

# 第 1 部 表面電位計の開発

## 第 1 章 序論

### 1.1 はじめに

1957 年、世界初の人工衛星であるスプートニック 1 号が旧ソ連より打ち上げられて以来、人類は活動範囲を宇宙空間へひろげ、宇宙開発の技術は急速に発展してきた。その目的もパイオニアやバイキング、アポロ計画などにあげられる惑星探査衛星から、気象衛星ひまわりで知られる気象観測衛星、さらには衛星間通信のためのインテルサット通信衛星など多様であり<sup>[1]</sup>、より高度な人工衛星や有人宇宙飛行などを含む宇宙開発も近年で急速な発展を見せた<sup>[2]</sup>。また、10 年ほど前から、一般企業や大学、または産学連携機関による人工衛星の開発が盛んに行われるようになり、衛星開発が身近なものになってきている。代表的なものとしては東京大学の『XI-IV』が 2003 年に、また東大阪宇宙開発協同組合の『まいど 1 号』、都立産業技術高専が製作した『輝汐』が 2009 年に打ち上げられた<sup>[3]</sup>。このような教育機関や一般企業で開発される人工衛星は、重量が 50kg 以下と非常に軽量であり、サイズも 1 辺が 50cm 以下と非常に小さいことから、超小型衛星と呼ばれている。一般的に超小型衛星開発では『民生技術・民生部品の宇宙転用』が盛んに取り入れられ、低コスト、短期間での開発を念頭に置いている。近年では『ほどよし信頼性工学』という考え方が取り入れられ、大型衛星の開発のように設計信頼度をとことん追求するよりも、コストと信頼度のバランスが取れるレベルで開発を行うという方針で進められている。九州工業大学でも約 5 年前から衛星開発プロジェクトが発足し、2009 年 3 月には鳳龍 1 号号を完成させた。また 2010 年 4 月からは高電圧技術実証衛星『鳳龍弐号』の開発プロジェクトが発足し、同年 10 月に JAXA の相乗り衛星として選定された。鳳龍弐号は 2011 年度内の打ち上げを予定しており、現在は実際にロケットに搭載する、フライトモデルの環境試験を行っている。

ここまでで述べたように過去 50 年間で宇宙開発は飛躍的に活発化した。ほどよし信頼性工学にのっとり、超小型衛星が教育機関や一般企業で盛んに開発され、宇宙開発に対する“しきい”も 50 年前と比較して格段に低くなっている<sup>[4]</sup>。このような風潮が広まりつつある一方、国家プロジェクトなどで開発され、打ち上げられる人工衛星は大型化、高性能化が進み、必然的に大電力化が求められるようにもなった。その結果、人類初の人工衛星であるスプートニックと現在の一般的な人工衛星を比較すると、その大きさは 100 倍、寿命は 300 倍、電力は 10 万倍にもなると言われている<sup>[5]</sup>。

### 1.2 研究背景

このように、人工衛星がより複雑でより高価なシステムになるに従い、人工衛星の軌道上での不具合や事故への対策が強く意識されるようになった。大型衛星を過酷な宇宙

環境下で長期間運用することは非常に困難であり、これまで数多くの軌道上での事故が報告されている。図 1.1 に示すのは 1973 年から 1999 年の間に宇宙機に生じた不具合とその原因を分類したグラフである。この図からも明らかなように、不具合原因の 50% 以上を占めているのが静電放電であり、次いで SEU (Single Event Upset : 放射線による半導体デバイスの不具合) が 25%以上を占めている。衛星の帯電現象や運用事故は、衛星利用の中断またはミッションの喪失に直接的につながり、コスト面でも大きなダメージを与えることになる。さらに大型衛星の場合は複数のミッション機器を搭載していることが多く、運用事故が起こった際のダメージはより深刻なものになることは明らかである。そのため近年では、不具合発生時に宇宙機の帯電状態をモニタリングしておくことが非常に重要視されている。

