

「超小型衛星試験拠点を核とした革新的宇宙技術の信頼性向上とグローバルニーズに応える宇宙利用と人材育成のための国際ネットワークの形成」の成果について

研究 開発 体制	主管研究機関	九州工業大学
	研究代表者名	教授 趙孟佑
	共同研究機関	特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム

研究 開発 期間	平成26年度～ 平成28年度 (3年間)
----------------	----------------------------

研究 開発 規模	予算総額 (契約額)	65百万円	
	1年目	2年目	3年目
	34.9百万円	16.0百万円	14.5百万円

研究開発の背景・全体目標

背景

- 超小型衛星の打上数は爆発的にのびているが、信頼性向上が必須の課題
- 超小型衛星産業が製造に偏りすぎ、更なる発展には利用開拓が必須
- グローバルな視点で超小型衛星利用を考えられる人材の育成が必要

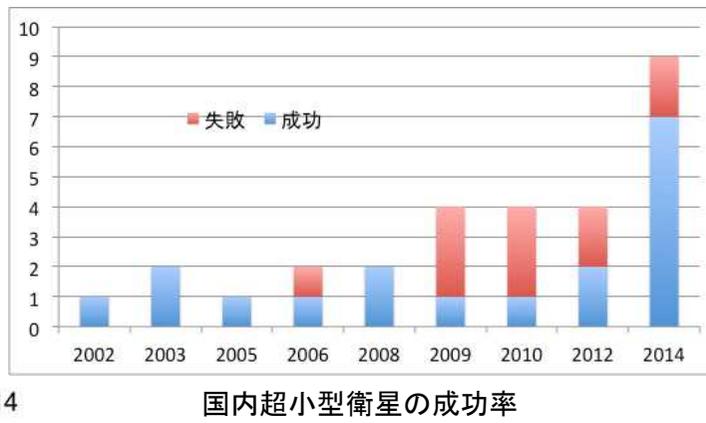
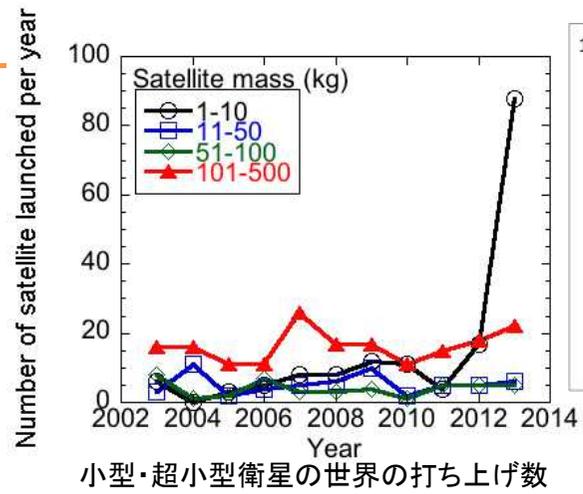
全体目標

- ワンストップの超小型衛星試験拠点を通じた国内外の超小型衛星の信頼性の向上
- 「グローバルなニーズに応える超小型衛星の宇宙利用とそのための人材育成」について研究を行う、若手研究者の国際的ネットワークの形成

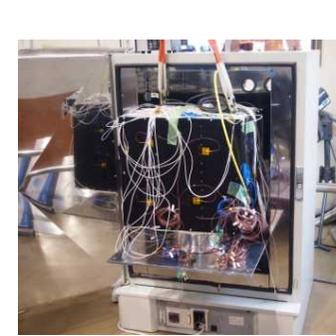
研究開発の全体概要と期待される効果

実施内容

- 超小型衛星試験センターの外部利用推進
 - 若手研究者への設備開放
 - 超小型衛星を向上させるBest Practiceを出版
 - 国連と連携した宇宙利用と人材育成のPBL
 - UNISEC-Globalと連携したGlobal-Workshopの開催
 - SNSベースの若手研究者ネットワークの構築
 - 宇宙材料劣化研究拠点の形成プロジェクトとの連携
- ### 期待される成果
- 超小型衛星試験の実績を蓄積
 - 超小型衛星の信頼性向上に関する研究発表
 - 超小型衛星のグローバル利用に関する新たなアイデア
 - 若手研究者の交流の場



