

地球資源衛星1号(JERS-1)による成果及び機能停止原因について

平成11年5月19日
科学技術庁
通商産業省
宇宙開発事業団

1. 経緯

- (1) 平成4年2月11日に打ち上げられた地球資源衛星1号(JERS-1)は、当初予定されたミッション期間は2年であったが、約6年半にわたって運用され、平成10年10月12日に機能停止した。
- (2) 約6年半にわたる資源探査、災害監視、環境監視等の成果を取りまとめ、平成11年5月17日、18日にJERS-1成果報告会が開催された。
- (3) 平成10年10月12日にJERS-1が機能停止した原因については、衛星バスで発生していることから、宇宙開発事業団が検討し、停止原因を明らかにした。

2. JERS-1を利用したプログラムとその成果

JERS-1は、約6年半にわたり資源探査、災害監視、環境監視等に役立つ地球観測データを取得した。JERS-1を利用したプログラムとその主な成果については以下のとおりである。

(参考資料1、2参照)

(1) JERS-1を利用したプログラム

(a) JERS-1システム検証

JERS-1 システム検証は宇宙開発事業団(NASDA)及び通商産業省(MITI)の共同作業として実施し、平成2年11月に検証テーマを全世界に公募し、合計249件の研究テーマの採択を行った(日本87件、外国162件)。採択された研究テーマは、地質・エネルギー資源、農業・森林、海洋・湖沼、地形計測等であった。中間報告会を平成5年8月に、最終成果報告会を平成6年12月に実施し(いずれも、東京)、研究報告書を平成7年3月にとりまとめた。

(b) 通商産業省における JERS-1 データ利用技術開発

通商産業省において、石油資源探査を主目的として、地質構造解析、岩質分布調査等

への JERS-1 光学センサ(OPS)、合成開口レーダ(SAR)データの利用技術に関する研究開発を実施した。また、地理情報が十分でない地域において、経済性の高い物理探査計画策定等のためのロジスティクス情報の抽出に関する研究開発を行なった。これらの技術を総合的に用い探鉱地域の絞り込み等を行い、石油資源開発分野において成果を得た。

(c)NASDA における JERS-1 サイエンスプログラム

NASDA/地球観測データ解析研究センター(EORC)において、1995 年以降 JERS-1 サイエンスプログラムがスタートし、JERS-1 システム検証の中からより効果が期待された、1) 森林観測と関連する物理量の抽出、2) 干渉処理を中心とした SAR 及び OPS の利用に関する研究を実施した。

(2)JERS-1 の観測による主な成果について

JERS-1 は、世界初の光学及びマイクロ波(Lバンド)センサによる高空間分解能観測システムであり、様々な研究や利用技術開発が行われてきた。このシステムの利用が特に有効な分野として、SAR 及び OPS による資源開発への有効利用、SAR による森林監視、SAR インターフェロメトリ、OPS による高度情報(DEM)作成、が確認された。

3. JERS-1 の機能停止原因

平成4年2月11日に打ち上げられたJERS-1は、当初予定されたミッション期間は2年であったが、約6年半にわたって運用され、平成10年10月12日に機能停止した。機能停止の原因については以下のとおりである。詳細は別添1に示す。

(1)機能停止の原因となる主な事象

○10月11日21時00分頃から衛星バスラインの電流値(メインバス電流)が異常に増加し始め、その後衛星バスラインの電圧値(メインバス電圧)、メインバス電流等が大きく変動し、最終的には、太陽電池パドルからの発生電流が0となり、バッテリーからの電力のみで運用を続けた。

○10月11日21時03分頃からパドル駆動機構(PDM)の温度上昇が始まった。

○なお、21時頃において異常な姿勢変動はなく、パドル破断、デブリ衝突等の事象が発生した形跡は無い。

(2)発生事象の推定

○メインバス電流が急激に増加した原因はバスラインの短絡以外に考えられない。

○搭載機器側で異常がないこと、メインバス電流の検出位置、21時01分頃に日陰中にも係わらず太陽電池パドルからの発生電力を制御する機器の電流が発生していること等

から、バスラインの短絡点は搭載機器側ではなく、太陽電池パドルから衛星電力を制御する機器の間で発生し、電力ラインと信号ラインが同時に短絡したものと推定される。

○これをトリガとして、短絡が拡大し、バッテリー電流の逆流も発生して電線の焼損が発生し、最終的に開放に至ったものと考えられる。

(3) 推定原因

○電源系の異常事象及びPDMの温度上昇から、異常事象が発生した部位はPDM付近であると特定できる。機能停止の原因は、異常事象発生の可能性を検討した結果、PDMと太陽電池パドルとを結合する電線の一部が宇宙空間に露出されていた可能性があり、設計寿命の2年を大幅に上回る約6年半にわたる運用の結果、この部分の電線被覆が原子状酸素及び放射線により絶縁劣化を起こして電線間で短絡し、これが拡大したことによると推定された。

以 上

地球資源衛星 1 号 (J E R S - 1) の機能停止原因について

1. 運用終了までの状況

平成 4 年 2 月 11 日に打ち上げられた地球資源衛星 1 号「ふよう 1 号 (J E R S - 1)」は、平成 10 年 10 月 11 日電源系、姿勢制御系に異常が認められ、最終的には 12 日 12 時 30 分頃衛星電波の入感が無くなり、運用を終了するに至った。(図 1、2 参照)

