

「国際協働衛星プロジェクトの実践を通じた、世界に通用する宇宙人材の育成」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関	九州工業大学	実施期間	平成29年度～ 令和元年度 (3年間)	実施規模	予算総額 (契約額) 40百万円		
	研究代表者名	教授 趙孟佑				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関					12百万円	15百万円	13百万円

背景・全体目標

九州工業大学では、平成25年度より、大学院宇宙工学国際コースにて日本人学生と留学生との共同衛星プロジェクトを実施し、大きな教育効果をあげてきた。そのような国際協働衛星プロジェクトを、グローバルな視野から宇宙開発利用を提案・実践できる、世界に通用する宇宙人材を育成するための教育プログラムの一環として利用可能にする。衛星設計やプロジェクト実施方法を見直し、衛星設計や実施ノウハウを文書化・公開する。学生は、1Uキューブサットを使って、ミッション設計とミッション機器開発、インターフェース設計、システム統合と試験・衛星運用を行う。(1)プログラムコスト低減(打ち上げ費用以外のコストを、衛星1基あたり300万円以下に)(2)教員負荷軽減(教員が1週間あたりにプロジェクトに費やす時間を5時間以内に)(3)参加学生数増(衛星1基あたりに参加する学生数を12名以上に)(4)他大学でも実施可能にするために日・英両言語によるデジタルテキストを作成、の4項目を達成目標とする。



HORYU-IV (2013~)



BIRDS-I (2015~)



BIRDS-II (2016~)



BIRDS-III (2017~)

全体概要・主な成果

- 衛星1基あたりのコスト並びに教員負荷を当初から半減させた。
- 宇宙工学国際コースを履修する大学院生全員が衛星プロジェクトに関わることができるようになった。
- デジタルテキストを作成し、公開した。
- 延べ78名がプログラムに参加。大学院を修了し社会に出た学生は28名。その内、18名が宇宙関係の職についた。
- 多様なミッションに適応できる1Uキューブサットのプラットフォームを開発し、軌道上で実証した
- 大学院宇宙工学国際コースのPBLの一環として、20名以上の大学院生が毎年参加する持続的な教育プログラムとなった。
- 国内外で多くの賞を受賞し、キャンパシティビルディングに関する多くの依頼が新興国からくるようになった

①「プログラムコスト低減」

実施内容・成果

実施内容

- プログラムコストを低減するために、衛星プロジェクトごとにバス機器の設計を変更することなく、ミッション機器を差し替えれば別のプロジェクトでも使えるよう衛星バスの汎用化を行った。
- また、各基板間のインターフェースとなる底面基板にCPLD(Complex Programmable Logic Device)を搭載したプログラマブル底面基板を開発し、搭載機器側インターフェースに変更があってもソフトウェアの書き換えだけで対応可能にして、基板再製作のコストを削減することを目指した。



BIRDS-I



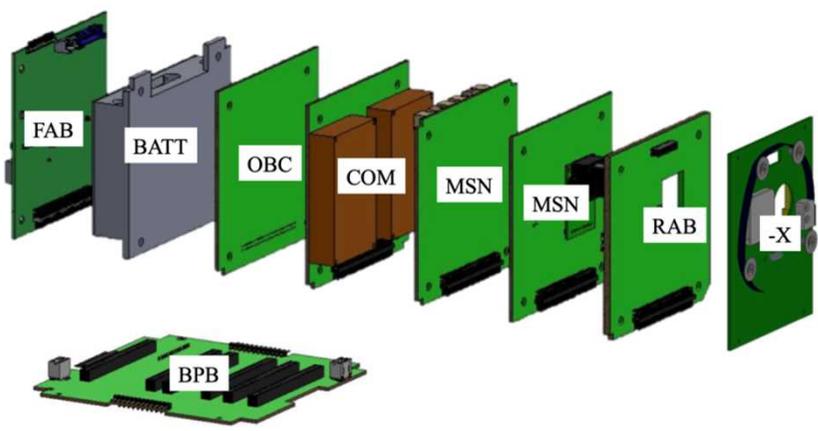
BIRDS-II



BIRDS-III

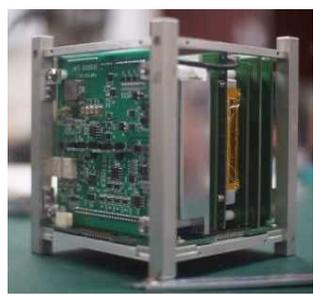


BIRDS-IV



底面基板

BIRDS衛星バス



CPLD

CPLD搭載プログラマブル底面基板

①「プログラムコスト低減」

実施内容・成果

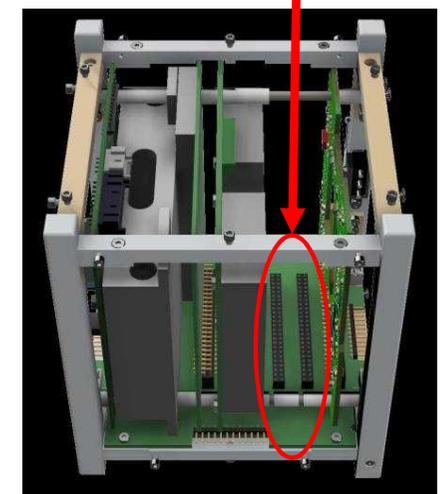
成果

- BIRDS衛星バスを確立し、ミッションボードの入れ替えだけで別プロジェクトに対応できる1Uキューブサットプラットフォームを開発した
- プログラマブル底面基板の軌道上実証をBIRDS-III衛星にて行い、1年以上に亘る動作確認を行った
- BIRDS-IIIに比べて、衛星1基あたりのプログラムコストが半減した。
- BIRDS-V以降のプロジェクトにて1基あたり300万円以下に抑えるために残された課題の解決方法を見つけた

