

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：52605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03243

研究課題名(和文)工学・科学教育のためのモデルCubeSatの環境試験構築と利用実践に関する研究

研究課題名(英文) Research on satellite environmental test and practical use of model CubeSat for engineering and science education

研究代表者

高田 拓 (Takada, Taku)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授

研究者番号：80455469

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超小型衛星モデル教材を活用した教育システムの構築に取り組んでいる状況を示してきた。これまで、高専学生を対象とした理工学連携によるものづくり実践のために、超小型衛星モデルである缶サットやモデルCubeSatの開発および講座実践を行ってきた。学生がグループでミッションを立案し、達成できるように、センサ選択型の超小型衛星モデルを開発し、モデルCubeSatを用いた太陽電池パネルの照射試験システムを構築し、動作確認を行った。結果的に、学生が独自性のある実現可能な目標を持ってものづくり実践できる場を提供できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミッションアイデアを創造する中で科学や技術の素養が高められ、ミッション実現のためのものづくりにおいて工学や技術の力が高められ、実験を通してミッション達成の中で数学・科学に立脚した考え方や解析技術の取得がなされることを期待している。特に宇宙開発に興味をもつ学生にとって、STEM教育の要素を含んだ教材とその教育実践となりつつある。ロケットで人工衛星が打ち上げられ、人工衛星データを地上で受信していることを模擬する教材が揃い、小学校高学年から大学生におよぶ広い世代毎に、レベルに応じた教育実践を実施できる体制が整いつつある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we showed the situation in which we are working on the construction of an educational system using pico-satellite model teaching materials. We have developed pico-satellite models, CanSat and Model CubeSat, and have conducted courses for the students of technical colleges to practice manufacturing through science and engineering collaborations. We developed a sensor-selective pico-satellite model and constructed an irradiation test system for solar panels using Model CubeSat, and confirmed its operation so that students could plan and accomplish missions in groups. As a result, we were able to provide opportunities where students can practice manufacturing with unique and feasible goals.

研究分野：工学教育、地球物理学科

キーワード：超小型衛星 衛星環境試験 人工衛星モデル CubeSat 太陽電池パネル照射試験

1. 研究開始当初の背景

現在、世界中で宇宙利用への民間や大学による参入が活発化している。中でも、超小型人工衛星の開発は、本格的な観測や実証をこなす技術レベルの人工衛星が増えており、多数の衛星を利用したコンステレーション観測などを目指して、活発な取り組みがなされている。日本においても、若い世代の学生が気軽に人工衛星開発に関われる時代が近づいており、興味関心を持ってもらうとともに、より教育効果の高い衛星開発教材が望まれている。

工学や科学の世界では、「自ら製作したものを試験して、評価する」ことは、一般によく行われている。人工衛星の場合、機器が稼働する場所とそこに至る状況が、地上の環境とは異なるため、稼働する環境を模擬した試験などを特別に準備しなくてはならない。実際にロケットで人工衛星を打ち上げるためには、各種の環境試験を実施していることが求められる。教育的な観点としては、特別な環境における試験での結果・分析・評価を経ることで、自らの製作物の問題点を意識し、改善方法を考え、改善することにつながると考えられる。一般的なモノづくり教育においても、「特別な環境での試験」を課すことは、学生が自分たちのモノづくりを振り返る良い機会となり、教育的にも効果が高いと考えられるが、定量的な評価はなされていない。

人工衛星開発のための導入モデルとしては、空き缶サイズの模擬人工衛星缶セットがある。高校生や大学生を対象としたコンテストなどが、国内外で開催されており、教材として十分普及している。より宇宙機に近いモデル CubeSat は、国内外で製作されているが、商用ベースのものが多く、高価であり、製作のハードルが高い。また、モデル CubeSat を用いたコンテストなどは、一般には普及していない。

人工衛星開発を大学生などへの教育と位置づけた取り組みは多い。この場合、資金を有する宇宙機の開発には、環境試験が必須である。一般的な高等学校や大学などで、衛星開発に必要な環境試験を実施できる施設が揃っていることは稀である。一部の環境試験に関しては、地域の工業試験場などで実施できるが、それなりの費用がかかる。九州工業大学などでは、小型衛星に特化した環境試験施設があるが、旅費も含めた費用面などの問題もあり、気軽に利用できる状況ではない。現状では、純粋な教育目的などのために、広く使われるような環境試験が構築されている例はほとんどない。

