

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 19 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03047

研究課題名(和文) 宇宙教育のための人工衛星学習キットの開発と実践的のものづくり教育の試み

研究課題名(英文) Development of New Satellite Learning Kit for Space Education and Trial of Practical Monozukuri Education

研究代表者

中谷 淳 (NAKAYA, Jun)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10413775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：初学者が超小型衛星(キューブサット)のミッションやバス・サブシステムといった衛星システムの基礎を市販の電子部品等を使用して実践的に学び、そしてミッションを検討するためのキューブサット学習モデルを開発した。2019年-2021年にかけて高専連携によるKOSEN-1、2の開発に合わせて2Uサイズの学習モデルを開発し、高専の宇宙教育である高専スペースアカデミアにおいて衛星講座や競技会にて活用した。また、開発した学習モデルは、実際のキューブサットのブレッドボードモデルとしても発展できる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工衛星は、機械、電気、情報、制御など様々な分野を統合したシステムであり、研究で開発したキューブサット学習モデルは、衛星開発に直接役立つ知識と技術を学ぶことを念頭に開発されている。今や、人工衛星は、気象観測、放送通信、衛星測位など我が国の生活を支えるインフラとして不可欠となっており、今後もますます民間による宇宙開発利用が広がりを見せつつある今、本学習モデルは宇宙技術者のための最初の教育題材としても有効利用できるものと期待できる。一方、設計、電子工作、プログラミングといった基礎的な内容を学ぶためにも活用することができるため、青少年に対する理工学教育の題材としても極めて有用である。

研究成果の概要(英文)：A CubeSat learning model was developed for beginners to study satellite systems such as CubeSat missions and bus/subsystems, as well as mission design. The 2U size learning model was developed in conjunction with the development of KOSEN-1 and 2 in collaboration with National Institute of Technology (KOSEN) from 2019 to 2021, and used in satellite courses and competitions in space education at KOSEN (KOSEN Space Academia). The developed learning model also showed the potential to be developed as a breadboard model for actual CubeSat.

研究分野：航空宇宙工学、軌道力学、空気力学

キーワード：キューブサット学習モデル キューブサット 超小型衛星 宇宙工学教育 宇宙教育 高専教育

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2003年に東京大学および東京工業大学のキューブサットが初めて打ち上げに成功して以来、大学または民間企業が開発した数多くのキューブサットが打上げられている。最近ではキューブサット開発のための情報も広く公開され、衛星開発の参入ハードルは下がりつつある。しかしながら、衛星開発の経験がない学生が、衛星の構成やサブシステムの基礎を無理なく学び、実際に衛星開発まで到達できる環境が十分に整備されているとは言い難い状況にある。宇宙教育に利用されている空き缶衛星(缶サット)は衛星開発の登竜門と言われているが、実際に衛星開発に必要な基本をくまなく学習するための題材としては不十分であることが経験的に分かっている。特に、缶サットでは電気分野、情報分野の基礎を学習するには適しているが、機械系の内容を学習することはできない。一方、超小型衛星向けの教材も現存しているが、学習できる内容が缶サットと同様に限定的であること、そして、价格的に高価であることから、教育的、実用的な視点から有用性が高いとは言い難い。そこで、市販の電子部品を基に衛星システムの基礎を学び、その後は実際の衛星の試験モデル(ブレッドボードモデル)程度にアップグレード可能な学習素材があれば、衛星開発に直接役立てることが出来るのではと考えた。

2. 研究の目的

人工衛星に対する知識がゼロの状態から衛星システムの開発に必要な機械系、電気系、情報系の基礎を学んだ後、サブシステムおよびミッション検討に直接役立てる知識と技能を習得し、衛星開発に参入するところまで到達できるキューブサット学習モデル(Learning Model: LM)を開発し、高専における宇宙教育で活用することを目的とする。

3. 研究の方法

先行研究で開発したキューブサットモデル(図1)^{1), 2), 3), 4)}を基に、国立高専連携で開発する木星電波観測技術実証衛星「KOSEN-1」の開発に繋げることが出来る2Uサイズの学習モデルへ改良する。また、共同開発する学生の意見或いは高専の宇宙教育へ参加した学生からのアンケート結果等を参考に、学習モデルを継続的に改良する。

