令和4年度　課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【特殊環境実証事業】

# 複数鉄道駅および沿線
# におけるローカル 5G を活用した
# 鉄道事業者共有型ソリューションの実現

成果報告書

令和５年３月

住友商事株式会社

# 目次

1. 実証概要 ..... 1

1.1 背景・目的 ..... 1
1.2 実証の概要 ..... 6

2. 実証環境の構築 ..... 8

2.1 対象周波数帯 ..... 8
2.2 実施環境 ..... 9
2.2.1 4.7GHz 帯での実証実施環境 ..... 9
2.2.2 28GHz 帯での実証実施環境 ..... 12
2.2.3 ローカル 5G のネットワーク構成 ..... 13
2.2.4 基地局等の無線機器の調達先等 ..... 18
2.2.5 ローカル 5G の無線機器 ..... 23
2.2.6 基地局エリアカバレッジ ..... 41
2.2.7 構築スケジュール ..... 48
2.3 システム機能・性能・要件 ..... 49
2.3.1 車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化 ..... 49
2.3.2 沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上 ..... 51
2.3.3 ローカル 5G システムの性能 ..... 53
2.4 その他 ..... 55
2.4.1 実証システムの拡張性等 ..... 55
2.4.2 実証システムの安全性確保のための対策 ..... 61

3. 特殊な環境におけるローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証） ..... 65

3.1 実証概要 ..... 65
3.1.1 4.7GHz 帯システム ..... 65
3.1.2 28GHz 帯システム ..... 65
3.2 実証環境 ..... 66
3.2.1 4.7GHz 帯システム ..... 66
3.2.2 28GHz 帯システム ..... 69
3.3 実証事項 ..... 71
3.3.1 線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化 ..... 71
3.3.2 線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上 ..... 202

3.4 鉄道領域(線路/駅ホーム)のエリア化に関する考察.....231

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討(課題実証).....233

4.1 実証概要 ..... 233
4.1.1 背景となる課題..... 233
4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル ..... 242
4.1.3 実証内容の新規性・妥当性..... 253
4.1.4 実証目標..... 256
4.2 実証環境 ..... 259
4.3 実施事項 ..... 263
4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証 ..... 263
4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証 ..... 368
4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討 ..... 390
4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開..... 392

5. 普及啓発活動の実施 .....402

5.1 映像制作 ..... 402
5.2 実証視察会の実施..... 402
5.3 その他普及啓発活動..... 404

6. 実施体制 .....405

6.1 実施体制の全体像..... 405
6.2 実施体制内の役割..... 407

7. スケジュール.....408

7.1 全体スケジュール ..... 408
7.2 実証期間中の進捗管理 ..... 408

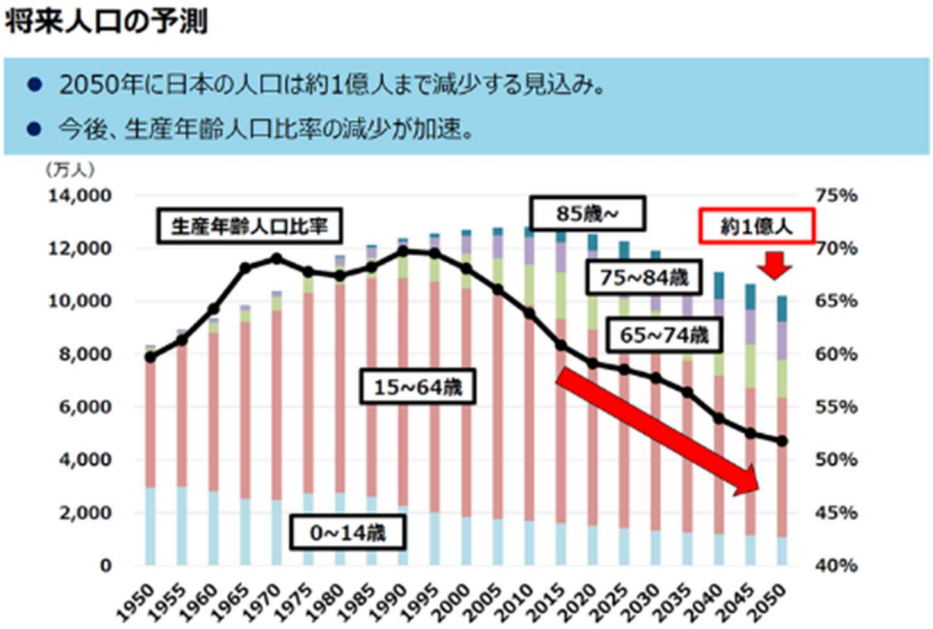
# 1.　実証概要

## 1.1　背景・目的

はじめに現在、日本の地域社会においては労働力不足への対応や生産性の向上が喫緊の課題となっている。(図 1.1-(1))これは鉄道分野においても同様であり、軌道やトンネル、高架橋等の鉄道インフラおよび多種多様な車両のメンテナンスなど、一定程度の労力を要する鉄道業界の事情も深刻な問題である。こうした将来的なメンテナンス技術者の減少といった懸念に加え今後、地上設備や車両等の老朽化の進行、更には新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴う新しい生活様式の普及加速化という外部環境の変化により、事業環境は大きな転換点に差し掛かっている。そんな中、鉄道事業の根幹である「安全」を引き続き維持していくためには、今まで以上に効果的・効率的なメンテナンス体制の確立が急務である。(図 1.1-(2))

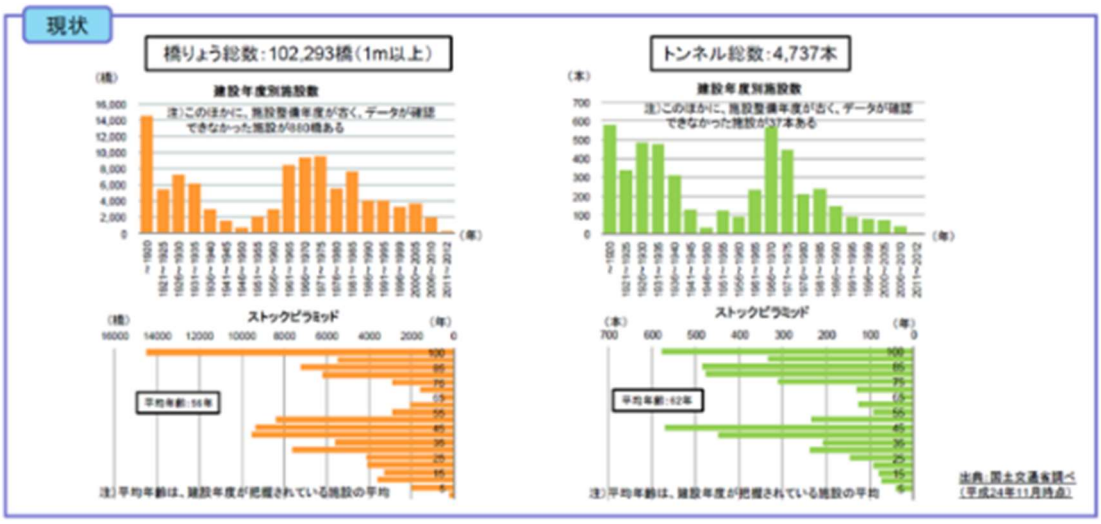
本取り組みのユーザ企業である東急電鉄株式会社はこれら変化の渦中にあり、事業構造変革の必要性を強く認識する企業の 1 社である。同社の渡邊代表取締役社長は社員向けに「コロナ禍の厳しい状況下において鉄道事業は事業構造変革を実行すべきであり、デジタル技術を取り込み、駅務・保守業務を見直し、ワンマン化の拡大検討など着実な変革を成し遂げる」とメッセージを発信しており、本取り組みはその大方針のもと構想されたものとなる。

鉄道はわが国の社会経済活動を支える必要不可欠な交通インフラであり、安全かつ安定的な鉄道サービスの提供が求められている。鉄道オペレーションにおける労働力不足の課題も同様であり、安全性を追求し、テクノロジーと人の力とをかけ合わせた、より高度な運行の実現を目指し、安全で安定した鉄道サービスの提供し、持続的な成長を続けることで、地域社会の発展に貢献する必要がある。




