

令和3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4年5月

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3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 参加学生の募集及びキックオフミーティングを実施.....	8
4. 2 九州工業大学による「衛星開発セミナー」の実施.....	11
4. 3 九州大学による「理学セミナー」の実施.....	12
4. 4 合同合宿セミナーの実施.....	16
5. 衛星開発の実施状況	18
5. 1 衛星ミッションの検討と MDR	18
5. 1. 1 地磁気観測.....	19
5. 1. 2 オーロラ撮像.....	21
5. 1. 3 衛星表面帯電計測ミッション.....	24
5. 1. 4 形状記憶合金を用いた伸展機構.....	27
5. 2 九州大学における地上局の設置.....	29
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	31
7. 2021 年度のプログラム実施に関する学生の評価.....	33

1. はじめに

本報告書は、文部科学省の令和3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3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3年10月8日から令和4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3年度		
① 合同学生教育セミナー	福岡県福岡市西区元岡744 九州大学国際宇宙天気科学・ 教育センター	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と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

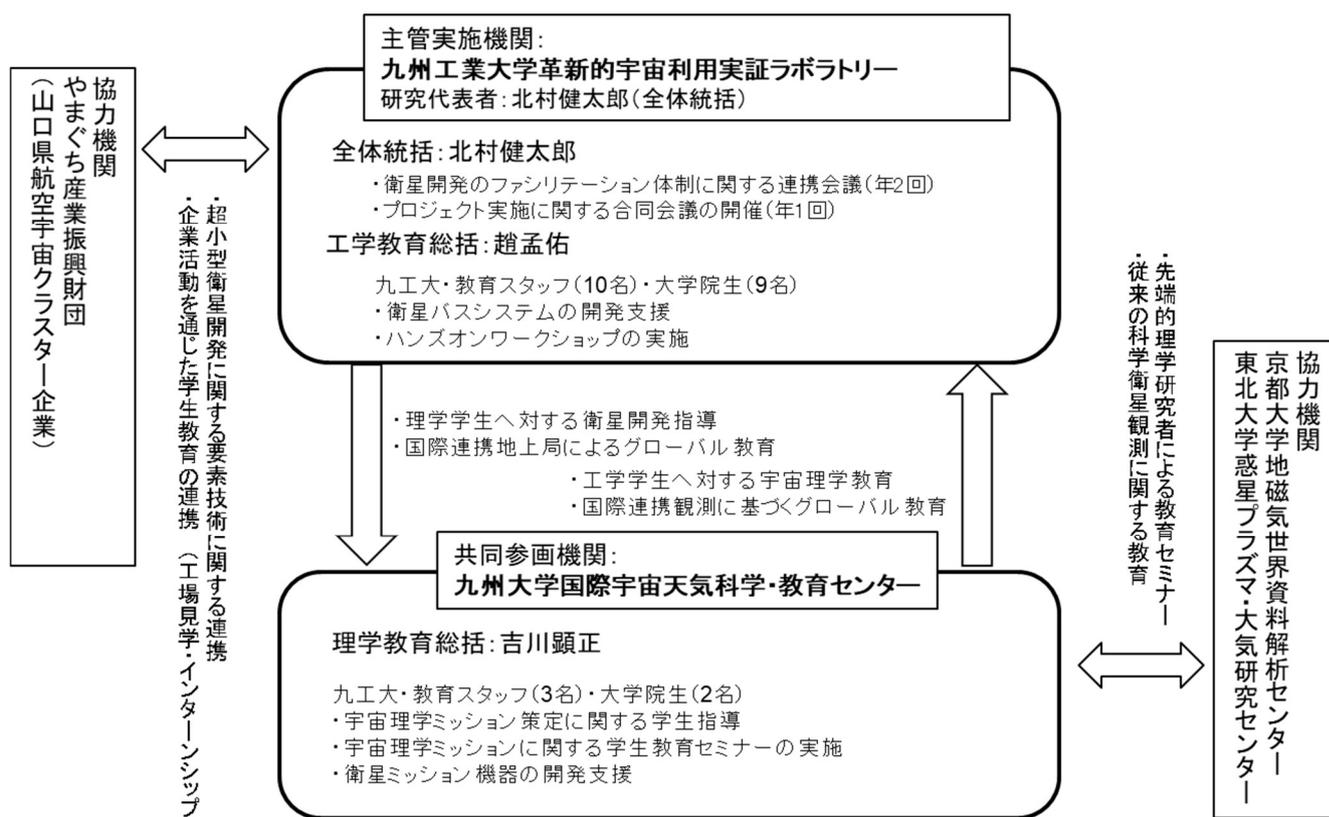


図 1.1 実施体制図

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な理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 2021 年度の実施計画は、以下のとおりである。

「10 月より九州工業大学および九州大学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。早期に九州大学の学生が九州工業大学・革新的宇宙利用実証ラボラトリーおよび九州工業大学の学生が九州大学・国際宇宙天気科学教育センターを相互訪問し、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)。初期教育においては、外部協力機関からのサポートを受けたセミナーを年度内に 1 回は試行する(状況によっては、オンラインで実施)。また、4 回以上の合同教育セミナーを実施する。九州工業大学・九州大学からそれぞれ 10 名以上の学生参加者を得るとともに、参加学生のアンケートにおいて 70%以上の肯定的評価を受けることを目標とする。」

これに関して、2021 年 10 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学生募集を行い、11 月にキックオフミーティングを実施した。その後、両大学においてそれぞれ継続的に学生ミーティングを実施しながら、2022 年 1 月以降に九州工業大学による衛星開発セミナー、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。

4. 1 参加学生の募集及びキックオフミーティングを実施

事業開始の 10 月より、九州工業大学および九州大学においてそれぞれ参加学生の募集を行った。募集は、主に 2 年生を中心に実施した。これは事業計画が 2.5 年間であるために、プロジェクト開始時に 2 年生の学生は卒業までに衛星の完成まで携わることができるためである。3 年生以上の学生の参加も妨げてはいないが、上級生に関しては先行する学生衛星開発の経験をもとに下級生に対するアドバイスを行うことを求めた。約 1 か月程度の募集期間を経て、最終的に九州工業大学において 31 名、九州大学では 18 名の応募があり、総計で 51 名の参加者を得た。九州工業大学においては、1 年生が 13 名、2 年生が 13 名、3 年生が 5 名であった。1 年生は所属学科が決まっていなかったが 2 年生以上の学生に関しては、大半が工学部宇宙システム工学科の所属であったが、電気電子工学科や機械知能工学科からの参加者も複数いた。九州大学においては、18 名の参加学生が集まった。学部生の学年内訳は、1 年生が 7 名、2 年生が 5 名、3 年生が 6 名であった。また、学部内訳は、理学部が 15 名、工学部が 3 名であった。また、両大学の大学院生をファシリテーターとして採用し、衛星開発の進め方に関して適宜相談アドバイスをする体制を整えた。特に、九州工業大学では、過去に学生衛星の開発経験のある大学院生を中心に、複数の CubeSat 開発プロジェクトの参画経験がある M1 から D2 の学生、8 名に指導の補助を依頼した。



図 4.1.1 学生募集のポスター（九工大）

九州工業大学、九州大学での参加者の確定を経て、2021年11月26日に両大学の参加学生全員で遠隔でのキックオフミーティングを実施した。キックオフミーティングでは、(1)プロジェクトの目的(2)開発予定のCubeSatの概要(2)2大学の連携開発をする理由(3)開発スケジュール等に関して北村より説明を行った。当日の説明資料を図4.1.2に示す。

九工大-九大連携 学生衛星開発プロジェクト

キックオフミーティング
2021/11/26

北村健太郎
九州工業大学 革新的宇宙利用実証ラボラトリー

はじめに

- 九工大と九大の学部生が連携して衛星開発するプロジェクトを始めます。
- 今から2.5年間で科学ミッションを行う2UサイズのCubeSatを完成させる。

目標:
10年後に自分たちで衛星科学観測を推進できる人材
10年後に宇宙分野で複合したプロジェクトのリーダーになれる人材

なぜ大学連携でやるのか？

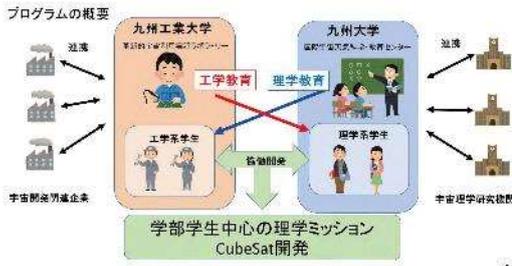
- 理学・工学の融合ミッションとしてやる**
 - 九工大の学生は、ミッションとしての理学研究についての知見を得る
 - 九大の学生は、科学観測のための技術的なスキルを身に付ける
- 知らない人たちとやる**
 - 分野の異なる人たちと仕事上のコミュニケーションをとるスキルを身に付ける
 - それぞれの分担の技術的なインターフェースをどのように設定するか考える

衛星開発のバックグラウンド

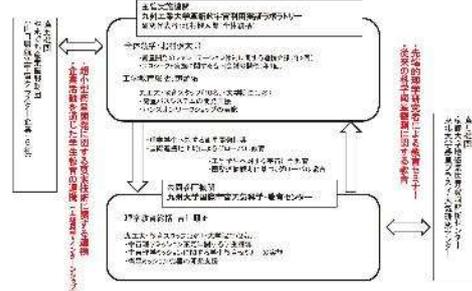
衛星システム

バスシステム		ミッションシステム
構体系 材料力学、機械力学	熱制御系 熱力学、伝熱工学	ミッション系 衛星機、観測機、天文機、大気圏外、気象衛星、地震計、火山観測、海洋観測 etc...
電源系 電機工学、電気回路	データ処理系 コンピュータ応用、プログラミング	
通信系 電機工学、通信工学	姿勢・軌道制御系 制御工学、計測工学	

教育プログラムとして衛星開発を行います



教育プログラムとしての衛星開発



実施体制

九工大側			九大側		
名前	役割		名前	役割	
北村	全体統括	主任策定機関 (代表)	吉川	理学教育統括	共同策定機関 (代表)
註	工学教育統括	兼務参加者	岡部	ミッションリーダー	兼務参加者
塚本	衛星開発統括	兼務協力者	魚住	ミッション統括開発	兼務参加者
寺本	科学衛星教育	兼務協力者			
藤本	ミッションデータ整理	兼務協力者			
佐野	科学衛星教育	兼務協力者			

スケジュール

2021年度	10月	事業スタート(参加者募集)(1年生)
	11月	チーム作成
	~3月末	講習会等、制法会等種数回実施。
	3月	MDR
2022年度	4月	概念設計開始 (3年生) BBN 開発開始
	10月	ハンズオンワークショップ、講習会、理学ミッション勉強会等定期的に実施
	11月	PDR EM開発開始
		衛星試飛等の研修、理学ミッション理解の深化
2023年	4月	各種試験開始(4年生)
	6月	CDR
		FM開発開始
	3月	JAXA引き渡し

プログラムの進め方(2021)

- Kick-offミーティング以降、九工大、九大生メンバーでそれぞれ定期ミーティングをする(週1ペース)
- 九大・九工大生合同ミーティング(月1回程度)
- 作業スペース
 - 九工大(2021年度は工作作業なしなのでオンラインベースのみ)(Mitsuba組機室)
 - 2022年度以降は、5F共同実験室(Mitsuba組機室、2023年度はオンラインチーム必要)
 - 九大: 必要に応じて、ICSWAFのスペース利用可?
- セミナーの進め方
 - 理学セミナーは九工大の学生は一律に行う。
 - 衛星開発セミナーは九大の学生のみのミーティングが必要。
 - 衛星開発セミナーは九工大の学生が中心(九工大)。
 - 衛星セミナーは大学間連携センター(組機室)に実施(九工大)。
- 九工大生代表、九大生代表の選定
- 九工大チームの連絡用ML作る
- プロジェクトマネージメントツールの活用(Slack, teamsなど)

本日この後の予定

- メンバ自己紹介
- プロジェクト名決める

図 4.1.2 キックオフミーティングの説明資料(抜粋)



図 4.1.3 キックオフミーティング時の参加者の集合写真(一部)

