

委託業務成果報告書について

委託業務成果報告書(以下、本報告書)は、当該成果の活用を広めるため、国会図書館等を通し一般に公表されます。そのため、公開に堪えうる内容であることは最低限として、他者が閲覧して意味のあるものを目指すように心がけいただくようお願いします。以下に示す留意点を参考に、公開を前提での作成をお願いいたします。特に、誤字、脱字等は、各受託機関内でダブルチェック等により十分にご確認ください。

- 本報告書では、当該年度の業務計画書に記載された委託業務の全ての目的に対して、どのような成果がどこまで得られたかについて具体的にまとめること。
ただし、後述のとおり、当該年度が最終年度となる課題に関しては、3年間のまとめについても、3年間のまとめであることがわかるように明確に書き分けて言及すること。
- 共同参画機関の成果についても、主管実施機関がとりまとめ、必ず全体として一体となった形で提出すること。(共同参画機関の成果を、『巻末資料』や『別紙』として、本報告書本体から別の構成とすることは厳に控えるようにしてください。)
- 本報告書は原則公開となることから、知的財産や未公開の研究成果等、公表により不利益を被る内容の記載は厳に慎むよう十分に留意すること。
- 個人情報の取り扱いについては、各機関のガイドラインやポリシーによることから、本報告書への掲載については各機関の責任の下、適切に管理すること。(ex. 個人名、一般(学生を含む)の方へのアンケート、写真の掲載等)
- わかりやすい記載内容とするために、図表や写真を使用することを推奨するが、図表や写真については、出典やキャプションを必ず付すこと。
- 本報告書は契約期間(契約締結日～契約の完了日(年度末))を対象とするものであるため、契約締結以前の取組や、契約の完了日以降の取組についての記載は控えること。
- 本報告書は、どのような成果がどこまで得られたかについて具体的にまとめるものであり、分量を予め指定するものではないが、第3章に設ける「まとめ」まででおおよそ30ページを目安とすること。
- 新型コロナウイルス感染拡大防止のために、当初予定していた活動を自粛した場合、その代替手段などにより委託業務の目的は達成した旨の合理的な説明を明記すること。併せて、額の確定の現地調査において、調査職員に対して必ず当該経緯について説明を行うこと。

以降は成果報告書の雛形(記載内容が含まれていれば、必ずしも本ワードファイルを用いる必要はありません)

令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業
「MBSE を活用する宇宙アーキテクト育成プログラム」
委託業務成果報告書

令和7年5月

公立大学法人大阪 大阪公立大学

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、公立大学法人大阪公立大学が実施した令和6年度「MBSE を活用する宇宙アーキテクト育成プログラム」の成果を取りまとめたものです。

目次

1	はじめに.....	1
1.1	委託業務の目的.....	1
1.2	業務の方法.....	1
1.3	当該年度における委託業務の結果概要.....	2
2	実施内容.....	3
2.1	アーキテクト人材育成に必要となる教材の開発.....	3
2.1.1	ワークショップの試行.....	3
2.2	実機の開発準備 等.....	5
2.2.1	CubeSat の開発準備.....	5
2.2.2	ハイブリッドロケットの開発.....	9
2.2.3	CanSat の開発.....	13
2.3	自発的な研究活動等.....	18
2.3.1	第 1 回講演会&パネルディスカッション (2024 年 12 月 5 日実施).....	18
2.3.2	第 2 回講演会&パネルディスカッション (2025 年 2 月 5 日実施).....	21
3	まとめ.....	24

1 はじめに

1.1 委託業務の目的

宇宙アーキテクト人材を育成することを目的として、プロジェクトのビジョンや目的を定義し、全体をシステムとして捉え、最新のモデルベース開発手法(Model Base Systems Engineering：以下、MBSE)を駆使して多様な専門性を束ねて、複雑なプロジェクトを推進する能力を備えた「MBSを活用する宇宙アーキテクト人材」の育成を行う。

プログラムは体験型ワークショップによる講座とシステム開発の実践(Project Based Learning: 以下、PBL)から構成される。実践プログラムとしては CubeSat 開発を通じた育成プログラム(2年間)と CanSat/BalloonSat/モデルロケット/ハイブリッドロケット開発を通じた育成プログラム(1年間)がある。受講者の育成評価・習熟度をルーブリックにより評価を行い、評価結果の分析からプログラムの向上を実施する。事業期間中の活動によりアーキテクト人材育成プログラムを確立させ、各大学の科目・活動に組み込み継続ができる状態を目指す。

1.2 業務の方法

令和6年度における実施内容は、以下の通りである。

実施項目

アーキテクト人材育成に必要な教材開発と実機開発の準備を行う

① アーキテクト人材育成に向けた教材の開発(学校法人慶應義塾)

- a. 宇宙アーキテクト人材育成にあわせた、デザイン思考、MBSE によるシステムズエンジニアリング、プロジェクトマネジメントに関する教材の開発(学校法人慶應義塾)
- b. 共同参画機関及び協力者に対する説明会およびレビュー(国立大学法人和歌山大学/公立大学法人大阪公立大学/国立大学法人福井大学)

② アーキテクト人材の評価基準の研究開発(主担当:学校法人慶應義塾/国立大学法人和歌山大学)

③ 実機の開発準備(国立大学法人和歌山大学/公立大学法人大阪公立大学/国立大学法人福井大学)

④ 3日間(全15コマ/1コマ90分)体験型ワークショップのトライアル実施(学校法人慶應義塾)

⑤ 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

評価方法

① 教材開発

- a. デザイン思考、MBSE によるシステムズエンジニアリング、アジャイルを含むプロジェクトマネジメント教材を作成する。
- b. アドバイザー、各共同参画機関及び協力機関に協力していただき、開発した教材が MBSE を活用する宇宙アーキテクト人材育成に適切であることの確認を実施する。

② アーキテクト人材の評価基準の設計・開発

a. 学校法人慶應義塾特任教授井上雅裕氏の成果であるシステムズエンジニアリング及びプロジェクトマネジメントのルーブリックによる学習指標をベースとして、MBSE を活用する宇宙アーキテクト人材育成プログラムとしての評価基準の新規開発を行う。作成した評価基準については、設計段階、開発完了タイミングで、アドバイザー人材及び、各共同参画機関による検討会をそれぞれ実施し、評価基準の妥当性を確認する。

③ 令和7年度以降、開発した教材を活用し、実際のシステム開発を通じた人材育成(PBL)を実施するための環境を整備する。

④ 2 日間の体験型ワークショップのトライアル実施 開発した教材を利用し、2 日間の体験型ワークショップを試行する。大学生及び大学院生が 合計 10 名以上の参加するワークショップを実施する。

1.3 当該年度における委託業務の結果概要

令和6年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

アーキテクト人材育成に必要となる教材開発と実機開発の準備を行った。

① アーキテクト人材育成に向けた教材の開発

b. 共同参画機関及び協力者に対する説明会およびレビューを行った。

③ 実機の開発準備を行った。

⑤ 自発的な研究活動等を行った。

2 実施内容

2.1 アーキテクト人材育成に必要となる教材の開発

2.1.1 ワークショップの試行

(a) ワークショップの概要

本事業の主目的である教材開発に向けて、「宇宙アーキテクト人材向け MBSE 入門ワークショップ」を2024年12月27日12:30～19:00の5時間半にわたって実施した。本事業の主管である慶應大学 特任講師 田中康平氏、同 特任助教 伊藤翼氏を講師が務め、対象となる学生は、小型宇宙機システム研究センター所属の学生のうち参加希望者18名(B1 2名、B2 7名、B3 4名、B4 4名、M1 1名)であった。参加学生はいずれも2.2節に示すいずれかのプロジェクトを経験しているが、システムズエンジニアリングに関しては初学者レベルの学生である。この試行の目的は、本ワークショップが MBSE の理解を促進するワークショップとなっているかの有効性の確認および洗い出し、さらには改善策の提案である。ここでは、本学学生への教育効果に関して説明したい。

本ワークショップにおいて、学生に提示された目的は、

「システムズエンジニアリングの基礎知識を学ぶ」、

「MBSE(モデル)があるとよいことを感じてもらう」、

「トレーサビリティを意識した設計ができるようになる」

ことであり、表 2.1.1 に示すスケジュールで実施された。本ワークショップは4-5名からなる4チームで、表 2.1.1 に示された MBSE に関する課題に取り組んだ。後半の「課題2」は、「課題1」に対してミッションを追加するものである。これはプロジェクトではよくある状況でもある。また、課題1ではそれぞれの分析の目的と手順を詳細に説明した後モデルを作成するのに対して、課題2では課題1で学んだモデル化を自分たちだけで実施するため、モデル化の意義が理解できているかを自ら確認できる機会ともなる。なお、試行においては、予定よりも時間を要したため、網掛け部は省略することとなった。

試行の目的には、「ルーブリックを提示することで学習

表 2.1.1 ワークショップスケジュール

時間	実施内容
12:30～13:10	オリエンテーション
13:15～13:25	導入課題「新しいスポーツを作る」
13:25～13:45	ルーブリック説明・記入
13:45～14:05	要求定義の説明
	課題1
14:05～14:30	コンテキスト分析
14:20～15:00	ユースケース分析
15:00～15:10	休憩
15:10～15:30	機能要求抽出
15:30～16:05	機能構成作成
16:05～16:25	Function Flow Breakdown Diagram (FFBD)作成
16:25～16:35	休憩
16:35～17:05	アーキテクチャ設計
17:05～17:20	イメージ図の作成
17:20～17:30	ルーブリック記入
17:30～17:40	休憩
	課題2 (ミッション追加)
17:40～18:00	要求の修正
18:00～18:20	アーキテクチャ設計の修正
18:20～18:40	発表
18:40～18:50	ルーブリック記入
18:50～19:00	クロージング



図 2.1.1: ワークショップの様子

効果が高まるかを確認すること」があるが、そちらは慶應義塾大学の報告で示す。

(b) 実施状況と学習効果

モデル作成には小型宇宙機システム研究センターで使用しているモデリングツールである Balus¹(レヴィ社製)を利用した。ワークショップ実施中の様子を図 2.1.1 に示す。Balus は、同時に複数のメンバーが同時に書き込めるクラウド型のモデリングツールであり、チーム設計に向いている。レヴィ社の創業者は本学の元教員であって、在職時に小型宇宙機システム研究センターの指導をしていたこと、また、本学が前回に採択された「宇宙航空人材育成プログラム」²でも共同参画機関として参加していたことから、小型宇宙機システム研究センターでは以前

