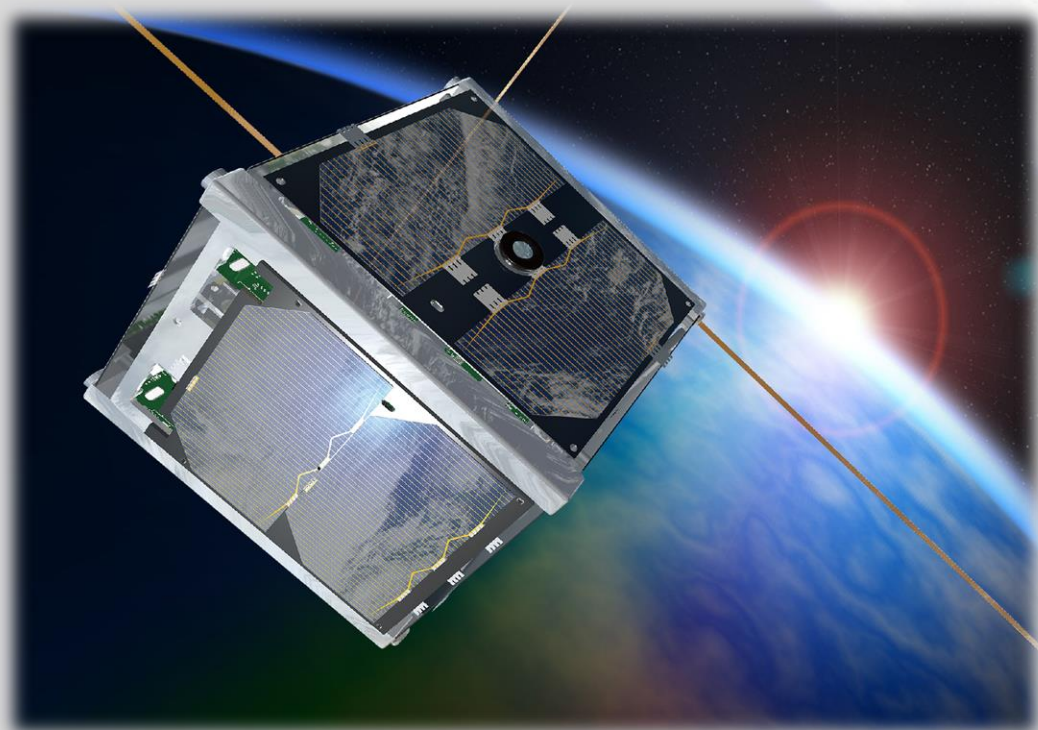


アマチュア通信技術実証衛星「NEXUS」の 運用結果及び成果

Mission Progress of Amateur Communication Technology Demonstration Satellite "NEXUS"



NEXUS 開発メンバー

日本大学

佐藤陸
中村壮児
中村涼太
藤井瞳
廣瀬佑香
宮崎康行

JAMSAT

今村謙之
上田穂積
小黒常隆
金子明
小内米太郎
後藤直
辻政信
深井貫
横田一弘

目次

1. NEXUS概要
2. 地上局システム
3. ミッション内容
4. ミッション進捗状況
5. アマチュア運用
6. 通信評価
7. まとめ
8. 今後の予定

1.NEXUS概要

- NEXUSとは

- JAMSATと日本大学・宮崎研究室によって共同開発された人工衛星
- 2019年1月18日(金)9時50分20秒(JST)に内之浦宇宙空間観測所から打ち上げ成功
 - ⇒現在, 運用中
- 従来の通信機より高速なCubeSat用通信機の軌道上評価を行うことが主なミッション
- アマチュア無線家の技術向上のための機会を提供することも目的の一つ



打ち上げ直後の記念写真



打ち上げ直後の運用の様子

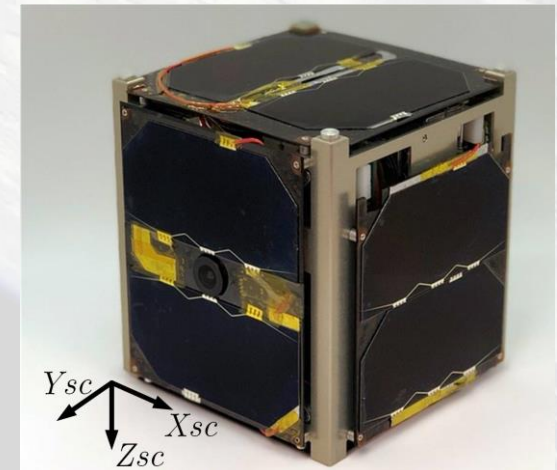
1.NEXUS概要

• NEXUSの諸元

➤ NEXUSのバス部の諸元は以下の通り

NEXUS基本諸元(バス部)

項目	内容	
投入軌道	太陽同期準回帰軌道(高度約500km)	
軌道寿命	約4年(定常運用：1年，後期運用：3年)	
サイズ, 質量	105.0×105.0×113.5 mm, 1.24 kg	
電源系	バス電圧：5.0±0.1 V 二次電池：Li-ionバッテリー, 1直列4並列 太陽電池：GaAs太陽電池, 2直列6並列	
通信系	・送信系(435MHz帯) CW：0.1W AFSK：0.8W,1200bps GMSK：0.8W,9600bps	・受信系(145MHz帯) AFSK：1200bps
構造系	主要構造部材：A7075-T7351	
姿勢制御系	非搭載	
熱制御系	バッテリーのみ0℃以上に制御	



