

01-3D3 東京工業大学 CUTE-I のバス開発と大気球実験

○宮下直己, 此上一也, 中谷幸司, 岡田英人, 居相政史 (東工大・院)
占部智之 (東工大・工), 松永三郎 (東工大・理工)

Development of CUTE-I Bus System and Result of Balloon Experiment
Naoki Miyashita, Kazuya Konoue, Koji Nakaya, Hideto Okada, Masafumi Iai
Tomoyuki Urabe and Saburo Matunaga (Tokyo Institute of Technology)

Key Words: CubeSat, CUTE-I, Bus System, Small Satellite, Balloon Experiment

Abstract

We, Tokyo Institute of Technology Small Satellite Project Team, are participating in the CubeSat project. Currently the design of the flight model has been completed. This paper reports design and development of bus systems for the satellite as small as 10 cm cube, that is one of our objectives in this project. Also the results of long-range communication test and bus-system performance test in the collaborative balloon experiment with ISAS is reported.

1. はじめに

本研究グループは, 日米の大学を中心とする小型衛星プロジェクトである CubeSat Project に参加しており, 現在 CUTE-I の開発を進めている. CubeSat プロジェクトは, サイズが 10cm 立方, 重量が 1kg の超小型衛星を学生主体で開発するというものである. 本稿では, CUTE-I の C&DH 系, 通信系, 電源系などのバス系開発について報告する. また, バス系の動作機能試験と長距離通信試験として, 宇宙科学研究所の協力の元に三陸沖で大気球実験を行った. その結果と改善点について報告する.

2. CUTE-I のバス開発

東工大小型衛星開発チームでは, 開発中の CubeSat を CUTE と名付け, その第一号機 CUTE-I の開発を行っている. CUTE-I は, 10cm 立方という超小型衛星であるため, 太陽電池セルの配置できる面積の制限, 内部搭載容量の制限より発生電力および搭載バッテリー電力が少なく, バス開発には常に省電力化を意識して開発しなければならない.

CUTE-I 開発当初は 様々なミッションを提案し, 検討してきたが, 太陽電池セルの発生電力の制限から衛星運用に最低限必要な機能程度しか搭載できないことが分かってきた. その最低限の運用に関しても通信系のパケットを常に送信することは出来ず, 衛星可視時にアップリンクコマンドによりパケット送信するなど, 電力不足問題は非常に厳しいものとなっている.

CUTE-I では, 立方体の 6 面に可能な限り太陽電池セルを配置しているが, 少しでも多く電力を発電するために, ロケットから軌道上に放出後, 太陽電池セルを両面に貼った展開パドルを展開する. 各面の発生電力は最適点で約 1 W 強, 最適点発生電圧は約 5.0V である.

CUTE-I では, メインバス電圧を決定する際, 3.3V

と 5.0V のどちらにするか議論になり, 開発当初は, 両電圧に対応した素子の選定を行っていた. しかし, 消費電力を抑えるという点からメインバス電圧は 3.3V とした. メインバス 3.3V というのは, 一般の衛星バス電圧とすれば低電圧である. 低電圧になれば, 省電力を抑えることができるがノイズ問題など様々な問題が発生する.

また, その他の消費電力を抑えるバス開発として, 効率の良いレギュレータ回路の開発, 使用する全ての素子について, 同機能で消費電力が最も少ない素子を選定, 太陽電池セルの発生電力制御回路の開発, 消費電力の大きい送信機の送信間隔の調整など, CUTE-I では, 常に消費電力をおさえるバス開発を行っている.

現在 CUTE-I は FM の設計を終了しており, 製作を行っている途中である.

2 - 1. C&DH 系

C&DH 系の機能としては, 1.衛星内の各種データを取得しメモリに記録する. 2.地上から受信したコマンドを解読し各種衛星機器の制御を行う. 3.地上に送信するデータを整形し通信系に出力する, といったようなものが挙げられる. CUTE-I の C&DH 系のシステム図を図 1 に示す.

