

5Gの同時多数接続を活用した実証試験と その関連研究

国立研究開発法人情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
石津 健太郎

平成30年12月12日 平成30年九州電波協力会主催講演会

I 5G時代に向けたNICTの取り組み

II 5G総合実証試験(多数同時接続)

III 5Gの自動運転への応用

IV まとめ

本講演の5Gアーキテクチャに関する内容は、総務省から受託した「第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発～複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発～」の成果を含みます。

本講演の実証試験に関する内容は、総務省から請け負った「屋内において2万台程度の多数同時接続通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」の成果であり、株式会社イトーキ、株式会社エイビット、シャープ株式会社、ソフトバンク株式会社と共同で実施したものです。

本講演の自律型モビリティに関する内容は、総務省から受託した「膨大な数の自律型モビリティシステムを支える多様な状況に応じた周波数有効利用技術の研究開発」の成果を含みます。

I 5G時代に向けたNICTの取り組み

移動通信システムの将来 ～5Gの性能と役割～

- 第5世代移動通信システム(5G)には様々な性能要求

- ▶ 超高速通信 (最大10Gbps)
- ▶ 超低遅延通信 (1ミリ秒)
- ▶ 多数同時接続 (100万台/km²)

- 端末数が爆発的に増加

- ▶ 端末, 場所, サービスごとに求められる性能要求は異なる

- 基地局数が爆発的に増加

- ▶ 全ての性能を同時に満たす無線システムをあまねく展開することは困難
- ▶ 設置の費用負担が大きい
- ▶ マクロセル(半径数km以上)中心のネットワーク構成では限界
- ▶ ミリ波帯などの新たな周波数帯も併せて利用していく必要



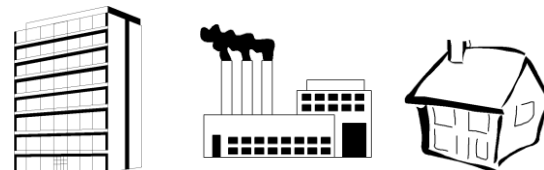
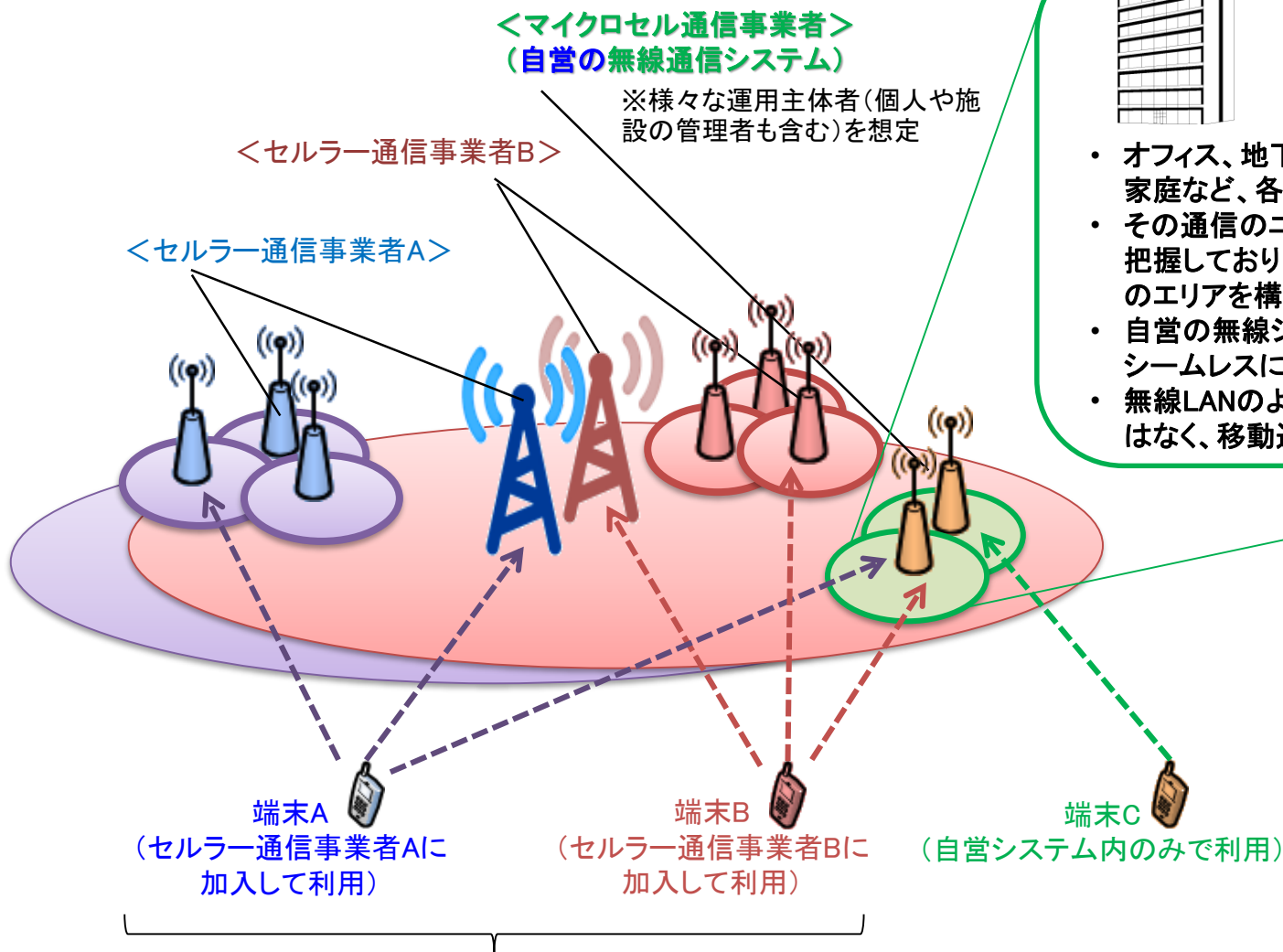
出典: 電波政策2020懇談会 報告書(平成28年7月)

5G時代に向けた移動通信システムの課題

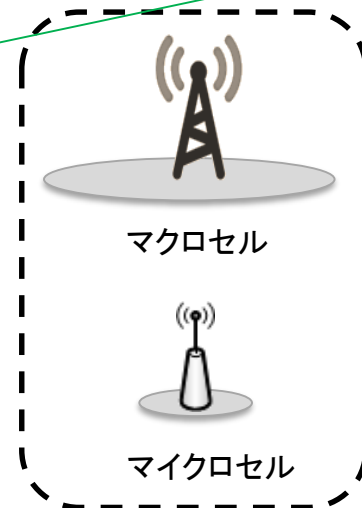
- 5Gはマイクロセル基地局を活用していくことになる
 - ▶ アクセス範囲(セルサイズ)が狭い
 - ▷ 周波数 : ミリ波も使用
 - ▷ アクセス範囲 : 100メートル以下のもの
 - ▷ システム : 超高速、超低遅延、多数同時接続
 - ▶ 無線通信を必要とする者がシステムを適材適所に展開
 - ▷ 「自営の」無線システム(マイクロセル)の積極的な活用
- 無線LANを設置する手軽さでマイクロセルのエリア展開をしたい
 - ▶ 無線LANのように独立したシステムではなく、移動通信システムを構成する要素として利用できるべき

移動通信システムにおける自営システムの利用

システムは無線通信を必要とする者が適材適所に展開
→「自営の」無線システム(マイクロセル)の積極的な活用



- オフィス、地下街、ショッピングモール、工場、家庭など、各場所の通信要求は異なる
- その通信のニーズは各施設の管理者が最も把握しており、自ら設備投資をしてでも専用のエリアを構築したい場合がある
- 自営の無線システムを移動通信システムにシームレスに統合
- 無線LANのように切り離されたネットワークではなく、移動通信システムとして一体運用

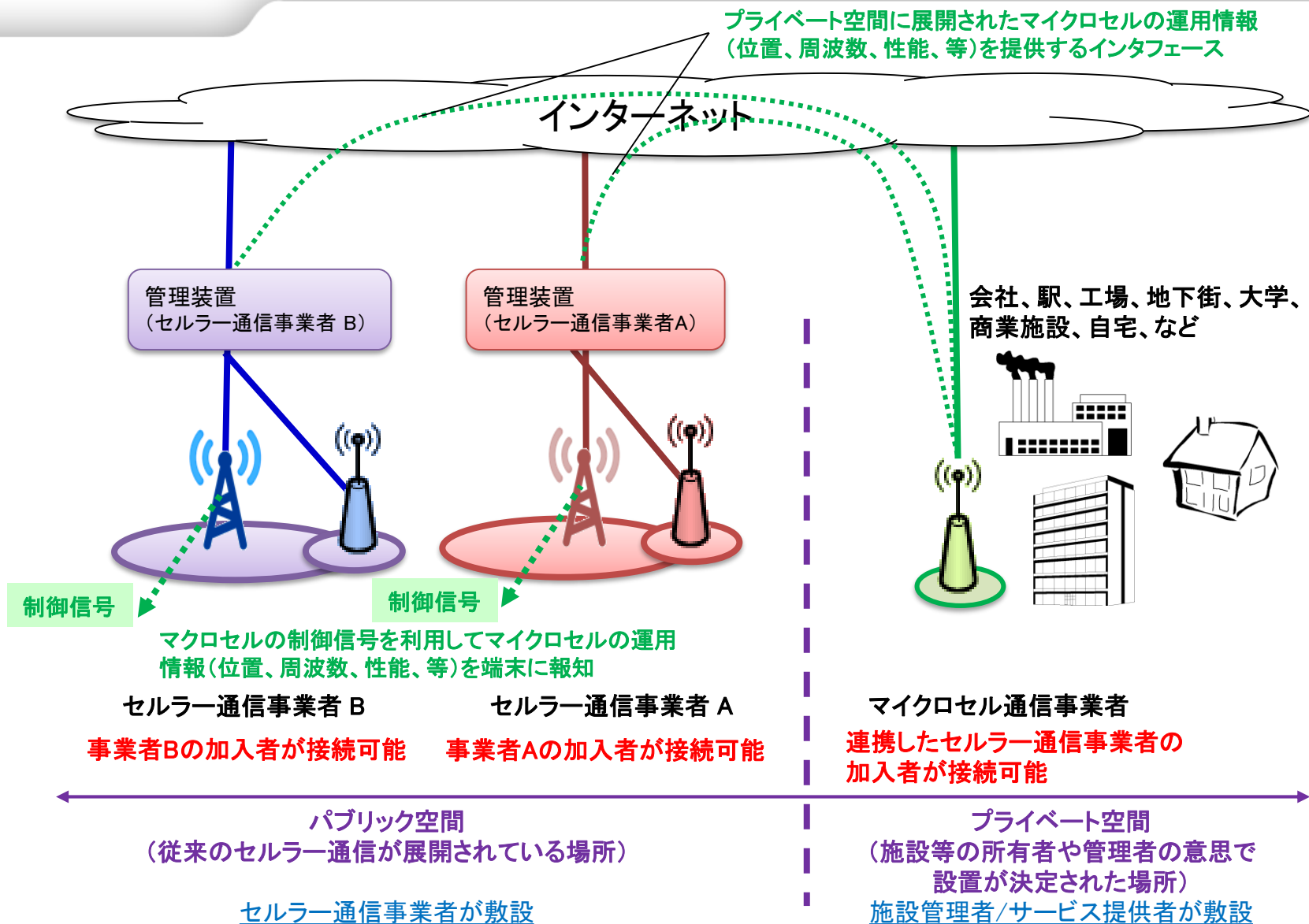


端末のマルチアクセス(複数の通信事業者、同時利用)

