

Beyond
5G



「デジタルライフライン」としての 「次世代サイバーインフラ」

MatLab Expo

東京大学大学院工学系研究科 教授
次世代サイバーインフラ連携研究機構 機構長

中尾彰宏

サイバーインフラとは？

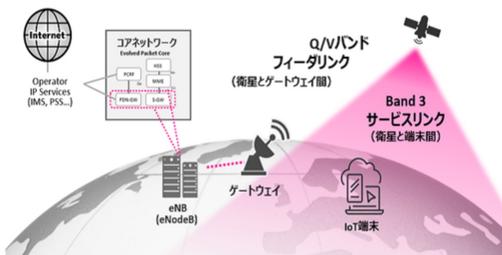
- ・サイバーとは、コンピュータやそのネットワークに関するという意味
- ・サイバー世界を支える、基盤となる技術をサイバーインフラという

最近の大規模な通信障害で我が国の社会経済活動に大きな支障が出たことから
社会経済活動や生命の維持のために情報通信を基礎とする
次世代のサイバー世界を支えるインフラ「次世代サイバーインフラ」が重要である

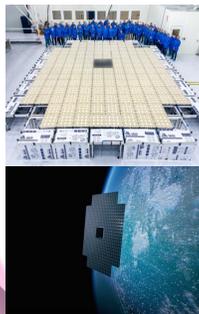
未来社会を根底から支える「人類のライフライン（生命線）の研究開発」
を情報通信と情報科学の学術を駆使して実施しています



超臨場感通信



国土の通信カバー率100%へ



安全・安心な地域社会



AIによる堅牢ライフライン

中尾研究室における学生の次世代サイバーインフラの研究プロジェクト



動画：中尾研究室のプロジェクトルーム（DevShowCase）

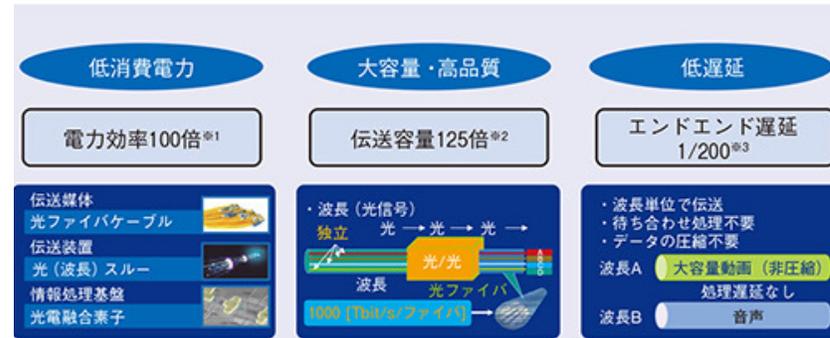
5GからBeyond5Gへ：低遅延・省電力・拡張カバレッジ・ソフトウェア化に注目

大容量・低遅延・多数接続、低消費電力拡張カバレッジ、自律性（AI）堅牢性の7つがBeyond5G/6Gで目指す特徴の目標

重要な方向性

- APN (All Photonics Network)の低遅延・省電力
- NTN (Non-Terrestrial Network)による拡張性
- OpenRAN・仮想化による相互接続性
- AIによる障害検知・低電力化・トラフィック制御
- Sub6, ミリ波に加えサブテラ波・センチ波を全て利用し大容量と接続性の両立
- ローカル5G/6Gによる自営網の発展
- ソフトウェア化(Software Defined Radio)

APN（低消費電力・大容量/高品質・低遅延）



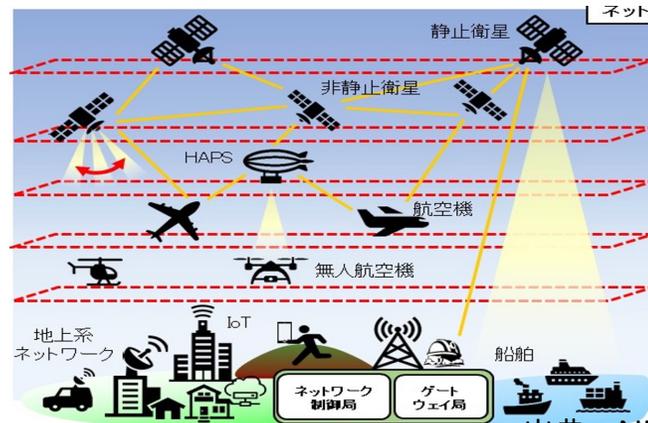
出典：NTT

6G New Radio (6-24,90-300GHz)



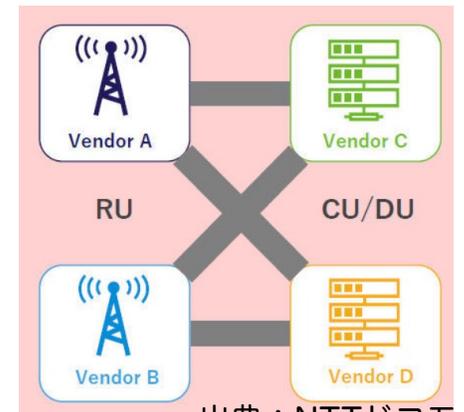
出典：NOKIA

NTN (LEO, GEO, HAPS)



出典：NICT

OpenRAN (異ベンダー相互接続)



出典：NTTドコモ

我々を取り巻く情勢の変化

WRC23にて新周波数利用の提案

- 3GPPでは6Gの仕様化着手(23年12月)
- NTN(LEO, HAPS)の開発競争が激化
- 遅れている5G (特にミリ波) の展開を加速と同時に6G/APNの開発を推進する必要
- 標準化を睨んだ国際連携・協調の必要性

米国では6Gへの動向として動的周波数共用(Dynamic Spectrum Sharing)を推進



IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks
13-16 May 2024 // Washington, DC



IEEE DySPAN 2024 の学会新設



IEEE International Symposium on
Dynamic Spectrum Access Networks
13-16 May 2024 // Washington, DC

Welcome to IEEE DySPAN 2024!

Breaking new ground in spectrum access, we are thrilled to announce the commencement of the IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN) 2024. Uniting industry experts, academics, and innovative minds from across the globe, this symposium serves as a platform for pioneering advancements and collaboration in the radio frequency spectrum realm. Brace yourself for engaging presentations, illuminating discussions, and networking opportunities unlike any before. Let's step into the future of spectrum technology together!

DySPAN 2024 will be co-located with National Science Foundation (NSF) [Spectrum Week 2024](#), which will include SWIFT and NRDZ PI meetings, SpectrumX center meeting, National Spectrum Managers Association (NSMA) annual conference, and a WSRD R&D workshop related to the National Spectrum Strategy.

If you are a SWIFT or NRDZ PI, or if you interested in joining any of the NSF Spectrum Week 2024 programming during DySPAN, you will be given an option to add NSF Spectrum Week 2024 access to your DySPAN registration during checkout. The additional fee is a nominal \$20.

If you are interested in attending the WSRD R&D Workshop on Friday, you will be given an option to add WSRD R&D Workshop access to your DySPAN registration during checkout. The additional fee is a nominal \$10.