NEXUSフライトモデル外観

1.NEXUS概要

• ミッション機器概要

① $\pi/4$ shift QPSK送信機

- 従来の通信速度より高速な通信速度での通信が可能
- 誤り訂正符号を有したCCSDSプロトコルの採用により、利得の向上を図る



$\pi/4$ shift QPSK送信機 外観

② FSK送信機

- 通信速度が可変であり、受信環境に応じて適切な通信速度の設定が可能



FSK送信機 外観

大きさ	80×40×10 mm	通信速度	38.4 kbps
重さ	15.5 g	送信周波数	435.900 MHz
動作電圧	3.33~3.5 V	送信電力	0.3 W
消費電流	680 mA	占有周波数帯域	25.890 kHz

大きさ	80×28×5 mm	通信速度	1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 14.4, 19.2 kbps
重さ	6.5 g		
動作電圧	3.5±0.1 V	送信周波数	435.900 MHz
消費電流	600 mA	送信電力	0.4 W

1.NEXUS概要

• ミッション機器概要

③ リニアトランスポンダ

- 145MHz帯でアップリンクされた音声を435MHz帯に変換し，ダウンリンク
- 145MHz帯の電界強度測定機能を有する



リニアトランスポンダ 外観

大きさ	80×86×10 mm	送信周波数	Up:145.930~145.900 MHz Down: 435.880~435.910MHz
重さ	64.6 g		
動作電圧	3.5±0.1 V	送信電力	0.5W
消費電流	930 mA	変調方式	CW, SSB

④ N-CAM (カメラシステム)

- 解像度や画像形式，画像効果などを細かく調整することが可能



N-CAM 外観

大きさ(基板)	70×30×10 mm	画角	H:63, V:49,D:75 deg
大きさ(カメラ)	30×30×23 mm	解像度	QVGA, VGA, SVGA, HD, FullHD, max(2592×1944 px)
重さ	23 g		
動作電圧	5.0 ±0.2 V	フレームレート(動画)	3.75~16.88fps
消費電流	500 mA	ROM/RAM	32/16 MB

2.地上局システム

• 地上局受信構成

- 偏波ダイバーシティ方式：水平偏波・垂直偏波を独立した系統で復調しデータを補完し合う

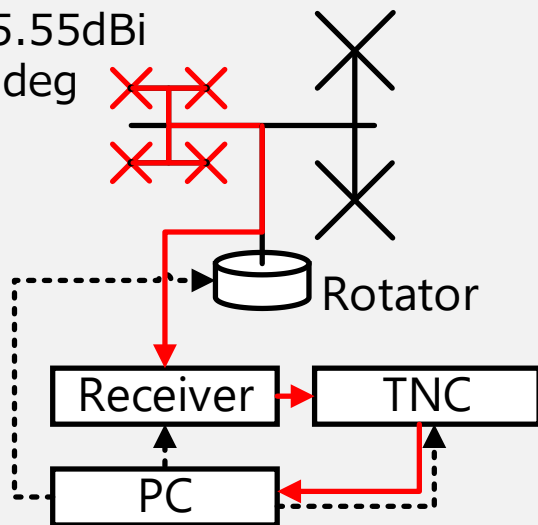
円偏波受信アンテナ x4

430MHz帯, クロス八木

利得：14.65~15.55dBi

ビーム幅：27~29deg

長さ：3.68m



円偏波受信
旧アンテナシステム

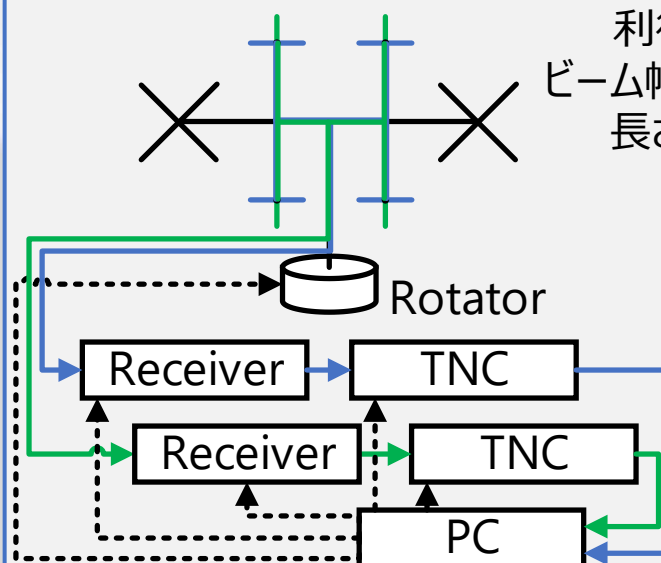
直線偏波受信アンテナ (水平 x4, 垂直 x4)

430MHz帯, 八木

利得：24dBi

ビーム幅：14deg

長さ：4.22m



偏波ダイバーシティ受信
新アンテナシステム

---▶ コマンドライン ➡ 円偏波受信ライン ➡ 水平偏波受信ライン ➡ 垂直偏波受信ライン

3. ミッション内容

サクセスレベル	ミッション項目	達成率
Minimum Success	(1) $\pi/4$ shift QPSK送信機の動作実証	100%
	(2) FSK送信機の動作実証	100%
Full Success	(3) $\pi/4$ shift QPSK送信機の実用性確認	30%
	(4) FSK送信機の実用性確認	60%
	(5) リニアトランスポンダの動作実証	100%
	(6) N-CAMの実用性確認	100%
Extra Success	(7) 軌道高度約500kmにおける145MHz帯の電界強度マップの作成	50%

