



「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」委託業務成果報告書：平成30年度地球観測技術等調査研究委託事業

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-11-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10466/00017145">http://hdl.handle.net/10466/00017145</a>

平成30年度

地球観測技術等調査研究委託事業

「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」

委託業務成果報告書

令和元年5月

公立大学法人大阪 大阪府立大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、大阪府立大学が実施した平成30年度「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」の成果を取りまとめたものです。

# 目次

1 章 委託業務の目的および実施内容.....	1
1.1 委託業務の目的.....	1
1.2 実施内容の概要.....	1
(1)業務の実施日程.....	1
(2)本年度実績の概要.....	2
1.3 本事業で開催した行事.....	2
1.4 本報告書の構成.....	5
2 章 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.....	6
2.1 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.....	7
(1) テキスト教材.....	7
(2) カードゲーム教材『ペジテの自転車』.....	8
2.2 「システム思考ワークショップ」におけるシステム思考教育の試行と検討.....	9
(1) システム思考ワークショップ.....	9
(2) アンケート結果と検証.....	11
(3) カリキュラム構築に向けて.....	12
2.3 超小型人工衛星に関連した宇宙工学に関する講義.....	12
(1) 衛星構造に関する講演.....	13
(2) 超小型衛星の電源開発に関する講演会.....	14
(3) 電源開発に関する講演会のフォローアップ.....	15
2.4 本章のまとめ.....	17
3 章 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.....	21
3.1 小型宇宙機システム研究センターの1年生へのシステム思考教育の概要.....	21
3.2 CanSat 実習の取組.....	21
(1) CanSat 実習の方針.....	21
(2) 各班の取組.....	22
(3) 気球放出実験.....	25
3.3 得られた知見と今後の課題.....	26
付録 身近な既製品の機能分解.....	26
4 章 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.....	27
4.1 テックソン (Tech-thon) 概要と仮説検証ワークショップの課題.....	27
(1) プログラム.....	28
(2) テックソン 出場テーマ、メンバー、ならびにメンタリング状況.....	29
(3) 本事業展開における効果と課題および本事業がテックソンへおよぼす効果.....	30
4.2 PERSEUS ワークショップにおける坂本啓氏 (東京工業大学・准教授) の講演.....	31
(1) 講演の概要.....	31
(2) アンケート結果.....	33

(3) 本事業への参考点と課題 .....	36
4.3 まとめ .....	36
[4章 参考文献] .....	36
5章 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 .....	37
5.1 European Space Week 報告 .....	37
(1) はじめに .....	37
(2) European Space Week 2018 概要 .....	37
(3) カンファレンスの学び .....	38
(4) スタートアップに関するセッション .....	39
(5) その他 ～ エキシビション会場 .....	40
5.2 4th SmallSat Symposium 参加報告 .....	40
(1) シンポジウムの概要 .....	40
(2) シンポジウムからの学び .....	41
5.3 超小型宇宙ビジネスに関する講義への反映 .....	42
(1) 宇宙ビジネスを取りまく世界の現状 .....	43
(2) 日本の宇宙スタートアップ企業とその環境 .....	43
(3) アメリカ合衆国の宇宙スタートアップ企業とその環境 .....	43
(4) ヨーロッパの宇宙スタートアップ企業とその環境 .....	43
(5) 日本の宇宙ビジネスの未来 .....	43
5.4 スタートアップ企業見学ツアー等の受け入れ先 .....	43
5.5 まとめ .....	44
[5章 参考文献] .....	44
付録 SWOT分析 .....	44
6章 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 .....	45
6.1 遠隔共同作業によるシステムモデル構築と超小型衛星の研究開発 .....	46
(1) はじめに .....	46
(2) Web アプリを用いた遠隔共同開発によるシステムモデル構築 .....	46
(3) スカイプ会議による進捗管理 .....	47
(4) エンジニアリングモデル試作品ならびに各種試験の一例 .....	47
(5) 学会講演会発表 .....	50
6.2 「ひろがり」のクリティカル・デザイン・レビュー (CDR) と開発状況 .....	50
6.3 講演会における学習機会 .....	50
6.4 第62回宇宙科学技術連合講演会における超小型衛星に関する動向調査 .....	51
6.5 本章のまとめ .....	52
[6章 参考文献] .....	53
7章 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 .....	54
7.1 PERSEUS キックオフセミナーにおける津嶋氏の講演 .....	54
7.2 PERSEUS ワークショップにおける津嶋氏の講演 .....	55
7.3 まとめと課題 .....	59
8章 平成30年度のまとめと波及効果 .....	60

8.1 【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	60
8.2 【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	61
8.3 【施策 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	62
8.4 【施策 4】	宇宙スタートアップ企業や他大学の見学による宇宙開発の動向調査	63
8.5 【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	63
8.6 【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	64
8.7	おわりに	65
学会等発表実績		66
付録		67
エキシビション		

# 1 章 委託業務の目的および実施内容

本報告書では、平成30年度地球観測技術等調査研究委託事業

「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」における平成 30 年度の業務成果を報告する。

本章では、委託業務の目的および実施内容の概要を示す。

## 1.1 委託業務の目的

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、学域・学科の枠を超えた「教育プログラム」の構築につなげる。教育プログラムの素材、ノウハウは再利用可能な形で整理、公開する。これにより、「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、宇宙ビジネスを念頭に置いたアントレプレナーシップ教育拠点として発展させるための礎とする。

## 1.2 実施内容の概要

大阪府立大学「小型宇宙機システム研究センター」に所属する大学生、大学院生を対象として、以下に示す6つの施策を実施した。以下に、6つの施策に対する実施日程と実績の概要を示す。

### (1) 業務の実施日程

業務項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
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現地調査を踏まえた宇宙開発の動向調査										←	→	





[1] 「PERSEUS キックオフセミナー」開催  
 日時：2018年11月12日(月) 13:30-17:50  
 開催場所：大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス サイエンスホール(A12棟)  
 参加人数：88名(学生:43名、教職員44名、一般:1名)  
 招聘講師：室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター 樋口 健 教授

室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター 勝又 暢久 助教  
 詳細情報：<http://www.perseus.21c.osakafu-u.ac.jp/2018/11/29/kickoff/#more-170>

[2] 「PERSEUS 講演会」開催  
 日時：2019年2月13日(水) 13:00-17:00  
 開催場所：大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス A6棟3階 ラーニングコモンズ

参加対象者：宇宙開発に興味のある学生(学域・研究科問わず)  
 参加人数：学生24名(1年:9名、2年:6名、3年:5名、4年:1名、M1:2名、M2:1名)  
 他、教職員6名、関係者:2名  
 招聘講師：株式会社アストレックス 会長 菊池秀明氏  
 詳細情報：<http://www.perseus.21c.osakafu-u.ac.jp/2019/02/15/kouenhokoku20181/>

[3] 「PERSEUS ワークショップ」開催  
 日時：2019年3月1日(金) 10:00-16:30  
 開催場所：大阪府立大学 I-site なんば A1,2

参加対象者：宇宙開発に興味のある学生(学域・研究科問わず)  
 参加人数：学生25名(1年:3名、2年:6名、3年:6名、4年:6名、M1:2名、M2:2名)  
 [見学;教職員8名、一般:4名]  
 招聘講師：東京工業大学 工学院 准教授 坂本 啓氏  
 詳細情報：<http://www.perseus.21c.osakafu-u.ac.jp/2019/04/12/workshophokoku/>



文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙プログラム  
 「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」

## PERSEUS キックオフセミナー

大阪府立大学は、文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費の宇宙航空人材育成プログラム(平成30～32年度)に、「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」として採択されました。  
 PERSEUS (ペルセウス) : Program of Education through Research of Satellites and Entrepreneurship for Utilizers of Space

本プログラムは、スタートアップ企業が存在感が高まっている宇宙開発の流れに適應できる人材を育成するために、これまで大阪府立大学が培ってきたシステム思考、デザイン思考、アントレプレナー教育と、超小型人工衛星を念頭に置いた宇宙工学とを体系的に融合した新しい教育プログラム構築に向けて、(株)レイビィ、(株)インディージャパンを共同企画協賛として取り組みます。このプログラム期間においては、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・大学院生を中心に、宇宙開発に興味のある学生を対象に、高度人材育成センターとも協力して教育プログラムを試行します。このプログラム試行を通じて、小型宇宙機システム研究センターの将来を担う学生を育てるとともに、宇宙ビジネスを開拓する心意気を醸成することをめざします。

2018年  
**日時** 11月12日(月) 13:30-17:50  
 (意見交換会) B15棟シエルにて 18:20~

**場所** 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス サイエンスホール (A12棟)

**参加費** キックオフセミナー：無料  
 意見交換会：(当日受付にて) 教職員 1,000円 / 学生：無料

**(プログラム)**

13:30-13:40	開会挨拶	松井 利之(大阪府立大学 高度人材育成センター長・教授)
13:40-14:10	「本プログラムの背景と目的 一誰もが宇宙を利用できる時代を生きるために」	南野 博介(株式会社レイビィ Co-founder&CEO)
14:10-14:40	「宇宙は今、起業家が目指す最大のフロンティア」	津嶋 辰郎(株式会社インディージャパン 代表取締役マネージングディレクター)
15:00-15:30	プログラム概要説明	小本 望(大阪府立大学 工学研究科 教授)
15:30-15:50	「『ひろがり』開発 概要」	飯田 輝彦(大阪府立大学 工学研究科 M1)
15:50-16:20	「『ひろがり』ミッション部」	勝又 暢久(室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター 助教)
16:40-17:40	特別講演「宇宙構造物における硬い構造と軟らかい構造 ~学術研究とプロジェクト開発研究との狭間で~」	樋口 健(室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター 教授)
17:40-17:50	閉会挨拶	藤村 紀文(大阪府立大学 工学研究科 教授)
18:20-	意見交換会【会場：B15棟 シエル】	

**申込方法** ※意見交換会参加のみ事前申し込み必要 (キックオフセミナー参加は申込不要)


**意見交換会参加希望者は、「氏名」「所属先(学生の場合は学年も)」を明記の上、perseus@ao.osakafu-u.ac.jp へ11月9日(月)までにメールにてお申込みください。**

**申込QRコード**

問い合わせ先：大阪府立大学 高等教育推進機構 高度人材育成センター 担当：柴田(宇宙航空人材育成プログラム担当)  
 TEL: 072-252-6183 E-mail: perseus@ao.osakafu-u.ac.jp

主催：大阪府立大学 株式会社レイビィ 株式会社インディージャパン 大阪府立大学 株式会社レイビィ INDEE Japan

図 1.1 PERSEUS キックオフセミナー チラシ



文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙プログラム  
 「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」

## 2018年度 PERSEUS 講演会

### 「超小型人工衛星：衛星電源装置設計のポイントと実例」

ドリームサットプロジェクトの代表を務める菊池秀明氏より、超小型衛星の電源開発について、電源装置設計のポイントを実例を踏まえてご講演いただきます。  
 貴重な話がたくさんありますので、宇宙開発に興味のある学生はぜひご参加ください。

**衛星電源に対する厳しい要求!?** **太陽電池とバッテリー**

**冗長設計のポイント** **電力供給におけるその他の重要な仕事**

**放射線対策** など

**講師** 株式会社アストレックス 会長 菊池 秀明氏

**日時** 2019年2月13日(水) 13:00-17:00

**場所** 大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス A6棟3階 ラーニングコモンズ **参加費** 無料

**申込方法** 参加希望者は、「氏名」「所属名(学部・学域)」「学年」を明記の上、2019年2月8日(金)までに perseus@ao.osakafu-u.ac.jp 宛にお申込みください。

**申込QRコード**

問い合わせ先：大阪府立大学 高等教育推進機構 高度人材育成センター 担当：柴田(宇宙航空人材育成プログラム担当)  
 TEL: 072-252-6183 E-mail: perseus@ao.osakafu-u.ac.jp

大阪府立大学 株式会社レイビィ INDEE Japan

図 1.2 PERSEUS 講演会 チラシ



ロゴも小型宇宙機システム研究センターの学生が考えた。これらは図 1.1～図 1.3 に示したポスターやホームページでも使用している。右上には超小型衛星があしらわれていて、小型宇宙機システム研究センターの学生に当事者意識をもってもらうのにも一役買っている。

#### 1.4 本報告書の構成

本報告書では、以下、2章から7章において、6つの施策に対する実績を順に報告する。そして、8章にまとめとそれぞれの施策の目的に対する達成度を示す。また、付録に、各種資料を添付する。

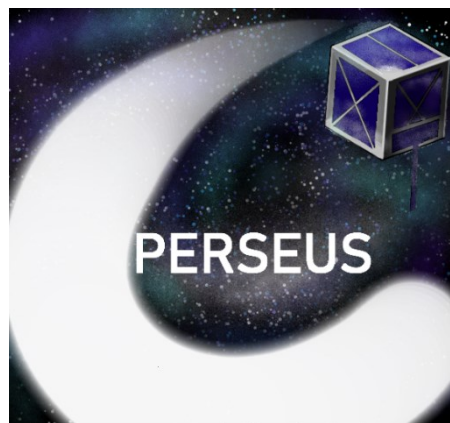


図 1.4 PERSEUS ロゴ

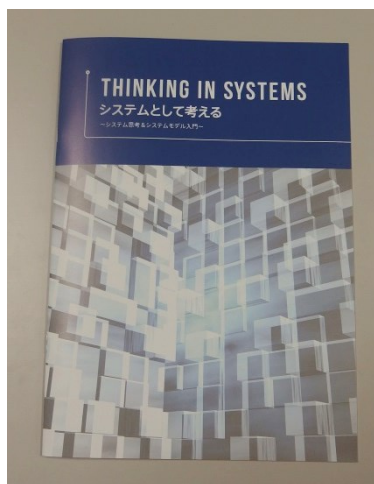
## 2章 ① モデルベースシステムズエンジニアリングの体系的な学習を支援する教材の開発

共同参画機関の株式会社レヴィが「Thinking in Systems システムとして考える –システム思考 &システムモデル入門–」というテキスト教材と、演習を通してシステム思考の基礎を学ぶ「カードゲーム」教材を作成した。これらを2.1節に示す。

そして、「PERSEUSワークショップ(2019年3月1日開催)」においてこの教材を用いて実践を交えたシステム思考教育を試行し、その結果に基づき内容の更新を検討した。それを2.2節に示す。

一方、宇宙工学に関する講義として、「PERSEUSキックオフセミナー(2018年11月12日開催)」において、室蘭工業大学の樋口健教授を招聘し、宇宙構造工学に関する講義を行った。また、超小型衛星を対象とした講義として、「PERSEUS講演会(2019年2月13日開催)」において、菊池秀明氏(株式会社アストレックス)を講師として招聘し、超小型衛星の電源装置設計に関する講義を行った。それを2.3節に示す。これらをもとにした超小型衛星を対象とした宇宙工学の導入講義の内容を2.3節に示す。最後に、2.4節に本項目に対する達成度をまとめる。

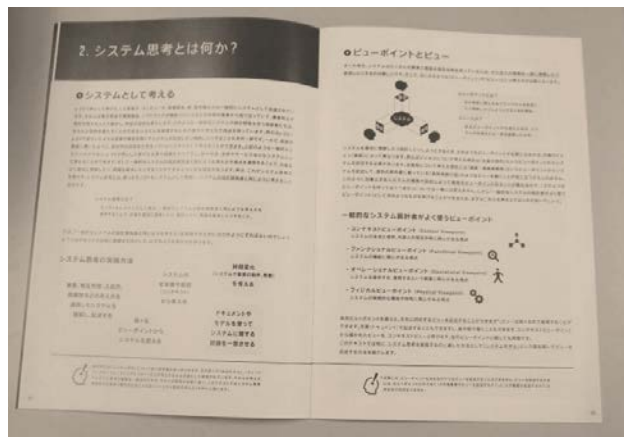
なお、国内外における超小型宇宙機ビジネス等に関する講義の内容については、関連の深い4章で述べることとする。



(a) 表紙



(b) 1 ページ目 見開き



(c) テキスト 2章 「システム思考とはなにか」 (p. 7-8)

図 2.1 本事業で作成したシステム思考の教材

表 2.1 システム思考教材の目次

1. システムとは何か
◆ システムの定義
◆ システムを記述することば
◆ システムの例
2. システム思考とは何か
◆ システムとして考える
◆ ビューポイントとビュー
◆ システムモデル
◆ システム思考の第一歩
3. システム思考のプラクティス
◆ フィジカルビュー
◆ コンテキストビュー
◆ オペレーショナルビュー
◆ ファンクショナルビュー

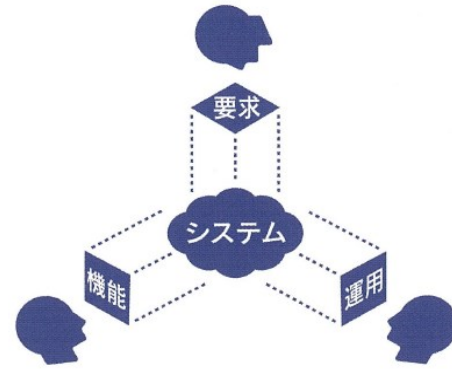


図 2.2 教材で強調しているシステムの「視点」

## 2.1 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

ここでは、システム思考とシステムのモデル化に関して体系的な学習を支援するための教材として、共同参画機関の株式会社レヴィが開発したテキスト教材と演習用のカードゲーム教材について示す。

### (1) テキスト教材

システム思考とシステムのモデル化に関して体系的な学習を支援するための教材として、「Thinking in Systems システムとして考える ～ システム思考&システムモデル入門」という16ページからなる教材を作成した。図 2.1 にその表紙、目次ページおよび内容例としてこのテキストの2章のページを示す。また、目次を表 2.1 に示す。

この小冊子では、システム思考で重要となる以下の4つの視点（ビューポイント）を強調し、その視点からのモデル化について述べている。

1. コンテキストビューポイント 外部からシステムへの要求、システムから外部への要求に関する視点
2. ファンクショナルビューポイント システムの構成要素が達成する機能に関する視点
3. オペレーショナルビューポイント システムを操作する、運用する視点
4. フィジカルビューポイント システムの物理的構成や特性、形状など、実体に対する視点

システムに対する視点（ビューポイント）として、2-4の機能、運用、実体に対する視点は、一般的なシステム思考においても、よく用いられている。それに対して、1番の「コンテキストビュー」は、超小型人工衛星などの宇宙機で必要となる視点として取り上げている。

コンテキストとは一般的に「文脈」や「状況」を示す言葉である。システムにおいては「対象とするシステムが置かれている状況」のことを意味し、そのシステムが外部の要素とどのように相互作用するかを見る視点である。これは、状況に応じた機能を自動的に実行する人工衛星にとって、どこまでが内部でどこからが外部なのかを理解すること、そしてそれが状況に応じて変化することを理解するために必要な視点となる。

システム思考とはシステムをよりよく実現するための方法論であり、システムを記述するためには、ここに示した複数の異なる視点が存在することを理解し、それらの視点を意識してモデルを構築し、それぞれのモデルを比較検証しながら、システム設計を行うことの重要性を説いている。本テキストでは、学習者の理解を深めるために、それぞれのビューポイントでシステムモデルを記述するための例題も用意している。



図 2.3 カードゲーム教材「ペジテの自転車」

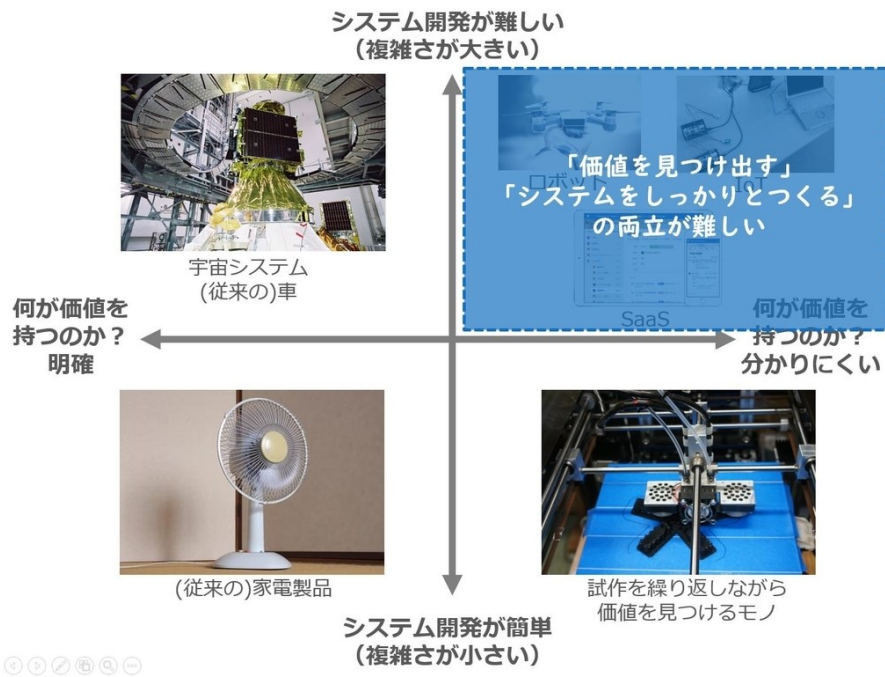


図 2.4 複雑さと価値探索の必要性によるシステム開発の分類

(2) カードゲーム教材『ペジテの自転車』

システム思考のテキスト教材だけでなく、演習を通して学ぶ教材として、図 2.3 に示す「ペジテの自転車」というカードゲーム教材を開発した。

仮想の状況下で他者の立場になりきって戦略の検討や意思決定を行うゲーム（ロールプレイゲーム）は、使い方によって優れた教材になる。また、ゲームという形式をとることで、学習へのハードルを下げ、楽しく学ぶことができる。このように教育などに役立つゲームは「シリアスゲーム」(2.1, 2.2)と呼ばれる。

今回、株式会社レヴィが開発したカードゲーム「ペジテの自転車」は、システムデザインのプロセスや複雑システム特有の難しさについて学ぶことのできるシリアスゲームである。

ペジテの自転車は4人で行うゲームであり、プレイヤーは新しい自転車システムを開発するチームメンバーの役となって、ゲームに参加する。ゲームと言っても4人のプレイヤーが競うものではなく、4人が協力して、要求を満たすシステム（自転車）を開発する。その要求が、ゲームの中では、「設定された点数を超えること」としているため、協力して高得点を目指す。このとき、一部の要求が隠されていて見えなかったり、途中で要求が変更されたり、特定の立場の人しか知らない制約があったりと、システム開発者であれば身に覚えがあると思われる展開も盛り込んである。それに対して、「仮説検証」や「システムモデリング」などのアクションをとることで問題を解決していく。

「ペジテの自転車」の特徴として、いくつかのルールセットが用意してある。例えば、「シンプルシステム編のルール」では少ない要求と短いプロジェクト期間が設定されるが、その一方で、「複雑システム編のルール」では要求の数が増え、プロジェクトの期間も長くなる。これらのルールセットは、株式会社レヴィが提案するシステム開発の分類に対応している（図 2.4 参照）。この図は、横軸に「システムの持つ価値が明確か、わかりにくいかな」を示し、縦軸に「システム開発の複雑さ」具合を示している。従来の宇宙システムは複雑であり、設計自体も困難である。けれども、その価値はわかりやすいものである。例えば、観測衛星であれば、高精度・高感度の情報が高頻度で得られるようになるなど、いわゆる「工学」目的として規定しやすい。それに対して、右上にあるロボット、IoT、SaaS などの最新のシステムはユーザーや使用状況により価値が異なる。これらはビジネスとしての価値が多様化していることに対応する。今後、宇宙ビジネスの重要性が増すにつれ、この右上の領域に対応できる考え方を習得することは極めて重要となってくる。

