

# 3B03 九州工業大学宇宙環境技術研究センターにおける 宇宙活動

○趙孟佑、赤星保浩、豊田和弘、岩田稔（九州工業大学）

Space Activities at Laboratory of Spacecraft Environment Interaction Engineering, Kyushu  
Institute of Technology

Mengu Cho, Yasuhiro Akahoshi, Hidetsugu Nakamura, Kazuhiro Toyoda, Minoru Iwata (KIT)

Key Words: Spacecraft Environment Interaction, Charging, Space Debris, High Power Explosion, Student Education

## Abstract

Kyushu Institute of Technology founded Laboratory of Spacecraft Environment Interaction Engineering (La SEINE) in December 2004. Its mission is to serve the humanity via contribution to space activity by education, research and development of technologies for extreme harsh space environment. This paper introduces research and educational space activities of LaSEINE.

### 1. はじめに

1957年に打ち上げられた人類最初の人工衛星スプートニクは大きさにしてバスケットボール程度、電力は1Wで寿命は僅かに3週間であった。以来50年、現在の宇宙機（人工衛星や惑星探査機の総称）は、大きさにして100倍、寿命は300倍、電力は10万倍になろうとしている。このような宇宙機の大型化・長寿命化・大電力化にとって、宇宙環境との相互作用を克服することは重要な課題である。宇宙環境の特殊性は、真空・微小重力・プラズマ・紫外線・放射線・原子状酸素・超高速微粒子等、枚挙にいとまがないが、宇宙機は一部のものを除いては地上を飛び立てばそれきりであり、10年を超える運用期間をメンテナンスフリーで乗りきらなければならない。

最近の宇宙用技術開発の動向としては、宇宙工場・宇宙ホテル・太陽発電衛星・月面基地といった大型宇宙システムの構築を目指した動きと、小型衛星に代表されるCOTS (Commercial-off-the-shelf)技術の導入を目指した動きという、一見相反する二つの動きが顕在化している。しかしながら両者共に耐宇宙環境性能を高めなければならないということでは共通している。大型システムにおいては宇宙環境との相互作用はより大規模で且つ長期間続くことが予想されるし、COTS技術においてはそもそも宇宙環境で動くこ

とを実証しなければならない。

21世紀の多種多様な宇宙利用を実現するために必要な耐宇宙環境技術の研究開発の世界的拠点となるべく、宇宙環境技術研究センター(La SEINE: Laboratory of Spacecraft Environment Interaction Engineering)が2004年12月に九州工業大学内に設立された。センターは九州工大戸畑キャンパスに位置し、800m<sup>2</sup>を超える実験室面積を有して、2007年10月現在教授x2,准教授x1,助教x1,博士研究員x1の計5名のスタッフと20名以上の大学院生が日々研究に励んでいる。センターのミッション（基本理念）は耐宇宙環境技術の研究開発を通じて宇宙活動の発展に寄与し、人類社会に貢献することである。本稿の目的はセンターの活動を紹介し、地域・大学で行われている宇宙活動の一例を提示することである。

### 2. 研究内容

#### 2.1 帯電・放電試験

静止軌道通信放送衛星の電力レベルは、過去10年間で飛躍的に増大し、10kWを超える規模に達している。このような大電力を効率的に運用するため、衛星のバス電圧は100Vを採用したものが多くなり、現在欧米の多くの商用衛星で100Vバス電圧が主流となっている。日本においても2006年度打ち上げ予定の技術試験衛星8型で100Vバス電圧を採用している。

バス電圧が増加すると共に、太陽電池アレイを含む

電源系の不具合による衛星事故が相次いでおり、商用衛星の保険請求事由の半数近くを電源系不具合が占めている。

電源系不具合は静止衛星にとどまらず、2003年10月25日、地球観測衛星みどり2号が突然電力の80%以上を失って運用停止に追い込まれるという全損事故を起こした。同事故は、衛星表面材料がオーロラ電子によって帯電したことが電力ケーブル間の短絡につながったためことが原因であると究明された。この事故以来、宇宙機帯電についての認識がJAXAや宇宙企業内で非常に高まり、宇宙機技術の信頼性向上の一環として、打上げ前の宇宙機についての徹底した試験が求められている。

