

2024年度 第5回フットニツクデバイス・応用技術研究会

# 宇宙光通信におけるJAXAの取り組み



2025. 2. 19

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

研究開発部門第一研究ユニット

橋本 洋輔

## 1. 宇宙光通信とは？

宇宙光通信の「基礎」を知る

## 2. 光衛星間通信システム「LUCAS」

宇宙光通信の「現在地」を知る

## 3. JAXAの宇宙光通信研究

宇宙光通信の「未来」を知る

## 1. 宇宙光通信とは？

宇宙光通信の「基礎」を知る

## 2. 光衛星間通信システム「LUCAS」

宇宙光通信の「現在地」を知る

## 3. JAXAの宇宙光通信研究

宇宙光通信の「未来」を知る

# 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)



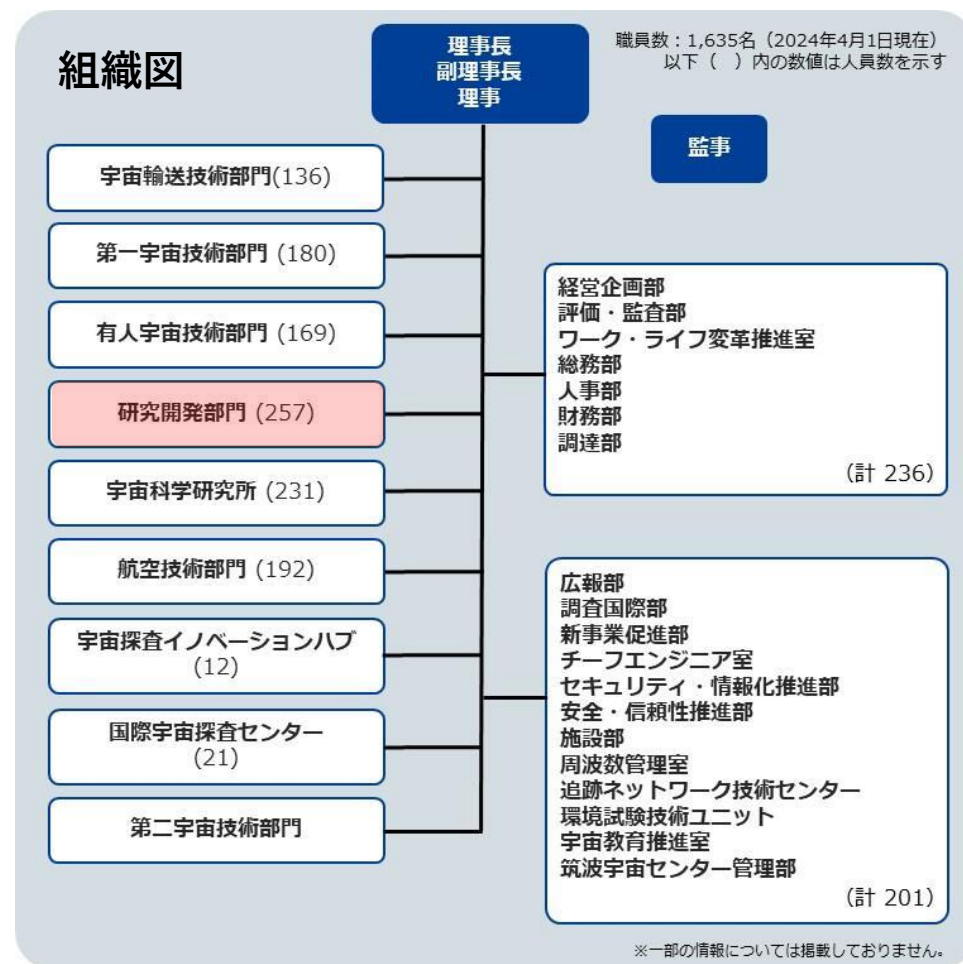
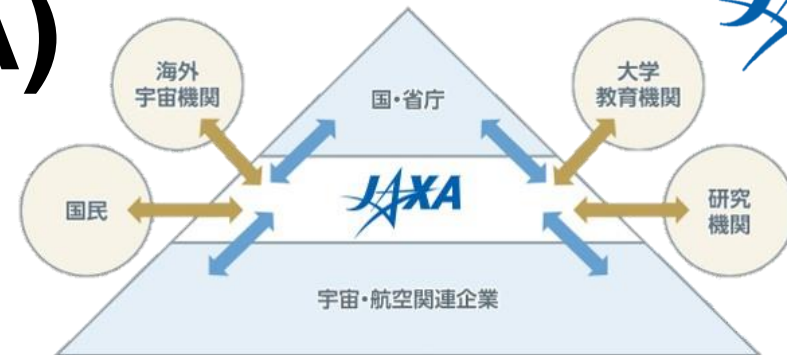
- NASDA、ISAS、NALの3機関が2003年に統合し誕生した、政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核的実施機関

「宇宙と空を活かし、安全で豊かな社会を実現する」

- 職員数：1,635名（2024年4月1日現在）

## ● 事業内容

- 輸送システム（ロケット）の開発、運用
- 人工衛星の開発、宇宙利用
- 有人宇宙活動（国際宇宙ステーション 他）
- 基盤技術の研究開発
- 宇宙科学の探求（はやぶさ2 他）
- 航空技術の研究（超音速飛行機 他）
- 国際協力、教育、etc...



# 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)



## ● 事業所一覧



# 宇宙における通信の利用

## ● 宇宙機（人工衛星、ロケット、宇宙ステーション等）で扱う情報

- テレメトリ：人工衛星の状態を表す情報
- トラッキング：測距信号を介した距離計測
- コマンド：地上からの指令情報

どの宇宙機にも共通

▶ **確実性を重視**

**今後も電波を利用**

- 
- 観測データ
  - 中継データ（観測データ、放送信号、メディアコンテンツ）

衛星の役割（ミッション）固有のデータ

▶ **大容量、速報性を重視**

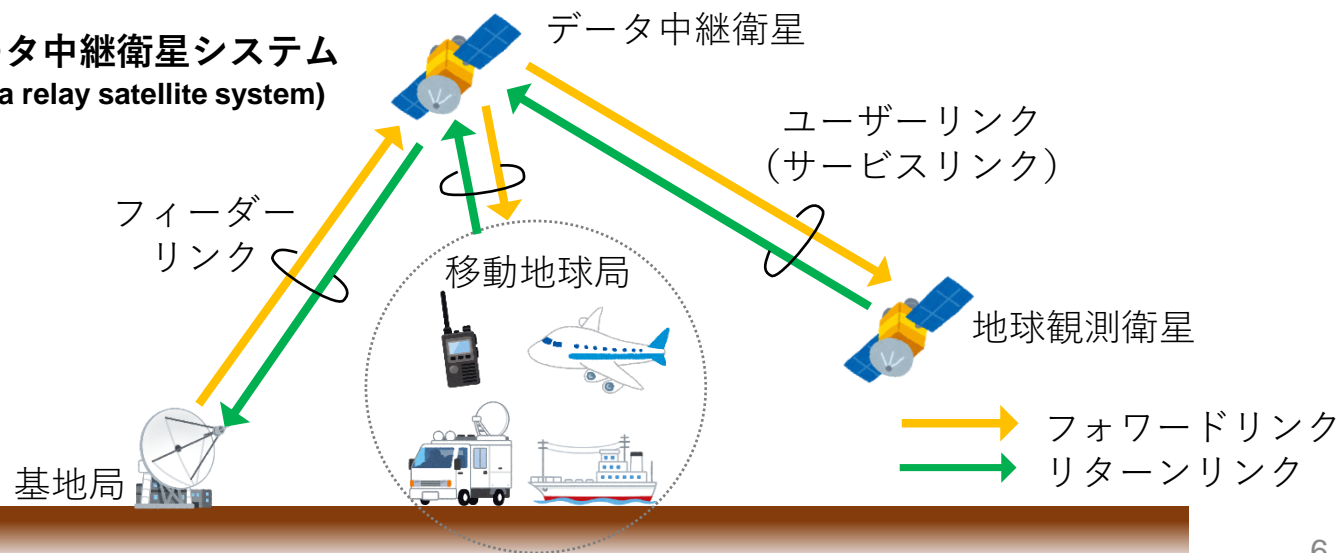
**光通信による高速化が求められている！**

## ● 様々な衛星通信回線（リンク）の名称

直接伝送  
(DT: direct transmission)



データ中継衛星システム  
(data relay satellite system)



# 宇宙通信の通信距離



## 静止軌道 (GEO)

通信中継衛星・気象衛星等  
通信距離：～ 40,000km

## 月圏

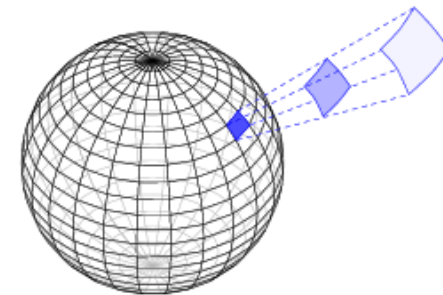
通信距離：～ 400,000km

## 火星・深宇宙

通信距離：数百万km以上

## 低軌道（地球周回軌道、LEO）

地球観測衛星・国際宇宙ステーション等  
通信距離：数百～数千 km



電力密度は球の表面積に反比例する

<http://t-sato.in.coocan.jp/terms/free-space-propagation-loss.html>

- （この図からわかる）宇宙通信の難しさ
  - 信号強度が微弱（距離の2乗に反比例）
  - 伝搬途中で増幅できない
  - 地球から宇宙機を常には見通せない
  - 遅延が大きい

# 多様化する宇宙通信



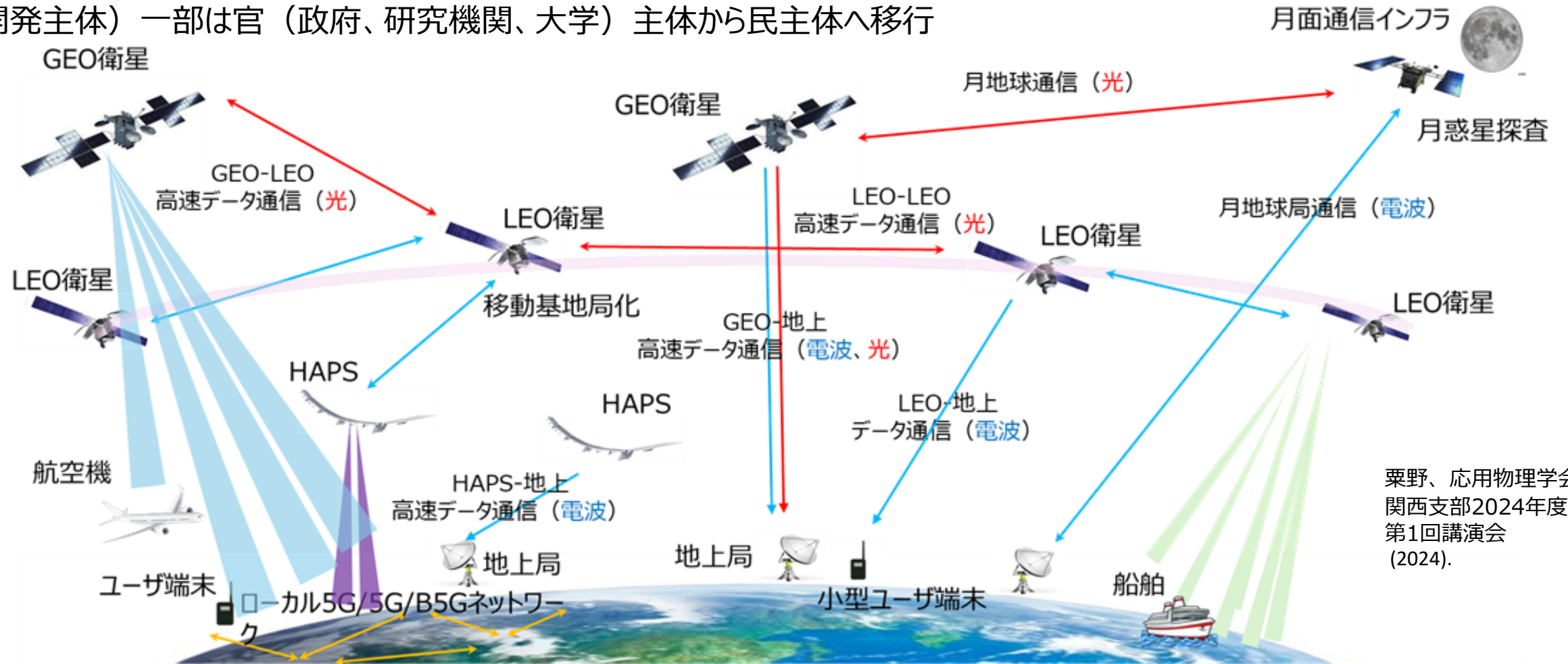
## <多様化する宇宙通信 (NTN) >

(プレイヤー) GEO/MEO/LEO/LEOコンステレーション/月通信/HAPS/電波/光

(アプリケーション) 衛星運用、観測衛星データ伝送、データ中継、地上通信のバックホール

超遠距離 (月) 通信、安全保障用途

(開発主体) 一部は官 (政府、研究機関、大学) 主体から民主体へ移行



栗野、応用物理学会  
関西支部2024年度  
第1回講演会  
(2024).

# 宇宙光通信



## ● 電波と比較した宇宙光通信のメリット

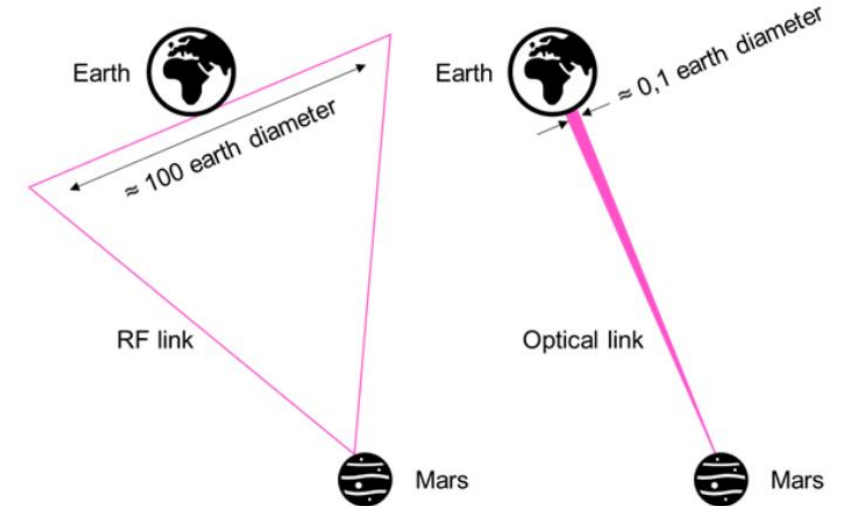
- 高速化が可能：キャリア周波数  $\sim 300 \text{ THz} \gg \text{Ka帯 (40 GHz)}$   
(地上インターネット回線の進化：ADSL  $\rightarrow$  光ファイバ)
- 免許不要（電波は免許申請が必要、周波数資源も世界的に枯渇）
- 高い秘匿性（ビーム径が絞られる）

## ● 宇宙光通信の難しさ

- 低い受信パワー（例：距離35,000 km、波長1550 nm、望遠鏡直径10 cmで $1/10^8$ ）
- 細いビームの指向制御、捕捉追尾（必要精度 $1 \mu\text{rad}$ オーダー）
- 大気擾乱や雲の遮断（衛星-地上間）

## ● 使用波長

- 近年は地上光ファイバ通信用部品の利用、アイセーフの観点から、1550 nm帯が主流  
(衛星量子鍵配送においては800 nm帯も利用)



<https://www.cailabs.com/blog/aerospace-and-defense/space-optical-communications-why-are-space-to-ground-links-taking-time-to-develop/>

