

令和 6 年度宇宙航空科学技術推進委託費

「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」

委託業務成果報告書

令和 7 年 5 月

福井工業大学

目 次

1. 委託業務の目的.....	3
2. 実施内容の概要.....	3
3. 実施内容に関する成果報告.....	5
3-1. プロジェクトの総合推進.....	5
3-1-1. プロジェクトの進捗管理.....	5
3-1-2. FUT 衛星地上局システム全体に関する検討会、各協力機関との打合せの実施.....	6
3-2. 研究開発.....	8
3-2-1. TSUKIMI 探査機との適合性試験による性能実証.....	8
3-2-1-1. TSUKIMI 探査機について.....	8
3-2-1-2. 適合性試験の目的.....	8
3-2-1-3. 試験日程/場所.....	9
3-2-1-4. 使用装置および試験コンフィグレーション.....	10
3-2-1-5. 試験結果および評価.....	12
3-2-2. VLBI 観測による地上局の性能実証.....	15
3-2-2-1 背景.....	15
3-2-2-2 試験の目的.....	15
3-2-2-3 試験・方法.....	15
3-2-2-4 試験結果および評価.....	17
3-3. 人材育成の実施状況.....	19
3-3-1. 工学部・電気電子工学科および大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースにおける人材育成.....	19
3-3-2. 宇宙研究推進本部における人材育成.....	23
4. R4~R6 年度の成果のまとめと今後の展望.....	30
4-1. 成果のまとめ.....	30
4-1-1. 衛星地上局システム.....	30
4-1-2. 衛星・探査機の運用.....	31
4-1-3. 人材育成.....	38
4-2. 今後の展望.....	39
4-2-1. 技術面の展望.....	39
4-2-2. 人材育成面の展望.....	39
4-2-3. 将来展望.....	40
付録：エクレウス探査機の運用に関するミッション要求および成功基準.....	41

1. 委託業務の目的

月－地球間通信に最適設計し現在開発中の口径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。

超小型月探査機からのデータを受信する機能、超小型月探査機へ命令を送信する機能、及び超小型月探査機との通信により探査機の軌道決定に必要なパラメータを測定する機能を持つコンパクトな衛星地上局について、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. 実施内容の概要

本章ではR6年度における実施内容の概要を述べる。R6年度では、地上におけるNICTのTSUKIMI探査機との適合性試験および電波天文観測的手法によってFUT衛星地上局の性能実証を行った。

① プロジェクトの総合推進

a. プロジェクトの進捗管理

地上におけるNICTのTSUKIMI探査機との適合性試験の実施による性能実証の成功、電波天文観測的手法による性能実証の成功、プロジェクトの成果のとりまとめを目指してプロジェクトを推進し、実施内容に対する報告書を作成した。報告書は以下の内容で構成される。

(ア) 地上におけるNICTのTSUKIMI探査機との適合性試験による性能実証の結果

(イ) 電波天文観測的手法による性能実証の結果

(ウ) プロジェクトの成果の全体的なまとめ

b. FUT衛星地上局システム全体に関する検討会、各協力機関との打合せの実施

(ア) aの報告書を構成する内容に関する検討会を月に1回開催した。

(イ) 各協力機関との打合せを必要に応じて実施した。

(ウ) 検討会の議事録を毎回作成した。議事録には検討されたアクションアイテムおよびそれへの対応状況を明確に記載した。

② 研究開発

a. FUT衛星地上局の性能実証

以下の(ア)および(イ)の2つの方法により、前年度に引き続きFUT衛星地上局の性能実証を行った。性能実証において必要な設備備品を購入した。

(ア) FUT衛星地上局を用いてTSUKIMI探査機との適合性試験を実施することにより総合的な性能実証を行った。

(イ) 以下の電波天文観測的手法を用いたFUT衛星地上局の基本性能実証を行った。

軌道決定の精度を決めるFUT衛星地上局システムの時刻安定度を計測するため、他の地上局とのVLBI観測を行った。FUT衛星地上局の時刻安定度として少なくとも 10^{-13} のオーダーであることを実証することを目標とした。

③人材育成

a. 工学部・電気電子工学科、電気電子情報工学科および大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースにおける人材育成

(ア) 以下の研究課題の実施により、探査機搭載機器との通信系も含めミッション全体を俯瞰し理解出来る運用人材の育成を行った。

- ・卒業研究におけるFUT衛星地上局を活用した研究課題の実施（Destiny+探査機を題材とし、月探査機の運用を目的とするアンテナシステムおよび運用方法の検討を行った）
- ・口径3.9mアンテナシステムを活用した研究課題の実施（学生がアンテナシステムの運用を行うことによって取得するデータを活用した衛星データ利活用に関する研究を行った）

(イ) 学外から講師を招き、工学部・電気電子工学科、電気電子情報工学科の学生を対象とした講演会を実施した。

b. 宇宙研究推進本部における人材育成

(ア) 本事業の紹介を通した宇宙の探査に関する一般への普及を目的とした講演会を実施した。

(イ) 地域の若い人へ夢を与えることを目的として、FUT衛星地上局システムの一般公開を実施した。

(ウ) UNISECワークショップの開催（12月、あわらキャンパス）

3. 実施内容に関する成果報告

2で述べた実施内容①プロジェクトの総合推進、②研究開発、③人材育成の各項について、具体的な内容及び成果について報告する。

3-1. プロジェクトの総合推進

3-1-1. プロジェクトの進捗管理

表3-1-1にR4年度からR6年度の進捗状況を示す。R6年度は、R5年度にFUT衛星地上局が完成したことを踏まえ、FUT衛星地上局の核となる口径13.5mアンテナシステムに関する以下の性能実証について計画を進め実施した。

- TSUKIMI探査機との適合性試験による性能実証
- VLBI観測による地上局の性能実証

R6年度の実施内容について、以下の内容で構成される「FUT衛星地上局システム構成書」を作成した。

(ア) 地上におけるNICTのTSUKIMI探査機との適合性試験による性能実証の結果

(イ) 電波天文観測的手法による性能実証の結果

(ウ) プロジェクトの成果の全体的なまとめ

表3-1-1 R4~R6年度の進捗状況

年度	R4年度			R5年度				R6年度			
項目・月	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

3-1-2. FUT 衛星地上局システム全体に関する検討会、各協力機関との打合せの実施

2024年7月に「あわら宇宙センター」（図3-1-1）が設立され、FUT衛星地上局システムの運営はあわら宇宙センターで管轄されることとなり、本事業の進捗管理についてあわら宇宙センターの運営委員会で検討されることとなった。

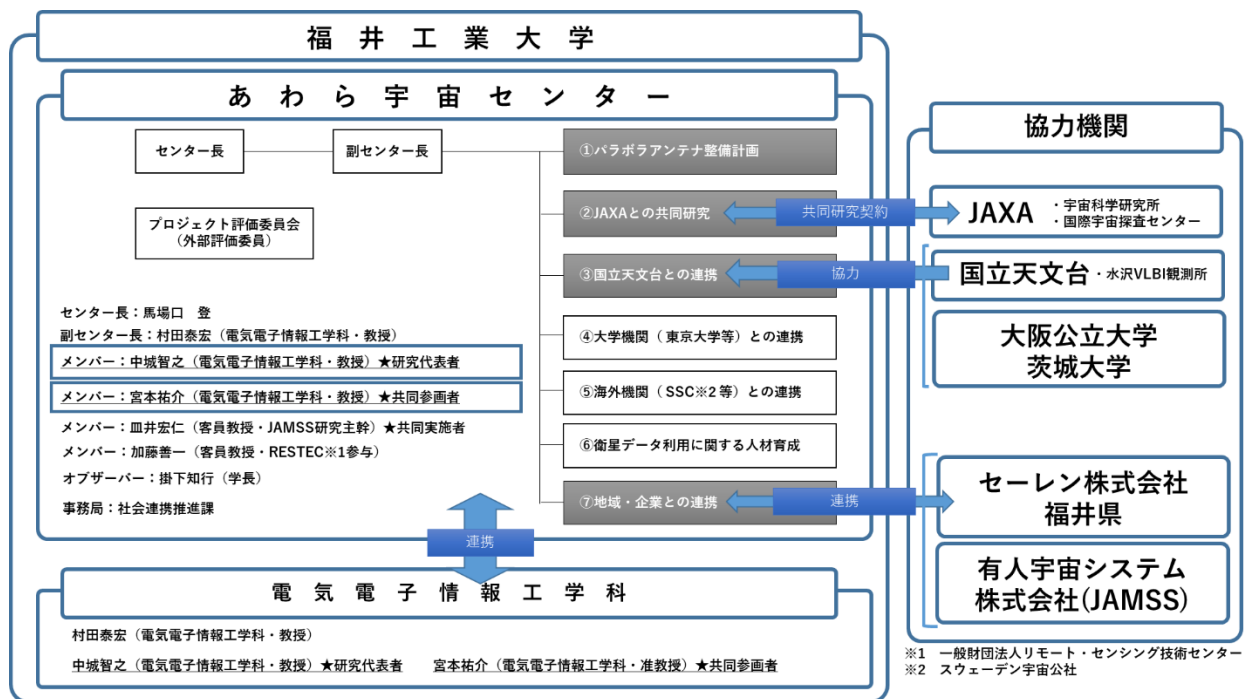


図3-1-1 あわら宇宙センター

検討会および打ち合わせの実施状況を表3-1-2に示す。あわら宇宙センターメンバーによる進捗管理、問題点の解決方法検討などの検討会を随時実施した他、JAXA DESTINY+チームとの打ち合わせを継続的に実施した。FUT衛星地上局とJAXA相模原キャンパスの間のネットワークにおけるSLE接続試験およびデータ伝送試験を実施し、コマンドおよびテレメトリデータの伝送ができることを確認した。

TSUKIMI探査機について、2024年4月から打ち合わせを開始、5月には秘密保持契約を締結して適合性試験に関する打ち合わせを進め、2024年12月に適合性試験を実施した。

VLBI観測について茨城大学との打ち合わせを進め、2024年11月にVLBI観測を実施した。

福井大学について、R3年度の本委託事業における「月面・月周回軌道宇宙機への測位・IoT通信サービスを提供する超小型衛星」の研究課題に関して、本事業と連携すべき研究課題であることからR5年度に引き続き情報交換を行った。

表3-1-2 FUT衛星地上局の進捗管理に関する検討会および打ち合わせ・情報交換一覧

種別	関連機関／ 部署	実施日／ 実施期間	内容
検討会	あわら宇宙センター メンバー	R6年度、月1~2回程度	進捗管理、問題点の解決方法検討など
打ち合わせ	福井工業大学および JAXA DESTINY+ チーム	<u>2024年</u> 5月14日、6月13日、7月 18日、8月19日、9月17 日、10月11日、10月25 日、11月15日、12月6日 <u>2025年</u> 1月10日、2月7日、3月 27日	FUT衛星地上局によるDESTINY+探査機の 運用に関する各種検討 FUT衛星地上局とJAXA相模原キャンパスの 間のネットワークにおける ・SLE接続試験（2025年*月*日） ・データ伝送試験（2025年3月4日） の実施
	福井工業大学および TSUKIMI チーム	<u>2024年</u> 4月10日、6月25日、9月 5日、10月23日	FUT衛星地上局（口径13.5mアンテナシステ ム）とTSUKIMI探査機との適合性試験に関す る打ち合わせの実施 適合性試験の実施（2024年12月16日～）
	福井工業大学および 茨城大学	<u>2024年</u> 9月19-20日、 11月7-10日	VLBI観測に関する打ち合わせ VLBI観測の実施（2024年11月9日）
	福井工業大学および 福井大学	メールでの情報交換	月測位衛星システムとの連携について

