

# 「超小型月探査機の高度化に資するコンパクトな衛星地上局システムの開発」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関	福井工業大学 教授 中城智之	実施期間	令和4年度～ 令和6年度 (3年間)	実施規模	予算総額 (契約額) 94百万円		
	研究代表者名					1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	無				32百万円	31百万円	31百万円

## 背景・目的・この事業で目標としたアウトプット

月探査機の増加に対し、月通信を担う地上局は国内外とも大型局に限られ、確保できる通信時間が限られるなど、アクセス機会の制約が顕在化している。特に、近年増加する超小型探査機では、柔軟かつ迅速に支援可能な地上局体制の整備が求められている。

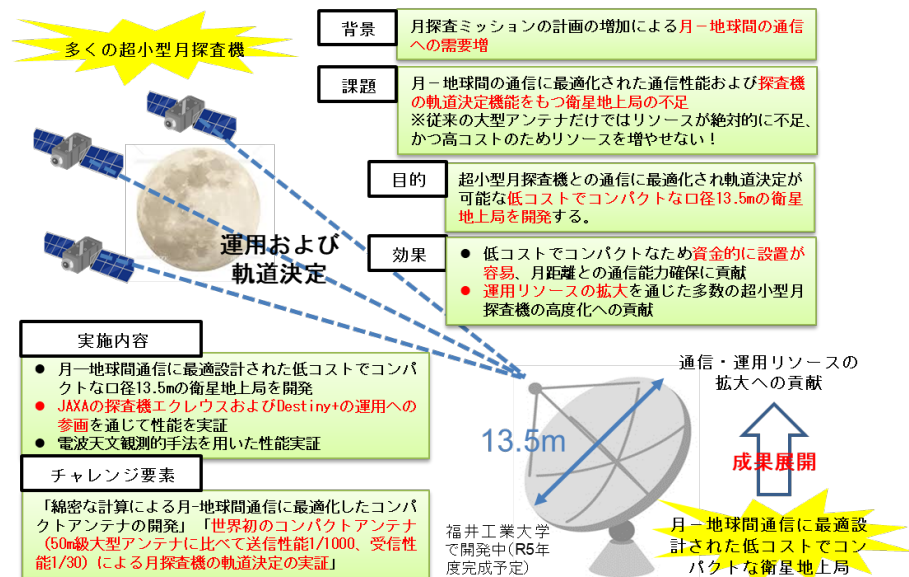
そこで本課題では、口径13.5mの小型パラボラアンテナを用いて月-地球間通信に最適化された衛星地上局を構築し、超小型探査機が要求するコマンド送信・テレメトリ受信・測距を安定的に実施可能なシステムを実現することを目的とした。さらに、運用手順・体制を整え、大学拠点として月探査機の運用へ自律的に参画できる基盤づくりを進めた。その達成に向け、TSUKIMI探査機との連携による送受信・測距の適合試験、DESTINY+プロジェクトとの連携によるネットワーク接続試験、実際の月探査機の信号受信を通じた性能確認を行うことを主要アウトプットとして掲げた。また、小型地上局を基盤とする新たな月探査運用モデルの提示や、次期探査機の受け入れを見据えた運用連携の推進を目指した。

あわせて、月通信を担う技術者の育成にも重点を置き、実運用への参加を通じて学生が実践的技能を習得できる教育環境を形成し、将来の月探査を支える人材育成を進めた。

## 成果展開の状況・期待される波及効果 (事業の目的に関するアウトカム)

本課題により、学術発信・外部連携・教育体制が強化された。

- 学会での成果報告、招待講演、UNISEC ワークショップ開催、宇宙科学研究所談話会での講演により成果を広く発信し、展示会展展を通じて産学連携の機会を拡大した。
- 連携プロジェクトは 計16件に拡大し、月探査機運用に向けた受入体制の構築が進展した。今後は DESTINY+ を含む実運用を通じた技術検証の発展が期待される。
- これらにより、大学拠点による月探査機運用の可能性と、地上局ネットワーク形成に向けた基盤が整備された。
- 宇宙分野の教員 2名増員により教育基盤が強化され、UNISEC 活動を通じて学生の実践経験にもつながった。



# 事業全体概要

## 背景

- 月探査ミッションが増加し、超小型月探査機の需要が拡大している。
- しかし、月-地球間通信に適した地上局は世界的にも限られ、大型局はコスト・設置数に制約がある。
- 多数展開可能な低コスト・高性能な地上局が求められている。

## 目的 -本委託費を使用して世の中の何を変えるか-

本委託費により、月-地球間通信・軌道測定を小型局で可能とする世界初の地上局モデルを実現し、月通信リソースを拡大する。これにより、月探査への参入障壁を下げ、大学を含む多様な主体が月探査へ参画できる社会を実現し、将来の月探査を支える人材育成に貢献する。

## 目標 -目的のために何をするか-

JAXAとの共同研究契約に基づいて月-地球間通信に最適設計された口径13.5mの小型パラボラアンテナによる衛星地上局(以下、FUT衛星地上局)の開発・性能実証を通して、世界に先駆けて超小型月探査機の運用に最適化されたコンパクトな衛星地上局システムの完成を目指す。所期の目標は以下のとおりである:

- (1)JAXAの超小型探査機エクレウスおよびDESTINY+の運用への参画と電波天文観測的手法によって性能実証を行う。
- (2)開発したアンテナシステムをベースに今後の月探査への貢献展開の道筋を見出す。
- (3)今後の宇宙開発を地上局の観点から支える人材育成を行う。

## 実施項目 -目標のために何をするか-

- 実施項目①:プロジェクトの総合推進
- 実施項目②:アンテナシステムの開発:
- 実施項目③:人材育成

## 目的に対する指標

- 月探査関連の新規連携プロジェクト数
- (参考)地球周回小型衛星との新規連携数
- 小型地上局の活用に関する共同件数

## 目標に対する指標

- FUT衛星地上局の仕様決定、基本設計およびアンテナシステムの設置
- 地上試験および電波天文学的手法により基本性能を実証する。
  - ・ 受信感度 ( $G/T > 38.5 \text{ dB/K}$ )
  - ・ 送信能力 ( $\text{EIRP} > 82.3 \text{ dBW}$ )
  - ・ 時刻安定度 ( $10^{-13}$ の桁)
- 探査機との地上試験、運用参加による性能実証
- 地上局一般公開、学部・大学院教育、就職実績

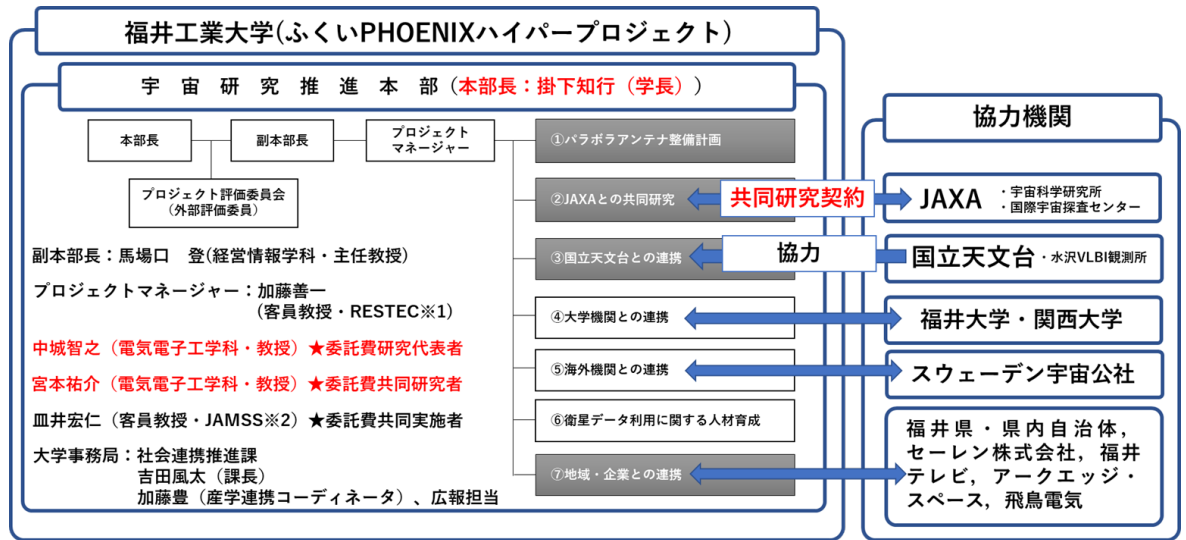
## 事業内でのアウトプット

13.5mアンテナを中核とし月-地球間通信に最適化された地上局システムを構築し、TSUKIMI探査機で送受信・測距性能を確認、DESTINY+とのネットワーク接続試験を実施した。さらに、EQUULEUSおよびLEV-1により月距離での受信実証に成功し、月通信運用手順を整備した。アンテナの基本性能およびVLBI観測により時刻安定性も確認した他、地球周回衛星を活用して運用手順の検証・訓練を行い、学生を主体とした月探査機運用の実践的な人材育成を進めた。

