

# 東京大学 CubeSat 気球実験計画書

## 1. CubeSat とは

東京大学中須賀研究室では、10cm 立方・重量 1kg の超小型衛星 CubeSat を 2001 年 11 月の打ち上げる予定である。過去 2 年間の CanSat プロジェクト(350ml ジュース缶大の衛星モデル。アマチュアロケットにより高度 4km まで打ち上げ、大気中を降下しつつ実験を行う。図 1 参照)で得られた経験を基に、我々としては初めての軌道上衛星を設計・開発している。

CubeSat プロジェクトの目的は、「学生の手で超小型人工衛星システムに必要な技術を獲得すること」である。東大 CubeSat のミッションとしては、

- ・ビーコンによる衛星バス情報の取得
- ・コマンドアップリンク/データダウンリンク
- ・民生部品の宇宙実証
- ・アマチュア無線家へのビーコンデータ公開サービス
- ・CMOS カメラによる撮像実験(アドバンスドミッション)

が挙げられる。



図 1 東大 CanSat(1999)

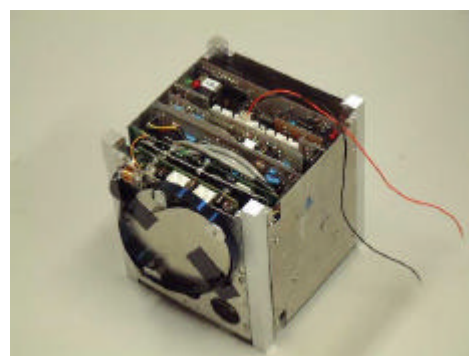


図 2 東大 CubeSat (BBM)

## 2. 実験の目的

衛星バスの中でも通信系は非常に重要な要素であり、ミッションの成否に直結するため、打ち上げ前に長距離で試験することは非常に有意義である。

本実験の目的として以下の点を挙げる。

- (1) 東京大学 CubeSat の長距離における通信機能の実証および 2 つの通信系の性能比較
- (2) CubeSat 用地上局の機能確認および追尾・管制の実習
- (3) 超小型人工衛星のための通信回線設計へのフィードバック

東大 CubeSat は、ダウンリンク 2 系統(430MHz 帯：ビーコン・テレメトリ)、アップリンク(144MHz 帯)の計 3 系統の通信系を持つ。衛星搭載アンテナに関しては、ダウンリンク 2 系統は半波長ダイポールアンテナを共用し、アップリンクは 1/4 波長モノポールアンテナを用いる。アンテナはロケット内では折り畳まれている必要があるため、弾性の強い鋼を用いたワイヤーアンテナとしている。表 1 に東大 CubeSat

の通信回線諸元を、図 3 に CubeSat アンテナ配置を示す。

表 1 東大 CubeSat 通信 3 系統諸元

	テレメトリ	ビーコン	アップリンク
周波数(帯域幅)	430帯(20kHz)	430帯(5kHz)	144帯(20kHz)
方式	FM	CW通信	FM
出力	800mW	100mW	TBD
データレート	1200bps	50wpm	1200bps
衛星側アンテナ	半波長ダイポール	テレメトリと共用	1/4 モノポール

東大 CubeSat では、民生品をベースにした 2 種類の通信系を開発している。今回の実験で両者の性能を比較し、設計へと反映する。2 種類の通信系を COMM1、COMM2 と呼ぶこととする。COMM1,COMM2 の無線機の構成は以下のようなものである。

表 2 COMM1、COMM2 無線機諸元

	COMM1			COMM2	
	FMTx1	CWTx1	FMRx1	FMTx2	FMRx2
周波数(MHz)	430帯	430帯	144帯	430帯	144帯
送信電力(mW)	800	100	-	1000	-
動作電圧(V)	5	4.2	4.2	7.2	3.8
消費電力(mW)	3500	475	125	4000	40