モノづくり教材を準備する上で、現在は安価で高精度な電子部品類が入手しやすく、センサ類のモジュール化、制御プログラム類のライブラリ化が進み、開発を効率的に行えるようになった。一方で、個々の部品のブラックボックス化が進んでおり、学生が個々の要素について深い理解に達するような教育的取り組みが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、今までほとんどなされてこなかった、モデル CubeSat のための環境試験構築を行う。自前の安価な設備を利用することで、学生が、何度も環境試験に臨むことができ、モデル CubeSat の製作過程を振り返り、モノづくりの質を高めることができると考えている。さらに、教育的な効果が大きくなるように、環境試験の目標の設定や評価方法を調整する予定でいる。

3. 研究の方法

3.1. 衛星モデル教材による教育実践

宇宙理工系を専門分野にもつ高等専門学校（高専）の教員が協力して、2015 年から高専スペースキャンプを開催しており、毎年 40 名程度の高専学生が宇宙に関連したモノづくり体験に取り組んできた。3泊4日の短期間で取り組むモノづくりと競技のために、図1に示すように、人工衛星やロケットに関連した教材を開発し、利用してきた。

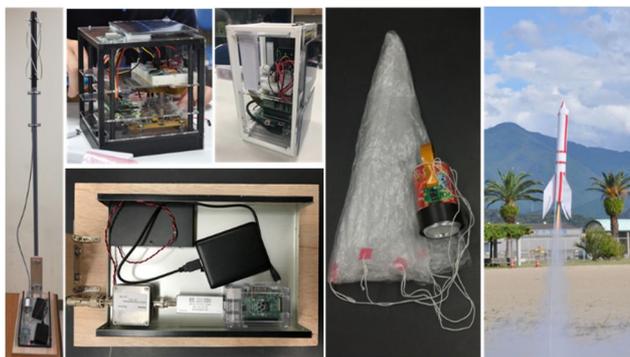


図 1 超小型衛星モデル教材の例

表1に、高専スペースキャンプで扱った超小型衛星モデル教材の講座実践の概要を示す。宇宙開発に携わる人材育成のため、人工衛星とロケットのモデルを中心とし、より本物の宇宙機に近いモデルへの改良に取り組んできた。2015年、2016年には、モデルロケットと缶セット（空き

缶サイズの超小型衛星モデル)を製作し、実験競技を行う取り組みであった。2016年、2017年には、センサ選択型の缶サットにより、グループ毎にミッションを立案し、異なる機能をもつ缶サットを製作する試みを行った。2018年、2019年には、1辺10cmの立方体を基準とするCubeSatと同等サイズのモデルCubeSatを製作し、複数の機能毎の実験競技などを実施した。

学生教育という観点では、指示された通りに製作するだけでなく、学生たちが考えたアイデアをモノづくりに反映させるため、ミッション立案型の競技を柱の1つにしている。学生グループでミッションを考えて、モノづくりを実践してもらうために、センサ選択型の教材とし、グループによって、異なる機能を実装できるようにした⁴⁾。

表 1 人工衛星モデル教材の講座実践の概要

年月	講座名	講座内容
2015年8月	缶サット製作講座	500ml 缶, 競技 (事前準備・初心者部門)
	モデルロケット製作講座	既製品モデルロケット製作, 定点回収競技 (事前準備, 初心者部門)
2016年8月	モデルロケット製作講座	既製品モデルロケット製作
	缶サット初心者講座	180ml 缶, 初心者向け
	ミッション立案缶サット製作	500ml 缶, センサ選択型, ミッション立案競技
2017年8月	缶サット初心者講座	180ml 缶, 初心者向け, モデルロケットでの打ち上げ
	ミッション立案缶サット製作	350ml 缶, センサ選択型, ミッション立案競技
2018年6-7月	缶サット遠隔講座	180ml 缶, 初心者向け, オンライン講座, 8月にモデルロケットでの打ち上げ
2018年8月	モデル CubeSat 製作	1U タイプ CubeSat, 電源・通信・姿勢系競技
2019年6-7月	缶サット遠隔講座	180ml 缶, 初心者向け, オンライン講座, 8月にモデルロケットでの打ち上げ
2019年8月	モデル CubeSat 製作	2U タイプ CubeSat, 電源・通信・姿勢・ミッション系競技

