

静止軌道上帯電データ解析・評価の状況

古賀清一、上田裕子、五家建夫 (JAXA)
八田真児、金正浩 (MUSE)

1. 概要

近年、衛星の帯電・放電に関連すると考えられる事故が国内外で多数、報告されることから、設計段階から帯電・放電の観点に立った検討を正しく行う必要性が認識されている。JAXA では静止衛星についてはこれまで、米国で70年代に開発され世界のデファクトスタンダードとしての地位を確立していた NASCAP/GEO と呼ばれる解析ツールを利用してきた。しかしその後、機能拡張、改良され、低軌道衛星、極軌道衛星にも対応可能となったツールは、輸出規制のために日本で使用することはできない。そこで2004年11月から衛星帯電解析ソフトウェア MUSCAT(Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool)の開発に着手し、2007年3月に完成した。

本発表は、この MUSCAT による解析結果を実際の衛星 (ETS-V) で取得したデータと比較し報告する。ETS-V は、静止軌道上で10年間の帯電データを取得しており、ほぼ太陽活動周期1回分のデータが得られている。このデータを MUSCAT の解析結果と比較することにより、衛星電位と帯電サンプルとの電位差について検証することが可能であり、成果を帯電設計基準等に反映することができる。

また、MUSCAT にユーザ要求による機能の追加を行ったため、これについても報告する。

2. 静止軌道での帯電計測

ETS-V は、1987年8月27日に打ち上げられ、11月から技術データ取得装置 (TEDA) の計測を開始した。ETS-V に搭載されている TEDA の内、帯電計測装置 (POM) [1]の概要を以下に示す。

取り付け衛星構体面	: +Y 面 (南面)
サンプル	: 銀蒸着テフロン、アルミ蒸着カプトン、OSR
計測範囲	: +1 kV ~ -10 kV
サンプリング	: 1分
データ取得期間	: 1987.11.26 ~ 1997.09.12

図1に ETS-V での約10年間の計測結果を示す。

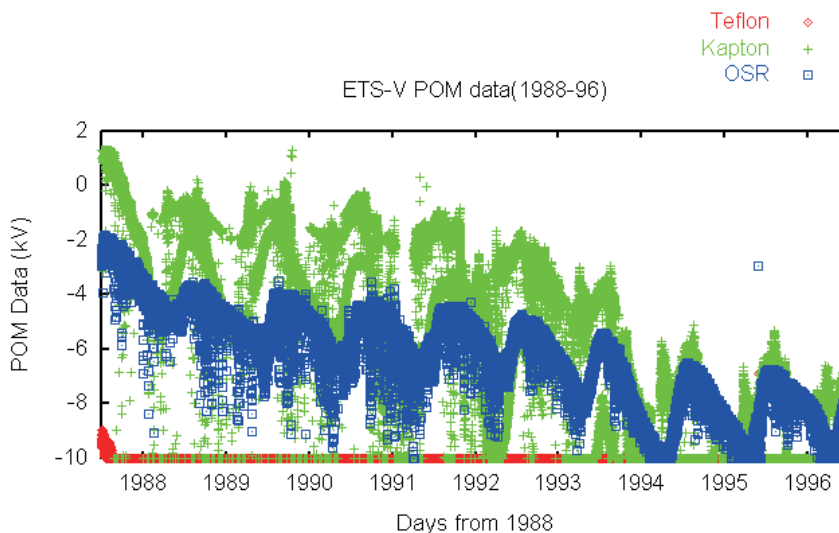


図1 ETS-Vの約10年間の計測データ

データは、1年に1回周期的に変化している。これは、POMが衛星の南面パネルに搭載されているため、1年間で日陰と日照が起こるためと考えられる。また全体的な電位の変化は、表面の特性の経年変化によるものと考えられる。

