

《様式B》

(平成 28 年度募集) 第 29 回 助成研究 完了報告書

研究テーマ	「先端民生技術を用いた超小型衛星開発による天体観測」		
研究責任者	所属機関名	静岡大学	
	官職又は役職	教授	
	氏名	能見公博	メールアドレス nomi.masahiro@shizuoka.ac.jp
共同研究者	浜松商工会議所 浜松地域新産業創出会議・連携マネージャ 鈴木秀治		
	静岡大学イノベーション社会連携推進機構・客員教授所属機関名 中村穰治		

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要（1,000字程度）

※産業技術として実用化の可能性や特許出願（予定も含む）の有無についてもご記載ください。

今世紀の超小型衛星の出現は、宇宙開発に多くの可能性を示唆しており、宇宙利用裾野拡大への貢献も大きく期待されている。そのような可能性の一つに、個人所有の衛星、パーソナルサテライトの期待も含まれている。このような背景から本プロジェクトでは、CubeSat（一辺10cmのサイコロ衛星）によるお手軽な軌道上望遠鏡により撮影した写真の大容量データをアマチュア無線でダウンリンクする超小型衛星を開発することとした。近年のカメラ技術の進歩は著しいものがあり、超高感度カメラにより短い露光時間で星を撮影できる。この超高感度カメラを搭載することで宇宙（星空）撮影は可能となり、残る課題は撮影データ（大容量）を地球に伝送すること、撮りたいものを撮るための姿勢制御を実現することとなる。本衛星開発では、多くの人を受信できるアマチュア無線を利用した高速通信、そしてCubeSatの天体観測のための姿勢制御法構築を目指す。

本衛星はStars-AOという名称で、平成29年4月20日に、平成30年度打上げ予定のH-IIAロケット相乗り衛星に選定された。平成31年8月21日衛星は完成、「AOI」という愛称を決定し、平成31年10月29日に打ち上げられた。打ち上げ直後にはモールス信号が強い電波で送られてきて衛星起動に成功、しかしながら、電波が止まる不具合が発生した。その後4ヶ月程度にわたる復旧作業により、無事復旧することができ、平成31年4月5日現在運用継続中である。4ヶ月の電波停止からの復旧は世界的にみても例がなく、過去のJAXA探査機「はやぶさ」運用に

おけるトラブルからの復帰同様、日本の大学の運用復帰能力を示したとも言える。

地域企業との連携については、浜松商工会議所の航空宇宙利活用研究会の企業に超小型衛星の構造部品を加工してもらうこと、また従来の電気回路基板について地域企業に改良してもらうこと、さらに電気配線の提供や電池の搭載などに参加して頂いた。地球周回軌道上におけるミッション実施はこれからであるが、宇宙撮影を行う CubeSat を完成して打ち上げたことは、今後の宇宙開発・利用の裾野拡大に繋がる。今後、宇宙撮影の可能性を検討するとともに、地球へ向けた撮影などへと繋がっていくと期待できる。

理科教育への取り組みについて、静岡大学教育学部と連携して附属浜松中学校および近隣高校の天文部や科学部への教育展開を行った。第一段階として打ち上げ前（夏休み）に観測提案を行うイベントを実施した。これらは日本天文学会ジュニアセッションでの発表を行った。打ち上げ後は運用体験、データ解析なども行っていく予定である。

2. 実施内容および成果の説明 (A4で、5ページ以内)

今世紀の超小型衛星の出現は、宇宙開発に多くの可能性を示唆しており、宇宙利用裾野拡大への貢献も大きく期待されている。そのような可能性の一つに、個人所有の衛星、パーソナルサテライトの期待も含まれている。このような背景から本プロジェクトでは、CubeSat (一辺 10cm のサイコロ衛星) によるお手軽な軌道上望遠鏡により撮影した写真の大容量データをアマチュア無線でダウンリンクする超小型衛星を開発することとした。近年のカメラ技術の進歩は著しいものがあり、超高感度カメラにより短い露光時間で星を撮影できる。この超高感度カメラを搭載することで宇宙 (星空) 撮影は可能となり、残る課題は撮影データ (大容量) を地球に伝送すること、撮りたいものを撮るための姿勢制御を実現することとなる。本衛星開発では、多くの人を受信できるアマチュア無線を利用した高速通信、そして CubeSat の天体観測のための姿勢制御法構築を目指す。