IMPORTANT DATES

Workshop proposal deadline

~~September 20, 2023 (Extended)~~

Workshops selected

~~September 27, 2023~~

Tutorial submission deadline

~~November 21, 2023~~

Paper registration deadline

~~November 22, 2023 (ONE-TIME ONLY
EXTENSION)~~

Paper submission deadline

周波数アクセスの新たな地平を切り拓く、IEEE Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN) 2024国際シンポジウム。業界の専門家、学者、革新的な頭脳が世界中から集うこのシンポジウムは、無線周波数スペクトラム領域における先駆的な進歩と協力のためのプラットフォームとして機能する。

Mobile World Congress (MWC) 2024

- **モバイル通信の最先端技術の国際展示会@バルセロナ** (2700社の展示、205カ国から10万人以上が参加)
- **通信とAIの融合**を象徴。無線基地局の**低消費電力化**が重点テーマとして取り上げられる
 - NVIDIA主導の「AI RAN Alliance」の設立(日本からはSoftbankがFounding Member)
 - SKテレコム (韓国) 主導のAI-LLMを共同で開発する合併会社の設立 (日本からはソフトバンクが参画)
 - O-RANの動向：NTTドコモとNECによるオープンRAN合併会社「OREX SAI」の設立
EricssonによるOpenRAN仕様準拠の無線機 (RU) の展開や統合デモの実施
MavenirのOpenBeamの新ラインナップの展開等、RAN界限でも大きな動きを見せる



Global Telco AI Alliance
(SKテレコムブースより)



AI-RAN ALLIANCE
(ソフトバンク社プレスリリースより)



Huawei、NOKIA、Ericssonの出展ブースの様様

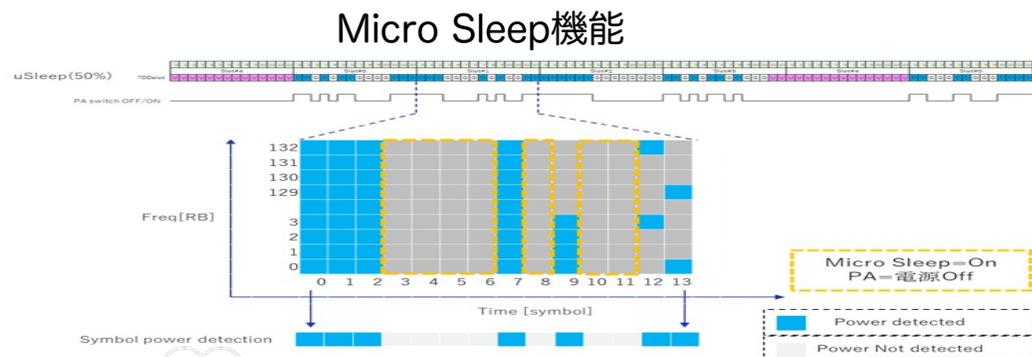
情報通信で注目すべき半導体の利活用

AIの通信への適用が加速

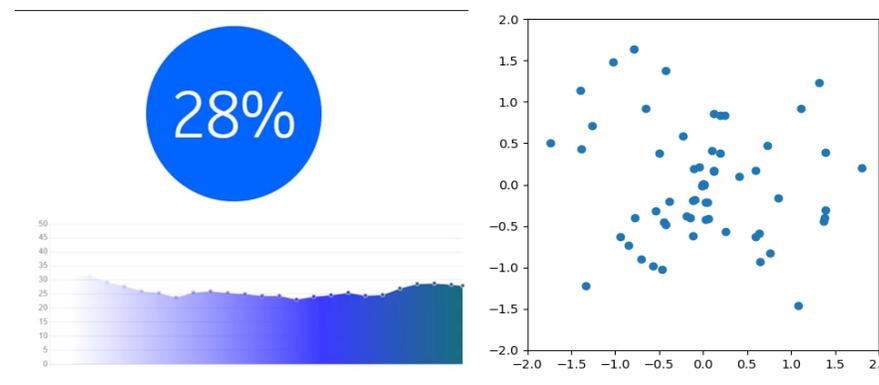
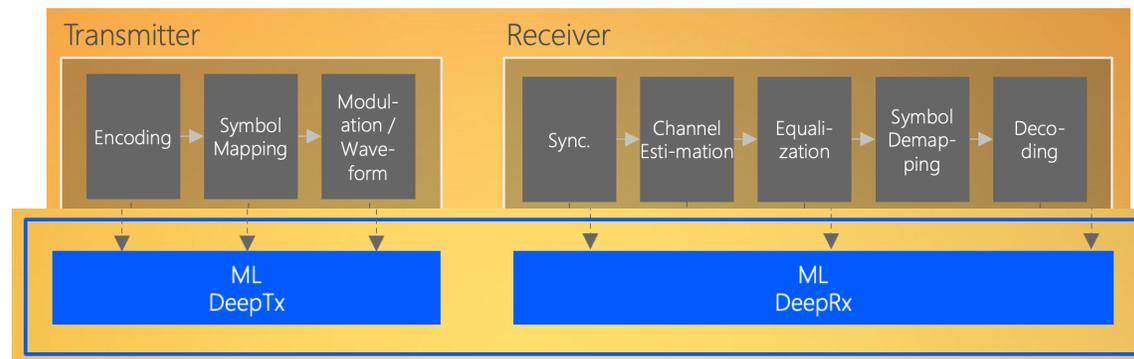
- 障害予測・障害検知 (かなり進んでいる)
- 高度信号処理 (mMIMOなど高度並列処理)
- セル間協調 (Inter-Cell Coordination)
- AI-Native Air-Interface (30%向上)
- 通信とセンシングの融合 (JCAS)

低消費電力化

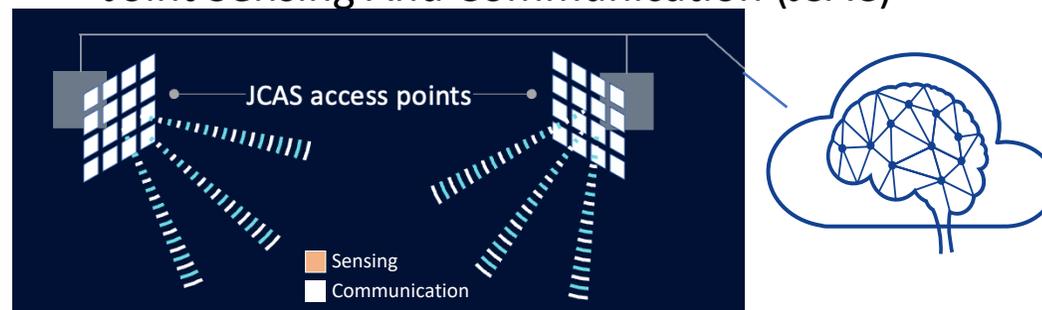
- 通信量などに応じて柔軟に基地局機能オンオフする技術
 - 時分割多重での通信のない微小時間の増幅機オフ (MicroSleep)
 - 無線通信リソースブロックを再配置して増幅機オフ (Deep Sleep)



出典: 楽天 O-RAN RIC 2024



Joint Sensing And Communication (JSAC)