2. 異常事象

(1) 10 月 11 日 7 時 57 分頃：バッテリー 1, 2, 3, 4 のリレー A 系, B 系がオン

○10 月 11 日 7 時 57 分 43 秒に、バッテリー 1, 2, 3, 4 のリレーの B 系がオン (通常 A 系のみがオン)、また下限電圧制御 (UVC) が全てオフ (通常全てオン) となった。【再生テレメトリデータより確認】

○ほとんどのテレメトリデータは正常であったものの、メインバス電流、バッテリー電圧 (日陰中なのでメインバス電圧と同じ) に若干の変動 (+2 A、-1 V 程度) が見られ、直前までのデータ推移と比較するとその変化は明らかに不自然。但しバッテリー放電電流は正常。

○テレメトリデータ上では証明されないものの、メインバス短絡の兆候であった可能性が高い。(図 3 参照)

(2) 10 月 11 日 20 時頃：パドル駆動機構 (PDM) の角度位置検出器の出力異常

○10 月 11 日 20 時頃に PDM の角度位置検出器の出力が低下する現象が見られた。角度位置検出器の出力のみが異常を示しており、他のテレメトリデータは正常であった。(図 4 参照)

○短絡事象ではあるが、単独事象であるか前後の事象と関連があるかは不明。

(3) 10 月 11 日 21 時頃：電源系テレメトリ異常、温度上昇、姿勢制御系異常

(a) 電源系テレメトリ異常 (図 5、6 参照)

○21 時 00 分頃からメインバス電圧、メインバス電流等が大きく変動する現象が現れ始めた。

○21 時 01 分 30 秒頃の衛星が日陰から日照になる際に、当初は正常に推移したものの、21 時 02 分 50 秒からメインバス電流が異常に増加し、21 時 02 分 52 秒に最大 67 A に達した後、緩やかに下降を続けた。

○一方、21 時 03 分 3.5 秒にはソーラアレイ電流が 0 A になるとともに、4 台のバッテリーからの放電電流が 42 A/台 (放電電流テレメトリの上限値) の大電流放電を開始した。

○また、21 時 03 分 3.5 秒まで安定していたリモートインタフェースユニット

(R I U) 基準電圧もテレメトリも 21 時 03 分 04 秒には 0 V を示し、これを境に電圧が断続的に大きく変化し始め、多くのテレメトリデータが異常状態を示した。

- 21 時 04 分 00 秒以降は日陰モード（バッテリー電力により衛星が機能するモード）で、運用が終了するまで電力的には正常に推移している。

(b) パドル駆動機構 (PDM) の温度上昇 (図 7 参照)

- 21 時 03 分頃からパドル駆動機構 (PDM) の温度上昇が始まった。PDM の温度上昇速度及び最高温度は、フランジ部、ベアリング部、モーター部の順である。
- また、電源系の異常発生後、PDM を経由するテレメトリのほとんどが異常を示した。

(c) 姿勢制御系について

- 21 時 02 分 50 秒頃にメインバス電圧の異常によりジャイロ A 及び B がオフとなり、異常検知機能により姿勢軌道制御電子回路 (AOCE) を切り替えて 21 時 08 分 40 秒頃に太陽捕捉モードに移行した。
- 21 時 02 分 50 秒頃における姿勢変化率は 0 deg/sec 近傍であり、パドル破断、デブリ衝突等の事象が発生したとは考えられない。
- また、オフとなったジャイロがオンしないという事象については、1 次電源の異常瞬断によりジャイロの DC/DC コンバータに使用しているスイッチングレギュレータが不安定動作をしたためと考えられる。その後、一度オフコマンドを送信することにより、不安定動作がリセットされたため、オンコマンドが受け付けられたものと考えられる。

3. 発生事象の推定

- 発生事象をメインバス電流の急激な変化から推定していくと、以下のとおり
 - (a) メインバス電流が急激に増加した原因はメインバスの短絡以外に考えられない。
 - (b) メインバス電流テレメトリに異常がでていることから、バス短絡点は電力分配器 (PDU) 内のメインバス電流検出点より下流である。
 - (c) メインバス電流検出点より下流には搭載機器及び、日照時のバス電圧安定化のために電力制御器 (PCU) 及びシャント (SSU) にフィードバック信号としてバス電圧信号が接続されている。
 - (d) また、搭載機器側で異常がないこと、21 時 01 分 15 秒に日陰中にも係わらずシャント電流が 36 A 発生していることから、バス短絡点はフィードバック信号ライン (PDU ~ PCU ~ PDM ~ SSU) のいずれかであると推定できる。
- インピーダンスモデル等から短絡点を推定すると、メインバス電流異常上昇の原因は、バス電圧信号ライン、ソーラレイパワーライン及びシャント電流信号ラインが同時短絡したものと考えられる。
- これをトリガとして、短絡の拡大し、バッテリー電流の逆流も発生して電線の焼損が発生し、最終的に開放に至ったものと推定できる。