本センターでは1999年にMUSES-C（はやぶさ）を皮切りに、ETS8,WINDS,MTSAT-2,ALOS,OICETS,GOSATと国産衛星の太陽電池パネルの帯電・放電試験を一手に担ってきた。2007年からは海外衛星メーカーからの帯電・放電試験も受託している。衛星打ち上げ前の試験のみならず、みどり2号の事故原因究明作業についても中心的役割を果たした<sup>(1)</sup>。

センターは低地球軌道、極軌道、静止軌道のそれぞれのプラズマ環境に対応した帯電・放電試験を実施可能な真空チャンバー(図1)を3基所有しており、これらの試験設備を有する研究機関は世界で五指に満たない。帯電・放電試験においては図1に示すようなフライト品と同じ材料・製造工程により製作した試験クーポンを図2のように真空チャンバーに入れ、軌道上でのプラズマによる帯電を模擬する。

同様の帯電・放電試験は現在ONERA（フランス）やNASAのGlenn Research Center等でも行われているが、各国において試験方法に違いがある。世界の商用衛星の趨勢としては国際化が非常に進行しており、部品製造・衛星組立・打ち上げ・ユーザ・保険等が多国間にまたがることは珍しくない。商用衛星の帯電・放電による事故の多発という事態を受けて、試験方法の国際標準化が多方面から望まれている。



図1：GEO(左),PEO(中),LEO(右)帯電・放電試験装置

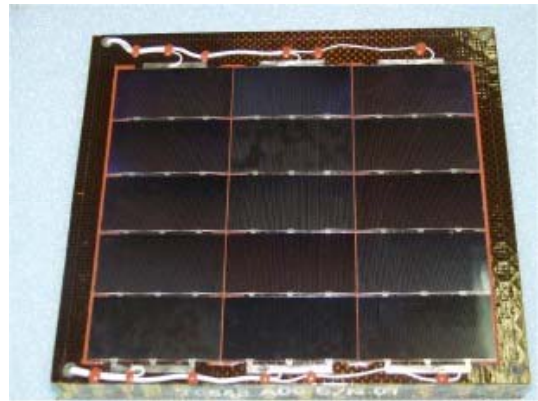


図2：帯電・放電試験用太陽電池クーポンパネル



図3：真空チャンバー内の太陽電池クーポンパネル



図4：2006年12月の国際ワークショップ参加者

本センターではNEDO国際共同研究グラントの助成を受けて、太陽電池パネルの帯電・放電試験方法のISO規格化の国際共同プロジェクトを主導しており<sup>(2)</sup>、2006年11月には北九州で国際ワークショップを開催した。その他、2007年6月にはフランスで9月にはアメリカで国際ワークショップを主催した。国際規格化のみならず、現在JAXAを中心として進められている宇宙機帯電設計標準作成のための基礎

データ取得作業も進めている<sup>(3)</sup>。

帯電・放電試験を実施するには、JAXA・衛星メーカの技術者が北九州に赴いて1週間から2週間にかけて合宿のような形で試験を実施する。試験の実施はセンターのスタッフの指導の下、装置の運転やその他諸々の作業を学生が担当している。実際に宇宙に飛んでいくモノについて研究をしているという自覚をもつことで学生のモチベーションは非常に高く、また外部の衛星技術者と仕事を共にするという他では得られない貴重な経験をしている。試験を実施する度に学生は目に見えて成長し、教育効果は非常に高い。また常日頃から、図5に示すような試験装置の高度化を学生の研究テーマとすることで、モノ作りとシステム思考の教育を行っている。その他、センターの帯電・放電試験設備を使用した基礎研究として

- (1) 高強度マイクロ波と太陽電池アレイの干渉相互作用
- (2) エレクトロダイナミックテザー (EDT) の放電試験
- (3) 静止軌道衛星の受動的帯電緩和法の開発
- (4) 400V 発電用高電圧太陽電池アレイの開発

