

大阪工業大学・電気推進搭載超小型人工衛星プロイテレス1号機の 打ち上げ・運用と衛星2号機の開発状況

Launch and Operation of the Osaka Institute of Technology 1st PROITERES Nano-Satellite with Electric Thrusters and Development of the 2nd Satellite

○松岡 孝明, 坂本 雅昂, 恵上 直樹, 井上 陽一, 池田 知行, 田原 弘一 (大阪工業大学)
Takaaki Matsuoka, Masaaki Sakamoto, Naoki Egami, Yoichi Inoue, Tomoyuki Ikeda,
Hirokazu Tahara (Osaka Institute of Technology)

Abstract: The Project of Osaka Institute of Technology Electric-Rocket-Engine onboard Small Space Ship (PROITERES) was started at Osaka Institute of Technology in 2007. In PROITERES, a nano satellite named the 1st PROITERES satellite with electrothermal pulsed plasma thrusters (PPTs) was launched by Indian PSLV C-21 rocket on September 9, 2012. The main mission is to achieve powered flight of nano satellite by an electric thruster and to observe Kansai district in Japan with a high-resolution camera. In this paper, we introduce all processes until launch and operation of the 1st PROITERES satellite. Furthermore, the research and development of the 2nd and 3rd PROITERES satellites with electric thrusters are also introduced.

Key Words: Nano Satellite, Powered Flight, Electric Rocket Engine, High-resolution Camera

1. 緒言

大阪工業大学では、超小型人工衛星としては世界初となる電熱加速型パルスプラズマ推進機 (PPT) による動力飛行と、高解像度カメラを使った淀川流域の環境観測をミッションの掲げ、超小型人工衛星の設計・開発を行なってきた。2012年9月9日にインド宇宙研究機関(ISRO)の極軌道ロケットPSLV C-21を用いて、サティシュダワン宇宙センター(インド南東群スリハリコタ島)より高度660kmに打ち上げられた。図1にPSLV C-21の打ち上げ写真を示す¹⁾。



図1 PSLV C-21の打ち上げ写真(ISRO提供)

2. プロイテレス衛星1号機の概要

表1に衛星の緒元を、図2にフライトモデル(FM)を、図3に衛星の全体図を示す。本衛星は質量が14.5kgのナノサットである。電力は衛星底面を除く5面に貼られた宇宙用太陽電池パネルと内蔵バ

ッテリーより供給させる。衛星の動力飛行を実現するため、本学で開発されたPPTを衛星の側面に合計2機搭載している。また、高度な姿勢制御が要求される高解像度カメラを用いた地球観測を行うため、アクチュエータとして磁気トルカ (MTQ) と重力傾斜を利用した伸展ブーム、姿勢決定を行うためジャイロセンサ、磁気センサ、太陽センサを搭載している^{1)-4),7)}。