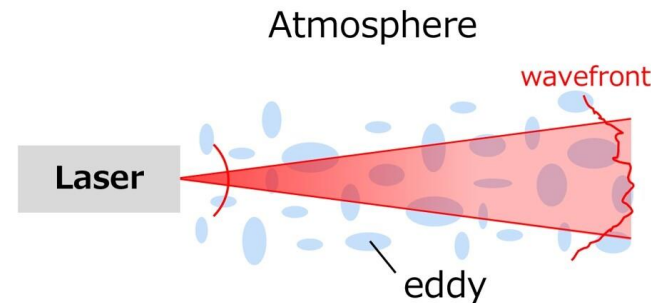
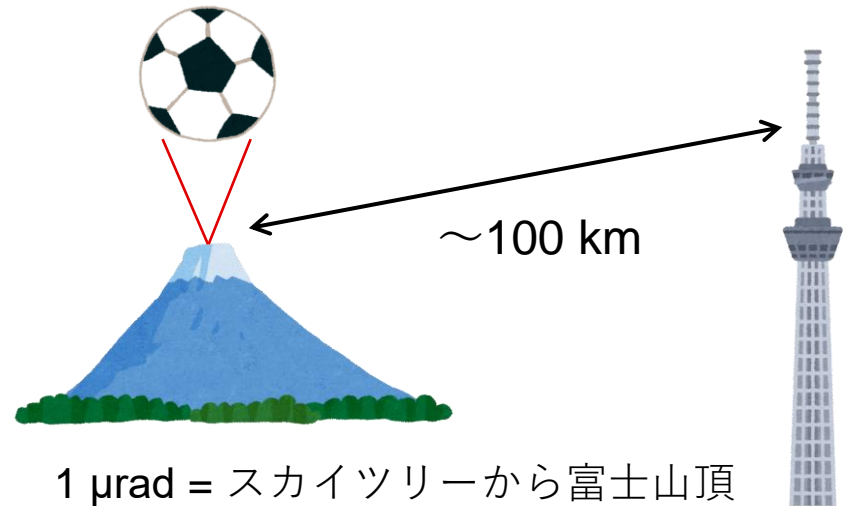


図2 大気中のビーム伝搬の概念図

[https://www.rd.ntt/research/JN202401\\_24534.html](https://www.rd.ntt/research/JN202401_24534.html)



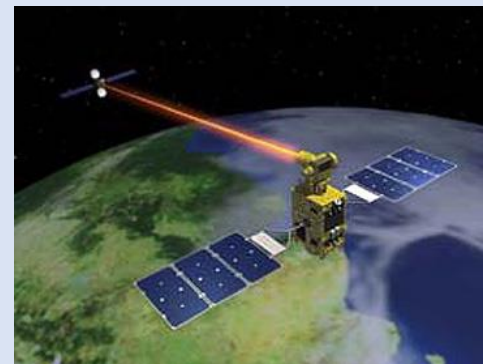
$1 \mu\text{rad}$  = スカイツリーから富士山頂にあるサッカーボールを射抜く！

# 宇宙光通信の実例

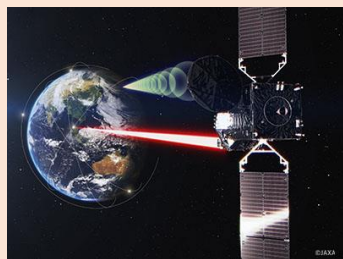


## きらり (OICETS)

- ① ESAのARTEMISと衛星間光通信  
(2005、異なる機関同士では世界初)
- ② LEO-地上間光通信に成功 (2007、世界初)  
JAXA開発、波長847 nm、伝送レート50 Mbps



## LEO-GEO データ中継衛星



- EDRS (2013 ~, Alphasat等、ESA)  
波長1064 nm、伝送レート1.8 Gbps
- LUCAS (2020 ~、JAXA)  
波長1560 nm、伝送レート1.8 Gbps

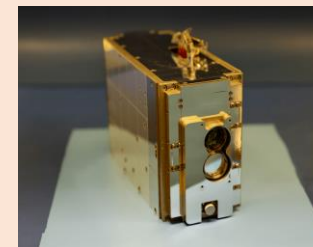
## 月・深宇宙通信



From NASA's website.

- DSOC (2023 ~、NASA)  
小惑星探査機Psycheに搭載された光通信機  
4億 km (2.7 AU) から8.3 Mbpsで通信成功！

## 低軌道・近距離通信



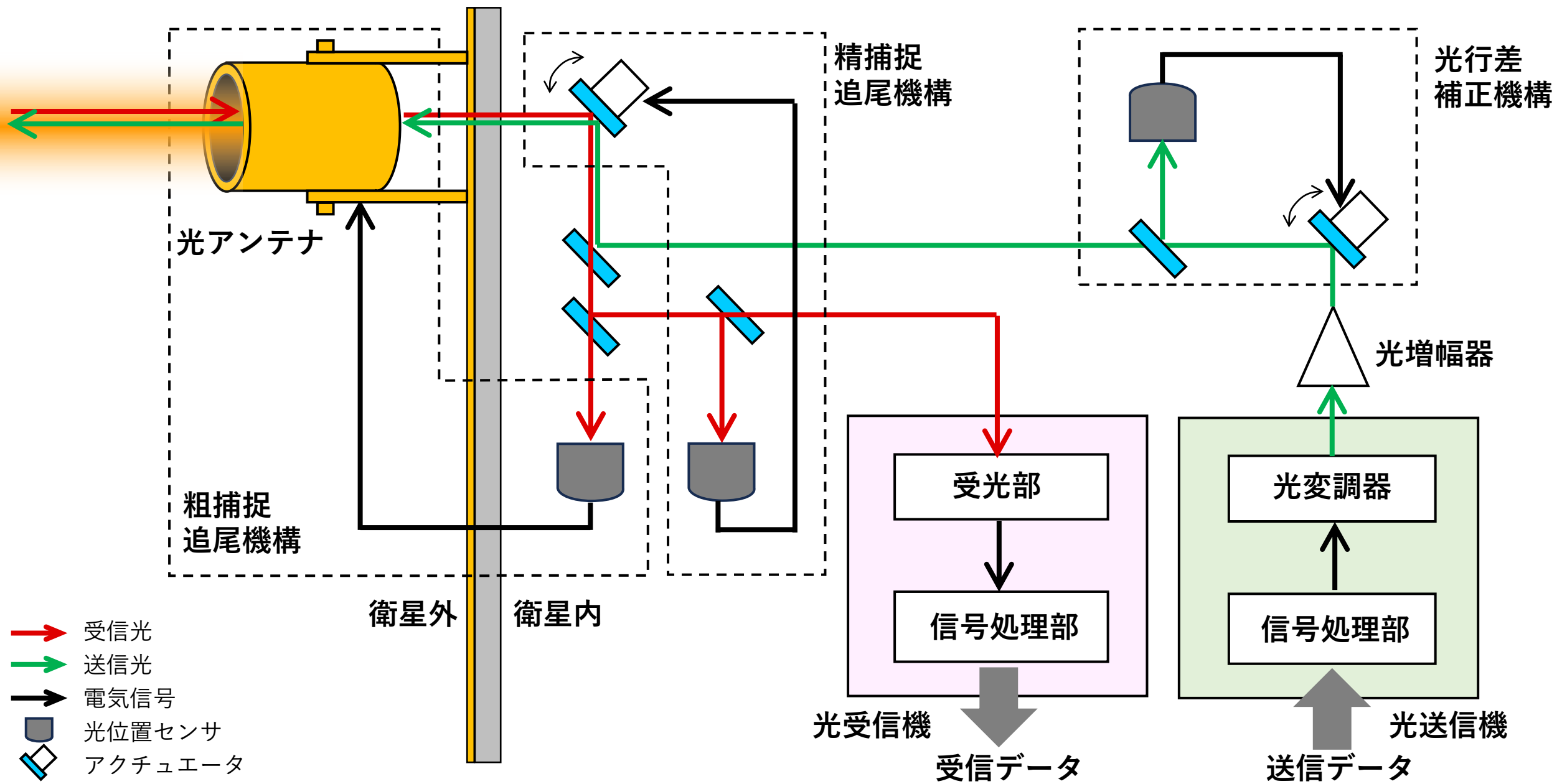
From NASA's website.



<https://www.starlink.com/technology>

- TBIRD (2022 ~ 24、NASA)  
低軌道-地上間200 Gbps
- Starlink (2024~、SpaceX)  
3,000機規模で100 Gbps級通信

# 宇宙光通信用光ターミナルの構成例



# 宇宙光通信用光ターミナル



- 宇宙光通信用光ターミナル製品

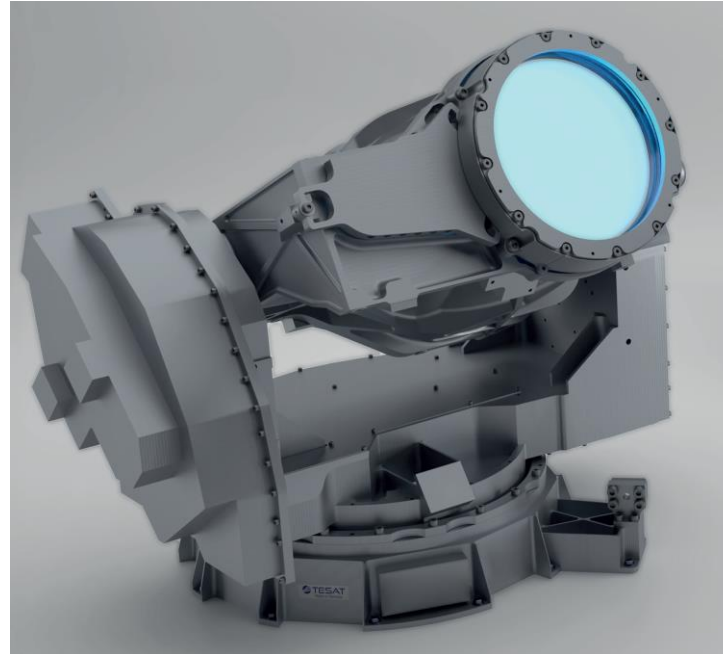
近年は特に大規模衛星コンステレーション向けに光ターミナルの製品化が進む

**Mynaric社 CONDOR Mk3**



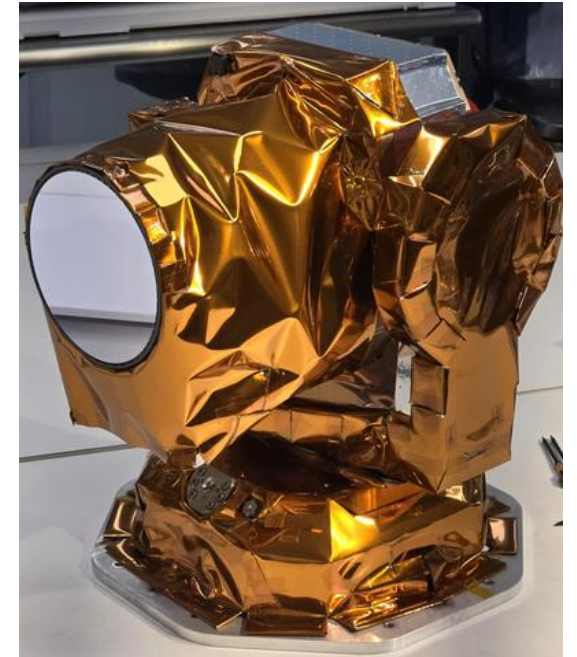
<https://mynaric.com/products/space/condor-mk3/>

**TESAT社 SCOT135**



[https://www.tesat.de/images/tesat/products/240306\\_DataSheet\\_SCOT135\\_A4.pdf](https://www.tesat.de/images/tesat/products/240306_DataSheet_SCOT135_A4.pdf)

**Skyloom社のターミナル**



<https://www.businesswire.com/news/home/20240909393930/en/Skyloom-Passes-Optical-Communication-Terminal-Testing-Milestones-Moves-to-Scaling-Production-in-Next-Generation-Facility>

## 1. 宇宙光通信とは？

宇宙光通信の「基礎」を知る

## 2. 光衛星間通信システム「LUCAS」

宇宙光通信の「現在地」を知る

## 3. JAXAの宇宙光通信研究

宇宙光通信の「未来」を知る

# 光衛星間通信システム「LUCAS」

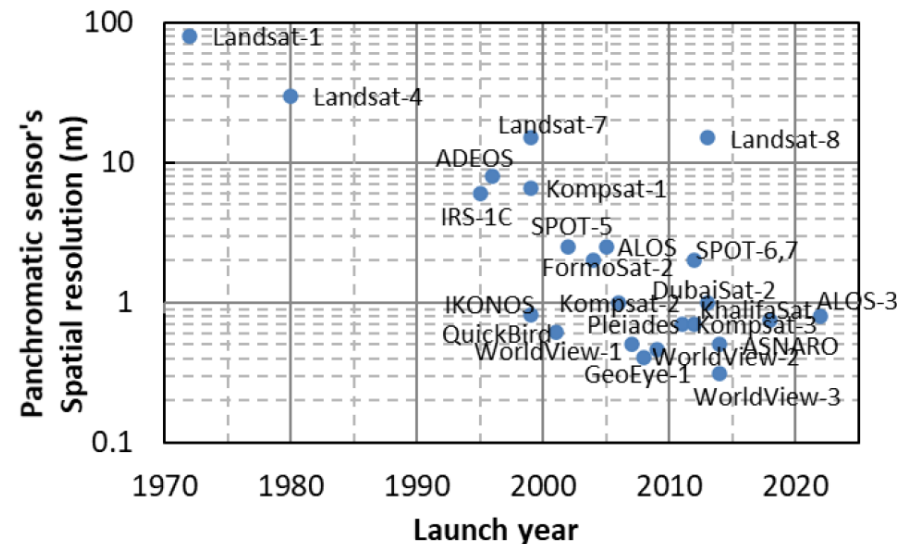


- 光データ中継の必要性

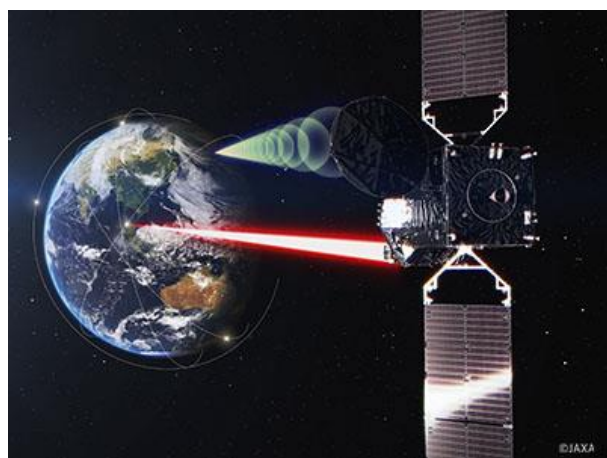
- 地球観測衛星に搭載されるセンサの解像度向上  
→ データ発生量の増大
- 地球観測衛星：低軌道  
→ 地上局からの可視時間が短い（10分程度）

▶ 低軌道の地球観測衛星が生み出す大量のデータを、光で高速に静止中継衛星に伝送し、地上に降ろすシステムが必要。

JAXAは光衛星間通信システム「LUCAS」を開発。



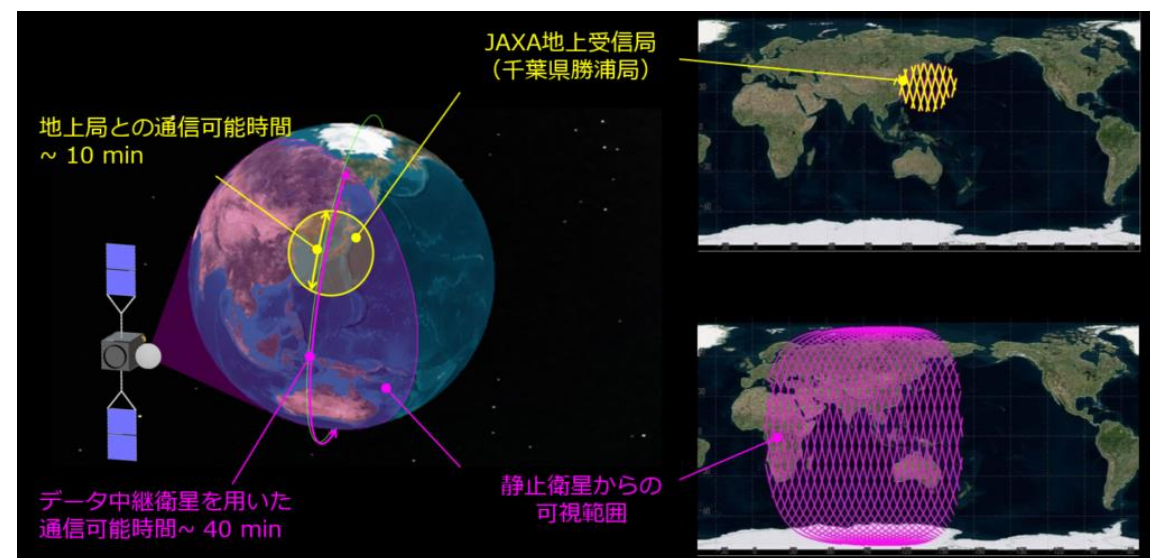
S. Yamakawa, et al., 2022 IEEE ICSOS (2022).