## 2.2 「システム思考ワークショップ」におけるシステム思考教育の試行と検討

### (1) システム思考ワークショップ

2019年3月1日(金)に「i-site なんば」で開催した PERSEUS ワークショップにおいて行った「システム思考ワークショップ (14:00~16:00)」において、小型宇宙機システム研究センターの学生など(学部生 21名(B1 3名、B2 6名、B3 6名、B4 6名)、大学院生 4名(M1 2名、M2 2名))を対象に、上記の教材とカードゲーム『ペジテの自転車』を通して、「システム思考」の基礎を学ぶ試行を行った。

まず、「ペジテの自転車」のルールは複雑なので、ルールに慣れてもらうために、最初に「シンプルシステム編」でチュートリアルプレイを行った。このチュートリアルプレイを通じて、プレイヤーは「要求が見えていないと点数を稼げない」ことに気がつく。これを学ぶことで、次に行う本番では、プレイヤーは、率先して「プロトタイピング」など要求を明確化する行動を取るようになる。

次に、「シンプルシステム編」でプレイを行った。こちらは要求数が多くないので、ラピッドプロトタイピング、つまり、「作って試してみる」ことが良い戦術となる。しかし、「複雑システム編」ではそうはいかない。リソースが不足したり、「社長の一声」で要求がひっくり返るなど、恐ろしいイベントが発生したりする。また、「視点カード」という他のプレイヤーには分からない要求を持つことになる。要求の隠され方が多彩になり、お互いの知見の共有が重要になってくる。なお、そのためのコミュニケーションにもリソースがかかり、リソースが無くなると何もできなくなる。

ゲームをプレイした後の振り返りも重要である。「なぜ成功したのか」あるいは「なぜ失敗した

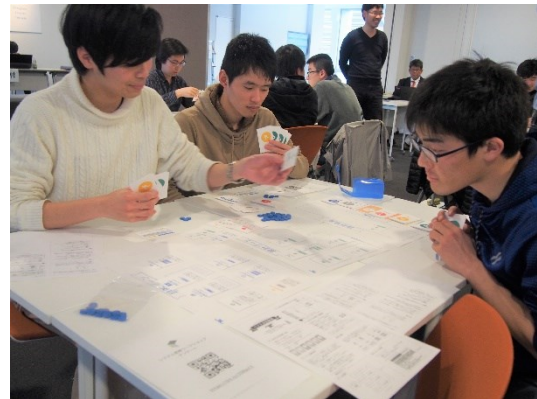


図 2.5 「システム思考ワークショップ」の様子

表 2.2 「システム思考ワークショップ」アンケート結果 1：選択編

Q1: システム思考についてワークショップに参加する前と後で理解は変わりましたか？

システム思考について理解できるようになった	28%
システム思考について少しわかるようになった	67%
あまり変わらない	5%

Q2: レクチャーや解説の内容は理解できましたか？

よく理解できた	83%
部分的に理解できた	17%
理解できなかった	0%

Q3: ゲームの目的や意図について理解できましたか？

よく理解できた	63%
まあまあ理解できた	37%
理解できなかった	0%

のか」を考えてもらい、システム設計を進める上での課題に気付かせる。そして、最後に、実際のシステム設計の現場とゲームとの対応も説明する。そして、課題に対する理解が深まったところで、2.1 節に示したテキストを用いて、システム思考についてのショートレクチャーを行った。

今回は2時間という限られた時間であったため、「複雑システム編」は割愛した。図 2.5 に示すように、学生はこのカードゲームを楽しんでいた。また、ゲームを通して学生の納得度は著しく向上したと思われる。



表 2.3 「システム思考ワークショップ」アンケート結果 2：記述編

<p><b>Q4: 「普段の業務・役割の中でシステム思考が必要となる課題はありますか？」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ある要素に設計変更が必要な際に、全体にどのような影響があるかを考えるときに必要になる。</li> <li>・ 統合した状態でのプログラムで意図しない挙動が生じたとき、そのシステムの構成を把握し、どこに問題があるかを探る必要がある。</li> <li>・ 設計と実機とのズレ(機速やパワー)の原因と対策を見つける。</li> </ul> <p><b>Q5: 「システム思考講座を受けて、課題についての考えが変わったり、具体的に行動してみようと思ったことはありますか？」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ まずチームをシステムとして考えることから始めたい。</li> <li>・ 現在学校で行っている研究について、なぜ研究が必要なのか、要求は何なのか、もう一度見直してみようと思った。</li> <li>・ 視点を共有する方法を考えてみようと思った。</li> </ul> <p><b>Q6: 「ゲーム中で印象に残っているシーンや気づきはありましたか？」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 矛盾が多い要求に対していかに最適解を出していくべきか考えることができた。</li> <li>・ 無限会議が連続して 2 ターン続いた時は辛かった。これは実際の現場で起こると致命傷だと感じた。</li> <li>・ 様々な要求があり、全てを満足するのは難しいことが体感できた。また、同じ設計に対しても様々な視点があり評価が異なることが再現されていたことが印象に残った。</li> <li>・ 多くの要求を満たそうとするほど、システムは複雑になり、システムを構築することが難しくなると感じました。</li> <li>・ 強制的に再設計を求められるとは想像しておらず、面食らいました。</li> <li>・ ゲーム内のイベントが衛星開発で経験したことと結びつくと、とても面白かった。実際のどのようなことがモデル化されたゲームなのか考えながらゲームを行うことで、より楽しめたと思う。</li> <li>・ 複雑システム編で、視点カードの点数への影響が強く作られていた。また、視点カードを仲間に見せる事ができる行動カードがあり、そのカードからは「腹を割って話そう」というような感じがした。</li> <li>・ 要求が分からないとゲームが非常に進めづらくなり、物作りを実際にしなくてもシステム開発で起きることを体験できて面白いと思った。</li> <li>・ 視点カードのマイナスが大きすぎる。</li> <li>・ イベントカードの効果が設計に大きく関わること。</li> </ul>
---

## (2) アンケート結果と検証

ワークショップ後に行ったアンケート結果（参加者 25 名中 21 名回答）のうち、選択で回答する 3 問の結果を表 2.2 に示す。今回行ったカードゲームが、システム思考を理解するのに役立ったことがわかる。次に、表 2.3 に自由記述欄の結果を示す。参加者には、小型宇宙機システム研究センターの学生だけでなく、人力飛行機の開発を行っている学生が参加していた。これら実際のシステムを開発している学生の視点として具体的な課題が見られる。特に、カードゲームと実際の体験と結びつけている点が興味深い。

特に、Q6 に対する回答からみると、「複雑システム編」におけるカードに書かれている内容を自身の経験と結びつけて考えていることがわかる。また、経験が少ない学生に対しても実際の設計開発現場の講義があれば、その内容とカードの関係の理解が進むと思われる。したがって、講義やほかの演習や開発経験との組み合わせを工夫することで、このゲーム自体をさらに効果的に用いることができるとと思われる。次年度以降も幅広く、試行を重ねて、よいカリキュラム構築につなげたい。

表 2.4 システム思考力演習 カリキュラム案 (各回 90 分×2 コマ)

	内容
第 1 回	システム思考の導入説明 カードゲームのルール説明、チュートリアル シンプルシステム編と振り返り
第 2 回	カードゲーム 複雑システム編と振り返り シンプルシステム編との違い システム思考の必要性
第 3 回	システム思考におけるビューポイント講義・演習 ビューポイントに関する演習
第 4 回	各ビューポイントから構築するシステムモデル 1 ファンクショナルビューとフィジカルビュー 機能分解と階層構造に関する演習
第 5 回	設計に関する講義 階層構造における機能と検証 設計における V モデルとはなにか
第 6 回	各ビューポイントから構築するシステムモデル 2 コンテキストビューとオペレーショナルビュー 4 つのビューを含めた演習
第 7 回	カードゲーム 複雑システム編と振り返り システム思考の知識の定着化
第 8 回	設計検証に関する講義 Validation and Verification の考え方
第 9 回	システム設計の考え方に関する演習
第 10 回 ～第 14 回	グループ設計課題 ある目的を達成するシステムを設計する
第 15 回	発表

### (3) カリキュラム構築に向けて

上に示したように、カードゲームは効果的であるが、限られた時間では「複雑システム編」までは十分に行うことができなかつた。システム思考に関する講義と合わせると、これらのカードゲームを 2 回に分けて行うのが適当である。さらに、システム思考の考え方を定着させることを考えると、表 2.4 に示すような演習科目のカリキュラムを考えることができる。なお、このカリキュラムは、現在、大学院共通科目(リーディング大学院科目)として開講している戦略的システム思考力演習をもとに、学部生向けにアレンジした内容である。

このワークショップの試行結果に基づき、講義内容の更新を検討し、教材の修正案を策定した。

### 2.3 超小型人工衛星に関連した宇宙工学に関する講義

宇宙ビジネスを念頭に置いた超小型人工衛星を考えるためには、超小型人工衛星の機能をファンクショナルビューで見ること、その実体構成をフィジカルビューとして見ること、実際の運用だけでなく、開発中の試験などで行う項目もオペレーショナルビューで見ること、また、設計、開発、運用の各過程でのそれぞれのサブシステムの役割をコンテキストビューで見ることが重要である。

そのように、宇宙工学とシステム思考を結びつけるために、人工衛星を構成するサブシステムに対する造詣の深い講師を外から招いた講演会を開催することを計画した。今回は構造と電源という二つの分野からの講演を行った。構造についてはプロジェクト経験に基づいたプロジェクト実現に向けての役割と難しさ、さらには将来展望という形式の講演を行い、電源については超小型人工衛星

を設計するために知っておくべき内容での講演と、異なる形式を選択した。このような組み合わせにより、人工衛星をさまざまな視点で見ることの重要性を気づいてもらうことも狙いとしている。

#### (1) 衛星構造に関する講演

2019年11月12日(月)に開催した「PERSEUS キックオフセミナー」における特別講演として実施した。講師は、室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センターの樋口健教授に依頼した。樋口教授は、JAXA 宇宙科学研究所に所属した時代にいくつかのプロジェクトに宇宙構造の専門家として関わった。特に、月表面に突き刺さるペネトレータという硬い構造や、ソーラーセイルとして用いられた20m×20mで厚さ7 $\mu$ mの薄い膜である柔らかい構造における開発経験から、「宇宙構造物における硬い構造と柔らかい構造～学術研究とプロジェクト開発研究との狭間で～」というタイトルで講演があった(図2.6参照)。

宇宙構造は、人工衛星の搭載物を宇宙環境(熱、放射線等)から守るための筐体から始まった。その後、太陽電池パドルや大型展開アンテナなど、宇宙空間に特有の用途としての展開構造物へと発展してきた。さらに、特殊な搭載機器構造へと範囲を広げてきている。その中には、「硬い構造」としての月ペネトレータ、「柔らかい構造」としてのインフレーター構造、大型展開アンテナ、ソーラーセイル膜面構造などと多様化してきた。これらの発展を、実際の開発経験を通してまとめて、わかりやすく講演いただいた。なお、構造だけでなく、「動いて形を変える」構造に対しては、分離機構、アクチュエータ、潤滑などの機構の研究開発も重要になってきた。ここから、「知的・適応構造」へと発展してきた。一方で、最近では、大型化だけではなく超小型化へも範囲を広げてきていて、新たな展開構造や展開機構に関する研究も進められている。このように、宇宙機の発展は、多様化する要求を実現してきた宇宙構造が担ってきたこと、そして、これからも多様化する要求を実現するための研究を開発と密着して進めることが重要であるとの示唆があった。

本講演は「特別講演」として実施したため、大学教員や職員、あるいは学外からの参加者もあった中での講演であり、学部生向けに普通に行われる講義とは異なる形式であった。このような講演会形



図 2.6 「PERSEUS キックオフセミナー」における樋口先生の特別講演

式は、大学院生になれば、学会講演会や学内で開催される専門分野の研究会に参加するなかで経験するが、学部生にとっては、滅多にない経験である。そのような機会を、超小型衛星に直接関係する内容として、提供できたこと自体も価値のあることであった。

さらに、このキックオフセミナー後の懇親会の中で、講師と参加学生、学生と一般の方との交流を通して、講義内容の理解を深めることができたこと、講演では聴けない内容を聴くことで、宇宙工学に対する関心を深めることができたという効果もみられた。

## (2) 超小型衛星の電源開発に関する講演会

株式会社アストレックス会長の菊池秀明氏に講師を依頼し、「超小型人工衛星：衛星電源装置設計のポイントと実例」というタイトルで、「PERSEUS 講演会」という名目で、2019年2月13日(水)に大阪府立大学中百舌鳥キャンパス A6 棟ラーニングコモンズを会場として開催した(図 2.7 参照)。菊池氏は、国内で開発・運用された複数の超小型人工衛星の電源開発の経験があり、開発経験を交えて、電源装置設計のポイントを講演があった。こちらは前節の特別講演とは異なり、普通の講義形式で、60分×3コマ+30分の質疑応答で行った。参加者は、学生主体で24名の学生と2名の社会人(講師関係者)があった。講演の時間割と参加者の内訳を表 2.5 に示す。

まずは、地上との違いとして、太陽電池で発生する電力は常に安定しているわけではなく、電源機器には不安定な電圧でも安定した動作が求められること、電源以外の危機は電源再立ち上げで回復できるが、電源装置自体はハングアップが許されないことが紹介された。冗長設計のポイントとして、



図 2.7 「PERSEUS 講演会」における菊池秀明氏の講演

表 2.5 PERSEUS 講演会の時間割と参加者内訳

時間	タイトル	学年	参加者数
13:00-13:05	講師紹介	B1	9
13:05-14:05	衛星電源に対する厳しい要求 冗長設計のポイント	B2	6
14:15-15:15	本当は怖い安全審査 バッテリーの安全性	B3	5
15:25-16:25	電子回路設計 本当は怖い電源のオンオフ その他	B4	1
16:30-17:00	質疑応答 ドリームサテライトプロジェクトの紹介	M1	2
		M2	1
		社会人	2
		合計	26

表 2.6 PERSEUS 講演会アンケート結果 (1/3)

1. 「衛星電源の3つのキーポイント」について理解できましたか？

(レベル: 1:ほとんど理解できなかった。2:あまり理解できなかった。3:6割程度は理解できた。  
4:8割程度はわかりやすかった。5:よく理解できた)

レベル	1	2	3	4	5
人数	1	2	7	10	4

コメント (自由記述)

学年	コメント	レベル
1年	まだまだ知識不足だと感じました	2
1年	これから衛星に携わる身として、電源の重要性を知ることができよかった。	3
1年	衛星が宇宙空間でミッションを果たすために気を付けなければならない事柄について理解出来ました。	4
2年	具体的かつ簡潔でわかりやすかったです。	4
2年	配線に関して人為的なミスを防ぐために位置的に近いコネクタの形状を変えるという発想が新鮮だった。	4
M1	衛星が成功した暁には電源系を称賛することを忘れてはいけませんね	5
M2	MPPTと直結方式の比較でどういう違いがあるのか理解できてよかった。	5

2. 「本当は怖い安全審査」について理解できましたか？

(レベル: 1:ほとんど理解できなかった。2:あまり理解できなかった。3:6割程度は理解できた。  
4:8割程度はわかりやすかった。5:よく理解できた)

レベル	1	2	3	4	5
人数	1	3	5	11	4

コメント (自由記述)

学年	コメント	レベル
1年	毎回、審査の基準が上がるというのは本当に恐ろしいと思った。	3
1年	電源の重大さを改めて感じました。	4
2年	過電流などについて PTC や SEL の内容に加えて、バッテリーの枯渇の対策などについて幅広く知識を得られた。	3
M1	審査基準を見直す機会を作ってほしいですね、打ち上げの敷居が無駄に高くなってしまっている	4
M2	バッテリーのスクリーニング試験を行った時に、異常が発生すると充放電特性のどういうところに現れるのかが分かってよかった。	5

どこを二重化すると効果的であるか、その実例を踏まえて、二重化の考え方で陥りがちな間違いも紹介があった。続いて、放射線対策として注意が必要な半導体と地上試験における半導体放射線体制の判定方法、太陽電池とバッテリーの保護方法とロケット打ち上げ時に要求される二重絶縁の考え方など、実例の紹介も交えて、わかりやすい説明があった。そして、最後には、電力供給先の機器のオンオフと保護、テレメトリー取得などについて解説があった。全体を通して、超小型人工衛星開発のための入門講義として、わかりやすく説明がなされた。

そのおかげで、超小型人工衛星の開発に携わっている上級生や大学院生からは、専門的な質問もできて、非常に有意義な講演であった。その一方で、わかりやすいと言っても学部低学年の学生にとっては難しかったようであり、講義終了後に理解を深めるための小テストも行った。

(3) 電源開発に関する講演会のフォローアップ

まず、表 2.6～表 2.8 にアンケート結果を示す。特に低学年に対しては、重要度は理解しているが、専門性の高い内容であるために内容を十分に理解することはできなかったようである。講義として

表 2.7 PERSEUS 講演会アンケート結果 (2/3)

2. 「本当は怖い電源のオンオフ」について理解できましたか？  
 (レベル: 1:ほとんど理解できなかった。2:あまり理解できなかった。3:6割程度は理解できた。  
 4:8割程度はわかりできた。5:よく理解できた)

レベル	1	2	3	4	5
人数	1	4	6	9	4

コメント (自由記述)

学年	コメント	レベル
1年	回路図の部分を指示棒またはレーザーポインターで指し示した方がよりわかりやすいと思います。	3
2年	ラッチアップの危険性について具体的に原理から説明していただけたので、イメージしやすかった。	3
M1	本講演を聞いて OPUSAT の回路図の理解が深まりました。	4
M2	MPPT と直結方式の比較でどういう違いがあるのか理解できてよかった。電源が供給できればそれでよいと思っていると、失敗してしまう部分を教えていただきありがたかった。自分たちだけで設計していると、こういう部分に自分から目を向けることができないので、外部の方から設計の注意点を教えていただくことは非常に有意義であると思った。	5

はわかりやすいことだけが重要ではなく、今後、超小型衛星の開発に携わるためには深い内容を理解していかなければいけないことを自覚し、モチベーションにつなげることも重要である。特に、自由記述については1問目の設問を除いて、理解度の低い学生からのコメントがなかったことから、それがわかる。なお、理解度を深めるための工夫も必要ではあるが、衛星開発のために何をしなければならぬかを具体的に系統的に理解できるよい機会となった。一方、超小型人工衛星の開発経験のある学生にとっては、よい復習の機会となった。日頃、疑問に思っていた内容を明確にすることができたようで非常に好評であった。

このアンケートを通して、学生の間で、学年による理解度の違いを認識することができたことは、チームで設計開発を進めるうえでも有用であった。自由記述欄では、高学年においては他の分野の講演への希望もあることから、今後の2年間における試行において系統的に進めるようにしたい。

一方、理解度を高めるため、高学年の学生により、低学年の理解度を深めるための確認テストを作成した。その問題を図 2.8 に、低学年(1、2年生 15名)の問題ごとの正答率を表 2.9 に示す。この結果をもとに、上級生が個別指導を行った。

また、低学年学生が書いた感想のうち、それぞれの学年に対する1名ずつの感想を図 2.9、図 2.10 に、それぞれ示す。これらの結果から宇宙工学に関する講義内容として対象学年を2年生以上とし、1年生はオブザーバー参加として、上記のようにフォローアップをすることでモチベーション向上に役立てることに専念させることとした。また、1年生には導入教育として、②で示す小規模プロジェクト(缶サット)でシステム思考に専念することにするように見直す。

表 2.8 PERSEUS 講演会アンケート結果 (3/3)

4. 今回の講演会に対する感想や今後扱ってほしい題材など、要望等あれば記述してください。

学年	コメント
1年	今後参考になりそうなことが多くあったと思う。
1年	専門的な話が多かったがとても興味深かった。
1年	宇宙開発の現状
1年	衛星プロジェクトに配属されて間もない今技術的なことはわからないことばかりではあったが、衛星電源という話題に触れることができ有意義だった。
1年	一回生であまり知識のないため難しく感じた。最後の30分のスライドは興味が湧いてきました
1年	講義で用いられていた用語がそもそも分からず、壁を感じました。ある程度の知識をつけられるようにこの春休み自学自習に励もうと思いました。
1年	少し専門的な話が多かった。
1年	最後の宇宙ビジネスに関するお話がとても面白かったです。
2年	電源に関する注意すべきことが簡潔にまとめられていたので、とてもお話が分かりやすかったです。
2年	全体的にかなり高度な内容で今の自分では理解するのが難しかったです。
2年	電源についてピンポイントで講演していただいたので、専門性は高く難しい部分が多かったが、衛星の設計に際して留意すべき点がいくつもあることがよく分かった。ちょうど安全審査を控えている時期なのでタイムリーな話題についても講演していただけて有意義だった。
2年	安全審査における電源に対する要求が高まっていることがわかりました。
2年	このような貴重な機会をいただけてよかった
2年	1回目から3回目の講演に進むにつれて内容が専門的になり、難しかったです。貴重な話が聞けて満足しています。
3年	実例が少し難しかったのでもう少し簡易化した回路図があったら良かったと思います。
3年	システム設計に関する題材を扱ってほしいです
3年	わかりやすい講演だったと思います
3年	安全審査前に貴重なお話が聴けてとても勉強になりました。ありがとうございました。
3年	全体的に具体的な話で回路を扱った経験に乏しい身としては理解が進まなかったが、どういう思想で設計を行っていくのかを知ることができたのは、電源系のお話を聞く上で助けになると感じた
4年	他の分野に関しても講演を行ってほしい。
M1	ソフトウェアの担当者が多いので、ソフトウェアに関する講演は関心がある人が多いかと思えます。
M1	構造や姿勢についても扱ってほしいです
M2	私は、SSSRCで電源の設計を担当していたため(回路を触り始めて4年)講義の内容はよく理解できました。内容もとても充実していて今まで設計の中で考えてきたことが体系的に整理されていてわかりやすかったと思います。とても満足しました。ただ、FETなど電子回路の単語が結構登場していたので、電子回路の一般的な単語をある程度理解している人でないと、内容の理解が難しいところがあったのではないかと感じました(電源系設計に取り組み始めて半年~1年くらいだった人向けという感じがしました)。最後の30分の内容は全学年対象という感じでよかったと思います。

## 2.4 本章のまとめ

本施策に対する達成度を表 2.10 にまとめる。各項目について概ね達成できている。2.1 節に示したように、超小型衛星開発およびビジネス利用に有効なシステム思考、デザイン思考に基づいたモデリング手法をまとめた教材を作成し、公開した。そして、2.2 節に示したように、その教材を用いたモデリング手法に関する入門講義をワークショップとして試行した。このワークショップの試行結果に基づき、講義内容の更新を検討し、教材の修正案を策定した。そして、2.3 節に示したように、

以下の問題に、○×で答えよ。(カッコ内が正答)