等々を進めている。多くの研究が JAXA と連携して行われているが、2006年2月にセンターと JAXA 総合技術研究本部との間で「耐宇宙環境技術に係る研究開発に関する協定」を結んだ。研究開発と人材育成について相互に協力しあうこととなっている。

## 2.2 帯電理論数値解析

宇宙機の信頼性向上のために、宇宙機帯電への対処が求められているが、宇宙機設計段階においても宇宙機帯電・放電現象の定量的評価が必須事項と考えられている。一方で、国内の宇宙機帯電・放電現象の定量的評価の手法としては、1980年代に米国で開発された計算コード NASCAP が使用されており、実質上これが世界標準とされている。しかし、技術的には開発されてから20年以上時間が経過しており、また同コードの最新版 NASCAP-2K は対外規制の対象であるなど、日本国内での使用に制限が多い。このような背景から、日本独自の宇宙機帯電解析ソフトウェアの必要性が認識されることとなり、2004年11月からの2年半で、MUSCAT (Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool) と称される汎用宇宙機帯電解析ソフトウェアが、本センターと JAXA を中心として開発された<sup>(4)</sup>。

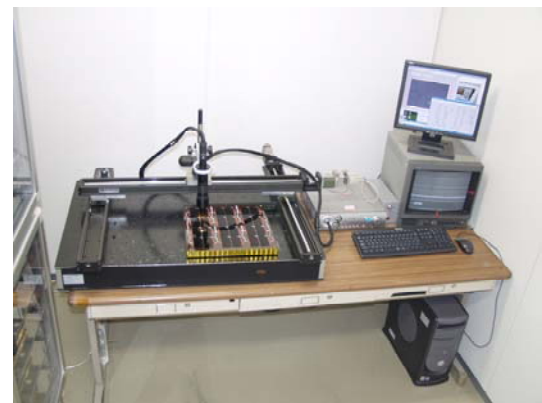
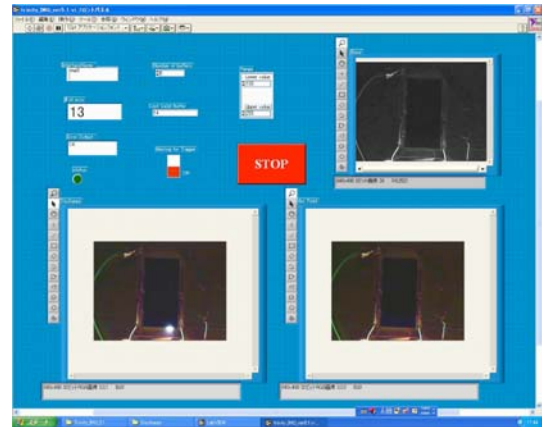


図5： 放電発生位置自動検出・波形取得システム (上) とそれに同期した太陽電池パネル検査試験装置

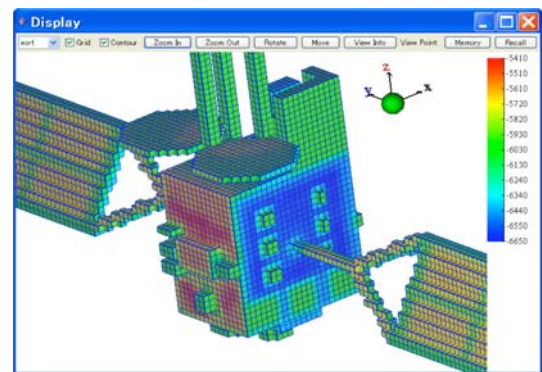


図6： MUSCATによるWINDSの解析結果

MUSCATは大規模計算コードであるが、数値計算や宇宙機帯電を専門としない衛星技術者が衛星設計段階においてこれを活用できるように以下の機能を備えている。

- MUSCATひとつで代表的な衛星軌道である、低軌道、静止軌道、極軌道それぞれの宇宙環境下での宇宙機帯電解析を実現可能な汎用ソルバーをもつ。
- Graphical User Interface (GUI) 機能によって、ユーザは三次元衛星モデリングおよび衛星材料等のパラメータの入力を視覚的に行う事が可能である。計算結

