

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560091

研究課題名(和文)超小型衛星による超広角宇宙撮影ミッションの宇宙実証

研究課題名(英文)Space Verification for Wide-Range-Space-Photograph Mission by CubeSat

研究代表者

能見 公博(Nohmi, Masahiro)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：20325319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：天体観測に必要な技術、「撮影・画像処理」、「姿勢制御」、「高速無線」の開発を進め、STARS-C衛星(テザー伸張実証衛星)に搭載し、平成28年末に打ち上げた。一方でカメラ技術が進歩し、超小型衛星に搭載できるカメラで、星空を撮影できるようになった。そこで天体観測を主ミッションとする教育利用を目的とするCubeSatを開発した。

また本研究は理科教育への展開を目的とし、「小型衛星の科学教育利用を考える会」をH27年度に立ち上げ、議論してきている。工学部・教育学部・理学部の教員、高専・高校の教員、科学館・博物館・天文台の職員、アマチュア技術家など幅広い分野からの参加があり、今後も継続していく。

研究成果の概要(英文)："Photography and image processing", "attitude control", "High-speed radio transmission" have been developed. Those are necessary for astronomical observation by a satellite. Developed systems were mounted on STARS-C (tether technology verification satellite), and it was launched in the end of 2016. On the other hand, camera technology has been progressed, and became to make it possible to photograph stars with the camera mounted on a CubeSat. Then, we have developed CubeSat for the purpose of the education use to perform astronomical observation as the main mission.

In addition, this research is also aimed for development to science education, and then the community named "Science Education and Small Satellite" was established in 2015. There is the participation from the wide field such as professors in engineering, education, and science departments, teachers of technical colleges and high schools, staffs of museums and astronomical observatories, and amateur technical experts.

研究分野：宇宙工学

キーワード：科学教育 超小型衛星 天体撮影 高速通信 アマチュア技術

### 1. 研究開始当初の背景

近年の超小型衛星の出現により、開発期間10年・費用数十億～数百億円とされていた人工衛星が、2～3年・数百万～数千万円で開発できる時代となった。超小型衛星は低コスト・短期開発の特徴を持つことから、これまでコスト的な問題で実現できなかった課題を解決できる可能性を秘めている。

本研究では、理科教育に活用することを目的とした写真撮影を、10cm 立方 / 1～2kg (CubeSat) の超小型衛星により実施する。人工衛星による天体観測は大気の影響を受けないことから、地上では不可能な観測を可能とするため非常に魅力的であるが、これまでは人工衛星開発コストに見合うハッブル望遠鏡のような大型・高機能な衛星による専門的なミッションしかなかった。これに対し、大学衛星の出現により革新的な低コスト化が実現され、国家プロジェクトではなく、人工衛星による写真撮影の幅広い利用への期待が高まっている。地上とは異なる視点からの画像を得ることができる衛星からの写真撮影を教育目的で実施することにより、宇宙の理解において、大きな教育効果が期待できる。



能見准教授(代表)は超小型衛星 KUKAI を2009年1月に打ち上げ、運用・実験に成功している。また2010年8月には観測ロケットによる宇宙実験を実施、2014年2月には STARS-II の打ち上げおよび宇宙実験に成功しており、人工衛星開発技術を身に付けている。松村教授(分担)をはじめとする天体観測技術者のノウハウと融合して、大学衛星ならではの写真撮影を実現する。

### 2. 研究の目的

本研究では、低コスト・短期開発を実現した大学宇宙開発技術により、低コストで幅広い宇宙撮影を目標とし、理科教育を目的とした衛星からの地球や宇宙の写真撮影を、超小型衛星により実施する。とくに理科教育に焦点をあて、宇宙を理解する観点からの撮影により、教育分野への貢献を目指す。

具体的には、これまで大型衛星が対象としておらず、地上では不可能な写真撮影を、地上同様なコスト・頻度・場所において実現することを目標とする。とくに、全立体角に近い超広角の画像を得ることに焦点をあてる。