3-2. 研究開発

3-2-1. TSUKIMI探査機との適合性試験による性能実証

本節では、FUT 衛星地上局 13.5m アンテナシステムと TSUKIMI 探査機の衛星シミュレータ（オンボードコンピュータおよび X 帯トランスポンダ）の間の適合性試験による性能実証について述べる。

3-2-1-1. TSUKIMI 探査機について

近年、アルテミス計画に代表されるように月の資源探査が注目を浴びている。特に水は人間の活動にとって最も欠かせない物質であり、その探査は今後の人類の月面活動にとって必要不可欠である。TSUKIMI 計画(Lunar Terahertz SURveyor for Kilometer-scale Mapping)は、月周回軌道探査機によるテラヘルツ受動リモートセンシングの手法を用いて、広域の月面水資源分布を求めることを目的とした、今後の宇宙開発にとって極めて重要なプロジェクトである。打ち上げは 2026 年度以降を予定しており、FUT 衛星地上局 13.5m アンテナシステムを主運用局として用いることを想定して運用体制の構築が進められている。

3-2-1-2. 適合性試験の目的

本適合性試験は、FUT 衛星地上局 13.5m アンテナシステムと TSUKIMI 探査機間の通信回線が回線計算で示された通りに成り立つことを確認するために実施された。すなわち、以下のことを確認するために本適合性試験を実施した。

(1) アップリンク回線

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ジンが 3dB 以上であること。

(2) ダウンリンク回線

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ジンが 3dB 以上であること。

(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

3-2-1-3. 試験日程/場所

(1) 試験日程

試験日程の実績を表 3-2-1 に示す。

(2) 試験実施場所

福井工業大学あわら宇宙センター

(福井工業大学 あわらキャンパス : 福井県あわら市北潟 213 字 21 番地)

表 3-2-1 試験スケジュール実績

	項目		2024年12月															
			16		17		18		19		20		21		22		23	
			AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	T/B	予定																
		実績																
2	セットアップ	予定																
		実績																
3	ID1 送信系校正	予定																
		実績																
4	ID2 スレッシュールド測定 (アップリンク信号)	予定																
		実績																
5	ID3 スレッシュールド測定 (コマンド信号)	予定																
		実績																
6	ID4 受信系校正	予定																
		実績																
7	ID5 スレッシュールド測定 (テレメトリ信号)	予定																
		実績																
8	ID6 コマンド・テレメトリの連続動作確認	予定																
		実績																
9	ID7 スレッシュールド測定 (コマンド・テレメトリ・レンジング信号)	予定																
		実績																
10	ID8 インテグレイティッドドップラ値確認	予定																
		実績																
11	QDR(クイックデータレビュー)	予定																
		実績																
12	撤収	予定																
		実績																
13	T/R	予定																
		実績																

3-2-1-4. 使用装置および試験コンフィグレーション

適合性試験に使用した装置リストを表 3-2-2 に示す。また、本適合性試験の試験コンフィグレーションを図 3-2-1 に示す。13.5m アンテナタワーの隣に試験用シェルターを設置し（図 3-2-2）、試験用シェルター内に TSUKIMI 衛星シミュレータを設置した（図 3-2-3）。衛星シミュレータの出力端子を 13.5m アンテナタワー内の LNA 入力点の方向性結合器にケーブルで接続し、模擬ダウンリンク回線とした。また、13.5m アンテナタワー内のアップコンバータ出力と衛星シミュレータの入力端子をケーブルで接続し、模擬アップリンク回線とした。運用室では、制御コンピュータを介してベースバンド装置を操作し、受信・復調の状況確認を行った（図 3-2-4）。

ダウンリンク回線では衛星シミュレータから変調信号を送出し、13.5m アンテナの受信系を経て運用室のベースバンド装置で受信、復調処理を行った。アップリンク回線では運用室のベースバンド装置から変調信号を送出し、13.5m アンテナの送信系を経て衛星シミュレータで受信、復調処理を行った。測距試験では、運用室のベースバンド装置から測距信号とコマンド信号を送出し、衛星シミュレータで受信後、テレメトリ信号と共に測距信号をベースバンド装置に送り返すことにより測距性能の測定を行った。

表 3-2-2 使用装置リスト

使用装置	構成	モデル	数量	備考
TSUKIMI 衛星シミュレータ	オンボードコンピュータ	EM	1 式	
	X 帯トランスポンダ (XTRP) (USO を含む)	EM	1 式	
FUT 衛星地上局	13.5m アンテナ		1 式	
	ベースバンド装置	CORTEX	1 台	
	制御コンピュータ	DELL	1 台	

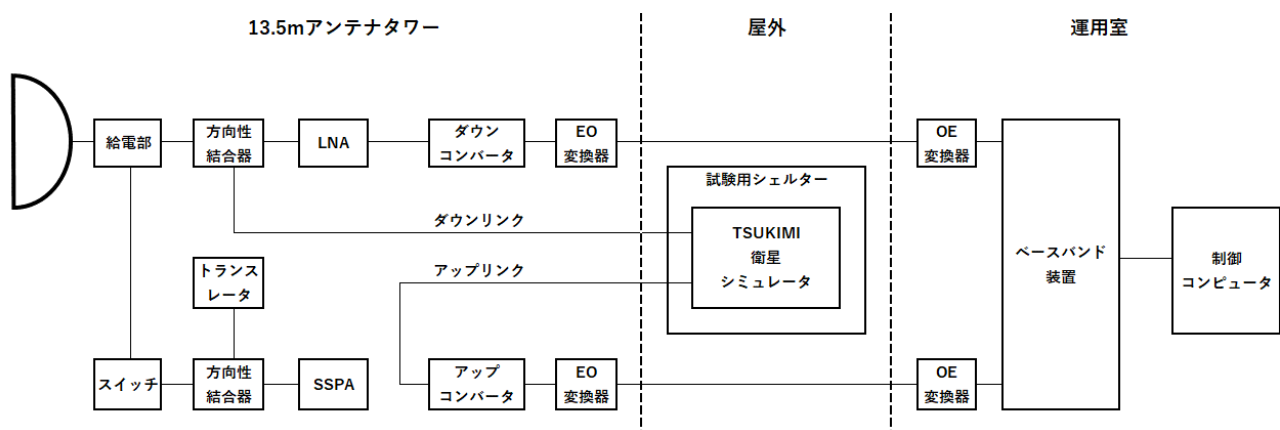


図 3-2-1 試験コンフィグレーション



図 3-2-2 13.5m アンテナタワーおよび試験用シェルター



図 3-2-3 試験用シェルター内の衛星シミュレータの様子



図 3-2-4 運用室におけるベースバンド装置の操作の様子

3-2-1-5. 試験結果および評価

(1) 試験結果

試験結果を 表 3-2-3～表 3-2-5 に示す。「ノミナル受信レベル」は回線計算で確認した受信レベルである。

表 3-2-3 衛星シミュレータにおけるスレッショルド計測結果（アップリンク）

No	種類	XTRP における ノミナル受信レベル (dBm)	XTRP における 最小受信可能レベル (dBm)	マージン (dB)
1	コマンド信号 (キャリア)	-107.4	-128.7	21.3
2	コマンド信号 (サブキャリア変調波、 125 bps、単独変調時)	-107.4	-124.7	17.3
3	コマンド信号 (サブキャリア変調波、 1,000 bps、単独変調時)	-107.4	-114.6	7.2
4	コマンド信号 (サブキャリア変調波、 125 bps、レンジ同時変調時)	-107.4	-121.6	14.2
5	コマンド信号 (サブキャリア変調波、 1,000 bps、レンジ同時変調時)	-107.4	-112.7	5.3

表 3-2-4 FUT 衛星地上局におけるスレッショルド計測結果（ダウンリンク）

No	種類	LNA における ノミナル受信レベル (dBm)	LNA における 最小受信可能レベル (dBm)	マージン (dB)
1	テレメトリ信号 (キャリア、16 bps)	-118.8	-151.0	32.2
2	テレメトリ信号 (キャリア、8,192 bps)	-118.8	-147.0	28.2
3	テレメトリ信号 (キャリア、16,384 bps)	-118.8	-147.0	28.2
4	テレメトリ信号 (キャリア、32,768 bps)	-118.8	-141.0	22.2
5	テレメトリ信号 (変調波、16 bps)	-118.8	-151.0 (No.1 と同じ) (Eb/No : 4.0 相当)	32.2
6	テレメトリ信号 (サブキャリア変調波、8,192 bps)	-118.8	-131.0 (Eb/No : 4.0 相当)	12.2
7	テレメトリ信号 (サブキャリア変調波、16,384 bps)	-118.8	-128.0 (Eb/No : 4.0 相当)	9.2
8	テレメトリ信号 (サブキャリア変調波、32,768 bps)	-118.8	-126.0 (Eb/No : 4.0 相当)	7.2

表 3-2-5 測距結果

No	XTRP における受信レベル(dBm)	遅延時間の揺らぎ量(n 秒)	距離の揺らぎ量 (m)
1	-107.0	9 (peak-peak) (19072 n 秒 ~ 19081 n 秒)	2.7 (5717.6 m ~ 5720.3 m)
2	-87.0	5 (peak-peak) (19078 n 秒 ~ 19083 n 秒)	1.5 (5719.4 m ~ 5720.9 m)

