

月面活動に向けた通信技術開発の状況

2025年7月15日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

国際宇宙探査センター



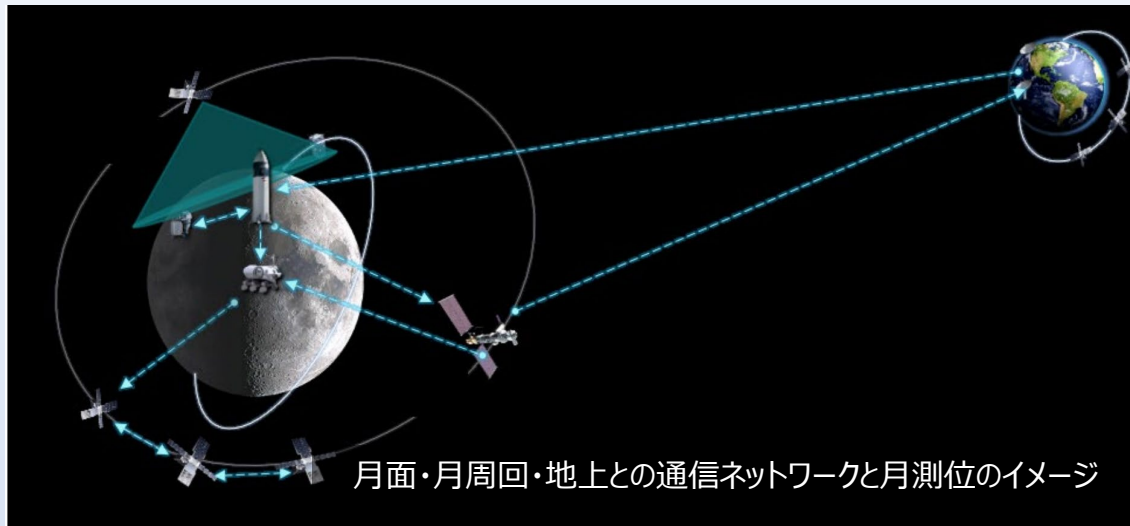
国際的に多様な月探査ミッションが進行/予定される中、将来の持続可能な月探査活動に必要な通信インフラの構築に向けた月通信技術開発の位置づけ、国際調整状況、及びその検討状況をご報告する。

目次

1. 背景等
2. 月通信技術開発の位置付け
3. 国際調整状況
4. 技術開発の検討状況
5. まとめ

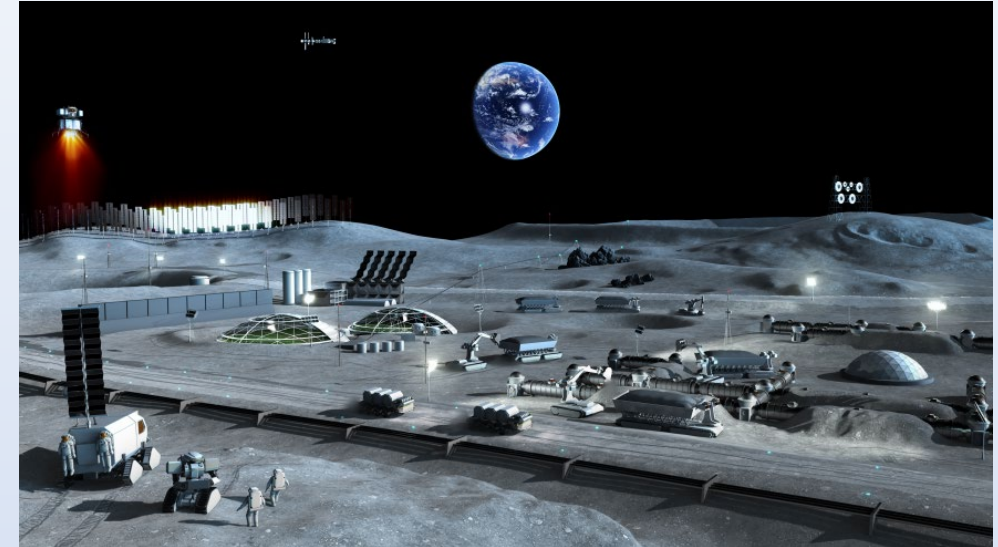
1. 背景等

- 持続的な月探査活動に向けて、月圏への移動、月周回や月面での活動において通信測位インフラは必須であるが、現在、国際的に協調して相互運用、共同利用する方向で調整が進められている。
月通信・測位システムの構築に向けては、国際的なフレームワークであるLunaNet構想をNASA-ESA-JAXA が共同で検討しており、LunaNetでは科学・探査・商業運用のための通信サービス、PNT（測位/航法/計時）サービス、宇宙天気などの情報提供サービスなどを行う構想である。
- 有人与圧ローバーの運用支援の高速化、月面拠点建設や地下資源掘削作業時における遠隔操作や監視のための多数の高精細映像データ伝送、世界第一級の科学成果が期待される科学観測ミッション（月面天文台など）の大量の観測データ伝送など、月-地球間通信においてはGbps級の高速大容量通信回線が必要となる。



