

「次世代宇宙開発・利用リーダーの実践型国際的な教育プログラム」の成果について

実施体制	主管実施機関	学校法人早稲田大学	実施期間	平成28年度～ 平成30年度 (3年間)	実施規模	予算総額(契約額) 52.4百万円		
	代表者名	教授 宮下 朋之				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	-				18.0百万円	18.0百万円	16.4百万円

背景・全体目標

背景
 様々な分野でグローバル化が進み、宇宙ビジネスが急速に発展する中、今後の宇宙分野においては、国際的に活躍できる人材が強く求められている。また同時に、既存の宇宙分野の活動における人材教育/学生教育の体系化が必要とされている。こうした背景に基づき、次世代の宇宙開発・利用におけるリーダーを実践的なプロジェクトを通して育成する。

- 全体目標**
- ①宇宙科学技術に関する国際的教育を実施する
 - ☞ 英語による**科目の整備・動画形式授業を実施**する
 - ②研究/開発実績を集約した実践型のプロジェクト教育を実施する
 - ☞ **教育課題**を設定し、**学生の自主的な取組**を支援する
 - ③宇宙関連企業と連携した教育プログラムを実施する
 - ☞ **話題提供・企業見学**を実施する



人材教育(修士/博士課程・ポスドク)	教育・研究成果の発信・還元	人材創出による産業支援
惑星探査・衛星システム専修コース 科目整備・運営 授業コンテンツの作成及び配信	論文発表 科学研究費助成事業の採択	宇宙関連企業への就職 ベンチャー活動支援

全体概要・主な成果

- ①授業科目を設置し**惑星探査・衛星システム専修コース**を設置した
 - ☞ 英語実施・日本語実施科目群を整備した
 - ・英語実施9科目、日本語実施5科目を新規に設置した
 - ・英語実施6科目、日本語実施13科目の既存の科目を加えた
 - ・履修学生は**のべ376名(2016年度)からのべ557名(2018年度)に増加**
 - ☞ **能力認定証**を4名に発行した
- ②教育課題を設置し学生の取組を支援した
 - ☞ 作業環境(工房)のもと、4つの教育課題に**のべ69名**が参加した
 - ☞ **若手研究者(博士課程学生・博士後研究者)の育成**に貢献した
 - ・5名(うち、外国人3名)のうち、2名が本学に定着
- ③宇宙関連企業/海外拠点と連携した教育プログラム
 - ☞ **企業より話題提供**を得るとともに、**海外拠点との教育の交流**を深化させた
- ④サイエンスコミュニケーションを継続的に実施する
 - ☞ **のべ20校**の高校に宇宙分野の研究・教育として出前授業を実施した
 - ☞ CALETにより観測した現象を広報した
 - ・**γ線バースト現象**
 - ☞ 海外2大学より各1名の教員より講義、うち1名は教育課題での話題提供
 - ☞ 授業「宇宙を考える」を開講し理工系以外への履修機会を設けた
 - ・10学部174名の履修があった。
- ⑤インターネット型授業コンテンツの作成及び運用
 - ☞ 107か国より4,577名の受講があった

①惑星探査・衛星システム専修コースの設置・運用

実施内容・成果

大学院の学習事項・研究事項と連携させるため**惑星探査・衛星システム専修コースを設置**した

☞ 設置授業及び専修コースは**事業終了後も継続**する

①専修コースの概要

- ☞ 創造理工学研究科に設置し、広く理工学術院の3研究科・3学部の学生がコースに参加可能であり、科目の履修により**能力を認定**する
- ☞ 右表に示す科目群より **5科目(10単位)**を履修することにより、創造理工学研究科長が修士課程修了時に**認定証を発行**する。
 - ・2018年度末に**4名**に発行した
 - ・2019年度末修了予定学生**15名が有資格者**であり修了時に認定予定
 - ・完成年度へ向け**増加**が予想できる

②専修コースにおける認定科目の設置状況

- ・宇宙工学系・宇宙科学系・情報工学系・機械工学系の4系列に分け設定した
- ・英語での実施科目；9科目（新設）と6科目（既存）
- ・日本語での実施科目；5科目（新設）と13科目（既存）
- ・学外からも講師を招聘した

③履修学生数の推移

のべ数として2016年度は**のべ376名**から2018年度は**のべ557名**に**増加**した

④履修生の理解度

☞ アンケートにより、**87%**の学生が教員のが学生のレベルを把握し授業を実施したことが確認され、**90%**の学生より授業が有意義であることの結果を得た



授業風景



発表の様子

表 惑星探査・衛星システム専修コースでの能力認定対象科目

分野系列	名称
宇宙工学系	宇宙科学技術
宇宙工学系	宇宙構造物工学
宇宙工学系	人工衛星設計PBLA,B / satellite design PBL A,B
宇宙工学系	Materials Science and Engineering for Space Craft
宇宙工学系	Design Optimization of Space Structures
宇宙工学系	宇宙構造の設計と制御
宇宙工学系	Design and Control of Space Structures
宇宙工学系	Thermal Design of Space System
宇宙科学系	宇宙物理学
宇宙科学系	放射線計測学A
宇宙科学系	放射線計測学B
宇宙科学系	宇宙放射線物理学A/B (隔年開講)
宇宙科学系	高エネルギー宇宙物理学特論A/B (隔年開講)
宇宙科学系	宇宙粒子線物理学/ Astroparticle Physics
宇宙科学系	月惑星探査と科学/ Lunar and planetary exploration and its science
情報工学系	無線通信技術
情報工学系	Wireless Communication
情報工学系	ワイヤレスアクセス特論 / Advanced Wireless Access
機械工学系	Manufacturing of Space Structures
機械工学系	流体構造連成系応用力学特論 / Advanced Topics in Applied Mechanics of Fluid-Structure Interactions
機械工学系	姿勢制御工学特論

