

# 「超小型衛星開発とアントレプレナーシップ教育を通じた宇宙システム活用人材の育成」の成果の概要について

|      |        |                     |      |                           |      |                   |         |         |
|------|--------|---------------------|------|---------------------------|------|-------------------|---------|---------|
| 実施体制 | 主管実施機関 | 公立大学法人大阪 大阪府立大学     | 実施期間 | 平成30年度～<br>令和2年度<br>(3年間) | 実施規模 | 予算総額（契約額） 4.1 百万円 |         |         |
|      | 研究代表者名 | 教授 小木曾 望            |      |                           |      | 1 年目              | 2 年目    | 3 年目    |
|      | 共同参画機関 | (株)レヴィ、(株)インディージャパン |      |                           |      | 1.4 百万円           | 1.4 百万円 | 1.4 百万円 |

## 背景・全体目標

宇宙開発の重点がサービスに移行し、スタートアップ企業の存在感が高まっている。この流れに適応できる人材を育成するために、**宇宙工学、システム思考、デザイン思考、アントレプレナー教育を体系的に融合した新しい教育カリキュラムを構築する**。そのカリキュラムを大阪府立大学「小型宇宙機システム研究センター」の大学生・大学院生に試行し、**学科の枠を超えた「教育プログラム」の構築につなげる**。この活動を通して、ベンチャーキャピタル、アクセラレータ等との協力体制および、学内から**新たな宇宙ビジネスにつながる研究シーズを発掘できる体制を構築する**。将来、「小型宇宙機システム研究センター」を教育・研究面で発展させるだけでなく、小型宇宙機ビジネスを念頭に置いた産学連携拠点、アントレプレナーシップ教育拠点としての役割を果たすように発展させるための礎とする。

## 全体概要・主な成果

本事業は、大阪府立大学「小型宇宙機システム研究センター（SSSRC）」に在籍した**91名の学生**に対して、スタートアップ型の宇宙ビジネスに対応できる人材育成が行える「教育・研究拠点」として発展させるための礎を築くために、6つの施策を実施した。それぞれの施策と学年との対応を右図に示す。

**【施策①】** モデルベースシステムズエンジニアリングに関する教材、カードゲーム等を制作し、講演会やワークショップを通して、学生の体系的な理解につなげることができた。

**【施策②】** 小規模プロジェクト（CanSat）実習を通して、1年生がモデリングスキルと制作を学ぶだけでなく、上級生が指導を体験することにより、モデリングスキル、リーダーシップへのより深い理解につなげることができた。

**【施策③】** ワークショップによる実践を通して、学生は早い段階でアイデアを形にできる仮説検証の理解を深め、学生が自主的にハッカソンやビジネスアイデアコンテストに参加する雰囲気醸成することができた。

小型宇宙機システム研究センターに所属する大学生、大学院生を対象に、下記の6つの施策を実施します。

- 1 モデルベースシステムズエンジニアリングの体系的な学習を支援する教材の開発
- 2 小規模プロジェクトを通じたモデリングスキルのための実践的な演習
- 3 仮説検証を学ぶための小規模プロジェクトによる実践的なワークショップ
- 4 宇宙スタートアップ企業等の見学による宇宙開発の動向調査
- 5 超小型衛星プロジェクトによる実践的な学習機会提供
- 6 起業家との意見交換会や講演会を通じたアントレプレナーシップ醸成

教育プログラムがめざすレベル

|         | 1年               | 2年                           | 3年                | 4年          | 博士前期         |
|---------|------------------|------------------------------|-------------------|-------------|--------------|
| 講義      | 宇宙開発への理解         | システム思考<br>デザイン思考             | 小型宇宙機設計におけるシステム思考 |             | 宇宙ビジネスの現状と将来 |
| 演習      | 学年をまたいだ小規模プロジェクト |                              |                   |             |              |
| ワークショップ |                  | メンバーの役割を理解                   | リーダーの役割を理解        |             |              |
| 見学会講演会  |                  | ビジネスプラン構築のワークショップ 外部機関との共同実施 |                   |             |              |
|         |                  | ビジネス創成を理解                    | モデリング・仮説検証の理解と実践  |             |              |
| プロジェクト  |                  | アントレプレナーシップ醸成                | 宇宙開発現場の理解         | 宇宙ビジネス創成の理解 |              |
|         |                  | 超小型衛星開発プロジェクト                |                   |             |              |

**【施策④】** 宇宙スタートアップ企業等の見学を通して、学生が宇宙ビジネスを身近に感じることができるようになった。また、国際会議の調査を行い、宇宙ビジネスに関する講義計画を立案し、来年度以降に講義科目として開講できる体制を整えた。

**【施策⑤】** 超小型衛星「ひろがり」の設計開発を通して、システム思考に対する理解を深めた。「ひろがり」は令和2年度内に軌道投入され、初期運用まで進めることができた。

**【施策⑥】** 起業家やアクセラレータによる講演会を通して、アントレプレナーシップ醸成に努めた。2年目までは学生の参加数が少ないという課題があったが、3年目は多くの学生が参加するようになり、学生にその重要性が浸透するようになった。

# ① 「モデルベースシステムズエンジニアリングの体系的な学習を支援する教材の開発」

## 実施内容・成果

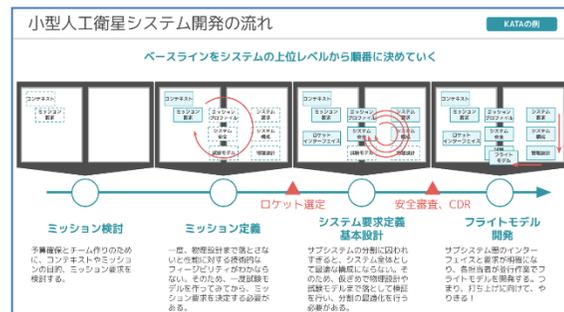
3年間を通して、モデルベースシステムズエンジニアリングに関する3種類の教材、カードゲームならびにシステムモデルのテンプレートであるKATA(型)を制作し、【施策③】のワークショップで使用するなど、学生にモデルベースシステムズエンジニアリングの教育を行い、学生の理解を体系的に深めた。

これらの教材は小型宇宙機システム研究センター (SSSRC) の学生に冊子として配布するとともに、テンプレートはデータとして閲覧可能な状態にある。【施策②】のCanSat教育の資料として、また、【施策⑤】の超小型衛星プロジェクトの教育資料として利用されている。アンケートの結果、そのうちの87%が「システム思考が役立つことが理解できた」と回答し、所期の目標を達成できた。

一方で、教材を閲覧した学生からのフィードバックを教材に反映するという目標は達成できなかった。これは【施策⑤】の超小型衛星プロジェクトに時間を取られて、十分な検討時間が持てなかったためである。

なお、これらの教材は学内ではリーディング大学院の「戦略的システム思考力演習」の補助教材として利用していて、その受講生(H31年度:11名、R2年度:30名)にも配布した。また、教材はカードゲームとともに、【施策③】のワークショップにおけるSSSRC学生以外の参加者(H31年度:関学イノベーション研究会32名、R2年度:オンライン開催:筑波大学生4名、S-Cube:11名)の計88部を配布し、教育に役立っている。

この教材の成果として、超小型衛星のシステムモデルのテンプレートであるKATA(型)を用いて、【施策⑤】の超小型衛星で開発した「ひろがり」の運用に向けて作成した「運用フローモデル」を右に示す。



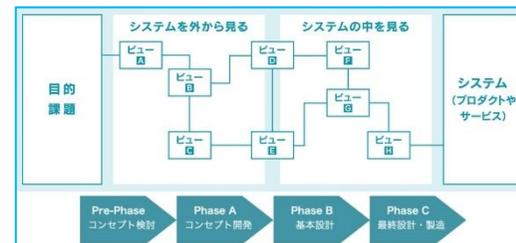
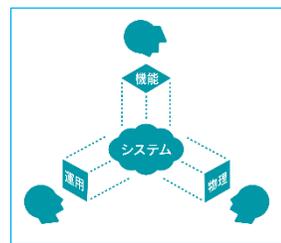
小型衛星システムのKATA(型)



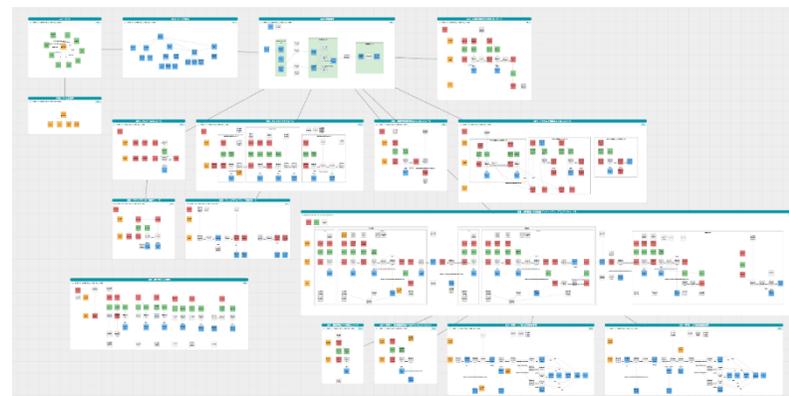
開発した教材 3部



システムズエンジニアリングを学ぶためのカードゲーム教材



初学者向けに「システムへの視点」で整理



超小型衛星「ひろがり」の運用フローモデル

# ② 「小規模プロジェクトを通じたモデリングスキルのための実践的な演習」

## 実施内容・成果

本施策の参加人数を表1に示す。参考として、事業期間におけるSSSRC在籍者数を表2に示す。H30年度は事業開始前にスタートしていることから参考値となるが、3年間を通して58名の1年生および有志を含めて51名の上級生が本施策に参加した。H30年度は3チーム、H31年度、R2年度は4チームでCanSatを製作した。表3に各年度のサクセスクライテリア達成数を示す。ミニマムクライテリアが未達成であったチームはH30年度の1チームのみで、「致命的な失敗」を防ぐことには成功している。参加者のほぼ全員が「モデリングスキル」は向上したと回答していて、所期の目標は達成した(図1：向上しなかった:2%、少し向上した:35%、向上した:16%、かなり向上した:14%)。