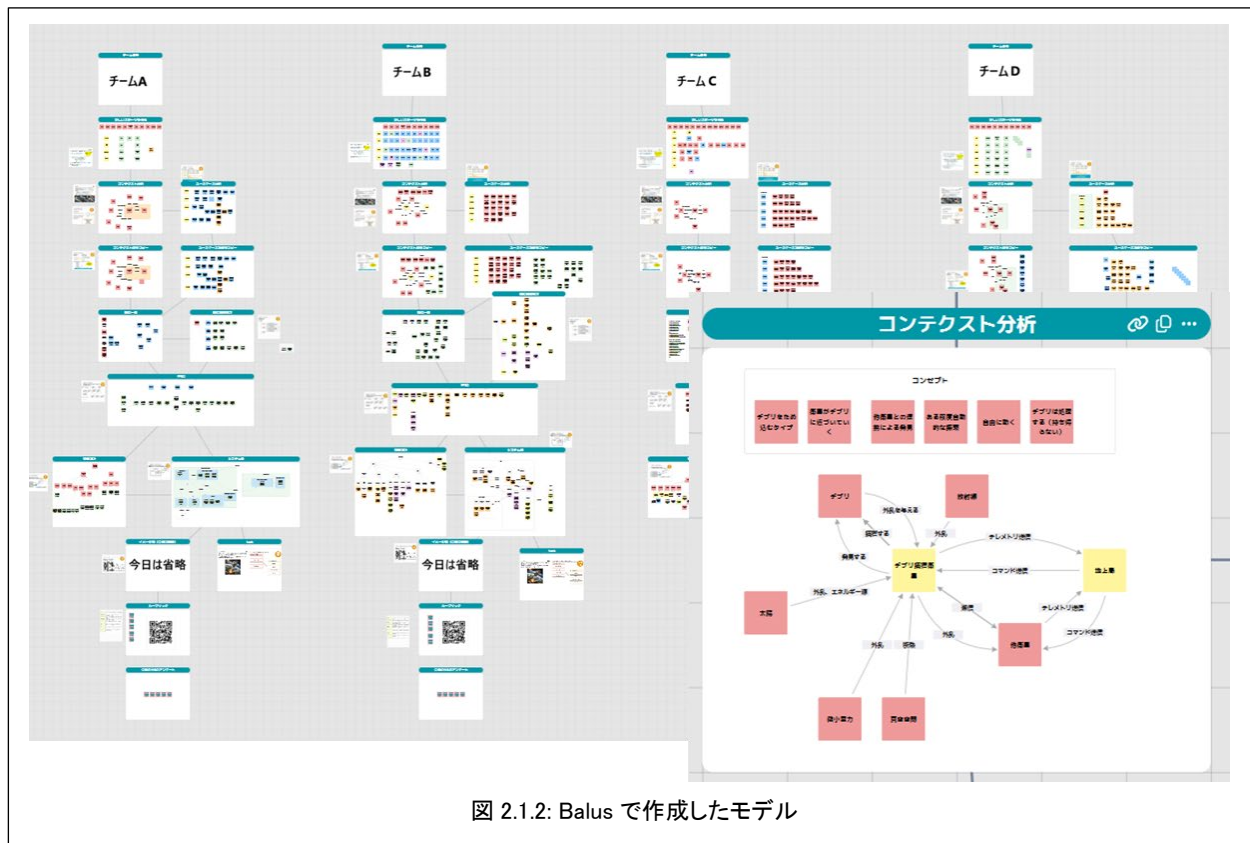


図 2.1.2: Balus で作成したモデル

からモデリングツールとして Balus を使用している。

課題 1 で 4 チームが作成したモデル全体図を図 2.1.2 に示す。白いウィンドウが表 2.1.1 の各過程に相当し、ウィンドウ中の小さな色付き四角形が作成した要素およびその関連を線で結んでいる。その例として、図 3 右下に、チーム B の「コンテキスト分析」を示している。この図は、課題である「デブリ捕獲衛星」に関連するコンテキストであるデブリ、太陽、他衛星、地上局などの要素との関係を示している。

参加メンバーは、コンテキスト分析、ユースケース分析を経て必要な機能を抽出し、機能構成およびその振る舞いを考えた結果として衛星の物理構成さらにはシステム図を作成するという一連の流れを体験した。チームで共同してモデルを作成する経験を通して、MBSE への理解を深めた。最終的に作成したデブリ捕獲衛星のシステムズ例を図 2.1.3 に示す。

¹ Balus: <https://levii.co.jp/services/balus/>

² 「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(平成 30 年度～令和 2 年度)」 <https://www.omu.ac.jp/las/jinzai/fledge/perseus/>

この後、課題 2 において、デブリ捕獲に加え林野火災の観測・検出ミッションを「追加」した場合のモデル追加修正を実施した。課題 1 では何をすべきか、各項目に対する説明の後にチーム作業をしたのに対し、課題 2 では既に説明がされた後なので、チーム作業のみで進めた。この課題 2 は、システムが理解できれば、ミッション追加に対しても容易にシステムモデルが修正できることを体験してもらうことが目的であった。

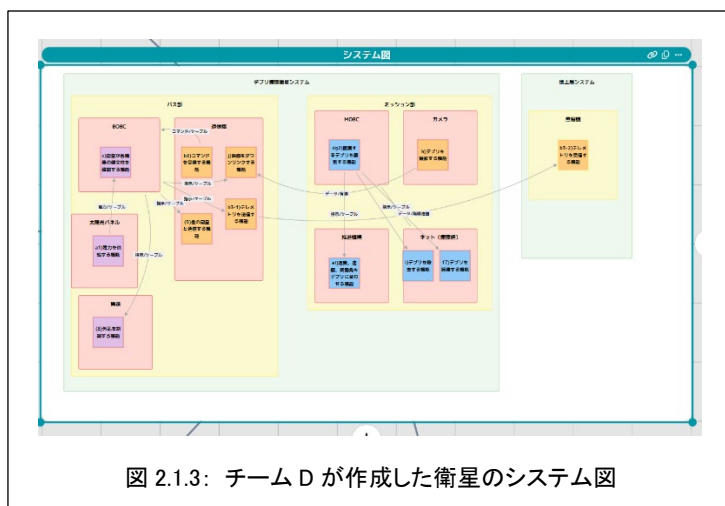


図 2.1.3: チーム D が作成した衛星のシステム図

しかし、自分たちだけで進める番になって、課題 1 で理解したつもりであったことが十分に理解できてなかったことを自覚する参加者が多かった。これは、ワークショップ自体が短い時間の中で内容を詰め込み過ぎていたために、参加者が十分に理解できなかったことも一因と言える。一方、学生にとっては、十分に理解できなかったという自己評価は今後のモチベーションにもつながる。短時間ですべてを理解する(あるいは理解した気になる)よりも今後の成長につながることも考えられることから、必ずしも悪いことではないであろう。このワークショップの有効性の指標としては、ワークショップを通して学んだことをプロジェクトにどう生かしたかの追跡調査を企画することも必要と思われる。

また、同じ学生がこのワークショップに繰り返し参加することで、MBSE モデルへの理解を深めることができることが考えられる。そのためには、参加者のレベルに合わせて複数のワークショップメニューを設計する方策も考えられるが、同一のワークショップに対して、参加学生のレベルやプロジェクト経験に応じて複数の目標を設定することも可能である。本学・小型宇宙機システム研究センターのように、学年をまたいだチームでは、先輩が後輩に教えることもでき、学生間で教育効果を上げていく体制をつくることができる。

2.2 実機の開発準備等

2.2.1 CubeSat の開発準備

(a) 概要

小型宇宙機システム研究センターでは、41 名の学生 (M2 3 人、M1 3 人、B4 8 人、B3 7 人、B2 13 人、B1 7 人) で、2U CubeSat の開発を行っている。本センターでは、これまでに 2 機の CubeSat を開発、設計、運用した。一つは 1U 衛星「OPUSAT」で、2014 年 2 月 28 日から 7 月 24 日の約 5 か月間、運用した³。もう一つは 2U 衛星「ひろがり」で 2021 年 3 月 14 日から 2022 年 4 月 16 日の約 400 日、運用した⁴。

現在、計画中の CubeSat は 3 号機であり、「OMUSAT-III」と名付けられている。プロジェクト自体は 2 号機の「ひろがり」を JAXA に引き渡した後の 2020 年 12 月 21 日にキックオフしている⁵。どういうミッションにするとよいのかがなかなか決まらず、活動は停滞してしまった。その後、2024 年になってようやくミッションが決まり、2025

³ <https://www.omu.ac.jp/eng/sss/src/satellite/opusat/>

⁴ <https://www.omu.ac.jp/eng/sss/src/satellite/hirogari/>

⁵ <https://www.omu.ac.jp/eng/sss/src/satellite/omusat-3/>

年度に PDR(preliminary design review)をする計画である。「ひろがり」の設計データや運用データは残っているけれど、研究開発運用した学生はすべて卒業してしまっていて、学生の研究開発チームとしての立て直しが必要な状況である。

今年度は、OMUSAT-III のシステムズエンジニアリングに関する取り組みとして、全体要求分析、衛星運用フローチャートの作成による設計要件の見直しとBBM 開発計画の策定を行い、衛星成立要件の確認を行った。その一部を以下に示す。



図 2.2.1: 第 31 回衛星設計コンテストに提出した薄膜挙動計測衛星「Film Sat」

(b) OMUSAT-III ミッション概要

OMUSAT-III のミッションは、当センターの学生が、2023 年度に開催された第 31 回衛星設計コンテスト⁶の設計部門に応募した薄膜挙動計測衛星「Film Sat」(図 2.2.1 参照)に基づいている。応募した衛星は 2U 衛星から薄膜を展開し、その形状を計測するものである。「ひろがり」で実施した厚板ミウラ折りの展開を薄膜構造へと発展させたものであり、また、形状計測法としてより高精度な計測が可能な格子投影法に変更している。

現在、構想中の OMUSAT-III の CAD イメージを図 2.2.2 に示す。この衛星では、2 つのミッション「格子投影法の軌道上実証」および「アマチュア無線帯を使用した SSTV (Slow Scan Television) の放送」を計画している。

「格子投影法の軌道上実証」は、展開した膜面の形状を格子投影法で計測するミッションである。格子投影法はカメラ 1 台で、対象物の 3 次元位置座標を高い空間分解能で取得できる手法である。取得した画像データを地上局まで送信し、

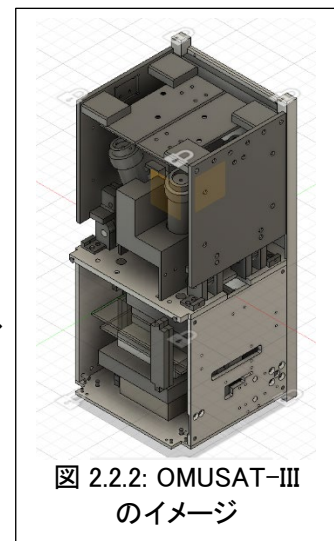


図 2.2.2: OMUSAT-III のイメージ

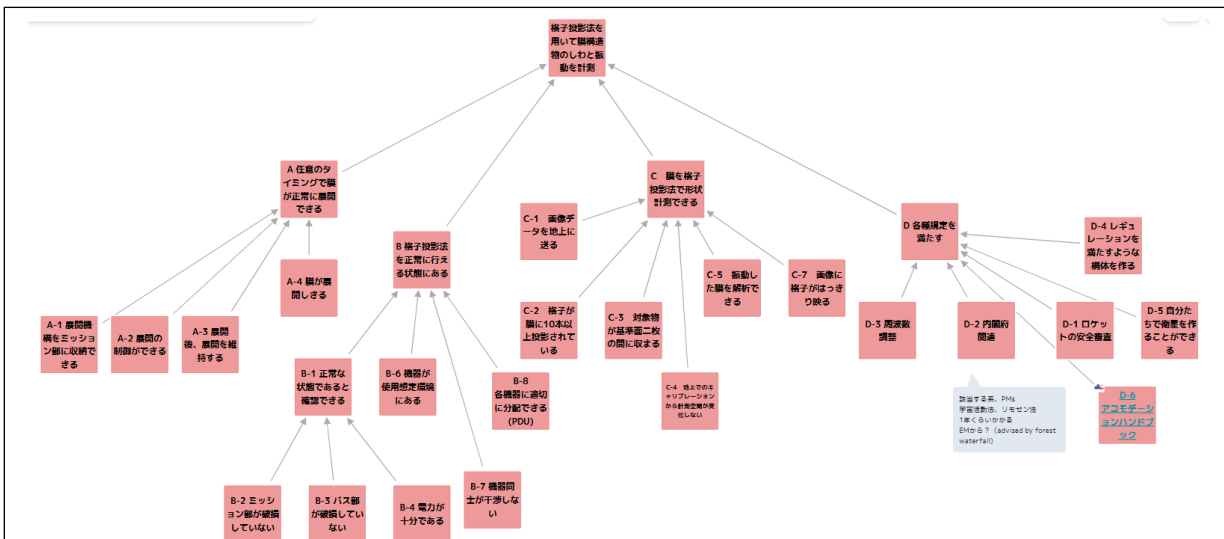


図 2.2.3: 「格子投影法の軌道上実証」の要求分析

⁶ <https://www.satcon.jp/archive/list31.php> 第 31 回衛星設計コンテストでは「日本機械学会 宇宙工学部門一般表彰 スペースフロンティア」および「日本航空宇宙学会賞」を受賞した。

