

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01005

研究課題名(和文) CubeSatを利用した学士課程向けエンジニアリングデザイン教育システムの開発

研究課題名(英文) Development of Engineering Design Educations by using CubeSat for Bachelor Course Students

研究代表者

北村 健太郎 (Kitamura, Kentaro)

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・教授

研究者番号：60380549

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)：本研究は、超小型人工衛星(CubeSat)を複合技術学習のための教材と捉え、学士課程の複合的技術教育に汎用的に適用可能なカリキュラム開発を目指す。CubeSatは、機械、電気・電子、通信など複合する要素技術を複数のグループが協調して開発するプロジェクトマネジメントの好例である。本研究では、実際のCubeSat開発が大学院生などが主導して実施されている状況を踏まえ、こうしたCubeSatを学士課程の工学教育に汎用的なカリキュラムとして導入するための方策について検討する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、手のひらサイズの人工衛星(CubeSat)を主に学士課程の工学教育プログラムにおいて汎用的に導入できる教材開発・カリキュラム開発を行った。これまでCubeSatは航空宇宙工学の大学院生が中心になって開発してきたが、グループで協調しながら多くの要素技術を複合的に駆使して特定の会のない課題に取り組むというエンジニアリング・デザイン教育のコンテンツとして一般的に工学教育に適用可能なプログラムとして学士課程の教育に導入した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the Nano-size artificial satellite (CubeSat) is applied to an actual curriculum in bachelor course program to cultivate student's abilities in terms of the Engineering Design Education. The CubeSat is widely recognized that it has been developed in many universities as a student program which is mostly conducted by graduate student. The students need to collaborate to integrate many elementary engineering subjects to develop the CubeSat. This process is completely equivalent to the Engineering Design Education. In this study, we investigated situation surrounding the CubeSat especially in the higher education institutions, then developed teaching materials and curriculums which can be adopted in the actual bachelor course program.

研究分野：超高層物理学

キーワード：超小型衛星 エンジニアリング・デザイン 学士課程教育

1. 研究開始当初の背景

1999年にスタンフォード大学の Twiggs らによって提案された、10cm 立方で重量 1kg 以下の超小型衛星である CubeSat は、2003 年以降、国内の複数の大学や高等専門学校において学生主体での開発が行われ、現在までに 20 機を超える打ち上げが行われてきた。

一般に衛星システムは、システム設計、システム制御、ネットワーク通信、機械設計、計測技術等の複合的な技術を用い、工学的ミッションや科学ミッションを実現する事を目的としている。あるミッションを達成するために複数の専門分野の知識を駆使し、オープンエンドなものづくりの課程を体験することは、近年の工学教育に求められるエンジニアリング・デザイン教育の考え方そのものである。

基本的な衛星システムは、構体系、電源系、熱制御系、データ処理系など複数のサブシステムから構成されているが、ここのサブシステムは比較的体系的な工学要素によって成立しており、衛星システムを題材とした工学教育はエンジニアリング・デザイン教育のコンテンツとして、単に航空宇宙工学の一分野としてではなく、機械工学、情報工学、電気工学、情報通信工学など幅広い専門分野が参画可能な教育コンテンツとして発展可能な可能性を秘めている。

本研究では、こうした CubeSat 開発を取り上げ、エンジニアリング・デザイン教育のコンテンツとして、航空宇宙分野に限らない広い分野で実施可能な「学士課程を対象としたエンジニアリング・デザインのための CubeSat 教育システム」の構築を目指す。

2. 研究の目的

本研究は、上述のような現実の問題解決を視野に入れた実際の超小型人工衛星開発を、より一般的な工学教育のコンテンツとして適応するため、以下を具体的な目的とした。

(1) 実際の CubeSat 開発に関するサブシステムごとの教育コンテンツの構築

本研究の目的は、実際の CubeSat 開発の教育的な効果を宇宙工学のみでなく、より一般的な工学教育のカリキュラムに適応させることである。一般に人工衛星開発は、電源系・通信系・データ処理系・構体系・熱制御系・姿勢制御系・計測系など工学分野を網羅する複数のサブシステムによって構成されている。これらのサブシステムごとの教育コンテンツを開発することによって、より様々な工学分野において衛星システムの部分的な要素技術に基づいた教育カリキュラムが構築できるようにする。