COMM2 に関しては CW 送信機は搭載しない。

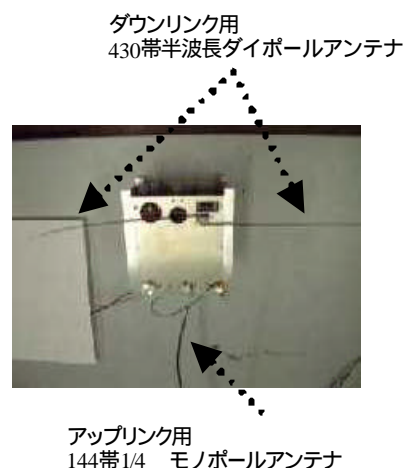


図 3 CubeSat アンテナ配置

### 3. 実験システム

#### 3.1 実験システムの概要

COMM1、COMM2 をそれぞれ CubeSat と同一の構造に収納する。2 つの Cube を東大 PI 用発泡スチロールボックスに入れる。COMM1,COMM2 とともに気球の宇宙研バス部から電力供給を受け、また宇宙研テレメータにデータを伝達すると同時にコマンドを受け取るが、宇宙研とのインターフェースは東大 PI 内のインターフェース部が行う。インタフェース部は COMM1 と COMM2 の送受信切替も行う。

気球が高度 30km まで上昇する間、三陸地上局でダウンリンク・アップリンクの試験を行う。また、東京大学本郷キャンパス、都立航空高専(東京都荒川区)、電通大菅平衛星通信局の各地上局でもダウンリンクの受信、およびアップリンクを行う。

気球の位置に関しては、宇宙研側の測距データによる推定(精度 300m 程度)と同時に宇宙研側ペイロード、東大側ペイロードの双方に GPS レシーバを搭載し、宇宙研側テレメ回線、東大 CubeSat テレメトリダウンリンクで位置データを取得する。