引用:経済産業省「2050 年までの経済社会の構造の変化と政策課題について」

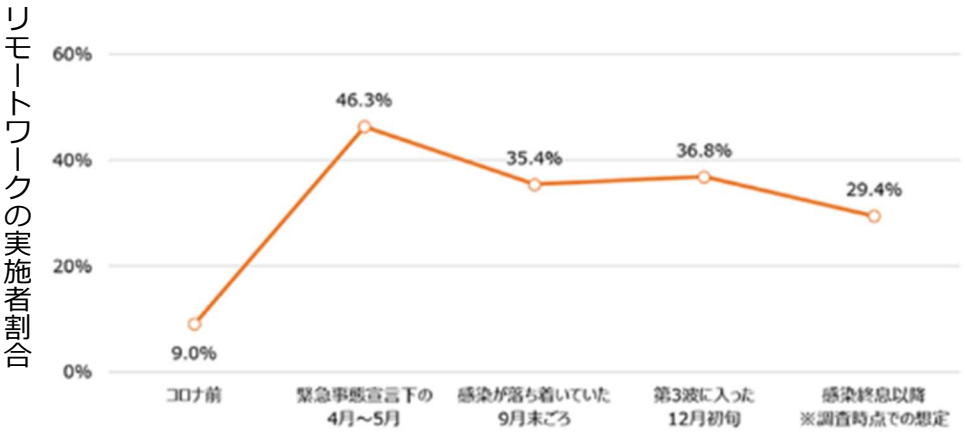
図.1.1-(1):今後の生産年齢人口




引用：国土交通省　鉄道行政の現状と課題について

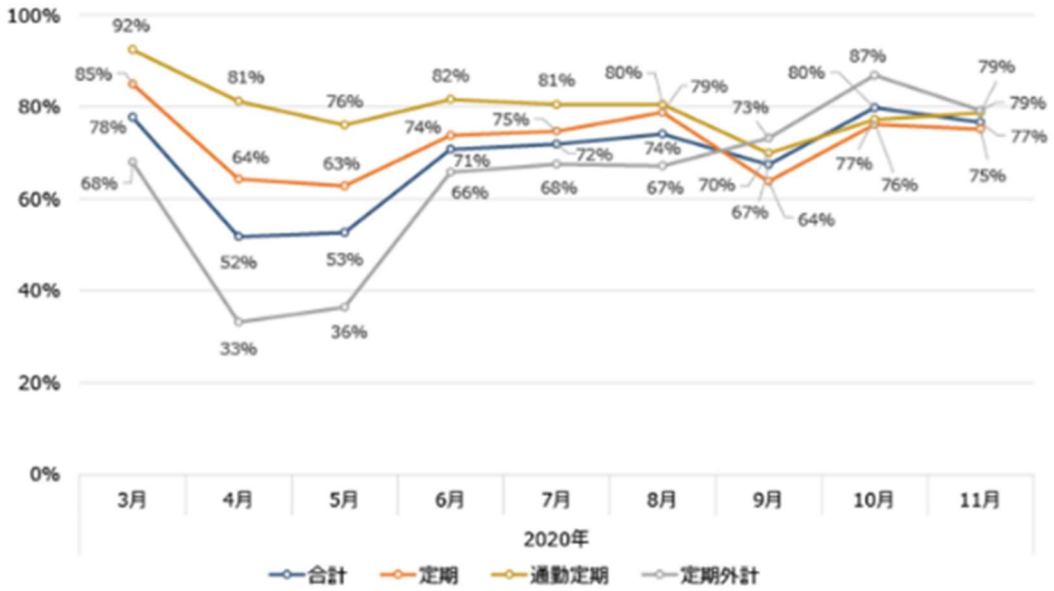
図 1.1-(2):鉄道橋梁、トンネル建設経過年数

更に新型コロナウイルス感染症の感染拡大により、リモートワーク(図 1.1-(3))や新しい生活様式が普及し、輸送人員や運賃収入の急激な減少(図 1.1-(4))という、事業環境の大きな転換点に差し掛かっている。このような事業環境の変化を受け、コロナ禍以前の輸送需要への回復が見込まれない中で、安全で安心な鉄道事業を継続すると共に、アフターコロナに即した社会的価値を持続的に提供し、都市を支えるインフラ企業としての社会的責任を果たさなければならない。本実証では、ローカル 5Gを無線インフラとして活用した各種スマート化ソリューション導入により、安全性を追求し、テクノロジーと人の力とをかけ合わせた、より高度な運行の実現を目指し、安全で安定した鉄道サービスの提供、労働力不足解消・生産性向上を図ることで、鉄道事業基盤の強靭化に繋がる課題解決モデルの開発を目指す。




引用：三菱総合研究所様　ポストコロナの経営　鉄道　第 4 回：ウィズコロナ／ポストコロナの企業動向を踏まえた今後の鉄道需要

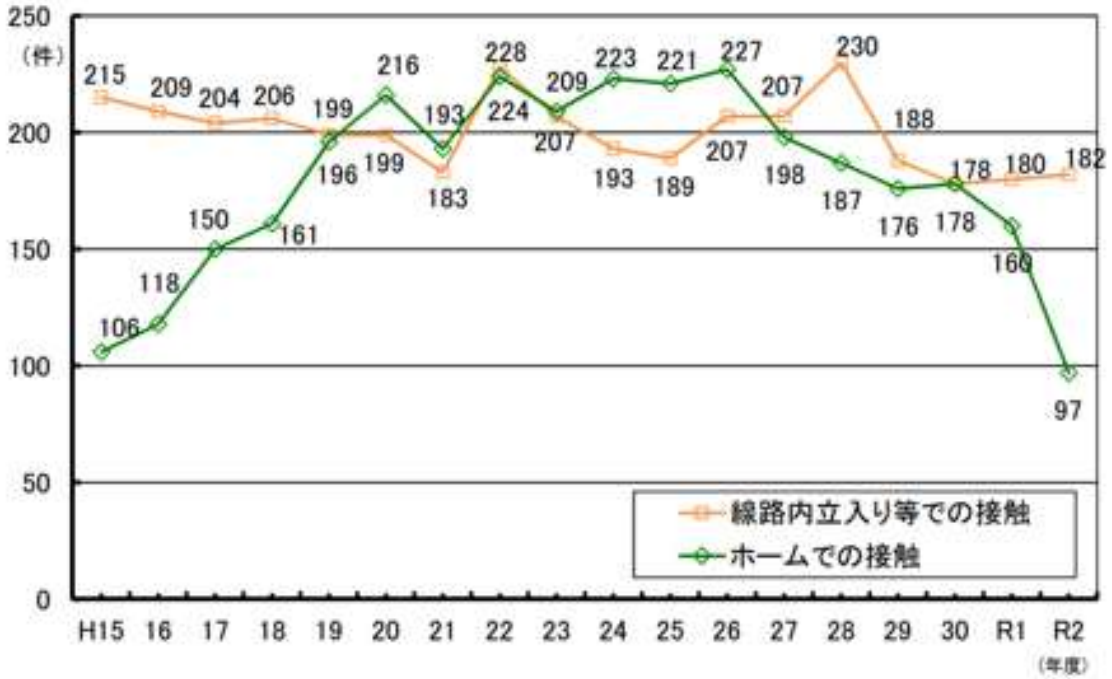
図 1.1-(3):首都圏・関西圏のオフィス勤務者のうちリモートワークの実施者割合(2020 年)




引用：三菱総合研究所様　ポストコロナの経営　鉄道　第４回：ウィズコロナ
／ポストコロナの企業動向を踏まえた今後の鉄道需要

図 1.1-(4):関東大手私鉄における輸送人員数の推移(各社の対前年同月対比の平均値)

上記に述べた労働力不足への対応以外にも、各鉄道会社の事業の根幹である「安全」については継続した取り組みが必須条件となり、東急電鉄株式会社では、「3 つの 100%」と称してホームドア・センサー付き固定式ホーム柵の全駅設置、弊社所属の全車両の防犯カメラ設置、全ての踏切への障害物検知装置の設置を完了している。一例としてホームドア・センサー付き固定式ホーム柵は、他社に先駆けて令和元年度に世田谷線、こどもの国線を除く全駅に整備を完了し、ホームからの転落件数は整備前と比較して約 9 割減少する等、ホーム上の安全性や運行安定性向上に大きく寄与している。しかし駅ホームの安全性向上を達成しているものの、踏切道や線路敷地内における安全性向上については継続して追及していく余地があり、第 3 者の線路内侵入における人身障害事故や鉄道施設へ悪戯などを防止するため、線路敷地内を網羅的に監視していく必要がある。新型コロナウイルス感染拡大に伴い鉄道利用者が減少していることや、各社ホームドア等の導入によりホームからの転落件数が従来と比較して減少傾向にあるが、線路敷地内立ち入りによる人身障害事故については横ばいの状況である。(図 1.1-(5))

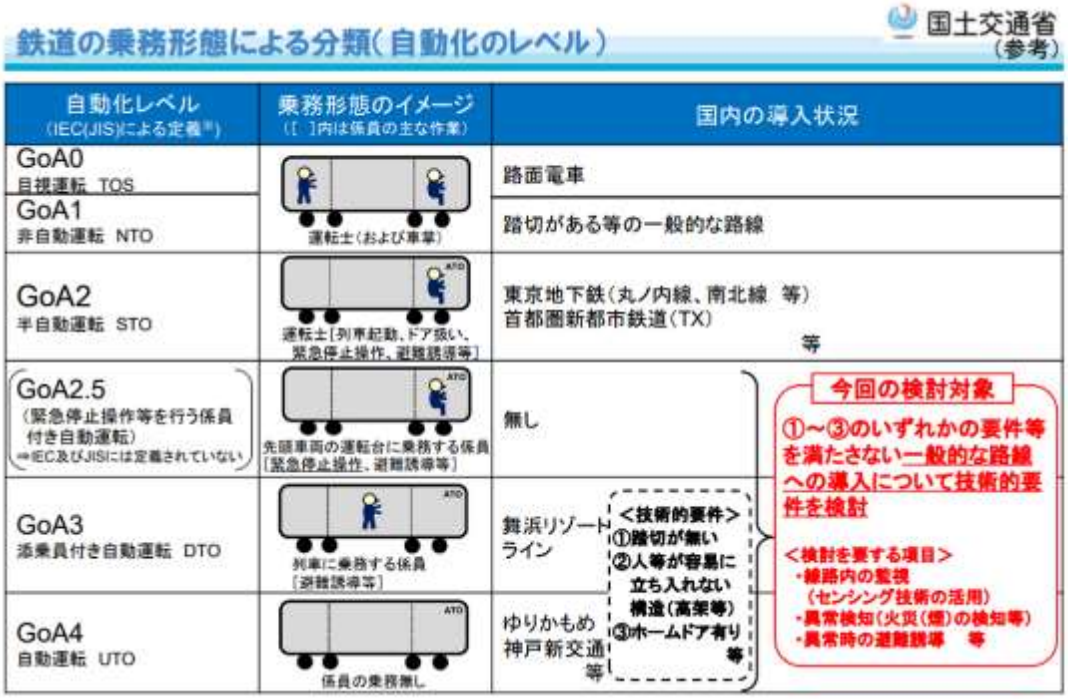



引用:国土交通省　鉄軌道輸送の安全に関わる情報(令和 2 年度)

図.1.1-(5):ホームでの接触及び線路内立ち入り等での接触による人身障害事故件数の推移

また、東急電鉄では将来の労働力不足による運転士確保も課題の 1 つであり、対応策として自動運転による運行形態を検討している。鉄道の乗務形態による分類はいくつかにわかれており、下記の図.(図.1.1-(6))に示す通り、GoA3 レベルの添乗員付き自動運転を達成するには、①踏切が無い②人等が容易に立ち入れない構造(高架等)③ホームドアあり、と極めて条件が厳しいこともあり、現在国内にて GoA3 や GoA4 を実現している事業者は、舞浜リゾートラインやゆりかもめなどである。東急電鉄を含めた鉄道各社ではホームドアの導入については積極的に推進・整備されつつあるが、踏切の存在や高架などの構造が全線に渡って整備されていないため、現在国土交通省と各鉄道事業者で構成される鉄道における自動運転技術検討会にて一般的な路線への自動運転導入に向けて技術的要素を検討しており、「線路内の監視」がテーマの 1 つとなっている。

