

通信できなきゃ
CubeSatはただの箱
— 確実な衛星通信をするために —

愛知工科大学 工学部

西尾正則

超小型衛星の生命線

1. 構造系

- ✓とにかくブツを入れないと
- ✓ISSからだど、なくてもよいかも(今はNGだが)

2. 電源系

- ✓コンセントはないので
- ✓太陽電池が必須ではない(運用期間にもよるが)

3. 通信系

- ✓どんな方法でもよいから、様子を知りたい
- ✓電波、光、旗、狼煙(のろし)...
- ✓電波の時は相互通信が基本(電波放射を止めないといけない)



C&DHは？

これだけでも、やれるサイエンスはある。

通信を電波で

- 最初の選択肢

アマチュア無線局 OR 実験試験局

※国際通信連合 (ITU) の区分では、アマチュア業務区分はあるが、実験試験局という区分はない。

- 第3の方法

衛星携帯電話

「EGG」ミッション (3Uキューブ)

アマチュア無線局で

- 特徴・利点

- ✓ 比較的、無線局免許が取得しやすい
- ✓ 落成検査も比較的簡便(地方の総通から来ていただける)
- ✓ 搭載機器・地上機器とも比較的安価
- ✓ 世界中の無線局の協力が得やすい
- ✓ アマチュア無線局からの技術協力(ハード、ソフト)

- 注意点

- ✓ 実験データのダウンロードの手段のみでの利用はNG
- ✓ 通信情報の秘匿はNG
- ✓ 通信速度をあまり大きくできない
- ✓ 運用は、第3級以上のアマチュア無線技士のみ
- ✓ アマチュア無線コミュニティでの活動を忘れずに

実験試験局で

- 特徴・利点

- ✓どんなデータでも送れる
- ✓高速通信が可能(他機関との干渉調整ができれば)
- ✓どんな周波数でも使用できる(他機関との干渉調整ができれば)
- ✓無線従事者の資格がなくても運用可能(監督者のもとで)

- 注意点

- ✓無線局免許の取得が厳格
- ✓落成検査は厳しい(登録点検等事業者に依頼が多い)
- ✓搭載機器・地上機器が高価(特注品)
- ✓すべて自力で通信する
- ✓商用利用はNG(あくまで通信実験。ただし、実費負担はあり)