PBL(Project Based Learning)

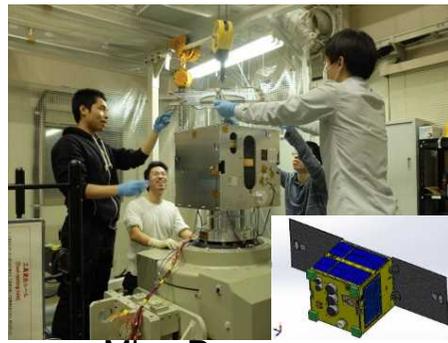


超小型衛星試験センター

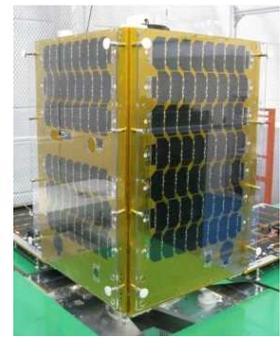
① 「超小型衛星試験センターの外部利用の推進と若手研究者への設備開放」

実施内容及び主な研究開発成果

- ・超小型衛星18基の試験を実施(国内13基、国外5基)
 - ・ 期間中に国内で開発された超小型衛星の半数以上
- ・国内4大学、海外4大学・1機関からの若手研究者が試験センターを利用
- ・「超小型衛星信頼性向上のBest Practice」を含む17件の論文を発表
 - ・ 信頼性を向上させるにはリスク評価が鍵
 - ・ 開発者の経験が効果を発揮
 - ・ 大学衛星では経験を少数の教員・スタッフに蓄積させる
 - ・ 定常的に衛星を打ち上げ、常に各プロジェクトを重複させて、世代間のノウハウの伝授をその場で行う形態が望ましい