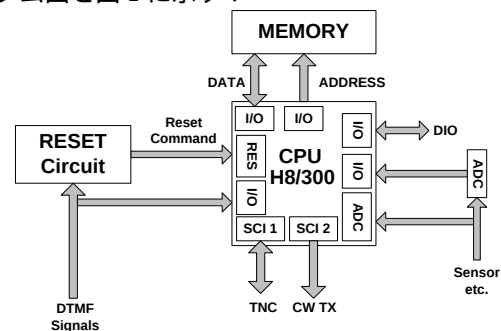


Fig.1 C&DH 系システム図

MPU

メイン MPU として日立製マイクロプロセッサ H8/300 を使用している。このマイクロプロセッサは 32Kbyte の PROM と 1Kbyte の RAM を内蔵している。シリアル通信のポートを 2 チャンネル、A/D 変換器を 8 チャンネル有しており、動作温度は -40 ~ 80、保存温度は -55 から 125 までである。CUTE-I ではこの μP を 3.3V、6MHz で駆動する。なお、開発に際してはプログラム変更を頻繁に行う必要があるため、PROM タイプではなく同型の Flash タイプのマイクロプロセッサを使用している。

ADC (Analog to Digital Converter)

メイン MPU に 8 チャンネルの A/D 変換器が搭載されているが、CUTE-I では所得すべきデータが多いので外部に MicroChip 社製の A/D 変換専用チップを 2 個用意した。これによりこのシステムの A/D 変換器は合計 24 チャンネルとなる。

メモリ

メモリとしては日立製の 4Mbit の SRAM を使用する。SRAM を採用した理由としては、高速にデータを書き込めるという利点があるためである。SRAM の欠点としては、電源が切れるとデータが失われる点が挙げられる。これを回避するために、SRAM バックアップ用の小型電池を用意し、メイン電源が切れても SRAM のデータが失われないような回路構成になっている。CUTE-I に SRAM を採用する場合にもう一つ問題となるのがメモリアドレス指定のためのピンの多さである。通常の CPU を使用している場合はそれほど問題にはならないが、CUTE-I に採用している MPU は規模の小さいものであり、それゆえ I/O ピンの数が少ない。SRAM のアドレスを決定するには 19 本のアドレスラインが必要であり、これをすべて CUTE-I の MPU に接続すると他に使用できる I/O ピンが不足してしまう。このため、SRAM のアドレスをシリアルデータで決定できるような回路構成にしてある。(図 2)

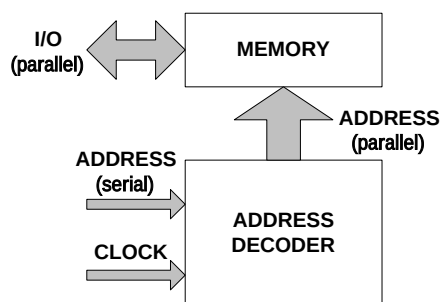


Fig.2 SRAM アドレス決定法

なお、SRAM データラインについてはパラレルのままである。

リセット

C&DH 系のメイン MPU 周辺回路には 2 種類のリセット機能が備わっている。一つは電圧を常に監視

し、供給電圧が 3.0V 未満になった場合に MPU をリセットするような機能であり、電圧が 3.0V 以上になるまでリセットをかけ続ける。この機能により電圧低下が原因となる MPU の暴走を防止している。2 つめのリセット機能は、地上からのコマンドによる MPU のリセット機能である。これは、放射線による SEU や何らかの原因で MPU が暴走した場合に使用するリセット機能である。MPU が暴走しているので MPU 自身がコマンドを正常に解釈できる保証がない。このためこのリセット機能は MPU に頼らず動作する必要がある。この目的のために図 3 のようなモジュールを作成した。