# ①「プロジェクトの総合推進」

## 実施内容・成果

- 研究者・技術者・事務部門が密接に連携した安定した開発体制（図1）を整備し、計画立案、機器調達、試験計画、運用準備、成果検証までを体系的に進めた。特に、プロジェクト管理の明確化により、地上局設備の開発を効率的に遂行し、13.5mアンテナを中心とした月通信対応の地上局システムを段階的に構築した（図2）。
- 当初想定していた EQUULEUS/DESTINY+ の運用機会が制約された状況下でも、JAXAとの共同研究の下、DESTINY+ の運用準備を進めつつ、TSUKIMI 探査機との連携による送受信・測距試験へ柔軟に切替え、計画の目的達成に必要な成果を確保した。また、JAXAとのネットワーク接続の試験も実施し、月通信に求められる送受信系・信号処理系・接続手順等に関する具体的知見を獲得し、地上局運用に必要な整備を進めることができた。
- EQUULEUS/DESTINY+を含む 計9件の衛星プロジェクトと連携を進め、運用要望の調整、パス計画、信号受信機会の検討などを継続的に実施した。これら複数プロジェクトとの関与により、月通信に向けた運用準備・課題抽出が進み、学内外の連携体制構築を進めることができた。
- 大学として継続的な取り組みとするため、R6年7月に本課題の実施体制を「[あわら宇宙センター](#)」に発展させた。



※1 一般財団法人リモート・センシング技術センター, ※2 有人宇宙システム株式会社

図1 本課題における実施体制

年度	R4年度			R5年度			R6年度				
	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3
①工場検査											
②基礎工事											
③アンテナ輸送											
④機器輸送											
⑤アンテナ組立											
⑥エクレウス探査機との通信											
⑦地上および電波天文観測による試験											
⑧VLBI観測の準備											
⑨ウルトラクリーンアップオシレータ単体試験											
⑩TSUKIMI探査機との適合性試験											
⑪VLBI観測による地上局の性能実証											

■ R4年度実施内容 ■ R5年度実施内容 ■ R6年度実施内容

図2 R4~R6年度の進捗状況

# ① 「アンテナシステムの開発」 — 設置および基本性能の確認 —

## 実施内容・成果

- EQUULEUS 探査機の運用要求を満たすことを設計条件として、13.5mアンテナ設備を設置した（図3）。
- 本課題を通じ、13.5mおよび3.9mアンテナを活用した地上局システムを整備し、深宇宙帯も含む複数バンドでの通信環境を構築した（図4）。標準プロトコル（SLE/CCSDS）にも対応し、13.5m系では測距等を実施可能な機能を備えた。これらにより超小型月探査機の運用基盤が形成された。
- 表1に示す主要性能について、地上試験および電波天文学的手法により設計仕様どおりであることを確認した。



図3 整備した13.5mアンテナおよび運用室

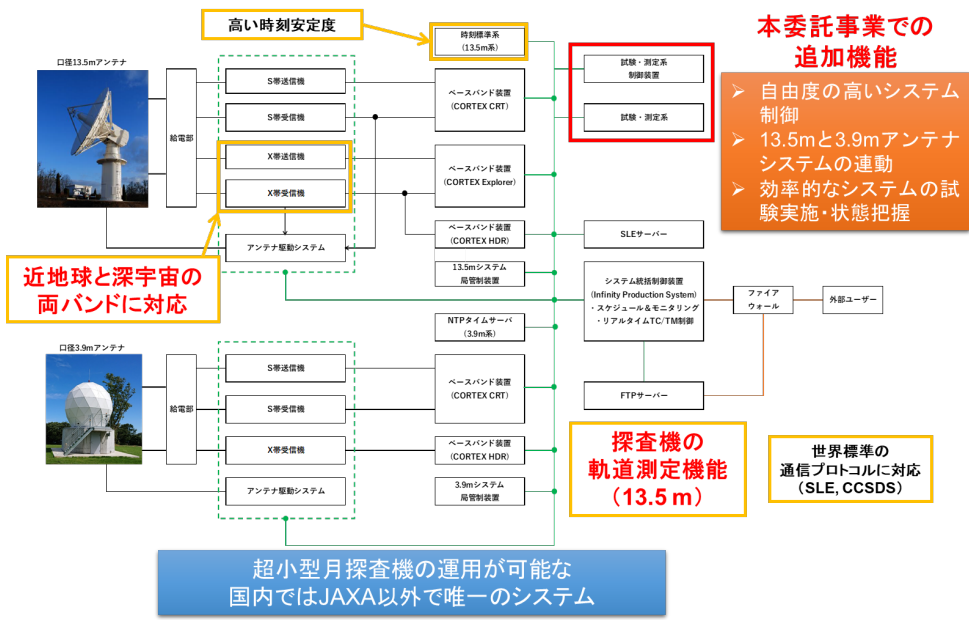


図4 FUT衛星地上局のブロック図

表1 本課題で確認した13.5mアンテナの基本性能

項目		測定・確認結果	設計仕様との適合性
S帯送信	送信周波数	2.025 - 2.120 GHz	合格
	EIRP	71.3 dBW @2.025 GHz	合格
	偏波	RHCP / LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	46.5 dBi @2.073 GHz	合格
S帯受信	受信周波数	2.200 - 2.300 GHz	合格
	G/T	25.9 dBi/K @ 2.200GHz	合格
	偏波	Data: RHCP/LHCP diversity、Tracking: RHCP/LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	47.9 dBi @2.250 GHz	合格
X帯送信	送信周波数	7.145 - 7.235 GHz	合格
	EIRP	82.3 dBW @ 7.145 GHz	合格
	偏波	RHCP / LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	57.7 dBi @7.190 GHz	合格
X帯受信	受信周波数	8.000 - 8.500 GHz	合格
	G/T	38.9 dBi/K @8.250GHz	合格
	偏波	Data: RHCP/LHCP selectable、Tracking: RHCP/LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	59.6 dBi @ 8.250 GHz	合格
ビーム幅	S帯	方位角: 0.588 deg、仰角: 0.598 deg (周波数: 2.2235 GHz)	合格
	X帯	方位角: 0.169 deg、仰角: 0.170 deg (周波数: 7.7425 GHz)	合格
ポインティング精度	静的	9 mdeg	合格
	追跡時	13.2 ~ 38.4 mdeg (仰角に依存)	合格

# ① 「アンテナシステムの開発」 —地上適合性試験による運用性能確認—

## 実施内容・成果

● 概要  
 TSUKIMI 探査機のシミュレータを用いて、地上局システムの送信（コマンド）・受信（テレメトリ）・測距の適合性試験を実施し（図4、5、6）、いずれも要求性能を満たすことを確認した。コマンド送信およびテレメトリ復調が正常に行えること、さらに測距において $\pm 2\text{ m}$ 程度の精度を達成した。この測距精度は、想定した TSUKIMI探査機の運用要求を満たしており、将来の月探査機運用に適用可能な水準である。これにより月探査機運用において実用的な性能を備えることを実証した。

● 実施日程・場所  
 2024年12月16日～12月23日・福井工業大学あわらキャンパス

- 結果
- (1) コマンド送信回線  
 FUT衛星地上局から所定のビットレートのコマンドデータで変調送信された信号が、TSUKIMI探査機において回線計算で示された電力（ノミナルレベル）で受信される場合に、コマンドデータの復調が成功すること。また、復調ができる最小電力（最小受信可能レベル）を求め、ノミナルレベルのマーヅンが3dB以上であること。→OK（ワーストケースで5.3dBのマーヅン）
  - (2) テレメトリ受信回線  
 TSUKIMI探査機から所定のビットレートのテレメトリデータで変調送信された信号が、FUT衛星地上局において回線計算で示された電力（ノミナルレベル）で受信される場合に、テレメトリデータの復調が成功する事。また、復調ができる最小電力（最小受信可能レベル）を求め、ノミナルレベルのマーヅンが3dB以上であること。→OK（ワーストケースで7.2dBのマーヅン）
  - (3) 測距回線  
 FUT衛星地上局から測距信号をTSUKIMI探査機に送信し、その折り返し信号をFUT衛星地上局で受信して距離を測定する場合に、FUT衛星地上局およびTSUKIMI探査機にてノミナルレベルで信号が受信されるときに測定される距離の精度の確認→ $\pm 2\text{ m}$ （十分な精度）



