

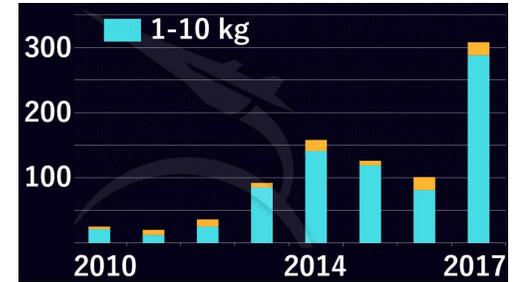
「持続的な超小型衛星開発・利用を可能にする国際宇宙人材の体系的な育成」の成果について

実施体制	主管実施機関	大学宇宙工学コンソーシアム	実施期間	平成27年度～平成29年度 (3年間)	実施規模	予算総額(契約額) 85.3百万円		
	代表者名	副理事長 宮崎康行 (課題実施当時)				1年目	2年目	3年目
	共同実施機関	—				28.5百万円	26.9百万円	30.0百万円

背景・全体目標

背景・問題意識

- ✓ CubeSatなど数kg級衛星の爆発的な増加と成功率の低さによる**デブリの増加**。このままでは、**超小型衛星は社会から認められなくなる** (打ち上げられなくなる)
- ✓ 衛星をきちんと作って利用しなくはいけないという**高い意識と技術の向上が必要**
- ✓ 衛星開発初級者に対し、衛星について理解する**ハンズオン教材**や成功する衛星の**ガイドブックが必要**



【1-10kg 級超小型衛星の急激な増加(“2018 Nano/Microsatellite Market Forecast, 8th Edition,” © SpaceWorks Enterprises, Inc.)】

全体目標

- ✓ 超小型衛星の開発および利用が今後も社会に受け入れられ、発展し続けるために、それを担える**高い問題意識・啓発意識と技術・知識を有する国際人材**を大学や国の垣根を越えて、UNISECが組織的に育成
- ✓ 模擬衛星による基礎技術のハンズオン授業から数kg級衛星の成功に向けた**ガイドブック**、**国際的なレビュー会**に至るまで、「**成功する衛星**」を開発・利用し、**社会を啓発できる人材を、段階を追って体系的に育成**



全体概要と期待される効果

全体概要

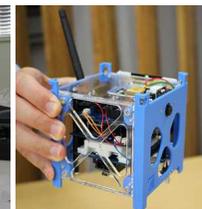
- ✓ 模擬衛星と英語テキストから成る2つのハンズオン教材「**i-CanSat**」と「**HEPTA-Sat**」の開発
- ✓ それぞれのハンズオン教材を用いた2つの研修プログラムの開発と国内外での**ハンズオン授業・出前授業実施**
- ✓ **ガイドブックの作成と、そのための2機の超小型衛星開発支援**
- ✓ 超小型衛星設計・開発のレビュー体制の構築と**レビュー会実施**
- ✓ デブリ問題に対する意識を高めるための**国際コンテスト**の実施
- ✓ 超小型衛星の**デジタル・アーカイブサイト**の開設・運営

期待される効果

- ✓ ハンズオン教材を用いた**研修システムの事業化**
- ✓ 衛星設計・開発者の要望に応じた**レビュー会**の開催
- ✓ 衛星開発利用の基礎を学ぶところから衛星打ち上げまでの**シームレスな支援とそれによる人材育成**



i-CanSat



HEPTA-Sat



ハンズオン授業



国際レビュー会



国際コンテスト



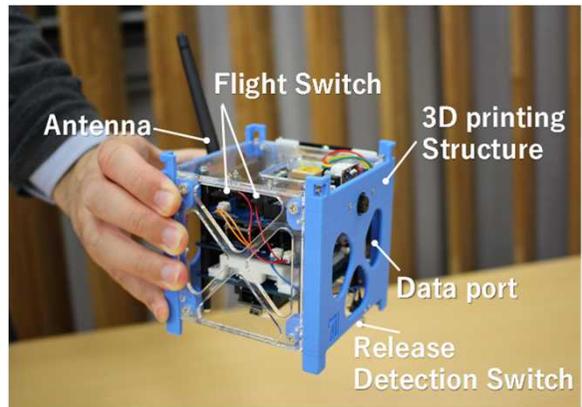
デジタル・アーカイブサイト

①超小型衛星開発の基礎を学ぶハンズオン授業の普及

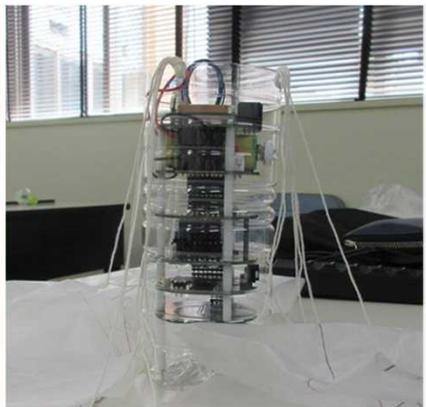
実施内容及び主な成果

- 模擬衛星「HEPTA-Sat」と「i-CanSat」の改良と英語版テキストの製作
- これらの教材を用いたハンズオン授業を3回実施（大学院生2名、大学生9名、高校生5名、教員2名、海外研究者15名）
- 自習用補助動画を動画サイトおよび本事業専用サイトで公開
- 海外研究者との合同授業による日本人学生の国際性の醸成
- これから宇宙開発利用に進出しようとする海外大学（ブルガリア、ネパール）でもハンズオン授業を実施（計35名）