3.2 モデル CubeSat 用の電源基板と光照射システム

人工衛星は、太陽電池パネルから発電により、衛星運用に必要な電力を賄っている。モデル CubeSat の電源系は、太陽電池パネルと充電電池、電源基板から構成されており、電源基板は、コンピュータボードへの給電、充電電池への充電、および各太陽電池パネルの電流・電圧計測の機能を有している。図2に示すように、製作した電源基板には、3つの太陽電池パネルと充電電池、およびコンピュータボードである Raspberry Pi zero 2W を接続できる。計測する電流と電圧値から発電電力を算出できる。

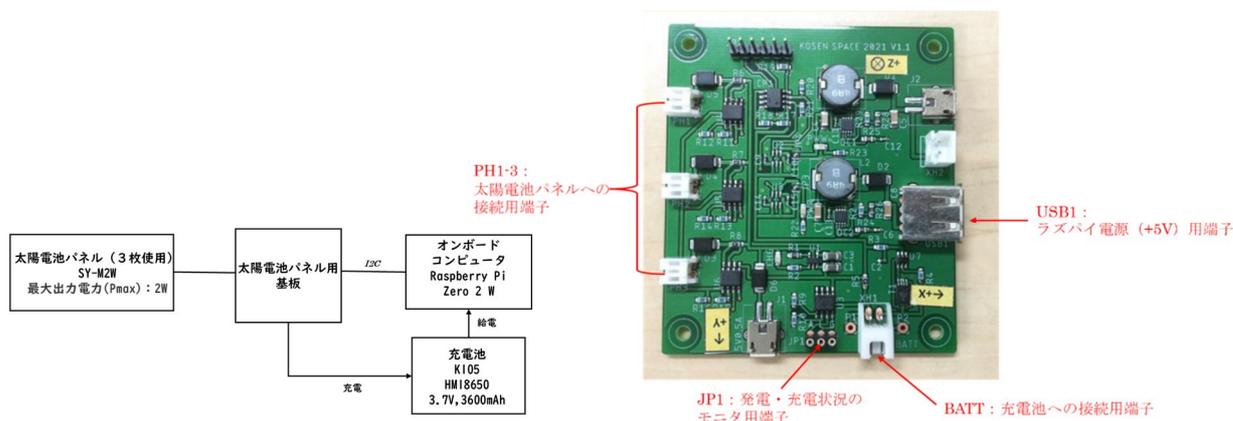


図 2 モデル CubeSat 用の電源系構成図と電源基板



図3 光照射システムによる実験の様子

衛星の軌道上では、太陽光が当たる日照と地球などの陰になる日陰を繰り返すが、日照と日陰の時間は、主に衛星高度によって決まる。国内で超小型模擬衛星を軌道投入する手段としては、国際宇宙ステーション ISS(高度 380~420 km)からの放出ミッションや革新的衛星技術実証(高度 500-600 km 程度)として多くの人工衛星と共に打ち上げられる機会がある。これらの高度では、公転周期は 92~96 分程度であり、1 周期あたりの日照時間は、軌道系射角や日時によって変化する。2021 年 11 月 9 日に打ち上げられた KOSEN-1 衛星では、日照時間の最大は 70 分、最小は 54 分、平均は 60 分であった。

日照時間を再現する試験システムを構築するために、プログラムタイマーやハロゲンランプ、回転台を用いた。プログラムタイマーにより、24 時間を 15 分単位で、毎日自動的に電気機器の電源を「入/切」できる。ハロゲンランプを代替光源として用いる。宇宙空間での人工衛星は様々な回転運動を行っているため、地上試験では、回転台を用いて平面内での回転運動を模擬している。

