

# SS-520-5 搭載超小型衛星 TRICOM-1R(たすき)の軌道上評価

松本健, 青柳賢英, 小畑俊裕, 中須賀真一 (東京大学大学院航空宇宙工学専攻)

## The orbit evaluation of the ultra-small satellite TRICOM-1R (TASUKI) launched by SS-520-5 sounding rocket

Takeshi Matsumoto, Yoshihide Aoyanagi, Toshihiro Obata, Shinichi Nakasuka

(Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo)

### 1. はじめに

超小型衛星 TRICOM-1R(たすき)は, 2018 年 2 月 3 日に内之浦宇宙観測所から観測ロケット SS-520-5 号機によって打ち上げられ, 軌道投入に成功した東京大学が開発した 3U 級サイズの衛星である. 2017 年には同型の TRICOM-1 を SS-520-4 号機で打ち上げたが, ロケットの不具合により打ち上げは失敗した.

TRICOM-1R は TRICOM-1 と同等の性能を有しており, ミッションとして地球撮像やデータ蓄積中継 (S&F : Store & Forward) システムを搭載している衛星である<sup>1)2)</sup>. また TRICOM-1 からの差分として, 新たに即時観測ミッションを追加している. その他に, 衛星分離機構の開発も同時に行い, ロケット第三段のデータを取得すると共に衛星へデータを転送し, 最終的に衛星の分離に成功した.

本稿では, TRICOM-1R 実験の結果と衛星分離機構によって取得されたデータを報告する.

### 2. TRICOM-1R

TRICOM-1R は, 民生部品を活用する新たな設計手法や活用技術を開発するとともに, その軌道上実証を目標とした衛星である. 衛星の外観図を図 1 に示す. TRICOM-1R は 2018 年 2 月 3 日 14 時 10 分に軌道投入され, ロケット側の目標である衛星軌道上寿命 30 日を越える 2018 年 8 月 22 日に再突入し, 運用を終了した. TLM/CMD アンテナは衛星分離機構搭載時に, 衛星と衛星分離機構との間の隙間に入れ込む形となっており, 衛星と衛星分離機構間が分離を行うと同時に自然とアンテナが展開される仕組みとなっている. ミッシ

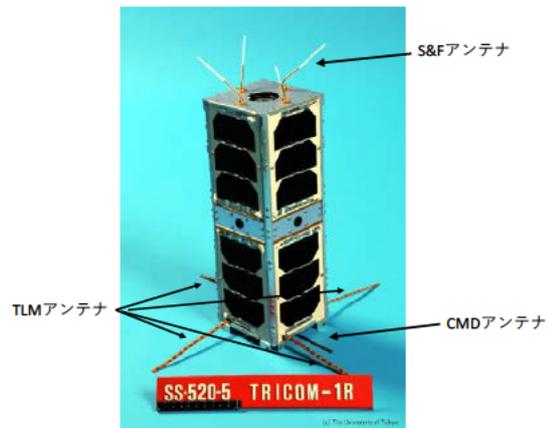


図 1 TRICOM-1R FM 外観図

オンデータダウンリンクは 400MHz 帯を用いて行われ、最大ダウンリンクビットレートは 38.4kbps である。衛星天井面のアンテナは S&F ミッション用アンテナで、非展開機構となっている。S&F ミッションは、海や地上に置かれた小型の送信機から衛星に向かって付属センサ等で取得したデータの送信を行い、地球を周回している衛星が、地上の送信機から送られるデータを収集していくシステムである<sup>3)</sup>。S&F ミッションは特定小電力無線局を用いて通信を行う事で、日本国内においての送信可能場所の制限や、無線局を扱う者の無線免許を不要にすることを目標に、開発を行った。また、カメラは衛星の 6 面全てに搭載されており、衛星がどのような姿勢であっても地球を撮像する事が可能である仕組みとした。メインカメラは 1 U サイズとなっており、キヤノン製の民生カメラを搭載している。5 個のカメラはスマートフォン等に搭載されるような小型カメラを搭載している。即時観測ミッションは、観測タイミングを軌道決定値により判断し、小型カメラの起動・撮像・停止等の動作を、自律判断し、実行するミッションである。