表1 プロイテレス衛星1号機の緒元

質量	14.5kg
サイズ	290mm×290mm×290mm
電力	10W
高度	660km (太陽同期軌道)
開発期間	4年
運用期間	1年以上

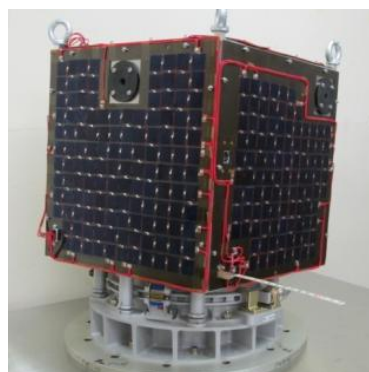


図2 プロイテレス衛星1号機のFM

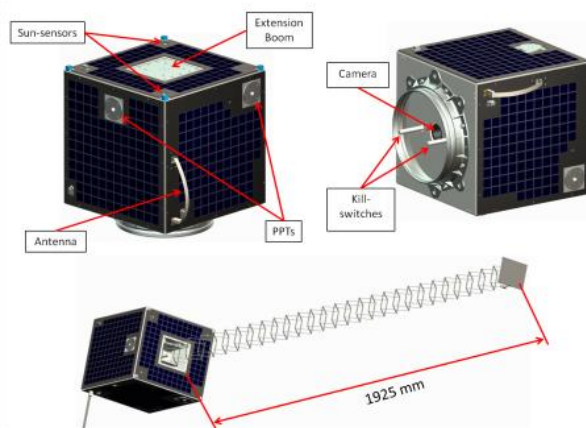


図3 プロイテレス衛星1号機の全体図

2-1. 電気推進ロケットエンジン

衛星1号機の推進機は、電熱加速型パルスプラズマ推進機(PPT)を採用した。開発したPPTの構造とフライトモデル(FM)をそれぞれ図4, 5に示す。PPTは小型軽量で構造が単純であり、推進剤にはテフロン®(poly-tetrafluoroethylene:PTFE)を用いるため、信頼性が他の推進機よりも高い^{5),6),8)}。

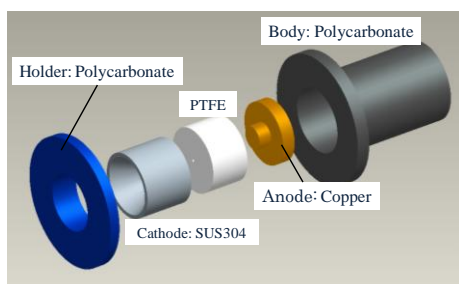


図4 衛星用PPTの構造



図5 衛星用PPTのFM

2-2. 地上観測用高解像度カメラ

本プロジェクトでは、地上撮影を目的とした高解像度カメラの開発を株式会社ジェネシアと共同で行った。開発したカメラを図6に示す。



図6 完成したカメラシステムFMの外観

2-3. 姿勢制御

衛星1号機は、2種の姿勢制御方式を用いている。1つは磁気トルカ(MTQ)による磁気姿勢制御で、もう1つは伸展ブームによる重力傾斜方式である。

製作したMTQ本体を図7に示す。伸展ブームを図8に示す。



図7 MTQ本体

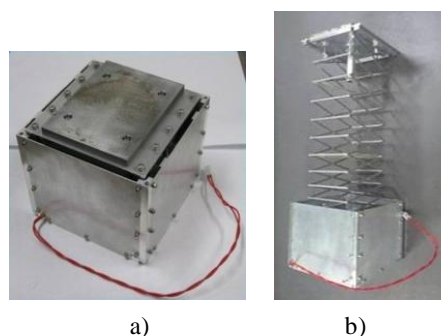


図8 伸展ブーム a)格納時 b)展開時

太陽センサはピンホールより入射した太陽光をセンサで感知し、三角法により太陽の向きを認識する。製作した太陽センサを図9に示す。

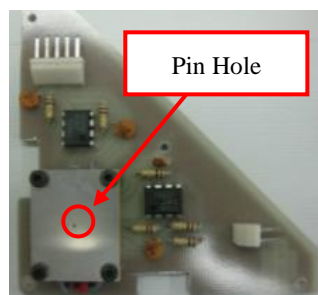


図9 製作した太陽センサ

3. ISROでの作業

2012年7月25日～30日と8月20日～25日の期間で、衛星1号機とマスダミーの搬入と、最終確認及び作業をISROサティッシュダワン宇宙センターで行った。作業としては、衛星1号機のPSLVへの搭載作業と、PSLV搭載時のキルスイッチの動作確認などを行った。

衛星1号機は、5度傾けてPSLVの衛星デッキに取り付けられる。5度の傾きを与えるためにインターフェイスリングを用いた。取り付け後のイメージ図と外観図を図10、図11に示す¹⁾。

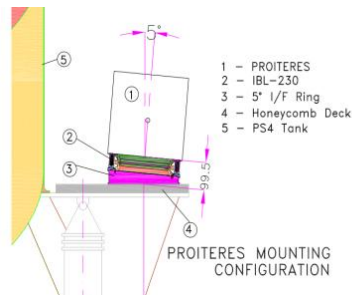


図10 ロケットへの取り付け後のイメージ図

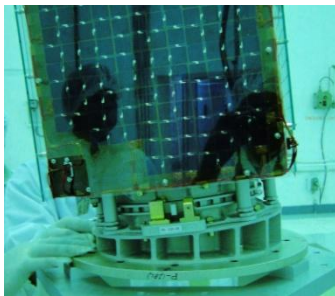


図11 分離装置とインターフェイスリングを備えた衛星の外観図

4. 運用

4-1. 通信システム

図12に衛星1号機の通信システムの概要を示す。衛星1号機の通信システムはミッション時のデータ、衛星の操作と保守、衛星の軌道の確認に用いる。図13にサブシステムのブロック図を示す。

