

超小型衛星 SPROUT における地上局システムの構築と運用結果

Development and Operation Results of Ground Station for Nano Satellites SPROUT

宮崎研究室
松坂 颯一郎

The ground station which transmits the command to the satellite and receives the data from the satellite is one of important system for the mission success of the satellite. Ground station system of SPROUT is using technology of SEEDS-II. But additional development and improvement are necessary to the mission success of the satellite. This study estimates the validity of the ground station. And the development passage is indicated.

1. 序論

1.1. 背景

近年，大学によって，教育を目的とした超小型人工衛星の開発が盛んに行われている．宮崎研究室では2008年にSEEDS-II以下SEEDS)の開発，打ち上げに成功させており，2015年現在は超小型人工衛星SPROUT(図1)の運用を行っている．

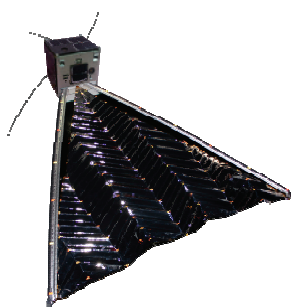


図1 SPROUT

SPROUTを管制するための地上局システムはSEEDSの管制に使用している技術の多くを利用し開発してきた．そして現在SPROUTを管制するための地上局システムの周波数調整・GSN(Ground Station Network:地上局を，インターネット等を介して遠隔制御可能にし，相互に協力運用するワーキンググループ．)，地上局ソフトウェアの充実や機器整備，自動運用といった，条件に沿った新規開発，改良がまだまだ多く必要である．

1.2. 目的

地上局に必要な開発は，ハードウェアは，SEEDS開発時代に設営した地上局ハードウェアで対応できるので，それを生かす方向に調整・開発する．ソフトウェアは，アップリンクソフト，ダウンリンクソフト，データベースの3つが挙げられ，これらの開発，そして，それらを実際に運用することで，妥当性を評価し，その改良点を報告する．

1.3. アプローチ

地上局の開発計画を表1に示す．

表1 地上局開発計画

地上局	アップリンク・ダウンリンクソフト データベースの開発			
要求定義	概念設計	システム 定義	BBM 各システム統合	詳細設計 EM～ 全体統合

前述で示した，アップリンク，ダウンリンクソフトウェア，データベースの開発手順を後述する．

ソフトウェアの開発は，開発初期段階では，ユーザー自身も要求を理解・把握していない．その為，すべての要求を網羅できない．そこで，図2のサイクルを何回も繰り返すことによって要求を満たすことができるソフトウェアを目指す．

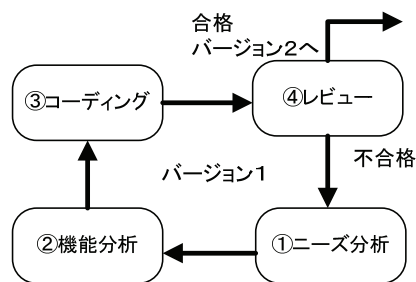


図2 開発の進め方

前述の手順に従い，開発，運用打ち上げ結果，今後のスケジュール，実際に運用で実装し，不具合等をまとめ，要求・要件を満たしているかで，妥当性を評価する．

2. 地上局の構成

日大地上局は以下の4つの系から構成される．(地上局のシステムダイアグラムを図3に示す．)