4. 推定原因

- 電源系の異常事象及びPDMの温度上昇から、異常事象が発生した部位はPDM付近であると特定できる。異常事象発生の可能性を検討した結果、PDMと太陽電池パドルとを結合する電線の一部が宇宙空間に露出されていた可能性があり、設計寿命の2年を大幅に上回る約6年半にわたる運用の結果、この部分の電線被覆が原子状酸素及び放射線により絶縁劣化を起こして電線間で短絡し、これが拡大したことによると推定された。(図8参照)
- PDMで使用している電線はポリイミド焼付フッ化エチレンプロピレン(FEP)絶縁電線であり、0.16mm厚のFEP樹脂の上に対放射線を高めるためにポリイミドワニス^①を3μm厚程度焼き付けしている。原子状酸素に対するポリイミドの反応率は $3.3 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 / \text{ atm}$ 、またFEPの反応率は $0.05 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 / \text{ atm}$ 以下であり、JERS-1のように軌道が低い(570km)場合、ポリイミドが減少し易く($5 \times 10^{19} \text{ atm} / \text{ cm}^2 / \text{ year}$)、2年間で3.3μm減少すると推測され、ミッション期間終了時にはポリイミドはほぼ無くなっていたものと考えられる。
- また、FEPの放射線耐性は $1 \times 10^6 \text{ rad}$ 程度であるが、4.5年で $1.3 \times 10^6 \text{ rad}$ 程度の放射線をあびたと考えられ、放射線劣化によって脆くなったFEPが温度サイクルにより損傷したことは十分推測される。