4. 研究成果

4. 1. 衛星モデル教材を活用した STEM 教育への仕組み

センサ選択型の超小型衛星モデルを利用したミッション立案型競技は、STEM の各要素が重要な役割を担っている。科学的な要素は、センサ類の動作原理などを理解する上で必要であり、ミッション考案に重要な影響を与える。技術的な要素は、電子部品、機械的な構造物、制御プログラミングなどの各々について必要となる。工学的な要素は、技術を活かしてシステム全体を構築する上で必要となる。数学的な要素は、センサデータの物理量への変換や実験結果の解析など、様々な場面で必要となる。

近年では、STEM に芸術(Art)を加えた STEAM 教育(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics Education)に注目が集まっている。現段階の我々の取り組みとしては、評価の枠組みに直接的に芸術的な要素は入っていない。ただし、ロケットや人工衛星の見た目やデザインは、一般の人々に大きな影響を与えている。モノづくりミッション立案において、デザイン性は重要な要素の 1 つであり、機能的或いは科学的に優れた発想に繋がるための要素として、今後ますます重要となってくるだろう。超小型衛星モデル教材を扱った実践においても、より長期間の PBL (Project Based Learning) などの取り組みにおいては、芸術要素やデザイン思考を取り組んだ実践が求められていくと考えられる。

本研究では、超小型衛星モデル教材を活用した教育システムの構築に取り組んでいる状況を示した。これまで、高専学生を対象とした理工学連携によるモノづくり実践のために、超小型衛星モデルである缶サットやモデル CubeSat の開発および講座実践を行ってきた。特に、学生がグループでミッションを立案し、達成できるように、センサ選択型の超小型衛星モデルを開発した。結果的に、学生が独自性のある実現可能な目標を持ってモノづくり実践できる場を提供できるようになった。

ミッションアイデアを創造する中で科学や技術の素養が高められ、ミッション実現のためのモノづくりにおいて工学や技術の力が高められ、実験を通してミッション達成の中で数学・科学に立脚した考え方や解析技術の取得がなされることを期待している。特に宇宙開発に興味を

もつ学生にとって、STEM 教育の要素を含んだ教材とその教育実践となりつつある。ロケットで人工衛星が打ち上げられ、人工衛星データを地上で受信していることを模擬する教材が揃い、小学校高学年から大学生におよぶ広い世代毎に、レベルに応じた教育実践を実施できる体制が整いつつある。

4.2. 日射量と表面温度の実験結果

実際の太陽放射照度と比較するため、ハロゲンランプ光源からの距離を 100 cm, 80 cm, 60 cm, 40 cm, 20cm として日射量の計測を行った。また、実験システムの安全性について考えるため、太陽電池パネルの表面温度をサーモグラフィカメラで撮像した。実験の様子を図 4 に示す。照射実験開始後 30 分間で、太陽電池パネルは 10℃ 以上の上昇を示している。一方で、ハロゲンランプは、70℃ 程度の上昇により、90℃ 以上の温度となっている。モデル CubeSat の太陽電池パネルに触れても問題はないが、ハロゲンランプに接触すると、火傷などのリスクがある。これらの結果を踏まえて、実験時間や注意事項などをまとめる必要がある。

日射量に関しては、1 sun (1000 W/m²) を基準とすると、ハロゲンランプから 20 cm の距離の場合に約 1/5 程度、40 cm の場合に約 1/6 程度になっている。