CubeSatによる天体観測

1. 大型衛星が対象外とする天体
2. 地上では不可能な写真撮影
3. 地上同様のコスト・頻度・場所において実施

効果

- ① 衛星軌道への視点の移動による、地球と宇宙の理解促進
- ② 大型望遠鏡では困難な、広視野の宇宙画像の取得
- ③ CubeSatで見えてくる、新たな地球像・宇宙像の模索



WAT-910BD撮影画像

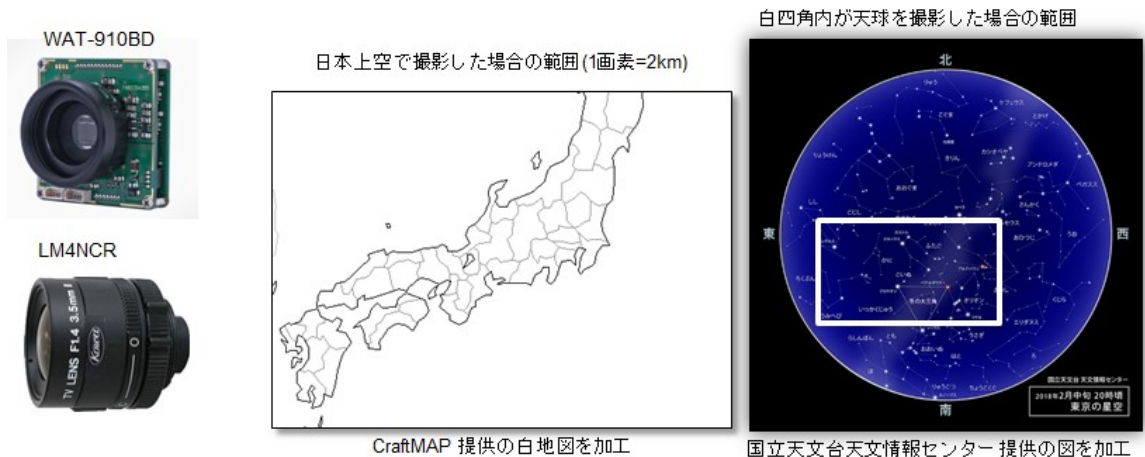
水平画角: 103.6度 (短辺: 77.7度 / 対角: 129.5度)
9.7分 / 1pixel → 分解能: 2-3pixel (面積 4-9pixel) → 分解能: 20分



STARS-C衛星搭載カメラによる撮影画像

本衛星は Stars-AO という名称で、平成 29 年 4 月 20 日に、平成 30 年度打上げ予定の H-IIA ロケット相乗り衛星に選定された。

カメラは WAT-910BD [ワッテック社製] にレンズ LM4NCR [興和光学社製] を用い、撮影範囲としては次図に示すように高度 613 km からは右図の範囲、天頂については左図の範囲となる。



また、カメラ画像などは情報量が多いため、通信速度が遅いと多くの時間を要する。そこで次図に示す高速無線機を開発した。

緒元

1. 送信電力 **800mW**
2. 変調速度 **115.2kbps** (従来の約10倍)
3. 変調方式 **GMSK**
4. 符号化利得 **8dB**以上

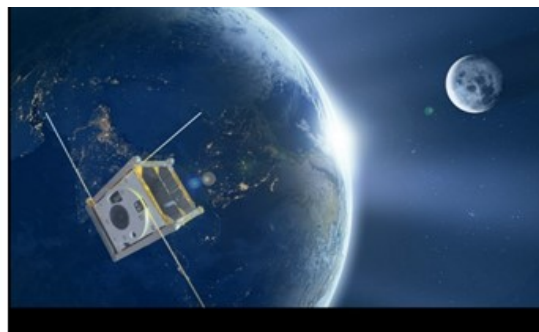


平成 31 年 8 月 21 日衛星は完成、「AOI」という愛称を決定した。開発履歴を以下に示す。

- ◆2017/04/20: 平成 30 年度打上げ予定の H-IIA ロケット相乗り衛星。
- ◆2017/06/28: IARU (国際アマチュア連盟) から通信周波数割当を受た。
- ◆2017/07/16: 基本設計審査会 (PDR) を実施。
- ◆2018/04/03: 試験機 (EM) 振動試験#1。 (@埼玉県産業技術総合センター)
- ◆2018/05/21: 試験機 (EM) 振動試験#2。 (~5/24@九州工業大学)
- ◆2018/06/16: 打ち上げ機 (FM) の組み立てを開始。
- ◆2018/07/18: 超小型衛星 Stars-AO のフライトモデル振動衝撃試験を実施。
- ◆2018/08/07: Staes-AO 衛星無線局予備免許 (JJ2YSY) が交付。
- ◆2018/08/21: 超小型衛星 Stars-AO の打ち上げ機完成、愛称「あおい」決定。
- ◆2018/08/29: Stars-AO を筑波宇宙センターにおいて JAXA に引き渡し。
- ◆2018/10/29: Stars-AO は 13:08 (JST) に打ち上げ。
- ◆2018/10/31: 正午付近 (JST) のパスでコマンド送信。(JJ2YPK/5)