実験の手順についての詳細は「東大 CubeSat 気球実験マニュアル」を参照されたい。

図 4 に気球実験システム図を示す。

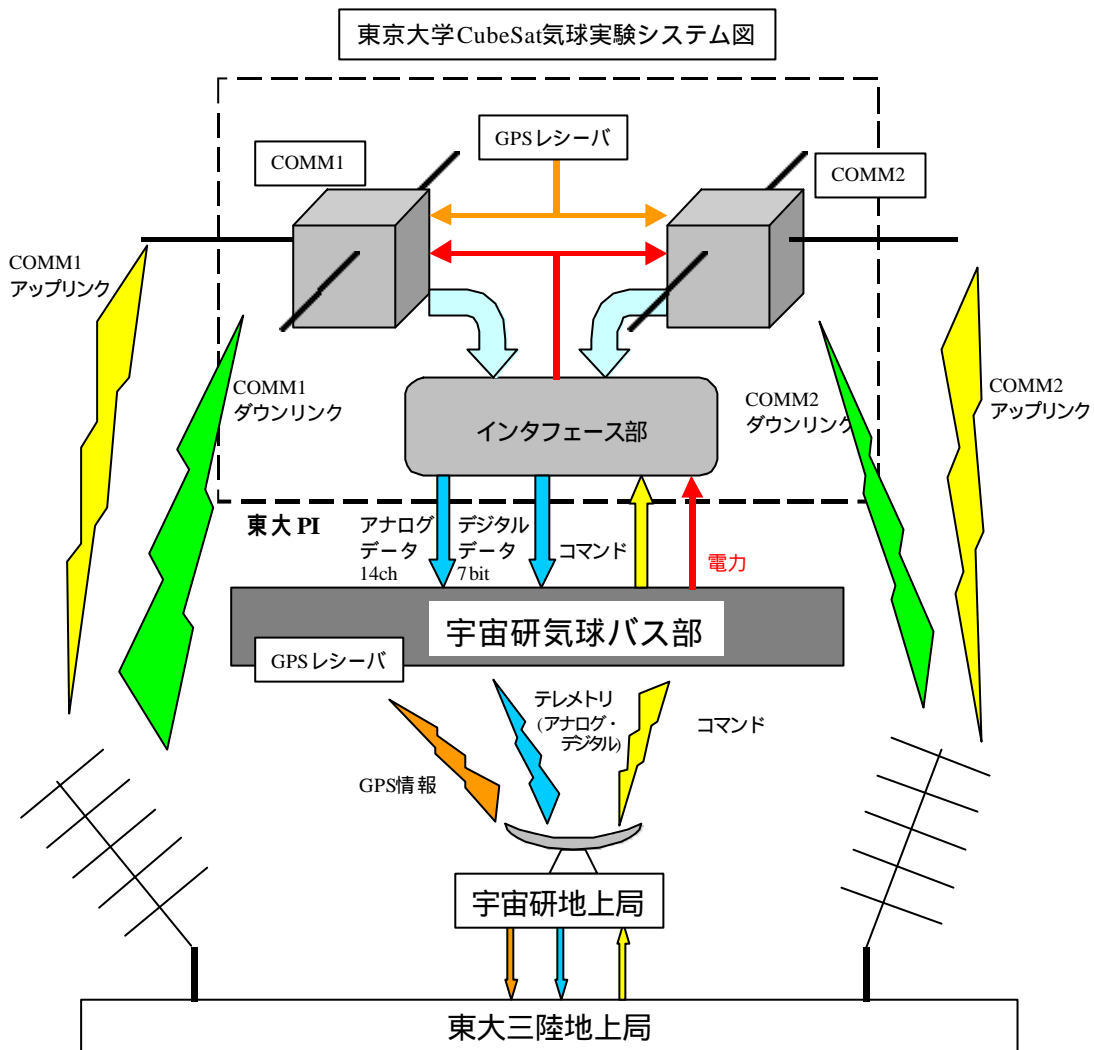


図 4 東大 CubeSat 気球実験システム図

各部の機能および役割をまとめると、

東大 PI：東大各地上局とダウンリンク・アップリンク実験。

宇宙研気球バス部から電力供給を受け、宇宙研テレメータとデータ送信・コマンド受信。

宇宙研気球バス部：宇宙研地上局とデータ送信・コマンド受信(宇宙研テレメ回線)。

東大 PI へ電力供給・データ・コマンドやりとり。

搭載 GPS レシーバの情報を宇宙研地上局へ送信(テレメ回線と別系統の通信機)

宇宙研地上局：宇宙研テレメ回線を用いた気球との送受信

受信データの東大三陸局への送信

気球切り離しコマンドの送信

東大三陸地上局：東大 PI 内の COMMI1,2 とのアップリンク・ダウンリンク

宇宙研回線のデータ受信

### 3.2 東大ダウンリンク形式

#### (1) テレメトリ(COMM1,COMM2 とも)

Flag	送信先コールサイン	送信元コールサイン	ID	パケット番号	GPSデータ	ダミーデータ	Flag
Flag	: 1 バイト . <0x7e>						
送信先コールサイン	: 7 バイト . JO1ZPG<0x60>						
送信元コールサイン	: 7 バイト . UTSXI3<0x61>						
ID	: 1 バイト . COMM1 と 2 の識別 . <0x01>or<0x02>						
パケット番号	: 1 バイト . <0x00>~<0xff>						
GPS データ	: 30 バイト . UTC 時刻、気球位置、測位状態、使用衛星番号						
ダミーデータ	: 30 バイト . CubeSat 本番では使用する領域だが気球実験ではダミー。						

#### (2) ビーコン

UT1 [www.space.t.u-tokyo.ac.jp](http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp)

をモルス信号で送信する . 50wpm(word per minute)の速度で 30 秒程度で送信可能 . デコードは人間及び MD に録音してデコード装置にかける .

#### (3) アップリンク

アップリンクコマンドでインターフェース部が行う COMM1 と COMM2 の送信切替えのインターバルを変える . これは、頻繁に送信すると、消費電力が大きいため CubeSat 温度が高くなるためである . インターバルの値は真空試験の結果を踏まえて設定する . コマンドには次の 4 種類を設ける .

