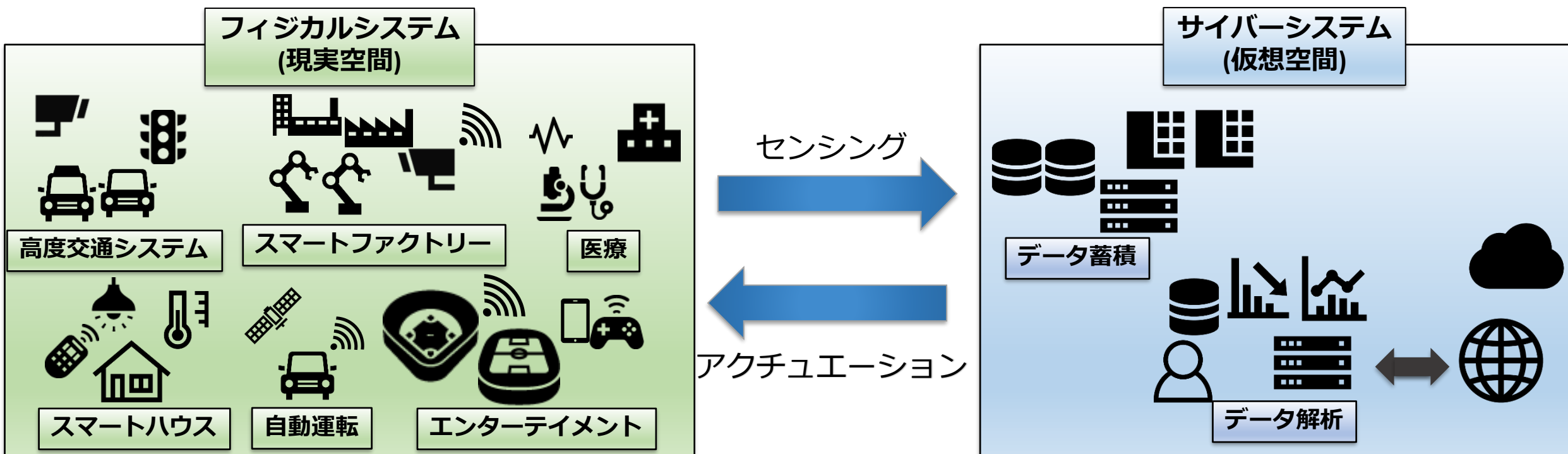


# 村田研究室 研究紹介

- エッジクラウド -

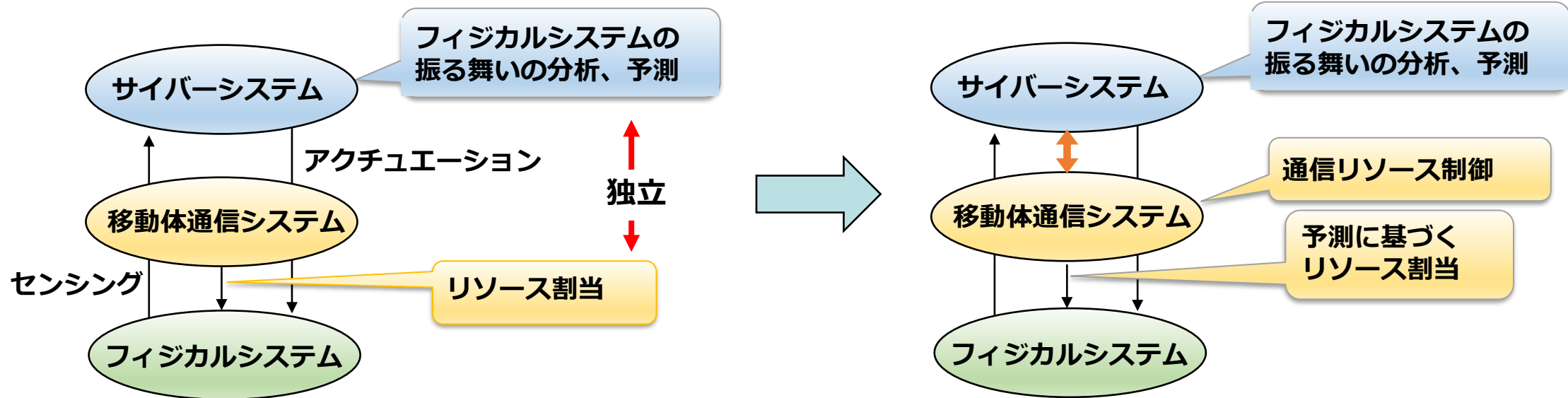
# CPS (Cyber-Physical System)

- フィジカルシステムにおいてセンシングをし、サイバーシステムにおいて情報蓄積・解析、その後再びフィジカルシステムにアクチュエーションするフィードバックループにより制御
- 監視、自動運転、医療機器、高度交通システムなどの多岐にわたるアプリケーション
- 様々なアプリケーションや大量のデバイスが動作し、それぞれに求められるサービスが異なる
- センシングには、移動体通信システム (4G、5G) の利用