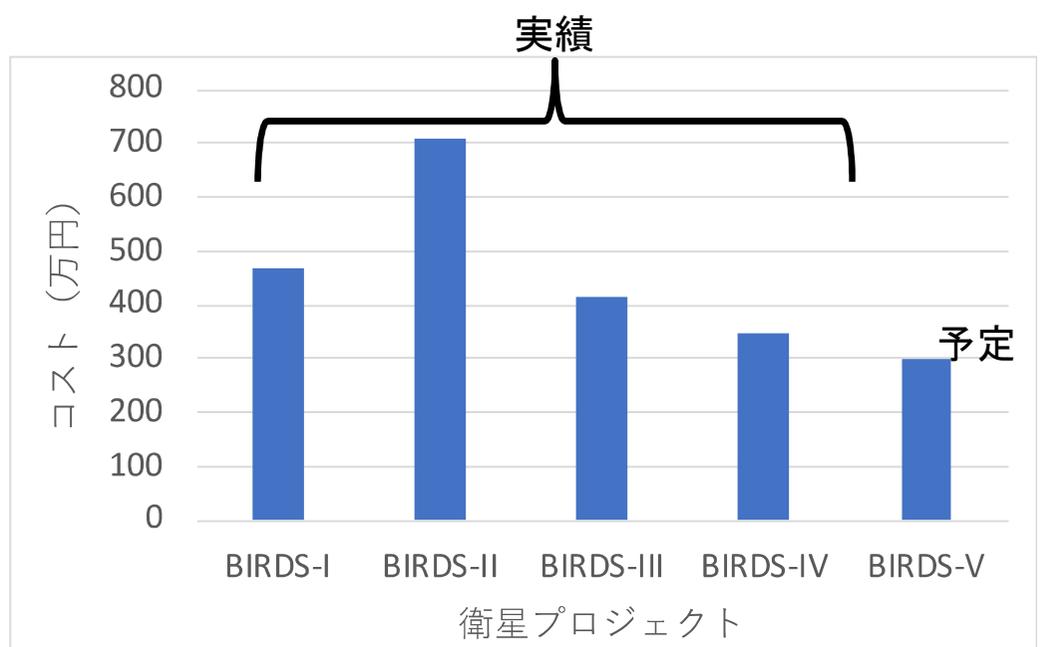


BIRDS-III衛星によって撮影された九州

ミッションボードを挿すスロット



1UキューブサットプラットフォームとしてのBIRDS衛星バス



各世代の衛星プロジェクトにおける衛星1基あたりのコスト

衛星コスト内訳

項目	BIRDS-III	BIRDS-IV	BIRDS-V(3基) 目標
通信系	260	260	260
基板実装外注	140	220	110
構体	150	150	120
バス系基板(FAB, OBC, BPB)	250	110	110
太陽電池	100	100	100
バッテリー (バッテリーボックス含む)	50	50	50
その他	300	150	150
総計	1250	1040	900
1台あたり	416	346	300

プログラマブル底面基板の活用と構体設計見直しにより300万円を達成する通信系を自作(BIRDS-IVで実証予定)することによりさらなる低減可能

② 「教員負荷軽減」

実施内容・成果

実施内容

- 持続可能な教育プログラムへの作り替えの課題の一つとして教員の負荷を軽減することを目指した。
- 前の世代の衛星プロジェクトを経験した学生をTAとして雇用し、ミッション概念検討、ミッションボードのBBM (Bread Board Model) 製作・試験等で、衛星初心者の学生の指導とミッションコンペの実施を補助した。
- TAの活動内容や方法については、TAと指導を受けた学生双方からTAの効用について聞き取りを行って適宜修正した。

成果

- 教員がプロジェクト指導に費やす時間が2016年度や2017年度に比べて半減できた
- 毎年衛星プロジェクトを立ち上げて各世代の重なりを持たせることで、学生間でのノウハウ伝承を確実にできることがわかった。
- TAという形で、コーチ陣のコアとなる学生を確保すれば、より確実にノウハウ伝承ができることがわかった。

衛星プロジェクトの指導に教員が費した1週間あたりの時間

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
定期的ミーティング	2	4	4.5	2.5	0.7
個別指導	2.5	3.5	4	3.5	2.75
メール指導	1.0	1.9	2.4	2.8	2.2
学生指導時間計	5.5	9.4	10.9	8.8	5.7

教員負荷の更なる軽減策

- 個々の学生の個別指導にもTAをより活用する
- 学生達に最初からノウハウ伝承もプロジェクトのうちであるという意識を徹底化させる
- 教員部屋と学生部屋の物理的距離を近づけ、メール指導の時間を軽減する

③ 「参加学生数増」

実施内容・成果

実施内容

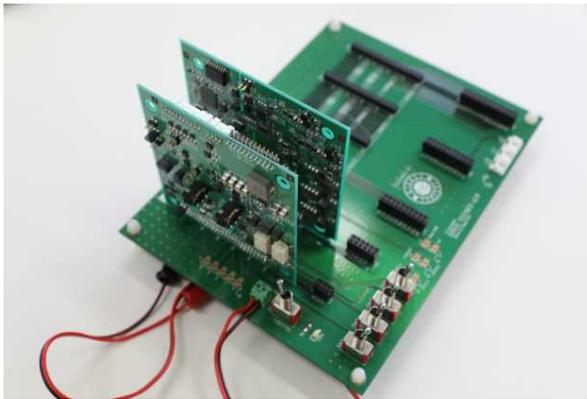
- 衛星プロジェクトに携わる学生の数を増やすためにミッション概念とミッションボードの試作・試験を、留学生が1人以上は参加する少人数の3チームからなるコンペ方式(公式言語は英語)で行った。
- ミッションボード評価用のダミー衛星を製作した。
- BIRDS-IV, BIRDS-V向けのミッションコンペを行った。

成果

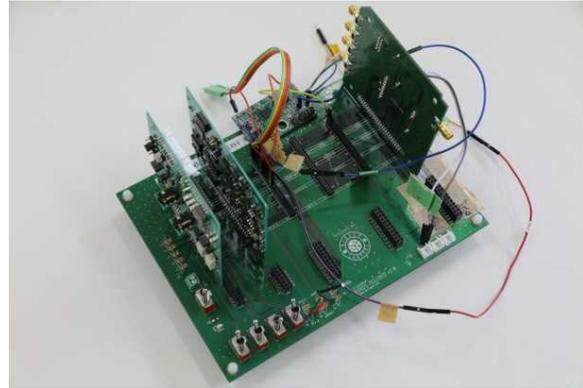
- BIRDS-IV, BIRDS-V向けのミッションコンペに毎年12名(3チームx4人)が参加した。
- 大学院国際コースの履修生全員(1学年20名ほど)が何らかの形で衛星プロジェクトに関わることができた。
- 国際協働衛星プロジェクトを大学院カリキュラムの一環として実施するため、プロジェクト参加学生数を増やすには、ミッションコンペと衛星バスの開発を切り離すことが有効であることを実証した。



ミッションコンペ発表会の様子



ダミー衛星システム



ダミー衛星を用いたミッションボード評価

各世代の衛星プロジェクトの参加学生数

	BIRDS-I	BIRDS-II	BIRDS-III	BIRDS-IV	BIRDS-V
衛星数	5	3	3	3	3
コアメンバー(内、日本人学生)	15(3)	10(3)	7(3)	10(5)	10(4)
ミッションコンペ参加学生(内、日本人学生)	実施なし	実施なし	実施なし	12(5)	12(7)
その他	0	1(0)	1(0)	1(0)	0
参加学生総数(内、日本人学生)	15(3)	11(3)	8(3)	23(10)	21(10)

④ 「日・英両言語によるデジタルテキスト」

実施内容・成果

実施内容

- 他大学でも実施可能にするため、汎用衛星バスの設計情報や、プロジェクトを実施する上で培ったノウハウやLessons Learnedを日・英両言語で文書化し、デジタルテキストとして公開した。

