

WNRC-T-25017
2025年6月27日
GITI Forum 2025



[基調講演]
**Beyond 5G/6Gに向けた
NTNに関する研究開発動向**

豊嶋 守生

情報通信研究機構
ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
Email: morio@nict.go.jp

- はじめに
- 非地上系ネットワーク（NTN）への期待
- ブロードバンド衛星通信
- 衛星5G接続技術
- 低軌道メガコンステレーション
- 光衛星通信
- 高高度プラットフォーム（HAPS）
- 月との通信と補償光学（AO）
- NTN-TN統合ネットワーク制御アーキテクチャ
- まとめ



情報通信研究機構

**National Institute of Information and
Communications Technology (NICT)**



**日本標準時を配信
所在：小金井市
最寄駅：
JR中央線国分寺から
徒歩15分**

**職員数：1,204名
研究者数：483名
博士号取得者数：471名
※2021年4月時点**

<http://www.nict.go.jp/index.html>

非地上系ネットワーク（NTN）への期待

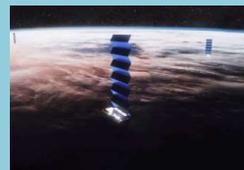
非地上系ネットワーク（NTN）への期待

衛星通信の進化

- ・HTS*
 - ・LEOコンステレーション
 - ・HAPS
 - ・広域IoT
- *ハイスループット衛星



<https://www.inmarsat.com/service/global-xpress/>



<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/06/post-12259.php>

- 回線コストの大幅低減
- 高速化、大容量化、低遅延化
- 光通信技術
- 端末の進化

5Gのネットワーク技術の衛星系・NTN*への展開

*非地上系ネットワーク

- SDN/NFV
 - ネットワークスライシング
 - ネットワークオーケストレーション
 - エッジコンピューティング
- ⇒衛星-地上接続が効率よく実現できる可能性

標準化



<https://www.3gpp.org/>

- 3GPP/ETSIによる地上系・非地上系標準化
- ユースケース実現の制度化

衛星・NTN
+5Gによる
統合ネットワーク



従来にない
ユースケースの登場

- スマートシティ
- モビリティ
- 緊急通信

衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会報告書、情報通信研究機構、2020年2月より作成
<https://www2.nict.go.jp/wireless/sat5g-scl.html>

NTNに関する利活用動向

■ NTNの特徴

➤ カバレッジエリアの拡張(広域性)

- ・ 地上系がカバーできない海上や山間部、上空等のデジタルデバイドエリアへの通信サービスとシームレスな接続

➤ 災害時のバックアップ(耐災害性)

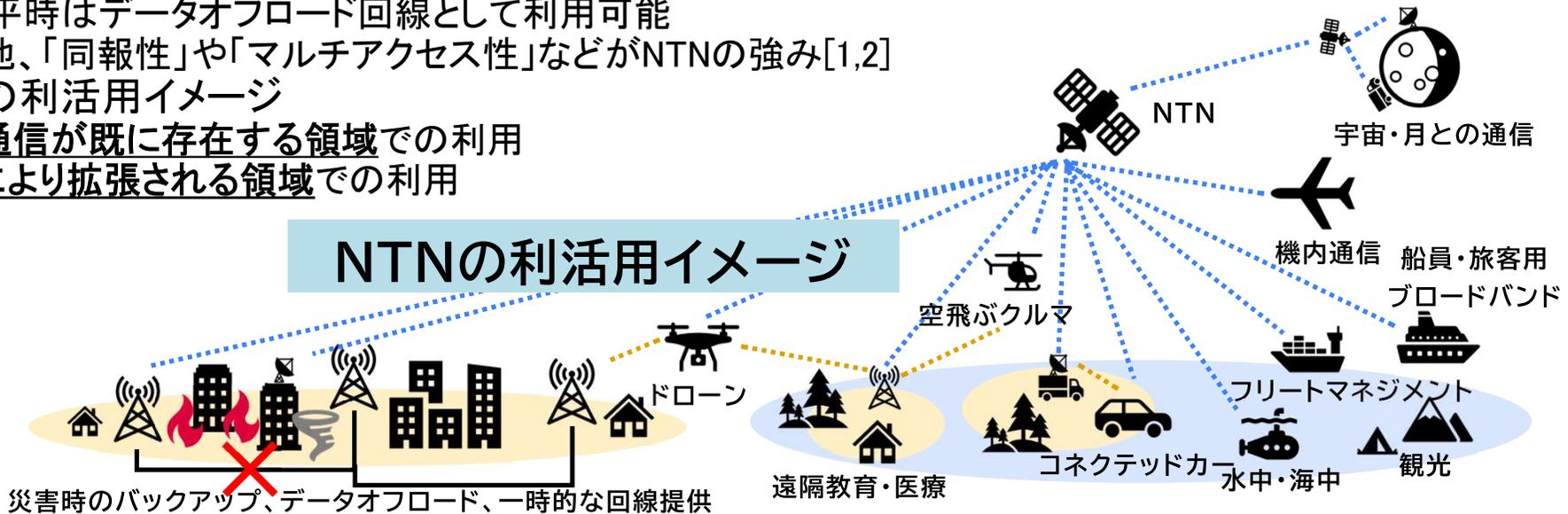
- ・ 平時はデータオフロード回線として利用可能

➤ この他、「同報性」や「マルチアクセス性」などがNTNの強み[1,2]

■ NTNの利活用イメージ

➤ 地上通信が既に存在する領域での利用

➤ NTNにより拡張される領域での利用



地上系が既に存在する領域

- 災害時のバックアップ
- 地上系のデータを一部オフロード
- イベント等、一時的な需要増への回線提供等

NTNにより拡張される領域

- 宇宙・月や水中への通信
- 遠隔地の基地局や可搬基地局へのバックホール回線提供
- ドローンや空飛ぶクルマ等のエアモビリティ、コネクテッドカーへの通信
- 航空機・船舶への大容量通信
- フリートマネジメント等のIoT等

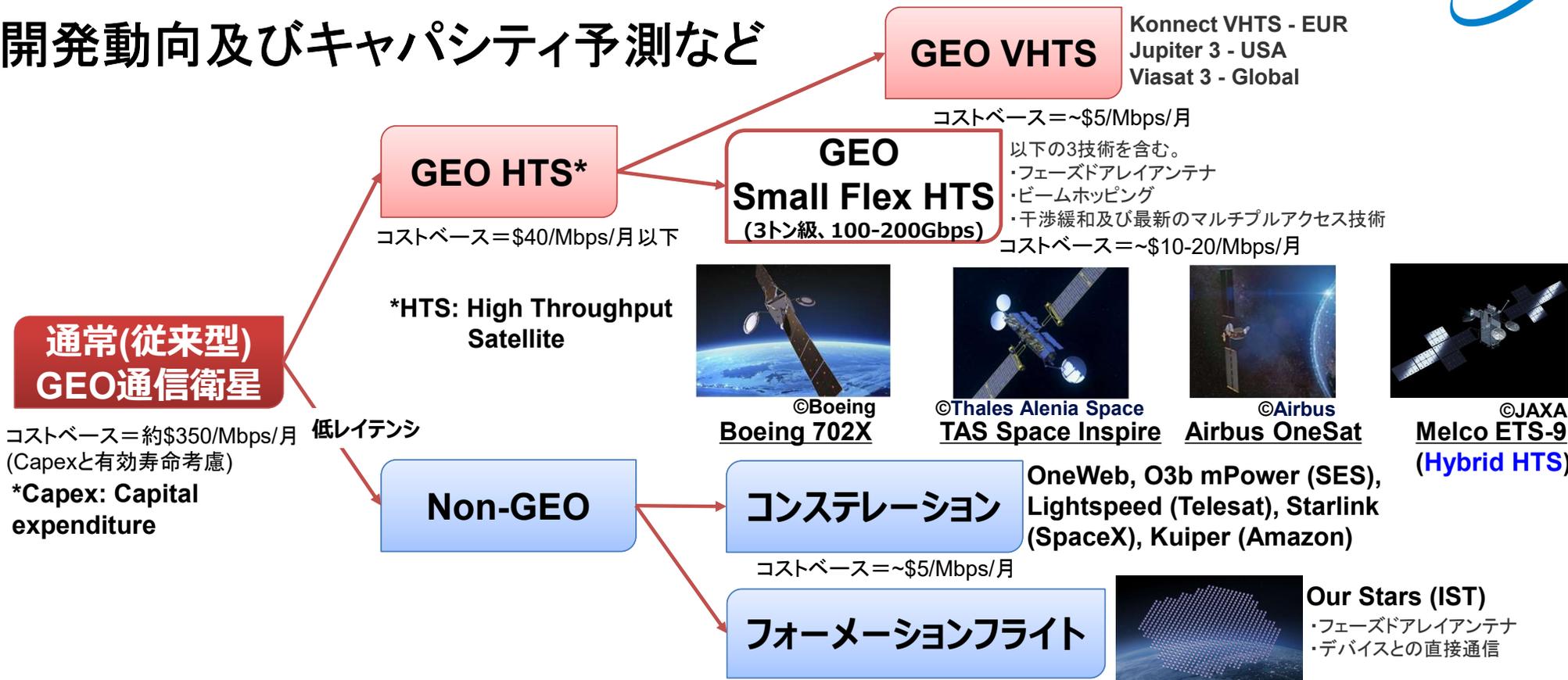
[1]スカパーJSAT HP, <https://www.jsat.net/jp/satelliteCommunications.html> (閲覧日: 2021年12月9日)

[2]総務省, 災害時における衛星インターネットの利活用に関する調査検討, <https://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei.inet/pdf/chap04.pdf> (閲覧日: 2021年12月9日)

ブロードバンド衛星通信

ブロードバンド衛星通信の研究開発動向

衛星開発動向及びキャパシティ予測など



- 世界的なブロードバンド衛星キャパシティ供給は劇的な増加の方向
- 世界の総キャパシティ供給量は、5年後に約10倍になると増加予測
 →主としてNGSOコンステレーションの計画やGEO HTSが支配的
- 世界的なキャパシティ増加は、供給過剰のリスクを誘引、オペレータ間の競争を激化する可能性

技術試験衛星 9号機 (ETS-9) による技術実証 (2026年～)



ハイスループット衛星からソフトウェア定義衛星 (SDS) へ

次世代ブロードバンド通信衛星



マルチオービットへ対応する次世代宇宙イノベーション共創基盤の創成



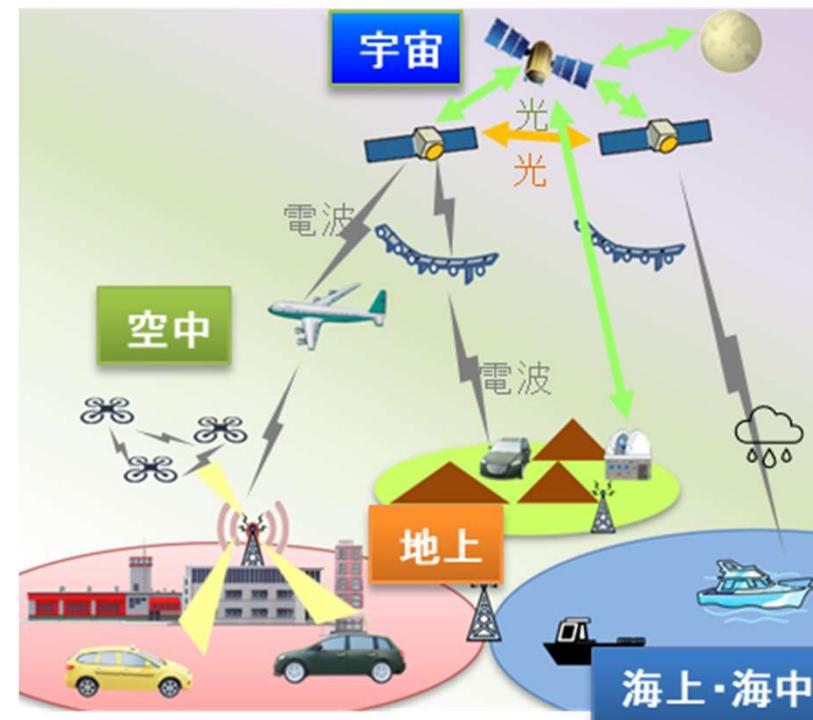
軌道上の宇宙実験場としてのプラットフォームの構築

軌道上実験場としての次世代宇宙イノベーション共創基盤

- デジタル化したSDS技術の軌道上実証
- 衛星5G技術のユースケースを実証するプラットフォーム
- B5G/6G時代における新しいアプリケーションを創出
(スペースICT推進フォーラム等を活用)
- 多くのユースケース実証による実績蓄積

マルチオービット時代のETS-9の役割

- ETS-9の次世代デジタル通信技術は、大容量かつ・静止による安定した通信が可能というGEOの特徴を活かしたLEOやHAPSとのマルチオービットのハブ
- これまで成し得えていないGEO衛星とLEO衛星を同時に運用するシステムは、国内企業が推進する宇宙データセンター構想への基盤
- ETS-9で実証する技術は、フルデジタル技術がマルチオービットを柔軟につなぐ回線割当ての必須技術、光技術は大容量化に必須



海-陸-空-宇宙のマルチオービット通信技術を実証する次世代宇宙イノベーション共創基盤

- 軌道上の宇宙実験場として次世代宇宙イノベーション共創基盤を創成、様々なユースケースを軌道上実証し、新たなアプリケーションを創出するプラットフォームとして世界をリード

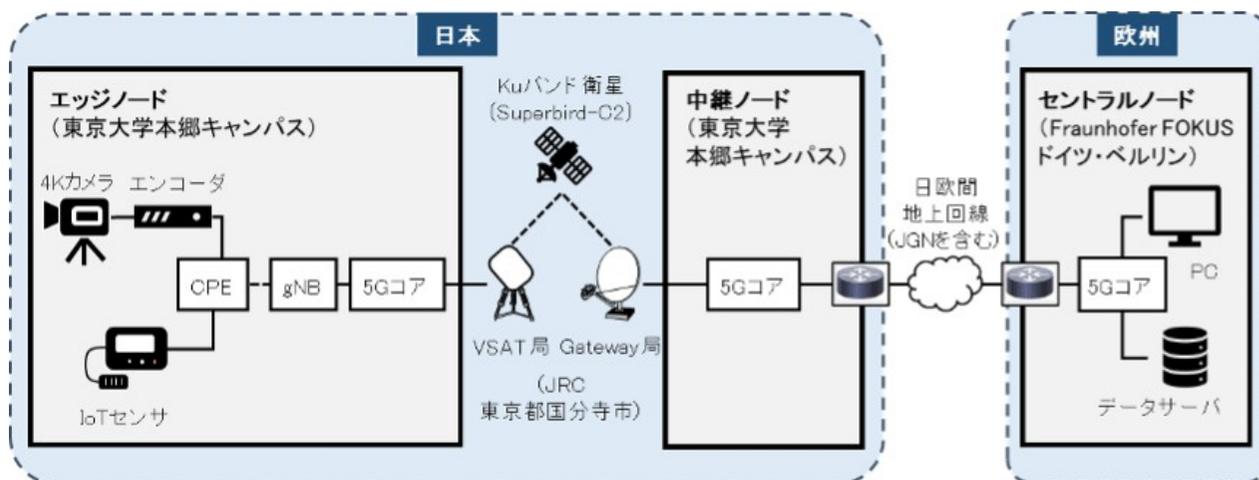
日欧共同トライアルでの衛星5G接続技術の成功



2022年6月8日 報道発表

～宇宙と地上がシームレスにつながる社会の実現に貢献～

- 日欧共同実験において、衛星回線を含む国際間5G通信回線で日本と欧州間のデータ伝送に成功
- 遅延の影響が大きい超長距離の5Gネットワークで衛星回線を活用できることを実証
- 宇宙と地上をシームレスにつなぐことができるBeyond 5Gの実現に向け前進