現在の課題である線路敷地内の安全性向上に加えて、将来の自動運転達成に向けた要件の 1 つである線路内の監視について、現在と将来の各鉄道事業者の共通の課題であり、本実証にて課題解決を目指していく。




引用：国土交通省　鉄道における自動運転技術検討会

図.1.1-(6):鉄道の乗務形態による分類(自動化レベル)

## 1.2　実証の概要

件名：複数鉄道駅および沿線におけるローカル 5Gを活用した鉄道事業者共有型ソリューションの実現

本実証は、第 1.1 章に記載の課題を抱える鉄道事業者をユーザ企業と想定し、東急電鉄株式会社の東横線駅ホームや駅間、および横浜高速鉄道株式会社との共同使用駅である横浜駅を実証環境とした。

鉄道事業者における課題解決に資するローカル 5G システムの具体的なユースケース（車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化、沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上）を実証し、その有効性を検証すると共に、横長で狭小な駅ホーム及び線路におけるローカル 5G の電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施、技術面・運用面から課題抽出および解決方針を策定すると共に、当該実証モデルの東急電鉄における実装および他鉄道事業者への普及展開に向けた検討を行い、報告書を提出する。

上記の調査検討のために以下の通り、技術実証、課題実証を行った。
（カッコ内は本提案書内該当章番号）

■技術実証（第 3 章）

【4.7GHz 帯】

① 屋内環境の鉄道駅構造に対する電波伝搬モデルの精緻化
- 横浜駅ホーム上の複数ポイントにおいて受信電力値を測定し、本実証実験で構築したエリアを評価。

② 狭小エリア（線路環境）に対する柔軟なエリア設計手法の確立
- 線路区間の電波伝搬測定を行い、単一の LCX 区間における電波伝搬モデルを精緻化
- 現行のエリア算出式と LCX 利用による受信電力が大きい距離減衰項について精緻化対象とした
- LCX 近傍は 1 乗減衰と想定し、長手方向は LCX 正面と前後、短手方向は自己土地と他者土地に分けて、各エリアでの減衰指数が異なると仮定し、それぞれのエリアを含む複数ポイントにおいて受信電力値を測定

【28GHz 帯】

① カバーエリア内の菊名駅ホーム上（列車停車無し）の複数ポイントにおいて受信電力値を測定し、本実証実験で構築したエリア評価

② 周辺他者土地の複数ポイントにおいて受信電力値を測定し、電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化（R パラメータ）

③ カバーエリア内の菊名駅ホーム上（列車停車あり）の複数ポイント（①と同一ポイント）におい

て受信電力値を測定し、列車停車時のエリアへ与える影響について評価

■課題実証：鉄道事業者における課題解決を目的としたソリューション実証（第 4 章）

①車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

②沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

上記 2 つの具体的なユースケースの実証を行い、その有効性検証として、従来オペレーションや安全性の差分を検証し、効果・機能・運用においてそれぞれの評価を行うと共に、同ユースケースを想定したローカル 5Gの性能評価を実施した。

加えて、東急電鉄における実装性および他鉄道事業者への普及展開方策に関する検証、および実装に向けた課題の抽出および解決策の検討を実施すると共に、実証期間中に実装シナリオの随時見直しを行った。

# 2.　実証環境の構築

## 2.1　対象周波数帯

本実証においては、4.7GHz 帯と 28GHz 帯の両方の周波数帯を対象とする。
使用する周波数帯と実証エリアの対応については以下の通りである。

（1）4.7GHz 帯（4.8～4.9GHz、合計 100MHz 幅）

① 東急電鉄東横線の菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間（全長約 1km）をカバーする線状エリア（地上、屋外）
屋外の広域のエリア化のため、アンカーバンドが不要な 4.7GHz 帯を採用した。

② 自由が丘駅の大井町線ホーム（地上 1 階、半屋外）および東横線ホーム（地上 2 階、半屋外）
駅ホームにおける様々な障害物による遮蔽の影響を受けにくい 4.7GHz 帯を採用した。

③ 東横線の横浜駅ホーム（地下 5 階、屋内）
②同様、駅ホームにおける障害物による遮蔽影響の回避、駅外側のトンネル内も含めたカバレッジの実現を考慮して 4.7GHz 帯を採用した。

（2）28GHz 帯

① 菊名駅の東横線ホーム（地上 1 階、半屋外）
半屋外のホーム対策で周辺他者土地への飛来を抑制することを目的として 28GHz 帯を採用した。28GHz 帯の SA（Stand Alone）構成はまだ実現できておらず、また BWA をアンカーバンドとした NSA（Non-Stand Alone）構成は別途 LTE コアの構築が必要であり、また周辺との干渉調整が必要という課題がある。
NSA 構成に関しては本実証での導入も検討したが、東急電鉄沿線において CATV 事業者による BWA 事業運営の観点から干渉調整の合意形成が不可能であったため、今後の沿線上のミリ波を活用した普及モデルを想定し、ローカル 5G の 4.7GHz 帯をアンカーバンドとする NR-DC（New Radio-Dual Connectivity）構成を採用した。

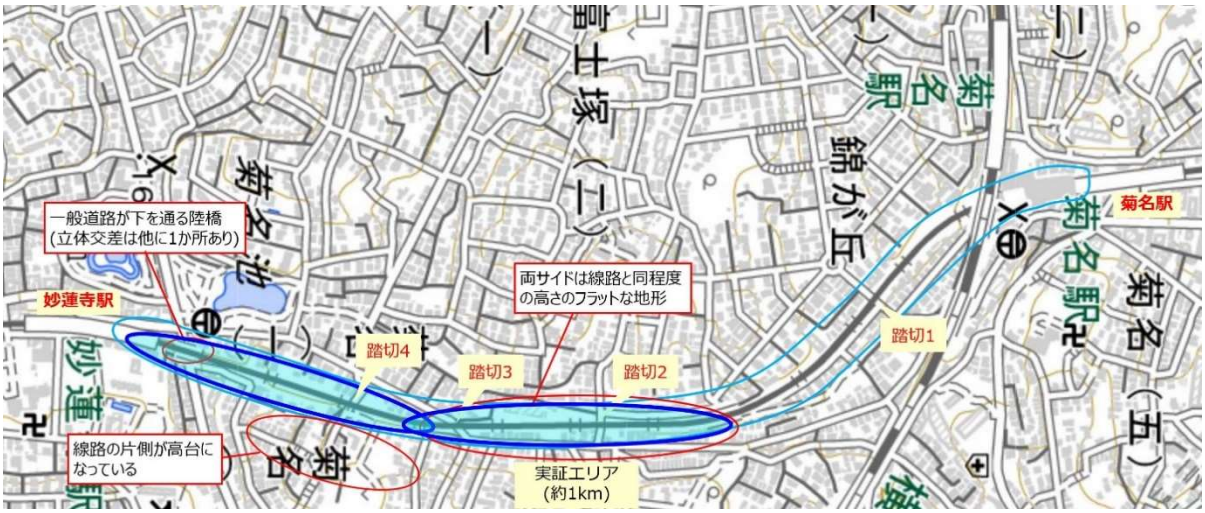
## 2.2　実施環境

### 2.2.1　4.7GHz 帯での実証実施環境

本実証を実施する環境として選定した 3 つのエリアについて説明する。

#### (1)　菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

東急電鉄菊名駅～妙蓮寺駅の間を南北に結ぶ線路区間である。図.2.2.1.1-(1)に示すように全長約 1km、幅約 10m の線状の屋外エリアであり、住宅地が密集した地域に位置する。全区間の中には、線路の片側(西側)が高台になっている区間、線路の両側(西側と東側)がほぼ同じ高さのフラットな地形の区間がある。本線路区間にはカーブ区間も存在する。このため、短手方向だけでなく長手方向の伝搬範囲を考慮したセル設計により周辺他者土地への漏洩を抑制したエリア構築が必要となる。線路区間をカバーエリアする上で一般的に共通に直面する課題が想定されるため、線状エリアのエリア化手法の確立の観点で技術実証に適した場所として選定した。




引用:国土地理院地図

図.2.2.1.1-(1):東急電鉄菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

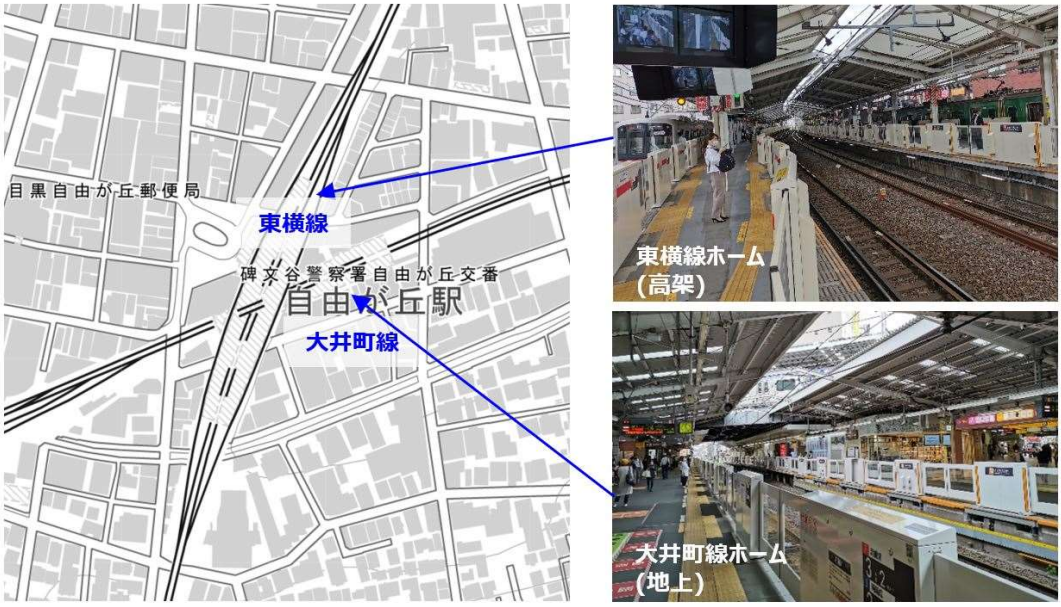
## （2） 自由が丘駅

今回技術実証を行う東急電鉄自由が丘駅（以下、自由が丘駅）は、東京都目黒区に位置し、1 階に大井町線、2 階部分に東横線が交差する両路線の急行列車及び各駅列車の乗換駅となる。下記に示す一般的な都市部の駅で見られる構造的特徴を多数有することから、検証意義のある無線環境であるため令和 3 年度実証環境に選定。