LunaNet構想(イメージ図)

2025年1月にNASA-ESA-JAXAが公表したLNIS Version 5 Fig.1より



高速大容量通信回線が必要と想定される月面拠点建設
(イメージCG)

2-1. 月通信技術開発の「宇宙技術戦略」における位置付け



宇宙技術戦略（令和6年度改訂）：令和7年3月25日 宇宙政策委員会

- 3. 宇宙科学・探査
 - III. 月面探査・開発等
 - (2)環境認識と技術戦略
 - ④月通信・測位技術
 - ii. 技術開発の重要性と進め方

（中略）

i. 環境認識

月面探査における通信・測位技術は、欧米など各国が取組を進めており、国際的に協調して共通のインフラや規格を共同利用する枠組みで調整が進められている。2024年にはNASAとESAがそれぞれ月通信・測位のコンステレーション衛星の企業選定を完了するなど、月通信・測位ネットワークの構築に向けて各国が本格的に動き出している。今後、我が国もその枠組みに参画し、**我が国も含む各国が整備する通信中継インフラ等の相互運用を通じて優位にインフラの開発・利用を進めるためには、光通信技術、惑星間インターネット技術、月測位システム技術等の月通信・測位インフラに必要となる技術を早期に獲得していくことが必要である。**また、電波が地形に反射して複数ルートを通して伝播する現象(マルチパス)等をはじめとした、月面の物性や地形の特徴に起因する通信特性に応じた技術開発の重要性も認識する必要がある。

ii. 技術開発の重要性と進め方

将来の探査活動においては、8K等の高精細映像データや科学観測データ等の大容量データのリアルタイム通信を実現する光通信技術が有用であり、月と地球圏という長距離通信に必要な要素技術（遠距離捕捉追尾技術、高感度送受信技術、軽量大口徑光学系、補償光学系）の研究開発を行うことが非常に重要である。これには、光データ中継衛星JDRS等で我が国として実証してきた技術も継承して取り組む。

（後略）

宇宙技術戦略（令和6年度改訂）概要より抜粋

- 人類の恒常的な活動領域が深宇宙に拡大することを目指した、アルテミス計画が進捗する。
- 国際パートナーとともに、持続的な月面探査（限られた資源を効率的に探査・利用する技術）と、基盤技術の開発を進めていく。

月通信・測位技術

➢ 月圏内や月-地球圏の間における通信や、月面・月周回軌道上でリアルタイムに測位を行うための技術。



【出典】JAXA

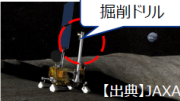
重要な技術開発：
✓ 大容量リアルタイム通信技術
✓ 小型軽量化技術
✓ 惑星間インターネット技術
✓ 月測位システム技術
✓ 月面拠点内のRF通信技術 等

月-地球圏の通信イメージ

● 月面探査における通信測位技術は、国際的に協調して共通のインフラや規格を共同利用する方向で調整が進められている。

月資源開発技術

➢ 水資源を含む資源探査や、資源利用に必要な施設・設備等の整備のための事前調査を行うための技術。



【出典】JAXA

重要な技術開発：
✓ 月周回資源探査技術
✓ 月面資源探査技術 等

月極域探査機（LUPEX）プロジェクトのイメージ

● 月を活動拠点とする際にはエネルギー源の確保が極めて重要であり、その資源として「水」が有力視されている

月表面探査技術

➢ 月面着陸後の人・物の移動機能や、耐環境機能、作業支援機能を提供し、広域・長期の月面探査活動を実現する基盤技術。



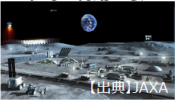
【出典】TOYOTA

重要な技術開発：
✓ 航法誘導制御技術
✓ 耐環境技術
✓ 走行機構技術
✓ 作業支援技術 等

JAXA/トヨタが研究開発中の月・火星のローバでは米・ロ・中にも実績があり、後続では欧州、インド等で取り組みが進んでいる。

月資源利用技術

➢ 持続可能な月面探査の実現に向けて、月面の資源を効率的に利用するための技術。



【出典】JAXA

重要な技術開発：
✓ 水資源利用技術
✓ 宇宙無人建設技術
✓ 月面での食料生産技術 等

● 2022年10月にISECGより公表された「国際宇宙探査ロードマップ（追補版2022）」において、月面の氷含有レゴリスを原料として、月周回有人拠点「ゲートウェイ」と月面拠点間の往復に使用する宇宙機の推進剤を月面で生成する構想等が掲げられている。