FilmSat の解析書 <https://www.satcon.jp/archive/prize31/pdf/doc04.pdf>

地上局において解析を行う予定である。

「アマチュア無線帯を使用した SSTV の放送」は、超小型衛星に搭載したカメラで撮像した画像を SSTV 方式により、超小型衛星で広く用いられているアマチュア無線帯で地上に送信することを目的とする。さらに、SSTV の受信方法を Web 上で公開し、世界中のアマチュア無線家が SSTV により画像を受信できることを計画している。

(c) 全体要求分析および衛星運用フローチャートおよび BBM 開発計画の検討

ここでは、「格子投影法の軌道上実証」に対する全体要求分析の一例を示す。まず、このミッションを実現するには、「A 任意のタイミングで膜が正常に展開できること」、「B 格子投影法を正常に行える状態にあること」、「C 膜を格子投影法で形状計測できること」および「D 各種規定を満たすこと」が必要である。そして、各項目について、例えば「展開機構がミッション部に格納できる」、「展開の制御ができる」、「展開形状が維持できる」など当たり前と思われることから、順次、展開して要求分析を実施する。そのほかの要求項目に関しても上位の機能を図 2.2.3 に示す。これ以降も順次展開して、要求を明確にし、ミッション系、バス系に必要な機器(センサーなど)や機器に要求される設計仕様をきめていく。その展開の一例を図 2.2.4 に示す。ここで、緑色枠は関連するバス系であり、赤色枠に示した項目がそのバス系の設計仕様となる。また、黄色は現時点での疑問や機器への要求事項(一部仮決め)などを示している。このモデルは Balus を用いて作成して、メンバーが同時に編

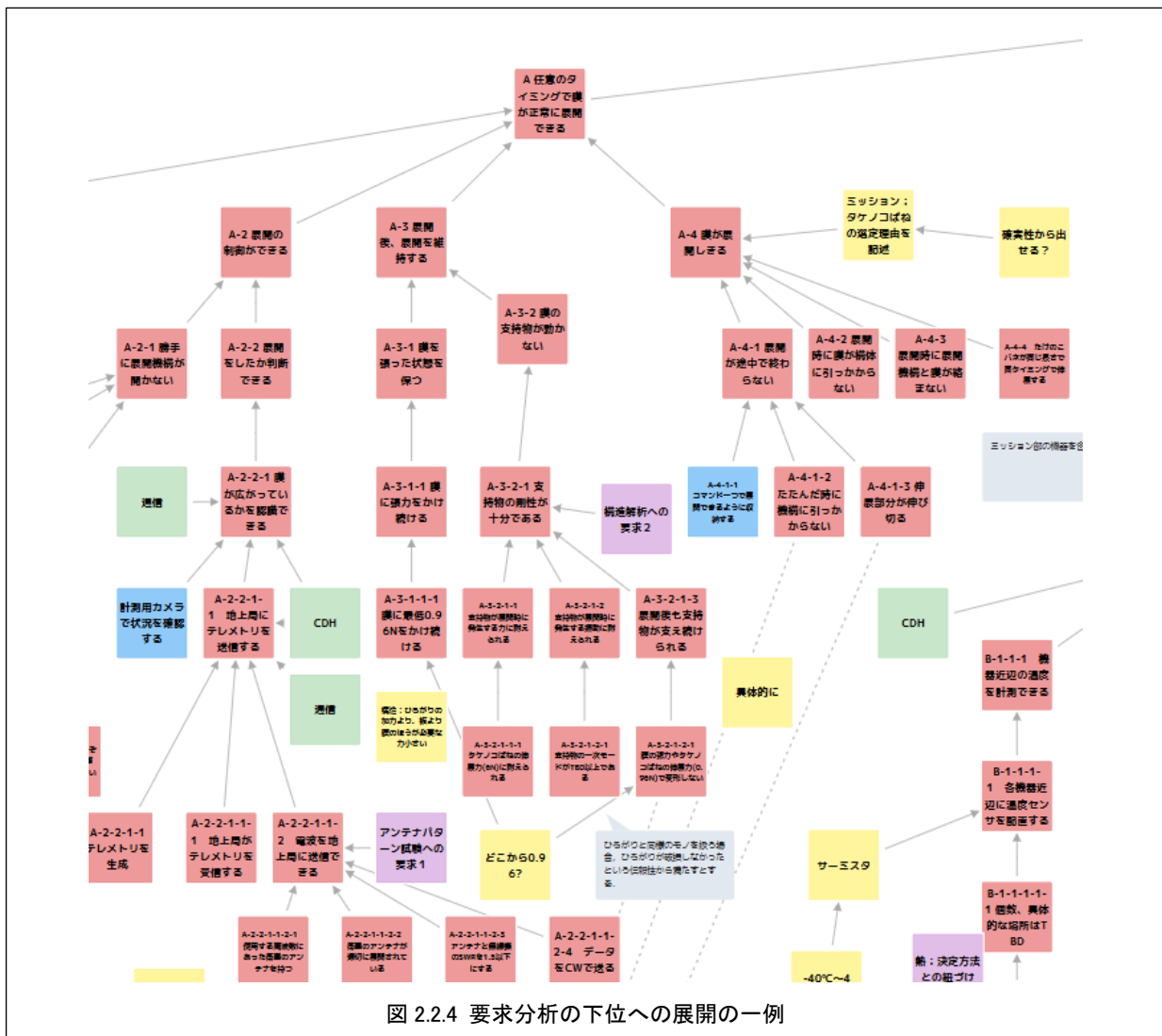


図 2.2.4 要求分析の下位への展開の一例

集めることから、メンバー間で要求事項を共有することができる。

このような展開を経て、要求を満足するために必要となる解析条件や試験条件を定める。ここでは、一例として熱解析に対する条件設定を図 2.2.5 に示す。

ミッション系、バス系の機能分析と並行して、運用条件を定めた。これは、前回の「ひろがり」において運用条件を明確に定めていなかったために、初期運用時に生じたトラブルの対策には非常に苦労した。このことから、設計初期段階から定めるべきとの教訓からである。図 2.2.6 に現在までに考えた運用フローの全体構成を示す。クリティカルフェーズ、チェックアウトフェーズ、定常運用フェーズなどに分け、それぞれのフェーズで衛星側、地上局側でどのような

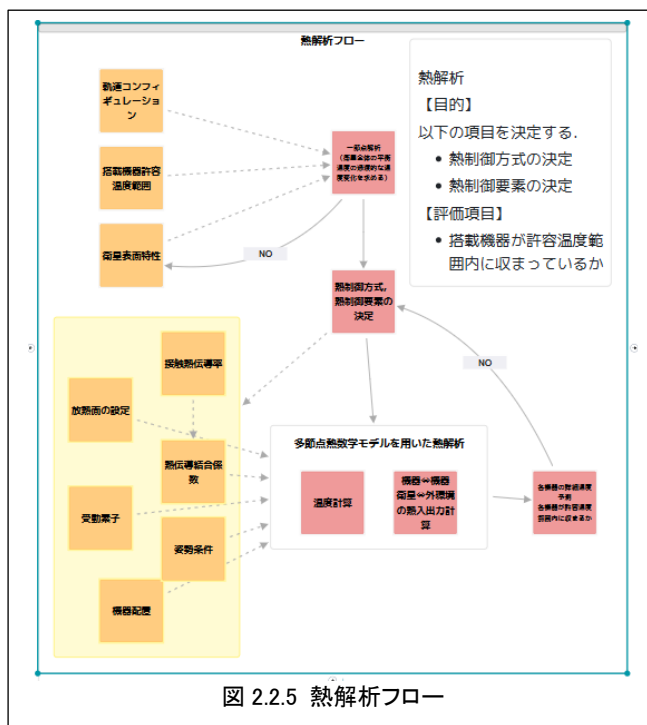


図 2.2.5 熱解析フロー

データを何によって確認するのか、また、どんな健全性チェックが必要になるのか、また、どのようなエラー処理が必要になるのかを考えている。その一例として、メインミッションである展開膜の形状計測の実行順序を図 2.2.7 に示す。どの機器がどの順番に動かないといけないう、当たり前のように思われることも、きちんとモデル化することで、メンバー間で必要なタスクを共有できる。これをもとに定めた現段階の衛星のシステムブロック図を図 2.2.8 に示す。

今後、各機器の設計開発を進める。そのためには、チームで共有した運用条件から、バス系の試験条件を定めている。2024 年度には、格子投影法の画像データの通信試験、電源回路で必要となるシャント回路の単体試

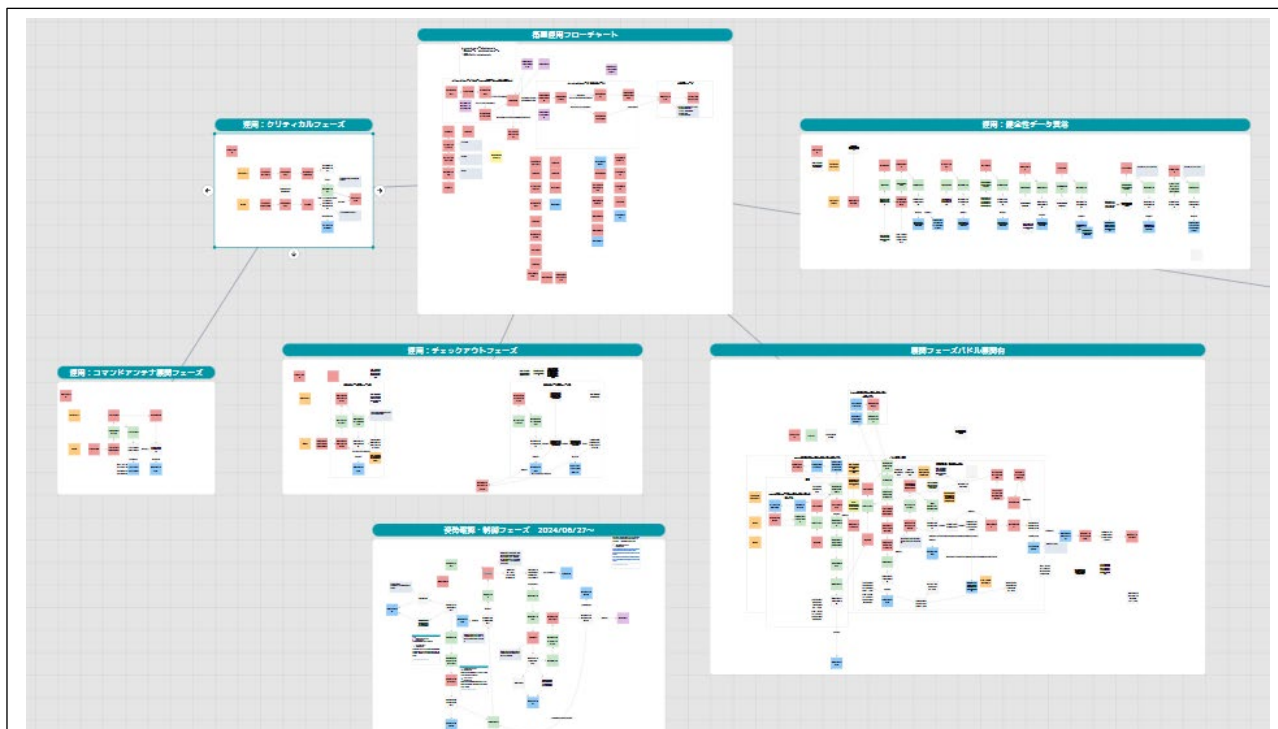


図 2.2.6 衛星運用フローの全体図

験、磁気トルカの単体試験などを実施し、現在、基礎データの収集段階である。

(d) まとめ

OMUSAT-III プロジェクトは立ち上げ以降しばらく停滞していたが、今年度から活発に動くことができるようになった。システムズエンジニアリングを通して見直し、衛星成立要件を確認することができた。開発に向けてすべきことが明確になったことから、次年度以降、OMUSAT-III の研究開発を加速する予定である。

