

研究室ウェブサイト



レジリエントICTシンポジウム2022 タフ無線環境に適応する 無線アクセス技術

2022年2月22日

国立研究開発法人情報通信研究機構

レジリエントICT研究センター サステナブルICTシステム研究室

研究室長 滝沢 賢一



- サステナブルICTシステム研究室のご紹介
 - 「レジリエント×サステナブル」
 - タフ環境適応無線の位置づけ
- タフ環境適応無線
 - 目標：電波におけるタフ環境（伝搬損失が大きい環境等）においても、高い通信要件を提供し続ける技術の確立
- 研究開発のご紹介（一部）
 - カメラ画像による電波強度予測、低遅延中継通信

サステナブルICTシステム研究室 のご紹介



レジリエントとサステナブル



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



BUILD RESILIENT INFRASTRUCTURE, PROMOTE INCLUSIVE AND SUSTAINABLE INDUSTRIALIZATION AND FOSTER INNOVATION

目標9 [インフラ、産業化、イノベーション]
強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能（サステナブル）な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る



MAKE CITIES AND HUMAN SETTLEMENTS INCLUSIVE, SAFE, RESILIENT AND SUSTAINABLE

目標11 [持続可能な都市]
包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能（サステナブル）な都市及び人間居住を実現する

レジリエント×サステナブル

「限られた資源を最大限に活用し（サステナブル）、
強くてしなやかな情報通信基盤の実現をめざして（レジリエント）、
必要となる情報通信技術（ICT）の研究開発に取り組む」

サステナブルICTシステム研究室

1. タフフィジカル空間 情報通信基盤構築技術

通信環境の動的変化への対応

**タフ環境適応
無線アクセス基盤**

**自己産出型
エッジクラウド基盤**

2. レジリエント 自然環境計測技術

自然現象の急激な変化の検知

自然環境計測可視化・解析

環境計測センサ群情報収集

1. タフフィジカル空間情報通信基盤構築技術



通信環境の動的変化への対応

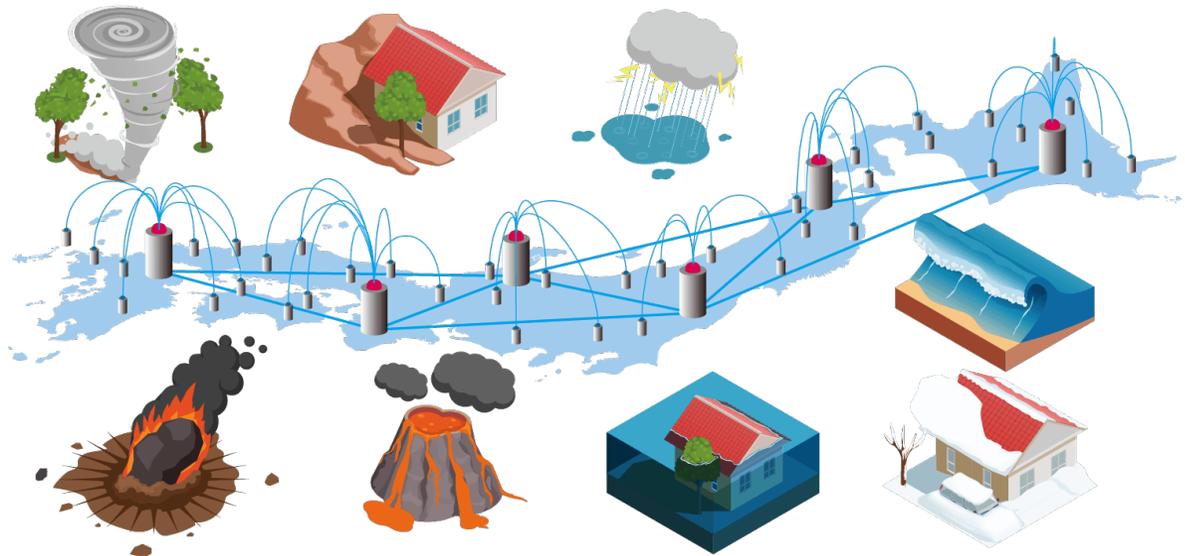


- **タフ環境適応無線アクセス技術**：利用可能な周波数資源を検知し、群ロボット制御のような高い通信要件を満たす無線アクセスを提供し続ける（この講演でご紹介します）。
- **自己産出型エッジクラウド技術**：利用可能な資源（計算機・センサ・アクチュエータ）を自律的に発見し、サービスを再構成。