LUCASの  
イメージCG



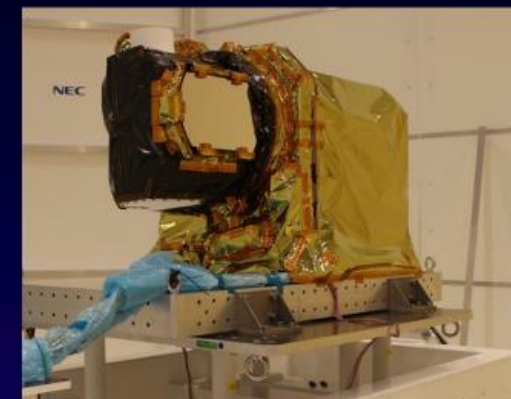
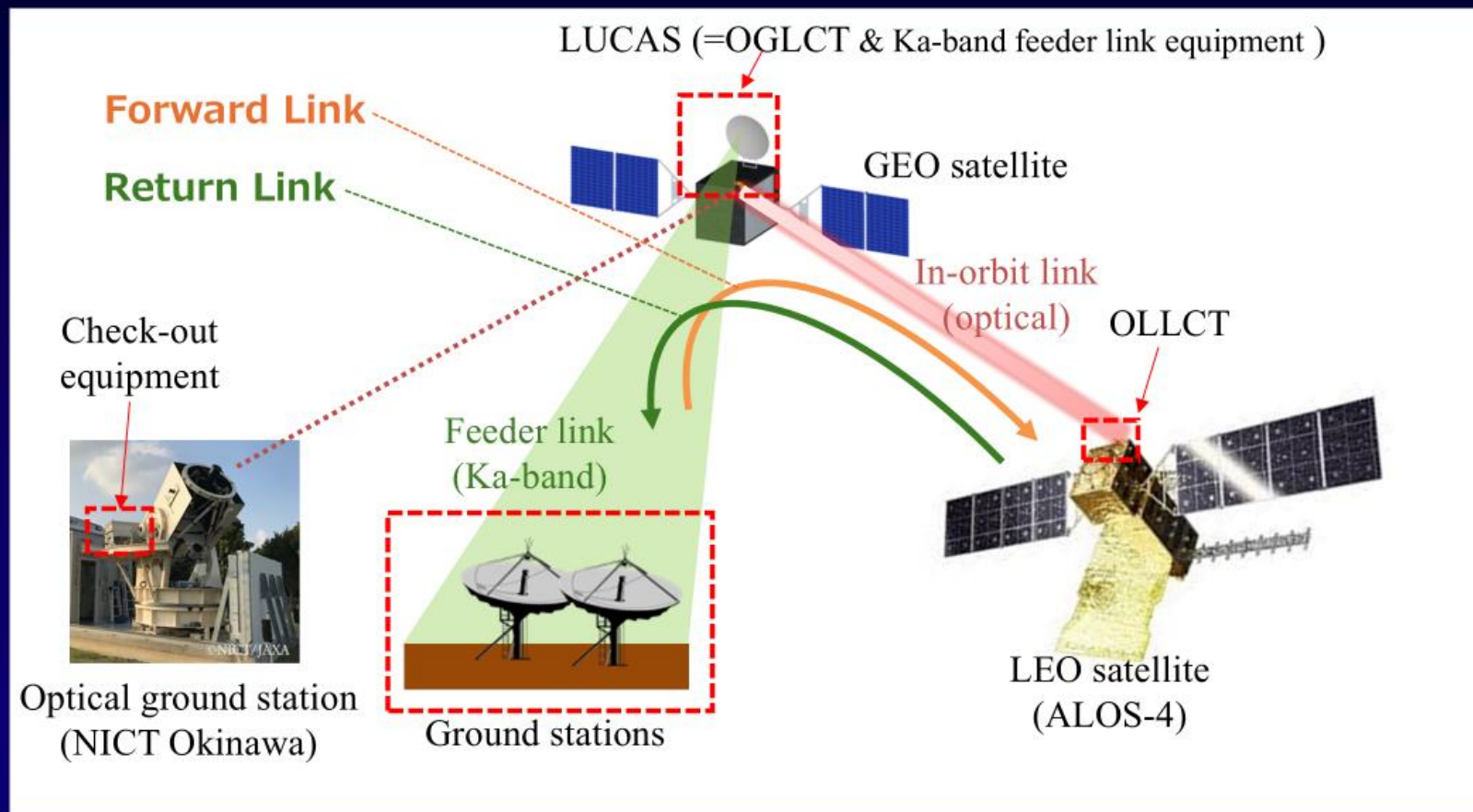
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/lucas/index.html>



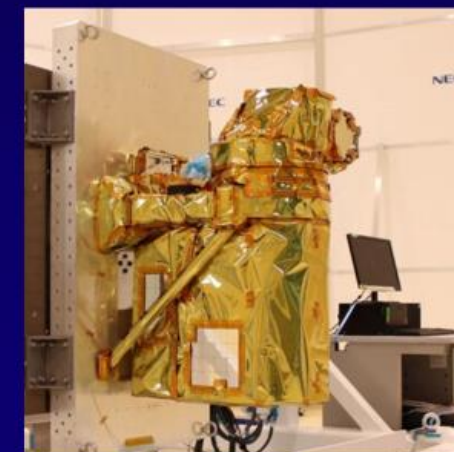
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/lucas/index.html>

# LUCASのシステム構成図

The configuration of LUCAS is as shown below:



Optical GEO Laser Communication Terminal (OGLCT)



Optical LEO Laser Communication Terminal (OLLCT)

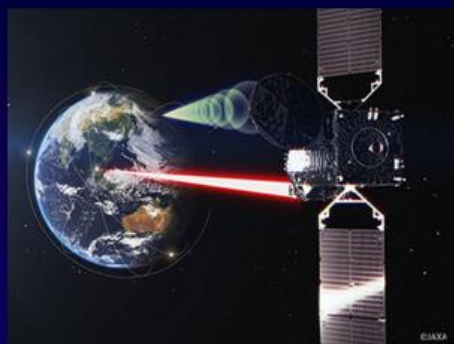
# LUCASの打ち上げ

The information of satellites and launcher vehicles are as shown below:



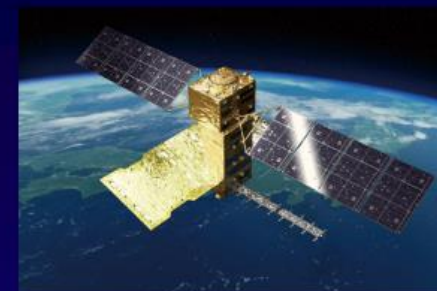
## LUCAS

- Launcher: H-IIA (F43)
- Launch date:  
29<sup>th</sup> Nov. 2020  
16:25(JST)



## (だい4号) ALOS-4

- Launcher: H3 (F3)
- Launch date:  
1<sup>st</sup> Jul. 2024  
12:06(JST)



# LUCASの通信諸元



A) The system specifications are as shown in the table on the right.

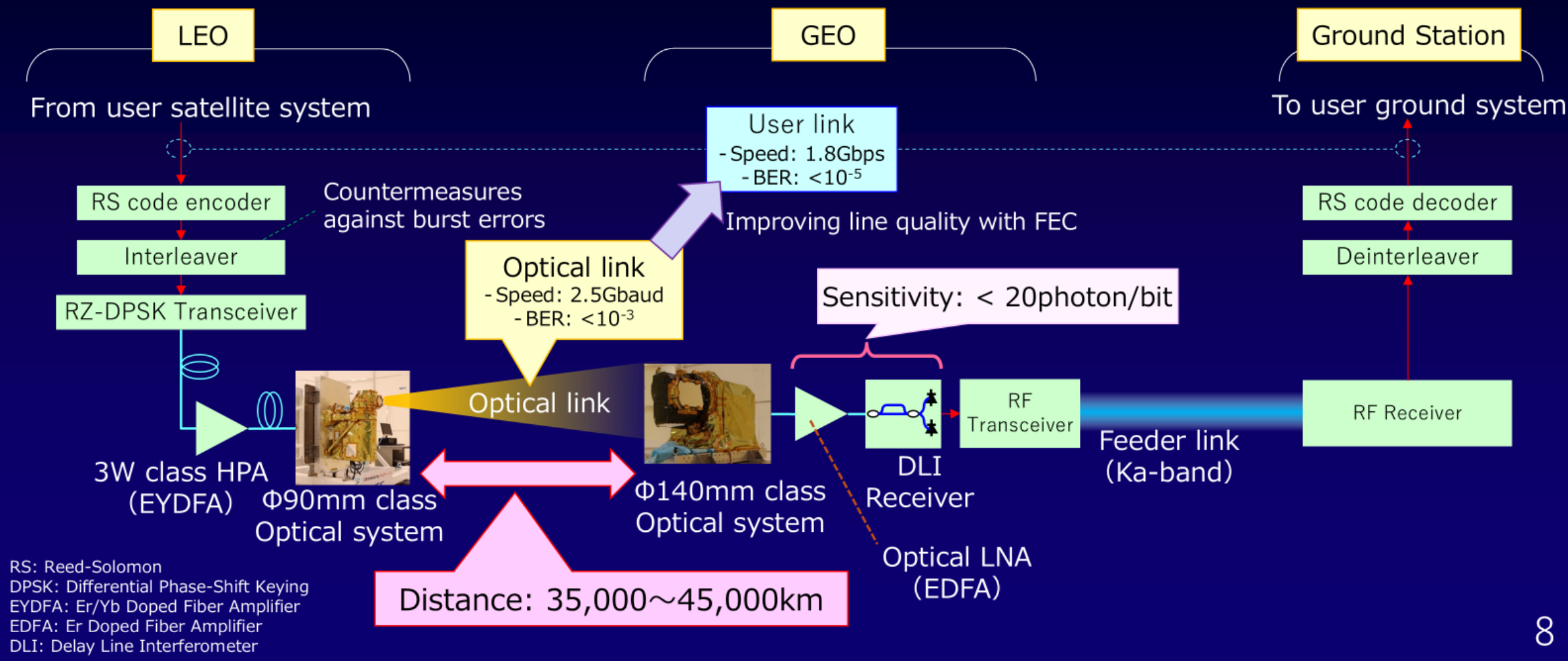
B) Wavelength is 1550nm band:  
a. Spin-in from ground technologies  
(Including future technologies)  
b. Eye-safe

LUCAS Specification			
		Return link	Forward link
Data Rate	Pre FEC	<b>2.5Gbps</b>	60Mbps
	Post FEC	<b>1.8Gbps</b>	50Mbps
BER	Pre FEC	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$
	Post FEC	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$
Wavelength		1560nm	1540nm
Polarization		LHCP	RHCP
Modulation		RZ-DPSK-DD	RZ-IM-DD

**The FASTEST LEO-GEO communication in 1550nm**

# LUCASの通信回線

## □ Ex. Return Link (LEO->GEO->ground)



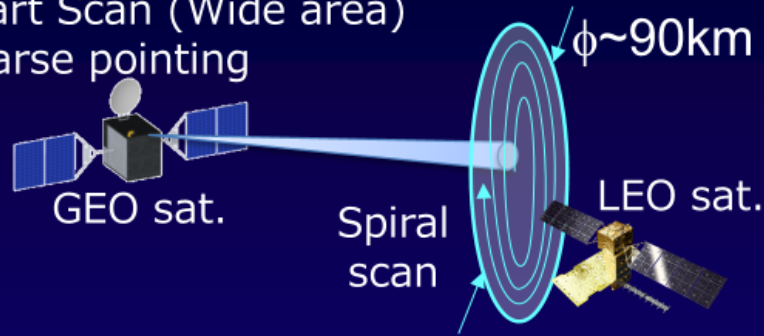
# LUCASの捕捉追尾の仕組み

□ LUCAS's PAT sequence is as shown below:

(PAT: Pointing, acquisition and tracking)

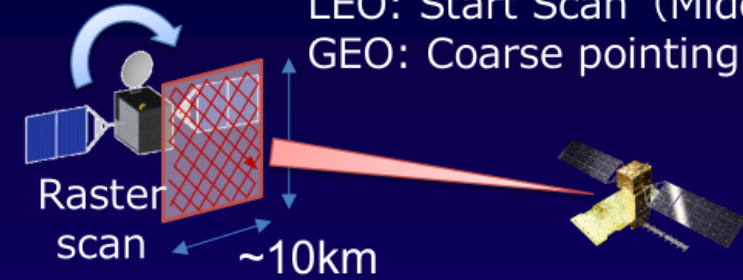
## 1: Spiral scan phase

GEO: Start Scan (Wide area)  
LEO: Coarse pointing



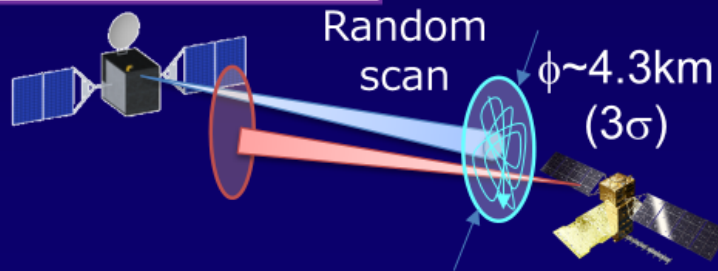
## 2: Raster scan phase

LEO: Start Scan (Middle area)  
GEO: Coarse pointing



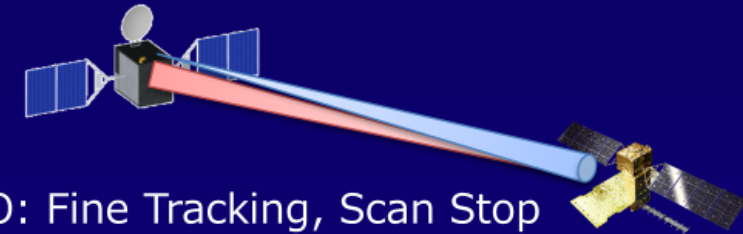
## 3: Random scan phase

GEO: Fine Acquisition, Start Scan (Small area)  
LEO: Coarse Acquisition, Scan Stop



## 4: Fine Tracking phase

GEO: Fine Tracking, Scan Stop  
LEO: Fine Tracking  
-> communication line established

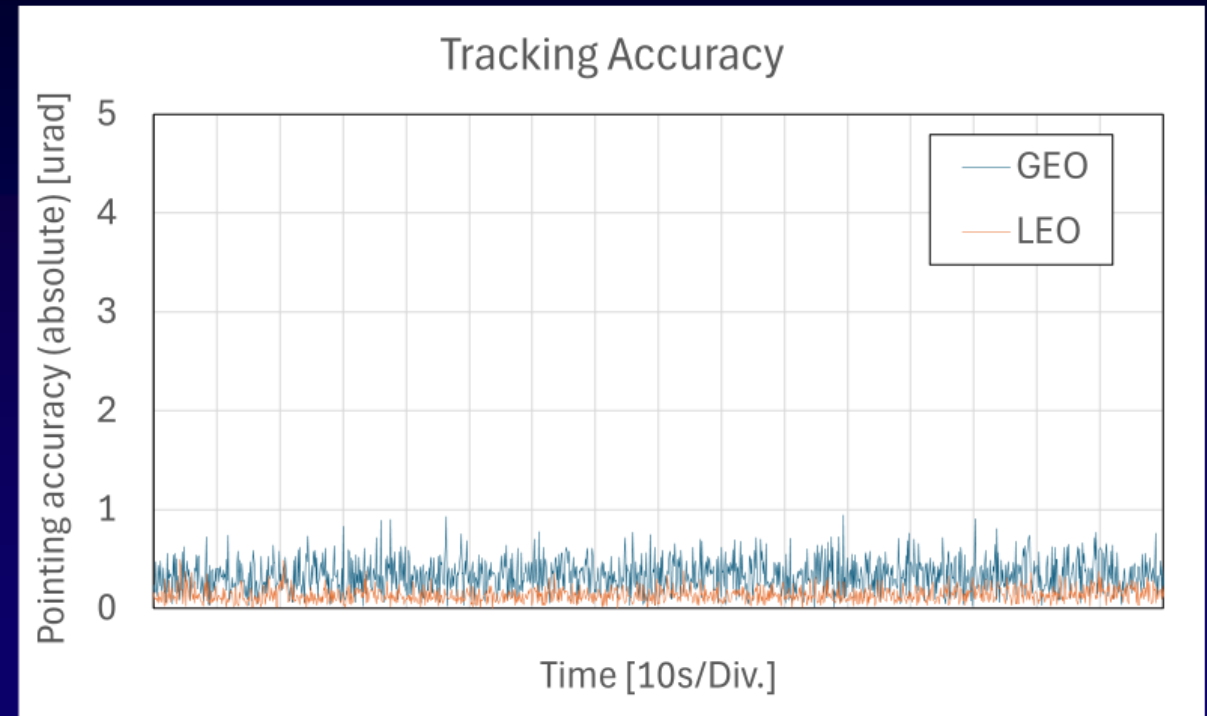


# LUCASの捕捉追尾精度

□ Tracking accuracy evaluation results is as shown below:

The evaluation results of tracking accuracy:

- **GEO: 0.50urad ( $3\sigma$ )**
- **LEO: 0.22urad ( $3\sigma$ )**



→ **Sufficient tracking accuracy**

(Mechanical vibrations from satellite system are sufficiently suppressed.)