さらに、指導した上級生のアンケートでは「指導する立場として、改めて「システム思考や仮説検証」について考えたことや、客観的な視点で下級生の構築するシステムに助言したことはCanSatを製作することとは比較にならないほど理解度の上昇につながったと思います。」との記述や類似の記述が多くあり、「指導を体験する」ことで仮説検証の理解が深まることを実証できた。

表1 施策②の参加人数

| 年度  | CanSat演習<br>参加人数(1年) | 指導上級生     |
|-----|----------------------|-----------|
| H30 | 17名:3チーム             | 7名(有志8名)  |
| H31 | 25名:4チーム             | 11名(有志2名) |
| R2  | 16名:3チーム             | 23名(有志3名) |

表2 事業期間におけるSSSRC在籍学生数

| 年度      | B1 | B2 | B3 | B4 | M1 | M2 | 計  |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| H30年度末  | 17 | 10 | 7  | 9  | 3  | 4  | 50 |
| H31年度末  | 25 | 16 | 8  | 6  | 9  | 3  | 67 |
| R2年度末   | 16 | 20 | 16 | 8  | 3  | 9  | 72 |
| R3年10月末 | 21 | 15 | 20 | 16 | 6  | 3  | 81 |

表3 サクセスクライテリアの達成度

| 年度   | ミニマム | フル   | エクストラ |
|------|------|------|-------|
| H.30 | 4/6  | 3/8  | 0/3   |
| H.31 | 6/9  | 3/12 | 1/7   |
| R.2  | 8/14 | 1/12 | 1/5   |

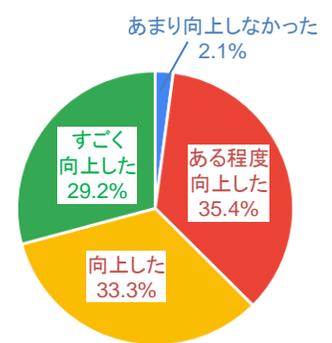


図1: アンケート結果:「システム開発に必要なモデリングのスキルは向上しましたか」

この施策では、SSSRC所属の1年生を対象に、実践を通して、システム思考・仮説検証に基づいたモデリング手法を身に付けるための演習を実施した。SSSRCの教育に関する基本コンセプトを図2に示す。これは、CanSat後の小型宇宙機システムの研究開発(【施策⑤】)につなげることを見据えている。さらに、上級生の指導は上級生自身がシステム思考「教育」を通して、システム思考の理解を深めることも目指している。その教育では、「致命的な失敗」を防ぐために、設計と検証試験に時間をかけ、実装時間が短縮できる工夫をしている(図3)。図4に、学生が制作したCanSatと気球を用いた落下試験の様子を示す。

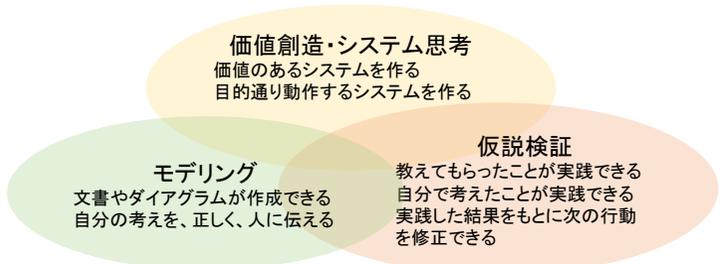


図2: 小型宇宙機システム研究センターの基本コンセプト

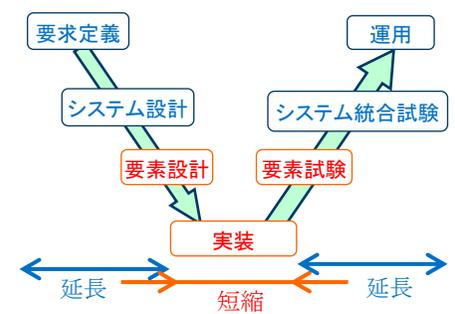


図3: 新入生教育計画とそのねらい



図4: 学生が制作したCanSatと気球放出実験の様子

# ③ 「仮説検証を学ぶために地域の企業と連携した小規模プロジェクトによる実践的なワークショップ」

## 実施内容・成果

H30年度は学内のワークショップとして25名が参加、H31年度は関西学院大学イノベーション研究会と共催して8名が参加、H2年度はオンラインの学内開催で23名と堺市S-Cubeとの共催で14名が参加した。地域企業との連携では合計22名の参加にとどまり、所期の目標人数である50人は達成できなかった。

このワークショップで使用したカードゲーム「ペジテの自転車」は【**施策①**】で開発したものである。このゲームは3~4人で行う協力ゲームで、要求を満たすシステム（自転車）を開発するゲームを通して、「仮説検証」や「システムモデリング」の重要性を学ぶことができる。ゲームには、「実際のシステム開発で遭遇するであろう問題」が盛り込まれていて、学生にとっては社会人と一緒にゲームを実施することで理解が深まる。



H30年度：学内で実施したワークショップ



H31年度：「関西学院大学イノベーション研究会」で実施したワークショップ



R2年度：「S-Cubeさかい新事業創造センター」で実施したワークショップ



「ペジテの自転車」カードゲーム

ペジテの自転車からの教訓

- 要求やニーズは最初から全てが明らかにしているわけではない。
- 目的や制約を気にしないと、いらぬもの、使えないものが出来上がってしまう。
- 限りあるリソースの中でシステムを実現しなければならない
- どんなに気をつけていても、世の中や環境が変わってしまうこともある。
- 状況や対象が複雑になると、いろいろ大変になる。
- 様々な立場や視点があって、しばしばコンフリクトする。
- コミュニケーションにもコストがかかるけど、コミュニケーションは大事。

カードゲーム後のデブリーフィング資料

参加学生の理解度は90%を超えており、「仮説検証は難しそうと思っていたが、『ペジテの自転車』は現実でのさまざまな要求や環境変化がうまく表されていたので身近に感じる事ができた。」「プロジェクトの要求や規制を満たすために必要な過程や有効な手段をゲーム形式で体験できたことは有意義だった。」などの感想が得られ、有意義であった。

「仮説検証」を学んだ学生は、学内外のハッカソンやビジネスコンテストに自主的に参加するようになり、H31年度・R2年度ともに下表のように3件の行事に参加し、各年1件の受賞した。

| 年度  | イベント  |
|-----|---|
| H31 | ディスカバリーハッカソン (さくらインターネット賞受賞)<br>大阪府立大学 ビジネスアイデアコンテスト<br>StartUp WeekEnd Osaka Space |
| R2  | ディスカバリーハッカソン<br>NASA SpaceApps Osaka 2020<br>大阪府立大学 ビジネスアイデアコンテスト (陵友会賞受賞)          |



H31年度 ディスカバリーハッカソン受賞



R2年度 ビジネスアイデアコンテスト表彰式

# ④ 「宇宙スタートアップ企業等の現地調査を踏まえた宇宙開発の動向調査」

## 実施内容・成果

学生の訪問は、**H31年度は6名**がSpaceTideに参加し、また日本電産(株) 中央モーター基礎技術研究所を訪問した。**R2年度は9名**がJAXA(オリガミETS合同会社)と(株)ワープスペース、(株)インディージャパンを訪問した。訪問先は5か所で、最低限の目標は達成できた。この見学を通して、宇宙ビジネスに関する熱気を肌で感じてもらうとともに最先端の技術、また新たなビジネスに挑むための技術開発のあり方などを学び、参加していない学生にも展開し、学生が宇宙ビジネスに興味を深める機会となった。



H31年度：学生6名がSpaceTideの参加と日本電産(株)の見学

R2年度：学生9名がJAXA(オリガミETS合同会社)、(株)Warpspace、(株)インディージャパン見学

宇宙開発の動向調査については、共同参画機関の南部氏が右表に示す宇宙ビジネスのシンポジウムに参加し、動向を調査した。これらの調査結果は講演会を通して学生(**H31年度 18名**、**R2年度 18名**)に講義した。例えば、米国でSPAC(特別買収目的会社)による投資により宇宙ビジネスが活性化していることなど、最新動向について講義をいただいた。

| 年度  | 宇宙動向調査を行った国際会議   |
|-----|--|
| H30 | European Space Week 2018 (フランス)<br>SmallSat Symposium (アメリカ) |
| H31 | Global Space and Technology Convention (シンガポール)              |
| R2  | SmallSat Symposium (アメリカ:オンライン)                              |

講演会後のアンケートから36名中31名が宇宙ビジネスへの理解が深まったと回答を得た。また、H31年度には宇宙ビジネスに詳しい金岡充晃氏による講演会を開催。**21名の学生が参加**し、16名の学生から宇宙ビジネスへの理解が深まったとの回答を得た。これらより**合計57名の学生のうち、47名の学生(82%)が肯定的な回答**をしていることから、この施策に対しては所期の目標を達成できた。



宇宙ビジネスに関する講演会(左:H31年度、右:R2年度)

この調査をもとに右に示す項目を学ぶ半期15コマの宇宙ビジネス講義を計画した。これに基づいた講義が、新大学(大阪公立大学)で新たな講義科目として開講されることが決定している。