<https://www8.cao.go.jp/space/gijutu/gijutu.html>

将来の月面活動に関するシナリオ案					
年代	①黎明期（前半） 2020年代後半	②黎明期（中盤） 2030年代前半	③黎明期（後半） 2030年代後半	④成長期 2040年代以降	⑤成熟期 —
想定される 月面活動 の例 必要な 機能・技術等	無人機（衛星・ローバ・ランダ・その他設置機器）による月面での科学・探査活動				
	宇宙飛行士による月面での科学・探査活動				
	深宇宙で科学・探査活動を行う実施主体への推奨供給				
	民間人（非宇宙飛行士）による月面観光				
通信	科学ミッション等の機会を用いて、月面上及び月-地球間の通信に係る小規模な実証及び各種データの蓄積を実施		月-地球間の光通信による基幹回線化（他国との差別化）を図り、国内外の月面ユーザーに高速通信サービスを提供することで需要獲得を狙うとともに、月通信における日本の優位性確保と独自性のある貢献を果たす		通信ケーパビリティの能力を拡大することで継続的に需要獲得・国際貢献
	日本の強みとする光通信技術等の開発を確実に進めるとともに、月-地球間の光通信実証等の実施により、遠距離かつ大容量（Gbps級）の通信ケーパビリティを獲得、月通信技術における日本の優位性を確立		月面拠点の建設技術の高度化に資する通信の大容量化、低遅延化技術を、高精度測位技術とともに統合システムとして開発を進め、月面拠点開発における日本の自立性、自在性の確保、優位性を確立する		
	日本が開発する有人と圧ローバ等のミッションにおいて、生命線となる通信インフラを少なくとも日本としても構築、保有することにより、月-地球間のF2F通信における自立性、自在性を確保する				

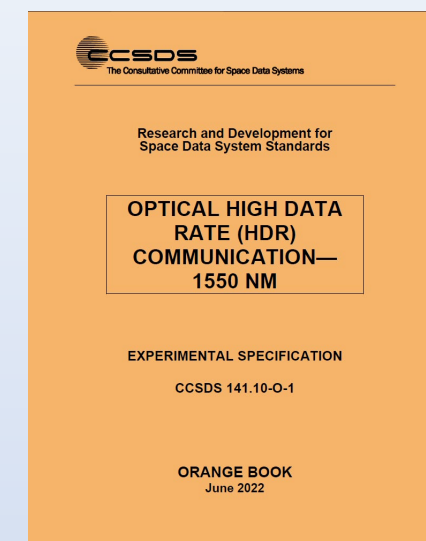
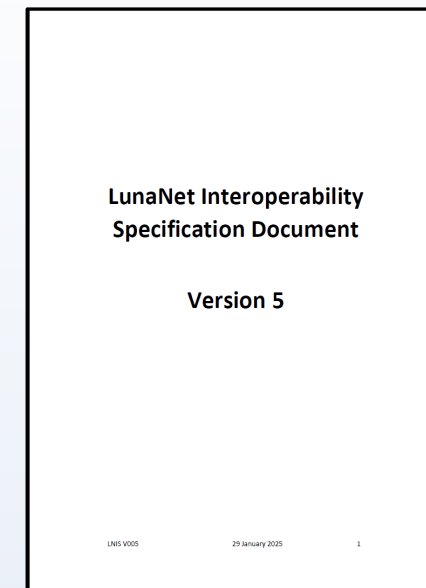
「月面活動に関するアーキテクチャ検討会について」内閣府宇宙開発戦略推進事務局 2025年3月25日資料（抜粋）より
<https://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai117/siryou5-2.pdf>

月の通信技術に関する段階的な目標

- 日本の強みとする光通信技術等の開発を確実に進めるとともに、月-地球間の光通信実証等の実施により、遠距離かつ大容量（Gbps級）の通信ケーパビリティを獲得、月通信技術における日本の優位性を確立する（～2030年代前半）
- 日本が開発する有人と圧ローバ等のミッションにおいて、生命線となる通信インフラを少なくとも日本としても構築、保有することにより、月-地球間E2E(End-to-End)通信における自立性、自在性を確保する（～2030年代前半）
- 月-地球間の光通信による基幹回線化(他国との差別化)を図り、国内外の需要獲得を狙うとともに、月通信における日本の優位性確保と独自性のある貢献を果たす（2030年代後半～2040年代）

