



アマチュア通信技術実証衛星 NEXUS の運用経過報告 (5)

2019年2月22日

日本大学理工学部航空宇宙工学科
NEXUSプロジェクトチーム

日本アマチュア衛星通信協会 (JAMSAT) と日本大学理工学部航空宇宙工学科 NEXUS プロジェクトチームが共同開発したアマチュア通信技術実証衛星 NEXUS は、2019年1月18日 (金) 9時50分20秒 (日本標準時) に内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケット4号機で打ち上げられました。

ここに、関係各方面に謝意を表すとともに、打ち上げ29日後～35日後の1週間 (2019年2月15日～2月21日) の運用経過をご報告いたします。

1. これまでの運用結果

この1週間のハイライトは次の2つです。

- 1) SSTV 固定画像を全て公開：2019年2月17日
衛星搭載メモリにあらかじめ格納してある4枚の画像を、1月27日 (日)、2月3日 (日)、10日 (日)、17日 (日) の4回にわたって1枚ずつダウンリンクした。
- 2) VGA 画像のパラパラ動画を公開：2019年2月17日
1秒間隔で撮影した15枚のVGA画像をダウンリンクし、youtube やブログ等で公開。
<https://youtu.be/PUQk2DwCEqo>
- 3) 地球が映っているフル画像の2枚目を取得：2019年2月21日
2月18日 (月) から2月21日 (木) の10回にわたって、2月4日 (月) に撮影した、2592×1944サイズの画像の2枚目を、9600bps のGMSK送信にてダウンリンクした。
- 4) 角速度増加原因の調査
打ち上げ1週間後あたりから確認されている角速度増加について、引き続き検討中。太陽電池セルの発電および機器 (特に、通信機とヒーター) の電流消費により、磁気トルクが生じ、角速度が増加しているであろうとの結論を得たが、詳細なメカニズムは未だはっきりしていない。