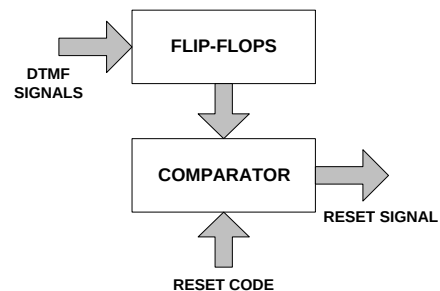


Fig.3 リセットモジュール

このモジュールはフリップフロップとコンパレータから構成される。CUTE-I の C & DH 系内にはリセットコードがあらかじめ記録されている。これはメモリなどを用いたものではなく、回路的に記録されている。フリップフロップ部分は最近受信した DTMF 信号を複数個記録しておくことが可能であり、これと回路内に記録されているリセットコードをコンパレータで比較する。DTMF 信号とリセットコードが一致した場合にコンパレータは信号を出力する。この出力を用いて MPU をリセットする。

テレメトリ

CUTE-I には CW 送信機から送信される CW テレメトリと FM 送信機から送信される FM テレメトリがある。CW テレメトリには CUTE-I のハウスキーピングデータ (HK データ) が含まれる。FM テレメトリには HK データもしくは SRAM に保存されているミッションデータが含まれる。(図 4) MPU はリアルタイムのセンサデータもしくは SRAM に保存しておいた過去のミッションデータを図 5 に示すフォーマットに整形して通信系の TNC に出力する。

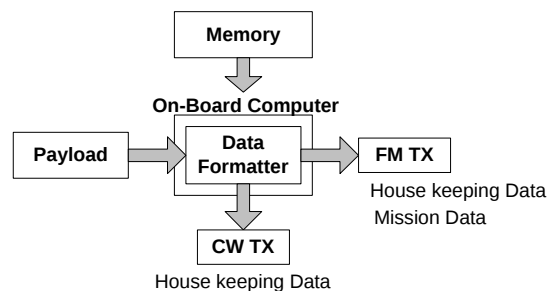


Fig.4 テレメトリ



Fig.5 データフォーマット

ヘッダー情報としては、衛星内でカウントしている時間やパケット番号などが含まれている。

コマンド

CUTE-I へのコマンドは DTMF 信号を用いて行う。DTMF 信号は通信系内のデコーダでデコードされ 4bit データとして C&DH 系に入力される。DTMF 信号複数個を 1 つの組としてこれを 1 つのコマンドとする。(図 6) エラーチェックが可能なコマンド体系をとっている。

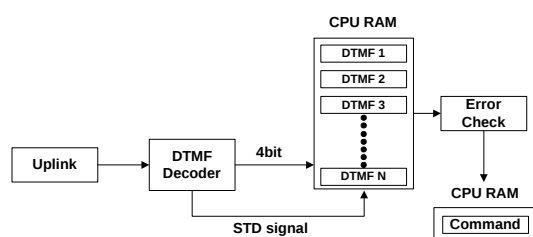


Fig.6 コマンド

CUTE-I にアップされたコマンドはそのコマンドを実行させる実行コマンドが受信されるまで、実行待ちコマンド RAM 領域内に保持される。実行コマンドが受信される前に別のコマンドを受信した場合は、古いコマンドは破棄され新たに受信されたコマンドが実行待ち RAM 領域に保存される。(図 7)

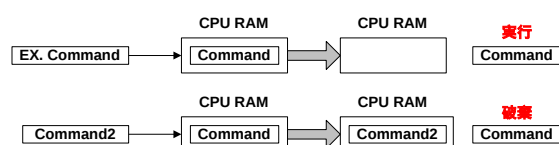


Fig.7 コマンド実行までの流れ

2 - 2 . 通信系

CUTE-I には、3 つの無線機を搭載しており、それぞれの周波数帯、送信出力および消費電力は以下の通りである。

- ・ 144MHz 帯 FM 受信機 (市販品)
消費電力 150mW (Max)
 - ・ 430MHz 帯 CW 送信機 (カスタム品)
送信電力 100mW 消費電力 600mW
 - ・ 430MHz 帯 FM 送信機
送信電力 350mW 消費電力 1200mW (Max)
- 使用する周波数帯はアマチュア周波数帯である。