(2) 試験評価

試験評価結果を表 3-2-6 に示す。表中の赤字で示したように、アップリンク/ダウンリンク回線が成り立つこと、および十分な測距性能であることが確認された。

表 3-2-6 試験評価結果

ID	試験項目	内容
1	送信系校正	FUKUI 局の送信系設備間のケーブルが正しく接続されていること、通信仕様に合致したアップリンク信号が通信系とのインタフェースポイントから出力されていることを確認した。 通信系、データハンドリング系の起動やセットアップを行い、それぞれの機器が正常に動作していることを確認した。
2	スレッシュホールド測定 (アップリンク信号)	FUKUI 局のアップリンク周波数を通信系の捕捉可能周波数範囲から外れるよう、アップリンクノミナル周波数から+30 kHz ずらした後、回線計算結果に基づき FUKUI 局からコマンド信号（キャリア）をアップリンクした（通信系は UNLOCK）。 その後、三角波掃引（5 kHz/秒）を行い、通信系と FUKUI 局間のコマンド回線（キャリア）が確立（LOCK）することを確認した。 （コマンド変調は OFF）また、中継路のステップアッテネータを操作して、通信系が捕捉可能な最小受信レベルを計測した。
3	スレッシュホールド測定 (コマンド信号)	ID2 と同様に、通信系と FUKUI 局間のコマンド回線（キャリア）を確立させた後、FUKUI 局からコマンドデータ (CLTU) を送信して、通信系の BCH チェックエラー数、もしくは処理済みコマンド数が正しく変化することを確認した。 上記はコマンドビットレート：125 bps、1000 bps の 2 パターンを確認し、それぞれにおいてコマンドデータを受信可能な最小受信レベルを計測した。 表 3-2-3 の No.1~5 に示したように 3 dB 以上のマージンが確保されており、アップリンク回線が成り立つことが確認された。
4	受信系校正	FUKUI 局の受信系設備間のケーブルが正しく接続されていること、通信仕様に合致したパラメータが受信系設備に設定されていること、復調装置に受信レベルや受信周波数偏差等が正しく表示されていることを確認した。 通信系、データハンドリング系の起動やセットアップを行い、それぞれの機器が正常に動作していることを確認した。
5	スレッシュホールド測定 (テレメトリ信号)	回線計算上のノミナル受信レベルとなるよう中継路に挿入したステップアッテネータを操作し、復調装置がダウンリンク信号（キャリア）を LOCK すること、テレメトリ受信カウンタがカウントアップすること、及びテレメトリ受信異常カウンタがカウントアップしないことを確認した。その後、ステップアッテネータの抵抗値を増加させて、テレメトリ受信異常カウンタがカウントアップするレベル、フレームロックが外れるレベル、復調装置が UNLOCK（キャリア）となるレベルを計測した。 上記はテレメトリビットレート：32768 bps、16384 bps、8192 bps、16 bps（4 パターン）のそれぞれにおいてテレメトリデータを受信可能な最小受信レベルを計測した。 表 3-2-4 の No.1~8 において 3 dB 以上のマージンが確保されており、ダウンリンク回線が成り立つことが確認された。

6	コマンド・テレメトリの 連続動作確認 (コヒーレント切替を含む)	ID3、ID5 と同様に、通信系と FUKUI 局間のコマンド・テレメトリ回線を確立させ、一定期間、コマンドデータの送信、テレメトリデータの受信が正常に実施されることを DH 系のテレメトリデータ、及び FUKUI 局の状態データにて確認した。 また、合わせて通信系のコヒーレントモードへの切り替えを行い、切替え後も速やかにテレメトリデータを受信可能であることを確認した。
7	スレッシュホールド測定 (コマンド・テレメトリ・ レンジング信号)	ID3、ID5 と同様に、コマンド・テレメトリ回線を確立させた後、通信系入力端において受信レベルが -107 dBm 前後となるよう、中継路に挿入したステップアッテネータを調整した。 その後、通信系をコヒーレントモードへ切替え、FUKUI 局よりレンジング信号をアップリンクし、測距装置においてレンジング信号が LOCK することを確認した。 なお、コード長は 20、副搬送波周波数は 440.789 kHz、積分時間は 3 秒間とした。 上記と並行して、FUKUI 局からコマンドデータ(CLTU)を送信して、通信系の BCH チェックエラー数、もしくは受信コマンド数が正しく変化すること、FUKUI 局のテレメトリ復調装置がフレームロックし、テレメトリ受信カウンタがカウントアップすること、及びテレメトリ受信異常カウンタがカウントアップしないことを合わせて確認した。 表 3-2-5 の No.1 において距離の測定ゆらぎが 2.7m(±1.35m)であり、十分な精度で測定できることが確認できた。
8	インテグレートド ドップラ値確認	ID7 と並行して、FUKUI 局の測距装置にて取得したインテグレートドドップラ値の差分計算を行い、周波数偏差が見られない (-0.022 Hz) ことを確認した。

3-2-2. VLBI観測による地上局の性能実証

本節では、FUT13.5m アンテナと茨城大学 日立 32m アンテナとの VLBI 観測実験による、FUT 地上局システムの周波数安定度性能実証について述べる。

3-2-2-1 背景

軌道決定の高精度化、特に視線方向に垂直な方向の精度向上を目指す手法として、DDOR (Delta Differential One-way Range) 計測が注目されている。DDOR は、地球上の遠く離れた 2 局の地上アンテナで同一の信号を同時受信し、その受信時刻差を高精度に測定することにより、天球上の探査機位置を数ナノラジアンの角分解能で測定可能とするものである。

具体的には、探査機と、その近傍の既知の電波源（たとえばキューサー）を交互に観測し、天球上の位置を比較することで、高精度な位置決定が可能となる。この手法では、1AU 離れた探査機の位置を数百メートル以下の精度で決定することが可能であり、従来の 1 マイクロラジアン程度の精度と比べて 1 桁以上の改善が見込まれる。

DDOR 計測を実現するためには、地上局システムにおいて 10^{-13} 程度の周波数安定度が求められる。この要件を満たすかどうかを確認するため、福井工業大学 (FUT) あわらキャンパスの FUT13.5m アンテナと、茨城大学が運用する日立 32m 電波望遠鏡の 2 局を用いた VLBI (超長基線干渉法) 観測実験を実施した。

3-2-2-2 試験の目的

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

3-2-2-3 試験・方法

システム構成

- ・ 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 3-2-5, RF サンプラーおよび記録ストレージ)、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



図 3-2-5：VLBI 観測用記録システム
(左：可搬型記録ストレージ、右：信号処理機能付きダイレクト RF サンプラー)

手順概要

- ・ 2024 年 11 月 8 日：FUT あわらキャンパスに VLBI 記録システムを設置
- ・ FUT13.5m アンテナの信号を VLBI 観測用受信機に導入し、入力レベルを調整（ビット分布を確認しながら最適化）
- ・ 翌 11 月 9 日：FUT13.5m アンテナと日立 32m アンテナで同時観測を実施（キューサー 3C273B）
 - 試験当日、茨城大学ネットワークが接続している国立天文台での法定停電が実施されたため、試験測定（1 分）と本測定（30 分）の 2 回のみ実施

3-2-2-4 試験結果および評価

(1) 試験結果

観測結果を（図 3-2-6）に示す。観測実験の結果、FUT13.5m アンテナにおいて、初めて VLBI 観測によるフリンジの検出に成功した。この成果は、あわらキャンパスにおける VLBI 観測システムが実際に動作し、観測信号を正しく記録・解析できることを示す重要な一歩である。

しかしながら、得られた信号雑音比（SNR）は約 40 にとどまり、観測対象である 3C273B の X 帯でのフラックス約 20Jy、FUT13.5m の SEFD（約 4700Jy）、帯域幅 500MHz、積分時間 1 秒としたときに日立 32m 望遠鏡との組み合わせによる感度（約 0.2Jy）から、理論的に期待される信号雑音比（SNR）約 100 よりも低い値となった。

さらに詳細な解析の結果、検出されたフリンジのピークが **Rate** 方向に分裂しており、観測中に位相の揺らぎが発生していることがわかった。また、積分時間を変化させた場合にも、雑音レベルが理論通りに低下せず、システムの安定性に課題があることが確認された。

(2) 試験評価

本観測実験により、FUT13.5m アンテナを用いた初の VLBI 観測に成功し、フリンジの検出が確認された。このことは、同アンテナを用いた VLBI 観測が実現可能であることを示す重要な成果である。一方で、得られた信号雑音比は期待値を大きく下回り、さらに位相の揺らぎや雑音特性に関する課題も明らかとなった。

これらの原因としては、FUT13.5m アンテナシステムにおける位相の不安定性が主な要因として考えられる。そのほかにも、ポインティング精度、受信機系の線形性、システム雑音温度の変動など、複数の要素が影響している可能性がある。

今後は、FUT13.5m アンテナ単体での詳細な試験を実施し、個別の要因を精査・改善していく予定である。また、観測設定について再度確認し、観測局を追加しての VLBI 観測再試験の実施を調整している。これにより、観測結果の比較および問題の切り分けを行い、DDOR 計測に必要な高精度観測体制の構築を目指す。

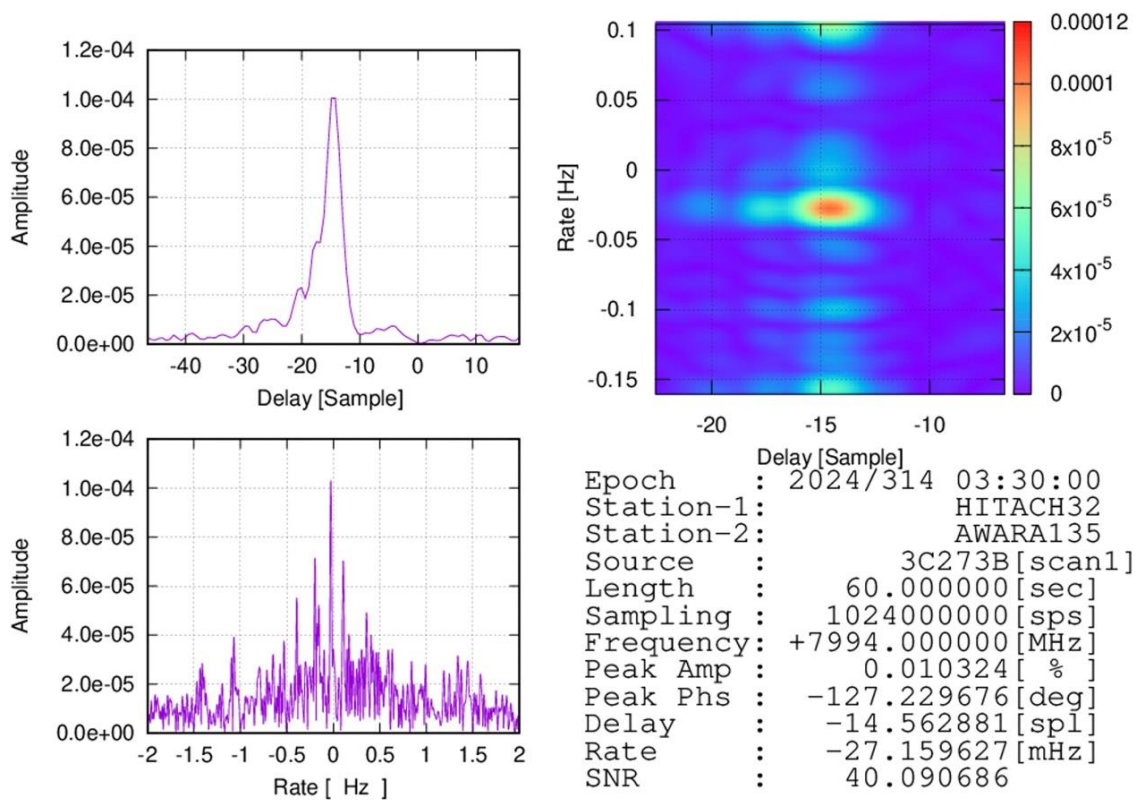


図 3-2-6 FUT13.5m-日立 32m での VLBI 実験観測の結果

3-3. 人材育成の実施状況

3-3-1. 工学部・電気電子工学科および大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースにおける人材育成

(ア) 以下の研究課題の実施により、探査機搭載機器との通信系も含めミッション全体を俯瞰し理解出来る運用人材の育成を行った。

■卒業研究におけるFUT衛星地上局を活用した研究課題の実施(Destiny+探査機を題材とし、月探査機の運用を目的とするアンテナシステムおよび運用方法の検討)