4. 2 九州工業大学による「衛星開発セミナー」の実施

本プログラムでは、主に学部学生を対象としたセミナーを1月から実施した。2021年度は8回実施し、2022年度に9回以降を実施する予定である。主な内容は以下のとおりである。

表 4.1.1 衛星開発セミナーの実施内容

第1回 (1/7)	CubeSat 開発の歴史とサブシステムの紹介
第2回 (1/14)	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 (1/21)	衛星打ち上げに関する官辺手続きの基礎
第4回 (1/28)	衛星の構造系及び構造解析の基礎 (1)
第5回 (2/4)	衛星の構造系及び構造解析の基礎 (2)
第6回 (2/18)	衛星の熱環境及び熱解析の基礎 (1)
第7回 (3/4)	衛星の熱環境及び熱解析の基礎 (2)
第8回 (3/11)	衛星の通信系の基礎

セミナーは感染症対策のため Zoom による遠隔実施とした。初学者向け講座として特に難解な資料を用意せず、デジタル白板上でリアルタイムで板書をしながら進める方式で授業を行った。これにより、当日の参加学生の興味や質問等に対して極めて柔軟なセミナーを実施することが可能となった。

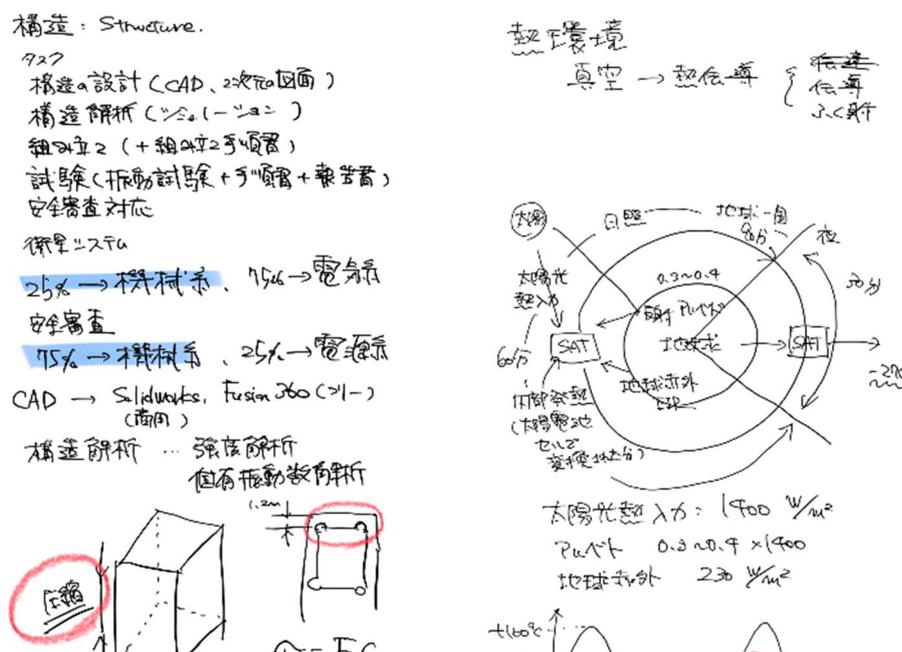


図 4.2.1 衛星開発セミナーで使用した資料の例(1)

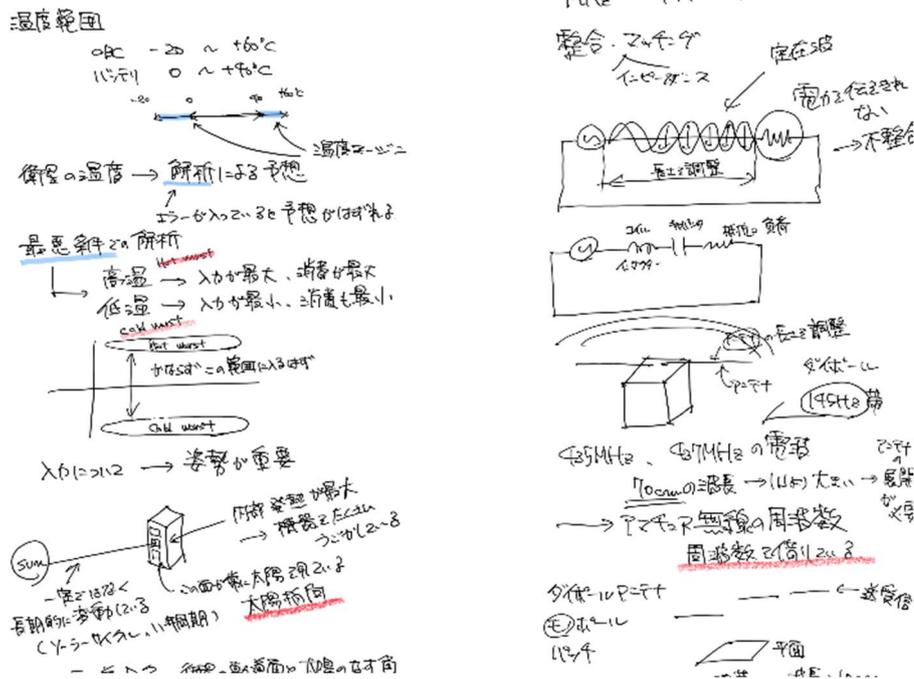


図 4.2.2 衛星開発セミナーで使用した資料の例(2)

4. 3 九州大学による「理学セミナー」の実施

九州大学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た。当初の予定では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センターでの対面講義を予定していたが、年明けより新型コロナウイルスのオミクロン株による感染拡大が発生したため、対面講義を断念し、Zoom ミーティングによるオンライン講義に切り替えて行った。

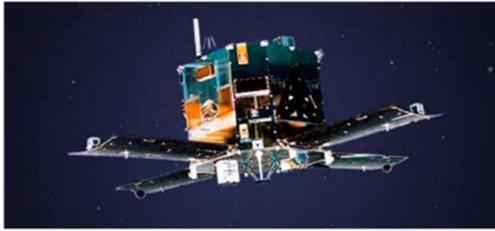
学生教育セミナーは、10年後に若手研究者として超小型衛星など新しいツールを柔軟に活用した革新的宇宙物理学ミッションを自ら主導的に立案・実施できる人材の育成を目的としている。このようなセミナーの実施にあたり、今年度、外部講師として、東北大学大学院理学研究科に所属する小原隆博教授を招聘した。小原教授は、東北大学を卒業後、文部省宇宙科学研究所（旧：東大宇宙航空研究所。：IASA/JAXA）、情報通信研究機構（旧：郵政省電波研究所、通信総合研究所）、宇宙航空研究開発機構（旧：宇宙開発事業団）を歴任し、数多くの人工衛星の理学ミッションに携わってきた。そのような深い背景を持つ小原教授に衛星ミッションに関する専門的知識を提供いただき、その知見を学生が受け取ることが、本プロジェクトの初年度理学セミナーに相応しいと考えた。

「科学衛星のミッション」というタイトルで2回実施された理学セミナーでは、宇宙の理学的応用とそれに関わるミッションについて、こんな目的のためにミッションが行われてきたなどの「人工衛星が誕生するプロセス」について講義が行われた。また、殆どの理学ミッションには、明確なサイエンス目的があり、それを実現するために、さまざまな環境試験を経て、人工衛星は打ち上げられ観測データを得ることになる。人工衛星が理学研究のみならず人類社会への貢献につながる実例を説明するために「衛星製作・打上運用データ処理の実際」についての講義が行われた。

第1回目の理学セミナーは、2022年2月25日13:00-16:00に、Zoom ミーティングにて実施された。このセミナーでは、1980年代から時を追って、日本の様々な科学衛星についての講義が行われた。観測領域としては、地球超高層大気、地球電離圏、地球内部磁気圏、地球磁気圏尾部、そして、太陽の順で、それぞれの科学目的を達成するため、観測装置が準備され、それらを用いた観測から深まったサイエンスが、それぞれの対象について講義された。第2回目の理学セミナーは、2022年3月17日13:00-16:00に、Zoom

ミーティングにて実施された。このセミナーでは、宇宙空間の放射線について講義が行われた。その中で、宇宙放射線を観測している人工衛星と国際宇宙ステーションによる観測が示された。本プロジェクトで製造される超小型衛星は、国際宇宙ステーションからの放出である。学生は、本講義を通して、自分たちが深く関わる観測領域の実例を知ることが出来た。また、宇宙の放射線変動の物理の解明は、環境変動の予測にも繋がる。本講義では、宇宙の天気の基本から、応用としての予報までが講義された。

・第12号科学衛星あけぼの



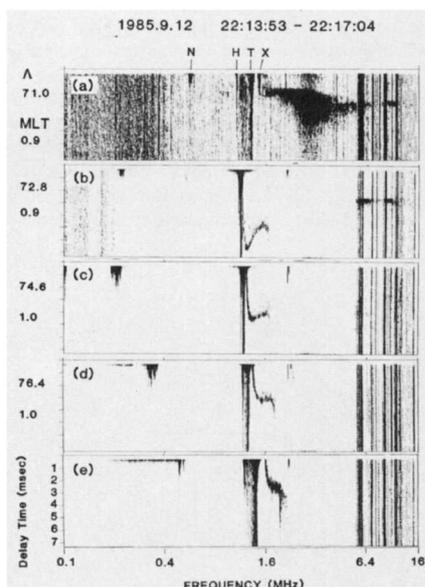
打上げ日時：1989年2月22日 8時30分 形状：
 場所：鹿児島宇宙空間観測所(内之浦) 高さ100cm 対面寸法126cm
 ロケット：M-3SIIロケット4号機 4枚の太陽電池パドルがついた
 質量：295kg 八角柱型
 軌道高度：30m長のアンテナ
 近地点275km 遠地点10500km 5m・3mの伸展マストを備える
 軌道傾斜度：75度
 軌道種類：長楕円軌道



40

2022-02-25 14:10:27

図 4.3.1 小原教授による Zoom 講義の様子



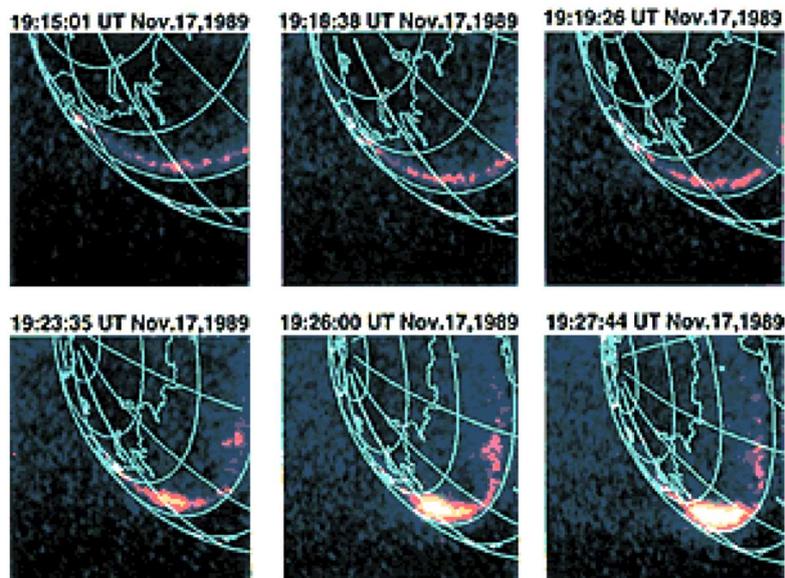
おおぞら衛星による 極冠域の観測

Fig. Ohzora ionograms obtained as the satellite passed through the polar hole region. The invariant latitude and the magnetic local time are indicated for each ionogram. The time delay unit is indicated only in the bottom panel, but is the same for all the panels. Plasma resonance frequency denoted by N shifted toward very low frequency (b, c and d). Sevier Spread F was seen at the equator ward edge of the polar hole (a). (Obara and Oya, JGG, 1989)

31

図 4.3.2 おおぞら衛星による極冠域電離圏の観測 (理学セミナー資料より)