マイクロセルの運用(公衆と自営)

- 通信性能の要求が異なる非常に多数の端末数を収容するために、きめ細かくマイクロセルを展開する必要
 - ▶ マイクロセルは大きく2つの運用区域に整理
 - ▷ **パブリック空間**:
公衆: セルラー通信事業者が運用
 - ▷ **プライベート空間(管理空間)**:
自営: 新たな種類の通信事業者、組織、組織が運用
(会社、商業施設、工場、大学、自宅、等)
 - ▷ パブリック空間とプライベート空間は重複する可能性あり
 - ▶ プライベート空間における自営マイクロセル
 - ▷ プライベート空間における施設の管理者が、マイクロセルの必要性を把握
 - ▷ 展開の主体は、既存の**セルラー通信事業者**の他に、管理空間への展開に向けた新たな担い手(**マイクロセル通信事業者**)が想定できる
 - ▷ 周波数の繰り返し利用を綿密に計算して置局されるマクロセルと違い、プライベート空間向けの周波数利用には簡素化された方式が必要
- マイクロセル通信事業者
 - ▶ いわゆる「電気通信事業者」ではなく、無線通信システムを運用する他の主体者(個人や施設の管理者も含む)の可能性も

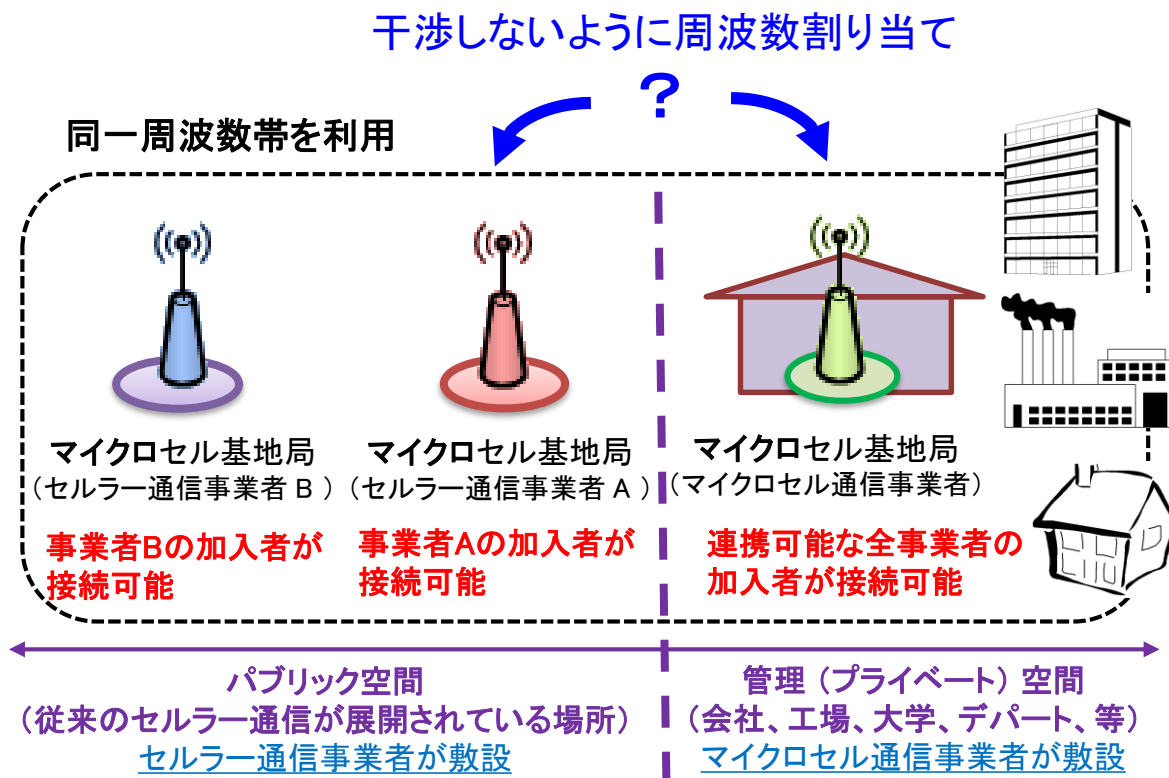
マイクロセル通信事業者の接続モデル



- マイクロセル通信事業者は、セルラー通信事業者が事業を展開しづらい部分をカバーする役目を持つ
 - ▶ マイクロセルはマクロセルと比較して圧倒的に数が多い
 - ▶ セルラー通信事業者は事業性が大きく見込めない地域には設置しない
 - ▶ マイクロセル通信事業者は個別の要望に応じた性能を持つセルを展開
- セルラー通信事業者の利点
 - ▶ 自ら設置せずにエリアが広がる
 - ▶ モビリティ管理の対価として収入が得られる可能性がある
- マイクロセル通信事業者の利点
 - ▶ 顧客の(or 自らの)要望に応じたセル展開が可能
 - ▶ 少ない費用で所望の性能を持つセルを展開し、移動通信システムの一部として組み込める
- 5Gは様々なサービスのインフラとなり、ビジネス領域が格段に広がる
 - ▶ セルラー通信事業者とマイクロセル通信事業者が一体として移動通信システムを構成し、大きなビジネス領域の中で役割分担

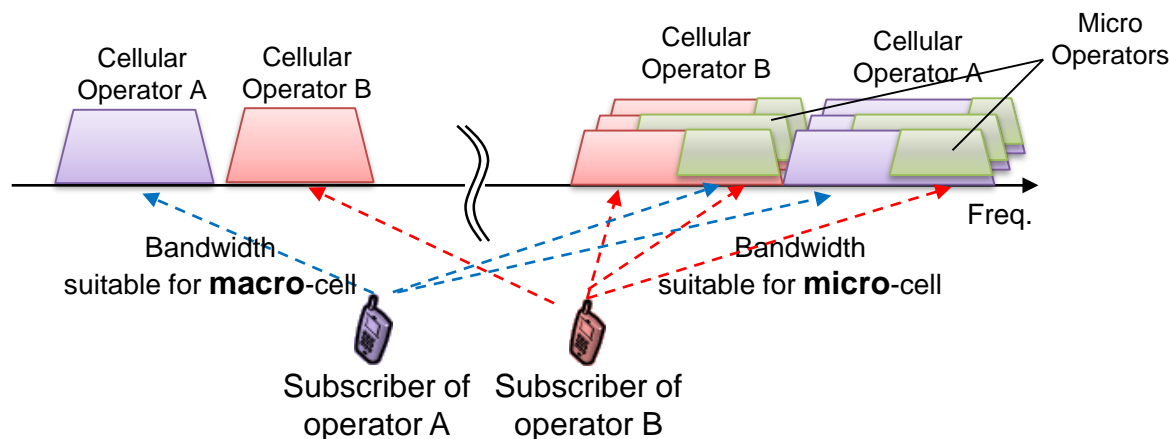
周波数共用を自動化する必要性

- 多数のマイクロセルを設置する場合、無線機の手動管理は現実的ではない
 - ▶ 設置のたびに、電波干渉のチェックをすることは現実的ではない
 - ▶ 特に、パブリック空間とプライベート空間を越えて周波数共用する場合
- 運用情報(中心周波数、帯域幅、送信電力、等)は自動的に決定されるべき