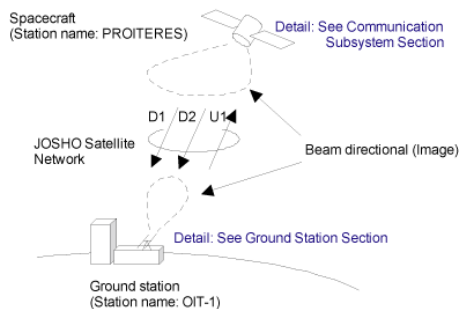


図12 衛星1号機の通信システム

衛星1号機の通信は、以下の3種のビームで構成される。

- 1) Down-link: D1 beam (Telemetry: FM/BFSK)
- 2) Down-link: D2 beam (Beacon: CW/Morse)
- 3) Up-link: U1 beam (Command: FM/BFSK)

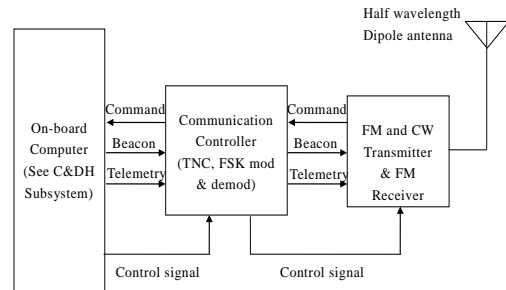


図13 通信システムのサブシステムブロック図

サブシステムの構成は以下の通りである。

1) 送受信機

送信機能は、ダイポールアンテナを通して地上局とAX.25パケット（テレメトリ・データ）を1200bpsのFM方式で送信する。

受信機能に関しては、地上局からのFM信号を受信し、AX.25パケットをコミュニケーションコントローラ送る機能を持つ。

2) コミュニケーションコントローラ

OBCと送受信機を仲介する。

3) アンテナ

衛星1号機は送受信を430MHzの周波数帯で行う。従って、衛星には逆L型1/2波長ダイポールアンテナを一基搭載している。

4-2. 受信データ

受信したビーコンは、衛星名（PROITERES）の文字列ならびに電源系の稼働状況を表す16進の信号が続く。打ち上げ日の9月9日から9月14日までの電源系の受信データを図14、15に示す。

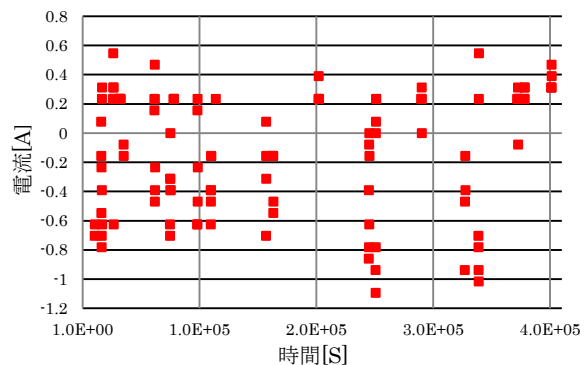


図14 電流データ（発生・消費電流を示す。＋が放電時、－が充電時）

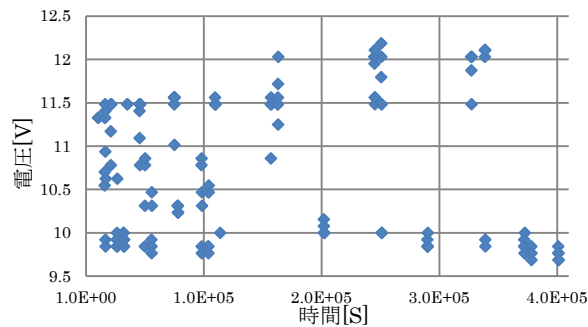


図15 電圧データ（発生時・消費時の電源電圧を示す）。

電流データについて、消費電流は0.23[A]から0.31[A]とほぼ一定の値を示している。発生電流は太陽との角度によって値にバラつきがある。電圧データについて、放電時は約9.8[V]以下、充電時は11.5[V]以上を示している。