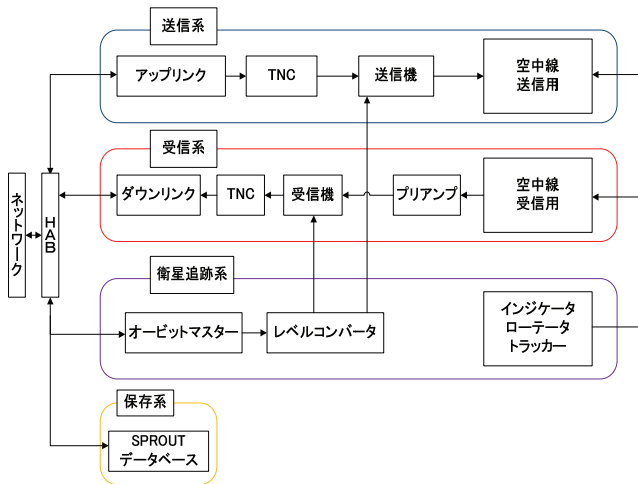


図3 地上局システムダイアグラム

2.1. 受信系

受信系は衛星システムからの電波を受信するためのアンテナ，無線機および受信した電波を解釈するためのTNC(Terminal Node Controller)，ダウンリンクソフトから構成される。ダウンリンクソフトでは衛星の状態をモニタリングできる他，ネットワークを介して保存系にデータを渡す。そのため，データの保存形式，フォーマット等は保存系と調整して決定される。UHF周波数帯(アマチュア無線帯)を用いて，SPROUTから送られてくるハウスキーピングデータ(CWビーコンとFMパケット)・ミッションデータ(FMパケット)を受信し，解析を行う。また，アマチュア無線サービスとして行っている画像データ(SSTV信号)を受信する。(図4に示す。)

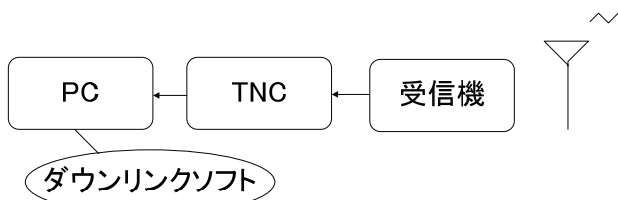


図4 受信系システムダイアグラム

2.2. 送信系

送信系は衛星システムへの命令を電波に乗せて送信する無線機，アンテナおよび命令コマンド用FMパケットを作成するアップリンクソフトで構成される。命令コマンドは衛星システムのミッションシーケンスを考慮して作られており，また，アップリンクソフトは命令送信が分かりやすい。アップリンクソフトでSPROUTへの命令プログラムを作成する。命令コマンドはソフトからグラフィカルに選択でき，そこで作成された命令コマンドをTNCに送る。VHF 周波数帯(アマチュア無線帯)を用いてSPROUTに命令コマンド(FMパケット)を送る。

(図5に示す。)

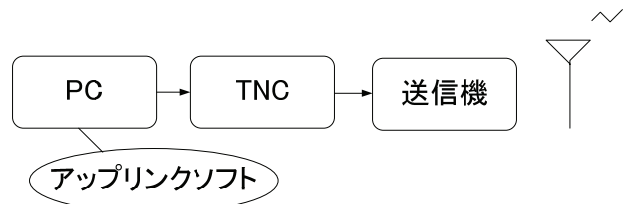


図5 送信系システムダイアグラム

2.3. 衛星追跡系

衛星追跡系は衛星システムの軌道を計算する軌道計算ソフト，送受信アンテナを衛星システムの方角に向けるためのトラッキングシステムで構成されている。トラッキング系では衛星を追尾するためのアンテナ制御を行う機器類を備えている。衛星解析・衛星追尾ソフトで，衛星の軌道計算を行い，この計算から自動でアンテナの方位角・迎角を制御することができる。また，SEEDSが姿勢制御を行ってないため，SEEDSに搭載している無指向性アンテナが，SEEDSが回転することによって左回りもしくは右回りを繰り返す円偏波となる。そのため，左回り偏波と右回り偏波をそれぞれ受信できるようにクロス八木アンテナの内部回路を切り替える，偏波切替え器を作成した。(以下，表2，3に送受信アンテナの仕様を示す。)

表2 受信用アンテナ諸元

周波数	430MHz帯
偏波方式	円偏波
利得	13.0dB
運用角度	-180~180°(方位角)
	0~90°(迎角)
給電線損失	-2dB

表3 送信用アンテナ諸元

周波数	144MHz帯
偏波方式	円偏波
利得	18.5dB
運用角度	-180~180°(方位角)
	0~90°(迎角)
給電線損失	-2dB

2.4. 保存系

受信系で受信した衛星システムから送信されてきたデータを，ネットワークを介して保存するシステムである。保存データの管理はMySQL(データベースを管理，運用するためのシステム)を用いたデータベースソフトにて行われる。解析システムへデータを渡すために，保存データの保存形式，フォーマットは解析システムと調整して決定される。

2.5. 衛星の仕様

SPROUTからの通信仕様により、地上局開発の方針は変化する。そこで、まず衛星からの仕様を明らかにし、表に示す。

表4 SPROUTの通信仕様

周波数	Up	1200bps(AFSK)
	Down	1200bpsおよび9600bps(CW, AFSK, GMSK)
通信方式	Up	専用のフォーマットをもとに16進数で送信する
	CW	衛星のハウスキーピングデータをビーコンで受信する。
	Down	FM 9種類の専用フォーマットをもとに16進数で受信する。