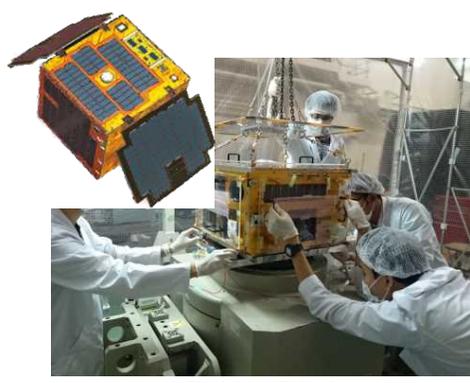
MicroDragon



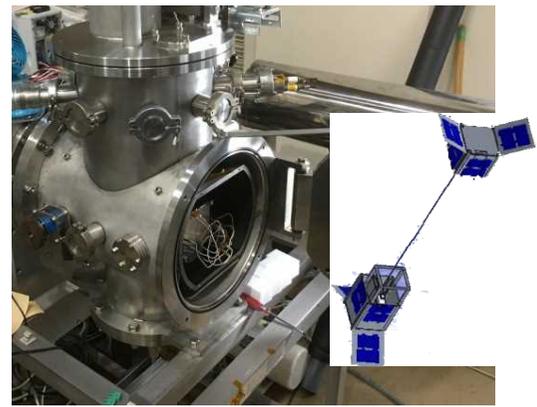
CE-SAT-I

期間中に試験を行った衛星

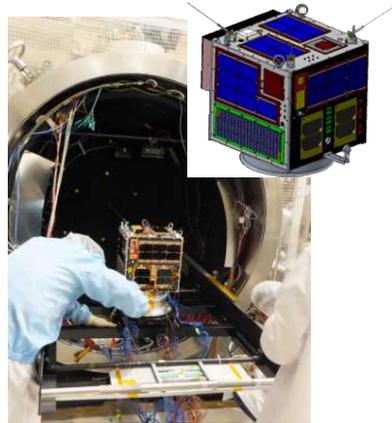
衛星名	開発者
IDEA-OSG-1	アストロスケール株式会社
ADRAS-1	アストロスケール株式会社
CE-SAT-I	キャノン電子株式会社
CHUBUSAT3	三菱重工業株式会社
STARS-C	静岡大学
鳳龍四号	九州工業大学
AOBA VELOX-III	九州工業大学/南洋理工大学(シンガポール)
BIRDS コンステレーション*	九州工業大学
ORBIS	首都大学東京
MicroDragon	ベトナム国家衛星センター(ベトナム) 北海道大学/東北大学/東京大学/慶応大学/九州工業大学/
KNACKSAT	キングモクト工科大学北バンコク校(タイ)
DIWATA-I	フィリピン大学ディルマン校 東北大学
INNOSAT	ATSB社(マレーシア)
VELOX-2	南洋理工大学(シンガポール)



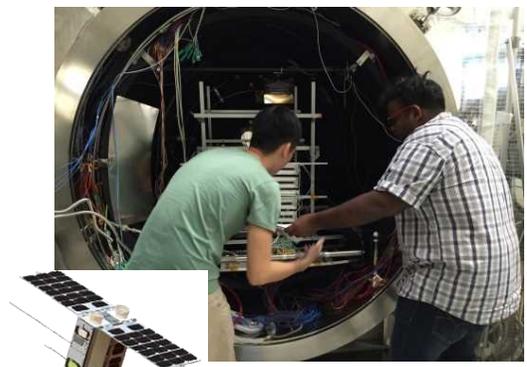
DIWATA-I



STARS-C



鳳龍四号



VELOX-II

*BIRDS-J, -G, -M, -N, -Bの5基のコンステレーション

② 「UNISEC-Globalと連携したワークショップ開催」

実施内容及び主な研究開発成果

特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアムと共同で、2015年7月に東京にて、第3回UNISEC世界大会を開催した。

- 日本から74名、その他25ヶ国から47名が参加した。参加者の内、学生は50名、一般は71名。
 - 学生中心の学生運営委員会が実質的な運営を行い、九工大から日本人学生2名と留学生4名が運営委員会に参加
 - 各国学生代表の発表および小グループに分かれてのディスカッション
 - 学生による発表: インド、韓国、エジプト、イタリア、チュニジア(ビデオ)、トルコ、南アフリカ、オーストラリア、ドイツ、日本
 - 10のテーマに分かれたグループディスカッション
 - 1.Global Space Applications and Human Resource Development using the LeanSat approach
 - 2.How to set International Educational Programme suitable for UNISEC/UNISON
 - 3.CanSat Hands-on Education Projects
 - 4.Successfully launching university satellites: From design to orbit
 - 5.Remote Sensing Data User Group
 - 6.How Should Space Agency support university space activities?
 - 7.How Small Satellites Can Comply with the Space Debris Mitigation Guidelines?
 - 8.Modern DIY Sounding Rockets
 - 9.Safety Standards of University Rocket
 - 10.University Satellite Network; Knowledge Sharing for Mission Success
- 若手研究者の国際的ネットワークの構築につながった