地上からのアップリンク(144MHz 帯)は DTMF 信号を使い、衛星からのテレメトリを CW 送信機からのモールス符号、および FM 送信機からのパケットで受信する。データのエンコード、およびモジュレーション (AFSK) は東工大で開発した TNC を使用しており、アマチュア無線で一般的に使われる Ax.25 プロトコル、および誤り訂正能力を強化した東工大独自プロトコル、SRLL に対応している。上記プロトコルは地上からのアップリンクによって切

り替え可能である。CW 送信機の電波はピーコンの役割もかねているため、常に送信を行っている。FM 送信機は消費電力が多いため、日本上空でのみの運用となる。

CUTE 設計においてもっとも課題が多いのが通信系である。通信系が抱えている問題として、大きく以下の 3 つがある。

- ・ 消費電力の問題
- ・ 無線機間のシールドの問題
- ・ アンテナのグランド確保の問題

まず、消費電力の問題であるが、CUTE の太陽電池パネル一面での発生可能電力が 1W 程度であることから、無線機が使用できる電力に制限が出てきてしまい、その範囲内で動作可能な無線機を使うとなると、当然送信出力の小さい無線機を使わざるを得なくなる。実際、FM 送信機の実出力 350mW というのは、リンクマージンが何とか取れる程度の送信出力でしかない。

上記無線機のうちカスタム品である CW 送信機の消費電力が出力電力に対してかなり大きいことがわかる。当初の設計要求は出力 100mW に対し 400mW であり、電源系もこの値を念頭に電源設計を進めていたため、CW 送信機の消費電力削減が早急に必要となった。当初、無線機の設計に関しては、ほとんどが外注先に任せてあったが、電力削減のために効率のいい部品や、消費電力の低い温度補償型水晶発振器の選定などを学生が自ら行い、現在それらの部品を使用した無線機への改造を依頼している。

上記のように、使用可能な電力が大変限られており、余裕を持った電力設計が難しい超小型衛星では部品ひとつひとつの選定が重要であることがわかる。

次に、無線機間のシールドの問題であるが、衛星が小型であるため、各無線機は隣接せざるを得ない。これにより、受信機の感度が抑圧される問題が生じてしまっている。これに対する対策を現在検討中である。

最後に、アンテナグランドの問題について述べる。CUTE ではアンテナの大きさの制限から、 $1/4\lambda$ モノポールアンテナを使用している。本来ならば、モノポールアンテナを使用する際には、使用する波長に対し十分に広いグランドが必要となるのであるが、一辺が 10cm の立方体という形状である CUTE では特に受信周波数である 144MHz 帯 ($\lambda = 2m$) のアンテナに対してはグランドが不十分なままである。アンテナのマッチングを十分に取るなど対策を行っているのが現状である。

2 - 3 . 電源系

電源系のバス開発として、主に太陽電池セルより発電した電力の電力制御回路の開発、各搭載機器に適切な電圧を供給するレギュレータ回路の開発、および、搭載しているリチウムイオン 2 次電池充電制御回路の開発である。CUTE-I 電源系の開発では太陽電池セルより効率良く電力を取り出し、各系に高効率で電圧をレギュレートし、また内部機器で余った電力に関しては、全てリチウムイオン 2 次電池の

充電に用いるというのを目標に開発を進めている。

2 - 3 - 1 . 太陽電池発生電力制御回路および、リチウムイオン充電制御回路の開発

太陽電池の取り出せる電力は、発生電流と発生電圧の関係で決定される。その為、CUTE の姿勢が変動し太陽電池セルの入射面積の変化や、内部機器の送信機などのように消費電流値が変化する場合、その時々発生電流と発生電圧を制御して適切に太陽電池発生電力を取り出さなければならない。