5. プロイテレス衛星2号機の概要

「プロイテレス衛星2号機」は、2010年11月より開発がスタートした。2号機は、1号機の技術を基に、スラスタの大型化と搭載カメラの分解能力を向上させた実用衛星の開発を目指している。現在はブリッドボードモデル(BBM)の製作段階であり、衛星に搭載する機器の開発研究を行っている。図16にイメージ図を、表2にプロイテレス衛星2号機の諸元を示す。

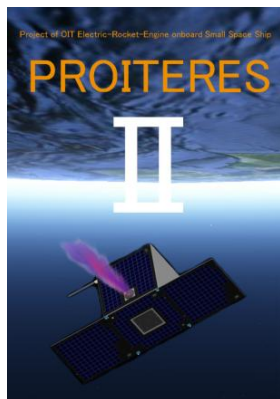


図16 プロイテレス衛星2号機のイメージ図

表2 衛星2号機の緒元・概要

質量	50kg
サイズ	一辺50cm程度の立方体
電力	62W
打ち上げ予定	2014年
運用期間	1年以上

プロイテレス衛星2号機は、搭載カメラによる環境観測、リアクションホイール(RW)の実証と大電力スラスタを利用した軌道変更をミッションに掲げ、開発を進めている。

6. 参考文献

- 1) Naoki Egami, Yoichi Inoue, Nakano Sae, Tomoyuki Ikeda, Hirokazu Tahara 「Research and Development of Nano-Satellite “PROITERES” with Electric Rocket Engine at Osaka Institute of Technology」 The 8th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2012月10月, Olympic Parktel, Seoul, Korea.
- 2) 井上陽一, 恵上直樹, 中野紗恵, 尾崎淳一, 池田知行, 田原弘一 「大阪工業大学・電気推進機搭載超小型衛星プロイテレスの開発状況」 第55回宇宙技術連合講演, 2011年11月, 愛媛県県民文化会館ひめぎんホール, IF08.
- 3) 池田知行, 荒木俊輔, 西川出, 上田整, 上辻靖智, 田原弘一 「大阪工業大学・超小型人工衛星プロイテレスのシステム設計と構造」 日本機械学会 2011年度年次大会, 2011年9月, 東京工業大学大岡山キャンパス.
- 4) Jun-ichi Ozaki, Tomoyuki Ikeda, Tatsuya Fujiwara, Masaya Nishizawa, Shunsuke Araki, Hirokazu Tahara and Yosuke Watanabe 「Development of Osaka Institute of Technology Nano-Satellite “PROITERES” with Electrothermal Pulsed Plasma Thrusters」 32nd International Electric Propulsion Conference, 2011年9月, Kurhaus, Wiesbaden, Germany, IEPC-2011-035.
- 5) Hirokazu Tahara, Yusuke Ishii, Masato Tanaka, Masamichi Naka and Yosuke Watanabe 「Flowfield Calculation of Electrothermal Pulsed Plasma Thrusters for the PROITERES Satellite」 32nd International Electric Propulsion Conference, 2011年9月, Kurhaus, Wiesbaden, Germany, IEPC-2011-037.
- 6) Masamichi Naka, Ryuta Hosotani, Hirokazu Tahara and Yosuke Watanabe 「Development of Electrothermal Pulsed Plasma Thruster System Flight-Model for the PROITERES Satellite」 32nd International Electric Propulsion Conference, 2011年9月, Kurhaus, Wiesbaden, Germany, IEPC-2011-034.
- 7) 恵上直樹, 中野紗恵, 井上陽一, 尾崎淳一, 池田知行, 田原弘一, 渡辺陽介 「大阪工業大学・超小型衛星プロイテレスの開発」 電気学会 プラズマ研究会, 2011年8月, 大阪工業大学大宮キャンパス.
- 8) 上西一樹, 木咲秀彌, 田中慎人, 中雅理, 田原弘一, 渡辺陽介 「超小型衛星搭載用パルスプラズマロケットエンジンシステムの開発」 電気学会 プラズマ研究会, 2011年8月, 大阪工業大学大宮キャンパス.