・地上階を列車が走行する都市部の鉄道駅のプラットフォームで、屋根を有する半屋外環境である

・案内板や看板、他者土地との境界に設置された目隠しフェンスや壁などが混在し、駅ホームの水平方向に多様な電波伝搬が予想される。

・高架線と地上線が立体交差し、両線のホーム間で電波影響が予想される環境である他者土地の建物が駅ホーム周辺に近接して多数存在する。




引用：国土地理院地図

図.2.2.1.2-(1):東急電鉄自由が丘駅

### （3） 横浜駅

東急電鉄東横線横浜駅は地下 5 階に位置する。1 島 2 線のホーム（全長 210m）を有する空間密閉性の高い地下駅である。駅のホームの外側（上り方面および下り方面）の線路方向は地下トンネルとなっており、下り方面へは駅を出てすぐにカーブ区間がある。

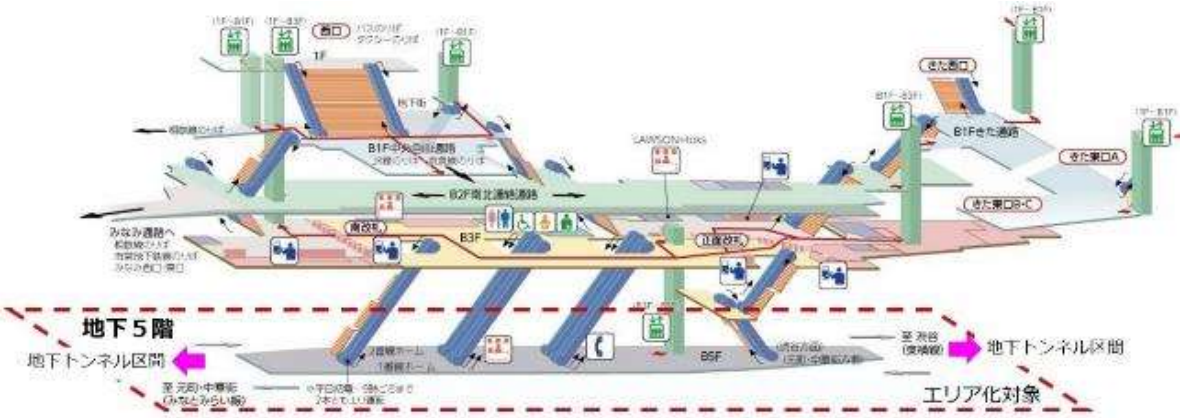



図.2.2.1.3-(1):横浜駅のエリア化対象

図.2.2.1.3-(2):横浜駅プラットフォーム

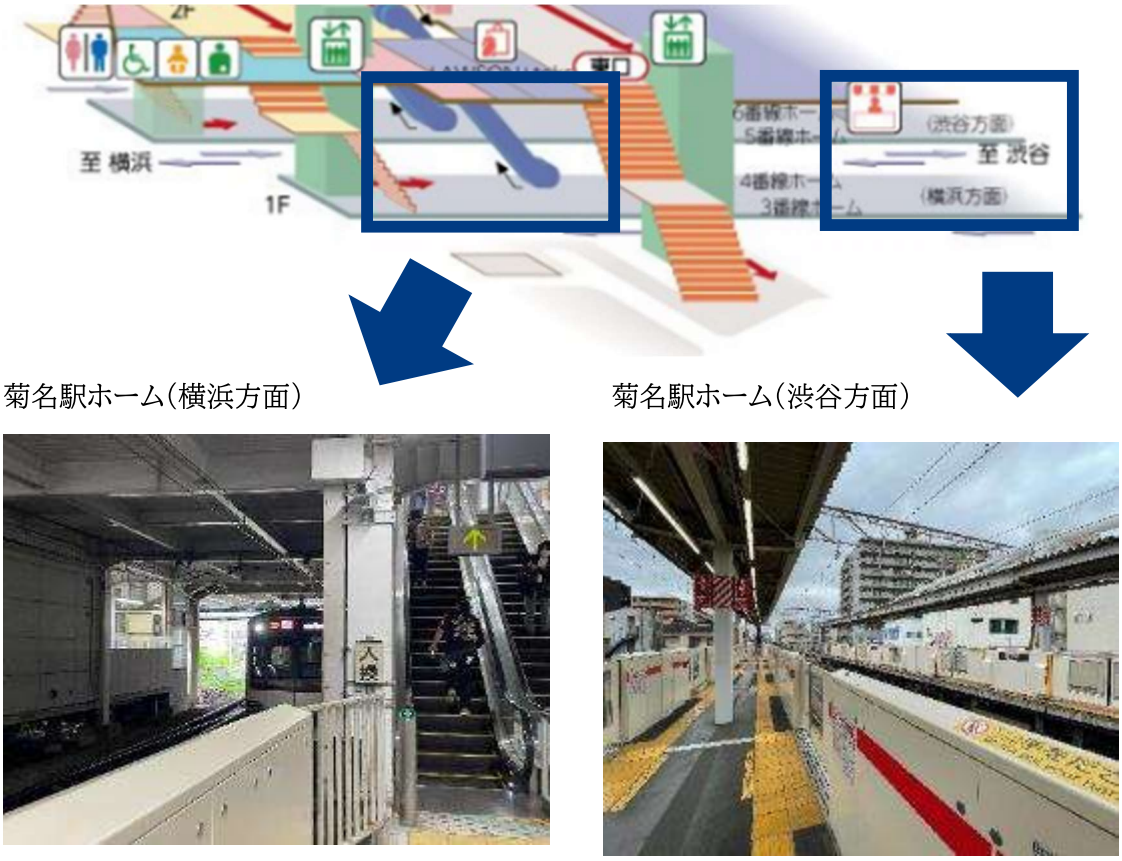
下り方面（奥にカーブ区間が見える） 上り方面

図.2.2.1.3-(3):横浜駅ホーム端から見たトンネル方面

### 2.2.2　28GHz 帯での実証実施環境

#### (1)　菊名駅

直線的な特殊環境である半屋外のホーム環境として、東急東横線の菊名駅を実証環境として選定している。菊名駅は JR 横浜線との併設駅であり、ホームの横浜方面に駅舎がある関係上、横浜方面は天井及びホームの側面においても建物により遮蔽されやすい造りとなっている。一方、渋谷方面は天井も簡素化され、ホームの側面も開かれた環境であることから、周辺他者土地へ電波が飛来しやすい造りとなっている。またホーム内には一部売店等により遮蔽される環境もあるが、エレベーターや階段、エスカレーター等、駅のホームで遮蔽物となりやすい構造物は無く、開けた環境になっている。