CubeSat の写真撮影はこれまでも例があるが、実用的なものとなると難しく、それはどのようなアプリケーションがあるか模索段階であることも理由である。本研究では、理科教育への利用という具体的な目標を定めて撮影対象を選定しているため、実用化への期待は大きい。

超小型衛星は機能が限定されるが、衛星高度からの視点からの超広角の画像は大型衛星が対象としてこなかったものであり、中学校・高校の理科教育に新たな情報を提供する。低コスト・短期開発の特徴の特徴を活かし、最新技術を搭載することにより(特に複数枚の画像の繋ぎ合せ「モザイク合成の手法」)、全立体角に近い超広角の画像を取得する。地上では、その場所での地面が邪魔をするため、空を見る場合に360度(全立体角)が見渡せても地平線より下は見ることができない。しかし衛星では、原理的にはさえぎるものが無いので、あらゆる方向の情報を一度に得られるため、非常に興味深い画像が期待できる。

教育のみならず、超高層での気象現象(夜光雲:地上80km位に、夏の極あたりで出現、真珠母雲:極あたりの冬に、高度20～30km付近の成層圏で見られる)や地球に落ちる流星(視野角10～30度)、観測可能ならば彗星の淡い尾(視野角1～10度)などの天体について、新たな知見が得られる可能性がある。これらは宇宙への新しい視点を与え、新しい宇宙像の発見にも繋がる可能性があり、CubeSat による実証は超小型衛星の可能性を示すこととなり、将来的な超小型衛星の実用化が現実的なものとなり、宇宙開発・利用の裾野拡大に繋がると期待できる。

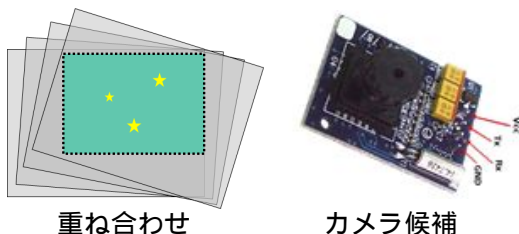
### 3. 研究の方法

(1) 本研究は、CubeSat のコストと性能を考慮し、実利用できる教育分野での利用を提案、そして宇宙撮影対象を選定するという実現可能な計画ではあるが、10cm 立方 / 1～2kg の大きさの制約の中で衛星基本機能および写真撮影機能を搭載することは非常に挑戦的である。機能が限定される CubeSat での写真撮影を実現するためには、撮影が可能な姿勢制御(維持)と撮影露光時間の確保が課題となる。そして、大容量となる画像データを地上に伝送することが課題となる。

#### 撮影・画像処理システム

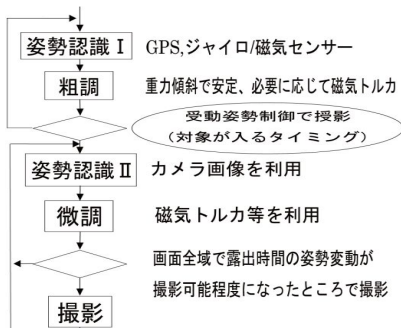
複数画像の重ね合せ法: 画像処理は、連続撮影により複数枚数の画像を取得し、星が点として写る短い露出時間の画像を、複数枚に重ね合わせて露光時間を積分する手法を用いる。基本的には基準となる天体の重ね合せ技術である。衛星搭載カメラモジュールについて、天体観測に対する要求は、100万画素程度のカラーカメラ、軽量データ(数十kb以下のJpeg, 二値化処理等)とフルデータ転送(10bit以上のA/D変換BMP or RAW)の切替機能、超高感度(少なくとも0.1lux/F1.4