- ◆2018/11/03: 正午付近のパスで送受信を確認。(CW 入感なし)
- ◆2018/12/27: 衛星状態の調査、電力状況の地上評価、運用計画の策定実施。
- ◆2019/03/06: CW ビーコンの送信を再開。(JJ2YPK)

次図にフライトモデルおよび宇宙空間の地球周回軌道上でのイメージを示す。

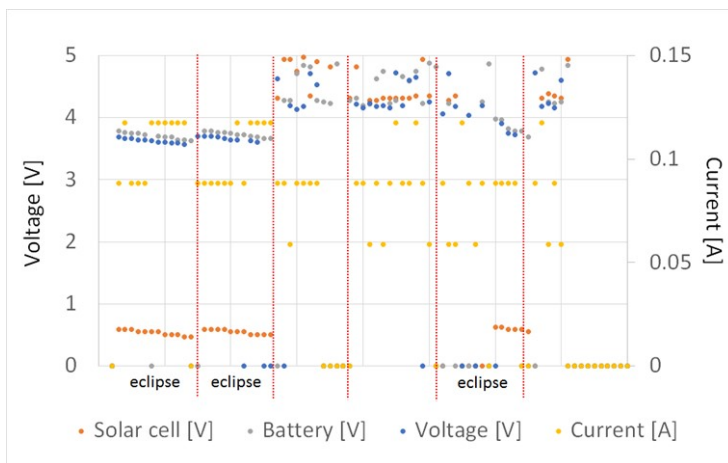


打ち上げ直後にはモールス信号が強い電波で送られてきて衛星起動に成功，しかしながら，電波が止まる不具合が発生した．その後4ヶ月程度にわたる復旧作業により，無事復旧することができ，平成31年4月5日現在運用継続中である．4ヶ月の電波停止からの復旧は世界的にみても例がなく，過去のJAXA探査機「はやぶさ」運用におけるトラブルからの復帰同様，日本の大学の運用復帰能力を示したとも言える．詳細は，次の通りである．

- ◇ 10/29 強いモールス信号を多くのアマチュア局で受信。衛星起動成功
- ◇ 10/31 メイン CPU 起動コマンド送信 (JJ2YPK/5)。衛星コマンド受信成功
(ロケット分離時はメイン CPU は off)
 - モールス信号停止<<メイン CPU 起動時処理による (以下の理由)
 - ◇ ロケット搭載時の電波放射対策機能
 - ◇ 電子系電力消費は大きいため電力消費抑制
- ◇ 11/3 地上コマンドにより、モールス信号再開を試みる。
 - 数回のコマンド送信を実施、衛星からの応答を受信。電波送受信成功。
 - 静大地上局では衛星からの応答を解読できていない。
(台風の影響もあり、地上局整備が完了できていないことも原因)
 - 衛星からの複数回 FM パケットデータ送信により、電力を消費
→電源ダウン (推定) = (衛星からの反応がなくなる)
- ◇ 以下の項目を踏まえて運用計画立案&実行。