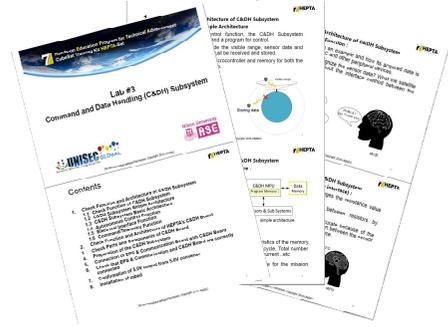
以上により、国際人材育成・国際貢献に有効な、手を動かしながら衛星開発・利用の基礎を学ぶ教育プログラムが2つ完成



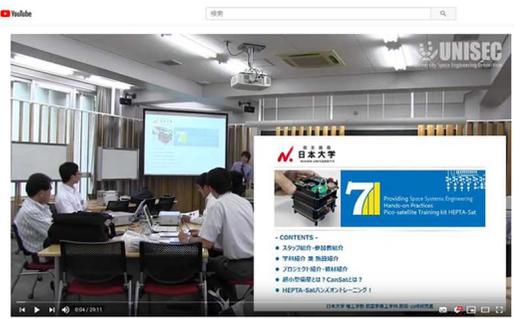
【HEPTA-Sat】



【i-CanSat】



【テキスト】



【自習用補助動画】



【海外研究者と日本人学生の合同ハンズオン授業】



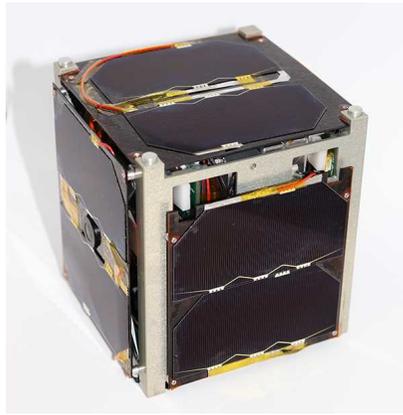
【海外でのハンズオン授業】



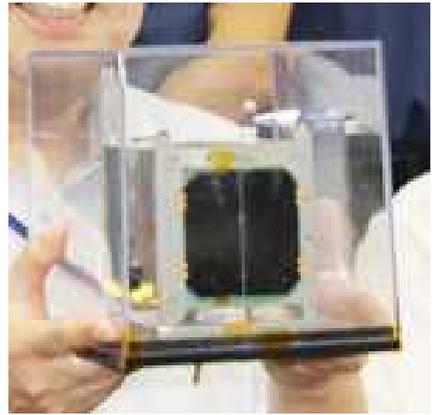
②成功する数kg級衛星のガイドブックの作成

実施内容及び主な成果

- CubeSat等、数kg級衛星に適用可能な、衛星の開発・利用の優れた事例や考え方、方法論、具体的なノウハウや手引き、初級者に対する宇宙利用のガイドラインなどを体系的にまとめた英語版**ガイドブック**を作成。
 - 2機の超小型衛星「NEXUS」、「AUTCube2」の開発を支援し、**最新の衛星設計・開発情報**を入手。それをガイドブックに反映。
 - 衛星設計・開発の**レビュー方法**や、**デブリ問題**についても記載。
- 以上により、**開発者に具体的な考え方や方法論、具体的なノウハウ、宇宙利用のガイドライン**を伝える**ガイドブック**が完成。



【NEXUS】



【AUTCube2】



CubeSat Review Guidbook
With an Application to 1U CubeSat

- on. So satellite can be heated up.
- When there are the surplus power, the satellite can be heated by flowing current in the shunt resistor.
- Using the thermal insulation material to prevent rapid cooling and temperature reduction.
- In order to improve the absorption rate of heat from the sun, black anodizing is applied to the solar panel, and black anodized aluminum are employed for structural of the satellite.

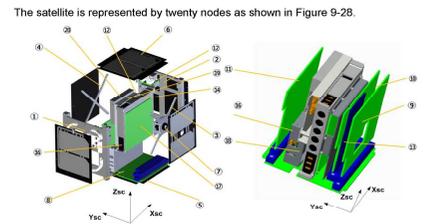


Figure 9-28 Nodal model for thermal analysis.

Table 9-14 Different nodes for satellite representation in thermal modelling.

Node No.	Node name	Node No.	Node name
①	-x panel	⑪	C board(EPS)
②	+x panel	⑫	D board
③	-y panel	⑬	CAM board
④	+y panel	⑭	Battery box
⑤	-z panel	⑮	Battery
⑥	+z panel	⑯	π/4 shift QPSK transmitter
⑦	CAM	⑰	Linear Transponder
⑧	Meliter board	⑱	FSK transceiver
⑨	A board (FMR&CW)	⑲	Transmitter
⑩	B board (CDH&SG)	⑳	Receiver

【ガイドブック】

【衛星開発の例】

8 Important Issues

8.1 Frequency Coordination

Frequency Coordination is a technical and regulatory process which is intended to remove or mitigate radio-frequency interference between different radio systems which utilize the same operational frequency.