# CPS の通信リソース制御

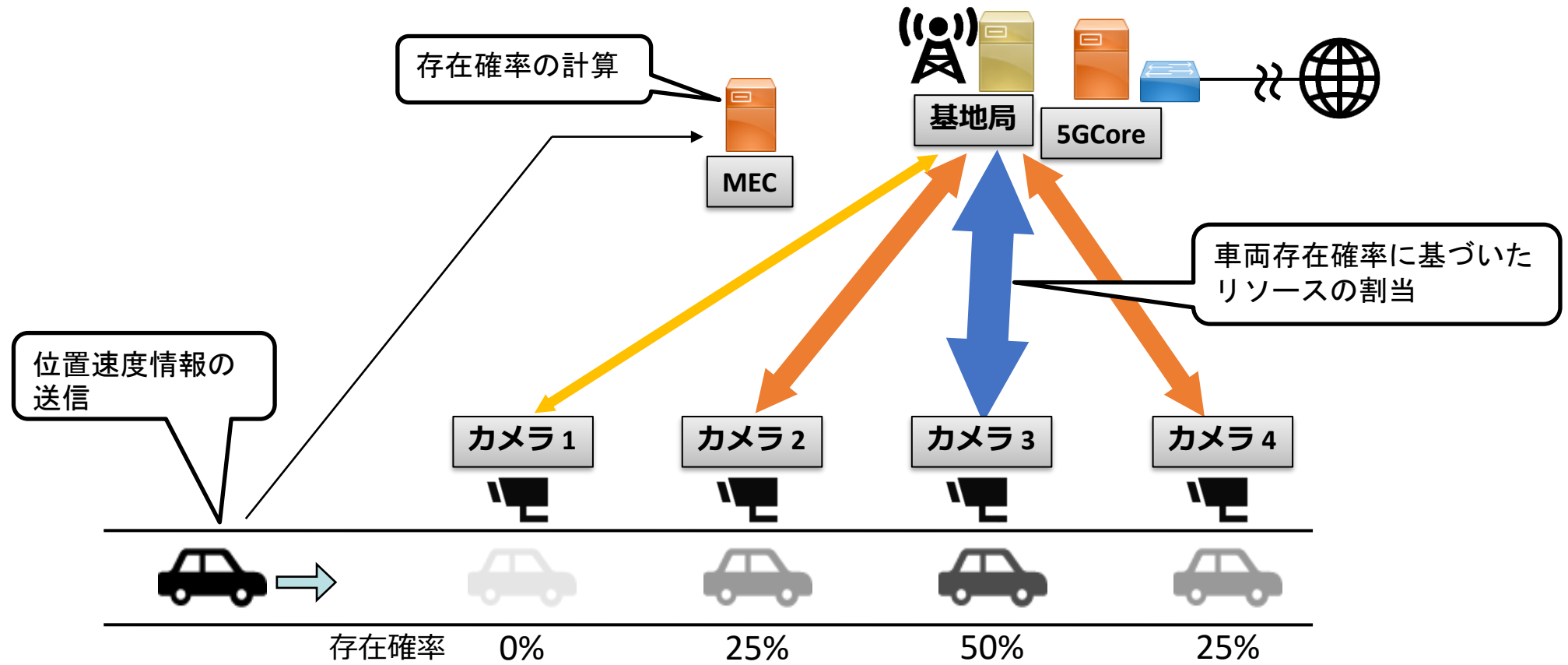
- 限られた通信リソースの適切な使用
  - 必要なタイミングで必要な量のリソースの割当
- フィジカルシステムの振る舞いの予測を考慮した通信リソース制御が重要