図4 適合性試験における試験用シェルター設置



図5 適合性試験における運用室の様子

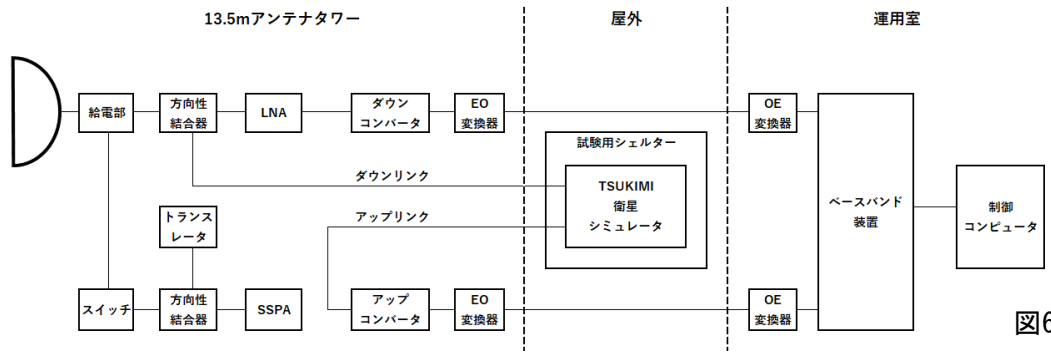


図6 適合性試験のブロック図

# ① 「アンテナシステムの開発」－実探査機の運用参加による性能実証－

## 実施内容・成果

- 本課題実施期間においてFUT衛星地上局が関わった主な衛星・探査機プロジェクトおよびFUT衛星地上局構築の観点から見た成果の一覧を表2に示す。
- 本課題は月探査機への対応を中心に運用準備を進め、TSUKIMI 適合性試験や DESTINY+ に向けた手順整備を通じて必要な技術要件を確認した。地球周回衛星の運用は、手順検証・教育訓練の観点から有効に機能し、月探査機運用に必要な実践的能力の向上に寄与した。

表2 本課題でFUT衛星地上局が関わった主な衛星・探査機および地上局構築における成果

種別	13.5 m	3.9 m	地上局構築における成果
地球低軌道		TIRSAT : 太陽同期軌道	運用の基本技術の獲得、S帯送受信・X帯受信の運用機能確認
		DENDEN-01 : ISS軌道	S帯受信の運用機能確認
		FUSION-1 : 太陽同期軌道	遠隔運用の確立
月	EQUULEUS : 月周回	EQUULEUS : 月周回	13.5mの要求性能決定、月探査における3.9mの有効性確認
	LEV-1 : 月面探査		実際の信号受信によるS帯受信性能の確認
	TSUKIMI : 月周回		通信試験によるX帯の送受信・測距性能の確認
	LunaCube : 月周回		月測位衛星運用における有効性検証中
深宇宙	DESTINY+ : 惑星間空間		深宇宙探査での有効性検証中、ネットワーク経由でのFUT衛星地上局制御の確認

運用中
  運用終了
  運用調整中

- 本事業により整備した 13.5m アンテナを用い、JAXA 小型月着陸実証機 SLIM 搭載機 LEV-1 からのS帯信号受信に成功した(図7)。
- 受信時の C/No は事前回線計算の想定範囲内であり、月方向からの微弱信号を確実に取得できることを確認した。
- この結果は、本学地上局が実環境下で月探査機からの通信を確実に受信可能であることを示す実証結果であり、超小型月探査機のテレメトリ受信に対応できる地上局としての有効性を裏付ける成果である。

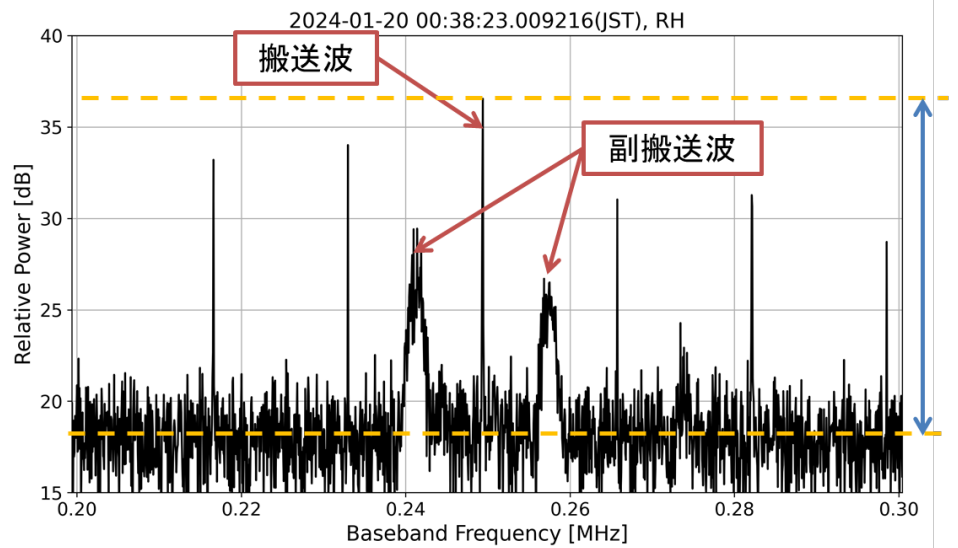


図7 LEV-1からの受信信号

# ① 「アンテナシステムの開発」－VLBI観測による性能実証－

## 実施内容・成果

本実験の目的は以下の2点である：

- FUT13.5mアンテナを用いたVLBI観測の初期機能確認およびシステム調整
- 将来的なDDOR計測への応用を見据えた、FUT地上局システムの周波数安定度性能の実証

- 観測日：2024年11月9日
- アンテナ構成：
  - ◇ FUT13.5mアンテナ(福井工業大学 あわらキャンパス)
  - ◇ 日立32mアンテナ(茨城大学)
- 観測対象：キューサー3C273B (Ra=12h29m06.70s, Dec=+02° 03' 08.6" )
- 周波数帯：X帯(IF部で8000-8500 MHzから950-1450 MHzに周波数変換)
- 記録システム：VLBI観測用記録システム(図8)、制御PCによるパラメータ設定、装置の設定および操作はメーカー担当者のサポートを受けて実施
- 観測結果(図9)による時刻安定度の推定値  
 $\sim 2 \times 10^{-11}$