引用:東急電鉄 HP

図.2.2.2.1-(1):東急電鉄菊名駅

### 2.2.3 ローカル 5G のネットワーク構成

#### (1) 4.7GHz 帯システム

本実証で使用するローカル 5G のネットワーク･システム構成図を図.2.3.1.1-(1)に示す。

構築したローカル 5Gシステムの様子を図.2.3.1.1-(2)、図.2.3.1.1-(3)、図.2.3.1.1-(4)、図2.2.1.1-(5)に示す。

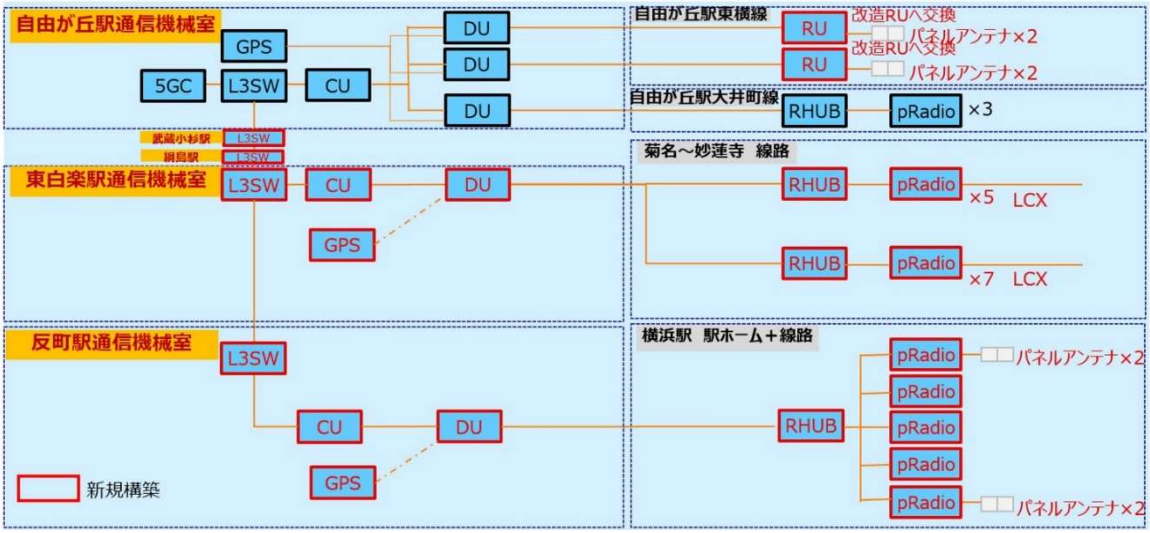



図.2.3.1.1-(1):ローカル 5G のネットワーク･システム構成図

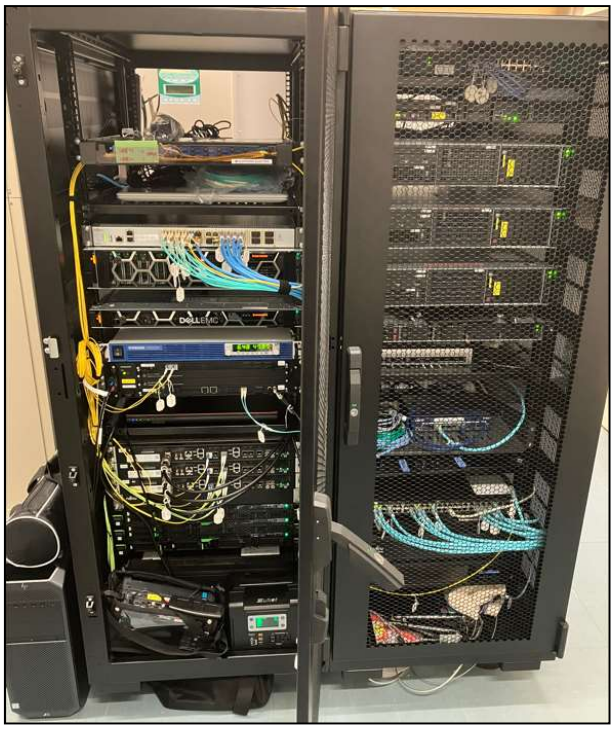


図.2.3.1.1-(2):自由が丘駅通信機械室内のローカル 5G ラック搭載写真

図.2.3.1.1-(3):反町駅通信機械室内のローカル 5G ラック搭載写真

図.2.3.1.1-(4):菊名～妙蓮寺間線路区間の LCX 敷設写真

図.2.3.1.1-(5):自由が丘駅屋外 RU 設置写真

### (2) 28GHz 帯システム

本実証で使用するローカル 5G のネットワーク・システム構成図を図.2.3.1.2-(1)に示す。

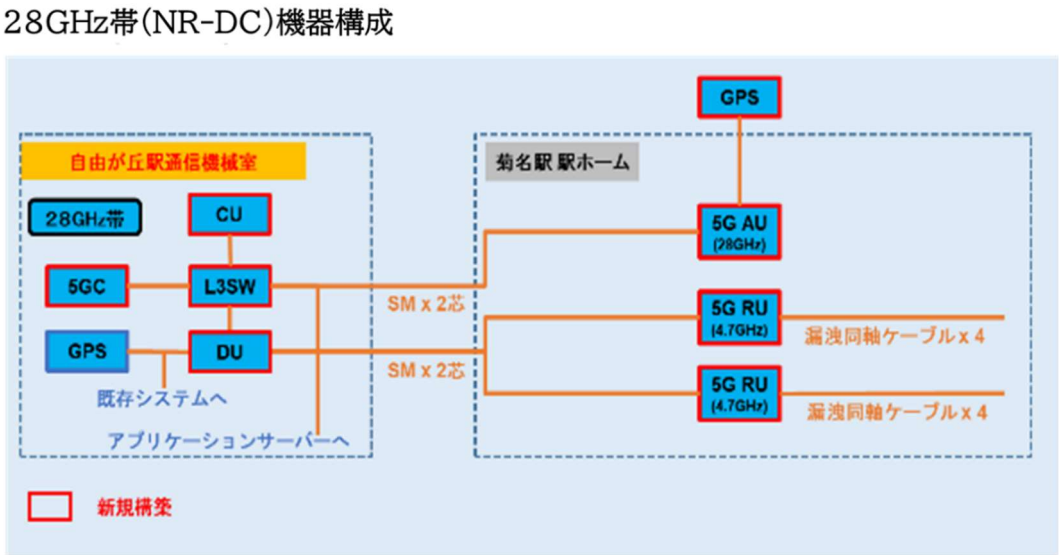
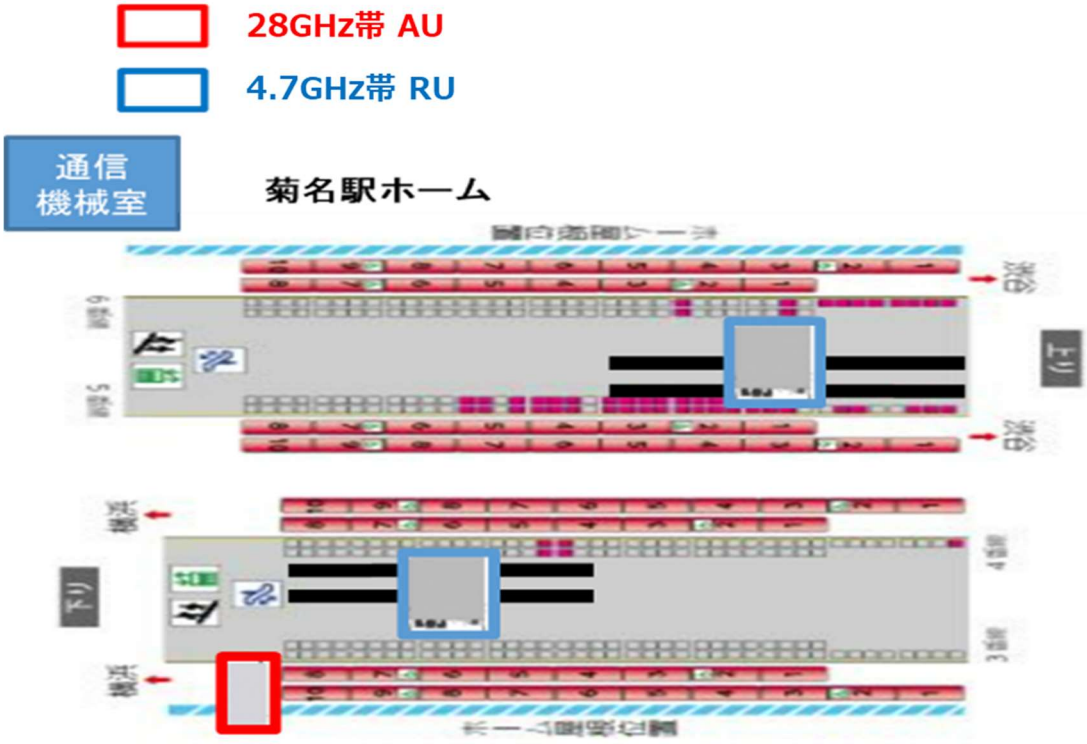



図.2.3.1.2-(1):ローカル 5G(28GHz 帯)のネットワーク・システム構成図

本実証で設置する機器の設置場所を図.2.3.1.2-(2)に示す。

また設置の様子は図.2.3.1.2-(3)、2.3.1.2-(4)に示す。




引用:東急電鉄 HP

図.2.3.1.2-(2):ローカル 5G(28GHz 帯)の機器設置場所(菊名駅ホーム)