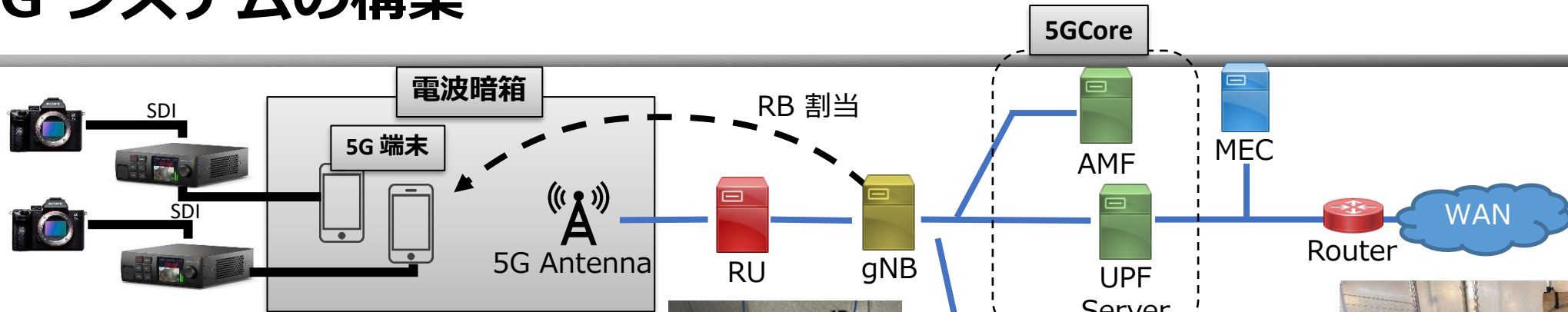
# 想定シナリオ

## ● 道路上の監視カメラが走行車両の映像を基地局へ送信

- フィジカルシステム：車両が走行
- サイバーシステム：車両の位置速度情報を収集し、将来の車両の存在確率の算出
- 5G システム：存在確率に基づき 5G セルラーリソースの割当



# 5G システムの構築



- RU (Radio Unit) : USRP N320
- gNB : OAI
- 5GCore : Open5GS
- 5G システム諸元

- スロット構成 : 5ms 周期、 DL 5、 UL 4、 Mix 1 で構成
- 帯域幅 : 90MHz
- 周波数方向の RB (Resource Block) 数 : 245 個
  - RB : 端末へのリソース割当単位

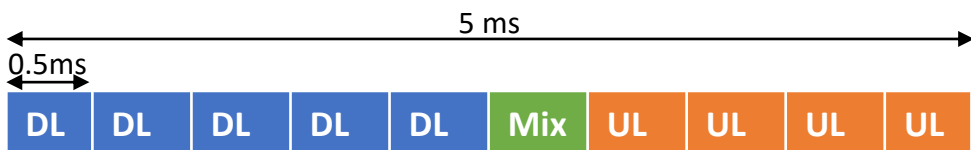


図. スロット構成

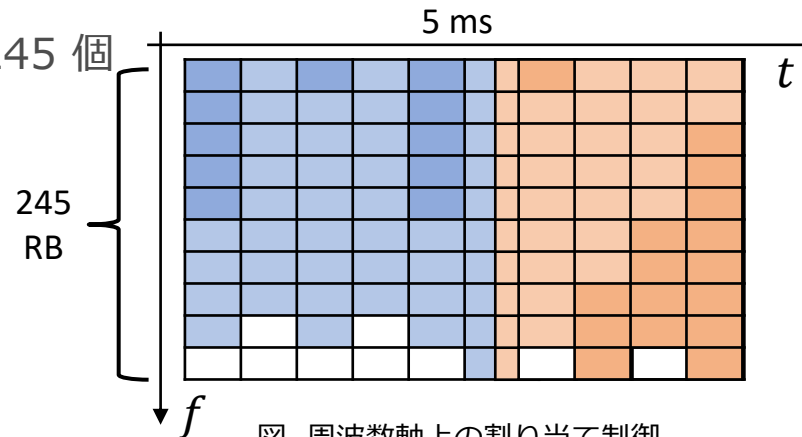
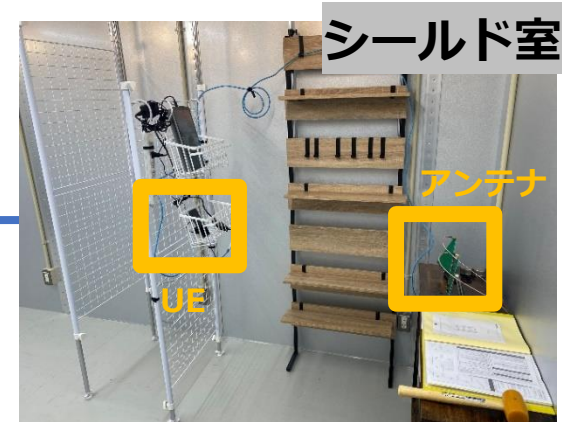


