

令和5年度地球観測技術等調査研究委託事業

「大学間連携による理学工学融合実践的宇宙ミッション早期教育プログラム」

委託業務成果報告書

令和6年5月

国立大学法人九州工業大学

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、国立大学法人九州工業大学が実施した令和5年度「大学間連携による理学工学融合実践的宇宙ミッション早期教育プログラム」の成果を取りまとめたものです。

目 次

1. はじめに	4
2. 本事業の目的.....	5
3. 実施しようとする内容	6
4. 学生教育セミナーの実施状況	8
4. 1 2023 年度参加学生の募集及びキックオフミーティング	8
4. 2 学生主体の「新人教育セミナー」の実施	10
4. 3 教員による「衛星工学セミナー」の実施	13
4. 3 九州大学による「理学セミナー」の実施	14
4. 4 3 年間の成果	18
5. 衛星開発の実施状況.....	19
5. 1 衛星設計の最終案と CDR	19
5. 1. 1 CDR の内容（ミッション系）	20
5. 1. 2 CDR の内容（バス系）	24
5. 2 フライトモデル（FM）の製作	31
5. 3 官辺手続きについて	35
5. 4 3 年間の成果	36
6. ファシリテーション体制の構築および教材開発の実施業況	36
6. 1 ファシリテーション体制の構築	36
6. 2 教材開発の実施状況	38
6. 3 3 年間の成果	40
7. 2023 年度のプログラム実施に関する学生の評価	40

1. はじめに

本報告書は、文部科学省の令和5年度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、国立大学法人・九州工業大学が実施した令和5年度「大学間連携による理学工学融合実践的宇宙ミッション早期教育プログラム」の成果を取りまとめたものである。委託業務の実施期間は、令和5年4月1日から令和6年3月31日であった。本事業の実施体制として、課題参画者及び業務分担をまとめたものが、下記の表1.1となる。

表 1.1 実施体制（課題参画者及び業務分担）

業 務 項 目	実 施 場 所	担 当 責 任 者※
令和4年度		
① 合同学生教育セミナー	福岡県福岡市西区元岡744 九州大学国際宇宙惑星環境研究センター	九州大学理学研究院教授 吉川 顕正
② 衛星開発	福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学革新的宇宙利用実証ラボラトリー	九州工業大学工学研究院教授 趙 孟佑
③ ファシリテーション体制	福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学革新的宇宙利用実証ラボラトリー	九州工業大学工学研究院教授 北村 健太郎

実施体制

本事業では、九州工業大学と九州大学が相補的に理学と工学の教育について分担しながら、参加学生に対して実践的な衛星開発を通じて早期の理工学融合教育を施すものである。九州工業大学はこれまでの16機に及ぶ超小型衛星の開発経験とその知見を理学教育に適用する。衛星開発、ハンズオンワークショップ、衛星試験等に関しては、教育スタッフ10名程度とアシスタントとして9名程度の大学院生をもって指導に当たる。一方、九州大学は先端的な宇宙天気科学研究でMAGDASスクール等のグローバルな理学教育で実績を有する国内の拠点的研究機関であり、参加学生に対して宇宙科学観測の背景となる理学教育を先端的な研究を踏まえて教育する。理学教育のセミナーやデータ解析手法に関して、教育スタッフ3名と大学院生のアシスタント2名によって指導を実施する。

これら主となる2者の連携に加えて、宇宙分野の産業界との連携としてやまぐち産業振興財団が山口県下の宇宙関連企を統括した、山口県航空宇宙クラスター企業と協力して事業を実施する。ここでは技術的な相談等の連携のみでなく、企業文化や商習慣など実際の企業活動に関してのCOOP教育を実践する。また、科学衛星の観測機器の開発経験が豊富な東北大学や宇宙科学に関する国際的なデータセンターを運営する京都大学と連携することによって、衛星開発のみでなく取得したデータの解析法や理学的知見を得るための主要な研究手法について教育を行う。

こうした連携体制によって、3年間で継続的な理工学融合人材の育体制を確立する。

実施体制

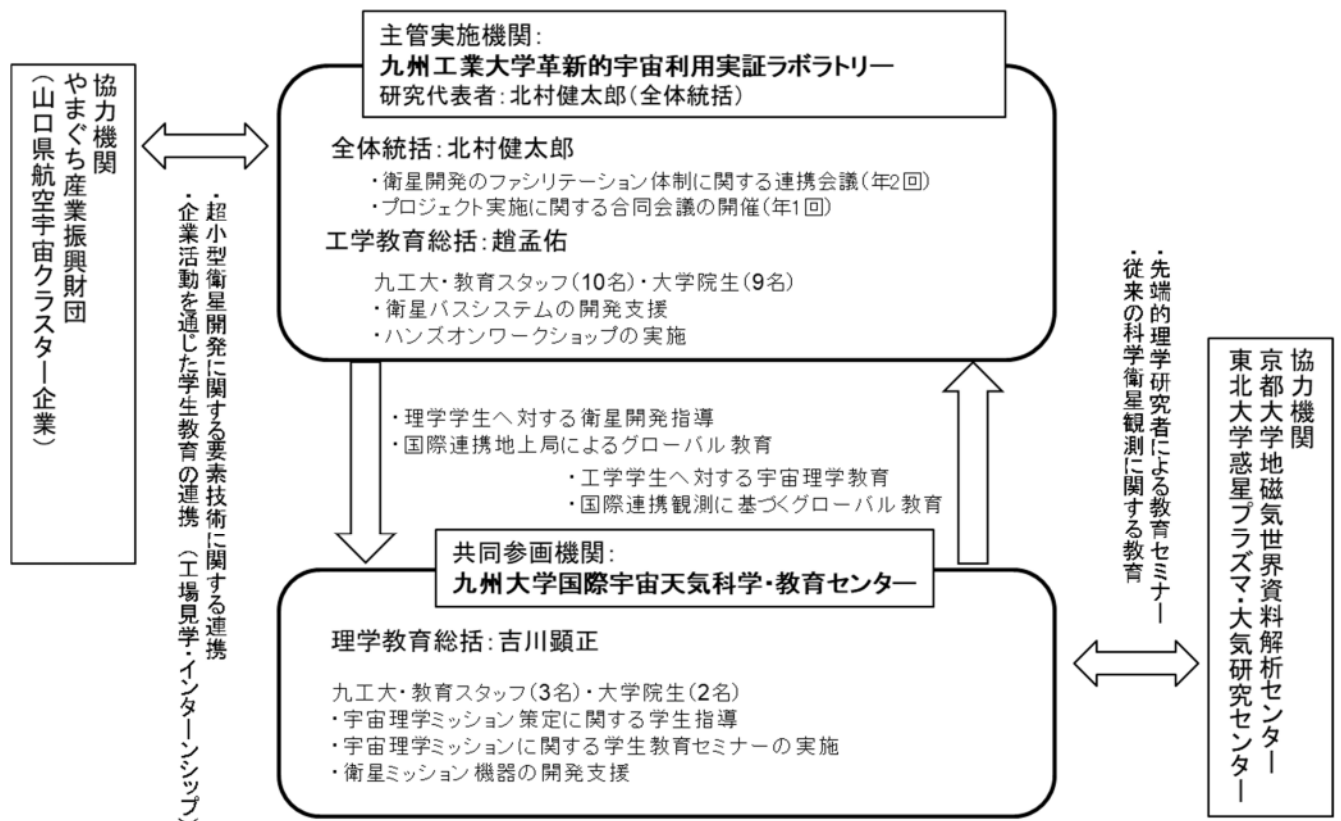


図 1.1 実施体制図

2. 本事業の目的

本プログラムでは、CubeSat 等新しいツールを宇宙科学分野に柔軟に応用する革新的な宇宙ミッションを将来中心的に推進できる人材育成を目指し、理学教育と工学教育の融合した実践的な宇宙ミッションを実施する。学部学生の早期から CubeSat による宇宙理学ミッションを実践的に体験させることによって、工学・理学の双方に十分な見識を持ち従来の科学観測衛星の常識にとらわれない超小型衛星による科学観測分野をリードできる人材の育成を目指す。また、こうした人材育成プログラムを通じて、国内外の教育機関・企業等が連携した宇宙理工学人材育成のための継続的な人的ネットワークとファシリテーション体制の構築を行う。

（1）業務の背景

現在、国内外における超小型衛星は学生教育目的から、商業利用や科学観測分野での実利用に移行しつつある。特に宇宙科学分野においては、超小型衛星の活用に関してヨーロッパを中心に 50 機のコンステレーションを目指した QB50 プロジェクトなどの本格的な宇宙理学プログラムが始動している。一方で、国内では超小型衛星による本格的宇宙科学観測技術の議論は必ずしも成熟しているとは言えず、今後日本の科学衛星観測の本格的推進とそれを担う人材育成は急務である。

九州工業大学（以下、九工大）では、2006 年以来今日まで 16 機の超小型衛星の継続的な開発によって 300 名を超える国内外の学生に対して実践的な衛星開発の教育を行ってきた。また、九州大学（以下、九大）は地球近傍の宇宙空間の電磁擾乱である宇宙天気研究において国内の拠点として先端的天文学研究を行ってきており、MAGDAS スクールなどのプログラ

ムを主導し 500 名を超える発展途上国の学生に対しに国際的な宇宙理学教育を実践してきた。

本プログラムでは、九工大と九大が工学・理学それぞれの立場から理工融合した人材育成を大学生の早期に実施し、理工学融合した宇宙人材育成の基盤を構築する。

(2) 業務の目標

本プログラムでは、10 年後に若手研究者として超小型衛星など新しいツールを柔軟に活用した革新的宇宙理学ミッションを自ら主導的に立案・実施できる人材の育成と、国内の宇宙理学ミッションの継続的な実施のための人的ネットワークの確立するために工学系教育機関と理学系教育機関が相補的に早期人材育成プログラムを実施する。育成する人材像は、「理学・工学の両面に精通し将来革新的な宇宙ミッションを企画・実行できる素養を持つ人材」と定義し、九工大・九大から参加する学部学生を中心とした合同チームによって宇宙理学ミッションを達成するための CubeSat を開発する。委託事業完了までの目標としては

(1) 学部学生を中心とした実践的宇宙理学ミッションの実施

理学系学生と工学系学生の連合チームによって ISS 放出のためのフライトモデル完成と JAXA 引き渡しまでを実施する。

(2) 理工融合人材育成のための指導方法の確立

九工大・九大のスタッフおよび外部連携機関によって宇宙理学ミッション実施のための共同ファシリテーション体制を構築し座学・ハンズオンワークショップを含む教育コンテンツを開発し、広く波及させることを目指す。

(3) 継続的人材育成のための産学連携基盤構築

プログラム終了後に超小型衛星による宇宙科学ミッションを継続的に実施するための人材育成に向けた、複数機関連携による人材育成体制と継続的な資金調達の体制を整える。

3. 実施しようとする内容

学部学生を中心とする九工大の工学系学生と九大の理学系学生が、両大学の教員による指導を受けながら、実際の宇宙理学ミッションを実現する CubeSat 開発を行い、10 年後に国内の超小型衛星科学ミッションを主導できる人材育成を行う。九工大と九大が連携して、衛星開発の実践的なスキルと宇宙理学観測のための宇宙科学的素養を共有できる教育セミナーやハンズオンワークショップを実施する。また、参画する双方の教員チームおよび外部機関の協力者等とファシリテーションの方法について定期的な調整を行い、プログラム終了後も継続可能かつ外部に波及可能な教育コンテンツを完成させる。

具体的な内容としては、(1) 学生教育セミナー (2) 学生衛星開発 (3) ファシリテーション体制の構築の 3 項目について事業を実施する。学生教育セミナーに関しては、特にこれまでに衛星開発に関する工学的な教育を受けていない九州大学の理学系学生に向け、九州工業大学が主導する形での衛星工学概論に関するセミナーを実施する。これは、基本的な衛星開発におけるシステムズエンジニアリングの概念や手法に関する座学に加え、九工大でのハンズオンのセミナーを含む。また、宇宙環境に関する理学的な研究動向や学術的な重要性に関する教育を受けていない九州工業大学の工学系学生に対しては九州大学が理学セミナーを実施する。これは九州大学の国際宇宙天気・教育センターのスタッフをはじめ協力機関の外部研究機関の教員・スタッフを交えた形で宇宙空間物理学の基本から最新の衛星観測ミッションに関する講義を実施する。(2) 学生衛星開発は、2U サイズ (約 10cm × 10cm × 20cm) の CubeSat 開発を九大と九工大の学生が連携して実施する。衛星は国際宇宙ステーションからの放出を想定してミッションの検討がなされるが、本事業の趣旨を踏まえメインミッションは理学系の観測ミッションとする。2021 年の秋から学部学生を中心に学生の募集を行い、2022 年 3 月までにミッション審査会 (MDR) を実施し実際に実施するミッションを決定する。その後、事前設計審査会 (PDR) および最終設計審査会 (CDR) を経て最終的に 2024 年 3 月までに衛星を完成し JAXA へ引き渡せるように開発を進める。

2021 年 10 月当初に募集する学生のうち 2 年生以下の学生に関しては、学部在学中に衛星の完成まで参画することが可能である。その後、大学院に進学する学生は引き続き衛星の運用およびミッションの実施に参画することが可能である。(3) ファシリテーション体制の構築に関しては、九州工業大学のスタッフと九州大学のスタッフが定期的なミーティングを実施し、学生教育の観点から必要な実施計画と進捗等に関して確認や議論を行い、学生セミナーや衛星開発の指導に関するフィードバックを行う。このフレームワークの中には、定期的に外部協力機関のスタッフ等も参加してもらうことによってプログラム全体の PDCA サイクルを適切に運用することを目指す。また、プログラム終了後に本プログラムで培ったアウトカムを広く普及させるために、プログラム内で制作した教材や実施手法に関しては公開できるように資料等の整備を行う。これに関しても、製作する教材や資料の作成に関する検討を定期的な会議の中で議論する。