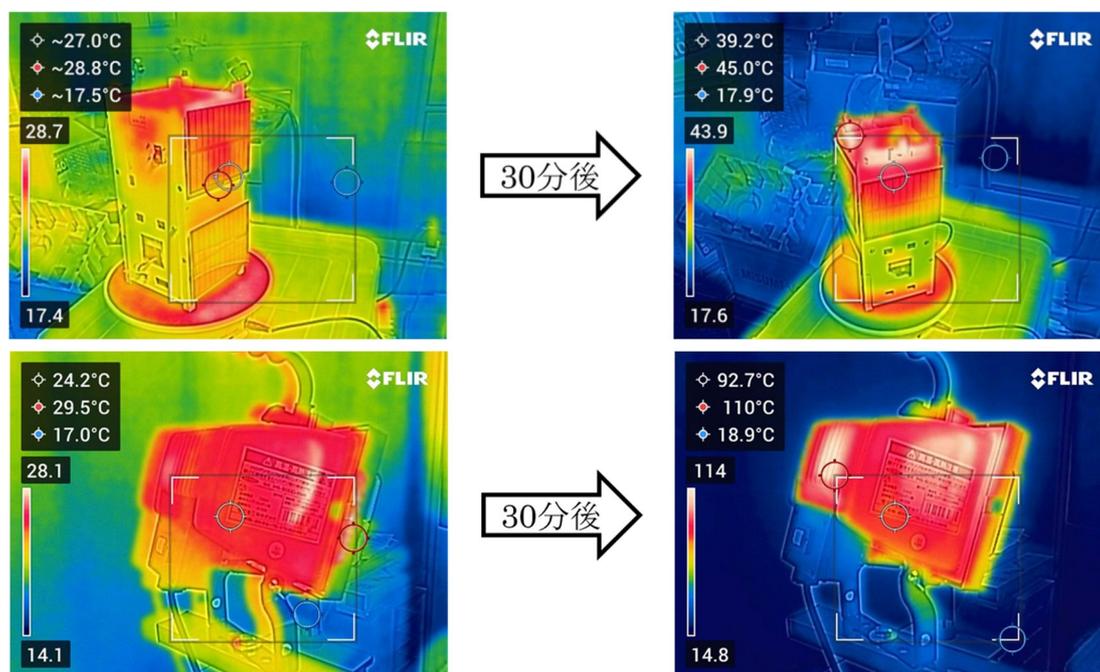


図 4 熱画像の時間変化 (距離 20 cm の場合):(上) 太陽電池パネルと(下) ハロゲンランプ

次に、衛星軌道上の 1 パスに相当する 90 分間の照射結果を示す。光源との距離が 40 cm の場合に、バッテリーの消費電力や電流、電圧の推移と、太陽電池パネル 1 枚ごとの電力を取得した。結果として、光源の照射中(日照)では、太陽電池からの電力が安定しているが、照射休止中(日陰)では、太陽電池からの給電はない。講座などでは、1~3 周期分のデータ取得を目指しているが、今回 3 周期分の約 270 分程度でも、問題なく動作できることを確認した。