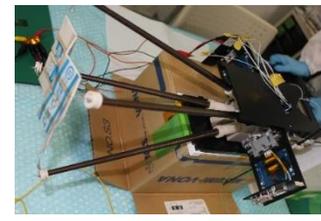
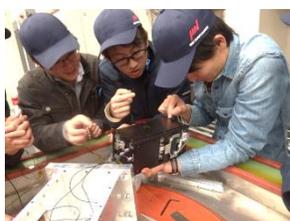
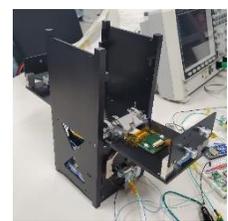
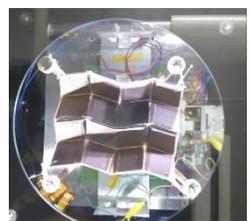
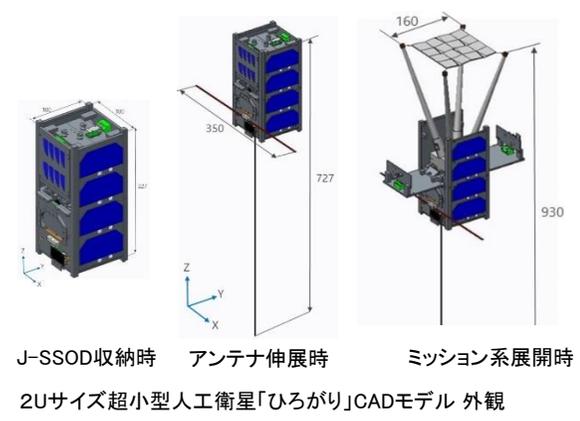
| 項目                     |
|------------------------|
| 宇宙ビジネス発展の経緯と現状         |
| 宇宙ベンチャーの資金調達と成長戦略      |
| 日本の宇宙スタートアップ企業とその環境    |
| 米国の宇宙スタートアップ企業とその環境    |
| ヨーロッパの宇宙スタートアップ企業とその環境 |
| アジアの宇宙スタートアップ企業とその環境   |
| 中国の宇宙スタートアップ企業とその環境    |
| 日本の宇宙ビジネスの未来           |

# ⑤ 「超小型衛星プロジェクトによる実践的な学習機会提供」

## 実施内容・成果

本施策はシステム思考に基づいた実践の場として、室蘭工業大学と共同研究開発した2Uサイズの超小型衛星「ひろがり」の開発に取り組んだ。H30年度は44名、H31年度は40名、R2年度は31名の学生がこのプロジェクトに取り組み、超小型衛星「ひろがり」はR2年10月16日にJAXAの受入試験に合格、翌R3年3月14日に軌道投入した。その後、一週間は通信ができなかったが3月21日になってようやく通信が確立した。R2年度内にはミニマムサクセス3項目中2項目の達成にとどまり、本施策に対する所期の目標であったフルサクセスは達成できなかった。

一方、試験開発を通して構築したモデリングツールによって作成したシステムモデルの報告書はR2年度には次号機の概念設計で利用し、次に引き継ぐことができている。システムモデルの有用性がSSSRC内で受け継がれていて、こちらは所期の目標を達成できた。



展開機構の低温真空試験 (H30年度)

電子回路基板製作 (H30年度)

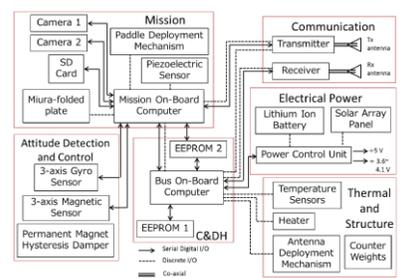
エンジニアリングモデルの開発および振動試験準備の様子 (H31年度)

地上局の免許取得 (R2年度)

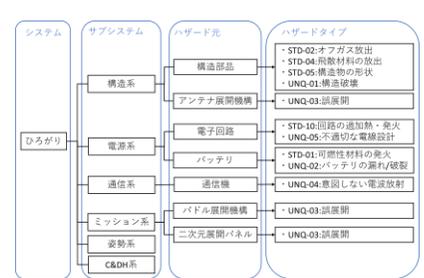
展開機構の統合試験 (R2年度)

展開機構の統合試験 (R2年度)

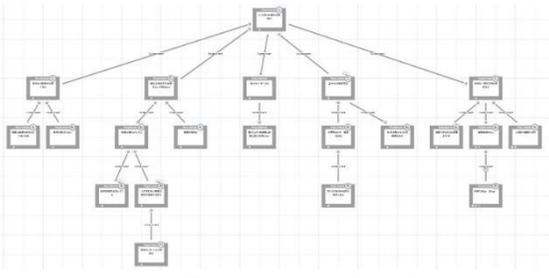
JAXA受入試験合格 (H31年度)



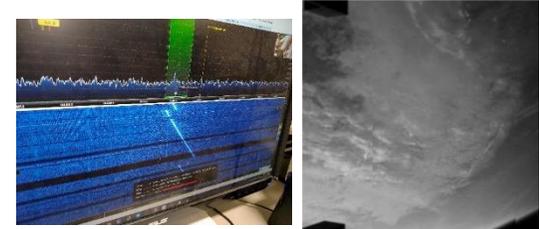
システムブロック図 (H30年度)



識別されたハザード (H31年度)



次号機のための模擬衛星の要求分析モデル (R2年度)



通信確立 (R3年3月21日)      パドル展開成功時に写った地球 (R3年3月30日)

学生のアンケートの自由記述には、「1年生のときはシステム思考を使うことすらままならない状態でした。自分が上級生となり、教える立場に回ることによって初めて見えてくるものが多くなった印象があります。現在(4年生)では、衛星のような複雑なシステムに対してもより広く柔軟な視点でシステム思考や仮説検証を行うことができるようになったと感じています。」という回答やこれに類する回答が多く見られ、[CanSat製作] → [CanSat指導] → [超小型衛星プロジェクト] という段階を経て、仮説検証やモデリングスキルが身に付いていることがわかる。

# ⑥ 「起業家との意見交換会や講演会を通じたアントレプレナーシップ醸成」

## 実施内容・成果

本施策は学生のアントレプレナーシップの醸成を目標に、学外から起業家等を招いた講演会を開催した。その開催回数と参加人数を右表に示す。最終年度のR2年度は、前年（H31年）と比較して1回あたりの平均参加人数が倍増し、初年度（H30年度）に一度だけ開催した「キックオフミーティング」を凌ぐ人数となり、参加人数が少ないという中間報告時点での課題は克服することができた。

学生に事業の目的が浸透してきただけでなく、R2年度はオンラインもしくはハイブリッド形式での開催となり、講師の日程調整がしやすく、授業時間に縛られないオンデマンド型の講義が中心だったために学生が参加しやすかったということもあるが、アントレプレナーシップの重要性や考え方が、ようやく学生に浸透してきた結果と思われる。

参加人数が増えた最終年度の各講演会のアンケートにおける講演の感想や、講演中に出てきたキーワードに関連する質問（例：「昔は技術が良ければ売れた。これからは技術だけではなく、ビジネス主体で考えることが重要」という話があったが、その理由は为什么呢？ など）に対する回答から、講演内容への興味と理解度を判断・評価した。その結果、アントレプレナーシップへの関心がある学生が193名（275名の70%）と判定でき、所期の目標は達成できた。

| 年度  | 講演会参加者数 | 講演会実施回数 | 平均参加者数 |
|-----|---------|---------|--------|
| H30 | 43名     | 1回      | 43名    |
| H31 | 84名     | 4回      | 21名    |
| R.2 | 275名    | 6回      | 46名    |

| 年度  | 招聘した講師（敬称略） * 本学卒業生、† オンライン |                                       |
|-----|-----------------------------|---------------------------------------|
| H30 | 津嶋 辰郎*                      | (株)インディージャパンCEO<br>(共同参画機関)           |
|     | 藤原 洋                        | (株)ブロードバンドタワー<br>代表取締役会長兼社長CEO        |
| H31 | 末田 航                        | シンガポール国立大学<br>リサーチフェロー                |
|     | 松村 礼央                       | (株)Karakuri Products<br>代表取締役 CTO     |
|     | 金岡 充晃                       | CPSジャパン(株) 航空宇宙政策・産業<br>グループ シニアアナリスト |
|     | 南部陽介                        | (株)レヴィ CEO (共同参画機関)                   |
| R.2 | 常間地 悟 †                     | (株)ワープスペース CEO                        |
|     | 倉原 直美 †                     | (株)Infostellar CEO                    |
|     | 肥後 尚之*                      | 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 参<br>事官補佐             |
|     | 河野 秀文*                      | 三菱重工業(株) 宇宙事業部<br>主席部員                |
|     | 竹内 芳樹                       | 三菱重工業(株) バリューチェーン本部<br>主幹             |
|     | 久米村 隼人*†                    | (株)DATAFLUCT 代表取締役                    |
|     | 北瀬 聖光*†                     | NEC(株) コーポレート・エグゼクティブ                 |
|     | 小笠原 雅弘                      | 元 NEC航空宇宙システム(株)                      |

アンケートの回答例：「ビジネス主体で考えることが重要な理由は？」  
 海外諸国の目覚ましい技術発展を踏まえ、今後は高い技術力で品質を追求するよりも、ステイクホルダーの目線でシステムを捉え、顧客の要求をユースケースに反映するといった視点を重視することで、ニーズに沿ったシステムを開発することが必要なため。  
 SpaceX社に代表されるように宇宙開発は官から民に移行しつつある。価格競争が激しくなるとともに、技術だけでなくサービス全体の魅力で売っていかねばならないと感じる。そのためにはビジネス主体で考えることが必要であると思う。