表 惑星探査・衛星システム専修コースでのアンケート結果
表 アンケート項目と評価 (1:全くそう思わない、6:とてもそう思う)

項目	評価(4-6)の割合 [%]
教員の話し方は適切だった	95
板書、プロジェクター、あるいは配布資料などはわかりやすかった	91
教員は学生の理解を深めるための工夫をした	87
教員は効果的に学生の参加を促した	84
教員は授業課題や学生の参加に関して効果的なフィードバックを行った	82
教員は学生のレベルや理解度を把握して授業を進めた	87
シラバスで示された到達目標が達成されるように、授業が行われた	86
総合的にみてこの授業は有意義だった	90
この授業で最も有意義な点は何か	記名式のため省略

②教育課題の設置・取組支援

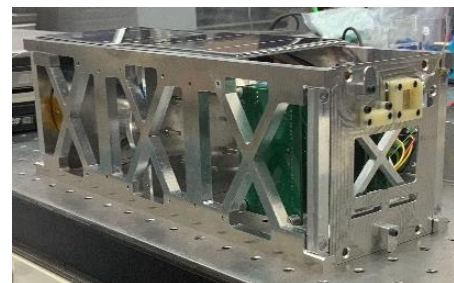
実施内容・成果

教育課題として以下の4つの課題を設定した。学生との面談により実際に実施する作業希望項目とスケジュールを決定した。

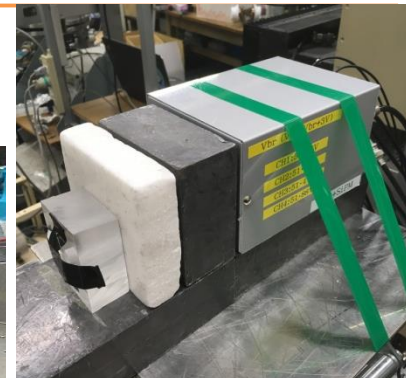
☞ プロジェクト管理能力の素養も同時に養う

課題1：計測機器の設計

- ・超小型人工衛星として50cm級を想定して**分光計を搭載可能とするためのシステム開発**を実施した
 - ☞ 衛星搭載部品が密集する中で、部品組成を考慮した**観測値の補正方法**の立案した
 - ☞ 分光計を使用し衛星に搭載可能な寸法により**カウンター回路を試作**し衛星収納後に**環境試験を実施**した
 - ・サンプルによる**計測性能を測定**した
 - ・真空チャンバーによる**高真空環境試験を実施**した
 - ☞ 小型/高性能の分光計の登場により当初想定より小型化が可能な見通しを得た
 - ・30cm級への**ダウンサイジング**への見通し



3U衛星EMの外観



シンチレータによる計測実験

課題2：人工衛星の設計

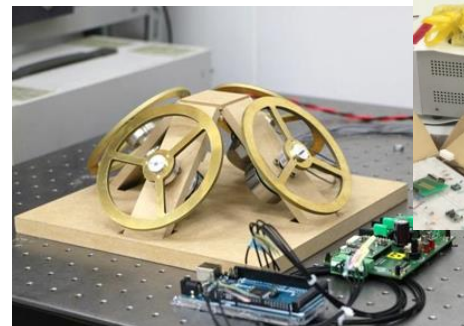
- ・ミッション設計と衛星システム設計を実施した
 - ☞ 3U衛星と50cm級衛星の両方を取り扱い**構造設計・熱設計を机上検討し試作**した
 - ☞ 3U衛星について**開発提案書を作成**した
 - ☞ 各課題の成果物を統合しEMを構築し**環境試験を実施**した
 - ・機体/無線送受信機/TNC回路/データ処理回路/充放電回路/ミッション回路/アンテナ/リアクションホイール/ホールスラスト/分光計を統合した。
 - ・**高真空環境試験**を実施した
 - ・部品レベルにて、**機能試験・振動試験・熱真空試験**を実施した



試作回路の検証作業風景

課題3：探査システムの設計

- ・衛星コンステレーション**通信方式**の検討及び**アルゴリズムを開発**した
 - ☞ CW信号強度を基準とした基地局選択・中継ネットワーク可変方式とした
- ・TNC**回路設計・製作**した
 - ☞ 3U衛星向けに表面実装部品にて制作し通信試験を実施した



リアクションホイールの設計・製作・評価

課題4：推進系・往還機・着陸機構の設計

- ・**低軌道向け推進機器**を設計した
 - ☞ 希薄大気の利用
- ・**リアクションホイール**を設計し製作後に評価した
- ・**着陸様式**をいくつか検討しスケールモデルによる実験による実験を実施した
- ・高軌道や深宇宙空間を想定し**ホールスラストエンジン**の設計・試作を行った