グループディスカッション



九工大から参加した教員と学生6名

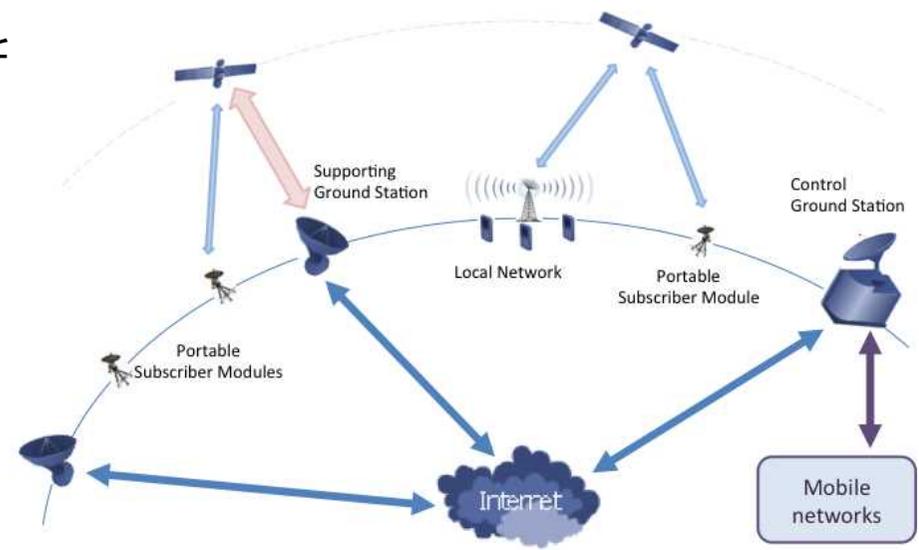


参加者全体集合写真

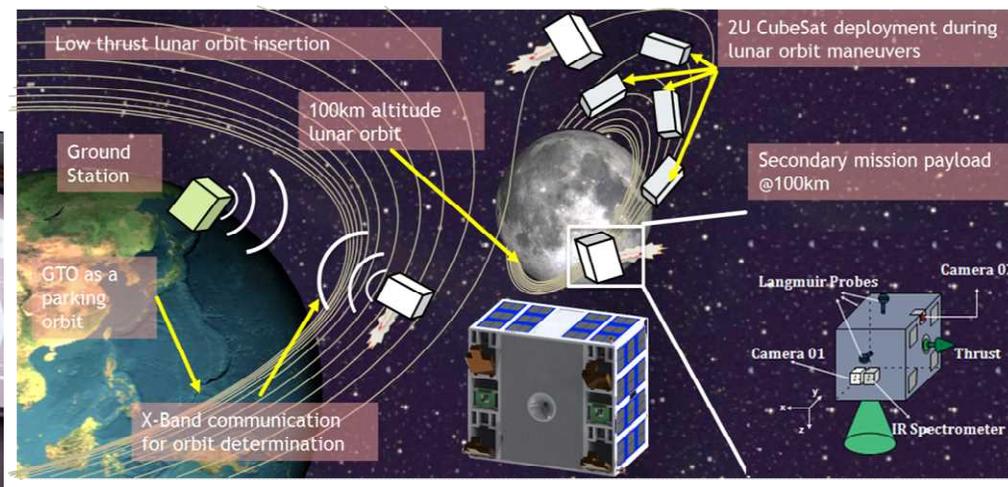
③ 「国連宇宙部と連携した留学生・日本人学生によるPBLの実施」

実施内容及び主な研究開発成果

- 九州工業大学工学府の宇宙工学国際コースにおいて、超小型衛星利用をテーマとして、留学生・日本人学生によるPBL(Project Based Learning)を実施
 - 2014年度(留学生10名、日本人学生5名)
 - 赤道上の低コスト通信ネットワーク
 - 宇宙教育のためのレンタル衛星
 - 2015年度(留学生11名、日本人学生5名)
 - 砂丘追跡
 - 月ミッション
 - 2016年度(留学生9名・日本人学生6名)
 - 火山観測
 - ジャガー保護
 - 海流モニタリング
- 各テーマはUNISEC-GlobalのMission Idea Contestに応募
 - 月ミッションがMission Idea Contestのファイナリストに選定
- 外部講師を招聘して、新興国・途上国の宇宙プログラム立ち上げについてPBLを実施
 - 国連宇宙部(2015,2016)
 - ジョンズホプキンス大学(米)(2015)



赤道上の低コスト通信ネットワークの概念図



月ミッション概念図



国連宇宙部からの講師とPBLチーム



Mission Idea Contestでの成果発表

その他の研究開発成果

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 : 4	国内 : 13 国際 : 14	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0
成果展開の状況について	受賞・表彰リスト					