- 研究題目：TCP/IPを用いたベースバンド装置の制御に関する研究
- カテゴリー：卒業研究（4年生）
- 研究内容：13.5mアンテナシステムで用いているSAFRAN社のベースバンド装置CORTEXの制御を行うソフトウェアの開発を行った。ベースバンド装置は、
 - ・ 探査機へのコマンド信号による変調信号の生成
 - ・ 探査機からのテレメトリ信号の受信及び復調の機能を持ち、CORTEXはNASAやJAXAなどの宇宙機関で使用されている世界標準とってよいベースバンド装置である。FUT衛星地上局システムの柔軟な運用を実現するために、本研究ではRUST言語を用いたTCP/IPによるベースバンド装置の制御プログラムを開発した。開発したプログラムにより、以下の成果が得られた。

(1) DESTINY+探査機の運用準備について ([4-1-2④に関連](#))

開発したプログラムを用いて以下が問題なくできることを確認した。

- ・ FUT衛星地上局13.5mアンテナシステムからJAXA宇宙科学研究所の管制室へのベースバンド装置へのネットワークを経由したコマンドデータの送信
- ・ JAXA宇宙科学研究所の管制室からFUT衛星地上局13.5mアンテナシステムのベースバンド装置へのネットワークを経由したテレメトリデータの送信

これにより、JAXA宇宙科学研究所の管制室からFUT衛星地上局13.5mアンテナシステムの制御ができることが確認でき、今後の総合運用性試験の実施に向けて重要なステップとなった。

(2) TSUKIMI探査機との適合性試験について ([3-2-1に関連](#))

本適合性試験において、開発したプログラムを用いて以下のことを行った。

- ・ 13.5mアンテナシステムからTSUKIMI探査機の衛星シミュレータへのコマンド送信、
- ・ TSUKIMI探査機の衛星シミュレータから13.5mアンテナシステムに送られるテレメトリデータの受信及びその内容確認

これにより、本適合性試験を円滑に進めることができた。

- 研究題目：福井工業大学13.5mアンテナ受信システムの性能評価（[表4-1-1に関連](#)）
 - カテゴリー：卒業研究（4年生）
 - 研究内容：13.5mアンテナの8GHz帯のシステム雑音温度とビームパターンの測定・評価を行った。また、システム雑音温度の測定にあたり、アンテナ内部にあるE/O変換機とO/E変換機に搭載されているAuto Level Control (ALC)システムのリニアリティの評価を行なった。
-
- 研究題目：あわら宇宙センター13.5mアンテナのX帯G/T測定に関する研究（[表4-1-1に関連](#)）
 - カテゴリー：卒業研究（4年生）
 - 研究内容：DESTINY+探査機との通信で使用する13.5mアンテナのX帯受信系の受信性能（G/T）について、太陽を用いた電波天文的手法によって測定を行った。その結果、仕様通りの性能であることが確認された。
-
- 研究題目：福井工業大学13.5mアンテナVLBI観測用受信システムの開発（[3-2-2に関連](#)）
 - カテゴリー：卒業研究（4年生）
 - 研究内容：13.5mアンテナの出力がVLBI用記録装置の最適な入力レベルおよび入力周波数帯域となるように調整するVLBI観測用受信機の開発・評価を行なった。受信機全コンポーネントの利得・損失の周波数特性、リニアリティの測定を行い、仕様と整合していることを確認したのち、それらを統合した受信システムを構築・評価し、茨城大学とのVLBI観測実験を実施した。
-
- 研究題目：AIを用いた通信システムの性能改善に関する研究
 - カテゴリー：卒業研究（4年生）
 - 研究内容：月通信ではBPSK変調に基礎をおいた通信方式がよく使用される。本研究では、AIを用いた13.5mアンテナシステムの通信性能向上を最終的な目的とし、その第一歩としてBPSK変調での通信におけるAIを活用した復調時のビットエラーレートについてシミュレーションによる検討を行った。その結果、完全な白色雑音の理想的な環境下では、深層ニューラルネットワークモデルを用いた復調により物理的な限界であるビットエラーレートの理論値を実現できることが確認できた。本研究の実施学生1名はR7年度に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に進学した。今後大学院研究において、月通信で想定されるフェージングの効果など様々な要因によるビットエラーレートの悪化に対するAIモデルによる補償の有効性の検討を行う。またFUT衛星地上局を用いた実際の衛星信号受信に対してAIモデルを活用し、ビットエラーレートの改善について検証を行う予定である。

- 研究題目：ソフトウェア受信機を用いた衛星信号受信機の開発に関する検討
- カテゴリー：卒業研究（3年生後期）
- 研究内容：低コストのソフトウェア受信機HackRFOneと信号処理ソフトウェアGNU Radioを用いた衛星信号受信機の開発に関する検討を行った。今後、SLIM探査機の月面着陸時のLEV-1の信号受信データを用いて、より効率的な受信システムについて検討を行う。

本検討を行った学生1名（現4年生）は、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進学を希望している。

■口径3.9mアンテナシステムを活用した研究課題の実施（学生がアンテナシステムの運用を行うことによって取得するデータを活用した衛星データ利活用に関する研究）

- 研究題目：FUSION-1衛星のデータ利活用に関する検討
- カテゴリー：卒業研究（3年生後期）
- 研究内容：セーレンが開発しFUT衛星地上局の口径3.9mアンテナシステムを用いて運用するFUSION-1衛星のデータ利活用について検討を行った。具体的には、米国Planet社の光学衛星のデータを用いて農地の利用状況調査への衛星データ活用について検討を行った。その結果、FUSION-1衛星搭載のカメラは可視バンドのみであるが、農地として利用されているか否かの判断には使用できる見込みがあるとの結論となった。

本検討に参加した学生1名（現4年生）は、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進学を希望している。

(イ) 学外から講師を招き、工学部・電気電子工学科、電気電子情報工学科および大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースの学生を対象とした講演会を実施した。

1. 講演会名称：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

主 催：福井工業大学

開催日：2024年11月21日（木）・22日（金）

開催場所：福井工業大学福井キャンパス

あわら宇宙センター（福井工業大学あわらキャンパス）

概 要：Zoomミーティングを併用したハイブリッド形式で実施され、29の機関・企業から計96名が参加し、口頭講演22件（うち招待講演3件）、ポスター講演31件。参加者の約40%が35歳以下で、そのうち大学院生・学部学生が26名を占めた。総発表数53件のうち18件が学生による発表であった。

URL：<https://sites.google.com/view/rx-thzws2024>

2. 講演会名称：UNISECワークショップ

講師：山中 浩二 教授（JAXA 国際宇宙探査センター長）

題目：JAXAの国際宇宙探査に係る取組み

主 催：大学宇宙工学コンソーシアム（UNISEC）

協 力：福井工業大学

開催日：2024年12月21日(土)

開催場所：あわら宇宙センター（福井工業大学あわらキャンパス）

概 要：UNISECワークショップにおいて、山中教授の講演会をUNISECと福井工業大学の協力として実施した。128名が聴講した（内、本学電気電子情報工学科学生18名）

実施状況：<https://www.kanaigakuen.ac.jp/media/shinbun/entry-7559.html>

3-3-2. 宇宙研究推進本部における人材育成

(ア) 本事業の紹介を通じた宇宙の探査に関する一般への普及を目的とした講演会を実施した。

1. 講演会名称：七夕講演会（FUT公開講座と共催）

共催：福井工業大学、セーレンプラネット

開催日：2024年7月7日（日）

開催場所：セーレンプラネット

講 師：宮本祐介（福井工業大学・工学部・電気電子情報工学科・教授）

梅本智文氏（国立天文台・天文情報センター普及室・室長）

内 容：講演会は2部構成で、1部（午前）は宮本がFUT公開講座の一環として小中学生向けに、また2部（午後）は国立天文台から天文情報センター普及室 室長 梅本智文氏を招いてサイエンスカフェとした一般向け講演を行った。

URL：https://www.asj.or.jp/tanabata/2024/list.pl?lid=2505351620_0tNTpQkEtA_w7ITQbhCUa6&mode=detail&pid=P18

2. 講演会名称：FUT 公開講座

主 催：福井工業大学

開催日：2024年8月3日(土)

開催場所：あわら宇宙センター（福井工業大学あわらキャンパス）

講 師：中城智之（福井工業大学・工学部・電気電子情報工学科・教授）

題 目：月探査用大型パラボラアンテナの一般公開

概 要：あわら宇宙センターの13.5m アンテナシステムの紹介を一般市民向けに行った。参加者20名であった。

実施状況：https://www.fukui-ut.ac.jp/news/education/report_s2/entry-10785.html

3. 講演会名称：未来塾講演会

主 催：福井工業大学

開催日：2024年11月2日(土)

開催場所：あわら宇宙センター（福井工業大学あわらキャンパス）

講 師：渡部潤一（国立天文台上席教授）

題 目：見上げてみよう、今宵の星空

概 要：あわら宇宙センターで実施した「あわら宇宙フェス」の一環として実施した。聴講者は約60名であった。

実施状況：https://www.fukui-ut.ac.jp/news/education/awara_sc/entry-11067.html

(イ) 地域の若い人へ夢を与えることを目的として、FUT衛星地上局システムの一般公開を実施した。

1. イベント名：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

全国の高校生および高専生を対象として、あわら宇宙センターにおいて1泊2日の衛星地上局体験イベントを2回実施した。

(1) 1回目

- 実施日：2024年11月3日（日）・4日（月）
- 参加高校生・高専生の人数（定員15名）：13名（北陸・関西・関東）
- 実施状況：https://www.fukui-ut.ac.jp/news/education/awara_sc/entry-11070.html
- 案内：図3-3-1（左）
- 参加者アンケート結果：表3-3-1

(2) 2回目

- 実施日：2025年3月25日（火）・26日（水）
- 参加高校生・高専生の人数（定員20名）：20名（九州・北信越・関西・中部・北海道）
- 実施状況：https://www.fukui-ut.ac.jp/news/education/awara_sc/entry-11370.html
- 案内：図3-3-1（右）
- 参加者アンケート結果：表3-3-2

福井工業大学主催 令和6年度【第1回】

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

福井工業大学はJAXAの打ち上げた月探査機の運用に参画中！

大学・民間では日本最大級のパラボラアンテナを使って、
1泊2日で楽しく体験！宿泊費・食費は大学が負担！
宇宙をテーマに研究する大学教員に詳しく話を聞けます！

開催日：令和6年11月3日（日）、4日（月祝）
集合場所：福井工業大学 福井キャンパス（福井市学園3丁目6-1）
※実施場所はあわらキャンパスです。

対象：高校生
定員：15名（1校2名程度）
※応募多数の場合は抽選となります。
※ご参加は高校生のみのみ、10月11日（金）までに参加決定のご連絡をいたします。

持ち物：ノート、筆記用具、一泊分の着替え等

参加費：無料
その他の下記の費用は大学が負担いたします。
①宿泊費（福井アカデミアホテル1泊分）※福井工業大学 福井キャンパス横のホテル
②食費（1日目夕食、2日目朝食、昼食）
③傷害保険加入料（2日間分）