図. 周波数軸上の割り当て制御

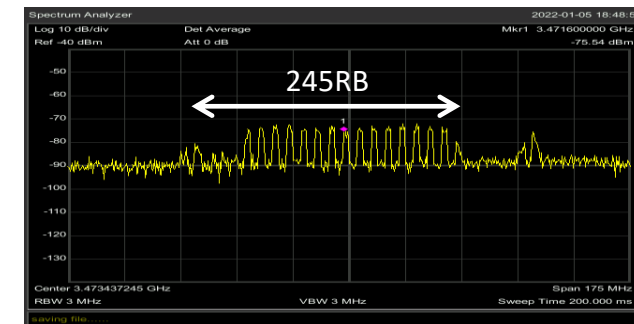
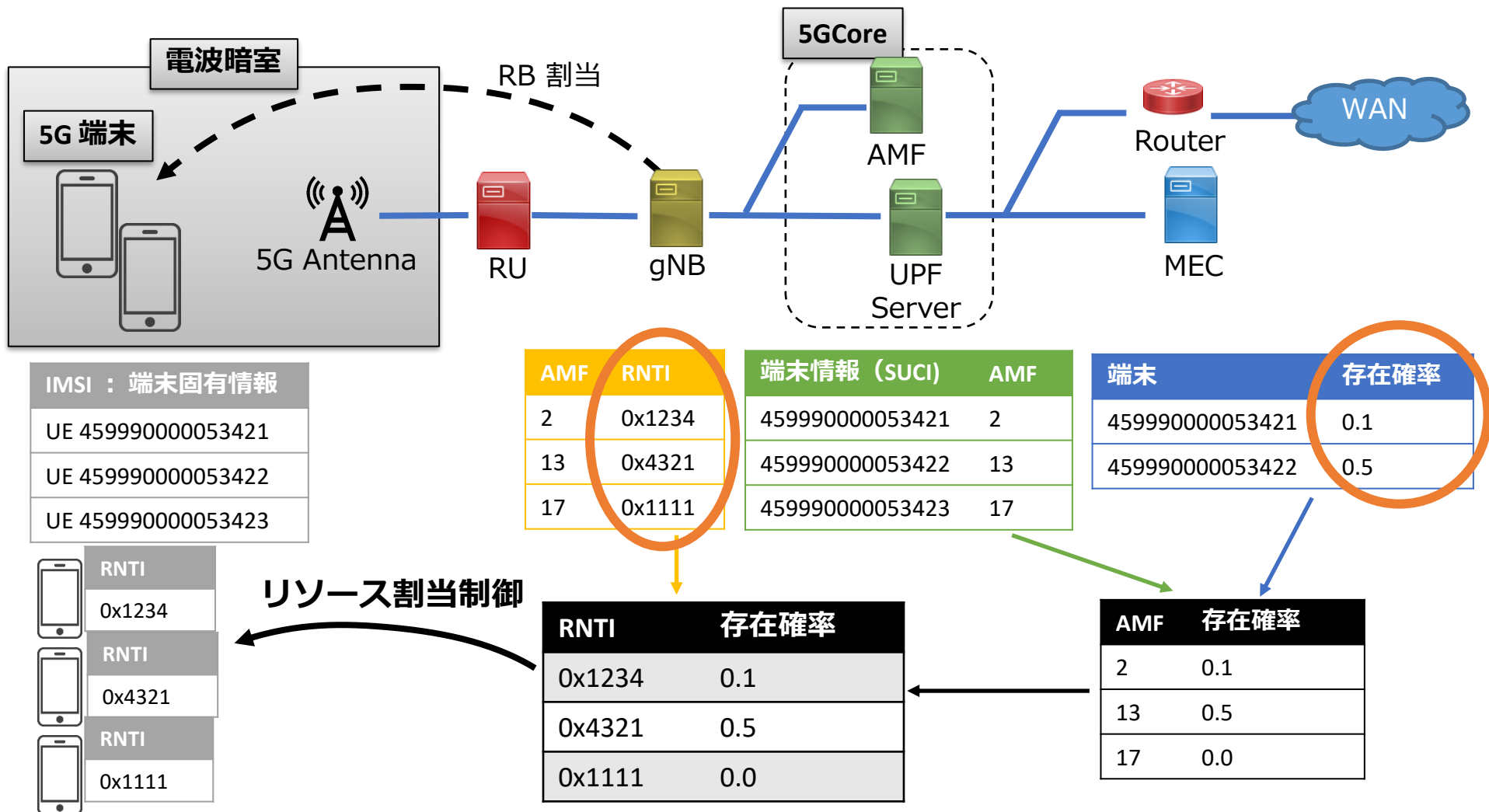


図. UL通信時のスペクトラム

# 5G システムの拡張

- 存在確率をリソース割当へ反映



# 5G セルラーリソース割当手法

## ● 存在確率を考慮した 2 種類のセルラーリソース割当アルゴリズムを実装

- 割当単位は RB 数であり、最大を  $N_{RB}=245$  とする
- 車両位置予測で求めた存在確率  $m_i$  を  $w_i = \text{floor}(50 m_i)$  で重み付けを行う

[手法 1] 重み付き公平キューイング

- 200ms ごとに計算したスループット  $T_i$  を  $w_i$  で重み付け
- 送信データ量  $D_i$  から係数  $C_i$  を求め、最大の係数  $C_m$  に対し、端末  $m$  へ送信データ量に必要な最大の RB を割当
- 残りの端末に対し、繰り返し

$$T_i \leftarrow \frac{T_i}{1 + w_i} \quad C_i = \frac{D_i}{T_i}$$

[手法 2] 閾値を用いて割り当てる最大 RB 数を決定

$$R_i = \begin{cases} 0.1 * N_{RB} & (w_i = 0) \\ 0.3 * N_{RB} & (0 < w_i \leq 5) \\ 0.5 * N_{RB} & (5 < w_i \leq 16) \\ N_{RB} & (16 \leq w_i) \end{cases}$$

