センサは温度低下を示していることからテレメトリと一致しない。</p>

:可能性を否定できない      x :可能性がない。または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (7 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評価理由
スリップリング	AV5	x		パドル駆動機構の温度低下のテレメトリと一致しない。
	AW6	x		徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング(HOT)64リングまたは電力用リング(RTN)5リングのうち、約80%にあたるリングのすべてが徐々に開放しなければならぬが、1リング2ブラシ構成(パワーHOTリング、RTNは1リング6ブラシ構成)であり、オープン状態になるためにはブラシが2個ともブラシ/リング間異物を挟み込む必要があるが、PDM内に、絶縁性の異物がいくつも入り込む可能性は低い。高抵抗での接触など完全に開放とならない場合は増加抵抗部分で発熱し、PDMの温度が上昇するため、PDM温度低下の事象と一致しない。
	AX6	x		スリップリングは、1リング2ブラシ構成(パワーHOTリング、RTNは1リング6ブラシ構成)であり、ブラシが2個とも脱落する可能性は低い。 また、徐々に約5kWの電力低下を起こすために、電力用リング(HOT)64リングまたは電力用リング(RTN)5リングのうち、約80%にあたるリングのすべてのブラシが脱落しなければならぬが、その可能性は極めて低い。
	AY6	x		スリップリングは、1リング2ブラシ構成(パワーHOTリング、RTNは1リング6ブラシ構成)であり、ブラシが2個ともブラシ圧を消失する可能性は低い。 また、徐々に約5kWの電力低下を起こすために、電力用リング(HOT)64リングまたは電力用リング(RTN)5リングのうち、約80%にあたるリングのすべてのブラシ圧が徐々に消失しなければならぬが、その可能性は極めて低い。
	AZ6	x		各ブラシは、ブラシブロック(RTN:1ブロック(5リング分)、HOT:3ブロック(22リング分))に取り付けられており、各ブラシブロックは高トルク(ロックタイトあり)の6本のネジで筐体に取り付けており外れる可能性はない。 仮に6本のねじ全てが外れ、ブラシがリングから離れたとしても、同時にRTNで5リング、HOTで22リング単位での電力低下が生じると考えられるため、約3分間で徐々にブラシ圧が低下する現象が起きる可能性はない。
	BA5	x		パドル駆動機構の温度低下のテレメトリと一致しない。
ブラシホルダ				

:可能性を否定できない x:可能性がない または可能性が低い。

# 表 - 3 - 1 故障の本解析評価理由

(8 / 10)

異常部分 (3次要因)		番号	評価	評 価 理 由
出力側コネクタとブラシブ ロック間のハーネス		BB6	×	徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力出力用D-subコネクタ5個のうち、4個のコネクタのコンタクトに抜けが生じなければならぬが、電線はコネクタ近傍で束線され、ブラシブロック上の端子に配線されており、コンタクトがコネクタから引き抜くような外力は作用しない。
		BC6	×	徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング(HOT)64リングのうち、約80%にあたる約50リングのすべての電線とRTN側の電線がブラシブロックの端子から外れなければならぬが、電線は端子にハンダ接続された後、端子部は樹脂で電線と一緒に固定されており、電線が端子から外れる可能性はない。通常の環境条件・使用条件下では、電線を端子から引き剥がすような外力は作用しない。
		BD6	×	徐々に約5kWの電力低下を起こすには、電力用リング(HOT)64リングのうち、約80%にあたる約50リングのすべての電線が断線しなければならぬが、通常の環境条件・使用条件下では、電線が断線するような外力は作用しない。 約3分間で上記の現象が徐々に起きる可能性はあり得ない。 同じPDM内のコネクタにある同様の信号用リングを介するテレメトリには異常がない。
出力側コネクタ		BE5	×	パドル駆動機構の温度低下のテレメトリと一致しない。
		BF5	×	ねじ止めされている電力出力用コネクタ5個のうち、4個のコネクタが約3分間に順次、劣化/破損を生じて外れる可能性はない。 コネクタコンタクトはかしめタイプである。
		BG5	×	パドル駆動機構の温度低下のテレメトリと一致しない。
コネクタ		BH5	×	ねじ止めされている電力出力用コネクタ5個のうち、4個のコネクタが約3分間に順次、劣化/破損を生じて外れる可能性はない。 コネクタコンタクトはかしめタイプである。
		BJ5	×	パドル駆動機構の温度低下テレメトリと一致しない。
ハーネス		BK6	×	5個のハーネス束のうち、4個のハーネス束が約3分間に順次、劣化/破損をする可能性はない。 ハーネスが高温にならないことを解析により確認した。 MLIは接地されており、部分帯電しない。
		BL5	×	パドル駆動機構の温度低下テレメトリと一致しない。

:可能性を否定できない

×:可能性がない。または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の本解析評価理由 (9 / 10)

異常部分 (3次要因)		評価理由	
	BM5	x	シャントトランジスタが開放しても事象のような電力低下は生じない。
	BN5	x	シャントトランジスタが短絡しても事象のような電力低下は生じない。
	BP6	x	セルの最大発生電圧では故障しない。 観測された磁場変化により誘起される電圧は十分小さいことを解析で確認した。 仮に1回路が故障しても、約50回路が約3分間に続けて開放することはあり得ない。 シャント回路の1系と2系は独立の筐体であり、それぞれのシャント電流及び電力制御回路入力電流がほぼ同期して低下する可能性は低い。 バス電圧テレメトリに過大なレベルは見られない。(テレメトリ更新周期0.5秒) 電力低下前後のシャント回路の動作が正常であることがテレメトリより確認されている。
シャント回路	BQ6	x	放電等によりサージ電流が流れてダイオードが開放故障しても他の回路に故障が波及することはない。 シャント回路の1系と2系は独立の筐体であり、それぞれのシャント電流及び電力制御回路入力電流がほぼ同期して低下する可能性は低い。 電力制御回路入力電流テレメトリに過大なレベルは見られない。(テレメトリ更新周期0.5秒) 電力低下前後のシャント回路の動作が正常であることがテレメトリより確認されている。
	BR6	x	1つのダイオードの定格ジャンクション温度上限(200)の熱解析を行い、隣接するダイオードは最大7程度しか上昇しないことを確認した。 シャント回路の1系と2系は独立の筐体であり、それぞれのシャント電流及び電力制御回路入力電流がほぼ同期して低下することは極めて考えにくい。 シャント温度テレメトリに過大なレベルは見られない。(テレメトリ更新周期16秒) 電力低下前後のシャント回路の動作が正常であることがテレメトリより確認されている。
	BS5	x	ブロッキングダイオードが短絡しても事象のような電力低下は生じない。

:可能性を否定できない      x :可能性がない。または可能性が低い。

表 - 3 - 1 故障の木解析評価理由 (10 / 10)

異常部分 (3次要因)	番号	評価	評価理由
シヤント / 電力制御器間ハーネス	BT5	×	各系の電力ラインが1本に結合されており、約100Wの倍数で電力が低下する事象はあり得ない。
	BU5	×	パドル駆動機構の温度低下テレメトリと一致しない。
	BV5	×	各系の電力ラインが1本に結合されており、約100Wの倍数で電力が低下する事象はあり得ない。
	BW5	×	パドル駆動機構の温度低下テレメトリと一致しない。
	BX3	×	各系の電力ラインが1本に結合されており、約100Wの倍数で電力が低下する事象はあり得ない。
電力制御器	BY3	×	各系の電力ラインが1本に結合されており、約100Wの倍数で電力が低下する事象はあり得ない。
	BZ3	×	各系の電力ラインが1本に結合されており、約100Wの倍数で電力が低下する事象はあり得ない。
バッテリー充電器			
バッテリー			
電源系サブシステム	CA2	×	電力低下発生初期はシヤント回路を順次開くことによりメインバス電圧を維持し、途中からバッテリー充電電流を絞ることによりメインバス電圧を維持し、最終的にバッテリー放電を開始していることをテレメトリにより確認していることから、電力制御機能は正常である。