・オーロラの謎：突然の増光

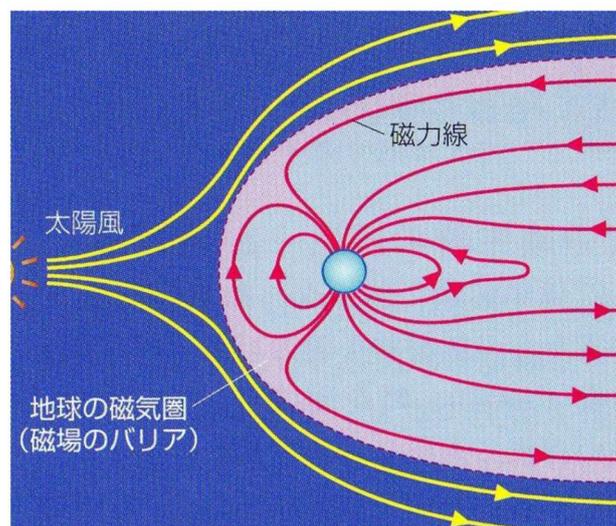


あけぼの衛星が、オーロラが急に輝きだす瞬間を捉えた。オーロラ嵐の開始である。

49

図 4.3.3 あけぼの衛星による様々なオーロラ観測（理学セミナー資料より）

・地球のテリトリー：磁気圏



太陽からのプラズマ流（太陽風）が、地球の磁場を押し込めている。

58

図 4.3.4 地球磁気圏の基本的な形状（理学セミナー資料より）

・外帯変動のまとめ 出典 [Obara et al., EPS 2000; Miyoshi et al., JGR 2003]

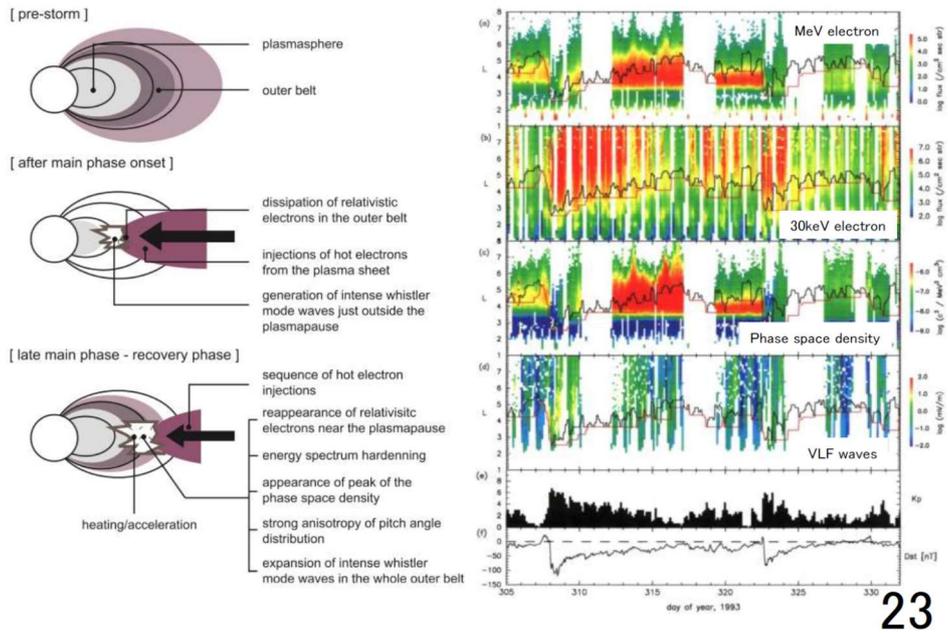


図 4.3.5 人工衛星観測から見た放射線外帯変動のまとめ (理学セミナー資料より)



図 4.3.6 講義後の集合スクリーンショット (1)



図 4.3.7 講義後の集合スクリーンショット (2)

4.4 合同合宿セミナーの実施

本プログラムの参加学生は衛星開発の工学及び物理学に関するセミナーを受講しつつ、開発する衛星のミッションの検討を行ってきたが、ここまでのセミナーは基本的には座学に限定されてきており実際に学生がハンズオンでの実習を受ける機会はなかった。一方で、来るべき MDR(ミッション審査会)に向けての最終的な議論を行うにあたっては遠隔会議のみでなく対面での直接ミーティングを行う必要性を参加者が感じていた。そこで 2022 年 3 月以降感染症の拡大状況が落ち着きつつあり、福岡県におけるまん延防止等重点措置が解除されたことを踏まえ、3 月 21 日(月)から 3 月 24 日(木)にかけて、対面でのハンズオンセミナー及び合同ミーティングを九州工業大学において実施した。九州大学の学生は感染症対策を十分に配慮したうえで九州工業大学の宿泊施設に宿泊しながら参加した。

セミナーの内容は、今後の開発で必要となる電子回路設計のためのソフトウェアおよび機械設計のためのソフトウェアに関する操作方法の習熟を主な目的とした。その他、現在、九州工業大学で開発中の MITSUBA 衛星の EM 機(試作機)などの見学や衛星試験センターの見学を通して、一連の衛星開発の流れと作業内容に関する実感を持ってもらうことを目的とした。最終日には、衛星管制室での実際の衛星運用を見学してもらい打ち上げ後の運用の実施方法や地上系システムの概要についての学習も行った。

その後、対面ミーティングによって来るべき MDR に向けた具体的な提案内容に関する打ち合わせを参加学生が主導する形で実施した。



図 4.4.1 回路設計ソフト講座の様子。講座は九州工業大学の大学院生によって実施された



図 4. 4. 2 開発中の FUTABA 衛星の部品を手に取りながら説明を受ける様子

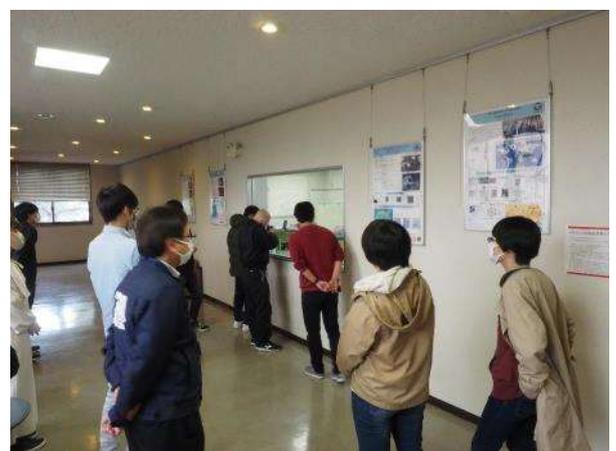


図 4. 4. 3 クリーンルームや衛星試験センターの見学の様子



図 4. 4. 4 衛星管制室における衛星運用実習の様子



図 4.4.5 MDR に向けた合同打ち合わせの様子

5. 衛星開発の実施状況

2021 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。

「年度末までに、九州工業大学・九州大学の学生がオンラインおよび相互訪問（状況に応じオンライン）によって、それぞれの機関の教育スタッフや大学院指導学生からの指導・助言を受けながら理学ミッションの内容を検討し、3 月を目処に MDR (Mission Definition Review) を実施しミッションを決定する。九州大学に地上無線局を設置する。ミッションの検討に際しては、必要に応じて衛星バスまたはミッション機器に関しての実証のための実験を実施する。また、衛星の打ち上げに向けた国際宇宙ステーションとのインターフェース調整等を開始する。」

上記の計画に関する実施状況を以下に報告する。

5. 1 衛星ミッションの検討と MDR

キックオフミーティングの後は、九州工業大学と九州大学においてそれぞれ学生ミーティングを実施し、衛星で実施するミッションの検討を行った。各大学での学生ミーティングは、おおむね週 1 回から 2 週間に 1 回のペースで実施された。各大学におけるミーティングの際には、指導教員ないしは指導大学院生が参加し、学生中心の議論に際して必要な助言を与えた。

特に九州工業大学においては、現在先行開発中の MITSUBA 衛星の開発が進んでおり 2 年生の参加学生は、MITSUBA 衛星のバスシステム開発に部分的に参加することによって各サブシステムの開発ノウハウを上級生の指導の下で学んだ。

各大学での議論は、月に 1 回開催される両大学での合同ミーティングで情報共有と必要な協議が行われた。なお、衛星の開発のコードネームはこれらの合同ミーティングを経て、「YOTSUBA—KULOVER」と決定した。これは、九州工業大学で実施してきた学生衛星プロジェクトの AOBA、FUTABA、MITSUBA に次ぐ 4 号機という意味付けに加え、九州大学で開発する理学機器の KULOVER を合わせたネーミングとした。

本プロジェクトの目的より、衛星のメインミッションは理学系の観測ミッションとしていたが、2 次的ミッションとしての工学系ミッションについて九州工業大学内での議論を行った。こうした学生間での検討を通じて、3 月 29 日（火）14:00 よりミッション審査会 (Mission Definition Review: MDR) を実施した。MDR ではメインの理学ミッションに加え、2 次的なミッションが提案されこれらの実現可能性を検討した結果以下の 4 つのミッションを実施することとなった。

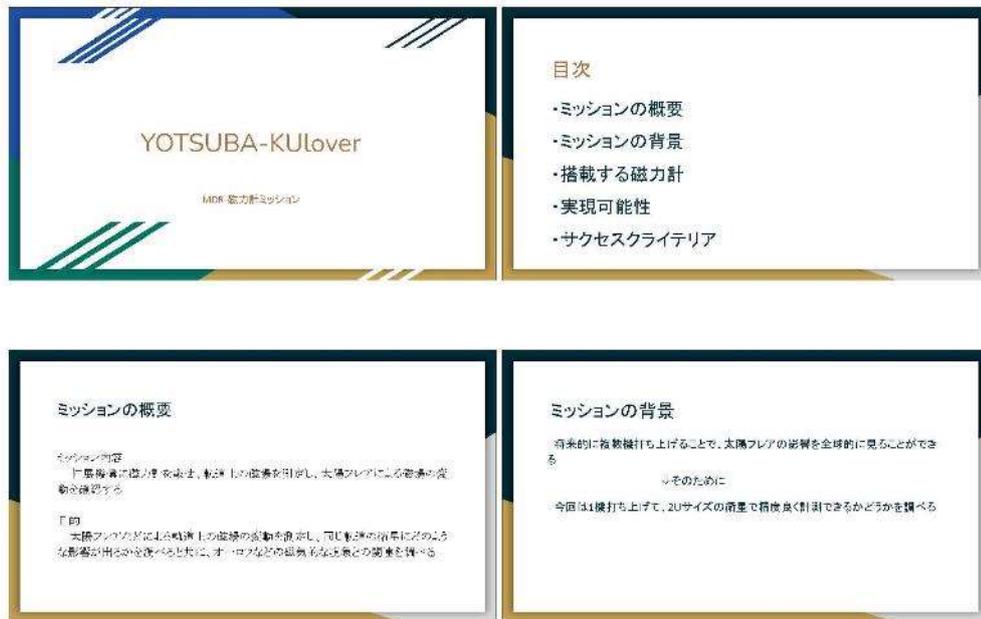
- ・地磁気観測
- ・オーロラ撮像
- ・衛星帯電計測
- ・形状記憶合金を用いた伸展機構

以下に、それぞれのミッションに関しての解説を行う。

また、これに合わせて SpaceBD 社と契約を行い、国際宇宙ステーション（ISS）からの衛星放出に向けたインターフェース調整等に関するキックオフミーティングおよび官辺手続き等に関する教育コンテンツの提供を受けた（資料は非公開）。

5. 1. 1 地磁気観測

YOTSUBA-KUOVER 衛星のメインミッションとしては地磁気観測とした。予定している衛星の軌道は、高度 400km 程度、軌道傾斜角 51 度の国際宇宙ステーションからの放出軌道である。この高度は主に地球電離層の F 層に相当している。電離層におけるプラズマの擾乱は主に太陽表面において発生する太陽フレアやコロナホール等に起因する高速太陽風によることが知られており、こうしたプラズマ擾乱は時として、衛星の不具合や送電線などの地上インフラへ悪影響を及ぼすことが知られており宇宙天気（Space Weather）研究として国際的に活発な研究が行われている。こうしたプラズマ擾乱に伴う地磁気の微小変動をフラックスゲート磁力計などの高感度な磁気センサーによって計測することで、電離層に流れる電流系や磁気圏と電離圏を繋ぐ沿磁力線電流の分布やその時間変化を解析することが可能となる。こうした観測は従来の科学衛星では多く実施されてきた観測であるが、本プロジェクトではこうした精密地磁気観測を CubeSat のような超小型の衛星でかつ低コストで実現するための軌道実証を行うこととした。



