

公平・能率的な電波利用に向けて

2024/3/29

東京大学大学院工学系研究科

中尾彰宏

「情報通信・情報科学」の学術に基づき

「未来社会を支える次世代サイバーインフラの創成」に取り組んでいます

東京大学大学院工学系研究科 教授 中尾彰宏



★なぜ次世代サイバーインフラは重要なのか？

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は記憶に新しい
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
これからの国家の命運を左右する「**人類のライフライン（生命線）の研究開発**」

★どんな技術が必要なのか？

(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)

大容量・超低遅延・超多数接続に加えて、**低消費電力、安全性（量子通信）、拡張性（宇宙・海洋）、自律性（機械学習・AI）**
などの通信の特徴を飛躍的に進化させる次世代の情報通信技術（Beyond5G/6G、ローカル5Gなど）が必要です。

★例えば、どんな価値を創造するのか？



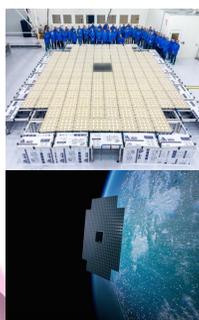
超臨場感通信

物理的な移動制約を解消し
その場にいるような臨場感を与えます



国土の通信カバー率100%へ

現在の通信カバー率は70%
残り30%の不感地帯で生命維持に支障
端末が直接、低軌道衛星に繋がる通信を提供



安全・安心な地域社会

通信が脆弱（ぜいじゃく）で遭難者続出の
富士山地域にローカル5Gを導入し生命維持
技術が社会に受け入れられるか確認
地域創生から社会経済の底上げを実現



AIによる堅牢ライフライン

柔軟にプログラム可能な通信機器
計算と通信を融合させて
AIを用いて障害予測・自動回復

★グローバルで研究活動を推進

人類にとって情報通信がもたらす「**価値**」は**グローバルで共通**。価値を創造する知恵を得るため**国際連携を積極的に進めます**。

近年のユースケースから検討すべき電波政策のポイント

- 「サイバーライフライン」としてのBeyond5G/6G（拡張性・自律性・低消費電力）
 - 周波数の利用拡大に加えて、同時に使う（マルチバンド）技術・AI活用の動的周波数共有が重要
 - NTNと地上の接続の重要性
 - IoT用途のため地上局（センサー）が発出する電波の宇宙での受信に関する整理が必要
- 次世代サイバーインフラのユースケースは「インクルーシブ」（包摂的）にみんなで開拓する
ローカル5Gはビジネス・ユースケース開拓に非常に重要なツールとしても有益
 - さらなる規制の緩和・新周波数の割当と実証実験から社会実装への支援が必要
- 国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進
 - キャンパステストベッド・電波利用特区の設定
 - ローカル6G（NRセンチ波利用・AI活用の動的周波数共有など）
 - R&D専用バンドの新設（SugG, Sub6G, cmW, mmW, subT）
次世代LPWAに最適なSubG（VHigh）帯の割り当て

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

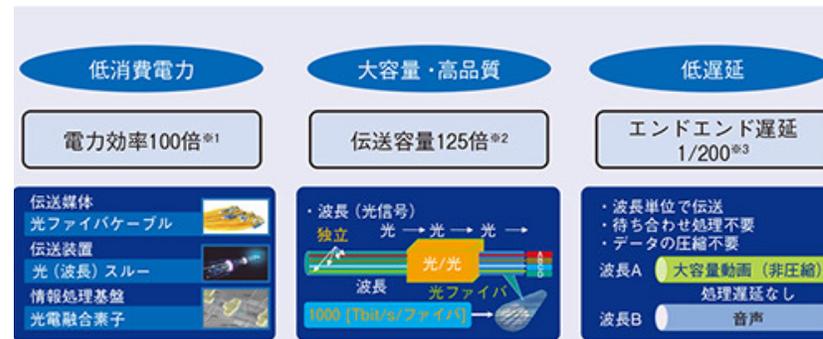
- APN (All Photonics Network)の低遅延・省電力
- NTN (Non-Terrestrial Network)による拡張性
- OpenRAN・仮想化による相互接続性
- AIによる障害検知・低電力化・トラフィック制御
- Sub6, ミリ波に加えサブテラ波・**センチ波**を全て利用し大容量と接続性の両立
- ローカル5G/6Gによる自営網の発展
- ソフトウェア化(Software Defined Radio)