H30年度：津嶋辰郎氏の講演



H31年度：藤原洋氏を招いての講演会「宇宙の夢から起業の夢へ」



H31年度：金岡充晃氏の講演後の意見交換会



R2年度：竹内芳樹氏、河野秀文氏の講演後の意見交換会

# 本事業を通して学生は成長したのか？

## 実施内容・成果 学生および卒業生の自己評価アンケートからみた学生の成長・不参加学生との比較

右表に、本事業が目標とした学生の人材育成レベルを示す。SSSRC所属学生に対してR2年4月(事前)とR3年4月(事後)に自己評価アンケートを実施した。

回答数はR2年度1年生を除く56名中、事前が21名(38%)、事後が26名(46%)と高くはないが、大多数の学生が、1年間でレベルが向上したと判断した。

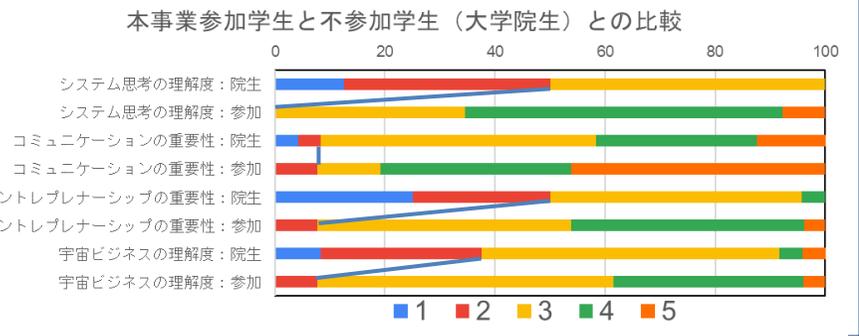
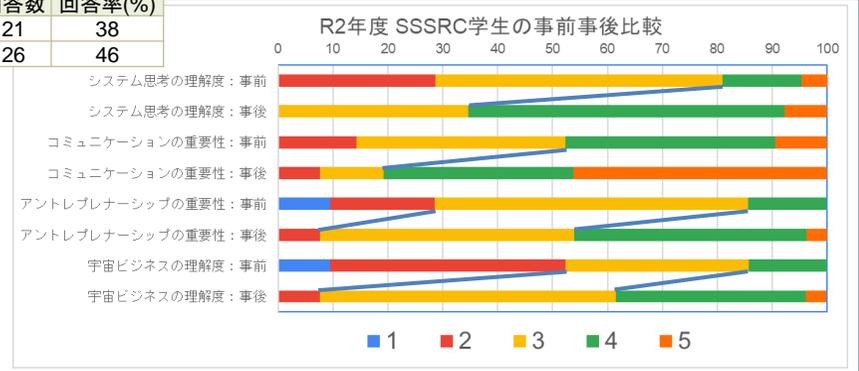
また、R3年10月に事業実施期間中の卒業生21名に同じアンケートを実施した。回答数は14名(67%)であった。卒業生は全員レベル3以上で、レベル5が最も多い。「本事業で学んだことが役に立っているか」を問うたところ、「役立っている」7名、「大いに役立っている」4名、「役立ったことを周囲の人に展開している」1名とであり、本事業を通して能力は社会に出てからも役立っている。

R2年度の事前・事後調査では、「システム思考の理解度」、「コミュニケーションの重要性」、「アントレプレナーシップの重要性」、「宇宙ビジネスの理解度」および「到達レベル」について5段階(1~5:5が一番高い)で自己評価してもらい、成長度合いを比較した。いずれの項目も向上が見られる。ただし、「アントレプレナーシップ」、「宇宙ビジネス」は前者に比べて評価レベル3が多い。これらの2項目に対する理解度はまだ向上の余地がある。

本事業に参加したことの効果をみるために、本事業に参加していない本学航空宇宙工学分野博士前期課程所属の大学院生35名に対しても同じアンケートをとり、24名から回答を得た。上記「事後」の学生の結果その結果を右図で比較する。「3以上」と自己評価した学生の比率は、コミュニケーション能力に関してはさほどの違いはないけれど、システム思考、アントレプレナーシップ、宇宙ビジネスの理解度については違いが大きいことがわかる。

| レベル | 概要  | 対象学年          | R2年度        |             | 卒業生<br>(14名) |
|-----|---|---------------|-------------|-------------|--------------|
|     |   |               | 事前<br>(21名) | 事後<br>(26名) |              |
| 1   | 体系的な知識が身に付いている。                                   | 学域<br>1~2年    | 10          | 2           | 0            |
| 2   | 小規模なシステム開発の経験を持ち、グループワークにおけるコミュニケーションの重要性を理解している。 | 学域<br>2~3年    | 6           | 7           | 0            |
| 3   | 要求・機能など抽象的な視点でシステムを捉えることができる。                     | 学域<br>3~4年    | 3           | 6           | 4            |
| 4   | 多様なステイクホルダとの調整能力が身に付いており、ユーザーから学び続ける姿勢を持っている。     | 学域4年~<br>修士以上 | 2           | 9           | 3            |
| 5   | 適切な仮説を立て、検証し、システムへ反映する能力を持ち、課題解決への不屈の意志を持つ。       | 学域4年~<br>修士以上 | 0           | 2           | 7            |

|    | 実施時期  | 回答数 | 回答率(%) |
|----|-------|-----|--------|
| 事前 | R2年4月 | 21  | 38     |
| 事後 | R3年4月 | 26  | 46     |



# 本事業を通して学生は何を学んだか？

## 実施内容・成果 SSSRC4年生以上アンケート(R3年10月)の自由記述より

### 本事業を通して、最も学びや気づきが多かったことは何ですか？

複雑に見えるシステムも切り分けて考えられること。そのために必要なもの見方が訓練によって手に入ること。そういったシステムデザインの考え方を身につけることがアントレプレナーシップにつながっていること。

こういうことが大切だという理念や考えは、ある程度普遍的に存在していて、1度は聞いたことがあるような話であったり、想像がつくような話が出てくる。しかしそれをどう実際の開発や組織体制に落とし込むか・実行していくかというところに難しさがあり、その内容を浸透させるためには意図的に仕組みや工夫を形にしなければならないということ。

講演会を通して、「人とのつながりを作っておくこと」の重要性に気付かされました。本プログラムで何度も講演していただいた津嶋さんは、「自分のやりたいこと・考えをできる限り多くの周りの大人たちに強く伝え、それを契機に少しでも人間関係を築くことを意識しておられました。また、そこで繋がった方からの人伝いでこそ得られる情報を有効に活用していた印象があります。今の我々に足りないアクションはまさにこれだと思いました。

ワークショップ「ベジテの自転車」。実際の開発で考慮しなければならないことや、ハプニングなどをカードゲームという気軽なもので短時間のうちに追体験することができ、システム思考とはどういったものなのかという大枠を理解することができた。

講演会においてのアントレプレナーシップについての学びが多かったと思います。自身が起業家になるかならないかに関わらず、柔らかな発想力を持つこと、また聞き入れ、取り入れることが自らの視野を広げることに直結し、自らの成長につながると感じました。ものづくりの目標とするところやモチベーションについて、非技術的な視野を広げることができたと思います。

講演会では、実際に大きなプロジェクトに関わった方やこれまで様々なことを経験されてきた人生における大先輩の方々のお話を聞くことができ、学ぶことが多かった。講演会の話は専門的な内容だけでなく、その日から実践できるマインドや習慣、おすすめの本などもあり、気軽に日常生活のなかに取り入れることができた。とくに、一つのを設計するにあたって、それらを細分化していき、単純なものを組み合わせることで複雑なシステムが作り上げられるというシステム思考は、工学分野だけでなく日頃ものを考える際に大いに役立っている。

### 本事業のことを後輩に「何が学べるプログラム」と紹介しますか？

宇宙だけでなく、工学全般において価値あるシステムを構築し、工学の発展に寄与する方法と実践について学べるプログラム

技術的なことだけでなく非技術的な視点からの考え方を広げ、様々な角度からの思考力や新たな視野を学べるプログラム

システムの的に物事を捉えることやその実践、またアントレプレナーシップや宇宙ビジネスの動向が学べるプログラムである。仕組みを作る側に立つために必要なことを学べるプログラム。

宇宙ビジネスに関することのみでなく、これからの人生においてどのように問題を解決していくかの根本となる考え方を学べるプログラム

システム思考の大切さと、宇宙ビジネス分野に関する視野を広げてくれるプログラム

宇宙システムという大きな枠組みのイメージと、その中にある専門的なシステムの詳細との両方が学べる(それにより、全体を考慮した開発が行えるようになる)

実際に社会で活躍されているエンジニアや起業家がどのようなスキル・経験を積んできたか、またどのようなモチベーションや姿勢を持っているかなど、当センターでただ宇宙機開発に取り組んでいるだけでは見えてこないことに気付くことができます。また、このようなことを改めて意識し学ぶことで、今後の自分のキャリア等についてもよく考えることができます。

ビジネスや衛星に関わったことのない学生にも伝わるように丁寧で易しいな説明になっていたと感じました。そのため、何かを学ぶというよりは、何も経験が無くて何をしたら良いかわからない人に学びのきっかけを与えることができるプログラム

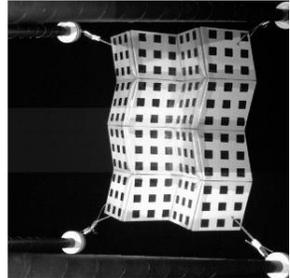
# その他の成果

| これまで得られた成果<br>(特許出願や論文発表数等) | 特許出願   | 査読付き<br>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<br>国際 : 0   | 国内 : 0<br>国際 : 0 | 国内 : 5<br>国際 : 0 | 国内 : 0<br>国際 : 0 | 国内 : 11<br>国際 : 0 | 国内 : 0<br>国際 : 0 |
| <b>成果展開の状況・<br/>期待される効果</b> | <b>受賞・表彰リスト</b><br>大阪府立大学学長顕彰 2回 (平成31年度前期、令和2年度後期)<br>ディスカバリーハッカソン2019 さくらインターネット賞受賞 (平成31年度)<br>ディスカバリーハッカソン2020 白光特別賞 (令和2年度)<br>大阪府立大学ビジネスアイデアコンテスト2020 陵友会賞 (令和2年度) |                  |                  |                  |                   |                  |