今後、より高精度な観測を目指し、13.5mシステムの安定度含めた詳細な性能調査を実施予定である。

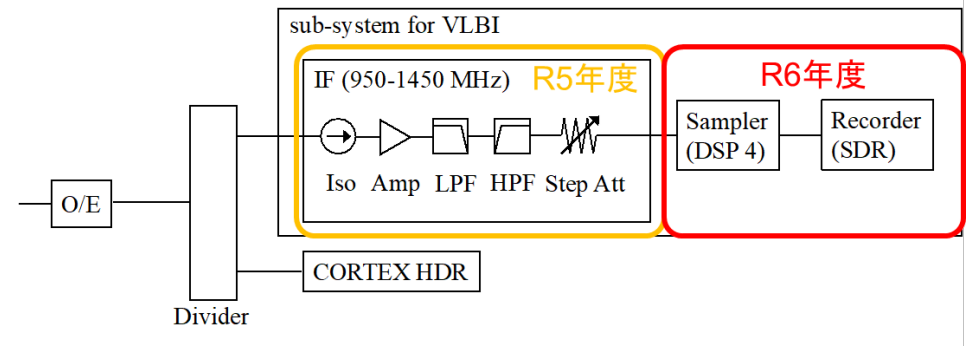


図8 本課題で整備したVLBI観測用記録システム

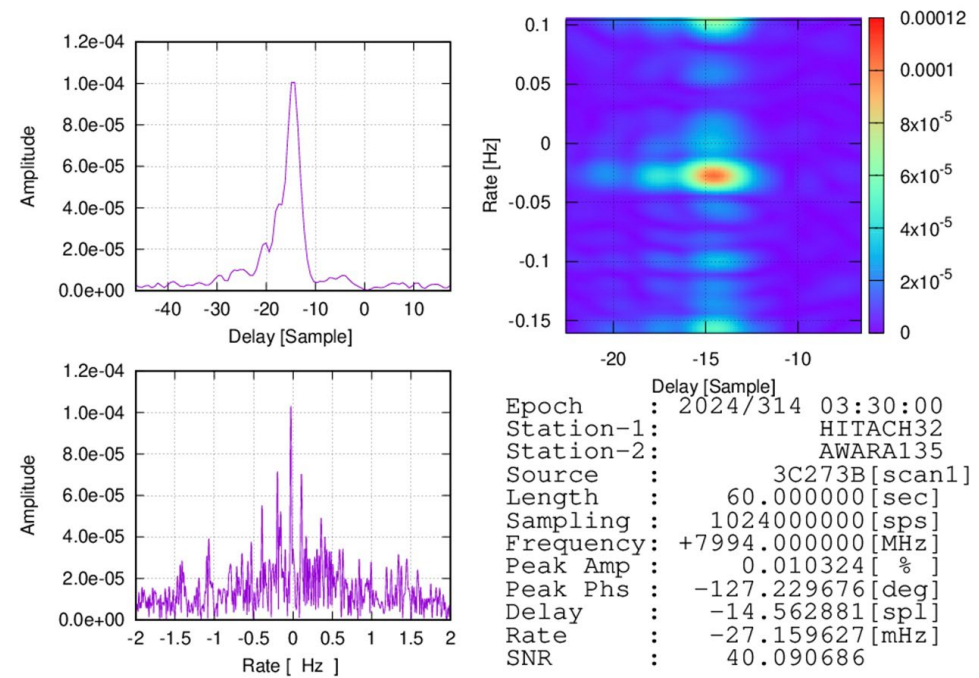


図9 VLBI観測の結果

# ① 「人材育成」

## 実施内容・成果

- 本課題における人材育成の評価指標に関して、「a. 育成する人材数」の「①学部における無線通信系科目、課題解決型科目および卒業研究の受講者数」および「c. 研究会および講演会」の「①開催数」「②参加人数」について、目標を上回る成果を得ることができた。学部教育における受講者数は200名以上の目標に対し218名（109%）と、幅広い学生層への関与が達成されており、また研究会・講演会には累計15回（300%）・延べ1,111名（111%）が参加し、学内外での関心喚起に寄与した。
- 「大学院進学者数」「国家資格取得者数」「学会発表数」「卒業研究配属希望者数（宇宙関連）」といった宇宙分野への進路選択や専門性の深化に関わる指標については今後改善を要する結果となった。
- 人材育成に関する課題に対して以下のような前向きな成果も見え始めている。
  - 宇宙関連企業への就職者数は、令和5年度の1名から令和6年度には7名へと大幅に増加し、就職先の裾野が着実に拡大している。
  - 福井工業大学大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースへの在籍者は令和7年度に1名となり、令和8年度にはさらに1名の学部生が進学決定している。
  - 宇宙関連の課題解決型授業（PBL）において、令和7年度前期の3年生受講者数が前年度比で2名から14名へと7倍に増加しており、学生の関心が拡大傾向にある。
- これらの動きは、授業・講演・卒業研究等を通じた継続的な働きかけが、学生の進路意識や将来ビジョンの変化につながりつつあることを示している。今後の改善のために、大学院進学への支援体制、国家資格取得支援、学会発表の機会創出といった具体的施策を強化しつつ、本課題で得られた知見を活用しながら、**中長期的視野での宇宙分野人材の育成と定着**に取り組んでいく。



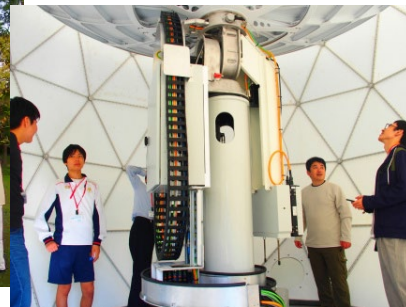
UNISECワークショップ(大学生・高専生)



本学学生のポスター賞表彰



宇宙がもっと近くなる！  
13.5mパラボラアンテナ見学・体験イベント  
(国内高校生)



スペースキャンプ(タイ高校生)



# その他の成果

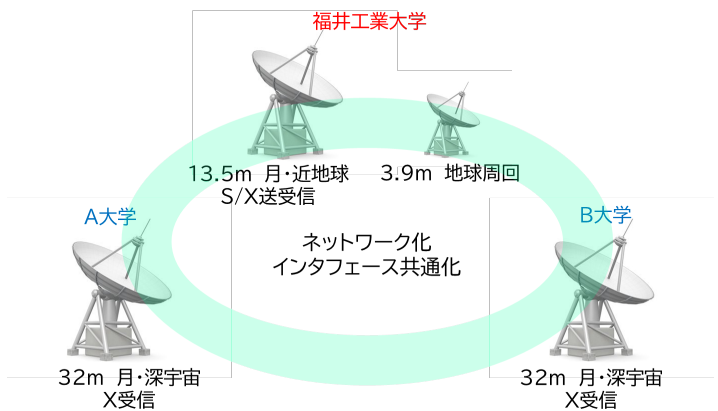
これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他 研究発表	実用化事業	プレスリリー ス・取材対応	展示会出展
	国内：0 件 国際：0 件	国内：0 件 国際：0 件	国内：5 件 国際：0 件	国内：0 件 国際：0 件	国内：10 件 国際：0 件	国内：2 件 国際：1 件
	受賞・表彰リスト		令和7年度 電波の日・情報通信月間 北陸総合通信局長表彰			

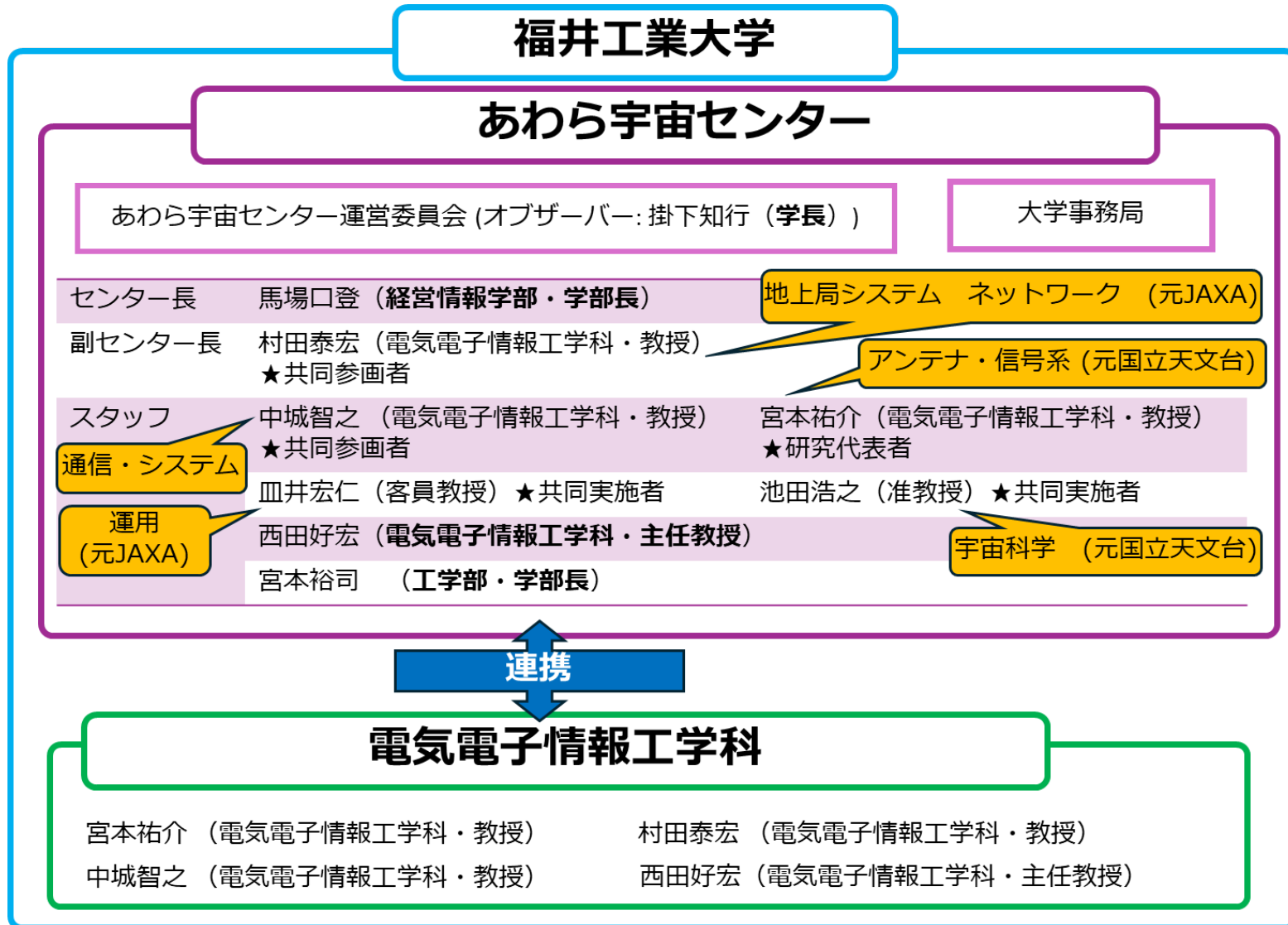
## 成果展開の状況・期待される波及効果(事業の目的に関するアウトカム)

- 本課題の期間中に以下の外部発表を行った。
  - 1)中城他, 超小型月探査機の運用を目的としたコンパクトな衛星地上局システムの開発, 第67回宇宙科学技術連合講演会講演会, 富山, 2023年11月
  - 2)中城他, 超小型月探査機の運用を目的とした福井工業大学地上局システムの月以遠深宇宙探査における活用方法について, 第68回宇宙科学技術連合講演会講演会, 兵庫, 2024年11月
  - 3)中城, 福井工業大学あわら宇宙センターの取り組み, 第25回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ・2024年度 理研-NICT合同テラヘルツワークショップ, 2024年11月(招待講演)
  - 4)あわら宇宙センター学生グループ, あわら宇宙センター衛星地上局の紹介, UNISECワークショップ, 2024年12月(ポスター賞受賞)
  - 5)中城, 衛星・探査機のラッシュ時代における衛星地上局ネットワーク構築の必要性について, 宇宙科学談話会, 宇宙科学研究所, 2025年3月
- 国際航空宇宙展(東京ビッグサイト、2024年)、北陸技術交流テクノフェア(福井県産業会館、2023年、2024年)への出展を行った。
- 国内の新聞およびテレビの取材が10件あり、大学発の月通信拠点として広く認知されつつある。
- 連携プロジェクトの増加(月探査7件、深宇宙1件、シスルナ3件、地球周回4件、地上局活用1件の計16件)に繋がっており今後の発展が期待される。
- 電気電子情報工学科に宇宙関連の教員が新たに2名雇用され、教育効果の向上が期待される。

