

東工大 CubeSat1 号機 CUTE-I の最終打ち上げシステムについて

The final launch system configuration of the first Titech CubeSat CUTE-I

○中谷幸司, 此上一也, 澤田弘崇, 宇井恭一, 岡田英人, 宮下直己, 居相政史, 占部智之, 山口伸斉, 柏宗孝, 尾曲邦之(東工大院生), 森田幾太郎(東工大学生), 松永三郎(東工大)

Koji Nakaya, Kazuya Konoue, Hiroataka Sawada, Kyoichi Ui, Hideto Okada, Naoki Miyashita, Masafumi Iai, Tomoyuki Urabe, Nobumasa Yamaguchi, Munetaka Kashiwa, Kuniyuki Omagari, Ikutaro Morita and Saburo Matunaga
Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Laboratory for Space Systems, Tokyo Institute of Technology finished development of CUTE-I and is waiting for its launch on June 30, 2003. CUTE-I is the first CubeSat of Tokyo Institute of Technology, that is a 10 cm-edge cube-sized satellite of less than 1kg mass. In this project we developed not only CubeSat CUTE-I but also its separation system that is used to separate CUTE-I from a launcher on orbit, and ground station system. In this paper, we describe CUTE-I final system including CUTE-I, the separation system and the ground station system.

Key Words: CUTE-I, nano Satellite, CubeSat, Separation Mechanism, Ground Station System

1 緒言

CubeSatプロジェクトは 1999 年に米国スタンフォード大学 Robert Twiggs 教授によって提案されたプロジェクトであり, 現在世界各国の約 40 のグループが参加している. このプロジェクトで製作される衛星には 10cm×10cm×10cm の立方体, 重量 1kg 以下という設計要求が定められている. 東京工業大学松永研究室 (LSS: Laboratory for Space Systems) の小型衛星チームはプロジェクト発足当初よりこのプロジェクトに参加しており, これまでに東工大 CubeSat 1 号機 CUTE-I を開発してきた^[1]. また衛星開発と並行して CUTE-I をロケットから分離するための分離システムの開発や, CUTE-I を運用するための管制地上局などの整備も行ってきた. CUTE-I は 2003 年 6 月 30 日にロシア共和国より打ち上げられる. この打ち上げに成功すれば, 世界初の CubeSat が誕生することになる. 本稿では, 東工大 CUTE-I の最終的な衛星および分離システム, 運用地上系について述べる.

2 CUTE-I 打ち上げについて

CUTE-I は 2003 年 6 月 30 日にロシア共和国 Plesetsk 宇宙基地より打ち上げられ, 軌道高度 820km の太陽同期軌道に投入される. この打ち上げには, Eurockot 社の ROCKOT を使用し, 表 1 に示す合計 8 機の衛星が複数の異なる軌道に投入される. このため今回の打ち上げは Multiple Orbital Mission (MOM) と呼ばれている. これら 8 機の衛星はロケット打ち上げ後, 順次ロケットから分離される. CUTE-I は打ち上げ 5495 秒後の MOST に対する分離信号を受信し, その 70±3 秒後に分離することを要求されている. CUTE-I は分離直後に起動し, 約 5 分後に通信用アンテナおよび太陽電池パドルを展開する. その後ビーコンを地上に向けて送信し続ける. 運用地上局はこのビーコンを補足した後に, コマンドを送信し CUTE-I の操作を開始する.

Table 1 Satellite List

Satellite	Mass	Operator
■ MIMOSA	66kg	Czech Astronomical Institute
■ MOST	51.3kg	Canadian Space Agency
■ CUTE-I	1kg	Tokyo Institute of Technology, Lab. for Space Systems
■ XI-IV	1kg	University of Tokyo, Intelligent Space Systems Laboratory
■ CanX-1	1kg	The University of Toronto Institute for Aerospace Studies
■ AAU CubeSat	1kg	Aalborg University, Denmark
■ DTU Sat	1kg	The Danish Technical University
■ QuakeSat	3kg	US QuakeFinder Institute

東工大はこの打ち上げに向けて CUTE-I および分離システム

(図 1) の開発, CUTE-I 運用地上局 (図 2) の整備を行った.