本事業で構築した教育プログラムは、小型宇宙機システム研究センターで継続して実施する。資金は、大阪府立大学のふるさと納税制度である「つばさ基金」で、毎年200万円程度の資金を集めており、**施策①**で開発した教材を用いて、**施策②**のCanSatプロジェクトや**施策③**のワークショップや、**施策⑥**の講演会などで利用する。**施策④**で計画した宇宙ビジネスの講義計画は、新大学で正式な講義科目として実施できる。ただし、**施策⑤**の超小型衛星開発を継続するためには、外部資金の調達が不可欠である。

## 【R3年度の活動】

- 超小型衛星「ひろがり」は、ほとんどのミッションが成功する見込みを得た。4件のアウトリーチ活動に参加し、この成果を一般に知らせている。学会活動としては5月に1件の特別講演を実施し、宇宙技術連合講演会で4件の発表を予定している。
- アントレプレナーシップ、宇宙ビジネス、システム思考に関する講演会・ワークショップを2件実施した。(講師：津嶋辰郎氏、南部陽介氏(共同参画機関)、金岡充晃氏((株)CPSジャパン))
- 学生の自主的な活動として、ディスカバリーハッカソン2021に5名2チームが参加し、うち1チームが「さくらインターネット賞」を受賞。そのほか、Startup Weekend Osaka 2ndに学生3名が参加した。
- 施策⑤で行った模擬衛星をもとに、「衛星設計コンテスト」に応募し、本選での発表が確定している。
- 尼崎市立尼崎双星高校と高大連携協定を新たに締結。茨木工科高校に次ぐ2校目。高校生の宇宙教育に貢献する。



「ひろがり」の成果：軌道上で撮影したミウラ折り板構造

## 今後の研究開発計画

事業応募時に提出した「本事業で目指す小型宇宙機システム研究センター(SSSRC)のありたい姿」を右に示す。「教育プログラム」に関しては成果を上げることができ、継続していく体制ができている。

一方で、一番右下に示した「多様なシーズを宇宙実証ニーズにつなげるための全学を巻き込んだ体制の構築」は本事業には直接含まれていなかったこともあり、まだ不十分である。学内では、研究科の枠を超えた学際あるいは分野横断型研究を進めるための「宇宙科学技術研究センター」を設置しており、SSSRCはこのセンターに属している。研究拠点・産学連携拠点として学内のシーズを集約するためにこのセンターの活性化を進め、SSSRCに還元するような体制を構築していく。

大阪府立大学小型宇宙機システム研究センター

**これまで**

超小型人工衛星の研究・開発による

- 宇宙工学への貢献
- 学部生・大学院生の教育
  - 工学設計のための「システム思考」と「モデリングスキル」
  - 実機開発を通じた地域企業との連携

**その後のありたい姿**

- 宇宙実証のための研究拠点
- 小型宇宙機サービスを念頭においたバリエーションを見通せる人材育成を行う教育拠点
- 学内や他の研究機関にあるミッションニーズと多様なシーズを宇宙実証ニーズにつなげる研究拠点・産学連携拠点
- 学内の他組織との強い連携

**目的**

宇宙サービスに適合できる人材、宇宙開発利用全体のバリエーションを見通せる人材の育成

- デザイン思考+システム思考
- アントレプレナーシップ
- ビジネス設計のために、スタートアップ企業が採用している「仮設検証スキル」
- マインドセット醸成のための「アントレプレナーシップ」

学料の枠を超えた教育プログラム構築

- システム思考・デザイン思考を達成するための段階的な教育カリキュラム
- ベンチャーキャピタル、アクセラレータ等との協力体制を構築
- 多様なシーズを宇宙実証ニーズにつなげるための全学を巻き込んだ体制を構築

共同参画機関：  
株式会社 株式会社

共同参画機関  
株式会社

共同参画機関  
株式会社

共同参画機関  
株式会社

# 事後評価票

令和3年3月末現在

|  |
|--|
| 1. プログラム名 航空宇宙人材育成プログラム  |
| 2. 課題名 超小型衛星開発とアントレプレナーシップ教育を通じた宇宙システム<br>活用人材の育成  |
| 3. 主管実施機関・研究代表者 公立大学法人大阪 大阪府立大学・教授 小木曾 望   |
| 4. 共同参画機関 株式会社レヴィ, 株式会社インディージャパン   |
| 5. 事業期間 平成30年度～令和2年度   |
| 6. 総経費 41百万円   |
| 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」<br>◆ 所期の目標<br>宇宙開発の重点がサービスに移行し、スタートアップ企業の存在感が高まっている。この流れに適応できる人材を育成するために、宇宙工学、システム思考、デザイン思考、アントレプレナー教育を体系的に融合した新しい教育カリキュラムを構築する。そのカリキュラムを大阪府立大学「小型宇宙機システム研究センター」の大学生・大学院生に試行し、学科の枠を超えた「教育プログラム」の構築につなげる。この活動を通して、ベンチャーキャピタル、アクセラレータ等との協力体制および、学内から新たな宇宙ビジネスにつながる研究シーズを発掘できる体制を構築する。将来、「小型宇宙機システム研究センター」を教育・研究面で発展させるだけでなく、小型宇宙機ビジネスを念頭に置いた産学連携拠点、アントレプレナーシップ教育拠点としての役割を果たすように発展させるための礎とする。<br><br>◆ 達成度<br>本事業は、小型宇宙機システム研究センター(以下、SSSRC)の学生を対象に、以下の6つの施策に取り組んだ。以下に、施策ごとの達成度を示す。<br>【施策①】モデルベースシステムズエンジニアリングの体系的な学習を支援する教材の開発<br>3年間を通して、モデルベースシステムズエンジニアリングに関する3種類の教材、カードゲームならびにシステムモデルのテンプレートであるKATA(型)を制作し、施策③のワークショップで使用するなど、学生にモデルベースシステムズエンジニアリングの教育を行い、学生の理解を体系的に深めた。<br>これらの教材はSSSRCの学生に冊子として配布するとともに、テンプレートはデータとして閲覧可能 |

な状態にある。施策②の CanSat 教育の資料として、また、施策⑤の超小型衛星プロジェクトの教育資料として利用されている。アンケートの結果、そのうちの 87%が「システム思考が役立つことが理解できた」と回答し、所期の目標を達成できた。

一方で、教材を閲覧した学生からのフィードバックを教材に反映するという目標は達成できなかった。これは施策⑤の超小型衛星プロジェクトに時間を取られて、十分に検討する時間が持てなかったためである。

なお、これらの教材は学内ではリーディング大学院の「戦略的システム思考力演習」の補助教材として利用していて、その受講生(H31 年度:11 名、R2 年度:30 名)にも配布した。また、教材はカードゲームとともに、施策③のワークショップにおける SSSRC 学生以外の参加者(H31 年度:関学イノベーション研究会 32 名、R2 年度:オンライン開催:筑波大学生 4 名、S-Cube:11 名)の計 88 部を配布し、教育に役立っている。

### 【施策②】 小規模プロジェクトを通じたモデリングスキルのための実践的な演習

本施策の参加人数を表 1 に示す。H30 年度は事業開始前にスタートしていることから参考値となるが、3 年間を通して 58 名の 1 年生および有志を含めて 51 名の上級生が本施策に参加した。H30 年度は 3 チーム、H31 年度、R2 年度は 4 チームで CanSat を製作した。表 2 に各年度のサクセスクライテリア達成数を示す。ミニマムクライテリアが未達成となったチームは H30 年度の 1 チームのみで、「致命的な失敗」を防ぐこ

表 1 CanSat 演習(1 年生)と指導上級生の参加人数

| 年度         | CanSat 演習最終参加人数(1 年) | 指導上級生        |
|------------|----------------------|--------------|
| H. 30 (参考) | 17 名                 | 7 名(有志 8 名)  |
| H. 31      | 25 名                 | 11 名(有志 2 名) |
| R. 2       | 16 名                 | 23 名(有志 3 名) |

表 2 サクセスクライテリアの達成度

| 年度         | ミニマム | フル   | エクストラ |
|------------|------|------|-------|
| H. 30 (参考) | 4/6  | 3/8  | 0/3   |
| H. 31      | 6/9  | 3/12 | 1/7   |
| R. 2       | 8/14 | 1/12 | 1/5   |

とには成功している。また、これらの参加者のほぼ全員が「モデリングスキル」は向上したと回答していて、所期の目標は達成したと言える(向上しなかった:2%、少し向上した:35%、向上した:16%、かなり向上した:14%)。

さらに、指導した上級生のアンケートでは、「指導する立場として、改めて『システム思考や仮説検証』について考えたことや、客観的な視点で下級生の構築するシステムに助言したことは CanSat を製作することとは比較にならないほど理解度の上昇につながったと思います。」との記述や類似の記述が多くあり、「指導を体験する」ことで仮説検証の理解が深まることを実証できた。

### 【施策③】 仮説検証を学ぶための地域の企業と連携した小規模プロジェクトによる実践的なワークショップ

H30 年度は学内のワークショップとして 25 名が参加、H31 年度は関西学院大学イノベーション研究会と共催して 8 名が参加、R2 年度はオンラインの学内開催で 23 名と堺市 S-Cube との共催で 14 名が参加した。地域企業との連携では 22 名の参加にとどまり、所期の目標人数である 50 人は達成できなかった。コロナ禍の影響で R2 年度の開催が難しくなったことが原因である。