2. レジリエント自然環境計測技術

自然現象の急激な変化の検知

環境計測センサ群情報収集



自然環境計測可視化・解析



このあと、15：35からの講演「目と耳と手で見る・診る・視る自然環境～レジリエント自然環境計測技術」において、研究開発の概要をご紹介します。

夕フ環境適応無線



我々のチャレンジ



- ユースケース
 - 利用環境：平時・災害時に関わらず、人が容易に入れない環境での無線通信
 - 例 1) 山奥、複雑な構造を持つプラント内、船舶内、橋梁等におけるロボット協調作業
 - 例 2) 大型コンテナ船におけるコンテナ内リアルタイムモニタリング
- このような環境は電波にとっても「**タフ**」な環境になることが多い
 - 電波の伝搬損失（遮蔽による損失を含む）が大きい等

～**タフ環境適応無線アクセスにおけるチャレンジ**～

**「タフ」な電波環境であっても、利用可能な電波資源を活用して、
ロボット協調制御等で求められる高い通信要件を提供する！**

ロボット間協調作業における通信要件



- 協調搬送の例[2]

- E2Eでサブミリ秒 (=0.5*1.7ms) の遅延を要求



Use case	Characteristic parameter					Influence quantity					
	Communication service availability: target value [%]	Communication service reliability: mean time between failure	End-to-end latency: maximum	Bit rate	Direction	Message size [byte]	Transfer interval [ms] (note 2)	Survival time [ms] (note 2)	UE speed [km/h]	# of UEs connection	Service area [m ³] (note 1)
5.11 – Cooperative carrying of work pieces	99.999 9 % to 99.999 999 %	~ 10 years	< 0.5 * Transfer interval	2.5 Mbit/s	UE-UE (ProSe communication)	250	>5	0	≤6	2-8	10 x 10 x 5 50 x 5 x 5
Cooperative carrying – fragile work pieces						500 with localisation information	>2.5 >1.7	Transfer interval 2 x Transfer interval			
Cooperative carrying – elastic work pieces	99.999 9 % to 99.999 999 %	~ 10 years	< 0.5 * Transfer interval	2.5 Mbit/s	UE-UE (ProSe communication)	250	>5 >2.5 >1.7	0 Transfer interval 2 x Transfer interval	≤12	2-8	10 x 10 x 5 50 x 5 x 5