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

APN (低消費電力・大容量/高品質・低遅延)



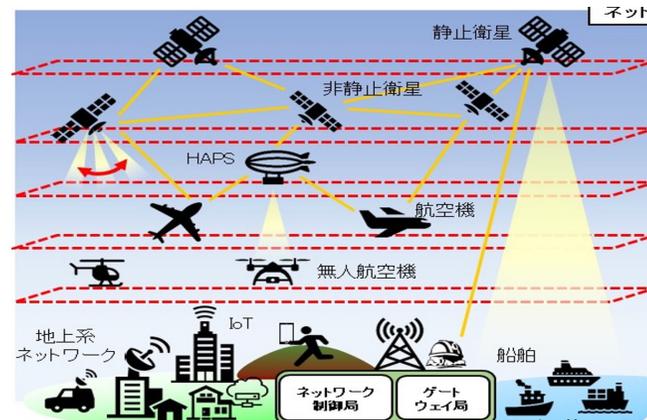
出典：NTT

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



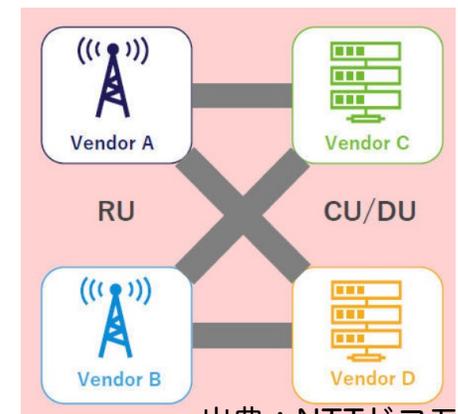
出典：NOKIA

NTN (LEO, GEO, HAPS)



出典：NICT

OpenRAN (異ベンダー相互接続)



出典：NTTドコモ

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



HOME ABOUT COMMITTEES AUTHORS PROGRAM REGISTRATION HOTEL / TRAVEL PATRONS / EXHIBITORS Search



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。

SPIFにおける宇宙利用(NTN)の推進

一般の国民からの宇宙利用（NTN利用）の関心が強まってきている
ビジネスの観点では、ライフラインとしての衛星ブロードバンドの他、IoTのユースケースに民間の期待が集まる



まずは、**衛星で地上の電波を傍受する場合の扱いの整理**が必要

- 地上で完結した免許不要システムの電波を偶発的に衛星で受信する場合は問題がないと考えられる
- 積極的に受信を行う場合は更なる整理が必要
- 電波法59条（窃用）に留意

ただし、宇宙に向けて積極的に発信する場合は、周波数割り当て計画上、宇宙業務として整理するべきである



(参考)

IoT通信の検討の整理

- IoT通信について、今年度の講演等を振り返り、ポイントを整理した。
- 海外動向から、海外では既に衛星通信を利用したM2M/IoTサービスが多数展開されている現状を確認。
- ユースケースは農業・輸送・貨物・防災・海上利用等があることや、災害の多い地域ではセンシングが重要である点を確認。地上系で扱うIoTとの差別化が重要である点を確認。
- 通信インフラについて、端末には衛星端末によるバックホールに加え、地上用LPWA端末利用が登場している点を確認。
- 周波数帯は900MHz帯（LoRaWAN）・VHF・UHF帯、L帯、S帯、Ku帯等があり比較的低周波数帯（LoRaWANなどは地上の漏れ電波を衛星で受信する可能性）。
- サービスについて、LoRaWANとLEOの小型衛星のネットワークといった構成で比較的低コストにインフラを実現可能であることを確認。ライドシェア方式との連携の可能性について意見あり。
- 地上端末の無線局免許について、各国のファクトの比較や、電波行政と整合して進める必要がある点を確認。