③宇宙関連企業/海外拠点との連携した教育プログラム

実施内容・成果

- ① 海外連携拠点との関係を継続し、**新たな拠点との連携**に至った。
 - ☞ 遠隔講義・訪問講演・研究/開発交流・教育交流を通して、本課題の参画教員が現地にて、主として大学生・大学院生に対して、講義を実施し、本課題の専修コース及びそこでの**教育内容を紹介**し、教育課題の内容について説明した。
 - ・事業期間において、新たな拠点としてSurrey大学（英国）、KARI（韓国）、KIGAM（韓国）、ペンシルバニア州立大学（米国）、ミシガン州立大学（米国）との**交流が実現**された。
 - ・Surrey大学より教育課題の連携提案、KARI、KIGAMへは小型衛星に関する**教育プログラムの情報提供**、ペンシルバニア州立大学、ミシガン州立大学からは教員が来日し宇宙空間での材料学、構造設計理論について**講義の提供**を受けた。
 - ☞ 海外での活動には、3名の学生が同行した（KARI、KIGAM）。

- ② 企業などの協力により授業・話題提供等の教育機会を設けた
 - ☞ **宇宙分野**においては、2社（宇宙航空研究開発機構殿、SUBARU殿）への見学を実施した。
 - ☞ **機械分野**からは、自動車、製造分野より6社（マツダ殿、トヨタ自動車殿、東芝殿、コイワイ殿、日野自動車殿、日本製鉄殿）より、電気分野からは2社（富士電機殿、キャノン電子殿）より、情報分野からは、4社（ソリッドワークスジャパン殿、IDAJ殿、ディアスクエア殿、エムエスシーソフトウェア殿）より、本課題で実施する教育課題で取り扱う技術情報に関する学習機会を設けた。
 - ☞ 学生が直接に交流をすることにより、学生自身の将来像にかかわる意識も高まり、専修コースの認定者4名のうち、2名は**宇宙関連企業へ就職**し、1名は精密機械産業へ、1名は国家公務員への進路を定めた。
 - ☞ ベンチャー企業の訪問の際には、衛星開発の物品や設備調達の相談を受け、支援の一環として、学内所有環境を含めて、情報を提供し**ベンチャー活動**を支援した。



専修コースの運営教員より授業・研究・訪問などの関連を有する海外拠点

④サイエンスコミュニケーション

実施内容・成果

- ①高校生向けの活動として以下を実施した
 - ☞ のべ20校程度の高校向けに惑星探査・衛星システム専修コースでの**教育内容を講義**した
 - ・大学に高校生が来訪する場合には講義に加え、**施設見学の機会**を提供した
- ②大学生向けの活動として以下を実施した
 - ☞ 英語教育を展開している大学に出向き学部学生・大学院生および教員に対して、学生教育としての惑星探査活動、衛星開発活動および専修コースを紹介した
 - ・**訪問先**は、KAIST/韓国大学/延世大学/西安電子科技大学/大連理工大学/日本エジプト科学技術大学/ロモノソフモスクワ大学 であった。
- ③観測装置の見学
 - ・CALET観測データについて、希望者に対して、閲覧機会を設け、教員による講義を実施した。
- ④一般向け行事
 - 以下の各行事において、高校生に向けた惑星探査活動、衛星開発活動を紹介した
 - ・理工展（西早稲田キャンパス）において、高校生に向けて惑星探査活動、衛星開発活動を紹介した
 - ☞ **模擬講義**を実施し、課題実施環境、衛星開発環境を案内した
 - ☞ 理工展の来場者数は約2万人であり、**講義は100名程度、見学はのべ50名程度**であった。
 - ・早稲田祭（早稲田キャンパス）において、模擬講義等を通して、高校生に向けた学生教育としての惑星探査活動、衛星開発活動を紹介した
 - ・オープンキャンパス（西早稲田キャンパス）にて、高校生に向けた惑星探査活動、衛星開発活動を紹介した
 - ☞ 開発している**人工衛星の模型**（EM）の展示、**伸展・展開構造物**の展示、**CALET**の紹介展示



オープンキャンパスにおけるCALETに関する展示の様子



西安電子科技大学での講義前の様子

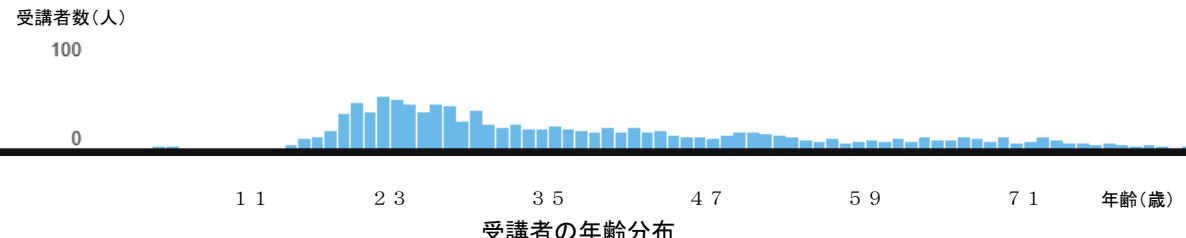
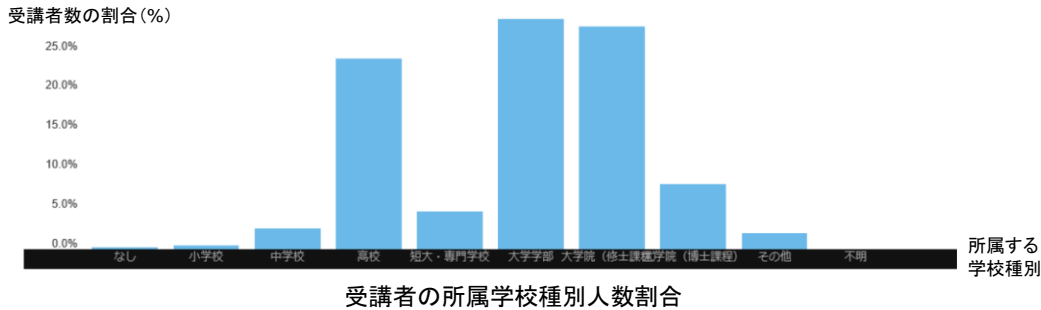