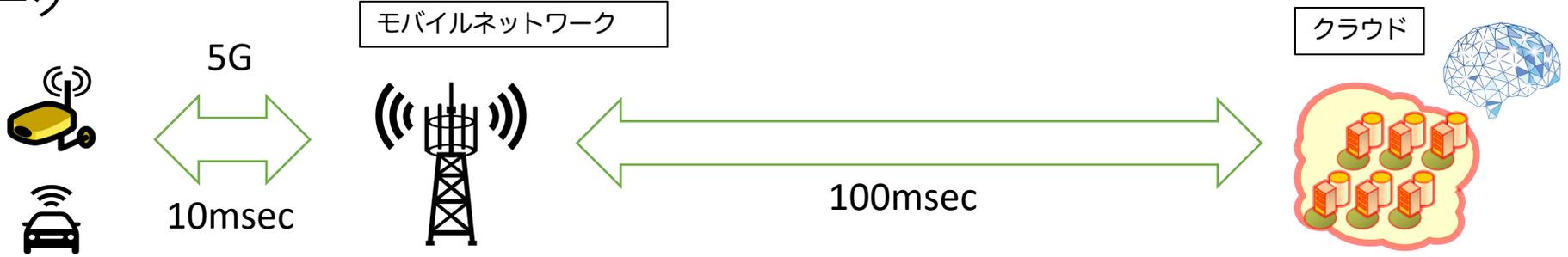


出典: Peter Vetter, NOKIA, 国際カンファレンス2024

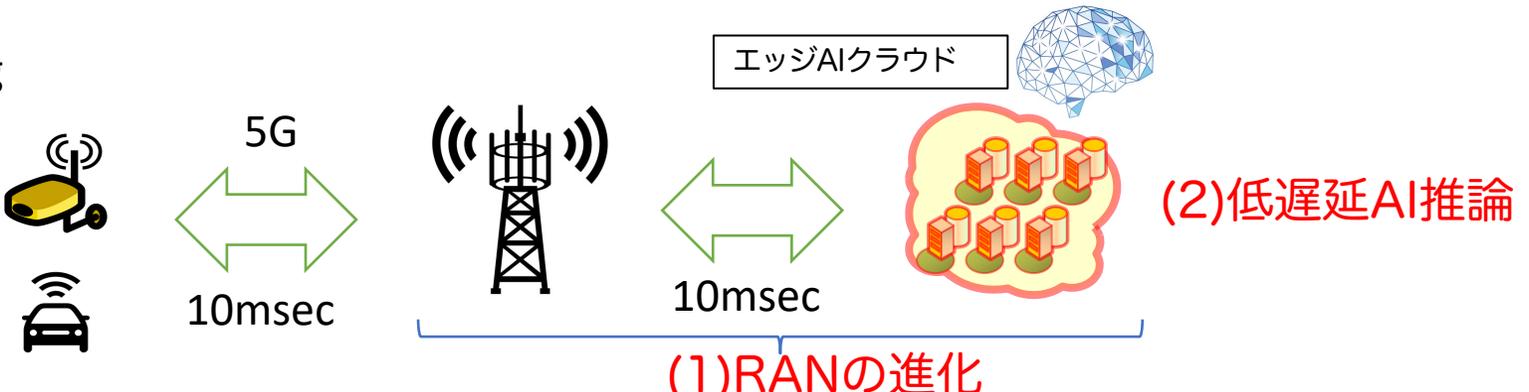
半導体を「繋ぐ」通信技術が重要

- AI半導体エッジのAIを活用するための通信関連技術の進化が必要
特に、**エッジAIコンピューティング**が重要
- エッジAIを(1) **RANの進化** (2)収集したデータからの**低遅延AI推論**の両方に活用
- キャリアはRANへの継続投資をサステナブルにすることが目的

従来5Gネットワーク



AI Edge Computing



AI-RAN Alliance



[Our Mission](#)

[Our Vision](#)

[News](#)

[Contact Us](#)

Redefine what networks can transform

We utilize AI for the enhancement of RAN performance.

We build infrastructure where AI and RAN can share information and collaborate.

We enable new AI applications to run on RAN.

Smarter connections to sustain human progress.

[LEARN MORE](#)

Founding Members



東京大学は、2024年4月20日、AI-RAN アライアンスに創立メンバーとして加盟しました。日本の大学としてAI-RAN アライアンスに加盟するのは本学が初めてとなります。

AI-RANアライアンスは、Amazon Web Services, Inc. (AWS) 、ARM、DeepSig Inc. (DeepSig) 、Telefonaktiebolaget LM Ericsson (Ericsson) 、Microsoft Corporation (Microsoft) 、Nokia、Northeastern University、NVIDIA、Samsung Electronics、ソフトバンク株式会社 (ソフトバンク) およびT-Mobile USA, Inc. (T-Mobile) により2024年2月に設立が発表されました。

AI-RANアライアンスは、AIを駆使して、モバイルネットワーク(RAN: Radio Access Network)の効率性をグローバル規模で向上させ、ネットワークによる消費電力を削減し、既存のインフラを改善することで、5Gおよび6Gに向けて、AIを活用した産学連携により新たなビジネスの機会を創出することをミッションとしています。

AI-RAN アライアンスの目指すミッションは、複数の企業と大学が産学連携で取り組むことで最大の効果を生み出すことが可能です。AI-RANアライアンスからのアカデミアへの期待も大きく、本学が加盟する意義があると考えます。今回のAI-RAN アライアンスへの加盟により、AIと情報通信の融合により、未来社会に必須の効率的で堅牢なライフラインとしての情報通信基盤である「次世代サイバーインフラ」の研究開発を促進し、東京大学が推進する国際産学連携による技術の社会実装と未来社会のための新たな価値の創造への更なる貢献を目指します。

ローカル5G（誰でも専用の5Gを整備可能！）

- 地域や産業の個別のニーズに応じて、**地域の企業や自治体等の様々な主体が柔軟に構築可能。**
- 通信事業者の**エリア展開がすぐに進まない地域**でも**5Gシステムを構築・利用可能。**
- 他の場所の**通信障害や災害、ネットワークの輻輳**などの影響を受けにくい。

スタジアム運営者が導入
eスタジアム



医療機関が導入
遠隔診療



CATVで導入
4K・8K動画



ゼネコンが建設現場で導入
建機遠隔制御



事業主が工場へ導入
スマートファクトリ



自治体による
テレワーク環境の整備



自治体等が導入
河川等の監視

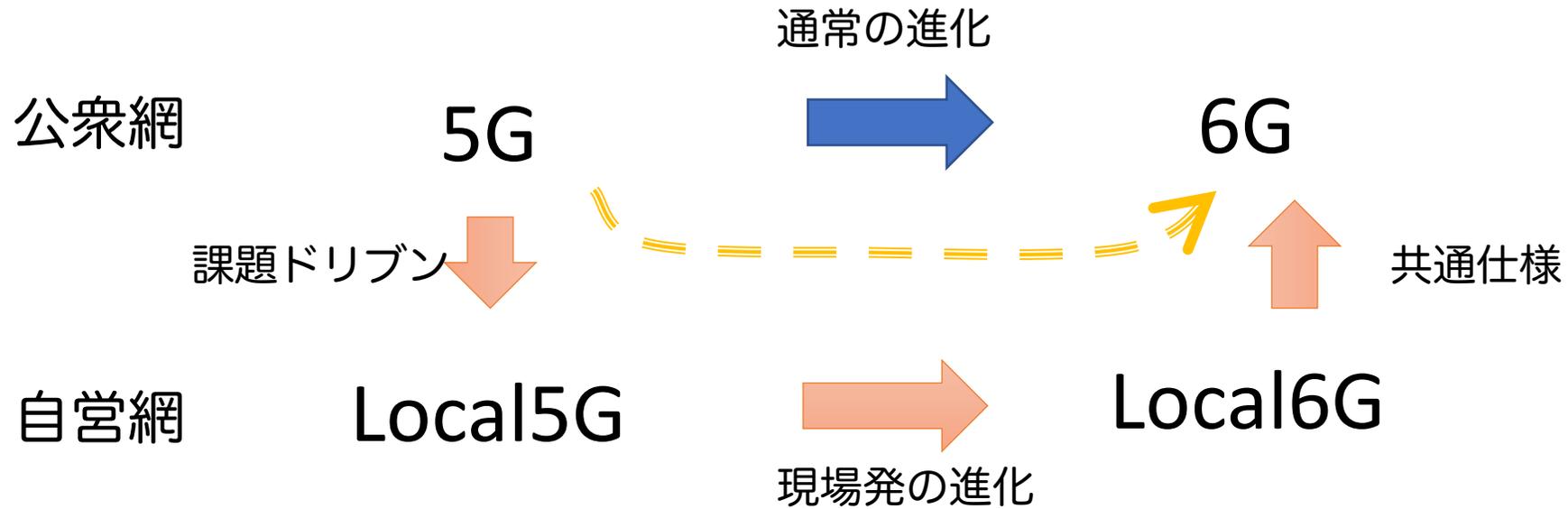


センサー、4K/8K

農家が農業を高度化する
自動農場管理



6Gは「情報通信の民主化」 Local6G から始まる



「現場発の仕様が革新を起こす」

アクションアイテムリスト

- 価格破壊・自営網展開キット (L5G-IAB; Local 5G-In A Box)
- 低消費電力基地局
- 衛星Local5G通信
- アプリケーションスライシング
- カスタムセキュリティ・堅牢化
- AIによる運用自動化
- Local5G Federation Roaming

「隣の芝が青く見える」戦略

成功事例（Good Practice）の周知

- ローカル5Gをはじめとする情報通信が地域のライフラインである一方で「どのようにローカル5Gを使うべきか」の理解が追いついていない
- 百聞は一見にしかず」で、普段、一般の方々が容易にアクセスできる場所に一極集中投資で「ローカル5G楽園」を創り、5Gのインフラ利用を常時実体験する機会を提供、Good Practice の情報共有
- 5Gの素晴らしさをみた（隣の芝生が青く見えた）一般の方々が自分の「庭」に5Gのインフラ整備をするための投資加速
- 総務省ローカル5G実証事業は国民理解を促進する上で秀逸の施策の一つでさらなる投資が必須であるが「継続性」「常時性」を重視すべき