常に発生電力の最大点（最適点）を見つけて電力を取り出す制御を PPT(Peak Power Tracking)制御というが、CUTE-I では、PPT 制御は複雑でありまた、開発が難しいという点から発生電圧を定電圧に固定して電力を取り出す制御回路を開発した。この制御回路は、今回使用する太陽電池セルの最適点が 4.5V 付近に存在するため、発生電圧を常に 4.5V になるように発生電流を調整するという制御である。実際は 5.0V 付近が最適点であるのだが、発生電圧は最適点電圧を超えると急激に発生電力が落ち込むため、最適点よりも低い電圧で安定させた方が安全である。一方、搭載するリチウムイオン 2 次電池の充電電圧は 4.2V であり、充電制御を FET でスイッチングするためのロスが約 0.3V であることから、最も無駄にならない充電電圧は 4.5V である。このことから、今回開発した発生電力制御回路は、太陽電池の発生電力をほぼ最適点付近で取り出し、その取り出し電圧はリチウムイオン電池の充電に最も無駄が無い電圧となっている。

またリチウムイオン充電制御回路では、充電電流を一定とせず、発生電力のうち内部機器で使われなかった電力は全てリチウムイオン 2 次電池の充電に割り当てるように充電電流を制御している。もし充電電流を一定とすると、CW 送信機のように突発的に内部機器消費電力が増加し、充電電力との和が太陽発電電力を上回ったときに、お互いが電力を取り合ってしまう、内部機器の動作が不安定になる可能性がある。この対策として、充電電流を可変にすることで太陽発電電力が内部機器消費電力を上回る限り、内部機器を安定して動作することができる。

今回 CUTE-I 用に開発した発生電力および充電制御回路は、上記の様な制御を、搭載計算機などで制御するのではなく H/W のみで実現し信頼性を高めている。また、FM 送信時は、消費電力量が発生電力ではまかなう事が出来ない、このような場合には電力制御回路は動作せず、制御回路の電圧をリチウムイオンの電池電圧まで下げ、リチウムイオン 2 次電池より電力を供給する。また、開発した充電制御回路では、リチウムイオン 2 次電池の充電電流に上限リミットを設けていない。これは、CUTE-I で搭載する太陽電池セルにおいて、最も発電した電流全てが充電に使われたとしても、搭載リチウムイオン 2 次電池は 1C 充電以下であるからである。

CUTE-I では、この発生電力制御回路の信頼性が重要である。その為、制御部分は 2 系統あり、2 系統とも正常の時は 1 系統が常に支配的に制御し、仮

に 1 系統に不具合が出た場合でも可能な限り対応できる冗長系を構成している。

2 - 3 - 2 . 高効率レギュレータの開発

CUTE-I のメインバスは 3.3V である。しかし CW 送信機の温度補償型水晶発振器(TCXO)が 3.3V 駆動の適当な物がみつからず 5.0V 駆動である。その為、電源系では、電力制御部の電圧を 3.3V および 5.0V に高効率でレギュレートしなければならない。

太陽電池発生電力制御部の電圧は先述の通り、太陽電池が発電しているときは、約 4.5V であり、パケット送信時および、食時の時は、リチウムイオン 2 時電池電圧の 3.6~4.2V である。その為、3.3V は降圧 DC-DC コンバータ回路、5.0V は昇圧 DC-DC コンバータ回路を開発した。DC-DC コンバータは、他のレギュレータ方式に比べ高効率である一方、出力リップルが大きくまた回路が複雑になる。CUTE-I では、効率の良い DC-DC コンバータ IC を調査し、開発を行った。EM 回路では、出力リップル 50mV 程度、効率 85%程度を実現した。図 8 に CUTE-I の C&DH 系および電源系 EM 基板を示す。