理工展パンフレット

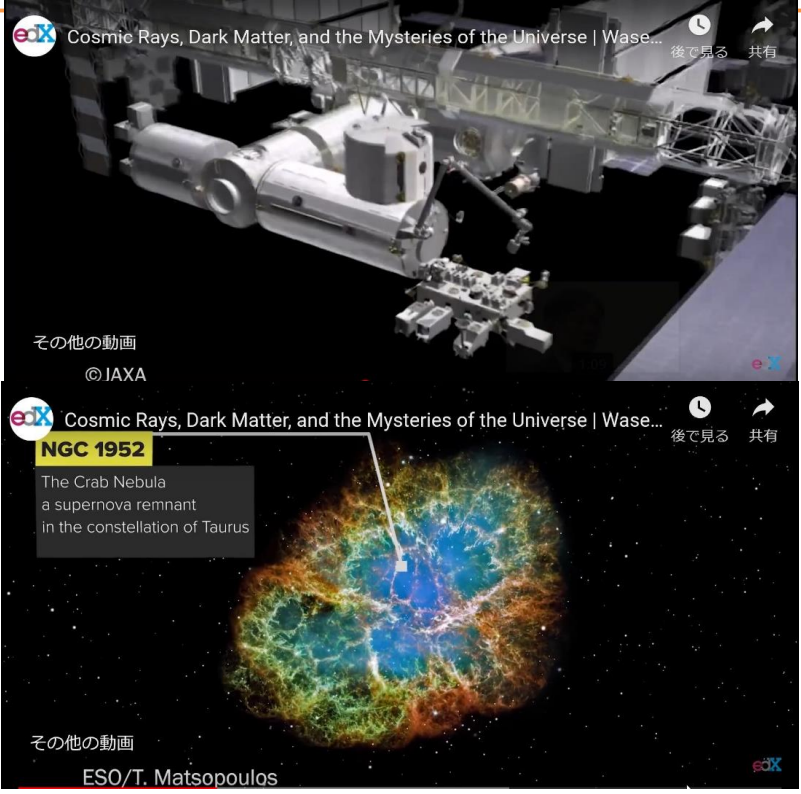
⑤ インターネット型授業コンテンツの作成及び運用

実施内容・成果

- ① 高エネルギー宇宙線電子望遠鏡に関する**動画コンテンツを立案**し設計した。
 - ☞ 台本を作成し、使用するすべての映像の使用許諾を取得した、学習計画を策定した
 - ・ **題目**を「Cosmic Rays, Dark Matter, and the Mysteries of the Universe」とした
 - ・ 学習項目は以下のとおりである
 - ・ The evolution of the universe
 - ・ The origin and propagation of cosmic rays
 - ・ The search for dark matter through cosmic ray observation
 - ☞ 映像を合成及び編集し**授業中課題との連携**を図った。
 - ☞ メールにより、質疑を行った。
 - ☞ 出題した課題・レポートの採点は参加者の**相互採点方式**を採用した。
- ② インターネット型授業コンテンツの運用実績
 - ☞ 事業期間において、2回の授業を実施した。
 - ☞ **107カ国**より、**計4,755名**の受講があった
- ③ 今後の予定
 - ☞ 事業終了後も**継続**（2019年度に2回実施予定）
 - ☞ 受講登録； <https://www.edx.org/course/cosmic-rays-dark-matter-and-the-mysteries-of-the-universe-3>
 edXシステム・・・マサチューセッツ工科大学とハーバード大学によって創立されたMassive open online courseのプラットフォームであり、世界中の学生に無償で、多岐な分野にわたる大学レベルの授業を提供している。



WasedaX edX における配信動画の一部



受講者の国籍上位10位

count	country.name
362	United States of America
181	India
88	UNKNOWN
79	United Kingdom
66	Japan
57	Indonesia
55	Canada
42	Germany
40	France
36	Brazil

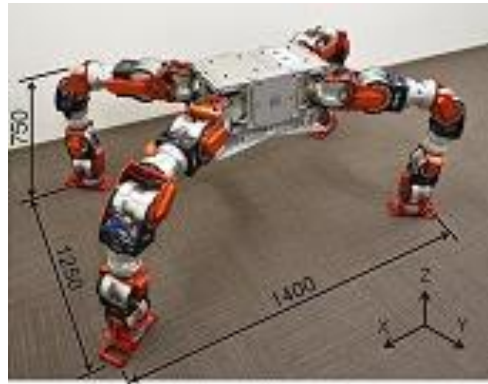
その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	—	国内：12 国際：11	国内：28 国際：15	—	—	—
受賞・表彰リスト			第5回宇宙科学研究所賞（2018年度）、2018 ISS Award for Compelling Results			