・ ミッション達成条件

- (1) $\pi/4$ shift QPSK変調で送信し，地上で復調を確認
- (2) GMSK変調で送信し，地上で復調を確認
- (3) 実効スループットが従来の通信機(GMSK9600bps)の3倍以上
- (4) 実効スループットが従来の通信機の1.5倍以上 かつ 各通信速度で通信可能である



$$\frac{\text{復調できたダウンリンクデータ量}}{\text{通信時間(データ送信開始から地上局との通信終了まで)}} [\text{bps}] \quad \text{ことを確認}$$

3.ミッション内容

サクセスレベル	ミッション項目	達成率
Minimum Success	(1) $\pi/4$ shift QPSK送信機の動作実証	100%
	(2) FSK送信機の動作実証	100%
Full Success	(3) $\pi/4$ shift QPSK送信機の実用性確認	30%
	(4) FSK送信機の実用性確認	60%
	(5) リニアトランスポンダの動作実証	100%
	(6) N-CAMの実用性確認	100%
Extra Success	(7) 軌道高度約500kmにおける145MHz帯の電界強度マップの作成	50%

・ ミッション達成条件

- (5) 日本大学の地上局から145MHz帯でアップリンクした音声を，リニアトランスポンダを中継して，他の地上局で435MHz帯でダウンリンク
- (6) **Full HDサイズ以上**の画像をダウンリンク
- (7) 高度約500kmにおける145mHz帯の地球全体の電界強度マップを作成

4. ミッション進捗状況

- (1) $\pi/4$ shift QPSK送信機の動作実証

➤ $\pi/4$ shift QPSK変調で衛星から送信し、復調を確認(2019/1/23)



⇒ **ミッション達成**と判断

- (2) FSK送信機の動作実証

➤ GMSK変調で衛星から送信し、地上で復調を確認(2019/1/23)



⇒ **ミッション達成**と判断

4. ミッション進捗状況

- (3) $\pi/4$ shift QPSK送信機の実用性確認

- 現在の復調機では、S/N比が悪い
- 復調機が完成次第、実用性確認を行う。

Receiver

ソフトウェア無線(SDR)
Ex) LimeSDR,
BladeRF, USRP

USB

PC

GNU Radio(Windows or Linux)
or
Matlab-Simulink

Decode $\pi/4$ shift QPSK & CCSDS
Protocol



BladeRF



LimeSDR

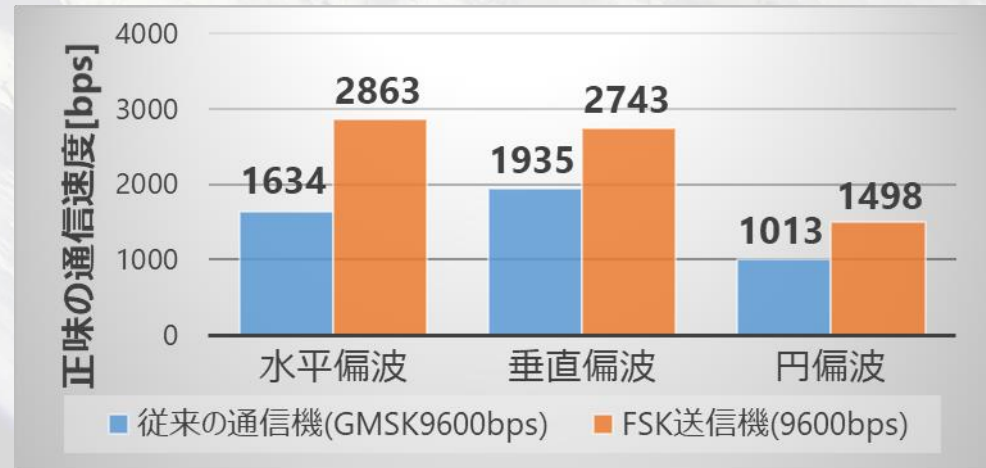


USRP

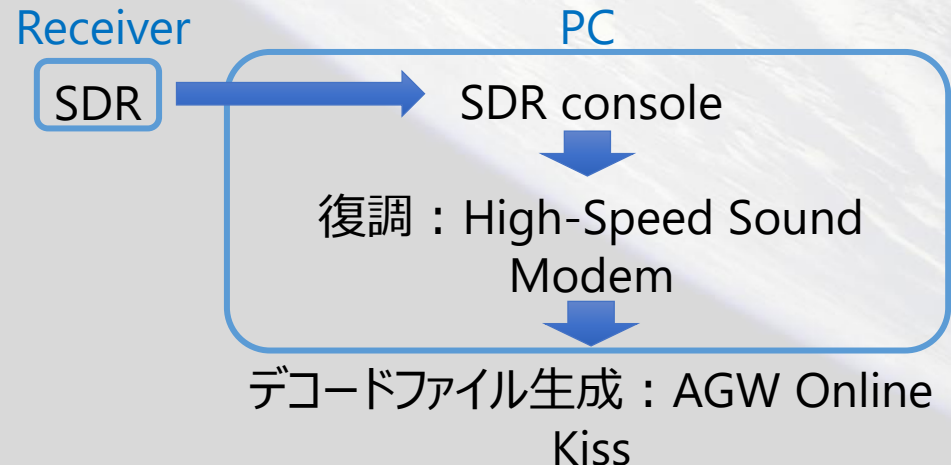
4. ミッション進捗状況

• (4)FSK送信機の実用性確認

➤ FSK送信機は、従来の無線機より、実効スループット(正味の通信速度)が約**1.55倍**であった。今回の結果は、9600bpsでの結果なので、今後は、異なる通信速度での実用性を確認する。