程度以上), が望ましい。現在, CubeSat 搭載可能なものとして, C328RS が候補である。および を満たしていないが, ある程度の性能は見込める。



### 姿勢制御システム

CubeSat 姿勢制御機能による撮影方法を構築する。シーケンスとして, はじめにアクティブな姿勢制御を行う。姿勢測定はジャイロセンサ(角速度)および磁気センサで行い, アクチュエータとして磁気トルカを用いる。姿勢が安定したことが確認できた後に, 1 分程度間隔の撮影により何らかの物体(地球・月等)を撮影, 画像から姿勢精度を推定する。撮影に求められる姿勢精度とならない場合は, 再度アクティブな姿勢制御を実施した後に, 再推定する。



### 高速無線システム

これまで打ち上げられている CubeSat は, アマチュア無線周波数帯を使用しており, 通信速度は 1200bps である。これに対し通信速度を高速化するシステム(アマチュア無線周波数帯使用)を構築する。香川衛星 KUKAI で実証した高性能アンテナ, および地上設備の改良により可能であると計画している。

(2) 本研究は理科教育への展開を大きな目的としていることから, 日本天文学会や天文教育普及研究会において主に学校教員と連携したコミュニティを作り, 得られた画像をどのように学校現場で使うことができるか, さらにより効果的な活用法等について検討する。

これまでの議論から, CubeSat により撮影できる対象を選定することも重要と考えられている。例えば, 全立体角に近い超広角の画像を取得する機能が有効に活かせると考え, 広視野撮影が効果的な地球高層の夜光雲, 真珠母雲など, また地球に落ちる流星(視野角 10~30 度), 観測可能ならば彗星の淡い尾(視野角 1~10 度)などを対象とすると効果

的との提案がある。流星観測などでは, 流星発光地点の上方および水平方向からの観測が可能となる。水平からの流星経路観測は世界初であり, イラストイメージであった流星発生の仕組みを実写で表すことができ, 教育分野への貢献が大きく期待できる。夜光雲は出現する時期が早くなった, 緯度が低くなった, 高度も変わってきているなど, 最近の地球環境の変化と関係が指摘されており, 環境問題にも展開できる可能性がある。このように, これまで対象とされていない衛星による宇宙撮影は, 多くの可能性を秘めている。

### 4. 研究成果

#### (1) CubeSat 搭載機器開発

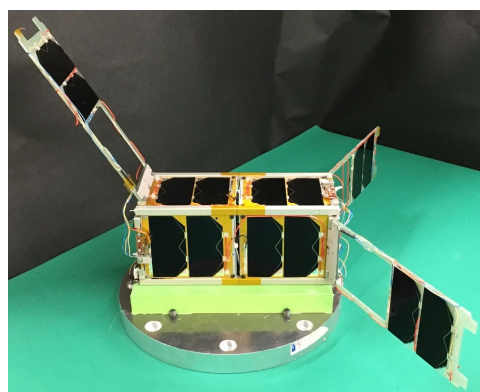
「撮影・画像処理システム」, 「姿勢制御システム」, 「高速無線システム」の主要項目について開発を進め, CubeSat 搭載仕様とする設計を行った。

撮影・画像処理システムについては, 連続撮影機能を有するシステムを構築した。しかしながら星が点として写る短い露出時間の画像を, 複数枚を重ね合わせて露光時間を積分する処理方法は CubeSat の限られたリソースで実現することは難しいと判断し, 地上においてオフラインで実施する計画とした。

姿勢制御システムについては, CubeSat 搭載可能なジャイロセンサ(角速度)および磁気センサを選定, 計測データ処理システムを構築し, 磁気トルカを製作した。またセンサー情報に基づく, フィードバック制御法を構築した。

高速無線システムについては, これまでの通信速度 1200bps に対し, 9600bps (8 倍の速度)の通信速度を可能とする機能を開発した。

以上の研究開発成果を踏まえて, CubeSat 開発を進めてきたが, 最終年度開始までに単独での打ち上げ機会を得ることができなかったため, 他実験を含む衛星に相乗り実験として搭載し, 当該衛星の打ち上げを行った。