成果展開の状況・期待される効果

人材教育の観点より成果の展開を計画し、以下の効果を期待する。

- ☞ 惑星探査・衛星システム**専修コース及び授業を継続的に運用**し、**認定者数の増加**を期待する
 - ☞ 学生が多くの部分を開発した人工衛星の打上の実現を目指し、学生が**課題を突破する力を養う**効果が期待できる
 - ☞ 宇宙関連**企業との交流を促進**し、学生と企業との連携を深め、技術者としての**就業意識を養う効果**が期待できる
- 本課題は製品化・事業化を直接に目的としていないが、地上利用を含め有用な技術が考案されており、成果をもとに、下記の事項に成果を展開する。
- ☞ 考案技術の宇宙空間及び地上利用での活用の展開が見込まれる
 - ・人間が**到達困難な空間**に到達可能な機械の設計・製作
 - ・収納/運搬・伸展/展開技術の活用による狭小空間（体内など）や遠方空間（原発など）への移動・運搬技術の高度化が期待できる
 - ☞ 移動体・飛翔体への活用
 - ・リアクションホイールのジャイロ効果による**姿勢制御が精密化**でき撮影映像・取得情報の高精度化が期待できる。



4足ロボットのSSロボットアーム先端保持具転用検討

今後の計画

教育課題で試作・開発した衛星部品などによる衛星打ち上げ機会の入手及び打上を計画する

- ☞ **費用の確保**を計画する
- ☞ ミッションや衛星構造による**価値創造**を検討する

考案技術の地上での活用を検討する

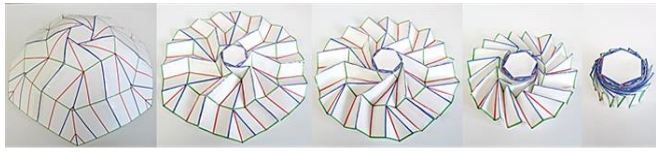
- ☞ 膜面収納技法は、狭小部（体内など）への物品の**運搬技術**
- ☞ 姿勢制御装置は、ドローンなどの小型飛翔体の**姿勢制御**

銀河宇宙の起源解明と暗黒物質の探索活動の継続

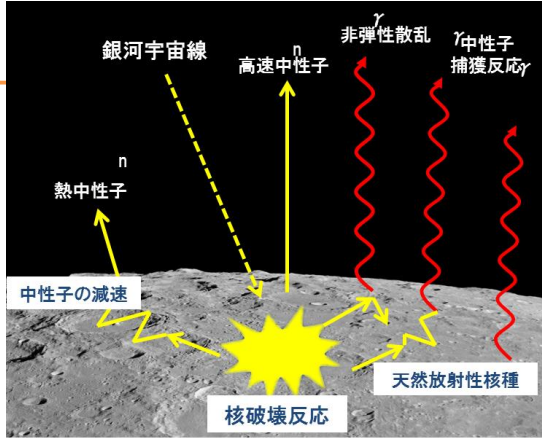
- ☞ 科学研究費助成事業 基盤研究(S) の着実な実施

ロボット技術の無人・遠隔探査利用/宇宙飛行士支援への活用

- ☞ 探査機自体の自律動作の実現、既存設備の高機能化、高性能化



膜面の円筒形状への収納技術



分光計による資源探査のダウンサイジング

事後評価票

1. プログラム名 宇宙人材育成プログラム
2. 課題名 次世代宇宙開発・利用リーダーの実践型国際的な教育プログラム
3. 主管実施機関・研究代表者 学校法人早稲田大学 教授 宮下 朋之
4. 共同参画機関 ー
5. 実施期間 平成28年度～平成30年度
6. 予算総額（契約額） 52.4百万円
7. 実施結果
(1) 達成状況
「所期の目標に対する達成度」 ◆ 所期の目標 以下の3点を全体達成目標と設定し本課題に取り組んだ ①宇宙科学技術に関する国際的教育 学内の外国人に対する支援環境を活用し英語科目の授業を設置し提供する。日本人学生及び外国学生に対して直接的に我が国の高度な技術の集積である宇宙科学技術に関する教育機会を提供する。本課題で構築する教育プログラムを継続することにより、宇宙科学技術の分野において、国際的に活躍する人材を国内外に向けて輩出することを目指す。 ②研究/開発実績を集約した実践型のプロジェクト教育 これまで主管実施機関において実施されてきた最先端の研究成果を教育題材として活用することにより、大学院生を中心とした学生に対する人材育成を実現する。 ③宇宙関連企業と連携した教育プログラム 多くの宇宙産業を支える企業や機械・電気・情報の各分野の特殊技術を保有する企業から講師を招へいし、授業を実施する。 ◆ 達成度 所期の目標に対応し達成した事項は以下の通り。 ① <u>宇宙科学技術に関する国際的教育</u> (i) 科目の新規設置