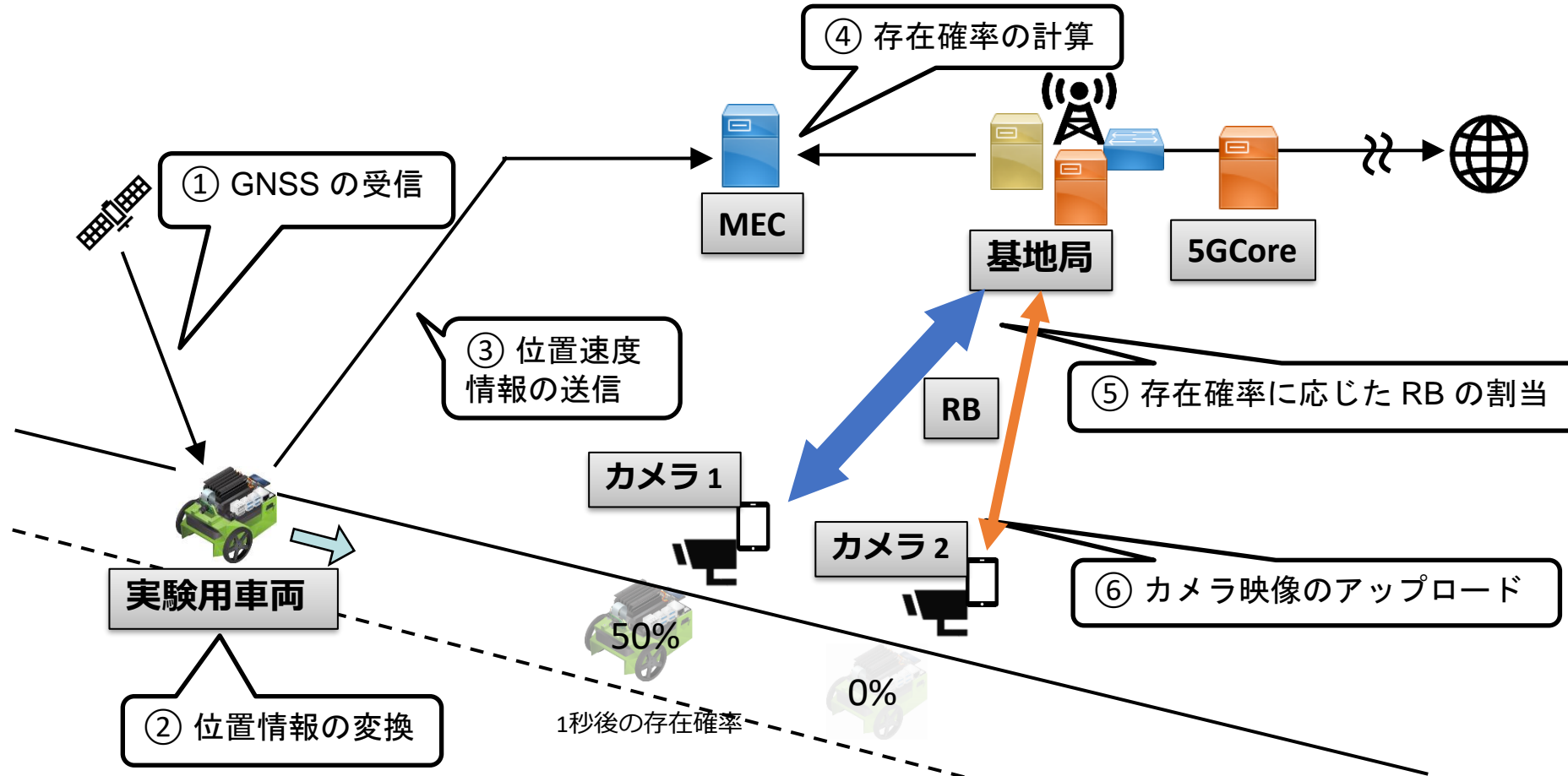
# 実装システム

## ● ミニチュア車両を用いた車両走行システムの実装

- 現実世界の 1/60 スケールに調節
- 車両はカメラ 1 を 9 ~11、カメラ 2 を 19 ~21 秒後に通過

表. 実験環境詳細

実験車両
JetBot を使用
GNSS情報取得
ZED-F9R モジュールを使用
ライブ配信環境
Blackmagic Web Presenter 4K を使用
ライブ配信プラットフォーム
YouTube Live で配信
カメラ
Sony α1、α7R を使用
UE1、2
Galaxy S21 5G、Galaxy S21 Ultra 5G を使用