3 年間の計画における各項目の実施予定は以下の通りである。

① 令和 3 年度

(1) 学生教育セミナー

10 月より九工大および九大において参画学生の募集を行う。参画する学生については、主に学部学生を中心とした募集を行う。早期に九大の学生が九工大・革新的宇宙利用実証ラボラトリーおよび九大・国際宇宙天気科学教育センターを訪問し、衛星開発及び宇宙天気科学に関する研究に関する初期教育を受ける。(状況によっては、オンラインで実施)

(2) 衛星開発

年度末までに、九工大・九大の学生がオンラインおよび相互訪問によって理学ミッションの内容を検討し、3 月を目処に MDR(Mission Definition Review)を実施する。

(3) ファシリテーション体制の構築

九州大学のスタッフ間で定期的なミーティングを行い、学生の指導に関する方針の協議、必要な教材開発等を行う。

② 令和 4 年度

(1) 学生教育セミナー

九大が中心となって、実施する宇宙理学ミッションの背景理解のためのセミナーを定期的に実施する。セミナーは、協力機関である、東北大学、京都大学から関連分野の先端研究を行っている研究者の協力を得ながら実施する。必要に応じて、九工大の実験装置等を利用しハンズオンのワークショップを実施する。

(2) 衛星開発

前年度の MDR に基づき、九工大の指導により衛星の BBM(Breadboard Model)の開発を行う。九大を中心にミッション機器(観測機)の開発を実施する。技術的な開発及び教育については、協力機関であるやまぐち産業振興財団が統括する航空宇宙クラスター参画企業団と技術的協力を得ながら実施する。10 月を目途に PDR(Preliminary Design Review)を行い、EM(Engineering Model)の開発を開始する。EM 開発に当たっては、協力機関と連携し技術的協力を得ながら開発を進める。必要に応じて、九工大の設備を利用して試験を実施する。安全審査やインターフェース調整の助言を受ける体制を構築する。

(3) ファシリテーション体制の構築および教材開発

九工大・九大双方の教育スタッフが定期的に会合を持ちながら学生への指導の協議および指導に関する、教材、マニュアル等の開発を継続的に実施する。

③ 令和 5 年度

(1) 学生教育セミナー

宇宙理学セミナーを前年に引き続き継続的に実施する。事業期間中に実施した教育コンテンツを整理し公開する。

(2) 衛星開発

EM 開発を継続する。6 月を目途に CDR(Critical Design Review)を実施し衛星設計を最終確定し、FM(Flight Model)開発を実施する。開発は協力機関であるやまぐち産業振興財団が統括する航空宇宙クラスター参画企業団と連携し進める。必要に応じて、九工大設備を利用して試験を実施する。3 月末までに、FM の開発を完了し、JAXA へ引き渡す。

(3) ファシリテーション体制の構築および教材開発

九工大・九大双方の教育スタッフが定期的に会合を持ちながら学生への指導の協議および指導に関する、教材、マニュアル等の開発を完了し波及のために公開する。

4. 学生教育セミナーの実施状況

学生教育セミナーは、九州工業大学及び九州大学が連携して実施した。当初の令和 5 年度の実施計画は、以下のとおりである。

「宇宙理学セミナーを前年に引き続き継続的に実施する。事業期間中に実施した教育コンテンツを整理し公開する。九大・九工大からそれぞれ 10 名以上の学生参加者を得る。10 回以上の合同教育セミナーを実施する。」

2023 年 4 月以降九州工業大学、九州大学はそれぞれの大学において使いの学生募集を行った。その度 2022 年度と同様に、両大学においてそれぞれ継続的に学生ミーティングおよび新人教育を実施しながら、2023 年 7 月以降に九州工業大学の教員による衛星開発セミナー（新人教育）、および九州大学による理学セミナーを実施した。それぞれの取り組みの詳細を以下に紹介する。

セミナーとしては、4.2.1 章で紹介する全体セミナーを 5 回、4.2.2 章で紹介する個別セミナーを 8 回、4.3 章で紹介する理学セミナーを 2 回、5.2 章の中で紹介する運用に関するセミナーが 1 回の計 16 回の合同セミナーを実施した。

4. 1 2023 年度参加学生の募集及びキックオフミーティング

前年度同様に、九工大および九大においてそれぞれ新入生を中心とした新規参加学生の勧誘を行った。九州工業大学においては衛星開発プロジェクトとしてのサークル活動として勧誘を行っており、4 月中旬に学内のサークル勧誘用の立て看板や、SNS を利用した勧誘を行った。九州大学においても同様にサークル活動としての勧誘を行うと同時に 2 年生以上の学生に対しても個別に勧誘を行い、新たな参加者を得ている。最終的に、九工大において 48 名、九大において 10 名の新規参加者をそれぞれ得ることができた。前年同様にこれらの勧誘活動は学生中心に企画、実施されたが、第 1 世代の学生はすでに 3 年生に進級しており、3 年生の指導の下で第 2 世代の 2 年生の学生も実働部隊として主要な役割を果たせるようになっており、プログラムの実施について上級生から下級生へマネジメントの継承が行われる体制が構築されてきた。

衛星開発プロジェクト 説明会 & 交流会

■ 日程 2023年

4月22日 月

■ 時間・場所

18:30~20:00

MIRAI S 学習教育センター

■ 内容

衛星開発プロジェクトの説明

プロジェクトのメンバーとの交流会

予約
不要!

■ 時間・場所

MIRAI S 学習教育センター



プロジェクトの雰囲気や気になること
色々質問できる機会ですので、ぜひお越しください!

気になることは気軽にDMを送ってください!

図 4.1.1 SNS での学生募集のポスター（九工大）





図 4.1.2 キックオフミーティングの様子

図 4.1.3 キックオフミーティングの資料（抜粋）

4. 2 学生主体の「新人教育セミナー」の実施

昨年に引き続き、新規参加学生に対しては主に前期の間に新人教育セミナーと称するセミナーを実施した。このセミナーは主に上級生の学生によって実施するものと教員によって実施するものの2通りがあるが、ここでは学生が主体となって実施する新人教育セミナーについて報告する。このセミナーでは大学における衛星開発の状況について理解してもらい衛星開発のために学ぶべき事柄を把握すると同時に、設計用のツールなどのソフトウェアの使い方について習熟してもらうことを目的としている。2023年4月から7月にかけて、衛星開発の概要に関する講座を2回、C言語のプログラミングに関

する講座を 6 回、CAD ソフトの使い方に関する講座を 2 回の計 10 回の講座を実施した。

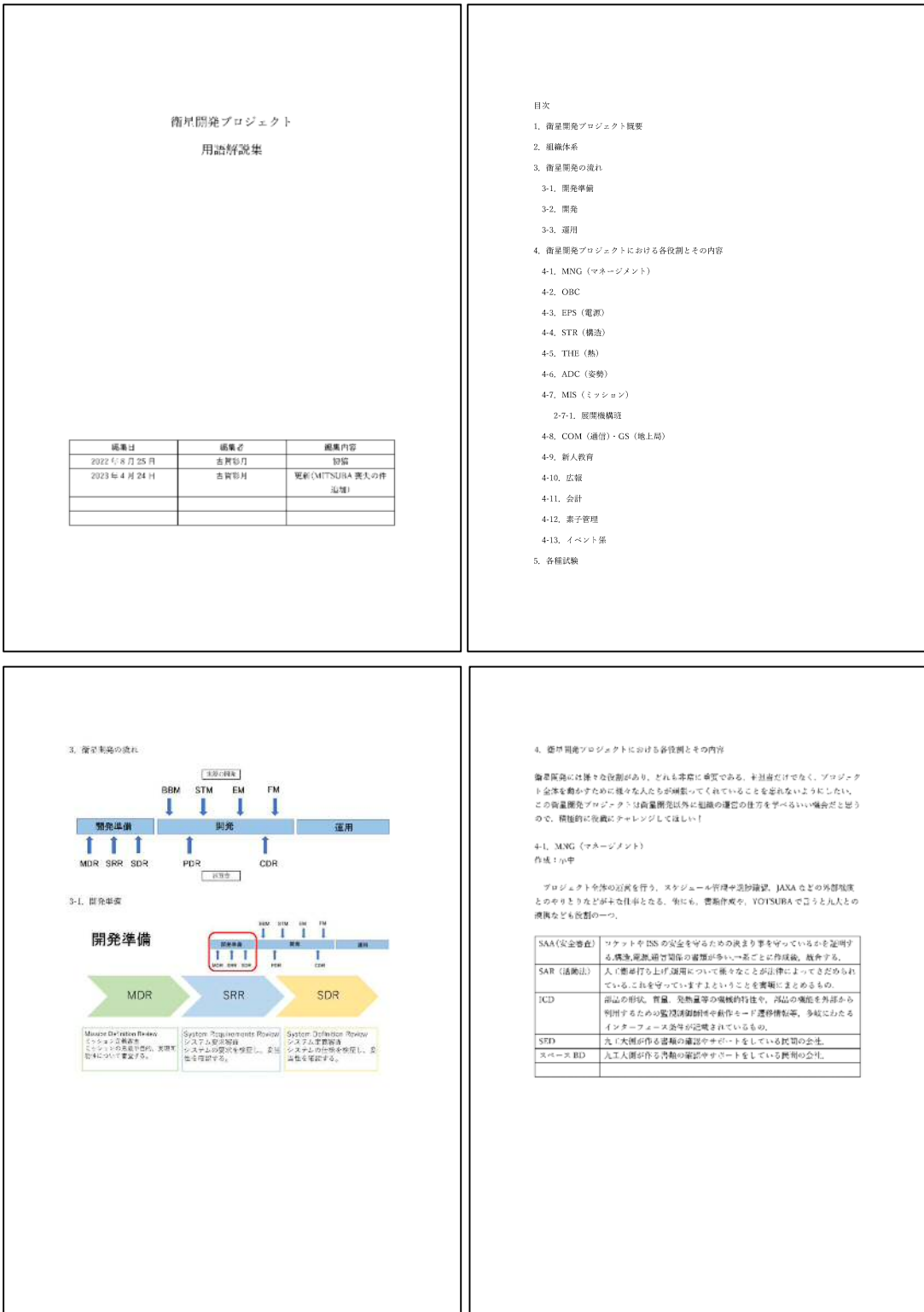


図 4.2.1 新人教育の資料（衛星開発概要抜粋）

第一回 勉強会 C言語の導入

衛星開発プロジェクト
新人教育

衛星開発プロジェクト 新人教育

プログラミングとは

- コンピュータにさせたい作業を順番に書き出すこと。
コンピュータは指示されたことしかできないため、事細かに指定してやる必要がある。
- プログラミング言語：コンピュータと会話するための言語。
人間と同じ！
(JAVA, PHP, C, Ruby, Python)

衛星開発プロジェクト 新人教育

「//文章」でメモ書きができる
2行以上の場合は「/*文章*/」

ライブラリ（関数の宝庫）の時ひ出し
これを乗がないと printfなどの関数が使えない

```

1 #include <stdio.h>
2 // "Hello World"を表示
3 int main(void)
4 {
5     printf("Hello World\n");
6     return 0;
7 }

```

main関数(int, main(void) { })
main関数によって { }の中のプログラムを実行

printf関数(printf(" "))
画面への表示を行う関数
「」の中に表示したい文字や数字を入れる

return 0; (表示結果を見やすくするため)
関数の後には謎点のように「;」が必要

main関数内の最後に「return 0;」を書くことでプログラムが正常に終了したかわかる

衛星開発プロジェクト 新人教育

班に分かれて作業してみよう！

- インターネットで検索すると事例がたくさん出てくるのでそれを参考に
- 材料は前に用意している
- 協力して取り組もう！教え合い大事！
- 困ったときは遠慮なく先輩へ！

衛星開発プロジェクト 新人教育

図 4.2.2 新人教育の資料（C言語講習抜粋）

第一回 EAGLE使用方法

衛星開発プロジェクト
新人教育

衛星開発プロジェクト 新人教育

目次

- はじめに
- ライブラリの導入
- プロジェクトの作成
- Schematicの作成
- Board図の作成
- 簡単な回路を作成してみよう！
- 基板の設計が完了したら

衛星開発プロジェクト 新人教育

4. Schematicの作成

3. 線で素子をつなぐ

接続したいピンを「Net」で配線する。

「Show」をクリックすると、接続された線は明るくなる。

衛星開発プロジェクト 新人教育

5. Board図の作成

- 部品を自動的に配置する。
- 黄色の目安線に近い距離で配置できるようにする（GND線は無視で良い）。
- Netが被らないようにする（なるべく線も交差しないように）。
- Netを裏に書くときミラ を選択する（青色になる）。

衛星開発プロジェクト 新人教育



図 4.2.3 新人教育の資料（CAD ソフト講習抜粋）

4. 3 教員による「衛星工学セミナー」の実施

これから衛星開発に参画する学生に対して今後実施する開発内容の理解やそのために必要となる開発ツールの使い方の基本について、上述の学生間での新人セミナーを実施し新規参画学生が大まかな概要を把握した後に、教員による新人セミナーを実施した。内容は昨年度同様に、主に衛星開発の手法について基本的なシステムズエンジニアリングの概念を理解することに重きを置き、各サブシステムにおける基本的な考え方を理解させることを目的とした。教育コンテンツについては昨年度よりも回数を増やしサブシステムの詳細についても触れるような工夫を行った。講座は zoom による遠隔実施によって九大の学生も受講ができるようにしつつ、講座内容については録画を残して当日参加できなかった学生も閲覧できるようにした。講座は、学生からの質問等に応じて柔軟な講義を行うために、事前にパワーポイント等のスライドを用意瀬図にデジタルホワイトボードを使った板書によって実施した。

表 4.2.1 衛星開発新人セミナーの実施内容

第 1 回	CubeSat の概要
第 2 回	衛星開発の手順とシステムズエンジニアリングの基礎
第 3 回	衛星打ち上げに関する官辺手続きの基礎
第 4 回	衛星の構造系及び構造解析の基礎
第 5 回	製図および指示書の書き方
第 6 回	衛星の熱設計と熱真空試験の概要（その 1）
第 7 回	衛星の熱設計と熱真空試験の概要（その 2）
第 8 回	衛星の通信システムと地上系（その 1）
第 9 回	衛星の通信システムと地上系（その 2）

