

# 教育用模擬人工衛星CanSatのための無線データ通信ユニットの開発Ⅱ

浅井 文男

Development of a Wireless Data Communication Unit for Educational Training Satellite/CanSat II

Fumio ASAI

本研究では昨年度の研究に引き続いて、第1にCanSatの無線データ通信ユニットに搭載するSRL Ver.2プロトコル用ターミナルノードコントローラ (TNC) のプロトタイプを試作し、性能評価を行った。TNCにはPSoCマイコンで構成した受信モデムを搭載し、その実用性を確かめた。第2にCanSatの送信データを受信・解読するための地上局用ソフトウェアを3種類開発し、それぞれフリーソフトウェアとして公開した。

## 1. はじめに

昨年度の研究ではCanSatに搭載するビーコン送信用TNCをPSoCマイコンを使用して設計・試作し、性能評価を行った[1]。その結果、1個のPSoCマイコンにBell202モデム機能とAX.25UIフレーム生成機能を実装したPSoC-TNCで従来のTNCと同等の変調特性と送信動作を実現できることが確かめられた。今年度はまず第1に、CanSatに搭載するSRL Ver.2プロトコルデータ受信用TNCのプロトタイプを設計し、ファームウェアを開発する。SRL Ver.2は東京工業大学の超小型人工衛星の3号機であるCUTE-1.7+APDⅡに採用された誤り訂正が可能なデータ通信プロトコルで、AX.25プロトコルよりも伝送効率が低いことが確かめられている[2]。

第2にCanSatの送信データを受信・解読するための地上局用通信ソフトウェアを開発し、実用性を評価する。

## 2. ターミナルノードコントローラの開発

### 2.1 PSoCマイコン

Cypress Microsystems社の8ビット汎用マイクロコントローラPSoCは従来のワンチップマイコンに実装されているPWMやUARTなどの標準的なデジタルモジュールに加えて、スイッチド・キャパシタを使用したオペアンプなどのアナログモジュールも搭載している。アナログモジュールを利用すれば比較的容易にBell202規格のモデム機能を実現できる。昨年度の研究では変調動作をアナログ

モジュールで構成したバンドパスフィルタによるフィルタリングで実現し、Bell202モデムICのFX614と同等の変調特性が得られることを確かめた。

今年度は復調動作をPSoCマイコンで実現する。復調アルゴリズムにはフィルタリング法、ゼロクロス法、コリレータ法などが考案されているが、本研究では実装が容易で精度が高いコリレータ法を採用する[3]。具体的にはCypressが評価用に提供している復調用ファームウェアを使用してPSoCモデムを構成し、TNCの復調回路に実装する。この復調用ファームウェアはBell202とロジックが逆になっているが、復調するAFSK信号はNRZI符号化されているのでそのまま使用しても問題はない。ターゲットデバイスには昨年度と同様、28ピンDIPパッケージのCY8C27443-24PIを使用する。

### 2.2 PICマイコン

昨年度の研究ではAX.25プロトコル処理用のマイコンにMicrochip Technology社の28ピンDIPパッケージ8ビットマイコンPIC18F252-I/SPを使用した。今年度は上位互換製品のPIC18F2550-I/SPを使用する。このマイコンはUSB通信モジュールを内蔵しているので、パソコンとのインターフェイスを担当するMAX232のようなシリアル-TTL変換デバイスや、FT232Rのようなシリアル-USB変換デバイスをTNCに実装する必要がなくなる。

ファームウェアの開発には昨年度の研究で実績のあるCCS社の統合開発環境PCWH (CCS-Cコンパイラ)を使用する。USB通信の実装にはCCS社がCCS-C用に提供して

いるUSB-COMポート変換用ソフトウェアパッケージであるCDCクラスライブラリを利用する。これにより、ハイパーターミナルなどの標準的なシリアル通信端末ソフトでTNCの送信データを受信できるようになる。