以 上

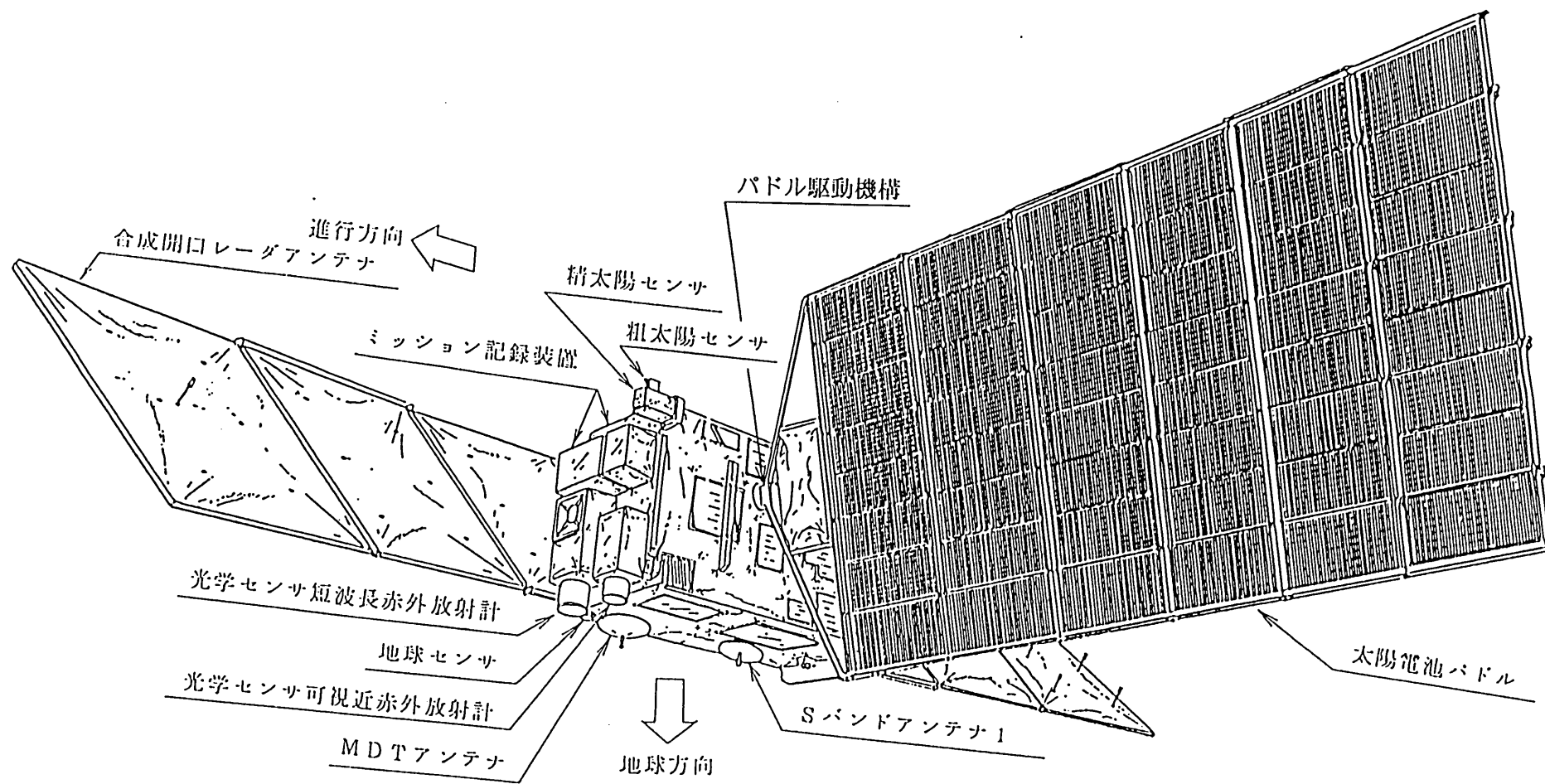


図1 JERS-1軌道上外観図

5

10月11日(日) (JST)															10月12日(月) (JST)																			
UT	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5		
JST	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
衛星運用状況と衛星状況	★07:50 BAT1-4 B系リレーON (本来OFF) 発生														▲22:22 増田局 ・IFUA, B ON CMD送信したが、ONならず。				▲03:22 キルナ局 ・パドル回転(スルー&ホールド) CMD送信 ・パドルクロックモードCMD送信 ・BAT電圧約25V															
	▲11:40 増田局 ・BAT1-4 B系リレーON (本来OFF) 発見 ・UVCALL DIS														▲22:40 キルナ局 ・IFUA, B ON CMD送信したが、ONならず。				▲04:55 キルナ局 ・UVCALL DIS (UVC非動作認定) ・BAT電圧約24V															
	▲17:55 キルナ局 ・UVCALL DIS・ENA(CMD)														▲23:57 キルナ局 ・AOCEA→B(CMD) ・IFUA, B ON CMD送信したが、ONならず。				▲06:32 キルナ局 ・IFUA→B(CMD) ・パドル回転(スルー&ホールド) CMD送信 ・パドルクロックモードCMD送信 ・BAT電圧約23V															
	▲19:30 キルナ局 ・衛星正常 ・ストアードテレメ再生														▲24:15 キルナ局 ・IFU ON→OFF(CMD) ・IFUA, B ON CMD送信したところONとなった。 ・SAMへ通常移行開始				▲08:10 キルナ局 ・SAM→EAM(CMD) ・BAT電圧約23V															
	★21:02 異常発生 ↑ ストアードテレメ再生により確認														▲01:48 キルナ局 ・SAM通常移行確認 ・パドル発生電力ゼロ ・パドル関連テレメ異常 ・BAT電圧約26V ・観測センサヒータON→OFF(CMD)				▲11:50 沖縄局 ・衛星からの応答無し(沖縄局ACSでテレメデータ入感せず。)															
	▲21:06 キルナ局 ・太陽捕捉ヒータへ不完全に移行(ジャイロA,B,C全てがONであるべきところ、A,BがOFFとなっていた。)																														▲12:30 リンチャゴ局 ・停波CMD送信 ・衛星運用終了			