ローカル5G普及展開の「3つの鍵」と「ステークホルダー」

1. ローカル5G整備の容易性向上（インフラ事業者・政府視点）

- お試し利用のための免許取得容易性向上
- 通信事業者・他事業者との干渉調整が不要なエリア（過疎地等）での免許簡素化
- 特にローカル5G普及加速が社会的価値を生む地域へのローカル5G特区の設定
- 通信事業者の5G展開が困難な地域での拡張カバレッジ支援
- ドローンでのローカル5G利用（特にTDD）
- 新たな周波数(FR3 7-15GHz)の割り当て

2. 端末・ローカル5G基地局の低廉化と普及（インフラ事業者・ユーザ）

- 地域への導入コストを低減する支援
- 普及型の5G端末やローカル5G基地局の研究開発投資

3. ユースケース 拡大（サービス事業者・ユーザー・全ステークホルダー）

- ローカル5G実証事業へのさらなる投資拡大
- モデルケースへの投資・「隣の芝が青く見える」戦略
- 成功事例（Good Practice）の周知のための情報共有の支援（<https://go5g.go.jp>を更に拡充する等）



プレスリリース NEC、東京大学、NECプラットフォームズ、ローカル5Gを活用した 移動・自律運用可能な通信ソリューションの実証機を開発

研究 2023

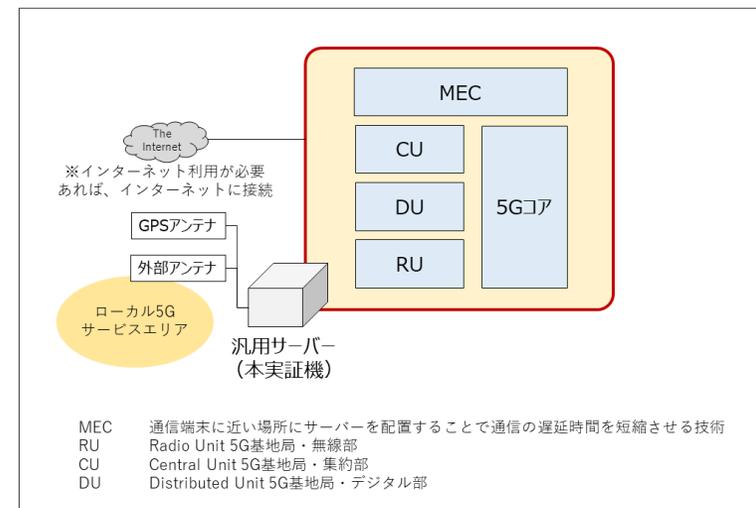
2023.03.31



(株) FLARE SYSTEMS (東大ベンチャー) から、インターネット直結で
すぐに使える、小型・低消費電力・高性能なインターネット直結型ローカ
ル5Gシステムとして販売・iPhone接続可能！

■特徴

- ・ **ローカル5Gの基地局・5Gコア・MECを一体化**
- ・ ソフトウェアベース、迅速に機能アップデートが可能
- ・ 屋内利用（屋外での利用は別途ご相談）
- ・ 省スペース・低消費電力
 - 出力 : 1 W × 4 Port
 - サイズ :
(幅) 130× (高さ) 189× (奥行) 357mm
 - 重量 : 約6.2 kg
 - 消費電力 : 約90W AC100V
- ・ 準同期方式に対応(TDD1/2/3)



小型ローカル5G実証機イメージ

(幅) 130× (高さ) 189× (奥行) 357mm

荒川下流域（岩淵地区）での国土交通省実証実験による測定結果
高性能（高出力：1 W × 4 Port）な性能により、実際のフィールドにおいて
本システムとローカル5G端末の間が1 kmの距離で通信ができることを実証

持ち運びができる コア一体型のローカル5Gシステム ～大容量通信・低遅延・信頼できる 業務無線ネットワークを構築～



コア一体型の設計で可搬性を実現

5Gコアまで含めてオールインワンの構成により、1台置くだけでローカル5Gネットワークを構築できます。複雑な構築作業は不要、電源を入れるだけでお使いいただけます。

また、小型筐体・150W程度の低消費電力の実現により、電源常設がない場所でも、市販のポータブル電源等で稼働できます。

小型なのに高性能

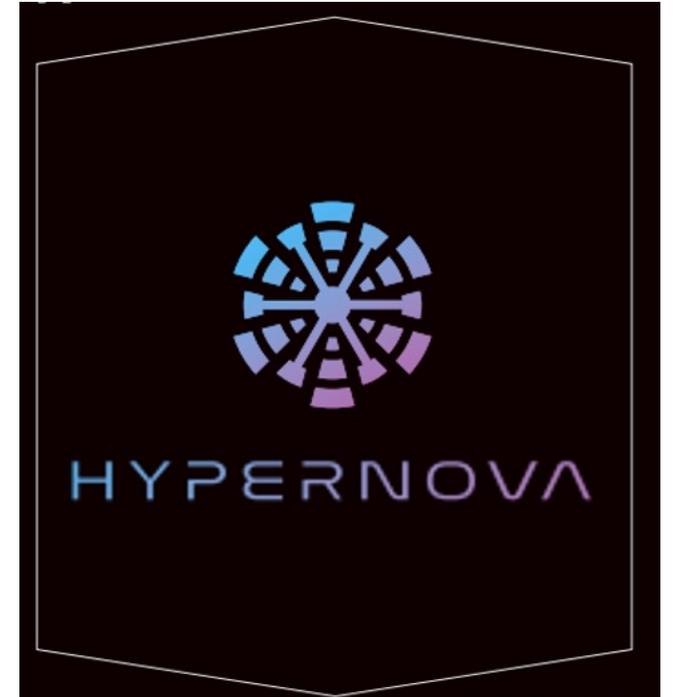
高出力で約300～500mの中規模エリアを構築。また、700Mbps超※の超高速アップリンク通信を用いて、低遅延な高精細映像伝送を可能にし、高画質のストリーミング配信や映像視聴等において、快適なユーザーエクスペリエンスを実現できます。