電波で通信するには

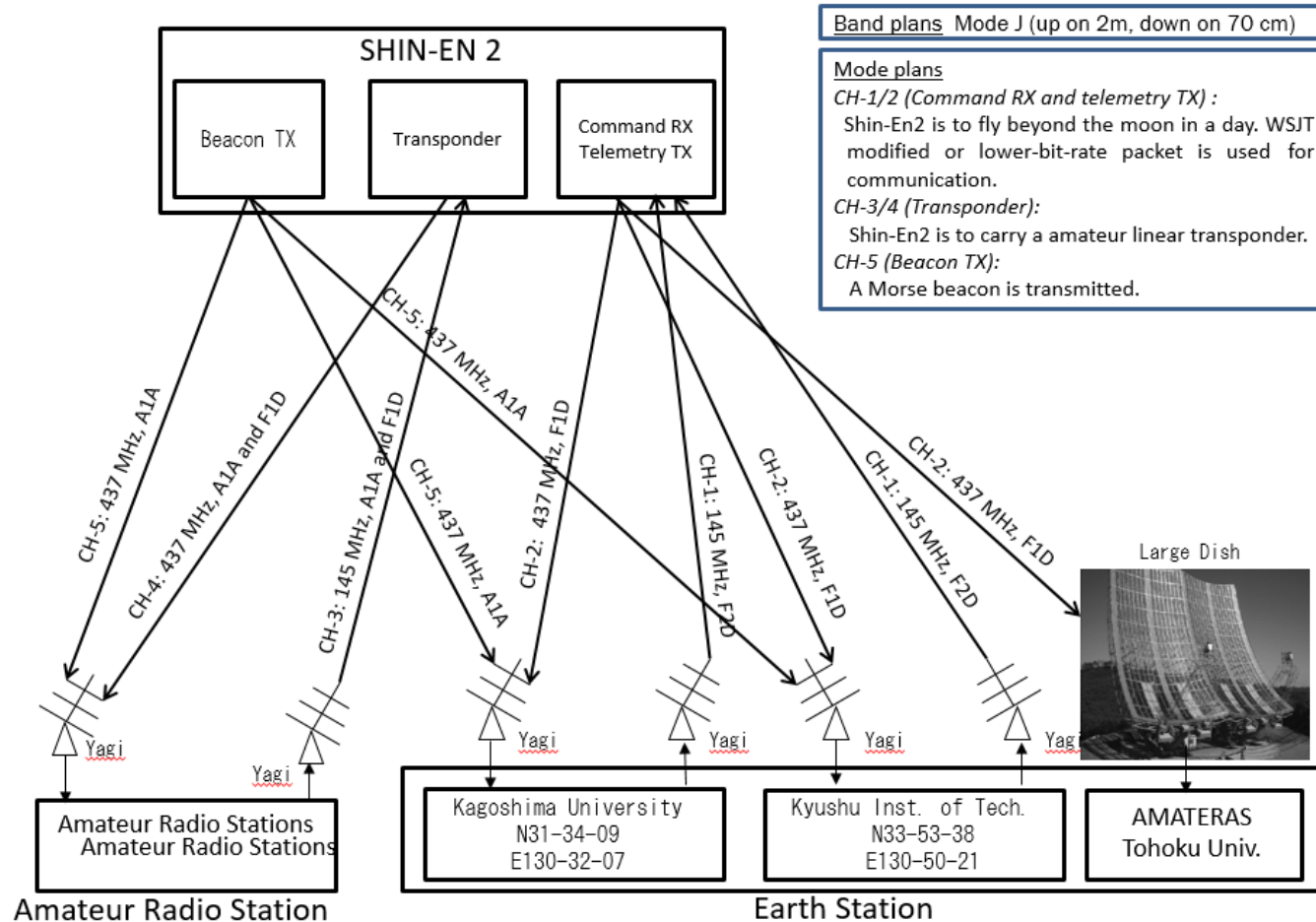
1. どの周波数で運用するか
2. どんな通信形態か(宇宙通信概念図)
3. 通信は成立するか(回線設計)
4. 必要な衛星追跡精度は実現可能か
5. 無線従事者免許を保持している人はいるか
6. 国際調整を行う(国外)
7. 無線局免許状の手続き(国内)

どの周波数で運用するか

	VHF帯／UHF帯	マイクロ波帯
追跡	比較的「楽」	高周波ほど大変
アンテナ	展開機構が必要	固定型
通信速度	低速(狭帯域)	高速(広帯域)
機器の価格	比較的「安価」	高価
消費電力	少ない(変換効率高)	大きい(変換効率低)
変調形式	FM(FSK)	PM(PCM) 同期必要
ドップラーシフト	少ない	大きい
混信	多い	少ない

どんな通信形態か

Frequency plans of SHIN-EN2



通信は成立するか(回線設計)