- ・英語で実施する **9科目** 及び日本語で実施する **5科目** を新設し、教材を作成及び整備し開講した。

(ii) 既存科目との統合及び専修コースの設置

- ・新設科目群に既存の **6科目(英語)**、**13科目(日本語)** を加え、学生の能力を認定する「惑星探査・衛星システム専修コース」(以下、「専修コース」とする。)を設置した。
- ・2016年度はのべ **376名** の履修であったが、2018年度はのべ **557名** に増加した。大学院生の履修者の増加が顕著であった。また、専修コースに設置した科目群の履修による能力認定の証として、4名に認定証^{※1}を発行した。
- ・以上の科目群・専修コースは、事業終了後も継続措置を講じており、今後、さらに受講生の増加が見込まれる。

※1 修士課程修了生のうち、本コースの下設置された科目群のうち5科目を履修した学生に発行

(iii) 理工系外学生への授業提供・動画配信授業の実施

- ・早稲田大学グローバルエデュケーションセンター^{※2}において、学内文系学生向けの講義「宇宙を考える1,2」を実施し、文系学部 **10学部からのべ174名** の受講があった。
- ・高エネルギー宇宙線電子望遠鏡に関して、「Cosmic Rays, Dark Matter, and the Mysteries of the Universe」と称する学習項目の動画コンテンツを作成し、履修管理機能を有する edX システム^{※3} より開講した。**107か国 4,577名** の受講があった。

(iv) サイエンスコミュニケーション・海外拠点との連携

- ・高校生向けの活動として、20校程度の高校向けに惑星探査・衛星システム専修コースでの教育内容を講義した。
- ・観測装置の見学として、GALET 観測データについて、希望者に対して、閲覧機会を設け、教員による講義を実施した。
- ・一般向け行事として、理工展(西早稲田キャンパス)、早稲田祭(早稲田キャンパス)、オープンキャンパス(西早稲田キャンパス)において、高校生に向けた惑星探査活動、衛星開発活動を紹介した。
- ・遠隔講義・訪問講演・研究/開発交流・教育交流を通して、海外の大学において、主として大学生・大学院生に対して、講義を実施し、専修コース及び教育内容、教育課題の内容について説明した。
(Surrey 大学(英国)、KARI(韓国)、KIGAM(韓国)、ペンシルバニア州立大学(米国)、ミシガン州立大学(米国))

以上、本課題にて、想定した教育組織の構築および授業科目の設置を達成した。科目数については、2科目ほど多く設置した。また、構築した組織、科目は継続的に措置されており、①については、高いレベルにおいて目標を達成できたと考えられる。

※2 グローバルエデュケーションセンターは、本学内に設置された、学部・研究科からは独立した組織で、社会人あるいは高校生等への聴講制度も設けるなど、学内外へ広く基礎教育あるいはリベラルアーツ教育を実施する組織である。

※3 edX システムとは、マサチューセッツ工科大学とハーバード大学によって創立された Massive open online course のプラットフォームであり、世界中の学生に無償で、多岐な分野にわたる大学レベルの授業を提供している。

② 研究/開発実績を集約した実践型のプロジェクト教育

(i) 教育課題の設置と実施環境の整備

- ・実践型のプロジェクト教育として、計測機器の設計（教育課題1）、人工衛星の設計（教育課題2）、探査システムの設計（教育課題3）、推進系・往還機・着陸機構の設計（教育課題4）を設定し、〇
べ69名の参加を得て活動した。
- ・学生が実践型のプロジェクト教育に主体的に取り組む環境として、各教育課題の担当教員・若手研究者が集い、「考える、創る、試す」を可能とし、それらを促進する様々な設備が配置された環境を「工房」として設置、運用した。
- ・3Uサイズ衛星、50cm級衛星の試作を実施した。

(ii) 若手技術者の育成

- ・実践型のプロジェクト教育における学生支援業務や授業教材の整備業務を想定し、博士課程学生及び博士後研究員として、外国人3名、日本人2名を一定の給与により雇用した。

(iii) 研究活動との連携

- ・教員の研究活動と連動し、科学研究助成費（挑戦的研究1件の採択、基盤研究(A)1件の採択、基盤研究(C)及び基盤研究(S)の申請）などの研究実施機会の獲得に至った。

以上、②については、一定のレベルにおいて目標を達成できたと考えられる。

③宇宙関連企業と連携した教育プログラム

- ・本課題実施前に構築していた企業との関係を基盤として、機械・電気・情報のバランスを考慮した上で、専修コース等で実施した授業及び実践型のプロジェクト教育において、学生への教育機会を提供した。
- ・機械分野からは自動車、機械製造分野より6社（マツダ殿、トヨタ自動車殿、東芝殿、コイワイ殿、日野自動車殿、日本製鉄殿）、電気分野からは2社（富士電機殿、キヤノン電子殿）、情報分野からは、4社（ソリッドワークス・ジャパン殿、IDAJ殿、ディアイスクエア殿、エムエスシーソフトウェア殿）の企業に協力を得て、本課題で実施する実践型のプロジェクト教育で取り扱う技術情報に関する学習機会を設けた。
- ・宇宙分野においては、2社（宇宙航空研究開発機構殿、SUBARU殿）への見学を実施した。また、外国学生の場合には、英語による交流が可能である1社（宇宙航空研究開発機構殿）及び海外大学（4大学、4名）の教員による英語による学習機会を設けた。