その他：スマートフォン・カメラでの施設撮影はOKです。

申し込み：下記問合せ先へメールでお申し込み下さい。
※申し込みに必要な情報：学校名、参加者氏名、学年、携帯番号、メールアドレス
※申し込みでいただいた個人情報は本イベントのみに使用させていただきます。
※メールの件名は「令和6年度第1回 宇宙がもっと近くなる！イベント参加申込」と記載をお願いします。

申込期限：令和6年10月4日（金）
問合せ先：福井工業大学 社会連携推進課
TEL：0776-29-7834 Mail:shakai-u@fukui-ut.ac.jp

上記QRコードから、
詳細を確認いただけます！

当日スケジュール（予定）は裏面に記載

福井工業大学主催 令和6年度【第2回】

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

福井工業大学はJAXAの打ち上げた月探査機の運用に参画中！

大学・民間では日本最大級のパラボラアンテナを使って、
1泊2日で楽しく体験！宿泊費・食費は大学が負担！
宇宙をテーマに研究する大学教員に詳しく話を聞けます！

開催日：令和7年3月25日（火）、26日（水）
集合場所：福井工業大学 福井キャンパス（福井市学園3丁目6-1）
※実施場所はあわらキャンパスです。

対象：高校生 定員：20名（1校2名程度）
※応募多数の場合は抽選となります。
参加の優先度：前回のイベントに未参加の高校生、福井県外の高校生
※参加が決定した高校生のみのみ、2月21日（金）までに参加決定のご連絡をいたします。

持ち物：ノート、筆記用具、一泊分の着替え等

参加費：無料
その他の下記の費用は大学が負担いたします。
①宿泊費（福井アカデミアホテル1泊分）※福井工業大学 福井キャンパス横のホテル
②食費（1日目夕食、2日目朝食、昼食）
③傷害保険加入料（2日間分）

その他：スマートフォン・カメラでの施設撮影はOKです。

申し込み：下記QRコード（イベントHP）から申し込み下さい。
※申し込みに必要な情報：氏名、学校名、学年、性別、携帯番号、メールアドレス
※申し込みでいただいた個人情報は本イベントのみに使用させていただきます。

申込期限：令和7年2月14日（金）
問合せ先：福井工業大学 社会連携推進課
TEL：0776-29-7834 Mail:shakai-u@fukui-ut.ac.jp
※メールでの問い合わせの際は、メール件名を
「令和6年度第2回宇宙がもっと近くなる！イベント」として下さい。

QRコード

当日スケジュール（予定）は裏面に記載

図 3-3-1.13.5m パラボラアンテナ見学・体験イベントの（左）1回目および（右）2回目の案内

表 3-3-1 13.5m パラボラアンテナ見学・体験イベント 1 回目の アンケート結果

令和 6 年 11 月 3・4 日実施（参加者 13 名、無記名記入）		
1. 今回のイベントを知ったきっかけをお教えてください		
選択項目	人数	備考
a.高校の掲示板等でチラシを見て	6	ab 重複回答 1 件有
b.高校の先生からの案内	6	
c.知り合いに聞いて	1	
d.福井工業大学の HP を見て	0	
e.その他	1	母親から
2. 本イベントの内容について		
選択項目	人数	備考
A. 期待以上だった	12	
B. 期待通りだった	1	
C. あまり良くなかった	0	
D. 良くなかった	0	
今回のイベントに対しご意見・ご感想がございましたら自由にご記入下さい		
テレビでコズミックファンなどを観ていたこともあり、今回の体験に参加しました。他の方よりも興味は薄かったと思うのですが、今回の体験を通して、パラボラアンテナと衛星に大変興味がわきました。今回の体験に参加できてとても良かったです！！		
衛星からデータを受信して画像化したり、アンテナの中に入ったり実際にアンテナを操作するなど普通はできないことを体験することができてとてもよい機会でした。たくさんの県からの高校生と参加することができたので、新たな友達ができたり、雑談でもすごくもりあがったりすることができてとても楽しかったです。		
あまり身近でなかった宇宙について A Q U A の画像を見たり、身近に感じる事ができた。人生で初めてパラボラアンテナを見て、すごいなと思ったし、ワクワクしたし、2 日が短く感じるくらい楽しかった。		
他の人との交流が多くて、体験させてもらうこと以外でもすごく楽しめて、来てよかったと思えたり、貴重なアンテナを動かす体験などもできて期待以上に楽しめた		
アンテナの操作や分析、工作など、普段はできない経験ができて良かった。楽しい 2 日間を過ごせた。		
特に、13.5m のアンテナを動かすという体験は想像以上に壮大で、大変おもしろく感じた。アンテナはあまり取り沙汰されるものではないが、我々の生活と人工衛星を繋ぐ、重要な存在だと思う。		
パラボラアンテナを見て、思った以上に大きく、星の磁気を観察できることを聞いて驚いた。作ったアンテナで天の川を観測できたり、アンテナを動かすことができて良い思い出になりました。		
パラボラアンテナを実際に動かしたり、A Q U A のデータを受信、解析できて、とても楽しかったです。		
私の中で、天文といえば、これまで可視光というイメージを強く持っていたけれど、今回のイベントで、今まで知識も無かった電波天文学について学ぼうとするきっかけが生まれた、かもしれないです。思ったよりはとつきやすそう？		
とてもめずらしい体験ができ、嬉しかったです。アンテナを自分で買えるような物で作れるのはとても驚いたし、楽しかったです。また、自分たちで作ったアンテナで、本当にデータを取れて良かったです。		

アンテナを通して人工衛星と通信をするという普段ではできないような活動ができてとても貴重な体験ができた。楽しかった。
今回のイベントでいろんなことを知ったり、体験できとても良かったです。私は宇宙とかは好きですけど、そのための大学にいて学んだりしようと思わなかったのですが、今回のイベントのおかげでさらに宇宙に興味を持ってました。アンテナについても全然しらなかったけど、今日のイベントで少しは理解できたと思います。またイベントがある時は、できるだけ行きたいと思います。今回はありがとうございました。
13.5mのアンテナを操作したのがとても楽しかったです。電波という視点で宇宙を観るというのはとても興味深いなあと思いました。2日間ありがとうございました。
3. 今後、当イベントでした方が良いと思う内容（体験等）がございましたら、ぜひお聞かせください。
夜間の天体観測（ぼうえんきょうなどで）
とても楽しくて、とても満足でした。
ホテルで卓球 or カラオケ大会
もう少し興味の大きさを抽選した方が良い様に思う。
作ったアンテナで天の川を観測。
時間の都合上で今回できなかった体験や、聞けなかった話を聞いたりやったりしたかったので、次回はぜひ
時間の都合もあると思いますが、電波天文学についての詳しい授業・・・でしょうか。
夜、天体観測
全部の活動が楽しかった。
今回のイベントはとても良かったため、そのままでもいいと思います。
他のアンテナも見学してみたいです。

表 3-3-2 13.5m パラボラアンテナ見学・体験イベント 2 回目の アンケート結果

令和 7 年 3 月 25・26 日実施（参加者 20 名、無記名記入）		
1. 今回のイベントを知ったきっかけをお教えてください		
選択項目	人数	備考
a.高校の掲示板等でチラシを見て	14	
b.高校の先生からの案内	6	
c.知り合いに聞いて	0	
d.福井工業大学の HP を見て	0	
e.その他	0	
2. 本イベントの内容について		
選択項目	人数	備考
A. 期待以上だった	19	
B. 期待通りだった	1	
C. あまり良くなかった	0	
D. 良くなかった	0	

今回のイベントに対しご意見・ご感想がございましたら自由にご記入下さい
宇宙や地球を観測する様々な機器を見学したり、自分で動かしたりするなど、とても貴重な経験をする事ができ、とても楽しかった。また、他の参加者や先生と交流することで進路に関する知識を更に深めることができたのでよかった。
グループでの活動を通して徐々に仲良くなっていくのが楽しかった。
パラボラアンテナについて全然知らなかったけど、この2日で少し詳しくなれた。情報通信技術系の話が多くて、そっち系にも詳しくないとダメかと感じた。これからどんどん衛星とか打ち上げられると思うので、パラボラアンテナとか町中にできたりするのかなと思ったりした。実際にアンテナを動かして楽しかった。気軽に質問とかできて楽しかった。
写真でしか見たことのなかったパラボラアンテナが動いている所を目の前で見れて、しかも自分で動かすこともでき、すごく楽しかったし貴重な体験だと思った。また、先生がみな優しく、私の質問に丁寧に分かりやすく答えてくれたのが、本当にありがたかったし、うれしかった。また、機会があったら参加したいなと思った。1泊2日どころか1週間いてもいいくらいおもしろかった。
実際にアンテナを作ったり、動かしたりするのが楽しかった。作ったアンテナで、いろいろ方角などを変えて試してみることができてよかった。大学の先生方からお話を伺えてとても貴重な機会になった。
とても楽しい2日間になりました。お時間をとっていただきありがとうございます。特に印象に残ったのはアンテナを実際に見学できたことです。本当にありがとうございました。
体験することが多かったので、より興味をもつことができました。また、初めて知ったことも多かったので、とても楽しかったです。これからも、宇宙や天文学について、家でも学んでいきたいです。
写真を自由に撮影できたり、自分でパラボラアンテナの操作をしたりなど充実した体験ができて楽しかった。
今までは宇宙に関する興味が大きかったのですが、今回のイベントに参加して、衛星やアンテナなど、人との関わりにも今まで以上に興味を持つことができました。県外の人と仲良くなることもできて、とても良い経験となりました。大学生の皆様も様々なことを教えてくださいありがとうございました。
難しい話とかもあったけど、基本原理を聞いた上で装置やデータを見てみると興味深い発見が得られました。私は宇宙に携わるような勉学を専攻しておらず、天文に興味がある程度の気持ちで参加させていただきましたが、とても楽しかったですし、宇宙開発研究に携わる方のすごさを実感できました。
ネットや本などで調べられること以上のものを得られたし、実際に見ることで現実感がすごくあった。宇宙に関わっている方々に会えたことで自分の中にあった疑問も解消された。
本物のアンテナをあんなに近くで見ることができて、とても良い体験だった
日本有数の大きさのパラボラアンテナを自身で動かしたことは本当に貴重な経験だと感じています。自身が今まで持っていた私立大学の印象が大きく変わる2日間でした。
実際にアンテナを作るのがとても楽しかったです。いろんな専門的なことを学びました。私は人工衛星に興味があるので、AQUAの追跡が見ることができてうれしかったです。
参加したときアンテナに対し、知識がなかったが、丁寧に解説していただいて、理解を深めながらイベントに臨むことができた。自作の電波望遠鏡で領域を観測できたとき、とても感動した。
偶然かもしれないけれど、他の参加者ととても仲良くなって、ご飯を食べている間すら楽しかった。とにかく楽しくてこのメンバーとならあと2泊したいと思った。私がガンガン質問したとき、とても基本的な質問でも呆れず答えて、私が理解できなかったときはもう一度説明してくれて嬉しかった。だいぶんちっこかったと思うけど親身にきいてくれた。
参加する前は、講義メインのイベントだと思っていたけど、実際参加してみると、電波望遠鏡を作って測定したり、パラボラアンテナを動かしてみたりなど、自分達が直接する体験型のものが多く、すごく楽しかった。