(2) 複数のサブシステムを複合させた、ミッション指向の協調設計に関するカリキュラム開発

衛星システムを用いた教育の本質は、広い工学分野にまたがる複数の要素技術を協調的に複合させるモノづくりを、多人数のグループワークによって実現するところにある。このような取り組みを実際のカリキュラムとして作成するために必要な教材開発と学習プロセスの開発を行い、実際の高等教育において適用可能な「CubeSat 教育システム」を開発する。

3. 研究の方法

本研究は、CubeSat 開発を、学士課程におけるエンジニアリング・デザイン教育として導入するためのカリキュラム開発であり、CubeSat 開発経験のある教育機関及び現在開発中の教育機関に対する訪問調査を通じて分析結果を基にした教材開発、実際の授業における試行・評価等を行った。

上記の研究計画を実施する課程に於いて、毎年、学協会における経過報告を行い、また最終年度には、研究結果を取りまとめ、学術誌への論文投稿を行った。

4. 研究成果

本研究では、3 年にわたって継続的に CubeSat の開発経験や、小型衛星の開発経験のある、教育機関研究機関への訪問調査を実施し、実際の学士課程教育に適用可能なカリキュラムの開発を行った。

H29 年度は、CubeSat を題材とした教育方法について、問題点の抽出や文献調査、現地調査等を通じて方針の決定を行った。

これまでに、研究分担者との継続的な議論や、大学等における宇宙科学教育の実践方法に関する現地調査等を行った。その結果、CubeSat を実践的なものづくり教育のコンテンツとする際の懸念事項として(1)CubeSat の製作自体が目的化すること(2)学生が場当たりの製作を行う、の 2 点が挙げられた。こうした点に対して、本研究で実施するプログラムとしては、最初に規定したミッションの達成を目的とするものづくりであることを強調した「ミッション指向のものづくりプロセス」と、ミッションを達成するための要求を明確にし、要求仕様の数値化や設計作業を重視する「設計プロセスの重視型の教育コンテンツ」という 2 点を明確にする必要性が確認された。

これらの議論を通じて、モデル CubeSat を用いたミッション実施型の教育コンテンツの開発を行うという方針に従い、研究分担者との協力の下で組み込みマイコンを使った教材開発の試作を実施した(図 1)。具体的には、mbed を用いたモデル CubeSat 教材の開発(図 2)と、Raspberry Pi を用いた、投下型の CanSat 教材の検討及び開発を開始した。mbed 専用の開発環境を用いるこ

とで、複雑な機能をコンパクトに実装することが出来る。一方で、Raspberry Pi は OS を搭載しており、LINUX 環境でのプログラミングを経験した学生にとっては馴染みの深い環境で開発が出来る利点がある。