近年のユースケースから検討すべき電波政策のポイント

- 「サイバーライフライン」としてのBeyond5G/6G（拡張性・自律性・低消費電力）
 - 周波数の利用拡大に加えて、同時に使う（マルチバンド）技術・AI活用の動的周波数共有が重要
 - NTNと地上の接続の重要性
 - IoT用途のため地上局（センサー）が発出する電波の宇宙での受信に関する整理が必要
- 次世代サイバーインフラのユースケースは「インクルーシブ」（包摂的）にみんなで開拓する
ローカル5Gはビジネス・ユースケース開拓に非常に重要なツールとしても有益
 - さらなる規制の緩和・新周波数の割当と実証実験から社会実装への支援が必要
- 国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進
 - キャンパステストベッド・電波利用特区の設定
 - ローカル6G（NRセンチ波利用・AI活用の動的周波数共有など）
 - R&D専用バンドの新設（SugG, Sub6G, cmW, mmW, subT）
次世代LPWAに最適なSubG（VHigh）帯の割り当て

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



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>を更に選択的にする等）



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)



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



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) :
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

到着前

12:59 到着後
到着

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

ローカル5G

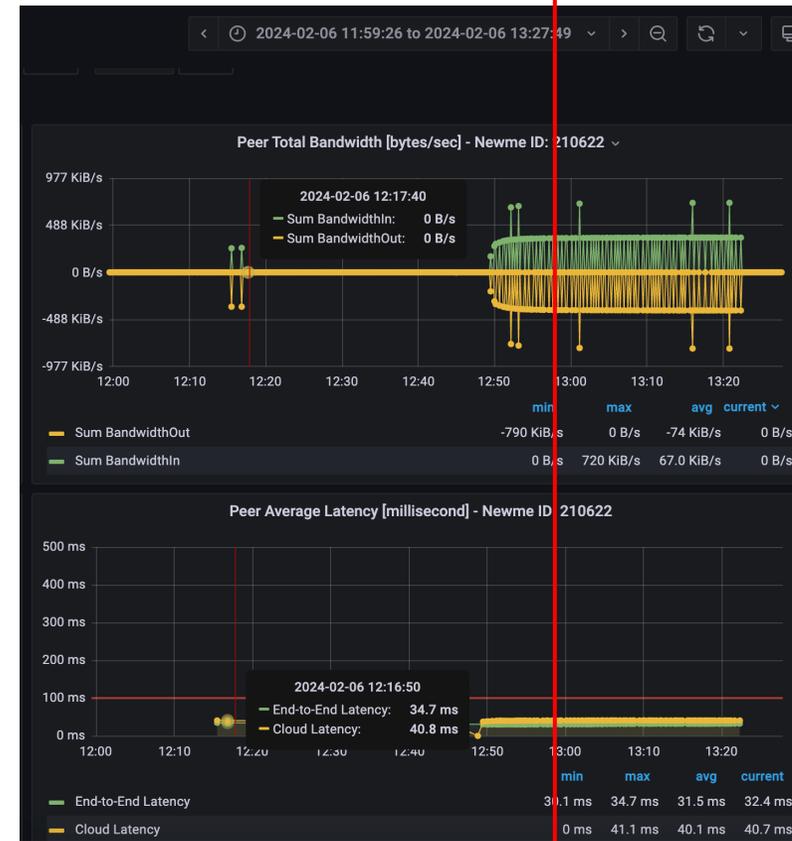


通信量

遅延量

到着前

13:15 到着後



到着前

12:59 到着後



プレスリリース

研究 2023

2023.03.31



(参考)

NEC、東京大学、NECプラットフォームズ、
移動・自律運用可能なローカル5Gの実証機を開発

小型ローカル5G実証機

(幅) 130× (高さ) 189× (奥行) 357mm

■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)

