

環境計測技術グループにおけるプロジェクト協力*Project support works in the expert group for space environment engineering*

総合技術研究本部 環境計測技術グループ

Expert group for space environment engineering

木本雄吾、松本晴久、古賀清一、越石英樹、中村雅夫、上野賢一郎、五家建夫

Y. Kimoto, H. Matsumoto, K. Koga, H. Koshiishi, M. Nakamura, K. Ueno, T. Goka

Abstract

Damage and errors caused by high-energy particles in space have been of prime concern for use of modern electronics in space application. We have researched and developed space environment monitors for spacecraft and analyzed the data. We support the satellite operation by using these measurement data and provide information on critical space environment condition. In addition, we support to figure out the satellite anomaly. In this report, we present the space environment analysis report for ADEOS-II (MIDORI-II) and an over view of the satellite operation alert system.

1. はじめに

環境計測技術グループでは人工衛星の故障や障害及び宇宙飛行士に有害な影響を与える高エネルギー放射線等の宇宙環境とその影響を計測する装置の研究・開発を行っている。これらの計測データを用い、衛星不具合現象の解明、宇宙環境の変動に伴う衛星運用上の注意、警報等の情報発信など、衛星の運用支援に関するプロジェクト協力行っている。また、人工衛星設計段階において、人工衛星に影響を与える宇宙環境を予測モデルを用いて計算、設計値を設定するなどのプロジェクト協力行っている。

2. プロジェクト協力の概要

- (1) ADEOS-II (みどり 2 号) 運用異常原因究明に係る支援
- (2) 衛星運用警報システムの整備・運用
- (3) AMSR-E ソフトエラーに関する調査
- (4) ISS ロシアサービスモジュール利用材料曝露実験時の環境計算 (紫外線、原子状酸素)
- (5) MASTER2001 によるデブリフラックス計算 (MDS-1、ADEOS-II、ALOS、JEM、OICETS)
- (6) ALOS 軌道におけるプラズマ環境の予測計算

これらのプロジェクト協力項目の内、特に (1)、(2) について報告する。

3. 成果概要

- (1) ADEOS-II (みどり 2 号) 運用異常原因究明に係る支援

■ADEOS-II 運用異常当日の宇宙環境の調査

2003 年 10 月 23 日 08:19 (UT) 【10 月 23 日 17:19 (JST)】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 (米国静止気象衛星 GOES10 号及び 12 号、欧州宇宙機関 SOHO 衛星により観測)。このフレアにより発生した太陽風衝撃波は、24 日 15:25 (UT) 【25 日 00:25 (JST)】に地球磁気圏に到達し、ペルーの地上局で地磁気の急激な増加及び約 50 分後の急激な減少をもたらした。なお、同時期に昼間側にあった GOES-12 号は、磁気圏境界の外側に出る横断現象が約 3 時間半の間起きていた。

なお、この太陽フレアは、プロトンの放出は伴っていないことが確認されている（NOAA 提供データより）。ADEOS-II の電力低下の発生時期は、この太陽衝撃波によって生じた地磁気の変動の急激な減少時期と一致するが、発生電力低下の直接の要因としての関連は薄いと考える。

ADEOS-II 搭載技術データ取得装置（TEDA）のデータを解析した。放射線吸収線量モニタ（DOM）からの、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を Fig. 1 に示す。各粒子フラックスに大きな変化は見られなかった。また他のモニタである積算吸収線量モニタ（DOS）とシングルイベントモニタ（SUM）の計測結果についても、大きな変動等はなかった。

NOAA-17 のプラズマ観測データを解析した結果、ADEOS-II には、事故地点に至る直前に横切った極域オーロラ帯で、静穏時の前日の結果と比べて 2 桁程度多い 30keV 以上の電子の流量があった（Fig. 2）。この結果と後に説明する MLI への電子照射試験等の結果から、ADEOS-II で表面帯電もしくは MLI 最外層を通過した数 10KeV の電子が MLI を構成する材料内部に帯電（準表面帯電）が起り、持続的放電現象などの複合的波及現象を引き起こした可能性が考えられる。

ADEOS-II とほぼ同じ軌道のオーストラリアの FedSat の磁場データによると、ADEOS-II 運用異常時直前に極域のオーロラ帯と通過する際、ADEOS-II は通常の 10 倍程度の大きな磁場変動(2000nT)を受けたことが考えられる。しかしこの変化により発生する誘導電流は、わずか（数百 μ A）であり工学的な影響はないと考えられる。

またデブリモデル MASTER2001 を用いてデブリの衝突確率解析、中性大気モデル MSIS86 を用いて原子状酸素環境解析をおこなった。

■MLI 帯電実験について

異常発生シナリオ（仮説）の成立に必要な事象が生じる可能性についての検証試験の一環として、MLI への電子線照射試験を実施した。本実験において ADEOS-II 同等の MLI ポリイミド側から電子銃で電子を照射し、帯電するかどうかを確認した。エネルギーは 30KeV、フラックス 1×10^{10} 個/cm²/sec で照射試験を行ったところ、照射時間 4500 秒（75 分）で MLI が約 1.2kV に帯電することが確認された。実験結果を図 3 に示す。