果も可視化して出力し、解析結果をすぐに検討する事が可能である。(図6参照)

• 並列化計算とアルゴリズムの最適化による高速演算機能を持ち、市販のワークステーション(WS)クラスのプラットフォームで、宇宙機帯電計算を行うことが可能である。

MUSCATの開発は2007年春にver.1が完成して一旦終了した。また、2006年9月にMUSCATの商用版をサポートする大学発ベンチャー企業として、MUSCATスペース・エンジニアリング株式会社(093-883-5767)がMUSCAT開発に従事した研究員2名で発足した。2007年春以降はMUSCATを含む宇宙用各種ソフト・ハードの開発や民生用ソフトの開発を主な業務として本格的に活動を開始している。



図7：超高速衝突実験装置

### 2.3 超高速衝突

地球周回軌道上には軌道要素が分かっている人工物体だけで約9千個あり、軌道要素が分かっていないものを含めると数千万個あると言われている。これらの人工物体の大半は使用停止後の人工衛星、ロケットならびにそれらが破砕して生じた破片(スペースデブリ)である。超高速衝突実験室では1997年2月より二段式軽ガス銃を導入以来、一貫して、宇宙ごみと宇宙機器との超高速衝突現象について研究を行ってきた。2003年3月には新しく長さ36mのプレハブを学生用テニスコートの跡地に建設し、現在は2台の二段式軽ガス銃、2台の一段銃という計4台の銃の運用を行っている(図7)。このような活動を経て、2004年12月のセンター設立に参画して、現在センターの研究活動の重要な一翼を担っている。本センターにおいては、大きく分けて

(1) 衝突誘起プラズマによる太陽電池パネルの放電条件の解明

(2) 能動的防御方法に関する研究

(3) 秒速10km級の衝突を目指した対向衝突のための技術開発

(4) 太陽電池パネルへの衝突を利用した静止軌道上でのデブリ分布計測法の検討

の4テーマについて教育研究活動を行っている。

### 2.4 宇宙材料

宇宙空間に曝露された材料は遅かれ早かれ必ず劣化する。宇宙機設計において大事なのは時に10年を超す運用期間中の劣化具合を考慮した設計をすることである。本センターの発足と同時に専門のスタッフを招いて材料研究をスタートさせ、現在のところ

(1) 紫外線照射による宇宙用高分子材料劣化(図8)

(2) 真空熱環境による材料劣化(図9)

(3) ソーラーセイル膜材の耐放射線特性

(4) 宇宙機帯電緩和表面材料の開発

等の項目について研究を行なっている。



図8：紫外線照射実験装置



図9：真空中熱サイクル試験装置

九州内には素材・表面コーティング・ナノテク企業が集積しており、これら企業の宇宙への関心は材料分野から入ることが多い。地上民生材料が宇宙空間で使えるかどうかの最初の評価を簡単に九州内で

できるよう、センター内の施設の整備を進めている。

プラズマ・原子状酸素・紫外線といった因子が複雑に絡みあった複合環境である宇宙環境では、各種環境要因の相乗効果が極めて重要であるが、それら相乗効果についての物理的・化学的劣化メカニズムは十分に解明されていない。特にMUSCATのような帯電解析においては、表面の帯電物性（光電子や2次電子の放出係数）が非常に重要であるが、これらの物性値は新品の状態においてすらデータ量が乏しいのに加え、軌道上での劣化後にどのような値に変化するかについてのデータベースは皆無といつてよい。文部科学省の教育研究特別経費により2007年度からの4年計画「宇宙材料複合劣化研究プロジェクト」を開始している。同プロジェクトでは、プラズマ・原子状酸素・紫外線・微粒子衝突を含む複合劣化環境での材料劣化を模擬できる設備を整備し、劣化材料の帯電物性・熱放射特性のデータベースを構築する計画である。