成果

- デジタルテキストの日本語版(86ページ)と英語版(75ページ)を作成し、Webサイトにて公開した。



デジタルテキストブック(日本語版)表紙

目次

1. はじめに	6
2.キューブサットによるキャパシティビルディング	9
3.キューブサットシステム	12
a.宇宙セグメント	12
b.地上セグメント	12
c.データ分析セグメント	12
4.システムエンジニアリングとプロジェクトマネジメント	13
a.システムエンジニアリングの概要	13
b.ミッションの定義	13
c.要求管理	13
d.作業分担	14
e.リスク管理	14
f.故障モード影響解析と故障の木解析	14
g.検証と確認	15
5.宇宙セグメント	16
a.電氣的仕様	16
b. 機械的仕様	30
c.バス部とミッション機器間のインターフェース	33
d.システム統合	34
6.地上セグメント	36
7.データ分析セグメント	42
エラーの検出と修正	42
データ統合	42
データ解析	43
8.衛星運用	44
9.国際周波数調整と無線免許	48
10.打ち上げと軌道上環境	53
打ち上げ環境	53
軌道環境	56
11.組み立て、統合、試験	58
a.組み立て	58
b.統合	59
c.試験戦略	60
12.安全	71
13.異文化横断とキャパシティビルディングの側面	78
14.持続可能な教育プログラムとしての実施	84
15.結論	86

デジタルテキストブック(日本語版)目次

インパクト（波及効果）（中間評価時にあげた事後自己点検の実施方針に沿って）

- 他大学でのBIRDSプロジェクトを参考にした同様の教育プログラムが立ち上がるかどうか
 - フィリピンにてUPDを中心に国内大学を集めてBIRDS-2およびBIRDS-4衛星のコピーを2基ずつ作るSTAMINA4Spaceプログラムが立ち上がった
- デジタルテキストが、国内外の宇宙工学教育の現場でテキストとして使用されるかどうか
 - 東京大学から東南アジア向け案件に使用したいとの依頼があったので、コピーを渡した
- BIRDS衛星バスが、1Uキューブサットの汎用的なバスとして普及するかどうか
 - STAMINA4Spaceプログラムにてフィリピンに4基を輸出実績
 - CubeSatインターフェース国際標準規格原案にBIRDS衛星バスを例として記載
- ハンズオン学習の機会を求める非宇宙先進国からの留学生が増えるかどうか
 - 2020年度に留学生20名が入学

年度	留学生入学者
2016	16
2017	15
2018	14
2019	12
2020	20



BIRDS-2衛星のコピー

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 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 2	国内 : 4 国際 : 3	国内 : 0 国際 : 1	国内 : 55 国際 : 88	国内 : 0 国際 : 0
受賞・表彰リスト			Global Engineering Deans Council Airbus Diversity Award(2017) 宇宙開発利用対象(外務大臣賞)(2018) 国際宇宙航行連盟(IAF) Frank J. Malina Astronautical Medal(2019) SSPI (Space & Satellite Professionals International) Better Satellite Worlds Award(2019)			

成果展開の状況・期待される効果

人材育成

- 延べ78名(内日本人学生29名)がBIRDSプログラムに参加。大学院を修了し社会に出た学生は28名(内日本人学生12名)。その内、18名(内日本人学生3名)が宇宙関係の職についている。
- 九工大大学院宇宙工学国際コースのPBLの一環として、20名以上の大学院生が毎年参加する持続的な教育プログラムとなった。

大学にとっての成果

- BIRDSプログラムに関連して国内外の受賞が多数
- 九工大は、2012年以降に衛星を打ち上げた大学・学術機関の中で世界1位の地位を過去3年に亘り維持(Bryce and Space Technology社調べ)
- BIRDSプログラムおよび九工大の知名度が世界の宇宙セクター、とりわけ宇宙新興国、において向上
- 2017年からの3年間にキューブサットによる宇宙参入を果たした14カ国中6カ国をBIRDSプロジェクトが占める
- 現在もホンジュラスやブルキナファソの第1号衛星の支援を実施
- 2018年に開講した工学部宇宙システム工学科が、宇宙を学びたい高校生を全国から集める。学部生主体の衛星開発プロジェクト(課外活動)に学科の4分の1の学生が参加



Diversity Award



Frank J. Malina Astronautical Medal

No	国名	衛星名	年
1	Finland	Aalto 2	2017
2	Bangladesh	BRAC Onnesha	2017
3	Ghana	Ghanasat-1	2017
4	Mongolia	Mazaalai	2017
5	Slovakia	SKCUBE	2017
6	Latvia	Venta-1	2017
7	Kenya	1KUNS-PF	2018
8	Costa Rica	Irazu	2018
9	Bulgaria	EnduroSat One	2018
10	Bhutan	BHUTAN-1	2018
11	Jordan	JYAT (JO-97)	2018
12	Sri Lanka	Raavana 1	2019
13	Nepal	NepaliSat-1	2019
14	Rwanda	RWASAT-1	2019

2017-2019にキューブサットで各国初の衛星を打ち上げた国
(黄色がBIRDS衛星)

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 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 2	国内 : 4 国際 : 3	国内 : 0 国際 : 1	国内 : 55 国際 : 88	国内 : 0 国際 : 0
	受賞・表彰リスト		Global Engineering Deans Council Airbus Diversity Award(2017) 宇宙開発利用対象(外務大臣賞)(2018) 国際宇宙航行連盟(IAF) Frank J. Malina Astronautical Medal(2019) SSPI (Space & Satellite Professionals International) Better Satellite Worlds Award(2019)			

成果展開の状況・期待される効果

水平型国際協力への成果展開

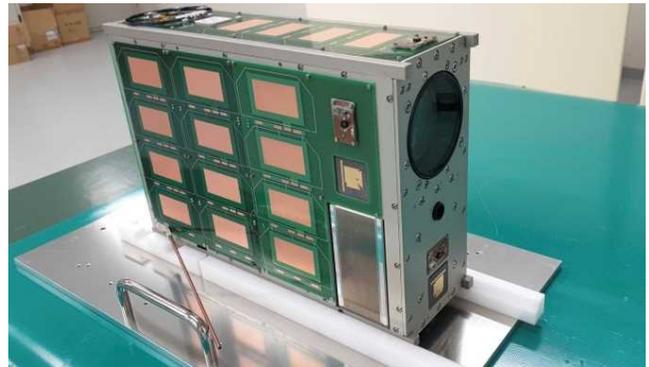
- BIRDSに参加した海外諸機関とBIRDSネットワークを形成(JSPS研究拠点形成事業)
- BIRDSプログラムの卒業生達が帰国したあとの次の衛星プロジェクトを水平型の国際協力で行う
- フィリピン、マレーシアで各国版BIRDSプロジェクトが立ち上がり、BIRDS衛星のコピーを輸出

BIRDS衛星バスの成果展開

- BIRDS衛星バスを拡張し、6Uキューブサットの標準バスを開発中
- 「キューブサットインターフェースの国際標準化」プロジェクト(経済産業省委託事業)にて、**BIRDS衛星バス**で得られた知見をキューブサットインターフェースの**国際標準規格に反映することが期待される**