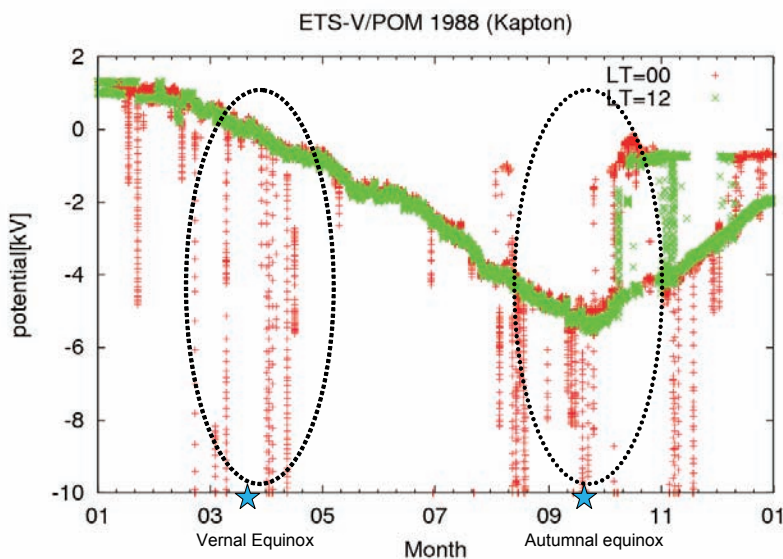


図2 1988年、1年間のKaptonのデータ

図2に1988年の1年間のKaptonのデータを示す。LT=0時のデータ(赤)とLT=12時のデータ(緑)のデータをプロットしている。急激に帯電しているのはLT=0時の方であり、一般的に言われている夜側のサブストームによる帯電に対応している。また、急激な帯電は春分点と秋分点付近に多く見られ、これもR-M効果による磁気嵐やサブストームの増加に対応している。

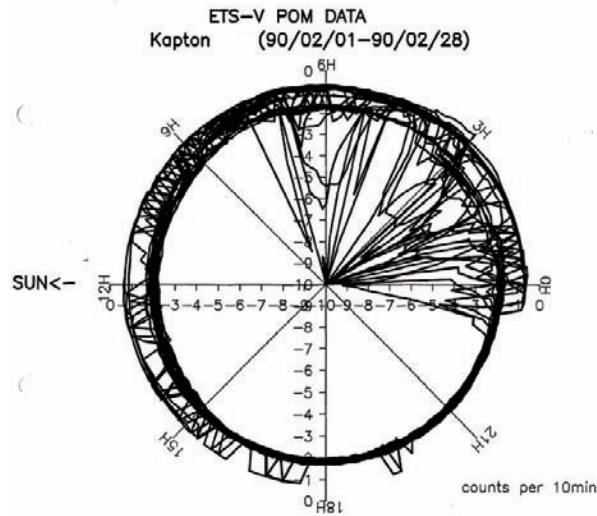


図3 1990年2月のKaptonのデータの帯電電位地方時依存性

図3に1990年2月のKaptonのデータの帯電電位地方時依存性を示す。これもSCHATHAの観測例と同様に、サブストーム時の粒子の流入が多いと言われている真夜中から夜明けの間に大きな帯電が集中している。

3. MUSCATによる解析結果との比較

図4にMUSCAT解析に使用したETS-Vの形状モデルを示す。

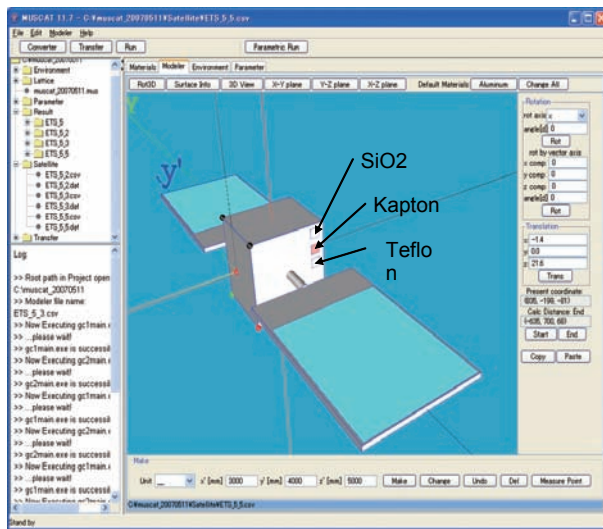


図4 ETS-V形状データ

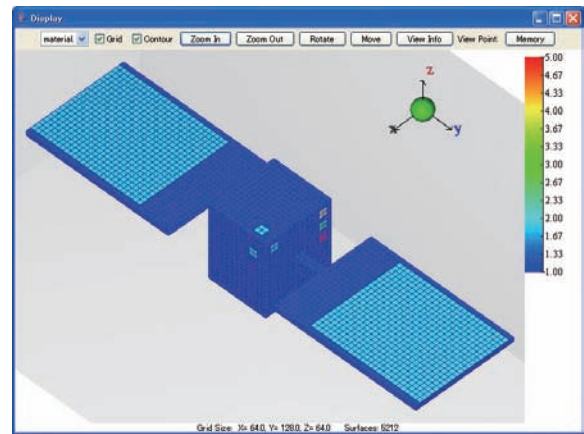


図5 ETS-Vグリッドモデル

衛星の大きさは、パドルの両翼が約9.7m、幅が2.3m、衛星構造体が約1.5m四方である。実際には地球指向面にアンテナがあるが今回は省略している。

解析におけるグリッド・モデルを図5に示す。グリッドサイズは、10cmであり、解析空間のグリッド数は、64×128×64なので、解析空間の大きさは、6.4×12.8×6.4mとなっている。