1. 衛星電源における 3 つのキーポイントはロバスト性・十分な打ち上げ振動耐性と宇宙耐性・高い電力効率である。(○)
2. 民生品はトラブルを検出した場合、故障を表示して停止する。(○)
3. 衛星の電源では電子部品の故障モードを知る必要があるので、重要な抵抗は並列にコンデンサは直並列につなぐべきである。(○)
4. 冗長設計においてはシンプル・イズ・ベストではない。(○)
5. 電力ロス → 丸々発熱 → 放熱筐体重量増。(○)
6. バッテリー直列型は複雑な回路や制御が必要ではあるが、太陽電池の最も効率の高いポイントで電力を取り出すことが可能である。(×)
7. 電磁界輻射の最大化は電源の設計において留意しなければならない。(×)
8. 人為的なミスを考慮した設計が重要である。そのためにテストピン、同一ピン数のコネクタについてはなるべく隣接するように配置する。(×)
9. 温度安定しないと送信周波数が本来想定している物からずれてしまうため、通信への電力供給シーケンスではアナログ回路の温度安定の時間を必要十分に確保すべきである。(○)
10. 模擬太陽光照射による電力試験では総合効率を少しでも向上するためにあらゆる角度からの追求と検討を行うべきである。(○)
11. 温度上昇に対して急激に抵抗が増大するサーミスタを PTC という。(○)
12. 衛星を組み立ててから半年後でもバッテリー残量が半減しないのが望ましい。(○)
13. バッテリーは過電圧、過電流で発火する恐れがあるが、低電圧では発火することはない。(×)
14. バッテリースクリーニングを行う際、充放電試験では充放電特性を調べるだけでなく、バッテリーの重量も調べたうえで、試験前後での比較を行うのがよい。(○)
15. 保護回路は確実に動作し、確実に復帰できなければならない。(○)
16. 人為的なミス为了避免のため、重要な配線は1つにするのがよい。(×)
17. アルマイト処理は導電性があるが、アロジン処理は導電性がない。(×)
18. バッテリーの安全性を考慮して過充電・過電流保護回路を備えるだけでなく、安全審査における JAXA からの要求でインヒビット回路や RBF ピンを設ける必要がある。(○)
19. バッテリー残量が 0 になっても、バッテリーの恒久損壊につながることはない。(×)
20. ロケット打ち上げ時、ロケットの制御の妨害にならないために、衛星の無線送信器に電源が入らないようにしなければならない。(○)
21. 放射線により電子機器がショートする可能性がある。(○)
22. ソフトスタート時間が長すぎるとリセットミスリスクが高くなる。(○)
23. I2C 通信は双方向通信規格である。(○)
24. CMOS の IC は待機電力がゼロに近似できる。(○)
25. 宇宙では帯電しにくい。(×)
26. トリップまでの時間は長いほど良い。
27. I2C における SCL はデータ転送のための信号線である。(×)
28. プリント基板には浮きパターンを設ける必要がある。(×)
29. 突入電流による故障のリスクは低いので設計時に特段考慮する必要はない。(×)
30. トリップにより他の電子機器に影響を与える場合があるため設計時に考慮する必要がある。(○)

図 2.8 電源開発に対するフォローアップ問題 (太字は正答率の低い問題)

超小型衛星を対象とした宇宙工学に関する講義として講演会形式と講義の二本立てで行った。講演会形式は全体の概要を掴むのには効果的であることを示した。一方で、講義については専門的な内容が多くなることから低学年の学生についてモチベーションの向上を目的にオブザーバー参加とすることとして、対象学年の見直しを行った。一方で、上級生がフォローアップを行うことである程度の教育効果がみられる。また、超小型衛星開発を行うチームメンバーとしてのモチベーション向上に効果がみられることを示した。



表 2.9 電源開発問題の回答と正答者数 (15名中)

問題	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正答者数	15	13	15	15	14	12	10	14	13	15
問題	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
正答者数	14	15	13	15	15	15	11	15	15	14
問題	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
正答者数	14	15	15	14	15	14	10	13	15	15

○工学域 機械系学類 1年

今回の文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費の宇宙人材育成プログラム(以下 PERSEUS とする)の講演会では株式会社アストレックス会長菊池秀明様にお越し頂き、ご講演いただきました。一回生の私は Can-Sat プロジェクトを終え、衛星開発へ合流したばかりで正直なところ衛星のなんたるかについては全くわからない状態で今回のご講演を拝聴することになり、技術的な内容に関してはわからない点多々ありましたが、わからないなりに、今回のご講演から感じたことを稚拙ながら言葉にしたいと思います。

まず、衛星電源には三つのキーポイントがあり、一つ目が「ロバスト性」、二つ目が「十分な打上振動耐性と宇宙耐久性」、三つ目が「高い電力効率」ということでした。このあたりについて Can-Sat の経験と照らしてみると、Can-Sat 開発では、乾電池を使った電源を使用していて、ただマイコンやモータードライバへ接続しているだけで、機器にトラブルが起きても電力供給を途絶えさせないことであつたり、緊急停止しても自己復帰ができることであつたりといった能力は考慮していないことから、Can-Sat 開発で必要な要求はどれほど容易なものであつたかを感じさせられ、また衛星開発というものがどれほど高いものを要求されるのかということはこの初めの部分だけでも感じさせられました。冗長設計に関するお話の中でのシンプル・イズ・ベストではないというお言葉に意外さを感じたのと同時に、そういえば Can-Sat 開発を振り返って開発の過程で先輩方からの重要な機能はできる限り冗長させるようにと助言を受けて書いたプログラムはたしかに複雑化していたことに思い当たるにつけて、この点は衛星開発にも通じる部分があると感じました。冗長に関しても電力効率の点に関しても工夫を加えすぎるとそれはそれで電子回路が複雑になりすぎるというデメリットも発生すると思われるのでトレードオフの関係にあるのだろうかと思いました。衛星開発全体で見たとき目下のタスクの大きな照準である安全審査において電源系は特に厳しい目を向けられるというお話で、たしかにエネルギーの塊であるバッテリーを扱う電源系は安全性を確実に証明しなければならないというのは道理であつて、Can-Sat 開発で Li-ion 電池が使用禁止になっていることから電源という分野に安全面での規制や条件が厳しくかかることは納得できました。ソフトスタートについては今回のご講演で初めて耳にし、電子回路的な知識が必要になる問題ということで、現在回路の知識は特に乏しいと感じているので今後の衛星開発に少しでも貢献できるように電子回路のこともしっかり勉強しなければならないと感じました。

図 2.9 電源系講義に対する 1 年生の感想

[2 章 参考文献]

- (2.1) 白鳥和人、星野准一、シリアスゲーム、人工知能学会誌, Vol. 23, No. 1(2008), pp. 79-84.
- (2.2) 藤本徹, ゲーム学習の新たな挑戦, 放送メディア研究, No. 12(2015), pp. 235-252.

○現代システム科学域 マネジメント学類 2年

今回の PERSEUS 講演会では、株式会社アストレックスの菊池秀明氏にご登壇いただいた。講演は3部構成で、衛星の電源装置の設計に関して、事例を交えながら詳しくご講演いただき、非常に充実した時間を過ごすことができた。

第1部では衛星電源のキーポイントとしてロバスト性、十分な打ち上げ振動耐性と宇宙耐性、高い電力効率の3つが求められることを学んだ。衛星電源が故障し動作を停止してしまうと、衛星はただの宇宙ゴミと化してしまう。これを防ぐために電源の一部が故障しても電源供給を続けること、そして他の機器が故障しても巻き込まれずに動作し続けることが必要である。菊池氏はこのような役割を担う電源系のことを「縁の下の力持ちだ」と表現されていたが、これを聞いて実際に私も衛星を開発する中で、電源が正常に動くことを前提として軌道上での動作を考えてしまいがちであることに気づくことができ、電源装置が果たす役割の大きさを再認識することができた。またこれまで基板上のコネクタのピン数は意識したことがなかったが、誤った配線を防ぐために同一ピン数のコネクタを隣接させないといった工夫が有効であるということを知り、新鮮に感じた。

第2部では衛星の安全審査で求められるバッテリーの安全性について学んだ。その中でも特にダイオードに関して、それまで私はダイオードが持つ整流作用を疑ったことがなく逆方向の漏れ電流の存在を意識したことがなかったため、実は漏れ電流のためにバッテリーが空になることがあるという話が衝撃的だった。またバッテリーの放電を抑えるためにバッテリー温度を10度から20度程度に保つ必要があることが分かり、温度センサーによる監視とヒータによる温度制御の重要性を知ることができた。

第3部では電子回路設計に関して、菊池氏がこれまでに関わってこられた衛星での実際の回路例を交えながら具体的に学ぶことができた。電源の機能を維持するうえで警戒すべきラッチアップについても、原理から図を用いて説明していただき、非常にイメージしやすかった。また現在 SSSRC で開発している CubeSat 「ひろがり」では OBC や一部センサーなどに CMOS 部品を使用しているが、CMOS の IC は SEL が生じやすいという欠点があるということを知ることができ、電子ヒューズや保護抵抗の役割と重要性を再認識することができた。

このように、今回の講演では衛星電源装置に関して幅広く詳細に学ぶことができた。普段衛星を開発する中で、回路やバッテリー周りの設計についてはあまり考えることができていなかったため、今まで意識していなかった部分について事例を交えながら学ぶことができた今回の講演は非常に有意義だった。衛星に関してより幅広い知識と経験を得られるように、「ひろがり」について普段から詳細な設計を気にしながら開発を進めていきたいと改めて感じた。

図 2.10 電源系講義に対する 2 年生の感想

表 2.10 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に対する達成度（○：十分，△：一部未達成，×：不十分）

項目	達成度	備考
超小型衛星開発およびビジネス利用に有効なシステム思考、デザイン思考に基づいたモデリング手法をまとめた教材の作成と公開	○	
教材を用いたモデリング手法に関する入門講義をワークショップとして試行	○	
試行結果に基づいた講義内容の更新検討と教材修正案の策定	○	翌年度の試行により、さらに修正を行う可能性もある。
超小型衛星を対象とした宇宙工学の導入に関する講義内容の検討	○	対象学年の見直しを行った

### 3章 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

この施策では、小型宇宙機システム研究センター所属の1年生を対象に、機能分解などの実践を通して、システム思考、デザイン思考に基づいたモデリング手法を身に付けるための演習を試行した。この演習では、実質的に、小型宇宙機システム研究センター所属の上級生が積極的に指導を行う。本年度は、2年生以上の新入生教育担当者7名と有志8名で行った。学部1年生がモデリング手法を身に付ける教育であると同時に、上級生がモデリング手法を教育できるようになるための演習の役割も果たしている。

この教育全体の目的ならびに構成を3.1節に示す。当初は、本事業が開始となる2018年9月から、身近な製品（具体的には、ボールペンやホチキスなどの文房具）を対象にした演習を行うことを計画していた。しかし、開発している超小型衛星「ひろがり」プロジェクトに、早い段階で一年生に参加してもらう必要が出たため、ボールペンを使ったモデリング講習は本事業開始前となるが、7月から開始した。9月以降は、モデリングスキル習得のための実践的な演習としてCanSatの実習を行い、製作したCanSatの放出実験を2018年12月16日(土)に大阪府立大学グラウンドで実施した。そして、12月29日(土)に開催した小型宇宙機システム研究センターの年末報告会にて、一年生がチームごとに成果を発表し、終了とした。このCanSat実習について、3.2節で報告する。なお、小型宇宙機システム研究センターでは、これまでもCanSat実習を行ってきた。本年度は、過去の反省を踏まえて、主にシステム思考を身に付けることを目的に運営を改善したので、その点についても説明する。そして、最後に、3.3節に、本演習から得られた知見と今後の課題をまとめる。

#### 3.1 小型宇宙機システム研究センターの1年生へのシステム思考教育の概要

1年生の教育は、これまで、超小型衛星などの開発に必要な技術やシステム思考の基本を身に付けることを目的に、プログラム講習、回路講習、モデリング講習、CanSat実習から構成している。この教育は、上級生が企画し、指導する体制で、学生が自主的に行ってきた。その基本コンセプトを図3.1に示す。今年度、行った講習内容を表3.1に示す。図中、赤字で示したのが今年度追加した部分である。システム思考のモデリング部分を追加している。

#### 3.2 CanSat実習の取組

##### (1) CanSat実習の方針

CanSat実習の方針は、小型宇宙機システム研究センターの大学院生が企画し、学部上級生が指導

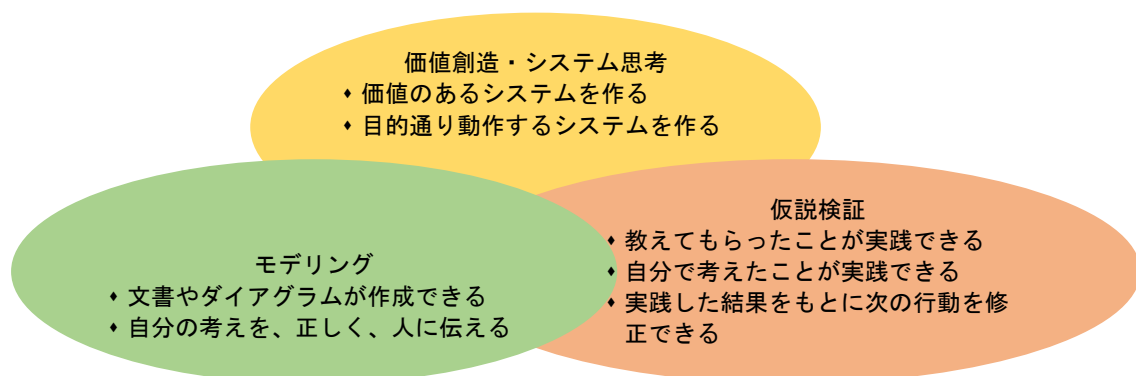


図 3.1 1年生教育の基本コンセプト

表 3.1 1 年生教育の内容

項目	内容
プログラミング講習	mbed などマイコン用プログラム
回路演習	電子回路に関する基礎知識 電装系に搭載される電子デバイスについての知識 CanSat でよく利用されるデバイスの動かし方
モデリング演習	システム要求分析の方法 システムのふるまいの表現方法
CanSat 実習	これまでに学んだことの実践 システム開発に必要な文書の作成方法 プロジェクトマネジメント能力

しながら進める。今年度は、これまでの反省を踏まえ、本事業の目的を加味し、次のように定めた。それぞれの項目とその内容を簡単に記す。

◆ 致命的な失敗を防ぐ

これまで、CanSat 放出後のパラシュート開傘に失敗して落下の衝撃で破損し、何もできないことが多かった。そのような何も学び取ることができない致命的な失敗ではなく、教訓が得られる程度の失敗に抑えるため、回路演習において、CanSat でよく利用されるデバイスの演習を実施した。さらに、モデリング演習を通して失敗の致命度に関する考え方を教育した。

◆ CanSat システム全体を見る余裕を作る

これまで要素レベルの設計、製作、検証に時間を取られて、CanSat 全体を見る余裕がなかったことが多かった。こうなると部分的には製作できてもシステムとして動作しないことが多い。システムとして動作することを検証できる時間を確保する。そのために、回路講習では CanSat に流用できる内容にするなど、要素レベルに割く時間が少なくなるようにした。

◆ 教え方を工夫する

1 年生は 4-6 名程度のチームで取り組む。これまでは、指導する上級生（主に 2 年生）はチームごとに配置していた。その担当者がすべてを見ないといけないために効率が悪かった。そこで、全員で全チームを指導する体制に改めた。合同で指導できるため、上級生の負担が減った。それにも関わらず、全体としてのコミュニケーションが増え、センターの活動にもプラスとなった。

全体としては、丁寧さを増したことになる。一方で丁寧すぎると「やらされている感」が強くなり、教育効果も半減する。適切な匙加減となるよう、毎年、見直していく予定である。

(2) 各班の取組

後で述べるように、CanSat は大阪府立大学のグラウンドで気球により上空約 30m に上げ、切り離し後にパラシュートを開傘させ、地面に降りた後に地面を走りながらミッションを行う。CanSat と呼んでいるが、実体は RoberSat と言える。当初、4 班で始めたが、脱落者も出たために途中から 3 班に組み替えて実施した。各班のミッションや取組を以下に述べる。

**1 班（6 名）の取組**

背景：火星移住における食糧確保を考えたとき、現地で栽培する必要がある。

目的：食用植物の種を埋める

要求：火星環境に耐えられ、栄養価が高い食糧で、CanSat 内部に種が収容できるという条件から、エ

エンドウ豆の種を使用する。

ミッションシーケンス：

- ① 放出後パラシュート開傘
- ② フライトピンを抜き、メインコンピュータのスイッチを on にする。
- ③ ニクロム線でテグスを焼き切り、スタビライザーを展開
- ④ 着地後、パラシュートのテグスを焼き切り分離
- ⑤ 2m 程度移動し、種を放出し、種の上に土を放出
- ⑥ もう一度、同じ動作を繰り返す。2m 程度移動して種を放出し、種の上に土をかぶせる。
- ⑦ 終了

サクセスクライテリア：表 3.2 に示す。

製作した機体：図 3.2 に示す。

試験を終えての反省：達成度を表 3.2 に示す。空中で展開したスタビライザーで、着地後に姿勢を安定させる予定だったが、効果はなかった。そのため、着地時に機体が回転してしまい、2m しか移動させることができなかった。

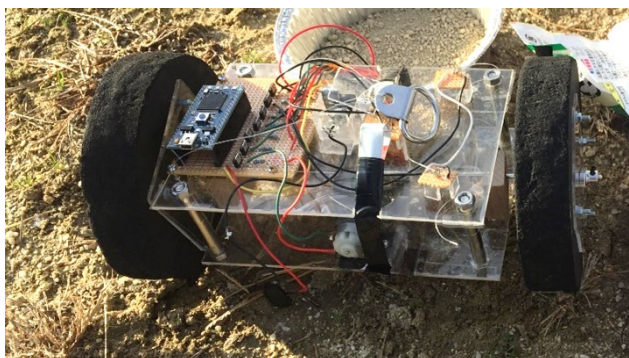


図 3.2 1 班が設計・製作した機体 咲 seed  
(縦 120mm (スタビライザー展開時  
310mm) 横 280mm、高さ 90mm、質量

表 3.2 1 班のサクセスクライテリア

クライテリア	内容	達成度
ミニマムサクセス	パラシュートが機体から完全に切り離される スタビライザーを固定しているテグスが切れる 着地後、2m 移動する	○ ○ ×
フルサクセス	投下した種のうち、少なくとも 1 つが投下した土で覆われて見えなくなる。	×
エクストラサクセス	フルサクセスが 2 回とも達成できる	×

## 2 班 (6 名) の取組

背景：山岳遭難者の捜索にはヘリコプターが用いられるが、高価であるし、機数も限られている。

目的：山岳遭難者を発見し、捜索を支援する

ミッションシーケンス：

- ① 減速機構を用いて着地
- ② 走行しながら遭難者を捜索
- ③ 遭難者を画像認識で発見する
- ④ 画像と位置情報を取得し、送信した後にオペレーターが遭難者か否か判断する
- ⑤ 遭難者である場合、オペレーターが捜索隊と位置情報を共有する

サクセスクライテリア：表 3.3 に示す。

製作した機体：図 3.3 に示す。

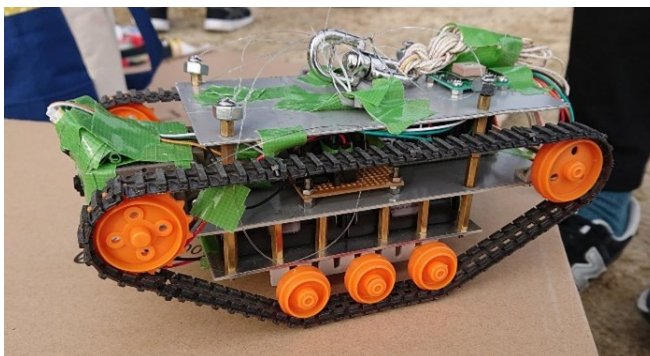


図 3.3 2 班が設計・製作した機体 Venne  
(縦 180mm、横 130mm、高さ 140mm、質量 758g)

表 3.3 2 班のサクセスクライテリア

クライテリア	内容	達成度
ミニマム サクセス	自走することができる 着地してパラシュートから離脱できる	○ ○
フル サクセス	機体の高さより高い障害物を乗り越える 乗り越えられない障害物を避ける 画像認識により人を発見する 取得した位置情報と画像を送信し、外部で受信する	× × ○ ○

試験を終えての反省：達成度を表 3.3 に示す。画像認識、データ送信には成功したが、障害物を越えるどころか、機体がひっくり返って動けないこともあった。これは要求分析の際に、CanSat が着地する際にバウンドすることを考えていなかったせいである。また、要素開発に時間がかかり、統合に割ける時間がなくなったことが原因である。

### 3 班 (5 名) の取組

背景：地下では GPS が使えない。ビルがあると位置精度が低下する。

目的：GPS が使えない場所でも正確な場所を知る。

ミッションシーケンス：

- ① パラシュートで減速し着地。パラシュートを分離。
  - ② GPS 受信機を用いて初期位置を測定。同時に人が初期位置に目印を置く。
  - ③ 地磁気センサーを用いて機体の向きを測定し、タイヤの回転により北に機体の向きを変更する。
  - ④ 30m 先を目的地とし、直線移動を開始。
  - ⑤ 加速度センサーと角加速度センサーのデータおよびタイヤの回転数などを用いて移動距離を算出しながら走行し、機体が想定する目的地で停止。人が停止位置に目印を置く。
  - ⑥ Cansat の到達地点と目的地を比較し、Cansat の位置推定精度を確認。目印は比較の際に用いる。
- サクセスクライテリア：表 3.4 に示す。

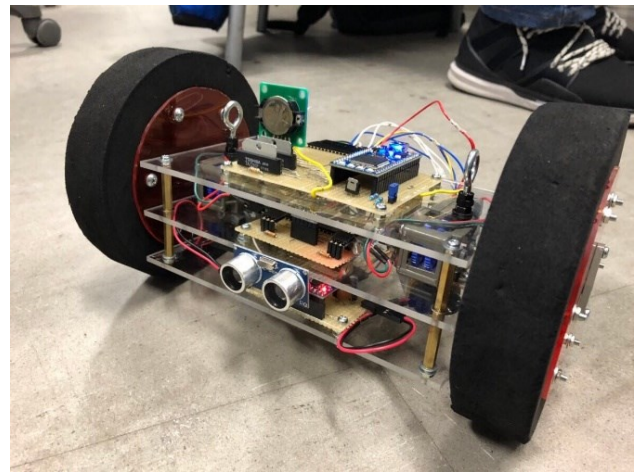


図 3.4 3 班が設計・製作した機体 MOSSAT  
(縦 260mm, 横 90mm, 高さ 140mm, 質量 940g)

表 3.4 3 班のサクセスクライテリア

クライテリア	内容	達成度
ミニマム サクセス	移動が可能な状態で着地し、5 m 以上移動	×
フル サクセス	設定距離 (30m) に対する実走行距離の誤差が 15%以内。 着地後、機体の向きを北 (誤差 20° 以内) に変更。 事前に測定した複数回の誤差データから、位置推定の誤差を修正。修正されたプログラムで走行。	× ○ ×
エクストラ サクセス	設定距離 (30m) に対する実走行距離の誤差が 8%以内。 初期位置を中心とし、目的地に対する到達位置の角度の誤差が 10° 以内。 保存された加速度の距離推定が 15~45m。(=誤差 50% 以内)	× × ×

製作した機体： 図 3.4 に示す。

試験を終えての反省：達成度を表 3.4 に示す。メインミッションである位置推定の手法にチーム内で食い違いがあり、うまくいかなかった。意見の共有は重要なことだと実感した。回路図の作成まではスムーズに進んだが、機体の製作および全体の動作確認が難航し、事前試験が十分にできなかった。

### (3) 気球放出実験

気球放出実験は、2018 年 12 月 16 日(土)に大阪府立大学グラウンドで実施した。その様子を図 3.5 に示す。まず、製作した CanSat を衛星格納ポッドの中に入れて、そのポッドを気球の下に取り付けて放球する。図 3.5(b)に示すように、気球が高度 30m 程度になったところで、地上からの信号で格納ポッドを開ける。格納ポッドドアが開いたときに CanSat に電源が入り、パラシュートを開傘し、ゆっくりと地面に降下する。図 3.5(c)にその様子を示す。3 班ともパラシュート開傘に成功した。もしパラシュートが開傘しなければ、機体は地面に激突して大破してしまう。パラシュートが無事に機能して着地に成功したら、ミッションを実行する。これらの動作は、作成したプログラムに従って自動的に実行される。