搭載する磁力計について

名称: SpaceMag-Lite Three-Axis Magnetometer
 測定可能範囲: ±400 μT
 測定感度: 最大±100 nT/ LSB
 サイズ: 20×20×20mm



<http://www.space磁気.com/Products/SpaceMag-Lite.html>

搭載するGPS・アンテナについて

GPS
 位置精度: ±40m 高度精度: ±1m 測距精度: ±0.1m
 測定精度: ±0.1m (シールド除去時) 質量: 24g
 消費電力: 120mW (典型的) 5.3V, 1.5V
 使用温度範囲: -40°C ~ +85°C

アンテナ
 寸法: 20×20×14.5mm (シールドを含む)
 質量: 50g



<http://www.inces.com/Products/427759/>

実現可能性

- 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があるため、多くのミッションモードが実現可能である
- 精度: 最大 ± 60 μT
 → 高度精度: 約 10m 程度 (約 100m 程度)
- 消費電力: 最大 120mW
 → 1.5V 動作可能なため、約 100mAh 程度
- 寸法: 最大 20×20×14.5mm
 → 最大電流 100mA

サクセスクラテリア (伸展機構が開いた場合)

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

サクセスクラテリア (伸展機構が開いた場合)

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

サクセスクラテリア (伸展機構が開いた場合)

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

成功条件
 1. 打上げ前と帰還入庫に相当する時間があること
 2. 精度: 最大 ± 60 μT
 3. 消費電力: 最大 120mW
 4. 寸法: 最大 20×20×14.5mm

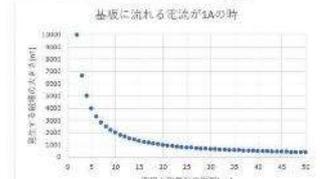
磁力計と基板の距離による影響

$B = \mu H$
 $= \mu I / 2\pi r$
 $= (I / r) \times 2.0 \times 10^{-7} \text{ (T)}$
 $= 200 \times I / r \text{ (nT)}$

μ : 真空の透磁率 $1.257 \times 10^{-6} \text{ (H/m)}$
 I : 基板を流れる電流 (A)
 r : 基板と磁力計の距離 (m)

磁力計と基板の距離による影響

基板に流れる電流が1Aの時



距離 (m)	磁場の強さ (nT)
0	0
5	40000
10	20000
15	13333
20	10000
25	8000
30	6667
35	5714
40	5000
45	4444
50	4000

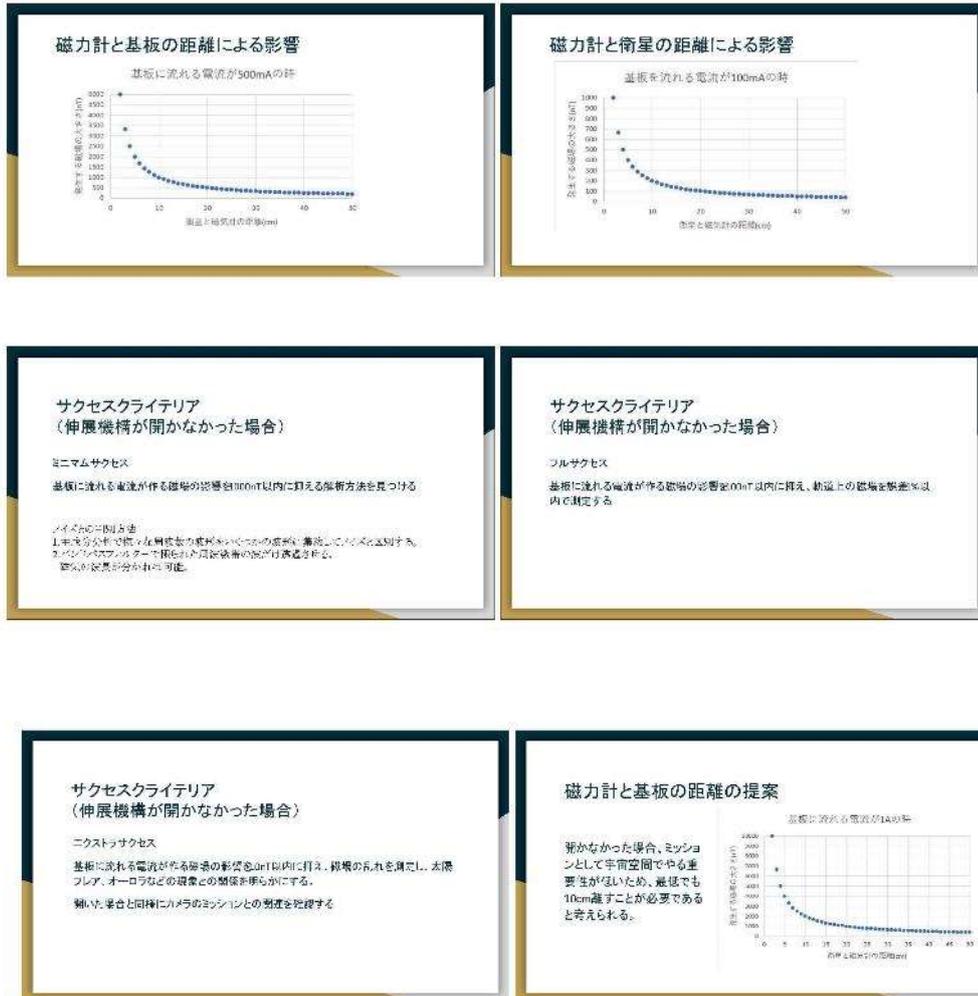


図 5.1.1.1 地磁気観測ミッションの発表資料

5. 1. 2 オーロラ撮像

2 番目のミッションとしては、カメラによるオーロラの撮像を採用した。メインミッションの地磁気観測では、主にサブストームなどの地磁気擾乱を効率よく検出することを目標としている。この場合には、北極や南極付近の磁気緯度 65 度付近を中心にオーロラブレイクアップと呼ばれるオーロラ発行のダイナミックな時間変動返照が発生する。本衛星は、軌道傾斜角が 51 緯度と極軌道をとらないが衛星の傾度によっては地理緯度の 51 緯度付近で磁気緯度の 60 度以上に相当する軌道条件が期待される。このような軌道条件においてオーロラの撮影を行うことは十分に実現可能性があるミッションであると結論した。オーロラの撮像に関しては、衛星の軌道条件、姿勢条件の他にカメラの性能に関する検討が必要であるが、これまでに CubeSat に搭載実績のある小型カメラの性能を調査したところ十分な性能を有する製品が複数あることが判明したため、今後これらの製品群の中から最適な機種を選定する作業を行う。

ミッション紹介

2022/03/29
カメラ班

目次

- ・ ミッションの概要
- ・ 観測・分析の流れ
- ・ サクセスレベル
- ・ 使用する機器

ミッションの概要

- ・ 探査ミッション
「オーロラを撮影し、視覚的な変化を見る」
- ・ ミッションの目的
太陽フレアによる磁場の変動を観測し、オーロラなどの磁気的な現象との関連を調べる。
磁場の乱れの大きさとオーロラの光量の変化の大きさに相関があるか調べる。

ミッションの概要

- ・ 打ち上げが太陽極大期に当たる時期（2024年）なので、多くの太陽フレアやオーロラが観測できると期待できる。
- ・ より衛星を小型化することで、今後このようなカメラによる観測を頻繁に行うことができる。今後の小型衛星による高品位観測の火種になることを期待したい。

観測・分析の流れ

- ・ 太陽フレアが発生
↓
- ・ 2〜3日以内に磁場が乱れ、オーロラの光量が増える。
↓
- ・ 観測機で磁場の変化を、カメラでオーロラの変化を見る。
↓
- ・ 双方で得られたデータを分析し、フレアと磁場・オーロラに関連があるか調べる。

観測・分析の流れ

①太陽フレアの発生の確認方法

- ・ SOHO衛星の画像を利用する。
フレアが起きたことはOMEで見れば分かる。
- ・ 12分おきに画像が更新されるため、
繰り返しは必要としない。



(https://www.nasa.gov/content/goddard/20120601_01)

写真
URL: https://www.nasa.gov/content/goddard/20120601_01
20003-p1.htm

観測・分析の流れ

- ②カメラでのオーロラの撮影方法
- ・ 衛星が地球の夜側を通過しているときにカメラを起動
- ・ 夜側の特に高緯度地域にいるときに撮影したいので、GPSを利用する。
- ・ 通信レートが9800bpsなので、写真1枚3MBとすると送るのに40分ほどかかる。地球1周につき写真1枚の割合で撮影。
- ・ 撮影した写真のうち、緑色のピクセルを多く含む写真のみを1週間ごとに受信機側の割合で地上に送信。

観測・分析の流れ

- ③撮影した写真の地上への送り方
- ④伝送方法
- 1. A/Dに学習させオーロラが写っている写真のみ地上に送る。
デインターレーシング (SonyのNeural Network Consoleなど) を採用する。
ただしモデルの作成には高性能なGPUと大量の写真が必要

観測・分析の流れ

③撮影した写真の地上への送り方

2. (必須)衛星内でデータを圧縮する。
衛星内でデータを圧縮して地上に送信し、地上で解凍する。

サクセスレベル

- ・ミニマムサクセス
- 「カメラでオーロラを撮影し、地上に下ろす。」
...カメラがちゃんと作動しているか確認するミッション
- オーロラが撮影できているか送られてきた画像を見て判断する。

サクセスレベル

- ・フルサクセス
- 「オーロラの3次元的な撮影」
ある程度解像できていることの指標となるミッション
- 3次元構造が解れているか、画像を見て判断する。

サクセスレベル

- ・エキストラサクセス
- 「磁気ミッションと連携し、磁気の変化とオーロラの変化の関連を見る。」
磁気の変化とオーロラの変化が連動していることを確認出来たら成功とする。

カメラへの要求事項

- ・F値(レンズの明るさ)...F2以下
- ・ISO値...10000
- ・画角...35mm換算で35mm以下
- ・センサー画素数...100万画素以上
- ・シャッタースピード...1s以上の露光で設定可能

使用するカメラ

- 現在検討中
- https://www.nikon.com/press/2019/03/05/0305_camera_kisass021202_kj0000_915b_05_pdf-char'a
- ①回転状態での撮影は難しい
- http://www.istage.jp/en/information/kisass/021202_kj0000_915b_05_pdf-char'a
- 撮影のための設定が難しい
- 魚眼を避けることも考えたが、距離や構図のイメージがつかない

使用する予定の姿勢制御装置

磁気トルカ
<https://www.meisei.co.jp/products/space/satelite/p1567>
1U用から小型衛星用まで様々なサイズの製品がある。
注文の際にサイズを指定できるので、ある程度の自由度はある。



姿勢制御の要求事項

- ・1sで1°のズレ
- 画角LE25(35mm換算)のときに1s露出とした場合に1ピクセルがずれる角度
- 磁気トルカの使用実績をみていないと撮影は可能ではないかと思われる。右図が前ページの磁気トルカを搭載したSDS-4という衛星から撮影された画像。
- https://www.istage.jp/en/information/kisass/021202_kj0000_915b_05_pdf-char'a



使用する予定のGPS

<https://www.i-pros.jp/foroduct/detail/2000422789/>

- ・ 大きさ 71.1mm×45.7mm×1.1mm
- ・ 消費電力 125mW
- ・ 使用温度範囲 -40~+85℃



参考文献

- ・ 太陽電池型GPSモジュール
<https://solaris.com.np/en/gps/gps-module-image.html>
- ・ Sony 5Pin Serial Interface Console
<https://d1.sony.com/ja/>
- ・ データ伝送について
<https://seavise.plant-ecp.jp/box/psn/10/827amp-1>