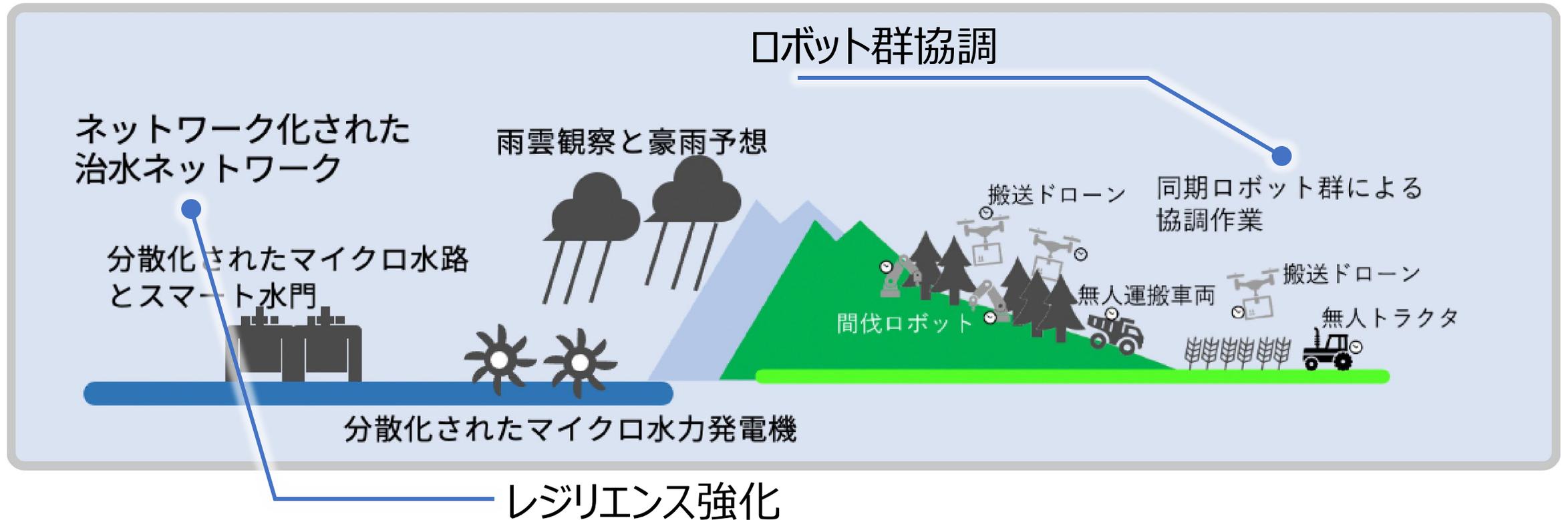
NOTE 1: Service Area for direct communication. The group of UEs with direct communication might move throughout the whole factory site (up to several km²).
NOTE 2: The first value is the application requirement, the other values are the requirement with multiple transmission of the same information (two or three times respectively).

[2] 3GPP TR 22.832 V17.4.0 (2021-03), Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains.

将来イメージ (NICT B5Gホワイトペーパーより)



- “レジリエント里山[1]”
 - ロボット協調作業で自然を守り、そして自然が人を守る



[1] NICT, Beyond 5G ホワイトペーパー, 2021年3月.

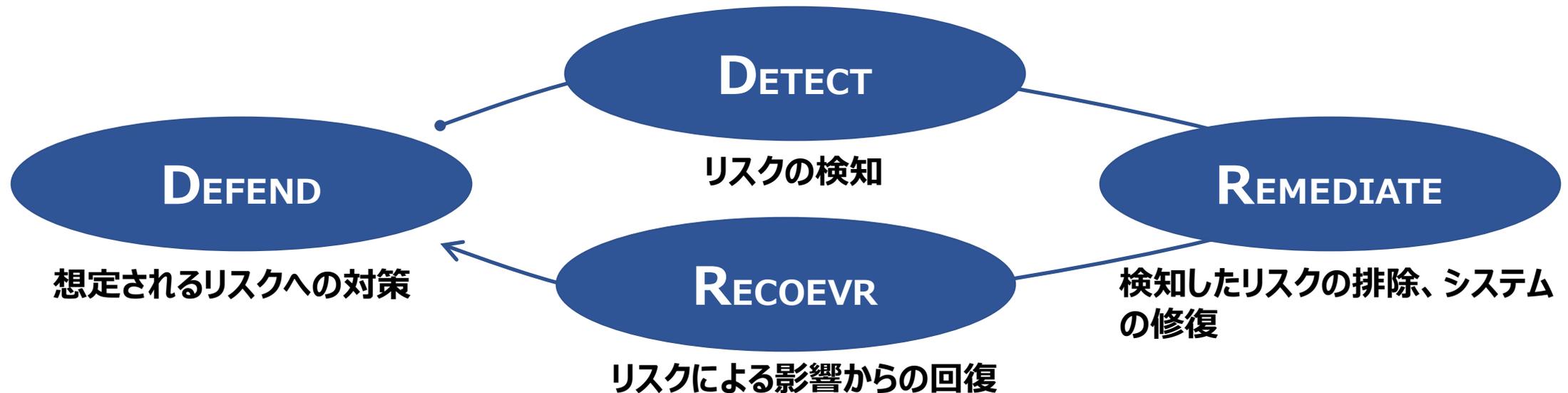
数値目標としての整理



- 伝搬損失
 - タフ環境を想定して、5Gにおける許容損失**150dB[4, FR1]**を超える損失
 - E2E間における直接通信における損失の許容損失として
- 低遅延
 - ロボット群協調作業を想定して**サブミリ秒の遅延**