Normally frequency coordination is conducted by local and international as part of a formal regulatory process under the procedures of the Radio Regulations defined by local authority and International Telecommunication Union (ITU).

Before an administration allows an operator to commence operation of a new radio communications network it must in principle undergo coordination. This involves the following steps:

1. Inform other operators about the plans.
2. Receive comments if appropriate.
3. Conduct technical discussions with priority networks
4. Agree on technical and operational parameters
5. Gain international recognition and protection on the Master International Frequency Register
6. Bring the network into use.

Coordination thus ensures:

1. All administrations know the technical plans of other administrations
2. All satellite operators have the opportunity to determine if unacceptable interference is likely to be caused to their existing and planned "priority" networks
3. An opportunity to object
4. An opportunity to discuss and review
5. An opportunity to reach technical and operational sharing agreements.

8.2 Space Debris

Abandoned satellites and rocket upper stages litter the environment around Earth. There is increased probability of collisions in Earth orbit. Moreover, uncontrolled growth of the Earth orbiting debris population risks the safety of future operations.

Over the years, various self-induced removal strategies have been proposed such as:

- Chemical propulsion
- Electric propulsion
- Electrodynamic tethers
- Drag augmentation (sails, balloons)

【周波数問題・デブリ問題の解説】

2 System Engineering and Review Process

2.1 Essential Background about System Engineering

The system engineering discipline can be applied and learned from the CubeSat or CanSat projects. It is recommended that developer should be versed in "Systems Engineering" to take holistic approach to understanding the CubeSat project. The definition of "Systems Engineering" is diverse. At first, developers might want to start from referring to the basic explanation in the INCOSE Systems Engineering Handbook. International Council on Systems Engineering (INCOSE). Interested reader can access the website of INCOSE (<http://www.incose.org>) where the systems engineering handbook is available. In this section, the process to apply systems engineering to a space project like CubeSat is introduced.

To assure mission success of the CubeSat project, developers must carry out numerous activities. As it turns out, they can be categorized mainly into three processes. These processes can be defined as follows:

2.1.1 System design

First of all, developers must portray the stakeholders. They are people/organizations who affects or influenced by the project. Secondly, developers should extract the requirements from the project needs. Thirdly, to specify the overall function and specifications, it is necessary to decompose the system into smaller individual parts. It is crucial not to forget clarifying the interface between each consisting parts and define the specification in detail.

2.1.2 Verification and validation

Developers must guarantee if the systems engineering activities are conducted in accordance with the systems requirements. Also, developers should confirm whether the system design meets the demands of the customer.

2.1.3 Systems engineering management

The management engineering processes in a project are used to establish and evolve the project plans, to execute the plans, to assess actual achievement and progress against the plans and to control execution through to fulfillment. Individual technical management processes may be invoked at any time in the life cycle and at any level.

To satisfy the quality, cost and schedule of the system development, system engineers or developers ought to carefully conduct, evaluate and improve each tasks.

The above mentioned three processes can be depicted by a process model diagram called the "V-diagram" shown in Figure 2-1. The left-hand side of the diagram shows how the requirements are broken down into smaller pieces. On the other hand, the right-hand side displays how subsystems are integrated into systems via test and assembly procedures.

【レビュー方法のガイド】

③超小型衛星の国際的レビュー体制の構築

実施内容及び主な成果

- 国内研究者19名、海外研究者7名から成る**レビュー委員会**を組織。加えて、UNISECおよび国際団体UNISEC-Globalからレビューアーを募ることができる体制を構築。
- 国内および海外レビューアーを招いた英語での**模擬レビュー会を1回、レビュー会を4回実施**し、レビュー項目およびレビュー方法のノウハウを蓄積。その成果をガイドブックに記載するとともに、**サマリー**を本事業webサイトにて公開。
- **レビューをした3機の超小型衛星** (OrigamiSat-1、NEXUS、AUTCube2) はすべて、JAXAが平成30年度に打ち上げる予定の衛星の公募に採択され、**フライトモデルを完成**させた。

以上により、**超小型衛星の開発者、特に初めて開発するチームが希望すれば、自身の衛星設計・開発についてレビューを受けられる体制が整った。**



④ 『成功する衛星』論の普及

実施内容及び主な成果

- 出前授業を5回、計44名に対し、実施。その開催場所・人数は次の通り：東京大学（大学生10名）、香川高専(高専生12名)、静岡大学（大学生10名）、九州大学（大学院生4名、大学生2名）、福井工業高等専門学校（高専生4名、教員2名）。
 - デブリ問題解決のためのアイデア・設計を競う国際コンテスト「Debris Mitigation Competition」を2回実施（ブルガリア、イタリア）。第1回は14か国から計22件の応募、最終審査会に31か国、150名が参加。第2回は7か国から計11件の応募、最終審査会に20か国から85名が参加。
 - 本事業の紹介サイト（<http://www.unisec.jp/mpj/>）と、国内外の超小型衛星のデジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」（<http://satellite.unisec.info/>）を開設・運営。
 - 国際展示会1件、国内展示会3件で本事業のハンズオン授業を紹介。
 - 「HEPTA-Sat」を用いたハンズオン授業がARM社の「ユニバーシティプログラムワークショップ」に採用。
 - 2つの高専で本事業の出前授業をベースとしたハンズオン授業をカリキュラムに組み込み。
- 以上のように、ハンズオン授業やガイドブックの内容を普及させることができた。