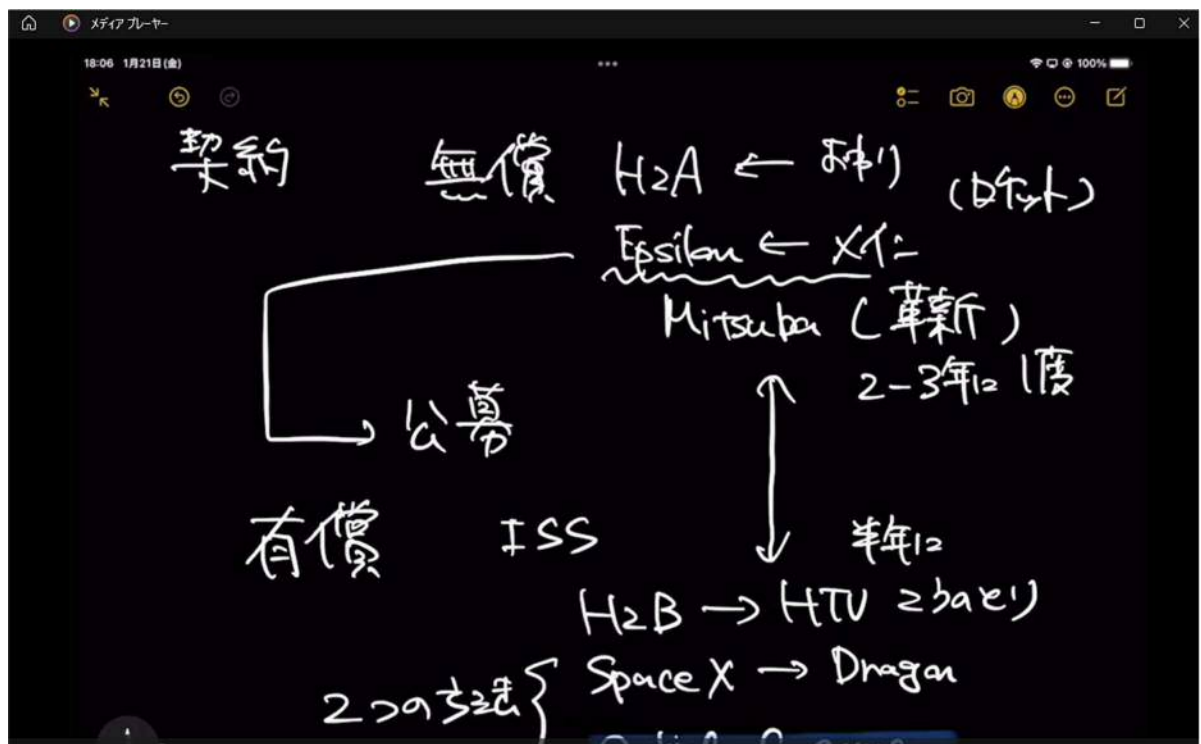


図 4.2.2 衛星開発セミナーで使った資料の例

4.3 九州大学による「理学セミナー」の実施

九州大学側が担当する衛星開発及び宇宙天気科学に関する研究に関する初期教育について企画し、10年後に若手研究者として超小型衛星など新しいツールを柔軟に活用した革新的宇宙理学ミッションを自ら主導的に立案・実施できる人材の育成を目的とした学生教育セミナーを実施した。外部講師として、京都大学理学研究科教授松岡彩子博士、及び、放送大学客員教授(東北大学大学院理学研究科名誉教授)小原隆博博士を招聘した。講義形式は、松岡博士の分は Zoom ミーティングによる遠隔講義、小原博士分は対面及び Zoom ミーティングによるハイブリッド講義とした。2023 年度第 1 回目の理学セミナーは、松岡博士に担当いただき、「人工衛星・探査機による宇宙の磁場観測」というタイトルで、2023 年 11 月 15 日(水) 13:00-16:20 に実施した。講義では、まず、磁力計の動作原理とその制作・試験について説明があり、次に、人工衛星での磁場計測に特有の技術や、問題とその解決方法について、実際のミッションを例に紹介が行われた。講義後は、本プロジェクトで制作された小型衛星に搭載する磁力計のデータ処理などについて議論が行われた。第 2 回目の理学セミナーは、小原博士に担当いただき、「太陽活動が小型衛星に与える影響」というタイトルで、2024 年 3 月 4 日(月) 11:00-17:00 に実施した。講義では、地球近傍の宇宙環境変動の大きな要因となっている太陽について、宇宙天気的な観点から説明があった。次に、太陽が原因となって発生する様々な宇宙環境変動の特徴と、人工衛星にとっての危険性について解説が行われた。講義後は、YOTSUBA-KULOVER 学生プロジェクトマネージャと各ミッション系の主担当学生から、プロジェクト全体と各ミッションの概要・進捗・問題点について紹介が行われた。双方の講義ともに、参加した学生やスタッフを交え、活発な議論が行われた。また、一連の講義は動画保存され、講義資料と共に YOTSUBA-KULOVER プロジェクト全体に共有された。今年度二回の理学セミナーの評価のため、講義内容の興味、分量、レベル、今後役に立つか、について参加学生へアンケートを実施した。その結果、ほぼ全ての項目で満足できるものであったとの回答を得た。

Zoom ミーティング

Shig Aki Ayako Matsuda 清野 孝介 (九工大) 稜 真 菊池 裕夢 近藤 恭一郎 (九工大)

レコーディングしています。

高精度、高分解の磁場計測のために

- 較正 (感度・オフセット・アライメント)
- 衛星の電磁適合性 (ElectroMagnetic Compatibility, EMC)
- 伸展物の利用

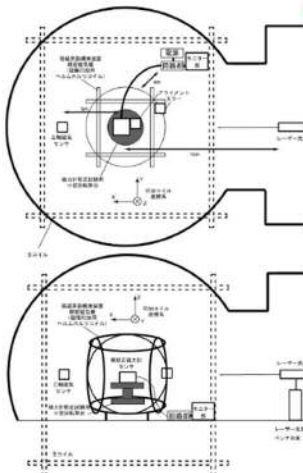
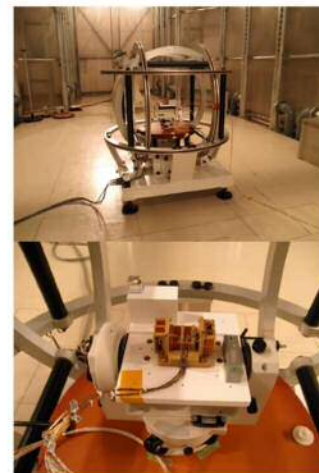
2

Zoom ミーティング

Shig Aki Ayako Matsuda 清野 孝介 (九工大) 稜 真 菊池 裕夢 近藤 恭一郎 (九工大)

レコーディングしています。

室温環境での感度、オフセット、アライメントの較正

6

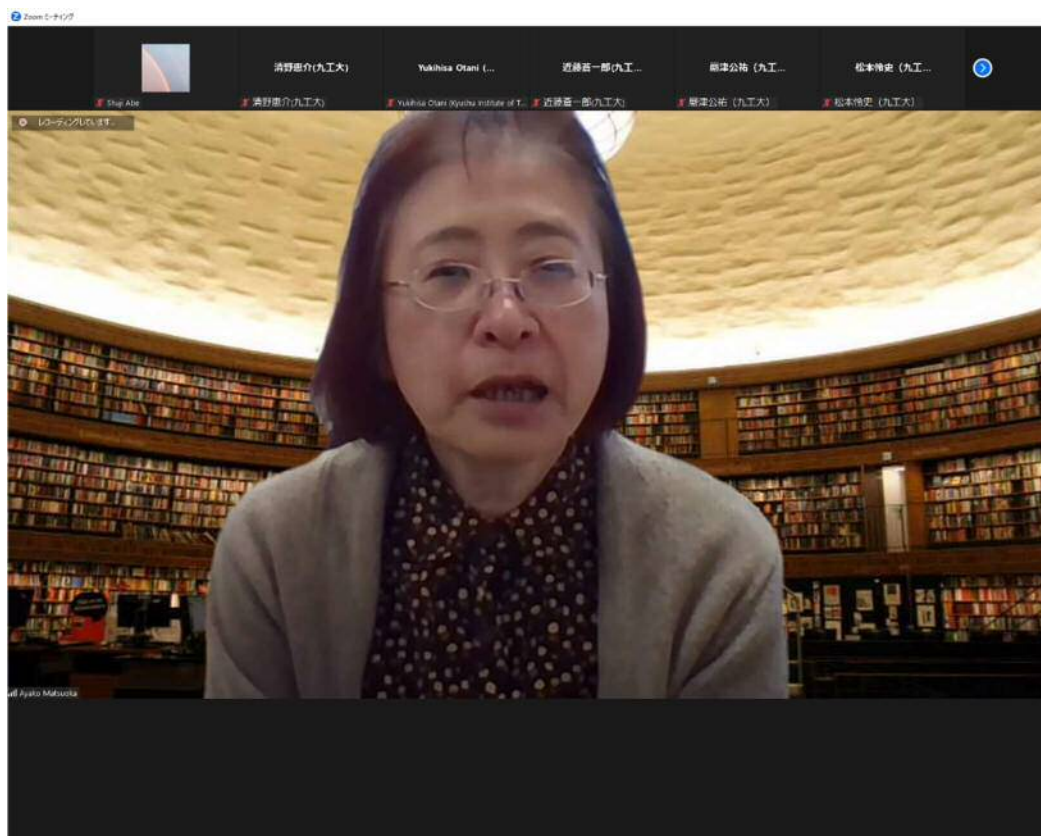
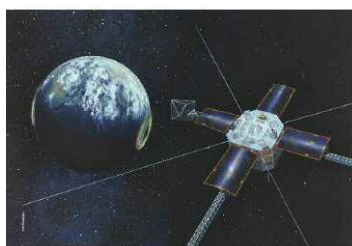


図 4. 3. 1 松岡先生による第 1 回理学セミナーの資料と様子

宇宙の磁場を測った探査機

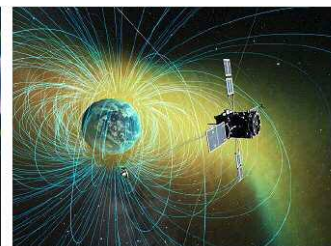
Credit : JAXA



あけぼの(地球磁気圏観測)
1989年打ち上げ



のぞみ(火星探査)
1998年打ち上げ



あらせ(地球放射線帯観測)
2016年12月打ち上げ



Geotail(地球磁気圏観測)
1992年打ち上げ

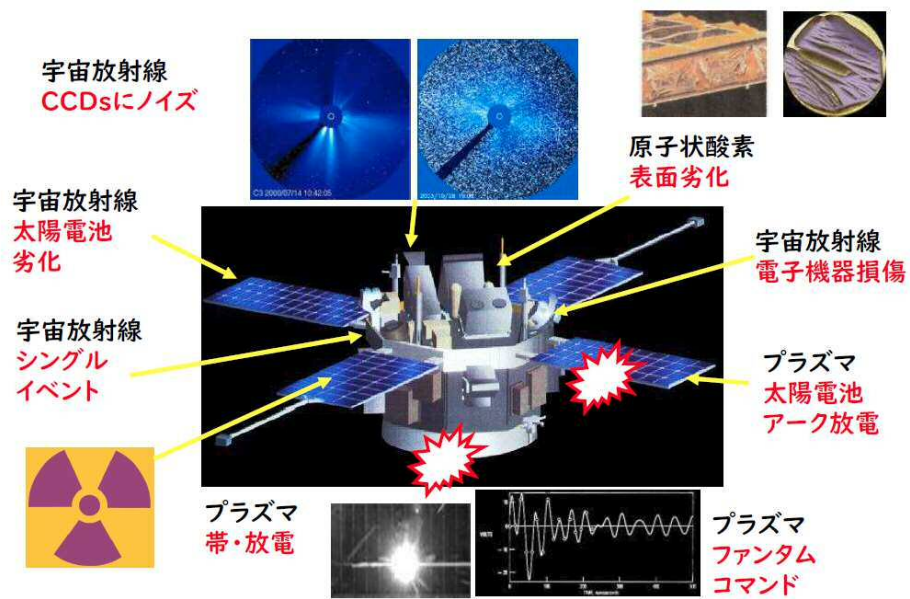


かぐや(月探査)
2007年打ち上げ



BepiColombo みお(水星探査)
2018年10月打ち上げ

2. 人工衛星の故障



10

図 4.3.2 小原先生による第2回理学セミナーの資料（抜粋）





図 4.3.3 第2回理学セミナーの様子

4. 4 3年間の成果

本プログラム開始以降3年間の成果として、年度当初ベースで延べ147名の学部学生を参画させ理学工学が融合した衛星開発に関する教育を実施することができた(内訳 2021年度：九工大31名、九大18名、2022年：九工大29名、九大11名、2023年土：九工大48名、九大10名)。参画学生は、工学と理学とそれぞれ異なる背景を持つ学生でありこれらの学生が連携して衛星開発を実施するためには自らの専門分野以外の基礎的な内容について適切な教育プログラムを実施することが不可欠である。本プログラムでは、工学・理学それぞれの内容について九州工業大学と九州大学がそれぞれの専門分野に立脚したセミナーを

実施し、学生教育を行ってきた。実施したセミナーの回数は3年間で43回にわたり（2021年度6回、2022年度16回、2023年度21回）これらのセミナーを実施する中でコンテンツの改善が行われてきた。これらの教育コンテンツは教材として整理され外部の希望者に提供可能な体制が構築された。

5. 衛星開発の実施状況

2023年度の衛星開発に関して当初予定の実施計画は以下のとおりである。

「EM開発を継続する。6月を目途にCDR(Critical Design Review)を実施し衛星設計を最終確定し、FM(Flight Model)開発を実施する。開発は協力機関であるやまぐち産業振興財団が統括する航空宇宙クラスター参画企業団と連携し進める。必要に応じて、九工大設備を利用して試験を実施する。6月にCDRを実施して、3月末までに、FMの開発を完了し、打ち上げに必要な官辺手続き（周波数調整、安全審査等）の書類作成・提出を完了させる。」