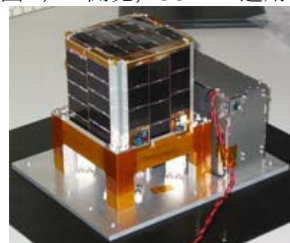


Fig.1 CUTE-I & Separation System Fig.2 CUTE-I Ground Station

3 CUTE-I 衛星システム

CUTE-I は (1) 通信ミッション, (2) センシングミッション, (3) 展開機構実証ミッションの 3 つのミッションを実施する. ミッションや衛星システムの詳細は文献[2][3][4]で述べられている. 図 3 に CUTE-I フライトモデルの概観を示す.



Fig.3 CUTE-I Flight Model

4 CUTE-I 分離システム

CUTE-I 分離システムには, (1) ロケット側からの機械的・電氣的 I/F 要求を満たしつつ, (2) 打ち上げ環境に耐え衛星を確実に保持し, (3) 所定の時刻にスムーズに衛星を分離するといった機能が要求される. 通常, 衛星の分離システムでは火薬を破裂させて結合部分を切り離すために火工品を用いることが多い. しかし, CubeSat のような超小型衛星の分離システムに火工品を用いると衛星に与える衝撃が大きくなり衛星に影響を与える. また, 火工品は取り扱いに注意が必要なため, 学生プロジェクトで使用することは困難である. したがって, 我々は火工品を用いないで要求を満たす分離システムを製作することにした. 図 4 に製作した CUTE-I 分離システム概観を示す. この分離システムは分離機構と制御回路から構成される. 図 5 に分離機構部を示す. 衛星が納まるガイド部に 4 つの押しバネがあり, ラッチが外れると衛星がガイドから押し出され放出される. ラッチにはねじりバネを使用し, ナイロン線で引っ張ることによって衛星の柱の溝にはまり固定される. ナイロン線がニクロムヒーターで焼き切れるとバネの力

によってラッチが回転し外れる。この機構を用いて 2002 年末に北海道の地下無重力実験センター（JAMIC）にて微小重力実験を行い、CUTE-I が確実に分離することを確認した^[4]。



Fig.4 CUTE-I Separation System

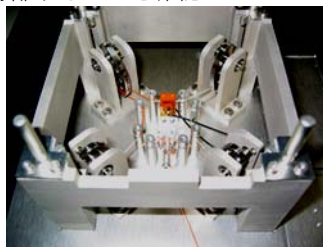


Fig.5 Separation Mechanism

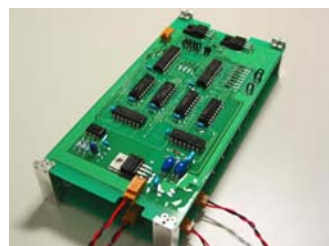


Fig.6 Control Circuit

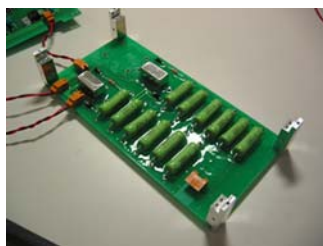


図 6 に制御回路基板概観を示す。ロケット側からは分離信号のみ伝達され電源は供給されない。このため分離システムの電源は分離システム側に搭載されているバッテリーを使用する。制御回路がロケットからの分離信号を受信すると制御回路内のメカニカルラッチングリレーが作動し、分離システムへの電力供給を開始する。これと同時に時刻カウンタを開始し所定の時刻に達すると分離機構のニクロムヒーターを加熱し CUTE-I を分離・放出する。回路設計初期には、ラッチングリレーに民生品の採用を考えていたが、打ち上げ環境下では耐振動・耐衝撃の観点から誤作動する恐れがあったためフライトモデルには MIL 準拠品を使用した。また、製作した回路は図 7 に示すように温度によってタイマーの精度が変化するため、放出時の温度状態で試験を行い、分離までのカウント値を設定した。この分離システムに CUTE-I を固定した状態で振動試験を実施した（図 8）。試験中の誤作動は確認されなかった。また試験後に分離システムを作動させたところ、CUTE-I は正確な時刻にスムーズに分離することを確認した。微小重力実験および振動試験により、東工大 CUTE-I 分離システムの設計の妥当性が確認できたと考える。