### 3. 地域産学官連携

2004年度後半に、「九州航空宇宙開発推進協議会」にて「九州地域における小型衛星ビジネスに関するWG」が組織され、センターから2名のスタッフが委員として参加した。現在の大学や中小企業を中心とした地域密着型の小型衛星開発の流れをつかみ、九州地域においても小型衛星を活用した新しい宇宙利用システムを通じて、九州における宇宙産業の創造に向けた戦略的取り組みを本格化するための提言をまとめるべくWGが結成された。

WGの提言に基づいた具体的活動として「九州宇宙利用プロジェクト創出研究会」を設置し、「小型衛星グループ」・「宇宙環境グループ」・「宇宙利用グループ」の3グループで構成される産学官連携プロジェクトを進めていくこととなった。九工大は「宇宙環境グループ」の担当となり、北九州市と共同で産学官連携プロジェクトを組織・推進している。2005年秋から鹿児島、熊本、長崎、北九州、福岡で開催された宇宙産業講演会にて講演を行い、地元企業と知りあう機会をもった。2006年からは「九州宇宙環境技術交流会」を継続的に開催し、30名程度の参加者が集う中で産学連携による宇宙部品研究開発の具体案を練ってきた。その結果、「静止軌道衛星の帯電を防止する受動型電子エミッタの実用化研究」を九州域内企業二社と開始し、2007年度からのJAXA宇宙オープンラボに採択されている。

### 4. 教育活動

センターでは国際・モノ作り・システム思考をキーワードとして教育を行っている。他大学と同様に本学も多くの大学と国際交流協定を結んでいるが、日本では英国サリー大学・国際宇宙大学・バージニア工科大学と交流協定を結ぶ唯一の大学である。国際宇宙大学は国際・学際・多文化をキーワードとして文系から理系まで宇宙に関するあらゆる分野の教育を行なうユニークな教育機関として世界中の宇宙関係者から知られている。センターが中心となって2005年に交流協定を結び、その枠組みの中で学生・教員の派遣を行なっている。2006年度からの2年間で5名の学生が国際宇宙大学夏季講座に派遣された。

サリー大学は小型衛星開発のパイオニアとして知られているが、センターとの間で学生の相互派遣を行っており、派遣学生は宇宙機ハードウェアの開発(2006年度)や宇宙環境評価(2005年度)の研究を行なっている。サリー大学からの派遣学生も受け入れ、小型衛星(2006年度)や缶サット(2007年度)の制御系についての研究を行っている。バージニア工科大学と同様に学生の相互派遣を行う予定であり、米国からの学生が複数名九工大に半年間滞在して小型衛星開発を行う予定である。

帯電・放電試験等の産学連携が学生の教育に活かされていることは前述したが、より総合的な工学教育を目指して自前の小型衛星プロジェクトを2006年度に始動させた。この動きの背景としては、2009年に九工大が創立100周年を迎えるのを記念して学生の手作りによる人工衛星を打ち上げようとの機運が高まっていることもある。センター所属の学生を中心とした「鳳龍プロジェクト」が発足した。プロジェクトの目的は、衛星作りを行なうことでモノ作りのみならずシステム思考を養うことである。

現在のところ図10に示す宇宙材料曝露試験撮影衛星「鳳龍1号」の概念設計を終え、2009年迄の打ち上げに備えてBBMの完成を急いでいる。尚、本衛星はサリー大学の小型衛星搭載用カメラの軌道上実証も兼ねた国際ミッションとなっている。鳳龍プロジェクトにおいては、ミッション策定からパーツ選定に至る迄学生主導を旨とし、教員は技術的成立性がある限り介入しないこととしている。この手法は国際宇宙大学のチームデザインプロジェクトと同じ手法であり、国際宇宙大学でチームワークを学んだ学生がプロジェクト運営のノウハウを他の学生に還元することを期待している。

鳳龍プロジェクト以外にも、九州大学・福岡工業

大学と連携して開発中のオーロラ帯磁化プラズマ観測衛星QSATに搭載する衛星帯電計測用プローブをセンターの学生・スタッフを中心として開発している。尚、QSATはMUSCATの検証も兼ねている。