この後に示すハイブリッドロケット、CubeSat に比べるとシステムとしてははるかに複雑である。今後、抜け漏れのない開発を進めるにあたっては、

MBSE が非常に重要となる。一方、開発方法が理解できれば十分ではなく、開発を進めるためのマインドの涵養、チーム力を上げるためのチームビルディング、プロジェクトを円滑に進めるためのプロジェクトマネジメントも必要となる。

本事業の成果を上げるためにはこのようなことも同時に実施していくことが必要となる。

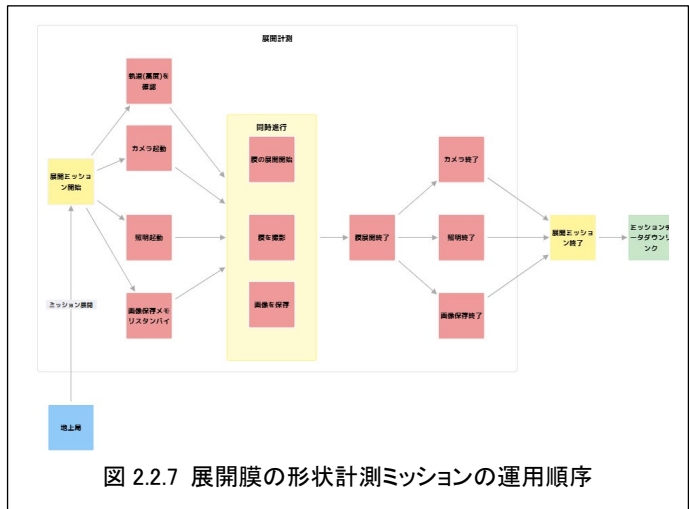


図 2.2.7 展開膜の形状計測ミッションの運用順序

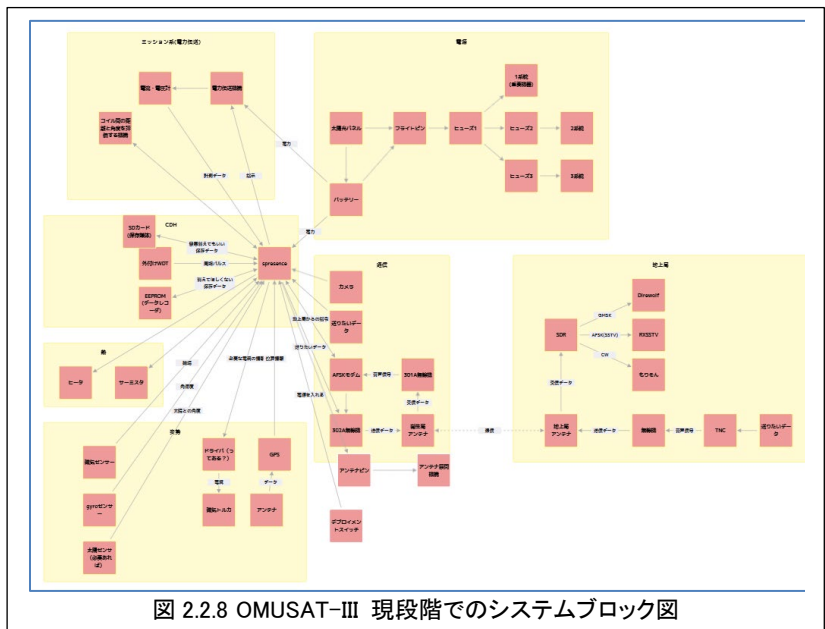


図 2.2.8 OMUSAT-III 现阶段でのシステムブロック図

2.2.2 ハイブリッドロケットの開発

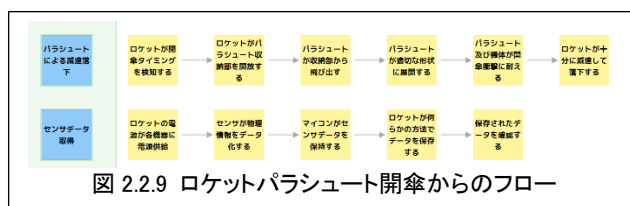
(a) 概要

小型宇宙機システムセンターの学生 16 名 (M2 1 名、M1 2 名、B4 3 名、B3 2 名、B2 8 名) で、ハイブリッドロケットの開発を行っている。機体開発の目的は、高高度からでも安全に機体を再回収するための技術として機体の自律制御技術の習得である。現在はまだ初期段階であり、発射・パラシュート開傘・機体およびデータの回収といった基礎技術の確立を目指している。

当センターは、2022 年度からハイブリッドロケットの開発を進め、2024 年前期にハイブリッドロケット 1 号機「東雲」を開発し、2024 年 9 月に開催された第 19 回加太共同実験⁷(2024 年 9 月 5 日～8 日)にて打上げを行うことができた。しかし、発射には成功したものの、パラシュートの正常な展開およびデータの保存に失敗したため、ミッションとしては一部のミニマムサクセス達成にとどまった。この打上げ試験で明らかとなった課題を克服し、小型宇宙機システム研究センターのハイブリッドロケットの能力を向上させ、ロケットとしての技術を確立することを目的として、2024 年度後期にハイブリッドロケット 2 号機「翠」を開発し、2025 年 3 月 25-30 日に実施された第 20 回加太共同実験に参加した。

(b) ハイブリッドロケット 2 号機「翠」の目的

この機体の目的は、「パラシュートを開傘して減速落下を行い、離昇前から着地までの飛行データ(高度、加速度、姿勢角、位置(GPS))を回収すること」および「飛行シミュレーションの妥当性を確認すること」を目的とする。ロケットの運用におけるパラシュート開傘からのフロー



を図 2.2.9 に示す。このフロー解析等を経て決定したサクセスクライテリアを表 2.2.1 に示す。

打上げ実験では、ロケットモーターで高度 229 m(燃烧実験にて得られた値を用いたシミュレーション上の到達高度)まで上昇したのち、パラシュートを展開して減速落下する。この間、搭載カメラからの機外映像撮影、飛行データ(姿勢角、高度、加速度、GPS)の記録、地上 PC との通信を行うことを目的として機体を開発した。

表 2.2.1 ハイブリッドロケットのサクセスクライテリア

ミッション	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
機体を減速落下させる。	パラシュートを開傘する。	パラシュートを頂点到達後、落下距離が最高高度の 10%に到達する前に開傘する。	—
機体の飛行データを回収する。	離昇前から着地までの GPS および高度のデータを回収する。	離昇前から着地までの全ての飛行データを回収する。	—



図 2.2.10: 機体「翠」の外観と内部構造

⁷ <https://kadaevent.space/> 和歌山市加太にあるコスモパーク加太においてハイブリッドロケットの打ち上げを、毎年 3 月と 9 月の 2 回、実施しており、第 20 回加太共同実験が 2025 年 3 月 25-30 日に開催された。おもに西日本の学生が中心となって運営している。

(c) 機体の緒元

機体外観および内部構造を図 2.2.10 に示す。推進装置のハイブリッドロケットモータには HyperTEK 製 J250 を採用した。機体は自作ポリカーポネートチューブをコンポーネントごとにアルミニウム合金製カプラーにボルト固定を行う方式を採用し、剛性を確保した。パラシュート放出にはサーボモータを用いて機体側部の扉を開放する機構を採用した。搭載計器には加速度計、ジャイロセンサ、気圧センサ、GPS を搭載している。機体諸元および搭載物を表 2.2.2 に示す。この機体設計時に機能分析を行って作成したシステム図の一部を図 2.2.11 に示す。前回の打ち上げで明らかとなった課題を検討し、この図に示すようにパラシュート解放機構が構造系と電装系をまたいでいることをメンバー間で共有した。このような検討を経て機体の設計仕様をメンバーで共有しながら、プロジェクトを進めた。

表 2.2.2 ハイブリッドロケット「翠」の緒元および搭載物

全長 L [mm]	1519	質量 W [kg]	8.330
外径 D [mm]	114	使用エンジン	HyperTEK J250
未充填時重心位置 X_{CG} [mm]	691	投下物	なし
圧力中心位置 X_{CP} [mm]	478	使用ランチャー 有効レール長[mm]	和歌山大学ランチャー 5000
全長安定比 F_{ST} [%]	14.1	ランチクリア速度 [m/s]	18.0
最大大気速度 h [m/s]	54.0	終端速度 [m/s]	13.4
最高到達高度 [m]	229	減速装置	パラシュート

搭載物の内容	マイコン : NUCLEO-L432KC×3 (減速装置放出機構・ダウンリンク用、ロギング用、アップリンク用) Raspberry Pi zero (カメラ制御用) センサ等 : BMO055(9 軸) (サンプリングレート 100 Hz) BME280(気圧) (サンプリングレート 182 Hz) ublox NEO-M8(GNSS) (サンプリングレート 1 Hz) GWSMICRO/STD/F×2 (サーボモータ) TG-01H-FU-64-KA(DC モーター) IM920sl (通信機) (ch1: 922.4 MJz, ch14: 925.0 MHz) ブザー (ロスト対策)、NEO-8MGPS モジュール (ロスト対策) カメラ : Raspberry Pi Camera Module 2 減速装置放出機構 : サーボモータ FT5325M 計器用電源 : 3V リチウム 1 次電池 CR123A×3 (予備 2)
稼働時間 [min]	90 (基板が完成し次第計測する)
ロスト対策稼働時間[min]	ロケット : ブザー (90)、GPS (90)

(e) 打上げ実験の結果

第 20 回加太共同実験期間の 3 月 29 日にロケット「翠」を打上げることができた。この実験の手順を図 2.2.12 に示す。まず、現地で機体を組み立て、安全審査を行った後、ランチャーに組み付けて発射する。実験では、エンジン着火に成功し、最高高度に到達した後、下降時にパラシュートが展開することができ、ミニマムサクセスを達成することができた。ただし、パラシュート開傘が想定よりも遅れ、目視で判断する限り、

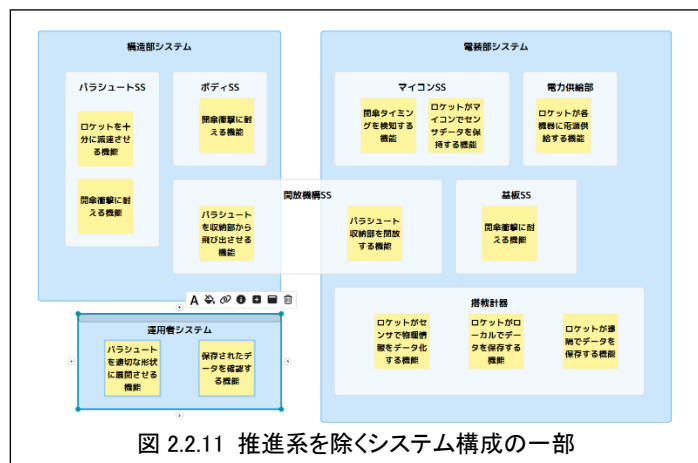


図 2.2.11 推進系を除くシステム構成の一部

最高高度に達した後の 10%以内の高度では開傘せず、フルサクセスは達成できていない。また、落下地点が発射地点よりも高度が高い斜面上だったこともあり、機体の減速が不十分であり、着地時にフィンの一部が損傷した。しかし、機体自体は無事に回収できた。飛行データが保存されていることは確認でき、飛行データ取得のミニマムサクセスは達成したと言える。現在、データ解析を進めているところであり、到達高度、速度などの値はまだまとめられていないため、フルサクセス達成かどうかの厳密な判定はできていない。