フィリピンに輸出したBIRDS-IIのコピー(写真はEM)



BIRDS衛星バスを拡張した6Uキューブサット「KITSUNE」のEM

その他の成果

今後の研究開発計画

持続可能な教育プログラム

- 2022年度に宇宙システム工学科の卒業生が大学院に進学する。国際コース履修者が格段に増えると思われるので、ミッションコンペの参加者を増やし、国際協働衛星プロジェクトへの参加者を増やす。
- 年間600~700万円の予算で毎年1基の製作と打ち上げまで実施できるよう、安価な打ち上げスキームを探索する

BIRDS衛星バスの事業化

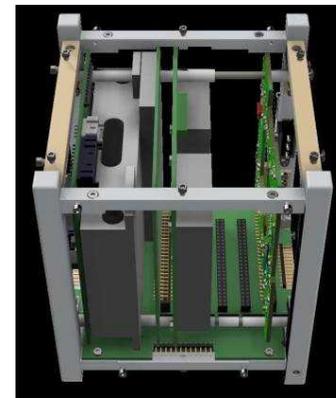
- 1UキューブサットのBIRDS衛星バスは、安く早く作れる教育用キューブサットバスとして、これまでの軌道上実績と合わせ、高い国際競争力を有している。
- 新興国からの途切れることのない協力依頼に応えるため、宇宙新興国の宇宙開発利用の開拓に興味をもつ企業パートナーを見つけ、BIRDS衛星バスを新興国向けのキューブサットキットとして商品化することを模索する。

国策への貢献と他大学への波及

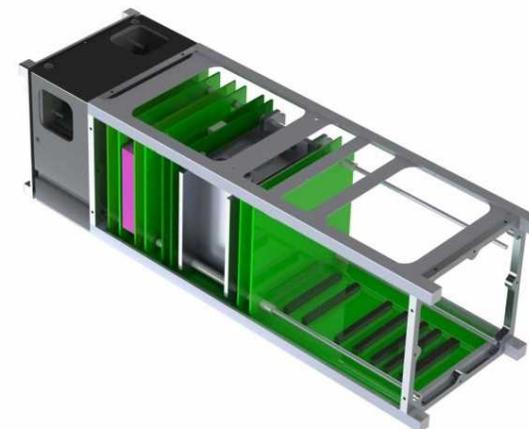
- 宇宙基本計画で、人材育成をパッケージに組み込んだ新興国との国際宇宙協力の強化が謳われている。
- 国策としての新興国キャパシティビルディング事業に貢献
- キャパシティビルディングの受け皿を増やすため、九工大以外の国内他大学でも国際協働衛星プロジェクトを実施できるよう、デジタルテキストブックやBIRDS衛星バスを使って、他大学にノウハウを提供

宇宙の裾野拡大への貢献

- 九工大は2020年4月に革新的宇宙利用実証ラボラトリーを発足させ、新たな宇宙利用のアイデアを迅速に実証するための宇宙実証用のキューブサットプラットフォームを開発している
- 1UプラットフォームとしてのBIRDS衛星バス
- 3U,6UプラットフォームとしてのKITSUNEバス
- 宇宙実証プラットフォームとして国内外の多くの方々に広く利用してもらうことを期待



1U プラットホーム



3U プラットホーム

事後評価票

令和2年3月末現在

1. プログラム名	宇宙航空人材育成プログラム			
2. 課題名	国際協働衛星プロジェクトの実践を通じた、世界に通用する宇宙人材の育成			
3. 主管実施機関・研究代表者	国立大学法人九州工業大学・教授 趙孟佑			
4. 共同参画機関	-			
5. 事業期間	平成29年度～令和元年度			
6. 総経費	37百万円			
7. 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	<p>グローバルな視野から宇宙開発利用を提案・実践できる、世界に通用する宇宙人材を育成することを目指し、九州工業大学がこれまで大学院宇宙工学国際コースで行ってきた留学生と日本人学生による国際協働衛星プロジェクトを、学部4年生から大学院修士課程にまたがる教育プログラムの一環として持続可能なものに作り替えることを目的とする。そのために、実際の衛星プロジェクトを通じて、衛星設計やプロジェクト実施方法を見直し、衛星設計や実施ノウハウを文書化・公開する。具体的には、以下の4項目を目標として設定した。</p> <p>(1) プログラムコスト低減（打ち上げ費用以外のコストを、衛星1基あたり300万円以下に） (2) 教員負荷軽減（教員が1週間あたりにプロジェクトに費やす時間を5時間以内に） (3) 参加学生数増（衛星1基あたりに参加する学生数を12名以上に） (4) 他大学でも実施可能にするために日・英両言語によるデジタルテキストを作成</p>			
◆ 達成度	<p>(1) 表1に各世代の衛星プロジェクトのプログラムコストを示す。</p> <p>BIRDS-II, -III, -IVが今回の事業の実施プロジェクトであり、とりわけ、BIRDS-IIIとBIRDS-IVが今回の事業期間中に衛星プロジェクトの開始からフライトモデルの完成までを行った。</p>			
	表1 BIRDS プロジェクト各世代のプログラムコスト（金額の単位は円）			
	BIRDS-I	BIRDS-II	BIRDS-III	BIRDS-IV
衛星数	5	3	3	3
プログラムコスト	23,400,000	21,500,000	12,500,000	10,400,000

衛星 1 基あたり	4, 680, 000	7, 160, 000	4, 160, 000	3, 460, 000
-----------	-------------	-------------	-------------	-------------

BIRDS-I に比べて、BIRDS-II の 1 基あたりのコストが大きく上昇しているのは、衛星の数が 5 から 3 に減少してスケールメリットがなくなったこと、BIRDS-II では BIRDS-I から通信系を新たに設計し直したことによる。BIRDS-III は BIRDS-II のバス系をほぼ踏襲したことにより大きくコストが減り、BIRDS-IV では更に低下している。**BIRDS-IV では衛星の数が同じく 3 の BIRDS-II に比べてコストが半減している。**表 2 に BIRDS-III と BIRDS-IV の主たるコストを示す。

表 2 BIRDS-III と BIRDS-IV の主たるコストの内訳（金額の単位は万円）

項目	BIRDS-III	BIRDS-IV	BIRDS-V (3 基) 目標
通信系	260	260	260
基板実装外注	140	220	110
構体	150	150	120
バス系基板 (FAB, OBC, BPB)	250	110	110
太陽電池	100	100	100
バッテリー (バッテリーボックス含む)	50	50	50
その他	300	150	150
総計	1250	1040	900
1 台あたり	416	346	300