3. 地上局開発

序論で示したように、衛星やユーザー等からの要求をまとめた要求定義をはじめ、地上局や衛星の環境試験に必要な機能を考案・構築し地上局の開発を行った。本章では打ち上げに向けて行った開発事例を示す。

3.1. 要求・要件定義

地上局への機能要求は、送受信する衛星、地上局を使用するユーザー、SPROUTのようなアマチュア衛星の受信して下さるアマチュア無線家(HAM)、地上局の設置を申請する経済産業省など考えられる。その中でいくつか主要な要求を以下に掲載する。これを元にシステムを構築していく。(表5に定義を示す。)

表5 地上局要求定義

衛星	<ul style="list-style-type: none"> 衛星の通信規則に則る 衛星を追尾する 衛星にコマンドを送る 衛星に音声を送信できる 衛星からデータを受信する
ユーザー	<ul style="list-style-type: none"> 衛星にコマンドを送る 衛星からデータを受信する データの保存・解析を行う
HAM	<ul style="list-style-type: none"> 衛星や軌道情報が知れる 受信報告ができる
法	<ul style="list-style-type: none"> 地上局が電波法に則る
その他	<ul style="list-style-type: none"> ユーザーの負担を少なく出来る

3.2. 地上局ハードウェア^[1]

ハードウェア(H/W)として要求されるものは前述のとおり、電波を受信する無線機やアンテナ、衛星を追尾させるローテータとそれら进行操作するPC類が必要とされる。これらはSEEDS開発時代に設営した地上局ハードウェアで対応でき、既存のハードウェアを生かす方向に開発した。(表6, 図6)

表6 地上局 H/W 構成

144MHz/430MHz 帯八木アンテナ(クリエートデザイン(株))
無線機 : IC-910D(ICOM)
Uplink TNC : TNC-505(TASCO)
Downlink TNC : TNC-555(TASCO)
アンテナ制御装置 : RAC805, RCB-3, ERC5A(クリエートデザイン(株))
その他 : 電源切替え装置, 安定化電源装置

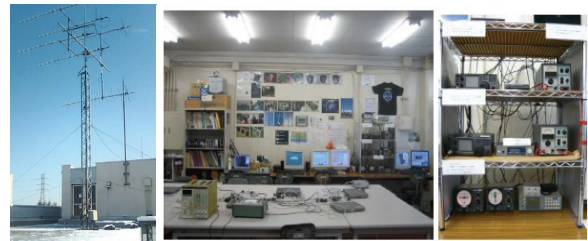


図6 地上局 H/W(アンテナ, 無線設備)

3.3. 地上局ソフトウェア^[1]

ソフトウェア(S/W)として要求されるものは前述のとおり、衛星へのコマンドや音声の送信・データの受信や簡易解析を行うアップ/ダウンリンクソフト、衛星へのアンテナ追尾を行うための軌道計算やアンテナ操作、並びに無線機の設定を行う衛星追尾ソフト、そして受信したデータを保存・解析するデータベースが必要とされる。この衛星追尾ソフトは汎用的に使うことができるため、その他のソフト並びにHAMからの受信報告並びに情報発信をするウェブページを開発した。

表7 地上局 S/W 構成

アップリンクソフト, ダウンリンクソフト
衛星追尾ソフト, データベース
その他 : 録音ソフト, 画像処理ソフト



図7 地上局 S/W(左 HP, 右データベース)

3.4. 地上局落成試験

地上局の設営には機器の構成を検討しシステム構築を行うことが必要だが、電波法に則り無線免許を受ける落成試験を受けなければならない(打ち上げ前後の2回)。その他個人資格であるアマチュア無線免許の取得や衛星の試験の際に電波を使用するための届出など調整を行う。