うまくいかなかった時は、その原因を見極め、その場で可能な補修を行い、2 回目以降の放球を行う。一度目はミッションに失敗しても 2 回目以降で成功した班もあった。幸い、好天に恵まれたため、最大 5 回、繰り返し実験を行うことができた。ただし、調整が不十分で着地後に破損してしまつて、5 回目まで到達しなかった班もあった。



(a) 気球にヘリウムを詰めている様子



(b) 気球の下に取り付けてある衛星格納ポッド



(c) 収納ポッドから放出後にパラシュートが開傘した様子



図 3.5 2018 年 12 月 16 日に実施した CanSat 放出実験

### 3.3 得られた知見と今後の課題

各チームの達成度は低かったが、少なくともパラシュートは開傘し、機体がダメージを受けることなく着地できた。そして、すべての機体が複数回の放出実験ができた。ただし、繰り返した時点で破損してしまった機体はあった。これまではパラシュートが開傘せずに機体が地面に激突して破損して何もできないことが多かった。昨年はずべての機体でそのような失敗をしている。このことから、その点では進歩があった。着地時に機体がひっくり返ることは初歩的な失敗ではあるが、その原因も考察することはできている。したがって、致命的な失敗を避けることができている。

しかしながら、本来の狙いであった「システム全体を見る余裕を作る」ことまでは達成できなかった。つまり、改善した効果も「致命的な失敗を避ける」というミニマムサクセスどまりであった。

その原因の一つには、各班が達成したい目標が高すぎるものがあげられる。例えば、3班は5mの移動をミニマムサクセスに、30mの移動をフルサクセスにあげている。過去の経験から見ても着地後に移動できた機体はほとんどない。過去の経験から見れば明らかに目標が高すぎる。しかし、自ら目標を定めることは、演習を続ける上でのモチベーションとして重要である。その一方で、設計・製作に取り組める時間のことも考慮することも必要である。そのバランスを考慮して、設定する目標が高すぎないように、教員がコントロールすべきだったと反省している。

もう一つの原因としては、実行段階におけるスケジュール管理が不足していた点にある。上級生に相談できるような体制になり、コミュニケーションもとれるようになった点はよかったが、スケジュール管理をする責任者としての上級生を置いていなかった。このような設計・製作を含む演習は、達成度や難易度を臨機応変にコントロールする必要があり、これも上級生に頼るだけでなく、教員によるコントロールが必要である。

これらの反省を踏まえて、次年度のプログラムに生かしていく必要がある。

また、本事業の出口として、CanSat 設計・製作に取り組む1年生だけでなく、システム思考を指導する2年生、3年生にも「演習科目」として成立することを目指している。上記の反省事項を踏まえ、実践的なプロジェクトマネジメント演習という形でカリキュラムを整えていくよう、来年度のCanSat 実習で試行する。

#### 付録 身近な既製品の機能分解

当初、9月以降の実施を予定していた身近な既製品の機能分解は、例えば、ボールペンを対象とすると、図3.6に示すように分解することに相当する。これは、2章で述べたシステムモデルのうち、フィジカルビューに相当する。ただし、ここに示した分解図は単に一例であって、ボールペンをどう見るかによって異なることに注意する。

来年度はこのようなモデリング演習を CanSat 実習の前に行う予定である。

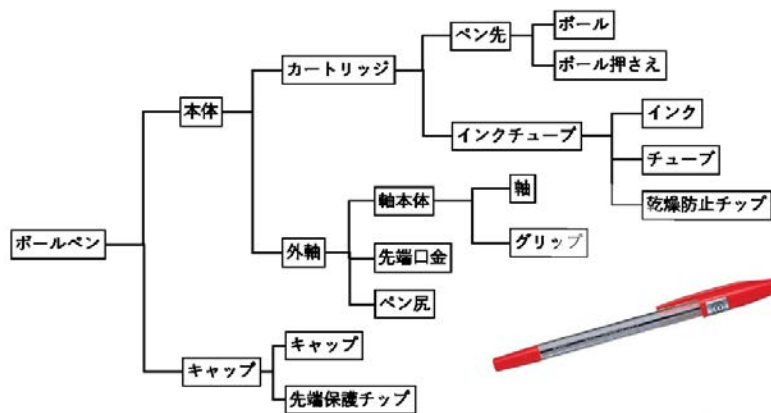


図 3.6 ボールペンの機能分解モデルの一例



## 4章 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

システム設計においてユーザーのニーズを早い段階で検証するために必要なスキルである仮説検証・モデリングの習得に向けたワークショップの設計を行うために、大阪府立大学高度人材育成センターが主催するテックソン (Tech-thon) を参考として、仮説検証・モデリングの習得に向けたワークショップを進めるうえでの課題を抽出した。また、「学ぶべきもの」を定義し、そのために必要な協力企業を募るための情報を収集した。これを4.1節に示す。

また、「PERSEUSワークショップ (2019年3月1日開催)」において、東京工業大学の坂本啓准教授によるデザインワークショップに関する講演を実施した。企業のテーマに対して問題点を見つけて整理し、解決策を求めるためのデザイン思考に基づいた仮説検証の演習の効果および参加者へのアンケート結果について、4.2節に示す。そして、4.3節に本施策の達成度を示す。

### 4.1 テックソン (Tech-thon) 概要と仮説検証ワークショップの課題

テックソン (Tech-thon) は、芽となる技術の上に事業化アイデアを積み上げることを目的として、大阪府立大学高度人材育成センターが主催し、2018年9月29日 (土)、10月27日 (土)、2019年1月11日 (土) に開催された (参考URL: [https://www.osakafu-u.ac.jp/news/nws20180907\\_2/](https://www.osakafu-u.ac.jp/news/nws20180907_2/))。この参加募集ポスターを図4.1に示す。このテックソンを参考として、ワークショップを進めるうえでの課題を抽出し、仮説検証・モデリングの習得に向けたワークショップを行うための参考とした。

テックソン (Tech-thon) は、2016年度から始めたもので、今年度が3回目にあたる。テックソンとは、Technology と hackathon からつくられた造語で、『芽となる技術』の上に事業化アイデアを積み上げるものである。「技術はあるがアイデアが欲しい」、「アイデアはあるが技術が欲しい」を実現するため、テーマごとに、分野を問わず、様々な技術・アイデア・視点をもつ学生・教員・社会人がチームを組む。そして、その後、約3ヶ月にわたって、デザイン思考により技術とアイデアをつなぎ、社会課題の解決案を模索し、新しい事業の芽を共創することを目的としている。この過程で、大学・研究所および企業等が様々なステージでサポートを行っている。

これまでに、本事業のメンバーも「デザイン思考」の面からこのテックソンをサポートしてきた。そこで、本事業においても、このテックソンを利用することで、宇宙システム活用人材育成に役立つ道を模索した。それと同時に、今後の共同開催にあたって、どのような相乗効果が狙えるかを調査した。

以下に、テックソンの開催概要 (図4.2参照) を示す。



図 4.1 テックソン 参加募集チラシ

### (1) プログラム

9月～12月にわたる各3回のプログラムを以下に示す。また、当日の様子を図4.2に示す。

#### Act 1 アイデアソン

日時：2018年9月29日（土） 13:00 ～ 15:20

会場：大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス B4棟 東K-102室（参加者：38人）

13:00 開会挨拶 松井 利之 教授（高度人材育成センター センター長）

13:05 全体説明 芦田 淳 教授（高度人材育成センター）

13:10 府大アクティブネットワークワーキングイベント

府大内外で活動するアクティブな人やグループの相互交流、相互刺激から新しい可能性を探る場。各グループからの活動紹介、質疑応答など。

13:30 社会課題、技術シーズの提案（6件）

14:30 パーツ、材料、ツール等のご提案、ご説明

A. 不揮発性・高速バイトアクセスのFRAM A社

B. プロトタイプ作製に利用可能なセンサーモジュール B社（ビデオ紹介）

14:45 ポスター説明・討論、グループ編成

#### Act 2 アイディエーションワークショップ

日時：2018年10月27日（土） 13:00 ～ 15:00

会場：大阪取引所 OSEホール（参加者：20人）

13:00 開会挨拶 松井 利之 教授（高度人材育成センター センター長）

13:05 Tech-thon 概要説明 芦田 淳 教授（高度人材育成センター）

13:15 技術シーズ応用に向けたプロトタイプ案、社会課題解決アイデア（4チーム）

14:20 ポスタープレゼンテーション & フリーディスカッション

14:55 講評 藤村 紀文 教授（工学研究科）

#### Act 3 テックソンファイナル

日時：2019年1月11日（金） 13:00 ～ 16:00

会場：グランフロント大阪 大阪イノベーションハブ（参加者：45人）

13:00 開会、本日のスケジュールのご案内

13:05 大阪イノベーションハブ(OIH)のご案内

13:10 Tech-thonの概要とこれまでの経緯

芦田 淳 教授（高度人材育成センター）

13:15 プロトタイプ発表（3チーム、1チーム欠席）

14:25 技術シーズビジネスアイデアの発表会 i-WS 概要説明

藤村 紀文 教授（工学研究科）

14:30 技術シーズビジネスアイデア発表（2件）

15:05 プロトタイプ展示、ポスター発表、ディスカッション

15:50 講評 松井 利之 教授（高度人材育成センター センター長）



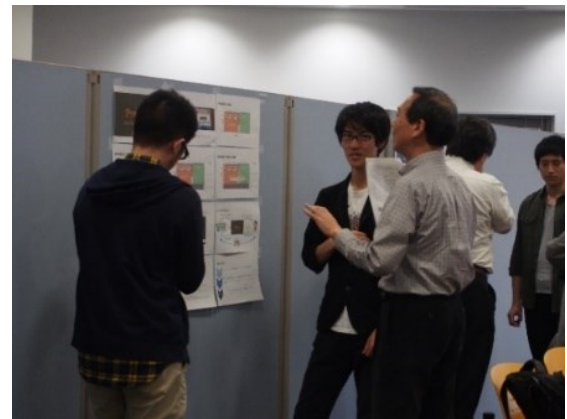
Act 1 口頭発表



Act 1 ポスター討論



Act 2 会場風景



Act 2 ポスター討論



Act 3 質疑応答



Act 3 ポスター討論

図 4.2 テックソンのようす

### 特記事項

- ・ 企業等テックソン 2018 サポーター： 民間企業 4 社、公設研究所 1 所
- ・ Act 2, Act 3 の会場は、大阪取引所、大阪イノベーションハブのご厚意で使用させて頂いた。

(2) テックソン 出場テーマ、メンバー、ならびにメンタリング状況

大阪府立大学・大阪市立大学 博士課程教育リーディングプログラム「システム発想型物質科学リーダー養成学位プログラム」の受講生が参加している関係で、大阪府立大学だけでなく、大阪市立大学の大学院生も参加している。

**テーマ名 「もっとお酒を味わうツール」 (チーム名： Delishable)**

メンバー 4名 社会人、府大工学 M1、府大工学 B4、府大工学 B3

概略： ビールやお酒は、水やジュースとは味わい方が違います。だれもおいしく飲めるそんな当たり前を実現し、障害の有無に関係なく、みんなで楽しく過ごすことができるユニバーサルなツールを提案する。

メンタリング： 10/17 プロトタイプ作成手法について、10/24 Act2 まとめのスライド、12/8 Act 3 発表内容について、12/10 Act 3 発表内容について

**テーマ名 「Prolong 賞味期限切れ食品のアウトレット」 (チーム名： Prolong)**

メンバー 4名 府大工学 M2、府大工学 M1、府大工学 M1、府大工学 M1

概略： 賞味期限が過ぎた商品を、品質に応じたリアルタイムに下がる価格で提供可能なアプリシステムの開発を目指す。本システムは消費者の手前で起こるフードロス削減し、食品流通の改善策として期待される。

メンタリング： 11/28 アプリ作成について、12/10 今後の活動方針について、12/13 府大生協ヒアリング結果の検討、コンビニでのヒアリング、12/22 スーパーでのヒアリング、12/28 堺市環境事業部ヒアリング

**テーマ名 「ユーグレナ栽培キット」 (チーム名： Subaru)**

メンバー 5名 府大工学 M2、府大理学 M2、府大工学 M1、府大工学 M1、府大理学 M1

概略： 「ミドリムシ」は豊富な栄養素や優れた光合成能力を有しており、盛んに研究が行われている。生の新鮮なミドリムシを魚類に与え、魚のサプリメントとして利用することを提案する。

メンタリング： 10/25 今後の活動方針について、10/25 Act2 のプレゼンテーション、11/19 今後の活動について12/17 ファイナルに向けた発表に関して

**テーマ名 「構造色めっきを使った亀裂検出技術」 (チーム名： 無)**

メンバー 4名 市大工学 D2、市大工学 D1、市大工学 M2、市大工学 M2

概略： 物の変化を色の変化で知ることができたら面白いと思いませんか？ 目では見えない小さな傷が色で浮かび上がったら？ ぼくたちは、構造色と呼ばれる現象を使って小さなひずみを検知しようと考えています。

メンタリング： 9/1 テックソン応募に関する事前相談、9/29 Act1 ポスター作成について、10/31 新規メンバーについて、12/26 技術の応用目的に関する検討

(3) 本事業展開における効果と課題および本事業がテックソンへおよぼす効果

このテックソンが本事業でも展開する場合の効果と課題、および相乗効果として本事業がテックソンにおよぼすことができる効果について、以下にまとめる。

- ・ 参加者は大学院生が中心であり、技術も専門性が高い。そのため、学部生が参加するにあたっては工夫が必要である。テックソンの目的は技術アイデアの事業化にある。その技術の専門家だけでは足りない分野に対して役立つような工夫が必要となる。また、その役割の必要性和魅力について、事前に教育することが必要である。

- このような活動を進めるにあたって、簡単なプロトタイプを作って成立するかどうかを検証する「仮説検証」はとても重要である。しかしながら、現在のテックソンの取組においては、この「仮説検証」による検証ループがうまく回っていない面が見受けられる。本事業で行う「仮説検証」の教育を行うことが効果的である。

これらの考察に基づいて改善方法を策定するとともに、本事業の対象である小型宇宙機システム研究センターの学生にとって最も効果的な参加手法を構築し、2019年度の「テックソン」で試行する予定である。試行する「仮説検証」に関する教育として、Problem-Solution Fit と呼ばれる段階での検証に着目し、以下の内容を扱う。

- 「価値あるシステム」を作るためには、課題と解決策に関する仮説検証が必要だということを、実例を通して学ぶ。そのための座学とシリアスゲームによる学習を予定している。
- システムが提供できる価値に対する不確実性が高いときに、効率的に仮説を検証しながらシステム（ビジネス）を構築する手法を学ぶ。これは、テックソンを終えた後の経験を含めて定着させるために、終了後に座学で行う予定である。
- 仮説を明示化するために、リーンキャンバス(4.1)を描いてみる。こちらも、テックソンを終えた後に、ワークショップ形式の学習を予定している。

さらに、上記の内容を扱うにあたっては、協力企業側におけるメリットを呈示する必要がある。そこで、ターゲットとしては、下記の2種類の企業を考える。

- 技術シーズの提供を考えている企業
- 効果的な社員教育を考えている企業

これらの企業は、ワークショップをイベントとして扱うのではなく、ビジネスとして実践していくことを考える必要がある。そのために、このようなワークショップを、新たな製品開発につながるアイデアを実現するための「仮説検証」フレームワークを学ぶ場として利用することができる。さらに、ビジネスとして実践するには、「仮説検証」のループを早く回すためには何が必要かを学習者に理解させることが不可欠で、そのためのノウハウを得ることができる。

#### 4.2 PERSEUS ワークショップにおける坂本啓氏（東京工業大学・准教授）の講演

##### (1) 講演の概要

2019年3月1日(金)に「i-site なんば」で開催した「PERSEUS ワークショップ」において、東京工業大学の坂本啓准教授により、「東工大におけるエンジニアリングデザイン教育と衛星 OrigamiSat-1 開発」というタイトルで講演を行った(図4.3参照)。参加者は学部生21名(B1 3名、B2 6名、B3 6名、B4 6名)、大学院生4名(M1 2名、M2 2名)であった。講演資料は、坂本准教授の好意で、次のURLで公開されている(<https://www.slideshare.net/secret/poC7KQPjkPkzB>)。なお、OrigamiSat-1は東工大が開発した超小型衛星である(4.2)。

主題である「東工大におけるエンジニアリングデザイン教育」とは、東京工業大学大学院でのエンジニアリングデザインコース(<http://www.esd.titech.ac.jp/>)で開催している演習科目であり、デザイン思考のプロセスを学ぶものである。その演習では、いくつかの会社からテーマを出してもらい、それぞれの課題に対して学生がチームとなって取り組み、解決策を提案する。坂本准教授はその



図 4.3 PERSEUS ワークショップにおける坂本准教授の講演のようす

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a. タンジブル（具体的なモノを作ること）にこだわる</li> <li>b. モノと場とチームを同時に作る</li> <li>c. dance with ambiguity あいまいさとダンスせよ</li> <li>d. 結局は 圧倒的当事者意識</li> <li>e. HRT Humility Respect Trust</li> <li>f. 守破離</li> </ul> |
|--|

図 4.4 東工大大学院「エンジニアリングデザインプロジェクト」演習におけるキーワード

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 印象に残ったことはどれですか？（一つ以上選んでください） <ul style="list-style-type: none"> <li>a. タンジブル（具体的なモノを作ること）にこだわる。</li> <li>b. モノと場とチームを同時に作る。</li> <li>c. dance with ambiguity あいまいさとダンスせよ。</li> <li>d. 結局は 圧倒的当事者意識，</li> <li>e. HRT (Humility Respect Trust) f. 守破離 g. その他</li> </ul> </li> <li>2. 発表資料を見て回答ください。「モノを作って検証する」ことにはどんな効果があると思いますか。</li> <li>3. 今回の講演から学んだ中で、今後に何を活かそうと思いますか。わかりやすく説明してください。</li> <li>4. 今回の内容を他の学生に推薦しますか？理由とともに答えてください。</li> </ol> |
|---|

図 4.5 坂本准教授の講演へのアンケート

表 4.1 坂本准教授の講演へのアンケート 1 の回答

印象に残ったことはどれですか？（一つ以上選んでください） 項目	人数
a. タンジブル（具体的なモノを作ること）にこだわる。	11
<b>b. モノと場とチームを同時に作る。</b>	14
c. dance with ambiguity あいまいさとダンスせよ。	7
<b>d. 結局は 圧倒的当事者意識</b>	17
e. HRT (Humility Respect Trust)	5
f. 守破離	4
その他 デザイン思考	2
その他 工学だけでなく、美術、経済の学生と共にものを作る	1

担当者の一人として中心的な役割を果たしていることから、その内容について講演があった。なお、この演習科目の内容は書籍として出版されている(4.3)。講演では、「エンジニアリングデザインプロジェクト」演習を進めていく上で重要なキーワード(図4.4)をもとに、その内容と成果および課題

が紹介された。

この内容は、われわれが考えている「仮説検証ワークショップ」にとって、とても参考になる内容であった。また、ワークショップを行っていくうえでは、このようなプロジェクトに対して、学生がどのような感想をもつのかも知りたいことであり、アンケートを取り、その調査も行った。

## (2) アンケート結果

参加学生に対して、図 4.5 に示すアンケートを取った。図 4.4 に示したキーワードに対する印象や、今後のワークショップに参考になりそうな内容を聞き、参加者 25 名から回答を得た。

まず、「1. 印象に残ったことはどれですか？」に対する回答を表 4.1 に示す。「圧倒的当事者意識」、「モノと場とチームを同時に作る」への印象がとても強かったことがわかる。ほとんどの参加者が、チームで開発をする経験を持っていて、どのように取り組むべきかという点に興味が多かったもの

表 4.2 坂本准教授の講演へのアンケート「2. モノを作って検証することにはどんな効果があると思いますか。」の回答

問題を発見すること。
ユーザーが求めているものに近づけることができる。
現時点の機能性および欠陥が目に見える
製作するものについてイメージが共有しやすくなる。
モノを使用する場面の再現性を高めて検証することで、イメージだけではわからない不具合や改善点が見えやすくなると考えられます。
実際にモノに触れ、使うことで、頭やパソコンの中ではでてこなかった新しい問題点がでてくと思う。
自分達が考えたモノが本当に要件を満たしているか、それが作れるものなのかを確かめることができるから。
理論だけではわからなかった効果や問題点が浮き彫りになる。
隠れていたニーズや、実際の顧客の声をフィードバックすることができる
実際に作ってみたいと分からない問題を発見できる
モノを作る中で出てくるエラーがあるので、システムが複雑になる前に手戻り出来るという効果があると考える。
満たすべき要求を満たしているかを確認する。見えていなかった要求を洗い出せる。
言葉だけで伝えるより正確に伝わる
想定外の問題を発見できる。
自分が実際にモノを扱うことで、ユーザーの視点に立つ事ができ、新たな気づきが得られると思う。
実際に見て、触れるものがあることによって、作る前には識別できていなかった要求や制約を認識することができる。また、ユーザーと開発者の間にある認識の齟齬を洗い出すことができる。
考えていることを形にして初めて気づけることとかあると思います。それを繰り返していった最終的には考えたものを 100%実現することができるようになるのかなとか思います。
実際にモノを手取ることで、自分たちが作ったモノの良い点、悪い点を見つけフィードバックしより良いものを作れるようになる。また、設計した段階で狙っていた効果が、実際に発揮されているのか知ることができる。自分たちが作ったモノに対してどんな意見が持たれるかユーザーの視点に立って考えるきっかけになる。
考えているだけでは、なにをすればよいのかわからない部分も多いと思うので、まず作るための行動をし、作っていく中で改善点を探すことで、完成品までの道のりがわかりやすくなると思う。
ユーザー体験を体験したり、見落とししに気づきやすくなる効果。
実物を見て確認することで、頭の中で考えているだけではわからなかった問題が見えてくる。
モノを作ることで体験を共感し、問題をより明確にできる
同じ出発点から議論ができるので、より建設的なものになると思う。
コミュニケーションとイメージネーションの促進効果。
作ったものを使う側の気持ちにならないと出せない要求に気づく効果があると思います。