1)については、日大地上局では図1のような画像を得ています。

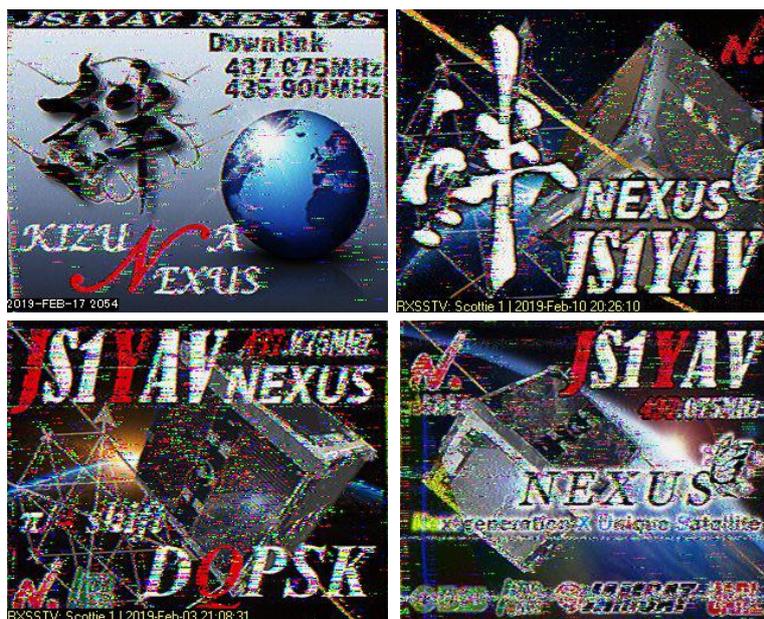


図1 SSTVによる画像ダウンリンク結果

また、3)については、日大地上局では図2のような画像を得ています。なお、運用結果により得られたデー

夕は NEXUS の web サイトに順次掲載しています。

http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/3_Download.html

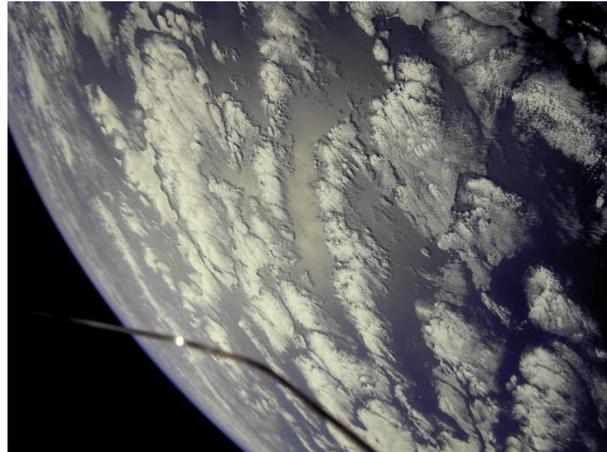


図2 CAMのフル画像のダウンリンク結果

2019年2月21日夜の時点で、以下の結果を得ています（2019年2月7日時点と同様です）。

- 1) 初期運用を終了。
- 2) 七つのミッション（表1）のうち、ミッション①、②、⑤、⑥を完了

ただし、全く問題がないわけではなく、以下の2つの問題を確認しています（これも、2019年2月21日時点と同様です）。

- 3) 衛星搭載ソフトのバグにより、予約コマンド（実行時間を指定してコマンドをアップリンクするもの）の予約時間が、アップリンク時から約3.5時間先までしか指定できない（932時間先まで予約できる仕様にしたはずだった）。
- 4) 運用第2周目から確認されている、角速度の増加について、発生メカニズムを解明できていない。

4)の角速度増加問題については、今後も運用により原因を特定していきたいと考えています。

表1 NEXUSの7つのミッション

| | | |
|-----------|--------|------------------------------|
| ミニマムサクセス | ミッション① | $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の動作実証 |
| | ミッション② | FSK 送信機の動作実証 |
| フルサクセス | ミッション③ | $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の実用性実証 |
| | ミッション④ | FSK 送信機の実用性実証 |
| | ミッション⑤ | リニアトランスポンダの動作実証 |
| | ミッション⑥ | N-CAMの実用性実証 |
| エクストラサクセス | ミッション⑦ | 高度約500kmにおける145MHz帯電界強度マップ作成 |

2. 今後1週間の運用

2019年2月22日（金）から3月1日（金）までの1週間は、角速度と消費電力および機器動作との関係を調べるため、CW運用のみを行います。特に、この運用により、電力消費と太陽電池セルの発電を極力抑えた状態であれば角速度が増加しないことがわかれば、定期的にCW運用を行うことで、永続的に角速度増加を抑えることができるようになります。

この他、懸案となっている、 $\pi/4$ DQPSK通信の地上受信側の改善や、偏波ダイバーシティの効果の定量的な評価等、NEXUSをより多くの方々に使っていただくための工夫を進めていきたいと思ひます。

3. 運用内容の詳細

1節に示した結果を得るまでに、様々な知見を得ることができました。特に、角速度増加について、原因は特定できていないものの、状況をかなり理解できてきました。今後、原因が特定でき次第、報告したいと思ひます。

なお、2019年2月15日（金）午前から2019年2月21日（木）夜までの運用内容詳細は表2の通りです。

4. 謝辞

運用にあたり、受信協力をいただいているたくさんのアマチュア無線家の皆様に、深く感謝いたします。NEXUS の web サイト (http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/3_Download.html) に掲載させていただいている結果には、アマチュア無線家の皆様に受信していただいたデータも数多く利用させていただいています。