- fast : インターバル短く
- norm : インターバル通常
- slow : インターバル長く
- cube : 現在のインターバルを維持

実験中は COMM1、COMM2 の温度データを見ながらコマンドを送る . アップリンクが成功したかどうかは宇宙研テレメ回線でも確認される .

### 3.3 宇宙研テレメ回線

宇宙研テレメ回線のデータフォーマットは次のようである .

同期バイト1	同期バイト2	フレームカウンタ	デジタル8bit	アナログ1ch	...	アナログ16ch
--------	--------	----------	----------	---------	-----	----------

各区切が 1 バイトに対応している . 同期バイト 1 は 0xEF、同期バイト 2 は 0x93 である . アナログチャンネルの AD 変換分解能は 8bit である .

表 3 に宇宙研テレメ回線割り当てを示す(アナログ・デジタル・アップリンクコマンド)。

表 3 宇宙研テレメ回線仕様

	アナログ		デジタル
A1	COMM1受信機受信強度	D1	FMTx1送信 / 待機
A2	FMTx1供給電圧	D2	CWTx1送信 / 待機
A3	FMTx1消費電流	D3	FMRx1受信回数カウンタ
A4	CWTx1消費電流	D4	FMRx1受信回数カウンタ
A5	FMRx1消費電流	D5	FMTx2送信 / 待機
A6	FMTx1温度	D6	FMRx2受信回数カウンタ
A7	COMM1構体温度	D7	FMRx2受信回数カウンタ
A8	FMTx2供給電圧	D8	未使用
A9	FMRx2供給電圧		コマンド
A10	FMTx2消費電流	C1	気球切り離しカット
A11	FMRx2消費電流	C2	送信間隔短
A12	FMTx2温度	C3	送信間隔通常
A13	COMM2構体温度	C4	送信間隔長
A14	気圧センサ	C5	COMM2停止
A15	未使用		
A16	未使用		

#### 4. 地上局構成

本気球実験で使用する地上局は以下の4つである。

- 三陸局(中須賀先生 + 学生 4 名) : 受信確率の最も高い局。宇宙研テレメ回線により CubeSat の状態を把握。GPS により気球の位置を把握。実験の運用を管理する。送信周期の切替えやアップリンクする地上局の指定を行う。
- 東大本郷局(3 名) : 軌道上の CubeSat の運用で中心となる局。三陸からの気球の位置情報やアップリンク指令をその他の各地上局に伝達する。また、各地上局の受信状況を把握する。
- 都立航空高専局(東大学生 1 名 + 高専生数名) : 400MHz 帯のパラボラアンテナを持つ。また、本郷局よりも可視である可能性が高い。
- 電通大菅平局(1 名) : 衛星受信局であるため設備が整っており、高度が高いため可視の可能性が高いことと、雑音が少ない利点を持つ。

各地上局の関係は図5のようになっている。

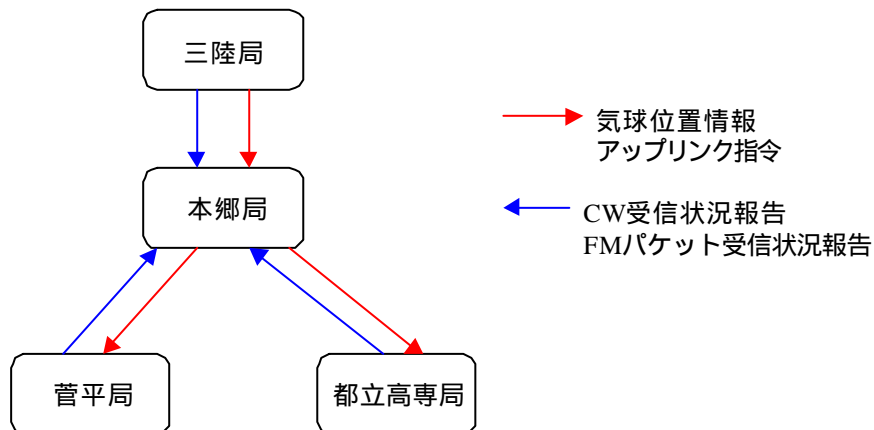


図 5 地上局関係図