表 4.3 坂本准教授の講演へのアンケート「3. 今回の講演から学んだ中で、今後何を活かそうと思いますか。」の回答

特に当事者意識を今後活かそうと思う。今の自分には当事者意識とそれによる責任感が欠けていると思う。SSSRCの新入生教育の一環として缶サットを製作していた時は自身の当事者意識と責任感が欠けていたと強く思った。それらの欠如が缶サット製作への氣勢を削いで、十分と思える試行錯誤が行えていなかったと考える。
デザイン思考を養うために、まず自分が行動するが、その際に振り返りも必ず行う。
共感→問題提起→創造→プロトタイプ→テストに基づくデザイン思考を使っていきたいです。
衛星開発に、当事者意識を持って取り組んでいきたい。
ただモノを作るだけでなく、メンバーがお互いに尊重し合い、チームの雰囲気や場を作ろうと考えています。
作業場も工夫して、モノの配置をしなければならないと思った。
自分のしている活動に対して圧倒的当事者意識をもって活動していきたいと思う。
自分が直接作業しているところ以外の点に関心がなかったりしたので、もっと当事者意識を持ってほしいと思った。
デザイン思考が今後の物づくりの中で活かしていきたいと感じた
開発の場も大切にす
共通言語を持たない人との相互理解を大切にしていくことに活かそうと思う。
デザイン思考のプロセス。個人ではプロトタイプとテストの工程を踏むのは難しいと思うが、情報を主体的に集めて問題提起をし、自分なりに解決策を提案するサイクルを踏んでより良いアウトプットが出来るようにしたい
何をするにも場作りの大切さを意識してやろうと思う
人工衛星の話がとても面白かった。もっと小型で安価なロケットがたくさん打ち上がるようになると、学生がもっと気軽に人工衛星を作って飛ばすことができるなあと思った。
チームを上手く回すための工夫がいくつか紹介されていたので、実践してみたい。
デザイン思考の手法をより理解して、プロダクトの上位設計の手順の体系化を自分の中で行いたいと考えている。
まず作ってみること
今は自分と似たことをやっている人や親しい人とグループになって行動することが多いが、社会に出て仕事をするようになれば自分と全く異なる考えを持つ人や出自が異なる人たちとイチからモノを作る場面もあると思うので、自分の考えを相手に押し付けるのではなく、相手の意見をきちんと聞いて議論しながらモノを作っていきたいと思います。また、グループだから誰かがやってくれるだろうではなく、自分が進めている、自分が作っているという意識をしっかり持って、他人に頼りすぎないようにしたいと思いました。
ユーザー体験を重要視することを意識したいと思う。
チームの存続のためには謙遜と尊敬と信頼が要るということを危機に直面したら伝えたいと思います。
「場」をつくる、というのがなるほどと納得しました。今のWindMillの工房は適切な場になっているか。どんな場を作るべきか、考えます。
モノと場とチームを同時に作ること、WindMillにおいては特に雰囲気作りが重要だと思いました
できるだけ早くモノを作る。
やはり、作り手としてタンジブルにこだわる事です。
モノづくりをするとき、設計プロセスがなかなかうまく引き継げないのですが、プロセスのそれぞれに名前を付けて識別することで反省しやすくなるというお話を聞き、設計作業での検討項目に名前を付けて資料化していきたいと思いました。

と思う。

「2. モノを作って検証する」ことにはどんな効果があると思いますか。」は、「仮説検証の効果」をどう思うかを訊いたものである。その結果を表 4.2 に示す。全体的には、見えなかった課題が早い段階で見つかること、また、ユーザー体験ができることの効果を感じている。このように、実例を聴くと「仮説検証の効果」がわかりやすくなることから、われわれが行うワークショップでは、始める



表 4.4 坂本准教授の講演へのアンケート「4. 今回の内容を他の学生に推薦しますか」の回答

推薦する。チームとして動くための意識すべき要点とデザイン思考の足掛かりを説明を受けられるから。
推薦する。デザイン思考の考え方を取り入れることで、周りが求めているものに近づけると思ったから。
モノと場とチームを同時に作り、多様性を乗り越える姿勢は、今後異なる経験を持つ人とプロジェクトを達成するのに必要なことだと思うので、他の学生にも伝えたいです。
東工大に興味のある学生にもない学生にも薦めたい内容だと思う。 デザイン思考というあまり知られていない事柄について知ることができるから。
実際にうまくいかなかった例として OrigamiSat の話を聞いて、自分自身の中で今の衛星開発に対する緊張感が増しました。今回参加していなかった開発メンバー（主に下級生）にも聞いてもらい、同じようにさらに責任感を持ってもらえたらと考えたからです。
推薦します。思考の順を決めておくことで、問題が発生した時、どの部分がまずかったのかをチームで確認しやすくなると思ったからです。
東工大が、こういう面白いことをやっているということを他の工学の学生に伝えたい
東工大の活動が素晴らしいと感じたので、学生というよりも教員の方に勧めたい。
推薦する。あらかじめデザイン思考について学んでいてしかも東工大の生徒なのにこれほど苦労するという事は以下にデザイン思考が実践の中で培われるものかということがわかるため
デザイン思考の観点から開発にフィードバックする
何かを作り出そうとするそのきっかけの力を身につける入門になるので推薦したいと思う。
モノをつくる過程において欠かせない視点だと思うが、わざわざ教えてくれる環境は無いため、デザイン思考を培うための導入としていいと感じたので推薦したい。
しない。先生がすごい人なんだというのは伝わったが、曖昧さとダンスとか意味分からんし付いて行けなかった。
推薦はする。異なる考え方に触れる機会だと思うから。
衛星開発はもちろん、今後チームで活動する上で重要になる考え方だと思うので推薦します。
推薦する。特に物作りをしたことがない人や、手法について知識がない人に対して、物作りの手順を考える上でデザイン思考という考え方があることを知り、より深く理解しようとするきっかけになるような講義であったから。
モノづくりを経験したことが無い学生には推薦したいと思います。新鮮だと思うので
モノを設計するだけでなく、あいまいでいいから実際に作ってみることの重要性、実際の現場ではモノだけでなくチームもイチから作る必要があること、ユーザーの視点に立って考えることなど、普段の活動では気づきにくいことや忘れてしまっているかもしれないことを学べる内容だったので、他の学生に推薦したいです。
デザイン思考という考え方そのものを知る機会となるので、推薦します。
推薦いたします。ものづくりを教える立場の方から正直なお声や背景をお聴きする機会にない機会だったからです。
エンジニアリングデザインプロジェクトの授業について、もう少し時間をとって体験できるようならおもしろいと思います。
多様性を受け入れるためにはどうすればいいのか、そのためのチーム作りはどうすればいいのか等を考えてくれそうな学生に勧めたいと思いました
推薦する。エンジニアにとって必要な考え方を学べるから。
推薦します。非常に魅力的で、東工大の大学院入学を考えたい内容でした。
考えても要求は出し切れないからまず作ろう。その時にこういうやり方、考え方があります。という内容を共有すれば、チームでのモノづくりの効率化につながると思うので他の学生にも推薦したいです。

前に、このような「効果の実例」を示すことにするのがよいであろう。

「3. 今回の講演から学んだ中で、今後何を活かそうと思えますか。」は、今回得た教訓を自らの活動にどう活かすかを訊ねたものである。問題1の「モノと場とチームを同時に作る」、「圧倒的当事

者意識」に対応するコメントが多い。これは、超小型衛星や人力飛行機の活動に反映させようとする意識を持たせるために、敢えて聞いた質問でもある。ただ、日々の活動の中ではどうしても忘れてしまう。だから、このような講演を何度も繰り返し行うことで、このように感じたこと自体を忘れさせないようにすることも重要である。

「4. 今回の内容を他の学生に推薦しますか」は、元々は坂本准教授に講演が好評であったことを知らせるための質問のつもりであった。表 4.4 に示す通り、一人を除いて推薦するという回答となっている。ただ、理由を見ると、デザイン思考のことを知らない学生が多いことに気づく。超小型衛星や人力飛行機の活動の中で、言葉としては出していないけれど、同じ考え方で活動するように指導しているつもりであった。つまり、自分たちの活動も同じなので、この講演を聴けば、自らが同じことをしていることを確認できるという回答が得られるかと思っていたが、そうではなく、東工大ではやっている（けれど、府大ではやっていない）という回答が多かった。「デザイン思考」という言葉で概念化することで伝わりやすくなるというのは、今後活かすべき点として、重要な点だと感じる。

### (3) 本事業への参考点と課題

多くの学生の印象に残った「圧倒的当事者意識」をいかに持たせるか、つまりモチベーションをどう維持させるかが、課題解決型のワークショップでは課題となる。また、チームメンバー間に意思疎通をスムーズにさせるための工夫が必要となることがわかった。

アンケートより、学生には「デザイン思考」のような概念付けをすることが必要であることがよくわかった。仮説検証ワークショップにおいても、講演により事例を紹介し、チーム作り、当事者意識を持たせてから、実際の活動に入ることが重要ということがわかった。

## 4.3 まとめ

本施策の目的は、「仮説検証・モデリングの習得に向けたワークショップの設計に役立てる」ことであった。本章に示した二つの取組により、ワークショップの設計において、下記の点に注意するという指針を構築することができた。

- ・ あらかじめ、「仮説検証」の概念や効果を、実例を通して参加者に伝える。特に、「モノを作って検証する」ことの効果はきちんと伝える必要がある。
- ・ 「仮説検証」ワークショップにおける協力企業側のメリットを明確にする。
- ・ チームで活動するために、チーム・場・モノを同時に作り上げていくことの重要性を強調する。
- ・モチベーションを維持させるための「圧倒的な当事者意識」をもたせることの工夫を行う。

## [4章 参考文献]

- (4.1) エリック・リース著, 伊藤穰一解説, 井口耕二訳, リーンスタートアップ, 日経 BP 社, (2012)
- (4.2) H. Nakanishi. et al., Development of Nano-Satellite OrigamiSat-1 with Highly Functional Deployable Membrane, 4th International Symposium for Solar Sailing, (2017), #17085.
- (4.3) 東京工業大学エンジニアリングデザインプロジェクト 著, エンジニアのためのデザイン思考入門, 翔泳社, (2017)

## 5章 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

この施策の目的は、宇宙スタートアップ企業等の現地調査を踏まえて、見学ツアーなど企業等にメリットのある仕組みを構築するための情報を収集することであった。そこで、2件の現地調査に関する報告として、5.1節にEuropean Space Week参加報告を、5.2節にSmallSat Symposium参加報告を示す。また、これらの成果は、当初、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」で計画していた「国内外における超小型宇宙機ビジネス等に関する講義の内容検討」につなげるように拡張した。5.3節にその内容を示す。そして、海外および国内における宇宙スタートアップ企業の見学先に関する調査報告を、5.4節に示す。最後に、5.5節に本施策の達成度を示す。

### 5.1 European Space Week 報告

#### (1) はじめに

2018年12月にフランス・マルセイユで開催されたEuropean Space Week 2018 (5.1)は、EUの宇宙分野における産学連携と起業支援を目的としたカンファレンスである。共同参画者である株式会社レヴィの南部と吉澤らは、本事業における「超小型宇宙ビジネスに関する講義」に反映することを目的に、EUの起業支援とスタートアップに関する情報収集を行うためにこの会議に参加した。そこで、宇宙スタートアップの視点からEuropean Space Week 2018について報告する。

#### (2) European Space Week 2018 概要

European Space Weekは、EUの宇宙分野における産学連携や起業支援を目的として、欧州委員会(European Commission)と欧州航法衛星庁(European GNSS Agency, GSA)が毎年開催しているカンファレンスである。今回は、フランス最大の港町マルセイユのエクス=マルセイユ大学内にあるファロ宮殿(図5.1)で、フランス国立宇宙研究センター(CNES)を主催として開催された。

表5.1に本会議の概要を示す。参加費が無料であることも特徴のひとつである。本会議ではGalileoやCopernicusといったEUの宇宙プログラムの現状と、それらの産業応用とスタートアップの動きなどが紹介され、セッションではスマートシティやインターコネクティビティなどの分野に別れて議論された。メインホールにおけるキーノートスピーチの様子を図5.2に示す。



図 5.1 エクス=マルセイユ大学本部のあるマルセイユ・ファロ宮殿



図 5.2 講演会場におけるキーノートスピーチの様子

表 5.1 European Space Week 2018 概要

期間	2018年12月6日～9日
場所	エクスマルセイユ大学
参加者	1122人(37ヶ国)
参加企業	85以上
参加費	無料
主催	CNES、欧州委員会、GSA
主なコンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ EU内外の関係者をつなげるネットワーキング</li> <li>・ 地球観測や衛星ナビゲーションの最新の応用事例を発信</li> <li>・ 産業界のリーダー、政策決定者、宇宙に関わる利害関係者たちとの公開討論</li> <li>・ Galileo、Copernicus、EGNOSの最新情報の発信</li> </ul>

本会議では、Copernicus、EGNOS、GalileoといったEUの宇宙プログラムの現状と、それらの産業応用が議論された。セッションは、複数のテーマに分かれ、パラレルで行われる。セッションのテーマは、Interconnectivity、Smart Cities、Sustainable Land Management、Infrastructure Management、Marine and Maritime、Security and Defenseなど、測位や地球観測のデータの応用に関するものがほとんどであった。また、クローズドなセッションが開催され、スタートアップと投資家、専門家とのコアな議論も行われた。

### (3) カンファレンスの学び

今回の一番の学びは、EUが宇宙ハッカソン、インキュベーション、マーケティングサポート等のさまざまなプログラムを用意し、スタートアップを支援しているという現状を肌で感じられたことである。フランスやドイツなど、昔から宇宙活動が盛んな国だけでなく、アゼルバイジャンやギリシャなど宇宙新興国とも呼べる多種多様な国が、自国の課題解決に宇宙利用を拡大させようとしており、スタートアップが重要な役割を果たしていることに感銘を受けた。カンファレンス自体にも多くのスタートアップ、投資家、専門家が集められており、ピッチコンテストやセッション等でそれぞれ新しい繋がりを作っていた。

全体として、EUが、多くの宇宙系スタートアップが立ち上がっているアメリカに対抗心を燃やしていることを感じた。そのために、EU圏内の宇宙スタートアップを立ち上げようと、EUが一丸となって政府系機関が強く支援しているところに本気度を感じた。その一方で、失敗への許容やリスクマネーに対する不満は大きいようで、それに対する提案や提言があると、会場で拍手喝采が起きてい

表 5.2 Investor Meet-Up セッションの特徴

プログラム名	特徴
Copernicus Start-Up Programme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copernicus からの地球観測データを使用することによって社会的課題に取り組む起業家が対象</li> <li>• ブートキャンプ、マーケティングサポート、メンタリングなどが提供される</li> </ul>
E-GNSS Accelerator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galileo Masters の優勝者とファイナリスト（10名）を対象にしたアクセラレータプログラム</li> <li>• トップ3には、62,000ユーロ相当のインキュベーションとアクセラレーションの支援パッケージを受け取ることができる</li> </ul>

たのが印象的であった。

日本においても JAXA の衛星データの利活用が進み、さまざまな分野で事業が出てきているが、宇宙スタートアップはまだ少ない。宇宙ベンチャー育成のための 1000 億円規模の投資や、人材プラットフォームの整備を進める「宇宙ベンチャー育成のための新たな支援パッケージ」(5.2)にも期待したいところである。

宇宙ビジネスの重点がサービス提供に移り、宇宙システムを活用してビジネスを構築できる能力が重要になってきていることをさらに強く感じることができ、本事業において、システム思考や仮説検証の教育を通して、宇宙スタートアップに貢献できる人材育成を強化していくことの必要性をさらに強く感じる事となった。

#### (4) スタートアップに関するセッション

Investor Meet-up セッションは、EU の宇宙プログラムのデータを利用するアイデアを持っている起業家と、投資家、メディア、政府関係者、GNSS と地球観測の専門家をつなぐセッションである。Copernicus Startup Programme、E-GNSS Accelerator および CNES Ecosystems から選抜された9社のスタートアップが、それぞれのビジョンやコンセプト、事業計画についてピッチを行った。Copernicus Startup Programme と E-GNSS Accelerator は欧州の起業家支援プログラムであり、その特徴を表 5.2 に示す。

カンファレンスに参加していたスタートアップのうち特に印象深かった 3 つのチームを紹介する(表 5.3 参照)。

1. Centrip は、学校や地域で子供が安全に過ごせる環境を実現するために、データ解析により子供の安全性をモニタリングできるウェアラブルデバイスを開発、提供する企業である。
2. TensorScience は、Galileo による高精度測位を使ったジオキャッシングアプリケーション

表 5.3 スタートアップで印象深かった 3 つのチーム

企業名	Centrip	TensorScience	+39
課題	集団行動等で子供がはぐれる、危険な場所に近寄る、など。	ジオキャッシングの測位精度 (Galileo による測位精度向上)	自閉症スペクトラム障害の方の歩行困難・障壁等の認知・支援
顧客	親・学校	ジオキャッシングプレーヤー	自閉症スペクトラム障害の患者を支援するアプリの提供
ソリューション	ウェアラブルデバイスとデータ解析による安全性モニタリング	ジオキャッシングアプリケーション Geospinner の提供	自閉症スペクトラム障害の患者・家族
国	オランダ	アゼルバイジャン	イタリア

Geospinner を開発している。同チームは 2018 年の GSA スペースハッカソンで、Galileo Geekie 賞を受賞している。

3. +39 Team は、第 2 回 EU スペースハッカソンで入賞した University of Padova (イタリア) の学生チームである。高精度の位置情報を利用することにより自閉症スペクトラム障害の患者を支援するアプリケーションを開発している。

そのほかに、以下のチームがあった。さまざまな産業分野にビジネスチャンスがあることがわかる。

1. PIXSTART：衛星観測データから、人々の動き・モノなどのデータ解析結果を提供。サービス提供者の意思決定を手助けする。
2. Agricolus：規模農場向けの農場モニタリングソリューションの提供。衛星観測データだけではなく、気象や土の状態等を確認可能。
3. MobyGIS：水資源のモニタリング・予測サービスを提供。従来の手法では難しい雪の状況等を衛星観測データや気象予報から総合的にモニタリング・予測。
4. Attestis：Galileo を使い建設業界向けデジタルプルーフサービスを提供。建設許可に関する係争や建設の延期・中止等のリスクを回避。
5. Geoflex：PPP-CNES 技術 (Precise Point Positioning) ベースの拡張 GNSS サービスを提供。単一受信機のみでリアルタイム・全世界 4 cm の精度で測位を可能にする。
6. OptOSS AI：人工知能を使った超大量衛星観測データの解析。有事を想定した厳しい条件下でも高精度の解析が可能。

#### (5) その他 ～ エキシビジョン会場

エキシビジョン会場には、図 5.3 に示すように、ESA (European Space Agency) が大型展示を行っており、イベントに対する期待を感じることができた。また、クッションのような椅子がたくさん置いてあり、座ってパソコンを開くと、まるで宇宙空間で作業しているような気分を味わうことができた。また、さまざまなパートナー企業が展示を行っており、展示を見るだけでも Galileo や Copernicus など、EU の最新の宇宙開発の成果を一通り把握することができた。

### 5.2 4th SmallSat Symposium 参加報告

#### (1) シンポジウムの概要

2019 年 2 月 5 日～7 日にアメリカ合衆国シリコンバレーにあるコンピュータ歴史博物館 (図 5.4) で開催された第 4 回 SmallSat Symposium (主催: SatNew Publishers) <sup>4.2.1)</sup> は、小型衛星関連のビジネ



図 5.3 エキシビジョン会場 (左: ESA 展示、右: パートナー企業展示)



図 5.4 会場のコンピュータ歴史博物館



図 5.5 パネルディスカッションの様子

スの話題が中心であり、参加者は年々増加していて、3割が企業の経営層である。こちらは参加費が1395ドル（事前登録は1195ドル）と高額であった。

ほとんどのプログラムがパネルディスカッションという、学術分野にいた人間からすると珍しい形式の会議である(図 5.5 参照)。パネルディスカッションの一部を表 5.4 に示す。会議においては、slido という WEB サービスを使って、投票や質問を会場から集めて、議論する形式がとられていた。予定調和ではないため、かなり突っ込んだ答えにくい質問が出ており、臨場感を楽しむことができた。また、質問内容の傾向から業界の関心事も理解することができる。ディスカッションの中で、MRR(Monthly Recurring Revenue : 月間経常収益)や ARR(Annual Recurring Revenue : 年間経常収益)といった SaaS(Software as a Service)で多用される用語が飛び交っていたことにも特徴を感じることができた。

また、このシンポジウムには、将来のビジネスにつなげるための参加者同士の交流が盛んにおこなわれていた。たとえば、初日の朝食時には、同席した方から声をかけられたが、その方はシンポジウムのスポンサー企業にも投資している Venture Capitalist であり、ビジネスの話を伺うことができた。

## (2) シンポジウムからの学び

今回のシンポジウムを代表するキーワードは、” Sound Business Model ” であった。直訳すると「手堅いビジネスモデル」となる。ここ数年にわたって、超小型衛星ビジネスには多額のリスクマネーが投入されてきた。一方で、その投資に見合うだけの利益を生み出す方法がまだ見つかっていないというのが実情である。つまり、過剰な投資に対して十分な利益が出ない時、苦しむのは投資を受けた会社で働く人たちとなる。そのため、過剰と思われる投資を行なっている Venture Capital に対する風当たりが強くなっていることを感じた。

今回得た学びを以下にまとめる。

- ・ 小型衛星の分野は、過剰投資が問題となっており、全体として熱狂に対する反省の色が伺えた。

表 5.4 パネルディスカッションのテーマ

Interpreting Small Satellite Industry Growth, Value and Size
Constellations - Broadband Communications from SmallSats
Earth Observation: SmallSat Innovations and Advantages
Financing SmallSats - Underserved Financing Sources vs Overextended Players
SmallSats in the Technology Sandbox: How SmallSat solutions play together with other information platforms
The Role that Small Satellites Play (now and in the future) in Defense
Ground System Manufacturers and Service Suppliers
Antennas - Tracking and Phased Array Antennas
Global Hotspots for the Smallsat Industry
What Role do Heavy Lift Large Rockets Play in the Small Satellite Industry
Small Launch Vehicle Mission Differentiation
Utilizing Earth Observation Data
Spectrum Use and Optical Alternatives
Orchestrating Space, Standards and Regulations

- ・ 一方で、技術の進歩は目覚ましいものがあり、ビジネスとしての成功は期待値よりも小さいが、広い意味での小型衛星の Capability（将来性）は向上している。
- ・ 地球観測については、特に、投資を回収するだけの利益があるのかが議論の焦点になっていた。技術トレンドとしては、合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar; SAR）やハイパースペクトルセンサーの小型化に伴うレイテンシーの削減が際立っていた。
- ・ ブロードバンド通信の可能性が感じられている一方、競合が多いことに対する懸念が挙げられていた。
- ・ 小型衛星市場のボトルネックでもあり、イノベーションの源泉とも考えられているのは、小型衛星用の格安ランチャーである。
- ・ 地球観測や通信の次に来る分野としては、IoT や Space Situational Awareness が挙げられていた。後者については、ビジネスを超えた大きな枠組みが今後発展していくと期待されている。
- ・ 軍の存在感は大きく、“View the DoD as an Early Adaptive or Fast Follower” という立場で、プロトタイピングによって概念実証(PoC) 得た後のベンチャー企業を支えている。

全体的に見て、これから宇宙ベンチャーを盛り上げていこうという日本とは、ギャップが大きい。その一方で、ソフトバンクビジョンファンドや日本政府の取組に対する言及もあり、日本の動向は注目を集めている。

### 5.3 超小型宇宙ビジネスに関する講義への反映

上記、ヨーロッパの宇宙ビジネスおよびアメリカの超小型衛星による宇宙ビジネスに関するシンポジウムへの参加を通して、宇宙ビジネスの現状と将来に対する知見を得た。このことから、本事業で構築を予定している講義の目的および概要として以下の項目を考えている。



#### (1) 宇宙ビジネスを取りまく世界の現状

目的：宇宙ビジネスのステークホルダとバリューチェーンを理解すること

概要：宇宙ビジネスというと、人工衛星を使ったソリューションに目が行きがちであるが、「ビジネス」と名が付くからには、顧客がいて、顧客が支払う対価に見合った価値を提供でき、投資に見合った利益を生み出さなくてはならない。本講義では、ビジネスの基礎を説明の上、宇宙ビジネスのバリューチェーンについて解説する。

#### (2) 日本の宇宙スタートアップ企業とその環境

目的：日本の宇宙スタートアップ企業と環境を知ること

概要：日本においても、多くの宇宙スタートアップ企業が起業され、事業を伸ばしている。本講義では、日本の宇宙スタートアップ企業を紹介すると共に、スタートアップ企業を支援する枠組みについて解説する。また、ワークとして、日本で宇宙ビジネスを行うことについて、SWOT分析を行う。