:可能性を否定できない      × :可能性がない。または可能性が低い。

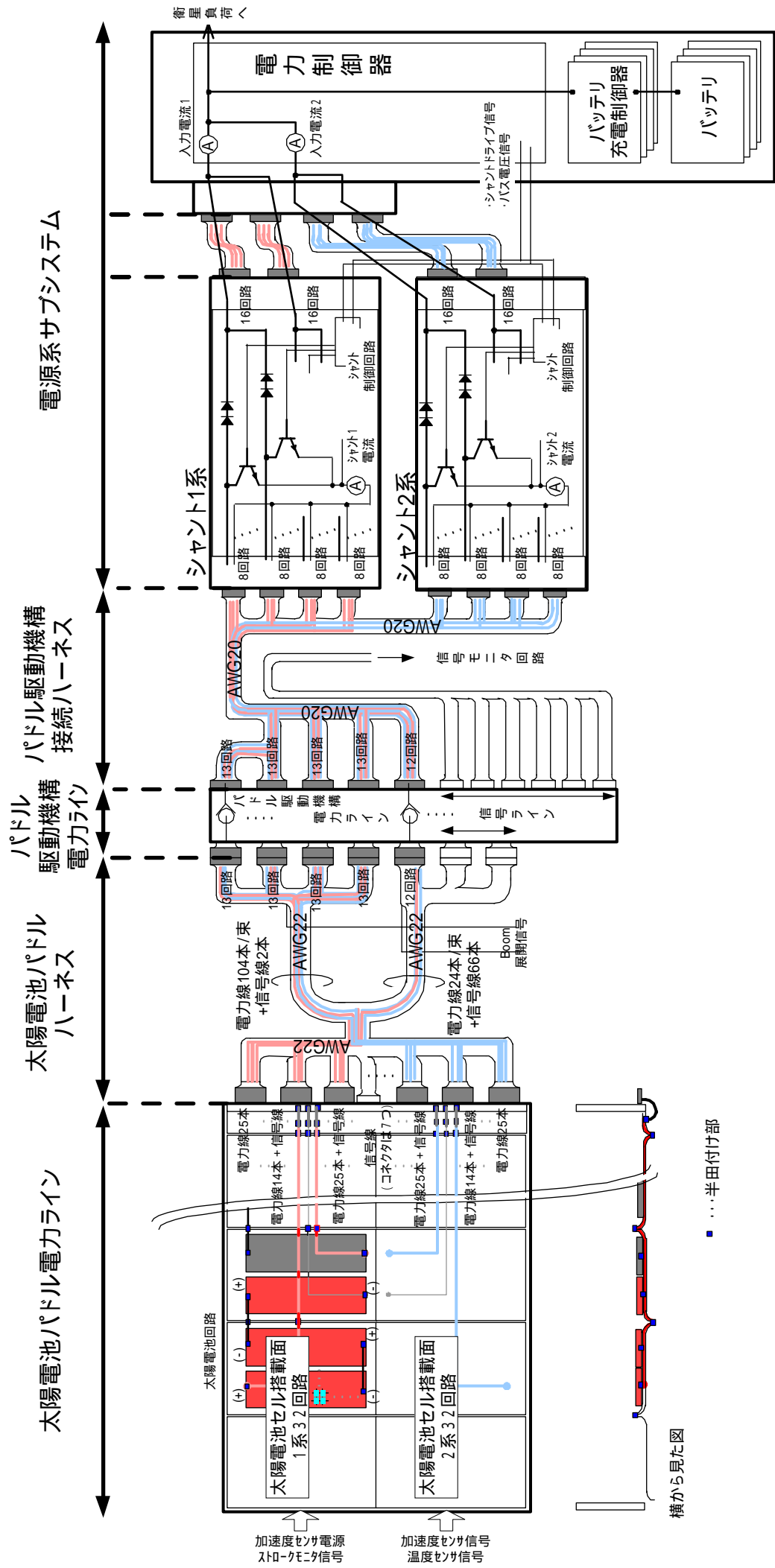


図 - 3 - 2 電力伝送機能概念図

...半田付け部

横から見た図

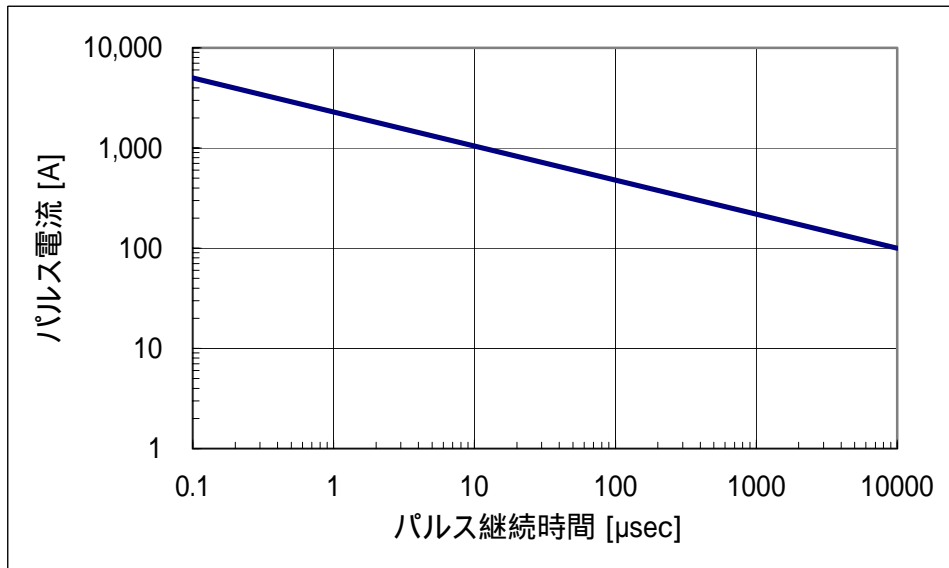
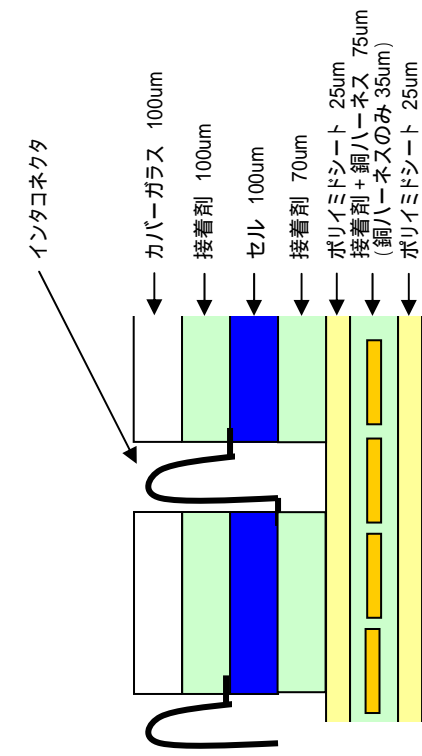
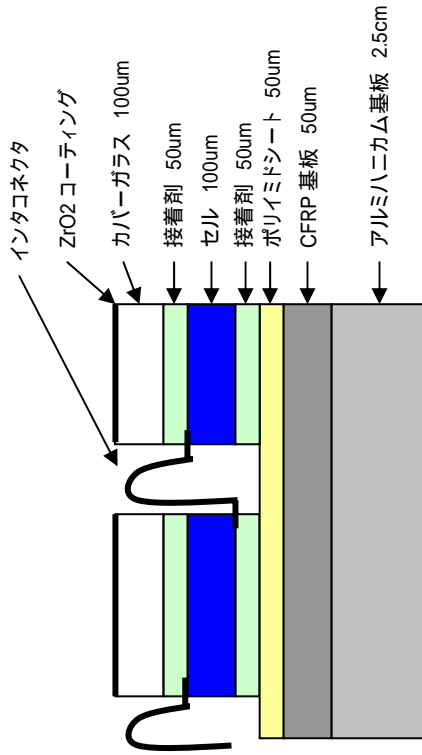


図 - 3 - 3 ブロッキングダイオードのサージ電流特性

「みどりII」の太陽電池ブランチ断面



ETS- の太陽電池ブランチ断面(試験時)



項目	「みどりII」の軌道上環境	ETS- 試験環境
カバーガラス / セル間電位差	~ 1.2[kV]程度(解析値)	1[kV]
インタコネクタ / CFRP 基板間電位差	約 60[V](インタコネクタ / 銅ハーネス間電位)	110[V]
隣接セル間電位差	約 60[V]	55[V] ~ 130[V]
隣接セル間間隔	1.1[mm]	0.65[mm]
電流容量	約 2[A]	2.64[A]
背景中性ガス密度 (背景真空度)	( $10^{-10}$ [torr]程度)	$4.0 \times 10^{16} \sim 1.4 \times 10^{17} [m^{-3}]$ ( $1.2 \times 10^{-6} \sim 4.3 \times 10^{-6}$ [torr])

図 - 3 - 4 「みどりII」の軌道上環境と他衛星の試験環境との比較



### 試験の目的

実機と同等の銅ハーネス接続部の電圧ポテンシャルを下げ、プラズマ環境下において放電が発生することを確認する。

### 供試体

太陽電池パドルの部分試作品  
(銅ハーネス5本、うち2本に電圧を印加)

### 試験環境

中性ガス密度 :  $10^{18} / \text{m}^3$   
プラズマ密度 :  $10^{10} \sim 10^{12} / \text{m}^3$   
ポテンシャル電位 :  $-60\text{V} \sim -1000\text{V}$   
アレイ回路電位 :  $60\text{V}$