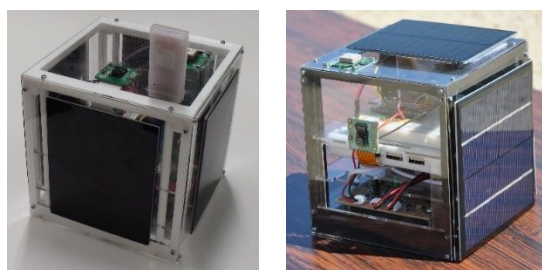


図1 先行研究で開発したキューブサット学習モデル(左)¹⁾および高専スペースキャンプ2018で使用したキューブサット学習モデル^{2), 3), 4)}

4. 研究成果

(1) 学習モデルの開発

2018年12月に今井一雅教授(現、高知高専名誉教授)を代表とする10高専連携による木星電波観測技術実証衛星「KOSEN-1」の提案がJAXA革新的衛星技術実証2号機のテーマのひとつに採択され、2Uサイズのキューブサット開発が決まった⁵⁾。この採択を受け、高専生が衛星開発に参加できる教育が円滑に進められるようにキューブサット学習モデルを2Uサイズに改良することとした。本研究で開発したキューブサット学習モデルのシステム概略を図2に示す。図2は本研究期間内における最新版、すなわち2021年度版のシステム概略図であり、実際のキューブサットと同一のシステム構成になっていることが分かる。また、外観を図3に示す。以下、それぞれのサブシステムについて、述べる。

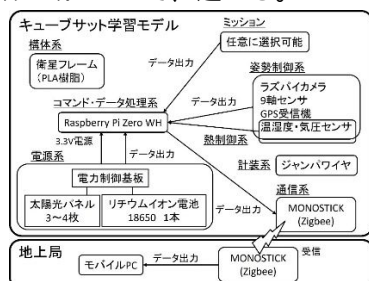


図2 学習モデルのシステム概略図



図3 学習モデルの外観

コマンド・データ処理系

コマンド・データ処理系には、Raspberry Pi Zero WHを採用した。Raspberry Piの採用は、KOSEN衛星シリーズがRaspberry Piをメインコンピュータに据えたシステムであることが理由である。すなわち、本学習モデルの活用によって、ダイレクトにKOSEN衛星のソフトウェア開発ができるようになることを目指している。ソフトウェア開発における使用言語はPythonとしている。いくつかあるRaspberry Piのうち、Raspberry Pi Zero Wは縦30 mm×横65 mmの小型で収容性が優れている点で選定した。

電源系

電源系は、市販の1W太陽光パネル3枚と18650型のリチウムイオン電池1本、および独自製作の電力制御器(PCU)基板で構成されている。コンポーネントの組み合わせも実際のキューブサット電源系と同一となるようになるように意図されている。本学習モデルに適したPCU基板は市販品では存在しえないため、都立産業技術高専高田拓准教授および高知工業高等専門学校上田真也技術職員により開発されたものを利用している。

通信系

通信系は、Zigbee規格のMONOSTICKを採用している。MONOSTICKは市販品でかつ安価であること、およびRaspberry Piとの親和性良いことから選定された。本学習モデルでは標準出力1mWのMONOSTICK Blueを用いている。典型的な通信距離は100 m~200 m程度であり本学習モデルの利用用途としては十分な通信距離を有する。

姿勢制御系

本学習モデルは地上での動作を念頭に置いているため、学習モデルの姿勢制御そのものには行わない。よって、学習モデルの姿勢や位置を検知することを念頭に置いて、姿勢制御系に用いる電子部品を選定した。光学カメラとしてはRaspberry Piカメラ、現在地の取得を目的としてGPS受信機、衛星の運動や姿勢の状態を検知することを目的として9軸センサ(加速度、角速度、地磁気の測定)そして、高度情報を検知するために温湿度・気圧センサを搭載している。これらを用いることで、実際のキューブサットとほぼ同等の衛星の姿勢・位置情報を取得することができるようになり、衛星の姿勢制御について学習することが可能となった。

熱制御系

熱制御系については、本学習モデルは地上での動作を目的としており、搭載機器の許容温度範囲を逸脱することは考えにくい。そこで、学習モデル内部の温度情報の取得のみを目的として、温度センサを搭載している。なお、用いる温度センサは、姿勢制御系と兼用としている。熱制御系の教育コンテンツについては、研究代表者のKOSEN-1における熱設計の知識と経験^{6)、7)、8)}を踏まえて、次期科研費等における研究課題として教育コンテンツを開発する予定である。