BIRDS-IV では、BIRDS-III のバス系基板をほぼ踏襲したために、バス系基板のコストが大きく下がっている。一方で、基板実装外注が増えている。この原因は衛星のミッションの数が BIRDS-IV では多くなり、ミッション基板の実装にコストがかかったせいである。BIRDS-III ではプログラマブル底面基板を開発し、軌道上実証を行い無事に動作することを確認した (BIRDS-IV には使用していない)。BIRDS-V では、この基板を全面的に活用し、ミッションが増えても基板実装回数が増えないようにすることに加え、構体の一部設計を見直すことで、1 基あたりのコストを 300 万円に抑えることが可能と思われる。購入品である通信系を自前で開発しており、BIRDS-IV で 2021 年度に軌道上実証する。軌道上実証ができれば、1 基あたりのコストをさらに大幅に下げて 250 万円前後にすることが可能である。

結論として、300 万円以下に抑えられることを実証はできなかったものの、初期のプロジェクト (BIRDS-II) に比べてコストを半減し、**BIRDS-V 以降のプロジェクトにて 1 基あたり 300 万円以下に抑えるために残された課題の解決方法を見つけた。**

(2) 表 3 に 2015 年度から 2019 年度にかけて代表者の趙がプロジェクトの指導に費やした時間 (1 週間あたり) をまとめたものを示す。2015 年度が少ないのは、BIRDS-I のみが立ち上がったばかり

でまだ佳境に入っていなかったせいである。2019 年度には教員がプロジェクト指導に費やす時間が 2016 年度や 2017 年度に比べてほぼ半減できている。

表 3 プロジェクトの指導に費やされた時間

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度
定期的ミーティング	2	4	4.5	2.5	0.7
個別指導	2.5	3.5	4	3.5	2.75
メール指導	1.0	1.9	2.4	2.8	2.2
学生指導時間計	5.5	9.4	10.9	8.8	5.7

BIRDS プロジェクトの利点は、同時に複数の世代のプロジェクトが 1 年ずれて進行していることである。そのため、学生達はわからないことがあれば、まず前の世代の学生達から多くの実用的なアドバイスを受けることができる。BIRDS-III, BIRDS-IV のプロジェクトにおいては、BIRDS-I, BIRDS-II を経験した学生達が様々な面で指導を行なった。本事業において TA として雇用された学生もいれば、ボランティアで指導を行なった学生もいる。その結果、2018 年度に始まった BIRDS-IV プロジェクトでは教員が定期的ミーティングにでて指導しなくても、学生達が自ら進めることができるようになり、教員負荷は激減した。個別指導においても同様であり、学生達の間でのノウハウ伝承が機能している。

大学衛星プロジェクトにおいては、学生が卒業してしまうことによりノウハウが途絶えてしまうことが大きな問題点として指摘されている。BIRDS プロジェクトのように、毎年衛星プロジェクトを立ち上げて各世代の重なりを確保する手法であれば、ノウハウ伝承を確実にすることができる。TA という形で、コーチ陣のコアとなる学生を確保し、それらの学生には責任をもって指導に当たらせればより確実である。TA は今回の事業ではチームミーティングでの指導などが多かったが、個々の学生の個別指導にも TA をより活用することや、学生達に最初からノウハウ伝承もプロジェクトのうちであるという意識を徹底化させることで教員負荷のさらなる軽減を図ることができる。また、教員部屋と学生部屋の物理的距離をさらに近づける（現在は隣の建屋）ことで、メール指導の時間も軽減できると思われる。

結論としては、教員がプロジェクトに費やす時間を週あたり 5 時間以内に抑えることには僅かに届かなかったが、学生間のノウハウ伝承を推進することにより、**目標値に近いものにまで教員負荷を軽減できることを実証し、今後のさらなる軽減に向けた課題の解決方法を見つけた。**

(3) BIRDS-I から BIRDS-V までの参加学生数の推移を表 4 に示す。表 4 にあるコアメンバーとはプロジェクト発足時から衛星のバス等の開発に参加する学生を指し、主として衛星を保有する国からの留学生と日本人学生である。その他とあるのは、衛星を保有する国からやってくる留学生のうちプロジェクト発足から 1 年遅れで入学しプロジェクトに後から参加する学生を指している。彼らは、次世代のプロジェクトにはコアメンバーとして参加し、衛星開発の最初の 1 年を経験することになっている。

本事業は、BIRDS プロジェクトを大学院教育プログラムの一環として持続的に実現可能なものに作り変えることを目的としている。そのため、多大な費用と教員の負担をつぎ込んでいる割にはプロジェクトの恩恵をうける学生数が 10 名前後と少ない状況を改善することが求められていた。ミッションコンペを九工大大学院工学府の宇宙工学国際コースの正規カリキュラムにある PBL (Project Based Learning) の一環として行なった結果、衛星 1 基あたりの参加学生数を増やすことができ、衛星プロジェクトから得られる教育効果をより多くの学生に及ぼすことができることを実証できた。毎年 12 名 (3 チーム x 4 人) が参加した。この 12 名という数字は、衛星のハードウェア・ソフトウェアの開発に実際に携わるコアメンバー (10 名前後) と他の衛星プロジェクトに従事している学生 (4 名ほど) を除いた国際コース学生の残りの全員である。(注: 国際コースを履修する修士課程の 1 学年の学生数は毎年 20 名ほどである)。対象学生の数が増えたとしても、チーム数を最大で 10 (40 名程度) くらいまで増やすことは問題なくできる。

表4 各世代の衛星プロジェクトの参加学生数

	BIRDS-I	BIRDS-II	BIRDS-III	BIRDS-IV	BIRDS-V
衛星数	5	3	3	3	3
コアメンバー (内、日本人学生)	15 (3)	10 (3)	7 (3)	10 (5)	10 (4)
ミッションコンペ参加学生 (内、日本人学生)	実施 なし	実施 なし	実施 なし	12 (5)	12 (7)
その他	0	1 (0)	1 (0)	1 (0)	0
参加学生総数 (内、日本人学生)	15 (3)	11 (3)	8 (3)	23 (10)	21 (10)*
衛星一基あたりの参加学生数	5	3.7	2.7	7.7	7

* 日本人学生1名がミッションコンペにも参加しているため合計が11ではなく、10となる。

BIRDS プロジェクトのような国際協働衛星プロジェクトを大学院カリキュラムの一環として実施する場合、コアメンバーとそれ以外の学生に分けることが有効である。後者の学生はミッション設計で国際協働衛星プロジェクトを体験する。本事業で行なったミッションコンペでは、優勝チームのメンバーがコアメンバーに合流し、ミッションコンペで提唱したミッションペイロードの開発を担当した。そうすることで、衛星に携わる人間の数が増えすぎて混乱を招くことなく、衛星プロジェクトを進めることができる。今後、ミッションコンペの参加チームが増えていった場合、優勝チームだけでなく、2 位・3 位のチームもコアメンバーに合流したいという希望が増えてくると思われる。その際、重要なのが、衛星バスとミッションペイロードのインターフェースを明確に切り分け、衛星バスは多様なミッション機器を搭載できるプラットフォームとして機能するようにすることである。そうなれば、ミッションの数が増えても、衛星バス側を複雑にすることなく実施できるようになる。

