

## 超小型人工衛星搭載新型送信機のための 高速データ送信制御装置の開発

### Development of a fast Data Transmission Controller for a new Model of Satellite on board Radio Transmitter

真弓 凌輔, 浅井 文男

Ryosuke MAYUMI, Fumio ASAI

奈良工業高等専門学校 情報工学科

National Institute of Technology, Nara College

Email: mayumi@info.nara-k.ac.jp

あらまし：大学等の学生チームが超小型人工衛星(CubeSat)を開発し、ミッションの達成を目指す工学教育プロジェクトが世界規模で進展している。国内の学生チームが開発した大多数の CubeSat に採用された無線送信機がモデルチェンジされ、これに対応するデータ送信制御装置の開発が不可欠となっている。新型送信機は 9.6kbps GMSK モードの高速データ送信が可能である。本研究では新型送信機の高速データ送信モードに対応したパケット送信制御装置(ターミナルノードコントローラ:TNC)を設計・開発し、室内実験で動作検証を行った。その結果、開発 TNC で送信した 9.6kbps の文字列データは標準的な受信装置で正常に受信・解読できることが確かめられた。また、新型送信機が正式には対応していない 19.2kbps と 38.4kbps のデータ送信ができることも確かめることができた。開発 TNC は試作段階であるが、学生チームに高速データ送信を活用する挑戦的なミッションを搭載した CubeSat 開発の扉を開いたといえる。

キーワード：超小型人工衛星, 衛星無線通信, 高速データ送信, ターミナルノードコントローラ

#### 1. はじめに

2003 年に東京大学と東京工業大学の学生チームは世界で初めて CubeSat と呼ばれる超小型人工衛星 XI-IV と CUTE-I の設計・開発・運用に成功した。これら 2 機の CubeSat はどちらもアマチュア無線業務に割り当てられた VHF(144MHz)帯を地上局からのコマンドアップリンクに、UHF(430MHz)帯を衛星地上局へのデータダウンリンクに使用して、モールス符号によるビーコン(標識信号)送信と、Bell202規格のデータ通信(1200bps AFSK パケット通信)をそれぞれ行った。これらは CubeSat の入門的な通信系に採用される世界標準の通信方式として定着し、XI-IV に搭載された(株)西無線研究所の 101A 型無線機とその後継機である 301A 型無線機は、国内の大学等で開発されるほぼすべての超小型人工衛星に採用されるようになった。奈良高専浅井研究室が参画する高専スペース連携でも文部科学省の宇宙開発人材育成事業の支援を受けて、301A 型送信機を搭載した 2 機の CubeSat の開発を進めてきた<sup>(1)</sup>。

しかし、2016 年に 301A 型送信機の製造・販売が終了し、後継機の 302A 型送信機が設計・開発され、受注生産が始まった。301A 型にはモールス送信機能とパケット通信機能を実装した制御装置(SATCOM HVU-301)が市販され、これを使用することで容易に CubeSat の通信系を製作することができた。しかし、この制御装置も製造終了になり、302A 型に対応した制御装置はまだ市販されていない。そこで、本研究では 302A 型の高速データ送信モード対応したパケット送信制御装置(ターミナルノードコントローラ:TNC)を設計・開発し、室内動作検証を行った。

#### 2. 302A 型送信機の特徴

302A 型送信機は 301A 型の上位互換機として設計されているので、物理的な仕様・規格や、基本的な無線通信機能は 301A 型とほぼ同じである。302A 型と 301A 型の主要な相違点は以下の 2 点ある<sup>(2)</sup>。

##### 1) 高速データ送信機能

302A 型は Analog Devices のデジタル通信用トランシーバチップ ADF7021-N を内蔵しているため、CubeSat の標準的な高速データ通信規格である 9600bps GMSK 変調方式によるパケット送信が可能である。一方、標準仕様の 301A 型は 1200bps AFSK 変調方式の低速パケット送信しかサポートせず、高速パケット送信を行うためには特別仕様の 301A 型送信機を衛星に搭載する必要がある。さらに、特別仕様の 301A 型には CMX589A のような GMSK モデムチップを使用した外付けの TNC が必要となるが、現在、モデムチップの入手は難しくなっている。

##### 2) 送信周波数設定機能

302A 型は ADF7021-N に実装された PLL で送信周波数を設定できるように、PLL データ書き込みや動作モード設定用のマイコンを内蔵し、そのファームウェアは ICSP で容易に書き換えることができる。しかし、301A 型は PLL IC だけを内蔵しているため、データ書き込み用マイコンの外付けが必要になる。

##### 3) 送信回路電源供給停止機能

302A 型はトランシーバチップやマイコンには電源を供給し、送信回路への電源供給のみを停止する動作モードをもつ。そのため、この動作モードをもたない 301A 型を使用する場合よりも、通信系の消費電力を大幅に削減できる可能性がある。

### 3. 研究方法

#### 3.1 研究手順

以下の5段階でTNCの開発と動作検証を行った。

- 1) 評価ボード EVAL -ADF7021 を使用した予備実験
- 2) 1.2kbps パケット送信用 TNC の試作と予備実験
- 3) 9.6kbps パケット送信用 TNC の試作と動作検証
- 4) 9.6kbps TNC のプリント基板の製作と動作検証
- 5) 開発 TNC による 19.2kbps と 38.4kbps の送信実験