2.3 SRLLデータ受信アルゴリズム

SRLL Ver.2ではSRLL Ver.1から以下のような変更が行われている。しかし、プロトコル処理は同じなので、SRLL Ver.1のデータを受信するために先行研究で開発したPIC18F252用ファームウェアを利用することにした[4]。すなわち、デバイスをPIC18F252からPIC18F2550に変更するとともに、下記の変更点をCCS-Cで実装した。

- ①パケット長が32、64、96バイトの3種類
- ②スタートフラグの変更・追加
- ③アドレス（コールサイン）がデータに挿入
- ④新規考案のスクランブルデータの使用
- ⑤NRZI符号化の採用

2.4 TNCの回路設計

設計したSRLL Ver.2用TNCの回路図を図1に、ユニバーサル基板上に試作した実機を図2にそれぞれ示す。できる限り回路構成を単純にするため、PIC18F2550にはコネクタや電源回路が実装された秋月電子通商製のCPUボードを使用している。

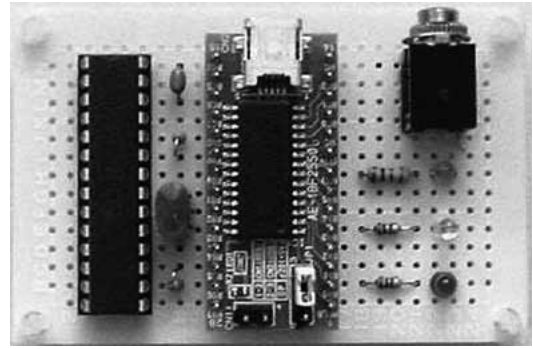


図2 試作した TNC

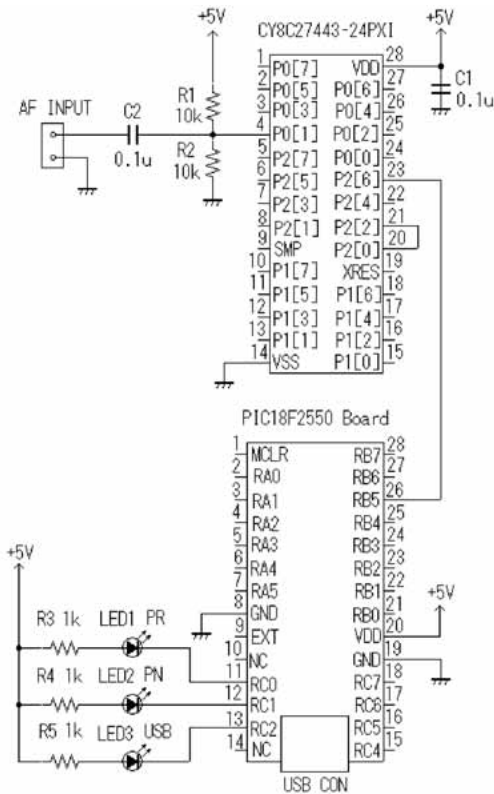


図1 TNC の回路図

2.5 TNCの性能評価

Windows Media形式の64バイト長SRLL Ver.2データファイルを使用して試作したTNCの性能評価を行った。

その結果、表1に示すように、東工大CUTEプロジェクトチーム提供のH8-TNCとほぼ同じ文字列が受信できたので、実装したSRLL Ver.2の解読アルゴリズムは正常に動作することが確かめられた。パラメータ（タイマ割り込みの周期）チューニングをすると、同期信号の検出率は100%にできるが、スタートフラグの検出率は約70%に留まり、さらに、受信パケットの約50%は文字化け（dataCRC≠calcCRC）が発生し、誤り訂正されたビット数（erCount）が3より小さくならないことも判明した。