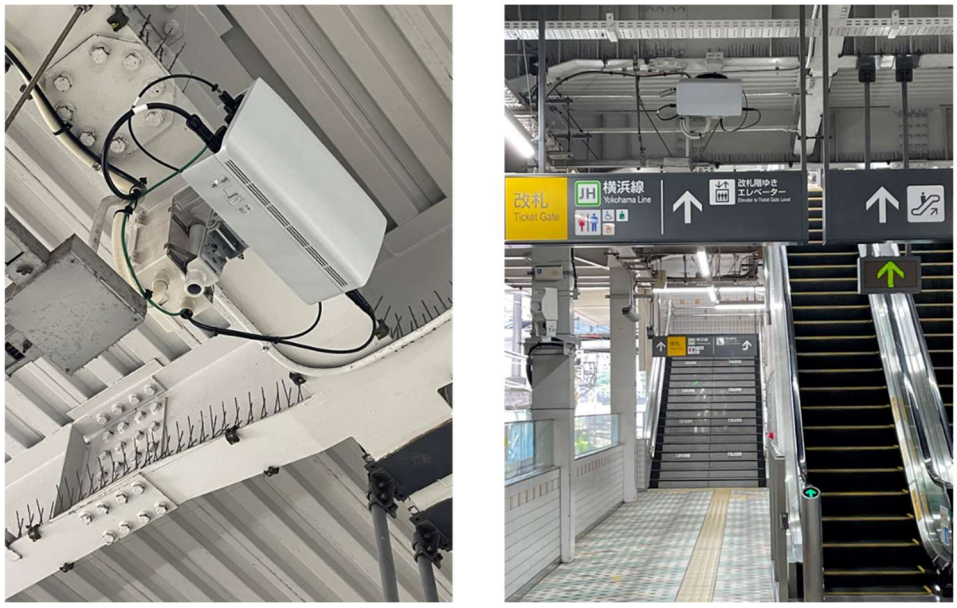



図.2.3.1.2-(3):28GHz 帯 AU の機器設置状況

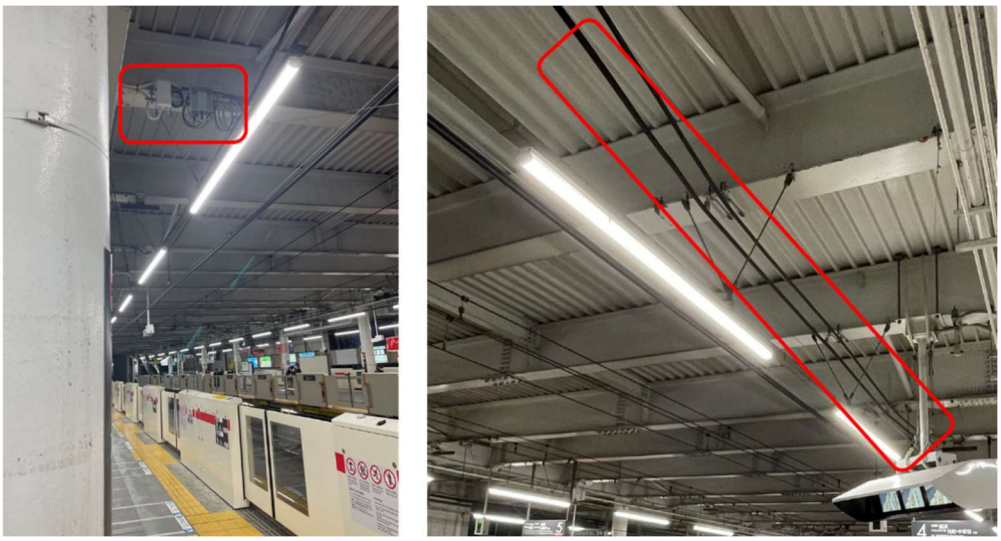


図.2.3.1.2-(4):4.7GHz 帯 RU 及び LCX の機器設置状況

### 2.2.4 基地局等の無線機器の調達先等

#### (1) 4.7GHz 帯システム

本実証で使用する基地局等の無線機器の一覧を表.2.3.2.1-(1)に示す。

表.2.3.2.1-(1):ローカル 5G の使用機器一覧
※1:総務省令和 3 年度の開発実証にて導入／設置済み

| No | 設置場所 | 使用機器 | 調達先 | 数量 | 設置形態 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 自由が丘駅通信機械室 | EMS | 富士通 | 1 | 固定 | ※1 |
| 2 | | 5GC | 富士通 | 1 | 固定 | ※1 |
| 3 | | CU | 富士通 | 1 | 固定 | ※1 |
| 4 | | DU | 富士通 | 3 | 固定 | ※1 |
| 6 | | UPS | 富士通 | 3 | 固定 | ※1 |
| 7 | 東横線ホーム | 屋外 RU | 富士通 | 2 | 固定 | |
| 8 | | 平面アンテナ | 日本アンテナ | 4 | 固定 | |
| 9 | | UE | 兼松ﾌｭｰﾁｬﾃｯｸｿﾘｭｰｼｮﾝｽﾞ | 2 | 固定 | ※1 |
| 10 | 大井町線ホーム | 屋内 RU | 富士通 | 3 | 固定 | ※1 |
| 11 | | RHUB | 富士通 | 1 | 固定 | ※1 |
| 12 | 大井町線車両内 | UE | 兼松ﾌｭｰﾁｬﾃｯｸｿﾘｭｰｼｮﾝｽﾞ | 1 | 可搬 | ※1 |
| 13 | 自由が丘駅駅員室屋上 | GPS アンテナ | パナソニック | 1 | 固定 | |
| 14 | 東白楽駅通信機械室 | CU | 富士通 | 1 | 固定 | |
| 15 | | DU | 富士通 | 1 | 固定 | |
| 16 | | UPS | 富士通 | 1 | 固定 | |
| 17 | 東白楽駅 | GPS アンテナ | パナソニック | 1 | 固定 | |
| 18 | 反町駅通信機械室 | CU | 富士通 | 2 | 固定 | |
| 19 | | DU | 富士通 | 1 | 固定 | |
| 20 | | UPS | 富士通 | 2 | 固定 | |

| No | 設置場所 | 使用機器 | 調達先 | 数量 | 設置形態 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 反町駅 | GPS アンテナ | パナソニック | 1 | 固定 | |
| 22 | 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間 | 屋内 RU | 富士通 | 12 | 固定 | |
| 23 | | RHUB | 富士通 | 2 | 固定 | |
| 24 | | LCX | FDC | 24 | 固定 | |
| 25 | | 平面アンテナ | 日本アンテナ | 1 | 固定 | 検証用 |
| 26 | 横浜駅ホーム | RHUB | 富士通 | 1 | 固定 | |
| 27 | | 屋内 RU | 富士通 | 5 | 固定 | |
| 28 | | 平面アンテナ | 日本アンテナ | 4 | 固定 | |
| 29 | 東横線線路沿線<br>東横線車両内 | UE | 兼松ﾌｭｰﾁｬﾃｯｸｿﾘｭｰｼｮﾝｽﾞ | 20 | 可搬 | |

設置する基地局の概要を表.2.3.2.1-(2)および表.2.3.2.1-(3)に示す。

表.2.3.2.1-(2):ローカル 5G システム(基地局)の概要

（自由が丘駅に設置の基地局）

| | 屋外型基地局(東横線ホームに設置)<br>型名未定<br>(アンテナ分離型) | 屋内型基地局(大井町線ホームに設置)<br>PW-320-DU PW332-pRadio<br>(アンテナ内蔵型) |
|---|---|---|
| 製造ベンダー | 富士通 | 富士通 |
| 台数 | 2 台 | 3 台 |
| 設置場所<br>(屋内/屋外) | 半屋内 | 半屋内 |
| 同期/準同期 | 準同期 | 準同期 |
| UL:DL 比率 | DL:UL:S=4:4:2 | DL:UL:S=4:4:2 |
| 周波数帯 | 4.8-4.9GHz | 4.8-4.9GHz |
| SA/NSA | SA | SA |
| UL 周波数 | 4.8-4.9GHz | 4.8～4.9GHz |

| | 屋外型基地局(東横線ホームに設置)<br>型名未定<br>(アンテナ分離型) | 屋内型基地局(大井町線ホームに設置)<br>PW-320-DU PW332-pRadio<br>(アンテナ内蔵型) |
|---|---|---|
| DL 周波数 | | |
| UL 帯域幅 | 100MHz | 100MHz |
| DL 帯域幅 | | |
| UL 中心周波数 | 4.85GHz | 4.85GHz |
| DL 中心周波数 | | |
| UL 変調方式 | QPSK/16QAM/64QAM/256 QAM | QPSK/16QAM/64QAM/256QA M |
| DL 変調方式 | | |
| MIMO | DL 4Layer<br>UL 2Layer | DL 4Layer<br>UL 2Layer |

表.2.3.2.1-(3):ローカル 5G システム(基地局)の概要
(菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間、横浜駅ホームに設置する基地局)

| | 屋内型基地局(菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間に設置)<br>PW320-DU PW332-pRadio SA<br>(アンテナ分離型) | 屋内型基地局(横浜駅ホームに設置)<br>PW-320-DU PW332-pRadio<br>(アンテナ内蔵型)<br>PW320-DU PW332-pRadio SA<br>(アンテナ分離型) |
|---|---|---|
| 製造ベンダー | 富士通 | 富士通 |
| 台数 | 16 台 | 3 台(アンテナ内蔵型)<br>2 台(アンテナ分離型) |
| 設置場所<br>(屋内/屋外) | 屋外 | 屋内 |
| 同期/準同期 | 準同期 | 準同期 |
| UL:DL 比率 | DL:UL:S=4:4:2 | DL:UL:S=4:4:2 |
| 周波数帯 | 4.8-4.9GHz | 4.8-4.9GHz |
| SA/NSA | SA | SA |
| UL 周波数 | 4.8-4.9GHz | 4.8～4.9GHz |
| DL 周波数 | | |
| UL 帯域幅 | 100MHz | 100MHz |
| DL 帯域幅 | | |
| UL 中心周波数 | 4.85GHz | 4.85GHz |
| DL 中心周波数 | | |
| UL 変調方式 | QPSK/16QAM/64QAM/256 QAM | QPSK/16QAM/64QAM/256QA M |
| DL 変調方式 | | |

| | | |
|---|---|---|
| | 屋内型基地局(菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間に設置)<br>PW320-DU PW332-pRadio SA<br>(アンテナ分離型) | 屋内型基地局(横浜駅ホームに設置)<br>PW-320-DU PW332-pRadio<br>(アンテナ内蔵型)<br>PW320-DU PW332-pRadio SA<br>(アンテナ分離型) |
| MIMO | DL 4Layer<br>UL 2Layer | DL 4Layer<br>UL 2Layer |

### (2) 28GHz 帯システム

本実証で使用する基地局等の無線機器の一覧を表.2.3.2.2-(1)に、無線特性を表.2.3.2.2-(2)に示す。

表.2.3.2.2-(1):ローカル 5G(28GHz 帯)の使用機器一覧

| No | 設置場所 | 使用機器 | 調達先 | 数量 | 設置形態 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 自由が丘駅通信機械室 | 5GC | Samsung | 1 | 固定 | |
| 2 | | CU/UPF | Samsung | 1 | 固定 | |
| 3 | | L3SW | Samsung | 1 | 固定 | |
| 4 | | DU | Samsung | 1 | 固定 | |
| 5 | | 整流器 | KIKUSUI | 1 | 固定 | |
| 6 | 菊名駅ホーム | GPS アンテナ | パナソニック | 1 | 固定 | |
| 7 | | 4.7GHz 帯屋外 RU | Samsung | 2 | 固定 | |
| 8 | | 28GHz 帯屋外 AU | Samsung | 1 | 固定 | |
| 9 | | 漏洩同軸ケーブル | FDC | 8 | 固定 | |

表.2.3.2.2-(2):基地局無線部特性

| 項目 | 4.7GHz 帯基地局 | 28GHz 帯基地局 |
|---|---|---|
| 製造ベンダー | Samsung | Samsung |
| 基地局数 | 2 | 1 |
| 設置場所 | 半屋外 | 半屋外 |
| 同期/準同期 | 準同期 | 同期 |
| UL:DL 比率 | 準同期 4:6 | 同期 1:4 |
| 周波数帯 | 4.7GHz 帯 | 28GHz 帯 |
| SA/NSA | SA | SA(NR-DC) |
| UL 周波数 | 4.8GHz – 4.9GHz | 28.2GHz – 28.6GHz |
| DL 周波数 | | |

| 項目 | 4.7GHz 帯基地局 | 28GHz 帯基地局 |
|---|---|---|
| UL 帯域幅<br>DL 帯域幅 | 100MHz | 100MHz × 4CC |
| UL 中心周波数<br>DL 中心周波数 | 4,849.98MHz | CC#1:28,250.16MHz<br>CC#2:28,350.12MHz<br>CC#3:28,450.08MHz<br>CC#4:28,550.04MHz |
| UL 変調方式 | 256QAM | 64QAM |
| DL 変調方式 | 256QAM | 64QAM |
| MIMO(DL×UL) | 4×4MIMO | 4×2MIMO |
| UL セルスループット<br>(同期 / 準同期) | 229Mbps / 465Mbps | 343.85Mbps |
| DL セルスループット<br>(同期 / 準同期) | 1,490Mbps / 989Mbps | 2,776Mbps |

