

超小型人工衛星用地上局の開発

Development of Ground Station for Nano Satellite

宮崎研究室

山口優介

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. We have been developed a nano satellite "SPROUT", which is the successor to the first satellite "SEEDS II". Because of the different specification between these two satellites, we have to develop new ground station system. In this study, a new approach of developing process for building ground station is proposed. This approach makes clear what has to develop or not.

1. 目的と背景

近年、企業や大学によって研究、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の開発、打ち上げを成功させており、2014年現在でも運用を行っている。SEEDS IIの運用方法は4つのパターン(①CW運用②FM運用③デジトカー運用④SSTV運用)がある。また外部機関の衛星の受信協力を行っており、CW、FMデータの受信、提供等を行っている。図1は日大の地上局である。



図1 日本大学の地上局施設

人工衛星が軌道上にてミッションを行うために、運用コマンドを送信し、かつ、衛星が取得したデータを受信、及び解析をするための局を地上に設置する必要がある。この局を「地上局」と定義⁴⁾する。

大学衛星における地上局は、自らが衛星を所有し運用、制御を行うため「非静止軌道系自営型地上局⁴⁾」に分類される。本文は、その開発手法の提案を行う。

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。

2.1 送信系

パソコンによってコマンドが形成され、それがTNC(Terminal Node Controller)によってデジタルデータからパケットデータに変化され、そしてプリ

ンプによって増幅、送信機によってアンテナを介して衛星へ発射される。送信系の構成機器を表1に、システムダイアグラムを図2にそれぞれ示す。

表1 送信系構成機器

ハードウェア	送信アンテナ、無線機、TNC、PC
ソフトウェア	アップリンクソフトウェア

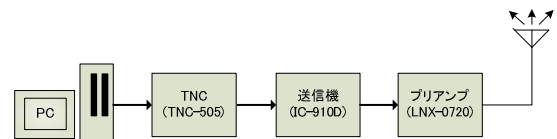


図2 送信系システムダイアグラム

2.2 受信系

衛星から発射された電波を受信機がアンテナを介して受信しアンプで増幅され、そのパケットデータが、TNCによってデジタルデータに変化されパソコンの画面に表示される。構成機器を表2に、システムダイアグラムを図3にそれぞれ示す。

表2 受信系構成機器

ハードウェア	受信アンテナ、無線機、TNC、PC
ソフトウェア	ダウンリンクソフトウェア

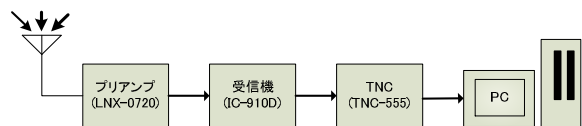


図3 受信系システムダイアグラム

2.3 データベース系

衛星からのアップリンクデータおよび、衛星からダウンリンクしたデータは、データベースソフトウェアにより、読みだされ保存、解析される。データベース系の構成機器を表3に、システムダイアグラ

ムを図4にそれぞれ示す。

表3 データベース系構成機器

ハードウェア	PC
ソフトウェア	データベースソフトウェア

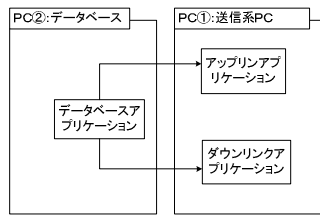


図4 データベースシステムダイアグラム

2.4 軌道解析・衛星追尾系

衛星の軌道を計算し、アンテナを向けるシステムである。その構成機器は表4の通りであり、システムダイアグラムは図5の通りである。

表4 軌道解析・衛星追尾系構成機器

ハードウェア	アンテナ、ローテータ、トラッカー、PC
ソフトウェア	軌道解析・衛星追尾ソフトウェア

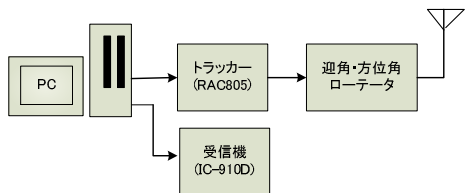


図5 軌道解析・衛星追尾系システムダイアグラム

3. 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5に示す。

表5 SPROUTの通信仕様

周波数	Up	1200pbs (AFSK)
	Down	1200pbs・9600pbs (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。