目標の実現に向けて

- D2R2 Strategy [5]



**このサイクルを無線通信制御として自動化することで、
切れる前につなぐ“Make-before-Break”の実現をめざす**

目標の実現に向けて



- 研究項目

D2R2 Strategyにもとづく**“Make-before-break”**の実現へ

電波伝搬予測

カメラ・ライダーによる
電波伝搬予測手法

AI/ML

無線アクセス

低遅延中継通信

分散協調通信

Beyond 5G

通信制御

データ利用
通信性能予測

AI/ML

通信資源
割り当て最適化

量子計算

- 通信途絶リスクを検知する
- 検知したリスクにもとづき、限られた電波資源を最大限に活用して、通信要件を満たせるよう、無線アクセスにおけるパラメータを制御する
 - 満たすことが困難な場合にはアラートを出す
- 将来、同一リスクが発生した場合備えた対策を講じる

ロードマップ（2021年度～2025年度）



主な取組	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	目標(令和7年度末) 想定される成果（アウトカム、社会実装等）
<p>■内容 タフな電波環境（減衰大、干渉大）においても、通信要件を満たし続ける通信制御技術の実現をめざす。</p> <p>■手段 機械学習による電波環境予測技術、低遅延無線アクセス技術群、予測結果を踏まえた利用可能な周波数資源に応じて適切な方式・パラメータ選定を行う“Make-before-break”通信制御技術を確立</p>		<p>電波伝搬予測技術の開発</p>	<p>無線アクセス技術の開発</p>	<p>通信制御技術としての統合開発・実証</p>	<p>プロトタイプを提供</p> <p>フィードバックを研究開発に反映</p> <p>ユーザへのヒアリング、ユーザとの共同実証など</p>	<p>代表的なユースケース環境（またはそれに準じた環境）にてユーザとの共同実験を完了。その後、インフラ点検・保守、建設、過酷環境プラント等、外部資金を活用して多様な群ロボット利用シナリオにおける実証。2030年までに実用化をめざす。</p>

研究開発のご紹介



研究開発のご紹介（一部）



1. 電波伝搬予測：カメラ画像を用いた電波の強度予測

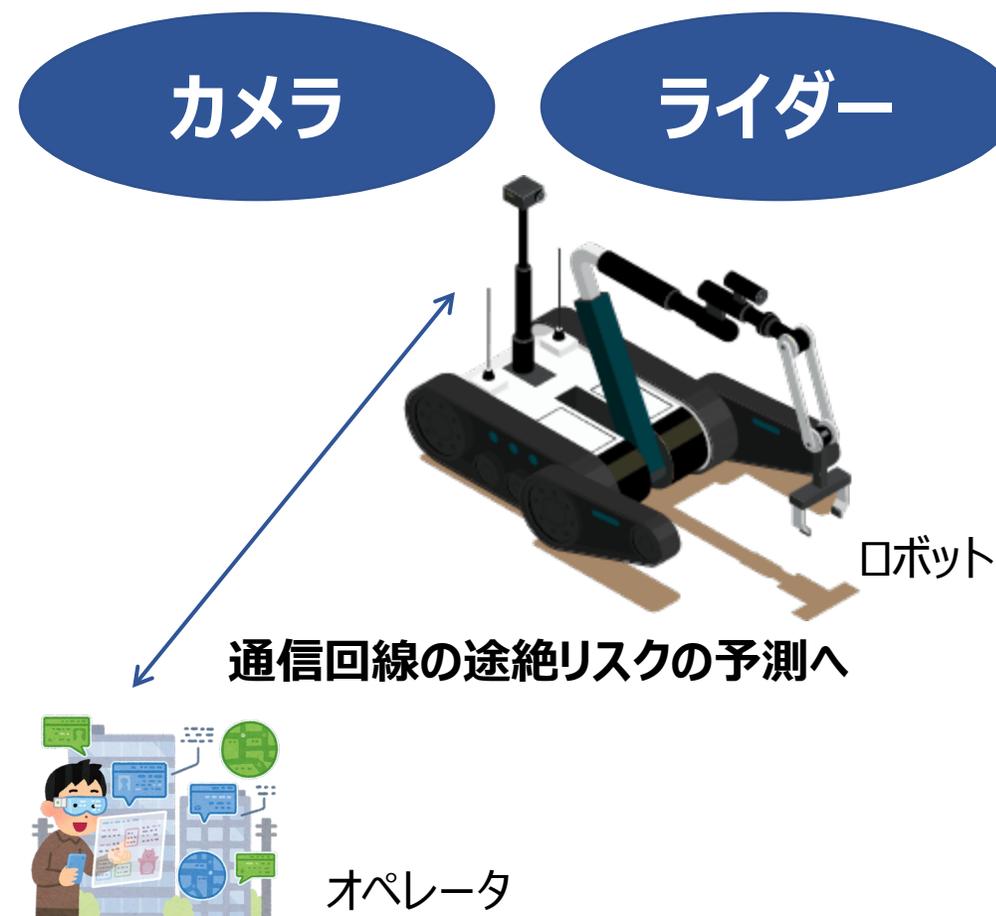
- 通信途絶リスクの検知 (Detect)