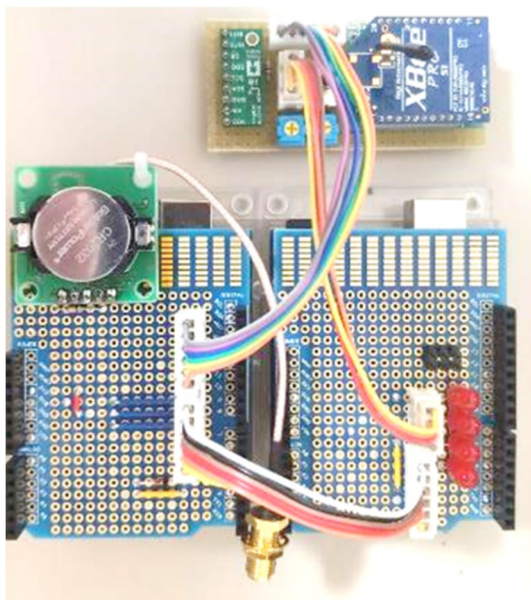


図 2 . GPS 機能学習用教材例

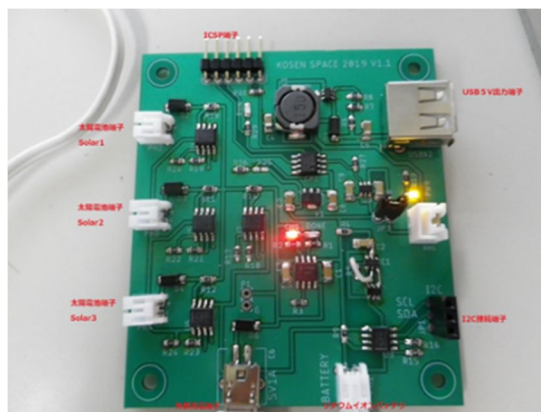


図 1 . CubeSat モデル用電源基板の例

上述の、教育機関への訪問調査や教材・コンテンツ等の開発を経て、高専専攻科 1 年生 (大学 3 年相当) を対象とした機械制御工学総合実験に於いて、ドローン、モデルロケット、CubeSat といった飛翔体を用いた工学ミッションを行うための基本的要素技術を理解するための授業設計を行った。全 15 回のカリキュラムを構成し、初回のガイダンス・概論に始まり、モデルロケットの理論・実験、CubeSat を構成する各種センサの実験、センサを用いた制御実験等を実施した。これらの実験を通じて、要素技術についての基本的理解を習得したのち、学生は次年度に CubeSat、モデルロケット、缶サット、ドローン等による空中ミッションを実施する PBL 科目を受講する。本研究では、上述の実験の状況を踏まえ翌年度実施予定の PBL 科目 (総合演習) についてのシラバスの検討を行った。ここで検討した総合実験及び総合演習のシラバスの一部を表 1 および表 2 に示す。

表 1. 機械制御総合実験のシラバス例

1 週	ガイダンス	モデルロケット、ドローンなどを用いたメカトロ技術総合教育について、背景、目的、総合実験の概要、総合演習との関連などを理解し、全体像を把握する
2 週	モデルロケット 4 級講習	モデルロケット 4 級講習を受講し、モデルロケットの打ち上げができるようになる
3 週	ロケットの動力	モデルロケットのエンジンの推力測定実験を行い、モデルロケットの動力についてその構造、作動原理を理解し、説明できるようになる
4 週	ロケットの重心	モデルロケットの重心と圧力中心の位置に関する実験を通して両者の関係を理解し、モデルロケットの重量バランスを決定できるようになる
5 週	ロケットの強度	モデルロケットの胴体に用いる厚紙の円筒について座屈試験を行い、ロケット打ち上げに対して変形しないボディーを考案することができるようにする
6 週	ドローンの飛行演習	マルチコプターの飛行演習を通して、マルチコプターの作動要素、姿勢制御に必要な要素の概要が説明できるようになる
7 週	ドローンの動力	マルチコプターの動力源に用いられているモータの性能評価を行い、モータの出力特性について説明できるようにする
8 週	ドローンの振動_1	回転体の振動の特徴とローター固有振動数について理解する
9 週	ドローンの振動_2	Myklestad 法による回転中のメインローターの固有振動解析を行い、実験による計測値と比較する
10 週	ドローンの強度	マルチコプターのモータ取り付けアームの CAE を行い、マルチコプターのフレームにかかる力とその強度について説明できるようにする

11週	ドローンの制御_1	ドローンの姿勢制御に用いられているセンサのうち、3軸ジャイロについてその動作原理を実験を通して学び、3軸ジャイロの動作原理が説明できるようにする
12週	ドローンの制御_2	ドローンの姿勢制御に用いられているセンサのうち、加速度センサについてその動作原理を実験を通して学び、加速度センサの動作原理が説明できるようにする
13週	ドローンの制御_3	ドローンの姿勢制御に用いられているセンサのうち、GPSについてその動作原理を実験を通して学び、GPSの動作原理が説明できるようにする
14週	ドローンが持つ応用技術	地形観測や障害物回避などで用いている CCD カメラについて、その撮影原理・データの変換原理などを実験を通して理解し、CCD カメラを用いたドローンの安定飛行におけるシステム構築原理を説明できるようにする
15週	まとめ・報告会準備	これまで行ってきた実験を通して、各要素に対して理解できたことをまとめ、報告会で報告する準備を行う
16週	報告会	モデルロケット・マルチコプターの各要素に関して理解できたことを報告し、総合演習でそれぞれの製品が設計できるようになるための準備を行う