<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-03-31-0040>

山梨県との連携：富士山で災害対策・減災活用を想定したローカル5Gシステムと衛星インターネットアクセスサービスを接続する技術実証に成功

報道発表 東京大学、山梨県富士山科学研究所が連携！

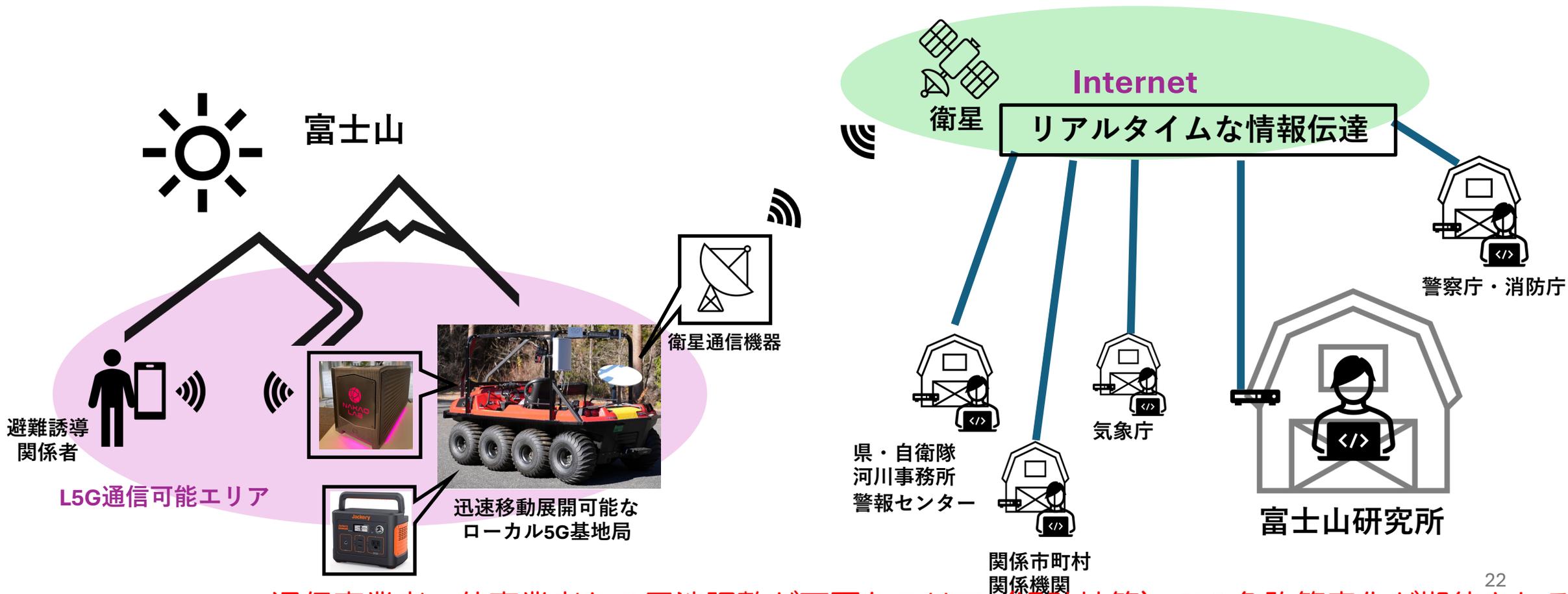
<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2022-11-25-002>

<https://businessnetwork.jp/article/11789/>



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

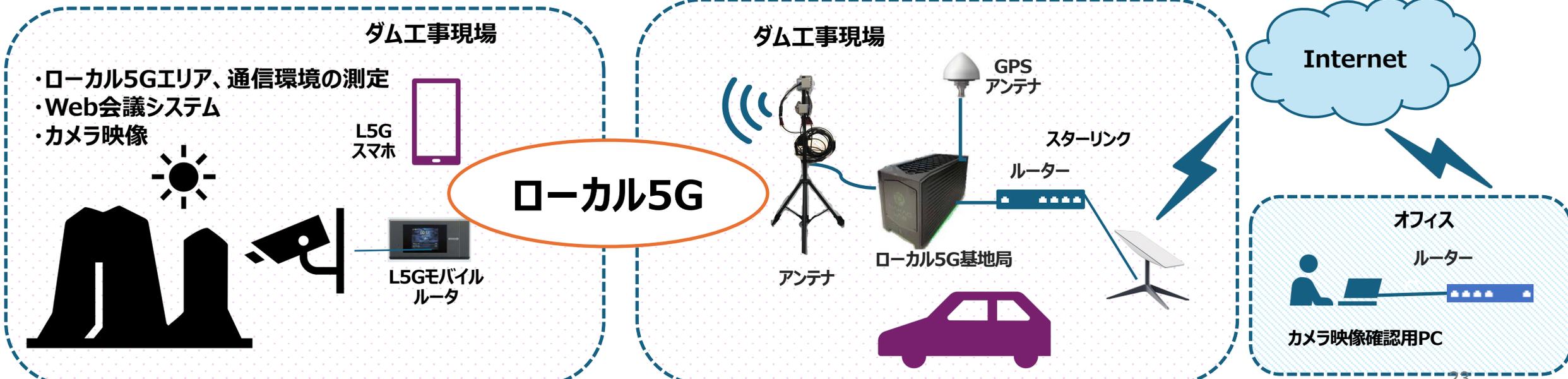
- 富士山の斜面を走行可能なバギーにシステムを実装し、迅速移動展開可能な通信インフラを実現
- 被災時における、ローカル5Gの広域通信を活かした救出活動、避難誘導に繋げる仕組みの確立