構体系

先行研究における学習モデルの構体系では、3Dプリンタとレーザー加工機を併用して試行錯誤的にフレームを設計・製作してきた。最終的にはKOSEN-1で用いられる衛星フレームを参考に学習モデル用フレームを再設計し、3Dプリンタを利用してフレーム製作した。設計した衛星フレームの3Dモデルを図4に示す。本研究期間内において、オンライン形式の宇宙教育である高専スペースアカデミアにおける組み立て講座において本学習モデルが活用され、学習モデル利用者には衛星フレームの構造を理解し、実際の衛星と同じようにフレームの組み立てを体験してもらうことができた。しかしながら、構体系に関する教育コンテンツの開発には至らなかったが、次期科研費等における研究課題として、フレーム製作や設計に関する基本的な教育コンテンツ開発を目指している。

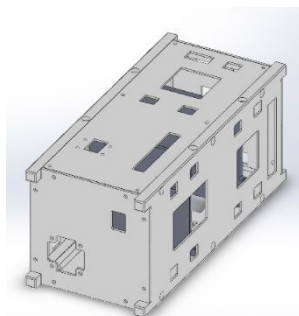


図4 学習モデル構体系の3Dモデル

計装系

計装系は、機器の配線類であるが、本学習モデルにおいては、ジャンプワイヤやUSBケーブル等が該当する。計装系を明示することにより、学習モデル利用者には、配線も重要であることを意識付けすることができた。

ミッション

ミッションは、本学習モデルにおいて初期状態として設定しているものはないが、利用者がそ

それぞれのミッションを検討し、実装するための空間、および Raspberry Pi の GPIO といったインターフェースを確保している。オンライン形式の宇宙教育である高専スペースアカデミアにおいて、本学習モデルを活用したミッションアイデアに関する課題やコンテストが実施された。

地上局

地上局は、モバイル PC 等にモデルキューブサットに搭載している MONOSTICK と同一のものを USB 端子に接続して利用する。また、学習モデルからのデータ受信には端末ソフトウェアである Tera Term を利用する。なお、MONOSTICK は公式ページで公開されているシリアル通信アプリをインストールし、地上局側の親機およびキューブサット学習モデル側の子機の設定をそれぞれ行う。

それぞれのシステムに利用した製品を表 1 に示す。(報告書公開時点で、販売終了している製品がある点に留意されたい)

表 1 キューブサット学習モデルに利用されている製品一覧

システム	品名	数量	備考
C&DH	Raspberry Pi Zero WH	1	W の場合は別途ピンヘッダが必要
	microSD カード	1	16GB ~ 32GB 程度
電源系	Small Soral Panel	3	seeed studio 製、1W
	リチウムイオン電池	1	Kratax 製、18650 型、3000 mAh
	PCU 基板	1	独自開発
	電池 BOX	1	18650 型用
通信系	MONOSTICK Blue	1	モノワイヤレス製、子機設定
姿勢制御系	Raspberry Pi カメラ	1	純正品
	GPS 受信機	1	秋月電子製、GYSFDMAXB
	9 軸センサ	1	ストロベリーリナックス製、MPU-9205、販売終了
	温湿度・気圧センサ	1	秋月電子製、BME280、兼熱制御系
構体系	主構体、二次構体	複数	独自設計、PLA 樹脂使用
	固定用ボルト、ナット	複数	構体または電子部品固定用
計装系	カメラケーブル	1	Raspberry Pi Zero 用
	ジャンプワイヤ	複数	Raspberry Pi - 電子部品接続用
	USB ケーブル	1	Raspberry Pi - PCU 接続用
	USB ハブ	1	Raspberry Pi Zero - MONOSTICK 接続用
	ブレッドボード	1	BB-801
	ミニブレッドボード	1	BB-601
地上局	モバイル PC	1	任意のモバイル PC
	MONOSTICK Blue	1	モノワイヤレス製、親機設定
	Tera Term	1	無料ソフトウェア