※TDD(※5)パターン3の場合

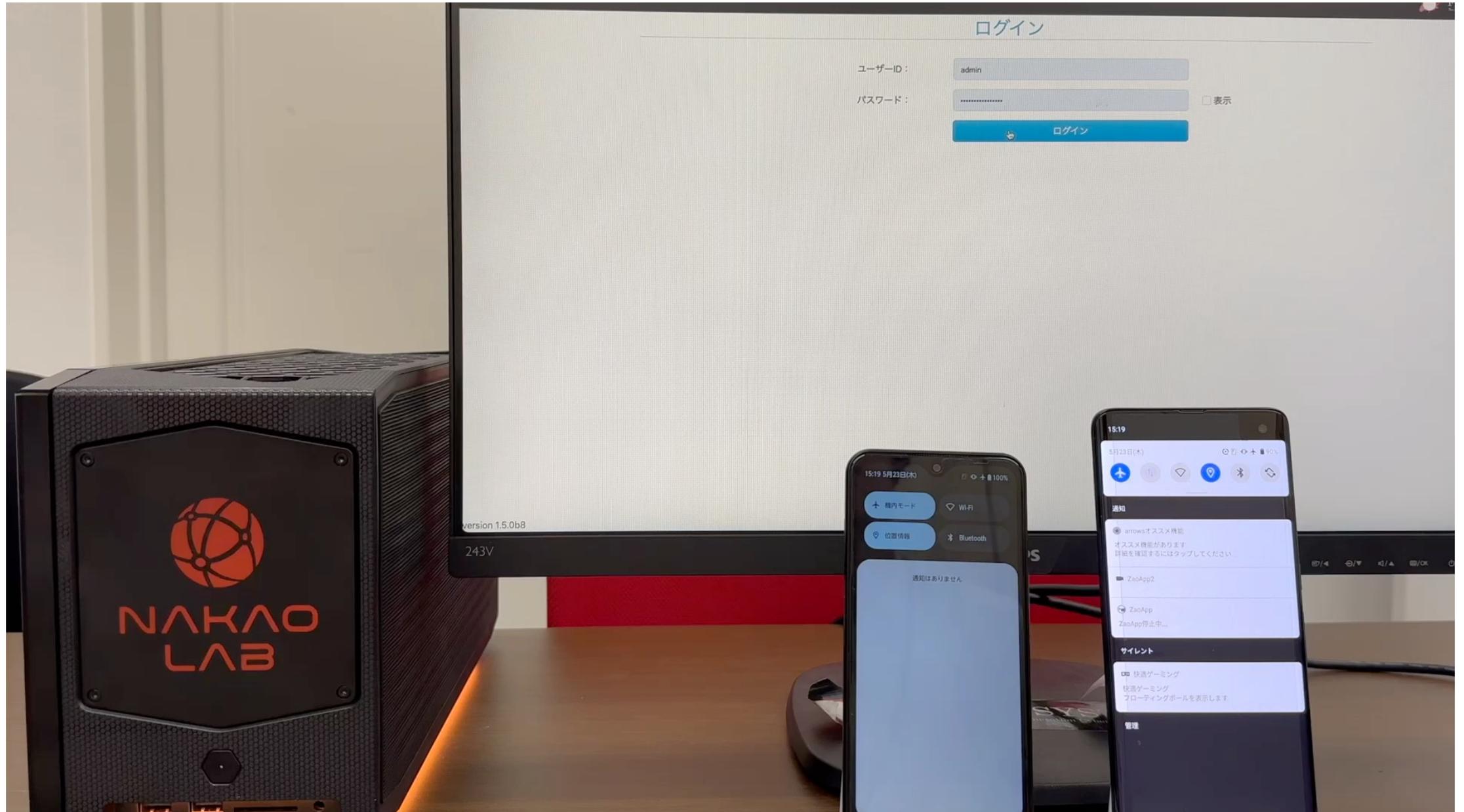
ソフトウェア実装のため無線のカスタマイズ性が高い

ソフトウェア無線（SDR（※4））技術の活用により、3つのTDD（※5）準同期パターンに対応できます。ご利用の目的に応じて、最適な無線通信環境をお選びいただけます。

また、本システムは新たな機能追加や性能向上等、迅速に最新の通信規格へ対応できます。



運用上のセキュリティの確保と管理自営化を実現可能



プレスリリース

研究 2023

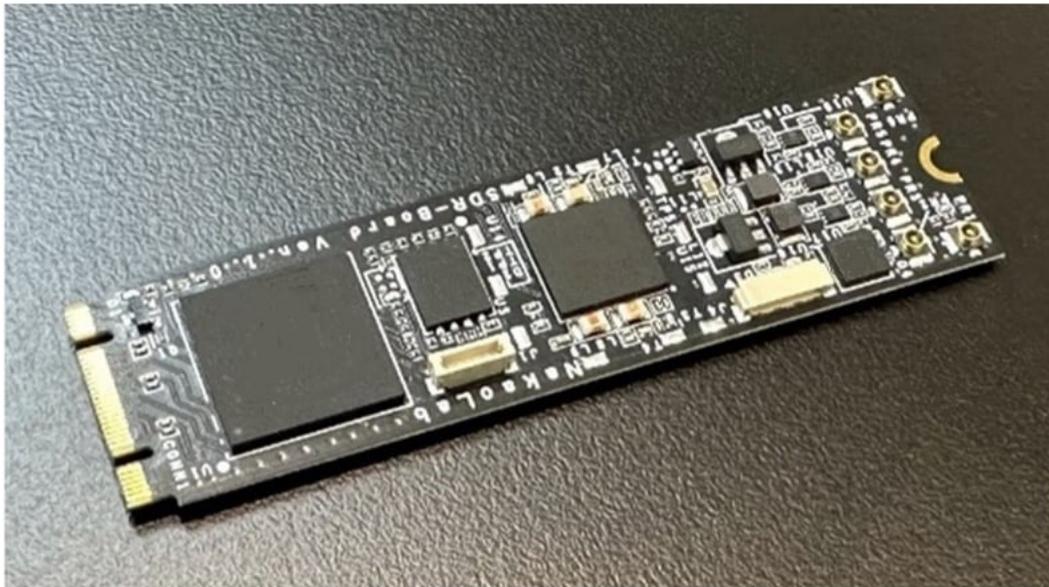
2023.03.24

超小型ソフトウェア無線ボードの開発

—ソフトウェア拡張により進化するプログラマブル基地局の開発を加速—

発表のポイント

- ◆次世代通信規格の開発に対応する“超小型”ソフトウェア無線（SDR）ボードの開発に成功しました。
- ◆M.2の規格のインターフェース、超小型（縦80mm 横22mm 厚み 約5mm（基板厚0.8mm））に対応し、5Gや次世代の通信プロトコルをプログラム可能なボードを開発しました。
- ◆SDRを活用した5G/B5G通信機器による実証において有用性の確認、検証を通じ、社会的課題の解決、潜在ニーズの探索や価値創出を加速します。



■特徴

- 超小型： M.2の規格に対応。縦80mm 横22mm 厚み 約5mm（基板厚0.8mm）
- ▷ソフトウェアによる動作周波数変更や機能追加等のカスタマイズが可能
- ▷5G基地局として動作を確認：汎用シングルボードコンピュータ（SBC）との組み合わせにより、5G基地局(Sub6)や端末として動作可能
- ▷複数枚を連携動作させて広帯域プロトコルの実装が可能

NICT（国立研究開発法人情報通信研究機構）Beyond 5G研究開発促進事業委託研究
研究開発課題名：継続的進化を可能とするB5G IoT SoC及びIoTソリューション構築
プラットフォームの研究開発（採択番号：00801）の支援により実施されました。

超小型ソフトウェア無線：SDR

プレスリリース 小型・低コスト・低消費電力・柔軟性・迅速展開性を備える ローカル5Gシステムを開発 —超小型ソフトウェア無線(SDR)ボード搭載—

研究 2023

2023.04.25

発表のポイント

- ◆小型（幅）173.2 ×（高さ）66 ×（奥行）274.2mm（A4判書籍の約3/4のサイズ）で屋外にも迅速に設置可能な低消費電力（約75W）のコア一体型、ローカル5Gシステムを開発しました。
- ◆先般開発を発表した超小型ソフトウェア無線（SDR）ボードを市販の汎用シングルボードコンピュータに組み込み5G機能を実装することでコスト低廉化とソフトウェアによる機能追加の柔軟性を実現しています。
- ◆実証により本システムの有用性の確認・検証を行い、社会的課題の解決、産業振興の可能性の探究、未来社会における価値創出などを加速します。