Gateway局、VSAT局

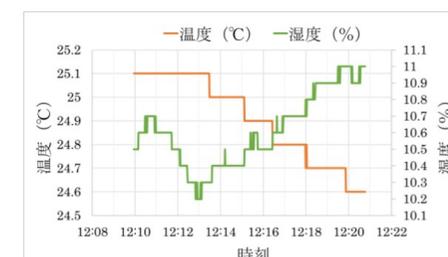


gNB (5G基地局)

日欧共同実験で構築したテストベッドの構成



伝送された4Kビデオ



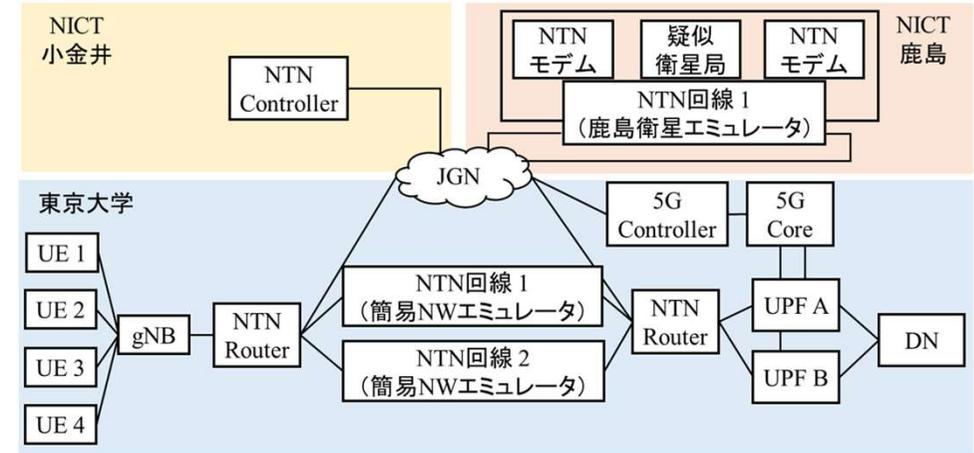
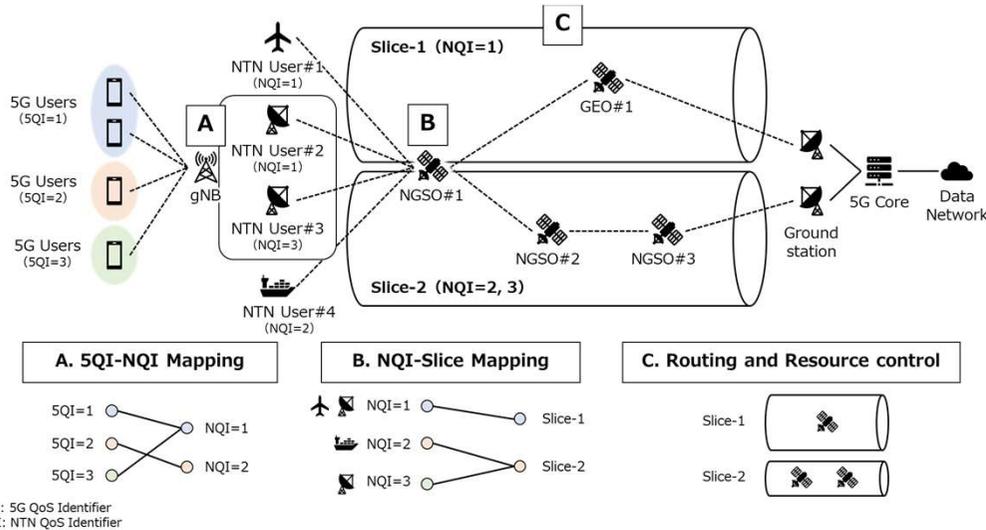
伝送されたIoTデータ

<https://www.nict.go.jp/press/2022/06/08-1.html>

衛星地上接続技術の研究開発

- 衛星地上接続システムにおけるスライシングの制御フレームワークを提案
 - ・ 特性が異なる衛星系と地上系を接続するためにQoS要求（5QI/NQI）とスライスをマッピング
- 衛星地上接続システムのテストベッドを構築して総合評価を実施
 - ・ 東京大学：ローカル5Gシステム（実機、シミュレーションの両方）※5GCはfree5GC
 - ・ NICT：技術試験衛星9号機（ETS-9）の擬似衛星局と実機の衛星モデムで構成されるエミュレータ環境

5QI/NQI: 5G/NTN QoS Identifier



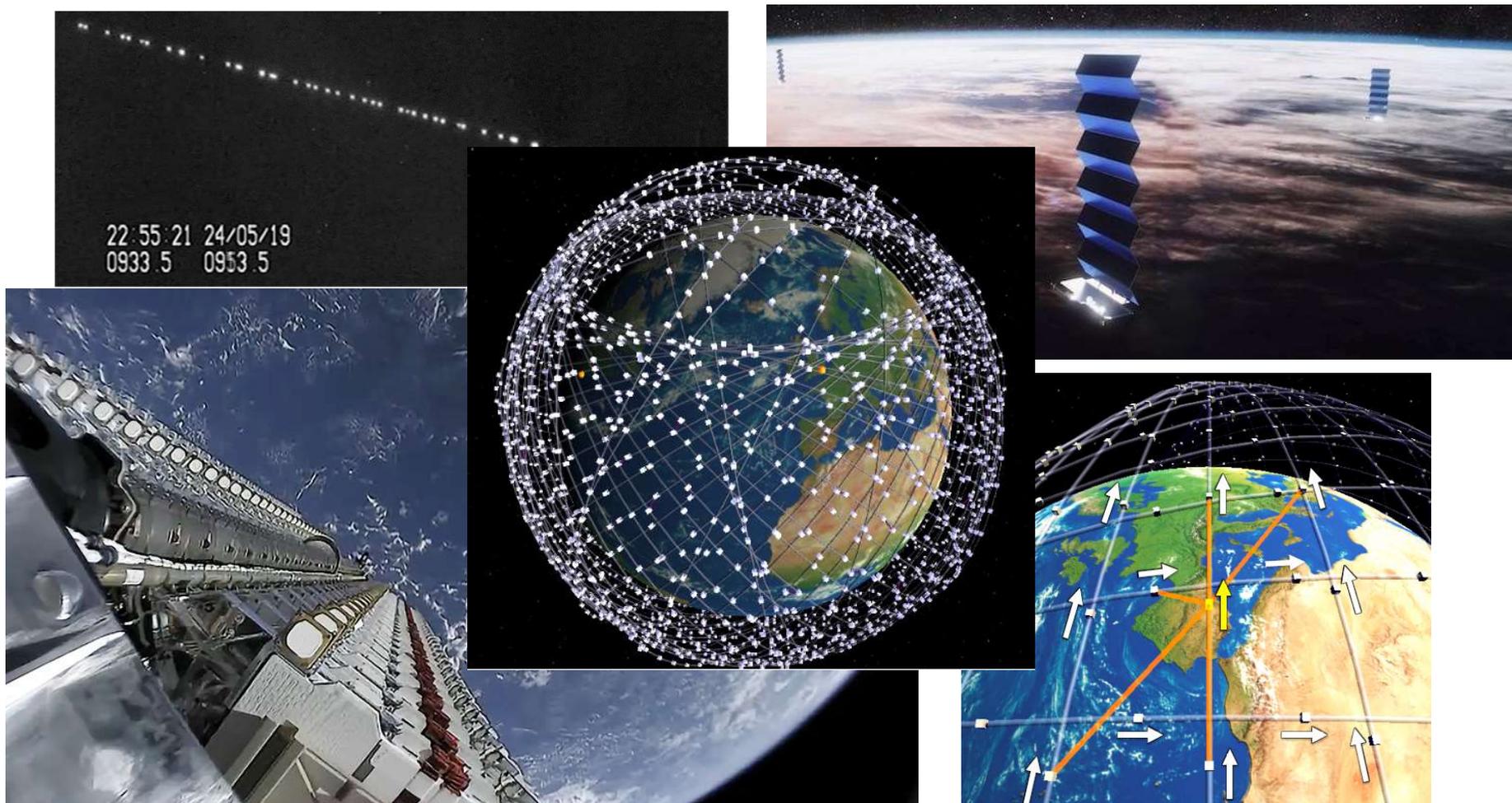
衛星地上接続システムのテストベッド環境

衛星地上接続システムにおけるQoSマッピングとスライシングの制御フレームワーク

UEのトラヒック要求に基づく衛星の動的な帯域制御や経路制御により、提案システムがユーザの要求を満たすことができることを確認

低軌道メガコンステレーション

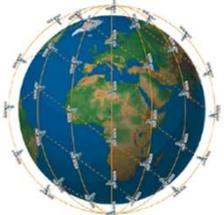
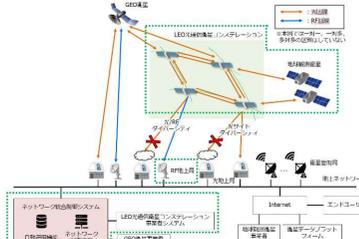
Space-X Starlink は9003機*の衛星打上げ



出典: <https://www.space.com/spacex-starlink-launch-rocket-landing-january-2022>
<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/06/post-12259.php>
<https://www.space.com/spacex-starlink-satellites-phone-home-dimming.html>
<https://spaceflightnow.com/2019/05/24/spacexs-first-60-starlink-broadband-satellites-deployed-in-orbit/>
<http://nrg.cs.ucl.ac.uk/mjh/starlink-draft.pdf>
<https://www.space.com/spacex-rocket-launches-7001st-starlink-rocket-landing-success>

*2025/6/18時点

低軌道メガコンステレーションの世界動向

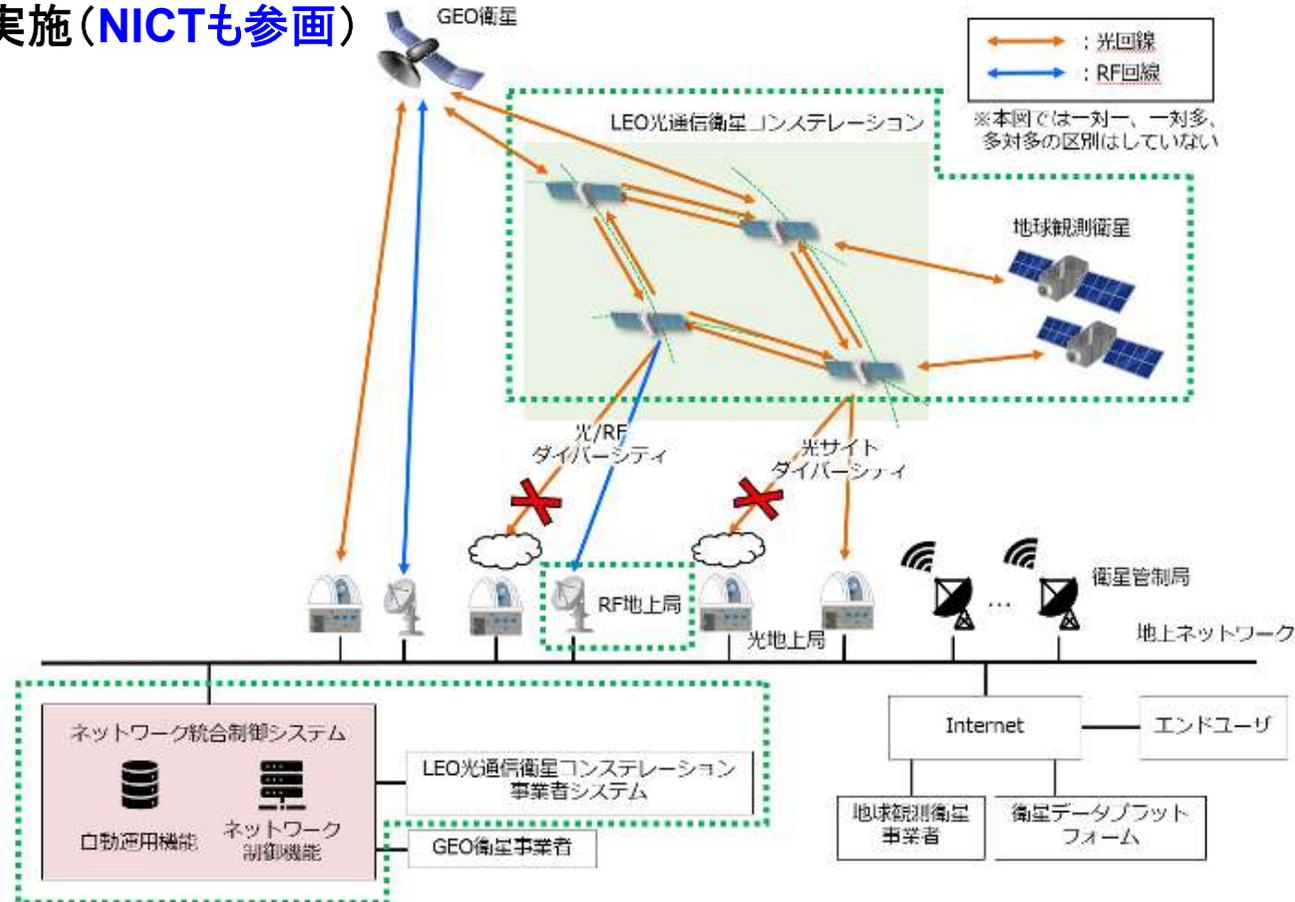
<p>O3b mPOWER (サービス中)</p> <p>衛星数:12機 軌道高度:8,062km、軌道傾斜角:0.1度以下 サービス:Ka帯 伝送速度:大型船舶用の例 ・Downlink: 350Mbps(2.2m) ・Uplink: 150Mbps(2.2m)</p> 	<p>Iridium-NEXT (サービス中)</p> <p>衛星数:66機 軌道高度:780km 衛星質量:150kg/1機 通信速度: L帯:D/L 1.5Mbps, U/L 512kbps K帯:8Mbps(衛星間) 開発:Thales Alenia Space</p> 	<p>Starlink (サービス中)</p> <p>衛星数:42,000機(9,003機打上済) 軌道高度:625km、1150~1325km、軌道面83 衛星質量:150-500kg ライセンス:FCCに許可済 サービス:Ku/Ka帯通信サービス 通信速度:1ユーザーあたり8~10Gbps 2024年1月200Gbps光衛星間通信成功 2024年12月D2Cサービスの衛星コンステレーションの展開完了</p> 	<p>Oneweb (2022年~)</p> <p>衛星数:648機(634機打上済、2023年3月にコンステレーション完成) ソフトバンクが連携し高品質な帯域保証型を含む衛星通信サービスを2024年12月より提供開始 衛星質量:150kg/1機 ライセンス:ITUからKu-bandライセンスを確保、サービス:WiFi, 2G, 3G, LTE 開発:Airbus D&S</p> 	<p>Kuiper (2026年~)</p> <p>衛星数:3,236機(試験機2機打上済) サービス:Ka帯 軌道高度:600 km 衛星質量:650 kg 2023年12月、100Gbpsの光衛星間通信実験を成功裏に実施 2025年4月28日に27基を打上げ成功</p> 
<p>Telesat LEO (2026年~)</p> <p>衛星数:300機(2023年7月、7機打上げ済みで実証中) サービス:Ka帯 ライセンス:FCCに申請済み 軌道高度:1000km、軌道傾斜角99.5度、1軌道面に12機配置。 1248km、軌道傾斜角37.4度、5軌道面に45機配置</p> 	<p>RivadaSpace (2025年~)</p> <p>衛星数:288機(旧名:KLEO Connect) 衛星質量:1機当たり200kg 軌道高度:1100km、12軌道×24機 サービス:衛星間通信に光通信(最大10Gbps)、地上-衛星間通信に主にKaバンドを利用 遅延:100ms以下の予定 ライセンス:リヒテンシュタインの会社の免許を取得</p> 	<p>Laser Light Communications (2019年~)</p> <p>衛星数:12機 軌道高度:MEO サービス:1.5μm帯の光通信を使用 伝送速度:100Tbps級 通信容量:6Tbps級 開発:Optus社</p> 	<p>LeoSat (中止)</p> <p>2019年11月13日にLeoSatが操業停止を発表。計画も中止 衛星数:108機 軌道高度:1400km 衛星質量:1500kg 伝送速度:1ユーザーに対して50M~7.2Gbpsの通信を提供 開発:Thales Alenia</p> 	<p>Space Compass (2023年~)</p> <p>内閣府・経産省による宇宙実証プロジェクトが2023年3月27日からスタート。複数の軌道面に地球観測衛星を含む複数の光通信衛星を配備し、衛星光通信ネットワークシステムとしての機能・性能の軌道上実証を実施(NICTも参画)</p> 