(2) 高専における宇宙教育での活用

高等専門学校(高専)の宇宙理工学および関連技術の教育研究を行っている教職員の有志グループである高専スペース連携では、2015 年より 3 期連続で文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成プログラムの採択を受けて、超小型衛星開発を通じた宇宙人材育成を実施している。2019 年度~2021 年度に開催された高専スペースアカデミアおよび 2019 年度に開催された高専スペースキャンプ(COVID-19 の影響により 2020 年度は未開催、2021 年度はオンライン開催)において本学習モデルを活用したオンライン講座、競技会またはミッション検討会を実施した。各年度においての開催方式が異なるため本報告では万全の状態を実施できた COVID-19 前の 2019 年度について述べる⁹⁾。2019 年度の高専スペースキャンプでは、全国の 10 高専から、専攻科 1 年生 1 名、5 年生 4 名、4 年生 5 名、3 年生 6 名、2 年生 8 名、1 年生 7 名の計 31 名の学生が参加した。所属学科は機械系、電気電子系、情報系、土木系と複数の学科となっている。チームは、所属校・学年・学科が偏らないように主催側でチーム分けし、1 チームの人数が 5 名~6 名となるように計 6 グループを作った。スペースキャンプ中の 3 日間で製作講座(図 5)、電源系競技(図 6)、通信系・姿勢系・ミッション競技(図 7)を実施した。そして、最終日にグループごとに事後プレゼンを実施した。また、参加した学生に対するアンケート結果のうち、製作講座に対する結果を図 8、競技会に対する結果を図 9 に示す。製作講座については、興味が湧いたと回答している学生が 8 割程度であり、本学習モデルが学生の興味を惹いていることが示された。一方、講座のレベルは難しかったと回答している学生が 8 割、進め方として説明が少なすぎると感じている学生が 5 割以上、事前講座が役に立ったと回答している学生が 5 割程度にとどまっているという課題を残す結果となっている。2019 年度の講座では、説明は限定的に留め、自主的な学習およびグループワークによる取り組みを狙っていたが、学生への趣旨説明が伝わりにくかったことと、自主学習用の教育コンテンツが整備できていなかったことが難しさを助長した要因として考えられる。この点は 2020 年度移行から徐々に改善されているが、次期科

研費等で改善を図ることを考えている。また、競技会については電源系については6割近くの学生が、ミッション系については8割の学生が興味を示しており、競技会形式での活用は学生の衛星開発の興味に対する良好な結果が得られることが示された。