図2 地球資源衛星1号「ふよう1号(JERS-1)」 異常発生状況

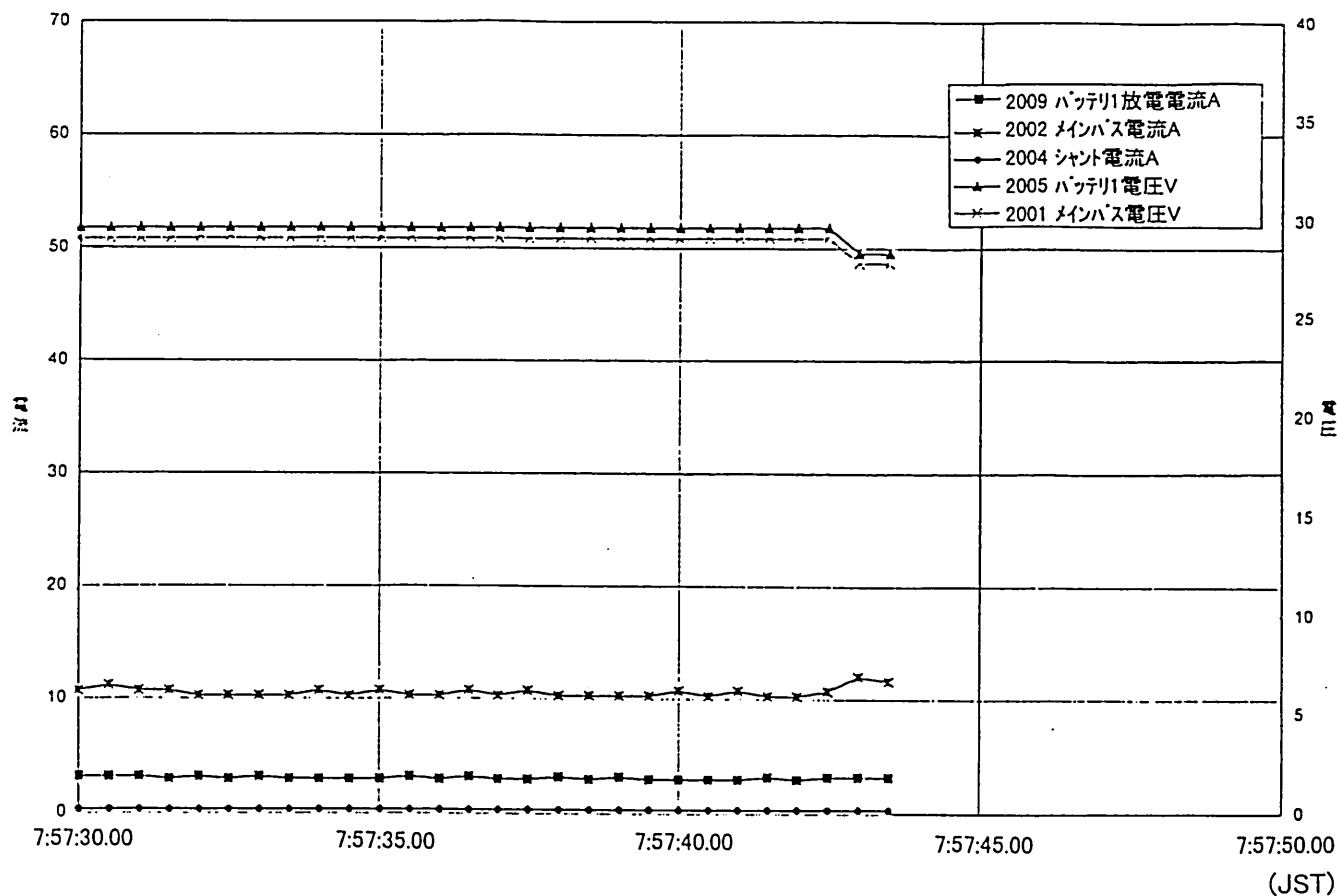


図3 メインバス電圧／電流及びバッテリー電圧の変動