### 試験結果

銅ハーネス接続部のランド間においてトリガ放電の発生を確認したが、持続放電への波及は確認されなかった。

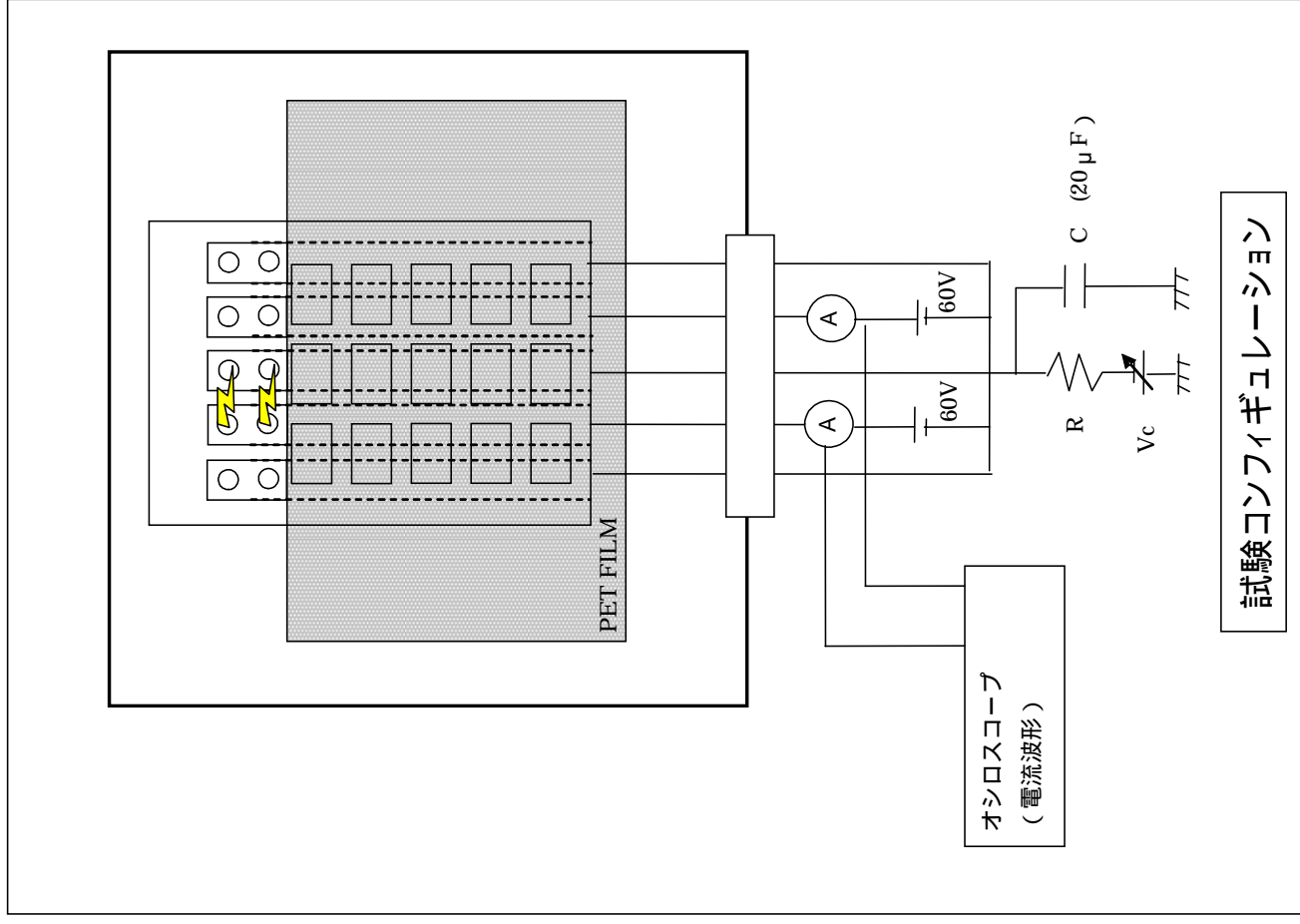


図 - 3 - 5 太陽電池パドル銅ハーネス接続部の帯電及び放電試験

## 試験の目的

運用異常発生後、原因究明の一環としてブーム及びハーネスの軌道上温度を正確に予測するための熱数学モデルを構築する。

## 供試体

「みどり」と熱的に等価なブーム及びハーネスの熱試験モデル

## 試験環境

温度環境 : 軌道上を模擬  
ハーネス通電電流 : 実際の軌道上と同等の電流

## 実測温度と試験結果の比較

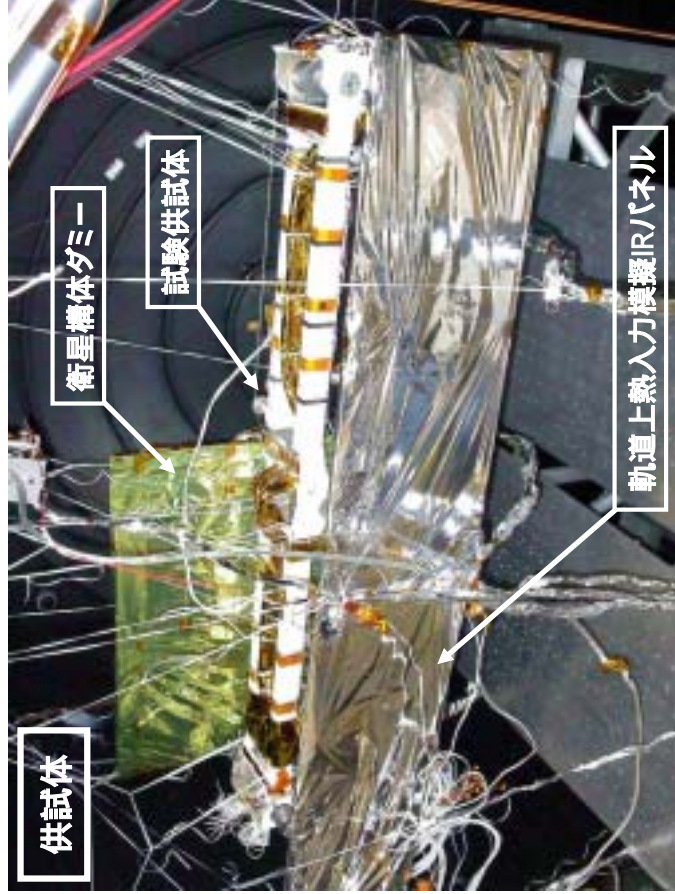
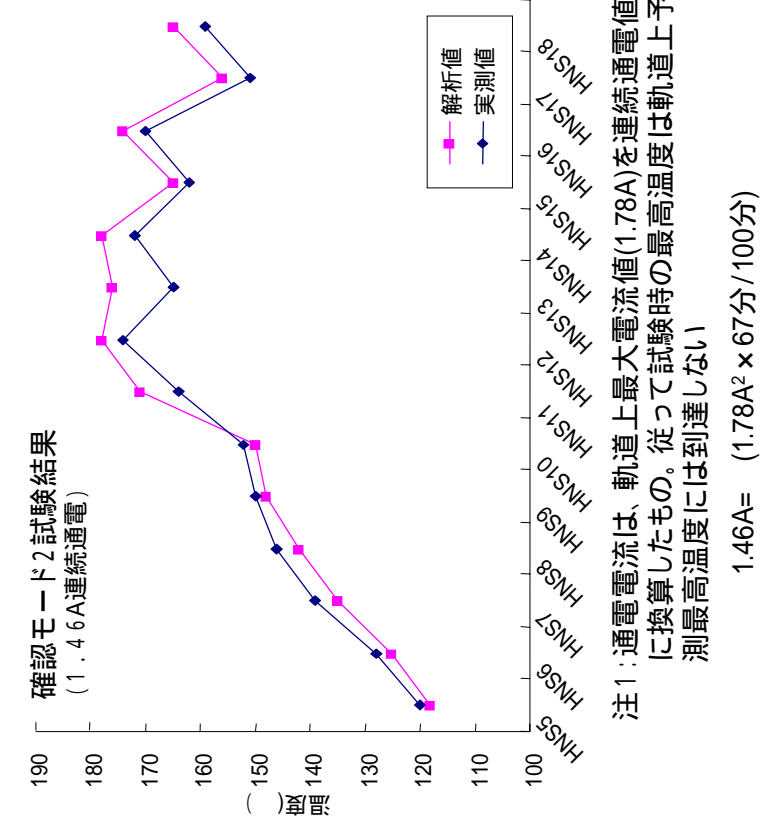


図 - 3 - 6 太陽電池パドルハーネス熱平衡試験概要

## 試験の目的

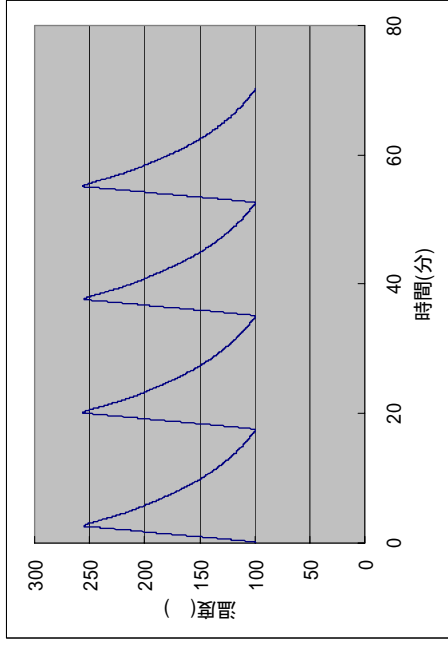
軌道上環境条件の一つとして、「みどり」の太陽電池パドルハーネスが遭遇したと思われる温度サイクル環境がハーネス被覆へ与える影響を確認する。