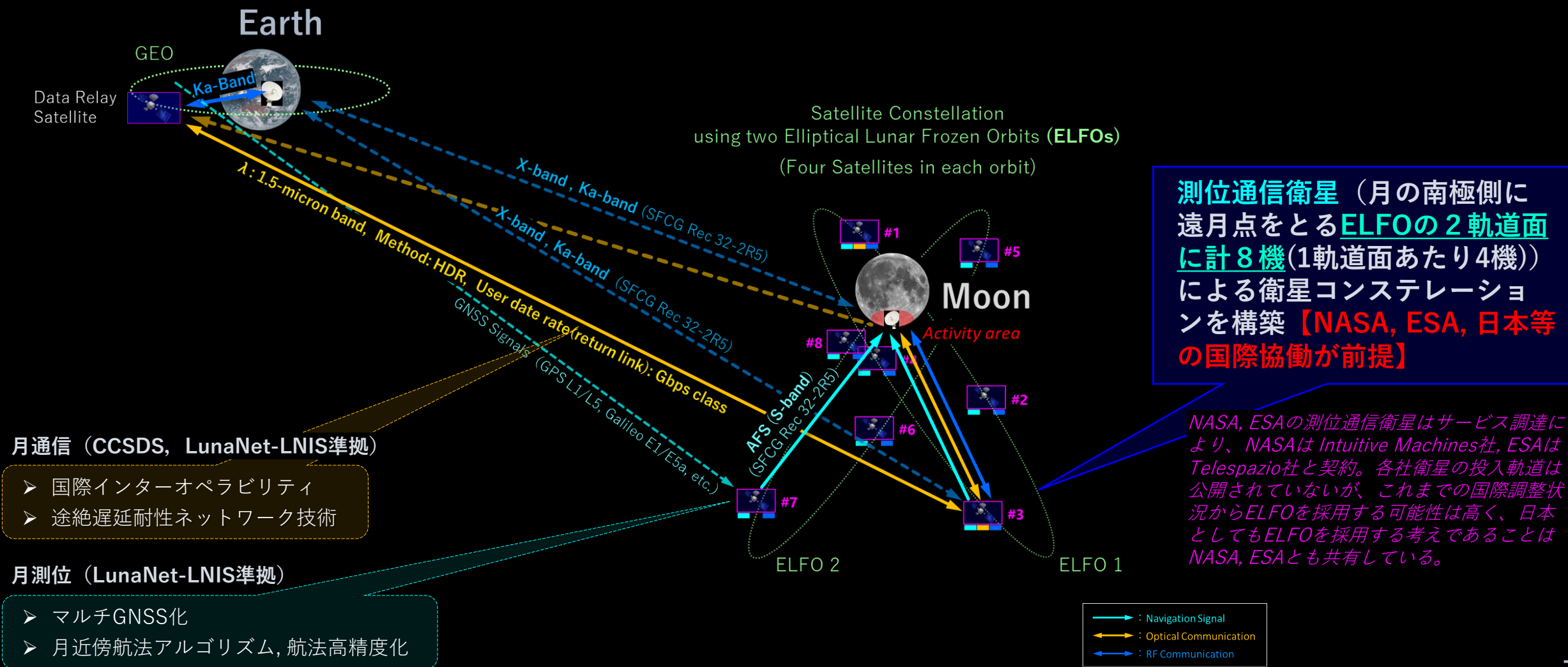
3. 国際調整状況：LunaNetとの連携・標準化・相互運用

- LunaNetという月圏の測位・通信システムを構築する計画をNASA-ESA-JAXAの主導で進めており、日本の月探査ミッションの運用における、欧米の測位・通信システムとの相互運用性を初期段階から確保する。
- LunaNetの標準化文書であるLunaNet Interoperability Specification (LNIS)において、月圏の測位・通信の各サービスの仕様やフォーマット、要求等が記載されており、このLNISの調整にJAXAも正式に加わり、2025年1月にLNIS Version 5 が公開された。
- LNISにおける光通信リンクに係る具体的な国際調整は開始されていないが、将来的には光通信に係る仕様等を含めることは想定されている。なお、光通信における変調方式等の仕様の標準化議論については、宇宙データシステム諮問委員会（CCSDS: Consultative Committee for Space Data System）の光分科会において行われており、JAXAも参画している。