上記の計画に関する実施状況を以下に報告する。

5. 1 衛星設計の最終案と CDR

昨年度のPDR(基本設計審査会)において決定された、衛星のシステムデザインに対して、衛星機体のEM(エンジニアリングモデル)の作成を行った。当初予定していた4つのミッションのうち衛星帯電のミッションに関しては開発の遅れが生じCDRまでに回路上の不具合を解消する見通しが立たなかったためミッションから外すこととなった。また、展開機構ミッションに関しては当初は形状記憶合金を用いた展開機構を検討していたが、ミッションのリスク評価を行い最終的にバネヒンジを用いた展開機構を採用することとなった。ミッションの変更に伴い各系の役割分担を修正し、表5.1.1の通りに変更した。

表 5.1.1 学生の役割分担

	サブシステム名	内容	主担当
ミッション系	地磁気観測ミッション	地磁気観測のための磁気センサの開発	九大
	カメラミッション	オーロラ撮像のためのカメラシステムの開発	九大
	展開機構ミッション	地磁気の高精密観測を行うためにセンサを搭載する展開機構を開発	九工大
バス系	電源系	太陽電池、バッテリー充放電回路等の開発	九工大
	姿勢系	衛星の姿勢決定。姿勢制御を行うためのセンサの搭載や制御に関する開発	九工大
	通信系	衛星搭載無線機の制御や地上局の開発、国際周波数調整の手続	九工大

		き	
	OBC 系	衛星全体の制御や運用を行うための制御基板の開発	九工大
	構造系	衛星構体の開発構造解析や振動試験	九工大

作成した EM に対して、5 月中に統合試験、熱真空試験、振動試験等を行い。これらの結果を加味して最終的な設計を決定し、6 月に CDR(最終設計審査会)を実施した。日程の都合上、CDR は 2 回に分けて実施し、衛星バスに関する審査会を 6 月 17 日に実施し、衛星のミッションに関する CDR を 6 月 25 日に実施した。



図 5.1.1 CDR の様子

5. 1. 1 CDR の内容 (ミッション系)

先述の通り、ミッションのうち帯電計測ミッションについては設計から除外することとして、(1)地磁気観測ミッション、(2)オーロラ観測ミッション、(3)展開機構ミッションの 3 つのミッションを実施することとなった。

地磁気観測ミッションは、太陽活動の極大期の衛星放出となることから、太陽フレアやコロナ質量放出に伴う磁気嵐やオーロラサブストームといった地磁気の擾乱現象を観測することを目的としている。そのために、感度 1nT 程度の高感度磁力計を搭載し地磁気の微小変動の計測を行う。搭載する磁力計は COTS(Commercial Off The Shelf)のものを採用したが、出力がアナログ出力であるためアナログ→デジタル変換回路とそのデータを処理するコントロールユニットの作成が必要であった。CDR ではこれらのコンポーネントに要求される条件を整理し、EM 品での実証試験を経て最終設計を確定させた。EM 品での試験では磁力計の感度の確認など精密な磁場を測定する必要があった。一般的に街中の大学実験室では環境のノイズが大きくこうした精密な磁場観測は不可能である。そこで、福岡県の郊外に位置する九州大学国際宇宙惑星環境研究センターの篠栗テストフィールド内にクリーンブースを設置しその中で大型ヘルムホルツコイルを使った磁場印可試験を行った。



YOTSUBA-KULOVER ミッション系-磁力計班

CDR(2023/06/25)

YOTSUBA-KULOVER FERR-2016 機

3.システム要求・設計要求・検証要求

ID	検証要求	結果
VR1	遮断電流ほどの電流を流して回路が遮断されるかを確認	未
VR2	直流安定化電源を用い地上での動作確認	○
VR3	簡単なコマンドを使って動作確認	○
VR4	簡単なデータをパソコン上に表示できる	○
VR5	統合用PICとミッションPICの接続を確認	未
VR6	磁気ノイズの周波数実験で確認	○
VR7	温度ドリフトを確認	未

○...成功
△...部分
未...未実施

YOTSUBA-KULOVER YOTSUBA-KULOVER FERR-2016 機

4.今後の開発計画

- 温度センサの動作確認
- ノイズレベルの判定
- 温度ドリフトの実験
- 8月までにFMの作成

YOTSUBA-KULOVER YOTSUBA-KULOVER FERR-2016 機

6.サクセスクライテリア

Level	基準
ミニムサクセス	データを正しく処理し、何らかの磁気的現象を観測、分析する
フルサクセス	磁力計から得られたデータをもとにオーロラサブストームに伴う三次元電流（カレントエッジ）の構造を分析する
エクストラサクセス	磁力計・カメラによる観測データをもとにオーロラ発生に伴う現象の解析をする。

YOTSUBA-KULOVER YOTSUBA-KULOVER FERR-2016 機

図 5. 1. 1. 1 地磁気観測ミッション班の発表資料（抜粋）

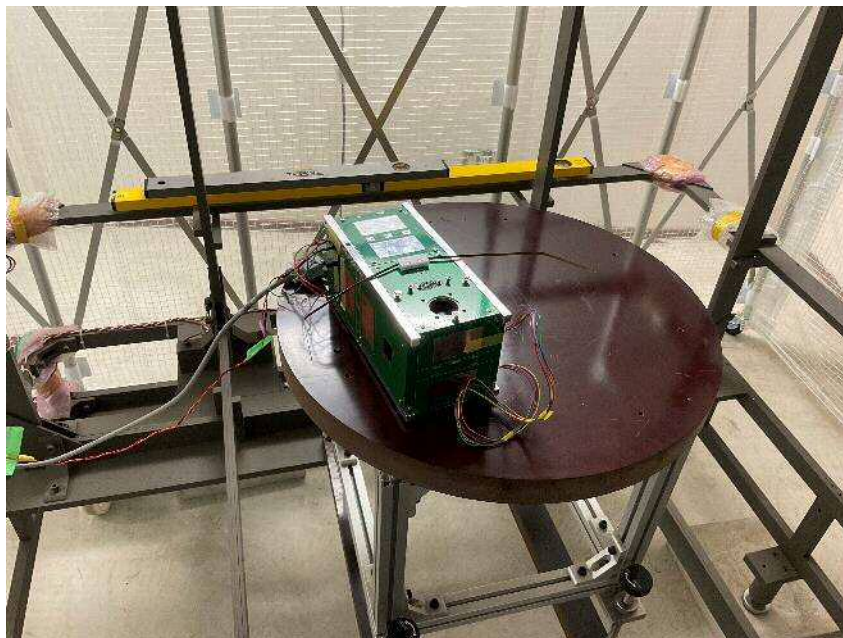


図 5. 1. 1. 2 篠栗テストフィールド内での EM 磁場印可試験

オーロラ撮像ミッションは、上記の地磁気微小変動に合わせてオーロラの撮像を行うことを目的としている。特に太陽風の擾乱に伴って発生するオーロラサブストームはオーロラの発光強度の増大と大規模な空間構造の時間発展に伴って極域移において数百から数千 nT の大規模な地磁気変動が発生することが知られている。したがってメインミッションの地磁気観測と同時にオーロラの撮像を行う

ことでオーロラの光学的な時間変動とその背景にある電離圏の磁場変動を比較解析することが可能となる。しかし、その一方で本衛星は精密な磁場観測のために磁性体を使用しない設計としており、磁石を使った沿磁力線の姿勢制御ができない。そのため写真を撮像する際に姿勢制御によりカメラをオーロラの方に向けることができない。そのため、オーロラの撮像方法として衛星が極域にいる間に複数回の撮像を行い、取得した画像データを機上で解析することでオーロラが映っている可能性が高い画像データのみをダウンリンクする方法を採用した。

YOTSUBA-KULOVER
ミッション系-カメラ班

CDR(2023/06/24)

YOTSUBA-KULOVER CDR(2023/06/24)

1.機器の諸元(レンズ)

名称	LM6NG1M
製造元	KOWA
大きさ	φ38×95.4(mm)
重さ	100g
マウント	Cマウント
焦点距離	6mm
使用集光	なし(オーロラの明るさや必要な感度などを算出して選んだ)
生産国	中国
製造元	ユニエス電子

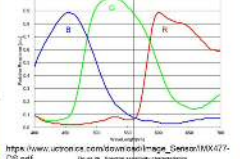


YOTSUBA-KULOVER

6.検証内容とその結果①

ID	設計要求	ID	検証要求	検証方法	結果
1-1-1	レンズの両面がオーロラの光を捉えるのに十分なこと	1-1-1-1	オーロラと背景の明るさを持つ一対のレンズで光の明るさを比較する。	完了	

- ・オーロラ：1キロレリー
- ・天の川：1キロレリー
- ・天の川が撮れたらオーロラも撮れると考えてよい。
- ・オーロラの波長567nmは緑色の最高感度の0.9倍程度の感度なので天の川が撮れたらオーロラは十分捉えられるだろうと考えられる。



YOTSUBA-KULOVER

6.検証内容とその結果②

ID	設計要求	ID	検証要求	検証方法	結果
1-3-3	地上からのマウントより指定した位置を地上に送信できること。	1-3-3-4	送信機を動作させた試験を行う。	地上から送信した位置が指定したものと一致することを確認する。	実施中

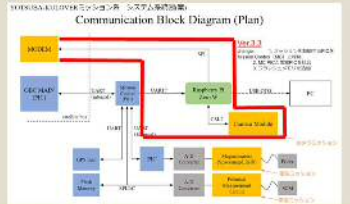
- ・オーロラの写真そのものを地上に下ろすときに必要な機能
- ・送られてきた明るさデータの中から、最もよくオーロラが写っているような写真を地上に送信する。(オーロラ割合、明るさなどから判断)

YOTSUBA-KULOVER

2.システムブロック図

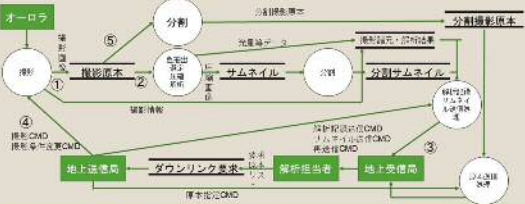
YOTSUBA-KULOVERミッション系-システム系(計画)

Communication Block Diagram (Plan)



YOTSUBA-KULOVER

データフロー図



YOTSUBA-KULOVER

7.現状の課題	
課題	解決策
SPI通信とUART通信のプログラムが完成しておらず、他系と統合できていない。	
ラズパイの長期間稼働ができるのか不明	

005

8.カメラ班 今後の開発計画 (FM段階)

項目	FROM	TO
プログラム作成&修正	2023/06	2023/07
全体統合	2023/07	2023/08
環境試験	2023/08	2023/08

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER FEM.1/2/3/4



図 5.1.1.3 ミッションの発表資料(抜粋)

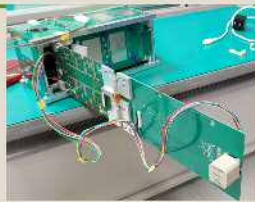
地磁気観測の際には衛星本体からの磁気ノイズの干渉を避けるために磁気センサを衛星本体からなるべく離れたところに配置することが望ましい。通常の科学衛星では、トラス式の伸展ブームを搭載し磁気センサを衛星本体から数 m 程度遠ざけることが行われる。しかし本プログラムで開発するような CubeSat では進展機構を収納するスペースを設けることが困難であることと、複雑な伸展機構を搭載することによる不展開のリスクがある。そこで、本ミッションでは展開パネルを搭載し、その先端に磁気センサを搭載することとした。パネル式にすることで収納時の体積を抑えることができると同時にパネルに太陽電池セルを搭載することによって発生電力に余裕を持たせることが可能となる。展開機構の設置は、不展開のリスクを極力させるために、EM 品での複数の展開試験を行った。また、収納時にがたつきがあると打ち上げ時の振動によって許容される衛星の包絡域を超過する恐れがあるため、振動試験を複数回実施し展開機構の設計を最終的に確定させた。



YOTSUBA-KULOVER ミッションパイロード 展開機構班

CDR(2023/6/24)
メンバー：湯野(班長) 原田 田口 伯方 中島

2. 機能



機能の諸元

- 展開時の最大展開距離：357mm
- 未展開時の厚さ最大19mm
- 展開角度固定用システム搭載

検知可能な項目

- ニクロム線が加熱されているか
- 固定システムが作動しているか

2. 機能



展開力調整システム

- 展開動力にトーションパネを採用し関節部に2個ずつの搭載が可能

→ 展開力の細かな調整が可能

6.設計要求・検証要求・検証方法 システム要求・設計要求・検証要求・検証方法④



振動試験

展開機構単体で振動試験を行った

試験前と最大変位時の写真を半透明化で組み合わせた

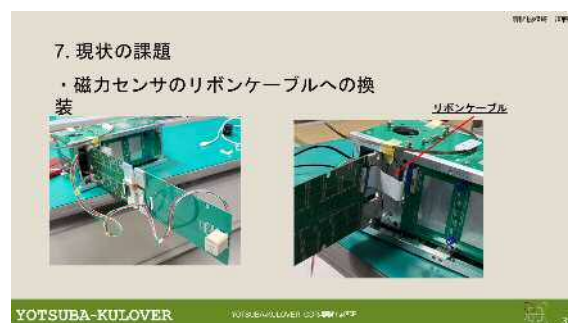


図 5. 1. 1. 4 伸展機構の発表資料(抜粋)

5. 1. 2 CDR の内容 (バス系)

5. 1. 1 で紹介したミッションを実施するために必要とされる機能については前年度の PDR の際に整理され、それを実装するための基本設計が行われてきた。2023 年度はそれら基本設計に基づいて実際の EM 機を作成しそれぞれの機能についての検証を行った。検証の結果については 6 月 17 日に実施された CDR の中で確認され最終設計を確定した。バスシステムは(1)通信系、(2)電源系、(3)熱制御系、(4)OBC 系、(5)構体系、(6)姿勢系の 6 つのサブシステムによって構成されている。EM の作成では各系がそれぞれに開発したコンポーネントについて統合試験を行い、コンポーネント間での機械的および電氣的な接続が設計通りに行われることを確認した後、系間でのデータ通信や信号処理が適切に行われるかの検証を行った。