### 3. 衛星分離機構

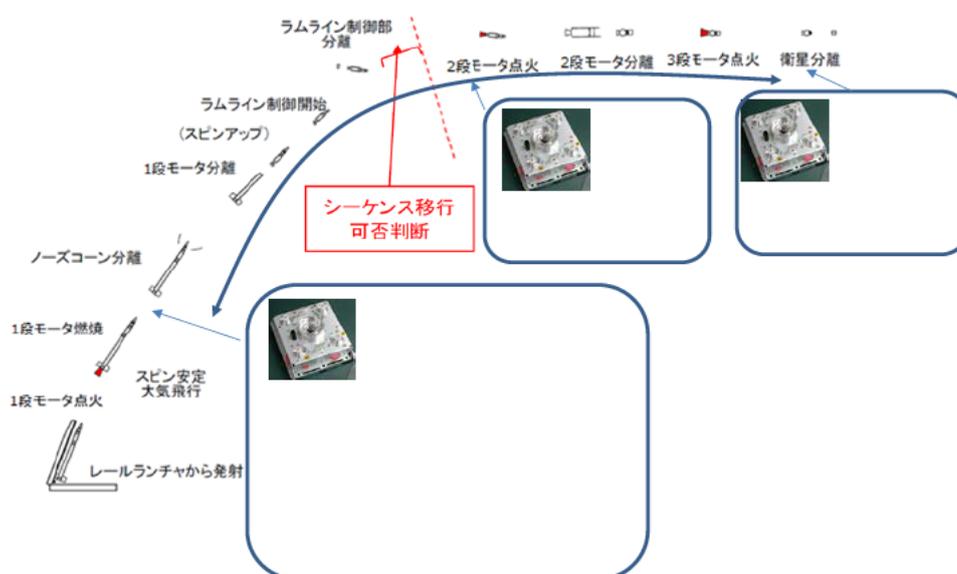


図 2 衛星分離機構フライとシーケンス

衛星分離機構の目的は、第 3 段ロケット搭載センサへの電源供給を行うこと、電源供給を行ったセンサ情報の取得及び衛星への転送を行うこと、衛星分離を行う事とし、開発を行った。衛星分離機構はロケット第 2 段アビオから来る信号によって起動し、ロケット第三段のセンサへ電源供給を開始する。衛星分離機構と衛星は、アンビリアルコネクタ等はず、非接触である赤外線通信(IrDA)によってデータの転送が可能となっている。

衛星は衛星分離機構から来る赤外線通信によって、UHF 通信機を除いた一部機器が起動する仕組みとなっており、赤外線から送られてくるデータを、内部メモリに記録する。衛星分離機構は、起動から 450 秒で衛星を分離する。衛星は、ロケットから分離された後、赤外線通信による第三段センサ記録モードを停止し、UHF 通信機の起動や搭載 MCU のモード変更を行う。衛星分離機構によって取得されたセンサデータは、衛星が周回してきたときにダウンリンクを行う仕組みとなっていた。図 2 に衛星分離機構のフライトシーケンスを示す。

#### 4. 地上局

本衛星のノミナル寿命は 30 日と短く、さらに打ち上げ初期の段階では衛星姿勢を制御するのに時間を費やすため、ミッションが行える時間は限られてしまうと考えていた。TRICOM-1R の軌道は傾斜角が 31°という西から南側を通過して東に通過する軌道である。さらに高度が 160 km ~ 2000 km と変化する。このため、打ち上げてからの条件の良い運用回数がミッション成功につながっている。

そこで、本ミッションでは JAXA/ISAS とも検討し、JAXA 内之浦宇宙観測所に新たにアンテナを設置した。アンテナの外観図を図 3 に示す。送信局は内之浦以外に東京電機大学鳩山キャンパスにも設置