4-1. 月面活動のための月測位・通信の総合アーキテクチャ案

➤ 国際協働を想定した月面活動のための通信・測位の総合アーキテクチャ案（2030年代半ば目標）

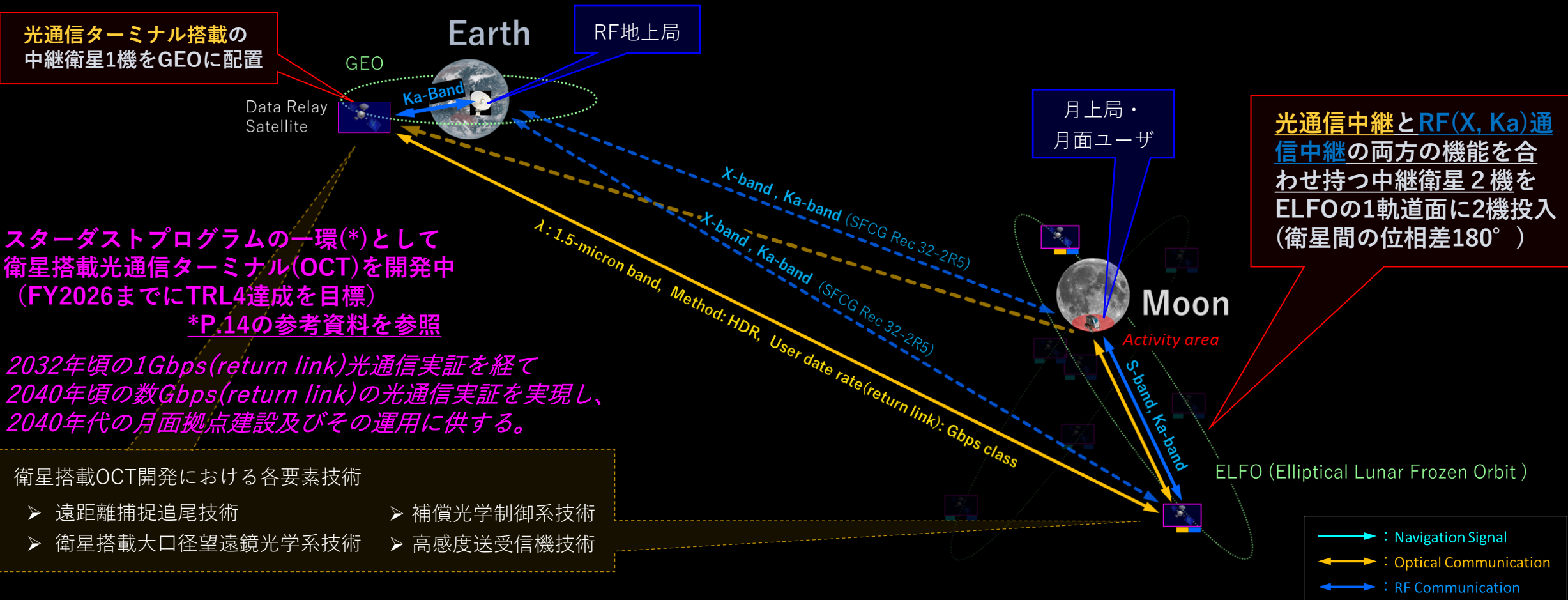


4-2. 国際連携を踏まえた月通信アーキテクチャ案

➤ 日本として構築を目指す月通信アーキテクチャ案（2030年代半ば目標）

目的/目標①：日本の優位性確保と独自性のある貢献を果たす ➔ 月-地球間通信の光通信による基幹回線化

目的/目標②：日本としての自立性, 最低限の自在性を確保する ➔ 光, RF各1回線以上(常時接続)の構築, 保有



4-3. JAXAの技術開発の方向性／技術的優位性

- 地球周回衛星に搭載可能な月探査用Gbps級光通信ターミナル(OCT)の技術は、NASAもESAも保有していない。
- 地球周回通信中継サービス事業において上記OCTの追加実装することにより、月圏通信事業へのスムーズな展開が期待できる。
- 2040年頃には数Gbps(Return)の光通信を実現させ、2040年代の月面基地-地球間の通信インフラに供する等、将来性も見込める。

遠距離光通信(月-地球間)技術実証計画におけるNASAとの比較 ※ESAは地球周回以外での実績・計画ともに無し

		NASA / LLCD※1	NASA / DSOC※2	NASA / O2O※3	JAXA / LORD※4-1	JAXA / LORD※4-2
実施時期		2013-2014年	2023-2025年	2026年(予定)	2032年頃(予定)	2040年頃(予定)
波長		1.5-micron band	1550 nm (Return) 1064 nm (Forward)	1.5-micron band	1.5-micron band	1.5-micron band
変調方式		HPE(パルス位置変調)	HPE(パルス位置変調)	HPE(パルス位置変調)	HDR(位相変調)	HDR(位相変調)
最大伝送レート		622 Mbps (Return) 20 Mbps (Forward)	267 Mbps (Return) 1.8 kbps (Forward)	260 Mbps (Return) 20 Mbps (Forward)	1 Gbps (Return) 100 Mbps (Forward)	数Gbps (Return) 500 Mbps (Forward)
伝送空間		月周回-地上	深宇宙-地上	月周回-地上	月周回or月面-GEO	月周回(ELFO)-地球周回※
伝送距離		400,000 km	55,000,000 km	505,000 km	400,000 km	400,000 km
月側 OCT	光ANT径	10 cm	20 cm	(27cm x 35cm x 20cm)	10cm	30cm
	質量	31 kg	—	11kg 以下	35kg 以下(目標)	TBD
	消費電力	90 W	—	62W 以下	140W 以下(目標)	TBD
	レーザー 送信出力	0.5 W	2 W	1 W	10 W	10 W
地球側 OCT	設置形態	光地上局(WSTF)	光地上局(PMF,TMF)	光地上局(WSTF,TMF)	GEO衛星搭載OCT	地球周回※衛星搭載OCT
	光ANT径	40cm×4 (Return) 15cm×4 (Forward)	5m (Return):PMF 1m (Forward):TMF	40cm×4 (Return) 15cm×4, 1m(Forward)	30cm (RTN,FWD)	30cm (RTN,FWD)
	レーザー 送信出力	10W ×4アレイ	5 kW	10W×4, 5kW	10 W	10 W