技術者として必要なプロジェクト管理能力とチームワークを育成するために缶サットを教育に取り入れており、2007年度の能代宇宙イベントではセンター所属学生を中心としたチームが優勝した。

九州工大には機械知能工学科内に宇宙工学コースが設置されているが、宇宙開発の現場を知る講師として過去10年に亘ってJAXAから技術者を派遣していただいております、先に述べたJAXAとの協定に基づいて講師派遣の拡充が進められている。

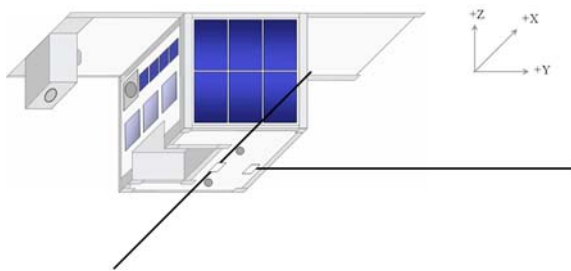


図10： 材料曝露試験撮影衛星「鳳龍」概念図



図11： 中学生向け体験講座におけるイオンエンジン実習風景

## 5. 地域貢献・広報活動

九州工業大学は日本の近代産業発生の地である北九州の唯一の国立大学法人として地域からの要請に答えてきた。宇宙という言葉は未だに子供を惹き付け、センターでは小中高生向け理科体験講座を年に複数回実施している。合宿形式で中学生や高校生が参加した時には、胡椒缶を使った数千円のイオンエンジン製作など、宇宙に関連したモノ作りを体験してもらっている。また、これらの講座の実働部隊は学生達であり、子供を指導する中で多くのことを学んでいる(図11)。

子供向けのみならず、地域大人向けの講演会・見学会も多数開催しており、2005年度には368名、2006年度には396名(内、海外から97名)の見学者がセンタ

ーを訪問した。これらにオープンキャンパスや学園祭の一般開放イベントの訪問者を足すと1000名以上の見学者が1年間に訪れたことになる。

## 6. おわりに

2005年4月に筑波において第9回衛星帯電国際会議が開催されたが参加者は100名強である。この数字は人が集まらなかったのではなく、宇宙機帯電の専門家が学生も含めてこの程度であることを示している。デブリ、材料劣化等々の他の宇宙環境技術についてもこの数字は似たようなものであり、宇宙環境技術は宇宙技術全体の中で主流となっているわけではない。またロケットのような華々しさに富んでいるわけではない。

しかしながら、宇宙環境に対処する技術は宇宙開発には必要不可欠な分野である。本センターの戦略は耐宇宙環境性を高めるために鍵となる様々な技術やそれらの試験設備を握ることで、日本そして世界の宇宙開発体制の中で確固たる地位を占めることである。将来、宇宙ホテル・太陽発電衛星・月面基地等の大型宇宙利用の時代が到来した時、宇宙環境技術は宇宙インフラを支える基幹分野となる。そのような時代の到来にそなえて研究開発と人材育成に励むことが、今の宇宙環境技術研究センターに課せられた課題であると考えている。

## 参考文献

[1] 細田聡史, 金正浩, 趙孟佑, 豊田和弘, 川北史朗, 舛分宏昌, 高橋真人, 前島弘則:ADEOS-IIにおけるケーブル間持続放電現象の地上検証、航空宇宙学会論文誌 Vol. 54、pp.427-433、2006。

[2]Mengu Cho and Tateo Goka: Issues Associated with Standardization of Ground Test Methods of Electrostatic Discharge Phenomena on Spacecraft Surface, 56th International Astronautical Congress, Fukuoka, Oct. 2005

[3] 北村 倫基、三丸 雄也、大瀬 貴之、増井 博一、細田 聡史、豊田 和弘、趙 孟佑: 太陽電池アレイの持続放電発生閾値取得試験、第50回宇宙科学技術連合講演会、2006

[4] Muranaka, T., Hosoda, S., Hatta, S., Kim, J., Cho, M., Ueda, H., Koga, K., Goka, T.: Development of Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool (MUSCAT), 10th Spacecraft Charging Technology Conference, Biarritz, France, June, 2007