## 供試体

10cm x 52往復の電線束  
AWG24番線を使用（実機ではAWG22番線を使用）



試験供試体

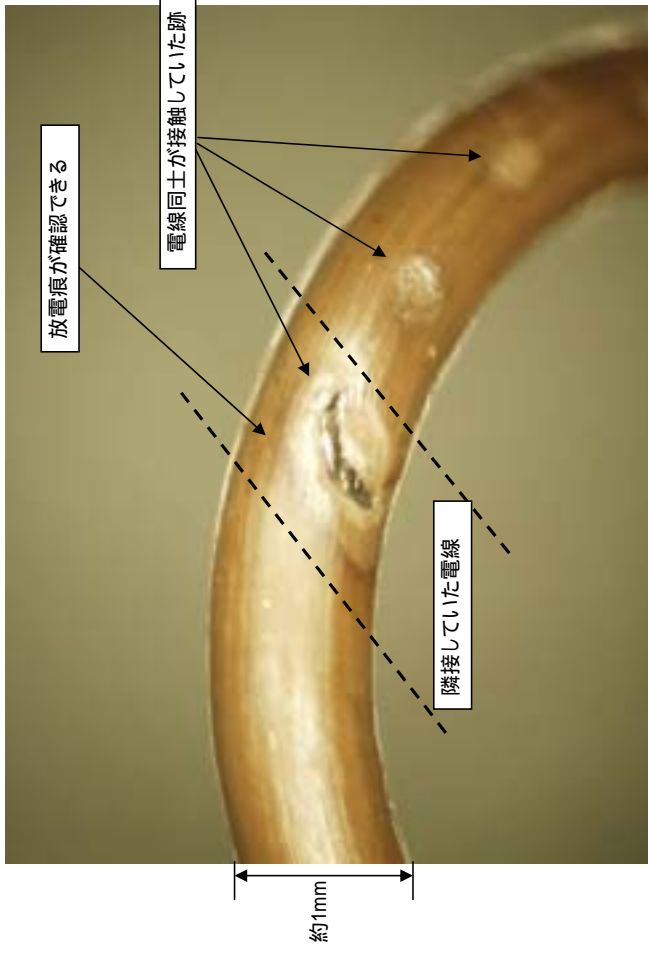


## 試験環境

温度範囲 : 100 ~ 250  
サイクル時間 : 約15分（みどり）  
の軌道上環境は101分周期）  
雰囲気環境 : 0.5torr以下

## 試験結果

約2000サイクルから、約5000サイクルの間で、少なくとも被覆の一ヶ所に芯線に達する損傷が発生することが確認された。



損傷部分の拡大写真

## 試験の目的

高温環境下に曝されることによりハーネスの被覆同士が固着することを確認し、温度サイクル負荷によって損傷が発生することを確認する。

## 供試体

10cm x 52往復の電線束  
AWG22番線を使用（みどりの実機と同等品）

## 試験環境

【高温放置】

温度 : 260

放置時間 : 167時間

雰囲気環境 : 約 $10^{-1}$ torr

【温度サイクル】

温度範囲

サイクル時間

: 約0 ~ 約130

: 約10分（みどり）の軌道

上環境は101分周期）

: 大気圧

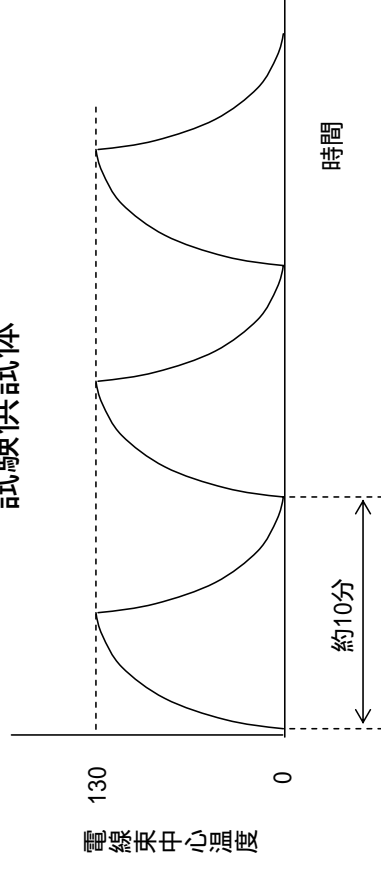
雰囲気環境

## 試験結果

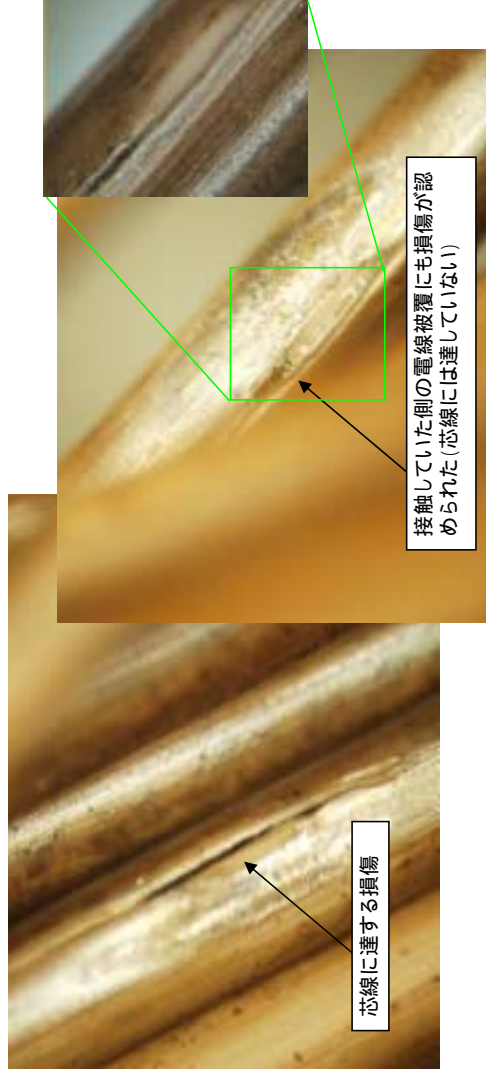
260 の高温放置の結果、電線被覆同士の固着が確認された。  
その後、固着した電線束を温度サイクル試験に供し、約2400サイクル経過時点で少なくとも被覆の1ヶ所に芯線に達する損傷の発生が確認された。



試験供試体



温度サイクルプロファイルの概念図



損傷部分の拡大写真

## 試験の目的

バイアス電圧を印加して負に帯電させたMLIと、プラス側ライン/マイナス側ライン間に電圧(60V; 太陽電池パドルからの出力端に相当)をかけた損傷ハーネスとの間で放電が発生することを確認する。

## 供試体

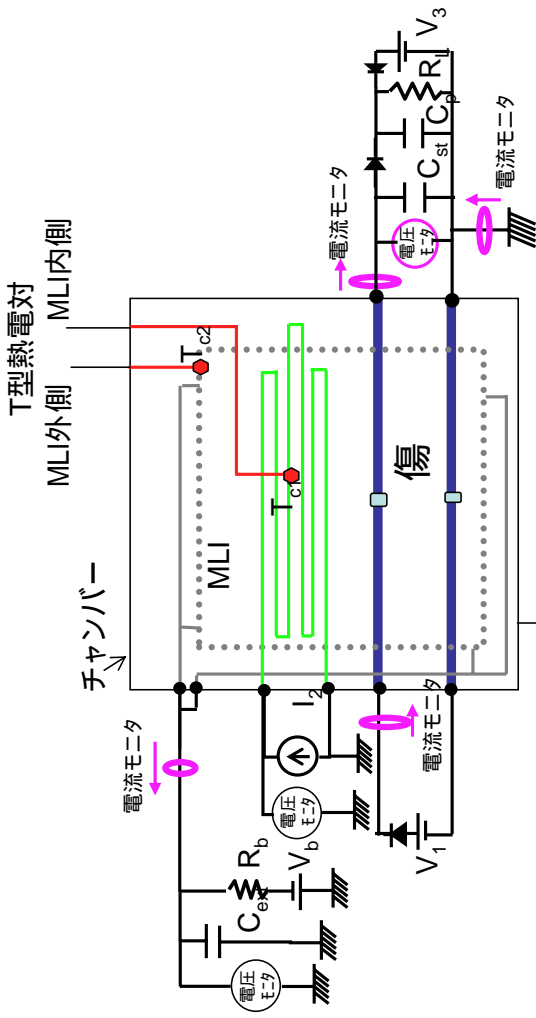
みどり 実機に使用したものと同等のハーネスに環状(サーマルワイヤストリップを用いて加工)の傷を付けたもの。

## 試験環境

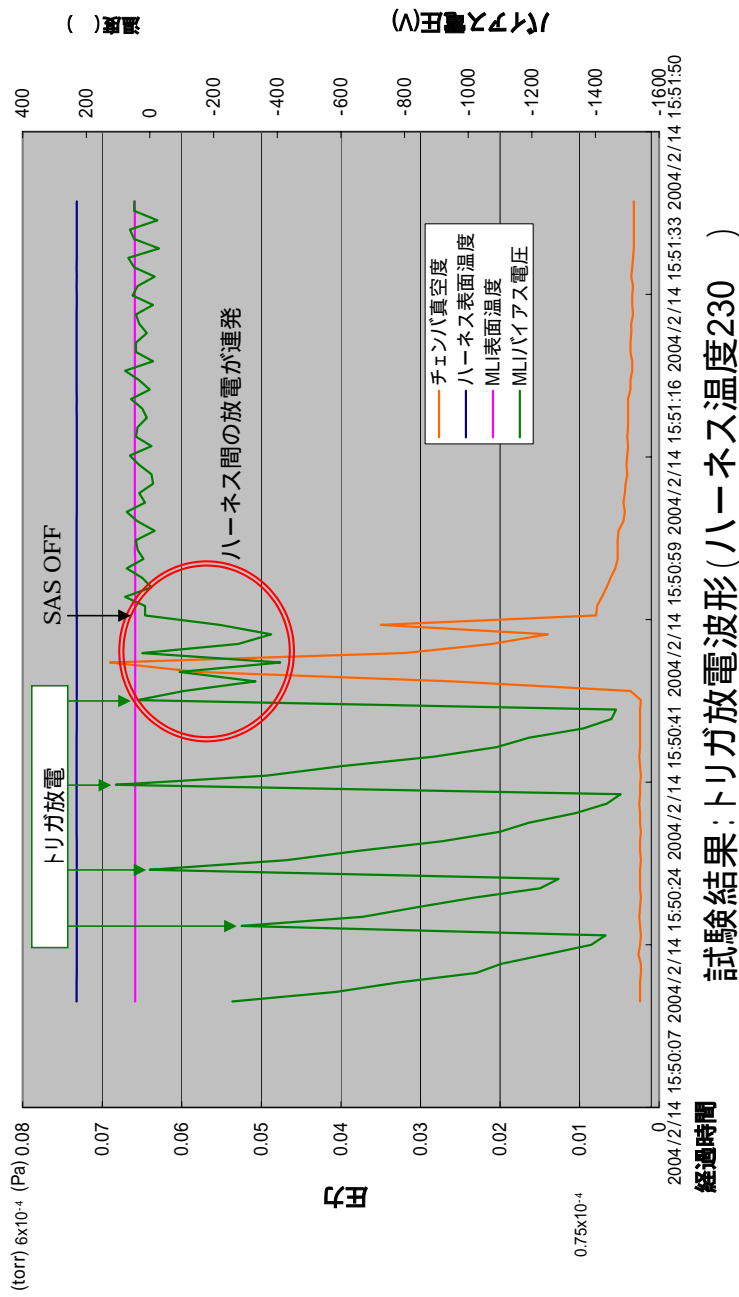
チャンバ背圧 :  $10^{-5}$  torr  
 プラズマ密度 : なし  
 MLIポテンシャル電位 :  $-1.0 \sim -1.7$  kV  
 ハーネス間電位 : 約60V  
 軌道上環境模擬用外部コンデンサ容量 :  $C_{ext}=4.4$  nF  
 ハーネス温度 : 100 ~ 230