以上、③については、一定のレベルにおいて目標を達成できたと考えられる。

「必要性」

本課題は、以下の観点から、十分な必要性が認められる。

(1) 科学的・技術的意義

近年、超小型衛星により提供される探査の機会は、衛星のダウンサイジングの進展とともに大きく増

加している。国際宇宙空間研究委員会（COSPAR; Committee on Space Research）などの国際会議においても、超小型衛星を前提とする発表は、本プログラムの前後で比較して、1.5倍の増加となっている。

本プログラムでの実践型のプロジェクト教育における衛星開発においては、膜構造の収納様式を折紙工学により取り扱う試みや、3次元積層技術により宇宙空間において構造創成する技術提案がなされるなど、独創性のある成果を生み出した。このように、本課題における活動に起因して、科学研究助成費の獲得（挑戦的研究1件の採択、基盤研究（A）1件の採択、基盤研究（C）1件、基盤研究（S）1件の申請）に至っていることから、超小型衛星による探査に向けた開発が進む中で、本課題の科学的・技術的意義は大きい。

(2) 社会的・経済的意義（若手研究者の育成）

本課題による若手研究者のキャリア形成の支援として、学部、修士課程、博士課程への学生に対して指導補助の役割として若手研究者を登用した。実践型のプロジェクト教育における学生支援業務や授業教材の整備業務を想定し、博士課程学生及び博士後研究員として、外国人3名、日本人2名を一定の給与により雇用した。外国人2名は学内の教員として勤務するに至り、日本人2名は企業へ就職するに至っている。

「有効性」

本課題は、以下の観点から、十分な有効性が認められる。

(1) 持続的な人材育成の枠組みの構築

本課題により、新設科目を運営し、教育組織として専修コースを設置したことにより、宇宙分野の教育基盤となる技術分野（機械・情報通信・物理）などと連動して分野横断的な人材育成に継続的に取り組むことが可能となった。専修コースは令和元年度以降も、継続して実施しており、学内学生の履修者は、文系学生を含めて、のべ数695名の学生教育の規模に達している。

また、edXシステムによる講義配信は、インターネットにより、日本独自の宇宙科学技術に関する講義を国境や時間に関係無く展開することが可能であり、4,577名の受講者があった。令和元年度以降も継続して実施している。

(2) 知的基盤の整備

知性は五感を通して認識する多くの事柄、それらをもとに考察し判断していくことにより育成されるものと考えられる。若手研究者を含めて、個人がそれらの活動に大きな魅力を感じる事が重要である。このような活動を創起させるために、本課題における実践型のプロジェクト教育を実施する環境として、「考える、創る、試す」を可能とし、また、促進する環境を「工房」として設置し、各教育課題の担当教員・若手研究者が集う環境として運用した。具体的には、作業機・軽作業用の工作機械・計算機・ホワイトボード・プロジェクタ・真空チャンバー・オシロスコープ・スペクトルアナライザ・電子回路製造用用品を配置し、分野横断的に設計から製作・試験ができる工房を設置した。工房を設置して以来、各年度、概ね20名程度の学生と約2名の若手研究者が在籍し、機械・情報通信・物理の垣根を超えた活動を実施した。

「効率性」

本課題は、以下の観点から、十分な効率性が認められる。

(1) 費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

授業の実施には専門知識及び教育技法を高度に備えた専門家が不可欠である。専修コースに設置する授業科目に適切な人員の選任は、本課相に参画した教員の知見や人脈より円滑に実現された。授業資料の印刷・配布、レポート回収・整理などの作業については、授業に関連する実践型のプロジェクト教育を担当する学生の TA として活動したことにより、授業を効率的に進めることが可能であった。また、早稲田大学の中長期計画「Waseda Next 125」の理念と本課題の目的が整合し、その結果、英語科目の設置の推奨及び支援として、専修コースにおける科目群の実施費用（講師費用、動画作成費用等）について大学から支援を受けることが可能となった。

(2) 計画・実施体制の妥当性

本課題においては、工学分野から2名、理学分野から2名の教員をメンバーとして運営委員会を設置し、平成28年度は、2週間から1か月に1回の頻度で運営委員会を開催し、専修コースの趣旨・能力認定対象とする既存科目、設置が必要となる新規科目とその趣旨・シラバスについて計画および実施した。平成29年度からは、2か月に1度の頻度で運営委員会を開催し、授業の運営、学生の履修状況、実践型のプロジェクト教育への取組状況の共有及び今後の改善策の検討し、新たに実施する科目（動画配信授業、理工系外実施授業）について、適宜に実施した。2月には能力認定のための候補者の選定及び承認を実施し、証書の発行作業を実施した。

宇宙科学技術は専門分野や専攻を越えて横断的に学ぶべき分野であることから、工学、理学分野の教員が連携した計画・実施体制は妥当であり、円滑に本課題を進めることが可能となった。

(2) 成果

「アウトプット」

計画した科目・コースは、宇宙科学技術に関して、惑星探査の側面及び人工衛星に関する技術を実践する若手技術者の育成を目指すものである。特に、原理・原則を理解し、実践を可能とする知恵を持つリーダーとしての資質を備える人材の育成を目指した。

- ・ 既存の 13 科目（日本語）、6 科目（英語） および新規の 5 科目（日本語）、9 科目（英語） を統合し、「惑星探査・衛星システム専修コース」新設し、科目履修学生はのべ 557 名 に至った。うち、4 名に認定証を発行した。
- ・ アンケートにより、87%の学生より授業内容の理解が確認され、90%の学生より授業が有意義であることの結果を得ることができた。アンケート内容を以下に示す。