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）での免許簡素化が期待される

青森県 安藤ハザマ、NTT東日本、東京大学連携 駒込ダムにおけるL5G実証 (2023年度)

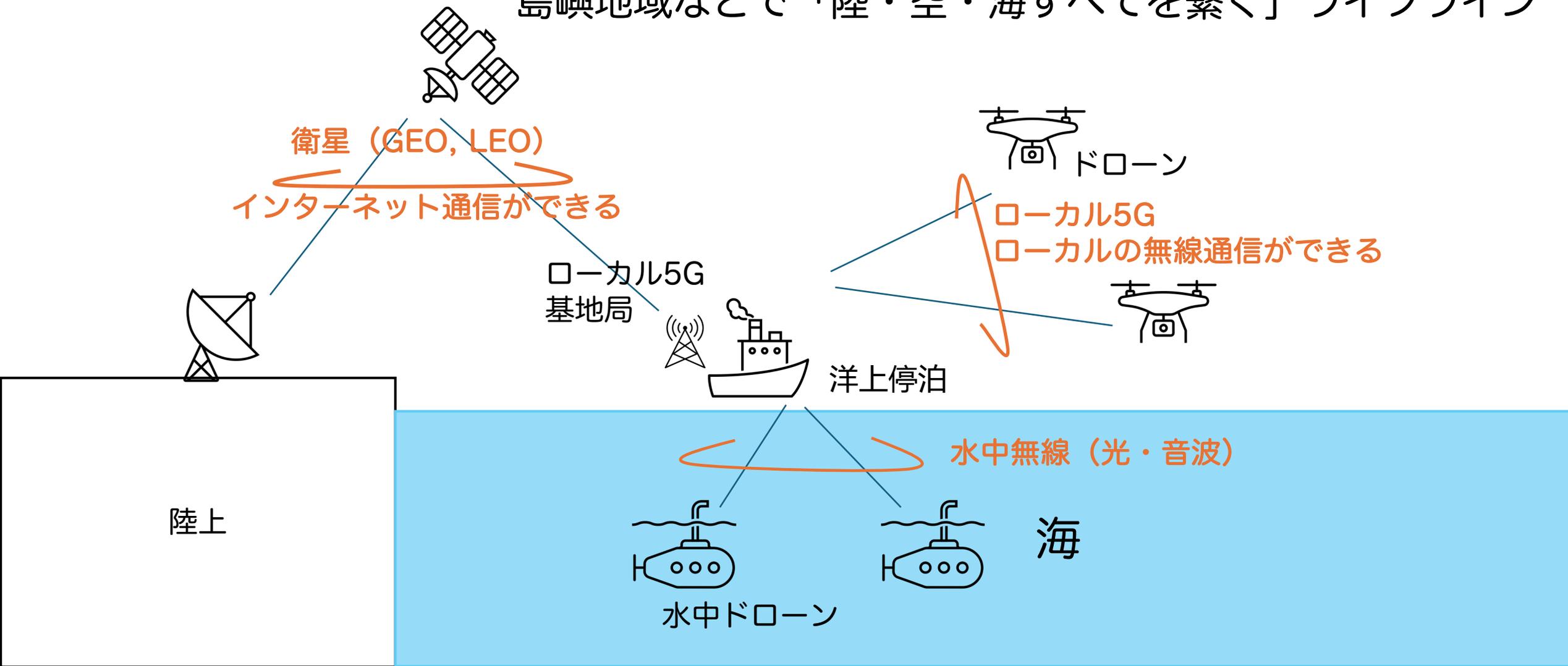
通信環境が脆弱なダム工事現場において工事進捗管理、安全管理等の観点でDX化を検討。今年度はエリア、通信測定によりエリア展開性の確認を実施