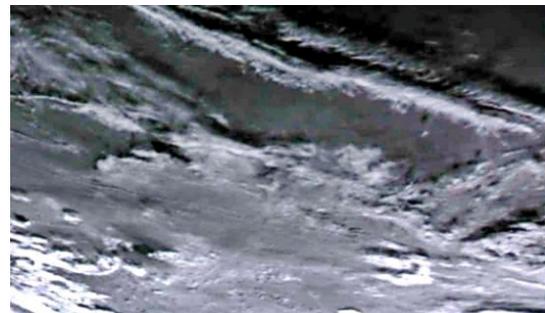
し、メイン局を内之浦、サブ局を東京電機大学とした。東京電機大学鳩山キャンパスに設置したアンテナは、打ち上げ直後に数十秒だけ可視範囲になる可能性があったため、打ち上げ時には衛星分離が行われ、正常であれば電波がでると想定される方向にアンテナを固定し、信号の確認を行った。

#### 5. 運用結果

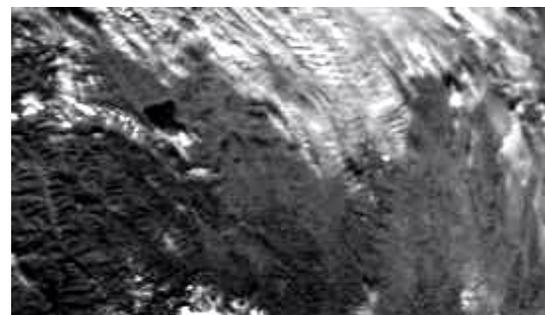
TRICOM-1R は分離後に電波送信を開始する仕組みとなっており、打ち上げ直後の 14 時 11 分 16 秒 (JST) に、東京電機大学鳩山キャンパスに設置した地上局で初期信号の受信に成功した。受信したデータから、衛星の健全性および分離の成功を確認することが出来た。さらに、最初の日本上空通過時(15 時 56 分 JST)にて、内之浦地上局で信号受信に成功、TLE が公開されてからはコマンドアップリンクにも成功した。2 月 4 日まではテレメトリ・コマンド運用を確立し、バス機器のチェックアウトを終了し、クリティカルフェーズを完了するとともにメインミッションである S&F 実験を実施した。その後、各ミッション機器の機能実証に移り、メインカメラによる撮影ミッション、小型カメラによる撮影ミッション、即時観測ミッションの実験、ロケット第三段データの転送を実施した。2 月 12 日には各ミッションが成功し、衛星のフルサクセスまでの到達を確認した。S&F 実験では、特定小電力である LoRa 変