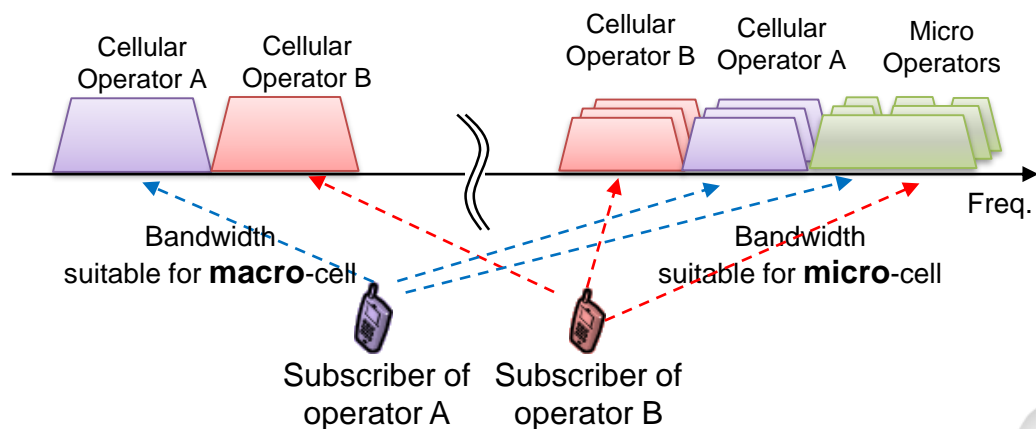


自律型マイクロセル向け周波数の割り当て

通信事業者に割り当てられた周波数を部分的にマイクロ通信事業者が利用



新たに割り当てられる共用周波数帯をマイクロ通信事業者が利用

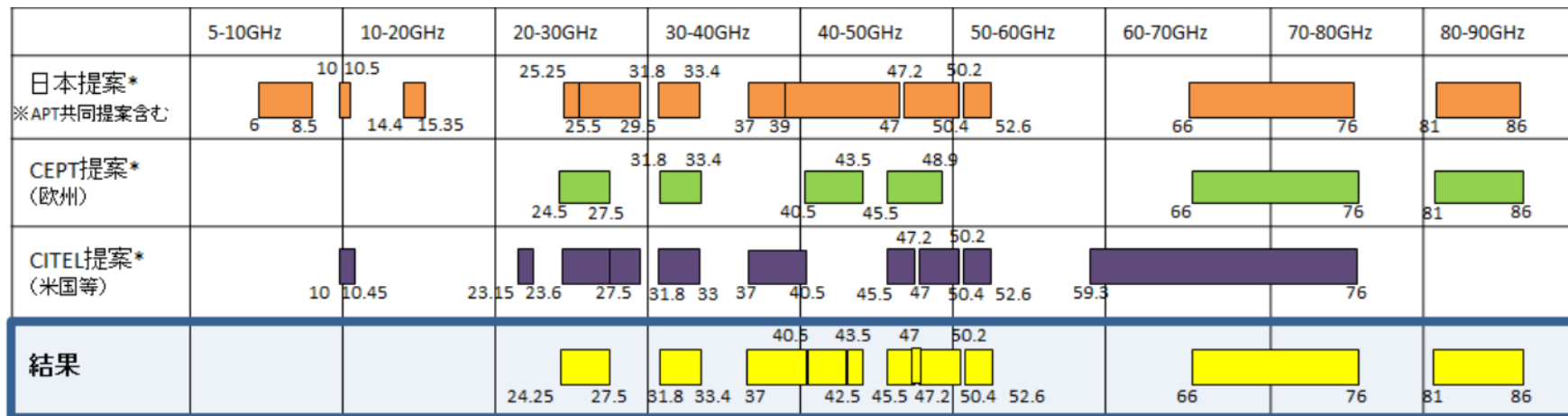


周波数共有を取り入れた移動通信システムの設計理念

- ミリ波における周波数共有の特徴
 - ▶ 干渉の影響
 - ▷ 小セルが対象 → マクロセルほど網羅的なセル配置は期待されていない
 - ▷ 空間伝搬の減衰が大、建物による遮蔽損(屋内利用の場合)
 - ▶ 干渉の可能性はもともと低く、従来ほどの厳密な管理は必要ない可能性
 - 高密度に配置する場合の検討は必要
 - ▶ 6GHz以下のIMT周波数と比較して、ミリ波は周波数共有に適している
- 周波数共有によるメリット
 - ▶ ピークレート向上が期待できる
 - ▷ 分割割り当てによる周波数の断片化が発生しない
 - ▷ 通信に利用する最大帯域幅が広がる
 - ▶ 必要に応じて周波数を柔軟に確保して利用できる可能性が高まる
 - ▶ 厳密なセル配置を設計するコストを削減できる
- 周波数利用効率を追い求めつつも、**柔軟な周波数利用の余裕**も生まれてくる
 - ▶ 周波数を専用システムに割り当てるといった概念から、共有するという概念へ
 - ▶ 結果的にビジネス領域を拡大させつつ、電波資源をより有効に利用

5G用途のミリ波帯の割り当てに向けて

- 5G向けの新たな周波数にはミリ波が想定されている
 - ▶ 国際電気通信連合 無線通信部門 (ITU-R)
 - ▶ 世界無線通信会議 (WRC) における議論
 - ▷ WRC-19 議題1.13 (IMT向けの周波数範囲を特定)
 - ▷ 24.25-27.5, 31.8-33.4, 37-40.5, 40.5-42.5, 42.5-43.5, 45.5-47, 47-47.2, 47.2-50.2, 50.4-52.6, 66-76, 81-86GHz

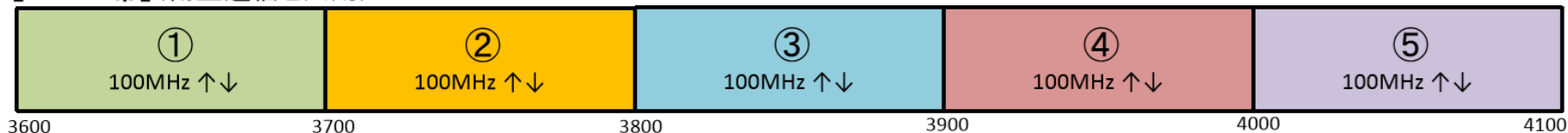


*WRC-15への提案

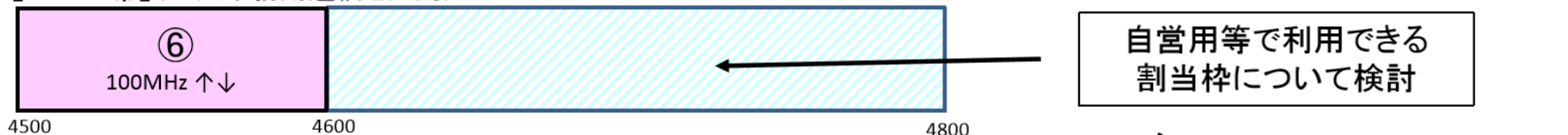
5G用の周波数割り当てに向けた日本の状況

● 2018年12月3日までパブリックコメント募集

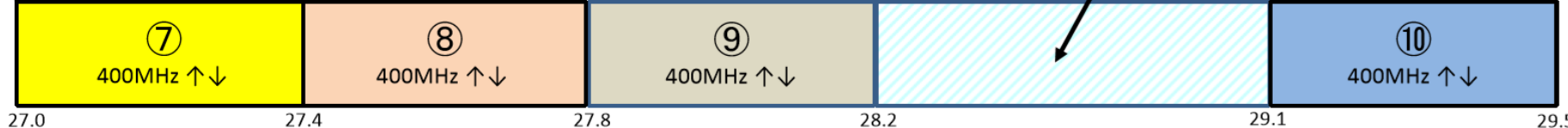
【3.7GHz帯】(衛星通信と共用)



【4.5GHz帯】(公共業務用通信と共用)



【28GHz帯】(衛星通信と共用)



出典: 総務省 http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000358.html

3GPPにおけるNetwork sharing

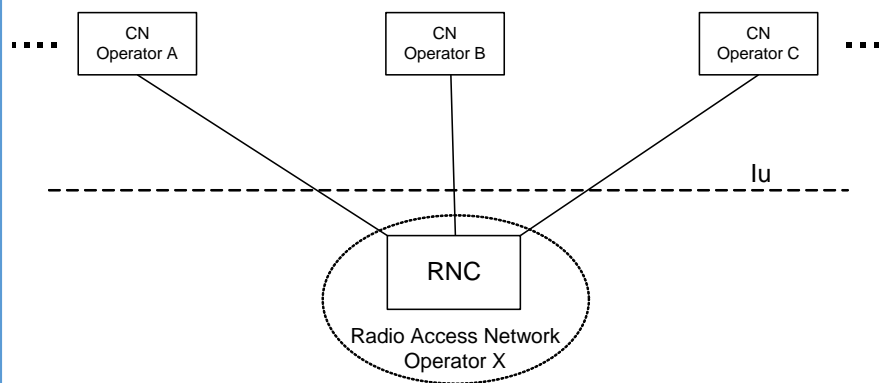
- Network sharingにより共有するリソース
 - ▶ 無線リソース(基地局等を含む)
 - ▶ コアネットワークリソース(ネットワーク、ストレージ、計算)
- Network sharingの利点
 - ▶ 移動通信ネットワークの展開コストを共有(特にマイクロセルやミリ波を利用する場合)
 - ▶ 異なるQoSを要求するユーザにネットワークを仕立て共有し利用する場合の柔軟性が向上
 - ▶ 周波数利用の柔軟性と効率が向上

3GPPにおけるNetwork sharingの議論(つづき)