## 今後の研究開発計画

- DESTINY+の2028年度打ち上げに向けて、JAXAとの運用調整を引き続き継続していく。
- 本事業で確立したFUT衛星地上局を基盤として、
  - ① 地上局の高機能化 (AI活用・自律運用)、
  - ② 地上局RF性能の高度化
  - ③ ソフトウェア受信機の導入による効率化・低コスト化
  - ④ 多周波数帯対応 (Ka帯等)
 について検討を進めている (宇宙戦略基金)。
- 大学間での共同運用・教育連携を進め、複数大学による地上局ネットワーク形成を目指す。これにより、月探査ミッションの可視時間拡大、運用冗長性の確保、柔軟なスケジューリングを可能とし、国内全体の月探査基盤の強化に寄与する。さらに、産学官連携による外部衛星運用支援を拡大し、民間衛星の月探査参入を後押しすることで、月探査関連産業の創出・裾野拡大につなげる。





# 【参考】 運用の観点から衛星システム全体を考えられる実践的な人材の育成



「知」をつなぐ。  
「未来」を創る。

## 「あわら宇宙センターを基盤とした実機活用による実践的宇宙人材の育成」の概要

(様式1)

プログラム名		「宇宙人材育成プログラム/宇宙専門人材育成」						
実施体制	主管実施機関 研究代表者名	福井工業大学 宮本 祐介	実施期間	令和7年度 ～9年度 (3年間)	実施 予定 規模	総額 39百万円		
	共同参画機関 (再委託先)	—				1年目	2年目	3年目
						13百万円	13百万円	13百万円

### 本提案のポイント

背景: 近年、急増する衛星・探査機に対応する地上局需要増

➡アンテナから信号処理・データ解析まで包括的に理解できる実践的宇宙人材の育成が急務

実施内容: 福井工業大学あわら宇宙センターのアンテナ群(図1)を活用し、衛星・探査機の基本構成から地上局設計、制御、通信・信号処理、データ解析までを一貫して学べる実践的教育プログラムを構築(図2、図3)

育成する人材像: 地上局システムを統合的に理解できる実践的技術者  
地上局視点から衛星システム全体を俯瞰できる運用技術者  
現場で実際に手を動かしシステム構築ができる技術者

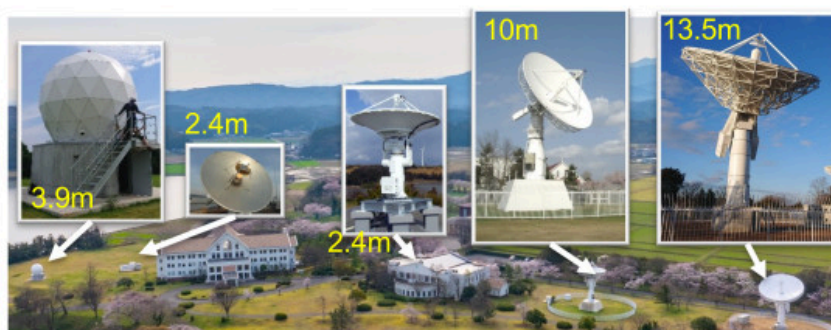


図1: 福井工業大学あわら宇宙センターのアンテナ群

### 成果展開の方針

- 衛星の地上局システムを中心とした段階的な教育コース(入門～応用)を構築
- 高校生から社会人までの幅広い層を対象とした衛星システム全体を見渡せる実践的宇宙人材育成コース
- 海外のプロジェクトに積極的に参加することにより、国際的な人材育成の拠点形成  
➡世界の宇宙開発を支える人材育成基盤

### その他アピールポイント

実機アンテナを用いた実践的教育

高性能な地上局の設計・運用に貢献できる実践的宇宙人材の育成。宇宙ミッションを支える人材の創出

JAXAプロジェクト、NASA Artemis 関連プロジェクトなどに参画し、福井県衛星プロジェクトFUSION-1は現在実運用されている。

文部科学省「令和4年度宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙探査基盤技術高度化プログラム 超小型月探査機の高度化に資するコンパクトな衛星地上局システムの開発」(令和4年度～6年度、総額94百万円)のもと、月・深宇宙用地上局システムを整備



図2 衛星に関する講義



図3 運用に参加する学生

# 【参考】使える／使いやすい衛星地上局へ



「知」をつなぐ。  
「未来」を創る。

## ➤ 地上局への要求の整理

## ➤ インフラ整備

- バックアップ電源
- ネットワーク環境
- 運用人員体制

## ➤ RF性能の改善／機能追加

- 送信性能(EIRP):SSPA出力の増大
- 受信性能(G/T):LNAおよび給電部の冷却
- Ka帯の可能性？

## ➤ 運用の効率化／自動化／柔軟化

- 人手に頼る部分を極力少なく／ユーザーの要望への対応
- ソフトウェア無線化
- AIの活用(スケジューリング、異常検知)

## ➤ ネットワーク化

令和6年度宇宙戦略基金事業

～月-地球間通信システム開発・実証(FS)～採択！

提案課題「福井工業大学13.5m地上局を利用した月-地球間通信システム設計の提案」



月通信地上局の  
基本設計検討

# 事後評価票

令和7年3月末現在

1. プログラム名 宇宙探査基盤技術高度化プログラム
2. 課題名 超小型月探査機の高度化に資するコンパクトな衛星地上局システムの開発
3. 主管実施機関・研究代表者 学校法人金井学園福井工業大学 教授 中城智之
4. 共同参画機関 なし
5. 事業期間 令和4年度～令和6年度
6. 総経費 94百万円
7. 自己点検結果  (1) 課題の達成状況  「所期の目標に対する達成度」 ◆ 所期の目標  福井工業大学は、JAXA との共同研究契約に基づいて月－地球間通信に最適設計された口径 13.5m の小型パラボラアンテナによる衛星地上局（以下、FUT 衛星地上局）の開発・性能実証を通して、世界に先駆けて超小型月探査機の運用に最適化されたコンパクトな衛星地上局システムの完成を目指す。所期の目標は、 (1) JAXA の超小型探査機エクレウスおよび DESTINY <sup>+</sup> 探査機の運用への参画と電波天文観測的手法によって性能実証を行う。 (2) 開発したアンテナシステムをベースに今後の月探査への貢献展開の道筋を見出す。 (3) 今後の宇宙開発を地上局の観点から支える人材育成を行う。 である。  ◆ 業務計画に対する達成度

所期の目標を達成するため、以下の3つの実施項目を立てた。

実施項目①：プロジェクトの総合推進：所期の目標(1)および(2)の達成のため

実施項目②：アンテナシステムの開発：所期の目標(1)の達成のため

実施項目③：人材育成：所期の目標(3)の達成のため

実施項目ごとの目標値および評価指数、達成状況を表1に示す。

表1：実施項目ごとの目標値及び評価指数、達成状況

	ミニマムサクセス	フルサクセス
実施項目① プロジェクトの 総合推進	FUT衛星地上局の仕様決定、基本設計を行い、FUT衛星地上局構成書としてまとめる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>FUT衛星地上局の測定された基本性能をFUT衛星地上局構成書に追加する。</li> <li>さらに、事業終了後の活用見通しが示されている。</li> </ul>
実施項目② アンテナシステム の開発	TRL2~5 <ul style="list-style-type: none"> <li>FUT衛星地上局の仕様決定、基本設計およびアンテナシステムの設置を行う。</li> <li>地上試験や電波天文学的手法を用いてFUT衛星地上局の基本性能を実証する。               <ul style="list-style-type: none"> <li>受信感度 (G/T &gt; 38.5 dB/K)</li> <li>送信能力 (EIRP &gt; 82.3 dBW)</li> <li>時刻安定度 (<math>10^{-13}</math>の桁)</li> </ul> </li> </ul>	TRL6~9 <ul style="list-style-type: none"> <li>DESTINY+→TSUKIMI+探査機との適合性試験を通した性能実証を行う。</li> <li>DESTINY+→その他の探査機の運用を通した性能実証を行う。</li> </ul> ※DESTINY+探査機については28年度の打ち上げからの運用を目指して引き続き共同研究を進める。
実施項目③ 人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>学部における関連科目受講者数200名以上</li> <li>半年に1回以上の頻度で一般向け講演会およびFUT衛星地上局の一般公開を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R6年度における宇宙関連研究室への希望者数が電気電子工学科在籍学生の24%以上</li> <li>R6年度までに無線通信関連の資格取得者15名以上</li> <li>学会等での発表：期間中に10件以上</li> <li>一般向け講演会およびFUT衛星地上局一般公開参加者延人数1,000名以上</li> </ul>

各実施項目の達成度について以下に整理する。

● **実施項目①：プロジェクトの総合推進 100 %**

表1の3つの目標値をすべて達成した。

- ・ エクレウス探査機の運用に役立つことを根拠として、FUT衛星地上局の構成および基本性能を地上局構成書としてまとめる。
- ・ 実際の測定により基確認された基本性能を地上局構成書に記載する。
- ・ 確認された性能を元に展開を図り、事業終了後の活用見通しを立てる。