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）での免許簡素化が期待される

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

近年のユースケースから検討すべき電波政策のポイント

- 「サイバーライフライン」としてのBeyond5G/6G（拡張性・自律性・低消費電力）
 - 周波数の利用拡大に加えて、同時に使う（マルチバンド）技術・AI活用の動的周波数共有が重要
 - NTNと地上の接続の重要性
 - IoT用途のため地上局（センサー）が発出する電波の宇宙での受信に関する整理が必要
 - 次世代サイバーインフラのユースケースは「インクルーシブ」（包摂的）にみんなで開拓する
ローカル5Gはビジネス・ユースケース開拓に非常に重要なツールとしても有益
 - さらなる規制の緩和・新周波数の割当と実証実験から社会実装への支援が必要
-  国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進
- キャンパステストベッド・電波利用特区の設定
 - ローカル6G（NRセンチ波利用・AI活用の動的周波数共有など）
 - R&D専用バンドの新設（SugG, Sub6G, cmW, mmW, subT）
次世代LPWAに最適なSubG（VHigh）帯の割り当て

国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進：Rutgars U/NYUの例

PAWR(Platform for Advanced Wireless)のプロジェクトであるCOSMOSではFCCが特区を設定

FCC Innovation Zone

Frequency band	Type of operation	Allocation	Maximum EIRP (dBm)
2500-2690 MHz	Fixed	Non-federal	20
3700-4200 MHz	Mobile	Non-federal	20
5850-5925 MHz	Mobile	Shared	20
5925-7125 MHz	Fixed & Mobile	Non-federal	20
27.5-28.35 GHz	Fixed	Non-federal	40
38.6-40.0 GHz	Fixed	Non-federal	40



国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進：Oulu大学の例

特筆すべきは、官が産学連携を設計し、都市ぐるみで産学がIT産業を推進している点

- Business Oulu（官）NOKIA(民) Oulu大学（学）が三位一体となって市の経済を推進する Ecosystemを形成している。産学官連携のベストプラクティスとなっている。
- Radio Parkは、Business Oulu（官）がデザインし、国内外の企業が集まる「場」を提供
- OuluZoneには、NOKIAが提供したモバイル無線通信のテストベッドがあり、NOKIAが実験するだけでなく、RADIO PARKの仕組みを使って、Oulu大学など大学、コマツなど海外企業などが実験をすることが可能
- Oulu大学のそばにNOKIAがNOKIA Campusを建設中であり大学との連携を視野にいれた産学連携が進む
- 既に、NOKIA OTAVAというR&DセンターがOulu大学のそばにあり、グローバルマーケットを意識した無線の拠点(Home of Radio)として人材循環が起きている。Oulu大学にはNOKIAからの教員が多く在籍している
- Oulu大学はNOKIAの支援を受けて、5GTNというキャンパステストベッドを構築。全ての人に Private 5Gの通信を無料で提供しユースケースを開発している

RadioPark



RadioPark concept with its cluster companies is not only for the radio connectivity, but also what you can use the radios for. Whether you have a radio device, type approval need, IoT network element, security solution, health or learning application, it's worth of checking with us how we can support your business.