参考文献

- ・ GPUについて
<https://www.nit.com/business/services/data-visualization/machine-learning/ai/ai-05.html>
- ・ ディープラーニング
https://id.sony.com/ja/deeplearning/about/image_recognition.html
- ・ 画像認証
https://aimilev.co.jp/ai_news/image-recognition-aiqor/itm-with-machine-3a1n1131

参考文献

- ・ 画像認証
<https://laboro.ai/act-city/column/laboro/image-recognition/>
- ・ カメラの画像決定
http://www.ncsm.city.nagoya.jp/astro/iss_live.html
- https://www.imacis-sensing-solutions.eu/ictu_ch2300.html
- ・ 総括トルカの使用実績
https://www.istage.ist.go.jp/article/wspass/02/2/022_KJ000091681057_pdf-char/ta

図 5.1.2.1 カメラによるオーロラ撮像ミッションの発表資料

5. 1. 3 衛星表面帯電計測ミッション

低軌道の人工衛星は、紫外線や周囲のプラズマからの電子線等によってその表面に帯電現象が発生する。こうした衛星帯電によって衛星表面の電位差がある一定以上に大きくなると構体の絶縁破壊等を引き起こし衛星の不可逆的な故障につながる恐れがある。こうした衛星表面の帯電は特に衛星軌道におけるプラズマ環境によってコントロールされることが知られており、これまでも軌道上での計測された実績がある。本ミッションでは CubeSat のような超小型衛星に帯電センサーを搭載しつつ、周囲のプラズマ環境の変動をモニタする宇宙天気観測ミッションを同時に実施することで従来の衛星帯電計測を簡易に低コストで実施することを実証する。

LEOにおける衛星の帯電観測

YITSU34 K-Ulster
Pie MDR/Kyutech1 - 2022-03-29

実現可能性

・九工大が開発した鳳凰試号で、類似のミッションを行っていたのでデータ収集は容易である

ミッション意義

- 工学的意義
「低軌道」による超小型人工衛星の帯電に関するデータの収集が故障防止に役立つ
- 理学的意義
位置情報の付加、磁気との同時観測によりデータの関連を模索する

ミッションモード

- 通常時

機体帯電を観測

▼

データを圧縮

▼

メモリに保存

ミッションモード

- 集中観測モード

帯電量が
多くなる

太陽観測が
活発になる

▼

データ観測

データを圧縮

▼

メモリに保存

帯電の測定間隔を狭める

表面電位計 (TREK)

品番	検知電圧範囲[V]	DC精度	16ビット 検出期間[ms]	空間分解 距離[mm]	基板 サイズ [mm]
TREK ESD-M ON-BOARD CONTROLLER MS	±1200DC or peak AC	フルスケールの±1%以下	5以下 (1kVあたり)	8以下	調査中
TREK ESD-M ON-BOARD CONTROLLER MS100C	±1200DC or peak AC	フルスケールの±1%以下	5以下 (1kVあたり)	8以下	開発中

表面電位計 (TREK)




TREK ESD ON-BOARD
CONTROLLERS (OBC)

TREK ESVM ON-BOARD
CONTROLLERS (OBC)

表面電位計 (TDK)

品番	電源 電圧 [V]	消費 電流 [mA]	検知電圧 範囲[V]	検知電圧精 度検知範囲[V]	出力 経路[V]	16ビット 検出 時間[ms]	検出 距離 [mm]	基板 サイズ [mm]
ES21 DE7-03 (TDK)	24 -10%	150 max	0~+100	0~900	0~1.5 -0.05	20max	2.0 -3.0	70 / 80 / 22.5
ES22 DE7-03 (TDK)	24 -10%	150 max	-1000 -0	-500~0	0~1.5 -0.05	20max	2.0 -3.0	60 / 59 / 22.5