## 試験結果

MLIと損傷ハーネス間にトリガ放電が発生するとともに、対向する損傷ハーネス間に単発的な放電が確認された。



試験コンフィギュレーション



試験結果: トリガ放電波形(ハーネス温度230)

図 - 3 - 9 MLIとハーネス間のトリガ放電及びハーネス間の単発放電の検証



## 試験の目的

1組の損傷ハーネスの持続放電が、隣接する多数の回路へ波及することを確認する。

## 供試体

みどりの実機と同等のハーネス

## 試験環境

背圧 :  $10^{-2}$ torr以下

プラズマ : なし

ハーネス温度(波及開始時)

: 約230 (1回目)、約120 (2回目)

傷つきハーネスHOT/RTN間電位

: 60V

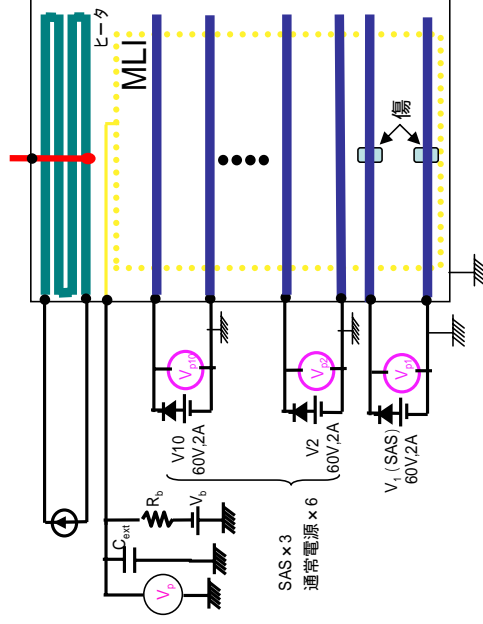
隣接ハーネスHOT/RTN間電位

: 60V(SAS×3、通常電源×6)

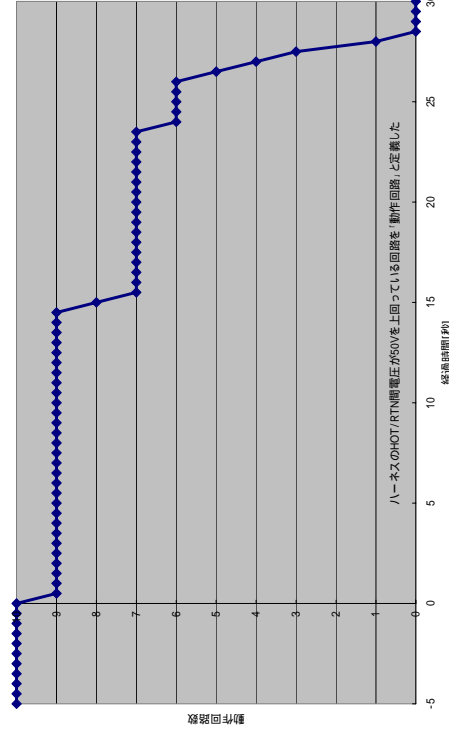
## 試験結果

1回目では、隣接する9回路すべてに波及したことを確認した。被覆は炭化し、ハーネス同士が溶着していた。また、すべての回路のHOTラインは断線していた。約30秒間ですべての回路が開放または短絡した。また、データ取得間隔(0.5秒)以内で複数の回路が開放または短絡したことも確認した。

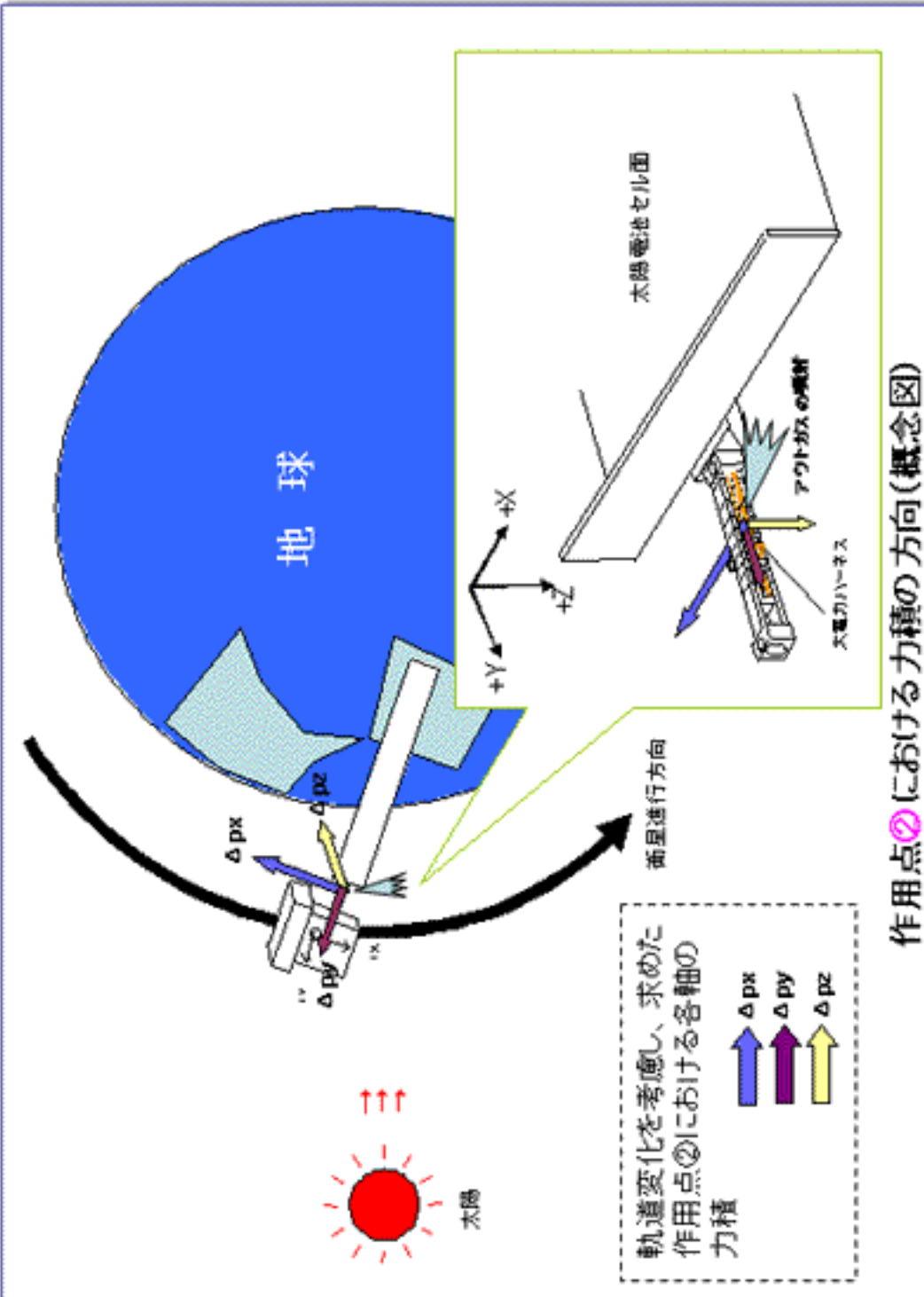
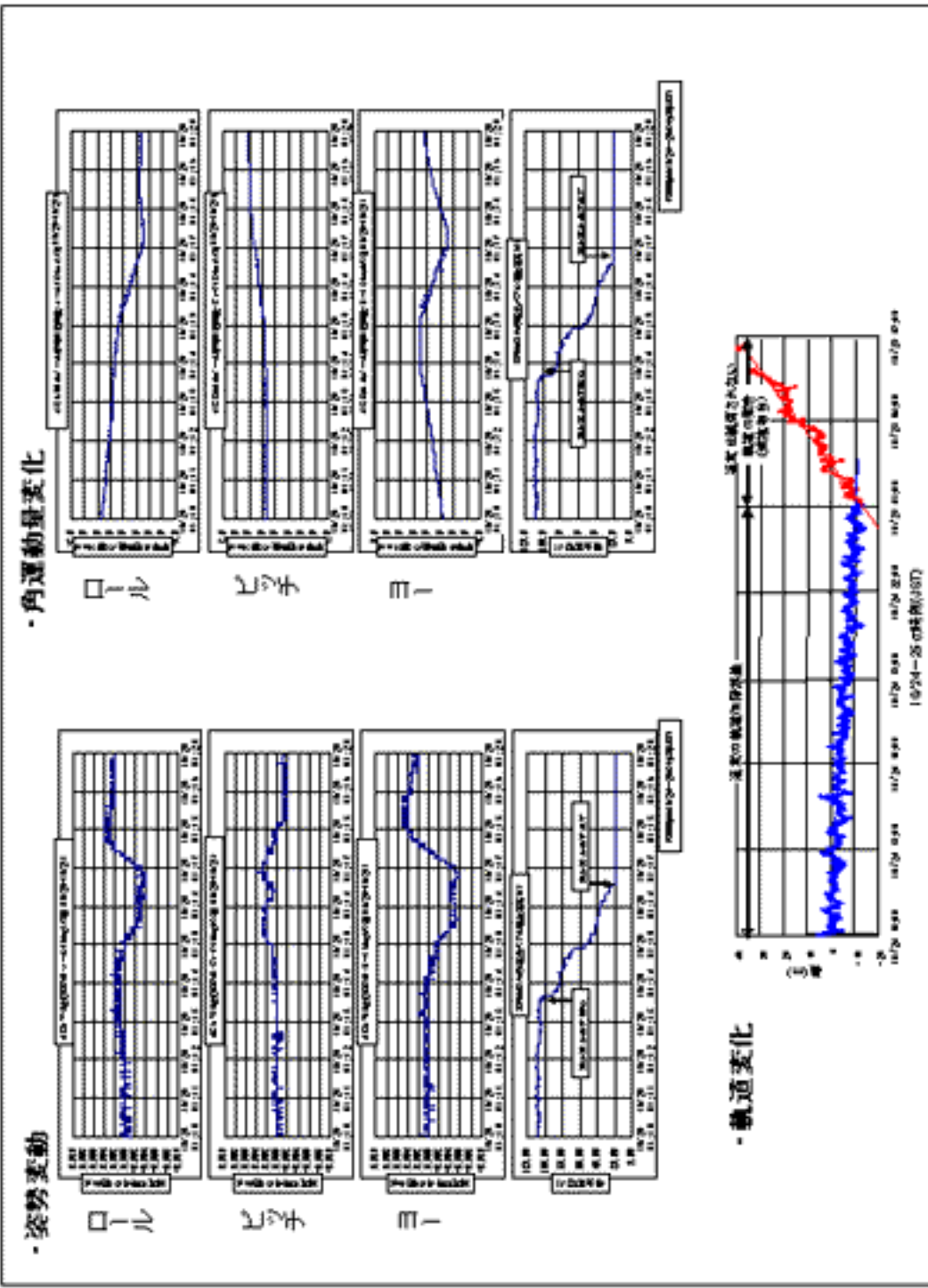
2回目では、約30秒間で8回路の開放または短絡が確認された。残りの2回路についても、完全な短絡までは至らなかったが、線間抵抗が600 にまで低下していることが確認された。