### 2.2.5 ローカル 5G の無線機器

#### (1) 4.7GHz 帯システム

本実証におけるローカル 5Gの4.7GHz帯システムはSA(Stand Alone)方式のシステムである。基本仕様としては 3GPP Release15 に準拠する。

以下、4.7GHz 帯システムを構成する機器について記載する。

1) 5GC

端末接続時の認証、セッション管理、パケット転送などの機能を担う。

本実証で使用する 5GC は汎用サーバー上で稼働するソフトウェアにより実現される。

5GC の主な諸元を表.2.3.3-1-(1)に示す。

表.2.3.3.1-(1):5GC の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| サポート機能 | AMF, SMF, UPF, UDM, UDR, AUSF, NRF |
| ユーザ数 | 同時接続数 256(登録数 512) |
| 装置としての最大スループット | 4.4Gbps(DL/UL 合計) |
| 最大接続 DU 数※ | 5 |

※DU 数はライセンス単位

2) CU

無線リソース制御を担う。

本実証で使用する CU は汎用サーバー上で稼働するソフトウェアにより実現される。

CU の主な諸元地を表.2.3.3.1-(2)に示す。

表.2.3.3.1-(2):CU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| ユーザ数 | 256 |
| 装置としての最大スループット | 2.0Gbps(DL/UL 合計) |
| 最大接続 DU 数 | 4 |

### 3） DU

ベースバンド処理を担う。

ハードウェア外観を図.2.3.3.1-(1)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(3)に示す。

図.2.3.3.1-(1):DU のハードウェア外観

表.2.3.3.1-(3):DU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| ユーザ数 | 64 |
| 最大スループット理論値 | DL:0.6Gbps、UL:0.4Gbps(スロット数比率 DL:UL:S=4:4:2)※ |
| 帯域幅 | 100MHz |
| MIMO レイヤ数 | DL:4 レイヤ UL:2 レイヤ |
| MCS | QPSK/16QAM/64QAM/256QAM |
| Beam 数 | 4 |
| 接続 RU 数 | 2(2 ライセンス適用時) |

※IP レイヤにおける最大スループットの理論値であり、実運用における無線環境を考慮したスループットについては 2.4.4 章に記載する。

### 4） 屋外 RU

屋外向け無線機である。

外部アンテナを接続することができる RF 接続ポートを備えている。

ハードウェア外観を図.2.3.3-1-(2)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(4)に示す。

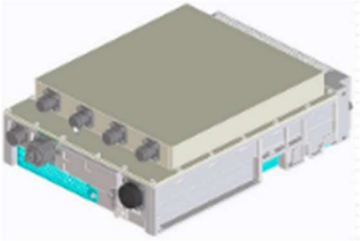


図.2.3.3.1-(2):屋外 RU のハードウェア外観

表.2.3.3.1-(4):屋外 RU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 周波数帯 | 4.8-4.9GHz |
| TRX 数 | 4TRX |
| 帯域幅 | 100MHz |
| ストリーム数 | 4 |
| CC 数 | 1 |
| システム空中線電力 | 24.9dBm(4.9dBm/MHz) |
| EIS | -101.9dBm |
| 送信電力 | +31.9dBm |
| 給電 | AC100/200V +/-10% |
| 消費電力 | 152W typ |
| 重さ | <7.0kg |
| 大きさ | 259 x 353 x 76 mm |
| 冷却 | 強制空冷 |
| 温度 | -10℃ to + 50℃ |

## 5) RHUB

屋内 RU を最大 8 台収容して DAS(Distributed Antenna System:分散型アンテナシステム)を構成することの可能なアンテナ集約装置である。

ハードウェア外観を図.2.3.3.1-(3)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(5)に示す。

図.2.3.3-1.(3):RHUB のハードウェア外観

表.2.3.3-1.(5):RHUB の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 最大 屋内 RU 数 | 8 |
| RHUB-屋内 RU 間距離 | 200m 以下 |
| DU 接続インターフェース | eCPRI<br>SFP+/10G-LR |
| 給電 | AC100V |
| 消費電力 | 750W |
| 重さ | 6kg 以下 |
| 大きさ | 440 x 300 x 44 mm |
| 冷却 | 空冷 |
| 温度 | -5℃ to + 55℃ |
| 湿度 | 5-85% |

### 6） 屋内 RU

屋内用アンテナである。

外部アンテナを接続することができる RF 接続ポートを備えている。

ハードウェア外観を図.2.3.3.1-(4)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(6)に示す。

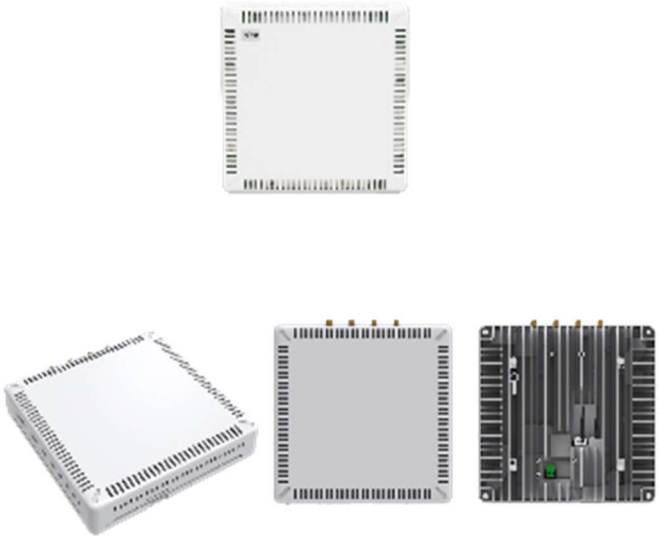


図.2.3.3.1-(4):屋内 RU のハードウェア外観

表.2.3.3.1-(6):屋内 RU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 周波数帯 | 4.8-4.9GHz |
| 多重方式 | TDD |
| 帯域幅 | 100MHz |
| TRX 数 | 4T2R |
| EIRP | 12.5dBm~32.5dBm(アンテナ一体の値) |
| システム空中線電力 | 10dBm~30dBm |
| 最大送信電力 | 30dBm |
| 給電 | DC -48V |
| 最大消費電力 | 45W |
| 重さ | 3kg 以下 |
| 大きさ | 208 x 208 x 58 mm |
| 冷却 | 自然 |
| 温度 | -5℃ to + 45℃ |
| 湿度 | 5-85% |

### 7） EMS

ローカル 5G 4.7GHz 帯システムの各装置を監視･保守するための機能を提供する。

汎用サーバー上で稼働するソフトウェアにより実現される。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(7)に示す。

表.2.3.3.1-(7):EMS の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 監視対象ノード | 5GC、CU、DU、RU |
| 機能 | 状態監視、障害管理、構成管理 |

### 8） UE

Compal Electronics 社製の 5G モバイルルータ型端末である。

ハードウェア外観を図.2.3.3.1-(5)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.1-(8)に示す。

図.2.3.3.1-(5):UE のハードウェア外観

表.2.3.3.1-(8):UE の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| Size | 119 x 72 x 23.5mm |
| Weight | 235g |
| SIM card type | Nano SIM |
| Operating Band | n79, n257, B38, B41 |
| Connectivity | USB(type-C), Ethernet(RJ45), Wi-Fi |
| Battery | 5300mAh(typ.) |

## 9） LCX

LCX(Leaky CoaXial cable)は外部導体に電波を漏洩するためのスロット(孔)を多数設けた同軸ケーブルである。

本実証においては屋内 RU の外部アンテナとして使用する。

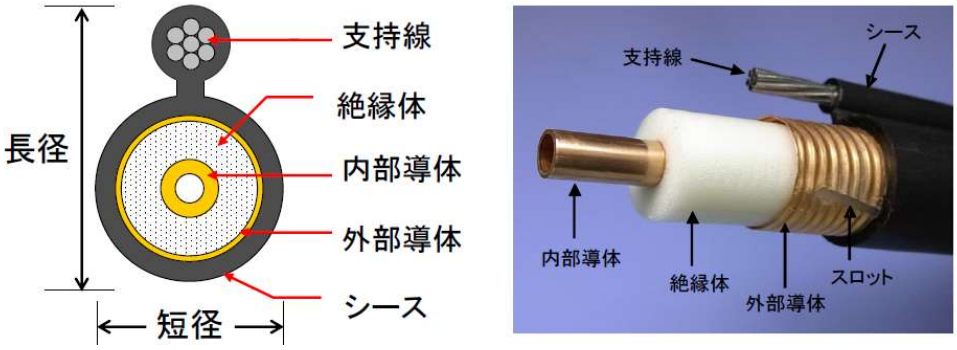



図.2.3.3.1-(6):LCX のハードウェア外観

表.2.3.3.1-(9):LCX の主な諸元値

| 項目 | | 諸元値 | |
|---|---|---|---|
| | | 水平偏波 | 垂直偏波 |
| ケーブルサイズ | | 20D | |
| 標準仕上外径 短径×長径 | | 29 mm × 39 mm | |
| 概算質量 | | 0.7 kg/m | |
| 使用周波数帯域 | | 4.6~4.9GHz | |
| 絶縁抵抗 | | 1000MΩ以上(内外導体間) | |
| 耐電圧(AC1000V 1 分間) | | 異常の無いこと(内外導体間) | |
| 特性インピーダンス(10MHz) | | 50±5 | |
| 電圧定在波比 | | 1.5 以下<br>(コネクタ付属状態で使用周波数帯域にて) | |
| 標準減衰量(20℃) | 4.6GHz | 0.23 dB/m | 0.16 dB/m |
| | 4.9GHz | 0.30 dB/m | 0.20 dB/m |
| 標準結合損失 | 4.6GHz | 60 dB | |
| | 4.9GHz | 60 dB | |