4. 地上局ハードウェア開発

SEEDS IIの運用実績より、日大地上局の信頼性は高いこと、また、SPROUTの電波を送受信するためにハードウェアを変更する必要はないことより、改変は、TNCの設定以外行わない。しかしながら、ソ

フトウェア開発のために、各コンポーネントの機能を明らかにした。

5. 地上局ソフトウェア開発

アップリンク、ダウンリンクソフトウェアの開発は表6の環境下で行った。両ソフトウェアは、保守性及びUI(User Interface)デザインが容易なWPFを利用した。表7に開発スイートを示す。

表6 ソフトウェア開発環境

使用言語	WPF (Windows Presentation Foundation)
動作環境	.NET Framework 4.5
開発ソフト	Visual Studio 2012 Ultimate

表7 SPROUT 地上局ソフトウェア開発スイート

用途	名称	開発形態
衛星運用	軌道改正・衛星追尾ソフト	バージョンアップ
	ダウンリンクソフト	新規開発
	アップリンクソフト	新規開発
	データベース	新規開発
デジトローカ SSTV	音声録音ソフト	現状のまま
	SSTV*解析ソフト	現状のまま

※SSTV…Slow Scan Television

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6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した。

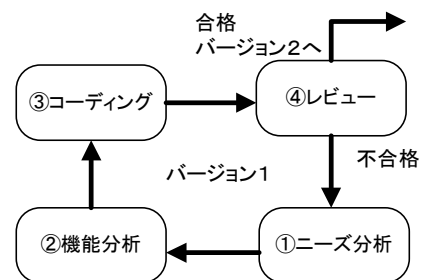


図6 開発の進め方

5.1 ニーズ分析

このフェーズでは、地上局に対してのニーズを分析し、ニーズ文を作成した。ニーズ分析の方法として、2つの方法を使用した。

a) ユーザーインタビュー

各システムを深く理解している開発メンバー、特に通信系を担当しているメンバーに開発時に気付い

た要求、要望を聞きだした。

b) インターフェース分析⁴⁾

①地上局-衛星間、②地上局システム間および、③地上局のコンポーネント間のインターフェースを分析し、インターフェース要求を求めた。抜けもれなく分析を行うためにN2ダイアグラムを用いた。結果、表8のような特に重要なインターフェースの条件がわかった。

表8 インターフェース間の条件

インターフェース	条件
地上局-衛星間	データのやり取りは、16進数また、ビーコン(ASCII)形式
PC(ソフト)-TNC間	シリアル通信
PC(ソフト)-データベース間	テキストファイルでのやり取り

5.2 機能分析

このフェーズでは、分析したニーズをもとに、それを実現する要求機能を考えた。そして、その機能を満たすサブシステムを考えた。分析結果を表10、表11に示す。

5.3 コーディング⁴⁾

要求分析、機能分析の結果をもとに、プログラミングをした。実際に開発したソフトウェアのUIを図7に示す。D1~D5および、U1~U2の機能は、表10に対応している。