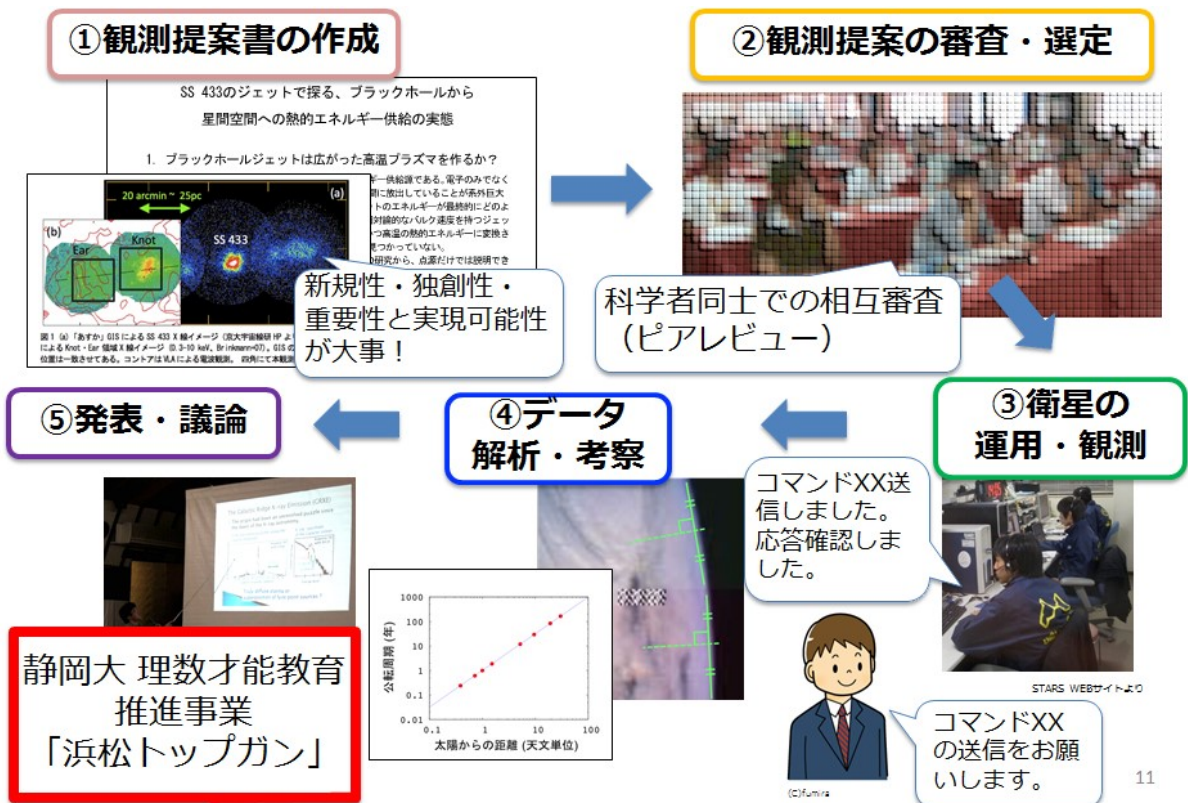
- 電源回復後のモールス送信開始シーケンスの地上検証。
 - 電力収支の地上評価および検証。（CW データからは問題ない）
 - 通信回線設計の見直し&評価（地上系整備を含む）。
 - 同時放出衛星との分類が確定できていないため、複数衛星を対象に運用。
- ◇ 03/06CW ビーコンの送信を再開。（JJ2YPK）

次図に衛星からの電力データ，およびモールス信号によるコールサインを示す。



地域企業との連携については，浜松商工会議所の航空宇宙利活用研究会の企業に超小型衛星の構造部品を加工してもらうこと，また従来の電気回路基板について地域企業に改良してもらうこと，さらに電気配線の提供や電池の搭載などに参加して頂いた．地球周回軌道上におけるミッション実施はこれからであるが，宇宙撮影を行う CubeSat を完成して打ち上げたことは，今後の宇宙開発・利用の裾野拡大に繋がる．今後，宇宙撮影の可能性を検討するとともに，地球へ向けた撮影などへと繋がっていくと期待できる．

理科教育への取り組みについて，静岡大学教育学部と連携して附属浜松中学校および近隣高校の天文部や科学部への教育展開を行った．第一段階として打ち上げ前，Stars-AO を題材にした「中高生による STARS-AO 衛星を用いた研究体験」を浜松キャンパスで開催した（静岡大 理数才能教育推進事業「浜松トップガン」）．これらは日本天文学会ジュニアセッションでの発表を行った．打ち上げ後は運用体験，データ解析なども行っていく予定である．



学会発表

- Masahiro Nohmi, “Development of Pico Telescope CubeSat “Stars-AO”,” Submission ID: 7, the 10th European Cubesat Symposium, 5th to 7th December 2018, Toulouse, France.

(予定)

- Satoshi Nozawa, Masaki Yokoyama, Masahiro Nohmi, and Stars-AO project team, “Stars-AO: Design and development of the cubesat for astronomical observations” The 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Fukui, June 15-21, 2019. (to be presented)
- Hideki Uchiyama, et. al. (6/7), “Trial of New Educational Usage of a Nano Satellite: Workshop of Stars-AO Observation Planning for High and Junior-High School Students,” The 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Fukui, June 15-21, 2019. (to be presented)