参加学生数を衛星の数で割った数字は、目標の 12 に届かなかったが、この理由は対象となる学生数が元々少なかったことと衛星の数が 3 基もあったことによる。コアメンバーの数は衛星の数によらず 7 から 10 くらいである。40 名程度まではミッションコンペに収容可能であり、バス開発に 10 名があたるとして最大で計 50 名程度まで参加学生数を増やすことができると思われる。2022 年度以降、宇宙システム工学科を卒業した学生が大学院に進学してくるので国際コースの学生数が増えることが予想されるが、そのような時でも対応可能である。

結論として、**衛星プロジェクトへの参加学生数を増やす上で、ミッションコンペと衛星バスの開**

発を切り離すことが有効であることを実証した。

(4) デジタルテキストの日本語版と英語版を作成し、Web サイト (<https://birds-project.com/mext/>)にて公開している。 英語版で 75 ページ、日本語版で 86 ページある。

「必要性」

国際競争力の向上

超小型衛星を用いた宇宙参入が盛んになる中、2017 年から 2019 年の間に 14 カ国が 1U キューブサットを使って、各国初の衛星を打ち上げた。そのうち、約半数の 6 カ国が BIRDS プロジェクトにて打ち上げられた衛星である。新興国において、宇宙開発利用の需要が高まるにつれて、中国、欧州、日本といった宇宙先進国が盛んに各国の宇宙開発利用を支援し、インフラ輸出・外交に活かそうとしている。その支援策の殆どが人材育成などのキャパシティビルディングをパッケージとして含んでいる。中国は小型の地球観測衛星や静止軌道衛星、欧州は静止軌道衛星のセールスと関連したいわゆるトップダウンのキャパシティビルディングである。一方、大学における超小型衛星開発というボトムアップ型の人材育成では、日本の大学（九工大、東大、東北大等）が圧倒的な強みをもっている。新興国の宇宙開発利用を支える中核人材の育成と、彼らと共にプロジェクトを実施していく同世代の日本人技術者の育成をする上で、本事業で構築した教育プログラムは大いに役立つ。ボトムアップ型の人材育成をベースとして、それからより大きなレベルの国際協力へ道筋をたてる上で、本事業は大きく役立った。ひいては、新興国の宇宙開発利用需要に対する日本の存在感をます上で大きく役立った。

若手研究者の育成

BIRDS プロジェクトに携わった大学院生のうち、18 名が博士後期課程に在籍または進学し、2020 年 3 月時点で 2 名が博士号を取得済みである。2020 年 10 月までにさらに 3 名が取得し、5 名共に世界各地の大学にて宇宙工学研究と超小型衛星を用いた実践的教育に取り組んでいる。残り 13 名は 2022 年 9 月までに博士号を取得見込みである。

「有効性」

国際標準化

衛星プロジェクトのコストを低減するためにプログラマブル底面基板を開発し、衛星搭載基板のインターフェースの違いをソフトウェアにて吸収できるようにした。また、参加学生数を増やすためにミッションコンペで選ばれたミッション基板を衛星バスに影響を及ぼすことなく搭載できるように、衛星バスとミッションを切り離す設計にした。完成した BIRDS 衛星バスは多様なミッションに対応できるキューブサットプラットフォームとして使用できるようになった。

2019 年度から、経済産業省の委託事業として「キューブサットインターフェースの国際標準化」プロジェクトを行っている。衛星搭載基板間のインターフェースの互換性や、キューブサットプラットフォームとミッションペイロードのインターフェースの互換性についての各種要求事項を

ISO規格にまとめ、2024年に発行する予定である。**BIRDS衛星バスで得られた知見をこの国際標準規格に反映**することができる。実際にISO規格の付録において、インターフェース互換性を確保する例としてBIRDS衛星バスを紹介する予定である。

社会実装

フィリピン大学ディルマン校(UPD)がBIRDS-IIに参加したが、その経験を元にBIRDSプロジェクトのフィリピン国内版(STAMINA-4)を行うことになった。BIRDS-IIプロジェクトで得られた経験をフィリピン内の他の大学にも広げるため、フィリピン政府科学技術省がスポンサーとなって、フィリピン内で公募に応じた大学から学生約20名を2期にわけてUPDに派遣し、3年間かけてキューブサット4基を作り運用しようというものである。BIRDS-IIを経験したフィリピンからの留学生が帰国し、指導にあっている。九工大はUPDとの契約に基づき、BIRDS-IIのコピーを2基、BIRDS-IVのコピーを2基フィリピンに送った。また、フィリピンに出張して学生達との2週間に亘るワークショップを実施し、衛星の試験を九工大の超小型衛星試験センターで実施している。BIRDS-IIに参加したマレーシアのマラ工科大学(UiTM)も同様のプロジェクトを模索しており、タイやフィリピンの大学と組んで、AseanSatとして人材育成のための国際協働衛星プロジェクトを立ち上げようとしている。

「効率性」

費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

BIRDS-IIに比べてBIRDS-IVは衛星一個あたりのコストが半分になり(表1)、衛星1個あたりの学生数が倍(表4)になった。教育の費用対効果という意味では、BIRDS-IIに比べてBIRDS-IVは4倍になっている。費用対効果向上に貢献したのは、本事業で実施したミッションコンペの実施とミッションとバスを切り分けた衛星のプラットフォーム化である。それら二つを実施することとした計画が妥当であったと言える。

研究開発・アプローチの妥当性

(1)プログラムコスト低減 (2)教員負荷の軽減 (3)参加学生数の増加 (4)日・英両言語によるデジタルテキストの作成といった個別の目標を達成するための活動を、実際に行われる国際協働衛星プロジェクトを使って試行し、実施結果に基づいて修正を加えるというPDCA(Plan-Do-Check-Act)サイクルを廻した。衛星プロジェクトの世代を経るたびに目標値に近づいており、研究開発の実施方法やアプローチが妥当であったと言える。

(2) 成果

「アウトプット」

今回の事業により育成された人材像は「グローバルな視野から宇宙開発利用を提案・実践できる、世界に通用する宇宙人材」である。BIRDSプログラムには、これまで延べ78名(内日本人学生29名)が参加した。このプログラムを経験して大学院を修了し社会に出たのは合計28名(内日本人学生12名)いる。その内、宇宙関係の職についているのが18名(内日本人学生3名)である。また、今回の事業により日本語および英語版の教科書を作成し、Webサイトに公開している。

本事業が採択された2017年夏の時点では、BIRDS-IとBIRDS-IIしか実施されていなかったが、

その後現在に至るまで BIRDS-III, BIRDS-IV, BIRDS-V の 3 世代が実施されている。九工大大学院宇宙工学国際コースの PBL の一環として、20 名以上の大学院生が毎年参加する持続的な教育プログラムとなった。

「アウトカム」 (令和 2 年 10 月末時点)