参考文献

- 1) Nakaya, J., T. Takada, Y. Kajimura, H. Tsuchiya, N. Uezono, Y. Sasaoka, S. Ueta, M. Wakabayashi, and K. Kitamura: Development of CubeSat ground model extended from CanSat: Application to space education at KOSEN, Transactions of JSASS Aerospace Tech. Japan, 18-5, 281-287, 2020
- 2) Tokumitsu, M., F. Asai, T. Takada, M. Wakabayashi, and K. Kitamura: A report on the satellite communication lectures with practical training of simple receivers conducted by the KOSEN space group, Transactions of JSASS Aerospace Tech. Japan, 19-1, 123-129, 2021
- 3) Wakabayashi, M., T. Takada, K. Kitamura, J. Nakaya, Y. Kajimura, M. Tokumitsu, Y. Murakami, M. Shinohara, K. Imai, F. Asai, and K. Shimada: Report on the 2017 and 2018 KOSEN space camps: Mission CanSat to model CubeSat, Transactions of JSASS Aerospace Tech. Japan, 19-1, 130-134, 2021
- 4) 徳光政弘, 高田拓, 村上幸一, 中谷淳, 下垣丈汰朗, 今井雅文, 若林誠, 上田真也, オンライン型モノづくり講座の実践と協同ミッション: 缶サットからモデル CubeSat 製作まで: 工学教育 (事例紹介), 69-6, 120-125, 2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 徳光政弘、高田拓、村上幸一、中谷淳、下垣丈汰朗、今井雅文、若林誠、上田真也	4. 巻 69-6
2. 論文標題 オンライン型モノづくり講座の実践と協同ミッション：缶サットからモデルCubeSat製作まで	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 工学教育（事例紹介）	6. 最初と最後の頁 120-125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4307/jsee.69.6_153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WAKABAYASHI Makoto, TAKADA Taku, KITAMURA Kentaro, NAKAYA Jun, KAJIMURA Yoshihiro, TOKUMITSU Masahiro, MURAKAMI Yukikazu, SHINOHARA Manabu, IMAI Kazumasa, ASAI Fumio, SHIMADA Kazuo	4. 巻 19
2. 論文標題 Report on the 2017 and 2018 KOSEN Space Camps: Mission CanSat to Model CubeSat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 130～134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/tastj.19.130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 徳光政弘、高田拓、中谷淳、浅井文男、今井一雅	4. 巻 10
2. 論文標題 超小型衛星のためのアマチュア無線帯地上局のネットワーク活用に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇宙科学情報解析論文誌	6. 最初と最後の頁 139-151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20637/00047379	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 村上幸一、高田拓、徳光政弘、今井雅文、今井一雅、多田一真、筒井巽水、	4. 巻 12
2. 論文標題 KOSEN-1 衛星運用とアマチュア無線帯高専地上局ネットワークの活用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 宇宙科学情報解析論文誌	6. 最初と最後の頁 63-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20637/00049172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 若林 誠、村上 幸一、中谷 淳、徳光 政弘、高田 拓、今井 雅文
2. 発表標題 高専宇宙人材育成における気球実験の取り組みと将来像
3. 学会等名 大気球シンポジウム：2021年度
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Wakabayashi, K. Imai, M. Imai, M. Tokumitsu, J. Nakaya, Y. Murakami, N. Hirakoso, T. Takada, K. Shimada
2. 発表標題 Cultivation of space human resources by nationwide KOSEN online lectures and idea contest to develop mission planning ability
3. 学会等名 Joint Conference: 33rd ISTS, 28th 10th NSAT and 14th IAA ICPM (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kitamura, M. Ikeda, S. Miura, K. Imai, T. Takada, M. Wakabayashi, Y. Kajimura, N. Hirakoso, M. Shinohara, M. Tokumitsu, J. Nakaya, Y. Murakami and Y. Kakinami
2. 発表標題 Three-year achievements in Human Resource development program in space engineering
3. 学会等名 Joint Conference: 33rd ISTS, 28th 10th NSAT and 14th IAA ICPM (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林 誠、今井 雅文、徳光 政弘、中谷 淳、今井 一雅、平社 信人、池田 光優、高田 拓、北村 健太郎、村上 幸一、高専スペース連携
2. 発表標題 高専間で連携した実践的宇宙人材育成
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村健太郎、梶村好宏、池田光優、高田拓、村上幸一、今井一雅、平社信人、西尾正則、若林誠
2. 発表標題 異なるレベルを対象とした包括的な人工衛星技術教育とその評価法の開発
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田拓、上田真也、中谷淳、徳光政弘、北村健太郎
2. 発表標題 STEM教育のための超小型衛星モデル教材と教育活用 - モノづくりとミッション立案による協同作業 -
3. 学会等名 2020年度工学教育研究講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井一雅、平社信人、高田拓、北村健太郎、中谷淳、村上幸一、徳光政弘、今井雅文、西尾正則、深井貫、KOSEN-1 チーム
2. 発表標題 高専連携技術実証衛星 KOSEN-1 について(2)
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木悠泰、須原廉、高田拓
2. 発表標題 超小型模擬衛星のための簡易的な太陽電池電力監視試験システムと動作確認実験
3. 学会等名 第28回 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星野拓巳、高田拓
2. 発表標題 KOSEN-2衛星搭載用の磁気センサ基板の設計と磁気勾配測定の検討
3. 学会等名 第28回 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷淳，土屋華奈，高田拓，若林誠，徳光政弘，今井雅文，梶村好宏，今井一雅，北村健太郎，村上幸一
2. 発表標題 フレッドボードモデルへ発展可能なキューブサット学習モデルの開発と高専衛星開発における教育活用事例
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石川 智浩 (Ishikawa Tomohiro) (30369954)	北海道教育大学・教育学部・准教授 (10102)	
研究分担者	北村 健太郎 (Kitamura Kentaro) (60380549)	九州工業大学・大学院工学研究院・教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------