【出前授業】



【展示会】



4つの柱

超小型衛星開発の基礎を学ぶハンズオン授業の普及

a. ハンズオン教材の製作
平成28年度以降のハンズオン授業参加に向けて、ハンズオン教材「i-CanSat」と「HEPTA-Sat」の製造を確立し、教材を製作する。また、国際人材育成を念頭に、英語版電子テキストを製作する。

b. 普及に向けたハンズオン授業の準備
ハンズオン授業を普及すべく平成28年度以降に実施学生の、ネット利用による「ハンズオン授業シリーズ」の準備およびスクリーンを決定する。また、ハンズオン授業の紹介ビデオを製作する。

i-CanSat HEPTA-Sat

【本事業紹介サイト】



【国際コンテスト】



【UNISEC Earth】

普及活動（「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組）

- ✓ SNSでの活動報告（<https://www.facebook.com/UNISEC/>、<https://www.facebook.com/CLTP-333187893370245/>）
- ✓ 動画サイトでのハンズオン授業や国際コンテストの様子を紹介（<https://www.youtube.com/user/UNISECmovie/>）

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	展示会展展
		国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 4 国際 : 1	国内 : 1 国際 : 0	国内 : 3 国際 : 0
受賞・表彰リスト						

成果展開の状況について

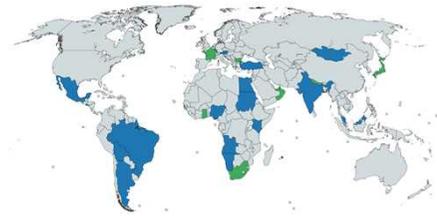
- 「HEPTA-Sat」、「i-CanSat」を用いた研修プログラムの事業化
 - ①衛星開発技術者、②営業職や広報担当者等、衛星に関わっているが衛星の中身を知らない企業関係者、③法律関係者等、技術者以外の宇宙関係者、④海外向けの研修（平成30年度だけでも8回を予定）。
 - 受講生が自身の組織で研修プログラムを実施する支援（教材の販売）。
- 「HEPTA-Sat」研修の受講者の**国際コミュニティ・サイト**の創設
 - 国際貢献、ならびに、口コミによる顧客の拡大。
- 国際宇宙航行アカデミーにて、小型衛星の**デブリ化防止を検討するスタディ・グループ**（IAA-SG 4.23）を立ち上げ。
- 国連宇宙部の職員を招聘するなど、国連宇宙部との連携を深めていった結果、UNISECは**国連宇宙空間平和利用委員会のパーマネント・オブザーバー**に認定。
- AR技術を搭載した地球儀「ほぼにちアースボール」を使ったアプリの1つとして、超小型人工衛星が地球儀のまわりを飛ぶように見える**ARアプリ**が開発された。これにより、**一般の方々が超小型衛星について理解する新たなパス**ができた。

今後の研究開発計画

- **レビュー会の事業化**：衛星設計・開発者の要望に応じて、レビュー委員会から委員を派遣し、レビューを実施する。開発当初からレビューを継続的に実施することで、ミッション成功確率を高める。
- ハンズオン授業からレビュー会・超小型衛星打ち上げに至るまで、**衛星開発全体の支援システムの事業化**：国際宇宙ステーションからの超小型衛星放出事業実施業者と既にMOUを結んでおり、今後は本事業のハンズオン授業・レビュー会システムと合わせて、初級者が衛星を打ち上げるまでのトータル支援を行う。



UAEにて



2017-18で26か国126名が受講



学生-社会人-海外研究者の合同研修



国連ワークショップにて「HEPTA-Sat」研修プログラムの実施



【© ほぼにちアースボール】



【国連での講演】



【レビュー会】

事後評価票

平成30年3月末時点

1. 課題名	持続的な超小型衛星開発・利用を可能にする国際宇宙人材の体系的な育成
2. 主管実施機関・研究代表者	特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム・ 副理事長 宮崎 康行 (課題実施当時)
3. 共同実施機関	—
4. 実施期間	平成27年度～平成29年度
5. 総経費	85.3百万円
6. 課題の実施結果	
(1) 課題の達成状況	
「所期の目標に対する達成度」	
◆ 所期の目標	
本課題は、大学生・高専生・大学院生等を対象に、(1) 人材育成、(2) 衛星打ち上げ、(3) 国際連携、(4) 啓発活動のこれまでの豊富な実績を基礎に、超小型衛星の開発および利用を持続・発展できる、高い問題意識・啓発意識と技術・知識を有する国際人材の育成体制を構築することを目指すものであり、具体的には、それに必要な以下の4つの目標を達成し、この4つを連鎖させることで組織的・体系的で、かつ、事業終了後も持続可能な育成体制を実現することを全体目標とする。	
【目標1】 超小型衛星開発の基礎を学ぶハンズオン授業の普及	
入門用 CanSat「i-CanSat」と、7cm立方の模擬衛星「HEPTA-Sat」を用いたハンズオン授業を国内外の学生や一般向けに実施する。これにより、基礎技術に加えて超小型衛星を開発・利用する際の意識・考え方も普及させる。	
【目標2】 成功する数kg級衛星のガイドブックの作成	
CubeSat等、数kg級衛星に適用可能な、衛星の開発・利用の優れた事例や考え方、方法論、具体的なノウハウや手引き、初級者に対する宇宙利用のガイドラインなどを体系的にまとめた英語版ガイドブックを作成する。	
【目標3】 超小型衛星の国際的レビュー体制の構築	
超小型衛星や搭載機器の開発・成功実績を有する国内外のメンバーがレビュアーとなり、「成功する衛星」のための適切なレビュー項目の設定やレビュー方法を策定し、レビュー会の実施体制を構築する。	
【目標4】 「成功する衛星」論の普及	
出前授業や国際コンテスト実施等により、目標2でまとめるガイドブックの内容を、衛星を開発・	