統合試験によって動作確認が行われたのちに、九工大の超小型衛星試験センターにおいて、熱真空試験及び振動試験を実施した。熱真空試験では、宇宙環境とほぼ同等の高真空下で日照時と日陰時を模擬した熱サイクルを印可し、その環境での衛星動作の健全性の確認を行うと同時に、熱設計に必要な各種係数の取得を行った。



図 5.1.2.1 EM の熱真空試験の様子

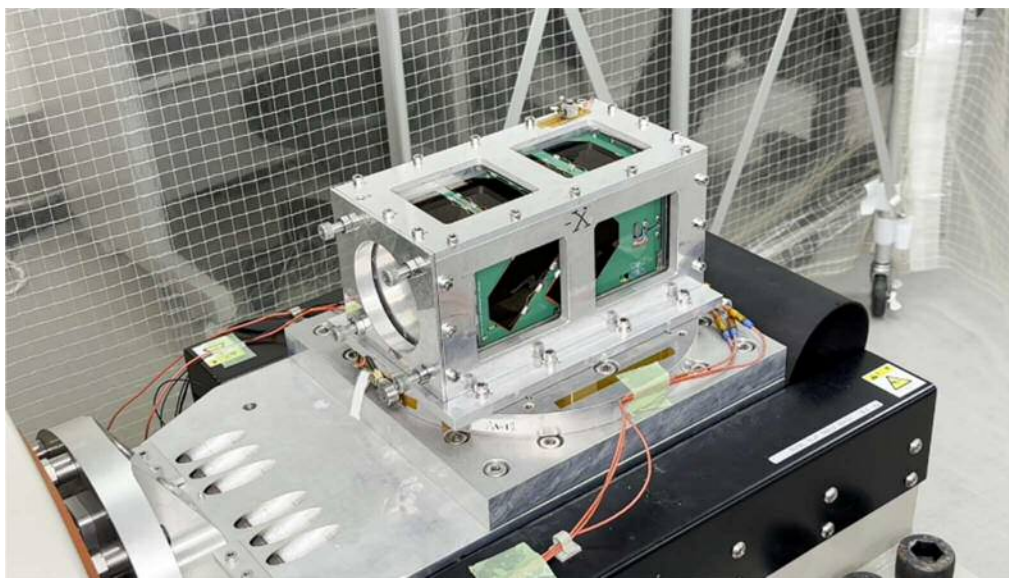


図 5.1.2.2 EM の振動試験の様子

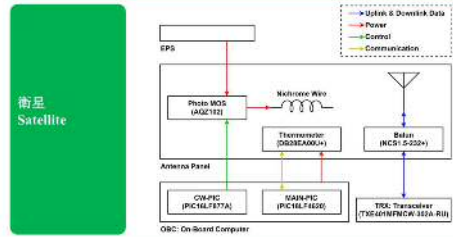
通信系は地磁気観測ミッションおよびカメラ撮像によって生成されるミッションデータおよび衛星の状態をモニターするハウスキーピング（HK）データを地上局からの限られた可視時間内にダウンリンク可能であることを PDR 確認している。これらのリンクバジェットに基づいて衛星への無線機の搭載とその制御システムについて作製した EM 機を用いて試験を行いその結果について CDR を実施した。

COM&GS

YOTSUBA-KUOVER – CDR: Critical Design Review
実施日：2023/06/17

発表者：岩木、日高、平島

2. システム構成—システムブロック図 (Antenna Panel)

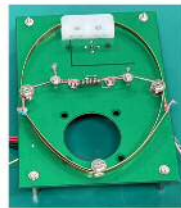


310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

7

2. システム構成—実物 (Antenna Panel)



アンテナパネル表側



アンテナパネル裏面

310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

8

3.3. 宇宙空間においてアンテナ展開が可能である

恒温槽を用いてアンテナ展開を行う

- アンテナ展開試験の実施方法を示す

結果：進行中



- 実施方法
30日間収納したアンテナを用いて展開を行った
安定化電源による電圧供給によって展開を行った

温度(°C)	展開までの時間(s)	ケーブル入射に流れた電流(A)
60	11	2.15
-15	展開せず	2.16

310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

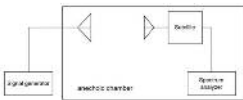
16

3.4. 衛星がビーコンを送信できる

電波暗室でアンテナの性能試験を行う

- 電波暗室での性能試験の方法を示す

結果：進行中



受信電力=送信電力+受信アンテナ利得+送信アンテナ利得-ケーブル損失-自由空間損失

310647

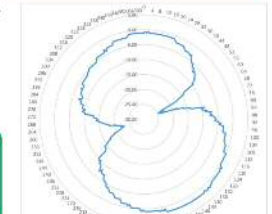
YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

11

3.4. 衛星がビーコンを送信できる

- 400.96MHzでのアンテナパターン
- リング青銅：約200x3x0.3[mm]
- テグスを用いて30日間収納し展開したアンテナ材料を使用
- 展開パネルは収納状態

400.96MHz
水平方向
アンテナ利得の最大値：1.89[dB]
アンテナ利得の最小値：-24.61[dB]



310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

14

4. 活動予定

周波数が最適となるダイポールアンテナの作成 (Uplinkの周波数寄りにする)

恒温槽でのアンテナの展開試験 (統合した状態)

中距離通信試験の実施

運用に向けた地上局ソフトウェア開発

地上局用のアンテナの選定・設置依頼及び性能確認

予備免許の取得に必要な手続きの実施

310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

17

4. 活動予定

周波数申請の手順

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
CR: API作成・修正													
CR: APIを関係者へ提出													
CR: APIをITUへ提出													
CR: APIをITUへ提出													
免許申請													
予備免許													
帯域確保													
引き渡し													
打ち上げ													

310647

YOTSUBA-KUOVER – CDR: COM&GS

18

図 5.1.2.3 通信システムの発表資料 (抜粋)

電源系は日照および日陰時においてすべての搭載機器が動作する電力を確保できることを確認し、搭載する充電電池の選定とスクリーニングを行った。EM 機において

これらの機器を正常に動作させられることを検証し、バッテリーの充放電特性に関する確認を行った。



図 5.1.2.4 電源システムの発表資料（抜粋）

熱制御系、および構体系は衛星のフレームを含む構造が国際宇宙ステーションの放出に求められる構造設計の要求を満たしており、ロケット打ち上げ時の振動による不具合が生じないことを確認し、また熱真空環境下での機器の正常動作を担保することを検証した。EM機が完成した後に九州工業大学の超小型衛星試験センターにおいて、小型チャンバーを用いた熱真空試験、および加振機を用いた振動試験を行いその結果を検証した。



YOTSUBA-KUOVER

バス系-構造班

CDR(2023/06/10)

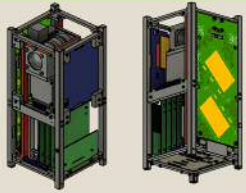
担当者
安永 清野
池上 古賀 深田
持丸 佐々木 崎山 岩野

YOTSUBA-KUOVER FORUM 2023

1

CADモデル(EM)

赤：展開機構後地面
青：磁力計基板



YOTSUBA-KUOVER

4

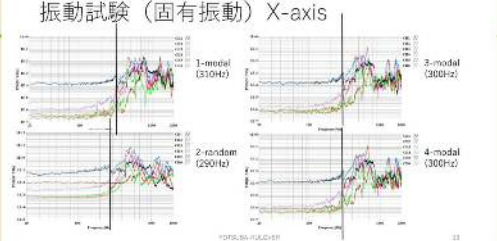
振動試験（トルクマーク）



YOTSUBA-KUOVER

20

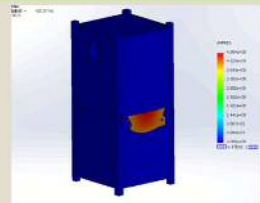
振動試験（固有振動）X-axis



YOTSUBA-KUOVER

22

構造解析（固有振動数）



SOLIDWORKS2021による解析の結果、YOTSUBA-KUOVERの最低次固有振動数は420.07Hzであることが判明しました。

YOTSUBA-KUOVER

20

構造解析（応力解析）



No.	Case	Max Stress [MPa]	Ultimate Strength [MPa]	MS ¹ ≥ 0 (FS ² =2)
1	STA1	170.4	425	0.32
2	STA2	170.4	425	0.32
3	STA3	170.4	425	0.32

YOTSUBA-KUOVER

21



YOTSUBA-KUOVER

THE

CDR(2023/6/10)

6

熱真空試験



YOTSUBA-KUOVER

6

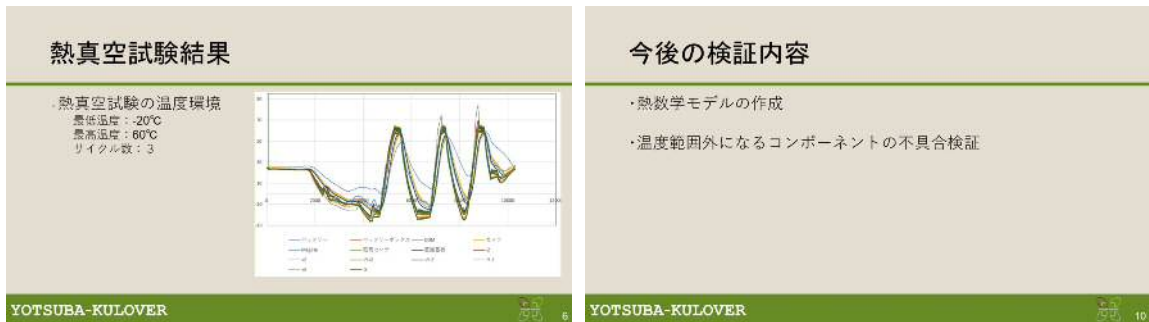


図 5. 1. 2. 5 構体系、熱制御系の発表資料（抜粋）

先述のように本衛星は精密な磁場計測に対してのノイズ源を可能な限り低減させるために姿勢制御用アクチュエーターや沿磁力線制御のための磁石などを搭載しておらず衛星の姿勢制御は行わない。一方で、磁場観測に対しては衛星の姿勢を検出して一定の姿勢決定精度が求められる。そこで本衛星では、姿勢決定のためのセンサとして、太陽センサ、姿勢用磁気センサを搭載し、これらの出力から衛星の姿勢を決定することとしている。一方で、こうした姿勢データとミッション側の観測データとの紐づけのためにそれぞれの計測データに対して正確なタイムラベルを付与する必要がある。そのため衛星には GPS レシーバを搭載し、衛星が独立して正確な時刻情報を得るように設計した。これらの観測データのハンドリングや地上からアップリンクされたコマンドを処理し衛星の各機能を制御するのはオンボードコンピュータ（OBC）の役割である。姿勢系、OBC 系の各系では完成した EM 機での統合試験を実施し、各系が設計通りに適切に制御されていることを確認し CDR において設計の検証を行った。



MITSUBAからの変更点

	MITSUBA	YOTSUBA-KULOVER	備考
コイル	VLF4012AT-1R5M1R8 (1.5μH)	VLS4012HBX-4R7M-N (4.7μH)	FUTABA同様のインダクタンスのものに変更
永久磁石	AE003 アルニコ Φ6×30	搭載しない	—

5.検証内容とその結果

ID	システム要求	ID	設計要求	ID	検証要求	検証結果
SR2.1	温度センサ、ADCS、MISSION、EPSからデータを収集できる	DR2.1.1	温度センサで温度測定ができる	VR2.1.1	動作確認	完了
		DR2.1.2	ADCSとUART通信ができる	VR2.1.2	送受信コマンドが一致する	完了
		DR2.1.3	EPSと通信ができる	VR2.1.3	送受信コマンドが一致する	一部完了
		DR2.1.4	MCと通信ができる	VR2.1.4	送受信コマンドが一致する	未実施

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER_OEC

5/26

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER CBC

43

5.検証内容とその結果						
ID	システム要求	ID	設計要求	ID	検証要求	検証結果
SR2.3	通信機にFMデータを送信できる	DR2.3.1	マルチプレクサを用いて回路を切り替える	VR2.3.1	切り替えができているか確認	未実施
		DR2.3.2	データを特定のプロトコルに従ったパケットに変換できる	VR2.3.2	パケットに変換できるか確認	完了
		DR2.3.3	通信機にFMデータを送信できる	VR2.3.3	ダウンリンクデータを見る	完了

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER CBC

01/09/2019

39

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER CBC

39

7. 現状の課題	
• EPS-OBC間UART通信の確立 • Flashのプログラムを統合した際の不具合の原因説明 • FMデータ（GMSK）を送信時のCOMの不具合の原因説明 • 監視リセットの実装	

YOTSUBA-KULOVER

YOTSUBA-KULOVER CBC

44

項目	2023				
	6月	7月	8月	9月	10月
FM基板の作成					
プログラムの改良					
プログラムの動作確認					
系系統合					
全体統合					
最終調整					
EIE試験					
熱真空試験					
応動試験					