(f) 今後の課題

飛行試験に成功し、データ回収に成功したことから、設計・製造に関しては十分な成果が得られた。一方で、実験当日の運用には予想以上に時間を要した。当初は前日の 3 月 28 日に打ち上げの予定であったが、当日の組み立て作業に時間がかかり、機体完成が遅れた。他チームの打ち上げの影響もあるが、最終審査後に電池容量に問題があることがわかって、再度分解しての電池入れ替えなどの作業をして、最終審査をもう一度受審した。その分解、組立にも時間がかかり、その上、ランチャー取付時にミスが発生し、3 月 28 日の打ち上げはできず、翌日に延期された。

これは、機体を飛行させることばかりに集中してしまい、打ち上げ試験運用を十分に考慮した運用計画および分解性・組み立て性を考慮した設計がなされていなかったためである。そのためにも、設計初期段階でこれらを考慮できるようにすべきである。これは、システムズエンジニアリング・MBSE の適用を進めるだけではなく、そのための心得も習得することが必要と考えられ、今後の課題となる。

なお、打ち上げ試験だけでなく、ロケットモーター燃焼実験に用いる地上装置 (Ground Support Equipment: GSE) の運用に関しても、同様に、実験当日の運用手順を考慮した設計が必要である。

2.2.3 CanSat の開発

(a) プロジェクト概要

小型宇宙機システム研究センターの CanSat プロジェクト⁸は、1 年生が 7 月中旬から 12 月の気球試験、2 月に最終報告を行うプロジェクト演習の位置づけで実施している。本年度は 1 年生 13 名が参加し、3 班に分かれて実施した。なお、1 年生は当初 16 名いたが途中でやめてしまった学生もいたため、最終的には 13 名となり、班ごとの人数も異なっている。指導役は上級生 11 名（M2 1 名、M1 2 名、B3 4 名、B2 4 名）が務めた。

7 月中旬からミッション検討を始め、要求分析・機能分解、仕様検討、BBM 作成、FM 作成を行った。そして、2024 年 12 月 22 日に大阪公立大学中百舌鳥キャンパスグラウンドにて、図 2.2.13 に示すように気球からの放出試験を実施した。



図 2.2.13 気球と気球から放出され着地寸前の CanSat

なお、この放出試験には、本学が高大連携協定を結んでいる尼崎市立尼崎双星高校、兵庫県立芦屋中等教育学校の生徒も参加し、彼らの CanSat の放出実験も実施し、時間の許す限り、同じ機体の放出試験を繰り返し実施した。その後、試験結果を最終報告書としてまとめた。このプロジェクトは脚注にも示したように、以前から小型宇宙機システム研究センターで実施している。前回の宇宙人材育成プログラムによる学びを通して、何も学べないような失敗は避けられるように進歩している。しかし、まだ十分とは言えず、設計目的を達成するまでには至っていない。なお、2 年生以降の CubeSat やハイブリッドロケットプロジェクトへ移行をスムーズにするため、2023 年度からシステムズエンジニアリング手法である要求分析や機能分解プロセスを重視するようになってきている。ここでは、各班の取り組み、およびこの取り組みから明らかになったシステムズエンジニアリング・MBSE に取り組むための課題を示す。なお、紙面の都合から、ここに示した設計検討時のモデルは一部であり、班ごとに異なる検討モデルを示している。検討手順を示しているものではない。

(b) A 班 (6 名)

A 班の目的は、着地判定後すぐにパラシュートを切り離し、CanSat が引きずられて横転や反転することを防ぎ、さらにパラシュートを切り離れた後に落下地点から CanSat を移動させてパラシュートが覆いかぶさることを防ぐことである。

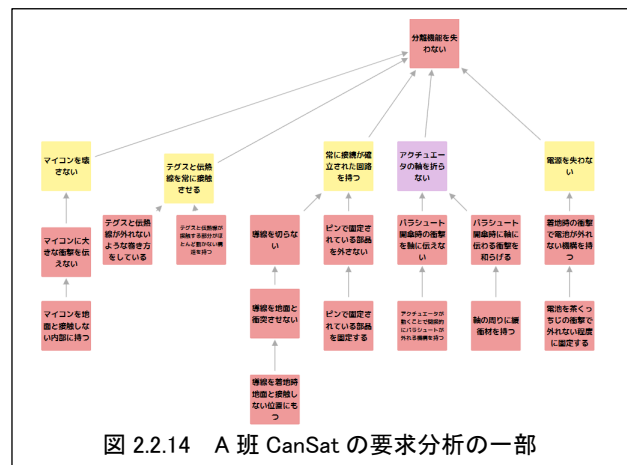


図 2.2.14 A 班 CanSat の要求分析の一部

⁸ このプロジェクトは、大阪府立大学で実施した宇宙航空人材育成プログラム(平成 30 年度～令和 2 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」においても実施している。

この目的に対する要求分析や機能分解を実施した。要求分析図の一部を図 2.2.14 に示す。機能分解に基づいて、具体的なミッション実現要求を考え、設計仕様にまとめる。それに基づいて決定したシステム構成を図 2.2.15 に、CanSat 機体を図 2.2.16 に示す。ミッションクライテリアを表 2.2.3 に示す。

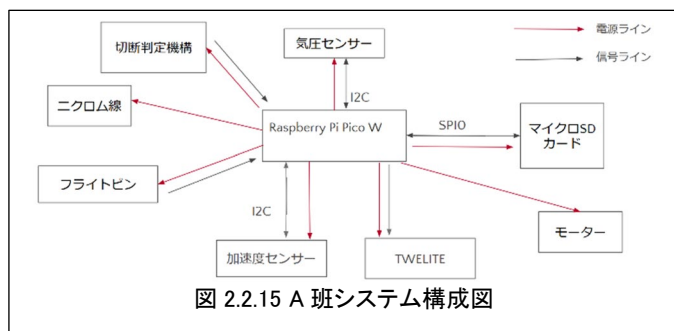


図 2.2.15 A 班システム構成図

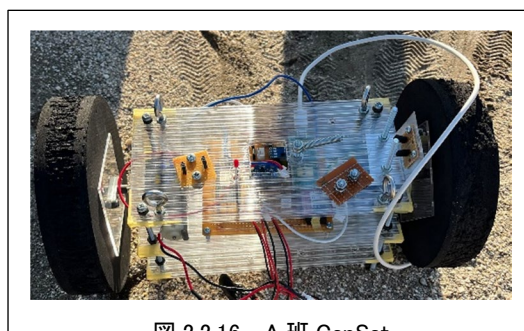


図 2.2.16 A 班 CanSat

表 2.2.3 A 班のサクセスクライテリア

	サクセスクライテリア	判定方法
ミニマムサクセス	着地を認識できる	TWELITE で、手元の LED を点灯させる
	パラシュートを切り離せる	目視
	切断判定ができる	SD カードのログで判断
フルサクセス	1] 着地判定、[2] 切り離しのどちらかを 1 秒以内にできる	[1] 動画のコマ送りをを用いて、着地～LED 点灯の時間を計測する [2] マイコン内部のタイマーにより計測する
	パラシュートによって CanSat の全長分 (190mm) だけ引きずられない	引きずられたタイヤの跡を見る
エクストラサクセス	着地判定、切り離しの両方とも 1 秒以内にできる	フルサクセスと同様
	パラシュート切り離し後に、CanSat が落下地点からパラシュートの半径分 (77 cm) 動ける	タイヤの進んだ跡を確認し計測
	加速度センサを用いてデータを収集することができる	データを確認する

機体を組立後、設計仕様が満足できているかどうかを確認するために、気圧センサ動作試験、走行試験、通信試験、着地判定試験、テグス切断試験、パラシュート開傘試験などを実施した。着地判定試験ではいくつかの条件を試し、最も失敗の少ない値を基準値に定めたり、パラシュート開傘試験を通してパラシュートの折りたたみ方法を決めるなどのチューニングも実施した。

気球放出試験では、3 回の放出試験を実施した。それぞれの結果を簡単に示す。なお、着地時の破損は修復して、次の打ち上げに進んでいる。

1. パラシュートが開き切らず、CanSat は自由落下に近い状態で着地した。フライトピンは抜けていたが、テグスは切れていなかった。試験後に確認すると、切断判定用のコネクタが着地の衝撃で抜けていたことが分かった。これにより、パラシュートが切断されると誤判定されて、ニクロム線の加熱が短時間で停止したためと考えられる。また片方のモーター配線のはんだも着地の衝撃で取れてしまったため、片方のタイヤしか回転しなかった。
2. パラシュートが開傘した後少し風に流されながら落下し、転がりながら着地した。それによってタイヤと車軸の接合部に衝撃が加わりタイヤが外れた。そのため、モーターが駆動したが走行はできなかった。また、着地後数秒たっても着地判定用の LED は点灯しないトラブルもあった。

3. パラシュートが開傘し、減速できた上にアンテナが上を向くように着地できた。しかし、着地後数秒たっても着地判定用の LED は点灯せず、しばらくしてから LED が点灯した。また、パラシュートの切り離しは行えたが、切断判定用のジャンパ線が抜けず切断判定が行われなかった。これはジャンパ線を抜くバネの力がうまく伝わらなかったためと考えられる。車軸モーターは両方回ったが、片方のタイヤにパラシュートが巻き込まれてしまい、CanSat 本体がその場で回転した。

この 3 回の試験では、一部のミニマムサクセス、一部のフルサクセス達成にとどまった。想定した通りには動いてくれないということを経験したことが、今後、より深く想定できるように成長してくれることを願う。

(c) B 班 (4 名 : 1 名が途中離脱したため)

B 班は、目的を「着地後に目的の方向へ直進走行する」と定めた。そのために、GPS の位置情報以外の方法も組み合わせることを考えた。設定したサクセスクライテリアを表 2.2.4 に示す。また、この目的を達成するために「直進性」に関するミッション検討のモデル図の一部を図 2.2.17 に示す。これより、直進軌道から外れたことをどう検知するか、機体の方向を修正するためにはどうやって曲がるかを考えて設計したことがわかる。ただし、前提条件である「なぜ、直進しないのか」の原因を十分に考察したのかは疑問である。この検討に基づき、図 2.2.18 に示すアクティビティ図を作成した後、設計仕様

表 2.2.4 B 班のサクセスクライテリア

ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
着地後に走行する	目標地点に向かって 5m 走行し、その軌道の誤差が 30cm 以内に収まる	目標地点に向かって 20m 走行し、その軌道の誤差が 30cm 以内に収まる

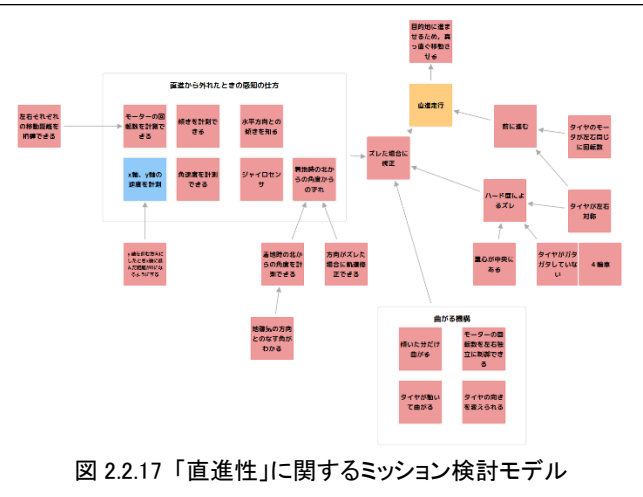


図 2.2.17 「直進性」に関するミッション検討モデル

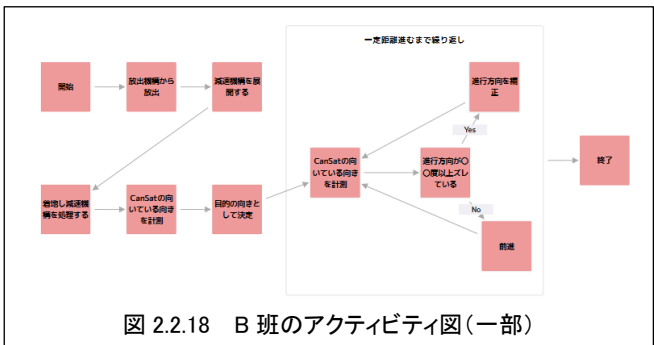


図 2.2.18 B 班のアクティビティ図(一部)