#### 3.2 開発環境

TNC のマイコンには Microchip の F1 シリーズと呼ばれる最新の 8 ビットマイコンから、14 ピンの小型で低消費電力が特徴の PIC16F1825 を採用した。ファームウェアの開発環境には CCS-C コンパイラを採用した。CCS-C コンパイラを採用した理由は、実装するデータ処理アルゴリズムのコーディングにビット型の変数と配列の使用が不可欠であり、CCS-C はそれが容易に行えるためである。

#### 3.3 考案手法

##### 1) 送信データのNRZI符号化処理

パケットのビットデータは ADF7021-N から出力される 9.6kbps のクロック信号に同期させて送出しなければならない。これを実現するため、本研究では PIC16F1825 の RA2 外部入力割り込み機能を利用した。具体的には図 1 に示すように、クロック信号の立ち上がりエッジでビットデータの NRZI 符号化の割り込み処理を実行するアルゴリズムを考案した。

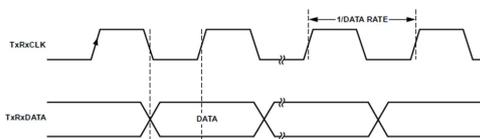


図 1 同期クロックと送信ビットのタイミング (ADF7021-N データシートより引用掲載)

##### 2) 送信データのスクランブル処理

9.6kbps のパケット通信では GMSK 変調方式を使用するため、変調信号は直流成分を含む。これを減少させるため、送信データにスクランブルを掛ける。本研究では G3RUH 互換と呼ばれる TNC に実装されている図 2 の 17 ビット長 LFSR スクランブルアルゴリズムを採用する<sup>(3)</sup>。TNC が生成する AX.25 プロトコルのデータフレームは透過性を保証するためビット詰めと呼ばれる処理が適用される。スクランブル処理とビット詰め処理を整合させるため、ビット型の変数と配列の利用したのが本研究の特色である。

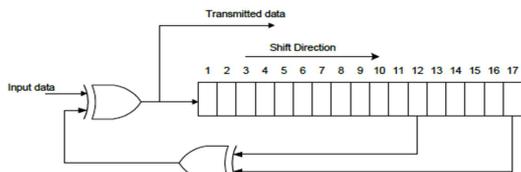


図 2 17 ビット長 LFSR スクランブル処理

### 4. 動作検証

開発 TNC と 302A 型送信機を使用した動作検証実験の概要を図 3 に示す。開発 TNC には本研究で作成したファームウェアを、また、302A 型送信機には西無線提供の 9.6kbps 用ファームウェアをそれぞれ使用して、文字列データの室内送信実験を行った。

その結果、マイコンのクロック周波数を 8MHz 以上に設定すると、9.6kbps 用の標準的な受信装置で送信文字列を正常に受信・解読できることを確認した。

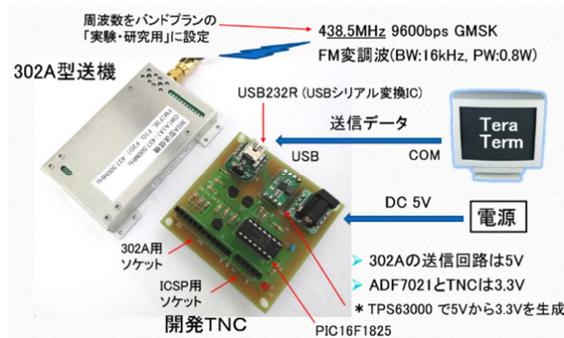


図 3 開発 TNC の動作検証実験の概要

302A 型送信機から送出される 9.6kbps の同期クロック信号と、TNC から送出されるビットデータ信号の観測波形を図 4 に示す。開発 TNC は図 1 に示す要求仕様どおりに動作していることが確認できる。

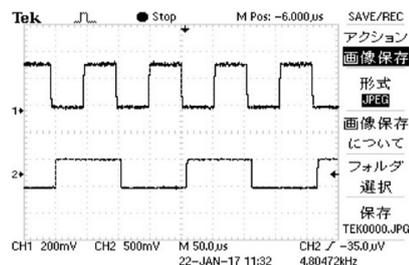


図 4 同期クロック信号と送信ビット信号の波形

開発 TNC は任意の同期クロック速度で動作する。そこで、西無線提供の 38.4kbps 用ファームウェアを 302A 型送信機に書き込み動作させると、送信文字列が 38.4kbps 専用の受信装置で正常に受信・解読できることが判明した。ADF7021-N が正式にサポートするデータレートは 24kbps なので、今後は屋外での動作検証や回線設計など、実用化に不可欠な研究開発に取り組み、高専 CubeSat への搭載を実現したい。

#### 参考文献

- (1) 高専スペース連携：「平成 27 年度地球観測技術等調査研究委託事業」委託業務成果報告書, (2016)
- (2) (株)西無線研究所：超小型人工衛星用無線機 TXE430MFCW-302A 取扱説明書, (2016)
- (3) James Miller：9600 Baud Packet Radio Modem Design, Packet: Speed, More Speed and Applications, ARRL, (1995)