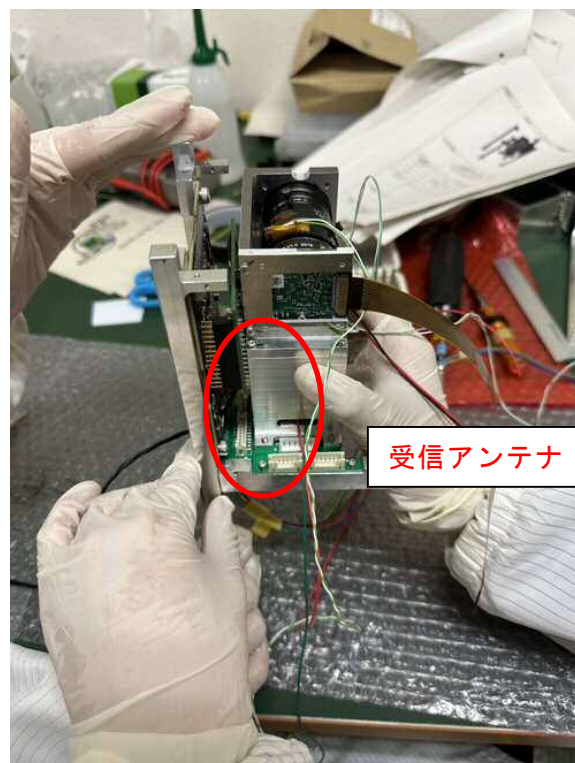
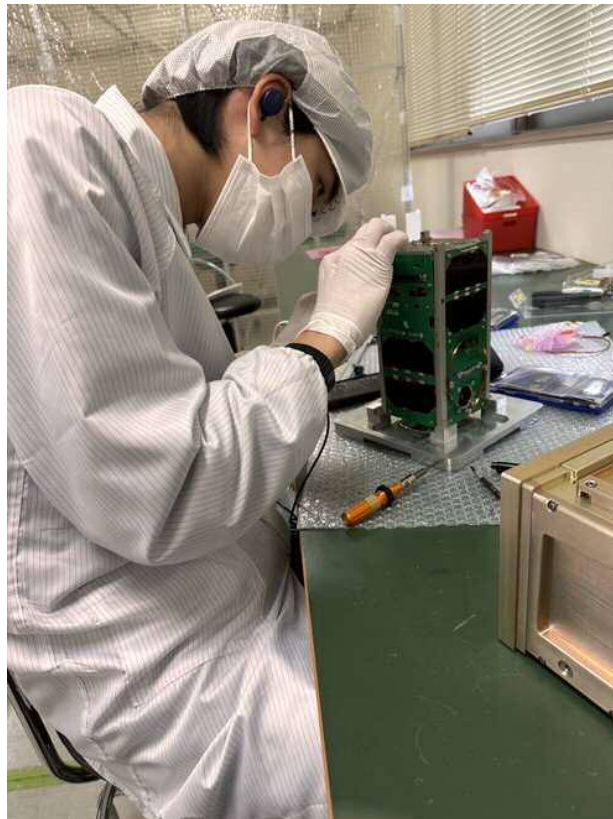
YOTSUBA-KULOVER CBC

47

図 5.1.2.6 姿勢系、OBC]系の発表資料（抜粋）

5. 2 フライトモデル（FM）の製作

CDRによって明らかになったいくつかの課題については、8月までに設計の修正を行い、その後実際に国際宇宙ステーションから放出する機体であるフライトモデル（FM）の製作を行った。フライトモデルの製作は主に2023年9月から2024年1月にかけて行い、2024年1月から完成した機体に対して最終的な環境試験を実施した。



受信アンテナ

図 5.2.1 FM 機体開発の様子

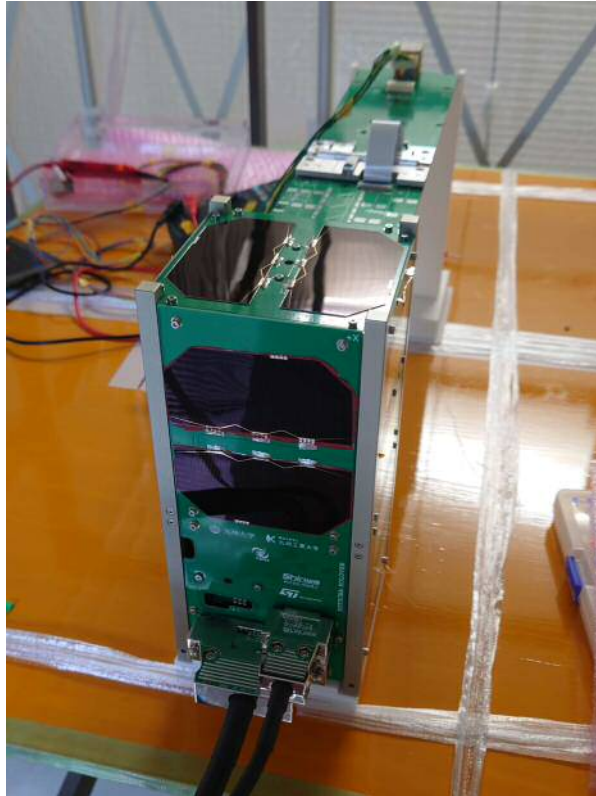


図 5.2.2 FM 機体の磁気試験の様子

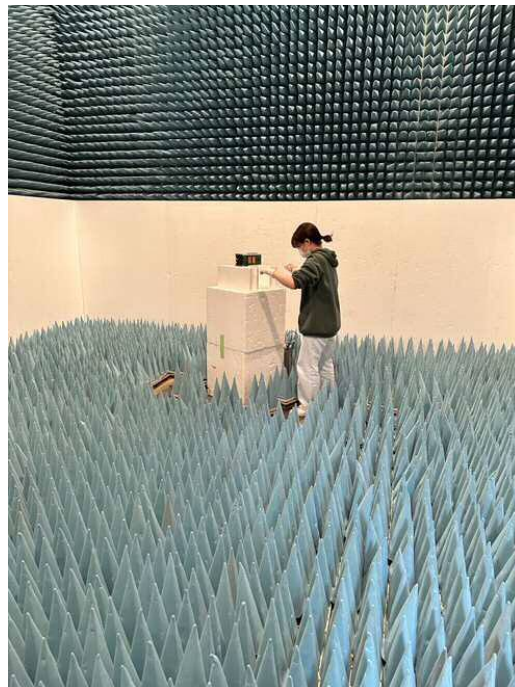


図 5.2.3 FM 機体の電波試験の様子

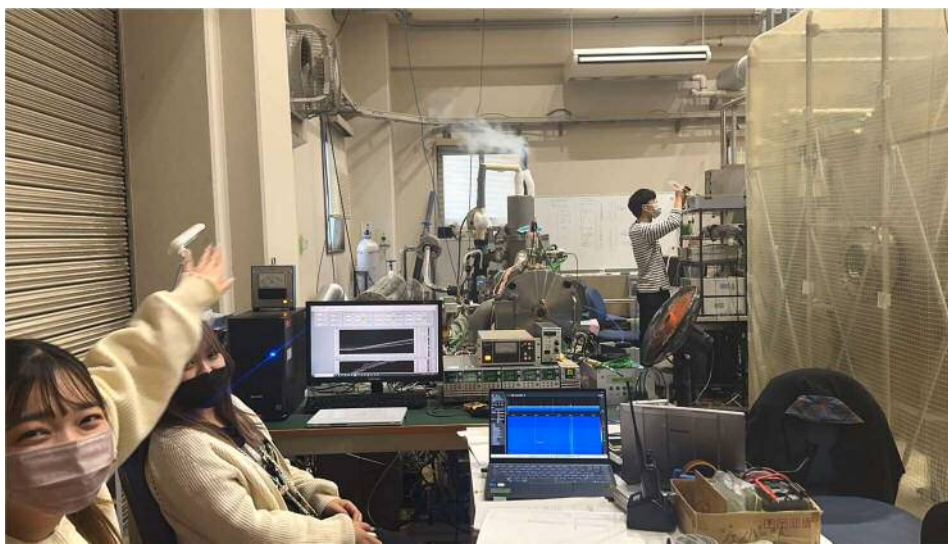


図 5.2.4 FM 機体の熱真空試験の様子

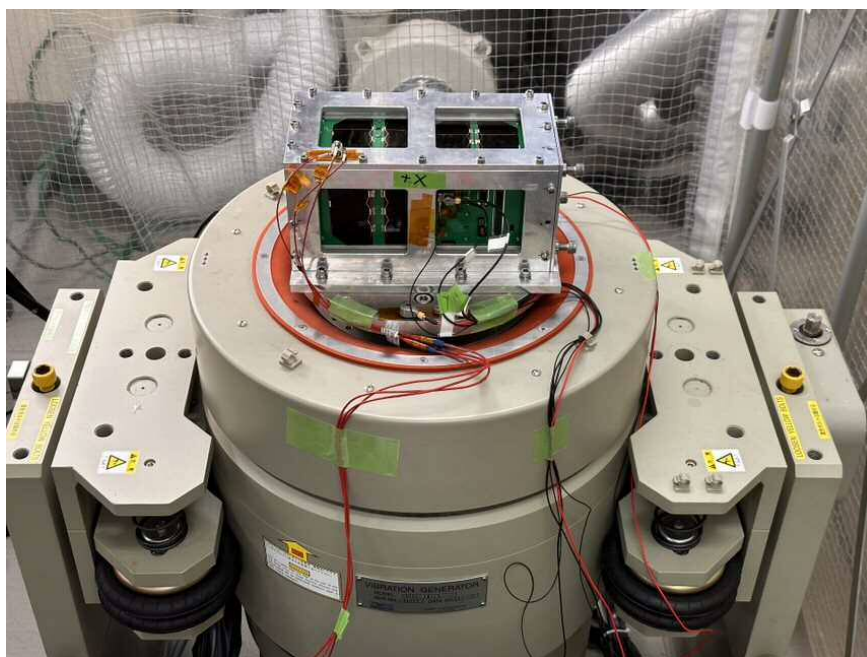


図 5.2.5 FM 機体の振動試験の様子



図 5.2.6 完成した FM 機体

5. 3 官辺手続きについて

2023 年度は実際の衛星の開発に並行して各種法的な手続きに関しても準備を進めた。一般に官辺手続きと呼ばれる(1)安全審査、(2)国際周波数調整、(3)宇宙活動法に関わる申請の 3 つの手続きは衛星の開発に並行して準備を進める必要があるが、これらの手続きを進めるためにはそれぞれの手続きの法的な位置づけや目的を十分に理解したうえで技術的な内容を含む書類の作成が必要である。そのため本プログラムでは、こうした官辺手続きも参画学生に行わせることによって実際の宇宙機開発に要求される法手続きも理解させることを目的の一つとしている。

(1) 安全審査

安全審査は、衛星の開発フェーズに応じて段階的に受審する必要がある。2023 年度は 6 月の CDR が完了し、その後の問題点が修正された 9 月にフェーズ 012 の安全審査書類の作成を開始し打ち上げ調整企業からのレビューを受け 2024 年 1 月に提出を行った。その後 FM 機体が完成し、最終的な振動試験のデータを取得した後にこれらのデータをまとめ、2024 年 3 月にフェーズ 3 の安全審査書類の提出を行った。

(2) 国際周波数調整

宇宙空間で衛星を運用するにあたっては、通信に必要な周波数割り当てを受ける必要があり総務省への申請を行わなければならない。本衛星では、これまでに九工大が行ってきた衛星プロジェクトとは異なり非アマチュア帯の無線通信による運用を行うこととした。そのためアマチュア連盟との調整は必要がなくなり、総務省とのやり取りの結果 2023 年 5 月には総務省との調整が開始した。2024 年 1 月には必要書類の提出を行い、2 月 21 日に九州工業大学内で衛星通信機の落成検査を実施した。

(3) 宇宙活動法

宇宙活動法関連の手続きは宇宙空間に放出する衛星が衛星所有者によって適切に管理されることを示し、最終的に宇宙デブリとにならないことを運用体制や技術書類によって示す必要がある。これらの書類に関してもプロジェクトマネージャの学生を中心に申請書類の取りまとめを行い、2024 年 3 月に内閣府へ提出を行った。

5. 4 3年間の成果

本プログラムの主眼でもある衛星開発においては、最終的に3年間のプログラム期間中に衛星を完成させることができた。学生チームはバス側とミッション側のそれぞれにおいて週1回程度の継続的な打合せを行いながら毎週水曜日に合同でのミーティングを実施してきた。開発全体の取りまとめは、学生のプロジェクトマネージャによって統括されこの合同ミーティングの中で進捗の確認がなされてきた。2023年度は初代のプロジェクトマネージャから学部3年生へ世代交代を行い必要な引き継ぎが行われた。

とくに最終年度の2023年度は第1世代の学生が4年生となり、当初計画通り新規参画学生を含めるとちょうど学部1年生から4年生までが参加する開発プロジェクトとなった。このような学年構成に至るまでに、各年度において上級生から下級生に対して各サブシステムごとに引継ぎのための教育を行う体制が確立したことも大きな成果として挙げられる。特に安全審査、国際周波数調整、宇宙活動法申請といった官辺手続きについては学生が手続きを進める中で常に上級生と下級生のチームによって進めさせることで次の衛星開発プログラムにおいてもノウハウが継承されることを目指した。このような取り組みによって、安全審査、国際周波数調整、宇宙活動法の必要書類も2024年3月までに完成させ各省庁へ提出することができた。衛星の放出は2024年度の実施が予定されているが、衛星開発及び官辺手続きのための書類作成を予定通りプログラム期間中に完了することができ、参画学生に対して衛星開発に必要な教育をすべて実施することができた。

参画した学生のうち第1世代は2023年度に学部4年生であるが、本プログラムに参加した学生のうち53%が宇宙分野の大学院あるいは宇宙産業への就職が内定している。プログラムの参画学生のうち工学系の学生は当初宇宙システム工学科の学生が大半を占めると考えていたが、実際には機械工学や電気工学を専門とする他学科の学生が多く参加参画しており必ずしも宇宙分野への進学や就職の意欲が高いといえる状況ではなかった。しかし最終的に過半数の学生が宇宙分野への進路を選択した事は十分な成果であったといえる。特に大学院進学をする学生は今後も衛星から取得したデータの解析などに参画することが可能である。本プログラムの重要な目的は、工学系の学生と理学系の学生が強調して理学ミッションを実施する衛星を開発することであるが、衛星放出後のデータ解析や理学的な知見の創出に向けてさらに深く連携する体制が構築されたことも本プログラムの重要な成果である。

6. ファシリテーション体制の構築および教材開発の実施業況

2023年度の実施計画において、ファシリテーション体制の構築及び教材開発に関しては、以下の通り計画されていた。

「九工大・九大双方の教育スタッフが定期的に会合を持ちながら学生への指導の協議および指導に関する、教材、マニュアル等の開発を完了し波及のために公開する。指導する教育スタッフによる合同会議を2回以上実施し、学協会における発表を2件以上実施する。参画した学生の進路として、宇宙理工学関連の大学院・企業への進路50%以上を目指す。」