図 2.2.19 B 班の機体

を定め、実体設計を進め、クローラ型の機体を採用している。完成した B 班の機体を図 2.2.19 に示す。直進走行を確認するための気球から放出しなくてもよいため、グラウンドで地上走行試験を実施した。

そのときの動画からの切り抜き画像を図 2.2.20 に示す。上から下に走行しており、赤いひもが±30cmの幅を示し、5m を超えたところでコースから逸脱している。地面の凸凹の影響が十分に考えられているとは言えない。

気球放出試験では2回の放出試験を実施した。1回目は、パラシュートが展開し、十分に減速した状態で着地することができた。しかし、パラシュートを分離することができず、パラシュートのひもが走行距離測定用のレーンに引っ掛かったため、構体が前進することができなかった。そこで、パラシュート切断のテグス通電時間を延ばして、2回目に進んだ。2回目はパラシュートが開かず、機体が落下してしまった。ニクロム線やモーター用の9V電池が外れ、キャタピラ・MPU6050・SDカードリーダーが破損してしまい、ミッションの継続は断念した。気球搭載時に風であおられたために放出機構の中でパラシュートの折り畳みが崩れたせいだと考えられる。2回ともパラシュートのせいでミニマムサクセスも達成できなかった。気球放出前にパラシュートによる落下試験は行っていたが、パラシュートを展開した状態でベランダから落下させていた。気球で高度を上げている間に起きる振動を十分に考慮できてなかったことが反省点である。

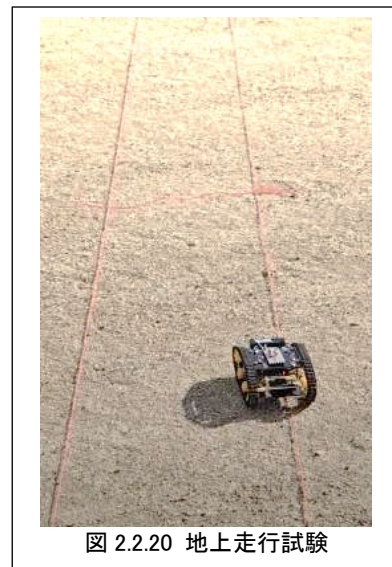


図 2.2.20 地上走行試験

(d) C班 (3名: 2名が途中離脱したため)

C班は人数が少なかったこともあって、落下中のミッションのみを行った。そこで、気球から CanSat を放出した後の落下位置の分散を抑えることを目的として、2個のパラシュートを順番に開傘する方式を採用した。図 2.2.21 に示すように、気球から放出した段階で1個目の小さなパラシュートを開傘する。そして、地上からある高度に達するか、放出からある時間経過した後に第2パラシュートを開傘する。

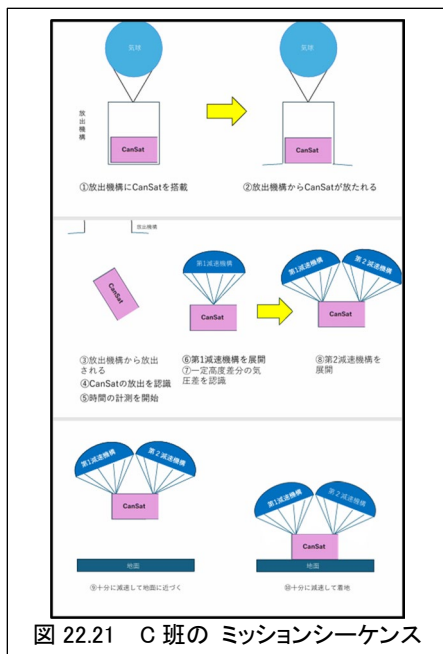


図 2.2.21 C班のミッションシーケンス

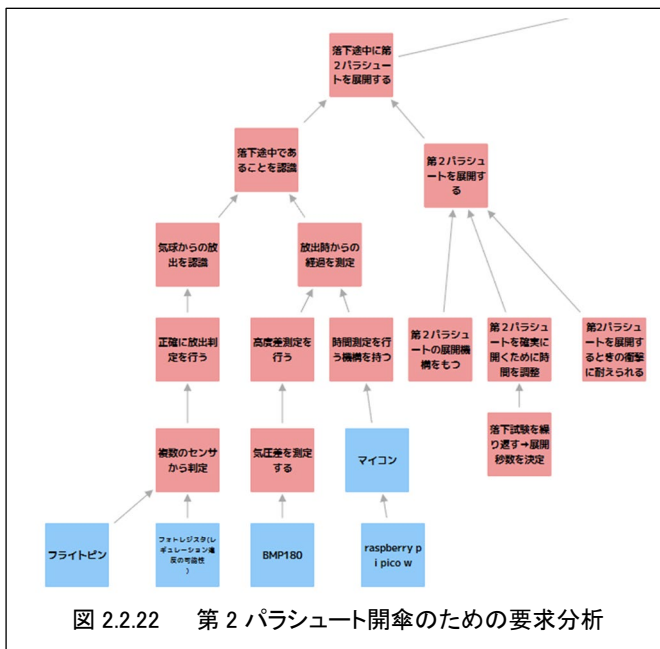


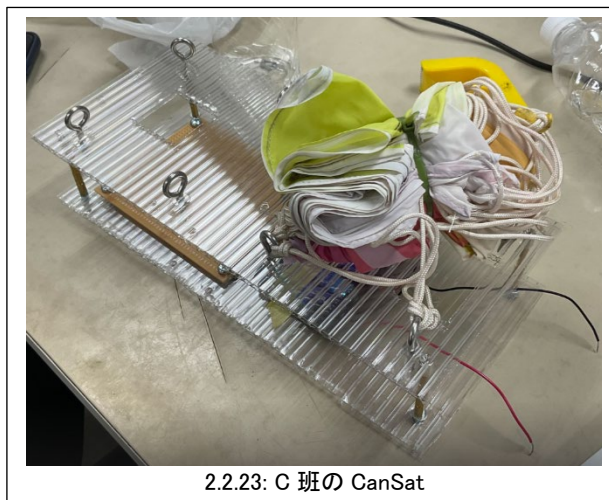
図 2.2.22 第2パラシュート開傘のための要求分析

表 2.2.5 C班のサクセスクライテリア

ミッション	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
地上から 1.9hPa 気圧が下がった高度または 5.0s 経過でパラシュートを展開	CanSat が落下し始めたことを認識する (許容誤差は ±1s.)	第2パラシュートを能動的に展開 (テグスを切ることによって展開)	設定した高度または時間で第2パラシュートを能動的に展開

これにより、CanSat が風に流されてしまうことを防止する。

この目的を満足するために実施した要求分析の一例、ここでは第2パラシュートの開傘成功判定に必要な要求分析図を図 2.2.22 に、また、ミッションク
ライテリアを表 2.2.5 に示す。これに基づいて、
マイコンやフライとピン、圧力センサなどの仕様
を決めたあと、全体のシステム構成を決定し、製
作した CanSat の写真を図 2.2.23 に示す。



2.2.23: C 班の CanSat

C 班はパラシュート開傘が重要となるため、い
くつかの第2パラシュート開傘方法を検討した。
図 2.2.24 には落下試験(図 2.2.25 参照)を通して
採用したパラシュートのたたみ方を示す。

気球試験では、2 回の放出を実施した。1 回目は
1 段目のパラシュートの展開には成功した。その
後、2 段目のパラシュートテグスの切断には成功したが、2 段目のパラシュートの展開には失敗した。ロ
グデータから、テグスの切断は気圧差を検知したことにより行われたこと、気圧測定が成功していたこ
とが分かった。

2 回目は、1 段目、2 段目ともパラシュートの展開が行われ、取得したデータ解析の結果、エクストラ
サクセスも成功したことがわかった。さらには、1 回目のパラシュート開
傘に失敗したのはそのたたみ方に問題があり、中に空気が入ってなかった
ことと推測している。この成果は、今後の CanSat 開発にも展開できる。

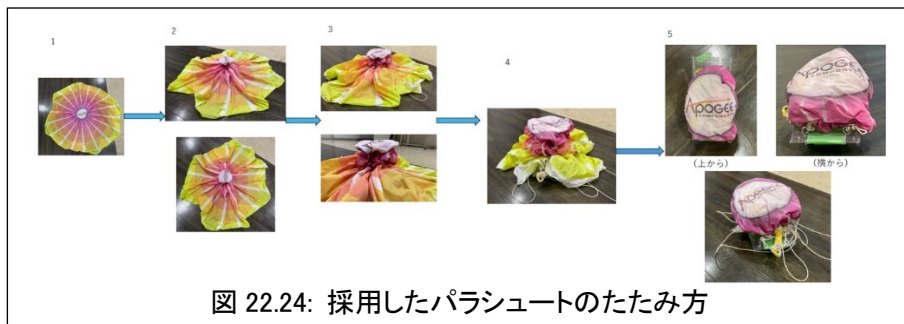


図 2.2.24: 採用したパラシュートのたたみ方



図 2.2.25 パラシュート開傘
試験

(e) まとめと今後の課題

人数の少ない C 班は 2 回目にエクストラサクセスも成功したが、そのほかの班は着地時に機体が壊れ
たり、ピンが抜けないなどのトラブルにより、一部のフルサクセス達成にとどまってしまった。一部で
も達成できれば十分かもしれないが、放出のたびに異なる結果となり、再現性が低い。このことからみ
て、フルサクセス達成に至らなかったのは、着地時の衝撃に関する設計時の検討が不十分であったため
と言える。ここで「落ちたら壊れる」というのは当たり前のことで小学生でもわかることではあるが、大
学生が毎年同様な事例を繰り返している。このことを考えると、経験が無い 1 年生には「落ちたら
壊れる」というだけでは、どこに注意すればいいのかが的確に想像できないと思われる。このような当

たり前に見える事象に対する「検討漏れ」は、結局は上級生の経験による知見が構造化して伝えられていなかったためである。

つまり、山本五十六の格言である「やってみせ、言って聞かせて、させてみせ、ほめてやらねば、人は動かじ。」を実践することが必要である。これは、上級生も、これまでの失敗の考察をシステムズエンジニアリングモデルを通して構造化し、新入生に伝えることを次年度の課題としたい。

さらに、途中で離脱する学生がいたこと、計画通りにプロジェクトが進まないことなど、メンバーのモチベーションやチームビルディングに依存する課題がある。特に1年生のプロジェクトということでの課題があるのかもしれないが、MBSEによる効果を発揮させるには、チームビルディングやプロジェクトマネジメントも同時に進めることが重要と感じる。

(f) 補足

2024年12月22日に実施した気球実験は、本学と連携協定を結んでいる尼崎市立尼崎双星高校、兵庫県立芦屋国際中等教育学校の生徒も参加し、それぞれのチームのCanSatの気球放出実験を行った。両チームは2025年2月23日に和歌山県で開催された「宇宙甲子園 缶サット部門全国大会」に出場した。この大会では、各チームが自作のモデルロケットに搭載した自作のCanSatでそれぞれのミッションを行うものであり、本プログラムの共同参画機関である和歌山大学の秋山先生が主催者の一人を務めている。この全国大会では、尼崎双星高校が優勝⁹、芦屋国際中等教育学校がサイエンス賞受賞¹⁰と優秀な成績を収めている。来年度以降はさらに連携を深め、ともにMBSEを利用してより効率的で抜け漏れの無い開発につなげられるようにしたい。