## ● 評価方法

- 2 種類の割当手法と比較手法で実験

[手法 1] 存在確率に基づいた重み付き公平キューイング

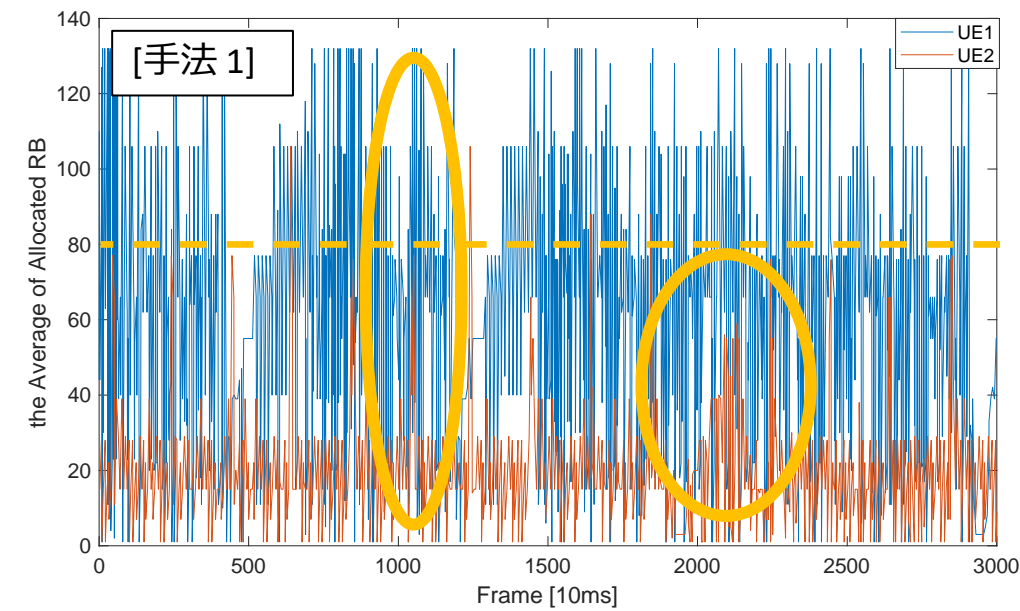
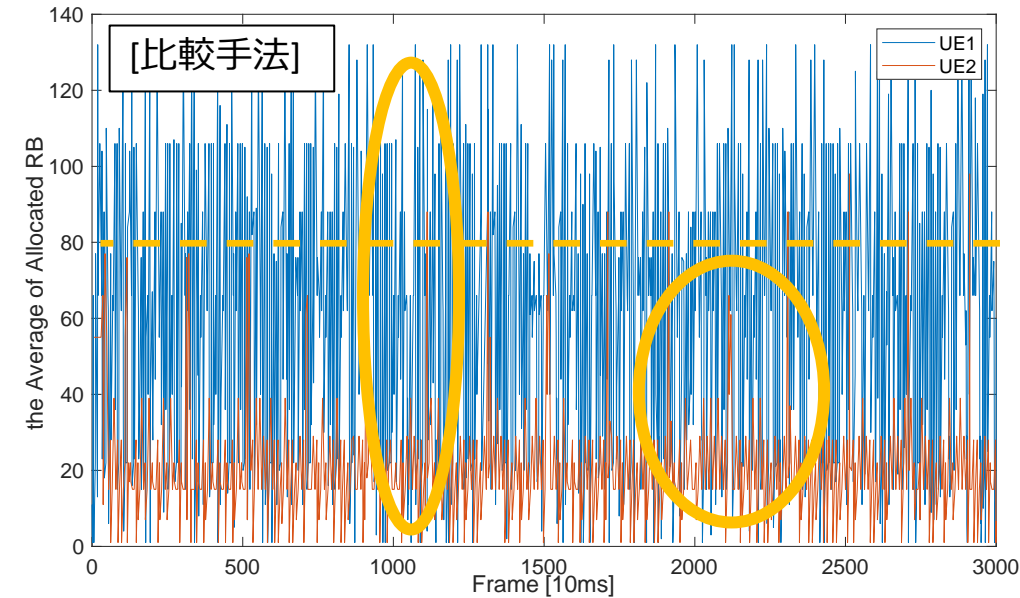
[手法 2] 存在確率に基づいて閾値を用いて割当 RB 数を決定

[比較手法] 重みなし公平キューイング

- カメラ 1 → 高品質、カメラ 2 → 低品質でライブ配信

## ● 手法 1 の評価

- 車両通過時刻の 1100 フレーム目、2100 フレーム目に、僅かに多く RB を割り当てた傾向を確認したが、大きな変化は無し
- カメラ 1 において、存在確率が低い時に、リソースを抑えられた傾向を確認



