

衛星帯電解析ソフトの研究開発 Deveropment of Multiutility Spacecraft Charging Analysis Tool

環境計測技術グループ

Expert group for space environment engineering,

五家建夫、松本晴久、古賀清一、木本雄吾、三宅弘晃

T. Goka, H. Matsumoto, K. Koga, Y. Kimoto, H. Miyake

情報技術開発共同センター

Information technology center

上田 裕子

H.O. Ueda

Abstract

Recently, satellite anomaly is mainly caused by charging and discharging. It is important to check the charging hazard in the satellite development phase. There are some charging analysis code such as NASCAP, but the latest version of NASCAP is not available in Japan because of the export license limitation in USA. So we started the development of charging analysis tool called MUSCAT (Multiutility Spacecraft Charging Analysis Tool). MUSCAT will be used to evaluate the risk of charging and discharging hazard not only at the development phase but also at satellite operation in LEO, PEO and GEO. Development plan and current status is reported.

1、はじめに

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・放電のリスク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(NASCAP-2K)は、輸出規制のために日本で使用することはできない。そこで平成16年11月から新たに衛星帯電解析ソフトウェア(MUSCAT)の開発に着手した。MUSCATは今後の極軌道、低軌道衛星から静止軌道衛星までの開発において、設計段階から帯電障害のリスクの評価、最大帯電電位を計算し、地上試験的的確な条件設定、および衛星運用中の帯電起因による不具合解析までを実行できることを目的とした汎用の衛星帯電解析ソフトウェアである。基本的アルゴリズムは、九州工業大学が開発し既の実績のある2次元帯電解析ソルバで用いられているものを基に3次元解析までに拡張する。

ソフトウェアの解析結果が意味あるものとするためにはアルゴリズムのみならず、想定される軌道に対応する適切な宇宙環境パラメータ、および帯電に関係する衛星材料パラメータが必須である。また軌道上での衛星電位および宇宙環境の計測データがまだ十分には得られない現状においては、可能な限りチャンバ実験、大規模高精度な計算機シミュレーション、また他の解析ツールの結果との比較により、精度検証を行うことが重要である。また開発後にソフトウェアが有効に活用されるためには、開発当初から想定される利用者との密接なユーザインタフェースの調整が重要である。

そこで、JAXA内の総合技術研究本部、宇宙利用推進本部、宇宙科学研究本部が、ソフトウェア開発の中心となる九州工業大学のソフトウェア作成、および情報通信研究機構、地球シミュレータ利用プロジェクト「宇宙環境シミュレータGES」開発グループの開発検証を実施する協力体制をとる。平成17年度末に試用版(β版)をリリース、18年度末には完成する計画である。

2. 研究の概要

(1) 目的

今後の衛星開発において、極軌道、低軌道衛星から静止軌道衛星までの設計段階からの帯電障害のリスク評価から運用中の衛星の不具合解析までをおこなう汎用の衛星帯電解析ソフトとして MUSCAT を作成する。(図1参照)

(2) 範囲

衛星帯電解析用計算機システム、衛星帯電解析ソルバー、衛星モデルの作成、計算実行、結果解析、可視化用の共通グラフィカル・ユーザ・インタフェース(GUI)、および日本語・英語マニュアルを作成する。

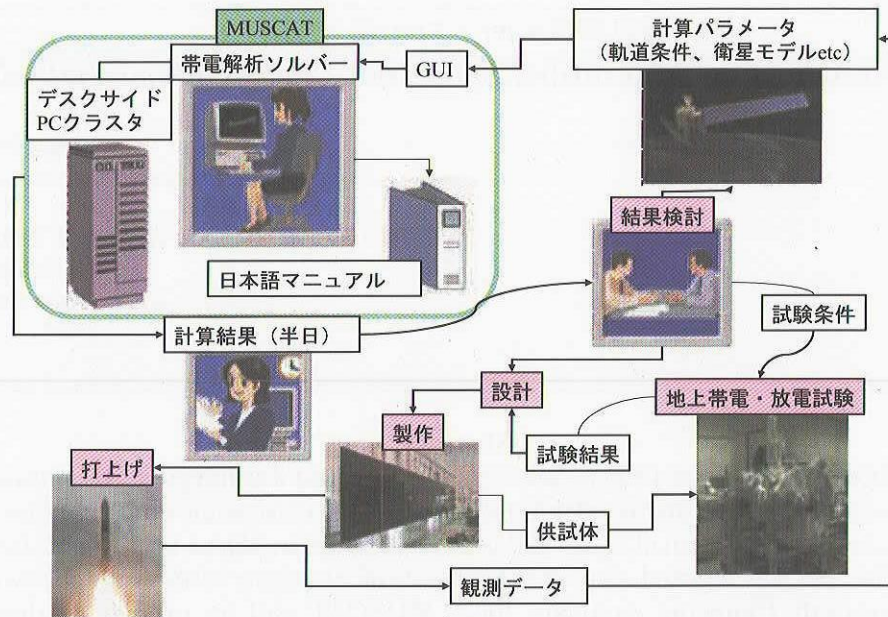


Fig.1 MUSCAT utilization in spacecraft development

(3) 目標

現在市販されているワークステーションを並列化した計算機システムを用いて、低軌道、極軌道衛星から静止軌道衛星までの設計に適応できる帯電解析ソフトを作成する。計算の際、ある衛星軌道上の与えられた条件に対して、半日以内に答を出せるようにする。衛星モデル作成、計算実行、計算結果解析可視化が簡単にできる GUI を持ち、日本語・英語マニュアルを完備し、3日間程度のトレーニングで衛星設計者でも基本的な操作ができるようにする。