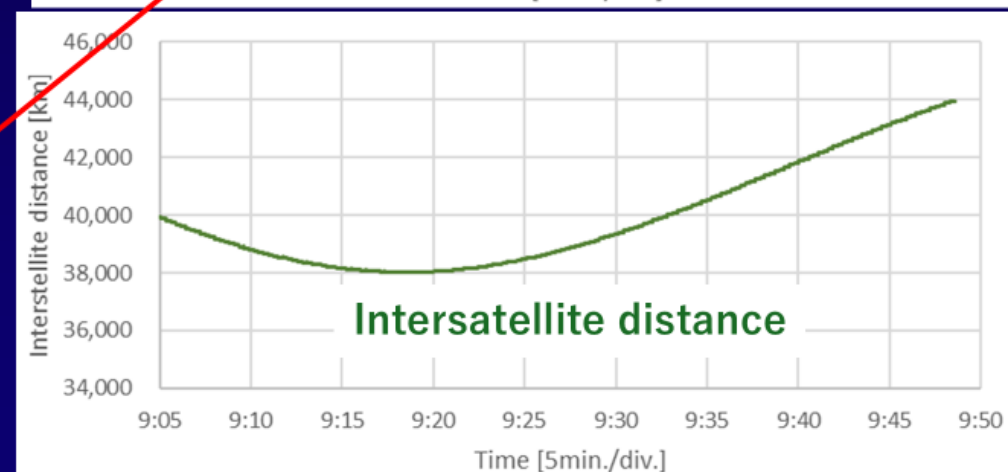
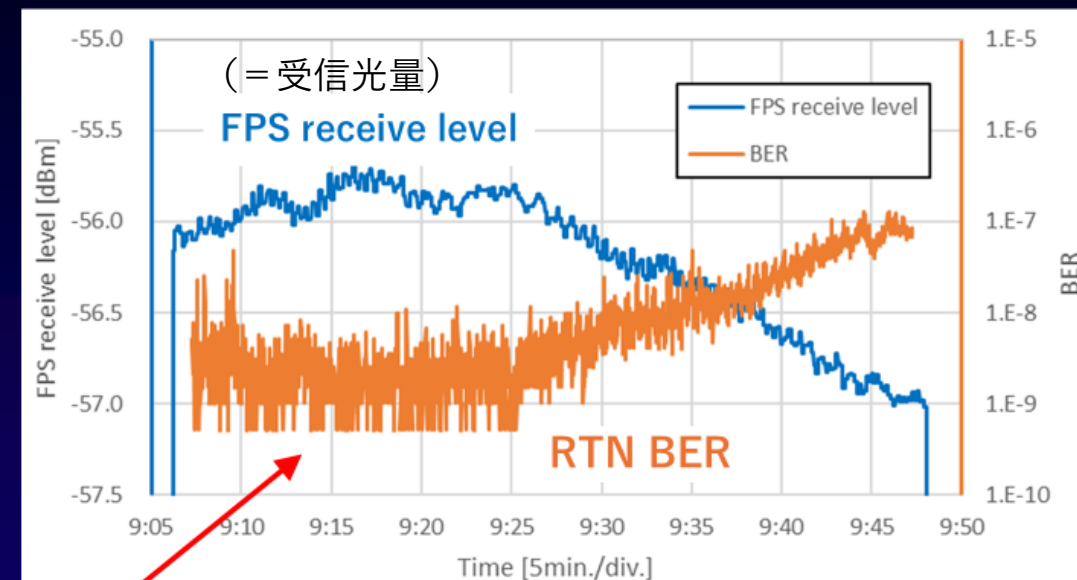
# LUCASでの通信評価結果

FPS: Fine pointing sensor

- Bit error rate data are as shown below:

		Data	Spec.
FWD	Pre-FEC	<b>Error Free</b> ( $7.25 \times 10^9$ bit trans.)	$< 5 \times 10^{-4}$
	Post-FEC	<b>Error Free</b> (same as above)	$< 1 \times 10^{-6}$
RTN	Pre-FEC	(Right graph)	$< 1 \times 10^{-3}$
	Post-FEC	<b>Error Free</b> ( $7.42 \times 10^{11}$ bit trans.)	$< 1 \times 10^{-5}$

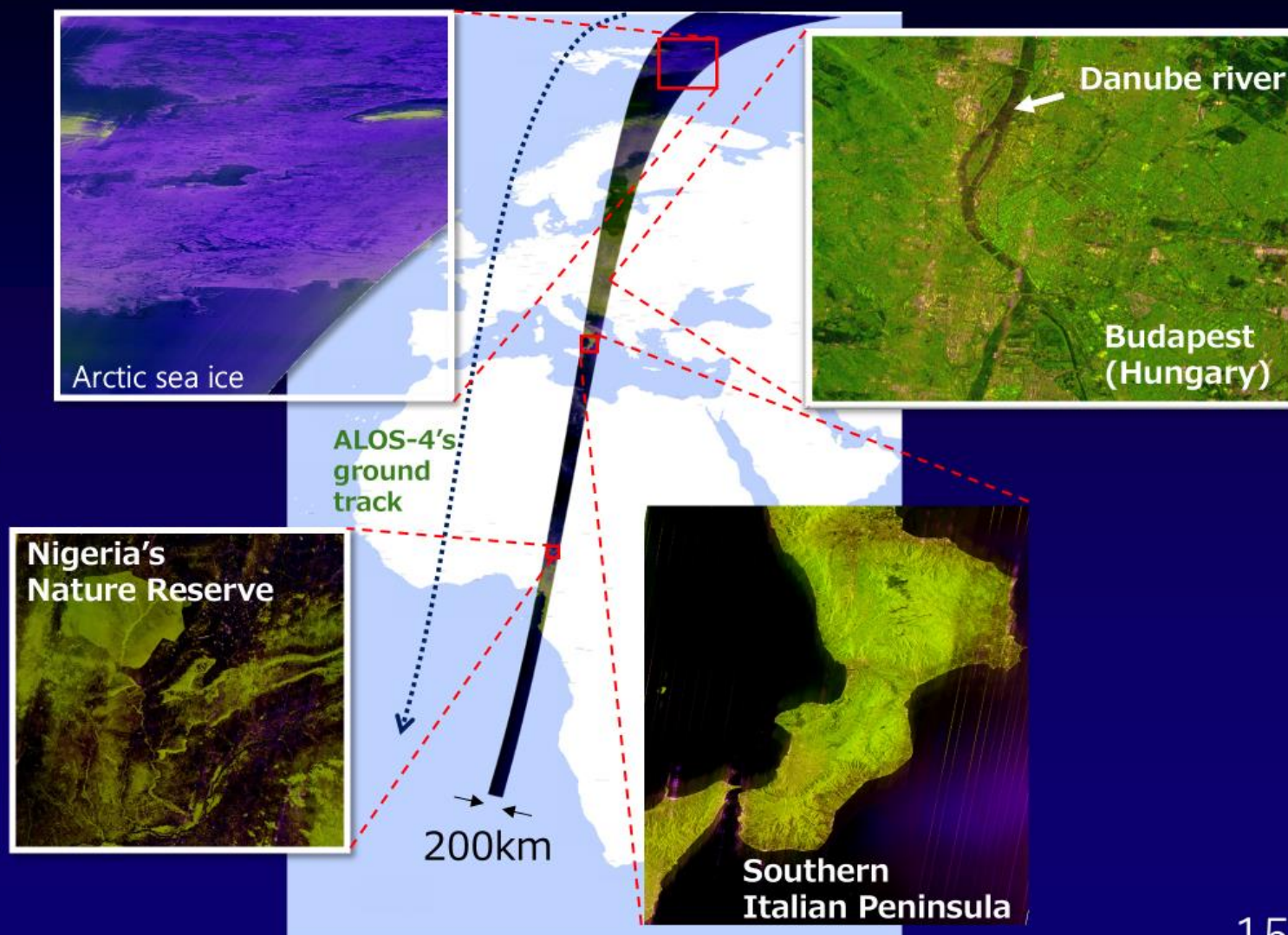
**BER:  $\sim 7 \times 10^{-4}$**   
(Converted at Max. distance: 45,000km)  
**-> Good enough quality**



# LUCASでの観測データ伝送

## Real-time transmission of SAR observation data

- A) Observation area:  
**2,600,000km<sup>2</sup>**  
(=200km x 13,000km)  
in one observation operation
- B) Ground resolution:  
**10m x 10m**
- C) Transmitted Data Size:  
**>3.2Tbits** (/30min.)



## 1. 宇宙光通信とは？

宇宙光通信の「基礎」を知る

## 2. 光衛星間通信システム「LUCAS」

宇宙光通信の「現在地」を知る

## 3. JAXAの宇宙光通信研究

宇宙光通信の「未来」を知る

# JAXAの研究開発



- 宇宙開発：あらゆる理工分野の「総合芸術」

制御、通信、熱・流体、材料、構造・機構、生物、システム、ソフトウェア、etc...

- 宇宙機がさらされる過酷な環境条件

- 宇宙環境

温度、放射線、真空、紫外線、打ち上げ衝撃、etc...

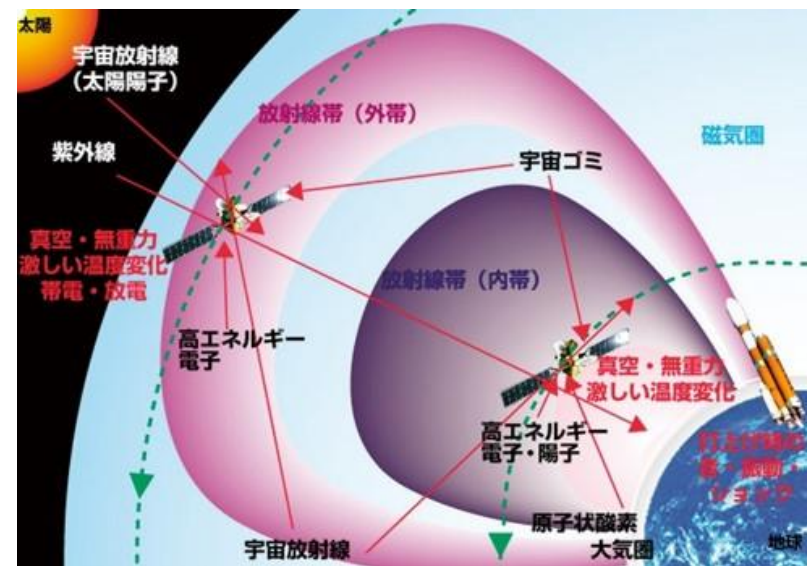
- 限られたリソース

高信頼化、省エネ化、軽量化、etc...

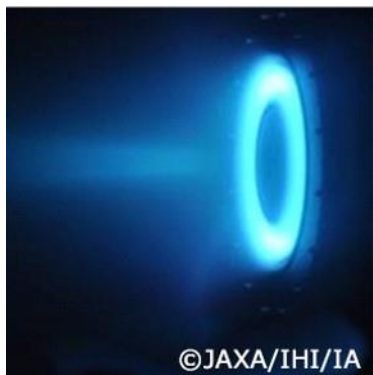
▶ 多様な専門性を持つ技術者が集まり、過酷な環境条件下において、

- 新たな宇宙利用技術の創出（高速通信、観測・探査技術、デブリ除去 他）

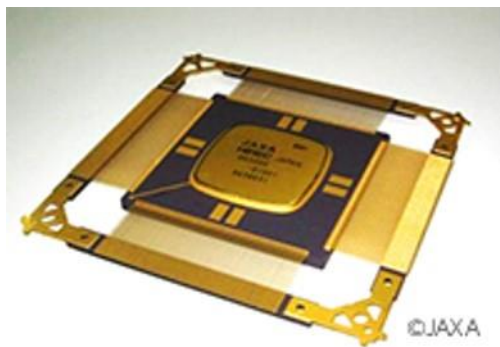
- 将来ミッションを支える機器研究（電源、スラスタ、ベアリング 他）に取り組む



<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/story/newsletter/flap/01/images/02/01-b.jpg>



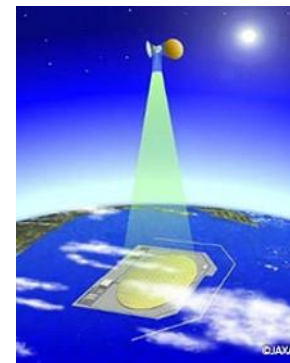
ホールスラスタ



宇宙用MPU



革新的衛星技術実証1号機  
(RAPIS-1)



宇宙太陽光発電  
(SSPS)

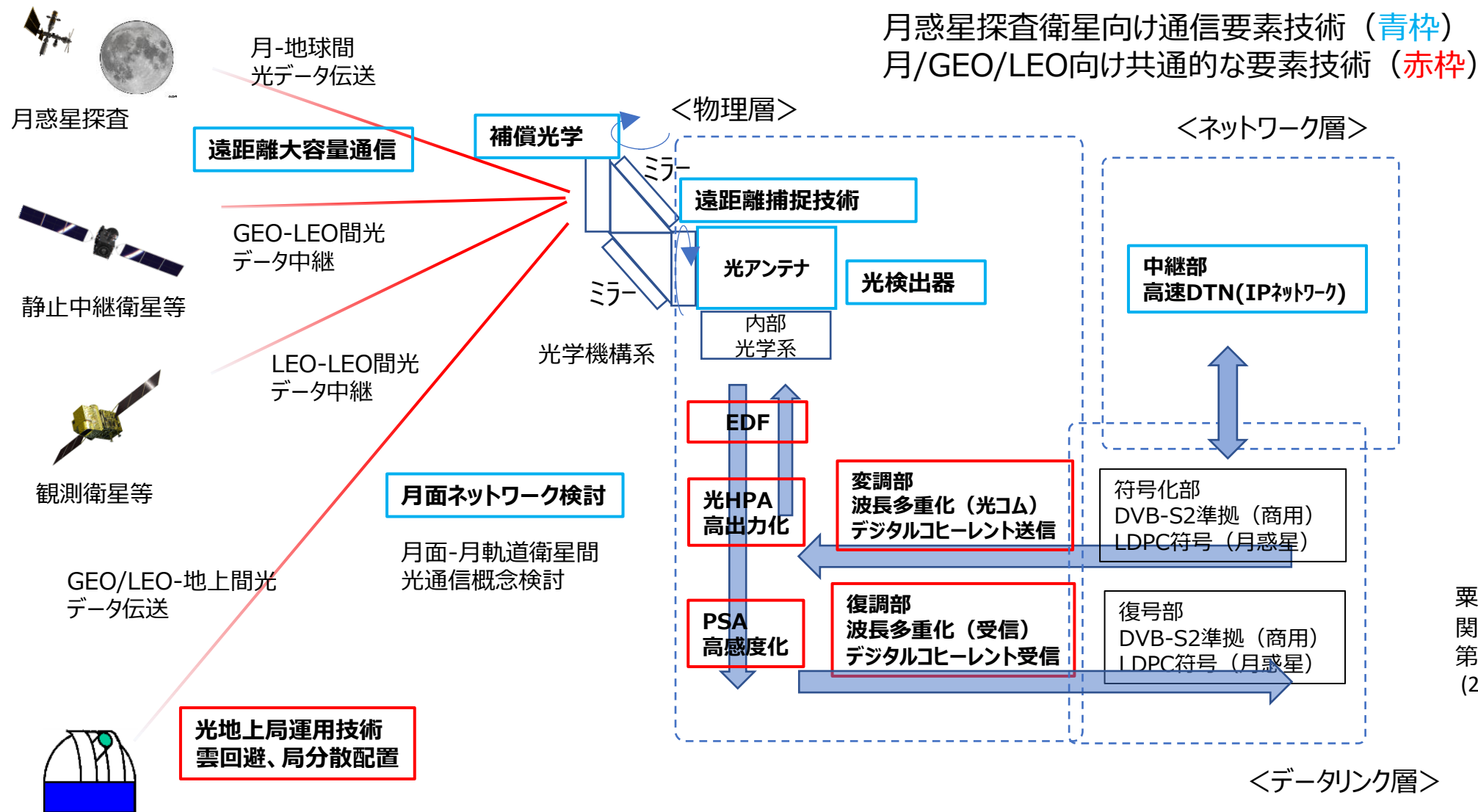


衛星内ワイヤレス通信機

# JAXAの宇宙光通信研究



JAXAでは（主に）近地球高速光通信向け、及び月惑星探査向けの光通信技術要素（以下）の研究開発を進めている。  
本講演では筆者が携わる研究（主に赤枠）を紹介。



栗野、応用物理学会  
関西支部2024年度  
第1回講演会  
(2024).