2. 無線アクセス：低遅延中継通信

- リスクに対する対処 (Remediate)

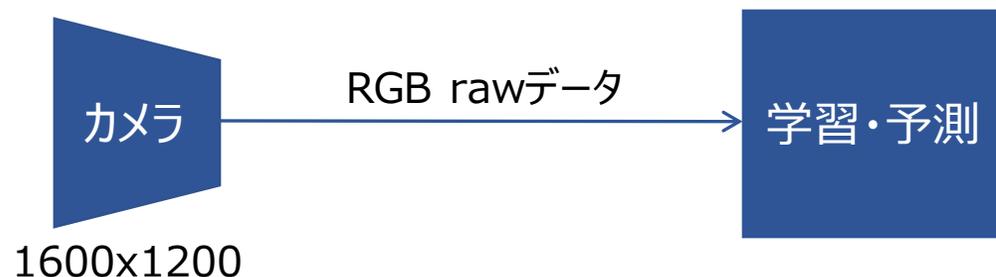
例 1) 電波の強度予測

- 狙い
 - ロボットが移動のために備えているセンサ（カメラ・ライダー）を活用して、遠隔制御における**回線途絶リスクの可視化**を図る。
- 取り組みの例
 - AI/ML（たたみこみニューラルネットワーク CNN+LSTM）を利用した**カメラ撮影画像データからの信号強度予測**。



例 1) 電波の強度予測[6]