表 2. 機械制御総合演習のシラバス例

1週	オリエンテーション	本授業の目的、実施方法等について理解する
2週	宇宙機システムの開発方法	宇宙機の開発プロセスについて理解する
3週	プロジェクトマネジメントの方法	グループで1つの課題を分担しながら実施する場合のプロジェクトマネジメントの方法について理解する
4週	ミッションの策定	実際に行う空中ミッションを策定する
5週	概念設計1	ミッションを実施するために必要な、機体の諸元・仕様を策定する
6週	概念設計2	ミッションを実施するために必要な、機体の諸元・仕様を策定する
7週	概念設計レビュー	策定したミッションの妥当性と健闘した概念設計のレビューを行う。
8週	基本設計1	概念設計を踏まえて、具体的な基本設計を行う
9週	基本設計2	概念設計を踏まえて、具体的な基本設計を行う
10週	設計レビュー	基本設計のレビューを行い、開発開始の妥当性を検討する。
11週	機体開発	実際の機体開発を行い、毎週進捗状況に関するレビューを行う。
12週	機体開発	実際の機体開発を行い、毎週進捗状況に関するレビューを行う。
13週	機体開発	実際の機体開発を行い、毎週進捗状況に関するレビューを行う。
14週	機体開発	実際の機体開発を行い、毎週進捗状況に関するレビューを行う。
15週	機体開発	実際の機体開発を行い、毎週進捗状況に関するレビューを行う。
16週	機体テスト	開発した機体で、目的のミッションが達成できるか確認を行う