出典:各社Webサイト等より

「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証」



内閣府・経産省による宇宙実証プロジェクトが2023年3月27日からスタート。複数の軌道面に地球観測衛星を含む複数の光通信衛星を配備し、衛星光通信ネットワークシステムとしての機能・性能の軌道上実証を実施(NICTも参画)



「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証」に関する研究開発構想(プロジェクト型)(内閣府・経済産業省)

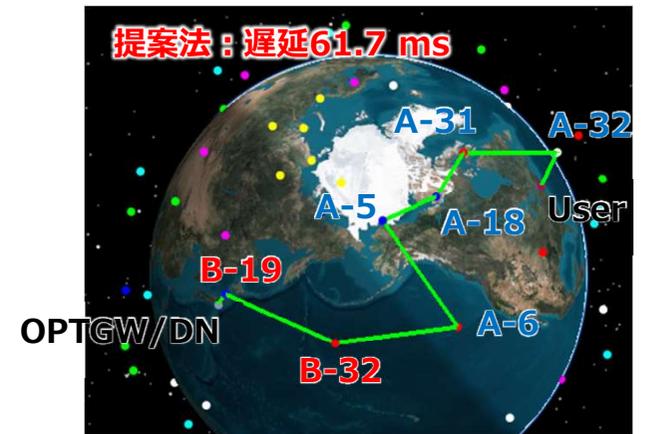
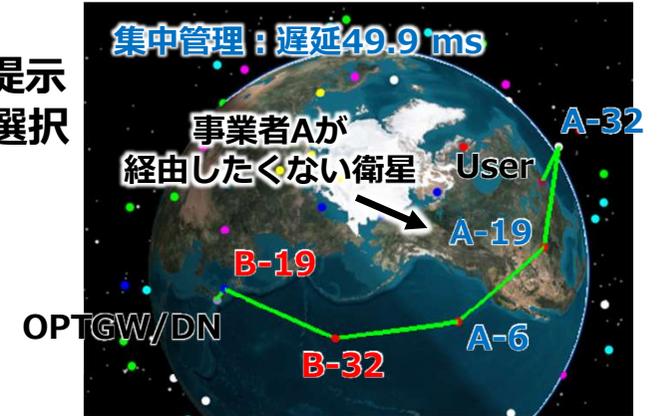
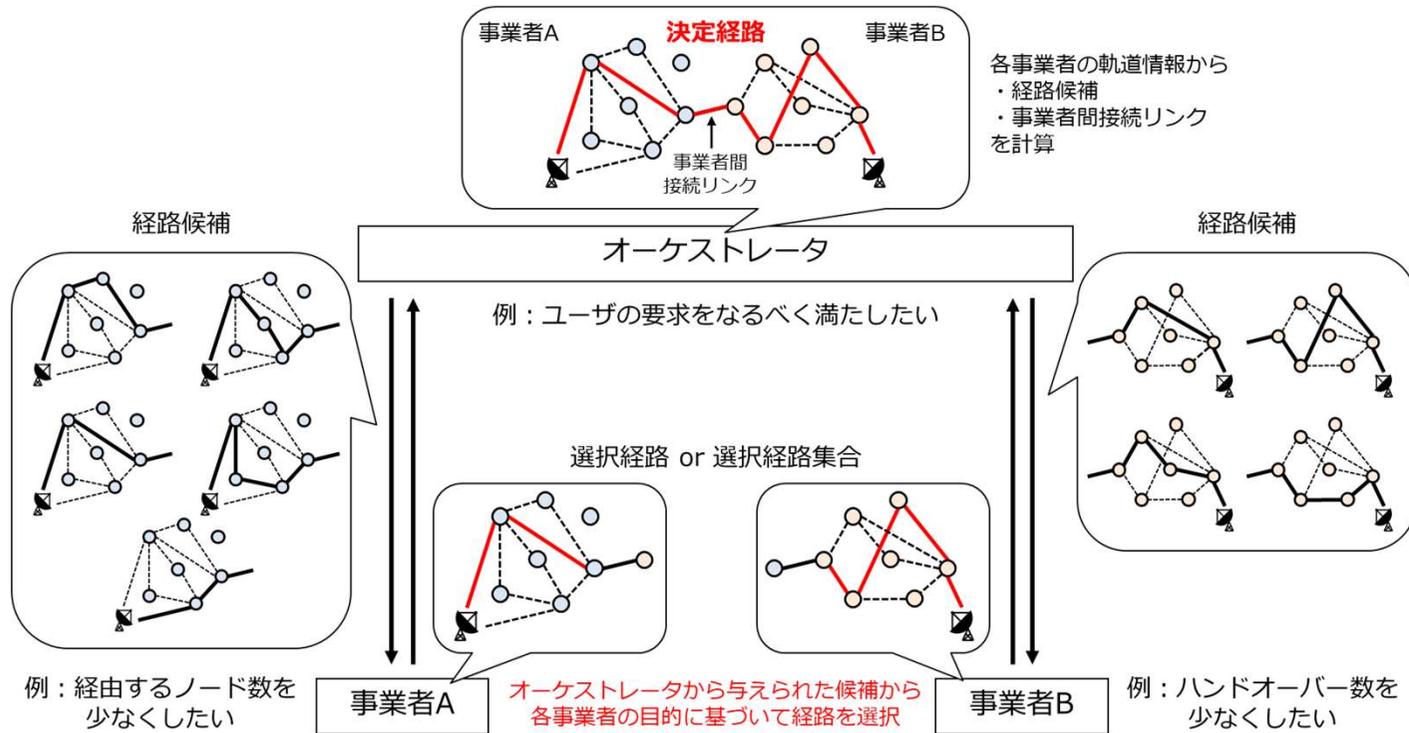
https://www8.cao.go.jp/cstp/anzan_anshin/20221021_meti_1.pdf

<https://www.axelspace.com/ja/news/kprogram/>

複数事業者連携によるオーケストレーション

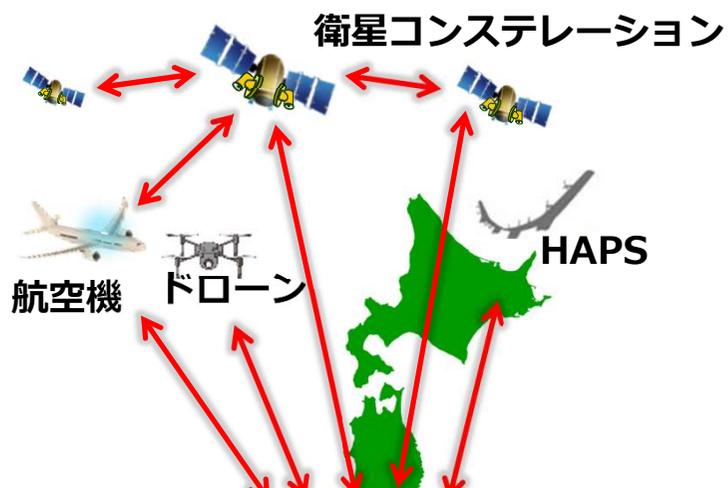
■ 複数の事業者が連携してユーザのE2E経路構築時の各事業者の運用ポリシーも考慮した NTNオーケストレーションのフレームワークを提案

- ・ オーケストレータが経路を一意に決めるのではなく複数の経路候補を提示
- ・ 各事業者が経路候補の中から自身のポリシーに基づいて経路“集合”を選択



遅延の面では“準”最適だが、事業者のポリシーを反映した経路を構築可能

光地上局テストベッド「HICALI-GATE」の整備



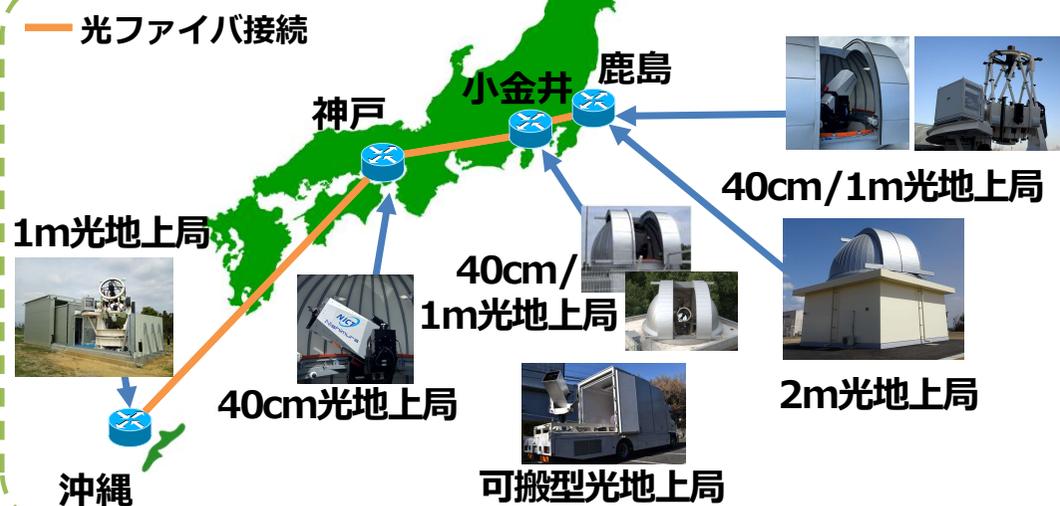
概要:

- NICTでは、民間事業者の宇宙ビジネス参入のための協創や衛星関連機器の開発等を共業しながら進められるように望遠鏡から構成される光地上局テストベッドを整備
- 地上から衛星搭載光学機器の評価や宇宙空間に存在する物体等の観測などに利用できる

宇宙関連ビジネスの創出、
新しい技術の創出、コミュニティの拡大

ユースケース:

- 様々な飛翔体への通信のテストベッド
- 衛星地上間QKDの実証
- LEOコンステレーション等のビジネスへの活用
- 新デバイスの試験・実証環境
- サイトダイバーシティの技術実証



NICT光地上局ネットワークテストベッド

今年から、潜在ユーザに対して利用開始予定

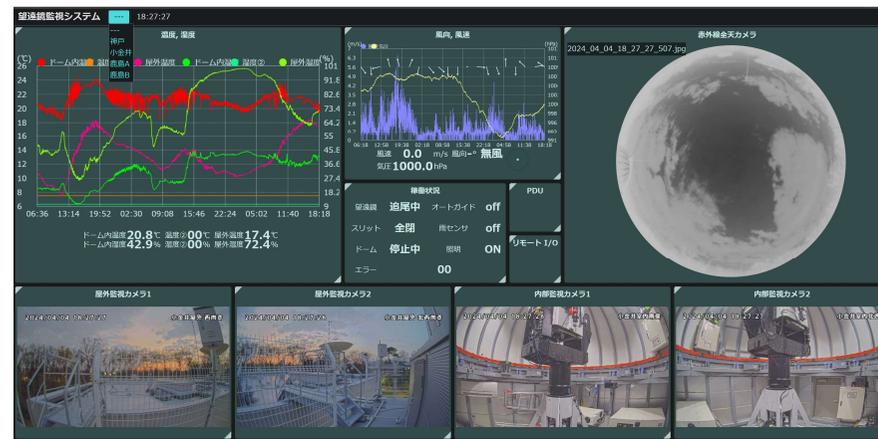
光地上局ネットワークテストベッド「HICALI-GATE」



すべての光地上局から遠隔操作や中央集中制御が可能!



ネットワークカメラシステム
光地上局・周辺環境・制御ルームのリアルタイムモニタリング



光地上局望遠鏡の制御システム
温度、湿度、風向、風速、雲量、雨量等のリアルタイムモニタリング

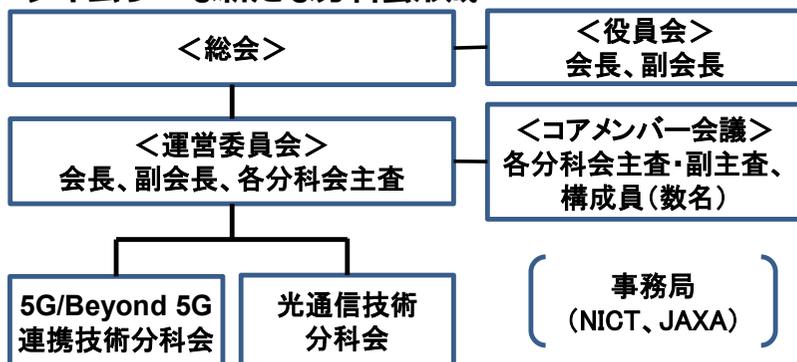


制御室
すべての光地上局の遠隔制御

スペースICT推進フォーラムの活動



- 宇宙基本計画改定（衛星開発・実証プラットフォーム構築）を踏まえ、我が国における革新的技術の研究・開発・利用を促進する体制構築の一環として2020年7月1日設立
- 新たな展開を見せつつある宇宙分野で、異業種企業やベンチャー企業を含め関係者が広く参加する民間コミュニティの形成が目的
（2024年3月2日時点で会員数：182者）
- 最新動向把握や将来の戦略等の検討を通じ、日本における取組みの方向性を議論できる場として、政府の動きにも呼応し補強できる民間フォーラム
- 分科会活動
 - 5G/Beyond 5G連携技術分科会：衛星5G連携技術の議論と展開・発展
 - 光通信技術分科会：民間フォーラムを通して光通信の研究・開発・利用体制の構築
 - タイムリーな新たな分科会形成



これまでの検討会資料等も会員は閲覧可能！
入会を随時受付中：<https://spif.nict.go.jp/>

スペースICT推進フォーラムのこれまでの成果

宇宙分野ではない企業が会員となり、新たな企業間連携と研究開発のプロジェクト化に貢献し、宇宙分野への具体的な活動を促進

- **ライドシェアWGにおける新しいミッションの創設**
 - フォーラム独自のアイデアで、宇宙を身近にする参加型低価格小型衛星ミッションの創設
- **月面活動に向けた測位・通信技術開発^[1]**
 - 月面活動に向けた測位・通信技術開発の検討作業：フォーラム会員等6社での検討
 - 衛星搭載に向けた補償光学系の研究開発：フォーラム会員等2社での開発
 - 衛星光通信用次世代補償光学デバイスの研究開発：公募中^[2]
- **将来月探査ミッション用搭載通信系の低コスト化に関する検討^[3]**
 - フォーラム会員等4社での検討
- **Beyond 5G次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発^[4]**
 - フォーラム会員4社での開発
- **光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証^[5]**
 - フォーラム会員4社での開発
- **NICTによる光地上局テストベッドの整備**
 - フォーラム会員等複数社での開発