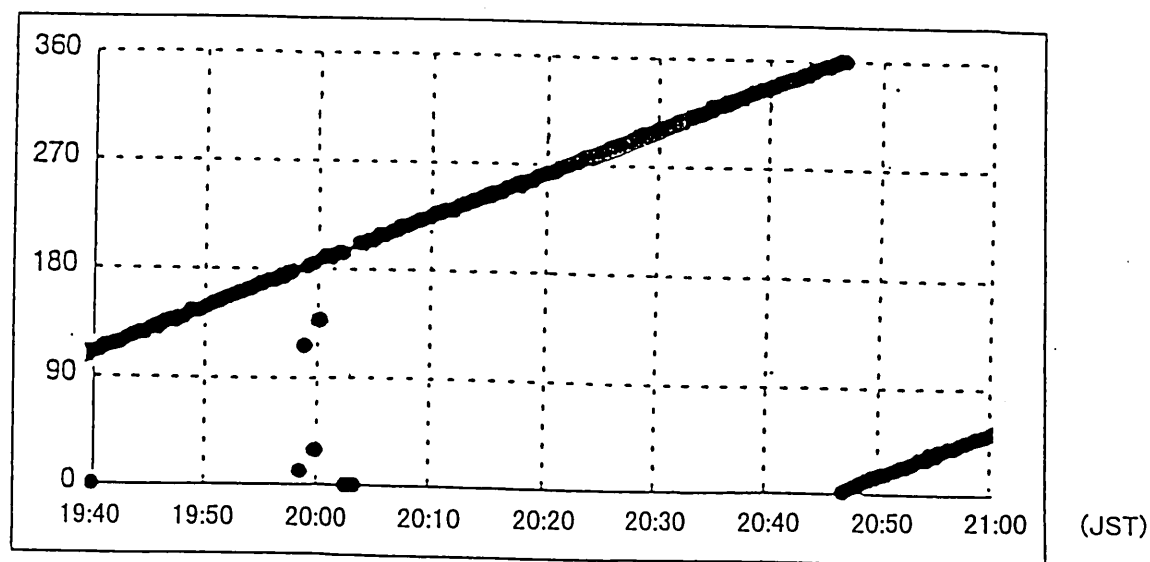


図4 パドル駆動機構 (PDM) 角度検出器の出力異常

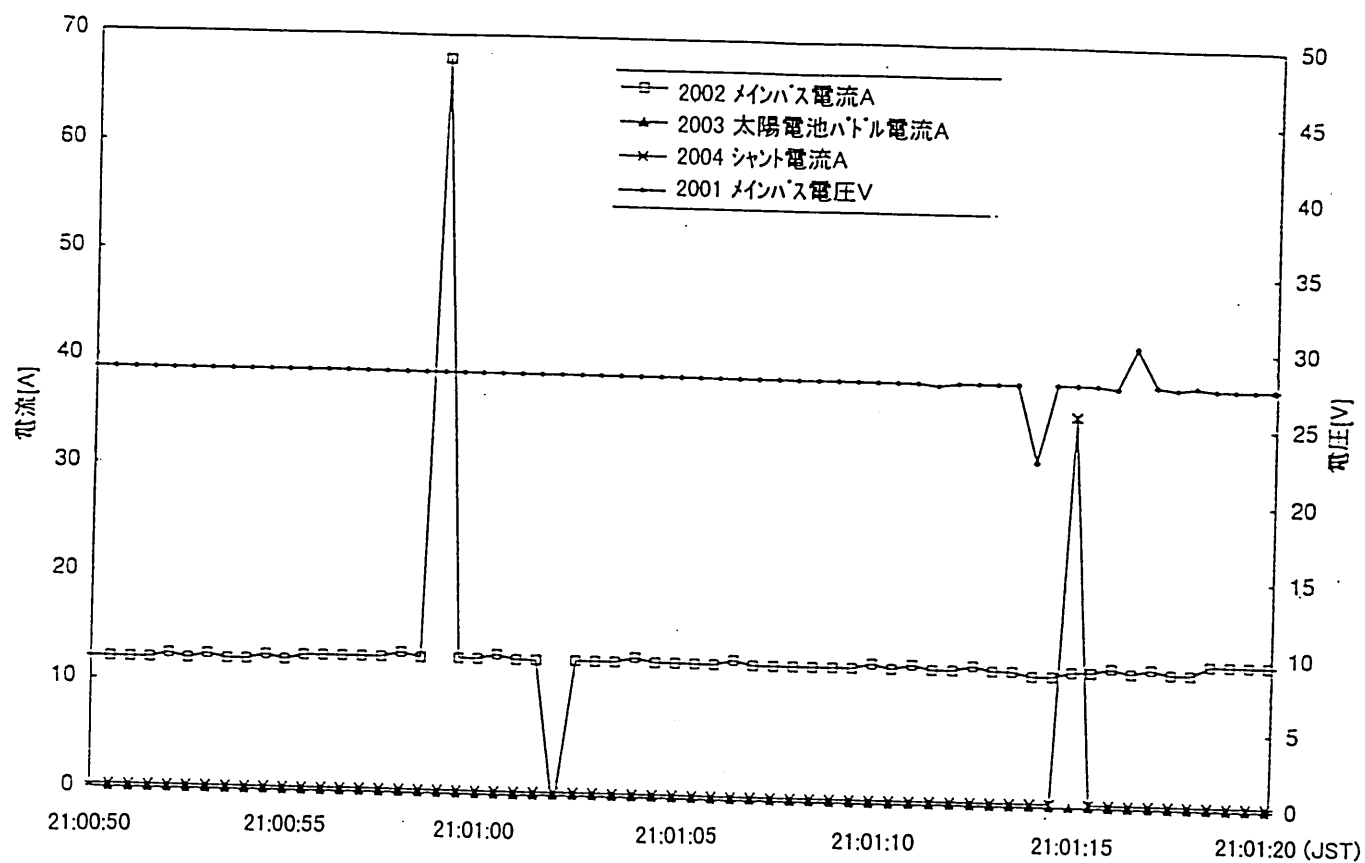