➤ 現在は、19200bpsでの通信評価を行える段階なので、準備が整い次第、通信評価を行う。

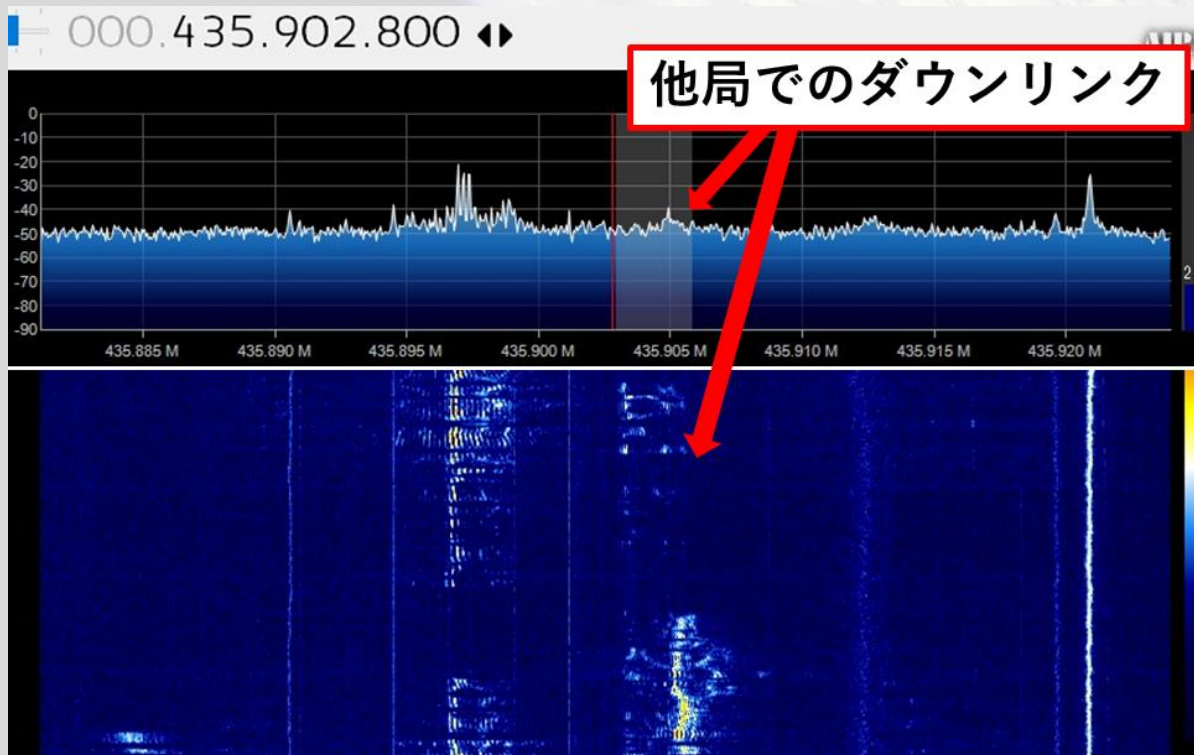


4. ミッション進捗状況

- (5) リニアトランスポンダの動作実証

➤ 送信周波数145.915MHz, 送信出力10Wで, 日本大学地上局から
音声をアップリンク(2019/1/26)し, その音声を他局にて435MHz帯でダ
ウンリンクすることに成功