表2 2019年2月15日(金) 午前~2019年2月21日(木) 夜までの運用内容

| 日付 | Pass number | 運用条件 | 日時・日照 | 運用内容 | 検証事項 | 検証目的 | 解析結果 | 運用結果 |
|-----------|-------------|--|-------|--|--|---|--|------|
| 2019/2/15 | 1 | AOS(JST): 07:54:27 LOS(JST): 07:59:55 Max Elevation: 2.73 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz) ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: - [V] ・角速度: 34.73 [deg/s] ・バッテリー温度1: 1.11 [°C] ・バッテリー温度2: -0.60 [°C] | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー電圧は取得できなかった。 | |
| | 2 | AOS(JST): 09:25:42 LOS(JST): 09:36:55 Max Elevation: 89.72 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CAM連続撮影(1秒間隔20枚)コマンド送信 ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz) ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・CAMの連続撮影機能の動作検証を行うため。 | ・バス電圧: 4.169 [V] ・角速度: 35.02 [deg/s] ・バッテリー温度1: -0.99 [°C] ・バッテリー温度2: -4.24 [°C] | ・CAM連続撮影コマンドは09:30:00(JST)に送信し、アプリケーションが通ったことを確認。 | |
| | 3 | AOS(JST): 11:01:12 LOS(JST): 11:07:22 Max Elevation: 3.87 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・バス送信機(AFSK, 1200bps, 437.075MHz)を用いたCAMのROMステータス情報ダウンリンク ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の2ndで撮影した画像が真っ黒なものであるかどうかを判別するため。 | ・バス電圧: 4.139 [V] ・パケット取得数 水平偏波: 46 垂直偏波: 42 円偏波: 13 | | |
| | 4 | AOS(JST): 20:00:29 LOS(JST): 20:11:05 Max Elevation: 22.90 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク1回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=0, ESC=50, EP=363 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の2ndで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.192 [V] ・角速度: 36.05 [deg/s] ・バッテリー温度1: 5.28 [°C] ・バッテリー温度2: -3.93 [°C] | ・CAMの連続撮影画像ダウンリンクするためのコマンドにミスがあり、CAMのROMから画像データが格納されていない場所を読み出してしまった。 | |
| | 5 | AOS(JST): 21:34:14 LOS(JST): 21:44:33 Max Elevation: 17.86 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク2回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=0, ESC=50, EP=363 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.095 [V] ・角速度: 34.75 [deg/s] ・バッテリー温度1: 5.14 [°C] ・バッテリー温度2: -4.19 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1056 垂直偏波: 1235 円偏波: 381 | ・この運用で、2/15の2ndで連続撮影した画像データ4枚を取得できなかった。 ・現在、15枚中4枚の画像データを取得。 | |
| 2019/2/16 | 1 | AOS(JST): 09:04:56 LOS(JST): 09:15:58 Max Elevation: 42.94 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク3回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=364, ESC=50, EP=727 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.107 [V] ・角速度: 36.19 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 208 垂直偏波: 188 円偏波: 200 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 | |
| | 2 | AOS(JST): 10:39:27 LOS(JST): 10:47:54 Max Elevation: 9.18 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク4回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=364, ESC=50, EP=727 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.127 [V] ・角速度: 36.16 [deg/s] ・バッテリー温度1: 5.05 [°C] ・バッテリー温度2: -7.80 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 405 垂直偏波: 415 円偏波: 50 | ・2/16の1stおよび2ndで、2/15の2ndで連続撮影した画像データ8枚の取得を試みたが、画像復元に必要な572パケット中47パケットが欠損していた。 ・画像データに欠損があったため、2/16の3rdで同じ範囲の画像データ画像データダウンリンクを行う。 | |
| | 3 | AOS(JST): 19:40:22 LOS(JST): 19:45:06 Max Elevation: 12.89 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク5回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=364, ESC=50, EP=727 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.100 [V] ・パケット取得数 水平偏波: 546 垂直偏波: 583 円偏波: 68 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、角速度とバッテリー温度は取得できなかった。 ・この運用で、2/15の2ndで連続撮影した画像データ9枚を取得できた。 ・画像データに欠損があったため、2/16の4thで同じ範囲の画像データダウンリンクを行う。 | |
| | 4 | AOS(JST): 21:12:53 LOS(JST): 21:24:00 Max Elevation: 32.82 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク6回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=728, ESC=51, EP=75 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.096 [V] ・角速度: 34.40 [deg/s] ・バッテリー温度1: 6.10 [°C] ・バッテリー温度2: -2.26 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1014 垂直偏波: 1149 円偏波: 859 | ・2/16の1stおよび2ndと同じ範囲の画像データのダウンリンクを試みたが、欠損はなかった。 ・この運用で、2/15の2ndで連続撮影した画像データ9枚を取得できた。 ・現在、15枚中13枚の画像データを取得。 | |