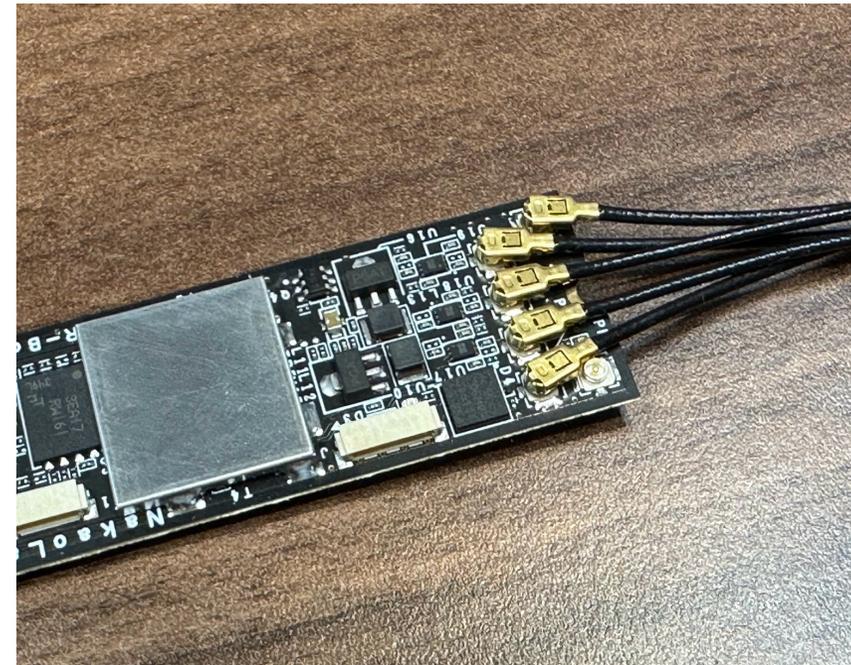


■特徴

- 電波周波数4.7-4.9 GHz（Sub6）の内100MHz幅
- 出力1chあたり最大1W（2ch合計 最大2W）
- MIMO（注6）拡張方式 2T2R（2 layers）
- 準同期TDD（注7）方式 1、2、3を全てサポート
- IP67防水・EMIシールドにより屋外設置可能
- MEC（Multi-access Edge Computing）対応
- 電源AC100V（定格120W）
- バックホール Ethernet 1GbE x 2ポート（PoE対応予定）

NICT（国立研究開発法人情報通信研究機構）Beyond 5G研究開発促進事業委託研究
研究開発課題名：継続的進化を可能とするB5G IoT SoC及びIoTソリューション構築プ
ラットホームの研究開発（採択番号：00801）の支援により実施されました。

5Gマイクロセル実験用SDR-BOX (m.2 SDR x 2, 100MHz @ DC-6GHz)



Signal I/O

- GPS
- 100MHz Sub6GHz
2ch Wireless Signals
 - TX1, RX1
 - TX2, RX2



必要とされる人を必要とされる場所に瞬間移動
あらゆる物に変身して能力拡張

◆ ソリューションとサービスコンセプト



avatarin 自社開発

コミュニケーション型
アバターロボット

移動時間・距離・制限を超えて
意識や存在感を瞬間移動



- ◎ 専用クラウド
- ◎ 専用プロトコル
- ◎ 専用基盤
- ◎ 国内製造



愛知県

- 遠隔課外授業や MICEでの利用実証 (キャリア5G利用)
- 観光施設での複数台接続実証実験 (ローカル5G利用)



宮崎県

- 介護老人ホームでの遠隔面会や外出の実証 (ローカル5G利用)
- 介護老人ホームでの遠隔健康観察の実証 (ローカル5G利用)



ローカル5Gの優位性が確認できるユースケース

地域の空港内の省人化



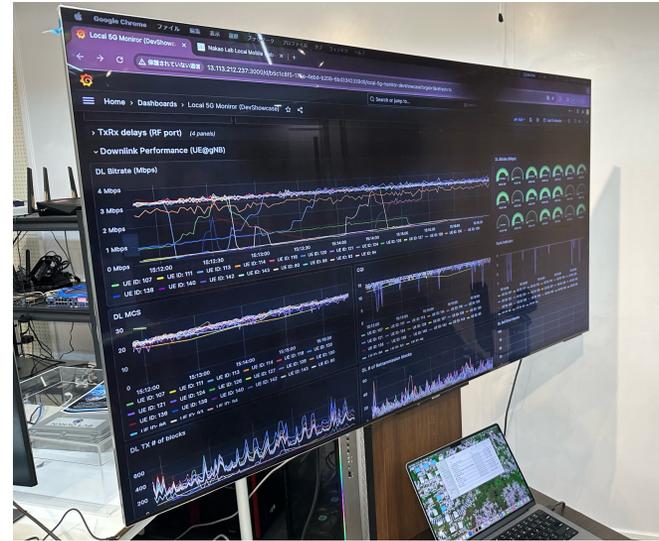
八丈島空港



アバターロボット x 15台の同時接続

15 Robots in Operation

Local5G Basestation



Sub6GHz (Band N79)
4T4R MIMO

4Gでの実証結果

XXXの到着口でのアバターロボット実証のQOS



通信（ロボット）：
キャリア 4G
band
19(800MHz)

通信（PC）：
光回線（自社）

- ローカル 5Gの有効性を確認
- 地方空港でも混雑度

到着前

13:15 到着後

L5Gでの実証結果

XXXの到着口でのアバター-ロボット実証のQoS



通信量

変化なし

遅延量

到着前

12:59 到着後
到着

通信 (ロボット) :
L5G(東大)
通信 (PC) :
光回線 (自社)