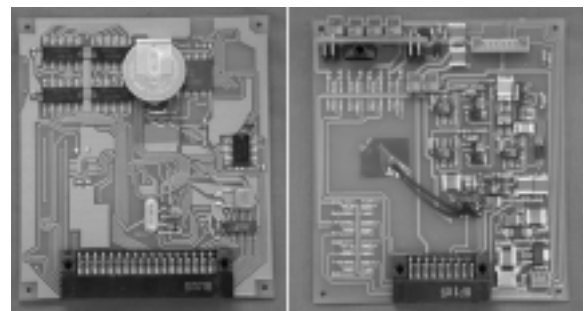


Fig.8 CUTE-I C&DH および電源系 EM 基板

2 - 3 - 3 . 放射線対策

軌道上での放射線による影響は、主に Single Event Latchup(SEL), Single Event Upset(SEU), Single Event Burnout(SEB), Single Event Gate Rupture (SEGR), Total dose などがあげられる。このうち、CUTE-I では、小型でありミッション期間も短いという点から Total dose 対策は行わない。SEB や SEGR に関しても CUTE-I では、対策が難しいという点から特別な対策をしない。SEU に関しては、プログラムカウンタ等のデータが bit 反転した場合、プログラムの暴走が予想されるが、これは WDT を用いることである程度回避できると考えている。また SEL 対策として、開発当初は電流センサなどで電流を検出し、大電流が流れた時に FET で元の電源ラインを切るなどを検討した。しかし、電流センサが SEL を起こす可能性があり、また MOS FET も、SEB や SEGR を起こす可能性があるため、比較的放射線に強いと言われるバイポーラトランジスタのみで大電流を検出する回路を作成する事にした。しかし、作成した回路を試験したところ CW 送信機の動作によるノイズなどで誤動作する可能性が出てきたためこの回路の採用も見送りになった。

そこで、CUTE-I では大電流が流れると内部に熱

を持ちある一定の温度以上になると急激に抵抗値が上がり電源ラインを切る素子を用いる事にした．この素子は，電流が切れて素子の温度が下がってくるとまた抵抗値が元に戻り電流が流れるというものである．また，抵抗値が再び低くなるにはしばらく時間が掛かるため，SEL を起こした素子の冷却時間も取得適切に動作すれば SEL 対策になるのではないかと考えている．

2 - 4 . ノイズ対策

CUTE-I の EM において大きく問題になったのはノイズであった．特に CW 送信機が動作する時に電源ラインに大きくノイズが乗るという現象が起こった．現在，このノイズの原因を通信系・電源系を中心に行っている．回路パターンの再検討，フィルタの挿入，シールドなどノイズ対策を FM では適用する予定である．

3 . 三陸沖大気球実験

5 月下旬に三陸沖で行われた大気球実験は，気球に CUTE-I の BBM を搭載し，低温下での各バス系の動作確認および，通信系の長距離試験を確認するために行われた．使用した BBM は，電源系が ISAS から供給される 1 次電池を用いる以外，全て実際に搭載予定の機器を用い，送信出力も実際の出力程度に設定した．これは，今回 CUTE で一番の問題になっているのは電力不足であり，送信出力を十分には確保する事ができない．その為，実際の送信出力以上で長距離試験を行っても，距離に対する機能試験および問題点が発見出来ない可能性があるからである．

3 - 1 . 実験結果

本衛星には以下の様に無線機を 3 台搭載している．

- ・ 430MHz 帯 CW 送信機（出力 100mW）
- ・ 430MHz 帯 FM 送信機（出力 350mW）
- ・ 144MHz 帯 FM 受信機

また，バックアップ回線として，ISAS 側に用意していただいた FM 送受信機を使用した．これらの無線機を使用することで，気球に搭載された衛星の過酷な環境下での動作状態の把握を行うことができた．

以下に動作結果を示す．

- ・ 実験を通して，CW 送信機からの電波を受信し，ハウスキーピングデータを取得することができた．
- ・ 通信距離 10km 程度で東工大の FM アップリンク回線を使った地上局からのコマンドが通らなくなった．
- ・ 通信距離 40km 程度で東工大の FM ダウンリンクが通らなくなり，データを受信することが出来なくなった．
- ・ 実験を通して，ISAS ダウンリンク，アップリンクとも正常であったため，衛星がさらされる温度環境などのデータを取得することができた．これらのデータを利用して，東工大回線を利用した，コマンド送信，ダウンリンク受信が出来なくなった原因を探ることができた．