| 2019/2/17 | 1 | AOS(JST): 08:44:19 LOS(JST): 08:49:44 Max Elevation: 22.21 [deg] | 日照 | ・CW省電力モード移行コマンド送信 ・デジタルカ運用(437.075MHz) ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.139 [V] | | |
| | 2 | AOS(JST): 10:18:05 LOS(JST): 10:27:57 Max Elevation: 16.98 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの連続撮影画像ダウンリンク7回目 一面像サイズ: 281088, SC_S=50, SSC=50, SP=516, ESC=50, EP=535 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/15の1stで撮影した画像データを検証するため。 | ・バス電圧: 4.139 [V] ・角速度: 32.64 [deg/s] ・バッテリー温度1: 0.140 [°C] ・バッテリー温度2: 0.970 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1362 垂直偏波: 1332 円偏波: 667 | ・この運用で、2/15の2ndで連続撮影した画像データ2枚を取得できなかった。 ・現在、15枚中15枚の画像データを取得。 | |
| | 3 | AOS(JST): 19:20:38 LOS(JST): 19:28:19 Max Elevation: 6.52 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.072 [V] ・角速度: 32.00 [deg/s] ・バッテリー温度1: -4.37 [°C] ・バッテリー温度2: -1.54 [°C] | | |
| | 4 | AOS(JST): 20:51:49 LOS(JST): 21:03:17 Max Elevation: 66.37 [deg] | 日陰 | ・CW省電力モード移行コマンド送信 ・SSTV運用(FM, Scottiel, 437.075MHz) ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・SSTVの動作検証を行うため。 | ・バス電圧: 4.110 [V] | ・偏波ダイバーシティアンテナ(水平偏波)で受信。 | |
| 2019/2/18 | 1 | AOS(JST): 08:23:55 LOS(JST): 08:33:10 Max Elevation: 11.88 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.135 [V] ・角速度: 32.77 [deg/s] ・バッテリー温度1: 1.60 [°C] ・バッテリー温度2: 2.99 [°C] | | |
| | 2 | AOS(JST): 09:56:56 LOS(JST): 10:07:39 Max Elevation: 30.79 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク1回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=59, SP=0, ESC=59, EP=343 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.071 [V] ・角速度: 33.30 [deg/s] ・バッテリー温度1: 10.2 [°C] ・バッテリー温度2: 0.88 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1130 垂直偏波: 958 円偏波: 738 | ・2/4の1stで撮影した画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)の1/6を取得。 | |
| | 3 | AOS(JST): 20:31:01 LOS(JST): 20:42:25 Max Elevation: 60.44 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク2回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=59, SP=324, ESC=59, EP=687 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.113 [V] ・角速度: 33.25 [deg/s] ・バッテリー温度1: -0.80 [°C] ・バッテリー温度2: 2.31 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1073 垂直偏波: 1204 円偏波: 877 | ・2/4の1stで撮影した画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)の2/6を取得。 | |
| | 4 | AOS(JST): 22:06:51 LOS(JST): 22:14:33 Max Elevation: 6.18 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・軌道1周分のHKデータ取得(0.5秒間隔)コマンド送信 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・角速度の時間変化を確認するため。 | ・バス電圧: 4.063 [V] ・角速度: 34.49 [deg/s] ・バッテリー温度1: -0.80 [°C] ・バッテリー温度2: 2.31 [°C] | ・軌道1周分のHKデータ取得(0.5秒間隔)コマンドのアプリケーションが通ったことを確認。 | |
| 2019/2/19 | 1 | AOS(JST): 08:03:55 LOS(JST): 08:11:05 Max Elevation: 5.32 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.099 [V] ・角速度: 36.15 [deg/s] ・バッテリー温度1: 0.71 [°C] ・バッテリー温度2: 3.48 [°C] | | |
| | 2 | AOS(JST): 09:35:56 LOS(JST): 09:47:04 Max Elevation: 62.27 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク3回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=59, SP=688, ESC=59, EP=1023 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.097 [V] ・パケット取得数 水平偏波: 329 垂直偏波: 279 円偏波: 53 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、各偏波とバッテリー温度は取得できなかった。 ・画像復元に必要なデータのうち、118パケットが欠損していた。 ・画像データに欠損があったため、2/19の3rdで同じ範囲の画像データダウンリンクを行う。 | |
| | 3 | AOS(JST): 20:10:28 LOS(JST): 20:21:24 Max Elevation: 30.59 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク4回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=59, SP=688, ESC=59, EP=1023 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.104 [V] ・角速度: 37.37 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 844 垂直偏波: 565 円偏波: 402 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 | |