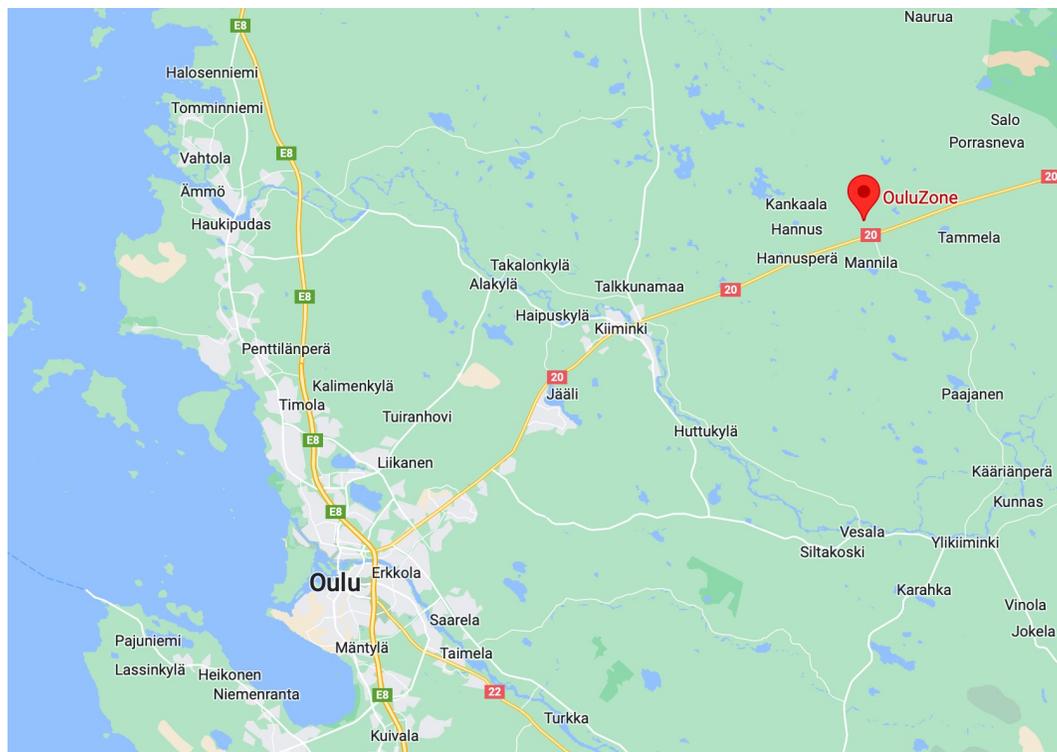


- Complete solution for your device and service development.
- Leading edge connectivity available through versatile partner ecosystem.
- World class research (6G Flagship) at your reach.
- Laboratory capacity per your needs.
- Productized service packages associated with professional support.
- Planned to support industry verticals.

<https://oulu.com/ictoulu/radiopark/>

Oulu Zone

RADIO PARKで運用されているOulu市郊外にある無線通信テストベッド
沼地の中にあり、他に建造物など遮蔽するものがないため、ドローンによる無線計測や、各国の周波数帯における通信機器の試験など、かなり柔軟に試験が可能なテストベッドを構築している



Oulu大学 5GTN (Private 5G Test Network)



Oulu大学はNOKIAの支援を受けて、5GTNというキャンパステストベッドを構築。全ての人にPrivate 5Gの通信を無料で提供しユースケースを開発している

Oulu大学のそばにNOKIAがNOKIA Campusを建設中であり大学との連携を視野にいたれた産学連携が進む



NATO DIANA Test Centers (www.diana.nato.int/test-centres.html)

- Finland joined NATO on April 4th 2023 as a consequence of changed geopolitical climate.
- Finland became member of the Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (*DIANA*) March 14th 2024.
- DIANA 6G Test Center was established to University of Oulu and is operated by 6G Flagship.
- We'll focus on dual-use 6G technologies for national security and resilience.

• DIANA is instructed to accelerate civil-military emerging and disruptive technological solutions -particularly dual-use ones - to critical transatlantic defense and security challenges, leveraging existing elements from NATO nations and NATO bodies and guided by relevant NATO Strategies and Frameworks.

近年のユースケースから検討すべき電波政策のポイント

- 「サイバーライフライン」としてのBeyond5G/6G（拡張性・自律性・低消費電力）
 - 周波数の利用拡大に加えて、同時に使う（マルチバンド）技術・AI活用の動的周波数共有が重要
 - NTNと地上の接続の重要性
 - IoT用途のため地上局（センサー）が発出する電波の宇宙での受信に関する整理が必要
- 次世代サイバーインフラのユースケースは「インクルーシブ」（包摂的）にみんなで開拓する
ローカル5Gはビジネス・ユースケース開拓に非常に重要なツールとしても有益
 - さらなる規制の緩和・新周波数の割当と実証実験から社会実装への支援が必要
- 国際連携・R&Dのための規制緩和・民主化の推進
 - キャンパステストベッド・電波利用特区の設定
 - ローカル6G（NRセンチ波利用・AI活用の動的周波数共有など）
 - R&D専用バンドの新設（SugG, Sub6G, cmW, mmW, subT）
次世代LPWAに最適なSubG（VHigh）帯の割り当て