3GPP TS 23.251では2種のNetwork sharingの形態について言及

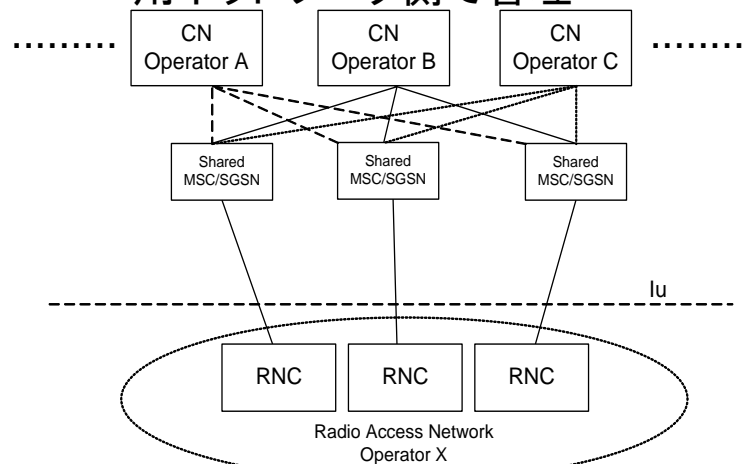
(1) MOCN: Multi-Operator Core Network

- コア装置はオペレータ間で独立
- 複数の事業者のコアネットワークに直結したeNBが共有される



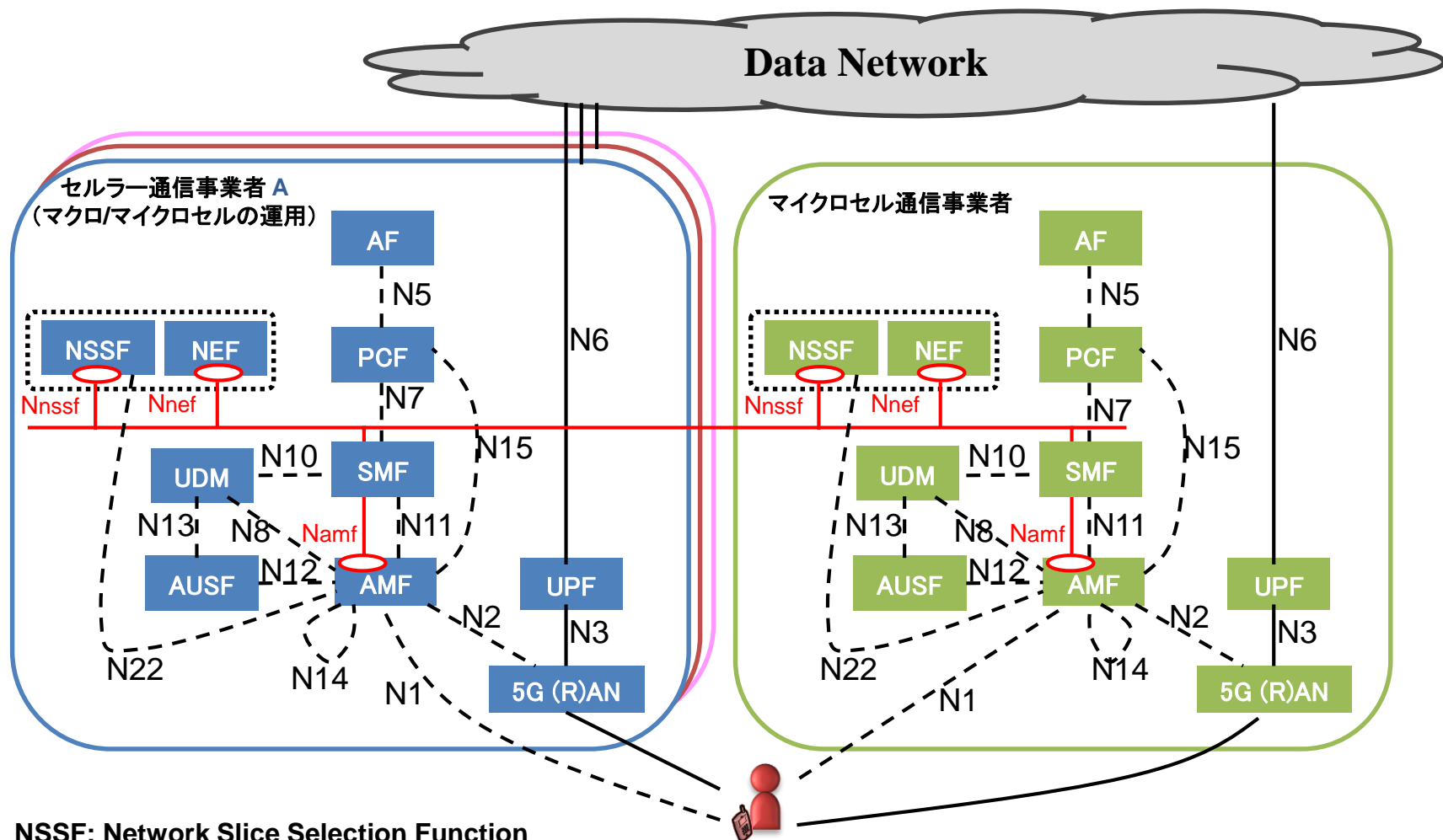
(2) GWCN: Gateway Core Network

- コア装置の一部ノードを共用ネットワークにおいて保持
- 同一のeNBにつながるセッションを共用ネットワーク側で管理



事業者ごとに受け入れ可能な共有の形態は異なるため、
両方のアプローチの検討を進めることが重要

3GPPにおける議論とNICTの提案

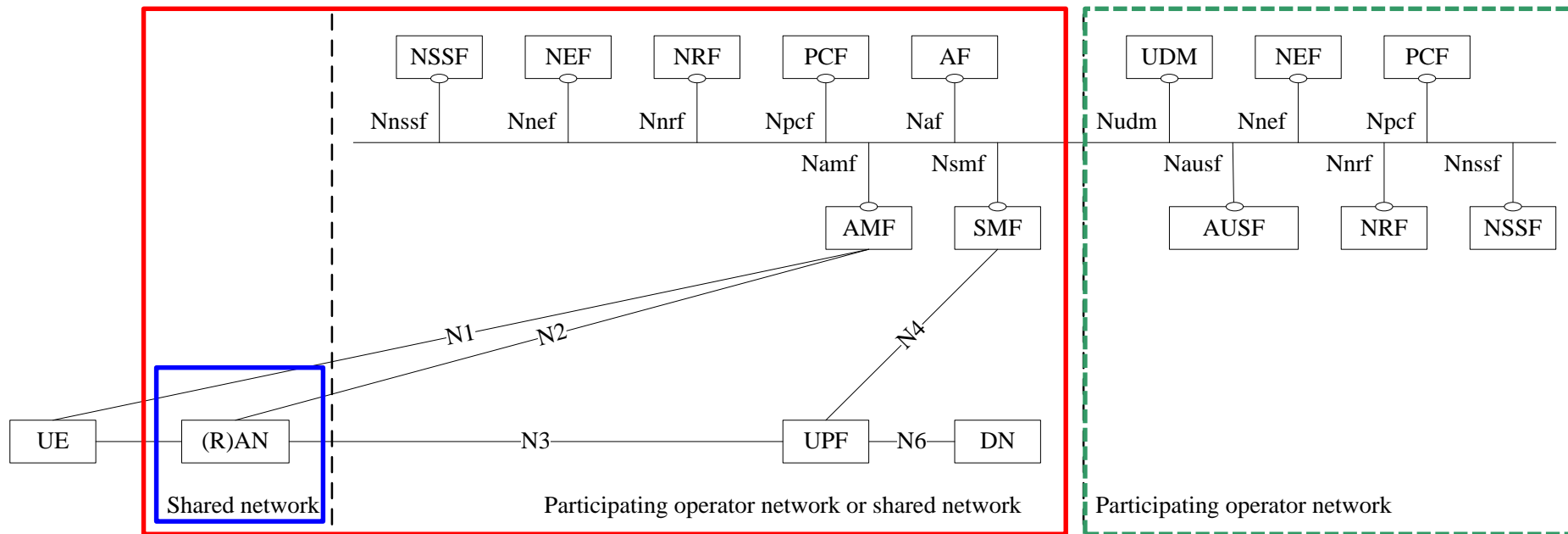


NSSF: Network Slice Selection Function
NEF: Network Exposure Function

Release 15に対するNICTの入力

- 2018年6月にRelease 15仕様(TS23.501, TS23.502)の策定完了
 - ▶ TS 23.501 “System Architecture for the 5G System”
 - ▶ TS 23.502 “Procedures for the 5G System”
- RAN sharing と Core Network (CN) sharing の概念
- RAN sharingに関して海外事業者等と共同で提案を行い採録
 - ▶ TS23.501: 5.18節
 - ▶ TS23.502: ハンドオーバー手順の修正
 - ▶ Shared Network は NR RAT を対象に
- CN sharing は Network Slicing により実現することに

Release 15のRAN sharing と CN sharing



RAN sharingでの
共有範囲

CN sharingでは
RANに加えてCNの一部機能も共有

各事業者が
個別に所有すべき部分

- RAN sharingでは、基地局部分を複数事業者により共有
 - ▶ 比較的簡易な設定で共有が可能
 - ▶ 基地局リソースは静的に各事業者に分配
- RAN + CN sharingでは、セッション管理機能なども共有
 - ▶ 基地局リソースを動的設定可能であるため、高い利用効率を期待できる
 - ▶ 各事業者からの要求について調整機能が必要（例えば品質制御要求など）

UE – User Equipment

RAN – Radio Access Network

DN – Data Network

AF – Application Function

UPF – User Plane Function

UDM – Unified Data Management

NEF – Network Exposure Function

PCF – Policy Control Function

NRF – Network Function Repository Function

AMF – Access and Mobility Management Function

SMF – Session Management Function

NSSF – Network Slice Selection Function

AUSF – Authentication Server Function

ATSSS – Access Traffic Steering, Switching and Splitting

AT3SF – Access Traffic Steering, Switching and Splitting Functions

N3IWF – Non-3GPP Interworking Function

Ⅱ 5G総合実証試験(多数同時接続: massive MTC)

2017年度5G総合実証試験(総務省)

技術要件	技術目標	移動速度	試験環境	周波数帯	主な実施者	概要	主な実施場所
超高速大容量	ユーザ端末5Gbpsの超高速通信の実現 ※基地局あたり10Gbps超	30km/hまで	人口密集都市環境	4.5GHz帯 28GHz帯	NTTドコモ、東武スカイツリータワー、総合警備保障、和歌山県	高臨場・高精細の映像コンテンツ配信や広域監視、総合病院と地域診療所間の遠隔医療に関する実証	・東京都(東京スカイツリータウン周辺、臨海副都心地区) ・和歌山県(県立医科大学)
		—	屋内/閉空間環境	28GHz帯	国際電気通信基礎技術研究所(ATR)、那覇市	屋内スタジアムでの自由視点映像の同時配信に向けた高精細映像の多重配信に関する実証	・沖縄県(那覇市沖縄セルラースタジアム)
	90km/h以上	都市又はルーラル環境	28GHz帯	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ、東武鉄道、インフォシティ	高速移動体(鉄道、サーキット走行車両)に対する高精細映像配信に関する実証	・栃木県(東武日光線沿線) ・静岡県(富士スピードウェイ)	
超低遅延	1ms(無線区間)の低遅延通信の実現	60km/hまで	都市又はルーラル環境	4.5GHz帯 28GHz帯	KDDI、大林組、日本電気、トヨタIT開発センター	コネクテッドカー、建機の遠隔操作など、移動体とのリアルタイムな情報伝送に関する実証	・愛知県(KDDI名古屋ネットワークセンター) ・埼玉県(川越市大林組東京機械工場)
		90km/hまで			ソフトバンク、先進モビリティ、SBドライブ	トラックの隊列走行、車両の遠隔監視・遠隔操作に関する実証	・茨城県(つくば市国総研テストコース)
多数同時接続	100万台/km ² の多数同時接続の実現	—	屋内/閉空間環境	3.7GHz帯 4.5GHz帯 28GHz帯	情報通信研究機構(NICT)、横須賀市、イトーキ、シャープ、エイビット	災害時に避難所や防災倉庫において多数の人の要求やモノの位置を的確に把握可能な情報収集やスマートオフィスに関する実証	・宮城県仙台市 ・神奈川県横須賀市 ・石川県能美市 ・大阪府大阪市

総合実証試験(多数同時接続)の概要

カテゴリ	シナリオ	主眼	協力者	実施場所
伝搬測定	屋内環境における4.7GHz帯の伝搬環境を測定		ソフトバンク	神奈川県横須賀市(YRP) 熊本県熊本市(熊本大) 北海道札幌市(北海学園大) 東京都江東区(ソフトバンク)
性能測定	(1) 防災倉庫 防災倉庫で管理している物品や避難者の位置や種別を把握し、災害時に必要な物資数をフレキシブルに配送するための管理	20,000台規模のmMTC用途での同時接続性を検証する	ソフトバンク エイビット	神奈川県横須賀市(防災倉庫@YRP)
	(2) スマートオフィス オフィス環境における多数のM2M通信の機器と高速低遅延を必要とするオフィス機器の共存	eMBB、URLLC、mMTCの全ニーズが混在する環境にて周波数有効利用性を検証する	イトーキ シャープ	大阪府大阪市(イトーキ) 石川県能美市(いしかわサイエンスパーク) 宮城県仙台市(NICT耐災害センター)