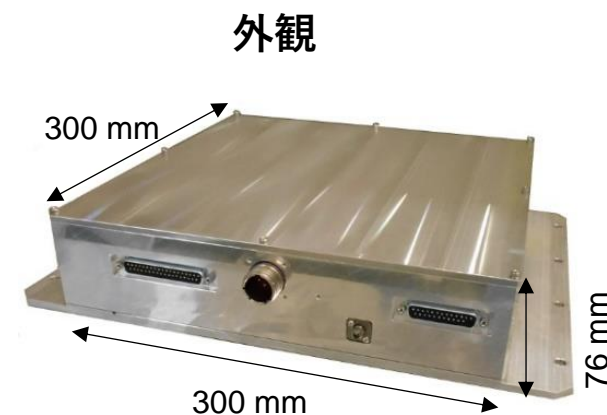
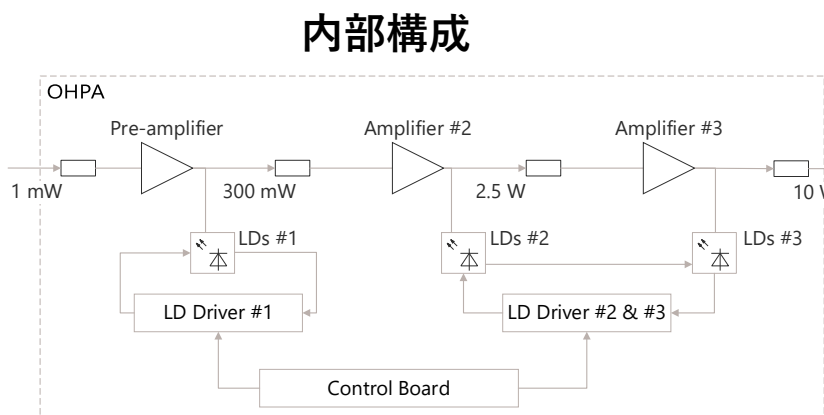
# 10 W級光高出力増幅器の研究

## ● 研究の目的

- 宇宙通信：経路中で中継増幅ができない  
→ 高速化のためには、大パワーでの送信を可能にする高出力アンプが必要
  - 1550 nm帯のEDFA：宇宙用で10 W級の出力を有するものなし（地上用でも需要少ない）  
→ 宇宙環境に耐えられる10 W級アンプの開発が必要（⇔ LUCAS: 3 W級）
- ▶ **光学機器メーカーと協力し、宇宙用10 W級Er/Ybファイバーアンプを研究開発**

## ● 開発したアンプ（エンジニアリングモデル）の概要

出力	> +40.0 dBm
増幅波長	1560.606 nm
偏波消光比	> 16 dB
消費電力	103 W
ウォールプラグ効率	9.7%
運転期間	>3 year (target)



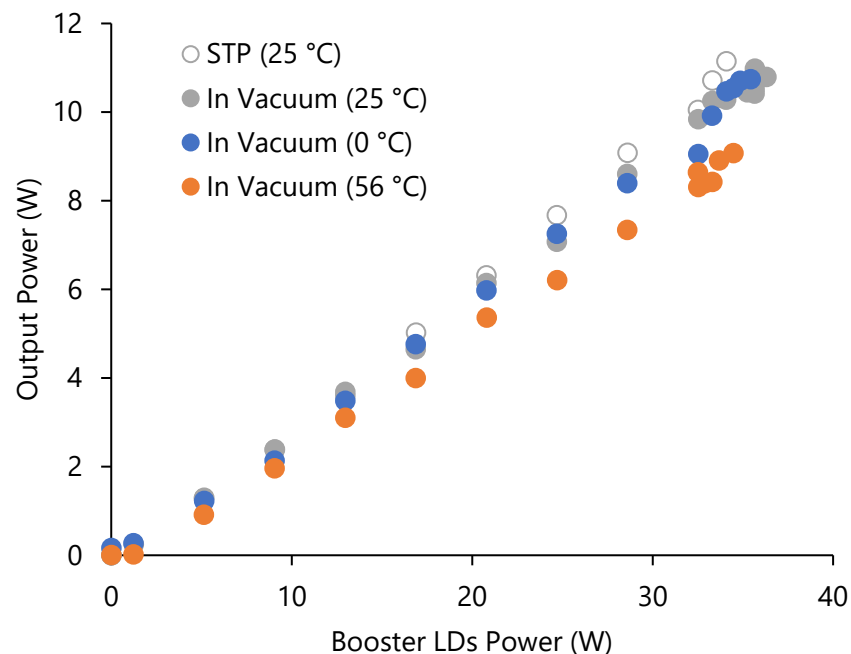
# 10 W級光高出力増幅器の研究



## ● 性能評価試験結果

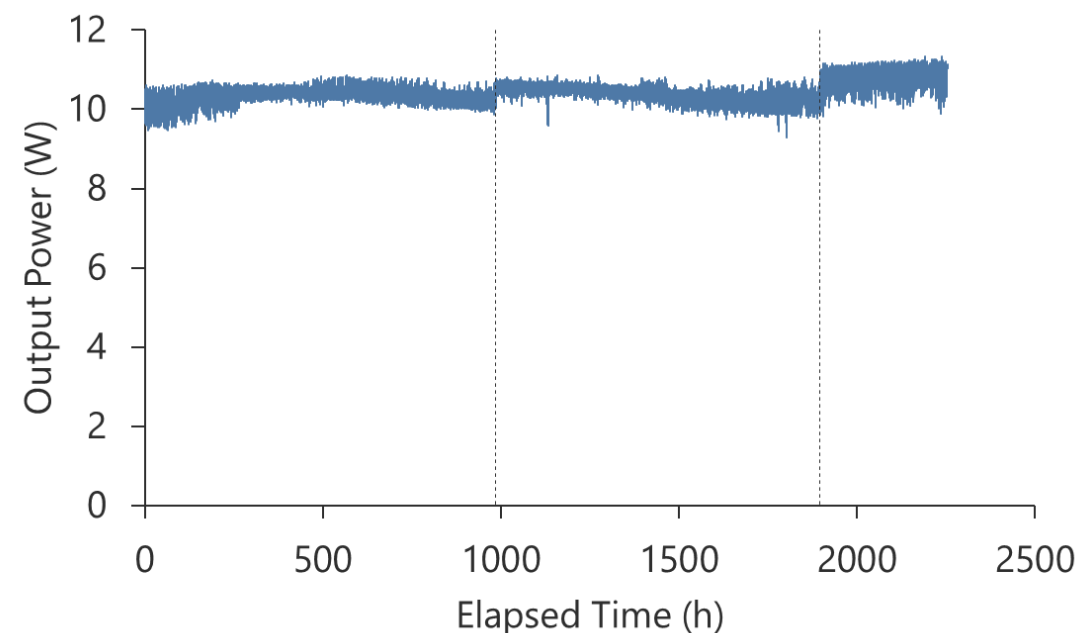
### 光出力特性

真空かつ低温/高温下でも10 W級出力を達成



### 長期動作安定性

2,000時間を超えても性能劣化なし



H. Kobayashi, et al., Proc. SPIE 12413, Free-Space Laser Communications XXXV (2023).

## ● 将来展望

- 2025年以降にこのアンプを用いた通信実証実験を国際宇宙ステーションで実施予定
- この成果を基に、より環境・要求の厳しい静止軌道衛星向けアンプも開発スタート

# 耐放射線EYDFの研究

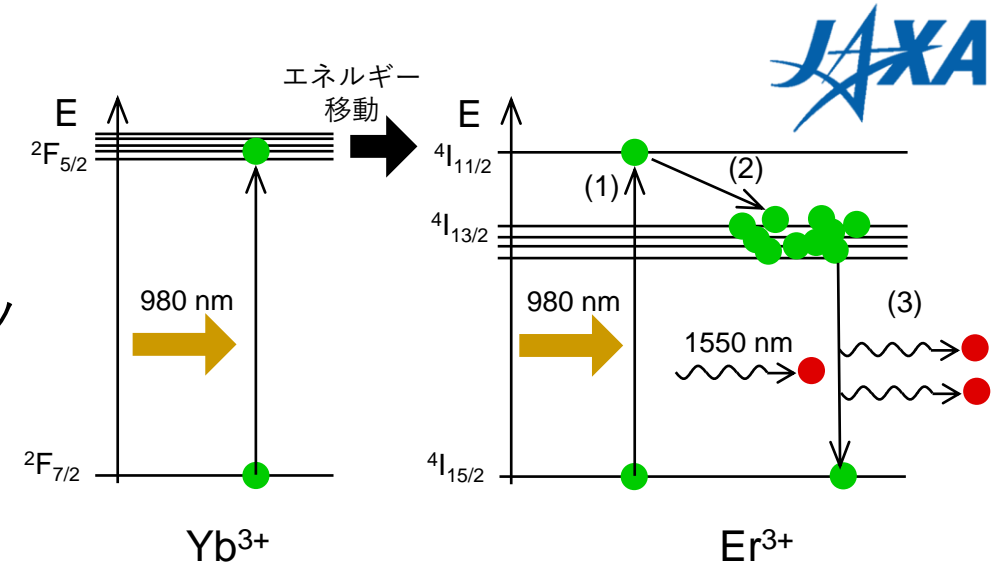
## ● 研究の目的

- Er/Yb添加ファイバ (EYDF)：高出力光アンプのキーパーツ  
ただし、放射線に弱い → 宇宙環境で性能劣化
- 耐放射線EYDFを作れるのは海外の限られたメーカーのみ  
→ 安定供給に不安あり

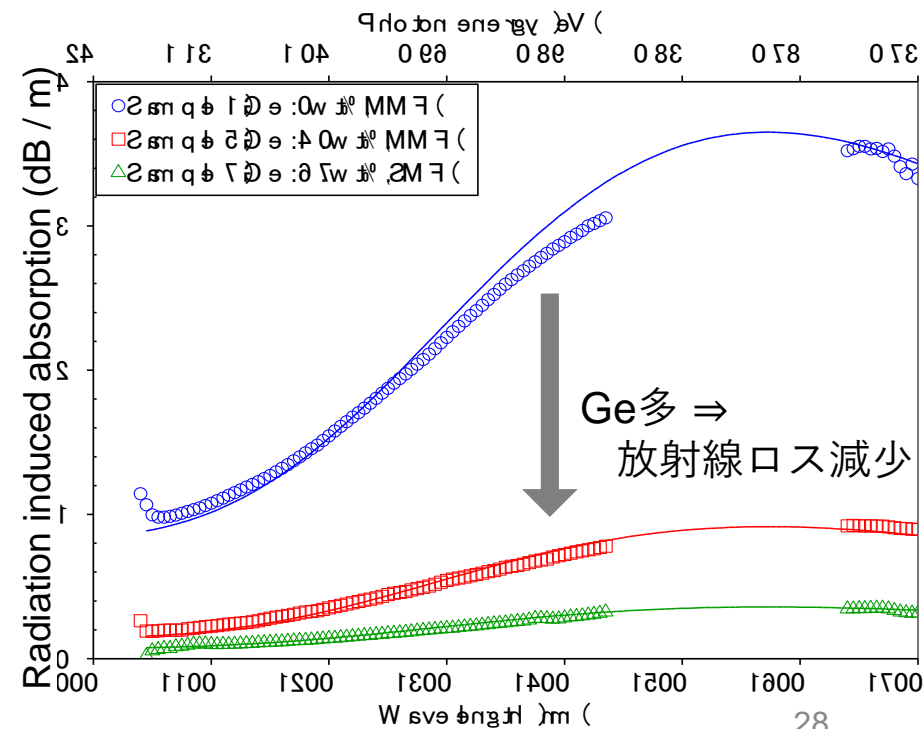
▶ 国内ファイバメーカーと協力し、耐放射線EYDFを開発

## ● 耐放射線Er/Yb添加ファイバ

- さまざまな添加元素
  - Yb: 励起光吸収帯域、吸収量の向上
  - Al, P: 希土類元素拡散効果による濃度消光の抑制
  - Ge: 屈折率分布の調整
- Al、P → 放射線による誘起欠陥吸収が発生  
→ 宇宙環境で透過率劣化
- ▶ Geの共添加によりP関連誘起欠陥吸収を抑制し、  
耐放射線性を向上させる手法を開発