● **実施項目②：アンテナシステムの開発 95 %**

以下の4つの目標値および評価指数をほぼ達成した。時刻安定度の測定状況を加味して95%とする。

- ・ FUT衛星地上局の仕様決定、基本設計、設置の実施
- ・ 地上試験および電波天文学的手法による基本性能の確認  
時刻安定度の再測定について、現在、茨城大学およびJAXA局とのVLBI観測による確認を計画中である。
- ・ TSUKIMI探査機との適合性試験による性能実証
- ・ DESTINY+以外の探査機の運用参加による性能実証

● **実施項目③：人材育成 90 %**

表1の6つの目標値の達成状況を示す。

(ミニマムサクセス)

- ・ 電気電子工学科の関連授業への受講登録人数：109%
- ・ 一般向け講演会およびFUT衛星地上局一般公開の開催数：300%

(フルサクセス)

- ・ 一般向け講演会およびFUT衛星地上局一般公開の参加人数：111%
- ・ 宇宙関連研究室への配属希望状況：15/24=63%
- ・ 無線通信関連の資格取得者数：5/15=33%
- ・ 学会などでの発表数：5/10=50%

これらの達成度を総合的に判断して90%とする。

「必要性」

**【科学的・技術的意義】(独創性、革新性、先導性、発展性等)**

月—地球間通信を実現可能な地上局を大学として常設運用しているのは国内では福井工業大学のみであり、JAXAを除けば日本で唯一、実運用に耐える月通信能力を有する。小型地上局により月探査を支援できる例は世界的にも稀であり、本研究は「大学レベルで月通信基盤を構築し、超小型探査機に最適化された地上局運用を確立する」という点で、独創性と技術的チャレンジ性を併せ持つ。

また、国の宇宙戦略基金において、当該13.5mアンテナを基盤として月通信技術を検討する研究課題が既に採択され実施されていることは、本研究の方向性が国家的ニーズと整合し、かつ発展余地が大きいことを裏付ける。すなわち、本研究は、国内唯一の大学保有月通信拠点を核として、日本の月探査インフラの分散化・強靱化を先導する極めて先駆的取り組みであり、今後の月面ミッションの重要技術を担う基盤整備そのものである。

**【社会的・経済的意義】(産業・経済活動の活性化・高度化、国際競争力の向上、知的財産権の取得・活用、社会的価値(安全・安心で心豊かな社会等)の創出等)**

本課題により、FUT衛星地上局は、JAXA以外で国内唯一の月通信可能な拠点として広く認知され、複数の衛星プロジェクトとの運用や連携が進んでいる(月探査7件、深宇宙1件、シスルナ3件、地球周回4件、地上局活用1件の計16件)。

これらの連携は、月周回機に限らず、地球周回機・深宇宙機を含む多様な計画から寄せられており、FUT衛星地上局が、研究用途を超えて民間・国研ミッションの潜在的支援先として認識されていることを示す。すなわち、本研究によって構築された運用基盤は、通信サービス・衛星データ利活用等の新たな産業需要を惹起し得る段階にあり、実需に基づく接触が発生していること自体が社会的・経済的意義を持つ萌芽として評価できる。

また、地上系の多極化は、月探査ミッションにおける冗長性(レジリエンス)向上に寄与するものであり、JAXA系地上局のバックアップ・補完としての潜在的位置付けを大学が担い得ることを意味する。同時に、地域に立地する大学が通信インフラを保持することは、災害時のデータ受信・情報伝達手段の候補となる点で、社会的価値(安全・安心)を有する。

以上のように、本課題の成果は、

- 衛星事業者・研究機関との連携が進んでおり社会的関心が高まっていること
- 国内宇宙探査インフラの多極化・強靱化に資する潜在力を備えること

により、社会的・経済的観点からも高い有用性を有し、将来的な産業・国際協働・社会基盤への展開が期待できる。

「有効性」

#### 〔人材の養成〕

本課題により整備された 13.5m 衛星地上局を活用し、学部卒業研究・大学院修士研究において、宇宙通信・ソフトウェア無線・衛星データ利用等をテーマとした研究が複数展開された。特に、地上設備を実機として利用可能な環境を学生が日常的に扱えることにより、①通信系ハードウェアの理解、②ソフトウェア受信機などを用いた信号処理、③運用・解析プロセスの体系的習得が可能となり、「講義 → 演習 → 実装 → 運用 → 研究成果」という一連の流れで学修を深化させることができた。これにより、研究活動が単なる課題実施にとどまらず、衛星プロジェクト支援を見据えた実践的研究力の獲得につながった点で高い有効性が確認された。

また、学生の進路においては、宇宙関連企業への就職が複数名で実現しており、地上局を活用した研究経験が、企業における実務能力（通信理解・地上系システム運用・信号処理スキル）に直結している。特に、事業期間中に地上局運用・通信処理を経験した学生が宇宙関連企業へ就職できていることは、本取組により育成された人材が産業界で活躍可能であることを実証している。

さらに、本課題を通じて整備された教育・研究基盤は、令和 7 年度 文部科学省「宇宙航空科学技術推進委託費（宇宙人材育成プログラム／宇宙専門人材育成）」での採択課題に発展的に継承され、地上局を活用した実践的教育体系の拡充に寄与している。同課題では本課題で構築した FUT 衛星地上局が活用され、大学における宇宙人材育成が継続的に推進される体制が形成されている。

以上より、本課題で整備された教育・研究基盤は、学生が宇宙通信技術を身につけ、研究成果を創出し、さらに宇宙産業へ進むという実効的な人材循環を生み出しており、高い有効性を有する。

#### 〔見込まれる）直接・間接の成果・効果やその他の波及効果の内容〕

本課題により、月通信に対応可能な大学地上局としての機能・知見が整備され、他大学地上局との相互連携が現実的な選択肢として見えてきた。国内には複数の大学がアンテナや受信設備を保有しており、これらと連携することで、

①可視範囲の補完、②運用の冗長化、③運用データ・教育資源の共有が可能となる。

これにより、小型月探査機を含むミッションに対し、通信機会の拡大や障害時のバックアップが期待でき、「大学連携型地上局ネットワーク」として新たな運用モデルを形成できる。また、複数拠点での共同運用により、学生・若手研究者が実践経験を獲得しやすくなり、教育・研究力の底上げと人材循環にも寄与する。このように今後、大学地上局を核とした運用連携や人材育成の加速を促し、月探査分野における中長期的な波及効果が期待される。

「効率性」

## 〔研究開発の手段やアプローチの妥当性〕

当初は、EQUULEUS および DESTINY<sup>+</sup> を対象として、月探査機運用に関する性能の評価および運用要素技術の獲得を計画していた。しかし、両ミッションとも打上げ後の運用状況や探査方針の制約により、当初想定していた継続的な評価を実施することは困難となった。

この状況に対して、本課題では柔軟に対象を切り替え、代替として TSUKIMI 探査機に関する通信特性評価を地上試験により行った。TSUKIMI 探査機に搭載される通信機は、EQUULEUS と同一の通信機であり、同様の通信方式・運用想定を有している。このため、TSUKIMI 探査機を評価対象とすることで、当初計画で想定していた技術的確認項目を継続して実施することが可能であった。また、DESTINY<sup>+</sup> に関して運用調整を継続的に実施しており運用に関する知見の獲得も進んでいる。この代替的アプローチにより、研究開発の主目的である 13.5m アンテナによる月探査機運用に向けた性能確認を効率的に進めることができた。

以上より、対象ミッションの変更という制約があったものの、目的達成に必要な評価を効率的に継続した点において、研究開発の手段およびアプローチは妥当であったと言える。

## (2) 成果

### 「アウトプット」

#### 1. 衛星地上局システムの完成

##### (1) 基本システムの完成

13.5m および 3.9m アンテナシステムによる衛星地上局を構築した。両アンテナシステムを福井工業大学あわら宇宙センターに設置、全体を統括するシステムを導入し、月探査機の運用のための基本整備が完了した（図 1）。世界的には月通信を担う地上局として口径 20m 級以上での整備が中心となっており、その中で、本課題では大学レベルで口径 13.5m アンテナを用いて月宇宙級通信能力の実証を行った点が極めて特徴的である。本取り組みは、月探査機の支援に必要な性能を小型システムで成立させ得ることを示したものであり、今後の低コスト月通信拠点のモデルケースとして意義が大きい。



図 1 : 13.5m アンテナシステムの外観および FUT 衛星地上局運用室の様子

##### (2) 13.5m アンテナの基本性能

FUT 衛星地上局の核となる 13.5m アンテナシステムの基本性能として表 2 の内容が確認された。性能は EQUULEUS 探査機の運用に必要な仕様を満足しており、月探査機運用に必要な基本性能が確保されている。