※1 LLCD:

Lunar Laser Communications
Demonstration

※2 DSOC:

Deep-Space Optical
Communications demonstration

※3 O2O:

Orion Artemis II Optical
communications demonstration

※4 LORD:

Lunar Optical data Relay
Demonstration

※GEO or MEO

- 本報告では、月通信技術開発に関する背景（将来の月探査活動を支えるための月通信システムの必要性等）や、各種政策文書等における位置付けを紹介した。→資料1. 及び資料2.
- 有人と圧ローバー等の月探査ミッションの運用や2040年代の月面拠点建設に向け、NASA-ESA-JAXA主導で検討を進めているLunaNet構想を念頭に、日本として構築を目指すべき通信アーキテクチャ案やJAXAの技術開発の方向性等を紹介した。引き続きNASA、ESAとの協議を進める。→資料3. 及び資料4.
- 月-地球間遠距離光通信技術実証を早期に実施することにより、国際宇宙探査（通信分野）における日本の優位性を確立することが重要であると考えます。

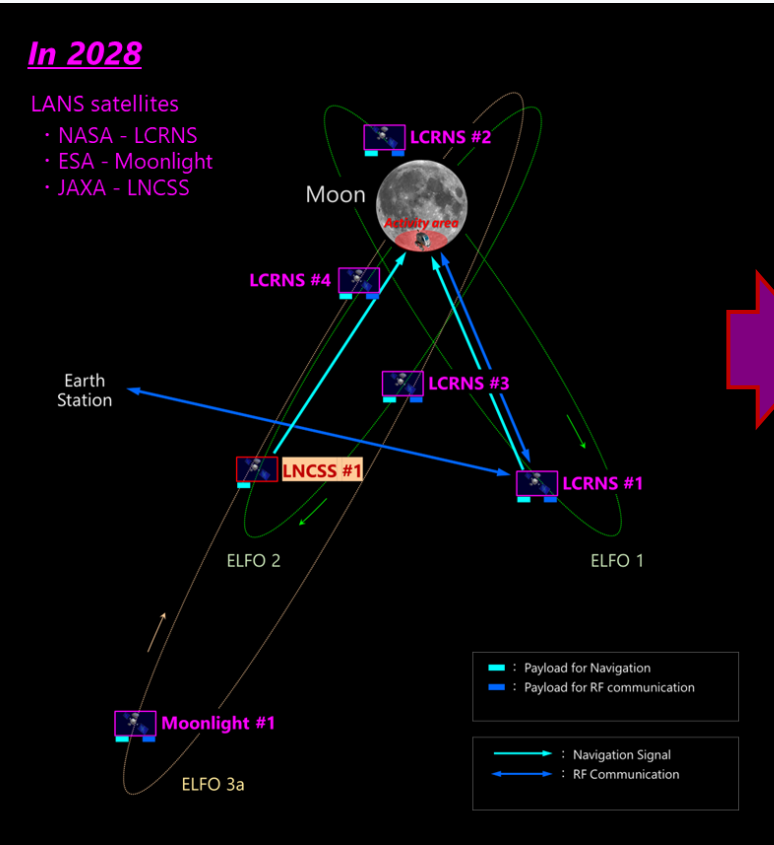
【参考】

国際調整状況：月測位・通信アーキテクチャ開発シナリオ構想【案】

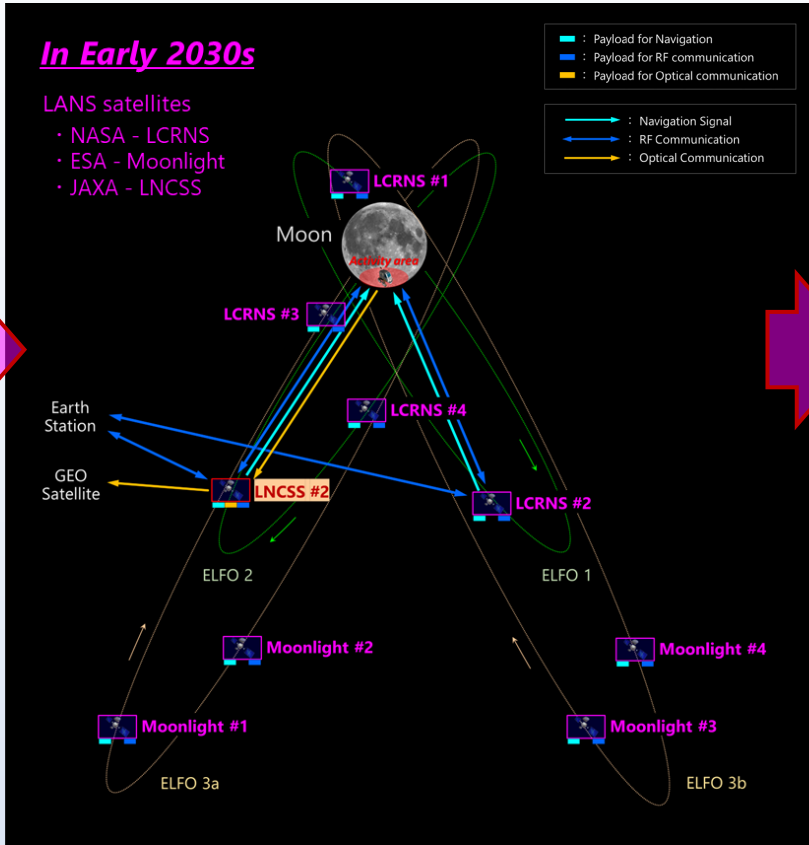


「2024/3/14探査小委資料より再掲」

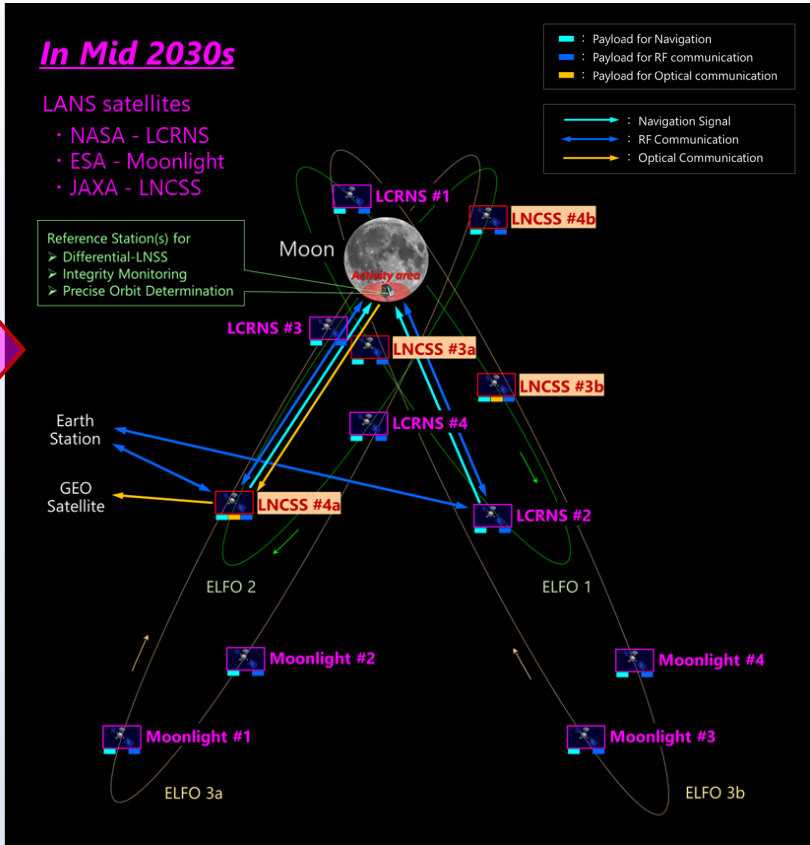
日本としては2028年頃に月測位実証衛星を月周回軌道に投入しLNSS技術を実証、その後2030年頃に月測位運用機を投入し、2030年半ばまでに欧米との協働による測位・通信衛星のコンステレーション構築を段階的に目指す。



Navigation Service	• Horizontal positioning accuracy: 20m by Filter estimate
Communication Service	• Simultaneous visibility: 2 Satellites 100%