γ線照射後のファイバー吸収スペクトル

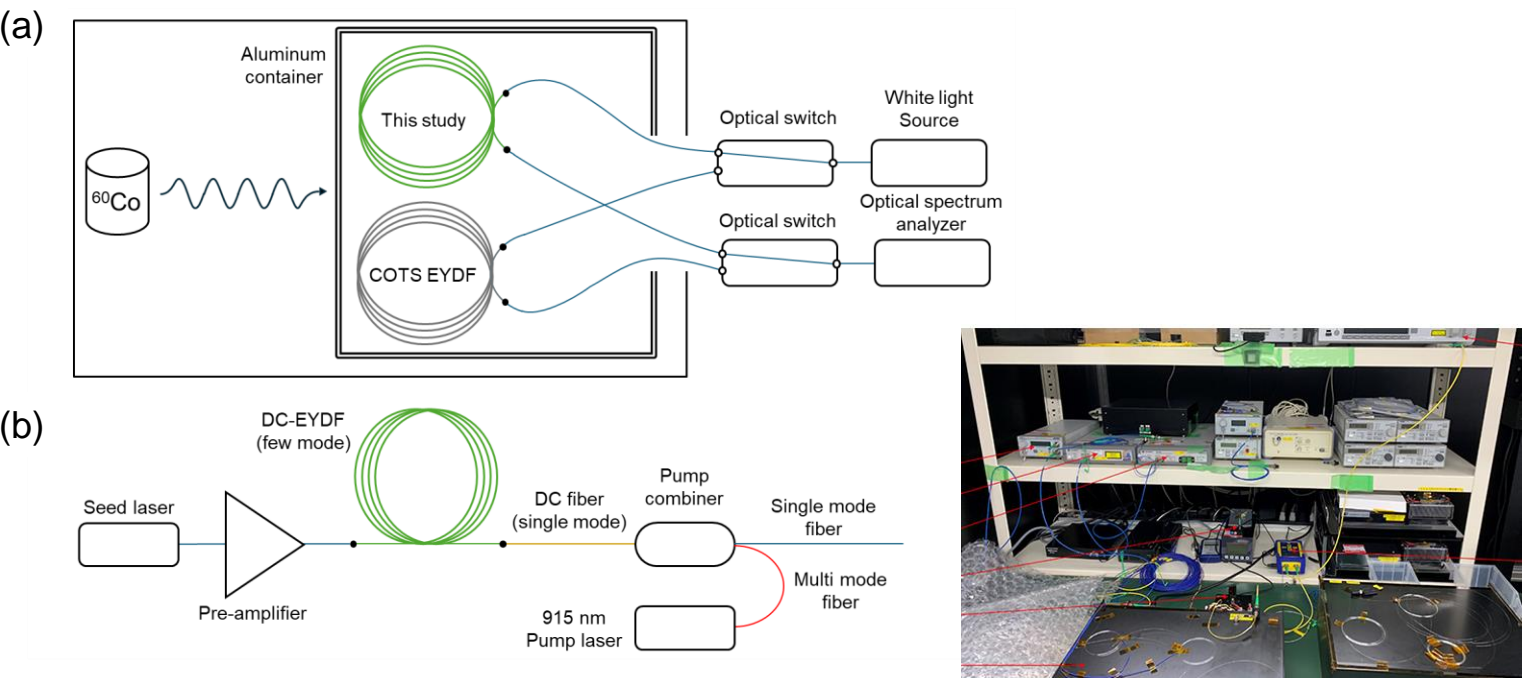


# 耐放射線EYDFの研究

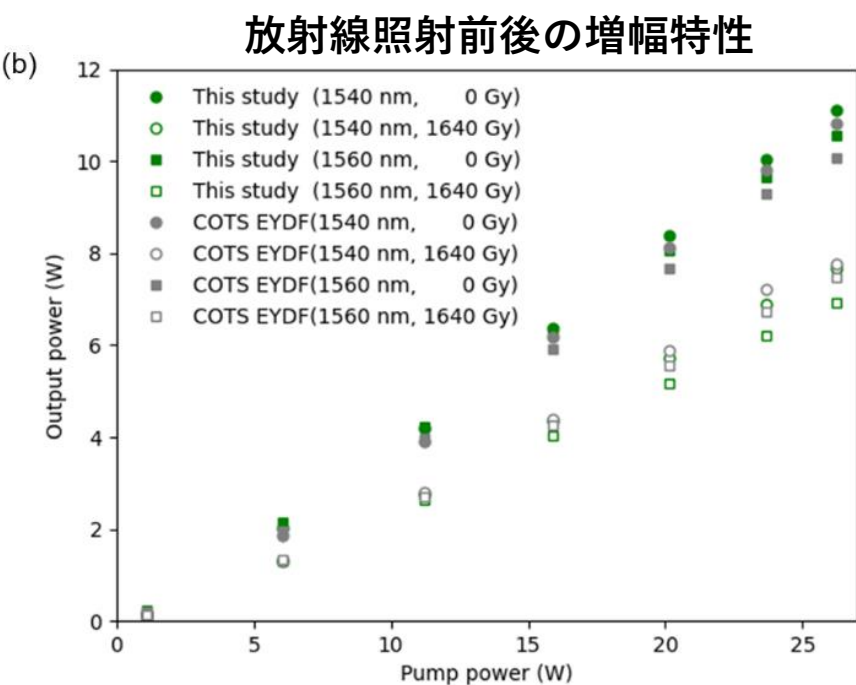
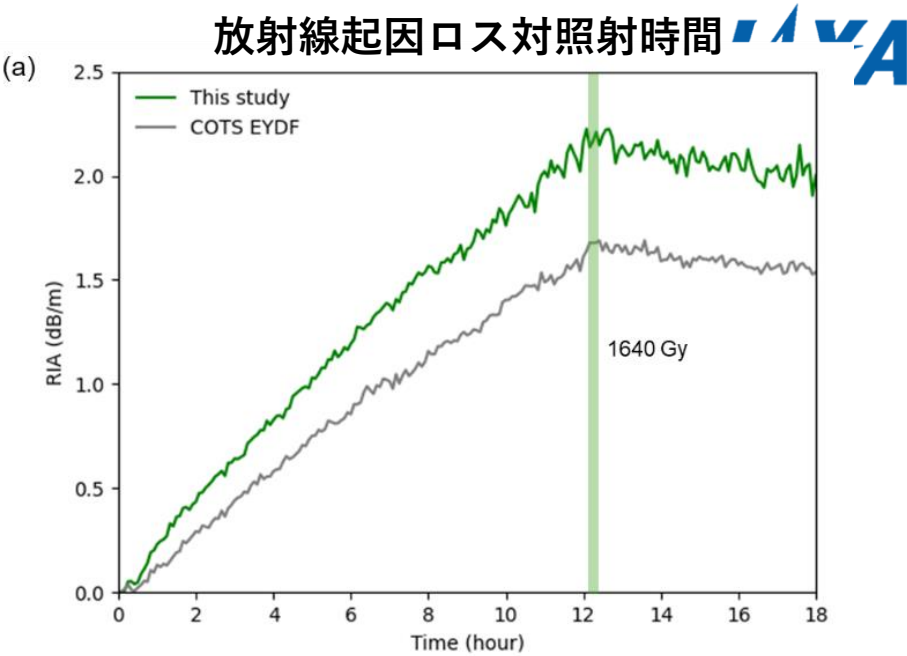
- 開発したファイバの海外競合品との性能比較

## 試験評価系

(a) 放射線照射試験 (b) 増幅特性評価とその写真



▶ 海外競合品と同等の耐放射線性および、  
10 W級増幅性能が得られた。



# バーストコヒーレント送受信機の研究

## ● 研究の目的

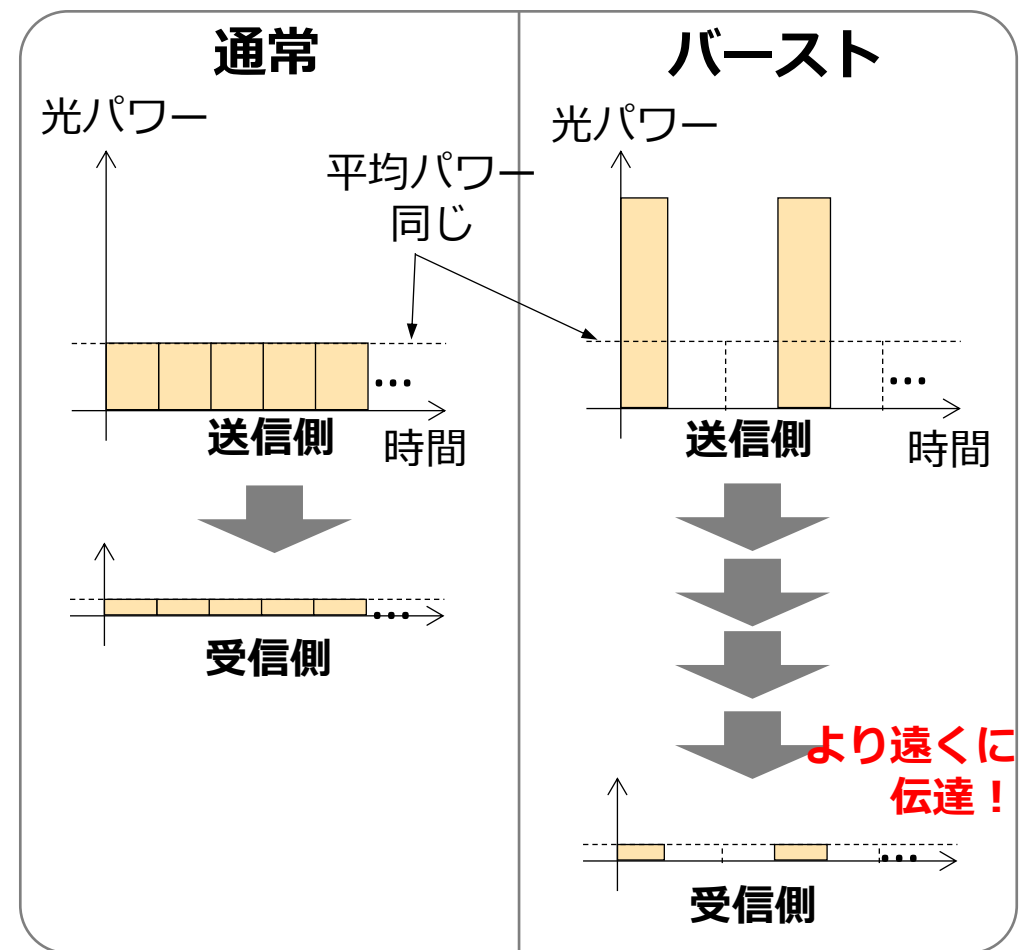
- 月-地球圏間通信 → 遠距離のため低S/N比が課題  
(低速、通信不成立)
- 宇宙光通信の応用先拡大 → 多様なデータレートに対応する中継技術が必要

## ▶ 光バーストコヒーレント送受信技術

デジタルコヒーレント通信：単純な強度変調に比べ、  
高感度

- これをバースト化して、ピークパワー増  
→ S/N比大きく向上！
- バースト信号のデューティ比を変える  
→ 可変データレート！

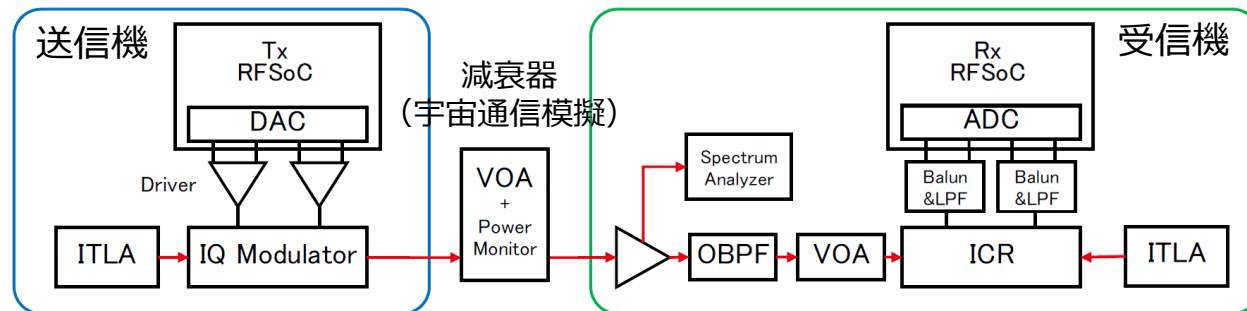
## ▶ バースト（デジタル）コヒーレント送受信機を試作し、評価を実施



# バーストコヒーレント送受信機の研究

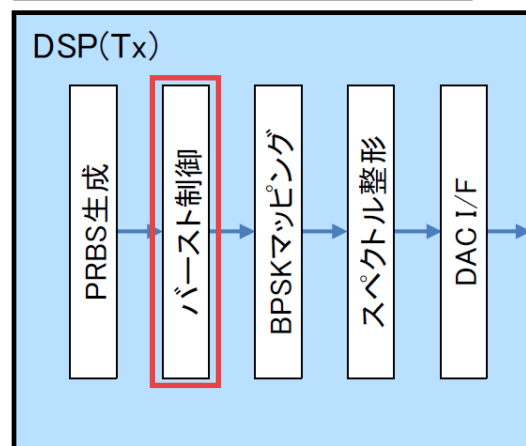
## ● 試作した送受信機

- ハードウェア構成および評価実験系

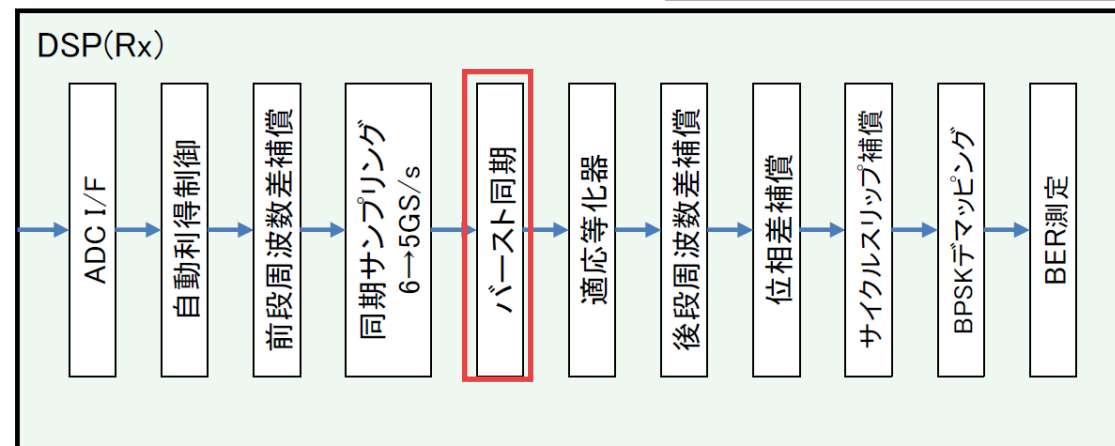


- DSP処理ブロック

### バーストBPSK送信ブロック

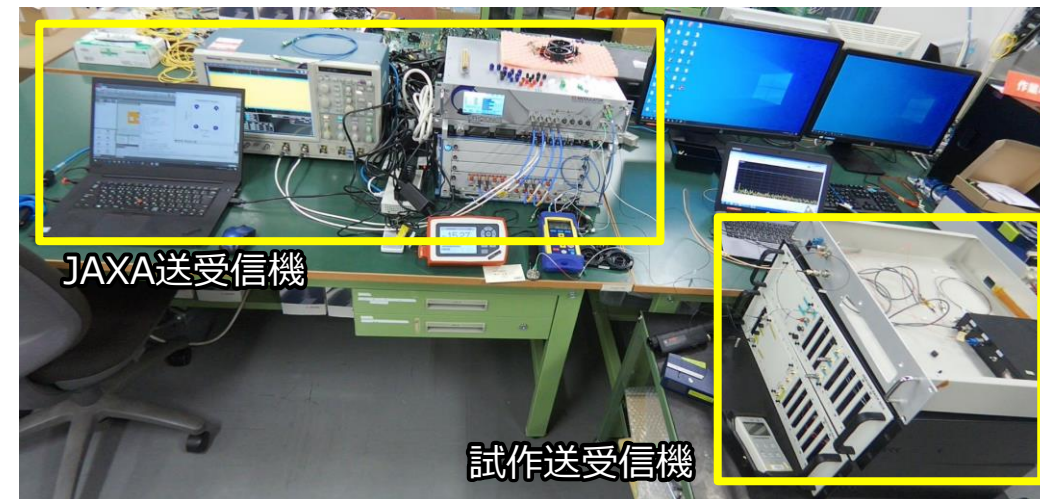


### バーストBPSK受信ブロック



バーストコヒーレント特有の部分

JAXA所有デジタルコヒーレント送受信機との組み合わせ試験



# バーストコヒーレント送受信機の研究



## ● 試作した送受信機の評価結果

### <通信速度・フォーマット>

2.5 Gbaud BPSK

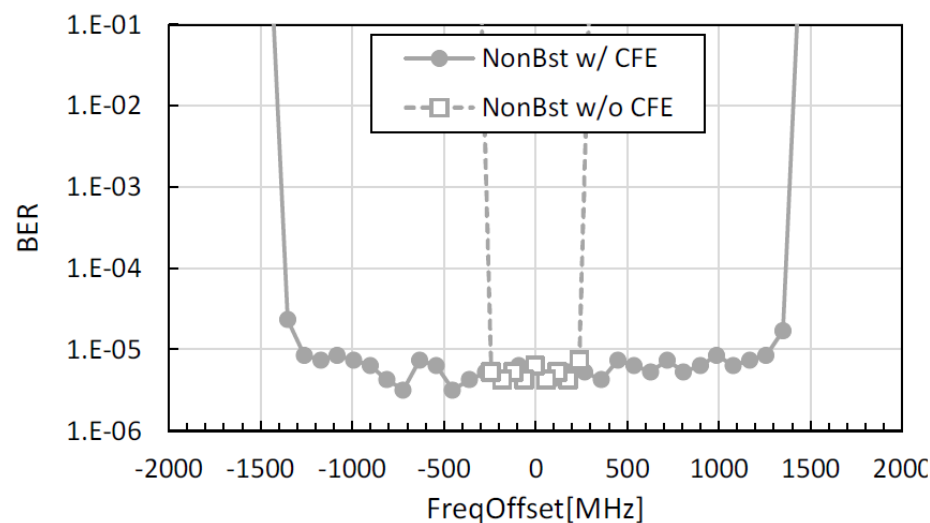
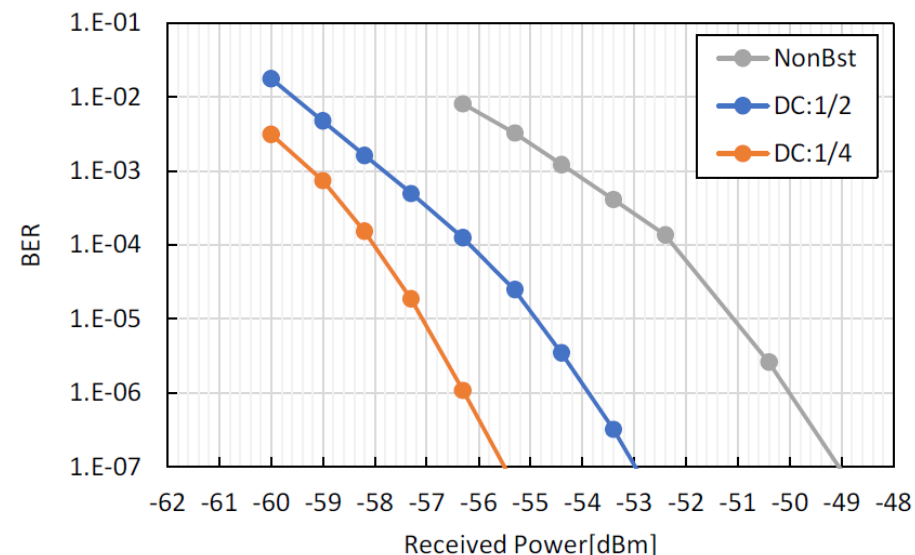
### <誤り訂正限界 ( $BER\ 4.6 \times 10^{-3}$ ) での感度>