■その他不具合と宇宙環境との関連性調査

過去に ADEOS-II で発生した不具合日時付近における ADEOS-II 搭載 TEDA のデータを調査した。特に放射線とその影響に関する有意な変化は見られなかった。

(2) 衛星運用警報システムの整備・運用

衛星運用警報システムは静止軌道上高エネルギー電子予測・警報システムと太陽フレア警報システムから構成されている。静止軌道上高エネルギー電子予測・警報システムは搭載エレクトロニクスの内部帯電等に影響がある数 MeV レベルの電子フラックスを予測、警報を発信すると共に、DRTS 搭載技術データ取得装置（TEDA、放射線吸収線量モニタ）による電子フラックスの実測値を表示するシステムである。また太陽フレア警報システムは太陽フレアイベントを監視し、太陽電池の劣化現象、シングルイベント等に影響がある太陽フレア陽子に関する警報を発信するシステムである。例えば太陽フレア警報システムにおいては、図 4 に示す mail が自動的に発信される。粒子データ（陽子及び電子のフラックス）、X 線の強度及び磁場データが含まれる。運用状況等については、別途記載する（「静止軌道上高

エネルギー電子予測・警報システム」、「2003年10月末から11月初旬にかけての宇宙環境とその影響について」参照)。

4. まとめ

ADEOS-II (みどり2号) 運用異常原因究明の一環として、宇宙環境の側面から支援を行った。運用異常があった当時の宇宙環境データの提供、異常発生シナリオ検証試験の一部を行い、原因究明に貢献した。また衛星運用警報システムの整備・運用を行い、衛星運用者が未然に宇宙環境に関するアラートを得られるようにした。またこれら活動を通じて、今後の衛星の設計、運用及び信頼性向上に資する知見が得られた。