九工大にとっての効果

BIRDS プログラムに関連して、いくつかの賞を受賞している。

- 2017 年秋：Global Engineering Deans Council Airbus Diversity Award
工学教育において多様性を活用した最優秀例として、18 カ国 45 件の応募事例から、BIRDS プロジェクトが選ばれた。
- 2018 年春：宇宙開発利用対象（外務大臣賞）
「国際連合と連携した宇宙能力構築のための留学生事業」が、日本の外交へ貢献したことを認められた。宇宙工学国際コースはこの留学生事業を包括するものであり、BIRDS のような国際協働衛星プロジェクトに参加する PBL による実践的教育は、国際コースの中核をなしている。
- 2019 年秋：国際宇宙航行連盟 (IAF) Frank J. Malina Astronautical Medal
「利用可能な資源を最大限に活用することにおいて卓越性を実証した教育者」に贈られる賞として、BIRDS プログラムの代表者の趙が受賞した。
- 2019 年冬：SSPI (Space & Satellite Professionals International) Better Satellite Worlds Award
この賞は、「人類の福祉、優れた統治、安全、平和と安定、教育の改善、およびその他のグローバルな利益に大きな貢献をする衛星の利用を実証した組織または個人に贈られる賞」であり、BIRDS Satellite Project が受賞した。

また、九工大は、各世代の BIRDS プロジェクトが毎年複数基の衛星を放出することもある。2012 年から 2019 年末までに 18 基の宇宙機を打ち上げた（内、BIRDS 衛星は 11 基）。米国のコンサルティング会社である Bryce and Space Technology 社が毎年発行する業界レポート Smallsats by the Numbers によると、2012 年以降に衛星を打ち上げた大学・学術機関の中で世界 1 位の地位を過去 3 年に亘り維持している。

このように、BIRDS プログラムおよび九工大は世界の宇宙セクター、とりわけ宇宙新興国、において知られるようになった。先に述べたように、2017 年からの 3 年間にキューブサットによる宇宙参入を果たした 14 カ国中 6 カ国を BIRDS プロジェクトが占めており、参加を希望する国はあとを絶たない。BIRDS-III 以降にネパール、スリランカ、パラグアイ、ジンバブエ、ウガンダという国々が参加したことがそれを証明しており、現在も九工大はホンジュラスやブルキナファソの第 1 号衛星の支援を行っている。

九工大の超小型衛星活動は、国内においても知られており、2018 年に開講した工学部の宇宙システム工学科は、宇宙を学びたい高校生を全国から集めている。学部生主体で行っている人工衛星開発プロジェクト（大学公認の課外活動として位置付けられている）には、宇宙システム工学科の 2, 3 年生 100 名のうち、23 名が参加している。2022 年度には宇宙システム工学科を卒業した学生達が大学院に進学し、留学生達とともに国際協働衛星プロジェクトに携わることになる。

BIRDS ネットワークとの相乗効果

各 BIRDS プロジェクトに参加する新興国の大学・諸機関を中心に、2016 年夏から「宇宙教育研究に関する大学間国際協力ネットワーク」(BIRDS ネットワーク) 活動を実施している。現在では日本を含む 18 カ国の機関が参加している。2017 年度から日本学術振興会 (JSPS) の研究拠点形成事業の助成を受けて「キューブサット衛星群を使ったアジア・アフリカ・中南米地域のデータ収集ネットワーク」として、BIRDS ネットワーク参加機関との間で、1) ストア&フォワードミッションのデータフォーマットの標準化 (2) コンステレーション運用技術の共有を目標とした研究活動を行ってきた。JSPS 事業により、ガーナ (2017)、モンゴル (2018)、バングラデシュ (2019) にてワークショップを行い、参加機関の代表が一同に介して各国の状況報告と今後の連携について話しあってきた。また、ワークショップの全体セッションでは、現地の大学・政府機関の VIP を招待して、超小型衛星を用いた人材育成と国際協力の有効性について BIRDS プロジェクトを実例にあげて訴えかけた。JSPS 事業では、各国で BIRDS 衛星の運用に携わる若手研究者を日本に 1 週間招待し、九工大の大学院生達との間で地上局ワークショップとしてコンステ運用技術の共有する活動を行ってきた。

BIRDS ネットワークでは、BIRDS プログラムの卒業生達が帰国したあとの次の衛星プロジェクトを水平型の国際協力で行うことを狙っている。その例が、九工大が現在開発中の 6U のキューブサット「KITSUNE」と、有効性 (社会実装) の項で述べたフィリピン (SATMINA-4) やマレーシア (AseanSat) のプロジェクトである。KITSUNE プロジェクトでは、BIRDS ネットワーク参加各国に置かれた地上センサからのデータを収集するストア&ファワードミッションを実施する予定である。これらの次世代の国際協力プロジェクトは、宇宙航空人材育成プログラムと研究拠点形成事業の間での相乗効果により生まれたと言える。

国際標準への波及効果

今回の宇宙航空人材育成プログラムにて開発したプログラマブル底面基板は、BIRDS-III に搭載され、軌道上にて 1 年以上に亘り動作している。この実証結果に基づき、プログラマブル底面基板は他の衛星プロジェクトにも応用され始めている。2019 年から開発中の 6U キューブサット「KITSUNE」では、2.5U 相当のプログラマブル底面基板を有し、BIRDS-III に搭載された CPLD (Complex Programmable Logic Device) を 2 個搭載し、底面基板に挿される各種機器のコネクタのピン構成に変更があったとしても、ソフトウェアの書き換えだけで対応できるようにしてある。有効性 (国際標準化) の項で述べたように、キューブサットインターフェースの国際標準規格で、プログラマブル底面基板を、インターフェース互換性を高める実例として紹介する予定である。

(3) 今後の展望

持続可能な教育プログラム

今回の事業の目的である「留学生と日本人学生による国際協働衛星プロジェクトを、学部 4 年生から大学院修士課程にまたがる教育プログラムの一環として持続可能なものに作り替える」ことは達成できたと思われる。この国際協働衛星プロジェクトを教育プログラムとして継続していく上で、組織的には、宇宙システム工学科並びに宇宙工学国際コースの枠組みを使える。資金面では、打ち上げ費用も含め年間で 600~700 万円程度であれば大学が自腹で出すことは可能である。また、留学生を派遣する国が自国の衛星も開発したいということであれば、それらの国との間

で契約を結び、外部からの資金も注入できる。人的体制は、教員負荷軽減の項で述べたように、毎年切れ目なく衛星プロジェクトを立ち上げて学生間のノウハウ伝承を有効に活用していくと共に、宇宙システム工学科所属教員が学科の正規の教育プログラムとして従事することで担保する。