一方で、学生の理解度は 90%を超えており、「仮説検証は難しそうと思っていたが、『ペジテの自転車』

は現実でのさまざまな要求や環境変化がうまく表されていたので身近に感じることができた。」「プロジェクトの要求や規制を満たすために必要な過程や有効な手段をゲーム形式で体験できたことは有意義だった。」「社会人と一緒にやることで、実際の業務ではどうしているかなどのお話も聞けてよかった。」との感想が得られ、仮説検証の理解を深めるためには、学生だけでなく社会人と一緒に実施したことによる効果が得られた。

#### 【施策④】宇宙スタートアップ企業等の現地調査を踏まえた宇宙開発の動向調査

学生の訪問は、H31年度は6名がSpaceTideに参加し、また日本電産(株)中央モーター基礎技術研究所を訪問した。R2年度は9名がJAXA(オリガミETS合同会社)と(株)ワープスペース、(株)インディージャパンを訪問した。訪問先は5か所(会社は3社)で、最低限の目標は達成できた。この見学を通して、宇宙ビジネスに関する熱気を肌で感じてもらうとともに最先端の技術、また新たなビジネスに挑むための技術開発のあり方などを学び、参加していない学生にも展開し、学生が宇宙ビジネスに興味を深める機会となった。

一方、宇宙開発の動向調査については、共同参画機関の南部氏が、アメリカ、フランス、シンガポールで開催された宇宙ビジネスのシンポジウムに参加し、動向を調査した。これらの調査結果は講演会を通して学生(H31年度18名、R2年度18名)に講義し、講演会後のアンケートから計31名が宇宙ビジネスへの理解が深まったとの回答を得た。また、2019年度には宇宙ビジネスに詳しい金岡充晃氏による講演会を開催。21名の学生が参加し、16名の学生から宇宙ビジネスへの理解が深まったとの回答を得た。これらより合計57名の学生のうち、47名の学生(82%)が肯定的な回答をしていることから、この施策に対しては所期の目標を達成できた。

#### 【施策⑤】超小型衛星プロジェクトによる実践的な学習機会提供

本施策はシステム思考に基づいた実践の場として、室蘭工業大学と共同研究開発した2Uサイズの超小型衛星「ひろがり」の開発に取り組んだ。H30年度は44名、H31年度は40名、R2年度は31名の学生がこのプロジェクトに取り組み、超小型衛星「ひろがり」はR2年10月16日にJAXAの受入試験に合格、翌R3年3月14日に軌道投入した。その後、一週間は通信ができなかったが3月21日になってようやく通信が確立した。R2年度内にはミニマムサクセス3項目中2項目の達成にとどまり、本施策に対する所期の目標であったフルサクセスは達成できなかった。

一方、試験開発を通して構築したモデリングツールによって作成したシステムモデルの報告書は、R2年度には次号機の概念設計で利用し、次に引き継いでいる。つまり、システムモデルの有用性がSSSRC内で受け継がれていて、こちらは所期の目標を達成できた。

#### 【施策⑥】起業家との意見交換会や講演会を通じたアントレプレナーシップ醸成

本施策は学生のアントレプレナーシップの醸成を目標に、学外から起業家等を招いた講演会を開催した。その開催回数と参加人数を表3に示す。最終年度のR2年度は、前年(H31年)と比較して1回あたりの平均参加人数が倍増し、初年度(H30年度)に一度だけ開催した「キックオフミーティング」を凌ぐ人数となり、「参加人数が少ない」という中間報告時点での課題は克服できた。R2年度はオンラインもしくはハイブリッド形式での開催となり、講師の日程調整がしやすく、授業時間に縛られないオンデマ

ンド型の講義が中心だったために学生が参加しやすかったということもあるが、アントレプレナーシップの重要性や考え方が、ようやく学生に浸透してきた結果と思われる。

参加人数が増えた最終年度の各講演会のアンケートにおける講演の感想や、講演中に出てきたキーワードに関連する質問（例：「昔は技術が良ければ売れた。

これからは技術だけではなく、ビジネス主体で考えることが重要」という話があったが、その理由は为什么呢？

など）に対する回答から、講演内容への興味と理解度を判断・評価した。また、アンケート無回答学生(32名)は関心が低いと判定した。その結果、アントレプレナーシップ

への関心がある学生が193名(275名の70%)と判定でき、所期の目標は達成できた。

表3 講演会実施回数と参加者数

| 年度  | 講演会参加者数 | 講演会実施回数 | 平均参加者数 |
|-----|---------|---------|--------|
| H30 | 43名     | 1回      | 43名    |
| H31 | 84名     | 4回      | 21名    |
| R2  | 275名    | 6回      | 46名    |

## 「必要性」

### ①機関の設置目的との適合性

SSSRCのように、超小型衛星の研究開発を目的とした学生が所属する研究センターにおいては、構造、機構、電力、通信、姿勢制御などの要素技術に関する研究も必要であるが、これらを統合して一つのシステムとして成立させるための「システムインテグレーション」を見越した「システム思考」に関する体系的な教育が必要であり、施策①でそのための教材開発を行った。また、その実践方法としては、「仮説検証」と呼ばれる「仮説」→「実行」→「次の仮説」というループを早く繰り返す手段を用いて実践することが「システム思考」の重要性を理解する上でも、開発スピードを上げる点からも望ましい。

しかしながら、企業におけるシステム開発で実践されているこの手法の利点を学生が理解するのは難しい。施策①で作成したカードゲームを用いたワークショップで理解することができる。さらには、施策④に示したように、地域企業の方と連携したワークショップを実施すると、企業の方はこの仮説検証の利点をすぐに理解し、学生にその利点を伝えてくれる。学生にとってはそのような生の声を聞くことで、理解をさらに深めることができるという効果がある。

このような仮説検証によるスピーディな開発はスタートアップ企業で広く用いられている。この事業を始める時期に学生がスタートアップ企業やアントレプレナーシップに対するイメージはGAFに代表されるインターネット関連産業であり、宇宙ビジネスとの関連はほとんど知られていなかった。このことは、施策⑥の講演会への学生参加が最終年度まで芳しくなかったことの一因でもある。学生に宇宙ビジネスの発展が周知できたことで、講演会の参加者も増え、「仮説検証」への興味も深まるという相乗効果が生まれるようになった。さらには、宇宙ビジネスの最新動向が必要であり、そのための講義科目設計のために施策④の動向調査を必要とした。

さらに、本事業では施策②で示したCanSatによるモデリングスキルのための演習では、CanSatを製作する1年生だけでなく、指導する上級生の「教育法の習得」も演習として扱った。これにより、システム思考に対する理解が深まるとともに、本研究センターの主目的である施策⑤の超小型衛星プロジェクトによる実践を通して、システム思考の実践力をさらに高めることができる。

このようにすべての施策を体系的に統合した教育は、主管実施機関の「高度研究型大学」という理念を実現する人材育成に合致したものである。

## ②若手研究者の育成

日本の宇宙開発利用を促進するためには、宇宙開発の重点がサービスに移行し、スタートアップ企業の存在感が高まっている現状を理解し、それに適応できる人材を育成することが不可欠である。本事業では、一般的な講義や演習だけでなく、1年生への指導を通して「システム思考の指導法を獲得する」教育、さらに超小型衛星開発を通して「システム思考の実践力」を身に付ける教育を含む体系的で実践的な教育により、「仮説検証」のスキルと「アントレプレナーシップ」を身に付けた人材を育成することができる。このような人材は、将来、宇宙科学技術の発展に寄与する活躍が期待できる。

### 「有効性」

#### ① 人材の養成

本事業で主な対象となった SSSRC の学生人数の推移を表 4 に示す。まず、SSSRC に入る 1 年生が増えたことで全体の人数が増えている。R2 年度は新型コロナの影響で減少しているが、減り幅は小さい。また、施策

表 4 SSSRC の学生数推移

| 年度         | B1 | B2 | B3 | B4 | M1 | M2 | 計  |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|
| H30 年度末    | 17 | 10 | 7  | 9  | 3  | 4  | 50 |
| H31 年度末    | 25 | 16 | 8  | 6  | 9  | 3  | 67 |
| R2 年度末     | 16 | 20 | 16 | 8  | 3  | 9  | 72 |
| R3 年 10 月末 | 21 | 15 | 20 | 16 | 6  | 3  | 81 |

②の CanSat 教育において、上級生による指導にシステム思考を取り入れたことで、CanSat 終了後にやめる学生が減り、そのまま活動を継続する学生が増えている。実施前の H29 年度 1 年生（現在の M1）は 2 年生に進級した時点で 17 人から 10 人へと減少していた。やめる人数が減ったのは、仮説検証を取り入れたことで、CanSat の致命的な失敗が無くなり、失敗の原因がわかる程度にとどまり、その失敗から得た教訓を小型宇宙機の研究開発に繋がたいと思う学生が増えたためであり、本事業の効果と言える。

また、施策③の CanSat 実習で指導を行った学生へのアンケートからは、「1 年生のときはシステム思考を使うことすらままならない状態でした。自分が上級生となり、教える立場に回ることによって初めて見えてくるものが多くなった印象があります。現在（4 年生）では、衛星のような複雑なシステムに対してもより広く柔軟な視点でシステム思考や仮説検証を行うことができるようになったと感じています。」という回答やこれに類する回答が多く見られ、CanSat 製作 → CanSat 指導 → 超小型衛星プロジェクト という段階を経て、仮説検証やモデリングスキルが身に付いている。このように、段階を追って複雑なテーマに取り組むこと、また、その合間に、施策④のワークショップや施策⑥の講演会に参加することでモチベーションを維持向上することで相乗効果が得られ、人材育成に大きな効果があった。