- ノンバースト : -55.6 dBm
- バースト比 1/2: -59.0 dBm
- バースト比 1/4: -60.1 dBm

→ バースト化による感度向上を確認！

### <中心周波数誤差補償>

±1.25 GHz（理論限界）に迫る範囲で中心周波数誤差の補償を実現！



# 位相感応増幅器 (PSA) の研究

## ● 研究の目的

- 宇宙通信：受信側で大きくパワー減衰
  - ▶ 低雑音光増幅器 (LNA) の実現 → S/N比の向上 & 通信速度向上！
- 位相感応増幅器 (Phase-sensitive amplifier: PSA)
  - 一般的なLNA (EDFA) よりも低雑音な増幅が可能
  - ▶ **NTT先端集積デバイス研究所殿と、宇宙光通信適用に向け共同研究**

## ● PSAを使った通信の動作原理

### 1. 送信側でアイドラー光生成

非線形光学素子を用いたパラメトリック過程  
→ シグナル光と位相共役なアイドラー光を生成

### 2. 受信側で位相感応増幅

受信した3波を用い、非線形光学素子によるパラメトリック過程  
→ ポンプ光と同相成分増幅、直交成分減衰

**原理的に雑音指数0 dB\*** (⇔従来型EDFA：ASEによる過剰雑音3 dB)

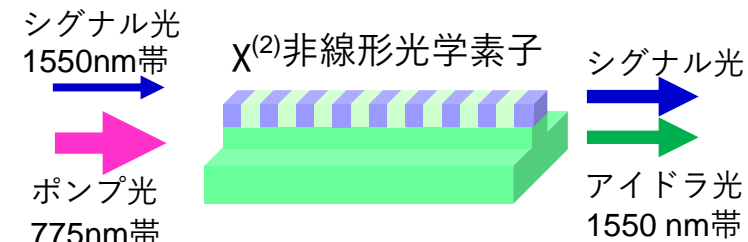
## ● PSAのキーパーツ：非線形光学素子

### - PPLN (周期分極反転LiNbO<sub>3</sub>)

小型 & 非線形ノイズなし！

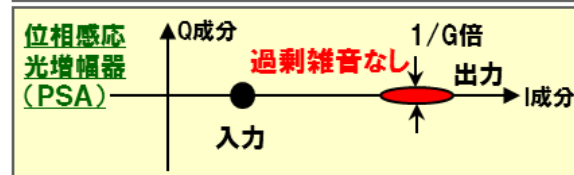
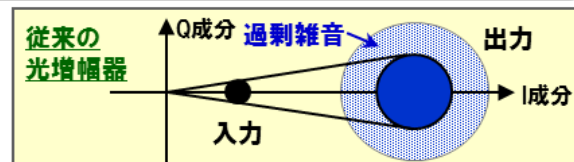
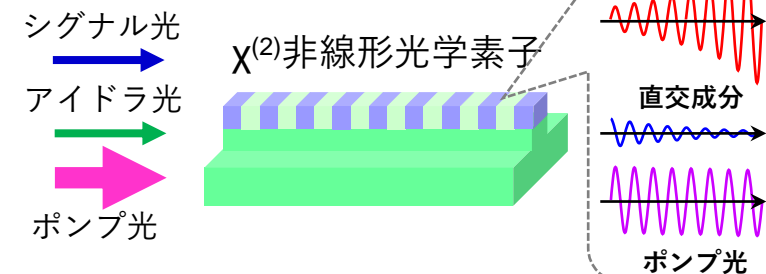
PSA向けに性能向上させたモジュールを開発済み\*\*

### 1. 送信側：アイドラー光生成



3波一緒に送信

### 2. 受信側：位相感応増幅



4ポートPPLNモジュール

コンスタレーションマップ上のイメージ

# 位相感応増幅器 (PSA) の研究

## ● 宇宙適用への課題: ドップラーシフト対応

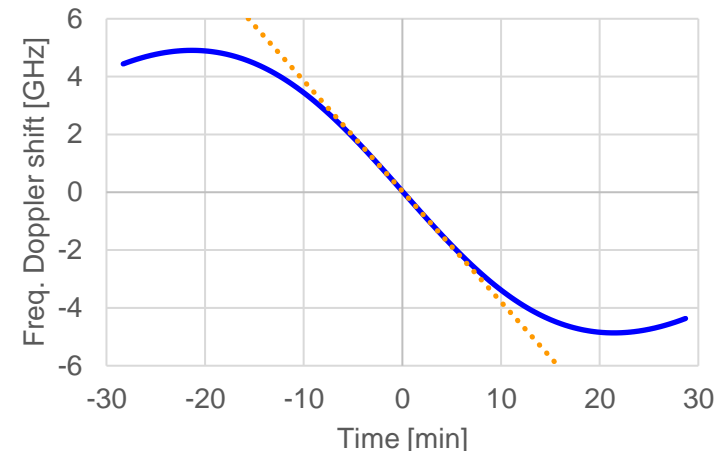
異なる軌道上の衛星間: 相対速度が絶えず変化 → ドップラーシフトが発生  
軌道予測に基づき、送信側であらかじめ補正 → 補正残渣: 数百 MHz

- 送信側波長が数百 MHz 変化しても追従できる機構を開発し、PSAと組み合わせ検証

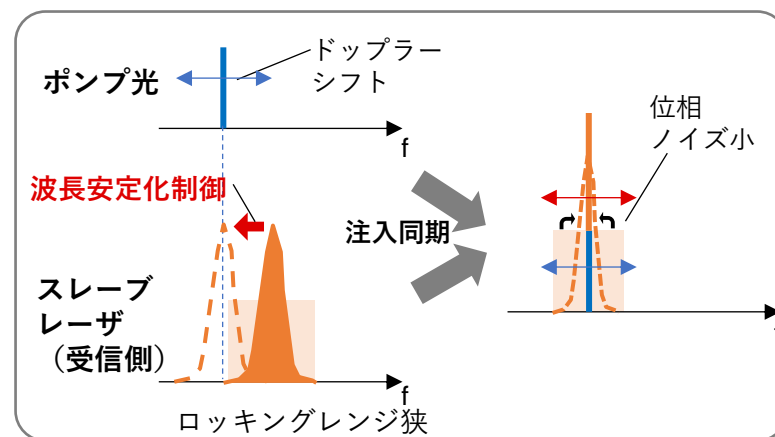
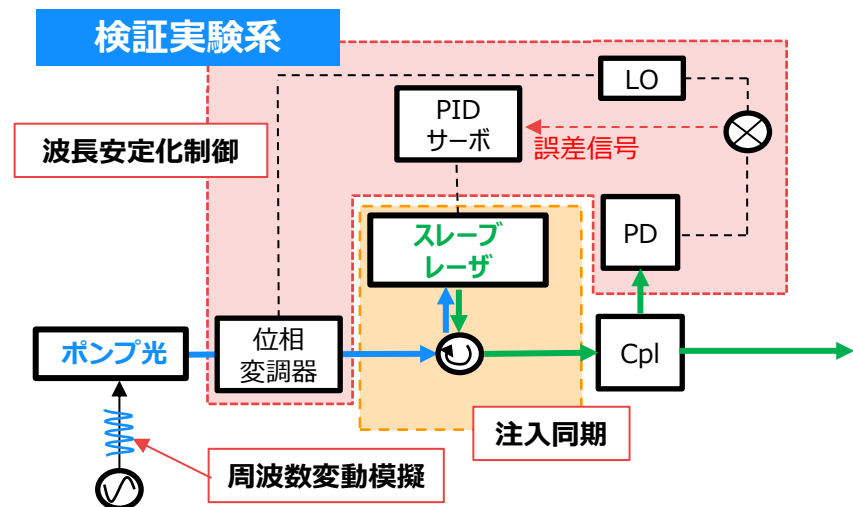
## ● 注入同期によるポンプ光再生 + 波長安定化制御によるドップラーシフト追従

- 受信側でPSAに必要なポンプ光パワー: 数十mW ≫ 受信パワー

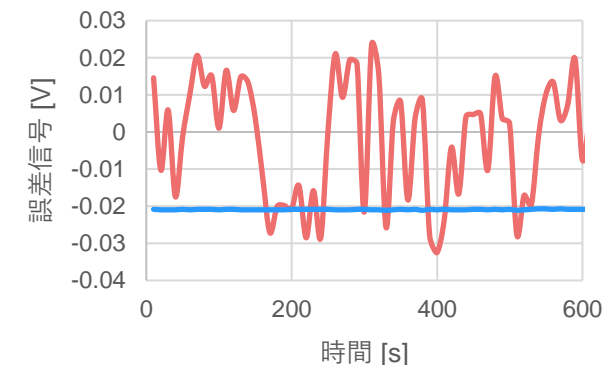
▶ 良好な通信性能を得るためには、波長、線幅を保ったまま再生増幅が必要  
本研究にて、注入同期と波長安定化制御 (PDH法) を組み合わせた再生増幅方式を開発、**通信品質と良好なドップラーシフト追従性の両立を確認**



低軌道衛星-静止衛星間のドップラーシフト  
計算結果



注入同期 + 波長安定化制御の動作

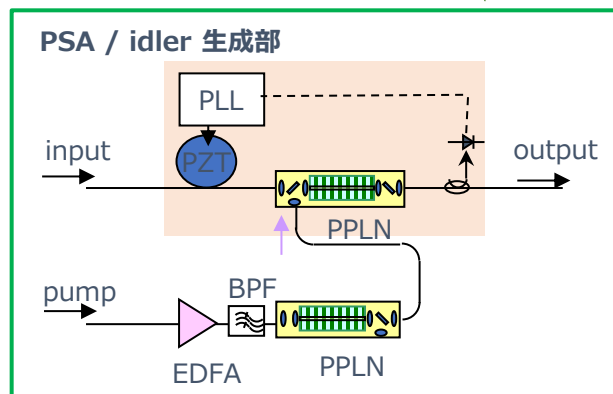
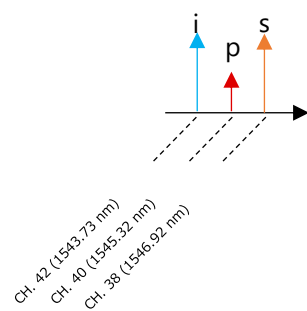
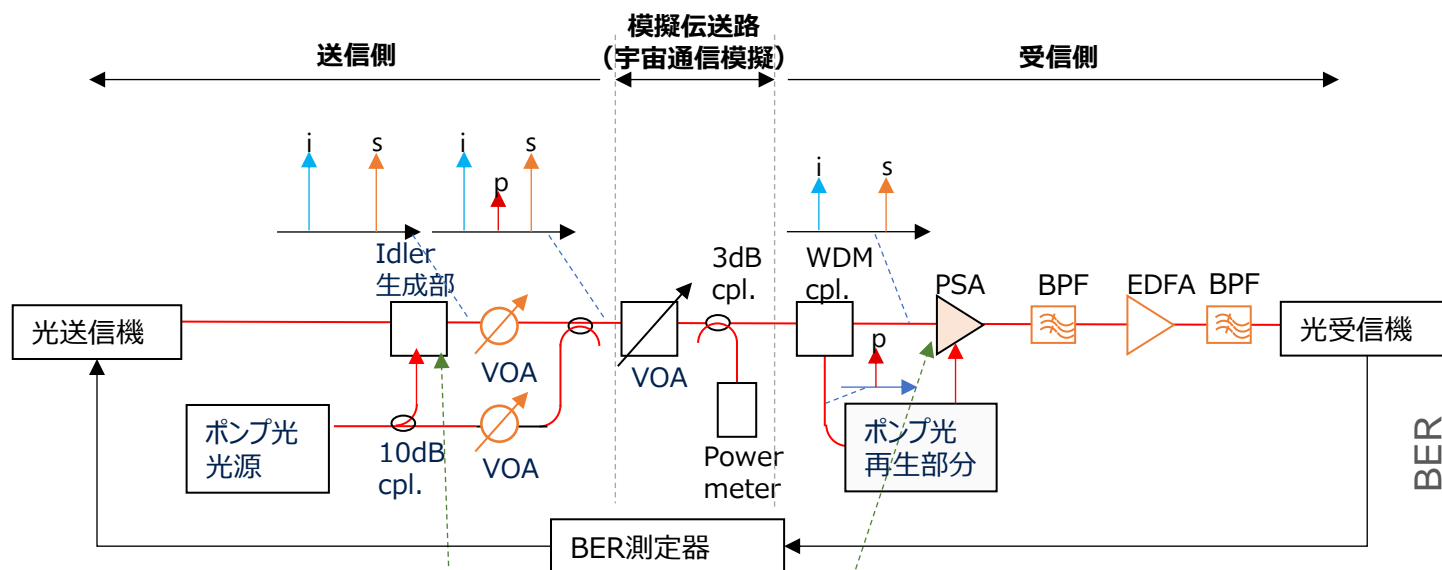


誤差信号 (= 周波数ずれ) の時間変化

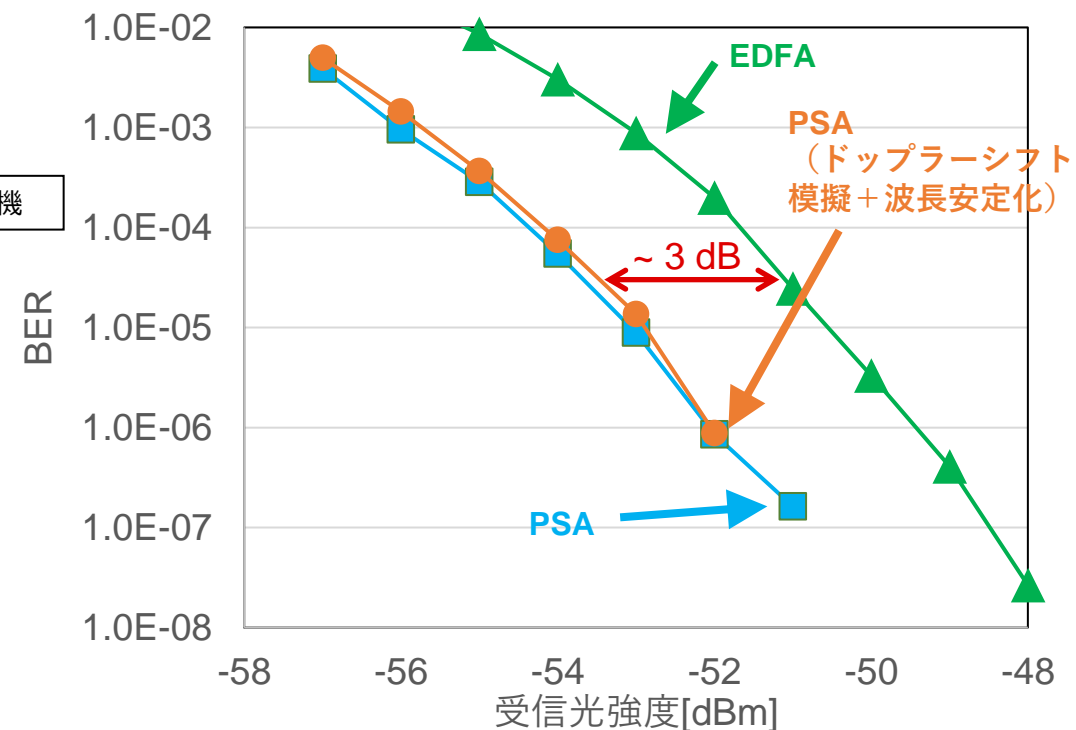
# 位相感応増幅器 (PSA) の研究

## ● 波長安定化制御とPSAの組み合わせ実験

- 通信速度、方式：2.5 Gbps DPSK (RZ-33%)、PRBS  $2^{15}-1$  (符号化、Syncコードなし)
- PSAを用いた場合、EDFA (従来型LNA) に比べ**理論通り約3 dBの感度改善**
- ドップラーシフト模擬と波長安定化制御を追加しても、**BERペナルティ十分小**