パラメータ

- ✓ 周波数
- ✓ 通信速度、占有帯域幅
- ✓ 送信電力
- ✓ 通信距離 ← 高度、高度
- ✓ アンテナ利得

計算結果

- ✓ 回線マージンがプラス ※大きすぎないことも必要
- ✓ PDF (Power Flux Density) を満たす ← 実験局の場合

No.	Item	Unit	CH-1 (VHF-Up)	CH-2 (UHF-Down)		Comment
				I	II	
	Modulation / Format		F2D/AX.25	F1D/WSJT		
	Bit rate (BR)	bps	10	4	4	
(1)	Transmission frequency	MHz	145	437	437	
(2)	Transmission power	dBm	47.0	29.0	29.0	50W for Up 0.8W for WSJT.
(2a)	Bandwidth	kHz	16.0	3.0	3.0	
(2b)	Maximum power density	dBW/Hz	-25.1	-35.7	-35.7	=(2)-(10log(2b))-60
(3)	Transmitter feeder loss	dB	3.0	0.5	0.5	
(4)	Transmitter antenna gain	dBi	15.0	0.0	0.0	
(5)	EIRP	dBm	59.0	28.5	28.5	=(2)-(3)+(4)
(6)	Polarization loss	dB	3.0	3.0	3.0	
(7)	Communication distance	km	384,400	1,153,200	7,688,000	CH-2/I earth-moon distance*3 CH-2/II earth-moon distance*20
(8)	Elevation Angle	deg	5	5	5	
(9)	Transmission loss in free space	dB	187.3	206.4	222.9	=32.4+20log(f[MHz]) +20log(d[km])
(10)	Ionospheric absorption loss	dB	0.5	0.5	0.5	
(11)	Rainfall loss	dB	0.1	1.0	0.1	
(12)	Antenna pointing loss	dB	0.2	0.2	0.2	
(13)	Receiver antenna gain	dB	0.0	20.0	34.9	
(14)	Receiver feeder loss	dB	0.5	1.0	1.0	
(15)	Receiver total signal power	dBm	-164.8	-160.0	-144.4	=(5)-(6)-(9)-(10)-(11)-(12)+(13)-(14)
(16)	Receiver noise power density	dBm/Hz	-164.8	-164.8	-164.8	-123 dBm(Typ)@3kHz
(17)	C/N0 (Expected)	dBHz	25.4	1.7	0.4	=(15)-(16) -10*log10(BW/3kHz)
(18)	Loss in mod/demod proc.	dB	0.4	-20	-20	Gain is shown by minus.
(19)	Noise bandwidth	dBHz	10.0	6.0	6.0	=10log(BR)
(20)	S/N0	dB	13.9	-6.5	-6.5	BER=1.0E-11
(21)	C/N0 (Required)	dBHz	23.9	-0.5	-0.5	=(19)+(20)
(22)	Link margin	dB	1.5	2.2	0.8	=(17)-(21)

必要な衛星追跡精度は可能か

- 高い周波数だと、自前の軌道決定が必要

無線従事者免許

- アマチュア無線局

- ✓ 第3級無線技士 3名以上(衛星のための社団局)

- 実験試験局

- ✓ 第2種陸上特殊無線技術士以上 最低1名

国際調整

基本的なことは
ここに書いてある

- 総務省のWebページ
周波数の国際調整について

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/process/freqint/>

The screenshot shows a web browser window displaying the '電波利用ホームページ' (Radio Use Web Site) of the Ministry of Internal Affairs and Communications. The page is in Japanese and features a navigation menu with links for 'HOME', '電波監理の概要', '電波利用に関する制度', 'ご案内/資料集', and '最新情報 | Q&A'. The main content area is titled '周波数の国際調整について' (About International Frequency Coordination) and includes a list of links for '1. 小型衛星通信網の国際周波数調整手続きに関するマニュアル' and '2. 国際調整の流れ'. The right sidebar contains buttons for '申請・届出をする' (Apply/Report), '無線局に関する電子申請' (Electronic application for radio stations), '申請書類などダウンロード' (Download application forms, etc.), '無線局情報を探す' (Search for radio station information), and '無線局情報検索' (Radio station information search). At the bottom, there is a '音声読み上げ 文字拡大機能' (Text-to-speech and text enlargement function) button.

いくつかのコメント

- できれば、2重冗長の通信回線を
- ビーコン+低速通信を分離後に自動起動
 - ✓衛星で何が起きているか判断するために
- いくつかのミッションは、地上からのコマンドを待たないでタイマー起動
- 所定時間ごとに地上からのコマンドがなければ、システムリセット(ウォッチドッグタイマー)

あとは、質疑で