アンテナが一つ一つ計算されて造られているのがすごいと思いました。リモコンで大きなアンテナを動かせたのが楽しかったです。パラボラアンテナを作ったのが楽しかったです。
パラボラアンテナを実際に動かしたり、人工衛星から受信している様子を見れて楽しかった。アンテナを自作して観測できることに驚いた。宇宙についても知れてよかった。
今回参加するまで、アンテナのことはほぼ知らなかったけど、あんなに大きなアンテナを動かしたり電波を受信したりする様子を見て感動しました、アンテナを作るには高度な技術が必要なのだと思っていたけど、体験で作れることが驚きでした。実際に自分たちで観測できて楽しかったです。大きなアンテナが衛星からの情報を受信して動いているのを見て、電波は目では見えないから不思議に思ったし、自分の目でみていたアンテナが得た情報が画像になったことが、目に見えないのにすごい情報を含んでいるんだと感じました。電波の遮断のされ方を実験したことで、波の波長との関係がわかっておもしろかったし。興味深いと思いました。今回知ったことはどれも全然知らない世界だったので知れてよかったし、もっと宇宙や天体について知りたいと思いました。本を読んだり調べたりして学んでいきたいです。今回参加できてよかったです。ありがとうございました。
3. 今後、当イベントでした方が良いと思う内容（体験等）がございましたら、ぜひお聞かせください。
自作電波望遠鏡の制作
1泊2日だと少し短いような気がしたので、もう少しいたかった。あわらキャンパスの星空を見てみたかった。進路関係の話とか、先生方の研究内容とかも聞きたかった。
ふだんできなくて、「少し難しい」という難易度も完璧で、しかもいろんなことができたから、これ以上は何もない。しいていうなら、実験で得た結果が何を（どういう事）を指すのかを、実験結果からまた聞きたいと思った。
夜に望遠鏡などで、星空の観察をしてみたい。
13.5mパラボラアンテナを動かせたところ
今、活躍している衛星等を実際に運用しているところを見てみたいです。（コマンド送信など）
元 JAXA の方々からもう少しお話をうかがいたいと思いました。ですが、講義と実際に手を動かすことのバランスが良く、約2日間楽しむことができました。
アンテナで何を観測できるのか説明も手厚く、どのような部品で構成されているかもしれなかったのでとても満足しているが、得たデータを何に活用していけるのか（いけると考えているのか）をもう少し知りたかった。
実際に研究を行っている（行っていた）先生方による高校生向け基礎講座などあるとおもしろいと思う。
パラボラという形、特性について解説が冒頭に さわりの部分だけでもあればよいかなと思いました。
大きい望遠鏡で、日頃小さくしてみることでできない惑星が見たいです。
今回の内容でものすごく満足したので特にありません。

2. イベント名：スペースキャンプ

国立研究開発法人科学技術振興機構が公募する「さくらサイエンスプログラム」に採択された系列の福井高校の事業への協力として、福井高校のタイの姉妹校の高校生に対して衛星地上局やアンテナに関する体験プログラムを実施した。

- 実施日：2024 年 11 月 11 日
- タイ高校生：12 名（プラサーンミット高校・ブルークバンヤ高校）
- 実施状況：<https://www.kanaigakuen.ac.jp/media/tv/entry-7514.html>
- 実施スケジュール

Nov.11th

09:00 – 12:00 Facility tour of the Awara Space Center

Nov.12th

**09:00 – 12:45 Lecture for satellite remote sensing
Preparation for LEO satellite tracking
NASA AQUA Satellite tracking by 13.5m and 3.9m antennas
First try 12:31 – 12:43
13:45 – 16:00 NASA AQUA Satellite tracking by 13.5m and 3.9m antennas
Second try 14:07 – 14:21**

Nov.13th

**09:00 – 12:00 satellite data analyses experience
13:00 – 16:00 Lecture for radio astronomy**

Nov.14th

**09:00 – 12:00 Hand-made of radio telescope (antenna)
13:00 – 16:00 Observation of Our Galaxy by handmade antenna**

(ウ) UNISEC ワークショップの開催（12 月、あわらキャンパス）

大学宇宙工学コンソーシアムのワークショップを以下の要領で開催した。

- 主催者：大学宇宙工学コンソーシアム
- 開催場所：福井工業大学福井キャンパス

あわら宇宙センター（福井工業大学あわらキャンパス）

- 実施日：2024 年 12 月 21 日(土)・22 日(日)
- 参加者数：128 名（本学学生 18 名含む）
- URL：<https://unisek.jp/archives/10419>
- 実施状況：<https://unisek.jp/archives/10779>
<https://www.kanaigakuen.ac.jp/media/shinbun/entry-7559.html>

4. R4~R6 年度の成果のまとめと今後の展望

4-1. 成果のまとめ

4-1-1. 衛星地上局システム

(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として IPS を導入し、地球周回衛星および月探査機の運用のための基本整備が完了した。

(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 4-1-1 の内容が確認された。

表 4-1-1 13.5m アンテナシステムの基本性能

S 帯 送信	送信周波数	2.025 – 2.120 GHz
	EIRP	71.3 dBW @2.025 GHz
	偏波	RHCP / LHCP selectable
	アンテナ利得	46.5 dBi @2.073 GHz
S 帯 受信	受信周波数	2.200 -2.300 GHz
	G/T	25.9 dBi/K @ 2.200GHz
	偏波	Data: RHCP/LHCP diversity、Tracking: RHCP/LHCP selectable
	アンテナ利得	47.9 dBi @2.250 GHz
X 帯 送信	送信周波数	7.145 – 7.235 GHz
	EIRP	82.3 dBW @ 7.145 GHz
	偏波	RHCP / LHCP selectable
	アンテナ利得	57.7 dBi @7.190 GHz
X 帯 受信	受信周波数	8.000 – 8.500 GHz
	G/T	38.9 dBi/K @8.250GHz
	偏波	Data: RHCP/LHCP selectable、Tracking: RHCP/LHCP selectable
	アンテナ利得	60.64 dBi @ 8.250 GHz
ビーム幅	S 帯	方位角：0.588 deg、仰角：0.598 deg（周波数：2.2235 GHz）
	X 帯	方位角：0.169 deg、仰角：0.170 deg（周波数：7.7425 GHz）
ポインティング 精度	静的	9 mdeg
	追跡時	13.2 ~ 38.4 mdeg（仰角に依存）

(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、フリン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。

4-1-2. 衛星・探査機の運用

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 4-1-2 に示す。

表 4-1-2 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

(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にあることから、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。しかしながら、共同研究において策定された成功基準（[付録の表 2](#)）に関して、表 4-1-1 に示したように G/T および EIRP に関するミニマムの成功基準をクリアすることができた。

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。

図 4-1-1 は、2022 年 11 月 25 日の地球スイングバイ前後の受信スペクトルの変化を示したものである。図中の赤色点線は搬送波ダウンリンク信号のノミナル周波数である。スイングバイ前の

11月23日から11月24日にかけて、搬送波受信信号の周波数がノミナル周波数より高く受信電力が上昇している。また、スイングバイ後の11月25日以降は搬送波受信信号の周波数がノミナル周波数より低く受信電力が低下している。受信電力はスイングバイ直後の11月25日の受信時に最大となっている。定性的ではあるが、これらの事はスイングバイ前後で予想されるスペクトルの変化に合致しており、3.9m アンテナシステムによる信号補足が距離55万kmまで有効であることを示している。

2022年12月5日以降、信号の検出感度を上げるためスペクトル測定の変更に検出対象を搬送波のみに絞り受信実験を継続した。図4-1-2に、2022年12月5日から2023年5月7日までの期間に得られた搬送波の信号対雑音比の距離依存性を示す。搬送波の信号対雑音比は得られたスペクトルデータから計算で求め、地上局とエクレウス探査機の距離の情報はJAXAから提供を受けた。図6-2では参考として距離の2乗に反比例を示す線の例を示している。受信電力のばらつきが大きく、今後受信時の天候などの条件について検討する必要があるが、距離の2乗に反比例する傾向を見出すことができる。本期間の測定により、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。

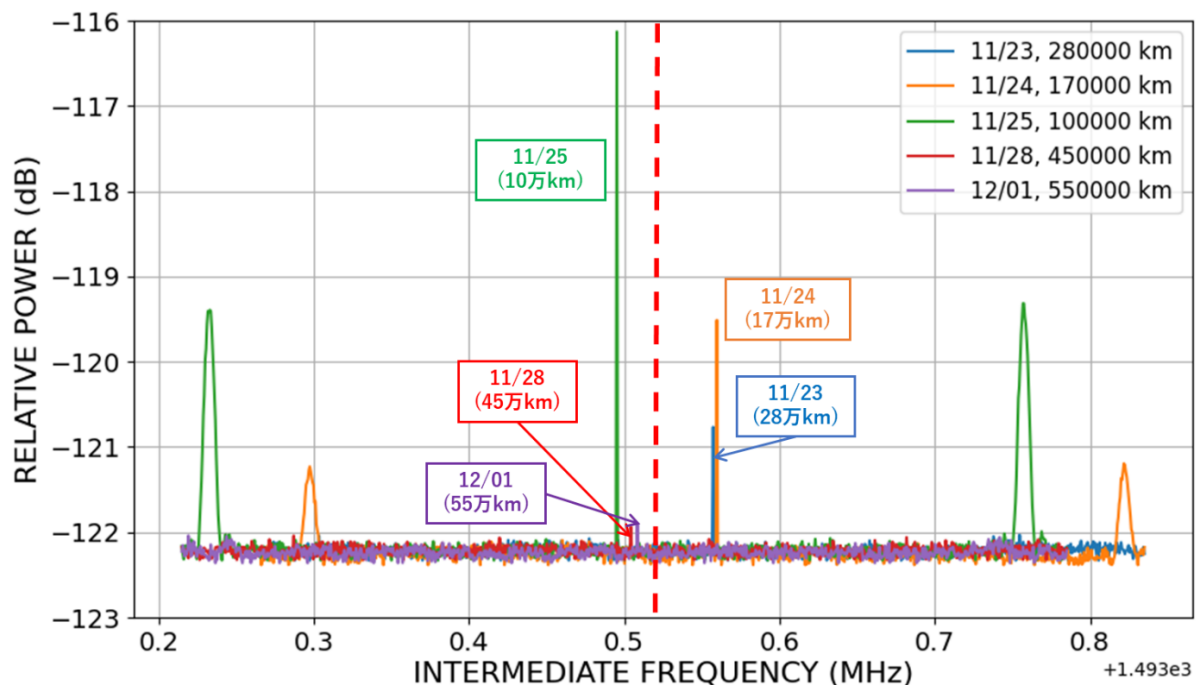


図 4-1-1 EQUULEUS 探査機の地球スイングバイ時（2022/11/25）の前後の 3.9m アンテナシステムによる X 帯受信信号スペクトルの変化。中央付近のピークは搬送波成分、両端のピークは副搬送波成分である。