3.5. 衛星-地上局間通信試験

打ち上げ前の地上局衛星間の試験として、長距離通信試験を実施した。アマチュア無線帯では天気の影響がほぼない中、障害物による電波の遮断、周辺からの電

波の混線状況が、送受信環境に大きく影響する。

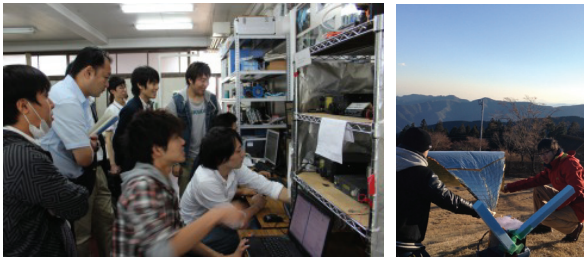


図8 地上局落成試験・長距離通信試験

4. 初期運用結果と開発へのフィードバック

3章にて示した地上局システムの構築を、打ち上げ以降運用結果から、その評価を行う。

4.1. 打ち上げ～初期運用

2014年5月24日に行われた打ち上げ初期運用では、衛星からの電波受信を確認し、通信回線2系統の健全性確認を行った。そのうち、地上局から衛星受信機への1系統の回線の実通確認で不具合が生じているが次章で後述する。受信検地するサブシステムの他機能においては正常に動作していると考えられ、衛星受信及びそのアンテナのハード的故障と推測されている。その他の点ではハードウェア・ソフトウェア共に正常に動作することができ、健全性が確保されたと考えられる。

4.2. 不具合事象及びユーザー評価とそのフィードバック

初期運用から現在に至るまで、大小問わず不具合・改良点発生したものを以下にまとめる。

[1] 受信強度が低い

初日受信時の受信強度から徐々に低くなってしまいう事象が見られた。これは複数要因が考えられ衛星の回転速度が大きくなってしまった、バッテリーが冷えてしまった、初日は大して気にならなかった違法無線が定期的に現れるようになった、アンテナ追尾のための軌道計算の誤差が大きいなどの理由が挙げられた。

地上局として直接的になっている違法無線に対しては関東総合無線局と連携をとり混信音声からの割り出しや周辺地域の監視を行っている。また軌道計算に関しては他の衛星で問題なく受信できているため一定の信頼を置いているものの、オービットマスターのSGP4が問題ないかコードの確認を現在行っている。

[2] ソフトウェア環境が整っていない

現在データベースを整備中で受信データの保存機能は整っているものの、データベース上での解析が遅れてしまっている。またアマチュア無線家への配布ソフトで動作環境が1世代古い状態で、日大無線局のH/W機器構成との互換ができないなどの意見が寄せられた。これに対して代わりとなる解析ソフトを配布するなどして対応した。配布した結果、積極的に解析ソフトを

活用してくださった方や、配布したダウンリンクフォーマットから独自にソフト開発する方が増えたりし、受信協力へ貢献した。

5. 結論

今回、要求～要件定義を抑えて行った地上局システムの開発と初期運用結果を示し、それを踏まえての現地上局システムの評価と開発を行った。(表8, 9)

表8 ソフトウェアの要求・機能分析(ダウンリンク)

	要求	要求機能	サブシステム
1	衛星からのCWを受信できる	ASCIIを10進数に変換し表示する	
2	衛星からのFMを受信することができる	16進数から10進数に変換し表示する	
3	TNCコマンドを送れる	シリアル通信	ハンドシェイク COMポート、通信速度設定
4	コマンドログをとる	ユーザー指定のディレクトリに.txtファイルにて自動ログ保存をする	

表9 ソフトウェアの要求・機能分析表(アップリンク)

	要求	要求機能	サブシステム
1	衛星へコマンド送れる	データを16進数で送る	
2	TNC505へTNCコマンドを送れる	シリアル通信ができる	ハンドシェイク COMポート、通信速度設定
3	データベースへログを保存	アップリンクログの呼び出し、解析	
4	コマンド再送信機能	一つ前の送ったコマンドをstring型で保存し読み出せるようにする	
5	セキュリティバイトを自動実装してほしい	セキュリティバイトを自動計算、実装	

6. 今後の展望

SPROUTは複合膜面展開ミッションやアマチュア無線家へアップリンク周波数公開によるアマチュア実験を予定しており、それに即した解析・データベース環境の構築やアマチュア無線家へ運用環境の提供、またその後の定常運用に向けた運用環境(セットコマンド作成機能や半自動運用機能)の実装・機器のアップデートを行う。また、地上局から衛星受信機への1系統の回線の実通確認すべく、回線復帰のためコマンド送信を試みていく。今後、次機開発衛星に向けた地上局構築技術の技術継承を行なっていく。

参考文献

[1]卒業論文「超小型人工衛星用地上局の開発」, 山口優介, 2014年.