図 3 内之浦新設設置アンテナ



(a)チベット周辺

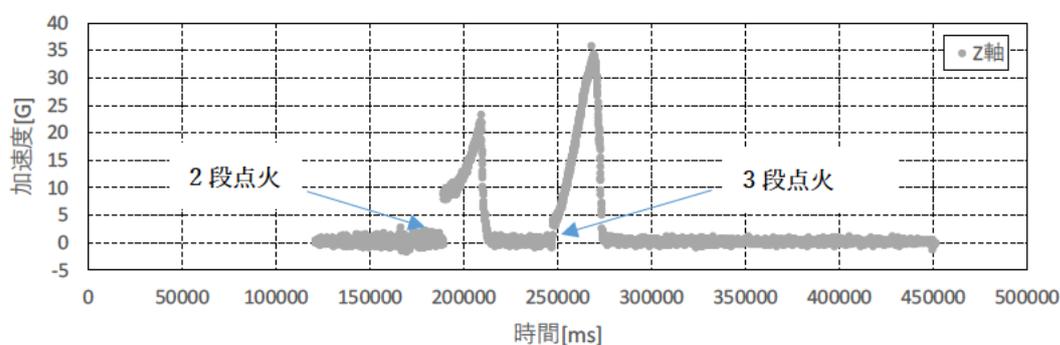


(b)中国周辺

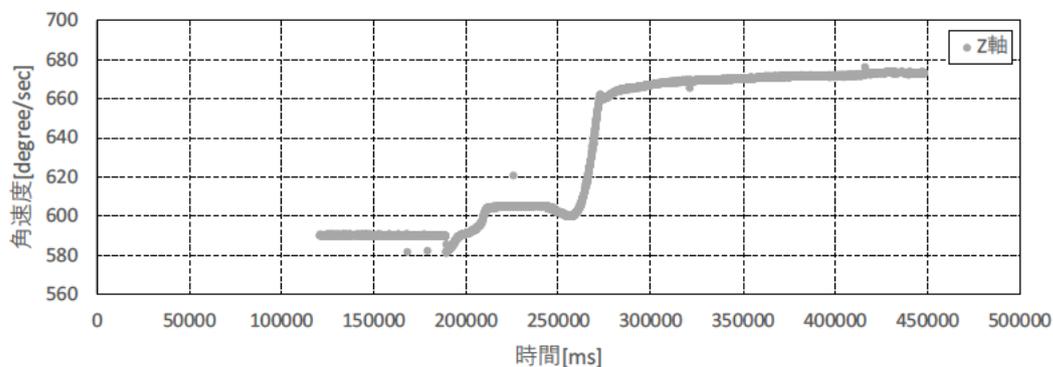
図 4 小型カメラによる撮影画像

調の 20mW 送信出力データを衛星で受信する事に成功し、小型カメラでは、図4に示すような撮影に成功した。即時観測ミッションでは、タイマや GNSS 軌道決定値を用いた動作、小型カメラの起動・停止の正常動作の確認に成功した。

衛星分離機構には、MEMS の加速度・角速度センサを計測基板上に搭載していた。計測したデータを衛星経由でダウンリンクし、確認したところ、第2段ロケットエンジン点火後や第3段ロケットエンジン点火タイミングの後に大きく機軸方向に加速度の値が変化していることを確認する事ができ、最大で 35G であった事がわかった。また、衛星と衛星分離機構間の通信に IrDA を用いていたため、数秒間だけであるが、衛星分離中の衝撃も確認する事ができた。各速度データからは、最大 670deg/sec の回転をしていた事もわかった。図5に分離機構搭載 MEMS センサで計測を行った加速度・角速度データを示す。



(a)機軸方向加速度センサ計測データ



(b)角速度センサ計測データ

図5 分離機構搭載 MEMS センサによる加速度・角速度計測結果

## 6. まとめ

超小型衛星 TRICOM-1R(たすき)は、観測ロケット SS-520-5 号機によって打ち上げられ軌道投入に成功した。ミッションとして、地上からの 20mW 特定小電力無線局の信号受信にも成功、メインカメラの撮影・小型カメラによる地球撮像、即時観測ミッションのシーケンス正常動作にも成功した。また、分離機構搭載の MEMS センサを用いた計測データからは第2段、第3段ロケットモータの燃焼によるものと思われる加速度の変化を記録することにも成功した。TRICOM-1R は、ロケット側の目標である衛星軌道上寿命 30 日を越え、打ち上げから約 6 ヶ月後に再突入し、運用を終了した。

## 7. 謝辞

本実験を実施するに当たり、ご協力いただきました観測ロケット SS-520-4 号機,SS-520-5 号機プロジェクトメンバーの皆様、中澤賢人様、アンテック鎌田幸男様に深く御礼申し上げます。

TRICOM-1R は、経済産業省「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証）」によって助成されたものである。

## 8. 参考文献

1)松本健，青柳賢英，中須賀真一：超小型衛星における Store and Forward ミッションの成果，電気学会東京支部埼玉支所研究発表会，2017/3/7

2)青柳賢英，松本健，中須賀真一：3U-CubeSat「TRICOM-1」衛星バスの開発，第 61 回宇宙科学技術連合講演会，2017 年 10 月

3)松本健，青柳賢英，中須賀真一：超小型衛星 TRICOM-1 における Store and Forward ミッション，第 61 回宇宙科学技術連合講演会，2017 年 10 月