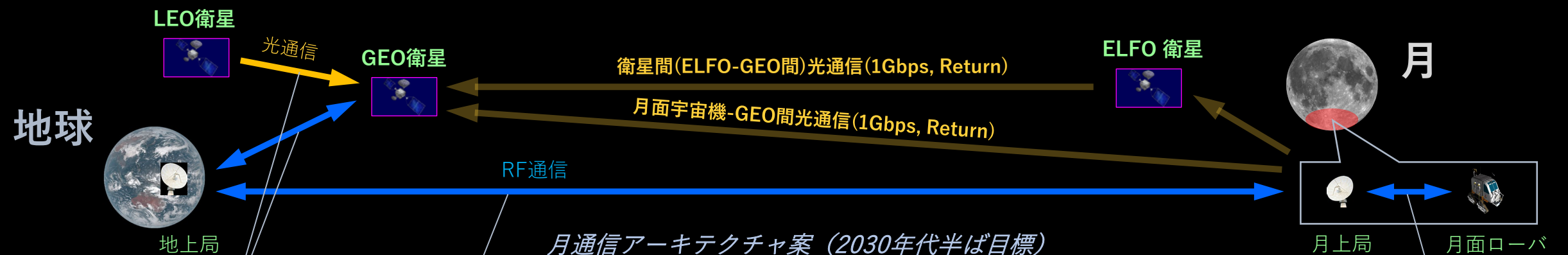


Navigation Service	• Horizontal positioning accuracy: 10m by Filter estimate
Communication Service	• Simultaneous visibility: 2 Satellites 100% • Provide for High-speed communication: More than 1Gbps return rate (After Technology Demonstration of Optical communication)



Navigation Service	• Horizontal positioning accuracy: a few meters by Relative positioning using Lunar reference station(s)
Communication Service	• Simultaneous visibility: 2 Satellites 100% • Provide for High-speed communication: More than 1Gbps return rate

検討状況：月通信アーキテクチャ構築に向けた概略シナリオ



宇宙戦略基金事業／第2期
衛星光通信を活用した
データ中継サービスの実現に
向けた研究開発-実証【光通信】

軌道間のデータ中継サービスの開始に向けた、静止軌道と低軌道等との間における衛星光通信技術の確立等の開発・実証

宇宙戦略基金事業／第1期
月-地球間通信システム
開発・実証(FS)【RF通信】

大容量かつ高精度捕捉等が可能な通信アンテナの開発に向けた地球地上局の基本設計

技術実証ミッション
(ポスト・スターダスト)

- 月-地球間遠距離 1Gbps光通信実証
- E2E 通信N/W実証 (DTN高速化, プロトコルスタック変換等) 試験
- E2E 光通信中継リアルタイム伝送実証

宇宙戦略基金事業／第1期
月-地球間通信システム
開発・実証(FS)【RF通信】

有人と圧ローバ等の月面ミッションにおける高品質・高信頼性のモバイル通信環境の実現可能性の評価

宇宙技術戦略

I. 通信

衛星間や軌道間及び宇宙と地上を結ぶ
光通信ネットワークシステム

地上系とのシームレスな接続を実現する
非地上系ネットワーク (NTN) 技術

Ⅲ. 月面探査・開発等

月通信・測位技術



宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) の一つとして「月面活動のための測位・通信技術開発」を令和3年度からJAXAが受託し、NICT等と連携しながら測位・通信に関する要素技術の開発を実施中。

実施内容・期待される効果

- 月探査活動において、当面**有人・無人探査車**での探査が主たる手段となり、**月の南極域で水平40m以下の航法精度**が求められている。この精度を目標としたLNSSのキー要素技術(**マルチGNSS化、月近傍航法機能、航法高精度化**)の開発を行い、**成熟度TRL4(実験室環境レベルでの有効性確認)**まで上げる。
- 月-地球間の**高速通信1Gbps**を目標として、**高感度送受信技術(位相変調方式光通信技術)**の研究とともに関連要素技術(**遠距離捕捉追尾技術、大口径光学系等**)を向上させ、**成熟度TRL4**を目指す。
- LNSSは地球地上局の運用制約の影響を受けず、リアルタイムでの航法値が得られるため、**宇宙機(月周回機及び月面における人・ロボット・ローバ等)運用効率の飛躍的向上、探査ミッションの価値拡大と創出**が期待できる。

実施体制・スケジュール

主管実施機関：JAXA
共同参画機関：NICT

実施項目		R3	R4	R5	R6	R7	R8
測位	測位・通信アーキテクチャ/システム検討	→					
	LNSS実証機システムの検討	→	→	→			
	マルチGNSS化	→	→	→			
	月近傍航法機能	→	→	→			
	航法高精度化	→	→	→			
通信	国際インターオペラビリティ方式の研究		→	→			
	遠距離捕捉追尾技術の研究		→	→	→	→	→
	月-地球間通信用高感度送受信技術の研究		→	→	→	→	→
	軽量大口径光学系の研究	→	→	→	→	→	→
	搭載補償光学技術の研究	→	→	→	→	→	→