(4) 内容

- ・ALOS 規模の大きさの衛星に対応可能であり、将来の計算能力向上により ISS 規模まで拡張可能
- ・矩形グリッドによる衛星形状の 3 次元モデル化が可能
- ・最小空間分解能 3cm(ALOS 規模の場合)
- ・最小時間分解能 1 秒以下
- ・衛星モデリング・計算実行・解析結果可視化のための GUI を装備

上記の仕様を満たすため PIC(particle in cell)法と粒子軌道計算法を併用した方法(M. Cho and D. Hastings, 1991; 参考文献1)を用いる。

(5) 進め方

九州工業大学工学部・趙孟佑教授のグループによるソフト開発を主体として、九州工業大学にワークステーションを並列化した計算機システムを導入し、PIC 法・粒子軌道計算のプログラミング、コード並列化、GUI の開発を行う。また、真空チャンバーを用いた地上実験による計算結果の検証を九州工業大学及び JAXA で実施する。また、地球シミュレータ利用グループの「宇宙環境シミュレータ」開発に参加している京都大学、極地研の研究者とも共同研究を行い、「宇宙環境シミュレータ」の帯電解析用モジュール・GUI・解析可視化ソフトの共同開発と評価用モデルに対する計算結果を比較して検証をおこない、改良を継続的におこなう。また、宇宙天気関連の研究を行っている情報通信研究機構の電磁波計測部門と JAXA の衛星帯電の研究結果や宇宙環境パラメータなどの情報交換を行う。

JAXA 内では、環境計測技術グループおよび情報技術開発共同センターが中心となってソフト開発全体に対する仕様設定とスケジュール調整、共同研究相手先との調整連絡を行う。試作版を完成後、ETS-VIII、WINDS プロジェクト、ALOS プロジェクト、高度ミッション研究センターより個々の衛星データの提供を受け、またエレクトロニクス技術グループより提供される太陽電池に関連する材料特性パラメータを用いて検証を行いながら進めていく。特に、環境計測技術グループの衛星帯電モニターが ETS-VIII 衛星に搭載されており、観測開始後に計算結果と比較検証することで、ソフトを補正し精度を向上させる。

3. 成果概要

平成16年度は、主に以下の作業を行った。得られた成果は、第9回衛星帯電国際会議(SCTC)で発表を行っている(S.Hatta, et al., 2005; 参考文献2)。

(1) プログラム概要定義

想定されるユーザからの情報を基に、MUSCAT開発基本仕様の作成を行った。

(2) 開発用計算機システムの構築

目標計算時間の半日以内を実現するため、以下の計算システムを整備した。

- ・8CPU(1.3GHz、Itanium II プロセッサ)ワークステーション
- ・メモリ16GB
- ・OS:Linux、ソルバで使用する言語:Fortran

(3) 帯電解析ソルバの開発

基本的なアルゴリズムは以下の通りとする(図2)。

1. 衛星の形状、表面材料を GUI 画面で入力
2. 衛星姿勢、プラズマ環境データを入力
3. 衛星周りの初期プラズマシース形状の計算(PIC法を使用)
4. シース内の高エネルギー粒子軌道、低エネルギー粒子軌道、光電子軌道を計算(粒子軌道計算法を使用)
5. 衛星表面各部への流入電流の計算
6. 衛星表面各部の帯電電荷量の計算
7. 衛星電位及び絶縁体表面電位の計算
8. 新しい衛星電位に対するプラズマシース形状の再計算。4に戻る。
9. 所定の時間が経過または定常状態に達すれば計算を終了

作成された入力ファイルを使用し、初歩的な帯電計算を(2)のシステムで計算できることを確認した。図 3 に小型衛星での計算例を示す。並列システムでのある程度の高速度も確認できた。また、光電子電流モデルの作成を行った。