以下に，気球の高度，通信距離およびそのときに発生したイベントをまとめたものを示す．

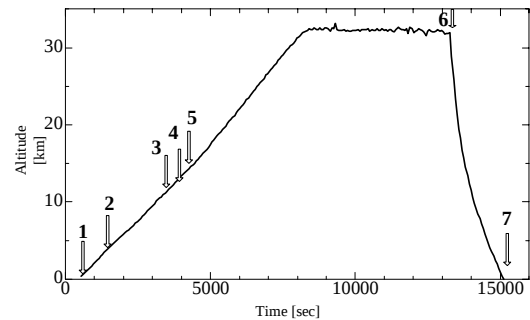


Fig.9 気球高度

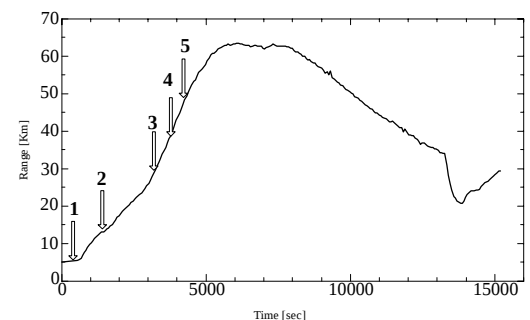


Fig.10 地上局からの気球の距離

Table.1 イベント表

	JST	Event
1	7:37	Balloon was Released
2	7:54	Command (Titech UpLink) from Ground Station was not received.
3	8:29	We can not demodulate the data of Ax 25 packet.
4	8:34	We can not demodulate the data of SRL packet.
5	8:39	We can not receive any FM RF signals.
6	11:11	Satellite was separated from Balloon.
7	11:42	Splashdown. The transmission of CW transmitter was ended.

気球の高度および通信距離は ISAS の測距から得られたデータである．

次に，CUTE-I の置かれた温度環境を示す．

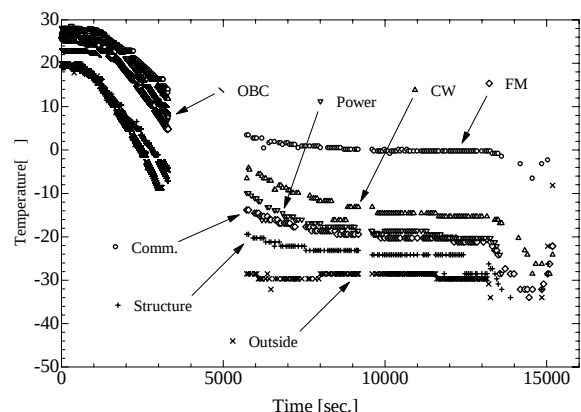


Fig.11 温度データ(東工大ダウンリンク)

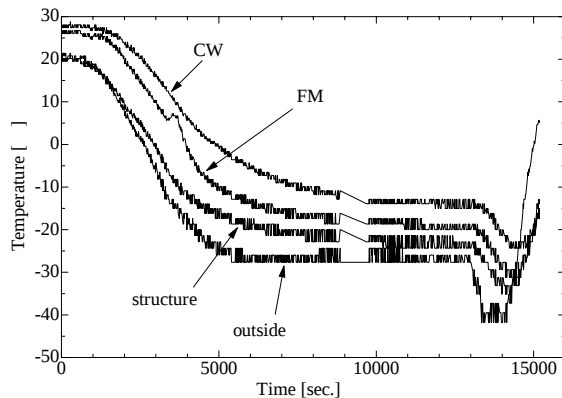


Fig.12 温度データ(ISAS ダウンリンク回線)

図 11 は途中でデータが切れてしまっているが、前半が FM テレメトリデータ、後半が CW テレメトリデータである。これは、地上局では受信機は 1 つしかなかったため、FM のテレメトリと、CW のテレメトリは同時には受信できなかったためである。図中の番号は、表 1 に示したイベントと対応する。