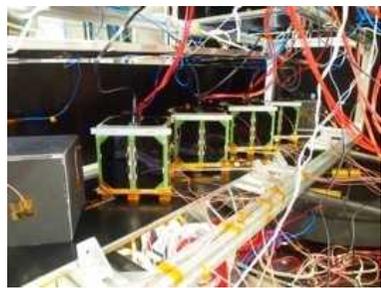
- ・ 様々な国際共同衛星プロジェクトに波及
 - ・ BIRDS-Iコンステレーション (ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾)
 - ・ BIRDS-IIコンステレーション (ブータン、フィリピン、マレーシア)
 - ・ Irazu(コスタリカ)
 - ・ Aoba VELOX-IV(シンガポール)
 - ・ SPATIUM(シンガポール)
- ・ カリフォルニア州立工科大学とのJoint Laboratory設立に波及
- ・ 海外からの衛星試験、超小型衛星設計・試験研修の依頼の増加
 - ・ シンガポール、マレーシア、フィリピン、タイ、エジプト
- ・ 『国際宇宙ステーション・「きぼう」からの超小型衛星利用に関する JAXA、九州工業大学との包括的な連携協力』を締結
- ・ 「超小型衛星の試験規格」(ISO-19683)、「超小型衛星上位規格」(ISO/TS/20991)の二つの国際標準規格制定に効果をもたらす
- ・ 超小型衛星民生部品データベースの構築に効果
- ・ 日本初の宇宙システム工学科の設立 (2018年4月)につながる



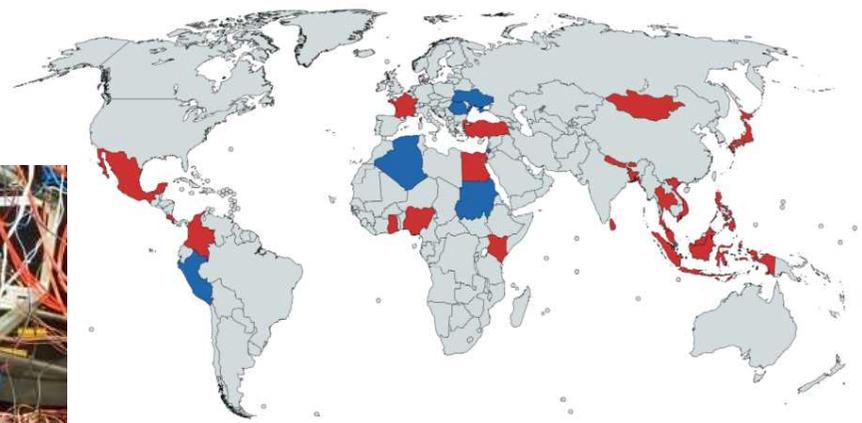
BIRDS-Iフライトモデルと参加メンバー

今後の研究開発計画

- ・ 若手研究者のネットワーク(20ヶ国以上)とBIRDS地上局ネットワーク(10ヶ国以上)の相乗効果による、グローバルなスケールでの国際共同衛星ミッション
- ・ 企業との連携により、衛星の大量生産(コンステレーション)時代に対応した試験方法・試験戦略の研究
- ・ 企業との連携により、新興国の衛星開発について、設計支援・部品調達・試験・打ち上げ・運用等の多方面でトータルに支援する事業の展開
 - ・ 持続可能な宇宙プログラムに関する研究



複数衛星の同時試験



九工大宇宙工学国際コース学生の出身国 (青字:修了、赤字:在籍中)