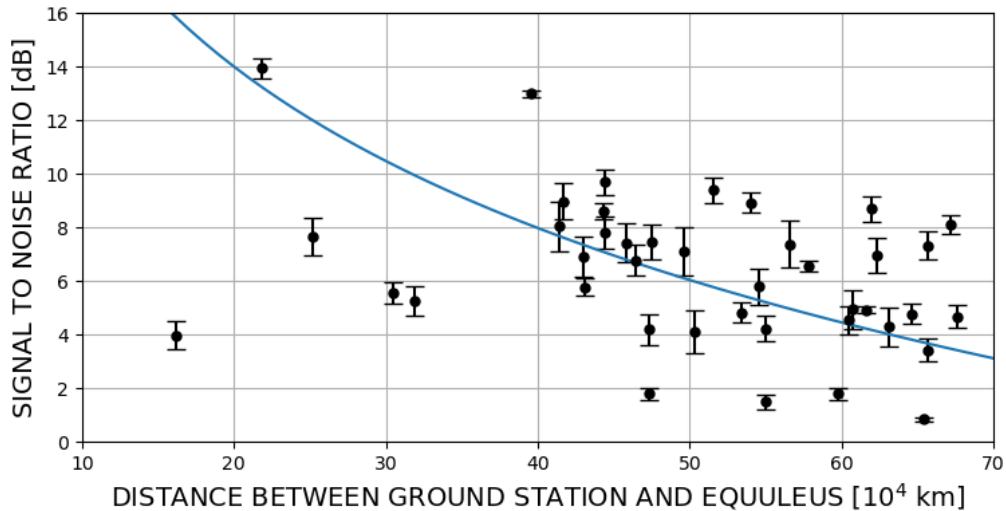
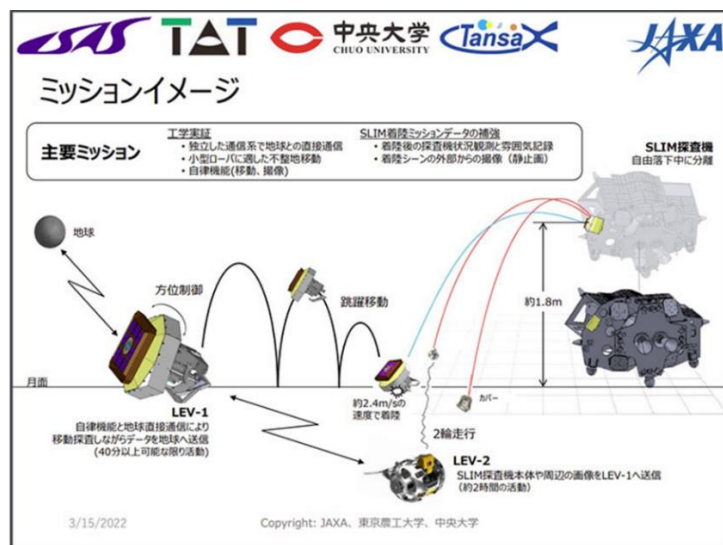


図 4-1-2. 3.9m アンテナシステムによる EQUULEUS 探査機搬送波の受信電力の探査機と地上局間の距離に対する依存性。黒丸は観測データ、青色実線は距離の 2 乗に対する反比例を示す案内線である。

② 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(図 4-1-3)。図 4-1-4 に、LEV-1 の S 帯信号受信時におけるブロックダイアグラムを示す。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。図 4-1-5 に、LEV-1 からの信号のスペクトルの例を示す。搬送波および変調波が非常に明確に受信され、受信信号の対雑音電力比 C/N_0 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。



https://www.isas.jaxa.jp/gallery/feature/isas/isas_20230817.html

図 4-1-3 (右) SLIM のミッションイメージ、(左上) LEV-1 が地球に送信した LEV-2 撮影の画像、(左下) LEV-1 からの信号受信時のあわら宇宙センターの様子

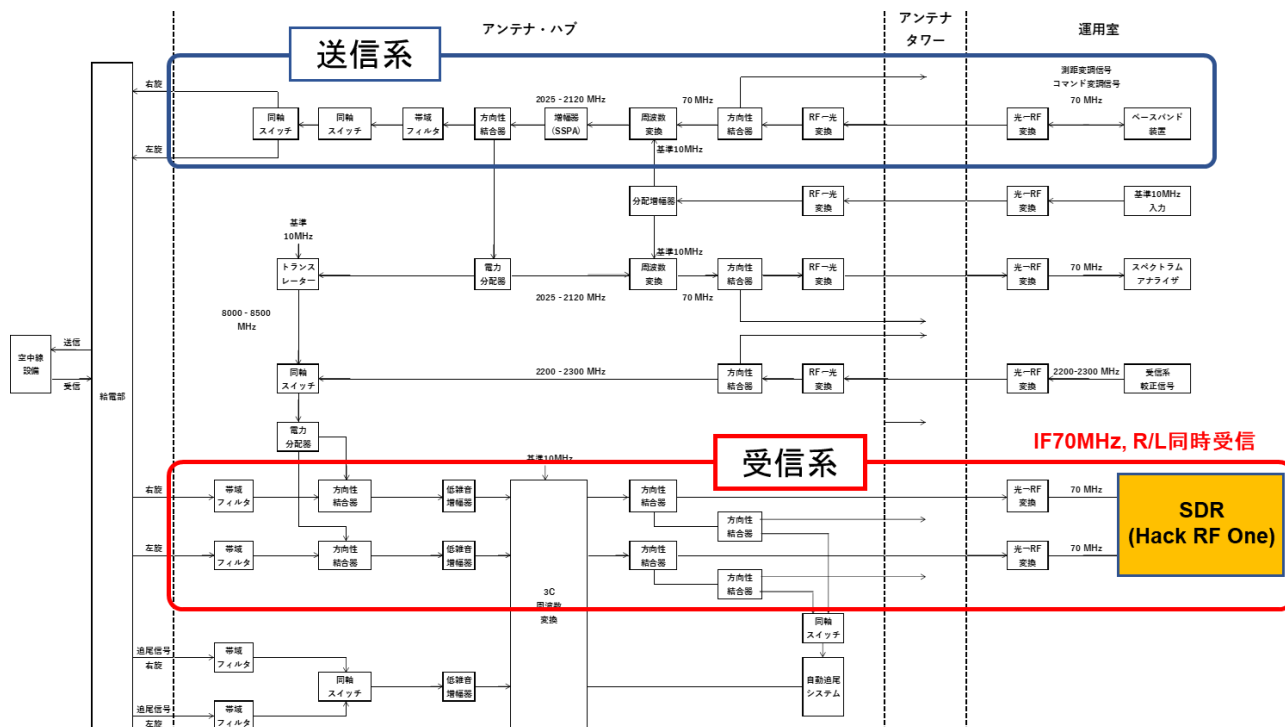


図 4-1-4 LEV-1 の S 帯信号受信時におけるブロックダイアグラム (赤枠内)。既設のベースバンド装置 CORTEX の代わりに低コストなソフトウェア無線機 Hack RF One を用いた。

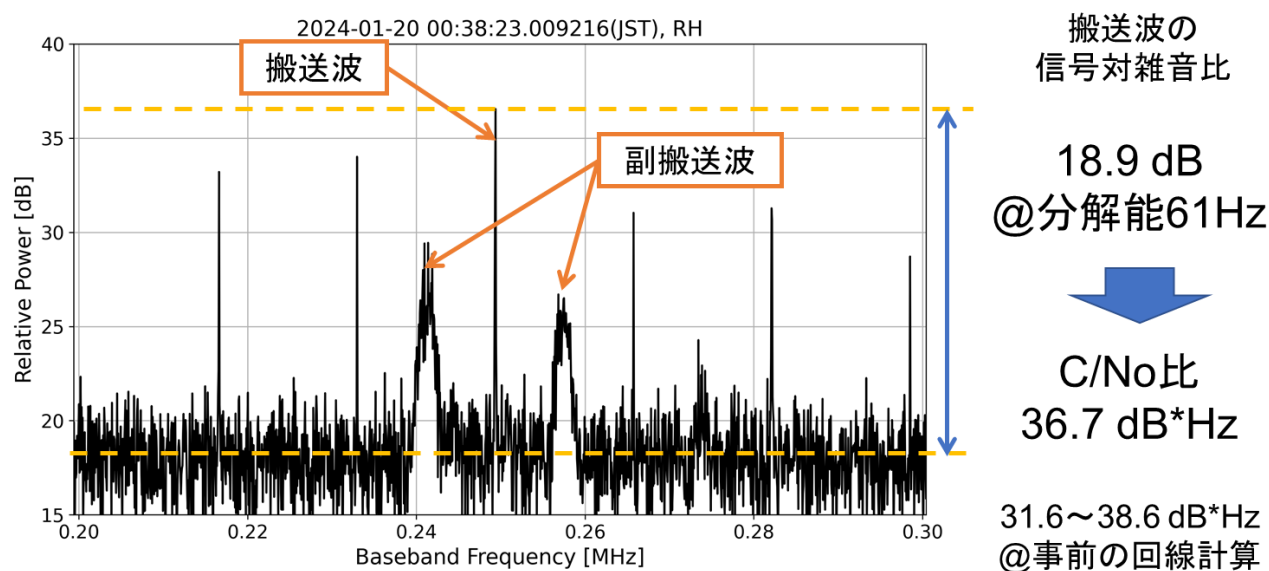


図 4-1-5 LEV-1 からの信号のスペクトルの例。搬送波の信号対雑音比 C/N_0 について事前の回線計算と整合する結果が得られた。

③ 月水資源探査衛星 TSUKIMI ([3-2-1 参照](#))

TSUKIMI 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 衛星の運用に 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 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。

口径 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実施し（図 4-1-6）、

- 相模原キャンパスの SLE GW（SLE クライアント）とあわら宇宙センター SLE サーバーのバインド試験に成功した。
- 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。

これらにより、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。

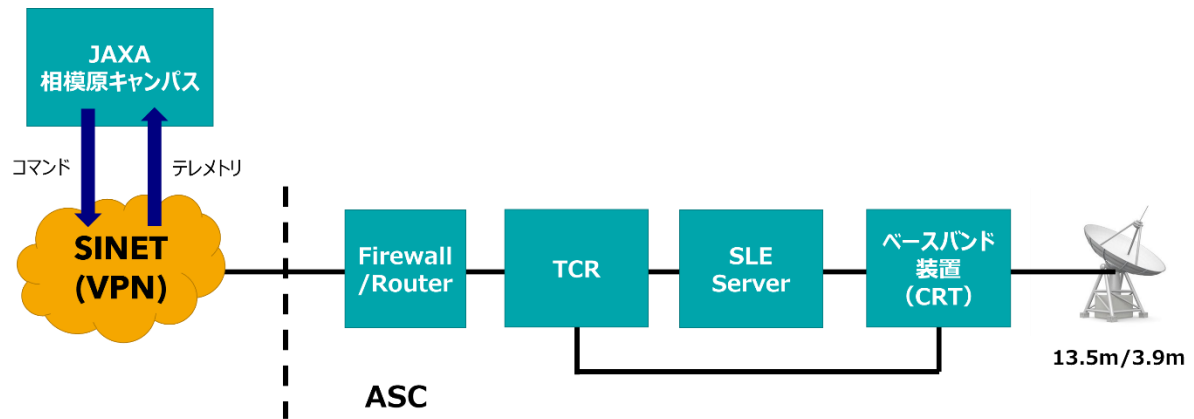


図 4-1-6 コマンドおよびテレメトリ通信に関するあわら宇宙センター（ASC）と JAXA 相模原キャンパスの接続のブロック図。SLE プロトコルでの接続試験および TCPIP プロトコルでのデータ伝送試験を実施した。