実験終了直後は、不具合が生じたのは無線機が低温環境にさらされたことによるものと考えていた。事実、現在使用している無線機は-20 度より低い温度環境では正常に動作しないことが分かっている。しかし、今回の実験の場合、地上局からのコマンドが通らなくなった時点での衛星搭載の受信機の温度は 28 度程度であるので、この温度条件で不具合が生じたとは考えにくい。また、FM のパケットがデコードできなくなった時点での無線機の温度も 0 前後であり、この程度であれば問題はないはずである。また、気球実験の予備実験として真空環境での動作試験を行っていたが異常は見られなかった。

上記のことから、本実験で通信が出来なかったのは、温度や真空などの環境によるものではなく、通信系のシステムそのものに問題があることが考えられる。これは、近距離での通信実験では顕著にならなかったが、遠距離の通信実験を行うことで初めて明らかになってきた問題であると考えられる。

通信システムには、コマンドの処理やテレメトリデータのエンコード等を行う通信系回路部分と、無線機の大きく分けて 2 つに分けられる。

まず、通信系回路であるが、この回路のステータスは ISAS のダウンリンクのデジタルデータから知ることができるようになってきている。これらのデータによると、データパケットの生成や設定された間隔での無線機へのデータ送信は正常であることが確認されている。また、ISAS のコマンド回線を利用して、これらの回路のリセットを行った結果正常にリセットがかかったことも確認されている。

よって、通信系システムのうち、とくに無線機自体に問題があることが分かった。このため無線機の検証を専門家の方のアドバイスを頂きながら検証した結果、以下のような問題が見つかった。

(1)CW 送信機の通信回路で 436.835MHz を生成する過程で 145.7MHz の周波数を生成していることがわかった。145.835MHz が FM 受信機の周波数である

ため、CW 送信機で生成された 145.7MHz の電波を受信機が受信してしまい、受信感度が落ちてしまっていたことがわかった。

(2)3 つの無線機を並べて配置してあるが、無線機間のシールドが不十分であった。

(3)受信機の受信レベル設定の検討が不十分であった。近距離の通信実験においてしか受信レベルを調整できていなかったため、遠距離での通信実験においてこの問題が顕著に表れた。

(4)受信機のアンテナのインピーダンスマッチングが不十分であった。

(5)本実験での不具合の直接の原因は温度である可能性は低いですが、本衛星で使用している無線機は民生品を使用しているため、使用している水晶の動作保障範囲が-20 から 50 度程度である。低温においては受信した信号の周波数がひずんでしまう可能性があり、正常にコマンドが通らない可能性がある。

(1)に関しては、基本周波数を変更することで対処した。(2)は無線機ボックスを作ることで、シールド効果を高めた。(3)はシグナル・ジェネレータを使い受信機の感度調整を行うことで対処した。(4)はマッチング回路を用いることでインピーダンスマッチングを行う予定である。(5)は、動作温度範囲の広い水晶発振器を用いることで改善した。

今回、実際の打ち上げの前にこのような実験の機会を与えられたことにより、現在の通信システムの問題点が明らかになった。このため本実験は大変有意義であったと考えられる。

4. まとめ

本稿では、CUTE-I のバス開発および、大気球実験結果と改善点を示した。現在、CUTE-I の FM を制作中であり、EM で問題になった点、専門家からご指摘頂いた点を改善し、より完成度の高い CUTE-I を完成させたいと考えている。

謝辞

CUTE-I のバス開発に関して様々なアドバイスをしていただいた宇宙開発事業団の方々や SSC の白子悟朗氏、また気球実験に関して宇宙科学研究所の関係者の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 中谷幸司, 此上一也, 澤田弘崇, 宇井恭一, 程島竜一, 前田直秀, 岡田英人, 宮下直己, 居相政史, 長浜謙太, 占部智之, 山口伸斉, 鶴見辰吾, 森治, 松永三郎, "東京工業大学 CubeSat2001: CUTE-I の開発概要", 第 45 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2001
- [2] 東京工業大学 CubeSat プロジェクト:
<http://horse.mes.titech.ac.jp/srtlssp/>