[1] <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/01/11/5802.html>

[2] https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin03_02000369.html

[3] https://stage.tksc.jaxa.jp/compe/bid_box/FY2022-0445.pdf

[4] http://www1.nict.go.jp/collabo/commission/B5Gsokushin/B5G_00601.html

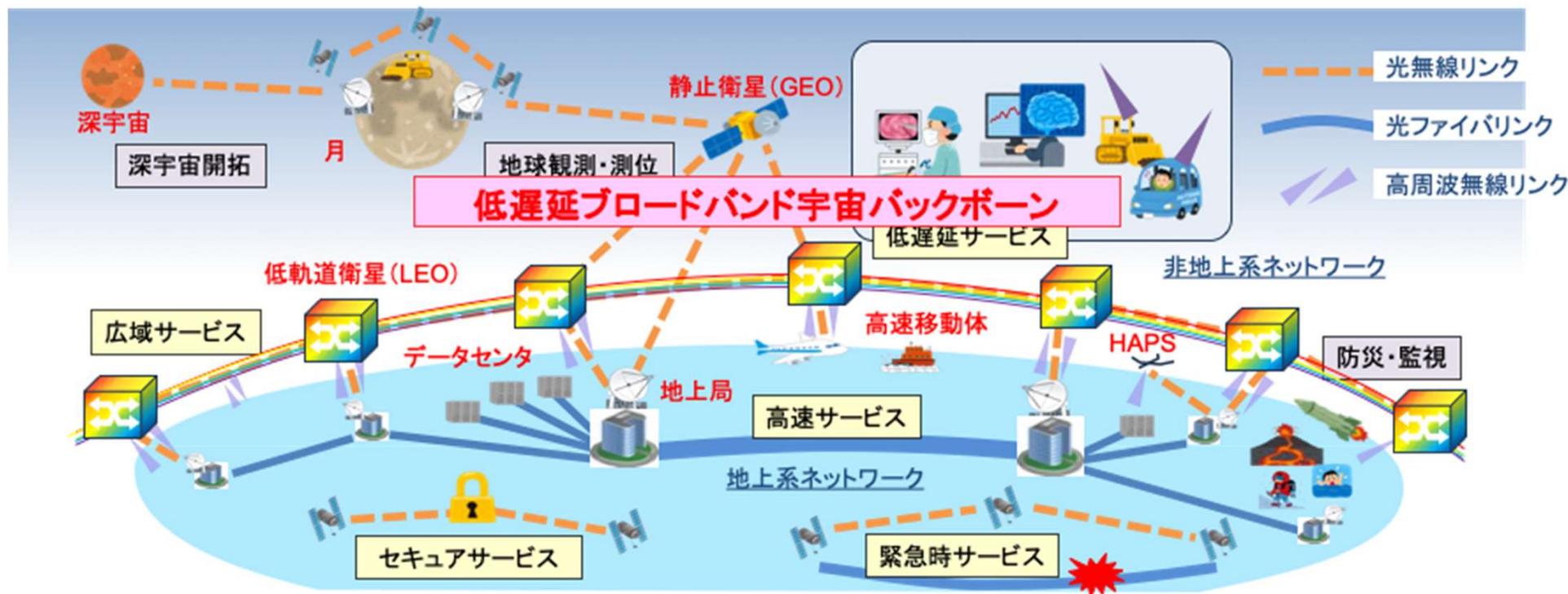
[5] https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101622.html

低遅延ブロードバンド宇宙バックボーンの研究開発



- JSTのCRONOSにて採択され、2024年10月からプロジェクト開始
- 低軌道空間における低遅延ネットワークインフラの構築を目指す
- 従来の再生中継（O/E/O）に代わる**全光中継（O/O）**を導入し、大容量化及び低遅延性を追究

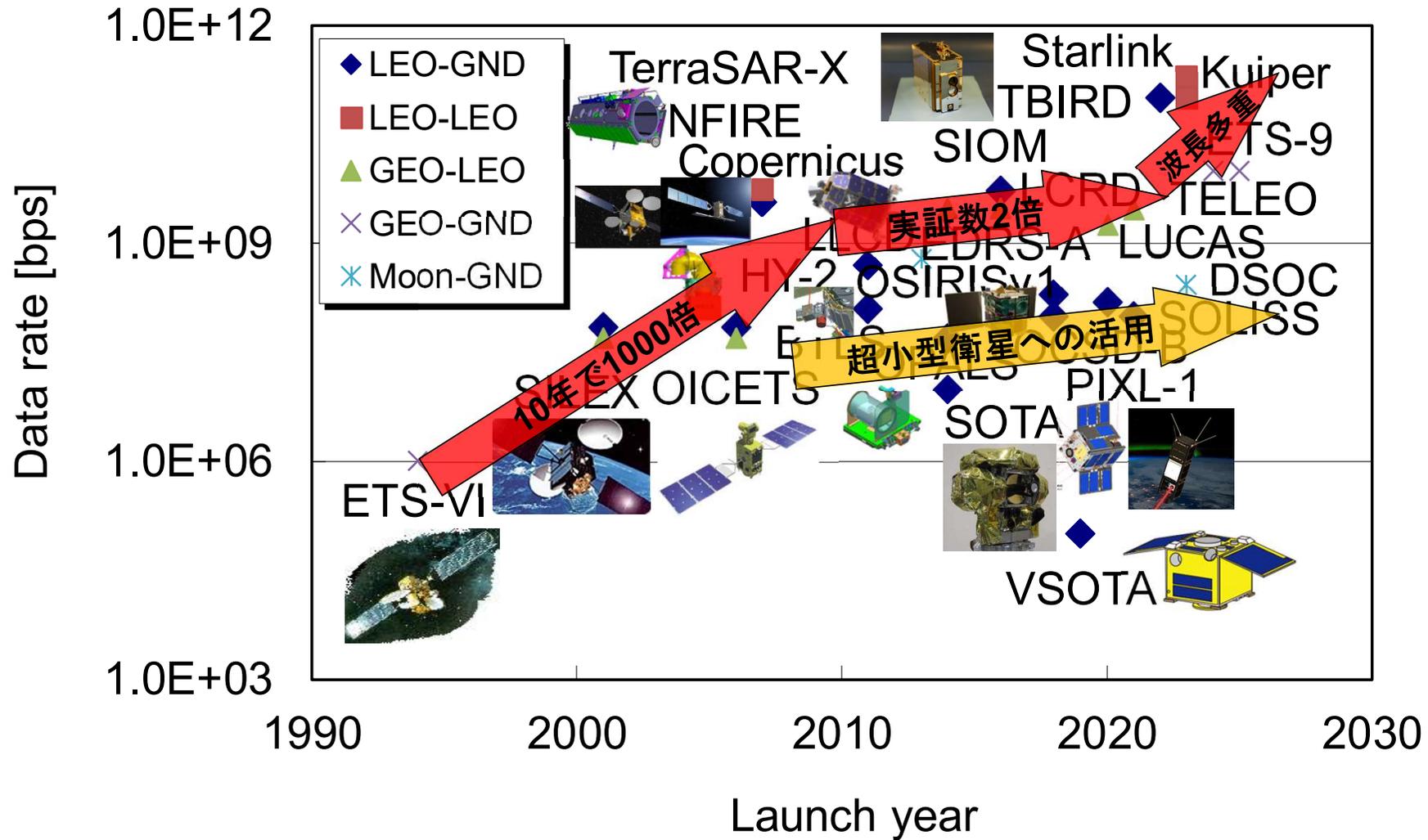
CRONOS：情報通信科学・イノベーション基盤創出



CRONOSで目指す低遅延ブロードバンド宇宙バックボーン概念図

光衛星通信

光衛星通信の伝送速度の動向

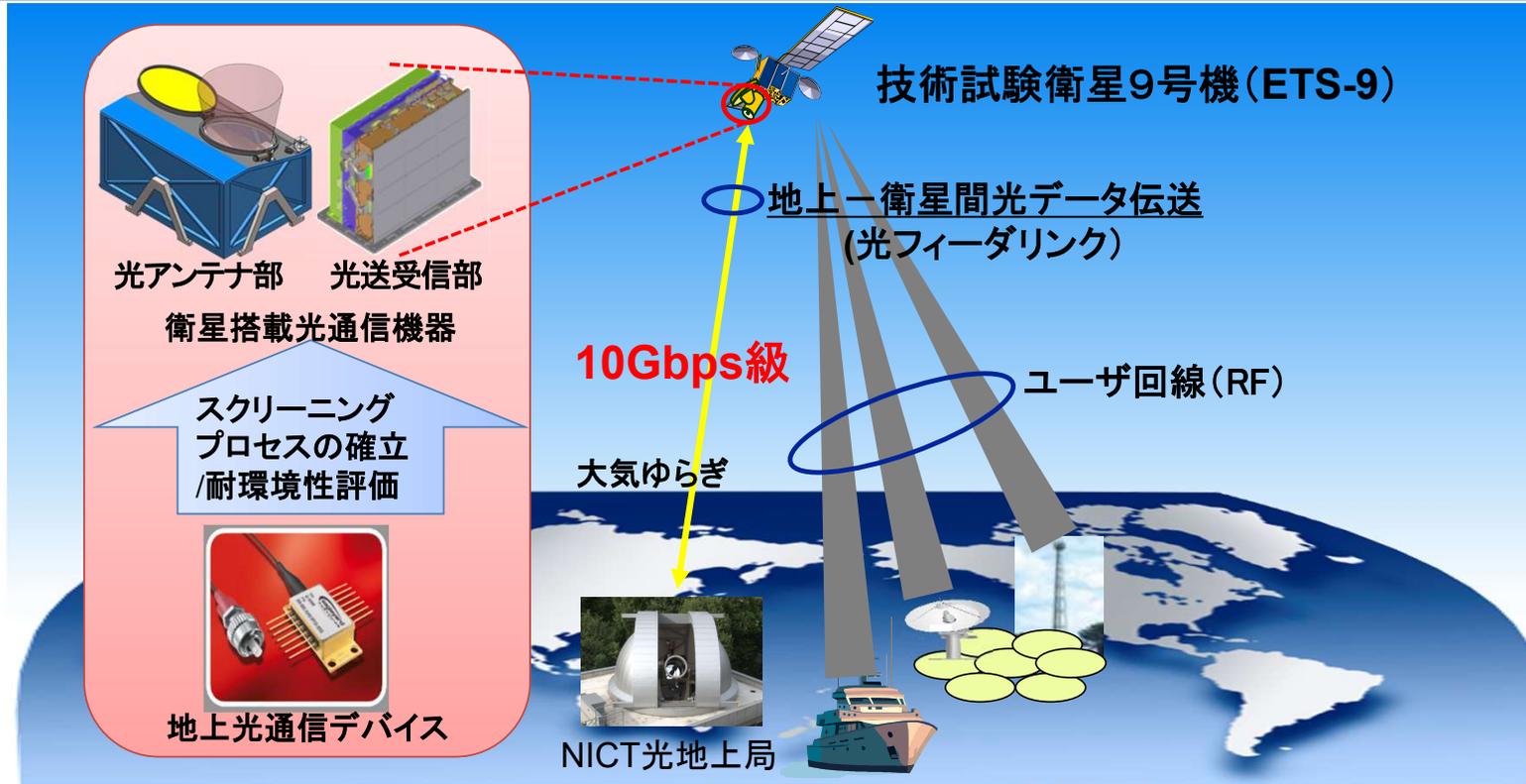


光ファイダリンクに関する研究開発

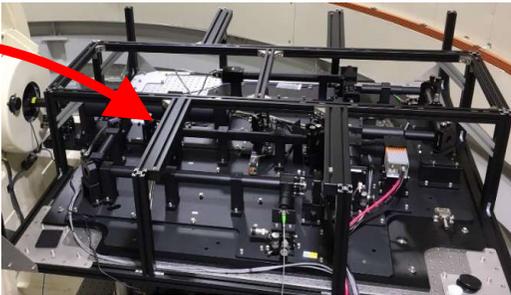
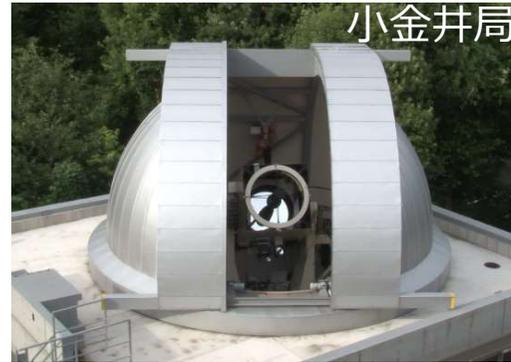
～超高速先進光通信機器 (HICALI) の開発～

HICALI: High speed Communication with Advanced Laser Instrument

NICTにおいて、世界最高レベルの10Gbps級地上-衛星間光データ伝送を可能とする超高速光通信システムを研究開発し、光ファイダリンクの基礎技術を確認するため、技術試験衛星9号機(ETS-IX)により宇宙実証を目指す。先進的な主要光通信デバイスについては、宇宙環境耐性・信頼性を確保するスクリーニングプロセスを確立し、先行した宇宙実証で国際競争力を有した市場展開を目指す。



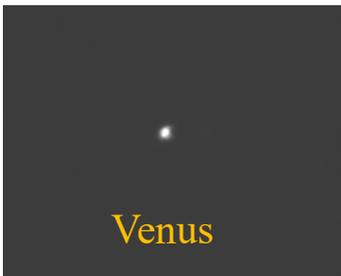
ハイスループット衛星用光ファイダリンク地上局整備



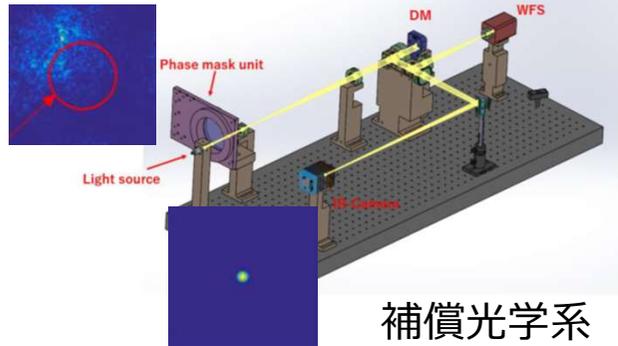
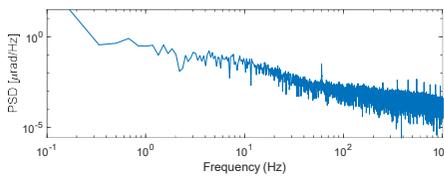
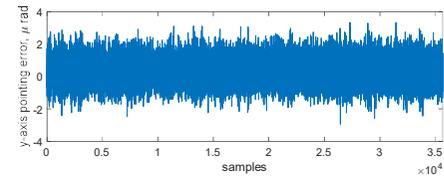
光通信の光学系

主な仕様

項目	仕様
架台 光学系 有効径 カセグレン口径比	経緯儀式 クラシカルカセグレン式 Φ1000mm F12
追尾精度 低軌道衛星 恒星	10秒角以下の精度で追尾 高度30度以上 0.4秒角 高度15~30度 1.0秒角
観測範囲	方位角度 ±270度 緯度角度 15~88度
総重量 鏡筒重量	7.5トン 1.3トン
ナスミス搭載荷重	片側最大1トン
補償光学系	利得5dB以上