BPF: バンドパスフィルタ  
WDM cpl.: 波長分割多重カプラ  
VOA: 可変光アッテネータ  
PLL: 位相同期ループ  
PZT: ピエゾ素子



# マイクロ光コムの研究

## ● 研究の目的

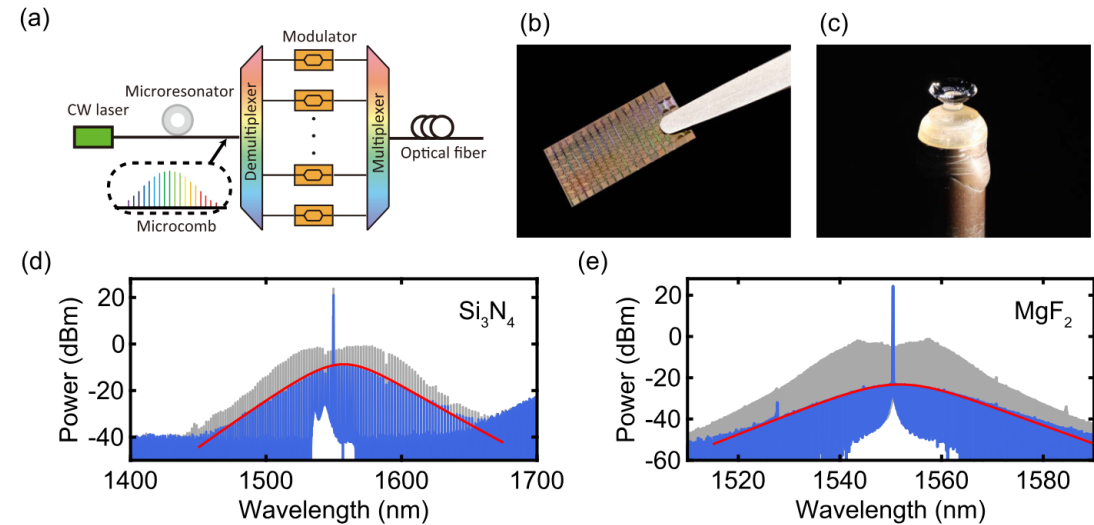
- 通信高速化には波長多重が有効  
→ 多重化の数だけ、光源が必要  
電力、スペースの限られた衛星への搭載に課題
- マイクロ光コム：微小共振器内で四光波混合をカスケードに起こし、コム（櫛）状スペクトルの光を生成

▶ 単一デバイスで数十波の波長多重が可能

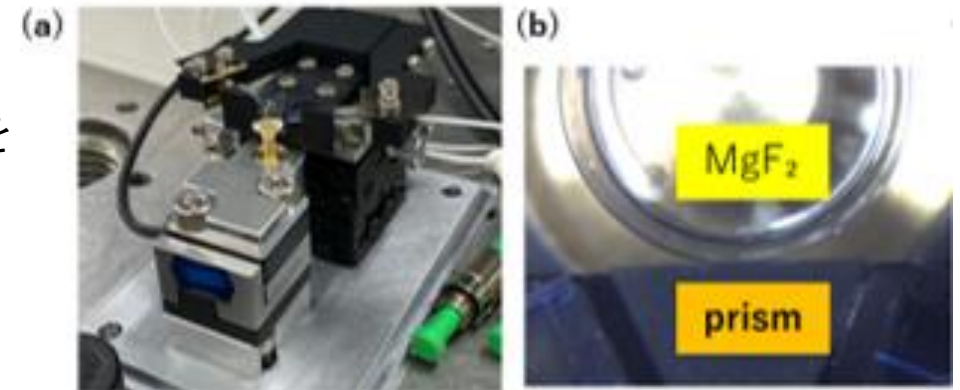
**慶應義塾大学田邊研究室と、マイクロ光コムの宇宙適用について共同研究**

## ● マイクロ光コムモジュール

- $\text{MgF}_2$ の微小共振器にプリズムによるエバネッセント結合で光を導入し、光コムを取り出すモジュールを開発。
- 本モジュールを用いて通信実験を実施
- 耐宇宙環境性、さらなる小型化を目指した新型モジュールを開発し試験中。



S. Fujii, *et al.*, Optics Express 30, 1351 (2022).



# 国際宇宙通信規格



- **CCSDS (Consultative Committee for Space Data System)**

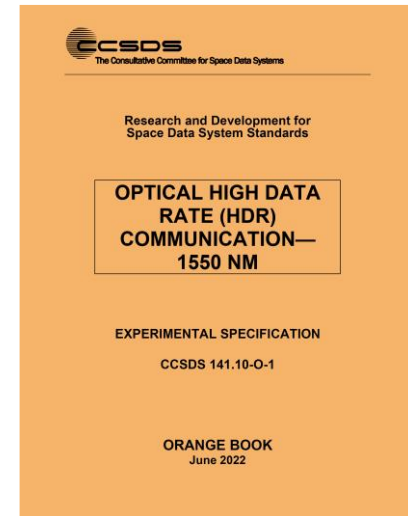
NASA、JAXA等各国の宇宙機関間の相互通信を実現するために1982年に設立。光通信においては、2種の推奨規格 (blue book)、3種の予備検討規格 (orange book)、解説資料 (green book)と推奨実践規範 (magenta book)が1種ずつそれぞれ制定済み。現在は1550 nm帯のコヒーレント通信の推奨規格を議論中。

- **ESTOL (ESA Specification for Terabit/sec Optical Links)**

欧州宇宙機関 (ESA) が策定を進める1550 nm帯のコヒーレント通信規格。ESAの宇宙光通信実証プロジェクトHydronに適用される。日本からもJAXA他数社が議論に参加。

- **SDA OCT (Optical Communication Terminal) Standard**

アメリカ宇宙開発庁 (SDA) が策定した、ミサイル防衛用低軌道衛星コンスタレーション用の規格。投資の規模とスピード感から、低軌道衛星間通信においては事実上の業界標準。



CCSDS 141.10-O-1  
1550 nm HDR



Optical Communications Terminal  
Standard Version 4.0.0

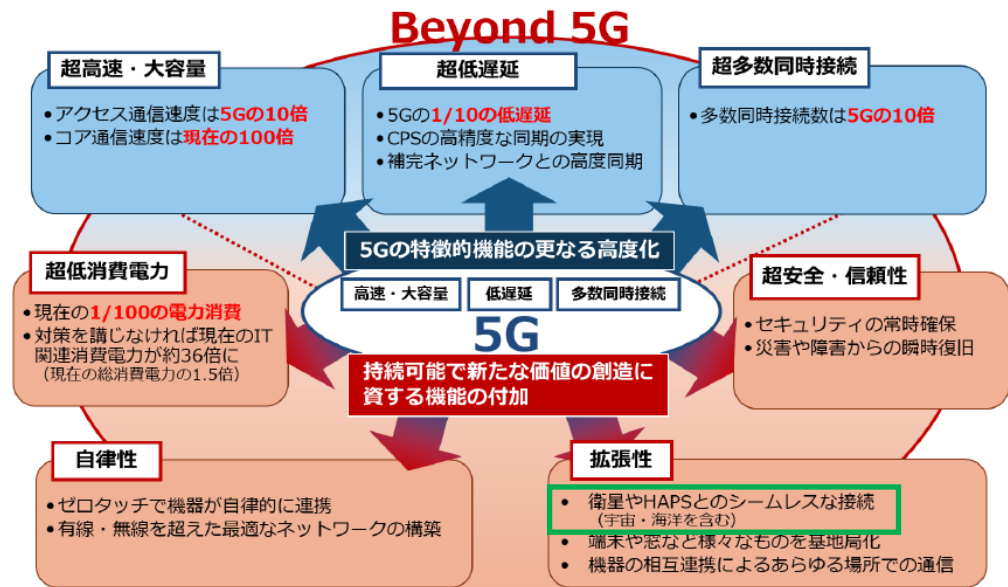
Developed by the:  
Space Development Agency  
United States Space Force  
1679 Air Force Pentagon  
Washington, D.C. 20330  
Email: OSD-SDA.Outreach@mail.mil  
Date: 06/26/2024  
Document ID: 9100-001-00

DISTRIBUTION STATEMENT: Approved for public release. Distribution unlimited.

SDA OCT Standard  
Ver. 4.0.0

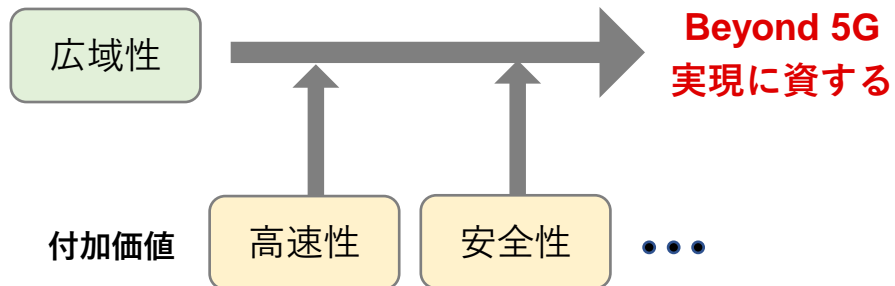
# JAXA光通信研究の将来展望

- 一つの大きなターゲットは「Beyond 5G時代の近地球100 Gbps級通信」に資すること



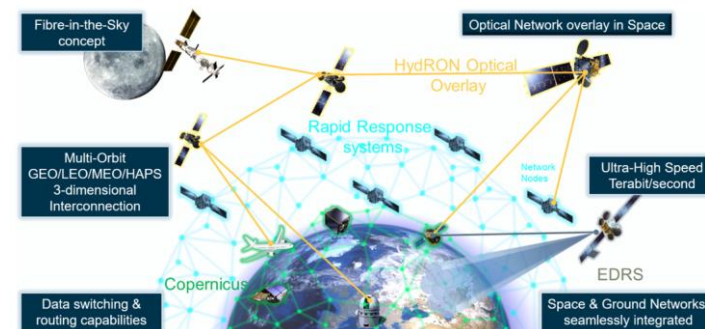
総務省：Beyond 5G 推進戦略-6Gへのロードマップ より

## 宇宙通信の特長



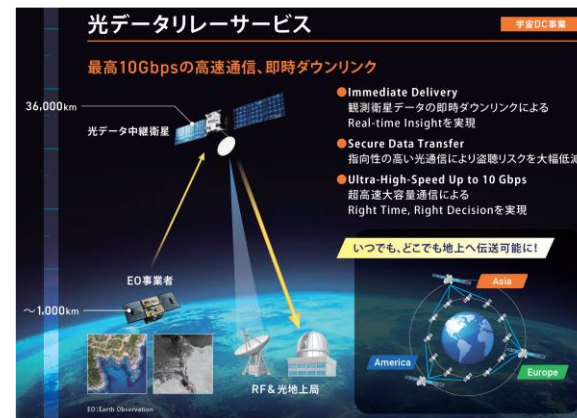
## < 近年増加する光通信実証プログラムの一例 >

- Hydron: ESA/ARTES (LEO/MEO/GEO/HAPS光ネットワーク、100Gbps~Tbps)



C. Vasko, et al., Proc. of SPIE 11993, Free-Space Laser Communications XXXIV (2022).

- 宇宙データセンター構想: Space Compass社 (光通信ネットワーク構築 / 宇宙統合コンピューティング基盤)



[https://space-compass.com/files/company\\_profile\\_J.pdf](https://space-compass.com/files/company_profile_J.pdf)

- 月探査のための通信・測位の総合アーキテクチャ案(ベースライン) 

- 牧野他、電子情報通  
信学会SAT研 (2024).



# まとめ



- 本講演では、
  - 宇宙光通信の概要
  - 光衛星間通信システム「LUCAS」
  - JAXAの宇宙光通信研究

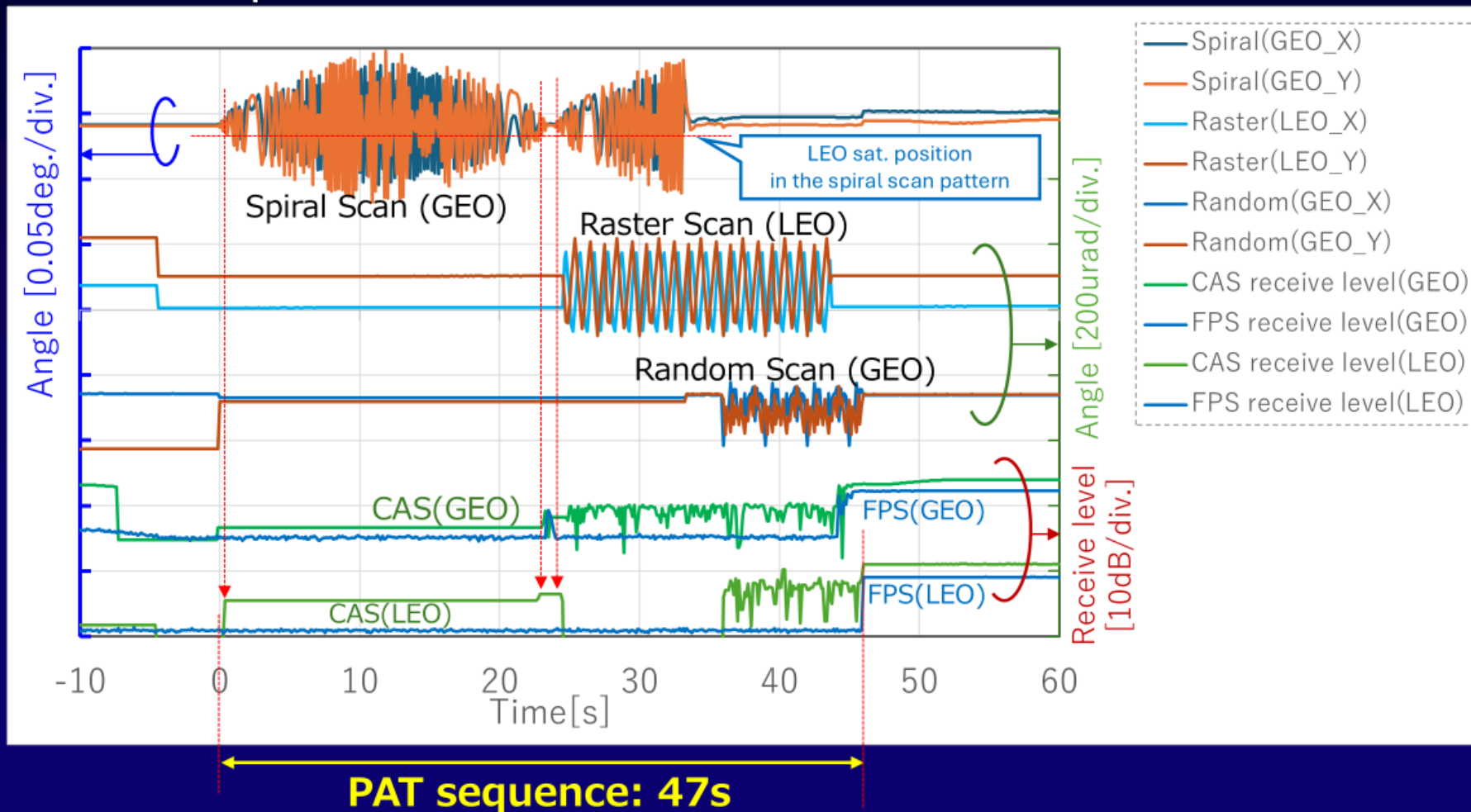
について概説した。

この講演を通し、宇宙光通信におけるJAXAの取り組みを知っていただくとともに、近年盛り上がりを見せる宇宙光通信分野に少しでも興味を持っていただけたら幸いである。

- ご自身の研究開発で手がけられている光技術が少しでも宇宙につながると感じていただけたら、ぜひ私もしくは他の講演者様にお声がけください。

# <補足>LUCASの捕捉追尾結果

- 47s from start to end of PAT sequence (as expected,)
- Tuning for better performance



CAS: Coarse pointing Sensor  
FPS: Fine Pointing Sensor