本研究期間においては、上記の通り CubeSat を題材にした、カリキュラムおよび教材開発を通して、実際の学士課程カリキュラムとして導入することができた。これにより当初予定していた研究目標はおおむね達成することができた。研究期間終了後の R02 年度には、PBL 科目としての機械制御総合演習を実施し継続的にカリキュラムと学生の達成度についての追跡調査を実施していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 KITAMURA Kentaro, SAKURAMOTO Itsuo, IKEDA Mitsumasa, TAKADA Taku, IMAI Kazumasa, WAKABAYASHI Makoto, KOSEN Space Collaboration Group	4. 巻 17
2. 論文標題 An Engineering Design Education Program as an Inheritance of a Space Technology Education Project	5. 発行年 2019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 39 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2322/tastj.17.39	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 SASAOKA Yui, UEZONO Namiki, KAJIMURA Yoshihiro, NAKAYA Jun, KITAMURA Kentarou, UETA Shinya, TAKADA Taku	4. 巻 67
2. 論文標題 Example of an Online Manufacturing Course in Engineering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of JSEE	6. 最初と最後の頁 2_63 ~ 2_68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4307/jsee.67.2_63	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 UEZONO Namiki, SASAOKA Yui, NAKAYA Jun, TSUCHIYA Hana, KAJIMURA Yoshihiro, KITAMURA Kentarou, UETA Shinya, TAKADA Taku	4. 巻 67
2. 論文標題 Development and Application of a CubeSat Ground Model for Space Technology Education	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of JSEE	6. 最初と最後の頁 2_95 ~ 2_100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4307/jsee.67.2_95	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 UEZONO Namiki, SASAOKA Yui, NAKAYA Jun, TSUCHIYA Hana, KAJIMURA Yoshihiro, KITAMURA Kentarou, UETA Shinya, TAKADA Taku	4. 巻 67
2. 論文標題 Development and Application of a CubeSat Ground Model for Space Technology Education	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of JSEE	6. 最初と最後の頁 2_95 ~ 2_100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4307/jsee.67.2_95	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 Hirakoso N., K. Tajima, M. Ando, E. Chang, K. Kitamura, K. Imai, and Y. Shigematsu	4. 巻 Vol. 10, No. 5
2. 論文標題 A Study on Attitude Estimation for Small Satellite by Lunar Outline Extraction, SICE Journal of Control	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 486-492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hirakoso N., K. Tajima, M. Ando, Eric Tan Kai Chiang, K. Kitamura, K. Imai, Y. Shigematsu	4. 巻 Vol.10, No.4
2. 論文標題 A study on Attitude Specification for Small Satellite by Lunar Outline Extraction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 001-007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Chiang E., M. Ando, K. Kitamura, K. Imai, N. Hirakoso	4. 巻 3A2-3
2. 論文標題 A Study on Attitude Control System during Deployment of Antenna of Ultra-Small Satellite for Observing Jupiter's Decametric Radio Emission	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE International Symposium on Control Systems	6. 最初と最後の頁 1195-1199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 下村克樹, 坪内麟太郎, 山田磨耶, 上田真也, 高田拓	4. 巻 63
2. 論文標題 大気圏観測のための気球搭載観測装置の開発と放球実験結果: 予測経路との比較とデータ通信に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 高知工業高等専門学校学術紀要	6. 最初と最後の頁 63-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 笹岡由唯, 上園波輝, 川上舞帆, 坪内麟太郎, 横山有太, 上田真也, 高田拓	4. 巻 63
2. 論文標題 成層圏気球のための低温・低圧下におけるオンボードコンピュータRaspberryPiの発熱と保温性能に関する評価実験	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 高知工業高等専門学校学術紀要	6. 最初と最後の頁 35-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 坪内麟太郎, 中平凱斗, 下村克樹, 上田真也, 平社信人, 高田拓	4. 巻 66-2
2. 論文標題 学生グループ教育のためのミッション立案型缶サットの開発・講座設計・実践	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 79-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 北村健太郎, 今井一雅, 高田拓, 篠原学, 若林誠, 高専スペース連携グループ
2. 発表標題 ISS放出CubeSatによるSq電流観測計画
3. 学会等名 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takada, T., J. Nakaya, Y. Kajimura, M. Tokumitsu and K. Kitamura
2. 発表標題 Overview of start-up activities within the network-based educational framework of the "KOSEN Space Academia
3. 学会等名 ISATE2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Imai, K., N. Hirakoso, K. Kitamura, T. Takada, and KOSEN-Space-Renkei GroupC. A. Higgins, J. R. Thieman, and NASA Radio JOVE Team
2 . 発表標題 CubeSat project for Jupiter's radio science
3 . 学会等名 Conference on Magnetospheres of the Outer Planets (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Obuchi, S., R. Tamura, M. Ando, K. Kitamura, J. Nakaya, T. Takada, K. Imai, Y. Hirama, Y. Shigematsu, and N. Hirakoso
2 . 発表標題 An experimental study on attitude control system for small satellite by using dual reaction wheel
3 . 学会等名 IEEJ International Workshop on SAMCON 2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kitamura K., I. Sakuramoto, M. Ikeda, T. Takada, K. Imai, M. Wakabayashi, Kosen Space Collaboration Group
2 . 発表標題 An Engineering Design Education Program as an Inheritance of Space Technology Education Project
3 . 学会等名 31th International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Lkhagvadorj SUKHTSODOL, Y. NAKAYAMA, R. FUJITA, M. ANDO, Kai TAN CHIANG ERIC, K. IMAI, N. HIRAKOSO, T. TAKADA, K. KITAMURA
2 . 発表標題 A CubeSat Project to Observe the Beaming Structures of Jupiter ' s Radio Emissions
3 . 学会等名 31th International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takada, K. Imai, K. Kitamura, Y. Muakami, F. Asai, M. Wakabayashi, Y. Kajimura, N. Hirakoso, M. Shinohara, J. Nakaya, M. Tokumitsu, K. Shimada Tsutomu
2. 発表標題 Three years Results of Space Technology Education Project from a Collaboration with National Technical Colleges for Small Spacecraft Development
3. 学会等名 31th International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wakabayashi M., T. Takada, K. Imai, Y. Kajimura, J. Nakaya, K. Kitamura, Y. Murakami, F. Asai, M. Tokumitsu, M. Shinohara, K. Shimada
2. 発表標題 Implementation Report of KOSEN Space Camp
3. 学会等名 31th International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Imai K., L. Sukhtsodol, M. Ando, N. Hirakoso, T. Takada, K. Kitamura, C. A. Higgins, J. R. Thieman
2. 発表標題 CubeSat project for the investigation of the beaming structures of Jupiter's decametric radio emissions
3. 学会等名 第142回地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高田拓
2. 発表標題 安価で超小型の成層圏気球観測装置の開発と今後の実験の検討
3. 学会等名 平成29年度国立極地研究所研究集会「低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村克樹, 坪内麟太郎, 上田真也, 高田拓
2. 発表標題 単発ロケットエンジンによる缶サット搭載型モデルロケットの打ち上げ実験の報告
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坪内麟太郎, 高田拓, 上田真也
2. 発表標題 複数センサ選択可能な空き缶模擬衛星キットの開発とグループ製作の設計について
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2017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	池田 光優 (IKEDA Mitsumasa) (80311083)	徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・教授 (55503)	
研究分担者	高田 拓 (Takada Taku) (80455469)	高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・准教授 (56401)	
連携研究者	糸長 雅弘 (Itonaga Masahiro) (60213104)	山口大学・国際総合科学部・教授 (15501)	