6. 1 ファシリテーション体制の構築

九州工業大学及び九州大学が円滑な連携のもとに教育プログラムとしてのファシリテーション体制の構築を行うために、プログラム開始後の2022年4月より概ね1か月に1回の頻度で、連携ミーティングを行い、2023年度は合計10回のミーティングを行った。ミーティングには両大学の教員の他にTA学生も参加し、主に(1)両大学の学生の状況、(2)衛星開発の進捗状況の確認、(3)衛星開発の問題点の共有と解決方法の協議、(4)学生への指導方法

についての協議、等についての話し合いを行ってきた。

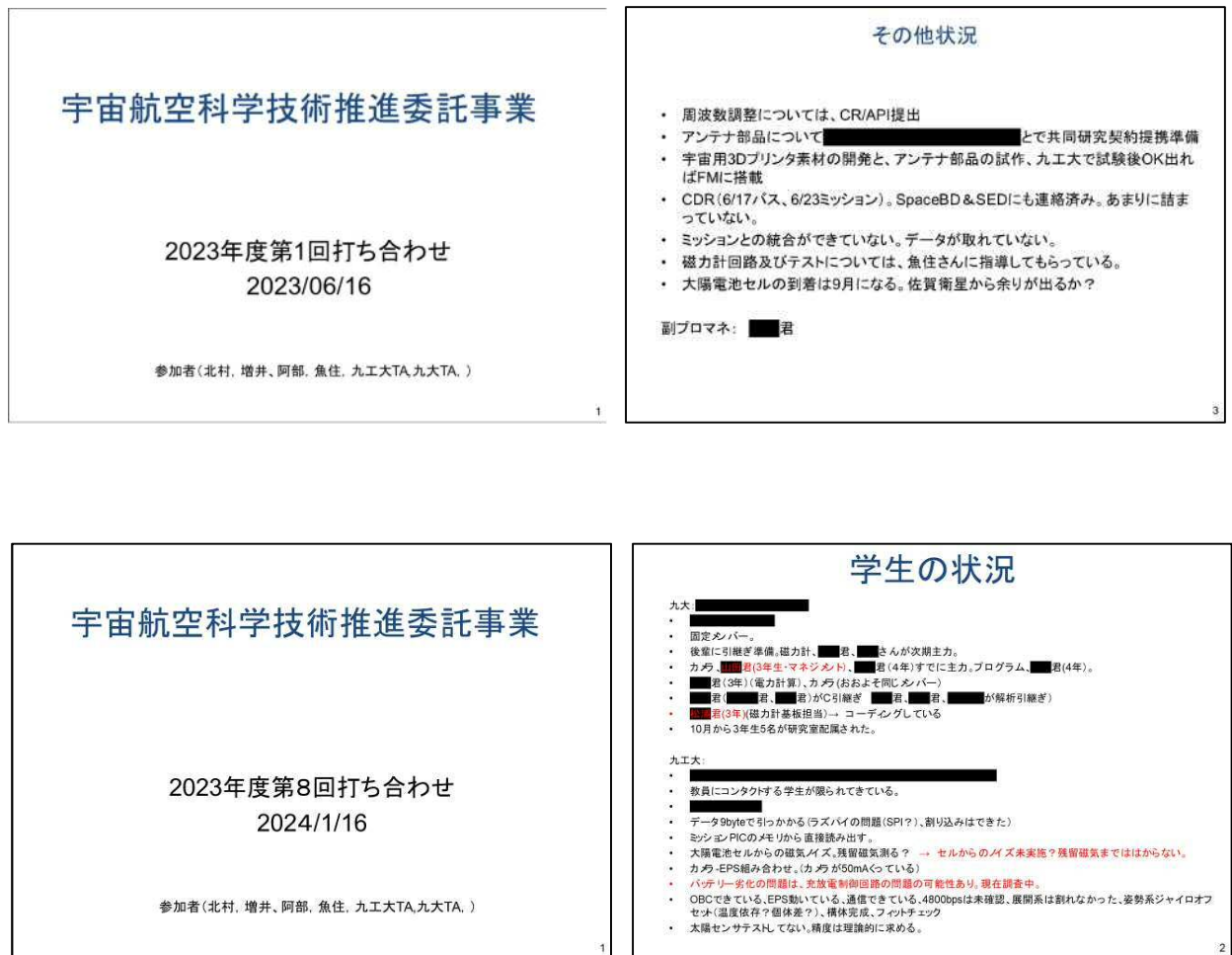


図 6.1 九工大―九大での打ち合わせ時の資料の例

一方で大学以外の関係機関との連携として、やまぐち産業振興財団が主導する山口県宇宙クラスター企業団との連携を進めてきた。宇宙クラスター企業は主に宇宙分野における製造や加工を受注していたり今後宇宙分野への事業参入を検討している地場企業の情報交換の場であり、国内外の展示会等への積極的な参加によって日本の宇宙セクターの一角としてのプレゼンスを示している。本プログラムでは、これらの企業団との定期的な打合せによって衛星開発に関する技術的な相談や学生教育への協力・情報交換を行ってきた。2023 年度も前年に引き続き、宇宙クラスター会議に北村が参加し、プログラムの進捗状況の報告を行うと同時に今後の連携の在り方に関しての協議を行ってきた。

これらの連携を進めるなかで、クラスター内の A 社および県外企業 B 社からある部材の宇宙実証を行いたい旨の相談があった。協議の結果、開発中の衛星に部品を搭載して実証試験を行うことが可能であることから、2023 年度に 3 者間での共同研究契約を締結した。この中で、企業が自社開発の部品やコンポーネントに関して迅速な宇宙実証を求めていることが明らかになった。また、費用対効果の観点から必ずしも TRL（技術熟成度）の高いプラットフォームの利用ではなく、場合によっては学部学生が開発する

CubeSat であっても実証機会があれば利用を検討する余地があるということもわかってきた。この経験により大学における教育用の衛星開発に関する企業の連携について、ホステッドペイロードなど大学側が企業に対して一定のメリットを供給することで、単に企業に金銭的な支援を求めるのではなく双方が利益を得られるような一定の方向性を確認することができた。

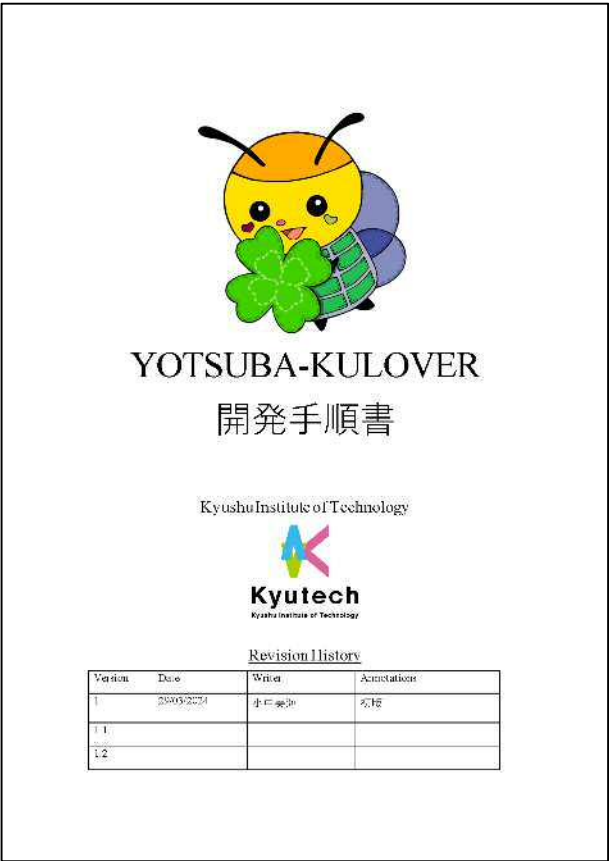


図 6.2 宇宙クラスター会議における発表資料

6. 2 教材開発の実施状況

また、こうした教育プログラムに関する教材等は、デジタルデータの形でまとめ web 上で資料の閲覧が可能な状態とした。現在は、公開できる資料に限定しているが個別に連絡を受けることで詳細な資料も提供できる体制を整えた。特に、新たに学生教育用の衛星開発の開始を検討する機関に対しては、安全審査対策等を考慮した設計や開発スキーム、さらに 2 年間をかけて開発する際のプロジェクトマネジメントなど詳細にわたるノウハウが必要となる。そこで 2023 年度は衛星開発プログラムの総まとめとしてこれらの開発手順を網羅したデジタル教科書の作成を行った。

これまでに参加した学生のうち第 1 世代は、2023 年度に学部 4 年生となるが 2024 年 3 月時点における進路については、17 名のうち宇宙分野への進学又は就職内定を得ている学生が 9 名であり、53%が宇宙分野への進路を決定している。



1 はじめに

2 システムエンジニアリング、マネジメント

2.1 衛星概要

2.2 プロジェクトの構成

2.3 スケジュール管理

2.4 ミッション定義

2.5 要求管理

2.6 リスク管理

3 宇宙セグメント

3.1 電源系

3.1.1 概要

3.1.2 基礎設計

3.1.3 詳細設計

3.1.4 各種試験

3.1.5 安全審査

3.1.6 トラブルシューティング

3.2 OBC(データ処理)系

3.2.1 概要

3.2.2 ハードウェア設計

3.2.3 ソフトウェア設計

3.3 通信・地上局系

3.3.1 概要

3.3.2 回路設計

3.3.3 アンテナ設計

3.3.4 通信機の概要・制御方法

3.3.5 パッケージ作成

3.3.6 性能試験

3.4 姿勢系

3.4.1 概要

3.4.2 搭載センサ

3.4.3 ソフトウェア設計

3.4.4 センサの校正

3.5 GNSS

1 はじめに

2 システムエンジニアリング、マネジメント

2.1 衛星概要

2.2 プロジェクトの構成

2.3 スケジュール管理

2.4 ミッション定義

2.5 要求管理

2.6 リスク管理

3 宇宙セグメント

3.1 電源系

3.1.1 概要

3.1.2 基礎設計

3.1.3 詳細設計

3.1.4 各種試験

3.1.5 安全審査

3.1.6 トラブルシューティング

3.2 OBC(データ処理)系

3.2.1 概要

3.2.2 ハードウェア設計

3.2.3 ソフトウェア設計

3.3 通信・地上局系

3.3.1 概要

3.3.2 回路設計

3.3.3 アンテナ設計

3.3.4 通信機の概要・制御方法

3.3.5 パッケージ作成

3.3.6 性能試験

3.4 姿勢系

3.4.1 概要

3.4.2 搭載センサ

3.4.3 ソフトウェア設計

3.4.4 センサの校正

3.5 GNSS

7 姿勢系

7.1 概要

姿勢系は衛星の姿勢決定や姿勢制御を行うシステムである。姿勢決定とは、ロジックの指示から入出力装置の位置や方向を計算することである。衛星の時刻やミッション進行により、姿勢を修正したりする上で姿勢決定は必要である。姿勢決定をするために衛星自身に搭載しているセンサには様々なものがある。YOTSUBA-KUOVERには磁気センサ、太陽センサ、ジャイロセンサが搭載された。各センサのセンサ・センサである。

また、衛星には向きをある程度の間隔で与えることも必要である。衛星には太陽電池パネルと姿勢制御のための姿勢制御装置が搭載されている。

表 7-1 姿勢制御方法の比較

	受動姿勢制御	能動姿勢制御
制御方法	衛星の重力や太陽光の力、アクチュエータによるトルクを利用する。	衛星の重力や太陽光の力、アクチュエータによるトルクを利用する。
センサ・アクチュエータ	太陽センサ	太陽センサ
制御コスト (費用面)	低い	高い
精度	低い	高い
例	スピン安定、姿勢制御なし	姿勢制御あり

なお、アクチュエータとは、衛星の姿勢を制御するための装置である。衛星の姿勢を制御するためには、衛星の姿勢を制御するための装置が必要である。YOTSUBA-KUOVERでは、姿勢を制御するための装置として、太陽電池パネルや太陽電池パネルを利用する。

図 6.3 Yotsuba-KUlover 開発手順書 (抜粋)

6. 3 3年間の成果

3年間のプログラムを通じて衛星開発を通じた宇宙人材育成の在り方について複数の大学関係者や企業関係者との意見交換を行うことができた。今後大学で開発する超小型衛星の多くは、理学ミッションに紐づいた形での先端技術の宇宙実証が行われていく事が予想される。その際に衛星工学のみに習熟していたり、理学研究のみの経験しかない人材ではこうした宇宙理学先端ミッションを自ら企画して実施することは困難である。本プログラムの目標である理工学融合の教育はこの点においても極めて重要な取り組みであり、第1世代の参画学生のうち過半数が宇宙産業や大学院への進学をした事からこれらの学生を通じて今後さらなる実践的な取り組みを実施することも可能となった。特に大学院へ進学する学生は引き続き YOTSUBA-KULOVER 衛星の運用や取得するデータの解析を通して理学ミッションの最終的な成果を求めるフェーズにまで関わる事が可能となる。

一方で、本プログラムを通して宇宙産業に関わる企業からの人材育成の要望についても広く意見を聴取する機会を得た事も大きな成果である。今後こうしたプログラムを継続的に実施するにあたっては産業界からの支援を得ることは必須であるが企業側が単に経費の支援をするだけでは、教育プログラムの実態に関与する機会が限られその効果も不透明であり直接的に支援の成果を評価することが困難である。本プログラムを通じて得られた一つの解として、教育目的の衛星であっても、企業側が求める宇宙実証の機会を積極的に提供することで双方に利益のある協働した宇宙人材育成の可能性が挙げられる。今後こうした方法について次期衛星プロジェクトにおいて実践していく。

7. 2023 年度のプログラム実施に関する学生の評価

2023 年度末に今年度のプログラムに関するアンケート調査を実施した。29 件の回答が寄せられた。回答者の内訳は以下の通りであった。

表 7.1 回答者の内訳

大学別	
九州工業大学	27
九州大学	2

男女別	
男	21
女	8

学年	
1 年生	6
2 年生	10
3 年生	8
4 年生	5
大学院以上	0

2023 年度の活動全体に関する回答は、回答者 29 名中 25 名が大変良かったもしくはよかったと回答しており、肯定的な回答が 86%と参加学生のプログラムに対する満足度は十分高かったと評価できる。あまりよくなかったと回答した学生が 1 名いるが、良くなかった理由