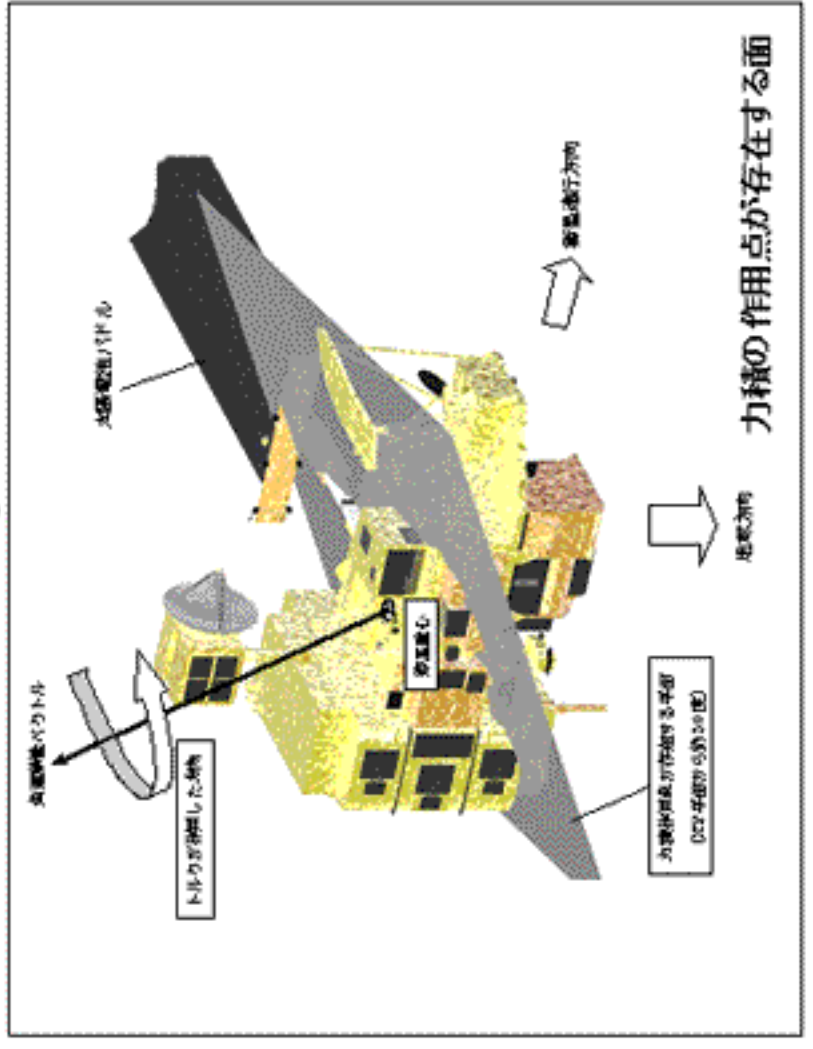
試験後のハーネス外観



隣接回路への波及の経過

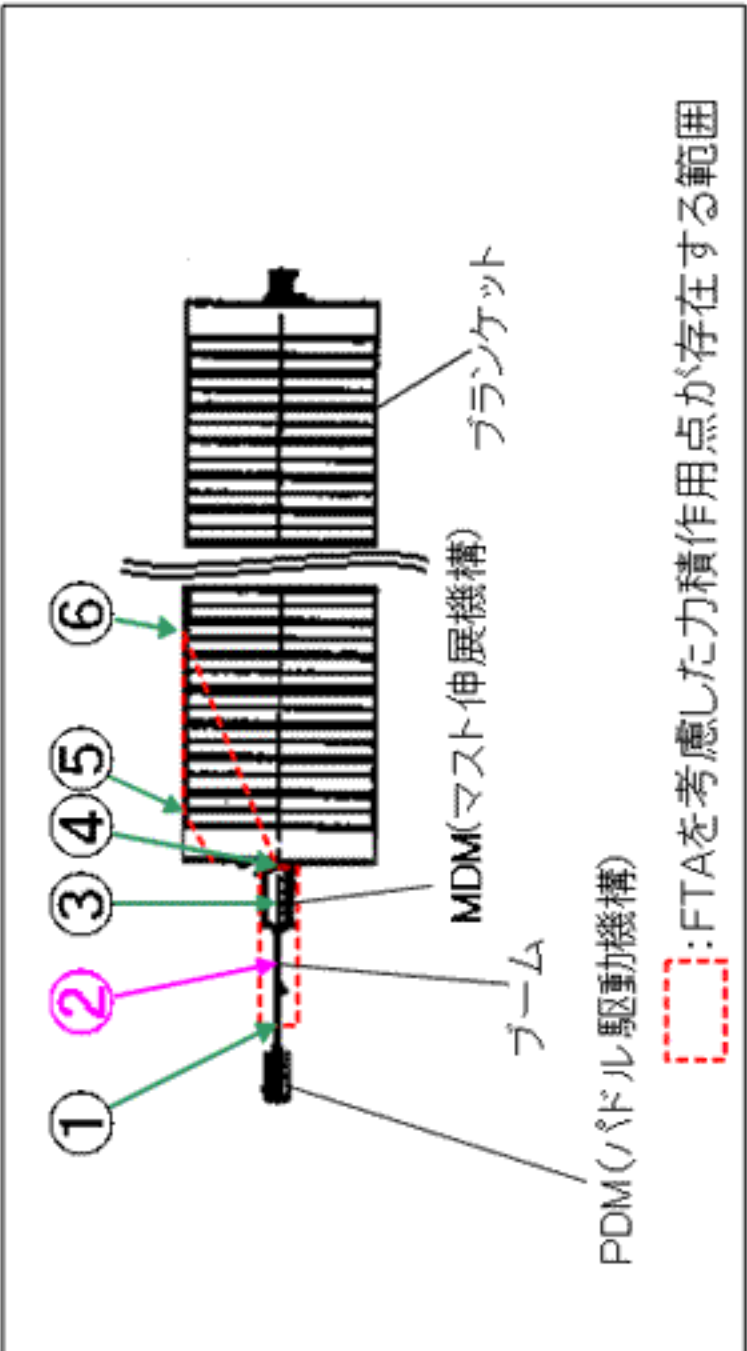


上記情報から、力積の作用点が存在する面を推定



ハーネスの熱損傷に伴い発生したガスが宇宙空間へ噴射されるシナリオを想定 (力積の作用点部をPDLブームハムハネス上②)と想定

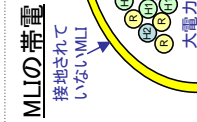
FTAで絞り込まれた部位を考慮し、力積の作用点を限定



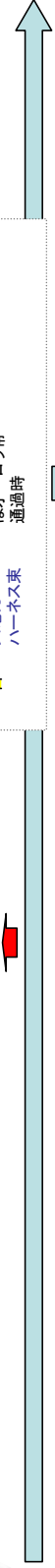
図Ⅱ-3-12 力積の作用点が存在する範囲



# 10月25日以前の事象

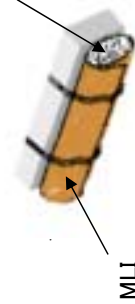


打上げ



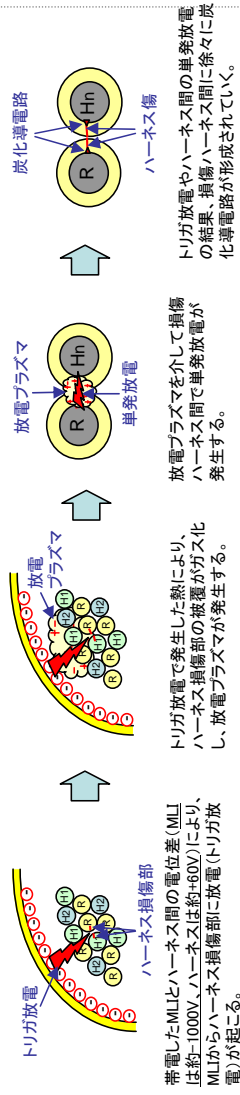
## 以降、約10ヶ月間

ハネスは、それ自身の発熱により、ハネスの規定された温度(200°C)を超え230°C以上に上昇



MLI

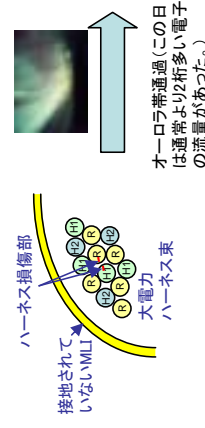
## MLIとハネス間のトリガ放電／損傷ハネス間の単発放電



# 10月25日の事象

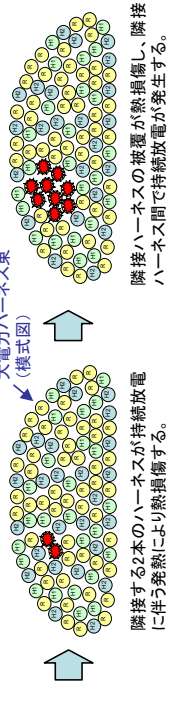
## 【オーロラ帯通過～ペレール沖】

### ハネス間の持続放電

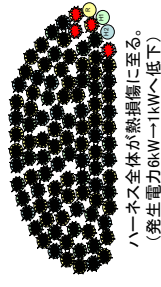


## 【ペレール沖】

### 隣接ハネスへの波及



● 発熱箇所 ● 開放短絡箇所



図Ⅱ-3-13 太陽電池パドルハネスでの異常発生シナリオ

※図はすべて模式図であり、実際の衛星上とは異なる可能性がある。

## 用語集

あ	アレイ(回路)	複数の太陽電池セルが直並列に組まれた1つの回路。
	エアロゾル	大気中に浮遊している微細な液体やチリのこと。
	エンジニアリングモデル	解析・設計・製造・試験などの情報の入手と確認、設計変更の評価、インタフェースの適合性の確認など、プロトタイプモデルの設計を固めるために行う設計開発試験に供するために製作されるモデルのこと。
	end-to-end 試験 エンド・トゥ・エンド試験	衛星打上げ後の定常運用を模擬した試験で、衛星実機だけでなく、定常で関わる殆どの地上設備を含めた大規模な試験で、システム全系の運用性の確認を目的としている。
か	架橋	鎖状分子の任意の原子間に結合を形成すること。 一般には共有結合(スピンの違う2つの電子を2つの原子が共有することによって形成される結合)を指す。
	加速度センサ	ADEOS の軌道上不具合を反映し、ADEOS-II の軌道上の動的挙動をモニタするために搭載される実験機器の1つ。加速度センサは、パドル先端に3台、パドル根元に2台、衛星構体に3台、計8台搭載されている。スタートラックと合わせて、パドルを含む衛星本体の振動挙動の観測と、定常運用における衛星姿勢決定データの評価に用いる。
	逆合成開口レーダ	目標側の動きを利用して高解像度を得る。 船舶のように常時動揺している目標を検出するのに有効で、時間(位置変化)方向にデータを重ねて解像度を上げる。
	クーボンブランケット	要素試験や耐環境試験に用いるブランケットの一部を切り出した供試体。
	軽負荷モード	観測機器等をオフにして、衛星の電力消費を最小限にするモード。
	Ka 周波数帯	衛星通信で使用される周波数帯の一つ。27GHz ~ 40GHz。Ku バンドに比べて数倍広い帯域が取れる等の特長があり、このため大容量通信に向いている。ただし、周波数が高いために伝搬損失が大きい。
	原子状酸素	酸素原子。酸素分子に比べ、極めて強い酸化力を持つ。
	故障の木解析(FTA)	信頼性、安全性の両面から見て、不具合事象に関し、その発生経過を遡って樹形図に展開し、発生経路、および発生原因、発生確率を解析する技法のこと。
	固有振動数	物体が自由に振動するときの振動周波数。
さ	サージ電流	急激な電気の流れ。
	サーマルワイヤストリッパ	電線被覆等を加工するための道具で、熱により加工するため、芯線を痛めることがない。
	視覚モニタ	ADEOS の軌道上不具合を反映し ADEOS-II に搭載される可動物の展開動作や、定常動作の挙動を監視・検証することを目的として搭載された CCD カメラシステム。