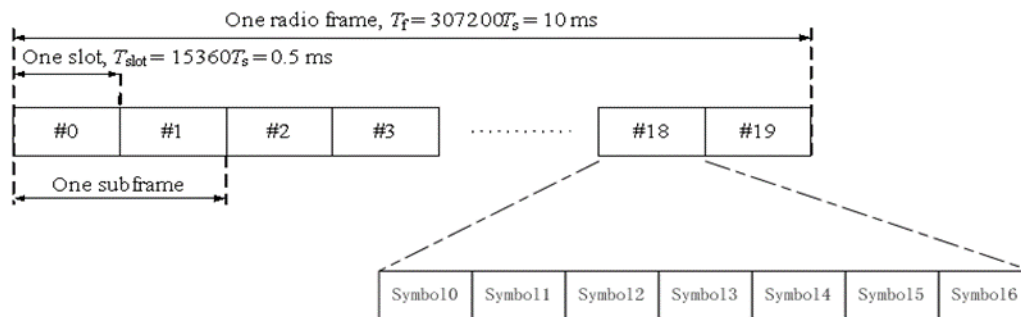
想定方式: 5G IoT (mMTC)としてのMUSA

● Multi-user Shared Access (MUSA)

- ▶ Performance evaluation of MUSA, mMTCの実現方式の一つであるMUSAを用いて性能評価
- ▶ Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) 技術
- ▶ Grant Free 方式: 基地局からの許可“grant”なしに端末が送信

● 利点

- ▶ シグナリング負荷の低減、消費電力の低減、接続時間の短縮
- ▶ 端末側の回路を簡略化



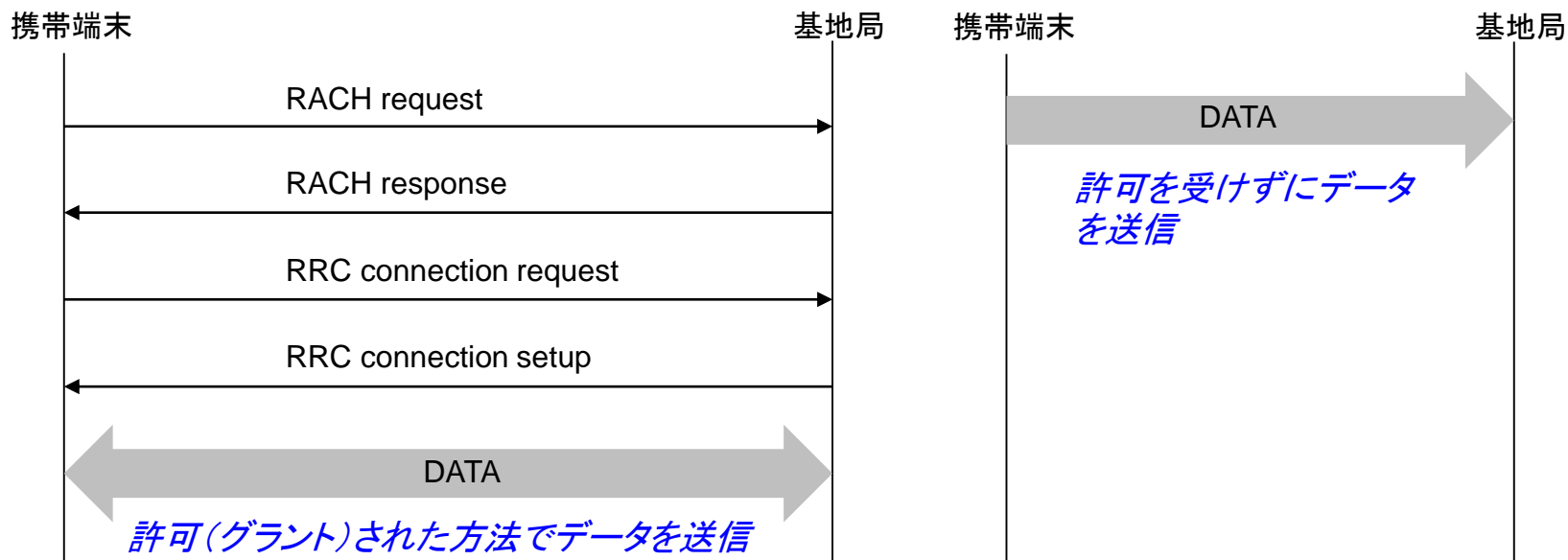
Frame structure of MUSA

Frame: 10 sub frames, 20 slots in 10ms
Sub frame: 2 slots
Slot: 0.5ms, 7 OFDM symbols

1 UE is accommodated in radio resource of 180kHz × 1ms.
A packet of 136 bits from each UE is accommodated in 180kHz × 8ms.