課題があるとすれば、衛星打ち上げである。これまでは九工大は JAXA との国際宇宙ステーション利用に関する戦略協定の枠組みで、BIRDS 衛星を安価に放出することができてきた。2021 年度からは、九工大のみの「国内衛星」としての位置付けに変わると、1000 万円近い打ち上げ費用を民間企業に支払わなければならないとなり、1 個の衛星を 300 万円で作れても、打ち上げ費用に 1000 万円かかるのでは、到底持続できない。安価な衛星打ち上げのスキームを探索していくことが課題である。

BIRDS 衛星バスの事業化

現在、世界各地のキューブサットプロジェクトは、自分たちで一から十まで全てを作るのではなく、市販のコンポーネントを買ってきて組み立てるのが主流となっている。インターネットでのコンポーネント販売が発展したせいでもあるが、異なる会社のコンポーネントを買ってくるとインターフェースの互換性に苦勞するため、一社から全てのコンポーネントを調達し、自分達はミッションペイロードの開発と衛星全体の組み立て、統合、試験、運用に重きをおく傾向が強まっている。そこで、キューブサットプラットフォームと称する製品を供給する会社が世界中で 30 社近く存在している。その中で、1U キューブサットの BIRDS 衛星バスは、安く早く作れる教育用キューブサットバスとして、これまでの軌道上実績と合わせ、高い国際競争力を有している。

実際にフィリピンは STAMINA-4 プロジェクトで BIRDS-II と BIRDS-IV のコピーを使っている。BIRDS プログラムの卒業生達が母国で 2 号衛星を作ろうとした時にも、慣れ親しんだ BIRDS 衛星バスを使いたいという要望は強い。また、BIRDS プログラムの存在を知った新興国からは九工大への協力依頼が途切れることなくやってきており、その中には自国で衛星を作りたいが、どの会社のコンポーネントを買ったらよいかという相談も多々ある。そのような要望に応えるために、BIRDS 衛星バスを販売できればよいが、そのような事業を大学が継続して行っていくのは不可能である。宇宙新興国の宇宙開発利用の開拓に興味をもつ企業パートナーを見つけ、BIRDS 衛星バスを新興国向けのキューブサットキットとして商品化することを模索している。

国策への貢献と他大学への波及

2020 年に改訂された宇宙基本計画では、

「アジア各国を始めとする宇宙新興国に対しては、法制度や人材育成等の能力構築や各種課題解決支援とのパッケージ組成を強化し、相手国のニーズに応じた持続的な宇宙産業の創出に資するよう包括的な取組を進める。また、そのような活動を主導できる人材の確保や育成にも注力する。」

「宇宙政策、宇宙科学・技術の各分野において、相手国のニーズに応じた人材育成や能力構築、関連機材及びサービス等の供与などを組み合わせた国際協力を実施する。」

といった記載が、「(1)④x 海外市場開拓」並びに「(2)xiii 国際宇宙協力の強化」の項においてなされており、新興国との国際宇宙協力の強化が謳われている。とりわけ、人材育成をパッケージに組み込むことが言われている。例えば、日本のもつ最大の強みの一つである衛星打ち上げ能力(特

に国際宇宙ステーションからのキューブサット放出)を活かし、超小型衛星の研究・開発並びにそれと関連させた人材育成は、新興国のニーズに合致した魅力ある支援策である。必要性(国際競争力の向上)の項で述べたように、九工大をはじめとする国内大学でのボトムアップ型のキャパシティビルディング活動は世界的にも群を抜いている。国策として超小型衛星を用いたキャパシティビルディングを推進していくのであれば、人材育成のプロである大学を利用しない手はない。今回の宇宙航空人材育成プログラムを経て、九工大の国際協働衛星プロジェクトは強靱なものとなっており、九工大は引き続きその受け皿を担うことができる。また高まる宇宙新興国側の需要に応えるために、九工大以外の第2第3のキューブサットを活用したキャパシティビルディングの担い手を国内に用意しておくのが望ましい。その際、国内大学側にとっては何らかのメリットがなければ引き受けるわけにはいかず、国際協働衛星プロジェクトに参加することで日本人学生も鍛えられるというメリットを理解してもらえば、引き受け手もでてくると思われる。その際、今回の宇宙航空人材育成プログラムで作成したデジタルテキストブックやBIRDS衛星バスが、九工大以外の他大学が国際協働衛星プロジェクトを実施していく上での助けになると期待している。

宇宙の裾野拡大への貢献

九工大は2020年4月に革新的宇宙利用実証ラボラトリーを発足させた。同ラボラトリーは、宇宙の裾野を拡大するために、新たな宇宙利用のアイデアをもつ人たちが迅速にそのアイデアを実証できることを目指し、宇宙実証用のキューブサットプラットフォームを開発することを活動項目の一つとしている。BIRDS衛星バスは1Uのプラットフォームとして位置付けられ、現在開発中の6U衛星KITSUNEはBIRDSバスの発展形として3Uまたは6Uのプラットフォームとして位置付けられている。実際、BIRDS-IVでは、シンガポールの研究者が開発したシングルイベント対応素子の軌道上実証を行い、BIRDS-Vでは、国内の宇宙科学研究者が開発した高エネルギー粒子観測器を搭載する予定である。また、高校生衛星プロジェクトにBIRD衛星バスを使用したり、国内企業の宇宙参入の第一歩としてKITSUNEの3Uバスを使用する計画が立ち上がっている。このようにBIRDS衛星バスとその発展形であるKITSUNEバスは、宇宙実証プラットフォームとして国内外の多くの方々に広く利用してもらうことを期待している。

8. 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。

9. 評価理由

本課題は、大学として小型衛星における国内での技術開発を、安価かつ短期間で製作出来る BIRDS 衛星バスを教育用プラットフォームとすることで強く支援している。また、小型衛星を「国際的な協力による教育の場を提供するツール」として有効に活用しており、学生の国際的ネットワーク構築の機会を提供し、広範な人づくりとしての教育活動を実施できていることから、今後の産業界で活躍する人材を増加させることが期待され、国際協調の中で我が国のプレゼンス向上に貢献している。更に、本課題に参画した学生の2割以上、大学院修了学生では半数以上が国内外の宇宙関係に就職している点が高く評価できる。一部目標不達となる項目はあるものの、他課題に比べて具体的、客観的に目標設定していることを考慮すると、本課題は十分目標を達成したと判断できる。

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。

今後は、以下の点が期待される。

- 教育のツールとして以外に、中小企業などが独自技術を、衛星を用いてアピールする場として表現できるような企業連携と企業育成にも助力することを期待する。
- 国内人材の育成や産業界との連携（就職等）に関しては、本課題のみに帰する点ではないが、海外人材育成に比して課題を残した面もあると考えられるので、今後の進展に期待したい。
- 教育効果がどの程度上がったかの評価をすることが望ましい。
- 拡大の上で、教える側の人材育成に関するプログラム化を視野に入れることが望ましい。
- 本課題の持続性を確保するため、企業との連携を追求し支援を得ていくことを検討されたい。
- 本課題のもとで育った人材が国際的にどのような立場、分野で活躍されているかを産業界に対してアピールすることが望ましい。