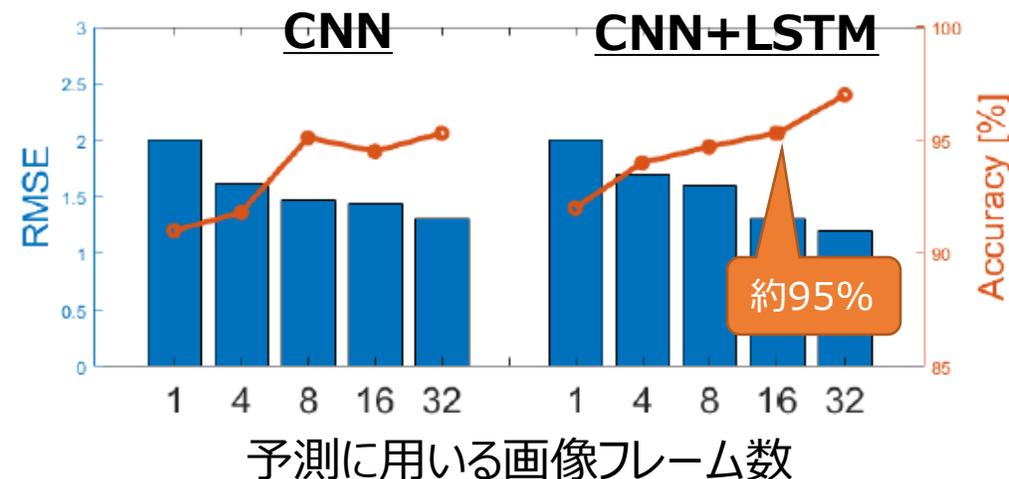
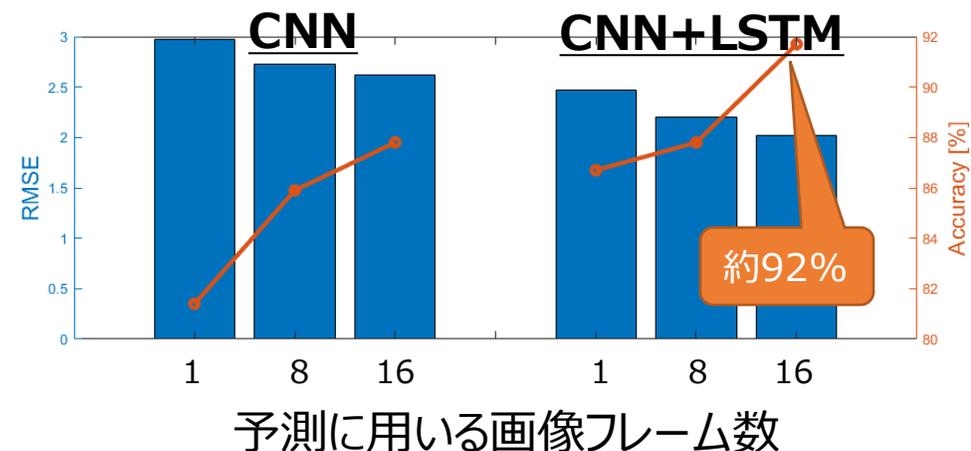
屋内実験の結果



方法 1 : 画像データに対する事前処理なし



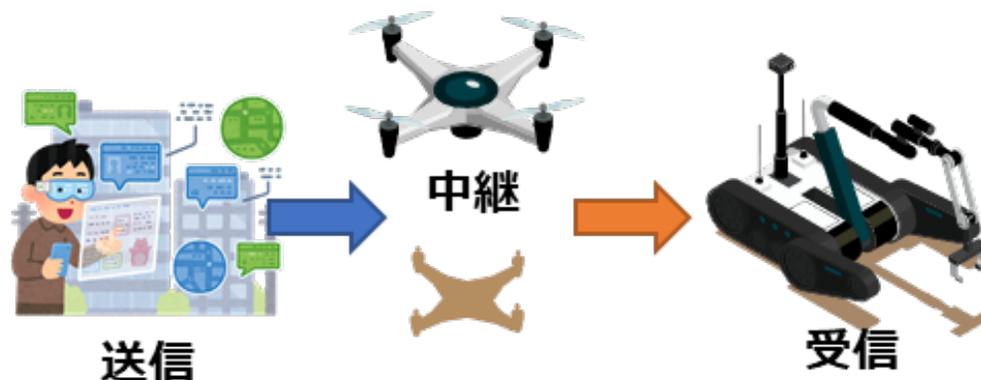
方法 2 : 画像データに対して特徴抽出を実施



[6] Nam Khanh Nguyen and Kenichi Takizawa, "Millimeter-Wave Received Power Prediction from Time-Series Images Using Deep Learning", accepted to IEEE ICC2022, May 2022.