想定方式: Grant Free

- プロトコルを大きく省略
 - ▶ 散発的で小さなデータの送信に適している
 - ▶ 同時送信によるデータ欠損は複数回の送信により解決

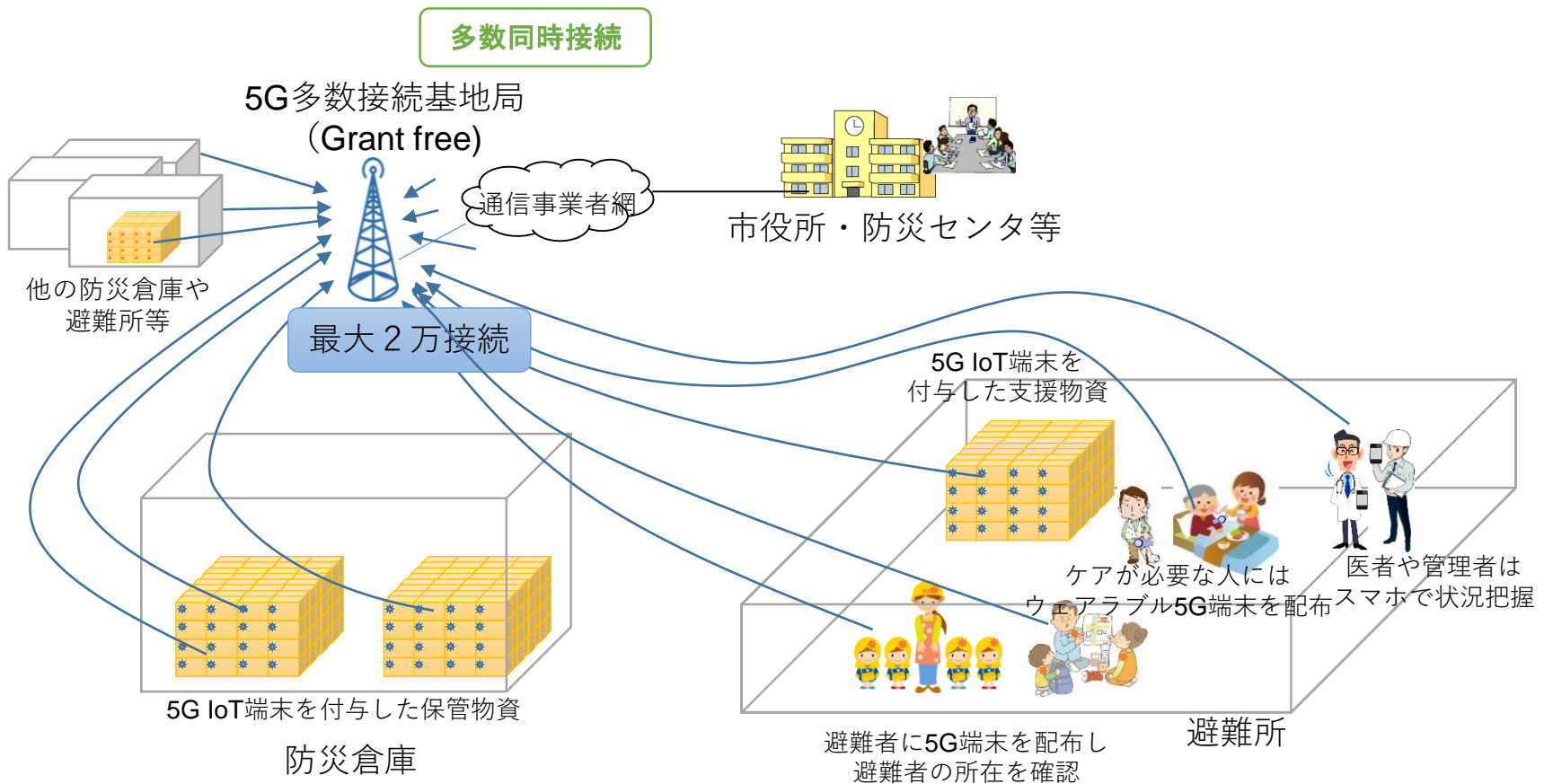


LTE方式

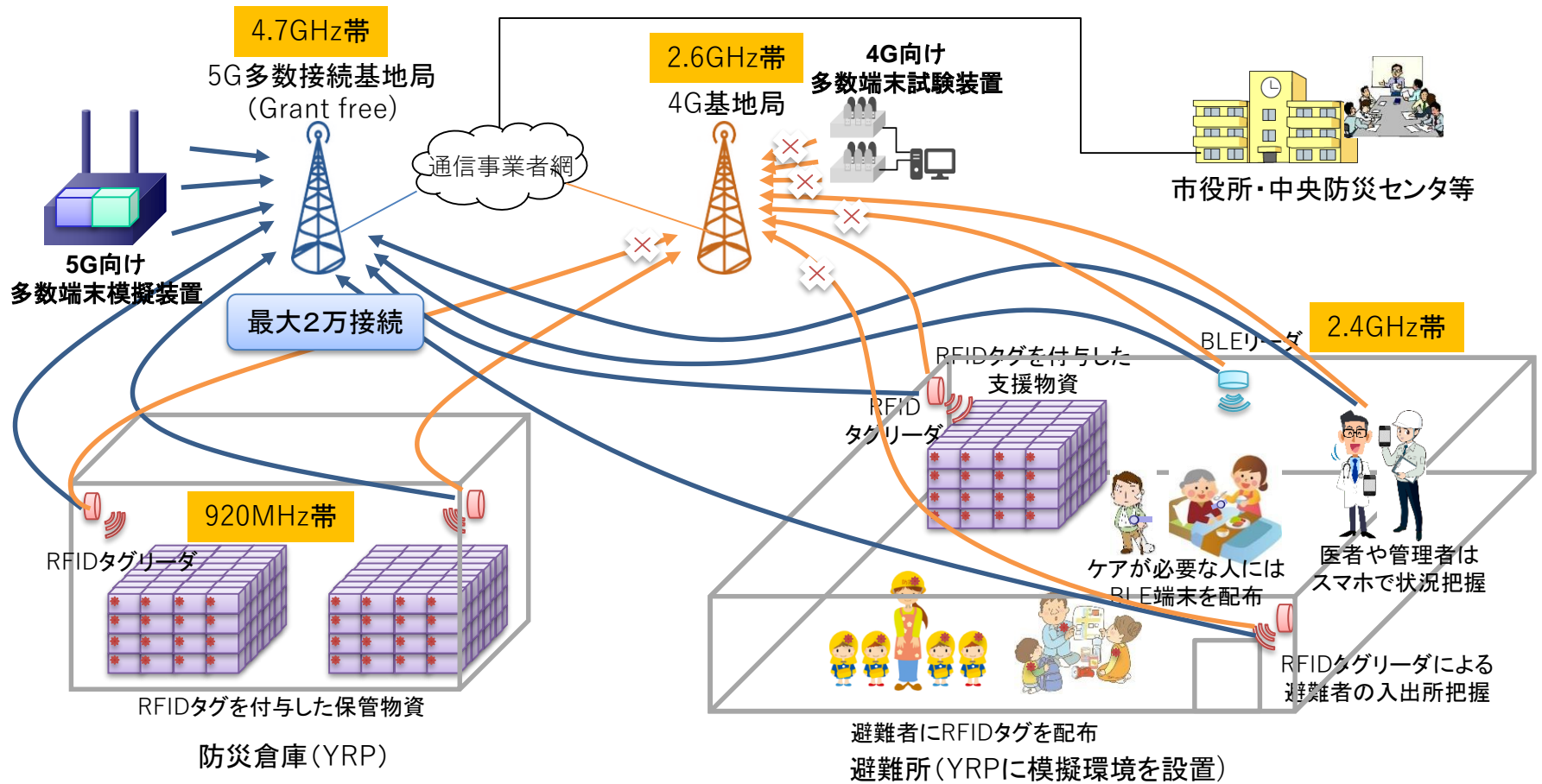
5G方式

実証(防災): 概要

- 多数の物資や人の情報を5Gを利用して収集して統合管理
- 災害時の防災倉庫や避難所を想定し、動き回る人(医師、ボランティア、被災者等)や持ち込みや持ち出しの激しいモノの管理を効率的かつ確実に行う



実証(防災): 構築環境と想定



【利用シナリオの想定環境】

- 神奈川県横須賀市の規模
 - 防災倉庫: 103 か所
 - 小中学校: 69 校
 - 複数のmMTC対応基地局が冗長に市をカバーし、一部の故障でも通信エリアを維持

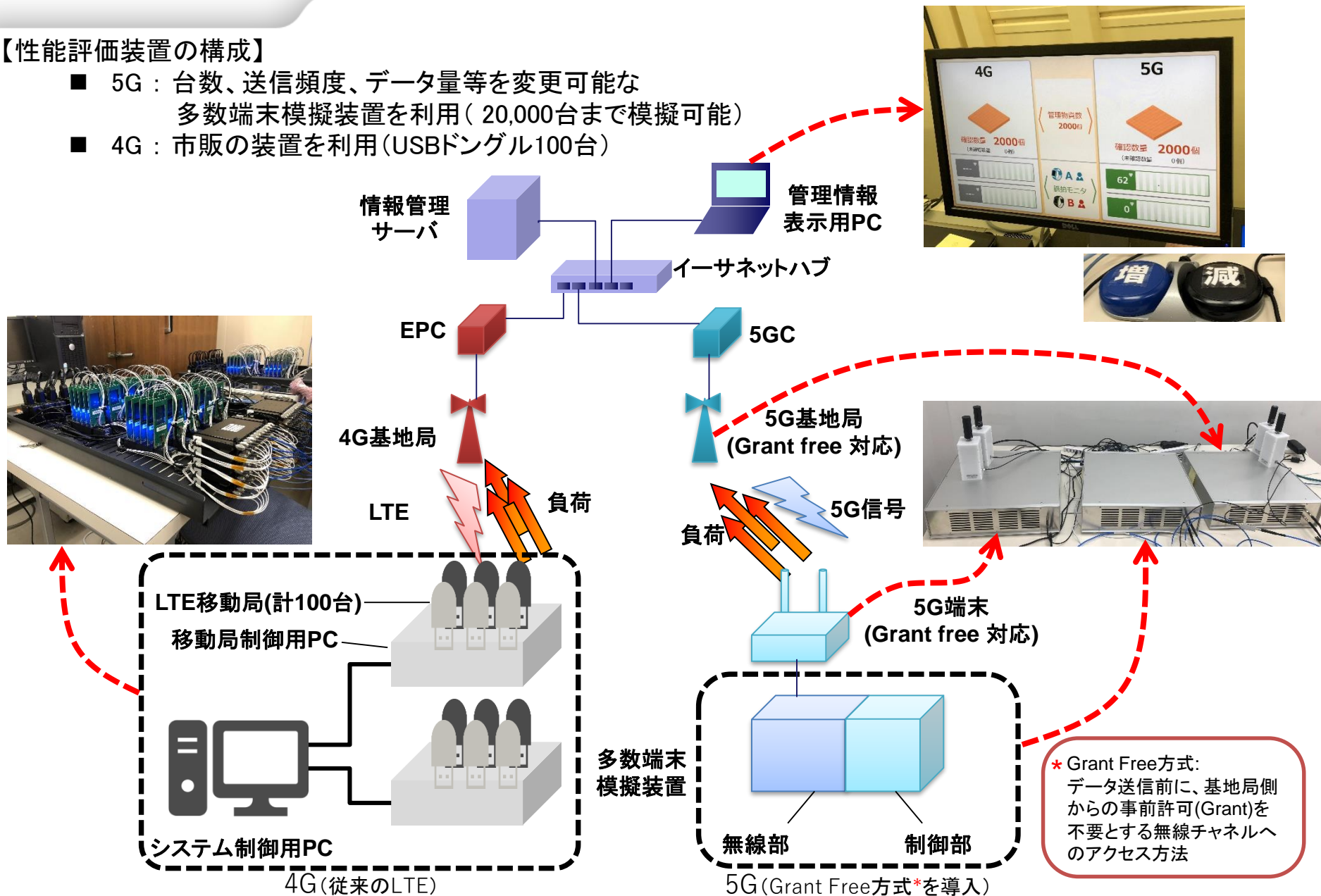
【実証試験の前提】

- RFID/NB-IoTリーダを併用
 - 物資に付与する5G IoT端末を多数用意することは困難なため、RFIDタグやウェアラブルBLE端末で代替し、リーダを経由して5G/4G基地局に送信
 - 物資や避難者の位置精度はRFIDタグリーダの密度に依存
 - RFIDタグ、BLE端末は多数接続の評価対象台数には含まない

実証(防災): 実機(4G)と模擬装置(5G)による性能評価

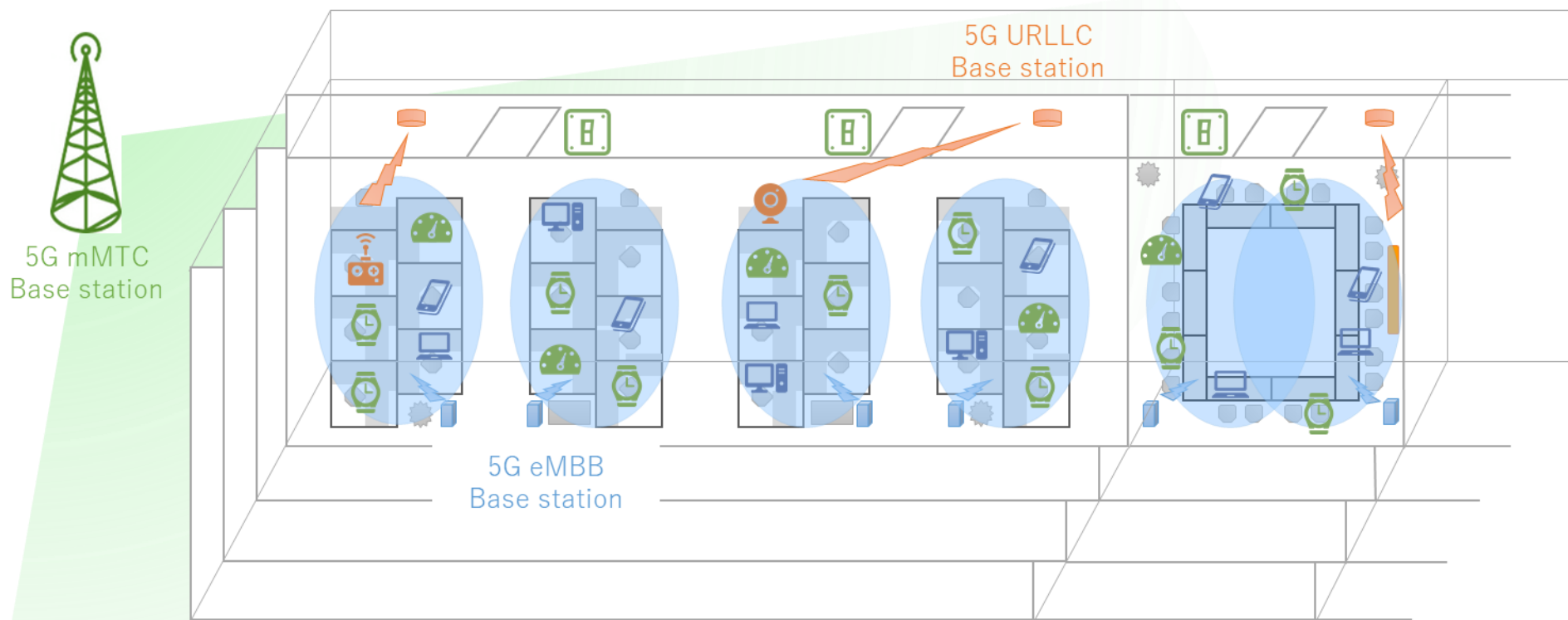
【性能評価装置の構成】

- 5G: 台数、送信頻度、データ量等を変更可能な多数端末模擬装置を利用(20,000台まで模擬可能)
- 4G: 市販の装置を利用(USB dongle 100台)