⑤ 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。

(2) 地球周回軌道衛星関連

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、5/1 時点で 204 パスの運用実績を積み上げている。打ち上げ当初のクリティカル運用はあわら宇宙センターで運用を実施したが、衛星管制主体であるセーレン社の TPF 事業所研究開発センターから運用できるようにネットワークを構築し、1 月 22 日から同センターからの遠隔運用に切り替えた。2 月 7 日からはミッションデータの自動ダウンロードを開始、現在順調にデータ取得を進めている。

4-1-3. 人材育成

表 4-1-3 に人材育成に関する本課題申請時の評価指標と目標値に対する実績および達成度を示す。表 4-1-3 に示すとおり、本課題における人材育成の評価指標に対しては、「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。

一方で、「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目標に届かず今後改善を要する結果となった。

表 4-1-3 人材育成に関する本課題申請時の評価指標と目標値に対する実績および達成度

評価指標の分野	評価指標の内容	目標値	実績(達成度)
a.育成する人材数	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	令和6年度に 200名以上	218名 (109%)
	②大学院・応用理工学専攻・宇宙情報科学コースへの在籍者数	令和6年度に 5名以上	0名 (0%)
	③無線通信系の国家資格の受験者数および合格者数	令和6年度に 15名以上	5名 (33%)
b.学会等での発表	①発表数	本提案課題実施期間中に 10件以上	2件 (20%)
c.研究会および講演会	①開催数	本提案課題実施期間中に 5件以上	15件 (300%)
	②参加人数	本提案課題実施期間中に 総計1,000名以上	1,111名 (111%)
d.アンケートの結果	①電気電子工学科の学部3年生に対する卒業研究配属希望調査における宇宙関連研究室への希望者数	令和6年度に 24名以上 (学科定員の30%)	15名 (学科定員の 20%)

4-2. 今後の展望

4-2-1. 技術面の展望

4-1-1で述べたように口径 13.5m アンテナシステムが完成し、FUT 衛星地上局の基本構成が構築された。また、4-1-2で述べた衛星運用への参加を通して基本的な性能および機能の確認を進めている。今後は、多くの衛星・探査機プロジェクトに FUT 衛星地上局の機能を提供することによって宇宙開発の発展に貢献していくと同時に、「より使える／より使いやすい衛星地上局」を目指して、以下の観点から開発整備を進めていく。

(1) 衛星地上局への要求の整理

本衛星地上局は地球周回から月周辺軌道までをコンセプトとして、エクレウス探査機の運用をベースに要求性能を決定した。その後の展開として、アルテミス計画に代表される月探査に関する衛星地上局への要求を整理し、RF 性能の改善／機能追加など必要な開発整備について検討する。

(2) インフラ整備

確実な運用を担える衛星地上局として、バックアップ電源、ネットワーク環境、運用人員体制などのインフラ構築について検討する。

(3) 運用の効率化／自動化／柔軟化

運用コストを下げるため、ソフトウェア無線や AI の技術を活用し人手に頼る部分を極力少なくするシステムを検討する。また、運用におけるユーザの多様な要望へ対応できるよう、ユーザとの柔軟なインタフェースについて検討する。

(4) ネットワーク化

スウェーデン宇宙公社とのネットワーク構築を基盤として、ローカルおよびグローバルの両面での連携による多様な貢献ができるようネットワーク化について検討を進める。

4-2-2. 人材育成面の展望

人材育成に関する 4-1-3 の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 2 名の学部生が進学を希望している。
- 宇宙関連の課題解決型授業（PBL）においては、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。

4－2－3．将来展望

本課題の成果を基に、JAXA、大学、民間企業などが計画する多くの月探査ミッションの運用支援を行っていく。また、JAXA 国際宇宙探査センターを通じたアルテミス計画、米国が提唱する有人月面着陸計画への寄与など世界的な成果展開を目指す。さらに、衛星地上局開発に関するノウハウの展開による月－地球間の通信リソースの拡大へ貢献を目指す。

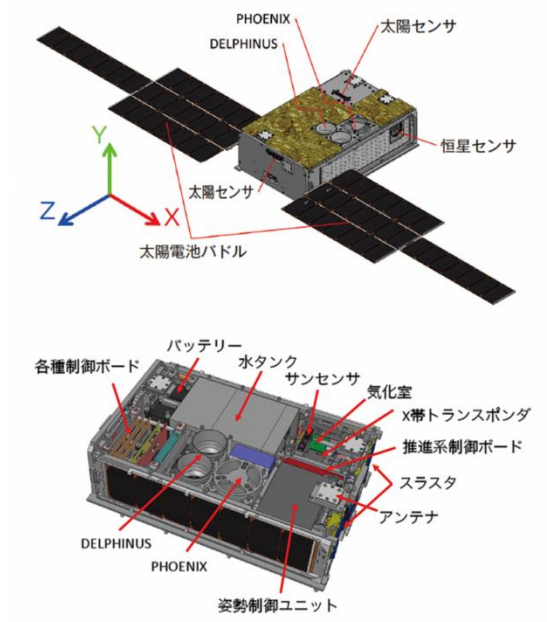
人材育成・普及に関して、現状の課題の改善を進め、国際会議の開催等も含め福井工業大学に既に整備されている学部学科大学院の枠組みで効果的に取り組んでいく。

最後に、大学の支援の下、あわら宇宙センターとして競争的資金の獲得の努力によって事業を継続的に実施していく所存である。

付録：エクレウス探査機の運用に関するミッション要求および成功基準

1. エクレウス探査機について

エクレウス探査機はサイズ6U、総重量14kgの超小型月周辺探査機であり、2022年11月16日にNASAのSLSロケットで打ち上げられた（図1）。福井工業大学は、FUT衛星地上局システムの口径13.5mアンテナシステムによるエクレウス探査機の運用について2020年11月にJAXAと共同研究契約を締結した。次項より、JAXAとの共同研究において策定したミッション要求および成功基準を示す。



- サイズ：6 U（1 U = 10cm × 10cm × 10cm）
- 総重量：14kg以下
- ミッション：地球の磁気圏プラズマ撮像、月の裏面における月面衝突閃光の観測、地球から月軌道周辺までの空間におけるダスト環境の評価
- 打ち上げ：2022年11月16日

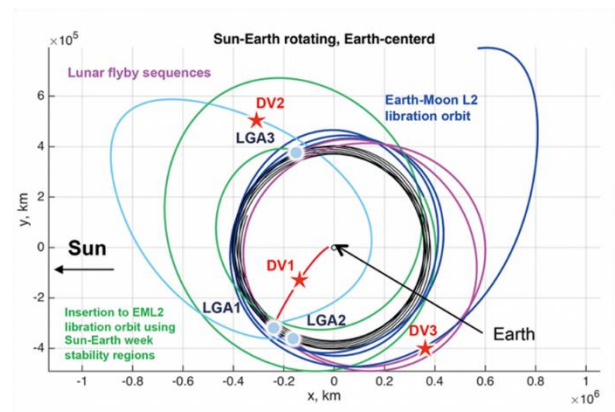


図1 エクレウス探査機の外観、構成、軌道

2. ミッション要求

月軌道までの超小型衛星の運用が可能な地上局の開発と機能実証

エクレウス探査機およびDESTINY+探査機の運用に有用なa)X帯におけるテレメトリ受信機能、b)X帯における送信機能、c)軌道決定支援機能の3つの機能を備える事を通して、月軌道までの超小型衛星の運用が可能な地上局の開発と機能実証を行う。

3. ミッション成功基準

(A)達成すべき性能

エクレウス探査機の運用に参画することにより本衛星地上局の性能を確認する。エクレウス探査機の軌道の3つのフェーズの内、「打ち上げ～EML2：地球距離 0～約0.01AU」において運用支援が可能であることを実証することを目的とする。1)X帯における受信機能、2)X帯における送信機能、3)軌道決定支援機能の達成すべき性能について、最低限達成すべき通信性能として以下のように規定する。

1)X帯における受信機能

探査機仰角 15 度以上において、

- ①地球距離 44 万kmにおいて、エクレウス探査機が XMGA 使用時に通信速度 128bps でリンクマージンを 3dB 確保できること。
- ②地球距離 150 万kmにおいて、エクレウス探査機が XMGA 使用時に通信速度 128bps でリンクマージンを 3dB 確保できること。

2)X帯における送信機能

探査機仰角 15 度以上において、

- ①地球距離 44 万kmにおいて、通信速度 125bps でリンクマージン 3dB を確保できること。
- ②地球距離 150 万kmにおいて、通信速度 15.625bps でリンクマージン 3dB を確保できること。

3)軌道決定支援機能

探査機仰角 15 度以上において、

- ①地球距離 44 万kmにおいてエクレウス探査機の軌道決定に有用な(a)ドップラー計測、(b)疑似雑音測距が可能なこと。
- ②地球距離 150 万kmにおいてエクレウス探査機の軌道決定に有用なドップラー計測が可能なこと。
- ③DDOR 機能の付加が可能であること。

(B)地上局の主要パラメータへの要求事項

①EIRP および G/T に対する要求

回線計算（掲載は割愛）から衛星地上局に要求される EIRP および G/T について表 1 にまとめる。

表 1 衛星地上局に要求される EIRP および G/T（仰角 15 度）

	1)-①	1)-②	2)-①	2)-②	3)-①-(b)
EIRP(dBW)	----	----	76.30	77.90	82.30
G/T(dBi/K)	24.53	34.57	----	----	38.49

②周波数標準の周波数安定度に対する要求

また、3)-①-(a)および 3)-②ドップラー計測について、長期安定度 3.3×10^{-12} 以下を達成すること。

③ネットワークに関する要求

JAXA 管制システムとのオンライン接続を可能とする機能を持つこと。

④DDOR 機能に対する要求

3)-③について、DDOR 機能を追加可能な IF 出力をつくること。

以上の検討結果を基に整理したエクレウス探査機の運用における成功基準を表2に示す。

表2 エクレウス探査機の運用における成功基準

成功基準	X帯受信	X帯送信	軌道測定
ミニマム	受信感度を決める「G/T」の数値として、38.5dB/K	送信能力を決める「EIRP」の数値として、82.3dBW	
フル	44 万kmの距離でのテレメトリ受信(128bps)	44 万kmの距離でのコマンド送信(125bps)	One-Way ドップラー計測および測距の実施
エクストラ	150 万kmの距離でのテレメトリ受信(128bps)	150 万kmの距離でのコマンド送信 (15.6bps)	Two-Way ドップラー計測の実施