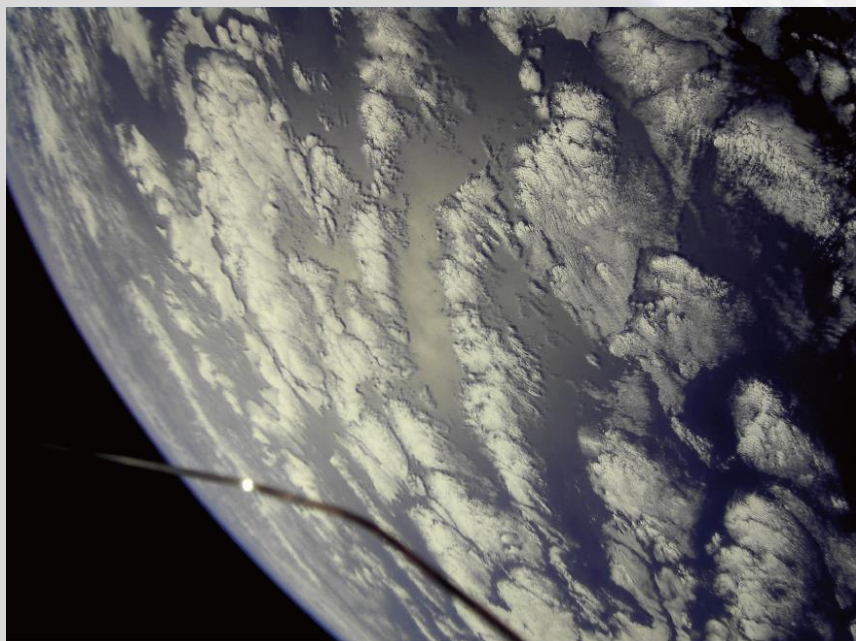
⇒ **ミッション達成**と判断



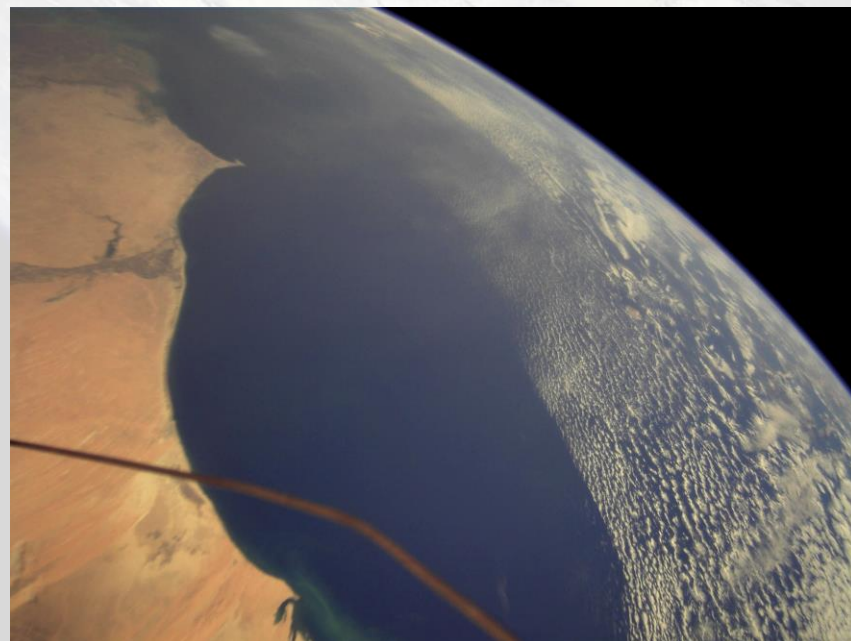
4.ミッション進捗状況

- (6) N-CAMの実用性確認

- ▶ 解像度max(2592×1944px)で撮影した画像をダウンロード出来た
⇒ **ミッション達成**と判断



日本上空

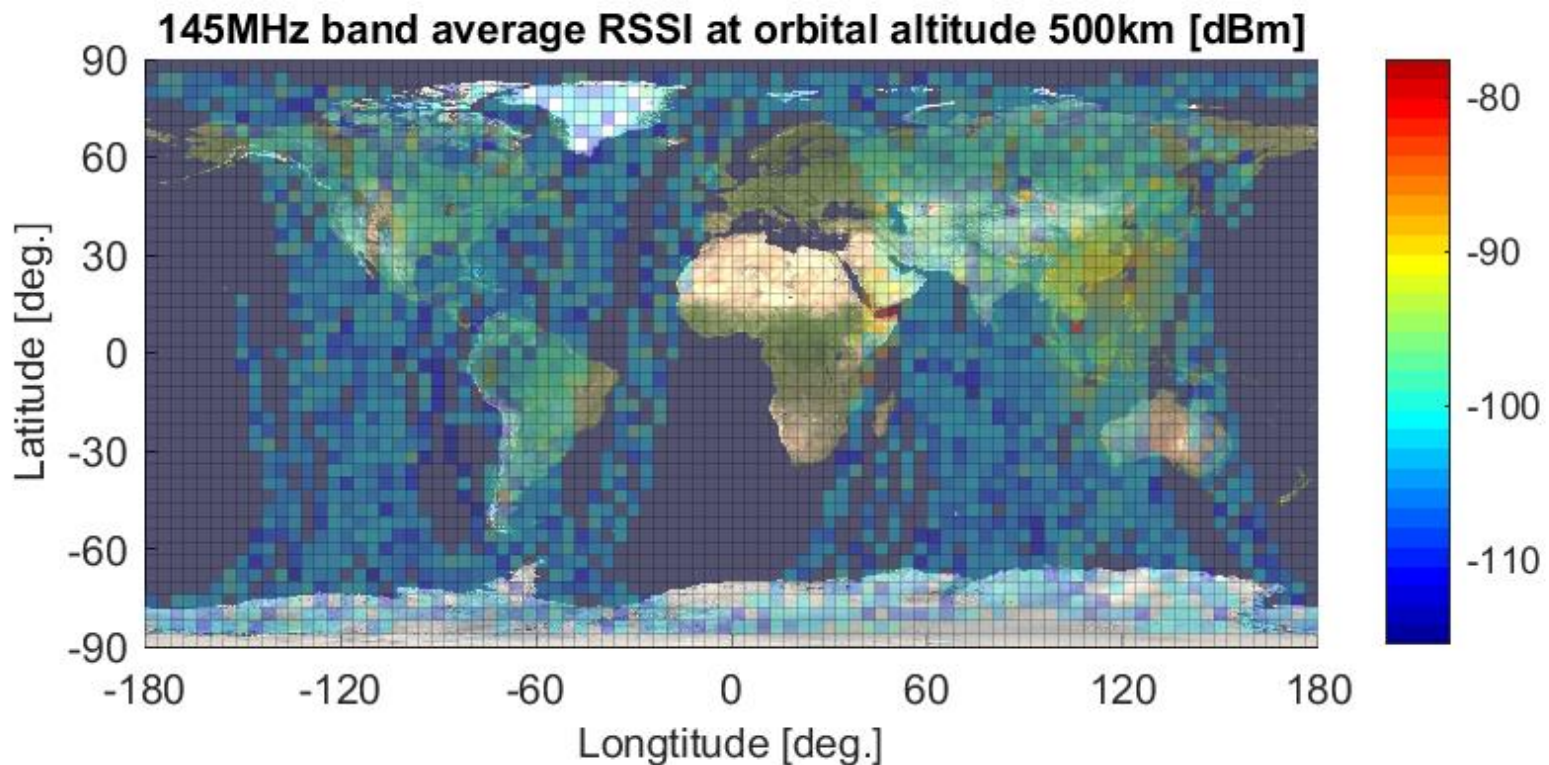


アフリカ大陸上空

4. ミッション進捗状況

- (7) 電界強度マップの作成

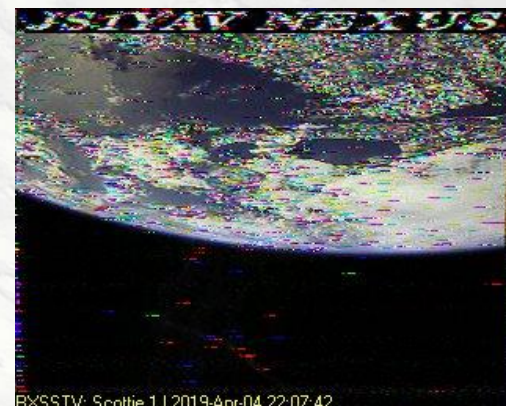
- 現在, 145MHz帯の電界強度マップを作成中
- 現在までのマップは以下の通り



5.アマチュア運用

- リニアトランスポンダ(TRP), デジトーカ及びSSTV運用

- TRP運用→毎週日曜実施
- デジトーカ運用：予め録音してある音声データを受信
- SSTV運用：衛星から画像データを音声として送信，受信した音声データから画像を復元