図5 メインバス電圧／電流等の変動（10月11日21時頃）

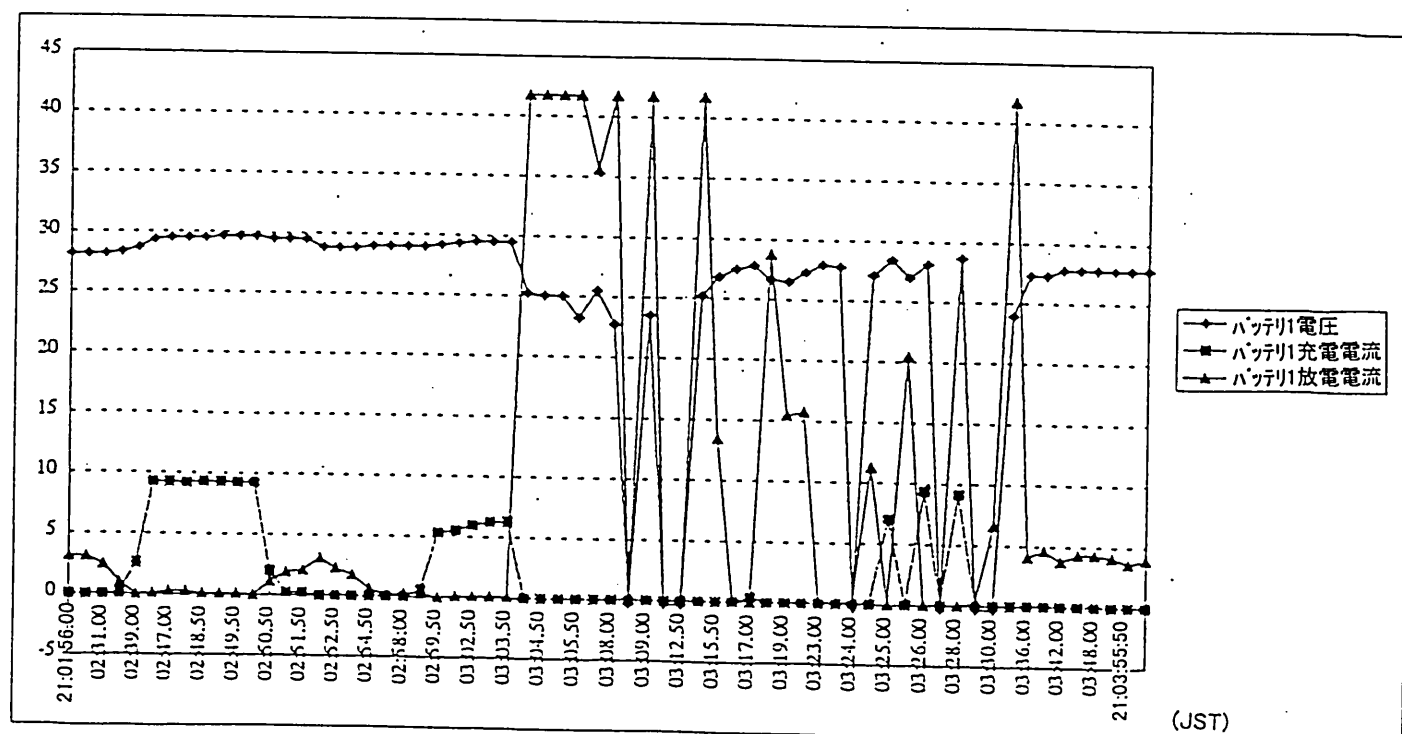
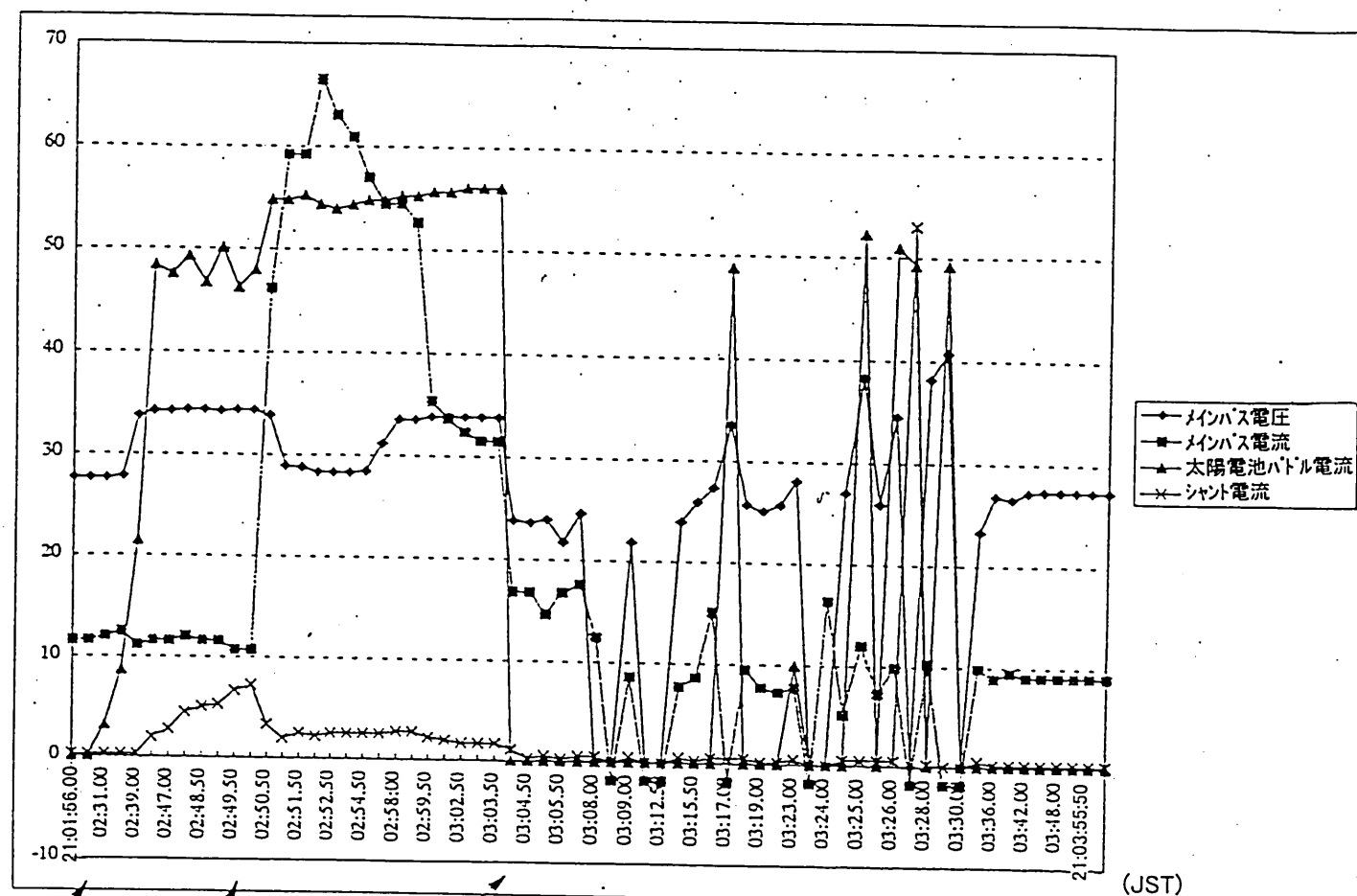