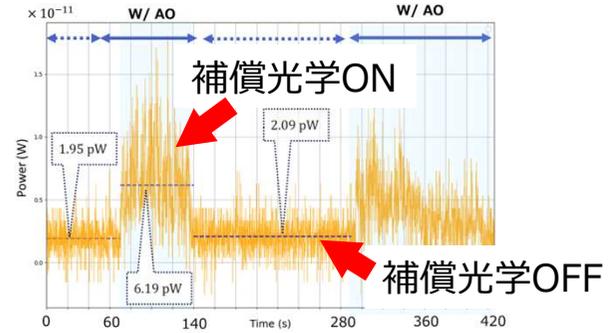


恒星を用いた
追尾特性の評価



補償光学系 (AO) の評価

ファイバー結合効率



時間

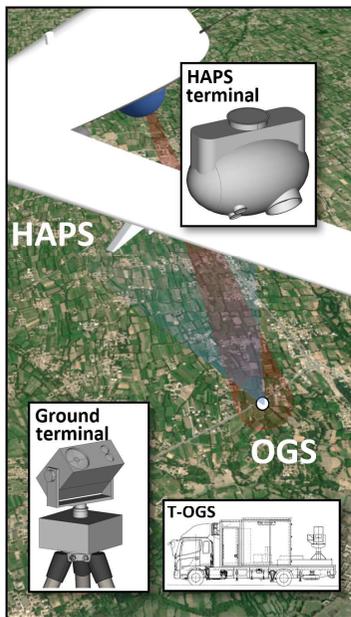
多層的に展開される宇宙光通信ネットワーク：Beyond 5Gの実現に向けて

Beyond 5G ネットワークの「超高速・大容量」「拡張性」への貢献に向け、あらゆる移動体プラットフォームに搭載可能な小型光通信端末や、光通信端末との通信を可能とする固定/可搬型光地上局に関する研究開発を推進

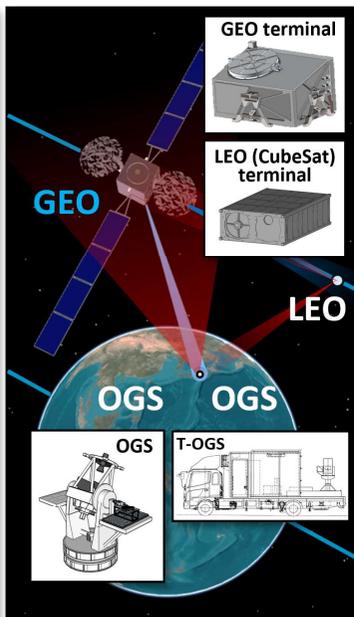
概要 NICTが目指す多様な次世代の光通信シナリオ：

GEO: 静止軌道衛星 LEO: 低軌道衛星 OGS: 光地上局
T-OGS: 可搬型光地上局 HAPS: 高高度通信プラットフォーム

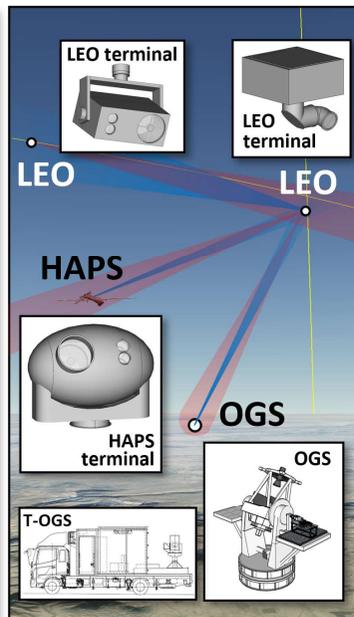
HAPS-光地上局の光通信



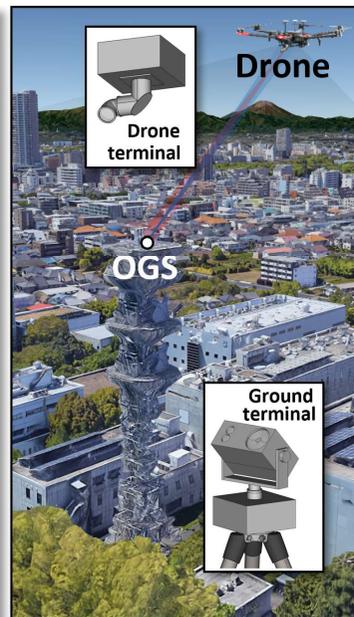
GEO-LEO/光地上局の光通信



LEO-HAPS/光地上局の光通信



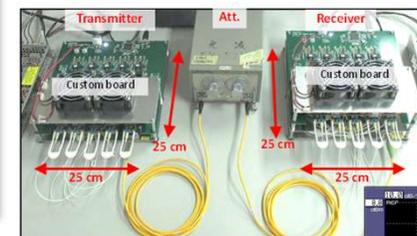
ドローン-光地上局の光通信



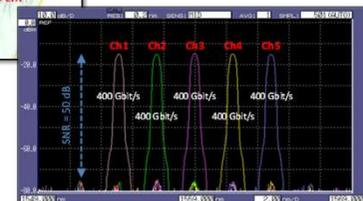
NICTの光通信端末試作：



2 Tbpsモデムの開発：



2 Tbps (5 x 400 Gbps)
DP-16QAM/8QAM/QPSK



特徴

- 宇宙/空中のプラットフォームで動作可能な小型光通信 端末の開発
- 性能を維持しながら、SWaP（サイズ、重量、電力）低減を実現した設計
- 様々なプラットフォームを結ぶ通信が可能

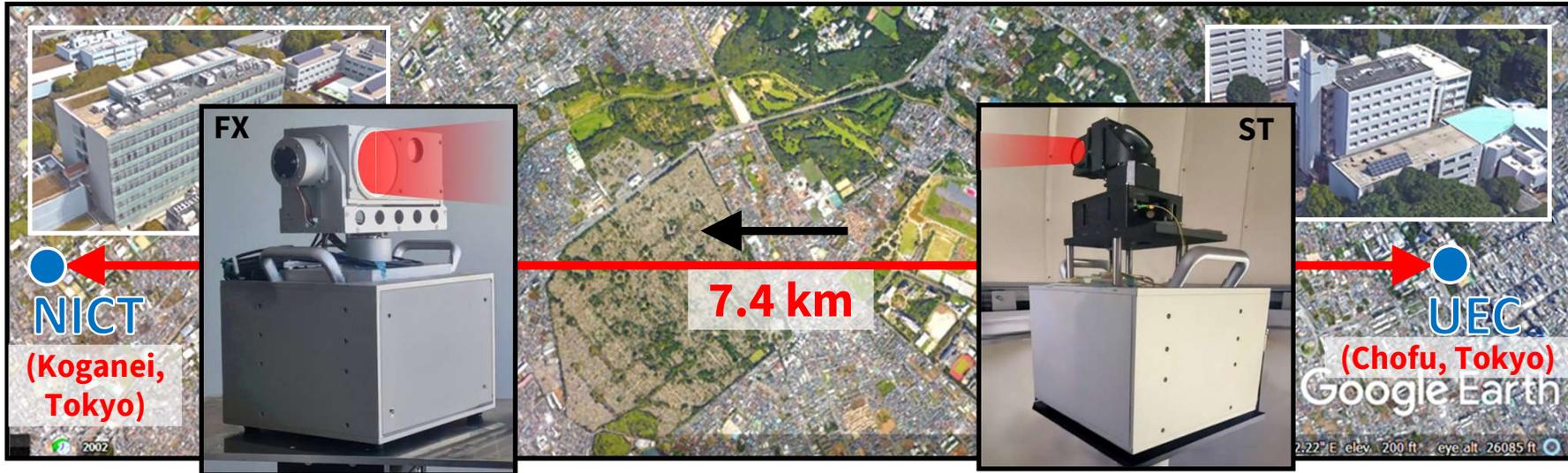
今後の展開

HAPS-地上間、HAPS-HAPS間や、6UサイズのCubeSatを用いた宇宙-地上間光通信の実証

NICTの開発した光通信端末の水平伝搬光通信実験

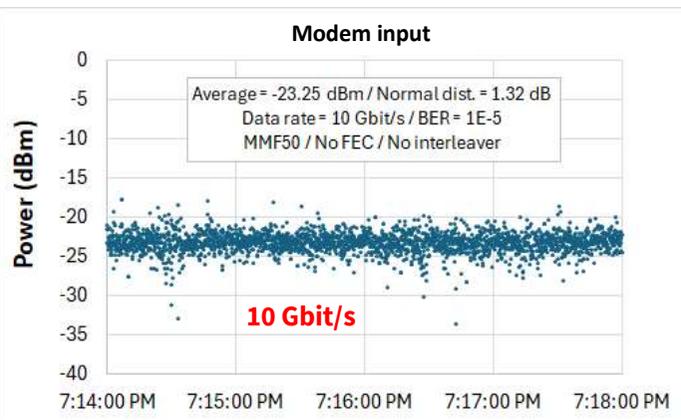


Horizontal experiment (26-29 February 2024):



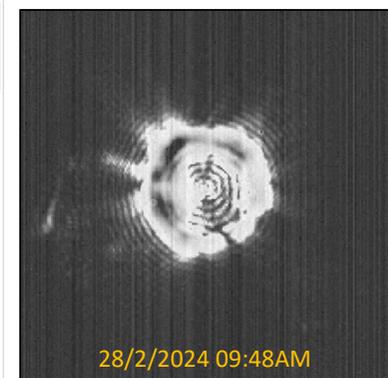
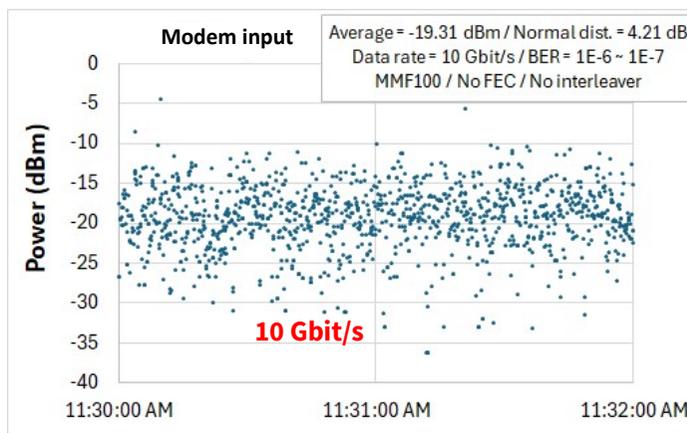
Nighttime:

Full transceiver (FX): 9-cm aperture



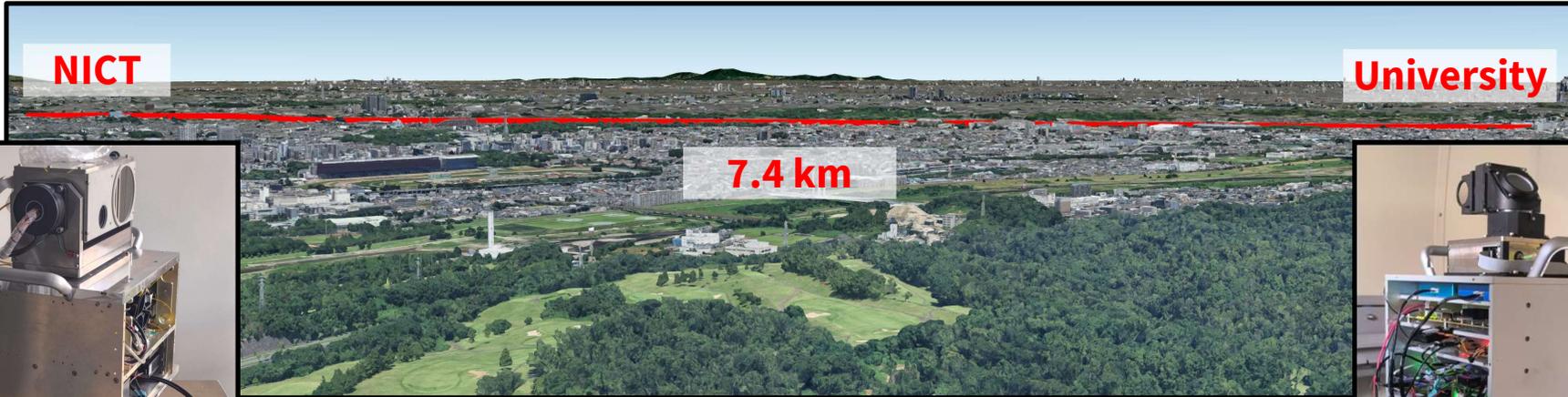
Daytime:

Simple transponder (ST): 3-cm aperture



2-Tbps水平伝搬光通信実験

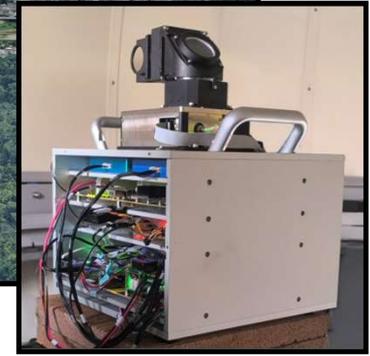
7.4-km 2-Tbit/s Horizontal Experiment (April 2025):



NICT

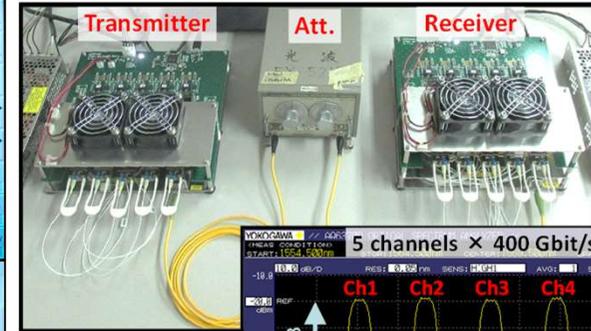
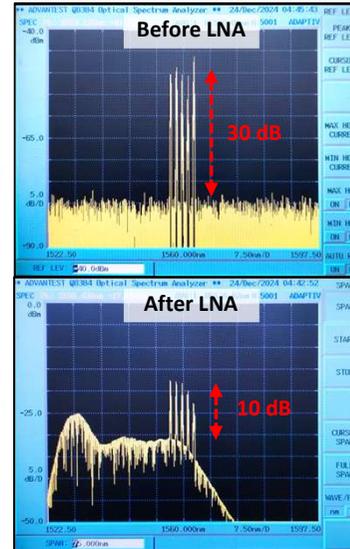
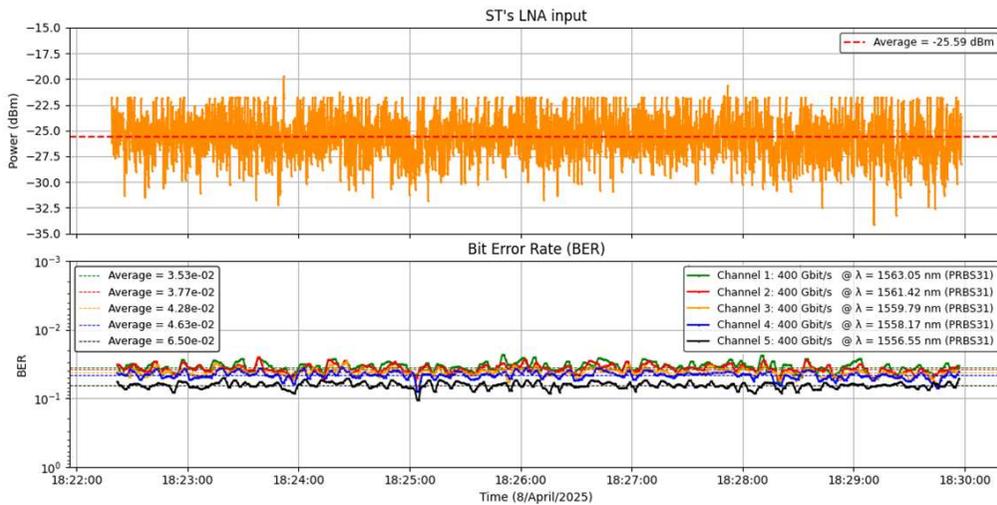
University

7.4 km



2 Tbit/s = 5 channels × 400 Gbit/s

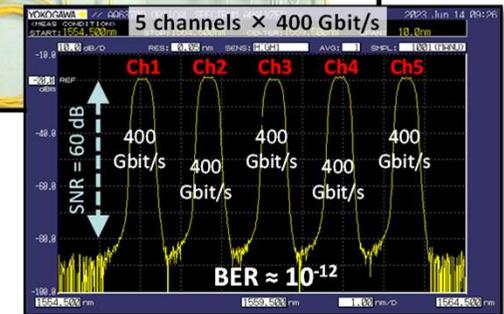
2 Tbpsモデム



Transmitter

Att.