① 表面電位センサー 0180シリーズ
<https://www.tdk.com/electronic-components/semiconductors/semiconductors/surface-voltage-sensors>
 ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ㏀ ㏁ ㏂ ㏃ ㏄ ㏅ ㏆ ㏇ ㏈ ㏉ ㏊ ㏋ ㏌ ㏍ ㏎ ㏏ ㏐ ㏑ ㏒ ㏓ ㏔ ㏕ ㏖ ㏗ ㏘ ㏙ ㏚ ㏛ ㏜ ㏝ ㏞ ㏟ ㏠ ㏡ ㏢ ㏣ ㏤ ㏥ ㏦ ㏧ ㏨ ㏩ ㏪ ㏫ ㏬ ㏭ ㏮ ㏯ ㏰ ㏱ ㏲ ㏳ ㏴ ㏵ ㏶ ㏷ ㏸ ㏹ ㏺ ㏻ ㏼ ㏽ ㏾ ㏿ 㐀 㐁 㐂 㐃 㐄 㐅 㐆 㐇 㐈 㐉 㐊 㐋 㐌 㐍 㐎 㐏 㐐 㐑 㐒 㐓 㐔 㐕 㐖 㐗 㐘 㐙 㐚 㐛 㐜 㐝 㐞 㐟 㐠 㐡 㐢 㐣 㐤 㐥 㐦 㐧 㐨 㐩 㐪 㐫 㐬 㐭 㐮 㐯 㐰 㐱 㐲 㐳 㐴 㐵 㐶 㐷 㐸 㐹 㐺 㐻 㐼 㐽 㐾 㐿 㑀 㑁 㑂 㑃 㑄 㑅 㑆 㑇 㑈 㑉 㑊 㑋 㑌 㑍 㑎 㑏 㑐 㑑 㑒 㑓 㑔 㑕 㑖 㑗 㑘 㑙 㑚 㑛 㑜 㑝 㑞 㑟 㑠 㑡 㑢 㑣 㑤 㑥 㑦 㑧 㑨 㑩 㑪 㑫 㑬 㑭 㑮 㑯 㑰 㑱 㑲 㑳 㑴 㑵 㑶 㑷 㑸 㑹 㑺 㑻 㑼 㑽 㑾 㑿 㒀 㒁 㒂 㒃 㒄 㒅 㒆 㒇 㒈 㒉 㒊 㒋 㒌 㒍 㒎 㒏 㒐 㒑 㒒 㒓 㒔 㒕 㒖 㒗 㒘 㒙 㒚 㒛 㒜 㒝 㒞 㒟 㒠 㒡 㒢 㒣 㒤 㒥 㒦 㒧 㒨 㒩 㒪 㒫 㒬 㒭 㒮 㒯 㒰 㒱 㒲 㒳 㒴 㒵 㒶 㒷 㒸 㒹 㒺 㒻 㒼 㒽 㒾 㒿 㓀 㓁 㓂 㓃 㓄 㓅 㓆 㓇 㓈 㓉 㓊 㓋 㓌 㓍 㓎 㓏 㓐 㓑 㓒 㓓 㓔 㓕 㓖 㓗 㓘 㓙 㓚 㓛 㓜 㓝 㓞 㓟 㓠 㓡 㓢 㓣 㓤 㓥 㓦 㓧 㓨 㓩 㓪 㓫 㓬 㓭 㓮 㓯 㓰 㓱 㓲 㓳 㓴 㓵 㓶 㓷 㓸 㓹 㓺 㓻 㓼 㓽 㓾 㓿 㔀 㔁 㔂 㔃 㔄 㔅 㔆 㔇 㔈 㔉 㔊 㔋 㔌 㔍 㔎 㔏 㔐 㔑 㔒 㔓 㔔 㔕 㔖 㔗 㔘 㔙 㔚 㔛 㔜 㔝 㔞 㔟 㔠 㔡 㔢 㔣 㔤 㔥 㔦 㔧 㔨 㔩 㔪 㔫 㔬 㔭 㔮 㔯 㔰 㔱 㔲 㔳 㔴 㔵 㔶 㔷 㔸 㔹 㔺 㔻 㔼 㔽 㔾 㔿 㕀 㕁 㕂 㕃 㕄 㕅 㕆 㕇 㕈 㕉 㕊 㕋 㕌 㕍 㕎 㕏 㕐 㕑 㕒 㕓 㕔 㕕 㕖 㕗 㕘 㕙 㕚 㕛 㕜 㕝 㕞 㕟 㕠 㕡 㕢 㕣 㕤 㕥 㕦 㕧 㕨 㕩 㕪 㕫 㕬 㕭 㕮 㕯 㕰 㕱 㕲 㕳 㕴 㕵 㕶 㕷 㕸 㕹 㕺 㕻 㕼 㕽 㕾 㕿 㖀 㖁 㖂 㖃 㖄 㖅 㖆 㖇 㖈 㖉 㖊 㖋 㖌 㖍 㖎 㖏 㖐 㖑 㖒 㖓 㖔 㖕 㖖 㖗 㖘 㖙 㖚 㖛 㖜 㖝 㖞 㖟 㖠 㖡 㖢 㖣 㖤 㖥 㖦 㖧 㖨 㖩 㖪 㖫 㖬 㖭 㖮 㖯 㖰 㖱 㖲 㖳 㖴 㖵 㖶 㖷 㖸 㖹 㖺 㖻 㖼 㖽 㖾 㖿 㗀 㗁 㗂 㗃 㗄 㗅 㗆 㗇 㗈 㗉 㗊 㗋 㗌 㗍 㗎 㗏 㗐 㗑 㗒 㗓 㗔 㗕 㗖 㗗 㗘 㗙 㗚 㗛 㗜 㗝 㗞 㗟 㗠 㗡 㗢 㗣 㗤 㗥 㗦 㗧 㗨 㗩 㗪 㗫 㗬 㗭 㗮 㗯 㗰 㗱 㗲 㗳 㗴 㗵 㗶 㗷 㗸 㗹 㗺 㗻 㗼 㗽 㗾 㗿 㘀 㘁 㘂 㘃 㘄 㘅 㘆 㘇 㘈 㘉 㘊 㘋 㘌 㘍 㘎 㘏 㘐 㘑 㘒 㘓 㘔 㘕 㘖 㘗 㘘 㘙 㘚 㘛 㘜 㘝 㘞 㘟 㘠 㘡 㘢 㘣 㘤 㘥 㘦 㘧 㘨 㘩 㘪 㘫 㘬 㘭 㘮 㘯 㘰 㘱 㘲 㘳 㘴 㘵 㘶 㘷 㘸 㘹 㘺 㘻 㘼 㘽 㘾 㘿 㙀 㙁 㙂 㙃 㙄 㙅 㙆 㙇 㙈 㙉 㙊 㙋 㙌 㙍 㙎 㙏 㙐 㙑 㙒 㙓 㙔 㙕 㙖 㙗 㙘 㙙 㙚 㙛 㙜 㙝 㙞 㙟 㙠 㙡 㙢 㙣 㙤 㙥 㙦 㙧 㙨 㙩 㙪 㙫 㙬 㙭 㙮 㙯 㙰 㙱 㙲 㙳 㙴 㙵 㙶 㙷 㙸 㙹 㙺 㙻 㙼 㙽 㙾 㙿 㚀 㚁 㚂 㚃 㚄 㚅 㚆 㚇 㚈 㚉 㚊 㚋 㚌 㚍 㚎 㚏 㚐 㚑 㚒 㚓 㚔 㚕 㚖 㚗 㚘 㚙 㚚 㚛 㚜 㚝 㚞 㚟 㚠 㚡 㚢 㚣 㚤 㚥 㚦 㚧 㚨 㚩 㚪 㚫 㚬 㚭 㚮 㚯 㚰 㚱 㚲 㚳 㚴 㚵 㚶 㚷 㚸 㚹 㚺 㚻 㚼 㚽 㚾 㚿 㞀 㞁 㞂 㞃 㞄 㞅 㞆 㞇 㞈 㞉 㞊 㞋 㞌 㞍 㞎 㞏 㞐 㞑 㞒 㞓 㞔 㞕 㞖 㞗 㞘 㞙 㞚 㞛 㞜 㞝 㞞 㞟 㞠 㞡 㞢 㞣 㞤 㞥 㞦 㞧 㞨 㞩 㞪 㞫 㞬 㞭 㞮 㞯 㞰 㞱 㞲 㞳 㞴 㞵 㞶 㞷 㞸 㞹 㞺 㞻 㞼 㞽 㞾 㞿 㟀 㟁 㟂 㟃 㟄 㟅 㟆 㟇 㟈 㟉 㟊 㟋 㟌 㟍 㟎 㟏 㟐 㟑 㟒 㟓 㟔 㟕 㟖 㟗 㟘 㟙 㟚 㟛 㟜 㟝 㟞 㟟 㟠 㟡 㟢 㟣 㟤 㟥 㟦 㟧 㟨 㟩 㟪 㟫 㟬 㟭 㟮 㟯 㟰 㟱 㟲 㟳 㟴 㟵 㟶 㟷 㟸 㟹 㟺 㟻 㟼 㟽 㟾 㟿 㠀 㠁 㠂 㠃 㠄 㠅 㠆 㠇 㠈 㠉 㠊 㠋 㠌 㠍 㠎 㠏 㠐 㠑 㠒 㠓 㠔 㠕 㠖 㠗 㠘 㠙 㠚 㠛 㠜 㠝 㠞 㠟 㠠 㠡 㠢 㠣 㠤 㠥 㠦 㠧 㠨 㠩 㠪 㠫 㠬 㠭 㠮 㠯 㠰 㠱 㠲 㠳 㠴 㠵 㠶 㠷 㠸 㠹 㠺 㠻 㠼 㠽 㠾 㠿 㡀 㡁 㡂 㡃 㡄 㡅 㡆 㡇 㡈 㡉 㡊 㡋 㡌 㡍 㡎 㡏 㡐 㡑 㡒 㡓 㡔 㡕 㡖 㡗 㡘 㡙 㡚 㡛 㡜 㡝 㡞 㡟 㡠 㡡 㡢 㡣 㡤 㡥 㡦 㡧 㡨 㡩 㡪 㡫 㡬 㡭 㡮 㡯 㡰 㡱 㡲 㡳 㡴 㡵 㡶 㡷 㡸 㡹 㡺 㡻 㡼 㡽 㡾 㡿 㢀 㢁 㢂 㢃 㢄 㢅 㢆 㢇 㢈 㢉 㢊 㢋 㢌 㢍 㢎 㢏 㢐 㢑 㢒 㢓 㢔 㢕 㢖 㢗 㢘 㢙 㢚 㢛 㢜 㢝 㢞 㢟 㢠 㢡 㢢 㢣 㢤 㢥 㢦 㢧 㢨 㢩 㢪 㢫 㢬 㢭 㢮 㢯 㢰 㢱 㢲 㢳 㢴 㢵 㢶 㢷 㢸 㢹 㢺 㢻 㢼 㢽 㢾 㢿 㣀 㣁 㣂 㣃 㣄 㣅 㣆 㣇 㣈 㣉 㣊 㣋 㣌 㣍 㣎 㣏 㣐 㣑 㣒 㣓 㣔 㣕 㣖 㣗 㣘 㣙 㣚 㣛 㣜 㣝 㣞 㣟 㣠 㣡 㣢 㣣 㣤 㣥 㣦 㣧 㣨 㣩 㣪 㣫 㣬 㣭 㣮 㣯 㣰 㣱 㣲 㣳 㣴 㣵 㣶 㣷 㣸 㣹 㣺 㣻 㣼 㣽 㣾 㣿 㤀 㤁 㤂 㤃 㤄 㤅 㤆 㤇 㤈 㤉 㤊 㤋 㤌 㤍 㤎 㤏 㤐 㤑 㤒 㤓 㤔 㤕 㤖 㤗 㤘 㤙 㤚 㤛 㤜 㤝 㤞 㤟 㤠 㤡 㤢 㤣 㤤 㤥 㤦 㤧 㤨 㤩 㤪 㤫 㤬 㤭 㤮 㤯 㤰 㤱 㤲 㤳 㤴 㤵 㤶 㤷 㤸 㤹 㤺 㤻 㤼 㤽 㤾 㤿 㥀 㥁 㥂 㥃 㥄 㥅 㥆 㥇 㥈 㥉 㥊 㥋 㥌 㥍 㥎 㥏 㥐 㥑 㥒 㥓 㥔 㥕 㥖 㥗 㥘 㥙 㥚 㥛 㥜 㥝 㥞 㥟 㥠 㥡 㥢 㥣 㥤 㥥 㥦 㥧 㥨 㥩 㥪 㥫 㥬 㥭 㥮 㥯 㥰 㥱 㥲 㥳 㥴 㥵 㥶 㥷 㥸 㥹 㥺 㥻 㥼 㥽 㥾 㥿 㦀 㦁 㦂 㦃 㦄 㦅 㦆 㦇 㦈 㦉 㦊 㦋 㦌 㦍 㦎 㦏 㦐 㦑 㦒 㦓 㦔 㦕 㦖 㦗 㦘 㦙 㦚 㦛 㦜 㦝 㦞 㦟 㦠 㦡 㦢 㦣 㦤 㦥 㦦 㦧 㦨 㦩 㦪 㦫 㦬 㦭 㦮 㦯 㦰 㦱 㦲 㦳 㦴 㦵 㦶 㦷 㦸 㦹 㦺 㦻 㦼 㦽 㦾 㦿 㧀 㧁 㧂 㧃 㧄 㧅 㧆 㧇 㧈 㧉 㧊 㧋 㧌 㧍 㧎 㧏 㧐 㧑 㧒 㧓 㧔 㧕 㧖 㧗 㧘 㧙 㧚 㧛 㧜 㧝 㧞 㧟 㧠 㧡 㧢 㧣 㧤 㧥 㧦 㧧 㧨 㧩 㧪 㧫 㧬 㧭 㧮 㧯 㧰 㧱 㧲 㧳 㧴 㧵 㧶 㧷 㧸 㧹 㧺 㧻 㧼 㧽 㧾 㧿 㨀 㨁 㨂 㨃 㨄 㨅 㨆 㨇 㨈 㨉 㨊 㨋 㨌 㨍 㨎 㨏 㨐 㨑 㨒 㨓 㨔 㨕 㨖 㨗 㨘 㨙 㨚 㨛 㨜 㨝 㨞 㨟 㨠 㨡 㨢 㨣 㨤 㨥 㨦 㨧 㨨 㨩 㨪 㨫 㨬 㨭 㨮 㨯 㨰 㨱 㨲 㨳 㨴 㨵 㨶 㨷 㨸 㨹 㨺 㨻 㨼 㨽 㨾 㨿 㩀 㩁 㩂 㩃 㩄 㩅 㩆 㩇 㩈 㩉 㩊 㩋 㩌 㩍 㩎 㩏 㩐 㩑 㩒 㩓 㩔 㩕 㩖 㩗 㩘 㩙 㩚 㩛 㩜 㩝 㩞 㩟 㩠 㩡 㩢 㩣 㩤 㩥 㩦 㩧 㩨 㩩 㩪 㩫 㩬 㩭 㩮 㩯 㩰 㩱 㩲 㩳 㩴 㩵 㩶 㩷 㩸 㩹 㩺 㩻 㩼 㩽 㩾 㩿 㪀 㪁 㪂 㪃 㪄 㪅 㪆 㪇 㪈 㪉 㪊 㪋 㪌 㪍 㪎 㪏 㪐 㪑 㪒 㪓 㪔 㪕 㪖 㪗 㪘 㪙 㪚 㪛 㪜 㪝 㪞 㪟 㪠 㪡 㪢 㪣 㪤 㪥 㪦 㪧 㪨 㪩 㪪 㪫 㪬 㪭 㪮 㪯 㪰 㪱 㪲 㪳 㪴 㪵 㪶 㪷 㪸 㪹 㪺 㪻 㪼 㪽 㪾 㪿 㫀 㫁 㫂 㫃 㫄 㫅 㫆 㫇 㫈 㫉 㫊 㫋 㫌 㫍 㫎 㫏 㫐 㫑 㫒 㫓 㫔 㫕 㫖 㫗 㫘 㫙 㫚 㫛 㫜 㫝 㫞 㫟 㫠 㫡 㫢 㫣 㫤 㫥 㫦 㫧 㫨 㫩 㫪 㫫 㫬 㫭 㫮 㫯 㫰 㫱 㫲 㫳 㫴 㫵 㫶 㫷 㫸 㫹 㫺 㫻 㫼 㫽 㫾 㫿 㬀 㬁 㬂 㬃 㬄 㬅 㬆 㬇 㬈 㬉 㬊 㬋 㬌 㬍 㬎 㬏 㬐 㬑 㬒 㬓 㬔 㬕 㬖 㬗 㬘 㬙 㬚 㬛 㬜 㬝 㬞 㬟 㬠 㬡 㬢 㬣 㬤 㬥 㬦 㬧 㬨 㬩 㬪 㬫 㬬 㬭 㬮 㬯 㬰 㬱 㬲 㬳 㬴 㬵 㬶 㬷 㬸 㬹 㬺 㬻 㬼 㬽 㬾 㬿 㭀 㭁 㭂 㭃 㭄 㭅 㭆 㭇 㭈 㭉 㭊 㭋 㭌 㭍 㭎 㭏 㭐 㭑 㭒 㭓 㭔 㭕 㭖 㭗 㭘 㭙 㭚 㭛 㭜 㭝 㭞 㭟 㭠 㭡 㭢 㭣 㭤 㭥 㭦 㭧 㭨 㭩 㭪 㭫 㭬 㭭 㭮 㭯 㭰 㭱 㭲 㭳 㭴 㭵 㭶 㭷 㭸 㭹 㭺 㭻 㭼 㭽 㭾 㭿 㮀 㮁 㮂 㮃 㮄 㮅 㮆 㮇 㮈 㮉 㮊 㮋 㮌 㮍 㮎 㮏 㮐 㮑 㮒 㮓 㮔 㮕 㮖 㮗 㮘 㮙 㮚 㮛 㮜 㮝 㮞 㮟 㮠 㮡 㮢 㮣 㮤 㮥 㮦 㮧 㮨 㮩 㮪 㮫 㮬 㮭 㮮 㮯 㮰 㮱 㮲 㮳 㮴 㮵 㮶 㮷 㮸 㮹 㮺 㮻 㮼 㮽 㮾 㮿 㯀 㯁 㯂 㯃 㯄 㯅 㯆 㯇 㯈 㯉 㯊 㯋 㯌 㯍 㯎 㯏 㯐 㯑 㯒 㯓 㯔 㯕 㯖 㯗 㯘 㯙 㯚 㯛 㯜 㯝 㯞 㯟 㯠 㯡 㯢 㯣 㯤 㯥 㯦 㯧 㯨 㯩 㯪 㯫 㯬 㯭 㯮 㯯 㯰 㯱 㯲 㯳 㯴 㯵 㯶 㯷 㯸 㯹 㯺 㯻 㯼 㯽 㯾 㯿 㰀 㰁 㰂 㰃 㰄 㰅 㰆 㰇 㰈 㰉 㰊 㰋 㰌 㰍 㰎 㰏 㰐 㰑 㰒 㰓 㰔 㰕 㰖 㰗 㰘 㰙 㰚 㰛 㰜 㰝 㰞 㰟 㰠 㰡 㰢 㰣 㰤 㰥 㰦 㰧 㰨 㰩 㰪 㰫 㰬 㰭 㰮 㰯 㰰 㰱 㰲 㰳 㰴 㰵 㰶 㰷 㰸 㰹 㰺 㰻 㰼 㰽 㰾 㰿 㱀 㱁 㱂 㱃 㱄 㱅 㱆 㱇 㱈 㱉 㱊 㱋 㱌 㱍 㱎 㱏 㱐 㱑 㱒 㱓 㱔 㱕 㱖 㱗 㱘 㱙 㱚 㱛 㱜 㱝 㱞 㱟 㱠 㱡 㱢 㱣 㱤 㱥 㱦 㱧 㱨 㱩 㱪 㱫 㱬 㱭 㱮 㱯 㱰 㱱 㱲 㱳 㱴 㱵 㱶 㱷 㱸 㱹 㱺 㱻 㱼 㱽 㱾 㱿 㲀 㲁 㲂 㲃 㲄 㲅 㲆 㲇 㲈 㲉 㲊 㲋 㲌 㲍 㲎 㲏 㲐 㲑 㲒 㲓 㲔 㲕 㲖 㲗 㲘 㲙 㲚 㲛 㲜 㲝 㲞 㲟 㲠 㲡 㲢 㲣 㲤 㲥 㲦 㲧 㲨 㲩 㲪 㲫 㲬 㲭 㲮 㲯 㲰 㲱 㲲 㲳 㲴 㲵 㲶 㲷 㲸 㲹 㲺 㲻 㲼 㲽 㲾 㲿 㳀 㳁 㳂 㳃 㳄 㳅 㳆 㳇 㳈 㳉 㳊 㳋 㳌 㳍 㳎 㳏 㳐 㳑 㳒 㳓 㳔 㳕 㳖 㳗 㳘 㳙 㳚 㳛 㳜 㳝 㳞 㳟 㳠 㳡 㳢 㳣 㳤 㳥 㳦 㳧 㳨 㳩 㳪 㳫 㳬 㳭 㳮 㳯 㳰 㳱 㳲 㳳 㳴 㳵 㳶 㳷 㳸 㳹 㳺 㳻 㳼 㳽 㳾 㳿 㴀 㴁 㴂 㴃 㴄 㴅 㴆 㴇 㴈 㴉 㴊 㴋 㴌 㴍 㴎 㴏 㴐 㴑 㴒 㴓 㴔 㴕 㴖 㴗 㴘 㴙 㴚 㴛 㴜 㴝 㴞 㴟 㴠 㴡 㴢 㴣 㴤 㴥 㴦 㴧 㴨 㴩 㴪 㴫 㴬 㴭 㴮 㴯 㴰 㴱 㴲 㴳 㴴 㴵 㴶 㴷 㴸 㴹 㴺 㴻 㴼 㴽 㴾 㴿 㵀 㵁 㵂 㵃 㵄 㵅 㵆 㵇 㵈 㵉 㵊 㵋 㵌 㵍 㵎 㵏 㵐 㵑 㵒 㵓 㵔 㵕 㵖 㵗 㵘 㵙 㵚 㵛 㵜 㵝 㵞 㵟 㵠 㵡 㵢 㵣 㵤 㵥 㵦 㵧 㵨 㵩 㵪 㵫 㵬 㵭 㵮 㵯 㵰 㵱 㵲 㵳 㵴 㵵 㵶 㵷 㵸 㵹 㵺 㵻 㵼 㵽 㵾 㵿 㶀 㶁 㶂 㶃 㶄 㶅 㶆 㶇 㶈 㶉 㶊 㶋 㶌 㶍 㶎 㶏 㶐 㶑 㶒 㶓 㶔 㶕 㶖 㶗 㶘 㶙 㶚 㶛 㶜 㶝 㶞 㶟 㶠 㶡 㶢 㶣 㶤 㶥 㶦 㶧 㶨 㶩 㶪 㶫 㶬 㶭 㶮 㶯 㶰 㶱 㶲 㶳 㶴 㶵 㶶 㶷 㶸 㶹 㶺 㶻 㶼 㶽 㶾 㶿 㷀 㷁 㷂 㷃 㷄 㷅 㷆 㷇 㷈 㷉 㷊 㷋 㷌 㷍 㷎 㷏 㷐 㷑 㷒 㷓 㷔 㷕 㷖 㷗 㷘 㷙 㷚 㷛 㷜 㷝 㷞 㷟 㷠 㷡 㷢 㷣 㷤 㷥 㷦 㷧 㷨 㷩 㷪 㷫 㷬 㷭 㷮 㷯 㷰 㷱 㷲 㷳 㷴 㷵 㷶 㷷 㷸 㷹 㷺 㷻 㷼 㷽 㷾 㷿 㸀 㸁 㸂 㸃 㸄 㸅 㸆 㸇 㸈 㸉 㸊 㸋 㸌 㸍 㸎 㸏 㸐 㸑 㸒 㸓 㸔 㸕 㸖 㸗 㸘 㸙 㸚 㸛 㸜 㸝 㸞 㸟 㸠 㸡 㸢 㸣 㸤 㸥 㸦 㸧 㸨 㸩 㸪 㸫 㸬 㸭 㸮 㸯 㸰 㸱 㸲 㸳 㸴 㸵 㸶 㸷 㸸 㸹 㸺 㸻 㸼 㸽 㸾 㸿 㹀 㹁 㹂 㹃 㹄 㹅 㹆 㹇 㹈 㹉 㹊 㹋 㹌 㹍 㹎 㹏 㹐 㹑 㹒 㹓 㹔 㹕 㹖 㹗