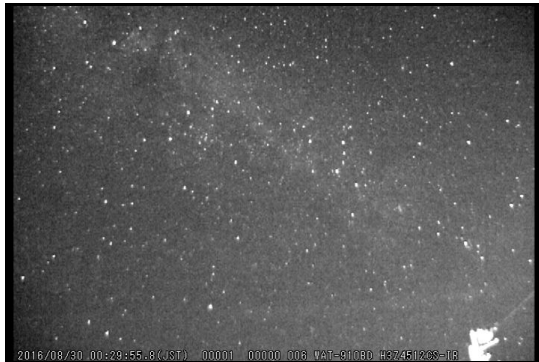


本研究において開発した機器を搭載した衛星は STARS-C と呼ばれる 2U (CubeSat 2 個の大きさ・質量)の超小型衛星であり, テザー(ロープ・ワイヤ)を伸展することをメインミッションとするものである。しかしながら打ち上げた衛星は, 平成 29 年 3 月時点で通

信系（通常通信，高速無線システムではない）に問題があるため，その原因究明および対策を実施中である．通信系が正常になり次第，本研究のミッションを実施する予定である．

## (2) 超小型望遠鏡衛星

研究計画に沿って，前述の STARS-C に本研究成果である機器を搭載することで，宇宙実証実験を進めてきたが，最終年度開始時に本研究目的に対する大きな変化があった．それは，超高感度カメラの出現であり，CubeSat に搭載できる仕様で地上から星空を撮影できるものである．



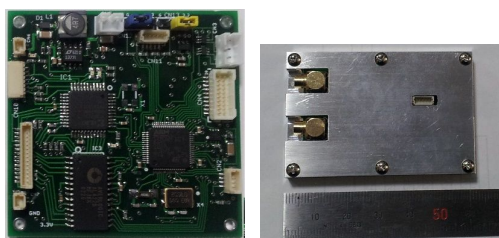
超高感度カメラによる地上からの撮影画像

また高速通信について，ソフトウェア無線機を利用し，最先端の第三代誤り訂正 (LDPC) を実装し，他受信局によるデータ統合により，従来 1200bps の 100 倍，9600bps の 10 倍となる 100kbps 通信が可能となる手法を考案した．

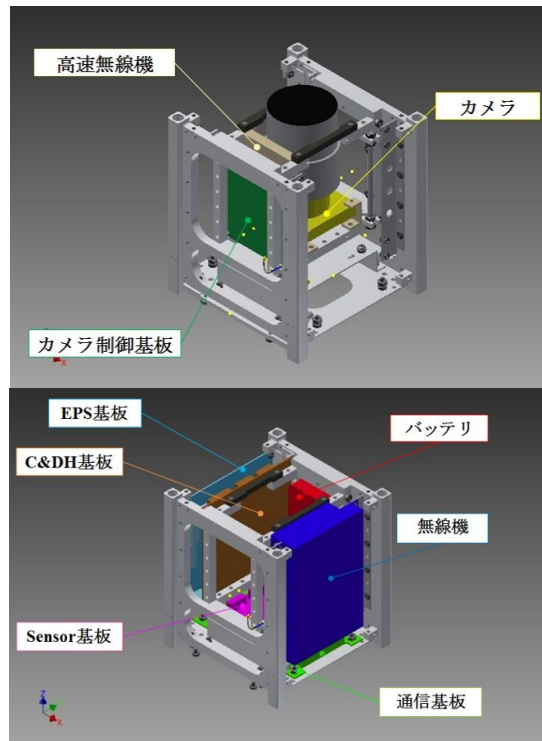
以上を踏まえて，天体観測を主ミッションとする教育利用を目的とする CubeSat について，前年度までの研究成果を踏まえた上で最終年度に設計開発を進めた．