Receiver



LEOキューブサット (CubeSOTA) の宇宙実証



NICT's CubeSOTA mission

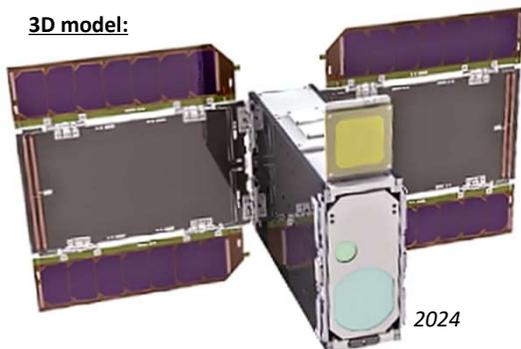
Launch:

- FY2026

Partners:

- NICT
- Softbank
- ArkEdge Space
- Tokyo University

3D model:



3D-printed model:

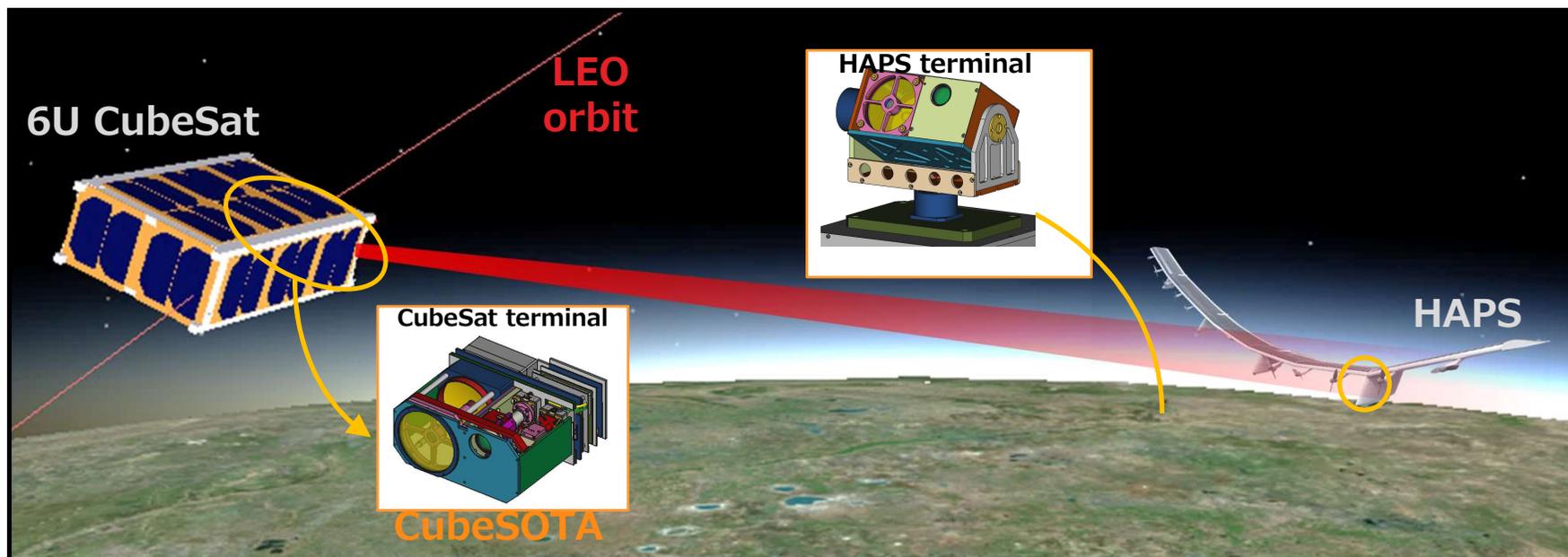


6U CubeSat prototype



Base model

Original 3D model:



REFERENCES: IEEE ICSOS (2023): <https://doi.org/10.1109/ICSOS59710.2023.10491225>

高高度プラットフォーム (HAPS)

高高度プラットフォーム（HAPS）システムの動向



<p>Sunlider (HAPS MOBILE, 2027～)</p> <p>機体サイズ・質量: 78 m, 1.1 t ペイロード: 75 kg, 1.5 kW 滞空期間: 数か月 高度: 20 km</p> <p>2024年に米国国防総省が実施した実証実験で成層圏飛行に成功</p>  <p>https://www.hapsmobile.com/ja/</p>	<p>Zephyr (AALTO HAPS/Airbus, 2026～)</p> <p>機体サイズ・質量: 25 m, < 75 kg ペイロード: 5 kg, 250 W 滞空期間: 26日 高度: 23 km</p>  <p>Zephyr</p> <p>2025年3月Space Compassがケニアでスマホと通信に成功</p>	<p>Stratomast (SPL, 2025～)</p> <p>燃料: 水素、連続20kW、最大130kW ペイロード: 140 kg 滞空期間: 6～9日</p>  <p>2022年に紅海で5Gの実証実験実施</p> <p>https://www.stratosphericplatforms.com/</p> <p>Odysseus (Aurora Flight Sciences/Boeing)</p> <p>機体サイズ: 74 m ペイロード: 27 kg, 250 W 滞空期間: 6か月 高度: 18 km</p>  <p>https://www.aurora.aero/odysseus-high-altitude-pseudo-satellite-haps/</p>
<p>ApusDuo (Mira Aerospace)</p> <p>機体: ApusDuo Make-1 project目標 ペイロード: 35 kg 滞空期間: 30-45日 高度: 1.8 km</p>  <p>2023年にルワンダで5Gの実証実験実施</p> <p>https://miraaerospace.com/news</p>	<p>SCEYE (SCEYE Inc., 2024～)</p> <p>機体サイズ: 152x40 m ペイロード: 300 kg、滞空期間: 数か月 高度: 約20 km</p>  <p>2024年に成層圏で日周飛行に成功</p> <p>https://www.sceye.com/</p>	<p>Stratobus (Thales)</p> <p>機体サイズ・質量: 140x33 m, 5 t ペイロード: 250 kg, 5 kW 滞空期間: 24/7 高度: 20 km</p>  <p>2021年に緊急リカバリ装置の試験を実施</p>
<p>PHASA-35 (BAE Systems)</p> <p>機体: 35 m, 150 kg ペイロード: 15 kg 滞空期間: 数か月 高度: 20km</p>  <p>2023年に成層圏の実験成功</p> <p>https://www.baesystems.com/en/product/phas-a-35</p>	<p>Avealto (Avealto Ltd., 2024～)</p> <p>機体: AVEALTO, 60 m ペイロード: 55 kg 滞空期間: 6か月 高度: 18～22 km</p>  <p>https://www.satellitemarkets.com/avealto-high-altitude-platform-transformative-technology-whose-time-has-come</p>	

出典: <http://2020.6gsummit.org/> 他

電子走査アレイアンテナ (AESA) の研究開発

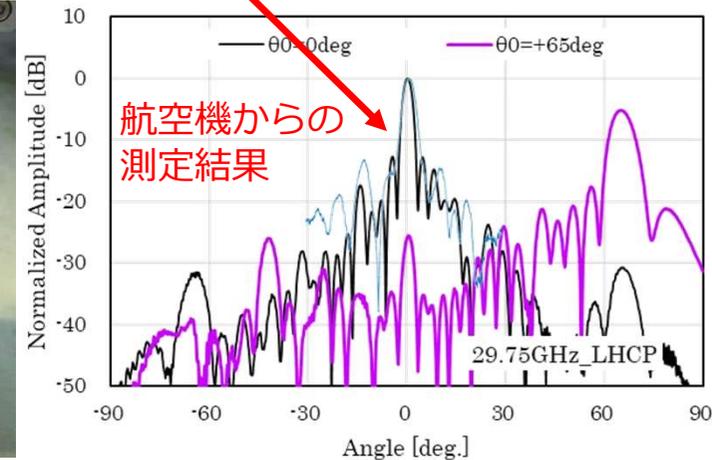
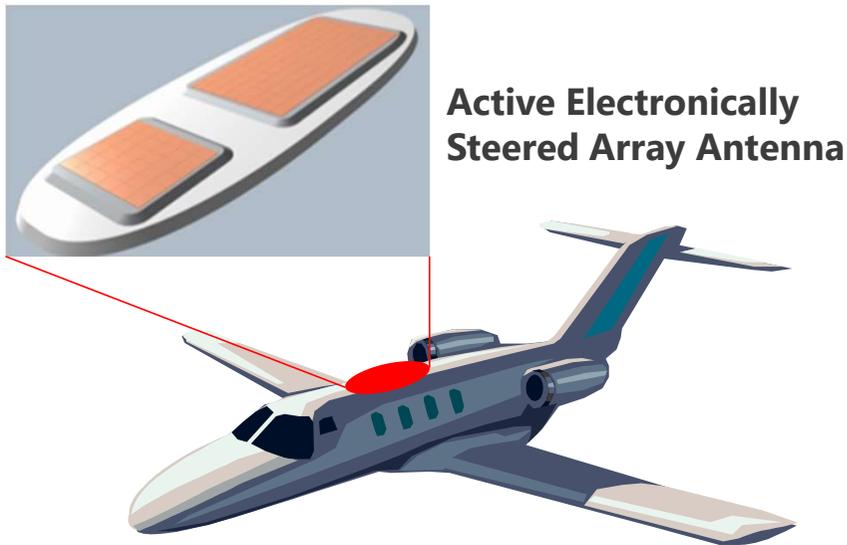
AESAの利点

- ✓ 電子的にビーム走査で衛星追尾が可能
(機械的な駆動機構が不要)
- ✓ 通信性能を向上のためアンテナ開口面積を拡大
可能で高さが不変 (立体的に大きくならない)

□ 従来アンテナの課題

- ✓ EIRP および G/Tの向上には開口面積 (= 反射鏡) の拡大が必要
- ✓ 反射鏡の拡大によりサイズが立体的に大きくなり搭載性が悪化
- ✓ 燃費の悪化と航続距離に影響

開発したAESAと航空機搭載実験



大倉拓也, 菅智茂, 土谷牧夫, 高橋卓, 辻宏之, 豊嶋守生, “非地上系ネットワークにおける航空機搭載用薄形電子走査アレーアンテナの研究開発”, 電子情報通信学会会誌 Vol.106 No.5, 2023/5
https://www.journal.ieice.org/bin/pdf_link.php?fname=k106_5_393&lang=J&year=2023

HAPS向けの地上局アンテナシステムの研究開発



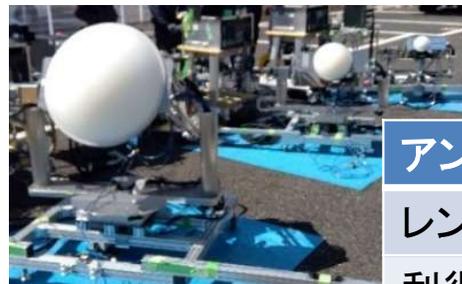
2024年5月28日 報道発表

世界初、高度約4km上空から38GHz帯電波での5G通信の実証実験に成功

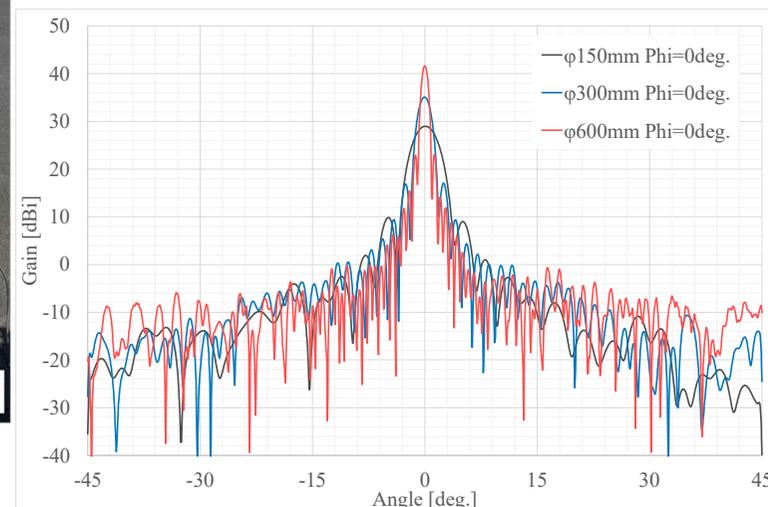
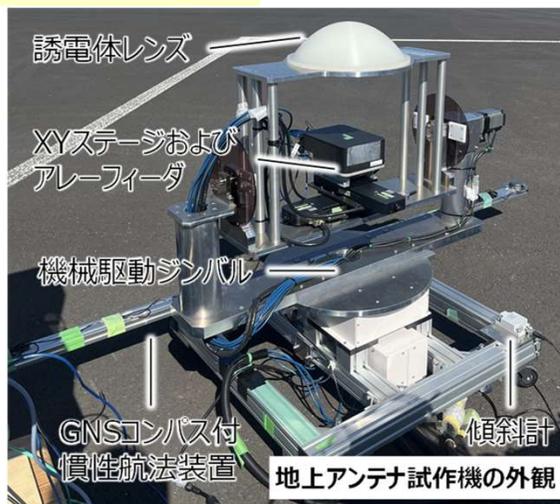
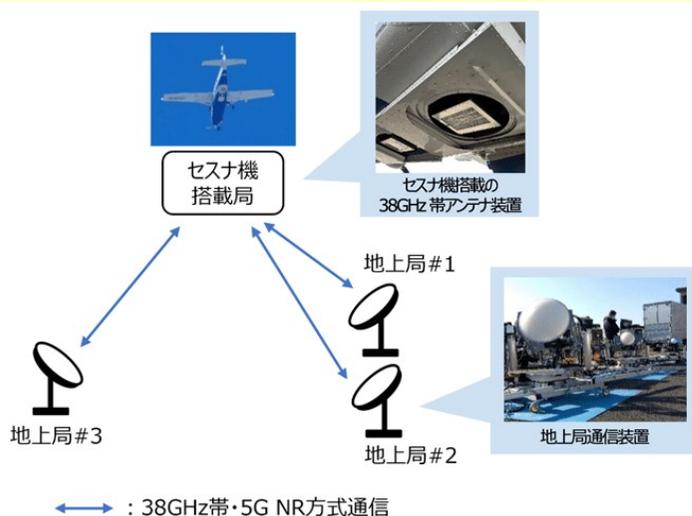
～成層圏からの5G通信サービスの早期実現に大きく前進～