例 2) 中継通信技術

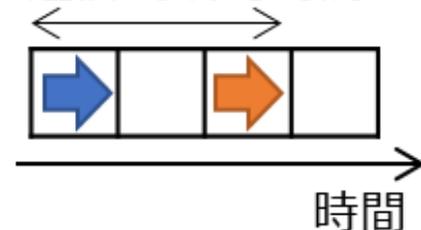
- 狙い
 - ネットワーク内の通信途絶リスクが高いリンクが生じた場合、中継端末を介する通信を行うことで**途絶リスクの低減**を図る。
- 取り組みの例
 - 採用する通信方式に応じた時空間フィルタリングを適用した**非再生中継伝送**。



従来中継手法：再生中継

中継端末で復号・再符号化を行うため遅延大

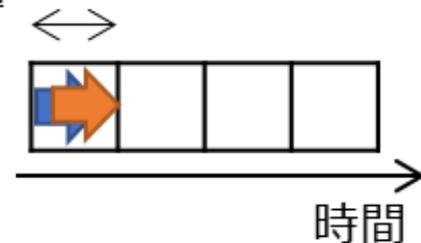
通信に要する時間



提案中継手法：非再生中継

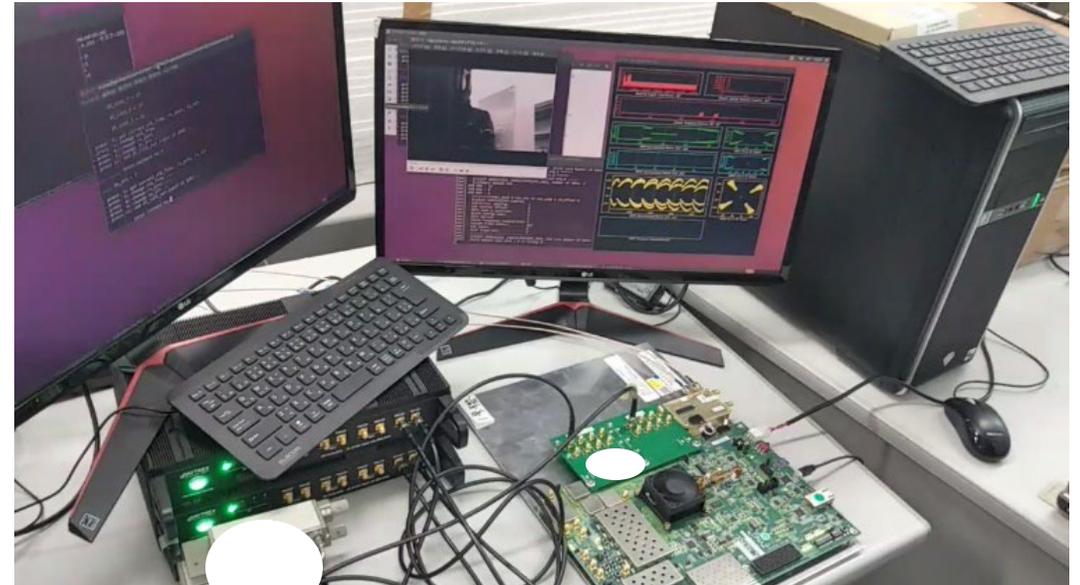
中継端末ではフィルタリングのみ行うため遅延小

通信に要する時間



例2) 中継通信技術

- 5G NR DL信号による中継実験（有線）
 - 256タップFIRフィルタによる時空間フィルタリング処理（2x2 MIMO）
 - Xilinx社の評価ボード Zynq UltraScale +RFSoc ZCU-111へ実装
 - 中継器における処理遅延は**3.2マイクロ秒**
 - 無線スロットごとに中継器が中継を行える時間に閾値を設けることで、受信側では仕様を変更せずに受信可



* : ワイヤレステクノロジーパーク2022（5月25日～27日、東京ビッグサイト）において動態展示予定。

- タフ環境適応無線アクセス
 - **タフな電波環境**（減衰が大きい、干渉が大きいなど）においても、利用可能な周波数資源を活用して、**群ロボット制御のような高い通信要件を満たし続ける無線アクセスを提供。**
 - D2R2 Strategyにもとづく**“Make-before-break”通信制御の実現へ。**

「サステナブル×レジリエント」

- 今後
 - 連携機関とともに実証を行い、その結果を研究開発にフィードバックしていきます。
 - 研究開発成果の社会展開をめざした応用開拓も進めていきます。
- メッセージ
 - 研究内容に関心をお持ちいただけましたら、ご連絡下さい。