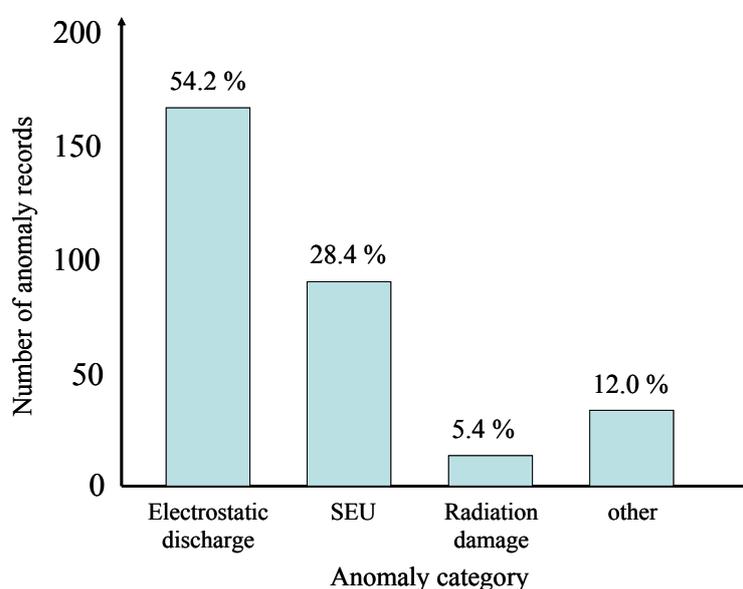


図 1.1 1973 年から 1999 年の宇宙機の異常原因

**([6] Proposal of development of a next-generation spacecraft surface-charging monitor Fig.1 より)**

このように衛星帯電観測の需要が高まり、数多くの衛星帯電モニタが開発されている。図 1.2 に過去に搭載された衛星帯電モニタを示す。図からも明らかであるように、これまでに開発されている衛星帯電モニタはサイズが大きく、また価格も非常に高価であるため搭載できる衛星は限られてしまう。帯電モニタの小型・軽量化と低コスト化が進まない原因としては、宇宙用部品 (MIL 規格品) の使用が挙げられる。MIL 規格品は宇宙環境への耐性は保証されているが、その分高価で、サイズ・性能の面でも民生用部品より劣るものが多い。今後、大学や民間企業での宇宙開発がさらに活発化していくことが予想され、小型で軽量、そして低価格の衛星帯電モニタの需要が高まると考えられている<sup>[6]</sup>。

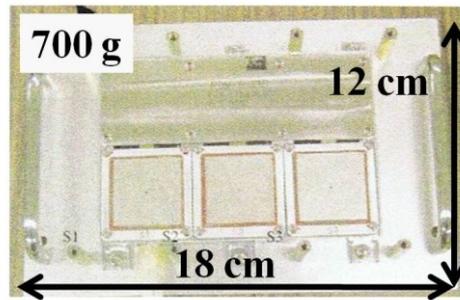


図 1.2 過去に搭載された表面帯電モニタ

### 1.3 目的・論文構成

以上のような背景を受け、今後の宇宙開発のためには小型衛星にも搭載可能なサイズの表面電位計の開発が非常に効果的であると考えた。本研究の目的は、地上用表面電位計メーカーであるトレック・ジャパン株式会社から提供していただいた表面電位計の宇宙環境性を試験・評価することである。そして耐宇宙環境化と鳳龍式号とのインターフェイス調整を行い、鳳龍式号への搭載を目指す。

本論文は2部構成となっており、第1部では表面電位計の開発について述べる。2章では、鳳龍式号へ搭載するための設計要求や、その要求に向けた開発とフライトモデルの最終設計について述べる。3章では鳳龍式号とのインターフェイス調整と宇宙環境対策について述べ、4章で実際に行った環境試験の手順、評価方法、試験結果について述べる。6章では軌道上でのミッションシナリオとダウンリンクデータの処理・評価方法について述べ、7章では本研究の結論と今後の課題を述べる。

第2部では、鳳龍プロジェクトのプロジェクトマネジメント手法について述べる。1章では現在の小型衛星開発の動向について述べ、それを受け本論文の目的を述べる。また九州工業大学における衛星開発について紹介する。2章では、衛星開発プロジェクトの紹介と、高電圧技術実証衛星“鳳龍式号”の設計について述べる。またこれまでの鳳龍式号の開発の流れとシステムライフサイクルについて述べる。3章では鳳龍式号の開発におけるプロジェクトマネジメントについて詳細に述べ、課題と改善策について述べる。4章ではプロジェクト活動の引き継ぎに関して述べ、5章では2年間のプロジェクト活動を振り返り、改善・反省すべき点について述べ、それを受け、学生プロジェクトにおける理想のプロジェクトマネジメントについて検討する。