に関する自由回答欄には記載がなかったためその理由は不明である。

5. 2023年度の活動に参加してみて

[詳細](#)

[🔍 インサイト](#)

● 大変良かった	12
● 良かった	13
● 普通	3
● あまり良くなかった	1
● 全く良くなかった	0

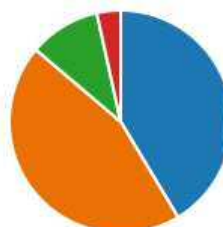


図 7.1 2023 年度の活動全体に関する評価

新人教育セミナーについては、不参加の 12 名を除き 17 名中 13 名と 76%が肯定的な回答を寄せている。今年度の新人教育セミナーに関してはかなりのボリュームがあったために、一部参加出来ていない学生も多くいたために参加していないという回答を選んだものが多くいたものと考えられる。

7. 新人教育セミナーについて

[詳細](#)

● 大変ためになった	3
● ためになった	10
● 普通	4
● あまりためにならなかった	0
● 全くためにならなかった	0
● 参加していない	12

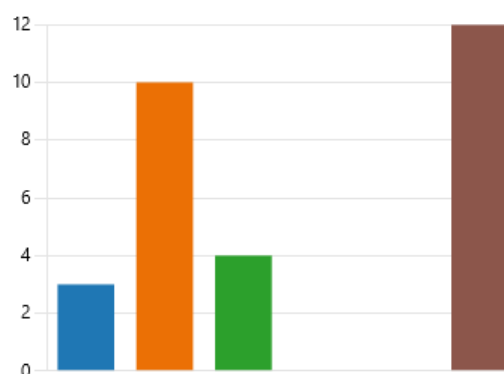


図 7.2 新人教育セミナーに関する評価

京都大学の松岡先生による理学セミナーの 1 回目は、本プログラムの衛星のメインミッションである地磁気観測に関する講義をしていただいた。自分たちの作る衛星に直結した内容であったため参加者の興味も高かった。参加したと回答した 15 名のうち 12 名が肯定的な回答をしており 80%の肯定的評価となっている。

10. 松岡先生（京都大）の理学セミナーについて

[詳細](#)

[🔍 インサイト](#)

● 大変ためになった	5
● ためになった	7
● 普通	3
● あまりためにならなかった	0
● 全くためにならなかった	0
● 参加していない	14

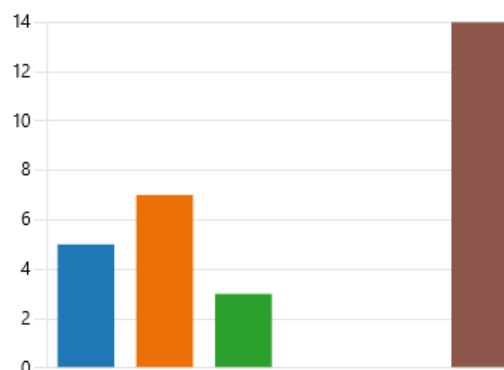


図 7.3 理学セミナー（1回目）に関する評価

小原先生による理学セミナー(2回目)は昨年度に引き続き、宇宙天気に関する講義をお願いした。昨年度の講義内容を踏まえつつ新しいトピックで講義内容を構成していただいたため、昨年度参加した上級生にとっても刺激となる講義が実施された。参加したと回答した 15 名のうち 14 名の 93%が肯定的な回答を寄せており、学生の興味の高さがうかがえた。自由記述欄には、プログラムが終了した 2024 年度以降もこうした理学セミナーの実施を希望する声が寄せられており、本プログラムの目標とした工学系の学生が衛星ミッションの背景となるサイエンスの素養を持たせるという点において、学生の興味を十分に引き付けることができたと評価する。

12. 小原先生（東北大）の理学セミナーについて

[詳細](#)

● 大変ためになった	7
● ためになった	7
● 普通	1
● あまりためにならなかった	0
● 全くためにならなかった	0
● 参加していない	14

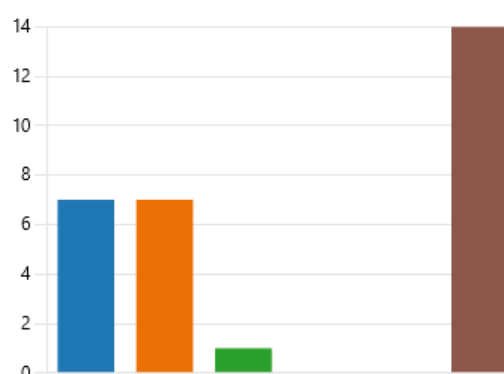


図 7.4 理学セミナー(2回目)に関する評価

上記の結果を総括し、学生の肯定的な評価に関しては、概ね当初の計画通りの評価が得られていたと考える。

一方、参加学生の能力評価に関してはいくつかの課題が残る。本プログラムでは最終年度となる 2023 年度の終盤に参加学生に対してコンセプトマップの作成を行わせ、参加学生の衛星開発に関するイメージが学年ごとにどの様に変化するかの評価を試行してみた。図 7.5 は 1 年生によるコンセプトマップであるが、衛星開発から延びる線はメンバーに紐づ

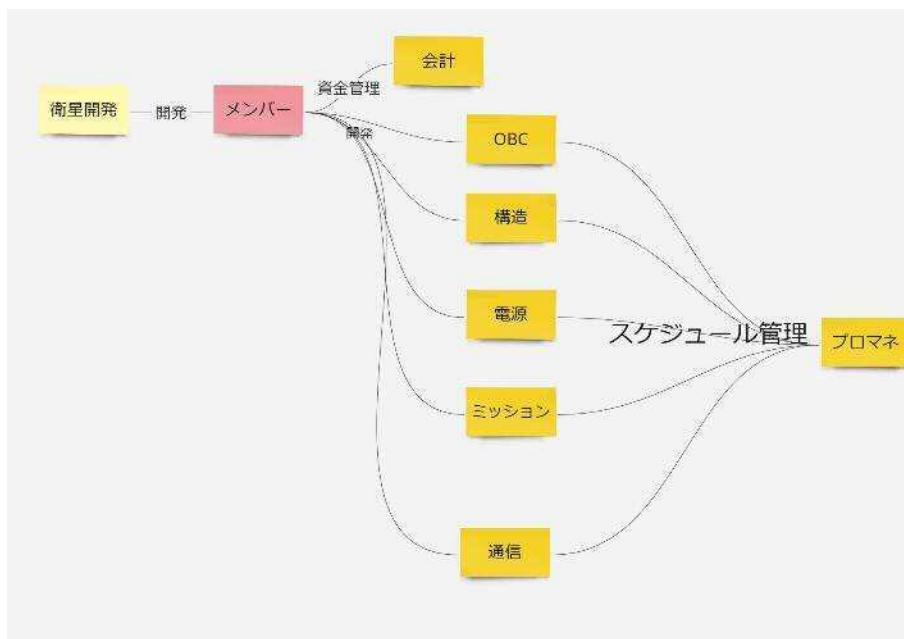


図 7.5 学生によるコンセプトマップの例 (1 年生)

これに対して、図 7.6 は 3 年間衛星開発に携わってきた 4 年生の書いたコンセプトマップの例である。ここでは、登場するキーワードも大きく増えており、各キーワードがどのように連携しているかについても具体的なイメージがされていることが分かる。先ほどの 1 年生の例と異なり衛星のサブシステム間にも連携する線が引かれているなど実際に自分が経験したことによって衛星開発が具体的に視覚化されていることがよくわかる。

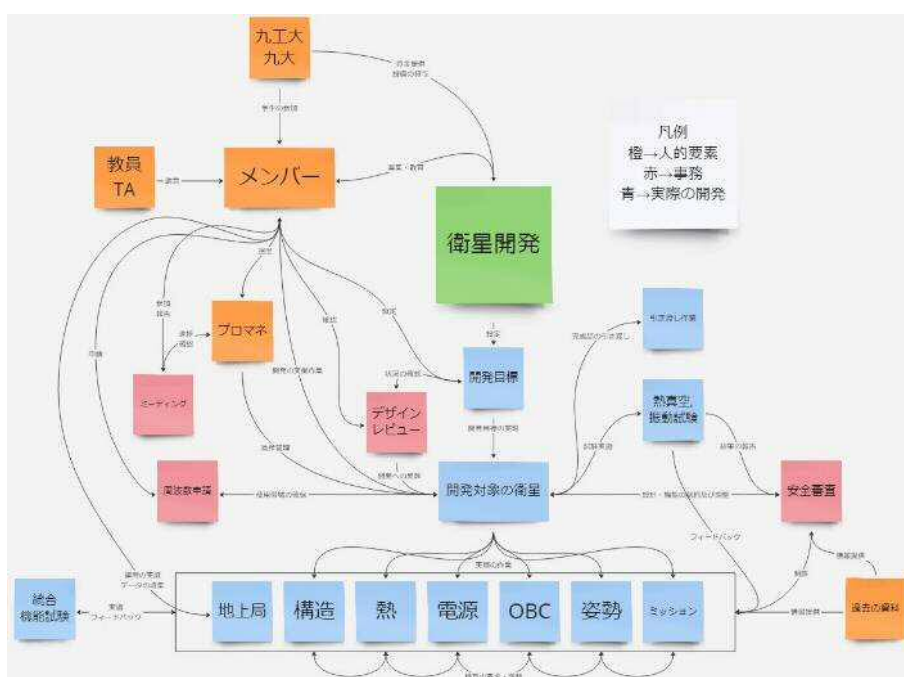


図 7.6 学生によるコンセプトマップの例 (4 年生)

一方で図 7.7 は同じく 4 年生の作ったマップであるが、開発チームではなくプロジェクトマネージャの学生によるマップである。こちらは登場するキーワードも技術的な側面よりもマネジメントに関するものや官辺手続きに関するものが多く、他の開発メンバーと異なるイメージが示されている。

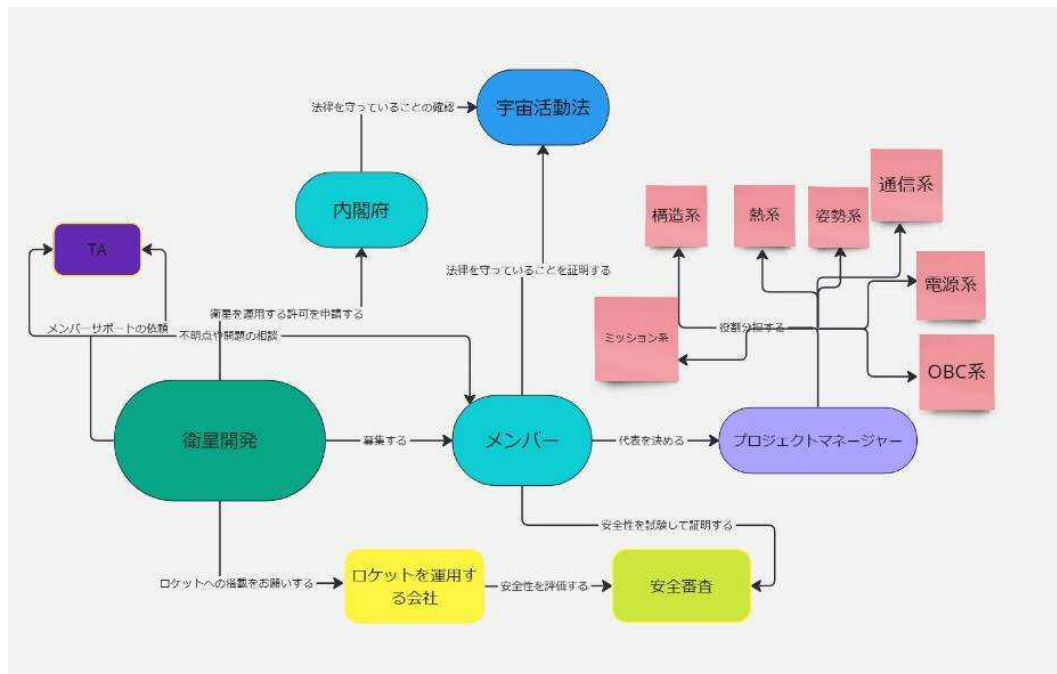


図 7.7 学生によるコンセプトマップの例（プロマネ）

このようなコンセプトマップの作製によって学生がプロジェクトを通してどのような知見を得て、どのような開発イメージを獲得したかという包括的な理解度を個別に評価することが可能となった。今後、こうしたコンセプトマップの活用によって、参画学生一人一人の特性や理解度の応じた指導が可能となることが期待される。

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「大学間連携による理学工学融合実践的宇宙ミッション早期教育プログラム」

機関名 九州工業大学

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
理学工学の大学間連携による学部学生向け超小型科学衛星開発教育（口頭発表）	北村 健太郎, 増井 博一, 魚住 禎司, 寺本 万里子, 藤本 晶子, 趙 孟佑, 阿部 修司, 吉川 顕正	第67回宇宙科学技術連合講演会	2023年10月17日	国内
Geomagnetic Field Observation Project by YOTSUBA-KULOVER Satellite with COTS Magnetometer（口頭発表）	北村 健太郎, 増井 博一, 阿部 修司, 魚住 禎司, 寺本 万里子, 藤本 晶子, 佐野 圭, 吉川 顕正, 趙 孟佑, YOTSUBA-KULOVER Team	地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季年会	2023 年 9 月 26 日	国内
A CubeSat for the Ionospheric Observation under the Inter-university Collaborative Human Resource Development Program（口頭発表）	Kentaro KITAMURA, Hirokazu MASUI, Shuji ABE, Teiji UOZUMI, Mariko TERAMOTO, Akiko FUJIMOTO, Kei SANO, Akimasa YOSHIKAWA, Meng CHO	Asia Oceania Geosciences Society 20th Annual Meeting	2023 年 7 月 30 日	国外
Practical Space Science Mission Program for Under-graduate students in cooperation of Science and Engineering Faculties（口頭発表）	Kentaro Kitamura, Hirokazu Masui, Mariko Teramoto, Akiko Fujimoto, Meng Cho, Shuji Abe, Teiji Uozumi, Akimasa Yoshikawa	International Symposium on Space Technology and Science	2023年6月4日	国内