5. 1. 4 形状記憶合金を用いた伸展機構

本衛星でのメインミッションは宇宙天気研究のための地磁気の精密な計測であるが、高感度な磁気センサーを用いた計測を実施するには計測に対して衛星本体の残留磁気や内部回路の磁気ノイズの影響を避ける必要がある。そのため、一般的に衛星から伸展ブームを伸ばしてその先端に磁気センサーを搭載する手法がとられる。ただし、本プロジェクトのような超小型衛星においては衛星のサイズに対し必要な進展長が相対的に大きくなるため、複雑な進展機構を搭載することは難しくかつ、安価で低リスクな進展方法の検討が必要であった。これに対して本ミッションでは形状記憶合金を用いた磁力計用伸展機構を提案した。

形状記憶合金を用いた 磁気計測器の展開機構

3/29 | MDR44

目的

形状記憶合金を用いた、展開機構の開発

展開機構に形状記憶合金を用いることによって、既存の展開機構よりも寸法が容易になり、必要なスペースも縮小できる。

今回のミッションで、この技術が実証できれば、アンテナ展開などにも活用できると期待している。

背景

磁気計を用いるに当たっての、人工衛星の磁場の影響の軽減

- 磁気計で磁気を計測する際、衛星の出す磁場に影響され観測精度が落ちてしまう
- 伸展マスト等での対策が必要

学生制作の超小型衛星での展開機構の制作

- スペースや重量が限られる学生制作の超小型衛星では複雑な伸展機構や展開機構の開発が難しい
- 形状記憶合金を用いることで従来よりも省スペースで簡素な展開機構を実現できる

意義

形状記憶合金を用いた展開機構

- 従来の金属バネよりも低い応力でゆっくりと展開できる
- 任意したタイミングで展開できる
- 展開の距離方にモーターなどの大きな部品を必要としない
- 低温の場合、形状加工が容易に行える
- 今後の宇宙開発において進展性、発展性が見込まれる
- 展開が失敗した場合の他のミッションへの影響が少ない

意義

- 従来の金属バネよりも低い応力でゆっくりと展開できる
- 低温時（マルテンサイト相）加工が容易に行える

材料	弾性率 (GPa)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
Al 6061-T6	70	270	350
Al 7075-T6	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570
Al 7050-T7451	71	500	570



意義

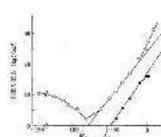
【1】の表から展開後は展開機構を固定するほどの強度はないと考えられる。



展開時の展開するタイミングは、
従前の差動制御が完了した後に望ましい。

意義

展開に必要なトルクが得られるか



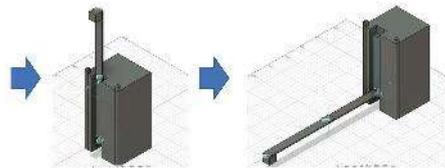
自己加熱による形状記憶合金の形状回復力

形状回復圧力は 0°C 付近でおよそ 30kgf/mm²

約 294MPa (N/mm²)

イメージ

- 展開イメージ



実現可能性

- 形状記憶合金の伸展機構としての伸展力は数機のスライドを駆動したものを賅する。
- 伸展機構の実現可能性について以下を参考資料とした。
(高永さんの卒業論文「SU CubeSat のパネル展開機構の設計」)
https://mail.kyushu-u.ac.jp/~sharepoint.com/ib/s/erp_SpaceStudent/Project/EZQA-/Zip0JGpg_OYFpeh9EBZDRsNU4RKrRh0Q0bay/accpg?e=upcbs&S

実現可能性



実現可能性



図 5.1.4.1-1
VTCJGA 実装イメージ

実現可能性

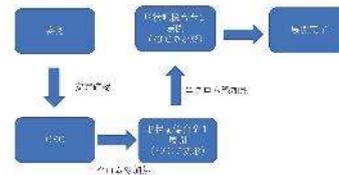


図 5.1.4.1-2
伸展機構の SMA 駆動イメージ

サクセスレベル

サクセスレベル	定義
Minimum	展開し始めたことを確認する
Full	展開機構が完全に展開したことを確認する

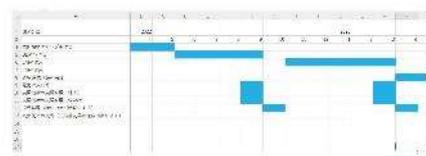
Mission model



システム要求

要件	方法	優先度
展開機構が動作し始める	モーター駆動 (形状記憶合金駆動)	○
展開機構が動作し始める	モーター駆動	○

開発計画



参考資料

- 高永さんの卒業論文「SU CubeSat のパネル展開機構の設計」
https://mail.kyushu-u.ac.jp/~sharepoint.com/ib/s/erp_SpaceStudent/Project/EZQA-/Zip0JGpg_OYFpeh9EBZDRsNU4RKrRh0Q0bay/accpg?e=upcbs&S

参考資料

- 1) 伸展機構の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 2) SMA の特性
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 3) SMA の応用
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 4) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 5) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 6) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 7) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 8) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 9) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>
- 10) SMA の駆動機構
<https://www.youtube.com/watch?v=2k7k7k7k7k7>

図 5.1.4.1 形状記憶合金を用いた伸展機構の発表資料

5. 2 九州大学における地上局の設置

本プロジェクトで製造し、打ち上げる人工衛星の運用にあたり、宇宙機との通信のため、地上無線局が必要になる。地上局施設については、九州工業大学では、現有施設を使用することができるが、九州大学には、施設そのものが存在しないため、今年度、地上局の建設を行った。地上局は、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター屋上に設置した 430Hz 帯の可動式タワーアンテナと、同センター2 階に設置した無線機本体及びコントロール用のパーソナルコンピュータで構成される。また、地上局運用にあたり必要な無線免許については、業務協力者である九州大学国際宇宙天気科学・教育センター学術研究員の魚住が所有するアマチュア無線 1 級を使用する予定である。



図 5.2.1 アンテナ施工の様子（1）

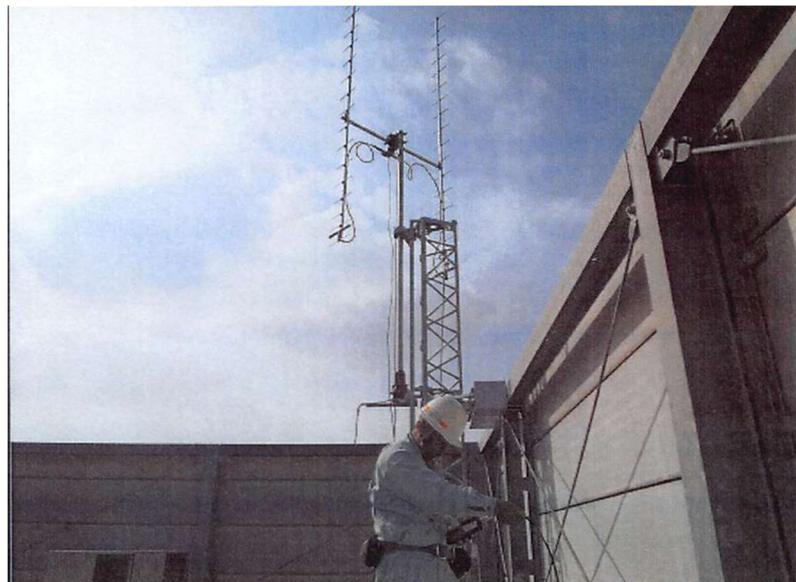


図 5.2.2 アンテナ施工の様子（2）



図 5.2.3 地上局（アンテナ部）



図 5.2.4 地上局（無線機部）



図 5.2.5 地上局（コントロール PC 部）

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

2021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。

「九州工業大学および九州大学のスタッフ間で定期的な（月に1回程度）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。九州工業大学、九州大学のそれぞれにおいて外部協力機関との定期的な（年度内2回程度）ミーティングを行い、学生教育セミナーや衛星開発に関する協力体制を協議する。」