- 到着前後で通信量や遅延量
- ローカル 5Gの有効性を確認
- 地方空港でも混雑度

4G及びL5Gでの比較

- ローカル5Gについては、到着前後において、通信量及び遅延量においては大きな変化は見られなかった（安定したロボット運用を行うことができた）

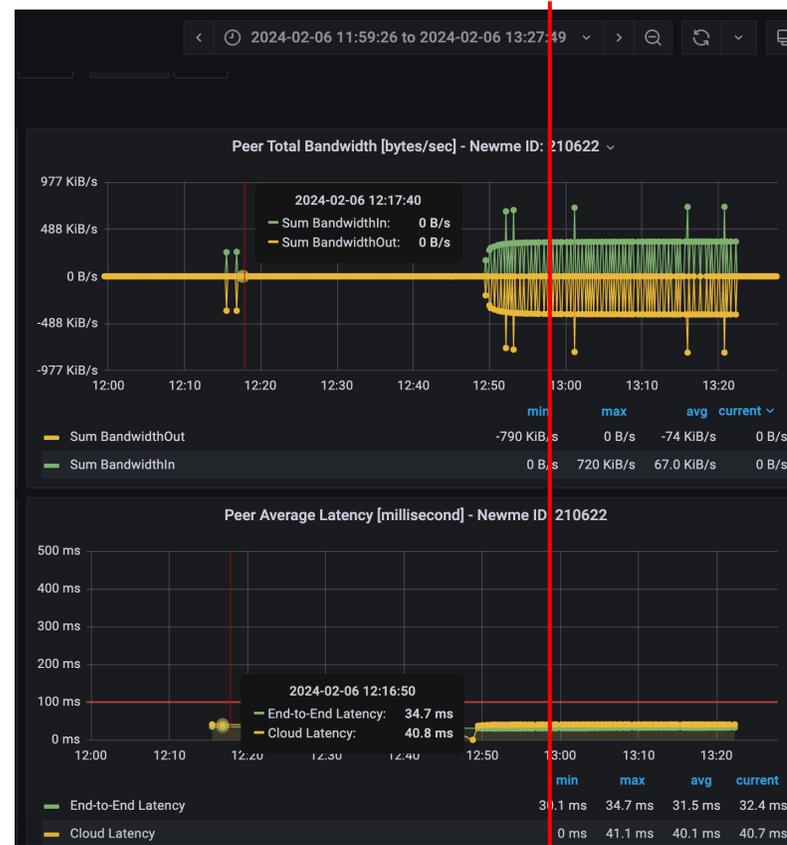
通信キャリアの4G通信



通信量

遅延量

ローカル5G

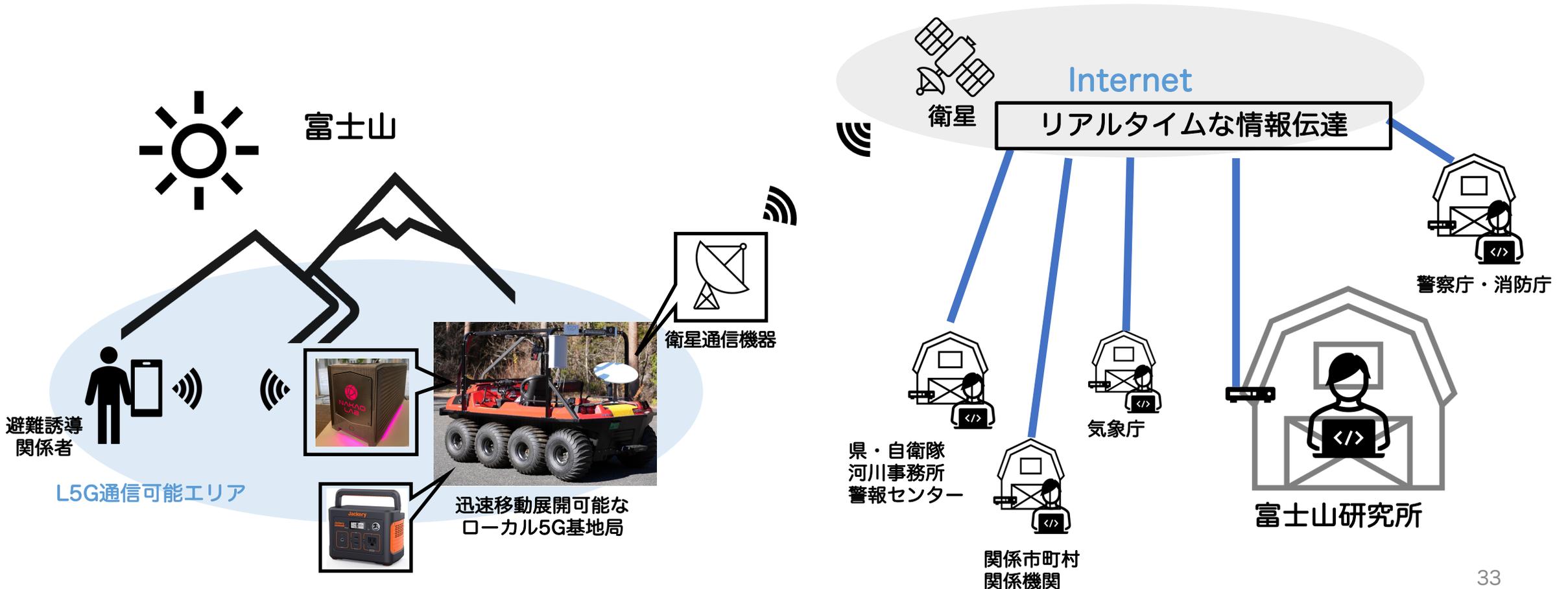


到着前

到着後
到着

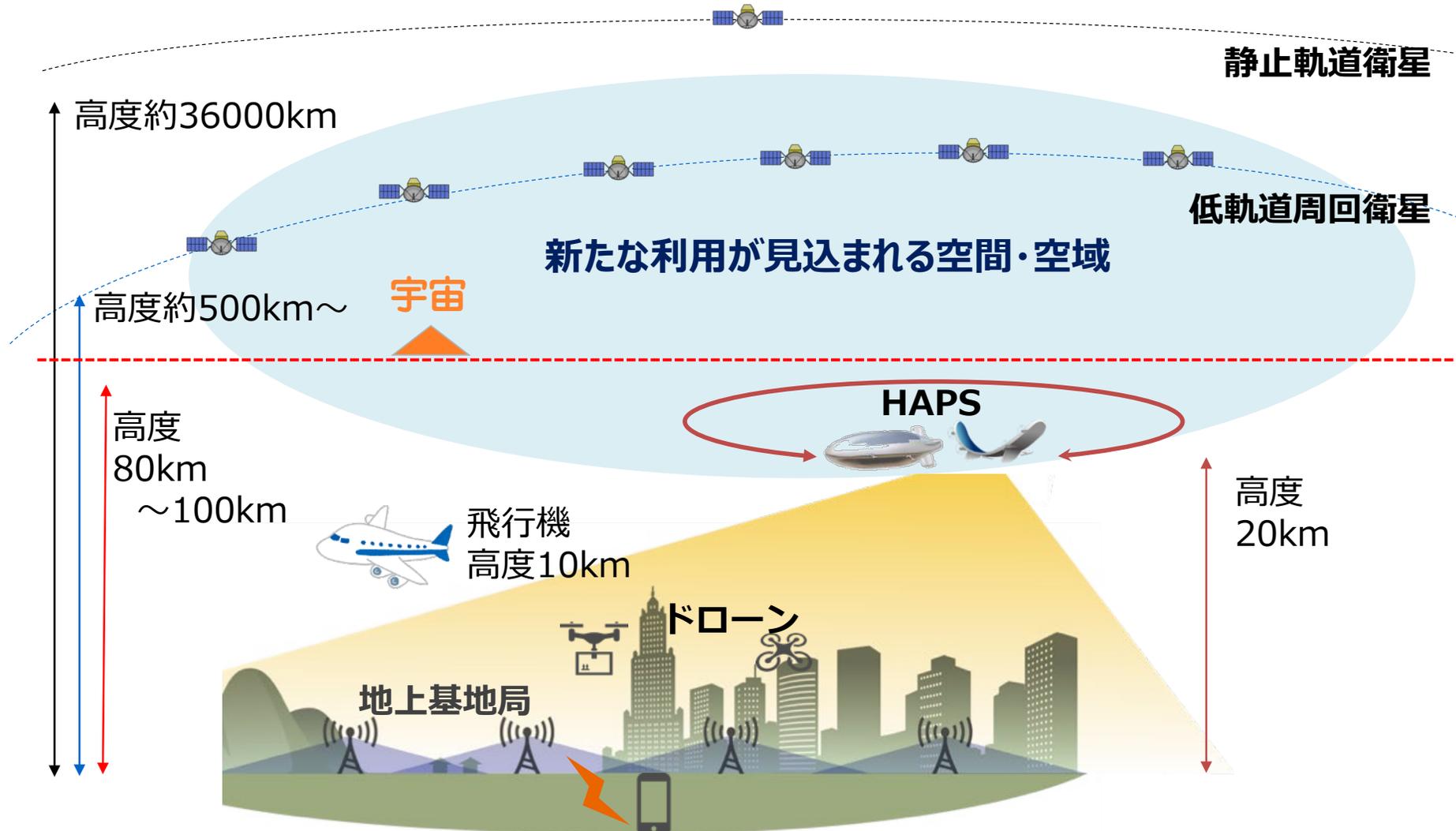
迅速移動展開可能なローカル5Gと衛星通信を利用した富士山におけるリアルタイム情報伝達システム

- 富士山の斜面を走行可能なバギーにシステムを実装し、迅速移動展開可能な通信インフラを実現
- 被災時における、ローカル5Gの広域通信を活かした救出活動、避難誘導に繋げる仕組みの確立