- 海外運用

- アマチュア運用の内容と実施場所についてアンケートを取り，毎週末実施

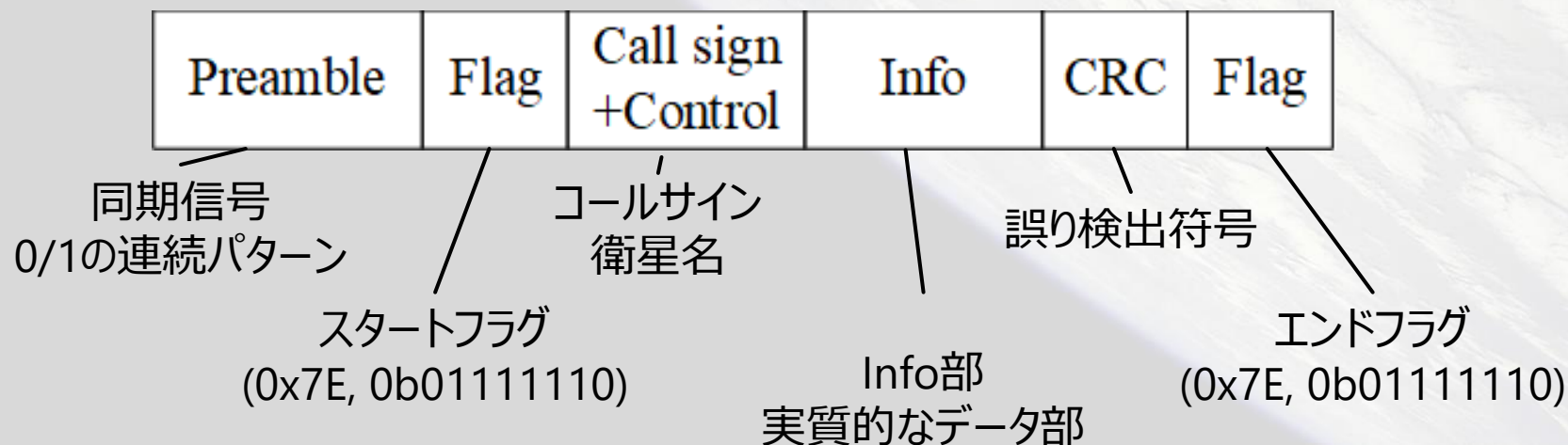


6.通信評価

- 通信評価とは

➤ AX.25プロトコルにおける、**プリアンプル回数**や**Info部の長さ**を変更し、より効率的な通信を行うためのパラメータを見つけるために行う運用

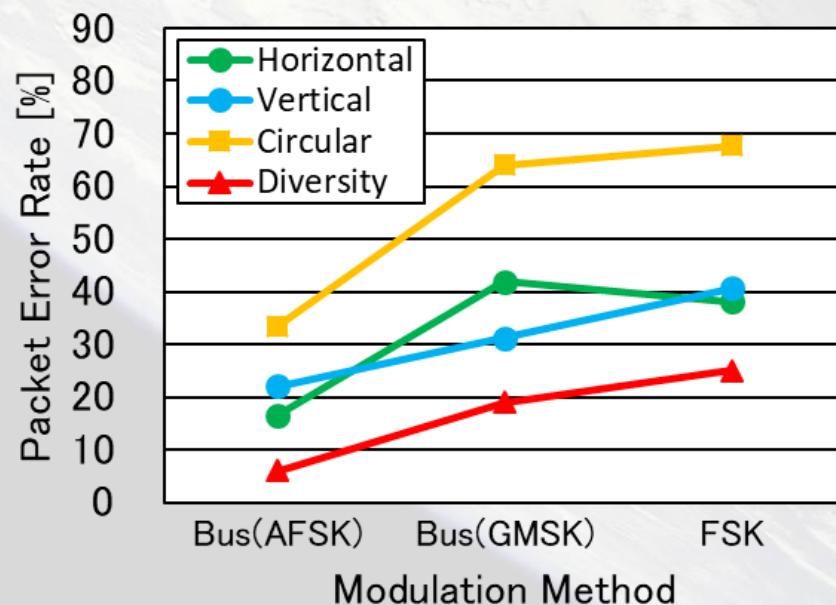