## ● 評価方法

- 2 種類の割当手法と比較手法で実験

[手法 1] 存在確率に基づいた重み付き公平キューイング

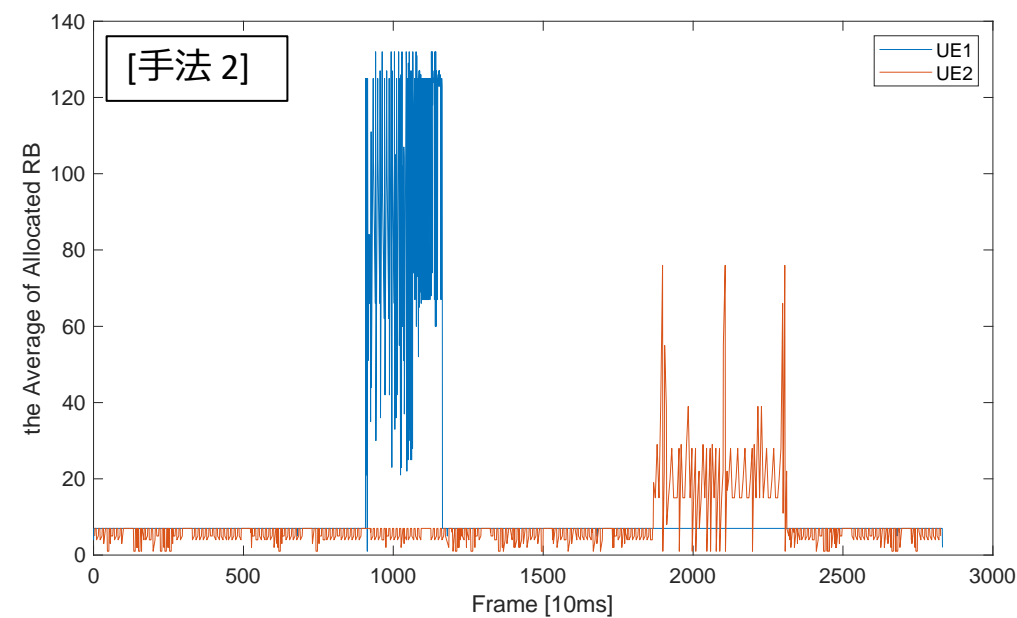
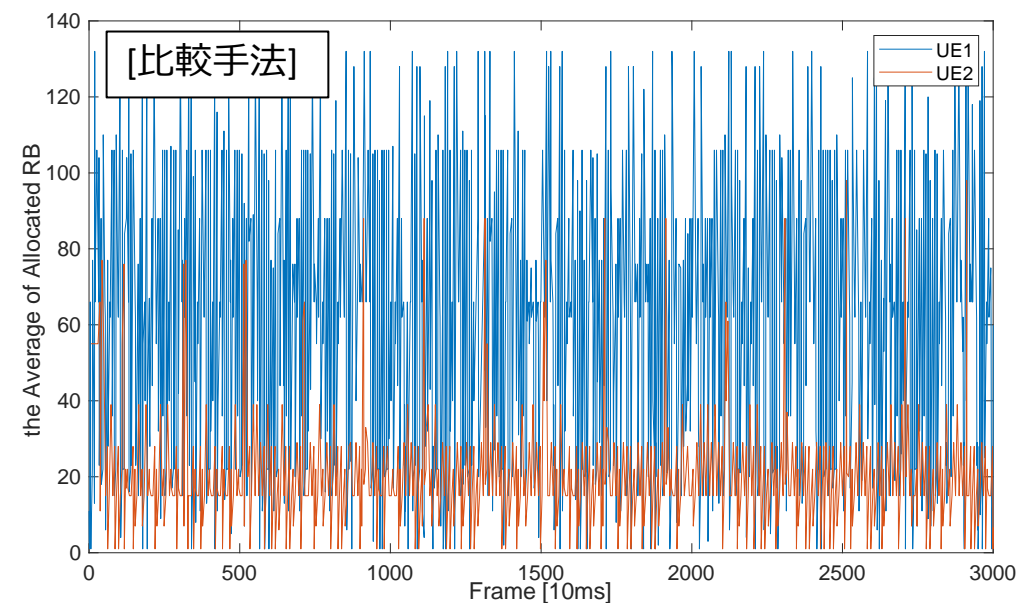
[手法 2] 存在確率に基づいて閾値を用いて割当 RB 数を決定

[比較手法] 重みなし公平キューイング

- カメラ 1 → 高品質、カメラ 2 → 低品質でライブ配信

## ● 手法 2 の評価

- 存在確率に応じて RB を割り当てていることを確認
  - 存在確率 最小：平均 7RB
  - 存在確率 最大：平均 120RB 以上
- 車両位置予測に基づいた通信リソース制御の実現



- **車両位置予測に基づく 5G セルラーリソース割当実験の実施**
  - フィジカルシステムの振る舞いの予測を考慮した通信リソース制御の実現
    - 車両存在確率に応じたリソースの割当を確認
- **今後の課題**
  - 実環境をより忠実に再現した模擬環境もしくは実環境での評価
    - 車両の動きに加速・減速を追加
    - GNSS における位置誤差の影響の低減
  - フィジカルシステムの振る舞いに応じて送信データ量の制御
    - 存在確率に応じた動画品質の動的制御