項目	評点割合
<u>6段階評価で、1：全くそう思わない ～ 6：とても思う</u>	<u>4～6の割合 %</u>
教員の話し方は適切だった	95
板書、プロジェクター、あるいは配布資料などはわかりやすかった	91
教員は学生の理解を深めるための工夫をした	87
教員は効果的に学生の参加を促した	84
教員は授業課題や学生の参加に関して効果的なフィードバックを行った	82
教員は学生のレベルや理解度を把握して授業を進めた	87
シラバスで示された到達目標が達成されるように、授業が行われた	86
総合的にみてこの授業は有意義だった	90

- ・実践型のプロジェクト教育として、4つの教育課題を設定し、のべ69名の参加を得て活動した。
- ・学生のアンケートにより、参加した学生の73%より好評を得た。

項目	評点割合
<u>6段階評価で、1：全くそう思わない ～ 6：とても思う</u>	<u>4～6の割合 %</u>
教員は学生の理解を深めるための工夫をした	82
教員は効果的に学生の参加を促した	92
教員は授業課題や学生の参加に関して効果的なフィードバックを行った	80
教員は学生のレベルや理解度を把握して指導を進めた	70
総合的にみて課題は有意義だった	73

(アンケートは、上記人数の参加者に対して、上記の項目について、6段階評価として調査し、評価を得た。加えて、「この課題で最も有意義な点は何か」という点より自由な意見を調査した。)

- ・学内文系学生向けの講義「宇宙を考える1,2」において、のべ174名の受講生を得た。
- ・edXシステムによる配信「Cosmic Rays, Dark Matter, and the Mysteries of the Universe」において、4,577名の受講生を107か国より得た。

「アウトカム」 (令和元年10月末時点)

専修コースの認定証発行者4名のうち、2名は宇宙関連企業へ就職しており、本課題がキャリア形成に大きく寄与したと考えられる。将来的には、各企業において、中核的な存在としての役割を果たすことを期待したい。

学内の資金的・人的リソースを効率的に活用し、持続可能性を担保した専修コース及びコースにおいて展開する授業科目及び作成した英語教育コンテンツによる教育活動を継続した。秋学期開始時点(令和元年9月時点)において、約700人(大学内)、約2500人(一般・海外)の教育を継続している。実践型のプロジェクト教育の成果に関連して、令和元年に2件の研究課題として、JAXA共同研究、科学

研究助成費・基盤研究(C)、基盤研究(S)(2億)の採択に至っている。

また、国際交流事業へも波及し、本課題の実施において交流が活発に進展した英国 Surrey 大学との二国間交流事業を日本学術振興会へ申請中である。また、本課題で実施した交流がきっかけとなり、事業参画教員1名が交流先(韓国地質資源研究院)に分光計による組成分析の研究活動ために長期滞在することとなった。

(3) 今後の展望

専修コースの設置により、日本語・英語による学部3年生から修士課程学生に関する教育が可能となり能力認定が可能となった。この制度を維持し能力認定を継続的に実施していくことを予定している。また、高校生へ向けた広報を継続して実施しており、新入生に対するアンケートから宇宙分野における学習を希望する学生が一定数存在することが確認できている。学生の興味を刺激し、より魅力的な教育内容としていく。

近年の超小型人工衛星の発展は堅調であり、部品類の小型・高性能化により衛星が提供できる機能も高度になっていくものと予想される。打ち上げ機会を無償で得ることが困難となってきているが、本課題中に考案したミッションの中についても、打ち上げの実現を目指す。

8. 評価点

A

評価を以下の5段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

本課題は、宇宙利用分野において国際的に活躍できる人材の育成を目的として、「惑星探査・衛星システム専修コース」を設置し、約560名の学生に対して実践するとともに、企業及び海外の大学との連携による人工衛星の試作等の実践型のプロジェクト教育のもと、約70名の学生の活動を支援した。さらに、インターネット型授業コンテンツの開発や一般向けのサイエンスコミュニケーションを継続的に実施するなど、多方面での普及活動も含めて、教育プログラムを開発したものである。

所期の目標は十分に達成されており、特に以下は、特筆すべき成果であると認められる。

- 新設した本コースの下での教育、実践型のプロジェクト教育は共に学生から高い意義を認められるとともに、インターネット型授業コンテンツの独自のコースを開発し、学外、海外からの多数の受講実績を獲得した。
- 課題実施期間終了後も開発した教育プログラムを継続するために、学内の資金的・人的リソースを効率的に活用している。
- 実践型のプロジェクト教育において、拠点整備がなされ、プロジェクトの成果が多く論文や研究

費獲得に貢献している。

以上により、本課題は相応の成果を上げ、宇宙航空利用の促進に貢献したと評価する。

今後は、本コースにおける認定証発行者（修士課程修了生のうち、本コースの下設置された科目群のうち5科目を履修した学生）の増加を目指して講義方法や履修方法等を改善するとともに、実践型のプロジェクト教育を単位取得と連動させる試みにより教育効果を高める試行を行いつつ、多国籍なコミュニティの中で議論を牽引できるような人材を育成するための教育内容やその効果測定を一層工夫しながら、引き続き、本プログラムの活動を大学が主体的に継続、改善することを期待する。