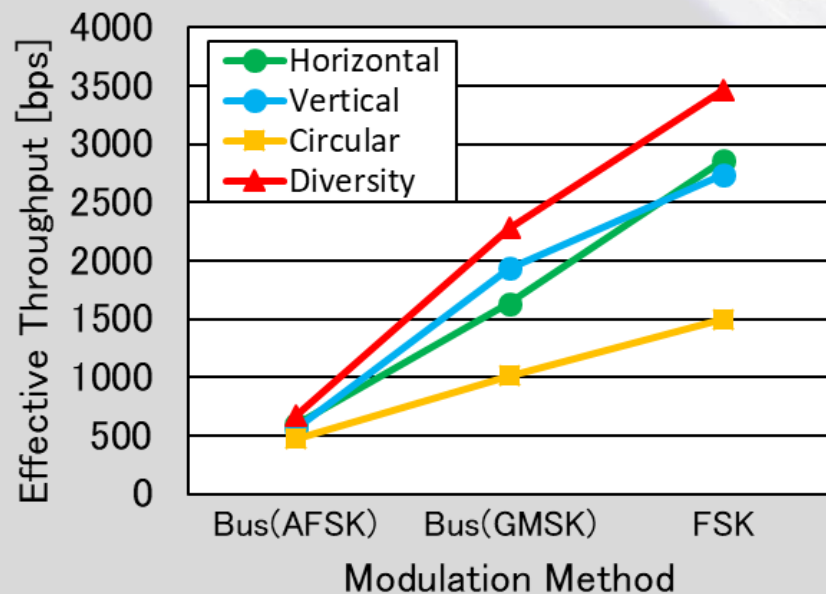
- AX.25プロトコル



6.通信評価

• 偏波ダイバーシティ方式の有効性

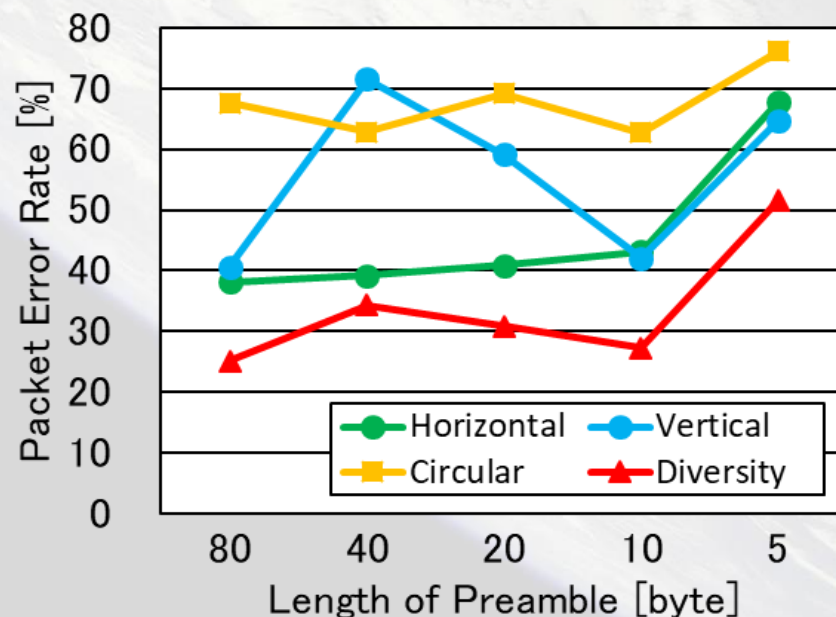
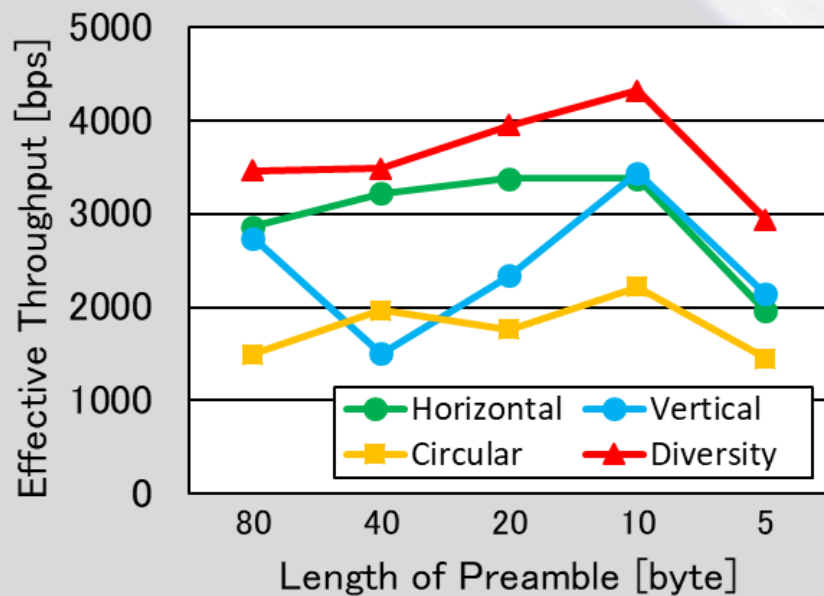
- バス無線機とFSK送信機による，実効スループットとパケット誤り率の比較は以下の通りである。