利用しようとする学生に普及させる。同時に、学生も巻き込んだ広報活動を通じて広く国民にも知らせる。

◆ 達成度

所期の目標として掲げた4つの目標の達成度はそれぞれ以下の通りである。なお、以下に「公開」としたものについては、すべて、専用webサイト「<http://www.unisec.jp/mpj/>」にて公開されている。

【目標1】 超小型衛星開発の基礎を学ぶハンズオン授業の普及

- ハンズオン教材「i-CanSat」（部品セットおよび英語版テキスト）を開発した。また、補助学習用ビデオ教材を開発・公開した。
- ハンズオン教材「HEPTA-Sat」（部品セットおよび英語版テキスト）を開発した。補助学習用ビデオ教材を開発した。
- 「i-CanSat」を用いて、北海道大学・(株)植松電機にて、大学院生2名、大学生1名、海外研究者8名の計11名に対し、ハンズオン授業を実施した。
- 「HEPTA-Sat」を用いて、2回、計22名に対し、日本大学にてハンズオン授業を実施した。その内訳は以下の通りである：1回目：高校生5名、教員2名、海外研究者1名、2回目：大学生8名、海外研究者6名。
- 「HEPTA-Sat」を用いて、2回、計35名に対し、海外でハンズオン授業を実施した。その開催場所・人数は次の通りである：ブルガリア・ソフィア大学（ソフィア大学の学生・教員計18名）、ネパール・カトマンズ大学（カトマンズ大学の学生・教員計17名）

【目標2】 成功する数kg級衛星のガイドブックの作成

- 英語版のガイドブックを作成した。
- ガイドブック作成にあたって、AUTCube2（愛知工科大学が主開発）、NEXUS（日本大学が主開発）の2機のCubeSatを開発し、その設計内容をガイドブックに反映させた。また、衛星の設計・開発のレビューの方法や、デブリ問題についても記載した。これらより、ガイドブックを、開発者に具体的な考え方や方法論、具体的なノウハウ、宇宙利用のガイドラインを伝える内容にした。

【目標3】 超小型衛星の国際的レビュー体制の構築

- 国内研究者19名、海外研究者7名から成るレビュー委員会を組織した。加えて、UNISECおよび国際団体UNISEC-Globalからレビュアーを募ることができる体制を構築した。
- 国内および海外レビュアーを招いた模擬レビュー会を1回、レビュー会を4回実施し、レビュー項目およびレビュー方法のノウハウを蓄積した。その成果は目標2のガイドブックに記載するとともに、サマリーをwebサイトにて公開した。
- レビューをした衛星3機（OrigamiSat-1、NEXUS、AUTCube2）はすべて、JAXAが平成30年度に打ち上げる予定の衛星の公募に採択された。

【目標4】 「成功する衛星」論の普及

- 出前授業を5回、計44名に対し、実施した。その開催場所・人数は次の通りである：東京大学（大学生10名）、香川高専（高専生12名）、静岡大学（大学生10名）、九州大学（大学院生4名、大学生2名）、福井工業高等専門学校（高専生4名、教員2名）。

- デブリ問題解決のためのアイデア・設計を競う国際コンテスト「Debris Mitigation Competition」を、以下の通り、2回実施した。第1回：14か国から計22件の応募があり、10件（日本、南アフリカ、イタリアが各2件、トルコ、アメリカ、フランス、ポーランドが各1件）がブルガリア・ソフィア大学での最終選考会に進み、上位3件を表彰した。コンテストには31か国、150名が参加した。第2回：7か国から計11件の応募があり、5件（アルゼンチン、日本、ロシア、南アフリカ、トルコ）がローマ大学での最終選考会に進み、上位2件を表彰した。コンテストには20か国から85名の参加があった。
- 本課題の内容を紹介・普及するためのWebサイト、および、国内外の超小型衛星のデジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」（<http://satellite.unisec.info/>）を立ち上げ、運営した。
- 衛星開発を進めている香川高等専門学校および徳山高等専門学校にて、本課題がきっかけで、「HEPTA-Sat」を授業教材として活用が進んでいる。
- 日本航空宇宙学会が主催する宇宙科学技術連合講演会や、ものづくりに関するイベント「Maker Faire Tokyo」、Asia Pacific Satellite Communications Council（APSCC）の国際会議等グループを構えて本課題や本課題で開発した「i-CanSat」、「HEPT-Sat」について、学生が説明員になって周知することで、「HEPTA-Sat」を用いたハンズオン授業がARM社の「ユニバーシティープログラムワークショップ」に採用され、学生や一般の方々に対するワークショップの開催や、国連ワークショップにおける「HEPTA-Sat」を用いたハンズオン授業の実施などの成果を得た。