図5 製作講座の一コマ



図6 電源系競技の一コマ



図7 ミッション競技一コマ

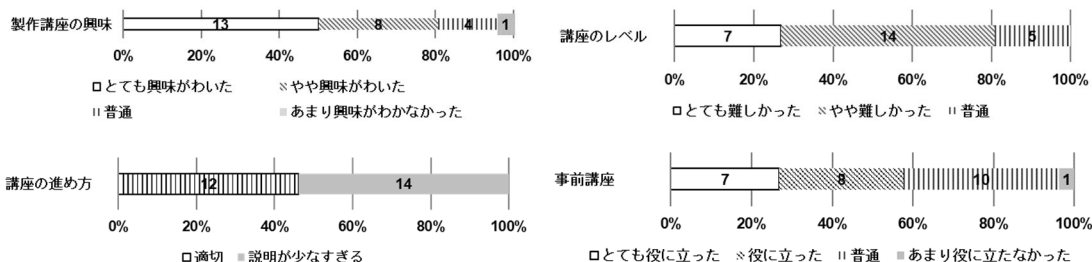


図8 製作講座に対する参加学生のアンケート結果

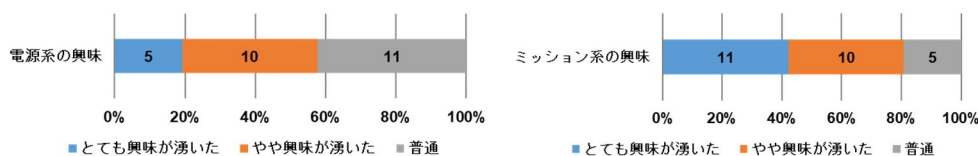


図9 競技会に対する参加学生のアンケート結果

<引用文献>

- 1) 中谷 淳、土屋 華奈、ゼロから始める CubeSat モデルの設計と試作 - 学生との共同開発を通じた CubeSat 開発課題の検討 -、岐阜工業高等専門学校紀要(CD-ROM)、54号、2019年、pp.18-25
- 2) 上園 波輝、笹岡 由唯、中谷 淳、土屋 華奈、梶村 好宏、北村 健太郎、上田 真也、高田 拓、宇宙技術教育のための CubeSat 地上モデルの開発と活用実践：1．機体開発と製作講座、工学教育、第67巻2号、2019年、pp.95-100
- 3) 中谷 淳、高田 拓、梶村 好宏、北村 健太郎、上田 真也、土屋 華奈、上園 波輝、笹岡 由唯、宇宙技術教育のための CubeSat 地上モデルの開発を活用実践：2．競技設計と実践、工学教育、第67巻2号、2019年、pp.101-106
- 4) Makoto WAKABAYASHI, Taku TAKADA, Kentaro KITAMURA, Jun NAKAYA, Yoshihiro KAJIMURA, Masahiro TOKUMITSU, Yukikazu MURAKAMI, Manabu SHINOHARA, Kazumasa IMAI, Fumio ASAI, Kazuo SHIMADA, Report on the 2017 and 2018 KOSEN Space Camps: Mission CanSat to Model CubeSat, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol. 19, No. 1, 2021, pp.130-134.
- 5) 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、KOSEN-1 チーム、高専連携技術実証衛星 KOSEN-1 について、第63回宇宙科学技術連合講演会、3K07、2019年
- 6) 土屋 華奈、中谷 淳、小野塚 隆太、平社 信人、今井 一雅、熱数学モデルと有限要素法解析ツールを併用した KOSEN-1 の熱設計、第56回日本航空宇宙学会・関西・中部支部合同秋期大会、D07、2019年
- 7) 土屋 華奈、中谷 淳、平社 信人、今井 一雅、木星電波観測技術実証衛星 KOSEN-1 の熱設計、第64回宇宙科学技術連合講演会、3L16、2020年
- 8) 中谷 淳、土屋 華奈、徳光 政弘、今井 一雅、北村 健太郎、西尾 正則、木星電波観測技術実証衛星 KOSEN-1 の熱真空試験と検証、第65回宇宙科学技術連合講演会、4H04、2021年
- 9) 中谷 淳、土屋 華奈、坂本 知也、加藤 樹、梶村 好宏、北村 健太郎、上田 真也、高田 拓、宇宙技術教育のための 2U モデル CubeSat の開発と活用実践：1．ミッション系空間を確保した機体開発、工学教育、第68巻2号、2020年、pp60-65

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 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 NAKAYA Jun, TAKADA Taku, KAJIMURA Yoshihiro, TSUCHIYA Hana, UEZONO Namiki, SASAOKA Yui, UETA Shinya, WAKABAYASHI Makoto, KITAMURA Kentarou	4. 巻 vol.18, no.5
2. 論文標題 Development of CubeSat Ground Model Extended from CanSat: Application to Space Education at KOSEN	5. 発行年 2020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 281 ~ 287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tastj.18.281	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 中谷 淳, 土屋 華奈, 坂本 知也, 加藤 樹, 梶村 好宏, 北村 健太郎, 上田 真也, 高田 拓	4. 巻 68巻2号
2. 論文標題 宇宙技術教育のための2UモデルCubeSatの開発と活用実践:1. ミッション系空間を確保した機体開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 60 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.68.2.60	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 坂本 知也, 加藤 樹, 中谷 淳, 土屋 華奈, 若林 誠, 徳光 政弘, 上田 真也, 高田 拓	4. 巻 68巻2号
2. 論文標題 宇宙技術教育のための2UモデルCubeSatの開発と活用実践:2. ミッション立案型の競技設計と実践	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 66 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.68.2.66	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 徳光 政弘, 高田拓, 村上幸一, 中谷淳, 下垣 丞汰朗, 今井 雅文, 若林 誠, 上田 真也	4. 巻 69巻6号
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	6. 最初と最後の頁 153 ~ 158
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Jun NAKAYA, Taku TAKADA, Yoshihiro KAJIMURA, Hana TSUCHIYA, Namiki UEZONO, Yui SASAOKA, Shinya UETA, Makoto WAKABAYASHI, Kentarou KITAMURA
2. 発表標題 Development of CubeSat Ground Model Extended from CanSat: Application to Space Education at KOSEN
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋 華奈、中谷 淳、小野塚 隆太、平社 信人、今井 一雅
2. 発表標題 熱数学モデルと有限要素法解析ツールを併用したKOSEN-1の熱設計
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋 華奈、中谷 淳、平社 信人、今井 一雅
2. 発表標題 木星電波観測技術実証衛星KOSEN-1の熱設計
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 中谷 淳、土屋 華奈、徳光 政弘、今井 一雅、北村 健太郎、西尾 正則
2. 発表標題 木星電波観測技術実証衛星KOSEN-1の熱真空試験と検証
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 中谷 淳, 土屋 華奈, 高専スペース連携
2. 発表標題 キューブサット教材の開発と高専衛星開発に向けた活用実践
3. 学会等名 2021年度 宇宙教育シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

岐阜工業高等専門学校 機械工学科 中谷研究室（～2022年3月31日） 愛知工科大学 工学部 電子ロボット工学科 中谷研究室（2022年4月1日～） https://www.aut.ac.jp/departmen/electronic_robot/electronic_robotresearch/8320/
--

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
研究協力者	土屋 華奈 (TSUCHIYA Hana)		

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
---------	---------