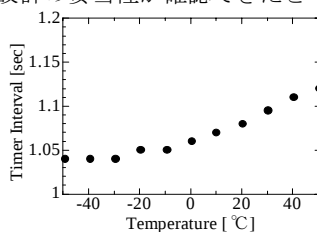


Fig.7 Timer Interval

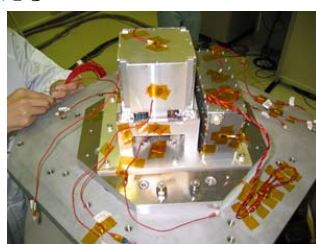


Fig.8 Vibration Test

5 CUTE-I 運用地上局システム

CUTE-I はアマチュア無線周波数帯を使用するので、地上局の通信機には市販のアマチュア無線機器を用いる。図 9 に運用地上局のシステム図を示す。430MHz 帯 CW 受信用ヘリカルアンテナ、430MHz FM パケット受信用 4 スタッククロス八木アンテナ、144MHz コマンド送信用 2 スタッククロス八木アンテナそれぞれに通信機が接続される。CW 受信用ヘリカルアンテナは仰角 5 度以上で飛行する CUTE-I の CW テレメトリをトラッキングなしで受信できるよう設計されている。通信機などは全てコンピュータ制御される。取得したデータはデータ

ベースに蓄積され、インターネット環境で閲覧可能である。また、このシステムは CW のドップラーシフト量から CUTE-I の軌道を推定し、CUTE-I の TLE を生成する機能も有する。通常の衛星であれば NORAD が TLE を発表するが、CubeSat クラスの衛星に対して NORAD が TLE を発表するか不明であるので、独自に TLE を作成することは非常に重要である。

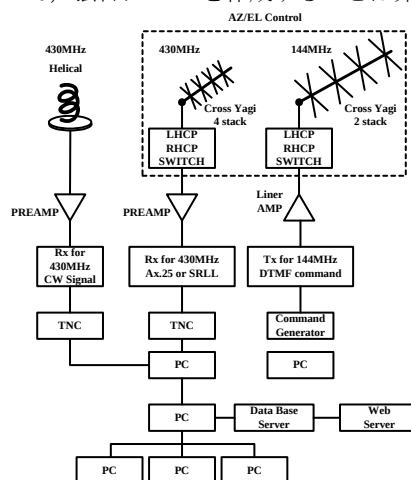


Fig.9 Ground Station System for CUTE-I Operation

6 結言

本稿では、東工大 CubeSat1 号機 CUTE-I の最終打ち上げシステムについて述べた。東工大では、衛星だけでなく、衛星分離システムの開発や運用地上局を整備し 2003 年 6 月 30 日の打ち上げに向け最終調整を行っている。東工大 CubeSat プロジェクトは CUTE-I の打ち上げにより一つの節目を迎えるが、この節目をなんとしても成功で飾りたいと強く願っている。本稿作成時に CUTE-I はロシアに到着し、打ち上げ準備作業が開始された。発表時には射場準備の様子や CUTE-I の運用結果なども交えたいと考えている。

参考文献

- [1] 松永三郎, “宇宙工学教育の新展開：日米大学共同開発プロジェクト”, 宇宙工学部門ニュースレター No.14, 日本機械学会誌, Vol.104, No.987, 2 月号, 2001, pp.98-101
- [2] 此上一也, 中谷幸司, 澤田弘崇, 宇井恭一, 程島竜一, 前田直秀, 岡田英人, 宮下直己, 居相政史, 長浜謙太, 占部智之, 山口伸吾, 鶴見辰吾, 森治, 松永三郎, “東京工業大学 CubeSat 2001: CUTE-I の開発概要,” 第 45 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 浜松, 2001 年 10 月, 01-3D1, pp. 801-806.
- [3] Hirota SAWADA, Kazuya KONOUE, Koji NAKAYA, Kyoichi UI, Ryuichi HODOSHIMA, Naohide MAEDA, Hideto OKADA, Naoki MIYASHITA, Masafumi IAI and Saburo MATUNAGA, "TITech CubeSat Project and Development of CUTE-I," 23rd International Symposium on Space Technology and Science, Matsue, Shimane, May 27-June 1, 2002-f-11, 2002
- [4] Koji Nakaya, Kazuya Konoue, Hirota Sawada, Kyoichi Ui, Hideto Okada, Naoki Miyashita, Masafumi Iai, Tomoyuki Urabe, Nobumasa Yamaguchi, Munetaka Kashiwa, Kuniyuki Omagari, Ikutaro Morita and Saburo Matunaga, "Tokyo Tech CubeSat: CUTE-I - Design & Development of Flight Model and Future Plan -," AIAA 21st International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit, Yokohama, Japan 2003, AIAA 2003-2388
- [5] URL: Tokyo Institute of Technology Laboratory for Space Systems, <http://lss.mes.titech.ac.jp/>