表1 H8-TNC と試作 TNC の受信結果の比較

H8-TNC による受信結果	
JQ1YCZ>JQ1YTC:CONG You're a Member of SRLL Receivers!	
4A 51 31 59 43 5A 3E 4A 51 31 59 54 43 3A 43 4F 4E 47 20 59	
6F 75 27 72 65 20 61 20 4D 65 6D 62 65 72 20 6F 66 20 53 52	
4C 4C 20 52 65 63 65 69 76 65 72 73 21 0D	
試作 TNC による受信結果	
Data (asc&hex):	
JQ1YTC0JQ1YTC0'CONG You're a Member of SRLL Receivers!	
4A 51 31 59 54 43 30 4A 51 31 59 43 5A 30 27 43 4F 4E 47 20	
59 6F 75 27 72 65 20 61 20 4D 65 6D 62 65 72 20 6F 66 20 53	
52 4C 4C 20 52 65 63 65 69 76 65 72 73 21 00 00 00 00 00 00	
00 00 00 00	
dataCRC : 90 CD	
calcCRC : 90 CD	
erCount : 3	

3. 通信ソフトウェアの開発

3.1 KISS MODE TNC

CubeSat/CanSatが送信するAX.25プロトコルのUIフレームを構成するパケットは必ず最初と最後をフラグ(0x7E)で囲まれているのでフラグを検出すれば個々のパ

ケットを分離・識別できる。パケットデータはTNCで調歩同期方式（非同期方式）のシリアルデータに変換されてパソコンに送られる。フラグはTNCで取り除かれるのでシリアルデータには含まれていない。よって、TNCから送られてくるシリアルデータのどのバイトからどのバイトまでが1つのパケットを構成するのか識別することは難しい。送信データがすべてテキストデータで構成される場合は末尾に改行コード（0x0D）を入れてやればパケットを識別できるようになるが、バイナリデータを含む場合はこの方法は使えない。また、従来の通信ソフトはTNCの動作モードをCONVERSE MODEに設定して使用するが、CONVERSE MODEのTNCはLFコード（0x0A）やタイムスタンプなどをパケットデータに追加するのでCubeSat/CanSatのデータ解析に支障をきたすことがある。こうした問題はKISS MODEで動作するTNCに対応した通信ソフトを使用することで完全に解消することができる。

KISS MODE TNCは以下のように動作するので、おもにバイナリデータの自動送受信に利用されている。

- ①TNCはAX.25プロトコル処理を通信ソフトに任せ、自らはモデム機能とPAD機能だけを行う
- ②TNCとパソコンの間で送受信されるシリアルデータはKISSフレームと呼ばれるフォーマットに従う

KISSフレームには1つのパケットに対応するシリアルデータの前後にデリミタと呼ばれる特別なバイトデータ（0xC0）が付加されている。ただし、パケットのフラグとFCSは取り除かれ、かつ、KISS SUBSTITUTIONと呼ばれる特別なコード変換が行われている。KISSフレームは必ずデリミタで区切られているので通信ソフトは容易に個々のパケットを分離・識別できる。分離されたパケットのデータフォーマットはわかっているので、テレメトリデータなどの抽出・解読などの処理も容易にできる。その替わり、通信ソフトにはAX.25プロトコル処理を実装しなければならないが、ARQによる誤り制御を行わないUIフレームの受信だけならばアドレスデータのビットシフトなど、比較的簡単な処理の実装だけで済む。

### 3.2 Kiss\_Decoder

Kiss\_DecoderはKISS MODE TNCに対応した通信ソフトである。動作検証のためバイナリデータであるCUTE-1.7+APDⅡとSEEDS2の送信データを解読する機能を実装した。CUTE-1.7+APDⅡのデータを受信・解読している動作画面を図3に示す。画面左下が受信データ、左上が抽出フレーム、右が解読結果をそれぞれ表示するウィンドである。動作検証により、パケットを受信すると瞬時にテレメトリフレームの抽出とテレメトリの解読が安定