表 2: 13.5m アンテナシステムの基本性能

項目		測定・確認結果	設計仕様との適合性
S 帯 送信	送信周波数	2.025 - 2.120 GHz	合格
	EIRP	71.3 dBW @2.025 GHz	合格
	偏波	RHCP / LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	46.5 dBi @2.073 GHz	合格
S 帯 受信	受信周波数	2.200 -2.300 GHz	合格
	G/T	25.9 dBi/K @ 2.200GHz	合格
	偏波	Data: RHCP/LHCP diversity、Tracking: RHCP/LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	47.9 dBi @2.250 GHz	合格
X 帯 送信	送信周波数	7.145 - 7.235 GHz	合格
	EIRP	82.3 dBW @ 7.145 GHz	合格
	偏波	RHCP / LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	57.7 dBi @7.190 GHz	合格
X 帯 受信	受信周波数	8.000 - 8.500 GHz	合格
	G/T	38.9 dBi/K @8.250GHz	合格
	偏波	Data: RHCP/LHCP selectable、Tracking: RHCP/LHCP selectable	合格
	アンテナ利得	59.6 dBi @ 8.250 GHz	合格
ビーム幅	S 帯	方位角 : 0.588 deg、仰角 : 0.598 deg (周波数 : 2.2235 GHz)	合格
	X 帯	方位角 : 0.169 deg、仰角 : 0.170 deg (周波数 : 7.7425 GHz)	合格
ポインティング 精度	静的	9 mdeg	合格
	追跡時	13.2 ~ 38.4 mdeg (仰角に依存)	合格

### (3) VLBI 観測の実験

2024年11月9日に茨城大学が運用する国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局 日立 32m アンテナと 13.5m アンテナとの間でクエーサー 3C273 の X 帯 (8.0-8.5GHz) での VLBI 観測実験を実施し、フリッジの検出に成功した。今後、より高精度な観測を目指し、13.5m システムの安定度含めた詳細な性能調査を実施予定である。

### 2. 衛星・探査機の運用に関する性能実証

本課題実施期間において FUT 衛星地上局が関わった主な衛星・探査機プロジェクトおよび FUT 衛星地上局構築の観点から見た成果の一覧を表 3 に示す。本課題は月探査機への対応を中心に運用準備を進め、TSUKIMI 探査機との適合性試験や DESTINY+ に向けた運用調整を通じて必要な技術要件を確認した。地球周回衛星の運用は、手順検証・教育訓練の観点から有効に機能し、月探査機運用に必要な実践的能力の向上に寄与した。

表 3 : FUT 衛星地上局が関わった主な衛星・探査機および地上局構築における成果の一覧

種別	13.5 m	3.9 m	地上局構築における成果
地球低軌道		TIRSAT : 太陽同期軌道	運用の基本技術の獲得、S帯送受信・X帯受信の運用機能確認
		DENDEN-01 : ISS軌道	S帯受信の運用機能確認
		FUSION-1 : 太陽同期軌道	遠隔運用の確立
月	EQUULEUS : 月周辺	EQUULEUS : 月周辺	13.5mの要求性能決定、月探査における3.9mの有効性確認
	LEV-1: 月面探査		実際の信号受信によるS帯受信性能の確認
	TSUKIMI : 月周回		通信試験によるX帯の送受信・測距性能の確認
	LunaCube : 月周回		月測位衛星運用における有効性検証中
深宇宙	DESTINY+ : 惑星間空間		深宇宙探査での有効性検証中、ネットワーク経由でのFUT衛星地上局制御の確認

運用中
  運用終了
  運用調整中

以下に、各プロジェクトの状況について概要を述べる。

(1) 月・深宇宙関連

① エクレウス探査機

FUT 衛星地上局を用いたエクレウス探査機の運用に関して、13.5m アンテナシステムの整備がエクレウス探査機の打ち上げ以降になり、また、2023年5月以来エクレウス探査機の通信が途絶状態となったことから、13.5m アンテナシステムを用いた運用参加による性能実証は実施できなかった。

その一方で、3.9m アンテナシステムの探査機捕捉用システムとしての基本性能を検証するため、2022年11月16日のSLS ロケットによるエクレウス探査機の打ち上げ後の2022年11月23日からエクレウス探査機のX帯ダウンリンク信号の受信実験を開始した。その結果、3.9m アンテナシステムを用いて約70万kmまでの距離においてエクレウス探査機のX帯ダウンリンク信号の捕捉が可能であることが実証された。この結果は、今後の月探査機運用において、3.9m アンテナが信号捕捉用アンテナとして有用であることを示している。

② 深宇宙探査技術実証機 DESTINY+

本探査機は理学ミッションとして地球飛来ダストの実証解明、工学ミッションとして将来の深宇宙探査を低コスト・高頻度に行うための工学技術実証を目指すプロジェクトである。打ち上げが2028年度に延期されたことに伴って探査機の軌道が地球周回長楕円軌道から惑星間空間軌道へと変更になり、地上局側の当初の目的「イオンエンジンを用いた探査機の地球圏からの脱出に関する地上局運用技術の確立」は果たせなくなったが、上記工学ミッションの観点から引き続き運用準備を進めている。

13.5m アンテナが深宇宙ミッションに対してどこまで有効に使用できるかを目的として、具体的には、打ち上げ直後および地球スイングバイ時の運用での活用を念頭にFUT 衛星地上局とDESTINY+のRF通信回線計算の再検討を行っている。また、End To Endの適合性試験実施の準備として、2025年3月に福井工業大学あわら宇宙センターとJAXA 相模原キャンパスの間のネットワーク接続試験を成功裏に実施し、相模原キャンパスから、あわら宇宙センターのベースバンド装置とのコマンド/テレメトリ通信が

可能であることを確認した。これにより、JAXA 相模原キャンパスから FUT 衛星地上局の制御が可能であることを確認できた。

### ③ 月水資源探査機 TSUKIMI

本探査機はテラヘルツリモートセンシングの手法を用いて月の周回軌道から月面の水分分布のマッピングを行うことを目的とした衛星で 2026 年度の打ち上げを目指している。TSUKIMI 探査機の運用に 13.5m アンテナの X 帯システムを使用することを想定し、TSUKIMI 衛星プロジェクトとの連携の下に回線計算を検討、衛星シミュレータを用いた通信試験を 2024 年 12 月にあわら宇宙センターで実施した。通信試験の結果、コマンドのアップリンクおよびテレメトリデータのダウンリンクの双方において、回線計算で示された通信性能が十分な余裕を持って確立できること、また、衛星までの距離を測定する測距について十分な測距精度を達成できることが確認できた。この通信試験によって X 帯の送受信システムおよび測距システムの性能を確認することができた。

### ④ 月測位衛星 LunaCube

LunaCube は超小型衛星による月測位衛星の実証を目指すプロジェクトである。現在、LunaCube との通信試験について調整しており、月周回衛星における FUT 衛星地上局の有効性を検討している。

### ⑤ 超小型月面探査ローバーLEV-1

2024 年 1 月 19 日に実施された JAXA の小型月着陸実証機 SLIM の月面着陸時において、SLIM から放出された超小型月面探査ローバーLEV-1 からの信号受信を行った。受信機として、低コストのソフトウェア無線機 Hack RF One を用いた。搬送波および変調波のスペクトラムが非常に明確に受信され、受信信号の対雑音電力比 C/No は事前の回線計算の予測範囲内であった。このことから、13.5m アンテナの S 帯信号受信の性能が想定通りであることを確認できた。

## (2) 地球周回衛星関連

### ① TIRSAT 衛星の運用への参加

2024 年 2 月 17 日に、セーレン社が開発した 3U サイズ超小型衛星 TIRSAT が H3 ロケットの相乗りとして打ち上げられた。FUT 衛星地上局は径 3.9m アンテナシステムを用いて副局として参加している。打ち上げ後の最初のパスで S 帯 TLM 受信及び復調を確認、3 月 6 日に初めてのアップリンクで S 帯双方向通信に成功した。また、その後の運用で X 帯を用いたミッションデータのダウンリンクにも成功し、運用局としての基盤を確認することができた。

### ② DENDEN-01 衛星のデータ受信

本衛星は関西大学開発の宇宙用電池の実証実験のため 2024 年 12 月に ISS から放出された。運用においてデータ受信局として参加し S 帯における受信機能を確認した。

### ③ FUSION-1 衛星の運用への参加

本衛星は、福井県における衛星の開発から運用・データ解析までのワンストップサービスの仕組みづくりを目的とする「ふくい衛星運用ネットワーク構築プロジェクト:FUSION プロジェクト」(Fukui Satellite Implementing of Operation Network project) の枠組みにおいて 2025 年 1 月 15 日に打ち上げられ、あわら宇宙センター3.9m アンテナシステムを主局として運用を行っている。複数の搭載カメラによる地上観測がメインミッションである。打上げから 1 日に数回の運用を継続的に実施し、2025 年 10 月時点で約 500 パスの運用実績を積み上げている。現在順調にデータ取得を進めている。

### 3. 人材育成

宇宙関連産業への就職および大学院進学者輩出において一定の効果が見られた（詳細は R6 年度報告書に記載）。また、一般向け講演会や地上局公開を通じて宇宙分野への関心醸成を図った。2024 年 12 月には本学にて UNISEC ワークショップを開催し、全国の大学関係者約 130 名を招いて知識共有・議論を行うとともに、13.5m アンテナ見学を実施するなど、大学間連携および次世代人材育成へ貢献した。さらに、国内に加えてタイの高校生を衛星地上局のあるあわらキャンパスに招いて体験イベントを実施したところ、参加者から非常に好評を得るなど、将来宇宙人材の裾野拡大にも寄与した。