事後評価票

平成29年3月末現在

1. 課題名 超小型衛星試験拠点を核とした革新的宇宙技術の信頼性向上とグローバルニーズに応える宇宙利用と人材育成のための国際ネットワークの形成
2. 主管実施機関・研究代表者 国立大学法人九州工業大学・趙孟佑
3. 再委託機関 特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム
4. 事業期間 平成26年度～平成28年度
5. 総事業費 65百万円
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」
<ul style="list-style-type: none">● 超小型衛星試験センターの外部利用の推進と若手研究者への設備開放<ul style="list-style-type: none">➢ 期間中に国内で開発された超小型衛星の23基中、13基の試験を行った。(CHUBUSAT-3, STARS-C, 鳳龍四号, IDEA, ADRAS, AOBA VELOX-III, BIRDS-J, BIRDS-G, BIRDS-M, BIRDS-N, BIRDS-B, CESAT-1, ORBIS)➢ 国外衛星5基の試験を行った。(KNACKSAT(タイ)、MDG(ベトナム)、INNOSAT(マレーシア)、VELOX-II(シンガポール)、DIWATA-1(フィリピン))➢ 国内4大学、海外4大学・1機関からの若手研究者が試験センターを利用した。➢ 「超小型衛星信頼性向上のBest Practice」を含む17件の論文を発表した● UNISEC-Globalと連携させたワークショップ開催<ul style="list-style-type: none">➢ NPO 法人大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC) と共同で、2015年7月に東京にて、第3回 UNISEC 世界大会 (UNISEC-Global) を開催した。日本から74名、その他25ヶ国から47名が参加した。● 留学生・日本人学生によるPBL (Project Based Learning : 課題解決型学習) の実施<ul style="list-style-type: none">➢ 国連宇宙部及び米国から講師を招聘し、九州工業大学宇宙工学国際コースにおいて、留学生と日本人学生による超小型衛星利用に関するPBLを行った。そのうちの1テーマの成果が、2016年のMission Idea Contestのファイナリストに選ばれた。● 若手研究者ネットワークの構築<ul style="list-style-type: none">➢ 宇宙工学国際コース修了者を中心としたFaceBookページを立ち上げた。● 「宇宙利用を支える宇宙材料劣化研究拠点の形成」プロジェクト※との連携

※文部科学省宇宙航空科学技術推進委託事業（実施機関：九州工業大学、実施期間：平成26年度～平成28年度）

- 材料評価が重要な超小型衛星に関して、システム試験の結果と材料評価の結果を突き合わせて、ミッション遂行に向けた改善案を探るなど、上記プロジェクトと定期的な連携を行った。

以上に基づき、所期の目標を達成していると言える。

「必要性」

社会のニーズへの適合性

事業が開始直前の2014年12月の段階で、日本の超小型衛星は47基が打ち上げられており、その内31基が2010年以降に打ち上げられている。国内における超小型衛星開発が拡大・加速する中で、超小型衛星の試験を一元的に実施できる場所へのニーズは増加し続けている。超小型衛星試験センターは2010年7月の発足以来、先の31基中19基の試験を実施した。事業開始後の2年3ヶ月のうちに更に13基の衛星の試験を実施したが、これは期間中に国内で開発された超小型衛星の23基中の半数以上を占め、超小型衛星コミュニティのニーズに十分に適合している。特に、超小型衛星を開発する国内企業4社（アクセルスペース、キャノン電子、アストロスケール、三菱重工）のうち3社が超小型衛星試験センターを利用しており、国内産業の需要に応えている。

若手研究者の育成

国内4大学、海外4大学・1機関からの若手研究者に試験センター設備を開放すると共に、宇宙工学国際コース修了者を中心とした若手研究者のネットワークを構築するなど、国内外の若手研究者の育成に貢献した。

「有効性」

国際標準化

超小型衛星試験センターにおいて多くの衛星の試験を実施する中で経験知を積み、低価格・短納期を優先する超小型衛星に適した試験内容・方法を「超小型衛星の試験規格」（ISO-19683）として提唱している。国内外から依頼される試験を実施する中で、九工大の知名度が向上し、「超小型衛星上位規格」（ISO/TS/20991）の制定活動を九工大がリーダーシップをとって実施した。更にISO/TS/20991の制定活動と平行して国際宇宙航行アカデミー（International Academy of Astronautics, IAA）での「超小型衛星の定義と要求事項」についてのスタディグループも主宰した。超小型衛星試験での知名度向上がISOやIAAでのリーダーシップを可能にし、それが更に知名度を向上させて海外からの試験依頼につながるという好循環が生じている。