スカパーJSAT、ドコモ、NICT、パナソニックHDは、HAPS（高高度プラットフォーム局）を模擬した小型飛行機を活用し、高度約4kmからの38GHz帯での5G通信の実証実験に成功

開発したレンズアンテナシステム



アンテナ諸元	大型	中型	小型
レンズ径 [mm]	600	300	150
利得 [dBi]	41.7	35.1	29.0
半値角 [deg.]	0.8	1.6	3.2
XPD [dB]	26.1	34.9	30.3

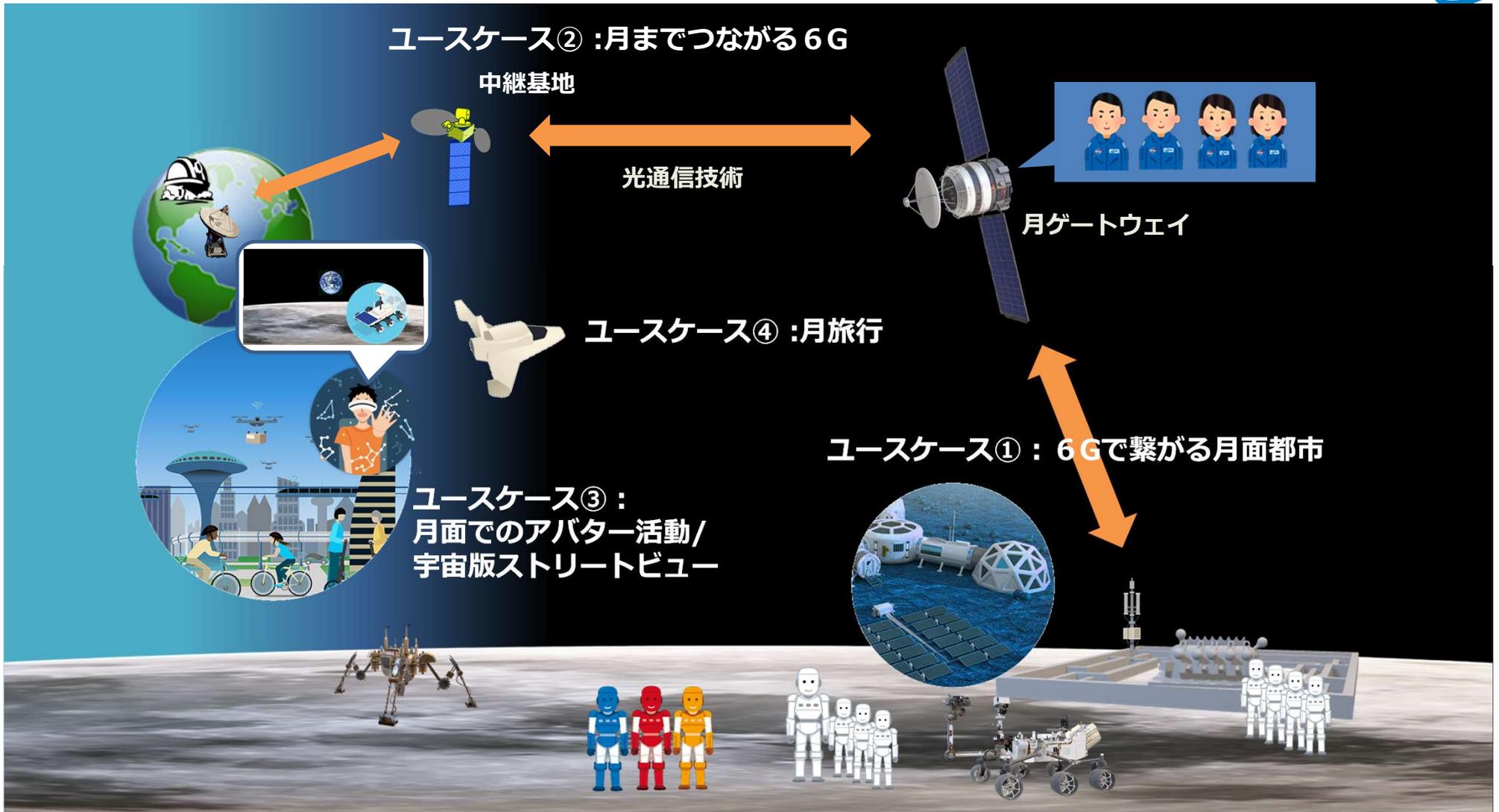


HAPSを想定したセルラ系広域ネットワーク実証

<https://www.nict.go.jp/press/2024/05/28-1.html>

月との通信と補償光学 (AO)

B5G/6G時代に月面都市までつながる通信技術

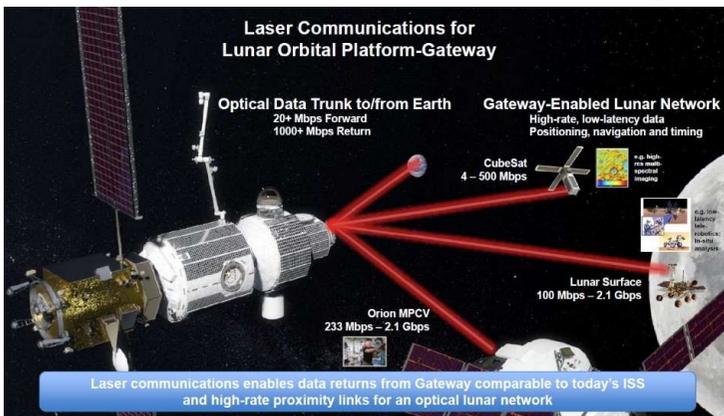


これまでの月との通信とこれから

- **SLIM** : 地上一月間を電波2GHz帯で**32kbps** (2023年1月25日)
(小型プローブSORA-Q: Wi-Fiで**1kbps**で通信)
- **かぐや** : 地上一月間電波通信(2007年9月):
10Mbps (電波8.4GHz帯 : 送信1.6mΦ/受信34mΦ)
- **LLCD** : 地上一月間光通信(2013年10月):
622Mbps (光1.55μm帯 : 送信10.7cmΦ/受信1mΦ)
- **DSOC** : 地上一月の80倍の距離での光通信(2023年11月)
最大267Mbps (光1.55μm帯 : 送信10.7cmΦ/受信1mΦ)



月面有人探査のARTEMIS計画



ゲートウェイの完成目標は2028年
精力的に研究開発が推進!



月周回有人拠点 (ゲートウェイ) との光通信

https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/topics/transformable_lunar_robot.html
<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2401/25/news155.html>
<https://www.nasa.gov/mission/lunar-laser-communications-demonstration-llcd/>
<https://www.jpl.nasa.gov/press-kits/psyche/dsoc>
<https://esc.gsfc.nasa.gov/projects/LEMNOS>

月一地球間の超長距離通信システムへの研究開発の活発化

- JAXAの公募型企画競争「月面活動に向けた測位・通信技術開発」に関する検討の委託先に下記コンソーシアムが選定(2022年1月11日)

月探査における基盤となる測位・通信システムの総合アーキテクチャおよび月測位衛星システムや月一地球間の超長距離通信システムなどの関連するシステム

- KDDIが宇宙共創プログラム「MUGENLABO UNIVERSE」を開始(2024年5月30日)

企業連携により地球上の課題解決を目指し、2028年目途に月一地球間通信の構築、2030年目途に月面モバイル通信の構築を目指す

- NTTが宇宙ビジネス分野におけるブランド「NTT C89」を始動、宇宙ビジネス拡大・発展へ(2024年6月30日)

宇宙ビジネス・産業の可能性を最大限に活かし、新たなサービス創出や気候変動などの地球規模の課題解決を目指す

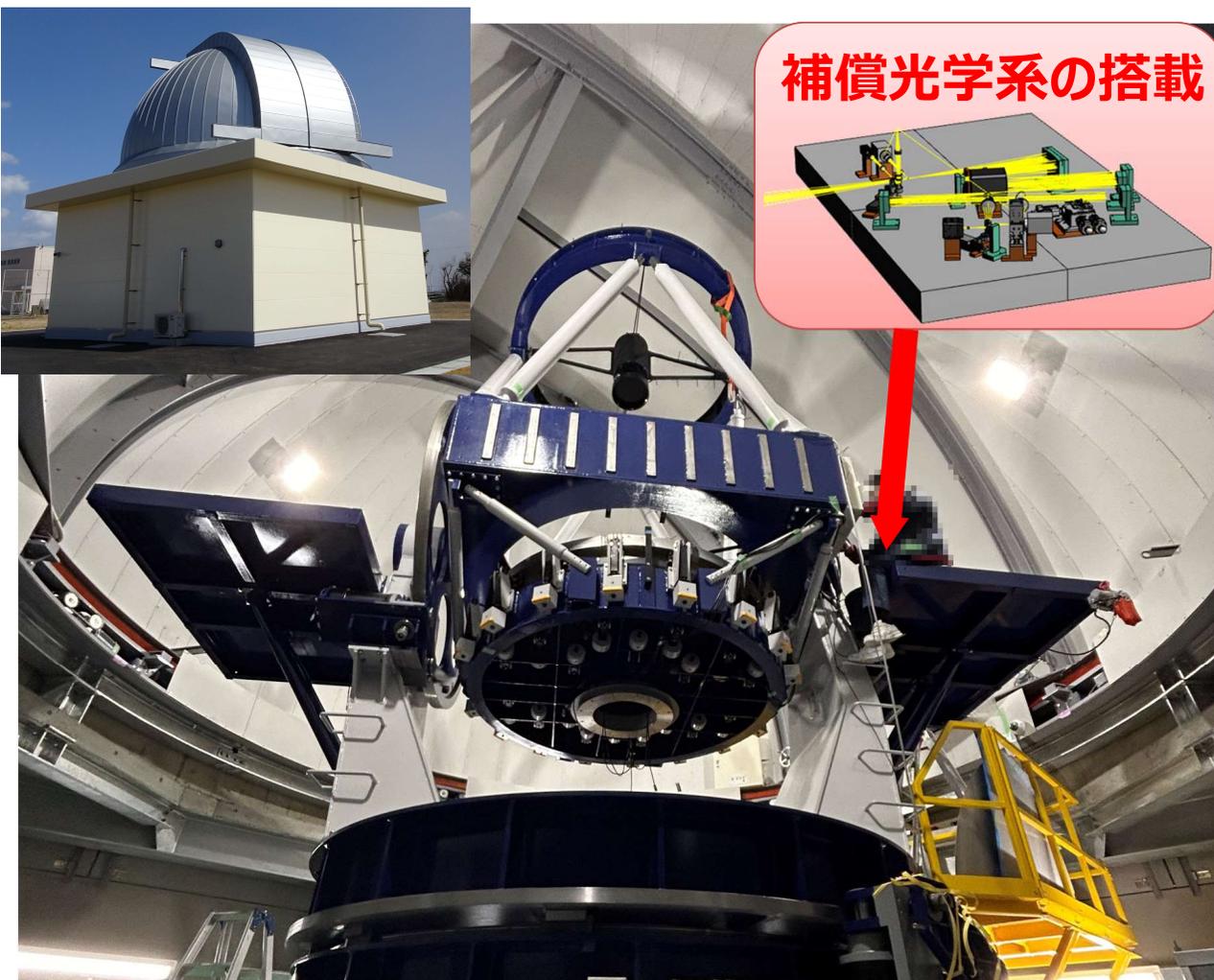
<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/01/11/5802.html>

https://newsroom.kddi.com/news/download/kddi_nr-116_3384.html

https://group.ntt.jp/magazine/blog/ntt_c89/



月—地球間光通信の日本の通信拠点となる鹿島2m望遠鏡



補償光学系の搭載

目的

- 将来の月-地球間光通信の日本の通信拠点
- 100Gbpsクラスの衛星地上間光通信
- 衛星量子鍵配送 (QKD) の鍵レート向上

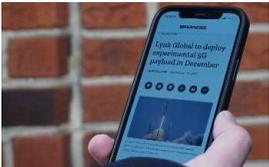
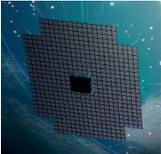
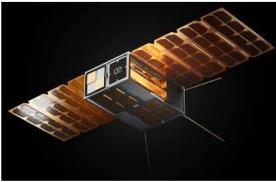
主な仕様

項目	定義値
望遠鏡形式	クラシカルカセグレン式望遠鏡
有効径	2050mm
主鏡口径比	F=1.75
F値	F11.7
波面誤差	1/6波長@633nm
主鏡素材	ZERODURE
コーティング	アルミ+SiO
仰角範囲	5~90deg
焦点位置	カセグレン、ナスミス、クーデ

開発した直径 2 m の光通信用望遠鏡

NTN-TN統合ネットワーク制御 アーキテクチャ

衛星モバイルダイレクトと衛星IoTの動向

Apple & Globalstar (2022～)	Lynk Global (2024～)	AST SpaceMobile (2023～)	Starlink & T-Mobile (2023～)	Huawei
<p>サービスエリア: 米国、カナダ(グローバルスターの周波数を使用し、将来はグローバルスターのカバレッジ範囲で使用)</p> <ul style="list-style-type: none"> iPhone14 モデル 既存MSS分配周波数で利用可能(L/S帯) モバイルカバレッジ外での緊急通報 iOS 18では通常のメッセージングが可能 今後最大26基の衛星を交換予定(最大80機を追加可) <p>https://www.apple.com/newsroom/2022/11/emergency-sos-via-satellite-made-possible-by-450m-apple-investment/</p> 	<p>高度約500kmの衛星コンステレーション。2024年にSat2Phoneでサービス開始。</p> <p>サービス概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 通常の携帯電話に直接通信サービスを提供(メッセージのみ、断続的サービス) 周波数: 3GPP周波数  <p>https://lynk.world/news/</p>	<p>5機のBlueBird衛星を2024年9月に打上げ。</p> <p>2025年4月23日 日本初のスマートフォンの直接ビデオ通話に成功</p> <ul style="list-style-type: none"> 衛星数: 168基 軌道高度: 730km 通常の携帯電話に直接通信サービスを提供(VoLTE、ブロードバンド通信) 周波数: 3GPP周波数 <p>楽天モバイルと連携</p>  <p>https://ast-science.com/</p>	<p>SpaceX社とT-Mobile社による通信サービスを提供開始。</p> <ul style="list-style-type: none"> iPhoneのiOS18.3でStarlinkに接続する機能が追加 地上通信がつかないときには自動的にStarlinkと接続 デバインドエリアでの通常のモバイル通信サービス 災害時の通信サービス KDDIから2025年4月より「au Starlink Direct」サービス開始 <p>KDDIと連携</p> <p>https://www.t-mobile.com/carrier/t-mobile-and-beyond-with-spacex</p>	<p>サービスエリア: 中国</p> <p>通信内容: テキスト</p> <p>衛星: 北斗(BDS)</p> <p>サービス概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 緊急時のテキスト・位置情報送信 最大20文字まで送信可能 経路マッピング  <p>https://consumer.huawei.com/za/community/details/Huawei-Mate-60-Pro-is-the-world-s-first-satellite-calling-phone/topicid_280286/</p>
Skylo	OmniSpace	Ecostar Mobile	OQ Technology	Sateliot
<p>静止衛星を用いたIoT向け衛星ナローバンド通信サービス</p> <p>ソフトバンクと連携し、NTNソリューションの提供。データ分析プラットフォーム「Skylo Data Platform」は、計測する機器の位置や稼働状況のモニタリング、船舶やトラックの速度や燃料消費などをサポート。</p> <p>ソフトバンクのNTNソリューションイメージ</p>  <p>ソフトバンクと連携</p> <p>https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210609_01/</p>	<p>OmniSpace社によるNB-IoT向け衛星コンステレーション</p> <p>試験衛星Spark-1、Spark-2を打ち上げ済み(2022年4月及び5月)。</p> <p>サービス: 5G端末に直接通信のサービス</p> <p>周波数: 3GPPバンドn256を利用(Sバンド)</p> <p>コスト: 11.66\$/ユーザ</p>  <p>https://omnispace.com/</p>	<p>2022年7月より欧州においてLora端末に直接通信サービス提供開始をアナウンス</p> <p>衛星: EchoStar XXI(静止衛星: 10.25° E)</p> <p>周波数: SバンドのLicensed周波数を利用</p>  <p>https://echostarmobile.com/</p>	<p>OQ TECHNOLOGY社による衛星コンステレーション(72基打ち上げを計画し、衛星3基を打ち上げ済み)</p> <p>サービス: 5G IoT端末に直接通信のサービス</p> <p>周波数: Licensedバンドを使用(周波数不明)</p>  <p>https://www.oqtec.space/</p>	<p>Sateliotによる衛星コンステレーション(100基打ち上げを計画し、最初の衛星を2021年3月に打ち上げ済み)</p> <p>サービス: 5G NB-IoT端末に直接通信のサービス</p> <p>Telefónicaと連携して2022年後半にプレ商用トライアルを開始予定。</p>  <p>https://sateliot.space/</p>