	実効放射率	測定対象物のその状態(形状、表面状態)において、その計測方向についての物体表面の放射効率を表す値を放射率と呼ぶ。実効放射率は、多層断熱材(MLI)等の複雑な合成面の放射率を一枚の単純面に置き換えた際の等価表面特性。
	ジャンクション温度	半導体素子の接合部の温度。
	シャント回路	太陽電池で発生する電流のうち、衛星消費電流以上の余剰電流をリターン側に流すことにより、日照中のバス電圧を安定化するための電気回路
	シャントトランジスタ	シャント回路で使用されているトランジスタ。発生電力が負荷電力を上回るときにトランジスタをオンすることにより、余剰電力を消費する。
	伸展マスト	太陽電池セルが搭載されるフレキシブルな膜面を畳まれた状態から展開させ、展開後は常に膜面を引っ張る役目をする折り畳み式の三角柱。

	ストロークモニタ	太陽電池ブランケットとマストの長さの差をモニタするための装置。
	スリップリング	パドル駆動機構内にあり、回転するパドルからの電力伝送、パドルに取り付けられたデバイスとの通信、電源供給などを行う。集電環を固定した回転軸部と、ブラシおよび端子を接続した固定部から構成される。
	セル	太陽電池素子。
た	太陽同期準回帰軌道	太陽同期軌道とは、軌道面と太陽方向の角度が一年を通して一定な軌道のこと。準回帰軌道とは、ある一定日後に同一地点に戻ってくる軌道のこと。ADEOS-IIでは、10時30分±15分に赤道上空(降交点)を北から南へ通過し、4日後ごとに元の位置に戻る軌道を採用。
	太陽フレア	太陽表面のコロナに貯えられた磁場のエネルギーが、突然短時間のうちに開放されて起こる巨大な爆発現象。
	多層断熱材 MLI(エムエルアイ)	銅を混ぜたアルミを蒸着したカプトンシートを数枚重ね、その間にナイロンの網を挟んでクッションのようにし、網の作るすきまによる熱絶縁と、アルミの蒸着で金色に輝く表面の反射で、断熱をよくしたもの。
	ダブラ	薄膜、薄板構造物の構造強度を向上させるため、その部位を多層化し、補強している部分のこと。ADEOS- では、ブランケットの周辺に対し、GFRP製のダブラを用いている。
	炭化導電路	アーク(コロナ放電)により絶縁体が分解され、炭化し形成された電導路。
	定張力機構 テンションコントロール 機構	伸展マストにより、展開された太陽電池セルが搭載されているブランケット部を日照・日陰時の伸展マストとブランケット部の温度差により生じる寸法差を吸収し且つ一定の張力でブランケット部を引っ張る機構。伸縮部と張力部とで構成される。
	デブリ	地球をとりまく、人工的な宇宙のゴミ。
は	ハーネス	自動車、機器などの中に組み込まれる電線。
	バス	電源系、通信系、姿勢制御系等の人工衛星として運用するための基本的な機能を司る機器をバス機器と呼ぶ。これに対して、衛星のミッションである観測等を司る機器をミッション機器と呼ぶ。
	バスバー	大電力を通すために使われる板状の金属。
	パドル駆動機構	パドルを太陽に指向するように衛星本体に対して回転させる装置で、パドルの付け根に搭載される。同じ方向に回り続けるパドルと衛星本体との間で、電力や信号の受渡しをする機能も持つ。
	ピッチ(軸)	ロール軸とヨー軸に張られる平面に垂直かつ衛星重心を通る軸をピッチ軸と呼ぶ。Y軸に同じ。また、この軸まわりの回転をピッチ(pitch)と呼ぶ。ヨー軸をロール軸に回す向きを正とする。
	V/Tカーブ	バッテリーの電圧(V)と温度(T)の関係を規定するカーブであり、バッテリーの充電モード切り替え判定に使用する。みどり では8本用意しており、バッテリーの劣化等に応じてコマンドで選択する。
	FedSat(フェドサット)	オーストラリアが連邦制100周年を記念し製作した小型科学衛星。みどりと相乗りで打ち上げられた。
	プラズマ	電離して正、負のイオンが共存し全体として電氣的に中性になっている物質の状態。電離度の高いプラズマは高い電気伝導性をもつ。
	ブランケット	太陽電池セルが搭載されているフレキシブルな膜面(ADEOS- の場合 50枚。但し、太陽電池セルは両端の2枚を除く48枚に搭載)及び膜面を機械的につなぐヒンジ部を含む部分のこと。
	ブロッキングダイオード	電流の逆流を防止するためのダイオード。
	プロトフライト試験(PFT)	設計に問題がないことを確認すると共に、打上げ用の実機としての品質を備えていることを確認する試験。
	ポリイミド	主鎖にイミド基 - CONHCO - を持つ高分子。有機高分子中、最高レベルの耐熱性(連続使用温度 250℃以上)。難燃性、機械的強度、耐摩耗性、耐クリープ性、耐放射線性、寸法安定性に優れる。