| | 4 | AOS(JST): 21:44:51 LOS(JST): 21:54:28 Max Elevation: 13.00 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク5回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=59, SP=896, ESC=59, EP=903 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.093 [V] ・角速度: 37.44 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 331 垂直偏波: 277 円偏波: 運用なし | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 ・運用途中に必要なパケットに到達したため、ダウンリンクを中断しCW運用に切り替えた。 ・2/4の1stで撮影した画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)の3/6を取得。 | |
| 2019/2/20 | 1 | AOS(JST): 09:15:04 LOS(JST): 09:26:15 Max Elevation: 62.63 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク6回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=60, SP=364, ESC=60, EP=723 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.139 [V] ・角速度: 38.16 [deg/s] ・バッテリー温度1: 6.33 [°C] ・バッテリー温度2: -6.89 [°C] ・パケット取得数 水平偏波: 1027 垂直偏波: 813 円偏波: 683 | ・画像復元に必要なデータのうち、23パケットが欠損していた。 ・画像データに欠損があったため、2/20の3rdで同じ範囲の画像データダウンリンクを行う。 | |
| | 2 | AOS(JST): 10:50:01 LOS(JST): 10:57:29 Max Elevation: 62.63 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.160 [V] ・角速度: 37.77 [deg/s] ・バッテリー温度1: -1.86 [°C] ・バッテリー温度2: -3.61 [°C] | | |
| | 3 | AOS(JST): 19:50:12 LOS(JST): 20:00:13 Max Elevation: 17.05 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク7回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=60, SP=364, ESC=60, EP=319 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.101 [V] ・角速度: 36.63 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 42 垂直偏波: 470 円偏波: 178 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 | |
| | 4 | AOS(JST): 21:23:19 LOS(JST): 21:34:03 Max Elevation: 23.85 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク8回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=60, SP=0, ESC=60, EP=319 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.097 [V] ・角速度: 36.35 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 982 垂直偏波: 1378 円偏波: 750 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 ・2/4の1stで撮影した画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)の5/6を取得。 | |
| 2019/2/21 | 1 | AOS(JST): 08:54:21 LOS(JST): 09:05:09 Max Elevation: 30.50 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク9回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=60, SP=364, ESC=60, EP=723 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.160 [V] ・角速度: 31.34 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 213 垂直偏波: 332 円偏波: 116 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 ・画像データに欠損があったため、2/21の3rdで同じ範囲の画像データダウンリンクを行う。 | |
| | 2 | AOS(JST): 10:28:30 LOS(JST): 10:37:44 Max Elevation: 12.65 [deg] | 日照 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 | ・バス電圧: 4.194 [V] ・角速度: 34.50 [deg/s] ・バッテリー温度1: -0.99 [°C] ・バッテリー温度2: -1.23 [°C] | | |
| | 3 | AOS(JST): 19:30:15 LOS(JST): 19:38:50 Max Elevation: 9.27 [deg] | 日陰 | ・バス送信機(AFSK, 1200bps, 437.075MHz)を用いたリアルタイムセンシング(4秒間隔) ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・以前にリアルタイムセンシングを実施した際は、RF放射とセンシングのタイミングが揃っていたことでセンサデータの一部にバグが生じてしまったと考える。これを踏まえ、今回はRF放射とセンシングのタイミングをずらしてリアルタイムセンシングを実施し、センサデータが正常かどうかを確認すると共に、角速度の連続的な時間変化を見ることが目的である。 | ・バス電圧: 4.106 [V] ・角速度: 33.60 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 6 垂直偏波: 17 円偏波: 8 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 | |
| | 4 | AOS(JST): 21:02:07 LOS(JST): 21:13:24 Max Elevation: 45.77 [deg] | 日陰 | ・CWカスタム運用(437.075MHz) ・バッテリー電圧, バッテリ温度1, バッテリー温度2, GyroX, GyroY, GyroZ ・FSK送信機(GMSK, 9600bps, 435.900MHz)を用いたCAMの撮影画像ダウンリンク10回目 一面像サイズ: 447232, SC_S=59, SSC=60, SP=364, ESC=60, EP=723 ・CW省電力モード移行コマンド送信 | ・角速度およびバッテリー温度を確認するため。 ・2/4の1stで撮影した2枚目の画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)を確認するため。 | ・バス電圧: 4.105 [V] ・角速度: 33.58 [deg/s] ・パケット取得数 水平偏波: 1080 垂直偏波: 1142 円偏波: 402 | ・混信の強さおよびノイズの影響で、バッテリー温度は取得できなかった。 ・2/4の1stで撮影した画像データ(JPEG, 解像度2592×1944)の6/6を取得。 | |