出典: 各社Webサイト, https://b5g.jp/w/wp-content/uploads/2023/05/scal_2305_ntnroadmap.pdf等より

XGMF NTN推進プロジェクト

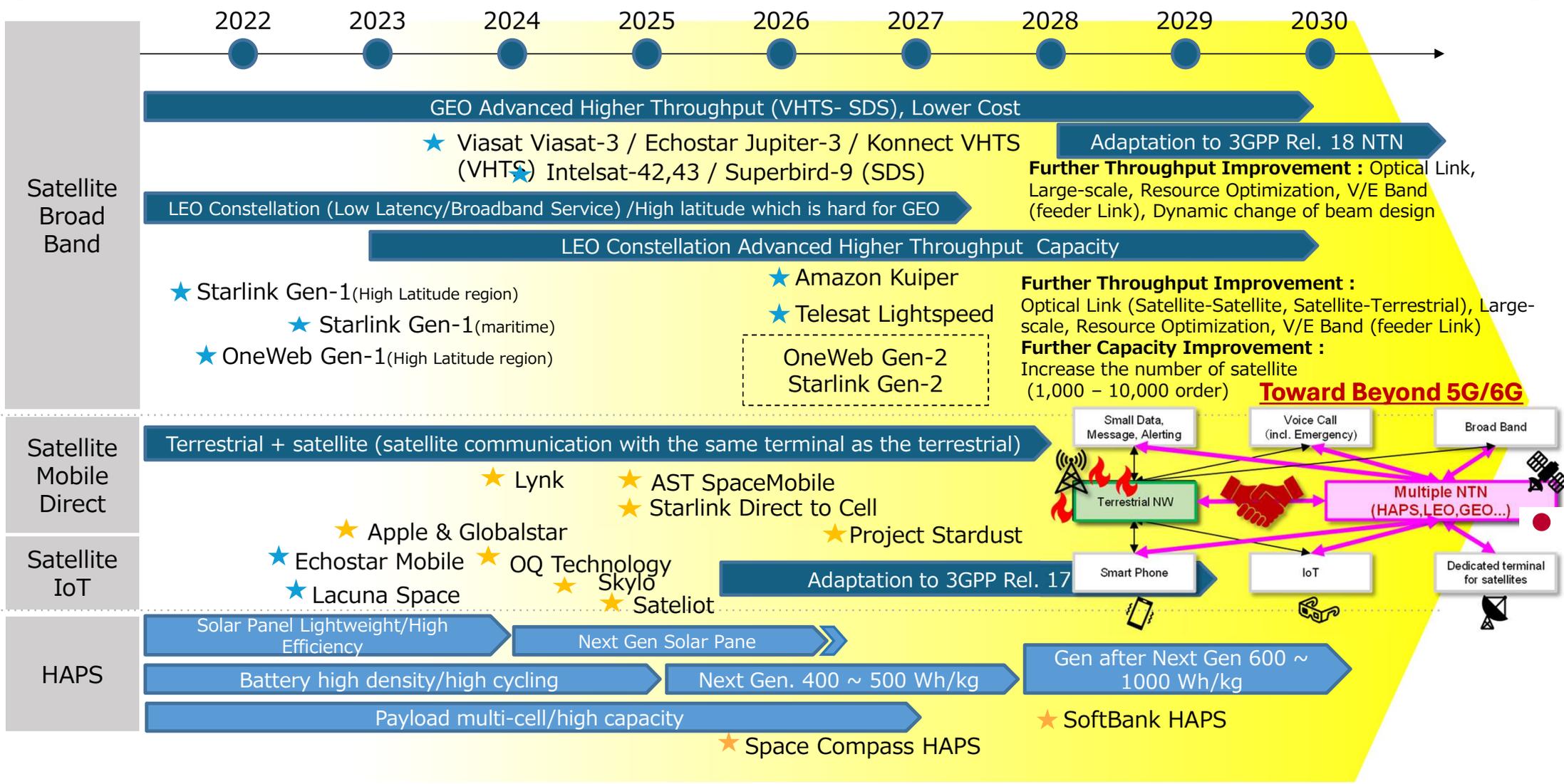
<https://xgmf.jp/project/pj-2401/>

The screenshot shows the XGMF website's 'プロジェクト' (Project) page. At the top, there is a navigation bar with links for 'XGMF概要', '規約・入会案内', '会員一覧', 'プロジェクト', 'ダウンロードセンター', 'XGMFニュース', '通信関連ニュース', and '5G事例マップ'. The main content area is titled 'プロジェクト' and contains a grid of project cards. The first card, 'NTN推進プロジェクト', is highlighted with a blue border. Below the grid, there is a footer with XGMF and Telegraphic logos, and contact information.

The detailed page for the 'NTN推進プロジェクト' (Project No. XGMF-2401) features the following sections:

- 活動目的 (Activity Purpose):** Discusses the development of Beyond 5G technologies, specifically Non-Terrestrial Networks (NTN), and aims to provide a platform for discussion and collaboration among users and researchers.
- 活動内容 (Activity Content):** Lists five main activities:
 - 更新・海外諸国の関連活動の把握 (Monitoring updates and related activities in overseas countries)
 - NTNを活用した通信に関するユーザーニーズの把握、ユーザーズ実現に必要な要件の明確化 (Understanding user needs for NTN-based communication and clarifying requirements for user realization)
 - NTNサービスを実現するための課題等検討、開発が必要となる技術の明確化、課題解決策/対応策の検討 (Examining challenges for NTN service realization, clarifying technologies requiring development, and discussing solutions)
 - グラウンドデザイン策定 (Ground design strategy formulation)
 - 業界に因り合わない共通課題の抽出・提言検討 (標準化等) (Identifying common challenges not shared by the industry and discussing proposals (standardization, etc.))
- プロジェクトリーダー (Project Leader):** 豊崎 守生 (Tomosaki Mamoru), 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT).
- お問い合わせ (Contact):** XGMF事務局: contact@xgmf.jp

非地上系ネットワーク (NTN) 技術ロードマップ



NTN-TN統合ネットワーク制御アーキテクチャ



特徴

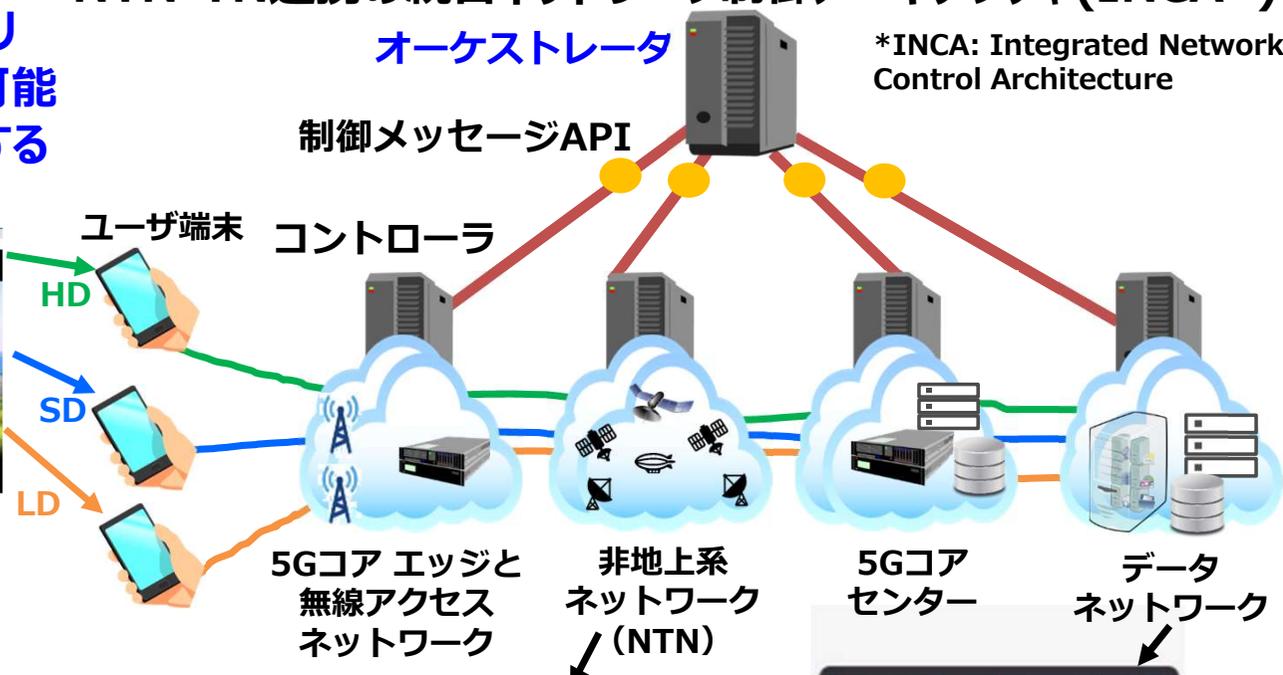
- NTNと地上系ネットワーク(TN)間でアプリケーションの要求に応じたリソース制御が可能
- 様々な事業者等のネットワーク網が存在する中でシームレスな相互接続が可能

デモ例：

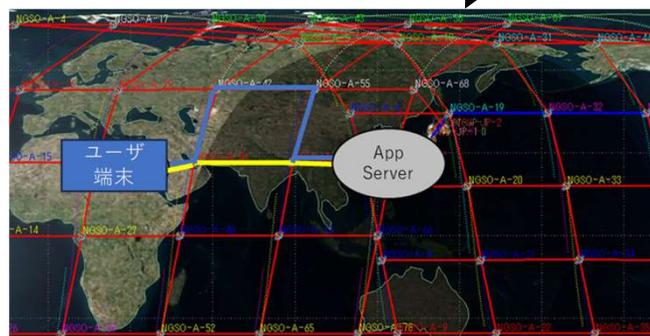
- ビデオ伝送を模擬
- TNでの監視項目：
 - ・CPU・メモリ・帯域幅利用率
- NTNでの監視項目：
 - ・NTN経路の帯域幅・遅延量・ホップ数
- 3種類のQoSで、ビデオ伝送を実施
 - ・HDビデオ、6Mbps、遅延~50ms
 - ・SDビデオ、4Mbps、遅延~60ms
 - ・LDビデオ、2Mbps、遅延~100ms



NTN-TN連携の統合ネットワーク制御アーキテクチャ(INCA*)



*INCA: Integrated Network Control Architecture



NTNにおける経路制御



ビデオ映像受信状況のモニタリング

ITU-T Recommendation, "Fixed, mobile and satellite convergence - Integrated network control architecture framework for IMT-2020 networks and beyond," Y.3207, April 2024. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3207>

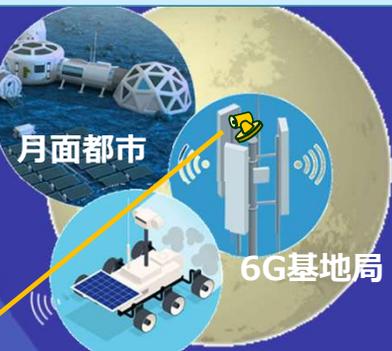
B5G/6G時代における空・宇宙のワイヤレス未来予想図



非地上系ネットワーク(NTN*)による地上・海洋から宇宙までの3次元のシームレスな通信ネットワークにより多様なユースケースとアプリケーションを実現

実現のための必須技術の研究開発

衛星・非地上系通信プラットフォーム



月面都市

6G基地局

アバター
遠隔操作

統合ネットワーク
制御



遠隔医療

遠隔教育

AI

未来のテレワーク

XR/ゲーム

スマートシティ

自動運転

遠隔ショッピング

通信事業者間の相互接続

洋上IoT

海上通信

無人船

宇宙港

光衛星通信

*NTN: Non-Terrestrial Networks

メガコンステレーション時代の課題



- **多数衛星による課題が発生し、それらの解決が必要**
 - **多数衛星の運用の課題：**
周波数ひっ迫（他業界への影響懸念）、周波数干渉、天文観測への影響（光害、電波干渉）、落下衛星の大気中への環境汚染の懸念
 - **スペクトル効率の向上の課題：**
高効率化、ビームフォーミング、動的割り当て、衛星間通信の利用、光衛星通信の活用
 - **スペースデブリの対策：**
デブリ除去技術、自己廃棄、衝突回避、国際協力、法規制
 - **衛星通信サービスの海外集中の課題：**
米国が独り勝ち、安全保障的な問題、欧米サービスばかりが台頭、
日本からサービスを創出していくことは、今後重要な課題

まとめ



- NICTにおける研究開発を中心に**NTNの最新動向**を紹介
- ETS-9により、軌道上の宇宙実験場として**次世代宇宙イノベーション共創基盤**を創成、様々なユースケースを軌道上実証し、新たなアプリケーションを創出するプラットフォームとして世界をリード
- LEOコンステレーションでは、多数衛星による電波の利用周波数ひっ迫の課題があり、今後、**光衛星通信の活躍が期待**
- HAPSは、日本の国土に合った**超高速・超低遅延な通信サービスの提供が可能**であり、日本独自の通信サービスとして期待
- **スペースICT推進フォーラム**にて、異分野連携可能なコミュニティを活用し、衛星5G連携技術や光地上局テストベッドの利活用の推進が期待
- Beyond 5G/6G時代における超スマート社会に向けて、**NTNとTNの統合ネットワーク制御アーキテクチャ**により、海洋から宇宙まで通信ネットワークをグローバルに拡張し、非常時も通信事業者間が接続され、あらゆる環境下で世界が「つながる」将来像が期待

- 本研究の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」の「多様なユースケースに対応するためのKa帯衛星の制御に関する研究開発」で実施している。
- 本研究の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」における「小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレイアンテナ(AESA)による周波数狭帯域化技術の研究開発」によって実施しているものである。
- 本研究の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」における「HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発」によって実施しているものである。
- 本研究の一部は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP22012）によって実施しているものである。