かつ確実に行われ、バイナリデータの受信に対するKISS MODEの有効性を確かめることができた。

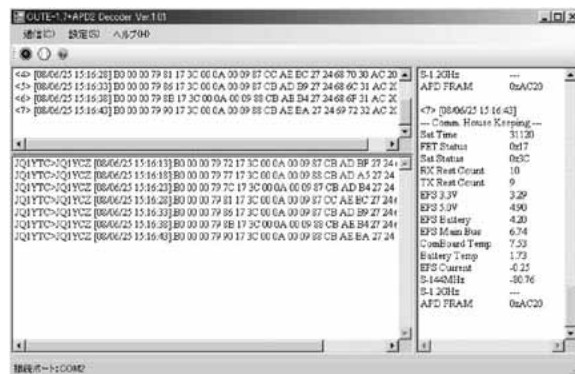


図3 Kiss\_Decoderの動作画面

### 3.3 クライアント・サーバによる負荷分散

CubeSat地上局ネットワークの構築に代表される衛星通信分野におけるネットワーク利用の進展に対応して、TNCとシリアル通信を行うための通信端末ソフトやテレメトリ解読ソフトにもネットワーク通信機能を実装する必要性が高まっている。シリアル通信、ネットワーク通信、テレメトリ解読などの各種機能をひとつのソフトに実装すると、処理速度が低下するなどの問題点が発生し易くなる。ネットワーク通信の部分にクライアント・サーバ型を採用すればこうした問題を防げるばかりでなく、開発環境に標準で実装されているクラスライブラリが使用できるのでソフト開発も格段に容易になる。具体的にはサーバソフトにシリアルデータの受信とネットワークデータへの変換だけを担当させ、受信データの表示、テレメトリの解読、受信データや解読結果のファイル保存などはクライアントソフトに担当させることで負荷分散を実現することにした。

### 3.4 Network\_Decoder

Network\_Decoderはクライアント・サーバ型の通信ソフトである。図4に示すように、サーバを起動するとタスクトレイに登録されるアイコンをクリックすることで、動作の設定・切替やクライアント接続情報の表示などが行える。

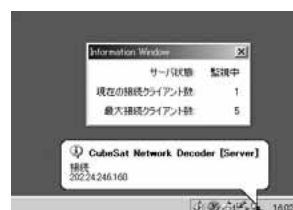


図4 サーバによる情報提示

クライアントをサーバに接続すると、サーバがTNCから受信したデータはTCP/IP通信でクライアントに送られる。クライアントはデータを受信するとフォーマットを調べ、データの種類に対応した情報をリスト形式でウィンドに表示する。リストからテレメトリフレームをひとつ選ぶと、解読結果が右のウィンドにリスト形式で表示される。図5にXI-Vのデータを受信し、テレメトリを解読したクライアントソフトの動作画面を示す。色の違いで衛星やデータの種類が分かるようになっている。100BASE-TXのLAN上で5台のクライアントをサーバに接続して動作検証を行い、5台同時にデータを受信・表示されることを確かめた。インターネット上での動作検証は未実施であるが、遅延が実用性を阻害する場合はTCPではなくUDPを使用することで問題解決が図れると考えている。

No.	受信日時	衛星名	衛星ID	データ	種類	送信方法	コマンド名	値
1	2006/02/22 18:10:31	JQ1YGV	JQ1YCX	407a7e65a4b10501	VB-TD	TABLE	時刻	748647
2	2006/02/22 18:10:39	JQ1YGV	JQ1YCX	407a7e65a4b10501	VB-TD	TABLE	時刻	748647
3	2006/02/22 18:10:39	JQ1YGV	JQ1YCX	407a7e65a4b10501	VB-TD	TABLE	時刻	748647
4	2006/02/22 18:10:52	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.076
5	2006/02/22 18:10:54	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.084
6	2006/02/22 18:10:54	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.084
7	2006/02/22 18:10:56	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
8	2006/02/22 18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
9	2006/02/22 18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
10	2006/02/22 18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
11	2006/02/22 18:11:09	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
12	2006/02/22 18:11:11	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079

図5 クライアントソフトの動作画面

Network\_Decoderはデータの識別・解読情報をプログラムに内蔵するのではなく、外部ファイルに記述する方式を採用しているため、比較的容易にXI-V以外のCubeSat/CanSatに対応させることができる。現在、CUTE-1.7+APD IIとSEEDS2の解読情報ファイルを作成している段階である。