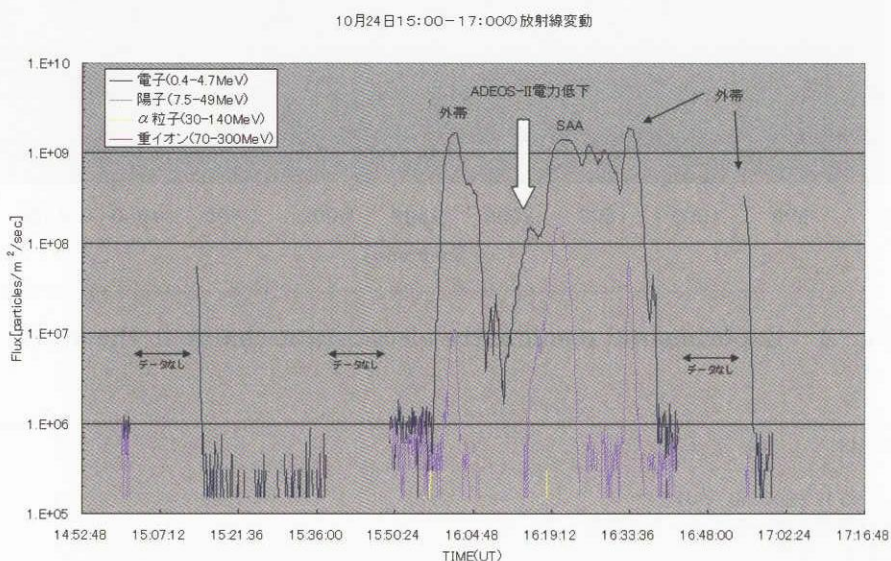


Fig. 1 DOM data around in the operational anomaly event

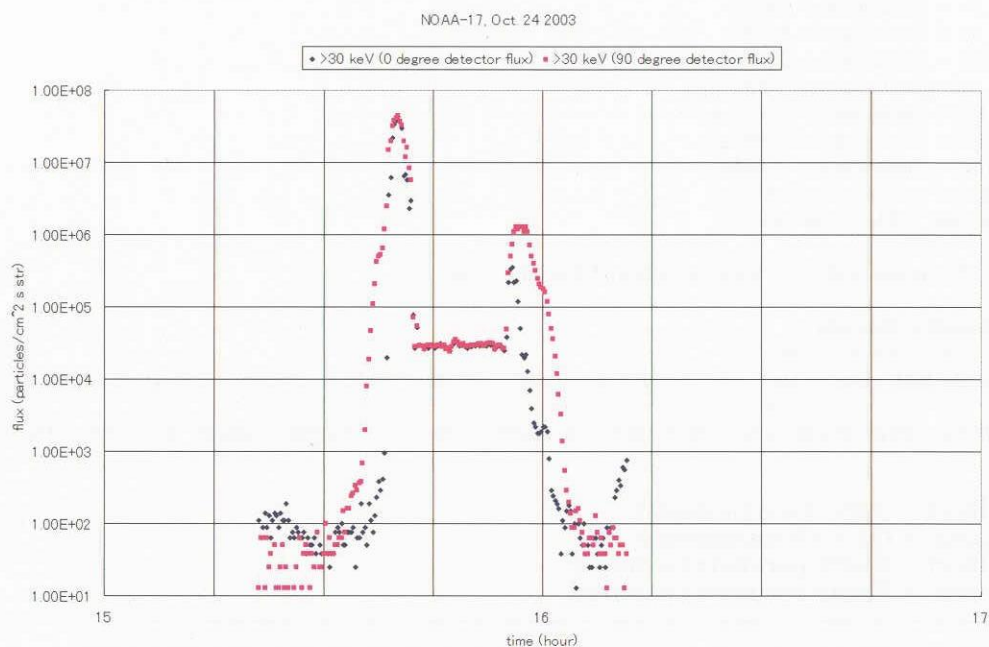


図2 Electron flux data (Energy>30KeV) from NOAA-17

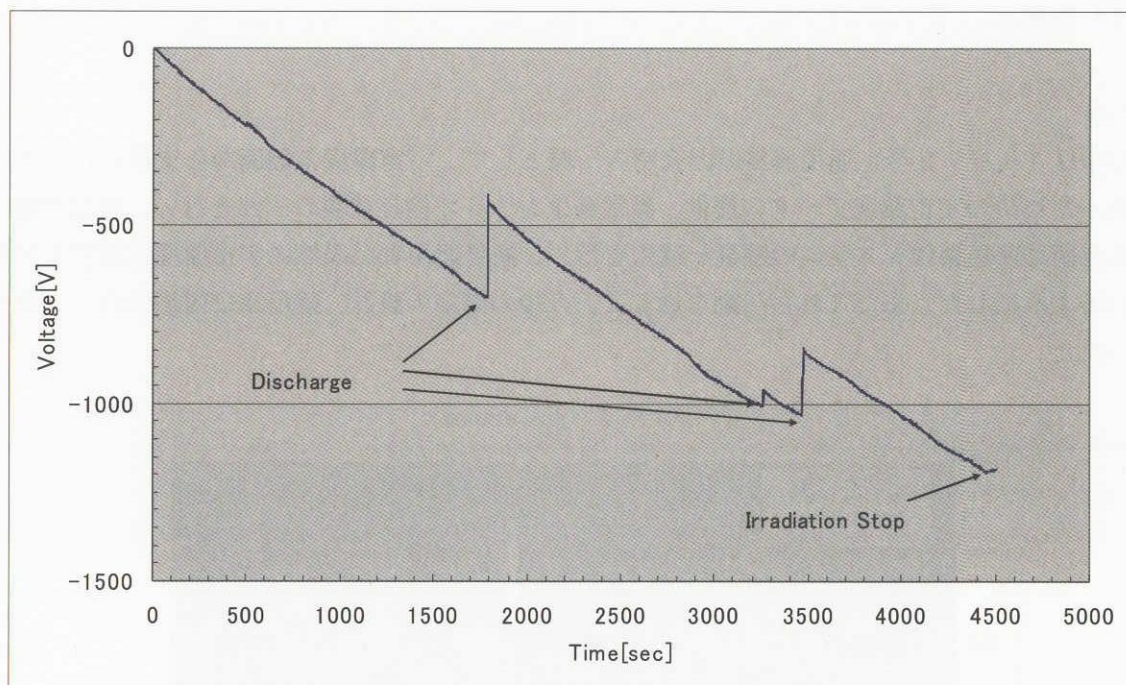


Fig. 3 Experimental result of the electrostatic charge in the MLI

衛星警告通知(GOES-10)

No.128 2003年11月05日16時50分JST

粒子のフラックス値が閾値を越えるイベントが発生しました
以下にデータリストを示します

[粒子データ]

Label: P > 1 = Particles at > 1MeV

Label: P > 5 = Particles at > 5MeV

Label: P > 10 = Particles at > 10MeV

Label: P > 30 = Particles at > 30MeV

Label: P > 50 = Particles at > 50MeV

Label: P > 100 = Particles at > 100MeV

Label: E > 0.6 = Electrons at > 0.6MeV

Label: E > 2.0 = Electrons at > 2.0MeV

Label: E > 4.0 = Electrons at > 4.0MeV

Units: Particles = Protons/cm²·s·sr

Units: Electrons = Electrons/cm²·s·sr

#

5-minute GOES-10 Solar Particle and Electron Flux

#

Modified Seconds

UTC Date Time Julian of the

YR MO DA HHMM Day Day P > 1 P > 5 P > 10 P > 30 P > 50 P > 100 E > 0.6 E > 2.0 E > 4.0

#-----

2003 11 05 0750 52948 28200 7.55e+02 2.57e+02 1.44e+02 2.85e+01 7.86e+00 8.65e-01 5.01e+03 1.33e-01 1.00e+05

[X線データ]

Label: Short = 0.05 - 0.4 nanometer

Label: Long = 0.1 - 0.8 nanometer

Units: Short = Watts per meter squared

Units: Long = Watts per meter squared

#

Fig. 4 Example of the satellite operation alert mail