以上により、所期の目標を達成したと認められる。

「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。

【国や社会のニーズへの適合性】

国が“宇宙”を重視し、民間でも宇宙ベンチャー企業に多くの投資が集まるなど、宇宙開発・利用の発展が期待される中、技術者・研究者はもとより、一般の方々（宇宙に関連した法律家や、企業の営業担当者、ステークホルダ等、ならびに、行政担当者等）が人工衛星というシステムを理解するための教材が不足している。また、国際的には、SDGsへの貢献が期待されている。このような期待・ニーズに対して、本課題は以下の通り、適合している。

- ・ 技術者・研究者が人工衛星について理解し、人工衛星を開発できるようになるきっかけとなる教材として、既に関係していた「i-CanSat」、「HEPTA-Sat」を改良するとともに、英語版のテキストを製作した。
- ・ 「HEPTA-Sat」は技術者・研究者のみならず、一般の方々にも対応した教材を開発した。
- ・ また、それらの教材を用いた研修プログラムを開発し、ハンズオン授業・出前授業を通じてその有効性を実証した。
- ・ さらに、「HEPTA-Sat」による研修プログラムは発展途上国を含む海外の国々が宇宙を持続的に利用していくための人材育成ツールとしても対応できるよう開発しており、海外でのハンズオン授業を通じて、SDGsへの有効性を実証した。

【若手研究者の育成】

上述の通り、人工衛星を開発できる人材は需要に比して、不足しており、そのことは、人工衛星を開発して先進的な研究をする若手研究者が不足していることも意味している。これに対し、本課題では、ハンズオン授業・出前授業を通じて、高校生から大学院生まで、計 58 名の学生を育成するとともに、その指導者である教員 4 名にも指導を行うことで、若手研究者の育成に貢献した。

「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。

【人材の養成】

ハンズオン授業・出前授業の参加者 106 名（学生 54 名、教員 2 名、海外研究者 50 名）に対するアンケートにおいて、教材および授業内容は高く評価された。特に、「HEPTA-Sat」を用いたハンズオン授業や出前授業は、1 日から 2 週間程度まで、ユーザの要望に合わせて研修内容を調整できる柔軟なプログラムとしたことで、多くの参加者の満足を得た。

また、本課題のレビューを受けることで、衛星開発経験のない学生が開発開始からわずか 2 年で超小型衛星（NEXUS）を完成させた。

【波及効果】

本課題は持続的な超小型衛星開発・利用を目指して、宇宙デブリ問題の解決に取り組み、デブリ低減のための国際コンテストを実施した。その取り組みが基礎となり、国際宇宙航行アカデミー（International Academy of Astronautics、IAA）にて、小型衛星のデブリ化防止を検討するスタンディ・グループ（IAA-SG 4.23）が立ち上げられた。

また、国連宇宙部の研究者を招聘してガイドブックを製作したり、「HEPTA-Sat」が国連のワークショップにおける研修ツールとして利用されたりするなど、国連との連携も深めた。この結果、UNISEC は国連国連宇宙空間平和利用委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space、COPUOS）のパーマnent・オブザーバーに認定された。

本課題の活動が認知された結果、本課題期間中に、本課題以外における「i-CanSat」による研修を 1 回、「HEPTA-Sat」による研修を 3 回実施した。具体的には、①アンゴラ国通信部の研究者への研修（平成 27 年 10 月）、②オーストラリア国立大学での学生・教員向け研修（平成 28 年 4 月）、③南アフリカで開催された国連宇宙部のワークショップ参加者への研修（平成 29 年 12 月）、④アラブ首長国連邦大学での学生向け研修（平成 30 年 3 月）。なお、平成 30 年度には海外での研究者・技術者への研修を 4 回、国内での学生や企業の技術以外の担当者や法律家と海外研究者との共同研修を 1 回、企業研修を 2 回が予定されている。

また、衛星開発を進めている香川高等専門学校および徳山高等専門学校にて、本課題の出前授業がきっかけで、「HEPTA-Sat」を授業教材として活用が進んでいる。

さらには、本課題で開発した超小型衛星デジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」の内容は一般にも支持され、AR 技術を搭載した地球儀「ほぼにちアースボール」（株式会社ほぼにち製）を使ったアプリの 1 つとして、超小型人工衛星が地球儀のまわりを飛ぶように見える AR アプリが開発された。

このように、本課題で開発したハンズオン授業が国内外に、また、企業にまで利用が進んでおり、

本課題が目的とした、ハンズオン授業や「成功する衛星」論の普及が着実に進んでいる。

「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。

【計画・実施体制の妥当性】

本課題では、設定した目標4つを推進するにあたり、UNISECがそれまでに培ってきた知見や人脈を効率的に活用したことで、①「i-CanSat」と「HEPTA-Sat」の2つの教材開発、②それら教材を用いた研修プログラムの開発、③「AUTCube2」と「NEXUS」の2機の超小型衛星開発、④超小型衛星開発用のガイドブック開発、⑤2回の国際コンテストの実施、⑥超小型人工衛星のデジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」の開発という、多くの成果を上げることができた。