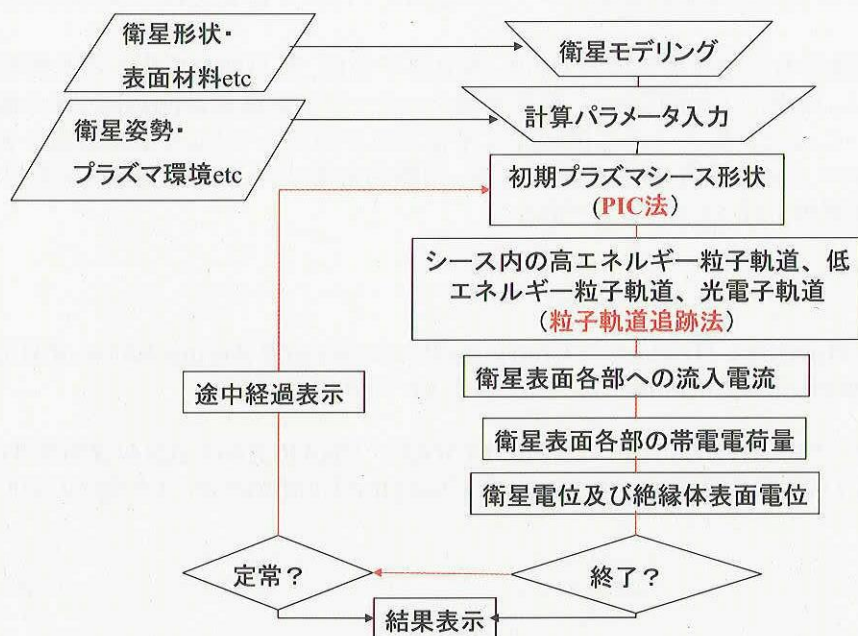


Fig.2 Schematic of algorithm

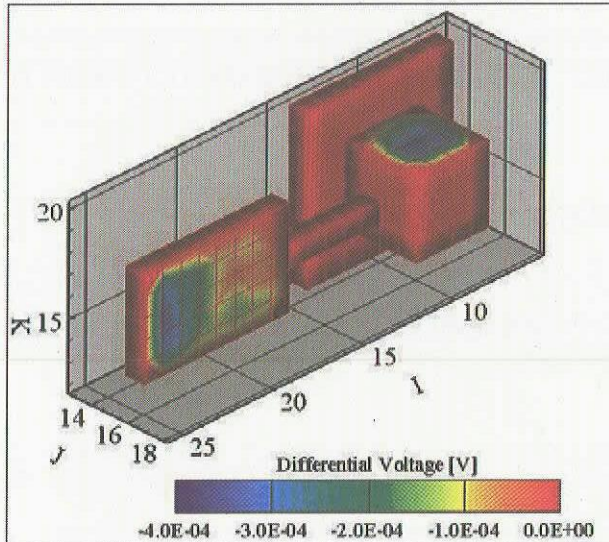
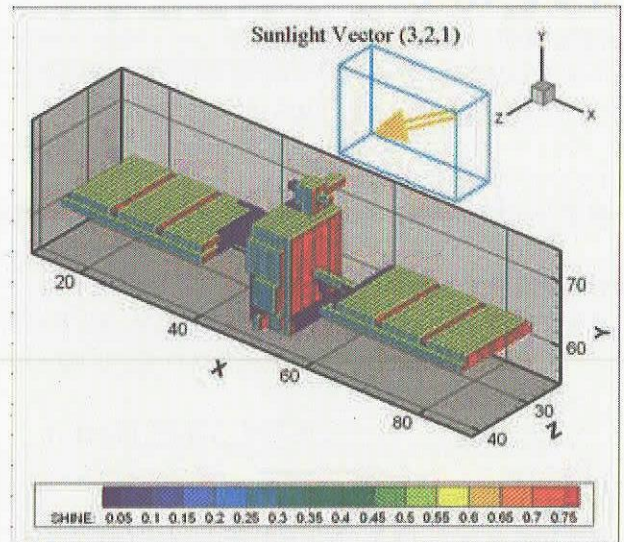


Fig.3 Differential voltage of a satellite model

Fig.4 Ray tracing model of OICETS
(100x128x64 grids)

(4) GUI (Graphical User Interface)開発

矩形物体を矩形グリッドに沿った形で GUI 入力し、計算用インプットファイルを GUI で作成できるようにした。表示例を図 4 に示す。

(5) 実験システムの整備

MUSCATの計算結果検証(ラングミュアプローブ試験)のため、衛星プラズマ環境を模擬する真空チャンバの整備を行った。

4. まとめ

平成18年度末完成へ向けての本年度目標作業分は達成することができた。来年度(平成17年度)は試用版の完成を予定しており、この試用版を実際のユーザに使用してもらい、意見を18年度の完成版へ反映する予定である。

衛星帯電は宇宙開発の重要な基盤技術であり、開発終了後は、衛星開発段階から本帯電解析ソフトの利用を働きかけるとともに、精度向上を測るため、衛星帯電モニターや宇宙環境計測装置などの観測機器の継続的搭載を働きかけていく。また、本ソフトの応用として、宇宙天気予報の一つとして衛星帯電予報が考えられる。また、表面物性データベースの蓄積・改良作業の提案、国際的帯電ソフト共同補正と衛星素材パラメータの共有化キャンペーンの提案等を行ってゆく予定である

[参考文献]

- (1)M. Cho and D. Hastings, "Dielectric Charging Processes and Arcing Rates of High Voltage Solar Arrays", J. Spacecraft and Rockets, Vol. 28, No.6, pp. 698-706, 1991
- (2)S.Hatta, et. al., "MULTI-UTILITY SPACECRAFT CHARGING ANALYSIS TOOL(MUSCAT): DEVELOPMANT OVERVIEW", 9th Spacecraft Charging Conference, 4-8 April, 2005