2.3 自発的な研究活動等

モデルベース開発およびプロジェクト遂行ではMBSEを適用する前段階で必要となるチームビルディングもテーマとして、主に小型宇宙機システム研究センターの学生を対象として、2回の講演会&パネルディスカッションを大阪公立大学で実施した。詳細は以下のWEBページで紹介している。

https://www.omu.ac.jp/eng/kogiso/project/aero_mbse/lecture/index.html

2.3.1 第1回講演会&パネルディスカッション (2024年12月5日実施)

(a) 概要

第1回講演会&ワークショップは、本プログラムが採択されたことを学内に広く周知することも目的として、Mathworks社および日本航空宇宙学会関西支部 研究分科会「若手研究者のための航空宇宙分野横断」を共催として実施した。開催方式もハイブリッド開催とし、参加対象は学内に限らず、広く全国から参加者を募った。参加者は90名、うち現地参加は43名であった。本学の学生は40名が参加した。

講演会のテーマは「革新を生むモデルとモノづくりの融合」とした。これは、MBSDだけでなくMBD(モデルベース開発)が世の中で広がってきていて、実際のプロジェクトで適用されていることを学生に周知することも目的としたためである。そのために、モデリングツールとしては、Mathworks社製Matlabを用いて開発をしている三菱電

⁹ <https://www.instagram.com/p/DH5w2iOyIGS/>

¹⁰ <https://www.instagram.com/p/DH2HY95yzOI/>

機の技術者および Mathworks 社の技術者も講師に招いて、宇宙だけでなく幅広い産業領域(工作機械、ファクトリーオートメーション)の講演を実施するとともに、MBD/MBSE の理解を深めるためのパネルディスカッションを行った。そのプログラムを図 2.3.1 に、また、講演会の様子を図 2.3.2 に示す。また、三菱電機からの5つの話題提供に対する MBSE/MBD との位置づけを図 2.3.3 に示す。

パネルディスカッションは、ハイブリッドではなく、現地だけで実施した。プロジェクト開発に関して学生からの質問が多く出て、当初の予定を超えて 18 時まで実施した。小型宇宙機システム研究センターの学生は実際のプロジェクトを遂行するのが初めての経験であり、プロジェクトに対する知識(超小型衛星やハイブリッドロケットなど)が不十分であることから、プロジェクト遂行に対する不安が多かったためと思われる。実際のプロジェクトを遂行してきた技術者の経験を生で聞ける良い機会となった。

【プログラム】	
日時：2024年12月5日(木) 15:00～17:20	
会場：大阪公立大学 なかもずキャンパス B6棟 105講義室(堺市中区学園町1-1)	
15:00～15:05	主催者挨拶 大阪公立大学 工学研究科 航空宇宙工学分野 教授 小木 尚 登
15:05～15:10	モデルベース開発についてひとこと 三菱電機株式会社 先進技術総合研究所 開発戦略部 チーフエグゼクティブ 吉河 章二
15:10～15:26 (16分)	話題 1： 「軌道設計の工夫で、月投入燃料を節約」 三菱電機株式会社 先進技術総合研究所 メカトロニクス技術部 移動体・宇宙システムG 主席研究員 北村 憲司
15:26～15:32 (16分)	話題 2： 「機内のシミュレータで、SIMの月面着陸を確実化」 三菱電機株式会社 先進技術総合研究所 メカトロニクス技術部 機械動力学G 主席研究員 今枝 隆之介
15:32～15:58 (16分)	話題 3： 「工作機械の性能予測で開発期間を短縮」 三菱電機株式会社 先進技術総合研究所 産業オートメーションシステム技術部 N CシステムG グループマネージャー 藤田 晋哉
15:58～16:14 (16分)	話題 4： 「センサシミュレーションで、セクタ内部温度を見える化」 三菱電機株式会社 先進技術総合研究所 熱環境・エネルギー制御技術部 回線統合制御技術G 主席研究員 荒川 仁
16:14～16:30 (16分)	話題 5： 「衛星システムアーキテクチャとMBD環境を“繋げる” MathWorksのMBSEソリューションのご紹介」 MathWorks アプリケーションエンジニアリング部 鎌谷 祐真
16:30～16:40	休憩
16:40～17:20	パネルディスカッション モデレータ：吉河 章二 パネリスト：小木尚登、北村憲司、今枝隆之介、藤田晋哉、荒川仁、鎌谷祐真、安藤聡祐(ほか)

上記：「MBSEを活用する宇宙アーキテクチャ育成プログラム」(宇宙科学連 宇宙航空アーキテクチャ育成プログラム)
共催：MathWorks、日本航空宇宙学会航空宇宙部 研究分科会(若手研究者のための航空宇宙分野フォーラム)

図 2.3.1 第 1 回講演会 & ワークショップ プログラム



図 2.3.2 第 1 回講演会の様子

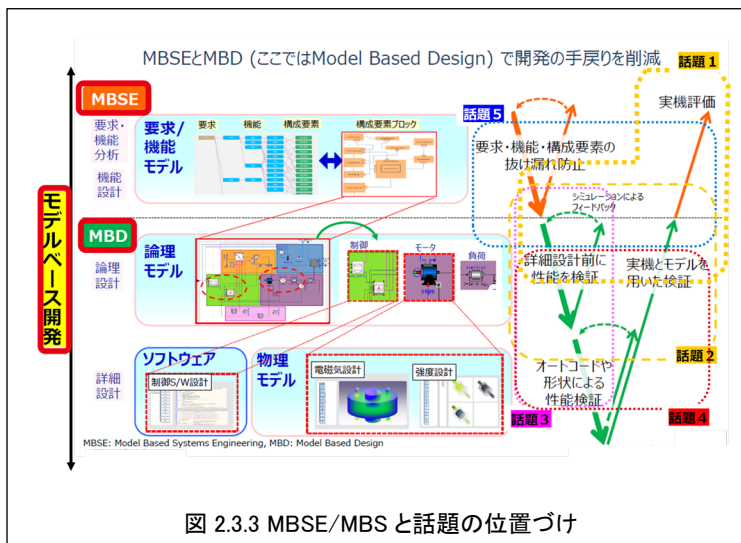


図 2.3.3 MBSE/MBD と話題の位置づけ

(b) 事後アンケート

講演会后、参加した学生 40 名にアンケートを実施し、25 名から回答を得た。その結果を表 2.3.1 にまとめる。また、記述として実施した 3 問の回答の一部を表 2.3.2 および表 2.3.3 に示す。これより、MBSE/MBD に対してある程度の理解は進んだものとみられる。一方で、経験の浅い学生ならではの理解として、MBSE を使えばすべてがうまくいくはずだ、という思い込みがあるようにも感じる。実際はそうではなく、試行錯誤も必要となる。しかし、MBSE を理解しているからこそ、その試行錯誤回数が減らせること、また、試行錯誤することで理解を深めるしかない領域、試行錯誤しなくてもできる領域があることを理解できることまでは、理解に及んでいない。また、そのことを一度の講演会だけでは十分に理解するのは難しいし、プロジェクト遂行で経験を積む中でそれぞれのレベ

表 2.3.1 第 1 回講演会 & パネルディスカッション：事後アンケート結果

アンケート回答者 25 名

学年	B1	B2	B3	B4	M1	M2
人数	3	8	3	8	2	1

1. この講演会より前に、モデルベース開発を知っていましたか？

A 今回初めて聞いた	B 言葉は聞いたことがある気がする	C 設計開発に関係することくらいは知っていた	D 概念を説明できるくらい知っていた	E 内容を詳しく説明できるくらい知っていた
4	5	13	3	0

2. 今回の講演会でモデルベース開発のことを理解できましたか？

a あまり理解できなかった	b 講演を通して少し理解できた	c 講演を通してよく理解できた
1	14	10

上記 2 問の相関

	A	B	C	D	E	小計
a	1					1
b	2	2	9	1		14
c	1	3	4	2		10
小計	4	5	13	3	0	25

表 2.3.2: 第 1 回講演会の記述アンケートと回答（一例）

3. 今回の講演で、モデルベース開発を進めるにあたって最も重要だと思ったことを説明してください。

<p>要求分析の段階で、トップの要求を完全に達成するための細分化は非常に難しく、開発を進めていく中で必要な要求が新たに見つかるということ。そのためには試行錯誤が不可欠であるということが重要だと思った。自分も SSSRC で開発を始めるにあたって、要求分析を行うことがあるが、知識が足りなさ過ぎて要求を細分化できないことが多くあったが、それはプロの現場でも起こりうるのだと聞き、開発の泥臭さがリアルだと感じた。</p>
<p>1 人がすべての分野について深い知識を持つことは不可能なので、自分の専門外の所は今までにあったデータを用いたり、別の専門家に任せることで研究期間を短くするといった工夫が重要だと思った。またそのようなシステムがある三菱電機さんは長年の技術的な蓄積があって凄い企業だと思った。</p>
<p>今回の講演で、モデルベース開発 (Model-Based Development, MBD) を進めるにあたって最も重要だと感じたのは、「コミュニケーションの共有基盤を構築することの重要性」です。MBD は、開発プロセスを効率化し、高品質な製品を提供するための強力な手法ですが、その効果を十分に引き出すには、関係者全員が同じ理解を持つ必要があります。モデルは単なる技術ツールではなく、開発者、設計者、マネージャー間で情報を共有する共通言語となります。このため、モデルの構築や使用に関わる全員がその目的やメリットを理解し、適切に利用できる体制を整えることが重要だと感じました。また、モデルの可読性や簡潔さ、目的に応じた正確な表現が、プロジェクト全体の成功に直結するとも思いました。</p>
<p>全てのものが SE に沿って進んでいるのではなく、試行錯誤は避けられず、「良くしていく」ときの考え方として有効なのが SE だということ。最初の要求の部分は、簡単な計算で求められるが、その計算をするにあたって多くの知識が必要であるということ。モデルベース開発によって、要求や使用の変更は多くあるが、開発の段階によって洗い出していき、全体の影響を減らすことができるということ。</p>
<p>モデルベース開発では、事前にシステムについて分析し検討することも大切だが、実際にやってみないとわからないことも多くあるので、要求分析等のシステム開発と実際に実装して検証することを繰り返すことにより良いものが生まれると感じた。システムを振り返る際にシステム思考を用いることが重要だと感じた。</p>

ルに対しての課題も異なることがわかる。今後、このような講演会を繰り返し実施することで、学生の成長の機会とする必要がある。

表 2.3.3: 第 1 回講演会の記述アンケートと回答（一例） つづき

4. モデルベースについて「もっと知りたい、調べたいと思ったこと」がありましたら、記述してください。

あるプロジェクトの結果を出した時に、成功かどうかを認識する手段を予め用意しておく必要があるがその手段の立て方。
大学の学びがどのように開発に生かされているのかもっと知りたい。
要求分析や仕様検討を行った経験はあるが、正直、全機の開発を進める中でどの段階でどのような抽象度のシミュレーションを行えばよいかをあまりイメージできないためそれをどのようにして決めていったか、または決まっていたかを知りたいと思った。
どれくらい詳細な情報を決めてからモデルを作るのかについてお話を伺いたいと思いました
文書等の要求をモデルベースで表すという意味で MBSE という理解だが、具体的な要求の修正をして考えなおすといった方法の開発例・開発結果を所属メンバーで知れる機会があると、現在の新入生教育にて要求分析で完璧にしなければならないといった認識を修正できたりするのではないかと感じた。