超高感度カメラとレンズ



115.2kbps 高速送信機



## (3) 小型衛星の科学教育利用

本研究は理科教育への展開を大きな目的としていることから，日本天文学会や天文教育普及研究会においてコミュニティを作り，得られた画像をどのように教育現場で使うことができるか，さらにより効果的な活用法等について検討している．既に研究代表者らにより構築している公開天文台を基本とするコミュニティ「STARS 地上観測ネットワーク」の関係者と議論を行い，天文台の観望会に参加する人たちは宇宙に興味を持っていることから，観望会と同時に超小型衛星に関する内容，イベントを取り入れていく計画を検討してきている．また日本天文学会や天文教育普及研究会においてコミュニティを作り，得られた画像をどのように教育現場で使うことができるか，さらにより効果的な活用法等について検討してきている．H26 年度にこれらのコミュニティと積極的に交流し，H27 年度に「小型衛星の科学教育利用を考える会」を立ち上げた．

第一回を平成 27 年 8/21-22 に北海道大学において（9 件の発表），第二回を平成 28 年 3/21 に平塚市博物館において（10 件の発表），第三回を平成 28 年 8/24-25 に京都市立京都市立工学院高等学校において（11 件の発表 + パネルディスカッション），第四回を平成 29 年 3/18-19 に九州工業大学において（11 件の発表 + パネルディスカッション）を開催してきている．工学部・教育学部・理学部の教員，高専・高校の教員，科学館・博物館・天文台の職員，アマチュア技術家など幅広い分野からの参加があり，充実した議論ができていることから半年に一回開催してきており，継続的な開催の要望も多いため，今後も継続していく計画である．

Univ. (Engineering)	9	High School	6
Univ. (Science)	5	JARL/JAMSAT	11
Univ. (Education)	9	Museum	3
Laboratory	2	Laboratory	2
Total	25	Other	14

小型衛星の科学教育利用を考える会  
分野別の構成メンバー

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

松村雅文、プラネタリウムを用いた天文教育：視点の移動を目指して、天文教育研究会集録、査読無、30、2016、225-227

[学会発表](計 22件)

能見公博、浜松から宇宙へ～超小型衛星 STARS とは～、静岡大学・中日新聞連携講座 2016・浜松の過去・現在・未来(招待講演) 2016年11月08日、静岡県浜松市・静岡大学浜松キャンパス

松村雅文、能見公博、地域宇宙教育活動から”小型衛星の科学教育利用を考える会”へ、第60回宇宙科学技術連合講演会、2016年9月6日～9日、北海道函館市・函館アリーナ

Masahiro Nohmi and Masafumi Matsumura, Introduction and Planning of “OpenSLsat” for Education and Outreach in Japan, 67th International Astronautical Congress (国際学会), 2016年09月29日、Guadarajara Convension Center, Guadarajara, Mexico

能見公博、静岡発！宇宙に飛び出そう 人工衛星開発 in 浜松、子ども宇宙教室 2015 (招待講演) 2015年11月07日、静岡県焼津市・ディスカバリーパーク焼津天文科学館 プラネタリウム

松村雅文、学校での学習内容と小型衛星、第1回小型衛星の科学利用を考える会、2015年08月20日～21日、北海道札幌市・北海道大学

能見公博、超小型衛星 STARS の地上観測

～STARS-C 観測に向けて～、日本公開天文台協会 (JAPOS) 2015年第10回全国大会、2015年6月30日、岐阜県安八郡安八町・生涯学習センターハートピア安八天文台

能見公博、STARS プロジェクト、第2回信大ワークショップ(招待講演)、2015年01月21日、南信州・飯田産業センター(長野県飯田市)

松村雅文、超小型衛星からの写真撮影と、教育への応用、天文教育研究会、2014年08月10日～2014年08月12日、東京学芸大学(東京都小金井市)

[その他]

ホームページ等

・衛星プロジェクト

<http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/>

・科学教育

[http://uchiyama1.ed.shizuoka.ac.jp/~stars\\_education/wordpress/](http://uchiyama1.ed.shizuoka.ac.jp/~stars_education/wordpress/)

6. 研究組織

(1)研究代表者

能見 公博 (NOHMI, Masahiro)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：20325319

(2)研究分担者

松村 雅文 (MATSUMURA, Masafumi)

香川大学・教育学部・教授

研究者番号：50239084