#### (3) アメリカ合衆国の宇宙スタートアップ企業とその環境

目的：米国の宇宙スタートアップ企業と環境を知り、日本との違いについて考えること

概要:Small Sat Symposium を題材に、アメリカ合衆国の宇宙スタートアップ企業を紹介すると共に、スタートアップ企業を支援する枠組みについて解説する。また、ワークとして、アメリカ合衆国で宇宙ビジネスを行うことについて、SWOT分析を行う。

#### (4) ヨーロッパの宇宙スタートアップ企業とその環境

目的：ヨーロッパの宇宙スタートアップ企業と環境を知り、日本との違いについて考えること

概要：European Space Week を題材に、ヨーロッパの宇宙スタートアップ企業を紹介すると共に、スタートアップ企業を支援する枠組みについて解説する。また、ワークとして、ヨーロッパで宇宙ビジネスを行うことについて、SWOT分析を行う。

#### (5) 日本の宇宙ビジネスの未来

目的：これまでの講義の内容を元に、日本の宇宙ビジネスの将来について考えること

概要：これまでの講義内容をまとめた上で、学生自身で日本の将来について考えるワークショップ形式の講義を行う。これまでの講義で行なったSWOT分析を振り返り、自身が提案する宇宙ビジネスのビジネスキャンパスを作成するワークを行う。

### 5.4 スタートアップ企業見学ツアー等の受け入れ先

まず、米国の宇宙スタートアップ企業の見学先として、5.2節に示した SmallSat Symposium 期間中に4社と合意を得ることができた。先方の企業においては、自社の宇宙ビジネスを「日本の学生が見学に来る」ということ自体が、投資家への宣伝にもなるため、見学の申し出に対しては好意的に受け止めてもらうことができた。見学できれば、宇宙ベンチャービジネスの本場の雰囲気味わうことができるため、学生にとっても大きなメリットである。その一方で、限られた予算の中では、この機会を享受できる学生の人数が限定されてしまうことが大きな課題である。

そこで、費用の点では有利な国内の宇宙ベンチャー企業も見学先として受け入れを依頼したところ、9社から承諾を得ることができた。2019年度の見学先については、費用対効果も考慮した上で

検討することにする。

また、見学の学習効果を高めるために、5.3 節にも示した宇宙ビジネスに関する講義との連携を考  
える必要がある。

### 5.5 まとめ

この施策の目的は、宇宙スタートアップ企業等の現地調査を踏まえてし、見学ツアーなどにおいて、  
企業等にメリットのある仕組みを構築するための情報を収集することである。本年度に行ったフラ  
ンスとアメリカでの現地調査の報告を示した。さらに、これらの成果を、当初、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」で計画していた「国内外における  
超小型宇宙機ビジネス等に関する講義の内容検討」につなげることとし、その内容を 5.3 節に示し  
た。そして、海外および国内におけるスタートアップ企業の見学ツアー受け入れ先の調査結果を 5.4  
節に示した。

### [5 章 参考文献]

- (5.1) European Space Week, <https://www.euspaceweek.eu/>
- (5.2) 内閣府, 総務省, 外務省, 文部科学省, 経済産業省「宇宙ベンチャー育成のための新たな支  
援パッケージ」, 2018 年 3 月 20 日 <https://www8.cao.go.jp/space/policy/policy.html>
- (5.3) SmallSat Symposium 2019 <https://2019.smallsatshow.com/about/>

### 付録 SWOT 分析

SWOT 分析とは、プロジェクトにおいて、長所 (Strengths) と短所 (Weaknesses)、利用できる機会 (Opportunities) と避けるべき障害 (Threats) の 4 つの  
カテゴリで要因分析する手法のことである。

このうち、S と W はプロジェクトを遂行する側の視点から見たものである。つまり、内部要因である人材、  
財力、リソース、経営戦略のほか、マーケティングも含まれる。これに対して、O と T はプロジェクトで開  
発する製品やサービスを利用する側の視点から見たものである、つまり、外部要因である顧客、経済状況、  
社会環境などを意味する。

	プラス要因	マイナス要因
内 部 要 因	長所 Strength	短所 Weakness
外 部 要 因	利用機会 Opportunity	脅威 Threats

図 5.6 SWOT 分析

## 6章 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

超小型衛星プロジェクトを進める過程で、人工衛星の機能とインターフェースに関するモデリングの実践演習を行った。さらに、協力機関との人工衛星の共同開発に向けて、モデリング遠隔共同作業を経験する機会を設けた。また、システム要求に対する仮説検証を行った。

大阪府立大学（以下、府大とする。）小型宇宙機システム研究センターと室蘭工業大学（以下、室蘭工大とする。）航空宇宙機システム研究センターは、超小型人工衛星「ひろがり（OPUSAT-II）」の共同研究開発を進めている。その衛星モデルを図6.1に示す。なお、本学の小型宇宙機システム研究センターで、「ひろがり（OPUSAT-II）」に参加している学生は44名（1年9名、2年10名、3年6名、4年11名、M1 4名、M2 4名）である。「ひろがり」は国際宇宙ステーションのJ-SSOD(6.1)から放出予定の2Uサイズの超小型衛星である。その主目的は、収納性が高い展開構造物の展開の様子を軌道上で計測することである。そこで、「ひろがり」では折り紙工学におけるミウラ折りを発展させた厚板二次元展開構造(6.2)を軌道上で展開する。そして、その展開の様子を、二次元格子を利用した光学的な表面形状計測手法(6.3)により計測する。図6.1(a)は収納時、(b)は通信用アンテナ伸展時、(c)は厚板ミウラ折り機構の展開の様子を示したものである。

その人工衛星の機能とインターフェースに関する実践的な開発過程において、システム思考の実践的な演習と位置づけ、システム要求に対する仮説検証を行いながら、システムモデルの構築を遠隔共同作業で行った。そして、エンジニアリングモデルの設計、試作、試験を行うとともに、フライトモデルの一部の設計、製作を進めた。その過程を6.1節に示す。なお、開発成果の一部は、国内学会講演会で発表している。それについても、6.1節で述べる。

開発の区切りとして、2019年3月9日(土)に「ひろがり」のフライトモデル製作の可否を判断するクリティカル・デザイン・レビュー(Critical Design Review; CDR)を行った。一部、再審査が必要な項目もあり、当初のスケジュールより遅れることになったが、挽回可能な状態であることは確認できた。今年度の開発のまとめとして、CDRで行った内容を6.2節で報告する。

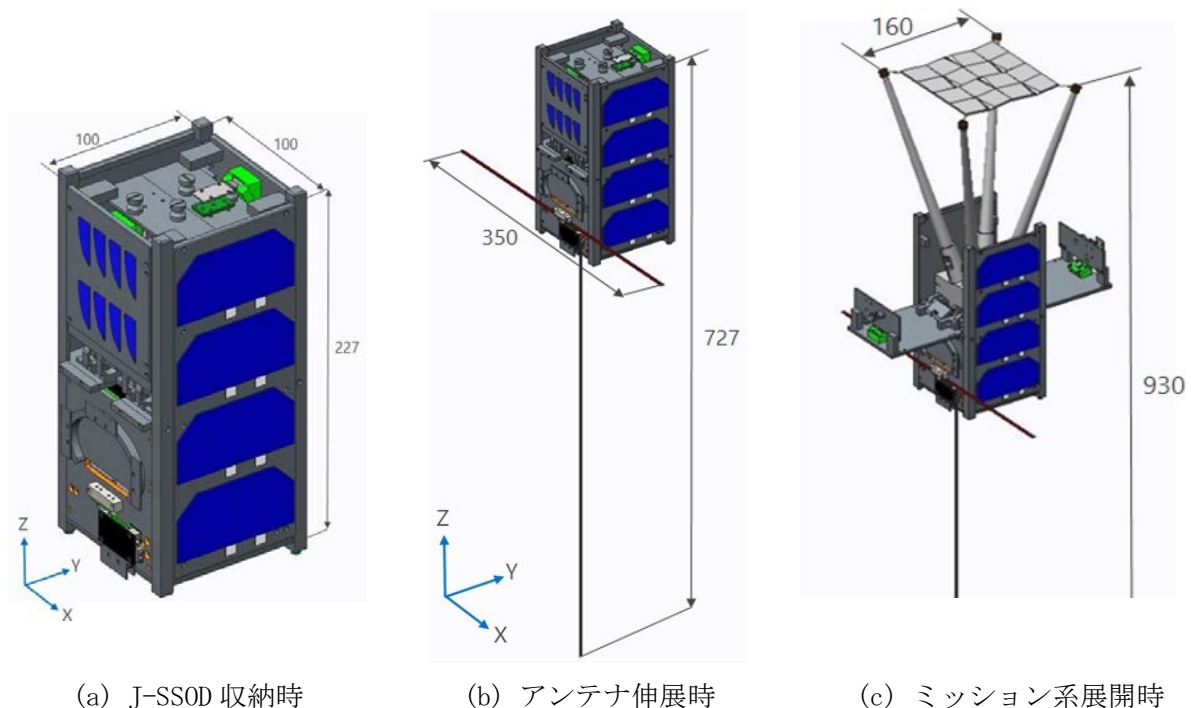


図 6.1 2U サイズ超小型人工衛星「ひろがり」CAD モデル 外観 (数値は寸法 (mm))

超小型衛星プロジェクトにおける学生の意識向上のために行った「PERSEUSキックオフセミナー(2018年11月12日開催)」および他大学の衛星プロジェクトにおける活動についての知見を得るために行った「PERSEUSワークショップ(2019年3月1日開催)」における講演について、6.3節に示す。6.4節には、宇宙科学技術連合講演会(2018年10月24日～26日)において、本事業で参考にする情報として収集した項目を簡単に示す。最後に、6.5節で本施策のまとめを示す。

## 6.1 遠隔共同作業によるシステムモデル構築と超小型衛星の研究開発

### (1) はじめに

本年度は、府大小型宇宙機システム研究センターと室蘭工大航空宇宙機システム研究センターが共同で、超小型衛星「ひろがり」のエンジニアリングモデルを開発製作し、ミッションやミッションを支える各種バス系の機能要求を満足することができるかの検証試験を進めた。遠隔での共同作業としてWebソフトを用いたシステムモデル構築とマネジメントを行い、また、3か月に一度の割合でスカイプ会議を行った。

### (2) Web アプリを用いた遠隔共同開発によるシステムモデル構築

府大と室蘭工大との間で共同研究開発を行うために、遠隔でシステムモデル構築を進めることが

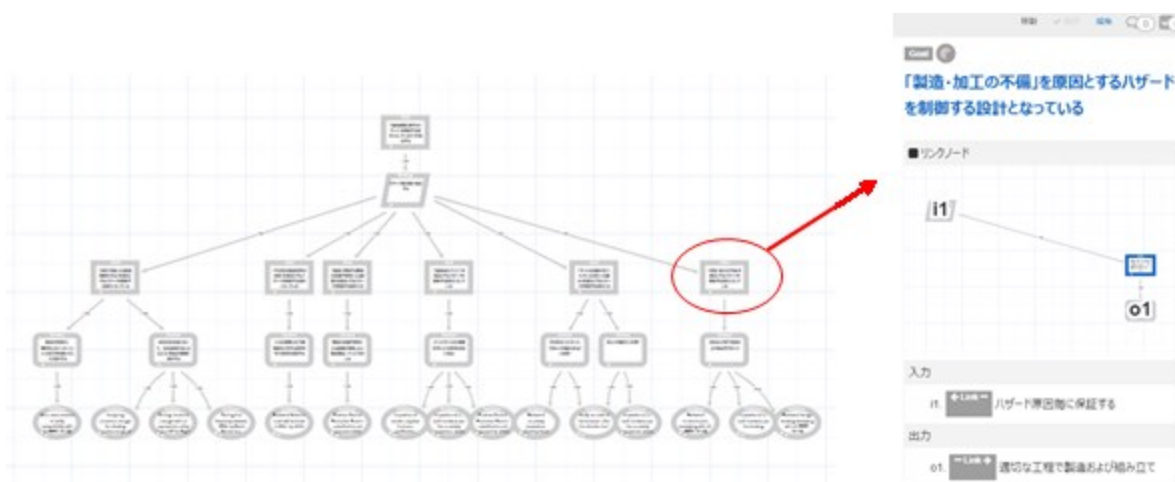


図 6.2 Balus Mega で作成したシステムモデルの例

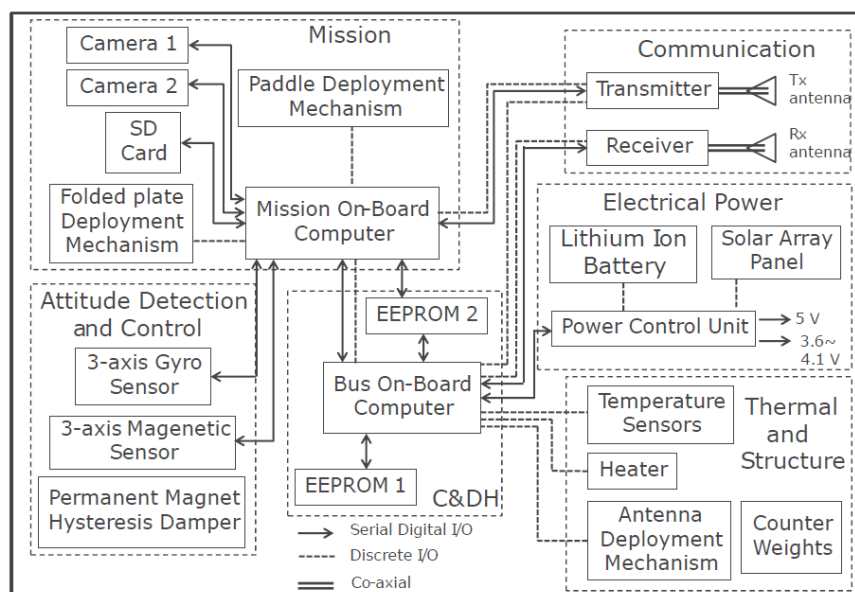


図 6.3 「ひろがり」フライトモデルのシステムブロック線図

できる WEB ソフト「Balus Mega（共同参画機関である株式会社レヴィが開発）」を利用した。このソフトを用いて、両大学のメンバーが共同で作成したシステムモデルの一例を図 6.2 に示す。このソフトはシステムを表す階層図が作成できるだけでなく、各ノードに関連する情報、たとえば、入出力の関係、機能要求、試験方法、試験結果ファイルなど、関連するさまざまなデータをリンクすることもできる。また、その項目に関するチャットなどのコミュニケーション記録を残すことができる。また、スケジュール管理や開発研究記録の整理もでき、マネジメントツールとしても利用できる。

このシステムを利用して最終的に構築した「ひろがり」のシステムブロック図を図 6.3 に示す。

### (3) スカイプ会議による進捗管理

研究開発の進捗管理のために、3 か月に一度の割合でスカイプ会議を行った。本事業の間には、2018 年 11 月 2 日(金)および 2019 年 1 月 18 日(金)に開催した。この会議における報告項目を図 6.4 に示す。この項目をもって、この期間に取り組んだ研究開発の進捗を示すこととする。11 月時点では、府大ではエンジニアリングモデルの試験が、室蘭工大ではミッション機器の詳細設計が進められていること、1 月時点では室蘭工大ではミッション部の試験と検証が、府大では安全審査書類の作成が行われていることがわかる。

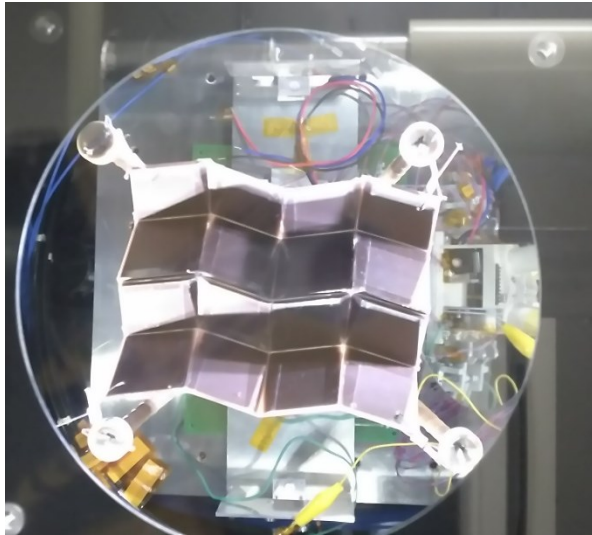
### (4) エンジニアリングモデル試作品ならびに各種試験の一例

本年度に製作したエンジニアリングモデル試作品の一部ならびに検証のために行った試験の一例を示す。

まず、低温真空環境でのミッション部展開試験の写真を図 6.5 に示す。このミッション部は室蘭工大で研究開発したものであり、それを府大小型宇宙機システム研究センターが所有する低温真空チャンバー内で展開を検証する試験である。試験設備の大きさの制限により、完全展開ではなく途中で展開を止めている。実際は、テグス切断に問題があり低温下では十分な展開できなかったが、試験後に温度を戻す過程で展開したときの写真である。

<p>11 月 2 日(金) スカイプ会議 項目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 府大の開発状況               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) ダンパとミッションパネルの一体化</li> <li>(2) EM を用いた試験計画</li> <li>(3) EM 構体の動作確認試験</li> <li>(4) 熱真空試験</li> <li>(5) 振動試験</li> <li>(6) 開発スケジュール</li> </ol> </li> <li>2. 室蘭工大からの説明               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 溶断機構</li> <li>(2) ロータリーダンパ</li> <li>(3) ミッション部単体の EM 振動試験</li> <li>(4) PTFE の放射線・紫外線・原子状酸素試験</li> <li>(5) LED 点灯試験</li> <li>(6) EM ミッション部展開試験</li> <li>(7) 基準面計測装置の設計</li> <li>(8) パドル展開試験</li> </ol> </li> <li>3. AI 確認</li> </ol>	<p>1 月 18 日(金) スカイプ会議 項目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 室蘭工大からの説明               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) ワイヤの引張試験</li> <li>(2) 放射線試験後のヒンジ単体引張試験</li> <li>(3) ミッション部単体の振動試験</li> <li>(4) ミッション部溶断機構の仕様案</li> <li>(5) ミッション部設計変更</li> </ol> </li> <li>1. 府大の開発状況               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 安全審査 / SAR</li> <li>(2) 開発スケジュール</li> </ol> </li> <li>3. AI 確認</li> </ol>
---	--

図 6.4 スカイプミーティングの報告項目

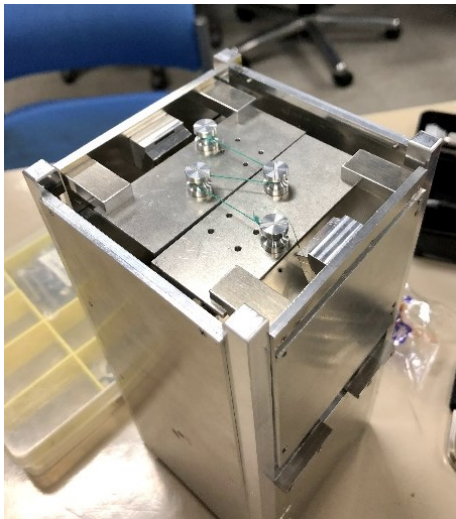


(a) 厚板ミウラ折展開後

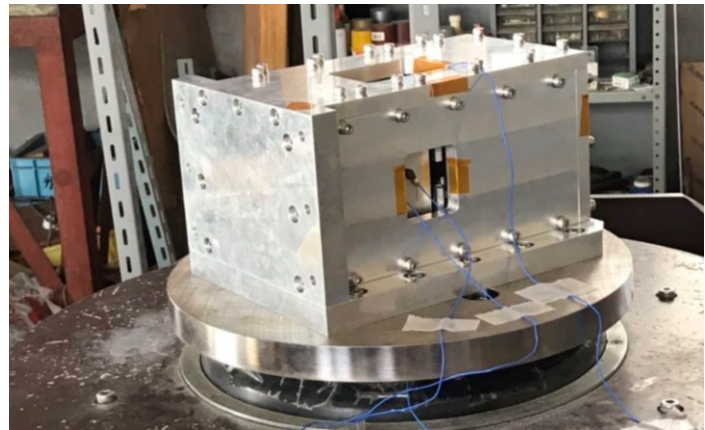


(b) 展開用テグス溶断部

図 6.5 展開機構の低温真空試験



(a) 構造筐体 展開部をテグスで固定



(b) 振動試験 (J-SSOD を模擬した衛星搭載ケースに筐体を格納している)

図 6.6 製作した構造エンジニアリングモデル

また、製作した構造および構造の振動試験の様子を図 6.6 に示す。図 6.6(a) は構造を上から見たところで、展開面をテグスで固定しているところがわかる。また、図 6.6(b) に示した振動試験では、J-SSOD の衛星搭載ケースを模擬したケースを東北大学から借用して、その中に製作した構造エンジニアリングモデルを格納した状態で振動台に固定した状態である。

さらに、構造外部パネルに取り付けたアンテナの様子を図 6.7 に示す。これは、図 6.1(a) に示した-Y 面の下面に相当する。また、図 6.8 は電子回路基板を低温真空チャンバーに入れた低温真空試験の写真である。その回路基板の製作作業の様子と回路基板を図 6.9 に示す。

電子回路関係では、通信回路基板も製作し、通信試験を行った。その様子を図 6.10 に示す。安定化電源から電源をとり、通信アンテナにより人工衛星が発した電波を受信し、その波形ディスプレイに示している。

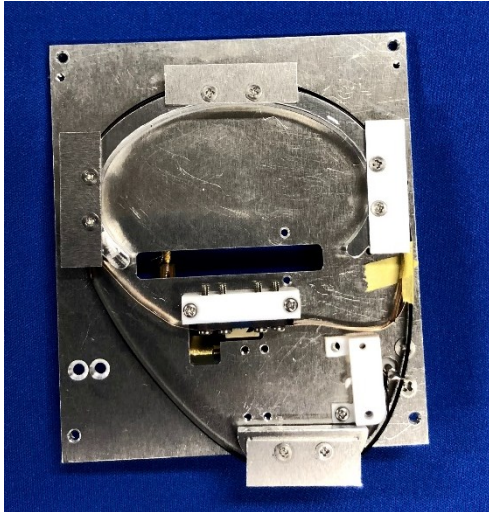


図 6.7 [-Y]パネルに装着したアンテナ



図 6.8 各種電子基板の低温真空試験

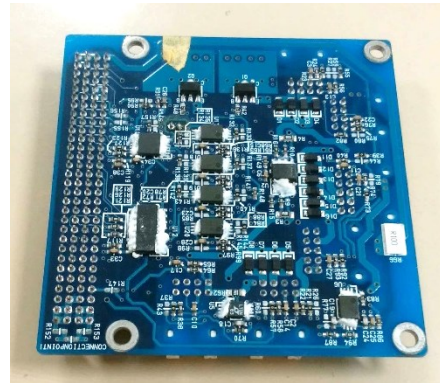
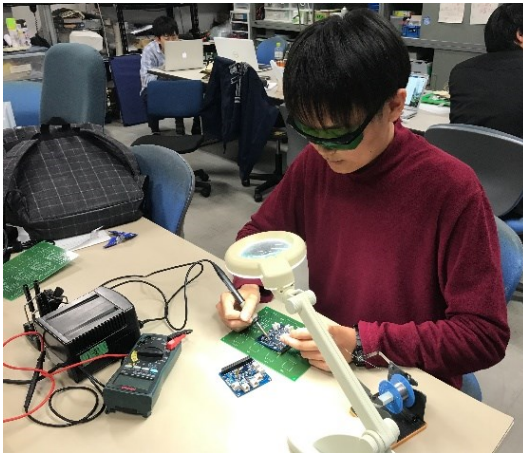