5. 今後、自身が関わるプロジェクトなどでモデルベース開発をするとしたら、なにに注意しないといけないでしょうか。理由とともに教えてください。

お話にもあったように自分の専門分野に限らず、他の分野の人の意見にも耳を傾ける必要があると思う。設計する人に限っても複数の分野の人が携わっており、試作機を製作する人や市場調査を行う人など運用までに多くの人に関わるため、固定観念を視野を広くする姿勢が必要だと思う。
モデルを作ることが目的になってはいないかを注意する必要があると思います。モノやモデルができた方が達成感がありますが、モデルを作る前段階で要件定義などをしっかり行っていないと手戻りや大きな抜け漏れにつながる可能性が大きくなるからです。
モデルを作成する際に、考慮しなければならないことを適切に挙げることで考えます。これは考える必要があって、これは考えなくてもよいということを適切に判断しなければ、ハードで実験を行ったときに精度が出なかったり、信頼性を保証できないと思われれます。
氷山の一角の話にありましたが、机上では見えてこなかった課題点がモデル化することで見えてくるものがあるということ念頭において要求分析を進めるということ。それと新しい領域との融合を意識していきたいです。

2.3.2 第 2 回講演会&パネルディスカッション (2025 年 2 月 5 日実施)

小型宇宙機システム研究センターにおける CubeSat プロジェクトは、初期のミッション策定段階で苦戦している。そのため、MBSE によって効率的にプロジェクト遂行する前段階として、プロジェクトが遂行できる体制を構築し直すべき時期となっている。これは、本学だけでなく、学生主体のプロジェクトによくある課題のひとつでもある。そこで、「プロジェクト推進に必要なマインド・コミュニケーション・システム思考」をテーマに講演会を企画した。そのプログラムを図 2.3.4 に示す。講師は、大阪府立大学(現 大阪公立大学)が採択された宇宙航空人材育成プログラム(平成 30~令和 32 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」¹¹の共同参画機関でもあった株式会社レヴィの南部氏、株式会社インディー・ジャパンの津嶋氏である。小型宇宙機システム研究センターの学生を中心

図 2.3.4: 第 2 回講演会 & パネルディスカッションのチラシ

¹¹ <https://www.omu.ac.jp/las/jinzai/fledge/perseus/>

に 26 名が参加した。講演会の様子を図 2.3.5 に示す。

南部氏には、プロジェクトを推進するためのマインド、チームでプロジェクトを推進するために抜け漏れの無い計画、公平な担当割り当て、進捗管理を実施するために必要なシステム思考に関して、前の CubeSat プロジェクト「ひろがり」の例を示しながら説明した。津嶋氏は、システムズエンジニアリングと共に重要であるプロジェクトマネジメントに関してはコミュニケーションが最も重要であることをベンチャー企業へのコンサルを例に示した。特に、理系学生はコミュニケーションが苦手な傾向があり、その克服にはロジカルシンキングが役立つことをわかりやすく説明してくれた。共通する事項としては、目標の共有が重要であるがメンバー間には認識ギャップがあることを自覚することの重要性、また認識ギャップを埋めるにはお互いに理解し合うことが重要であり、それはその人に対する興味が重要であることがありました。さらに、プロジェクトを実施するのは生身の人間であって、お互いを理解し目標を共有するためのコミュニケーション、メンバー全員が気持ちよく取り組めるようなマネジメントが重要であること、システムズエンジニアリングはその羅針盤の役割を果たすことが共通していた。



図 2.3.5: 第 2 回講演会の様子

共通する事項としては、目標の共有が重要であるがメンバー間には認識ギャップがあることを自覚することの重要性、また認識ギャップを埋めるにはお互いに理解し合うことが重要であり、それはその人に対する興味が重要であることがありました。さらに、プロジェクトを実施するのは生身の人間であって、お互いを理解し目標を共有するためのコミュニケーション、メンバー全員が気持ちよく取り組めるようなマネジメントが重要であること、システムズエンジニアリングはその羅針盤の役割を果たすことが共通していた。

(b) 事後アンケート

事後アンケートには 20 名から回答があった。その回答の一部を表 2.3.4 および表 2.4.5 に示す。

チームとしてメンバーを理解し合うという最も重要なことを、直面した課題に対峙する中で見失ってしまっていたことを見つめなおす機会になったことだと思う。MBSE を適用することが目的ではなく、プロジェクトの目標を達成することが目的であることを自覚した人材となれる準備が整ったように思う。一方で、日々の直面した課題に取り組む中で、大義は忘れてしまうことがある。このような講演とディスカッションを「思い直す機会」として、繰り返し実施することが重要である。

表 2.3.3 第 2 回講演会 & パネルディスカッション：事後アンケート結果（アンケート回答者 20 名）

学年	B1	B2	B3	B4	M1	M2
人数	4	4	3	6	3	0

1. 南部氏の講演で一番印象に残ったことはなんですか？

どのような起業やプロジェクト進行でも最初から見えている道はなく、諦めず進みながら学んでいくことを繰り返している。その積み重ねによって目標達成することに繋がる。
ひろがり衛星が成功した大きな要因は、衛星開発を成功させるという熱意と楽しさであったこと。Balus の開発やこれまでの衛星開発のお話から、システム思考のお話が主だと思っていたが、「楽しむ」マインドも大事だとおっしゃっていたこと。
ひろがりの開発のほとんどが後半に集中していたこと。また厳しい状況のなかでもやり方を考えて進め、打ち上げまでできたというエピソード。
何か制限を開発に設けることで、開発が加速するということが非常に印象に残った。現在の衛星開発は打ち上げ手段が決まっていないために期限が定まっていない。早く期限を定めたいと思う。
チームでうまく行くには、仲良く楽しいと思うことが重要であるということ。物事の構造化が重要であること
SE を行う前提としてモノづくりを楽しむためのマインドが必要である、というお話が最も印象に残った。チームで〇〇が作りたい、というマインドがあれば SE はただの道具に過ぎない。チームで進む方向を決めながら開発をしていく中で、本当の目的と手段を混同しないようにすることが求められると感じた。

表 2.3.4 第 2 回講演会 & パネルディスカッション：事後アンケート結果（つづき）

2. 津嶋氏の講演で一番印象に残ったことはなんですか？

コミュニケーションは場数，組織的に動くうえでメンバー全員が働けるようなシステムづくりが大切。
人前で上手くしゃべるには場数を踏んで練習するしかないことや、プロジェクトマネージャーとして、他人に指示を出すにはその人の人間性やその組織の仕組み自体を考えなければならないこと。
構造化して物事を考える。人が悪いのではなく制度が悪い。
相手が自分の思ったとおりに動いてくれないとき、相手を変えようとするのではなく環境や制度を変えることで対応すべきというのは印象に残った。実際相手に合わせた方が早いとは思え、これからはマネジメントをする際これを意識しようと思う。
プロジェクトやシステムの要件と構成要素を分解して構造化して理解することが大事。 来るもの拒まず去るもの追わずのスタンスで、一点失敗したことで誰かのせいにならず自分がここから何を学ぶのかを考えることが研鑽に繋がる。
チームは人の集団であるというお話が印象に残った。これまで私は、開発メンバーの動機付けをマネジメントの範囲外であると捉え、メンバーに分かりやすく伝えることをおろそかにしていた節があった。人に変わってもらおうと思っ てはいけないというお話を聞いて、開発を進める上でマネジメントとしてメンバーへの働きかけ方を変える必要があると感じた。

3. 今回の講演会で何を学びましたか？

モノづくりの上での構造化，要素分解して各要素の要件のつながりを意識する。システムをより理解する。
開発で期限を設ける重要性、チームの人間性を重視する、開発箇所は責任を明確にしておく、ミッションは何でもいい、人とのつながりを大切に、とにかく頼み込んでみる、言うことをきいていたらダメ、コミュニケーションは場数でうまくなる、人の性分は変わりにくいの環境や仕組みで対応する、人に決定の裁量を与え人に任せるのがプロジェクトマネジメント、自分たちはこんなことがやりたくてこんな価値が提供できるというのを一度しっかりと考える。
普段からシステム開発について講演をお聞きする機会が多く、システム思考に基づいた開発の重要性や有用性を次第に理解し始めていたが、今回は開発を進める中で紆余曲折ありながらも開発を楽しむことがまずは大事だとわかった。また、人とのコミュニケーションにおいては相手の感情の理解が必要で、どうしても足踏みしてしまいがちだが、上達のために経験を積むことが必要だとわかった。
まずマネジメントとして最低限すべきことは、各系や人が「自分は何ができるか」「何をすればよいか」を理解できる状態にすることであると学んだ。自分たちに十分なメタ知識がないことや、メンバーの自主性が足りないことを上手くいかない原因として考えるのではなく、マネジメントとしてこれらを理解しやすくする必要があったと感じた。そのためには要求のトレーサビリティが必要であるし、やることを可視化したうえで自主性を引き出すことも必要だということを、今回の講演会から学ぶことができたと思う。

3 まとめ

本事業において、MBSE アーキテクト人材育成のための教材開発と試行を通して、大阪公立大学は小型宇宙機システム研究センター所属の学生が MBSE アーキテクト人材として成長し、研究開発プロジェクトがより活発になることが期待されている。

本報告のうち、2.1 節および 2.3 節に示した活動で、学生に MBSE を学ぶ機会を提供した。2.1 節のワークショップは主管の慶應義塾大学で開発するワークショップ教材の試行であり、試行の効果および課題を示した。午後の短い時間(5.5 時間)に対して詰め込み過ぎの感もあり、一部、消化不良気味ではあったが、それはそれとして、学生のモチベーション向上には意味があることを示した。また、ワークショップで課題を 2 種類に分け、2 番目の課題では 1 番目の課題に対してミッションを追加するというプロジェクトでよくある状況を再現してあり、非常に興味深いものである。これに対して、MBSE が十分に理解できれば追加課題に対するモデル修正が容易であるはずである。しかし、初学者レベルの学生には、最初の課題を通して理解したと思っていたことが実はよく理解できていなかったことが自覚できるという有益な「気づき」を与える機会となった。このことは、本ワークショップを繰り返し受講することが必要であることを気づかせるよいきっかけとなった。

また、2.3 節で示した講演会は、学生に MBSE に対する理解および MBSE の必要性を自覚させる機会となった。初回は企業での適用事例、2 回目は MBSE 適用以前にプロジェクト推進に必要なマインドセットやコミュニケーションに対する理解を促すものであった。これは、コンピュータを駆使した手法にありがちな問題であるが、手法にこだわってしまい、目標を見失いがちになる問題を防ぐためにも有効である。

2.2 節では、小型宇宙機システム研究センターで取り組んでいるプロジェクトの状況を示した。2.2.1 節では CubeSat プロジェクト、2.2.2 節ではハイブリッドロケット、2.2.3 節では CanSat プロジェクトにおける状況と MBSE を今後適用するにあたっての問題点を示した。小型宇宙機システム研究センターは、前回の宇宙航空人材育成プログラム(平成 30～令和 32 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」を通してシステムズエンジニアリングを導入しているため、MBSE の考え方にもある程度慣れているはずではある。それでも、実際のプロジェクト遂行に適用するにはさまざまな課題があることを示した。特に、ハイブリッドロケットと比べて複雑度が段違いに違う CubeSat ではシステム全体を見渡すことが難しくなるため、プロジェクトマネジメントやチームビルディングに対する課題も顕著となる。

特に、プロジェクト遂行に関する経験の少ない学生にとっては、プロジェクト遂行中に、寄り道と思われる方向にずれてみたり、モチベーションを失ってみたりといった課題も発生する。ハイブリッドロケットは比較的うまく進んだプロジェクトではあったが、当日の運用に対する認識が不十分で、打上げ試験当日に打ち上げがスムーズにいかなくなった。その意味では、チームビルディングやプロジェクトマネジメントも同時に進めることが重要と感じる。