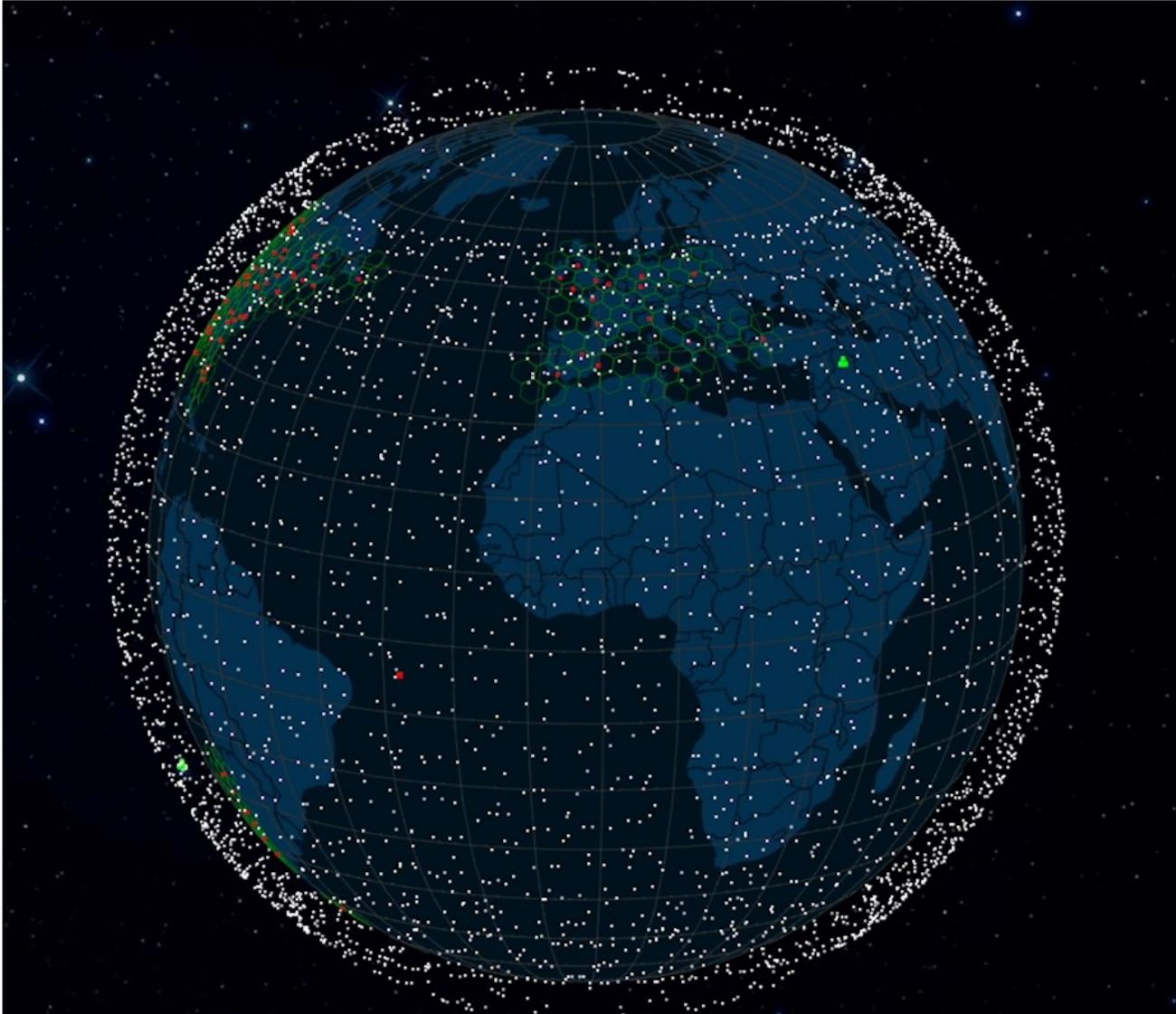


非地上系ネットワーク (NTN)の整備

- 携帯電話事業者等においては、安全・信頼性の確保やBeyond 5Gに向けて、衛星・HAPSによるNTN（非地上系ネットワーク）の整備に向けた検討が行われており、また、必要な研究開発等も行われている。



低軌道衛星によるインターネットサービス Starlink



スターリンクはスペースXが運営する低軌道衛星インターネットサービスである。地球上のほぼ全域での高速・低遅延の衛星インターネットアクセスを可能にする。

現在4000機を超える小型衛星で構成されている。小型化・量産化により製造と打ち上げのコスト削減を実現した人工衛星を経由して、利用者が所有する**専用の無線通信端末キット**と各国に設置された地上ステーションを結び、ユーザー居住地の地上インフラに依らない低価格での衛星インターネットアクセスサービスを提供する。

コストは総額で100億ドル以上（1.4兆円）

<https://ja.wikipedia.org/wiki/スターリンク>





2023.1014-1015

愛媛県今治市、東京大学と日本IBM

しまなみ海道の島でのテクノロジーと臨床知を学び合う「しまなみ学び・交流の場」事業で連携

2023年5月29日、愛媛県今治市、国立大学法人東京大学大学院工学系研究科・工学部（以下、東京大学）と日本アイ・ビー・エム株式会社（以下、日本IBM）は、しまなみ海道に浮かぶ大三島を舞台に、テクノロジーと臨床知の学び合いをテーマとした「しまなみ学び・交流の場」事業を行う連携協定を締結したことを発表しました。

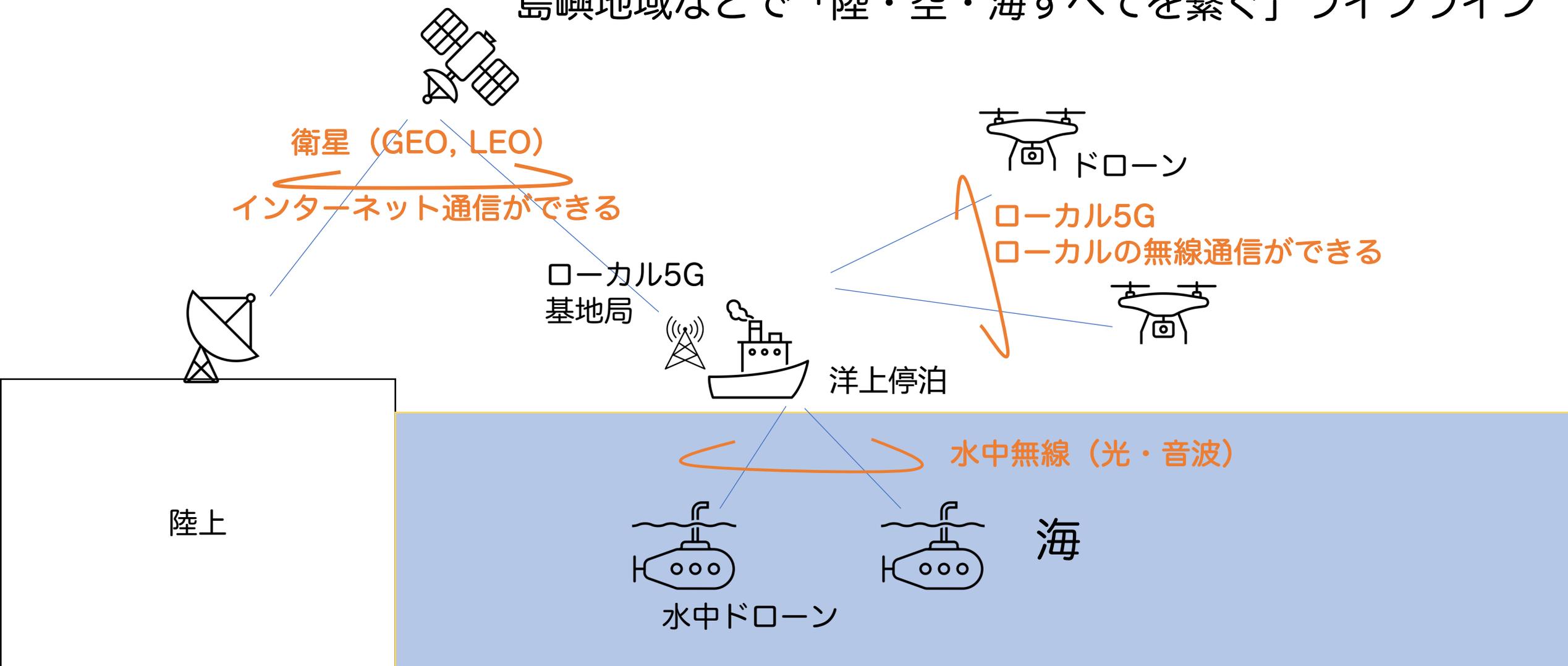


洋上ローカル5G電波伝播実験



愛媛県今治市・東京大学連携：海における未来の通信の構想

島嶼地域などで「陸・空・海すべてを繋ぐ」ライフライン



洋上・ドローンにおけるローカル5G基地局の運用など法制度の整備に期待が集まる

産学官民すべてのステークホルダを巻き込む多様性と包摂性

- 同志国連携・政府間による技術・制度の方向性のシナジーの形成
 - Open RAN、光、仮想化・ソフトウェア化、高周波利用
 - Pre-Standardization
 - 国際産学連携
- 先進的な電波利用制度の国際発信・パートナー形成
 - ローカル5G・ローカル6G（フィンランド）
- 先進的ユーザーの早期取り込み（バーティカル）
 - 産業政策は先進的ユーザーが不在では成立しない
 - ユーザーが「主役」だと考える
- 異分野連携のサイバーインフラ整備による国力の増強
 - 技術連携（AI/半導体（光電融合）/量子）
- 人材育成・Work Force Development
 - 国際的に活躍する人材の育成