図 6.9 電子回路基板製作の様子と製作した回路基板

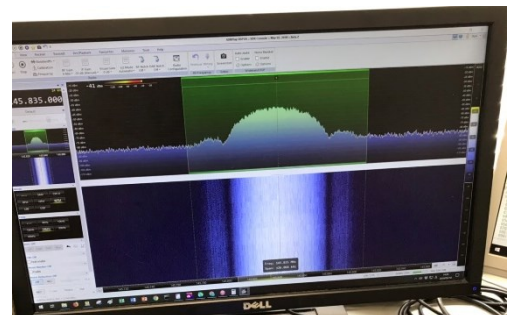
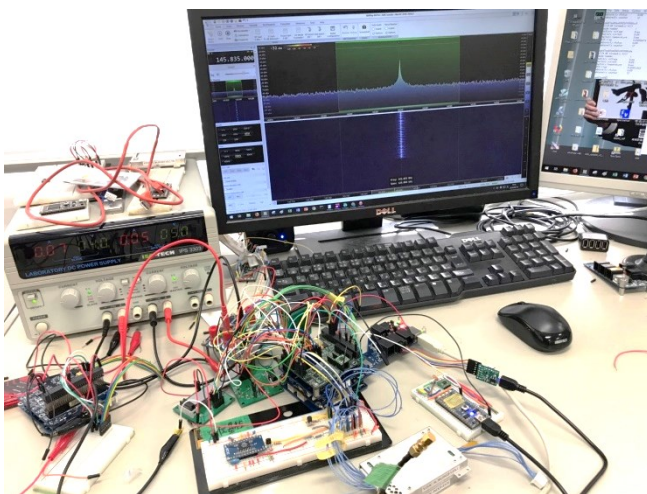


図 6.10 製作した回路を用いた衛星電波受信実験

表 6.1 関連する国内講演会発表

#	タイトル	著者	講演会名、	開催日、場所
1	超小型衛星「ひろがり」の開発	飯田輝澄, 小木曾望, 南部陽介, 樋口健, 勝又暢久	日本航空宇宙学会 第55回中部・関西支部合同秋期大会	2018年11月24日(土) 名城大学 (名古屋市)
2	2U サイズ超小型衛星「ひろがり」の研究・開発状況	林夏澄, 勝又暢久, 樋口健, 橋本真之介, 山崎健次, ヘルショーン諒, 三好賢彦, 小木曾望, 南部陽介	日本機械学会 第27回スペース・エンジニアリング・コンファレンス	2018年12月20日(木)~21日(金) 桂浜荘 (高知市)

表 6.2 CDR 評価項目

項目	細目			
	概要	目的	スケジュール	
バス系	C&DH	姿勢制御系	姿勢計測系	通信系
	熱・構造系	電源系		
ミッション	厚板展開構造	形状計測	カメラ	アンテナ振動計測

(5) 学会講演会発表

「ひろがり」で共同開発した内容を国内学会講演会で、2件の発表を行った。タイトル、著者、学会名などを表 6.1 に示す。1 番は府大が「ひろがり」全般について、2 番は室蘭工大が「ひろがり」展開構造ミッション部について、それぞれの立場から発表した。これらの講演前刷原稿を付録として添付する。

6.2 「ひろがり」のクリティカル・デザイン・レビュー (CDR) と開発状況

2019年3月9日(土)に、大阪府立大学にて CDR を開催した。この CDR では、府大と室蘭工大の関係者 30 名と外部から 5 名の有識者が参加し、表 6.2 に示す内容について報告を行い、安全審査に進むこと、つまりはフライトモデルの開発着手の可否を判断することが目的であった。一部、再審査が必要な項目もあり、2019 年度に二度目の CDR を行うこととなった。当初のスケジュールより遅れることになるが、挽回可能な状態であることは確認できた。なお、CDR 資料の一部を付録として添付する。

6.3 講演会における学習機会

「PERSEUS キックオフセミナー(2018年11月12日開催)」において、室蘭工大の勝又暢久助教を招



図 6.11 PERSEUS キックオフセミナーにおける勝又先生による講演



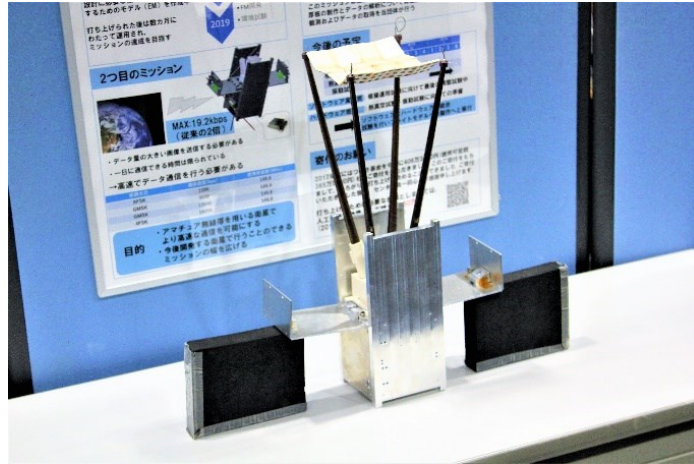


図 6.12 「ひろがり」模型の展示

聘し、「『ひろがり』ミッション部」のタイトルで、室蘭工大が担当するミッション部の講演を行った(図 6.11 参照)。この講演は、府大内に本事業の内容を紹介することが目的であったが、同時に、この超小型衛星の研究開発に携わっている学生が室蘭工大で担当しているミッション部を見直し、理解を深めると同時に、府大と室蘭工大とのチーム連携を深めることも目的であった。また、このセミナーでは、府大の大学院生である飯田輝澄が「超小型衛星「ひろがり」の開発」というタイトルで、「ひろがり」全体について説明した。さらに、このセミナーでは、構造部と展開ミッション部を初めて合体させた「ひろがり」の模型を展示することができた(図 6.12 参照)。具体的な形を見せることは、4.2 節にも述べたように、理解が深まるよい機会となった。

「PERSEUS ワークショップ(2019 年 3 月 1 日開催)」において、東京工業大学の坂本啓准教授を招聘し、「東工大におけるエンジニアリングデザイン教育と衛星 OrigamiSat-1 開発」というタイトルで講演を行った。タイトル前半の内容は 4.2 節に示した通りである。タイトル後半の OrigamiSat-1 は東工大が開発した 3U サイズの超小型人工衛星であり、坂本准教授がその取りまとめを行っている。この衛星は 3U サイズの超小型人工衛星であり、JAXA のイプシロンロケット革新的衛星技術実証 1 号機の実証テーマの一つとして、2019 年 1 月 18 日に打ち上げられた。この衛星の開発経緯が紹介された。この衛星は 3U サイズの衛星で、「ひろがり」よりも大きい、「ひろがり」と同じように、展開構造を有する衛星である。マストを伸ばしてから折り紙状に畳んであった展開膜を展開するもので、その展開膜には薄膜太陽電池が貼ってあり、それによる発電を確認することが目的の一つである。さらに、展開した膜面の状態は小型カメラで計測するミッションもある。この点は「ひろがり」とよく似ている。さらに、アマチュア無線技術の習得も目的にしている。同じ展開構造をもつ衛星として、超小型衛星を開発している学生にはとても参考になる内容であった。

#### 6.4 第 62 回宇宙科学技術連合講演会における超小型衛星に関する動向調査

日本航空宇宙学会が主催する第 62 回宇宙科学技術連合講演会(2018 年 10 月 24 日(水)~26 日(金)、久留米シティプラザ(福岡県久留米市))に参加し、今後の活動の参考にするための超小型衛星に関する調査を行った。本講演会は、700 件以上の講演があり、1000 名以上が参加する宇宙工学に関する日本最大の講演会である。講演会における 48 のオーガナイズドセッションのうち、超小型衛星あるいは宇宙ビジネスと関連するオーガナイズドセッションを以下に示す。

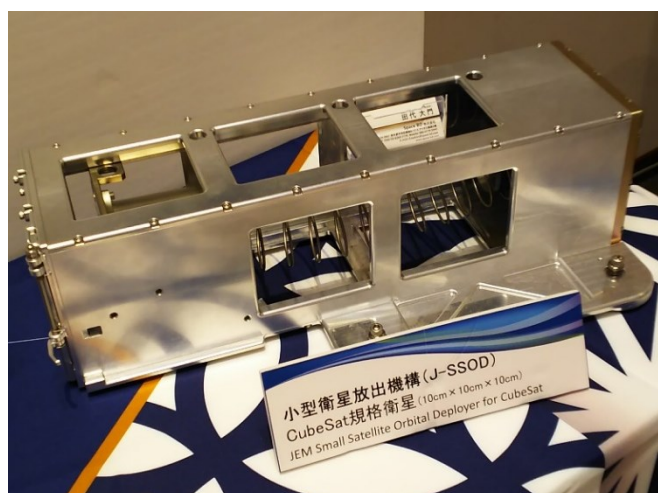


図 6.13 Space BD 株式会社が展示していた小型衛星放出機構 J-SSOD

- ・ 小型衛星あるいは超小型衛星に関するオーガナイズドセッション
  - ✓ 超小型衛星による深宇宙探査の成果と今後の展望
  - ✓ 「きぼう」船外利用プラットフォーム
  - ✓ SS-520 5号機開発と超小型衛星打上結果
  - ✓ 革新的衛星技術実証1号機・イプシロンロケット4号機
  - ✓ ImPACT プログラム：オンデマンド即時観測が可能な小型合成開口レーダー衛星システム
- ・ 宇宙ビジネスに関するオーガナイズドセッション
  - ✓ 人工流れ星をはじめとする新しい宇宙利用と将来
  - ✓ 宇宙ビジネスパネル～宇宙産業の市場拡大を目指して～
- ・ システム思考教育に関するオーガナイズドセッション
  - ✓ 大学におけるシステムズエンジニアリング教育と研究

また、講演会場では関連する企業の展示があり、「きぼう」からの超小型衛星放出事業を行う Space BD 株式会社 (図 6.13 に示す小型衛星放出騎乗 J-SSOD を展示)、超小型衛星開発を行っている株式会社 ALE、超小型衛星用部品商社である株式会社ジュピターコーポレーションをはじめ、展示企業から有益な情報を収集することができた。特に、株式会社ジュピターコーポレーションには、後日、府大において、超小型人工衛星の太陽電池をはじめとする各種機器について詳細な説明を依頼した。

#### 6.5 本章のまとめ

超小型衛星を、二つの大学で共同して研究開発をするというプロジェクトは、遠隔ゆえに意思疎通を取るのが難しくなるという課題がある。その中で、システム思考・仮説検証を支援する Web アプリソフト”Balus Mega”を用いて、共通のモデルを遠隔で編集しながら、プロジェクトを進めることで意思疎通の問題をクリアしながら進めることができた。

開発に遅れが出ている現状では、その効果が十分であったとは言い難い面もある。今後、さらなる効果が出るように、仮説検証の実践を進める必要がある。

また、宇宙科学技術連合講演会で得られた超小型衛星に関する知見を示した。

[6章 参考文献]

- (6.1) 宇宙航空研究開発機構, 小型衛星放出機構 (J-SSOD), <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/jssod/>
- (6.2) 勝又暢久, 橋本真之介, ムハマド・ハフィズディン, 樋口 健, 平面板構造の折りたたみ方法と構造剛性, 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, (2017), 2F15.
- (6.3) 山崎健次, 樋口 健, 勝又暢久, 岸本直子, 岩佐貴史, 藤垣元治, 高精度アンテナシステム構築のための主鏡変形計測手法, 第 60 回構造強度に関する講演会, (2018), 3B11.

## 7章 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

アクセラレータによるアントレプレナーシップに関する講演会を2件、開催した。1件目は「PERSEUSキックオフセミナー(2018年11月12日開催)」において、もう1件は「PERSEUSワークショップ(2019年3月1日開催)」においてであり、いずれも共同参画者である株式会社インディージャパンの津嶋辰郎氏が講師を務めた。それぞれ、7.1節、7.2節でその概要を報告する。これらの成果と明らかになった課題を7.3節に示す。

なお、もともと、宇宙業界のスタートアップ関連情報収集は本施策の目的としていたが、「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」の方が関連が強いので、5章に記述した。

### 7.1 PERSEUS キックオフセミナーにおける津嶋氏の講演

津嶋氏に、「宇宙は今、起業家が目指す最大のフロンティア」というタイトルで講演いただいた。まずは、スペースX社を設立したイーロン・マスク、ブルーオリジン社を設立したジェフ・ベゾスなど有名な起業家が宇宙に目を向けている現状を紹介した。これらの宇宙企業は国家予算並みの活動資金を調達し、有人宇宙飛行を計画するなど、これまで国の機関が行ってきた以上の事業を民間で実現しようとしていることを示し、これらの成功は、アメリカに民間で宇宙開発を行うことが当たり前であるような状況を作り出し、多くの起業家が宇宙を舞台に活躍しようとしている現状を示した。そして、自らのベンチャーアクセラレータとしての活動体験から、起業家として重要な要件として、「自分で決める人」、「リスクをとる人」、「最後までやり遂げる人」ということを伝えた。

府大では、エッジネクストプログラムによる「グローバルアントレプレナー教育プログラム」(高度人材育成センター主催)やリーディング大学院プログラム「システム発送型物質科学リーダー養成学位プログラム」など、アントレプレナーシップに関連した複数のプログラムが実施されているので、起業を身近に感じている学生も多い。しかしながら、本事業が対象としている小型宇宙機システム研究センターの学生は、本講演自体は興味深く聴いてはいたが、起業家に対してはあまり親しみを持っていないようであることもわかった。小型宇宙機システム研究センターの学生には、工学の中でも機械系や電気系の学生が多い。これらの所属学生は、上記のプログラムに参加する学生も少ない。本事業を進める上で、学生が起業家に持つイメージを変えることが課題となる。



図 7.1 PERSEUS キックオフセミナーにおける津嶋氏の講演



図 7.2 PERSEUS ワークショップにおける津嶋氏の講演

## 7.2 PERSEUS ワークショップにおける津嶋氏の講演

前節に示した学生の意識を踏まえ、PERSEUS ワークショップ(2019年3月1日開催)においては、「アントレプレナー・イノベーターのリアル」というタイトルで、起業家と呼ばれる人たちが実際にはどのような行動をしているのかを講演を行った(図7.2参照)。

まずは、アントレプレナーやイノベーターと呼ばれる人の共通点として、「頭の中にやりたいことが実現している、イメージしている」ということを上げ、その要件としては、前回と同じく、「自分で決める人」、「リスクをとる人」、「最後までやり遂げる人」を上げた。これは、アントレプレナーと呼ばれる人でなくても、技術者・研究者にとっても重要な資質であり、さらに言えば、学生であっても、人工衛星や人力飛行機などなにかを開発しようとしている人にも重要な資質である。そして、人の能力を図7.3に示す冰山モデルで説明をした。これは、目に見える知識、スキルだけでなく、目に見えないところにある行動特性や価値観が関係しているというものである。例えば、行動スキルの特性としての「質問力」、「観察力」、「ネットワーク力」、「実践力」、「関連付ける力」、「発見力」、「実験力」について説明した。それらの意味は図7.4に示す。さらに、チームで開発を行うことを考えたとき、「発見力」と「実行力」のバランスによる役割分担が重要になってくるとの紹介があった。

そして、後半は、マズローの欲求段階による最上位欲求である「承認欲求」、「自己実現の欲求」が重要となること、また、活動を続けるにあたっては自分の師匠となるメンターを持つことの重要性を説明された。全体を通しては、「起業家」というよりも、技術者・研究者ひいては社会人になるにあたっての重要な心構えと言い換えてもいい内容であった。

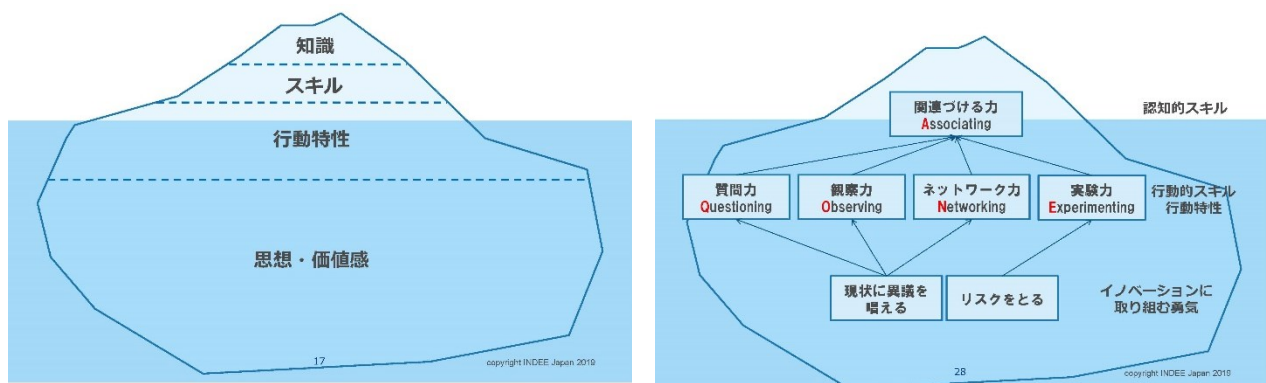


図 7.3 人の能力を例える冰山モデル

質問力 ～ 正しい質問を探す能力  
 観察力 ～ ユーザーの立場になって価値のあるものを観察する能力  
 ネットワーク力 ～ 自分と価値観の異なる人から学ぶことができる能力  
 実験力 ～ 新しい解決策を見つけるために、試してみる能力  
 関連付ける力 ～ 組み合わせにより新しい価値を生み出す能力  
 発見力 ～ 新しいチャンスを見つける能力  
 実行力 ～ 業務の遂行能力

図 7.4 アンブレプレナーやイノベーターにとってキーとなる能力

1. 印象に残った話題はどれですか？次から 3 個、選んでください。
  - a. 頭の中にやりたいことが実現している。イメージができています。
  - b. 自分で決める、リスクをとる、最後までやり遂げる
  - c. 冰山モデル, d. 観察力, e. 発見力 「ユーザーについて ユーザーの身になって考える」
  - f. 質問力 「正しい質問を探すことこそが、重要かつ至難の問題だ。」
  - g. 問題解決力 << 問題発見力, h. ネットワーク力～ 自分と違うタイプと会っていますか？
  - i. 関連付ける力 ～ 組み合わせで新しい価値を生み出す
  - j. タイプ きちんちん行うタイプ, 新しいことを始めるタイプ
  - k. 5つの欲求 ～ 生理的欲求, 安全の欲求, 所属と愛の欲求, 承認の欲求, 自己実現の欲求
  - l. メンター（指導者・師匠）～ 思考や行動の枠を外す。
2. 今回の講演から学んだ中で、今後何を活かそうと思えますか。わかりやすく説明してください。
3. 今回の内容を他の学生に推薦しますか？理由とともに答えてください。

図 7.5 津嶋氏の講演へのアンケート

表 7.1 津嶋氏の講演へのアンケート 1 の回答

印象に残ったことはどれですか？（一つ以上選んでください） 項目	人数
<b>a. 頭の中にやりたいことが実現している。イメージができています。</b>	10
<b>b. 自分で決める、リスクをとる、最後までやり遂げる</b>	9
c. 冰山モデル	6
d. 観察力	1
e. 発見力 「ユーザーについて ユーザーの身になって考える」	2
<b>f. 質問力 「正しい質問を探すことこそが、重要かつ至難の問題だ。」</b>	10
g. 問題解決力 << 問題発見力,	2
<b>h. ネットワーク力～ 自分と違うタイプと会っていますか？</b>	8
i. 関連付ける力 ～ 組み合わせで新しい価値を生み出す	4
j. タイプ きちんちん行うタイプ, 新しいことを始めるタイプ	2
<b>k. 5つの欲求 ～ 生理的欲求, 安全の欲求, 所属と愛の欲求, 承認の欲求, 自己実現の欲求</b>	8
<b>l. メンター（指導者・師匠）～ 思考や行動の枠を外す,</b>	9

表 7.2 津嶋氏の講演へのアンケート 「2. 今回の講演から学んだ中で、  
今後に何を活かそうと思いますか」への回答

質問力や問題発見力の重要性を今後活かそうと思う。基本的に問題を解決するためには、対処療法的ではなく、根本的な原因を発見できる能力がより有効だと考えているから。
問題を発見する力を養うこと
自分の考え方を変えてくれるようなメンターを見つけていきたい
次の衛星プロジェクトのミッションでは、自分たちのやりたいことを明確にイメージし、それによって得られる成果に価値を見出せるものにするのが大切だと考えました。
部活の先輩や先生などに、今自分が考えていることを積極的に話し、自分では考えもしなかったような意見をもらってほしいと思いました。
自分の一日の時間の使い方を見直して、自分を変えていくための時間を作りたいと思う。
設計製作上で起こり得る問題を考え発見できるようになることで、より良いものを作りたい。
成功した人は特別だという思考の枠をはずして、自分の問題発見力をあげたりすることにいかしていき
正しい質問の仕方
五大欲求について自分のなかで整理して、今後自分の生き方を決めていく上で何を大切にしていきたいのかの指標として活かしたいと思う
目標を定めて目標の達成に何が必要かを考えること
悩んでいる人がいたらその人が行ったことのないような所へ連れて行ってみたいと思う。
面白そうな本が紹介されていたので読んでみたいと思う。
自分を変えるための方法がいくつも紹介されていたので、それを実践してセルフコントロールが出来る人間になりたいです。
開発・研究だけをやっていたり、近い考えの人とだけ話していると考えが偏ってくると思うので、様々な考えの人とコミュニケーションをとり、広い者の考えができるように意識したい。
積極的に質問することを意識していきたいと思う
今回の講演を聞く前は、アントレプレナー・イノベーターは世の中になかった新しいものを作る人のことだと考えていたが、実際には頭の中にやりたいことが実現している、イメージができていて人のことだと学んだので、与えられる仕事などを漠然とこなすのではなく、自分は何をしたいのか、何を作りたいのかを考えられるようにしたいと思いました。
また、冰山モデルの行動特性の中でも発見力に優れているのがイノベーターであり、新しいアイデアや視点を身に着けるためには自分と考えが異なる人たちや様々な専門家との交流を持つことが大切であるということ学んだので、今自分が所属するコミュニティにとどまるのではなく、自分が全く知らない分野や自分と全く異なる人々と触れ合える場を見つけ、自分の視野を広げたいと思いました。
また、自分の思想・価値観はなかなか変えにくい部分だと思いますが、まず現状に満足することなく疑問を持つようにし、普段過ごす場所や時間の使い方を変えることで、アントレプレナー・イノベーターの様にはできなくても、ゴールやビジョンを自分の中で具体化できるようにしていきたいと思いました。
今の自分のタイプを生かすのか、違うタイプにシフトするように挑戦するのかをよく考えて、自分の取り組むことを見つけていきたい。
発見力と実行力のグラフを紹介していただき、自分が何が得意なのか、しっかりと把握して活かすことを求められていると感じました。 まずは自分自身について理解することから始めます。
人と会い考えを共有することを重視していきたいです
問題を発見するという視点を持ちたい。
プロトタイプを作製し、早い段階で共感や要求を引き出すことの重要さを再認識できました。まず形にする事を目指し、アイデアを実現に近づけていきたいです。
イノベーターはリスクを冒さずに行動できるような生まれつきの気質がないと慣れないと思っていましたが、5つの欲求の下の階層の欲求を満たしていけば手が出しやすくなるという話を聞き、それを意識して生活することでリスクをとってでもやってみたいと思うものを見つけたいと思いました。