#### ② 直接・間接の成果・効果やその他の波及効果

本事業はアントレプレナーシップ・システム思考をテーマとしていたため、これと類する目的をもつリーディング大学院の「戦略的システム思考力演習」への聴講を許可してもらい、「エッジプログラム」を扱う高度人材育成センター主催の講演会やビジネスアイデアコンテスト等に、SSSRC の学生が参加することがあった。これまでに交流がなかったビジネスに興味のある学生と多く交流する機会があり、このことも、SSSRC の学生が宇宙ビジネスへの興味を高める大きな機会となった。

さらに、これは SSSRC の活動や本事業の活動を学内で周知する機会となった。さらに、学外では、宇宙ビジネス関係者、ハッカソンなどの活動をしている方々に本事業を宣伝し、学外でも人脈を広げるこ

とができた。このことは、本事業での講演や、超小型衛星開発において有形無形のさまざまな協力を受けることにつながった。

## 「効率性」

### ① 計画・実施体制の妥当性

本事業は、SSSRCの学生を対象として、超小型衛星のような複雑なシステムを効率的に開発するための「システム思考・デザイン思考」の中心となる仮説検証教育法の構築、急速に発展してきた宇宙ビジネスおよびスタートアップ企業への理解を通じた将来の宇宙技術への関心向上と超小型衛星開発へのモチベーションの向上につなげるアントレプレナーシップの涵養を目的とした「教育プログラム」の構築に向けた取り組みを行った。そのために、SSSRCのセンター長を務める小木曾が代表を務め、仮説検証を用いるシステム開発設計のためのWebツールを生業とし、宇宙工学の専門家から構成される(株)レヴィおよびベンチャーアクセラレーター支援を生業としている(株)インディージャパンを共同参画機関とする体制により、本事業の各施策を実施した。

学内では、高度人材育成センターのスタッフの尽力により、リーディング大学院の演習科目である「戦略的システム思考力演習」に学部生の聴講を許可され、システム思考・デザイン思考の教育機会を得ることができた。さらに、高度人材育成センターが主催する「ビジネスコンテスト」への学生の参加など学生のモチベーション向上を図り、本事業の人材育成に相乗効果が得られた。

### ② 費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

本事業では、費用対効果を最大限に上げるべく、府大が有する講義室、実験室、試験設備を十分に活用した。CanSat落下実験は府大グラウンドで気球を用いて実施することで費用節約に努めた。また、曝露部品のガンマ線照射試験には学内の放射線研究センター施設を、超小型衛星の構造部品製作には学内の生産技術センターを利用した。生産技術センターの職員には高度な金属加工だけでなく、学生が設計した部品の改善策を教示してもらうなど、費用削減だけでなく、学生への教育効果も得られた。

さらに、施策⑤の超小型衛星の振動試験では、企業に試験施設を無償で利用させていただき、また日程の便宜を図っていただくことで、日程遅れの挽回ができた。さらには、振動実験原理の教育をしていただき、学生への教育効果も得られた。施策③のワークショップは、連携で実施した関西学院大学イノベーション研究センターやS-Cubeさかい新事業創造センターに無償で会場を使用させていただいた上に、企業の参加者を集めていただくなどの協力を得た。費用効果に加え、学生は参加した社会人と交流することでシステム思考の重要性を覚えてもらうなどの教育効果も得られた。

本事業の各種事案を実施するにあたり、計画立案から講演者の日程調整や参加者募集などの事前準備から講演会実施後のアンケートなどの事後処理に伴う文書管理やスケジュール管理等の運営管理業務が必要となる。これらの業務を遂行するにあたっては、施策⑤の超小型衛星開発における各種モデル作成や進捗管理でも用いたWebツール「Balus」(共同参画機関の(株)レヴィ開発)を用いた。文書管理やスケジュール管理には威力を発揮し、効率的に事業管理を遂行することができた。

## (2) 成果

### 「アウトプット」

宇宙ビジネスの動向を理解し、スタートアップの存在感が高まっている現状に対応できる人材として、アントレプレナーシップ、システム思考、デザイン思考を身に付けた人材の育成を目的とし、3年間に SSSRC に所属した学生 91 名に対して事業を実施した。(学生数の年度推移は、表 4 参照)

まず、施策①を通して、共同参画機関の(株)レヴィが、初学者が「システム思考・仮説検証」を理解するための 3 種類の教材およびカードゲームを制作した。この教材は、施策②で、H31 年度と R2 年度の 1 年生 41 名が CanSat 演習に入る前のモデリング講習で使用している。同時に、H31 年度と R2 年度の指導上級生 39 名は指導するためにこの教材を勉強しなおした。さらに、この教材は上述したように本施策を通して、SSSRC 以外の学生や社会人 88 名に利用してもらい、「システム思考・仮説検証」の教育を広めることができた。

本事業では、表 5 に示す 5 つの達成レベルを設定している。学生の成長成果を調べるために、R2 年度の最初と最後に 2 年生以上の在學生に達成度に対する自己評価アンケートをし、成長度を調べた。なお、回答数は 56 名中、事前が 21 名 (38%)、事後が 26 名 (46%) であった。大多数の学生が、1 年間でレベルが向上したと判断した。また、R3 年 10 月に事業期間中の卒業生 21 名に同じアンケートを実施した。卒業生の回答数は 14 名 (67%) であった。それらの結果も表 5 に示す。卒業生は、レベル 4 と比べてレベル 5 が高い。卒業生には「本事業で学んだことが役に立っているか」を問うたところ、「ある程度役立っている」2 名、「役立っている」7 名、「大いに役立っている」4 名、「役立ったことを周囲の人に展開している」1 名であり、本事業を通して能力は社会に出てからも役立っている。

表 5 本事業における人材育成レベルと R2 年度 2 年生以上の事前・事後および卒業生の自己評価

| レベル | 概要  | 対象学年            | R2 年度        |              | 卒業生<br>(14 名) |
|-----|---|-----------------|--------------|--------------|---------------|
|     |   |                 | 事前<br>(21 名) | 事後<br>(26 名) |               |
| 1   | 体系的な知識が身に付いている。                                   | 学域<br>1～2 年     | 10           | 2            | 0             |
| 2   | 小規模なシステム開発の経験を持ち、グループワークにおけるコミュニケーションの重要性を理解している。 | 学域<br>2～3 年     | 6            | 7            | 0             |
| 3   | 要求・機能など抽象的な視点でシステムを捉えることができる。                     | 学域<br>3～4 年     | 3            | 6            | 4             |
| 4   | 多様なステイクホルダとの調整能力が身に付いており、ユーザーから学び続ける姿勢を持っている。     | 学域 4 年～<br>修士以上 | 2            | 9            | 3             |
| 5   | 適切な仮説を立て、検証し、システムへ反映する能力を持ち、課題解決への不屈の意志を持つ。       | 学域 4 年～<br>修士以上 | 0            | 2            | 7             |

R2 年度の事前・事後調査では、「システム思考の理解度」、「コミュニケーションの重要性」、「アントレプレナーシップの重要性」、「宇宙ビジネスの理解度」についても 5 段階で自己評価をしてもらった。表 6 にその結果を示す。R2 年度 1 年間での成長は、システム思考の理解度 (71%→100%)、コミュニケーション能力 (86%→92%)、アントレプレナーシップの理解度 (71%→92%)、宇宙ビジネスの理解度 (48%→92%) といずれも向上している。ただし、後者の 2 項は前者に比べて評価レベル 3 が多い。これらの 2 項目に対する理解度はまだ向上の余地がある。

卒業生アンケートによると人材育成レベルは高いが、個々の項目に対する自己評価は学生ほどは高くなく、システム思考の理解度 (79%)、コミュニケーション能力 (86%)、アントレプレナーシップの理解度 (57%)、宇宙ビジネスの理解度 (86%) である。特に、アントレプレナーシップに関しては、『『アントレプレナー』 = 『起業家』というイメージから『目標を持った人』へ』というイメージを定着するのに時間

がかり、卒業生はその理解が不十分であったからだと言える。3年目の学生に対して、ようやく所期の目的を達成できるレベルに達することができた。

一方、卒業生のアンケートにおける「本事業で最も学びや気づきが多かった点」に対する自由記述として、「人によって物の見方や考え方・言葉の選び方が違うということが、チームワークにおいて忘れがちになってしまう。チーム内の認識を統一させるためにシステム思考/デザイン思考という考え方が役立った」、「システムをどのような視点で評価すべきかを言語化して理解することができた。」など、システム思考が学べたという意見が多くみられ、当初の目的に対して十分な成果が得られたと言える。

表6 本事業およびSSSRCの活動を通して得た能力の自己評価の比較 (1:低い ~ 5:高い)

| レベル | システム思考の理解度 |    |     |      | コミュニケーション能力 |    |     |      | アントレプレナーシップの理解度 |    |     |      | 宇宙ビジネスの理解度 |    |     |      |
|-----|------------|----|-----|------|-------------|----|-----|------|-----------------|----|-----|------|------------|----|-----|------|
|     | R2年度       |    | 卒業生 | 一般院生 | R2年度        |    | 卒業生 | 一般院生 | R2年度            |    | 卒業生 | 一般院生 | R2年度       |    | 卒業生 | 一般院生 |
|     | 事前         | 事後 |     |      | 事前          | 事後 |     |      | 事前              | 事後 |     |      | 事前         | 事後 |     |      |
| 1   | 0          | 0  | 0   | 3    | 0           | 0  | 0   | 1    | 2               | 0  | 2   | 6    | 2          | 0  | 0   | 2    |
| 2   | 6          | 0  | 3   | 9    | 3           | 2  | 2   | 1    | 4               | 2  | 4   | 6    | 9          | 2  | 2   | 7    |
| 3   | 11         | 9  | 3   | 12   | 8           | 3  | 6   | 12   | 12              | 12 | 2   | 11   | 7          | 14 | 4   | 13   |
| 4   | 3          | 15 | 5   | 0    | 8           | 9  | 4   | 7    | 3               | 11 | 5   | 1    | 3          | 9  | 4   | 1    |
| 5   | 1          | 2  | 3   | 0    | 2           | 12 | 2   | 3    | 0               | 1  | 1   | 0    | 0          | 1  | 4   | 1    |