### 4. 外部発表・展示

本課題の期間中に以下の外部発表を行った。

- 1) 中城他, 超小型月探査機の運用を目的としたコンパクトな衛星地上局システムの開発, 第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演会, 富山, 2023 年 11 月
- 2) 中城他, 超小型月探査機の運用を目的とした福井工業大学地上局システムの月以遠深宇宙探査における活用方法について, 第 68 回宇宙科学技術連合講演会講演会, 兵庫, 2024 年 11 月
- 3) 中城, 福井工業大学あわら宇宙センターの取り組み, 第 25 回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ・2024 年度 理研-NICT 合同テラヘルツワークショップ, 2024 年 11 月 (招待講演)
- 4) あわら宇宙センター学生グループ, あわら宇宙センター衛星地上局の紹介, UNISEC ワークショップ, 2024 年 12 月 (ポスター賞受賞)
- 5) 中城, 衛星・探査機のラッシュ時代における衛星地上局ネットワーク構築の必要性について, 宇宙科学談話会, 宇宙科学研究所, 2025 年 3 月

また、以下の展示会に出展し、多くの企業との連携につなげることができた。

- 国際航空宇宙展（東京ビッグサイト、2024 年）
- 北陸技術交流テクノフェア（福井県産業会館、2023 年、2024 年）

#### 「短期アウトカム」 （令和 7 年 10 月末時点）

本課題により、月探査機運用に向けた基盤整備が着実に進展した。まず、実施項目①（プロジェクトの総合推進）では、複数の衛星プロジェクトとの運用や連携が進んでいる（月探査 7 件、深宇宙 1 件、シスルナ 3 件、地球周回 4 件、地上局活用 1 件の計 16 件）。

実施項目②（アンテナシステムの開発）では、2028 年に打ち上げ延期となった DESTINY+ について、JAXA との共同研究により継続的に運用準備を進めており、将来の運用フェーズへ移行するための基盤整備が進んでいる。

実施項目③（人材育成）では、電気電子情報工学科に宇宙分野の教員 が 2 名増員され教育基盤が強化された。

本課題の成果は、令和 7 年度 文部科学省「宇宙航空科学技術推進委託費（宇宙人材育成プログラム／宇宙専門人材育成）」での採択課題として発展的に継承され、地上局を活用した実践的教育体系の拡充に寄与している。同課題では本課題で構築した FUT 衛星地上局が活用され、大学における宇宙人材育成が継続的に推進される体制が形成されている。また、次期展開として宇宙戦略基金（月通信に関するフィージビリティスタディ）にも採択された。さらに、普及活動等に対して総務省令和 7 年度「電波の日・情報通信月間」北陸総合通信局長賞を受賞するなど社会的評価も獲得した。

### (3) 今後の展望(長期アウトカム)

本課題により確立された月探査機運用技術および地上局体制は、今後、我が国の月探査ミッション支援において重要な役割を担うことが期待される。特に、国内で JAXA 以外に月探査機運用が可能な大学地上局が整備されたことは、国家的月探査インフラの強靱化・多重化に寄与し、単一拠点依存による運用リスクを低減する点で極めて重要である。

また、本課題で培った成果を他大学へ展開することで、大学間連携による地上局ネットワーク形成が現実的な選択肢となり、月探査機の可視時間拡大、冗長化、柔軟なスケジューリングが期待できる。これにより、大学が自律的に探査機運用へ参画できる環境が整備され、我が国全体の月探査能力の底上げに資する。

さらに、衛星プロジェクトとの連携が継続し、運用支援ニーズが増大することで、地上局の外部利用による新たな産学連携・事業化の可能性が高まる。外部ニーズを受け入れられる大学拠点が国内に形成されることは、民間事業者の月探査参入を促進し、月探査関連産業の裾野拡大につながる。こうした一連の広がりには、宇宙産業エコシステム構築に寄与し、国としての戦略的価値が高い。

加えて、本課題で育成された学生が宇宙関連企業や研究機関に就職し、将来的に月探査ミッションへ参画することで、人材循環と技術継承が進展する。本学で UNISEC ワークショップを開催し、全国の大学との技術情報共有や議論を促進した他、国内外(例:タイ)の高校生を受け入れて地上局見学・体験イベントを実施するなど、国際的な次世代育成の裾野拡大にも貢献した。これらの取り組みの発展により、研究—実務—教育が連続する人材育成サイクルの確立へとつながることが期待される。

以上により、本事業は以下の長期的成果に同時に貢献しつつある。

- 月探査機運用のための大学拠点形成
- 国家的探査インフラの強靱化・多重化
- 産学連携・外部利用拡大による産業創出
- 将来を担う国際的宇宙人材の育成

これらは、我が国の宇宙探査活動の持続的発展に資する長期的アウトカムとして極めて意義深い。

## 8. 評価点

S

評価を以下の5段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

## 9. 評価理由

目標とした超小型月探査機の高度化に資するコンパクトな衛星地上局システムの開発は時刻安定度(10-13の桁)を除き性能的に達成され、想定以上の数の月探査関連の衛星との通信実証に成功し今後の利用展開に期待が持てる成果となった。今後の月ミッションでは通信手段が重要になり、光通信とRF通信が併用されると考えられるため、そのRF通信を小型アンテナで実現し、また、ユーザを拡大する活動も進めておられることを高く評価する。

DESTINY+ミッションへの貢献については未達であるが、それは外的要因（探査機ミッションの障害等）による未達事項であり、別の方法で対応し、DESTINY+の遅延を乗り越えての関係者の努力の成果であると考えられる。月探査への参入障壁を下げ、大学を含む多様な主体が月探査へ参画できるインフラとして認知されつつある。

説明資料ではアウトプット目標値と成果の対比が十分示されず読み取れず、書面評価で目標性能を満たせていないとの評価もあり、上記未達も含めてフルサクセスには至らなかった部分もあるのではないかと考えられる。一方でヒアリングでは性能達成の根拠も示されていたので、目標値もおおむね達成（ミニマムサクセス相応）できているのではと思われる。短期的アウトカムに学会発表やワークショップ、出展などが書かれているが、これらはアウトプットであり、両者の区分の明確化が求められる。一方、多数プロジェクトへの波及やTV取材10件などもあり、ある程度の短期的アウトカム成果も得られていると考えられる。所期の性能目標をほぼ達成し、実機においても実証されたことで、地上局の構築、人材育成という主要な実施項目は着実にかつ発展的に達成され、当初計画を超える成果が見られた点が特に高く評価される。

人材育成については、学部教育における受講者数や講演会への参加数から宇宙への関心を高めることには成功した。達成主要な目標の一つである「今後の宇宙開発を地上局の観点から支える人材育成を行う」については、授業科目の受講者数という規模面については目標を達成している。地上局を実機として学生が日常的に扱える環境構築や学生の実践的研究力育成の基盤整備、「あわら宇宙センター」設立等を通じた短期・長期アウトカムは大きいと判断できる。一方、宇宙専門人材の育成という観点では不十分な結果に終わっている。これは、本事業が衛星地上局の開発そのものに重点が置かれ、本システムを活用した人材育成パッケージの作成に十分なエフォートが割かれていなかったからではないかと推察される。人材育成の観点からの教育プログラムについては、実践的な経験提供については優れた成果を達成したとは言えるが、評価指標・方法の明確化については不十分であると言える。この点については、令和7年度に本受託費で採択された「あわら宇宙センターを基盤する実践的宇宙人材の育成」において高い目標を掲げて継続的に取り組まれることを望む。組織/資金/人的体制の継続性に関する具体的な提示が無く、実現性に課題が残されている。また、概念的な連携体制は示されているが、その形成に至るロードマップの明確化など、社会還元に至る道筋が具体的に示されていない。一方、ヒアリングではある程度定量的な指標も説明されたので、具体的な計画も一定レベルでは用意されていると考えられる。

今後の展開については、あわら宇宙センターの組織をベースに上記の受託費で人材育成に活用されることや、宇宙戦略基金、JAXA、産学の月探査との連携を精力的に進めていることから妥当だと考える。

以上より、本課題は、優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献したと認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- シスルナ領域での宇宙活動は今後ますます盛んになると予想される。産官学の連携を大切にあわら宇宙センターの発展をこの流れで加速するとともに、大学としての人材育成の使命に多様な観点で取り組み、グローバルに活躍できる宇宙専門人材を多数輩出すること。
- とくに成果の定量的/客観的評価、組織/資金/人的体制の継続と連携体制の形成に至るロードマップの具体化と実践などを解決するべく、継続してプログラムの社会適用に取り組んで、より充実したアウトカム成果の創出につなげること。

- 学内外における連携の枠組みが一層拡大されていくこと。
- 精度のさらなる向上と活用の拡大することと、そのための創意工夫をすること。
- 月通信のコミュニティにおいて、アンテナ機数を増やす活動をする事。
- 「探査機の軌道決定を含む運用の視点を持った技術者」の育成は今後も重要な課題である。そうした技術者に求められる資質能力を知識やスキル面からのみ設定するだけでなく、自己肯定感、効用感、俯瞰的な視点、失敗から学ぶマインドといった「コンピテンシー（行動特性）」や「メタ認知能力」を目標に含め、自己評価ルーブリックやコンセプトマップ等の導入を通じて変化の測定や評価をプログラムに組み込むこと。