表 7.3 津嶋氏の講演へのアンケート 「3. 今回の内容を他の学生に推薦しますか」 への回答

推薦します。今の社会で求められている能力を、それをよく知る方から対面して聞くことができる。また要点をきいてしまった説明によって、覚えておくというポイントがわかりやすかった。以上のことと、今回の内容が今後調べるための足掛かりにもなるため。
推薦する。冰山モデルを参考にし、お互いに知識だけでなく見えない能力を見えるようにしていくと今後の開発で、プラスになると思ったから。
ビジネスで成功したいと思っている学生に薦めたい。励ましになる上に、ビジネスマンが陥りやすい失敗を指摘してもらえらるから。ビジネスで成功する野心のない学生にはおすすり出来ない。本当の自分を探す努力を怠りがちになるから。
これまで私には「発見力」や「実行力」なるものがないと思っていましたが、自身の身を置く環境を変えることでこれらの力は伸ばせるのだと感じ、少し自信を持てたからです。
推薦します。例えばあるグループで、ネットワーク力の話、グループ全員が知っていることにより、積極的に自分と違うタイプ、ここでいう他のメンバーの考えもとり入れるようになり、より良い議論が展開できると思ったからです。
分野に関係なく、多様な学生の成長につながると考えたため他の学生に推薦したいと考える。
はじめテーマに全く興味を持たずに聴いたが、とても興味深く、学んだことも多かったのでぜひ勧めたい。
推薦します。まず意外と知らない自分に何が足りていないかを知ることができるため
開発にフィードバックすることができるため、推薦する
モチベーションが上がるので推薦します。
主旨は行動を起こすことで行動特性や身に付けられる知識・技能を変えることができることだったと思うが、このことはどのタイプの人にとっても有益だと思われるので推薦したい
推薦する。大学の友人は本人と同じような考え方の人間とばかり関わっている人が多いと感じるから。
推薦はします。異なる考え方に触れる機会だと思うからです。
自分を見つめ直す良いチャンスだと思うので推薦します。
推薦する。特に工学系の人。社会の要求や、新たな価値を想像することを考えるきっかけになる講義だったと思うから。工学を学んでいる人は、学問の特性上、理論や実装などについてのみ考えてしまう傾向にあると思う。社会で求められていることを反映しない物作りは何の意味もないと個人的には思う。
自分を変えたいと思っている学生には推薦します。講演では普段意識していないことを教えてくれたため
アントレプレナー・イノベーターと呼ばれる人たちはとても遠い存在のように感じていましたが、その人たちの特徴を見れば自分たちにもまねできる部分があり、自分の普段の行動を変えることからでもアントレプレナー・イノベーターに近づくことを学べ、今まで自分の中になかった考えを持てる内容だったので、他の学生にも推薦したいです。
行動を変えるきっかけとなるような講演会だったので、推薦します。
プログラムに、アントレプレナーシップを育むという明確な目的があるので、そういう志向を持っていない学生にとっては身が入りにくいところがあったと感じました。起業に興味がない学生に、可能性の一つとして起業を提示する、という内容なら勧めやすいかなと思います。
自分と違う人と会い視野を広げる第一歩として推薦したいと思います
推薦します。考え方の幅が広がるから。
推薦します。間口が広く、門外漢やタイプの異なる聴衆にも、イノベーションに対し積極的な考えを持てる内容だったと思います。
イノベーションは天才しかできないと思っている人が多いと感じますが、普通の人でもイノベーターに近づく方法があるということを知ってもらいたいため、推薦したいです。

このワークショップの後、学生の理解度を測るために参加者 23 名に対して、図 7.5 に示すアンケートをとった。その結果を表 7.1 から表 7.3 に示す。まず、1 番目の質問に対する回答から、印象に残った項目が大きく 5 つに分かれているが、これは津嶋氏が具体的に説明した項目に偏在した結果であり、学生にそのほかの項目を思い出させるための質問である。続いて、表 7.2 に示す 2 番目の質



問に対する回答から、学生は「アントレプレナー」＝「起業家」というイメージが強いことがわかる。特に中央あたりの長い解答を見ると、学生の中で「目標を持った人」という再構築がなされたことがわかる。次に、表 7.3 に示した 3 番目の質問に対する回答から、「アントレプレナーは遠い存在ではない」、「イノベーションは天才しかできないと思っている人が多いと感じますが、普通の人でもイノベーターに近づく方法がある」ということを感じた学生が多いことがわかる。学生に自信を持たせる効果もあったと思う。

### 7.3 まとめと課題

当初は、この内容に興味をもつ学生が多くて参加者を絞り込むのが大変だと考えていた。しかし、いざ募集を始めると、参加者希望者が少なかった。しかしながら、講演を聴いた後には、学生は『アントレプレナーに抱いていた予想と異なり』、興味を持った」という感想が多い。このことから、「アントレプレナー」＝「起業」と思っている学生が多いことがわかる。そのような学生は、アントレプレナーシップを敬遠する傾向が強いことがわかった。

本事業は、宇宙システム活用人材の育成であり、参加している小型宇宙機システム研究センターの学生は、超小型衛星を開発したいという思いがあり、少なくともなんらかの形で宇宙に興味があることが大前提になっている。ただし、起業したいという思いが強いかどうかは問わないし、日頃の活動を見る限り、起業に興味がある学生はあまりいないと感じていた。しかし、学生は、新しいものを開発したい、現在取り組んでいるテーマを実現したいという思いが強いことは伝わってくる。

開発する目標をよりよく実現するために必要なことが、システム思考であり、アントレプレナーシップであるというのが、われわれ担当者の思いである。したがって、小型宇宙機システム研究センターの学生はシステム思考の考え方を受け入れるのと同じように、アントレプレナーシップを受け入れるものと考えていた。しかしながら、アントレプレナーシップに対しては、システム思考ほど興味がないことがわかった。

したがって、起業に対する興味が薄い学生に対しては、「アントレプレナーシップ」＝「起業」というイメージを払拭させ、「新しいものを開発するために必要な考え方や心構え」であることを定着させることから始める必要があるという課題が明らかになった。

次年度は、アントレプレナーシップの考え方を定着させることも意識して、事業を進める必要がある。

## 8章 平成30年度のまとめと波及効果

本報告書では、「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」における平成30年度の事業に対して、6つの施策ごとの成果を報告した。本章では、全体を俯瞰しての達成度および波及効果、そして今後の課題について述べる。

まず、本事業は、宇宙開発の重点がサービスへ移行していこうとする今後の状況に対応するために、宇宙サービスを念頭に置いた人材育成が行えるよう、大阪府立大学「小型宇宙機システム研究センター」のあり方を変え、教育・研究拠点として発展させることを目的としている。そして、学内の他組織と連携することで相乗効果を生むことをめざしている。その概要を図8.1に示す。事業後のありたい姿に近づくよう、本事業では6つの施策を実施した。

本章では、計画書（様式2）に記した期間全体における各施策の具体的な指標および目標に対して、本年度の達成度および波及効果を以下に述べる。

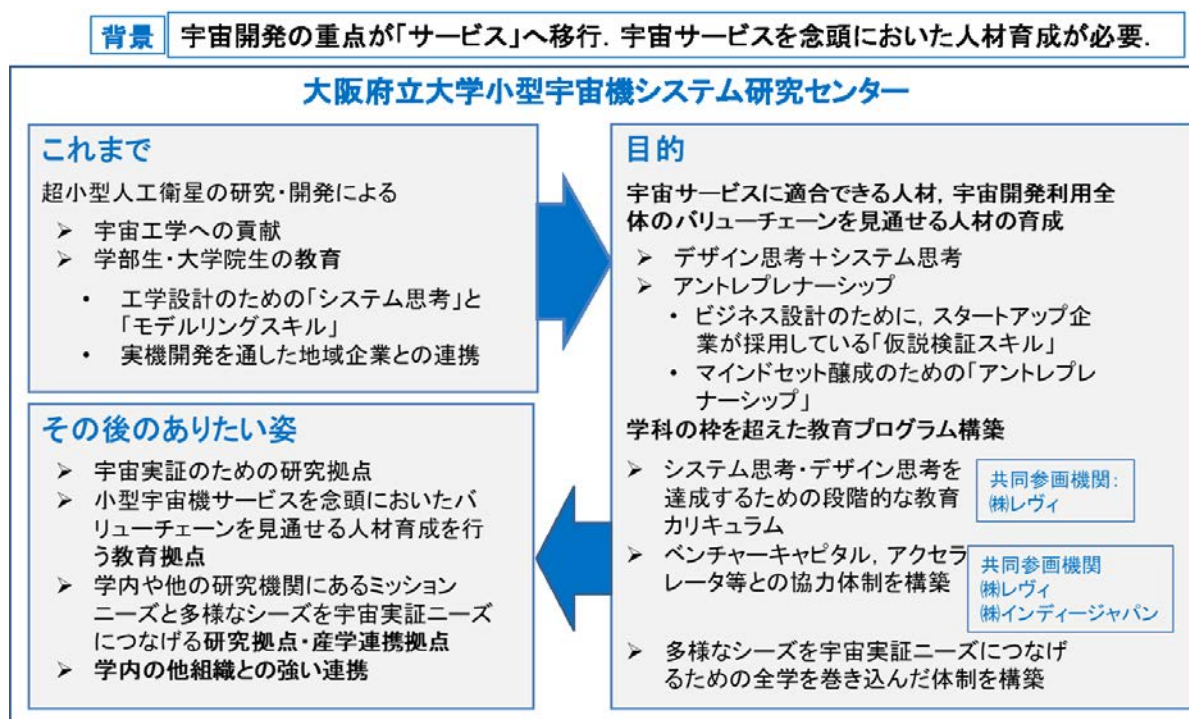


図 8.1 本事業でめざすもの

### 8.1 【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

施策1の年度ごとの目標および達成条件を表8.1に示す。本施策においては、図2.1に示した教材「Thinking in Systems システムとして考えるーシステム思考&システムモデル入門ー」および図2.3に示したカードゲーム教材「ペジテの自転車」を制作し、公開することができたため、計画通りに達成することができた。この教材は、「PERSEUSワークショップ（2019年3月1日実施）」で用いたため、その参加者の25名がモニタリング指標となる。本年度は、1回のワークショップで計画していたため、指標数としては計画通りである。

表 8.1 施策1の目標、達成条件、モニタリング指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	モデリングに関する体系的教材が公開されている.	学習者がスライドを閲覧可能な状態となっていること.	・本教材を閲覧した学習者の数
R. 1	仮説検証に関する体系的教材が公開されている.		
R. 2	事例集が公開されている.		・事例の数

表 8.2 施策2の目標、達成条件、モニタリング指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	次年度以降の実施内容が明確になっている.	カリキュラムが作成され、担当者が割り当てられること.	
R. 1	レベル1-2の学生を対象に本演習が実施されている.	学習者が受講していること.	・本演習を受講した学習者の数
R. 2			

次年度以降、本事業における施策2や施策3で、これらの教材を用いて、学習者を増やしていく予定である。なお、次年度の指標としては、モデリングに関する体系的教材と仮説検証に関する体系的教材と分けて考えることになる。

なお、これらの教材は、本学のリーディング大学院講義や、高度人材育成センターが主催する「テックソン」（施策3で協力）やその他の「ビジネスアイデアコンテスト」などでも利用する予定である。これにより、小型宇宙機システム研究センターだけでなく、本学における宇宙工学以外の一般のアントレプレナーシップ教育への波及効果を目指す。

## 8.2 【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

施策2の年度ごとの目標および達成条件を表8.2に示す。3章に示したように、これまで小型宇宙機システム研究センターにおいて、一年生教育として学生主体で実施していたCanSat実習において、システム思考に沿った改良を加えて実施した。本年度の実施において得られた成果と問題点をもとにカリキュラムを作成することができた。また、学生だけでは困難な決定事項には教員の役割を決めることができた。このため、初年度学生への実習カリキュラム構築に対する目標は達成することができた。

一方、この実習において、初年度学生だけでなく、指導する上級生が行う「指導」もシステム思考を理解する上では重要であり、指導をも演習として発展させ、次年度に試行する。こちらは目標としては明確になっていなかったが、次年度が試行となるため、カリキュラム構築までには至っていない。

波及効果としては、小型宇宙機システム研究センターが高大連携事業として実施している茨木工科高校へもこのような実習の考え方を指導方法として取り入れてもらうことを予定している。高校生向けへのアレンジは茨木工科高校の教員と相談していく予定である。

さらに、CanSatは題材としては、宇宙分野だけでなく工学系を中心に、設計、製作、実験検証という一つの流れを組むシステム思考実習の題材としては手頃であり、本学の高度人材育成センターが主催する行事に参加する学生が興味を持ちやすい対象である。そこで、小型宇宙機システム研究センターの枠を超えて、高度人材育成センター主催の実習として発展させることを目指す。

表 8.3 施策3の目標、達成条件、モニタリング指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	ワークショップの実施内容が決定している.	学習者に対して, ワークショップを告知している.	
R. 1	ワークショップを実施し, また改善計画が作成されている.	ワークショップが実施されて改善計画が作成されていること.	・本ワークショップに参加した学習者の数
R. 2	改善されたワークショップが実施されている.	ワークショップが実施されて報告書が作成されていること.	・本ワークショップに参加した学習者の数

表 8.4 施策4の目標、達成条件、モニタリング指標

(a) 「様式2 (計画書)」に示した指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	双方にメリットのある仕組みを構築している.	対象企業と合意が取れていること.	・対象企業の数
R. 1	学生を選出し, ツアーを実施できている.	対象企業へ学生が訪問できていること.	・ツアー参加学生の数
R. 2			

(b) 追加とする指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
R. 1	超小型宇宙機ビジネスに関する講義のカリキュラムが構築されている.	講演会として一部が試行できていること.	・講演会の参加者数
R. 2	超小型宇宙機ビジネスに関する講義の改善計画が作成されている.	講演会として一部が試行できていること.	・講演会の参加者数

また、国内では「能代宇宙イベント」など、CanSatに対するコンテストが広く行われている。小型宇宙機システム研究センターからスピンアウトする形で、このようなイベントに参加する学生団体の設立へと発展させることも考えられる。

### 8.3 【施策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

施策3の年度ごとの目標および達成条件を表8.3に示す。本年度は、本学高度人材育成センターが主催したテックソン（4.1節参照）へ協力するとともに、仮説検証を学ぶためのワークショップとして「PERSEUSワークショップ(2019年3月1日)」(4.2節参照)を実施することができたので、目標は達成できている。一方で、図2.3に示したカードゲーム教材「ペジテの自転車」を使った教育は十分な時間が取れていなかったため、次年度以降は時間配分を工夫するなどの改善を行い、ワークショップを実施する。

仮説検証は、アントレプレナーシップ教育の主要な部分を構成するものであり、宇宙に特化したものではない。そこで、高度人材育成センターが主催する「テックソン」において仮説検証の考え方を導入することで、本事業の成果をテックソンに積極的に展開することで波及効果を目指す。さらに、本学高度人材育成センターの教員とも連携して、さらに広く展開することを目指す。

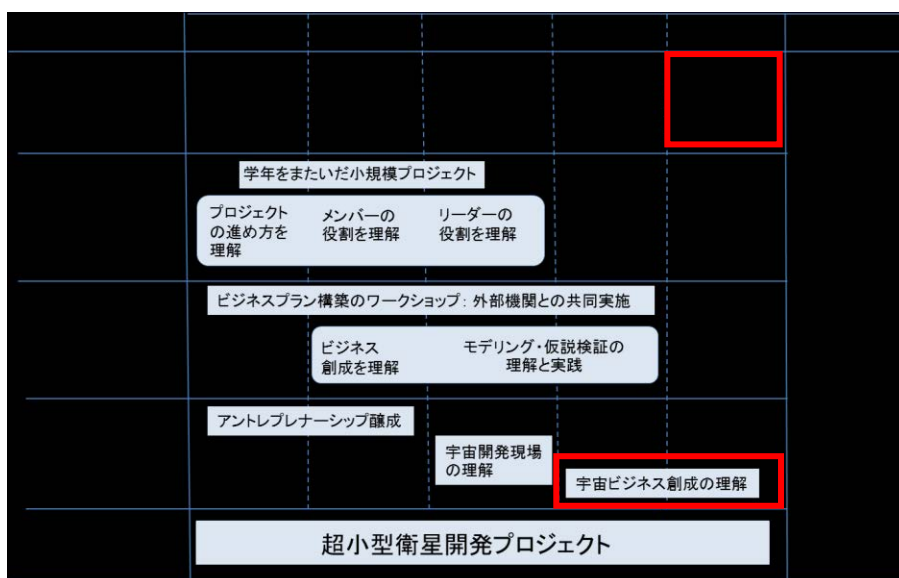


図 8.2： 教育プログラムの概要と学年との対応（様式 2 より抜粋、赤枠は本図で追加）

#### 8.4 【施策 4】 宇宙スタートアップ企業や他大学の見学による宇宙開発の動向調査

施策4の年度ごとの目標および達成条件を表8.4(a)に示す。5章に示したように、宇宙スタートアップ企業等の現地調査を踏まえて、海外および国内の複数の宇宙スタートアップ企業から、見学ツアーなどの受け入れ先を獲得することができ、また、企業にメリットのある仕組みを検討した。一方で、海外に関しては費用の問題もあるため、費用対効果を検討することが必要となる。

一方で、5章に示したように、海外視察から、宇宙ビジネスに関する現状と将来の方向性に関する体系だった講義を整備することを目指すことを目標に追加することとした。これに対する各年度の目標を表8.4(b)に示す。計画書（様式2）では、この講義を施策1の項目として入れていた。しかし、この内容は本施策との関連性が強いため、本施策に移動し、目的を明確にする。

このような宇宙ビジネスに関する講義は、宇宙工学との親和性が高いが、情報、通信など幅広い工学領域、ビジネスの視点から見ればより広い領域との親和性も高く、大学院向けの学際的な講義科目として発展させる波及効果がある。本学においては、高度人材育成センターと協力して実現を目指す。

#### 8.5 【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

施策5の年度ごとの目標および達成条件を表8.5に示す。6章に示したように示したように、小型宇宙機システム研究センターの学生44名を中心に超小型衛星「ひろがり (OPUSAT-2)」の開発を進めた。3月末に安全審査を受審する予定ではあったが、現段階(2019年5月)では、2019年6月に受審する予定である。衛星の機能モデルの枠組は完成していたが、一部、再審査が必要な項目もあり、基本設計レビューの終了までは至らなかった。なお、この遅れにより、打ち上げ時期が2020年度にずれ込むが、2020年度に運用を行うことが可能なので、当初の計画は達成できる見込みである。

表 8.5 施策5の目標、達成条件、モニタリング指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	衛星の機能とインターフェイスに関するモデリングの実践演習を実施できている。	衛星の機能モデルができており、基本設計レビューが終了していること。	・衛星プロジェクトの進捗率 ・メンバー数
R. 1	衛星の設計開発が完了し、打上げ準備が整っている。	詳細設計レビューが終了し、全ての環境試験、システム統合試験が完了していること。	・モデリングツールの使用状況 ・プロジェクト進捗率
R. 2	衛星の運用を行い、ミッションが達成されている。	衛星のサクセスクライテリアに準ずる。	・サクセスクライテリアの達成率

表 8.6 施策6の目標、達成条件、モニタリング指標

	目標	達成条件	モニタリング指標
H. 30	アントレプレナーシップに関する講演会が開催されている。	講演会が開催されること。	・講演会への参加者数
R. 1	起業家等を招いた講演会や意見交換会が開催されている。	四半期に1度講演会・意見交換会が開催されること。	・講演会への参加者数
R. 2			

衛星プロジェクトは室蘭工大と共同で実施しているが、共同参画機関である株式会社レヴィが開発したWEBアプリ「Balus Mega」を用いることで、遠隔地とのシステムモデル構築やコミュニケーションに関する問題点は見られなかった。このことから、新たな超小型衛星プロジェクトを立ち上げるにあたって、他大学や他機関との協力がしやすくなる効果がある。

また、本衛星プロジェクトは工学実証ミッションであり、ミッション部は軽量宇宙構造や画像計測等における学術的成果や今後の実証ミッションへの発展が期待できる。

#### 8.6 【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

施策6の年度ごとの目標および達成条件を表8.6に示す。7章に示したように、「PERSEUSキックオフセミナー(2018年11月12日開催)：学生参加 43名」と「PERSEUSワークショップ(2019年3月1日開催)：学生参加 25名」において2件の講演会を実施したので、目標は達成している。モニタリング指標としては、延べ人数として68名の学生が参加した。また、アンケート結果から、講演への学生の興味は高く、評価も高く、学生の視野を広げる効果が高い。

また、本学においてアントレプレナーシップ教育を推進している高度人材育成センターとの協力を進めることで、アントレプレナーシップ教育に興味のある学生に「宇宙ビジネス」へ興味をもつ学生を広げる効果がある。

一方で、起業に対する興味が薄い学生に対しては、「アントレプレナーシップ」＝「起業」というイメージがあり、講義へ参加しようという興味が削いでいることが明らかとなった。特に機械系の学生にはその傾向が強い。しかしながら、「アントレプレナーシップ」は新しい分野を切り開いていこうとする精神であり、本来、宇宙工学との親和性が高いはずである。この視点から、学生への興味をかきたてることが、今後の課題である。

## 8.7 おわりに

このように、本年度は、おおむね目的を達成することができた。また、本事業においては、本学高度人材育成センターとの連携を深めることで、アントレプレナーシップ教育に関する相乗効果が得られるため、積極的な連携を進めていきたい。

さらに、研究面での連携も深める予定である。近年、JAXAでは超小型衛星の打ち上げだけでなく、ミッション機器のみの革新的衛星技術実証プログラム、簡易曝露実験装置(ExHAM)、中型曝露実験アダプター(i-SEEP)などの軌道上実証機会も提供している。さらに、「きぼうフリーフライヤー」も計画されている。これらの機会をうまく利用すれば、小型宇宙機システム研究センターの幅も広げることができる。そのためには、これらの実証機会に採択される有意義なミッション計画を構築する必要がある。本事業をもとに、小型宇宙機システム研究センターにおいて学内外からの研究シーズを集約できるように発展させていくことが、今後の目的となる。

## 学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「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」

機関名 公立大学法人大阪 大阪府立大学

### 1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
超小型衛星「ひろがり」の開発 (口頭)	飯田輝澄, 小木曾望, 南部陽介, 樋口健, 勝又暢久	日本航空宇宙学会 第55回中部・関西支部合同秋期大会 (名城大学、名古屋市)	2018年11月24日	国内
2Uサイズ超小型衛星「ひろがり」の研究・開発状況 (口頭)	林夏澄, 勝又暢久, 樋口健, 橋本真之介, 山崎健次, ヘレルシヨーン諒, 三好賢彦, 小木曾望, 南部陽介	日本機械学会 第27回スペース・エンジニアリング・コンファレンス (桂浜荘、高知市)	2018年12月20日(木)～21日(金)	国内

### 2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別

(注1) 発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。

(注2) 本様式はexcel形式にて作成し、甲が求める場合は別途電子データを納入すること。



## 付録

付録1： (株)レヴィ 作成テキスト 「Thinking in Systems システムとして考える –システム思考 &システムモデル入門–」のコピー (2章)

付録2： 「ひろがり」CDR資料のうち「概要」 (6章)

付録3： 学会講演会発表原稿

3-1 超小型衛星「ひろがり」の開発

3-2 2Uサイズ超小型衛星「ひろがり」の研究・開発状況

以上