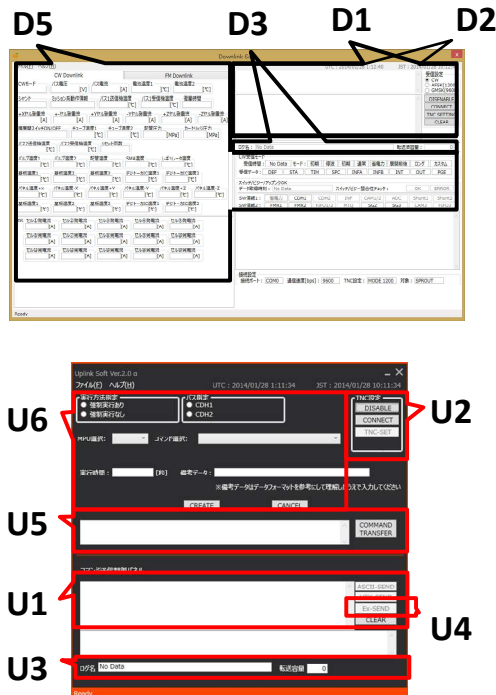


図7 上：ダウンリンクソフト
下：アップリンクソフト

5.4 テスト

このフェーズでは分析した機能を実現できているかを、次の3つのテストで確認した。

a) 単体テスト

開発したソフトウェアが各サブシステム、及び要求を満たしていることをPC上で確認した。満たしていることを確認した後、bのテストに移行した。

b) 統合テスト

ハードウェアを繋げて、サブシステム、要求を実現できることを確認した。

c) ユーザーテスト

開発したソフトウェアを実際にユーザーに使用してもらい、ニーズを満たしているか、新たなニーズを探し出した。

a、b、cのテストすべてを満たしたら、次のバージョンのソフトの開発に移行する。現在は、ver3.0まで開発を終えていて、これからテストを行っていく。

5.5 結果

図7、及び表10、表11を見てみると、各機能をすべて網羅していることがわかる。しかしながら、このソフトが、保守性を持つことや、使いやすいといったことを評価することはまだできていない。そのためには、開発したソフトを、長期的に使って評価する必要がある。

6. 今後の予定

現段階で、各ソフトウェア及び、ハードウェアのステータスは、表9となっている。

表9 開発ステータス

コンポーネント名	ステータス
ダウンリンクソフト	Ver3.0 開発中
アップリンクソフト	Ver3.0 開発中
軌道追尾・解析ソフト	アップグレード済み
データベース	未開発(開発予定)
ハードウェア	開発終了

今後、データベースの開発を今後行っていく。今回まとめた要求をもとに、アップ・ダウンリンクをふとの仕様、要求をまとめて、データベースの開発に引き継ぎたい。

また、5.5節でも述べたが、UX(User Experience)の評価が行えていない。UX評価については、ユーザーに使用してもらいフィードバックを得るために、長期試験で、実際に運用を模擬し、ソフトを使用して、評価を行っていきたい。

表 10 各ソフトウェアの要求・機能分析表(ダウンリンク)

D	ニーズ	ニーズのソース	要求機能	サブシステム
1	衛星からの CW を受信できる	SPROUT FMR*	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	SPROUT FMR*	16 進数から 10 進数に変換し表示する	
3	TNC555 へ TNC コマンドを送れることができる	TNC555	シリアル通信をする	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	データベース	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	
5	各モードの受信データをリアルタイムで表示	運用者	ダウンリンクしたデータを 10 進数変換し、各フォーマットに当てはめデータを読み取る	

表 11 ソフトウェアの要求・機能分析表 (アップリンク)

U	ニーズ	ニーズのソース	要求機能	サブシステム
1	衛星へコマンド送れる	運用者	データを 16 進数で送る	
2	TNC505 へ TNC コマンドを送れる	TNC505	シリアル通信をする	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	データベース	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	
4	コマンド再送信機能	運用者	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	運用者、SPROUT FMR*	セキュリティバイトを自動計算、実装	
6	複合コマンドを生成する機能が欲しい	運用者	コマンドフォーマットに則り全コマンドを作成できる	

※FMR:Flight Management Receiver

7. まとめ

SPROUT、構成機器、及び、ユーザーからの条件、ニーズを抽出し、分析をして、SPROUT の地上局開発を行った。そして、分析した、ニーズに地上局の機能が、抜けもれなく満たしているかを確認した。

8. 参考文献

- [1] トランジスタ技術編集部, “RF ワールド No.15 衛星と無線通信システム”, 2011
- [2] Alexander Kossialoff, Wiliam N. Sweet, Sam Seymour, Steven M. Bimer, “Systems Engineering Principles and Practice”, 2011
- [3] Kevin Forsberg, Hal Mooz, Howard Cotterman, "Visualizing Project Management"
- [4] Lukas Mathis, 武舎広幸, 武舎るみ, “インターフェースでアインの実践教室-優れたユーザービリティを実現するアイデアとテクニック”, 2013
- [5] Matthew MacDonald, "Pro Wpf in C#", 2011