# その他の研究

- Cellular-V2X における 5G エッジコンピューティング環境を利用した  
交差点事故の衝突回避

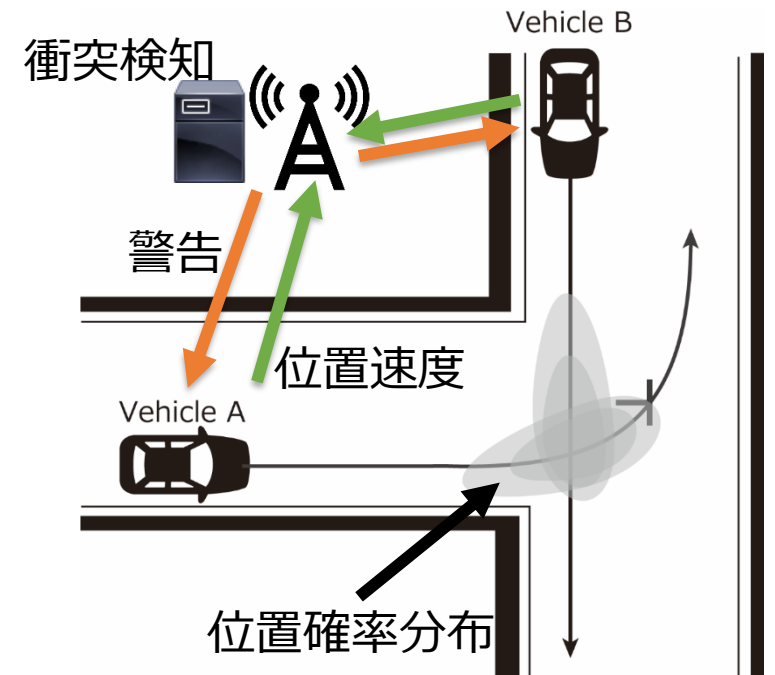
- MEC を用いた車両挙動確率予測に基づく交通流の協調
- 衝突検知をユースケースにその有効性を明らかにする

- Cellular-V2X (Vehicle to Everything)

- 4G/5G セルラー網を使用し、車と車/人/ネットワークを接続

- MEC (Multi-access Edge Computing)

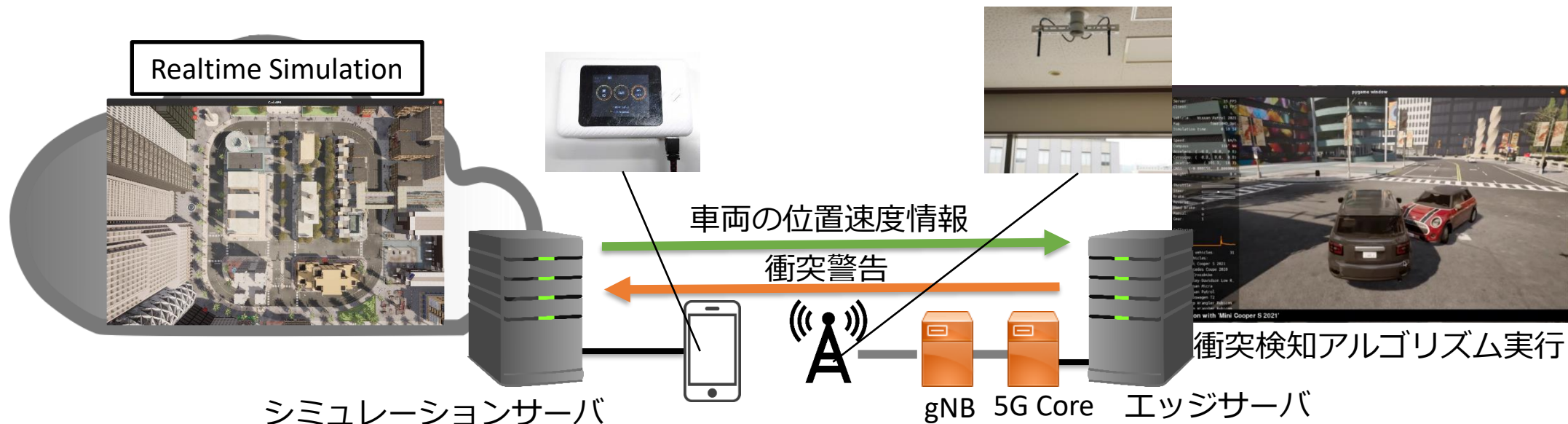
- エッジサーバで交通参加者の情報を収集・解析



# 衝突検知実験

## ● 交通流シミュレータ CARLA を用いた実時間シミュレーション

- シミュレーションサーバから 5G を介してエッジサーバへ、各車両の位置速度情報を送信
- シミュレーションサーバではエッジサーバからの確率通知に応じて車両に回避命令
  - 次スライドの衝突検知デモでは、衝突確率 50% 以上の車両に停止命令
  - シミュレーション側は衝突が発生するようにパラメータを設定



# デモ動画：2車両が同時に交差点に進入するシナリオ