付 録

A.1. NEXUS の概要

NEXUS とは「**N**ext generation **X**Unique **S**atellite」の略で、NEXUS には“絆”，“つながり”といった意味があります。NEXUS は 10cm 立方で質量が約 1.3kg の CubeSat であり、日本大学にとって 4 機の超小型人工衛星となります。

NEXUS には、① リニアトランスポンダ、② FSK 送信機、③ $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の 3 つの通信機、ならびに、④ 小型のカメラシステム (N-CAM) が搭載されており、これら 4 つのミッション機器の宇宙実証をメインミッションとしています。



図 3 NEXUS 外観



リニアトランスポンダ



FSK 送信機



$\pi/4$ シフト QPSK 送信機



N-CAM

図 4 ミッション機器

ここ 5 年程で、CubeSat の打ち上げ数は急激に増加しており、その多くがアマチュア無線帯を利用していますが、通信速度がそれほど高くないものや、高速通信は可能だが消費電力が大きいもの、高価なものなどが多く、小型・安価で使い勝手のよい通信機が見当たりませんでした。

そこで、NEXUS では安価でかつ比較的性能の高い通信機を開発・実証することを目的としています。そして、目的達成後は、今後ますます増加する CubeSat にこれらの通信機を搭載していただければと考えています。また、併せて、今後、N-CAM の設計詳細を公開し、こういった小型カメラシステムを自作したい方々に参考にしていただければと考えています。

ミッション機器および衛星システムの詳細は、NEXUS の web サイトをご覧ください。

http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/1_System.html

また、NEXUS のミッションは以下の通りです。詳細は NEXUS の web サイトをご覧ください。

http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/1_Mission.html

| | | |
|-----------|--------|----------------------------------|
| ミニマムサクセス | ミッション① | $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の動作実証 |
| | ミッション② | FSK 送信機の動作実証 |
| フルサクセス | ミッション③ | $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の実用性実証 |
| | ミッション④ | FSK 送信機の実用性実証 |
| | ミッション⑤ | リニアトランスポンダの動作実証 |
| | ミッション⑥ | N-CAM の実用性実証 |
| エクストラサクセス | ミッション⑦ | 高度約 500km における 145MHz 帯電界強度マップ作成 |

A.2. 打ち上げ前の運用計画と実際の運用状況

打ち上げ前に考えていた運用計画は以下の通りです。

表 3 当初の運用計画

| | |
|------------|---|
| 打ち上げ直後 | NEXUS との電波の送受信の確認, 初期運用開始 |
| 1 か月後 | 初期運用 (衛星システム全体およびミッション機器の動作確認) の終了 |
| 2 か月後 | ミッション① $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の動作実証達成 |
| 3 か月後 | ミッション② FSK 送信機の動作実証達成 【ミニマムサクセス達成】 |
| 4 か月後 | ミッション⑤ リニアトランスポンダの動作実証達成 |
| 5 か月後 | ミッション⑥ N-CAM の実用性実証達成 |
| ～最大 12 か月後 | ミッション③ $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の実用性実証達成 |
| | ミッション④ FSK 送信機の実用性実証達成 【フルサクセス達成】 |
| | ミッション⑦高度約 500km における 145MHz 帯電界強度マップ作成 【エクストラサクセス達成】 |
| 最大 12 か月後 | ミッション運用終了 |
| これ以降 | アマチュア無線運用に移行 |

これに対し, 実際の運用状況は以下の通りです。

表 4 実際の運用状況

| | |
|--------|---|
| 打ち上げ直後 | NEXUS との電波の送受信の確認, 初期運用開始 |
| 9 日後 | 初期運用 (衛星システム全体およびミッション機器の動作確認) の終了 |
| 5 日後 | ミッション① $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の動作実証達成 |
| 5 日後 | ミッション② FSK 送信機の動作実証達成 【ミニマムサクセス達成】 |
| 8 日後 | ミッション⑤ リニアトランスポンダの動作実証達成 |
| 16 日後 | ミッション⑥ N-CAM の実用性実証達成 |
| | ミッション③ $\pi/4$ シフト QPSK 送信機の実用性実証達成 |
| | ミッション④ FSK 送信機の実用性実証達成 【フルサクセス達成】 |
| | ミッション⑦高度約 500km における 145MHz 帯電界強度マップ作成 【エクストラサクセス達成】 |
| | ミッション運用終了 |
| | アマチュア無線運用に移行 |