「効率性」

実施体制の妥当性

本課題は、特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC) を共同参画機関として実施した。2015年7月に東京で開催された UNISEC-Global と連携して、超小型衛星によるグローバル宇宙利用と人材育成をテーマとしてワークショップ (Global-WS) を実施した。Global-WS の役割分担として、UNISEC 側が、UNISEC-Global と若手研究者グループをつなぐ Point-of-Contact として機能すると共に、Global-WS のロジスティクスを担当した。九工大側は宇宙工学国際コースの学生が Global-WS の企画や運営を担当し、この役割分担を最初に明確にすることにより、Global-WS を大きな混乱もなく、効率的に実施した。

費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

超小型衛星試験センターを運営する上で、外部利用試験にかかる液体窒素等の消耗品代は、全てユーザが負担し、また、共同利用を除き、外部利用者は施設使用料を支払っており、経費削減につとめている。その中で、未使用分は返納されている。

(2) 成果

「アウトプット」

- 超小型衛星試験センターにおける試験実績として、国内衛星 13 基、国外衛星 5 基の試験実績を示している。所期の目標は、国内超小型衛星の半分、国外衛星 4 基であり、期間中に国内で開発され試験段階にまで至った超小型衛星は 23 基であり、所期の目標を達成している。
- 所期の目標通り、「超小型衛星信頼性向上の Best Practice」を発表し、それに加え、17 件の超小型衛星試験に関係する論文を発表している。
- 所期の目標通り、宇宙工学国際コース学生による超小型衛星利用に関する PBL を行い、PBL の成果を UNISEC-Global の Mission Idea Contest で発表している。
- 所期の目標通り、UNISEC-Global と連携させたワークショップを開催し、九工大宇宙工学国際コース関係者を中心とした SNS ベースの交流の場を作っている。

「アウトカム」 (平成 29 年 6 月末時点)

超小型衛星試験センターの運営と国際ネットワークの形成の波及効果として、2015 年 10 月から BIRDS プロジェクトが始まった。2015 年に開始した BIRDS-I は、宇宙工学国際コースに在籍する日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイの学生 15 名が 5 基の 1U キューブサットを開発・運用し、台湾を含む 7 ヶ国で運用している。2016 年に開始した BIRDS-II では、同様に日本、ブータン、フィリピン、マレーシアの 10 名の学生が 3 基の 1U キューブサットを開発・運用した。BIRDS プロジェクトの目的は、新興国が、各国初の衛星を自分達の手で設計、製作、組立、統合、試験、運用を行うことで、各国で独立した持続可能な宇宙プログラムを形成する第一歩とすることである。BIRDS プロジェクトは、修士課程の 2 年間でミッション設計から打ち上げ・運用までを行うことにしており、そのような

短期集中型のプログラムを可能にするのが、超小型衛星試験センターのインフラである。また、BIRDS プロジェクトで培った人脈が、卒業後の国際的若手研究者ネットワークにつながる。

若手人材の国際ネットワークを形成する活動や超小型衛星標準化活動の波及効果として、九工大と海外の宇宙関係者との間で複合的な人脈が形成され、様々な国際連携事業に発展した。コスタリカ発の人工衛星 Irazu を九工大で試験し、ISS 放出のために九工大から JAXA に引き渡すことになった。シンガポールとの間でも Aoba Velox-IV と SPATIUM という二つの衛星共同開発を行い、同様に JAXA を通じて打ち上げ又は ISS 放出を行う。キューブサット分野で世界的に有名なカリフォルニア州立工科大学 (CalPoly) との間で Joint Laboratory を設置することとなり、2017 年 6 月から CalPoly の教員が九工大に赴任している。海外からの試験依頼が急増し、2017 年 3 月から 6 月までの間に既にタイとエジプトからの試験を行っている。その後も 9 月迄にマレーシアとフィリピンからの衛星試験が控えている。更には、JICA 事業の一環としてマレーシア宇宙機関 (ANGKASA) からの技術者 3 名を 3 ヶ月間受け入れて、人工衛星の設計・試験の研修を行っている。この研修は、2018 年度までに更に 2 回実施予定である。BIRDS-I と BIRDS-II の衛星 8 基に Irazu と SPATIUM を加えて、2017 年からの 2 年間で九工大が関係する衛星 10 基 (それも全てが国際共同衛星) が、ISS から放出されることになった。このようなことから JAXA と九工大の間で、「国際宇宙ステーション・「きぼう」からの超小型衛星利用に関する JAXA、九州工業大学との包括的な連携協力」協定を 2017 年 4 月に締結した。