POM の実際のサンプルの大きさは、4cm×4cm であるが、グリッドの関係で 20cm×20cm で模擬している。コーナーのパッチは、太陽光の影響を見るために配置している。

図 6 に計算結果の 1 例を示す。解析を行った外部環境の条件は、表 6 の通りである。

表 6 外部環境パラメータ

		密度[m ⁻³]	温度[eV]
低エネルギー 一粒子	電子	0.9E6	600
	陽子	1.0E6	350
高エネルギー 一粒子	電子	1.65E6	25600
	陽子	1.65E6	25150
太陽方向	+Z 軸方向		

上記の条件は、NASA の静止軌道衛星の設計ガイドライン NASA-TP-2316 [2] の SCATHA 衛星観測による典型的な最悪ケース (Mullen, et.al.,1982) [3]にあたる。それぞれのサンプルと衛星構体との電位差を以下に示す。

SiO₂ : -2186V

カプトン : -2454V

テフロン : -4035V

この計算結果は、衛星構体に光があたり、POM が日陰の状態にあたり、実際の計測データではさらに電位が下がっていることもあり、より詳細な外部環境との比較が必要である。ETS-V には残念ながらプラズマ環境の計測機器が搭載されていないため、今後は、実際の LANL 等の実測値等を用いて詳細解析を行う予定である。また、材料特性の経年変化についても、放射線による試験等の 2 次電子や光電子放出の変化などのデータも考慮に入れながら解析を行う必要がある。

4. 19 年度の MUSCAT の機能追加について

MUSCAT の開発時に行ったユーザレビュー会において要求が多かった GUI やクライアント-サーバシステムについて以下の機能追加を行った。

- (1) 衛星を構成する部材のグループ化機能
- (2) 衛星の軌道パラメータに対応する宇宙環境パラメータ及びそれらの変動範囲等をユーザに示す機能
- (3) パラメトリック・ランの結果から表面電位がある閾値を越える条件を解析可能なファイルとして出力する
- (4) クライアントソフトの速度、メモリ使用量等の改良
- (5) クライアント-サーバ接続プログラムの表示等の改良

(1) については、グループ指定中の部材を半透明化して表示 (図 7)、多重グループ化、パドルなど、同一形状のコピー/ペーストおよび回転、並行移動などの機能を追加している。(2) に関しては、GEO 解析時にはローカルタイム別に外部環境を示す機能や、LEO 解析時には軌道デー

タを入力し、指定した期間での外部環境の変化のグラフを示す機能等を追加した。(3)に関しては、パラメトリック・ランの結果を Excel 形式で出力し、ETS-VIIIや WINDS 等で使用した放電閾値を超える確率を計算するワークシートに渡し、チャンバー等での実験条件が算出可能にした。

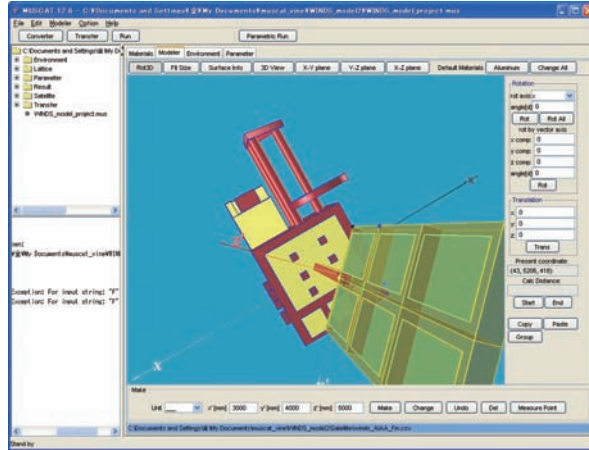


図7 太陽電池パドルのグループ化の例

5. 今後の予定

MUSCAT 解析に関し、ETS-V 観測期間の環境データ (LANL 等) を取得し、実際の外部環境を用いた解析と POM 実測の詳細な比較、材料パラメータの変更による差、衛星へ入射する光の角度や、POM のアンテナの影等を考慮した詳細解析等を行う予定である。

また、MUSCAT に関しても、随時ユーザ要求を取り入れた機能追加を行ってゆく予定である。

参考文献

[1]廣三壽 他、「静止軌道宇宙環境における熱制御用絶縁性材料の帯電観測」、電学論 A、118 巻 7/8 号、p759-766、平成 10 年

[2]Purvis, C.K. et. al., Design Guideline for Assessing and Controlling Spacecraft Charging Effects, NASA Technical Paper 2361, NASA, 1984

[3]Mullen, E.G. and Gussenhoven, M.G., SCATHA Environmental Atlas, AFGL-TR-83-0002, Air Force Geophysics Lab., 1983.(AD-A131456)