ま	マイグレーション	金属箔、金属メッキ、コロイド金属や金属導電塗料などが、電流・電圧の存在下において種々の絶縁材料と接している場合、絶縁材料の吸湿、または水の吸着に伴い、金属がそれらの表面または内部に移行する現象。
	メインバス	搭載機器に一次電源を供給するための電源系統。
	メタロジカルボンディング (ダイオード)	ダイオードの一種で、溶接により作成されたもの。
や	ヨー(軸)	観測センサ取付け面に対し垂直かつ衛星重心を通る軸線をヨー軸と呼ぶ。Z軸に同じ。また、この軸まわりの回転をヨー(yaw)と呼ぶ。ロール軸をヨー軸に回す向きを正とする。
	四フッ化エチレン - エチレン共重合(ETFE)樹脂	四フッ化エチレンとエチレンの共重合体であり、押し出し加工が可能で、耐熱性、電気特性に優れている。
ら	リコンディショニング	バッテリーの容量を回復させるため、一度完全にバッテリーを放電して空にしてから、再度充電する作業のこと。
	ロール(軸)	ロケットとの分離面に垂直かつ衛星重心を通る軸をロール軸と呼ぶ。X軸に同じ。また、この軸まわりの回転をロール(roll)と呼ぶ。ピッチ軸をヨー軸に回す向きを正とする。

## 略語集

### A

ADEOS	Advanced Earth Observing Satellite	地球観測プラットフォーム技術衛星
ADEOS-II	Advanced Earth Observing Satellite-II	環境観測技術衛星
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer	高性能マイクロ波放射計
AOCE	Attitude and Orbit Control Electronics	姿勢軌道制御電子回路
AOCS	Attitude and Orbit Control Subsystem	姿勢軌道制御系
AWG	American Wire Gage	米国電線規格

### B

BAT	Battery	バッテリー、電池
BCCU	Battery Charge Control Unit	バッテリー充電制御器
BOL	Beginning of Life	寿命初期

### C

CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維強化プラスチック
CIC	Coverglass Integrated Cell	カバーガラス付太陽電池セル
CNES	Center National d'Etudes Spatiales	フランス国立宇宙研究センター

### D

DMS	Dynamics Monitoring System	ダイナミクスモニタリングシステム
DMSP	Defence Meteorological Satellite Program	米国国防省気象衛星
DOD	Depth of Discharge	放電深度
DRTS	Data Relay Test Satellite	データ中継技術衛星

### E

EOL	End of Life	寿命末期
ETFE	Ethylene-Tetrafluoroethylene	四フッ化エチレン-フルオロエチレン共重合
ETS-VIII	Engineering Test Satellite-VIII	技術試験衛星 VIII 型

### F

FedSat	Federation Satellite	オーストラリアの小型衛星
FGAN	Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V.	応用自然科学研究協会
FMEA	Failure mode and effects analysis	故障モードと影響解析
FHR	Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik	高周波物理研究所
FTA	Fault Tree Analysis	故障の木解析

## G

GLI	Global Imager	グローバル・イメージャ
GPS	Global Positioning System	全地球的位置決めシステム

## H

HKMU	HK Memory Unit	HK 用データレコーダ
------	----------------	-------------

## J

JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JPL	Jet Propulsion Laboratory	ジェット推進研究所
JST	Japanese Standard Time	日本標準時

## L

LLM	Light Load Mode	軽負荷モード
-----	-----------------	--------

## M

MIL-STD	Military Specifications and Standards	米軍仕様書
MLI	Multi Layer Insulator	多層断熱材

## N

NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	海洋大気庁(米国)

## P

PAD	Solar Array Paddle	太陽電池パドル
PCU	Power Control Unit	電力制御装置
PDM	Paddle Drive Mechanism	パドル駆動機構
PMA	Paddle Monitoring Acceleration	加速度計(パドル取付)
PSM	Paddle Stroke Monitor	パドルストロークモニタ
PTM	Paddle Tension Monitor	パドルテンションモニタ

## S

SAS	Solar Array Simulator	アレイ回路電圧模擬用電源
SHNT	Shunt	シャント、分流器
SPSS	Solar Paddle Sun Sensor	パドル追尾用太陽センサ

## T

TCM	Tension Control Mechanism	定張力機構
TEDA	Technical Data Acquisition Equipment	技術データ取得装置

## U

UVC	Under Voltage Control	下限電圧制御
-----	-----------------------	--------

環境観測技術衛星 (ADEOS - ) 「みどり」 の運用異常に係る  
原因究明及び今後の対策について

平成15年10月27日  
宇宙開発委員会決定

1 調査審議の趣旨

独立行政法人宇宙航空研究開発機構の環境観測技術衛星 (ADEOS - ) 「みどり」 の運用異常が発生した事態を受け、今回の運用異常の原因を究明し、併せて、今後の対策等について調査審議を行うものとする。

2 調査審議を行う事項及び進め方

原因究明及びその対策等に必要な技術的事項について、調査部会において調査審議を行い、できる限り速やかに取りまとめるものとする。

なお、調査部会の構成員については、必要に応じ追加するものとする。

3 . その他

「第13条 (会議の公開) 本委員会及び部会の議事、会議資料及び議事録は、公開する。ただし、特段の事情がある場合においては、事前に理由を公表した上で非公開とすることができる。」 (宇宙開発委員会の運営等について 平成13年1月10日宇宙開発委員会決定) に従い、調査部会は、原則として公開とし、特段の事情がある場合には非公開とすることとする。



宇宙開発委員会調査部会構成員

(委員)

部会長 松尾 弘毅 宇宙開発委員会委員

部会長代理 川崎 雅弘 宇宙開発委員会委員

野本 陽代 宇宙開発委員会委員

(参与)

五代 富文 前宇宙開発委員会委員

(特別委員)

小川原 嘉明 宇宙科学研究所名誉教授

木田 隆 国立大学法人電気通信大学  
電気通信学部教授

小林 英男 国立大学法人東京工業大学大学院  
理工学研究科教授

茂原 正道 TechnoOffice Frontiers 代表

畑村 洋太郎 工学院大学工学部教授

雛田 元紀 宇宙科学研究所名誉教授

松岡 三郎 独立行政法人物質・材料研究機構材料基盤  
情報ステーション副ステーション長

宮澤 政文 前静岡大学工学部教授

宮村 鐵夫 中央大学理工学部教授

八柳 信之 千葉科学大学危機管理学部教授

(平成16年7月現在)

環境観測技術衛星(ADEOS-II)「みどり」の運用異常に係る  
原因究明及び今後の対策に係る宇宙開発委員会調査部会開催状況

平成15年10月27日(月)	平成15年 第1回調査部会
平成15年11月7日(金)	平成15年 第2回調査部会
平成15年11月18日(火)	平成15年 第3回調査部会
平成15年11月27日(木)	平成15年 第4回調査部会
平成15年12月9日(火)	平成15年 第6回調査部会
平成15年12月15日(月)	平成15年 第7回調査部会
平成15年12月24日(水)	平成15年 第8回調査部会
平成16年1月9日(水)	平成16年 第1回調査部会
平成16年1月27日(火)	平成16年 第3回調査部会
平成16年3月8日(月)	平成16年 第8回調査部会
平成16年5月21日(金)	平成16年 第14回調査部会
平成16年5月28日(金)	平成16年 第15回調査部会
平成16年6月18日(金)	平成16年 第16回調査部会
平成16年6月28日(月)	平成16年 第17回調査部会
平成16年7月6日(火)	平成16年 第18回調査部会
平成16年7月26日(月)	平成16年 第19回調査部会