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2021年月より概ね1回月に1回の頻度で、連携ミーティングを行ってきた。これらのミーティングにおいて、九州工業大学と九州大学のそれぞれのプログラム実施状況を担当教員間での情報共有し次の1か月において両大学が実施すべきアクションアイテムの確認を行ってきた。

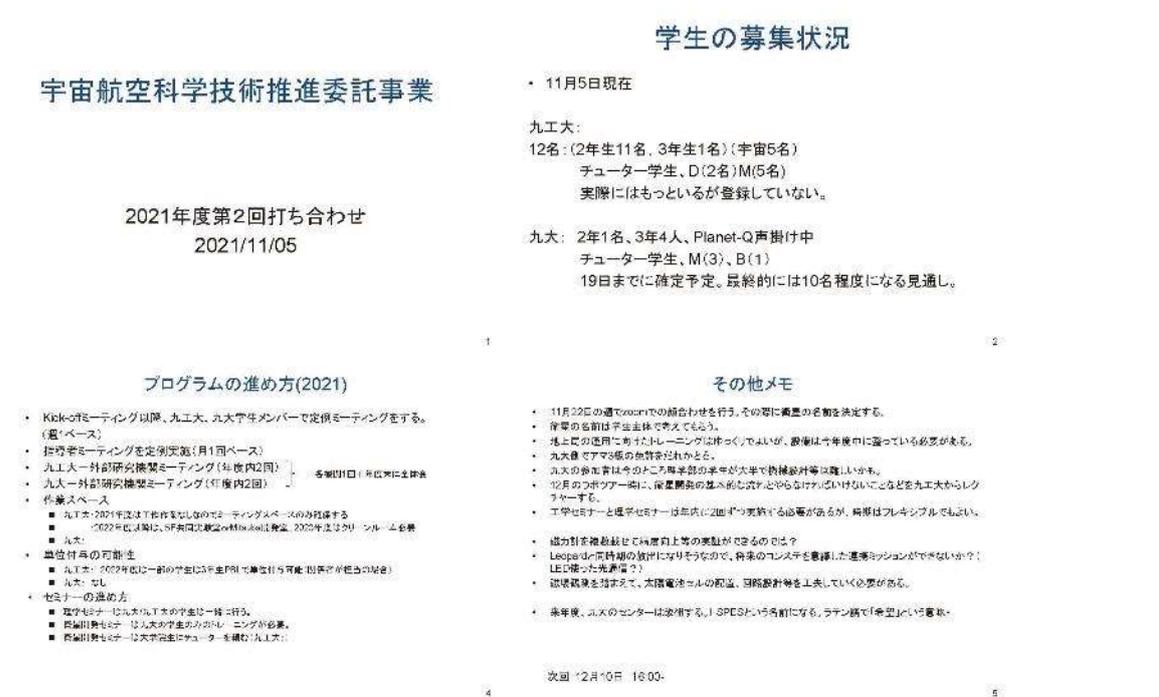


図 6.1 九工大―九大での打ち合わせ時の資料の例

また、外部との連携に関しては、九州大学においては、主に東北大学及び京都大学と密接に協力に関する打ち合わせを行い、4.3章に報告した理学セミナーを実施した。来年度以降京都大学からもセミナーを受ける予定であり具体的な方法についての打ち合わせを継続して実施している。九州工業大学は山口県宇宙クラスター企業の定例会議に毎月参加することによって、本プログラムの進捗状況の報告及び今後の協力に関する協議を継続的に行ってきた。2021年度は主に我々の活動に関する報告を中心に行い参画企業のプログラムの趣旨や目的を共有してもらうことに注力した。これらの結果を踏まえて、2022年度以降の活動において、(1)山口県宇宙クラスター参画企業を訪問しての工場見学(2)山口県宇宙クラスターで実施している宇宙プロジェクトに関する講演(3)衛星のEM開発時における機械加工等に関する技術相談について具体的な協力体制を構築することができた。

2021年3月29日にMDRに先行して、外部協力者を含めて年度末報告会を実施した。この報告会において、2021年度におけるプログラム全体の成果報告と次年度実施予定の計画について参加者間で情報の共有を行った。

文科省委託費

「大学間連携による理工学融合実践的宇宙ミッション早期教育プログラム」

2021年度報告会

日時： 2022年3月29日（火）13:00-13:45
 場所： Zoom 会議

議事

- (1) 2021年度の全体報告 【北村（九工大）】
- (2) 2021年度の九州大学からの報告 【阿部（九大）】
- (3) 2022年度の計画について 【北村（九工大）】

以上

図 6.2 年度末報告会の議事次第



図 6.3 年度末報告会における発表資料(抜粋)

7. 2021 年度のプログラム実施に関する学生の評価

2021 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。30 件の回答が寄せられ、回答率は 58%で、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

1 年生	6
2 年生	11
3 年生	7
4 年生	3
大学院以上	3

2021 年度の活動全体に関する回答は、大変良かった及び良かったの肯定的な回答が件であり、全体の 67%であった。目標の 70%にやや届かなかったが、一方で否定的な回答はゼロであった。これは、2021 年度においては実際の衛星開発が開始していないため、セミナー中心の取り組みとなったことが一因と考えられる。

5. 2021年度の活動に参加してみて

詳細

● 大変良かった	8
● 良かった	12
● 普通	10
● あまり良くなかった	0
● 全く良くなかった	0



図 7.1 2021 年度の活動全体に関する評価

九州工業大学で実施した衛星開発セミナーについては、21 件の肯定的評価が得られ不参加の 5 名を除くと、84%の肯定的評価を得られた。衛星開発の前段階として実施したセミナーとして十分に学生の理解を深めることができた。

7. 増井先生の衛星開発セミナーについて

詳細

Insights

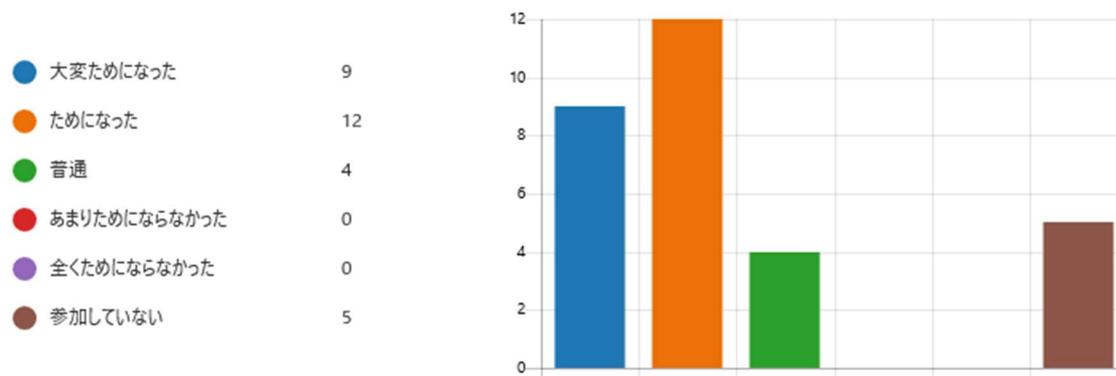


図 7.2 衛星開発セミナー（九工大）に関する評価

九州大学が実施した理学セミナーに関しては、24 件の肯定的な回答を得ることができた。これは不参加の 4 名を除くと 92%の極めて高い満足度であった。理学セミナーにおいては、宇宙環境の理学的な内容を工学系の学生にもわかりやすく衛星の帯電現象などと結びつけながらの解説によって学生の高い理解を得ることができた。

10. 小原先生（東北大）の理学セミナーについて

詳細

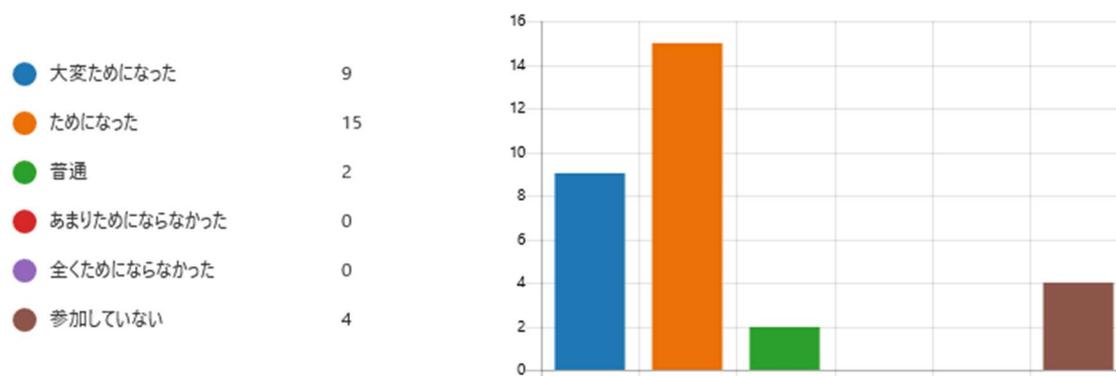


図 7.3 理学セミナー（九大）に関する評価

3 月 21 日から 24 日にかけて九州工業大学で実施した合同合宿については、24 名の肯定的な評価を受け、これは参加者の 92%を占めた。実際に顔を合わせて合同でハンズオンを行うことで参加学生の高い満足度と理解を得ることができた。あまりためにならなかったと回答した学生については、その理由について「内容が難しく、その場しのぎで課題をやってしまったため技術が身に付かなかった」旨の理由を挙げていた。次年度においては、サポート学生の体制等を見直すことで参加学生の理解を助ける工夫が必要であることが分かった。

13. 九工大合宿（3月21日—24日）について

詳細

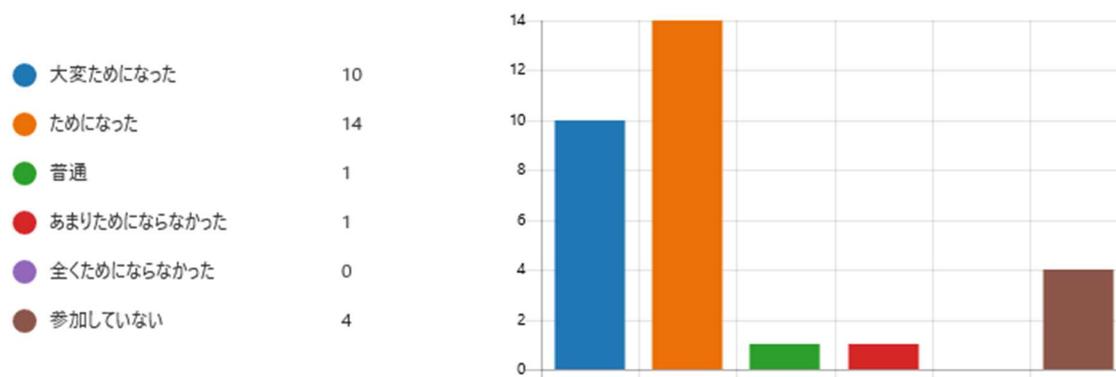


図 7.4 九工大合宿に関する評価

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。

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工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
Three-year Achievements in Human Resource Development Program in Space Engineering	Kentaro Kitamura, Mitsumasa Ikeda, Sei-ichiro Miura, Kazumasa Imai, Taku Takada, Makoto Wakabayashi, Yoshihiro Kajimura, Nobuto Hirakoso, Manabu Shinohara, Masahiro Tokumitsu, Jun Nakaya, Yukikazu Murakami, Yoshihiro Kakinami	33rd International Symposium on Space Technology and Science	2022 年 03 月	国外
異なるレベルを対象とした包括的な人工衛星技術教育とその評価法の開発	北村健太郎, 梶村好宏, 池田光優, 高田拓, 村上幸一, 今井一雅, 平社信人, 西尾正則, 若林誠	第65回宇宙科学技術連合講演会	2021 年 11 月	国内
Feasibility Study of Space Weather Observation by CubeSat in LEO	北村 健太郎, 趙孟佑, 吉川 顕正, 魚住 禎司, 阿部 修司, 寺本 万里子, 藤本 晶子	地球電磁気・地球惑星圏学会第150回総会および講演会	2021 年 11 月	

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）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。