### 3.5 Agw\_Decoder

Agw\_DecoderはソフトウェアTNCであるAGWPEのクライアントとして動作する。Agw\_DecoderはAGWPEとTCP/IPで通信するので、基本動作や使用法はNetwork\_Decoderと類似している。しかしTNCを必要としないので、高校生チームによるCanSatの製作や競技会への参加に役立つと考えている。図6にXI-Vのテレメトリデータを受信・解読している動作画面を示す。AGWPEとAgw\_Decoderの間で送受信されるデータのフォーマットはバイナリパケットの分離・識別に適しているため、

ユーザーインターフェイスをNetwork\_Decoderのクライアントに統一して実用性を向上させたい。

時刻	衛星名	衛星ID	データ	種類	送信方法	コマンド名	値
18:10:31	JQ1YGV	JQ1YCX	407a7e65a4b10501	VB-TD	TABLE	時刻	748647
18:10:39	JQ1YGV	JQ1YCX	407a7e65a4b10501	VB-TD	TABLE	時刻	748647
18:10:52	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.076
18:10:54	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.084
18:10:56	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
18:11:03	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
18:11:09	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079
18:11:11	JQ1YGV	JQ1YCX	015417a7e65a4b10501	VB-OD	ENRSP	太陽電池電圧[V]	4.079

図6 Agw\_Decoderの動作画面

## 4. おわりに

本研究ではまず第1に、教育用超小型人工衛星CanSatの無線データ通信ユニットに搭載するSRLL Ver.2プロトコル用TNCのプロットタイプを設計・試作した。TNCにはUSB通信モジュールを搭載したPIC18F2550マイコンを使用し、CCS-CのCDCクラスライブラリを利用して受信ファームウェアを作成した。また、PSoCマイコンで構成されたBell202規格の受信用モデムを復調回路に採用した。その結果、試作したTNCのUSB通信機能と復調機能は正常に動作するが、解読機能については実用的な性能が得られないことが判明した。よって、今後は解読アルゴリズムの改良などによって解読性能を向上させることが課題である。

第2に、CanSat/CubeSatの送信データを受信し、解読や解析するための通信ソフトウェアの開発を行った。開発環境にはVisual Studio 2008 C#を使用したため動作環境として.Net Framework 2.0以上が必要になる。しかし、配布パッケージのファイルサイズが小さくインストールラブルが発生しにくい、標準的なWindowsアプリケーションのGUIを備えるなどの利点がある。動作検証の結果、開発した3種類の通信ソフトはそれぞれ設計通りに動作し、CanSat/CubeSatのデータ受信・解読に使用できることが確かめられた。これらのソフトはバイナリデータの受信や解読、地上局(受信装置)の自動運用やネットワーク化に適した基本機能を備えているが、アプリケーションとしての機能や操作性が統一されていない。これらを統一して実用性と汎用性を向上させた通信ソフトウェアの開発が今後の課題である。

### 謝辞

本研究は平成19-20年度科学研究費補助金（課題番号19500772）と電気通信普及財団平成18年度研究調査助成の支援を受けて行われた。また、ソフトウェアの開発には河野匡宏、佐藤直樹、寺坂武紘の各氏から協力を得た。これらの支援や協力に感謝します。

### 参考文献

- [1]浅井文男, 教育用模擬人工衛星CanSatのための無線データ通信ユニットの開発, 奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol.43, pp.33-37, (2008) .
- [2]Hiroki Ashida, Kota Fujihashi, Shinichi Inagawa, Yoshiyuki Miura, Kuniyuki Omagari, Yasumi Konda, Naoki Miyashita and Saburo Matunaga, "Design of Tokyo Tech Nano-Satellite Cute-1.7 + APD II and its Operation," The 59th International Astronautical Congress, Glasgow, September 29-October 3, (2008) .
- [3]Cypress Microsystems, Simplified FSK Detection, PSoC Application Note, AN2336, (2006) .
- [4]田部博之, 小西郁江, 浅井文男, ワンチップマイコンを用いたSRLCプロトコルTNCの開発, 電子情報通信学会関西支部第10回学生会研究発表講演会, 3月10日講演, (2005) .