【費用構造や費用対効果向上方策の妥当性】

限られた予算の中で上述のような多くの成果を上げるために、以下の通り、費用を抑えながら効果を最大化する方策を講じた。

- 2つの教材用の部品の一部の製作には3Dプリンタや3次元加工機等の高額な工作機械が必要であったが、研究代表者・参画者が所属する研究室が所有する工作機械を使用することで、使用料を削減した。
- ガイドブック開発に必要となる、最新の衛星開発データを入手するためには、本来であれば衛星開発費用全額を拠出する必要があったが、愛知工科大学、日本大学に協力により、衛星開発のキーとなるコンポーネント（太陽電池セルおよび通信機）の費用にとどめた。
- 国際コンテストを単独で実施せず、他の国際会議（UNISEC Global Meeting）の中でジョイント開催することで、開催に必要な費用を減らしながら、多くの参加者（第1回は31か国150名、第2回は20か国85名）を得た。

（2）成果

「アウトプット」

- 2つのハンズオン授業用教材（模擬衛星およびテキスト）を開発した。
- それら2つの教材をそれぞれ利用した2つの教育プログラムを開発した。
- 最新の超小型衛星開発の事例等を記載した、超小型衛星開発のためのガイドブックを開発した。
- 国内外のレビュアーから成る、超小型衛星の設計・開発のレビュー体制を構築した。
- 超小型衛星を2機開発した。また、どちらもJAXAによる平成30年度の打ち上げ公募に選定された。
- デブリ問題への意識向上のための国際コンテスト「Debris Mitigation Competition」を2回開催した。このコンテストは今後も定期的に開催可能である。
- 超小型衛星への一般の理解を広げるための、超小型衛星のデジタル・アーカイブサイトを開設した。
- 本課題のハンズオン授業・出前授業には104名（教員を除く）が参加し、国際コンテストには33チームが参加した。また、ハンズオン授業・出前授業については、参加学生の指導教員や、授業に参加した教員のうち、香川高専と徳山高専では本課題のハンズオン授業を高専の授業に取り入れて

おり、毎年、それぞれ数十名程度の人材育成に本課題の成果が活用されている。

- ハンズオン授業・出前授業により衛星開発の基礎を理解し、ガイドブックおよびレビューという実際の衛星開発を支援する仕組みを利用して衛星を開発することで、デブリ問題や周波数枯渇問題といった、超小型衛星の普及に伴って生じている問題を理解し、単に衛星をつくるのではなく、「成功する衛星」をつくることの重要性を認識した、高い問題意識をもった衛星開発・利用人材を育成することが本課題の目標であったが、上記の通り、実際に衛星開発ができるまでのスキームを構築することができた。

「アウトカム」 （平成 30 年 10 月末時点）

- 「HEPTA-Sat」を用いた人材育成プログラムは国内外の教育・研究機関のみならず、企業にも支持され、その結果、平成 30 年 3 月までに海外の学生・教員・研究者への研修が 3 回（それぞれ、アンゴラ国通信部の研究者 8 名、アフリカで開催された国連宇宙部のワークショップ参加者 22 名、アラブ首長国連邦（UAE）大学での学生 16 名が対象）実施された。特に、UAE 大学では 16 名中 14 名が女性であり、女性が宇宙に参画するきっかけを提供する機会としても「HEPTA-Sat」研修が有効であることが示された。

また、平成 30 年 4 月以降、UNISEC では「HEPTA-Sat」を用いた研修プログラムを事業化しており、事業は以下の通り順調に進んでいる。実際、この研修プログラムは国内外で一気に普及してきており、かつ、教育・研究機関にとどまらず、企業研修にも利用されるなど、広がりを見せている

- 6 月には企業の新人研修（4 名）を、8 月には国内学生 6 名と海外研究者 5 名の計 11 名の研修を実施した。8 月の研修の際には、参加者自身が講師となって研修を行う「教育実習」も行っており、この際には、国内の企業・宇宙機関等から 15 名、海外から 1 名が受講生として参加した。受講生の多くは技術者ではなく、営業関係者・広報関係者であったこともあり、技術者以外でも衛星システムを理解できる研修プログラムという点で好評を得た。これらの他にも、宇宙法に関係している法律家向けに半日の体験コースも実施し、同様の評価を得た（8 月）。
- 11 月にはフランスの国際宇宙大学にて、12 月には JICA、オマーン、1 月には企業研修と南オーストラリア大学にて開催することが決まっている。
- 「HEPTA-Sat」研修の受講生の一部には、受講生自身が講師となって「HEPTA-Sat」研修を自身の所属組織内で実施することを推奨しており、平成 30 年 4 月以降、UAE 大学が 7 セット、CNES が 10 セット、徳山高専が 1 セットの教材を購入した。
- 「i-CanSat」を用いた研修についても、平成 30 年 4 月に、ナミビア（Namibian Institute of Space Technology）にて、14 名を対象に実施した。