図6 メインバス電圧／電圧、バッテリー電圧等の変動

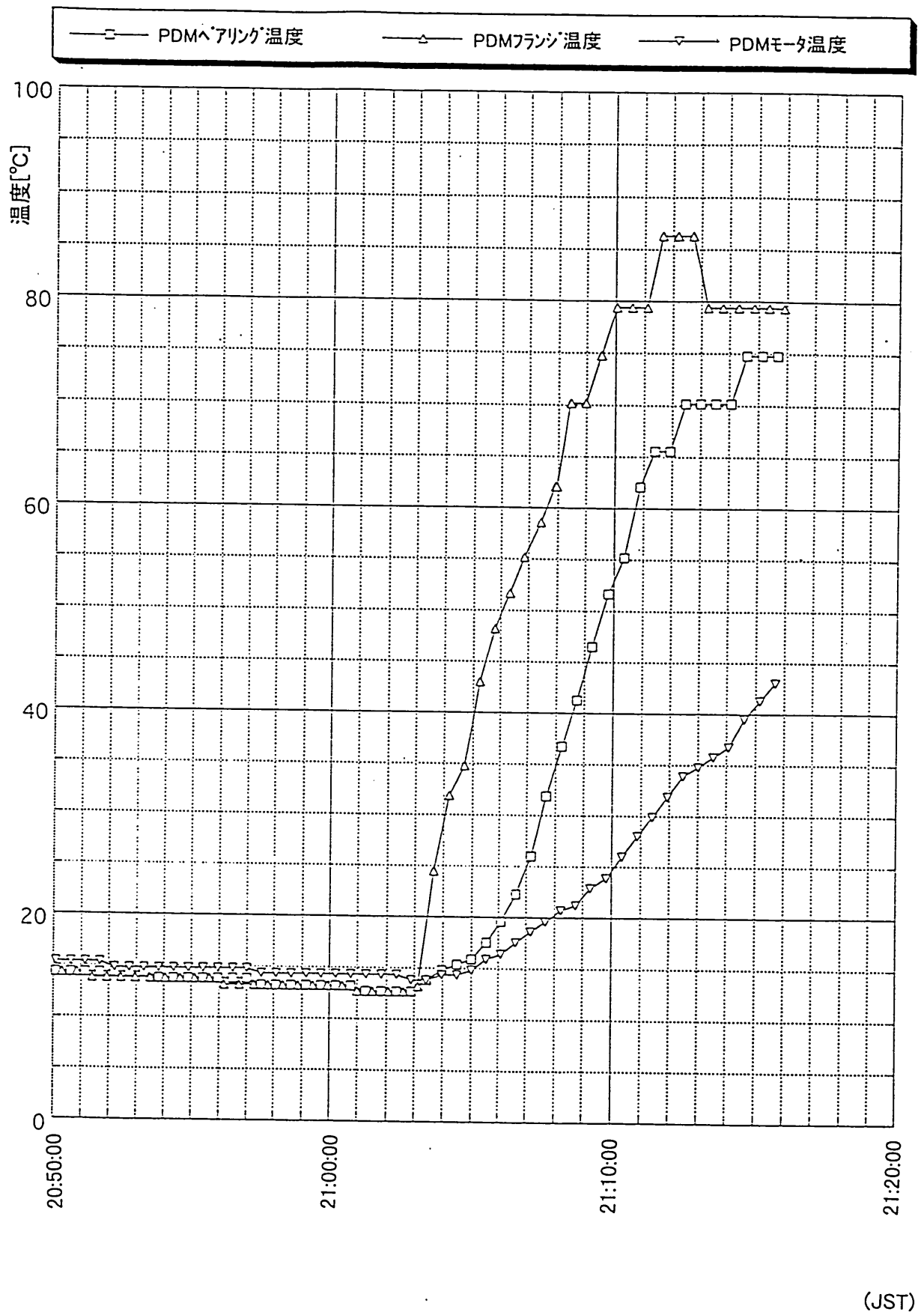


図7 PDM温度テレメトリデータ

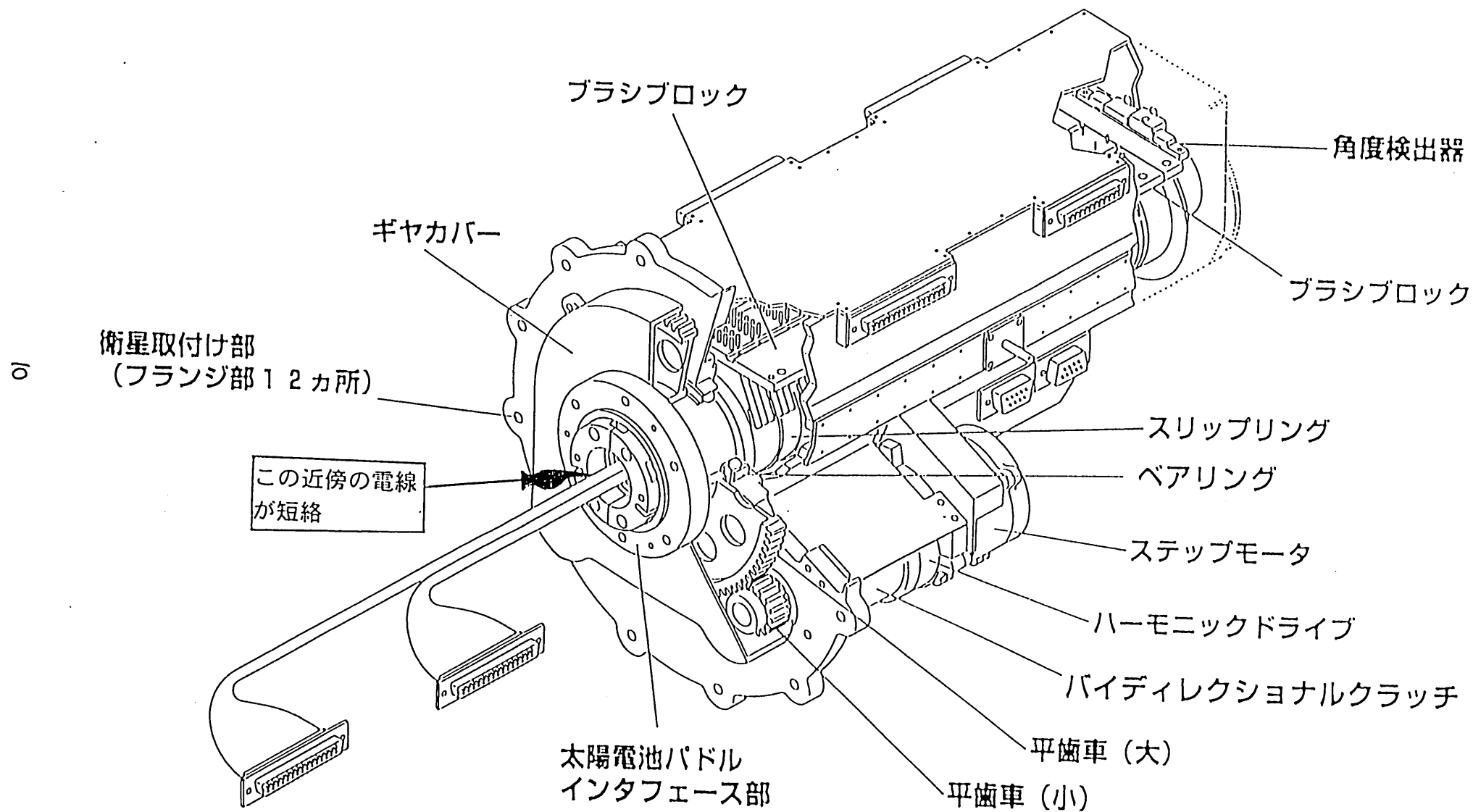


図8 PDMの電線短絡推定箇所