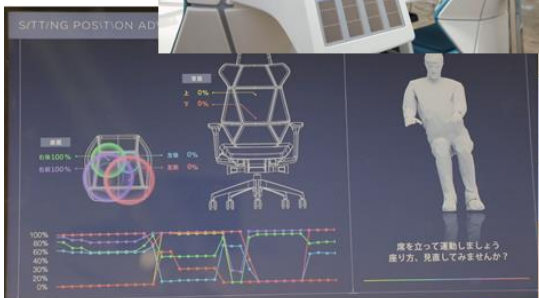
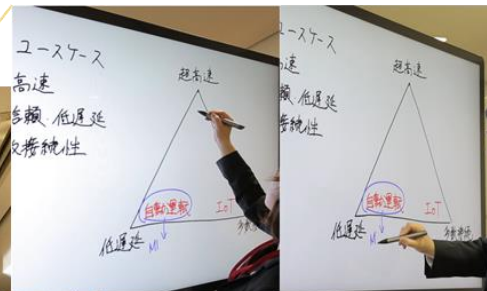
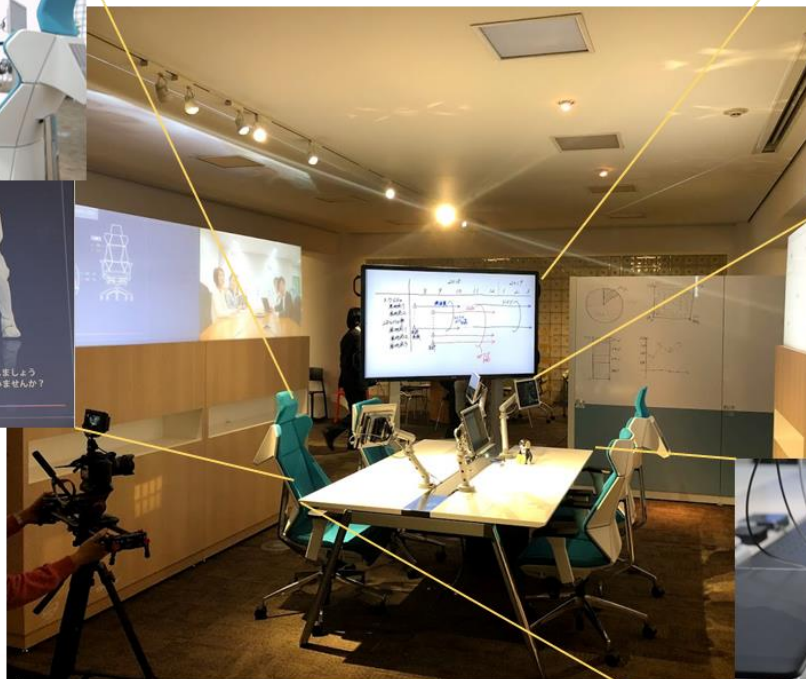


実証(スマートオフィス): 想定環境

- スマートオフィス: 5Gを活用して実現できる将来のオフィス環境
- 複数の5Gの特徴を組み合わせて実現



実証(スマートオフィス): 構成



多数接続

2.4GHz帯

スマートチェア

センサーと高性能太陽光パネルを内蔵し、バッテリーレスで推定姿勢等を検出して送信

※今回の無線装置はBluetooth Low Energy (BLE)を使用

低遅延

3.7GHz帯/28GHz帯

電子ホワイトボード

電子ホワイトボードによる遠隔地とのスムーズなコミュニケーション

超高速

3.7GHz帯

スマートテーブル

アンテナを内蔵し机上でのみ通信可能
隣の机と干渉せずに同一帯域の使用を可能に

※超高速と低遅延の5Gシステムは、今回はLTEシステムの周波数を変換することにより模擬

実証(スマートオフィス): 機能

【スマートテーブル】

超高速

3.7GHz

- 5G 無線システムを組み込んだ会議テーブル
 - 机上の機器のみ5G通信エリア(3.7GHz帯)となり通信可能な
 - 3.7GHz帯通信エリアを限定することで少人数で帯域を占有でき、かつ隣接する机でも同帯域が利用可能
- 会議支援システム
 - 認識した音声から自動的に議事録を生成
 - 発話者の自動検知も
 - 会議キーワード検出とサジェスチョン
 - 会話で頻出するキーワードを拾い、参考となる時事ニュースを検索



【スマートチェア】

多数同時接続

3.7 / 2.4GHz

- 圧力センサを組み込んだスマートチェア
 - 座っている人の姿勢や感情(動きから推定)を検出
 - 将来的には感情情報(頷き、退屈等)を議事録に自動記録
 - 省電力モジュールを使用しているためソーラーパネルのみで動作(5Gの通信方式がシンプルのため)



【スマートホワイトボード】

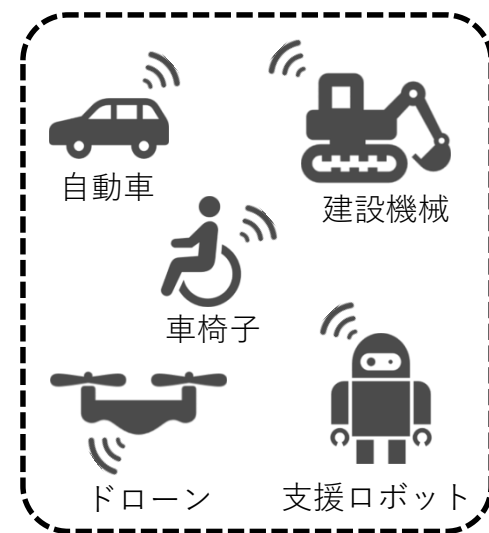
低遅延

3.7 / 28GHz

- 遠隔地とリアルタイムで描画を共有
 - 従来のTV会議システムと組み合わせ、距離を感じない会議を

Ⅲ 5Gの自動運転への応用

- 近い将来**自律型モビリティ**の普及が期待
 - ▶ **自動走行**機能を具備した様々な移動体
 - ▶ 物流ドライバー不足の解決、高齢者の移動手段の提供、などへの活用が期待
 - ▶ 交通事故の低減、渋滞の解消/緩和、などさらなる安全な交通への技術が必要



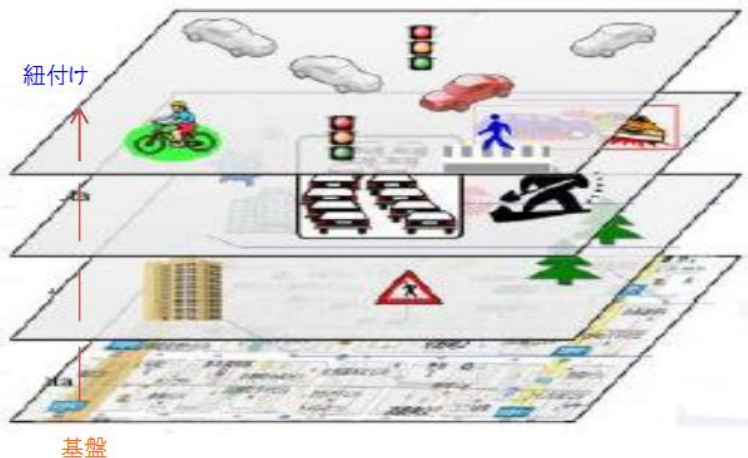
自律型モビリティの例

- 刻々と変化する情報を含んだ地図が必要
 - ▶ 情報の例
 - ▷ 渋滞情報、車の位置と速度、歩行者の位置、信号の情報
 - ▶ 自動走行には不可欠
(車載のセンサによる自律走行だけでは限界)

ダイナミックマップとは？

- ダイナミックマップの作成には様々なセンサ情報の収集が必要
 - ▶ 5Gの特徴(超高速/超低遅延)を活用する必要

ダイナミックマップ(SIPで開発:地図データの構造化等)



《動的情報(<1sec)》

ITS先読み情報(周辺車両、歩行者情報 信号情報など)