この他にも、以下のアウトカムが得られている。

- 本課題で開催したデブリ低減のための国際コンテスト「Debris Mitigation Competition」がきっかけとなり、国際宇宙航行アカデミー（International Academy of Astronautics、IAA）にて、小型衛星のデブリ化防止を検討するスタディ・グループ（IAA-SG 4.23）が 2017 年立ち上げられた（研究代表者・宮崎、参画者・川島が参加）。

- 本課題では、国連宇宙部の職員を招聘するなど、国連宇宙部との連携を深めていった結果、2017年度に UNISEC は国連宇宙空間平和利用委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space、COPUOS）のパーマネント・オブザーバーに認定された。
- 本課題で開発した超小型衛星デジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」では、地球の3次元CGの周りを超小型人工衛星のCGが周回し、それをクリックすると、その衛星の解説画面がポップアップするものになっているが、この内容が評価され、AR技術を搭載した地球儀「ほぼにちアースボール」（株式会社ほぼにち製）を使ったアプリの1つとして、超小型人工衛星が地球儀のまわりを飛ぶように見えるARアプリが開発された（<https://earthball.1101.com/#ar>）。これにより、一般の方々が超小型衛星について理解する新たなパスをつくることができた。

（3）今後の展望

本課題を実施した3年の間にも、超小型衛星、特に CubeSat の発展・普及は目覚ましく、毎年、300機を超える CubeSat が打ち上げられるようになってきている。また、国連による SDGs の流れを受けて、宇宙開発・利用も発展途上国を含む多くの国で盛んになってきている。その一方で、デブリ化問題は深刻化を増している。そのような状況において、衛星開発・利用の基礎を学ぶプログラムの需要が高まっており、（2）成果の項で示した通り、「HEPTA-Sat」を用いた研修プログラムが注目されている。このような状況を踏まえると、今後は以下のような状況が予想される。

- 「HEPTA-Sat」を用いた研修事業の拡大により、以下のことが予想される。
 - ①衛星開発・利用の教育プログラムを持たない高専や大学において、学生が衛星開発・利用について学ぶ機会が提供される。
 - ②衛星開発・利用関連企業の技術者、ならびに、営業職や広報担当者等、衛星に関わっているが衛星の中身を知らない企業関係者、その他、法律関係者等、技術者以外の宇宙関係者が衛星について理解する機会が提供される。
 - ③この他、自治体の市民講座・生涯学習講座等、一般の方々に衛星開発・利用について理解していただく機会が提供される。
 - ④海外の衛星開発・利用の拡大に貢献する。

そして、これらにより、国民の宇宙開発・利用への理解が深まるとともに、国際貢献、特に、男女・年齢を問わず誰もが宇宙に関する教育を受け、参加する機会が提供されることで、SDGs に貢献することとなると予想される。
- 超小型衛星開発レビュー会の事業化：超小型衛星を開発する大学および企業、民間団体が増える中、ミッションの成功確率を高めるためのレビュー会の需要が高まると予想される。実際、平成30年9月に国際宇宙ステーション（ISS）から放出された、民間団体が開発した CubeSat（リーマンサット RSP-00）の関係者は、本課題で開催したレビュー会を2度、見学している。そこで、本課題のレビュー会を事業化することで、超小型衛星の成功確率が高まり、超小型衛星による持続的な宇宙利用に貢献できると予想される。
- 初級者が衛星を打ち上げるまでの一貫したサポートの事業化：上記の「HEPTA-Sat」研修事業とレビュー会事業をつなぎ合わせることで、初級者が衛星について理解するところから、衛星を開発するまでのサポートが可能となると予想される。また、UNISEC は、ISS からの超小型衛星放出

事業を JAXA から請け負っている Space BD 社と覚書を既に交わしており、これを合わせると、打ち上げまでも合わせた一貫したサポートが可能となると予想される。これにより、国内外の多くの人々が宇宙開発・利用に持続的に参画することに貢献すると予想される。

- この他にも、本課題で開発した超小型衛星デジタル・アーカイブサイト「UNISEC Earth」がきっかけで AR アプリが開発・販売されたように、超小型衛星をコンテンツとするアプリ等の事業への貢献も予想される。

7. 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。

8. 評価理由

衛星開発利用の初心者用の教材および教育プログラム、超小型衛星を開発するためのガイドブック、及び、設計・開発過程における国際レビュー会の実施体制を開発し、これに基づく人材育成及び学生による超小型衛星の開発を実現した。特に、本プログラムでは、日本人学生と海外研究者が共に学ぶとともに、海外のレビュアーを含んだ国際レビュー会の実施体制を構築するなど、衛星開発を通じた国際宇宙人材の育成に大きく貢献した。さらには、超小型衛星をコンテンツとするアプリの開発・販売につながるなど、一般の宇宙開発利用への理解増進にも貢献するとともに、本プログラムを一般向けの研修プログラムとして事業化することで、宇宙産業の発展にも貢献した。

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

今後は、事業化した研修プログラムの実施を国内外で拡大するとともに、国際レビュー会の実績を重ね、目標とする超小型衛星の成功率向上に寄与できるシステムの構築を期待する。