6.通信評価

• 偏波ダイバーシティ方式の有効性

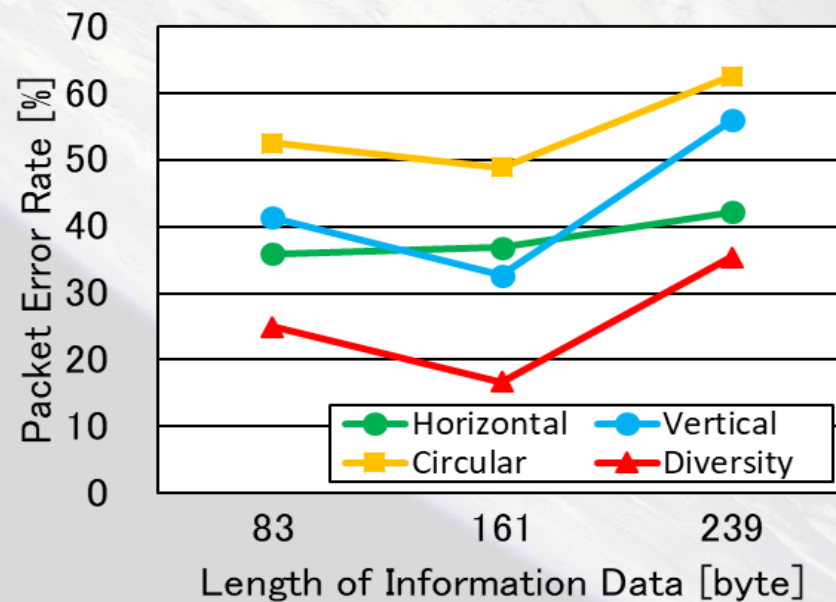
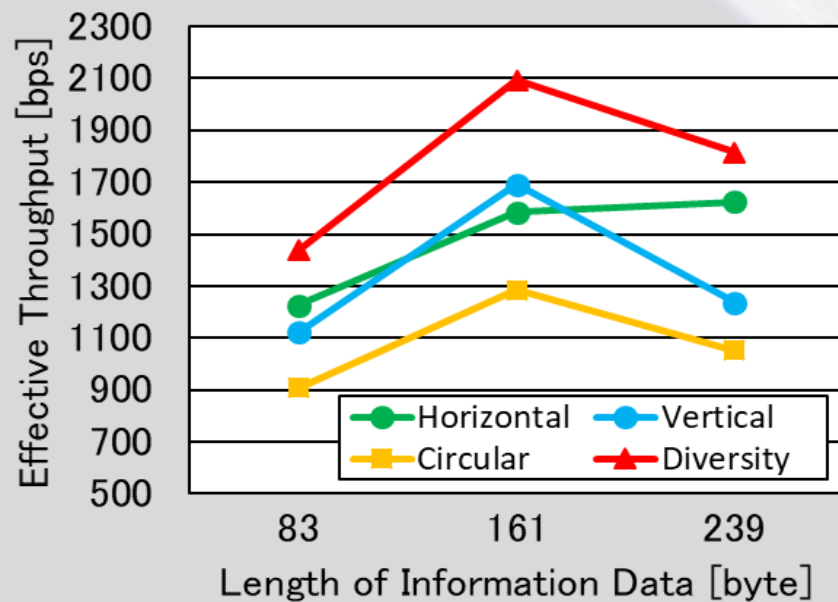
- FSK送信機を用いてダウンリンクする際、プリアンプルの回数を変更した時の、実効スループットとパケット誤り率の比較は以下の通りである。



6.通信評価

• 偏波ダイバーシティ方式の有効性

- バス無線機を用いてダウンリンクする際、パケットのInfo部の長さを変更した時の、実効スループットとパケット誤り率の比較は以下の通りである。



7.まとめ

- 本衛星のミッションは7つのうち**4つ達成**することが出来た
- 軌道上での4つのミッション機器の動作実証が確認出来た
- FSK送信機は従来の通信機と比べてより**高速な通信が可能**である
- N-CAMは様々な解像度や画像効果を設定して撮影することが可能である
- アマチュア運用を通して多くの方にNEXUSを知って頂き、利用して頂いている
- **偏波ダイバーシティ方式は**，円偏波方式より**優れている**

8.今後の予定

4月	・仕様書公開
5月	・ $\pi/4$ shift QPSK復調機開発 ・FSK送信機 19200bpsでの通信評価
6月	・ $\pi/4$ shift QPSK送信機の通信評価
7月	・電界強度データ収集
8月	・NEXUS定常運用終了予定 ・後期運用に移行

最後に

- NEXUSの最新情報はTwitterやホームページ，Blogに随時更新いたしますので，ご確認いただければ幸いです。



Home Page



Twitter



Blog

ご清聴ありがとうございました