《准動的情報(<1min)》

事故情報、渋滞情報、狭域気象情報など

《准静的情報(<1hour)》

交通規制情報、道路工事情報、広域気象情報

《静的情報(<1day)》

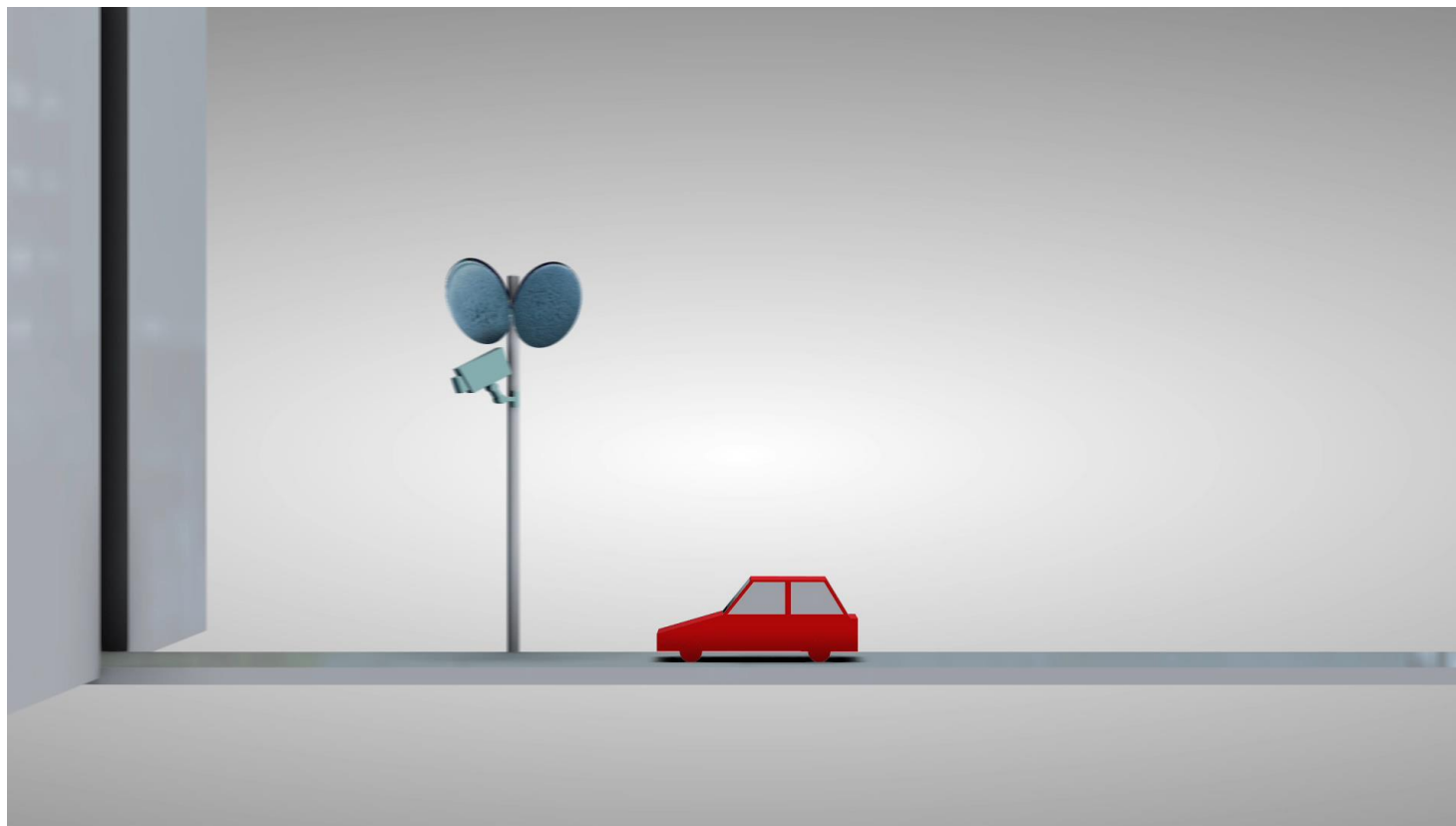
路面情報、車線情報3次元構造物など

狭い範囲で超低遅延
で信頼性の高い通信
を行う狭域通信

広いエリアでいつでも
使える5G等広域通信
(スポット通信で支援)
※多くの車に同じ情報を効率良く
配信するための工夫が必要

電子カーブミラーの効果

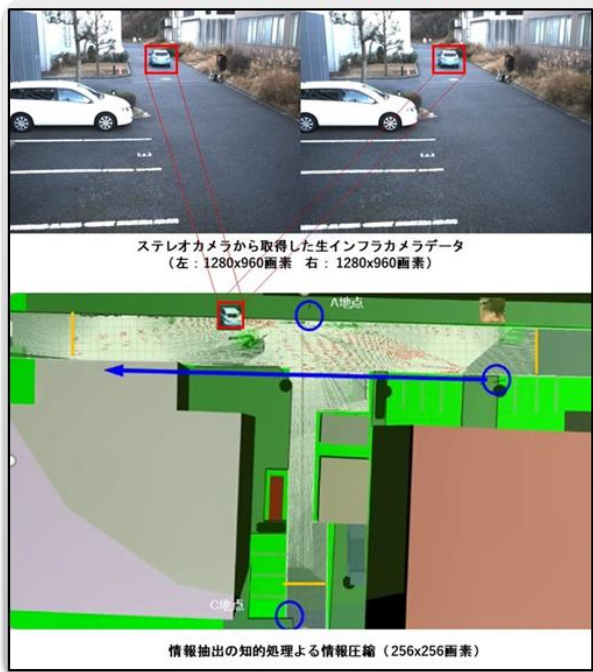
- ビルの谷間や見通しの悪い交差点など、**見通せない先の安全確保**
- **道路センサー(カメラを含む)**により交通環境をリアルタイムに認識
- 無線通信により柔軟に設置・運用が可能



実証システムの構成と機能

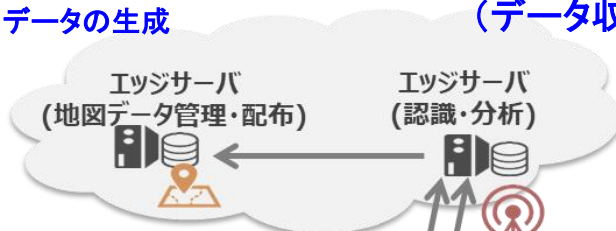
カメラ(センサ含む)の画像から
特徴を抽出して情報を圧縮

道路変化の認識技術



※ダイナミックマップ用
データの生成

エッジサーバ
(データ収集)



各カメラの情報取得時刻を管理し、
サーバ側において同期した一体情報を
生成

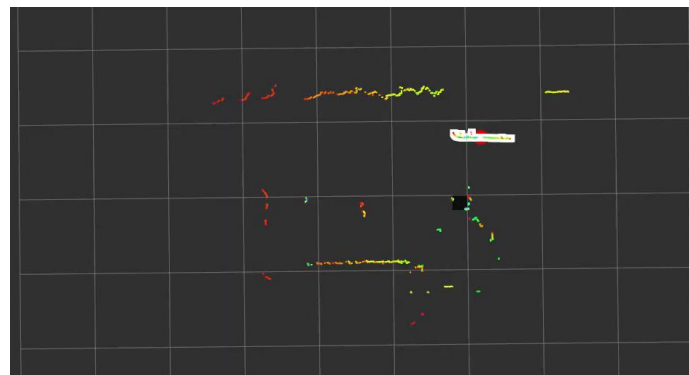
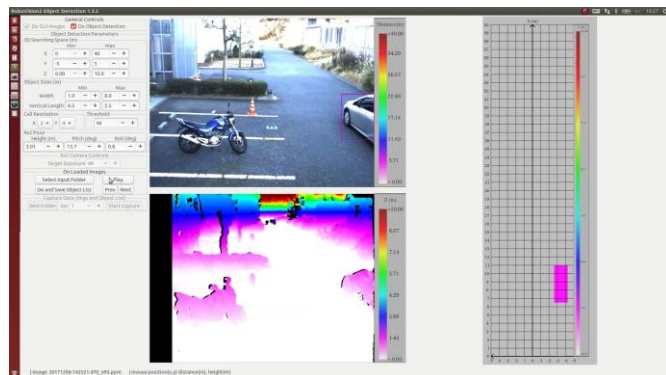
准静的～准動的情報利用技術



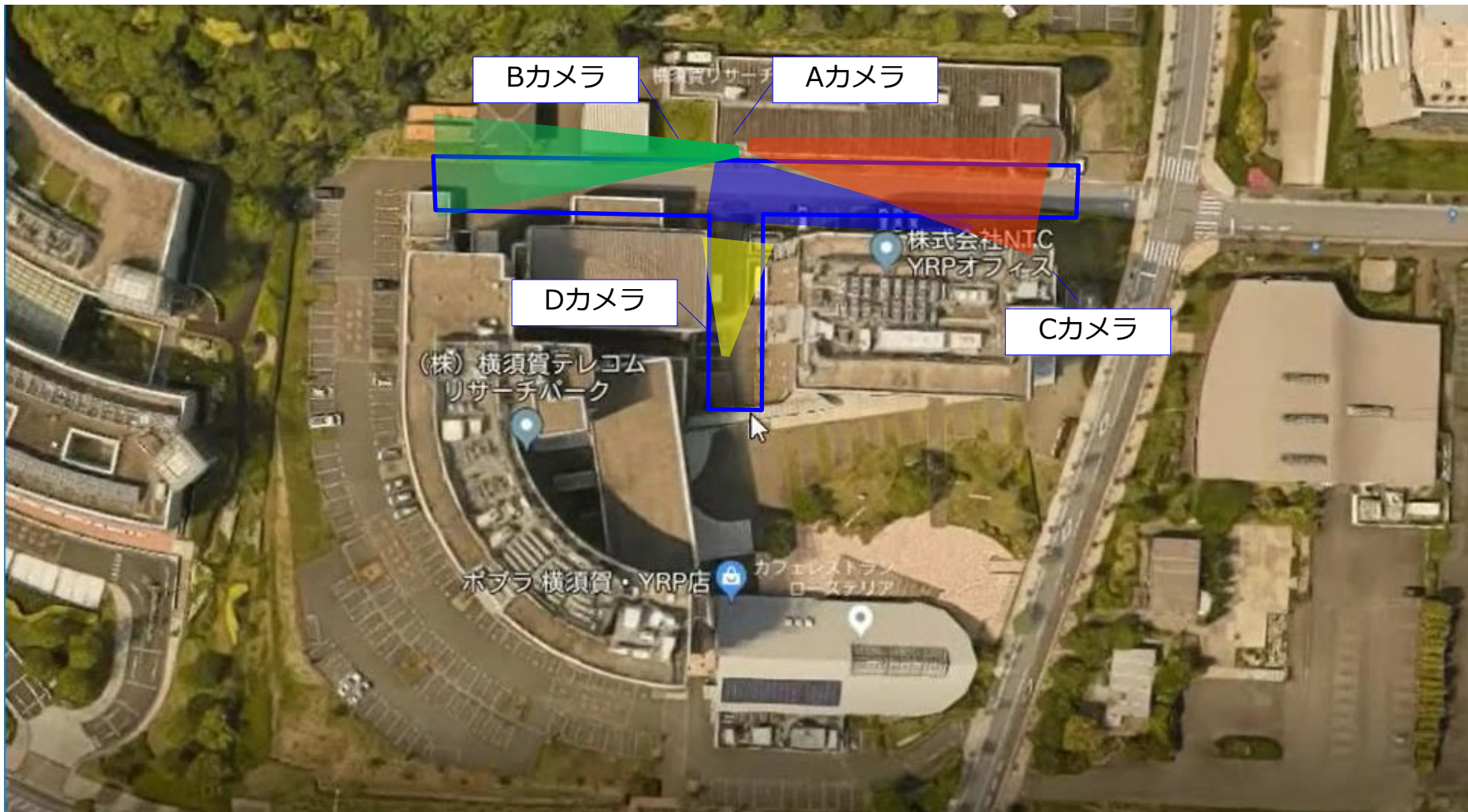
電子カーブミラー
(物体検出)

- ビルの谷間や見通しの悪い交差点など、見通せない先の安全確保
- 道路センサー(カメラを含む)により交通環境をリアルタイムに認識
- 無線通信により柔軟に設置・運用が可能

電子カーブミラー



YRPテストベット:カメラとセンサの検出範囲



複数のセンサ情報を統合して得られた交差点周辺の様子



- 5Gを含む様々な無線システムを活用する場合の性能評価が必要
- YRPにおいて実車を用いた自律運転の試験も検討中
(様々な自律型モビリティにワイヤレスで情報を提供)

- NICTの5Gアプローチ
 - ▶ 基地局:異なる性能の基地局とスモールセル化
 - ▶ 端末:スマートフォンに限らない多様な端末
 - ▶ 新規事業者/自営(マイクロ通信事業者)による基地局の柔軟な設置と周波数共用
- マイクロセルを活用した利用シナリオに関する研究開発
 - ▶ 防災シナリオ
 - ▷ IoTデータを2万端末から受信できることを確認
 - ▶ スマートオフィス
 - ▷ mMTC、eMBB、URLLCを活かした環境構築
 - ▶ 自動運転
 - ▷ URLLCを利用した電子カーブミラー

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)
ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
石津 健太郎 (ishidu@nict.go.jp)

Dr. Kentaro Ishizu
Wireless Systems Laboratory
Wireless Networks Research Center
National Institute of Information and Communications Technology (NICT)