また、本事業に参加していない本学航空宇宙工学分野博士前期課程所属の大学院生35名に対しても同じアンケートをとり、24名から回答を得た。その結果も表6に示している。3以上と自己評価した学生の比率は、コミュニケーション能力に関してはさほどの違いはないけれど、システム思考、アントレプレナーシップ、宇宙ビジネスの理解度については違いが大きいことがわかる。

「アウトカム」 (令和3年10月末時点)

本事業終了後も、事業の成果をもとに以下のような活動を続けている。まず、期間内に初期運用を行った超小型衛星「ひろがり」は、R3年度も継続して運用を行っている。「ひろがり」の運用成果を一般に伝えるためのアウトリーチ活動として、R3年度に表7に示す活動を行った。

表7 R3年度に実施したアウトリーチ活動

| イベント名                             | 時期    | 対象者         | 主旨   | URL   |
|-----------------------------------|-------|-------------|--|---|
| YOTA Japan Online ハムの集い 2021      | 5月8日  | アマチュア無線家    | 「ひろがり」の開発経緯および初期運用を学生が紹介した。                        | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=tUQYfPIjd44&amp;t=21419s">https://www.youtube.com/watch?v=tUQYfPIjd44&amp;t=21419s</a> |
| (株)Warpspace 主催 SpaceTechLT Vol.2 | 6月1日  | 一般          | 「ひろがり」の開発経緯や初期運用の成果を学生が紹介した。                       | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=E2m2khu5RgE&amp;t=547s">https://www.youtube.com/watch?v=E2m2khu5RgE&amp;t=547s</a>     |
| 大阪府立大学 「未来の博士」育成ラボ                | 6月9日  | 堺市内の中高校生15名 | 「ひろがり」に関係するミウラ折りやモールス信号の解説などのワークショップを学生が講師として実施した。 | <a href="http://www.iao.osakafu-u.ac.jp/kyouiku/mirai/">http://www.iao.osakafu-u.ac.jp/kyouiku/mirai/</a>                       |
| ソフィア・堺(堺市教育文化センター)天文教室            | 9月22日 | 一般          | 「ひろがり」の開発および運用状況を動画で学生が解説した。                       | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=tmGSu3WnG_8">https://www.youtube.com/watch?v=tmGSu3WnG_8</a>                           |

学会活動としては、「電子情報通信学会 衛星通信研究会」(5月20日、オンライン開催)で特別講演を依頼され、「ひろがり」の高速通信ミッションの技術的な概要および成果を学生が報告し、学会活動へも貢献した(<https://www.ieice.org/ken/paper/20210520WCEA/>)。また、「ひろがり」の学術成果は「日本航空宇宙学会 第65回宇宙科学技術連合講演会」(11月9-12日、オンライン)において4件発表することが確定している。また、「日本機械学会 衛星設計コンテスト」に4年生3名、3年生7名のチーム

で応募し、本選(11月13日、オンライン)での発表が確定している。これは、R2年度に本事業の施策⑤で行っていた模擬衛星を発展させた活動である。このように、学会での成果発表を通して、超小型衛星の研究分野の発展に貢献していく予定である。

システム思考やアントレプレナーシップに関する学生の興味を鼓舞するために、大学の支援を受けて、表8に示すワークショップや講演会も実施している。

本事業の目的の一つであったアントレプレナーシップが学生へ定着し、学生が自主的に次の学外のハッカソン等の行事に参加した。R3年度は、7月にオンライン開催されたディスカバリーハッカソン2021に5名2チーム(1チームはSSSRC以外の学生も含む)が参加し、うち1チームが「さくらインターネット賞」を受賞した。そのほか、8

表8 R3年度に実施した講演会・ワークショップ

月に実施されたStartup Weekend Osaka 2ndに学生3名が参加するなど、昨年度よりも多くの学外行事に参加している。

また、SSSRCの学生は次号機の企画・概念設計に向けて、学内のさ

| 開催日    | 講師                         | タイトル                         | 参加者数 |
|--------|----------------------------|------------------------------|------|
| 9月30日  | 津嶋 辰郎 ((株)インディージャパン 代表取締役) | 宇宙をシステムデザインする                | 51   |
| 10月29日 | 南部陽介 氏 ((株)レヴィ CEO)        | カードゲームで理解するシステムの基礎 (ワークショップ) | 24   |
|        | 金岡充晃 氏 (シー・エス・ピー・ジャパン(株))  | 報道ではわからないピリオネアの宇宙投資の現状と今後の展開 | 47   |

まざまな研究シーズを自主的に調査し、教員とのミーティングを行っている。これまでに、電波天文学、静電気計測センサー、レーザー推進、生物実験など幅広い分野の教員と議論している。これを足掛かりとして、学内の研究シーズを連携できる拠点へと発展させていく予定である。

さらに、高校生への宇宙教育の展開として、尼崎市立尼崎双星高等学校との「高大連携協定」を10月15日締結した。超小型人工衛星開発をめざす同校への技術協力も行う。これは大阪府立茨木工科高等学校に次いで2校目の連携となり、高校生への宇宙教育に貢献していく。

また、本事業の成果に基づき、本学において宇宙ビジネスに関する講義が、新大学(大阪公立大学)の工学部航空宇宙工学科の講義として開講することが確定した。全学部・学科に公開するため、航空宇宙工学科以外のSSSRCの学生も受講可能である。

### (3) 今後の展望

SSSRCは、新大学(大阪公立大学)設立後も継続して活動できることが決定しているため、本事業で構築した教育プログラムの一部は継続して実施できる。

資金としては、大阪府立大学のふるさと納税制度である「つばさ基金」を利用している。SSSRCは、毎年200万円程度の資金を集めている。これを施策②のCanSatプロジェクトや施策③のワークショップ、施策⑥の講演会などで利用する。施策⑤の超小型衛星開発のすべてを継続するためには足りないのので、今後、外部資金の調達が不可欠である。

施策⑥で行ったアントレプレナーシップ涵養のための講演会は、学内の高度人材育成センターが主催する講演会のうち年1-2回をSSSRCの学生が参加しやすい宇宙に関連した講演として継続する。これには、共同参画機関の(株)インディージャパン、(株)レヴィからの協力が得られる。

施策③の小規模ワークショップにも、(株)レヴィが引き続き協力していただくことが決定している。また、本事業で共同開催した「関西学院大学イノベーション研究会」、「S-Cube さかい新事業創造センター」に引き続き協力いただくことで、地域企業との連携を図って実施していく。上述したように、学生

が積極的にハッカソンなどの学外行事に参加するようになったため、これが継続できるように学生を支援していく。

施策④で計画した宇宙ビジネスの講義科目は、新大学（大阪公立大学）の講義科目となることが決定している。この講義が開始するまでは、「講演会」という形式で学生の興味をつないでいく予定である。

このように、資金として問題のある超小型衛星の研究開発を除いて、本事業で実施した施策は継続し、アントレプレナーシップと宇宙工学を融合した人材教育拠点として継続発展させることができる。一方で、資金面で問題のある超小型衛星の研究開発を継続するために、SSSRC を配下にする学内の教員で組織する「宇宙科学技術研究センター」を中心とした研究拠点・産学連携研究拠点として発展させることで、外部資金導入につなげていく予定である。

## 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げていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

## 9. 評価理由

本課題は、アントレプレナーシップ教育として一般的な講義の枠にとらわれず、宇宙システム活用人材の育成を目的として選ばれた、①MBSE、②小規模プロジェクトでシステム思考醸成、③地域企業との連携による仮説検証、④ベンチャーと一緒にビジネス教育、⑤超小型衛星、⑥アントレナーシップ醸成、のいずれの施策も価値の高い取組であり、かつ本事業で構築されたカリキュラムは宇宙工学教育の体系化がなされ丁寧に作られており、将来スタートアップを興すことにもつながるような超小型衛星のシステム思考教育に貢献している。特に、宇宙開発は単なる技術の寄せ集めではなく有機的な結合があって初めて成り立つ領域であることを念頭に、モデル化概念、プロジェクト推進、アイデアの具現化のための発想の実現方法などを学ぶ体制を十分整えており、学生が学ぶことへの楽しさを得ている点、モデル化のための学習法としてのゲーム感覚で学ぶカードゲームの開発などの面白い取組をしている点、宇宙産業のための起業を学ぶ体験により仮説検証、ビジネススタートアップ、アントレプレナーシップなど、教育機関として困難なテーマに取り組んだ点や、各種コンテストへの積極的な参加の呼びかけをしている点、宇宙科学技術研究センターを設置して事業の継続性を図っている点についても高く評価できる。

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と認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- 各施策及びプログラム全体の実施効果の検証方法が自己評価に限られていることから、アンケート等の内容（達成レベル設定等）を改善し、プログラムの教育効果を明確にすることが望まれる。
- 今後の継続計画に関して、全プログラムの継続に向けた体制及び資金調達のロードマップを明確にし、プログラムの出口となる社会的な効果（スタートアップや利用サービスへの貢献等のアウトカム）のモニタリングや学生が宇宙関連企業に就職していく流れの構築を行うことが望まれる。
- 本プログラムにおける教育効果の評価手法として、例えば京都大学で実施されているコンセプトマップを取り込むなど、さらなる工夫を期待する。
- システム思考の能力を培った者が、どのような具体的成果をだしたのか、ハッカソンにとどまらず、様々な実績をフォローアップすることを期待する。