有効性の欄でも述べたように、超小型衛星試験センターでの活動が、「超小型衛星の試験規格」(ISO-19683)、「超小型衛星上位規格」(ISO/TS/20991)の二つの国際標準の制定活動に効果をもたらした。また、超小型衛星民生部品データベースの構築にも効果があった。

2018 年 4 月から九州工業大学工学部の改組を行い、日本で初の宇宙システム工学科が発足することになった。これは、今回の委託事業等を通じて九州工業大学における宇宙工学研究が進展し、「宇宙システムの設計・統合・試験・運用の実践を通じて、グローバルな視野からシステムの創生、研究開発、製造、運用を担える人材」の育成に本格的に取り組むことを大学が決意したことによる。

(3) 今後の展望

過去数年のうちに、超小型衛星の商業利用が爆発的に進んでおり、特に数 10、数 100 基のコンステレーションによる利用が主要なものとなることが予想される。超小型衛星試験センターでは、これまでに、ほどよし 3, 4 の 2 基や BIRDS-I の 5 基といった同一衛星の試験実施の経験を積んできた。国内外で数多くの超小型衛星コンステレーション構想が発表される中で、複数衛星の試験をどう実施し、信頼性をいかに確保するのが課題である。衛星の大量生産時代に対応した試験方法・試験戦略が求められている。しかし、大学に設置されている超小型衛星試験センターにおいて、100 基の衛星の試験を流れ作業的に実施するのは現実的ではない。超小型衛星試験センターが蓄積してきたノウハウを使って、超小型衛星試験に興味をもつ企業等と連携して、大量生産に対応した試験センター事業を展開するなどして、超小型衛星分野において日本の競争力を維持できるようにしていく必要がある。

宇宙工学国際コースを修了し本国に帰る学生が増えるにつれ、若手研究者ネットワークが重層的になっていき、BIRDS プロジェクトが BIRDS-III, -IV, -V と継続して、宇宙新興国の持続可能な宇宙プログラムの形成に貢献することができる。また、BIRDS-III, -IV, -V とプロジェクトが続くにつれて、各国に

設置された地上局をつないで、ストア&フォワード等のグローバルなスケールでの国際共同ミッションを実施することができる。現在、BIRDS-I, -II の 10 ヶ国の地上局のネットワーク化が進んでおり、今後更に増加していくと予想される。

また、超小型衛星試験センターの外国ユーザの利用が増加することが予想される。コスタリカのように新興国の外国衛星打ち上げの支援や、宇宙環境実践講習等の人材育成事業は需要がまだまだ続くと思われる。試験だけでなく、マレーシア宇宙機関に対して行っているような衛星設計に関するトレーニングも需要が高い。大学の事業の範疇を超える部分もあり、企業との連携により、新興国の衛星開発について、設計支援・部品調達・試験・打ち上げ・運用等の多方面でトータルに支援する事業を展開する。このことが、世界の宇宙開発・利用における日本の存在感を高める効果をもたらすといえる。

評価点

S

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。

評価理由

超小型衛星試験拠点においては、期間中に国内で開発された超小型衛星の半数以上の試験を実施する等、中核的役割を果たすとともに、その試験内容、方法に係る経験・知見を国際標準化につなげたことに加え、若手研究者の育成にも大きく貢献した。

以上より、本課題は優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献している。

引き続き、試験拠点として中核的な役割を果たすことを期待するとともに、産業界と連携した人材育成及び衛星のコンステレーション利用を想定した、企業による試験センター構想への支援を期待する。

また、本課題の波及効果として、BIRDSプロジェクトにより新興国の若手人材が各国初の衛星を自分たちの手で開発・運用する等、新興国での衛星開発、人材育成のグローバルな展開、国際ネットワークの形成に大きく貢献した。