10）平面アンテナ

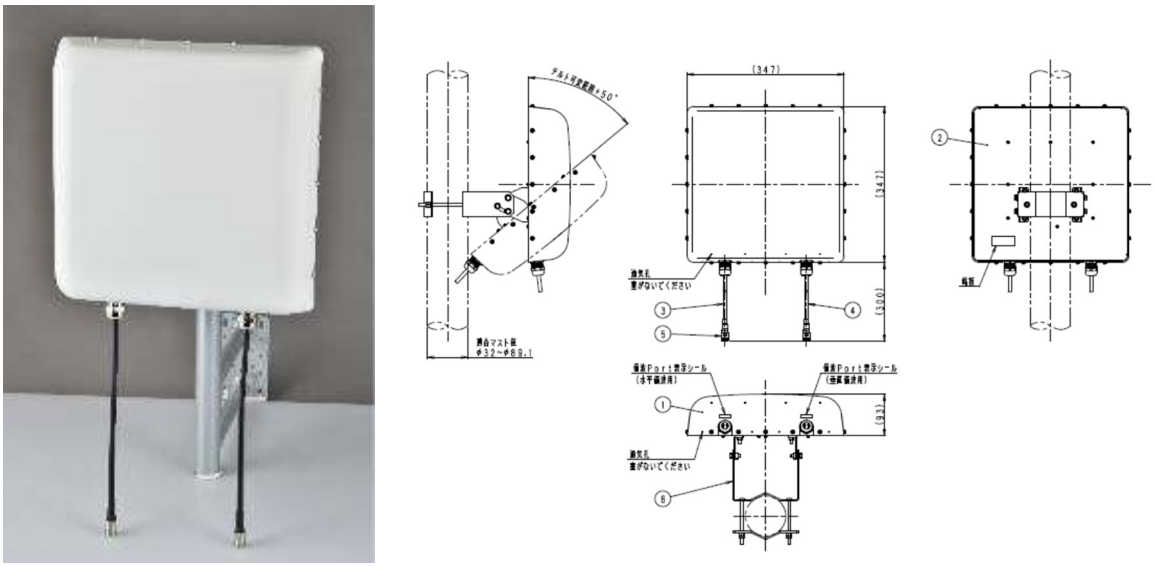


図.2.3.3.1-(7):平面アンテナのハードウェア外観

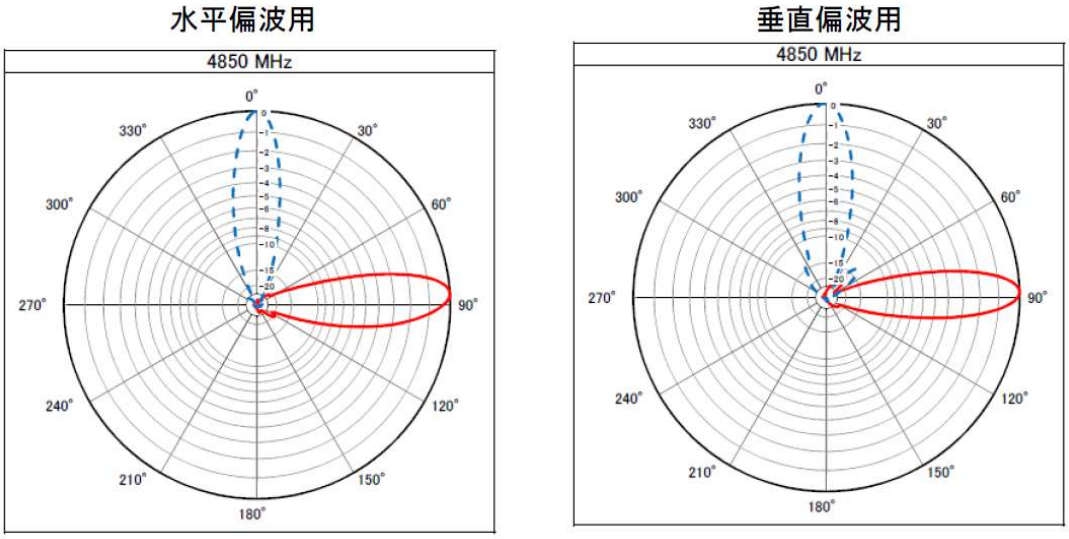



図.2.3.3.1-(8):平面アンテナのアンテナパターン

表.2.3.3.1-(10):平面アンテナの主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| アンテナ型式 | 平面アンテナ |
| 偏波面 | 水平 及び 垂直 |
| 使用周波数 | 4800～4900MHz |
| 利得 | 15dBi |
| 半値幅 | 水平面 20° 垂直面 20° |

| 項目 | 諸元値 |
| --- | --- |
| 前方対後方比 | 180°±60°において 15dB 以上 |
| 質量 | 約 4.0kg |
| 使用温度範囲 | -20～+50℃ |

### （2） 28GHz 帯システム

#### 1） 5GC

端末接続時の認証、セッション管理、パケット転送などの機能を担う。
本実証で使用する 5GC は汎用サーバー上で稼働するソフトウェアにより実現される。
ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(1)に示す。
5GC の主な諸元値を表.2.3.3.2-(1)に示す。

図.2.3.3.2-(1):5GC の外観

表.2.3.3.2-(1):5GC の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | DELL |
| 機種 | DELL PowerEdge R740 |
| 機能 | AMF,SMF,PCRF,PCF,NRFAUSF,UDM,UDR |
| 収容回線数 | 15,000 / Core |
| RU 接続数 | 18 台 / DU |
| サイズ | 86.8(H) × 434(W) × 715.5(D) mm |
| 重量 | 33.1kg |
| 電源 | AC100～240V |
| 最大消費電力 | 599W |

## 2） CU/UPF

無線リソース制御を担う。

本実証で使用する CU は汎用サーバー上で稼働するソフトウェアにより実現される。

ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(2)に示す。

CU/UPF の主な諸元値を表.2.3.3.2-(2)に示す。

図.2.3.3.2-(2):CU の外観

表.2.3.3.2-(2):CU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | DELL |
| 機種 | DELL PowerEdge R640 |
| 機能 | UPF,CU |
| サイズ | 42.8(H) × 482(W) × 808.5(D) mm |
| 重量 | 21.9kg |
| 電源 | AC100～240V |
| 最大消費電力 | 607W |

### 3)　L3SW

L3 で各装置間の接続を担当する。

ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(3)に示す。

L3SW の主な諸元値を表.2.3.3.2-(3)に示す。

図.2.3.3.2-(3):L3SW の外観

表.2.3.3.2-(3):L3SW の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | Ubiquoss |
| 機種 | E7124 |
| 機能 | PTP L3SW |
| サイズ | 44(H) × 440(W) × 400(D) mm |
| 重量 | 9.2kg |
| 電源 | AC100～240V |
| 最大消費電力 | 180W |

4)　DU

ベースバンド処理を担う。

ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(4)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.2-(4)に示す。

図.2.3.3.2-(4) :RU のハードウェア外観

表.2.3.3.2-(4) :RU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | Samsung |
| 機種 | SFG-ARM090 |
| 機能 | DU |
| サイズ | 88(H) × 434(W) × 385(D) mm |
| 重量 | 18kg |
| 電源 | DC -48V |
| 最大消費電力 | 1210W |

### 5） 整流器

DU への DC 48V 給電を担う。

ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(5)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3.2-(5)に示す。

図.2.3.3.2-(5):整流器のハードウェア外観

表.2.3.3.2-(5):整流器の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | 菊水電子工業 |
| 機種 | PWX1500ML |
| 機能 | 直流電源供給 |
| サイズ | 44(H) × 485(W) × 580(D) mm |
| 重量 | 9.5kg |
| 電源 | AC100～240V |
| 最大消費電力 | 2200VA |

### 6） GPS アンテナ

グランドマスタークロックに GPS 信号を供給する役割を担う。
ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(6)に示す。
主な諸元値を表.2.3.3.2-(6)に示す。

図.2.3.3.2-(6):GPS アンテナのハードウェア外観

表.2.3.3.2-(6):GPS アンテナの主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | パナソニック |
| 機種 | CCAH32ST04 |
| 機能 | GPS アンテナ |
| 利得 | 38dB 標準 |
| サイズ | φ90 × 98.4mm |
| 重量 | 約 200g |

### 7） 4.7GHz 帯屋外 RU

4.7GHz 帯の RF 処理を担う屋外向け無線機である。
外部アンテナを接続する RF 接続ポートを 4 つ具備している。
ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(7)に示す。
主な諸元値を表.2.3.3.2-(7)に示す。

図.2.3.3.2-(7):4.7GHz 帯屋外 RU のハードウェア外観

表.2.3.3.2-(7):4.7GHz 帯屋外 RU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | Samsung |
| 機種 | RT4419-79A |
| 機能 | RU |
| サイズ | 264(H) × 221(W) × 82.9(D) mm |
| 重量 | 4.9kg |
| 電源 | AC100V |
| 最大消費電力 | 101W |

### 8） 28GHz 帯屋外 AU

28GHz 帯の RF 処理とアンテナ部が一体となった屋外向け無線機である。
ハードウェア外観を図.2.3.3.2-(8)に示す。
主な諸元値を表.2.3.3.2-(8)に示す。

図.2.3.3.2-(8):28GHz 帯屋外 AU のハードウェア外観

表.2.3.3.2-(8):28GHz 帯屋外 AU の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | Samsung |
| 機種 | AT1K01 |
| 機能 | DU、RU |
| サイズ | 494.5(H) × 243(W) × 175(D) mm |
| 重量 | 14.5kg |
| 電源 | AC100V |
| 最大消費電力 | 416W |

9）　漏洩同軸ケーブル

LCX(Leaky CoaXial cable)は外部導体に電波を漏洩するためのスロット(孔)を多数設けた同軸ケーブルである。

4.7GHz 帯屋外 RU の外部アンテナとして使用した。

ハードウェア外観を図.2.3.3-2.(9)に示す。

主な諸元値を表.2.3.3-2.(9)に示す。

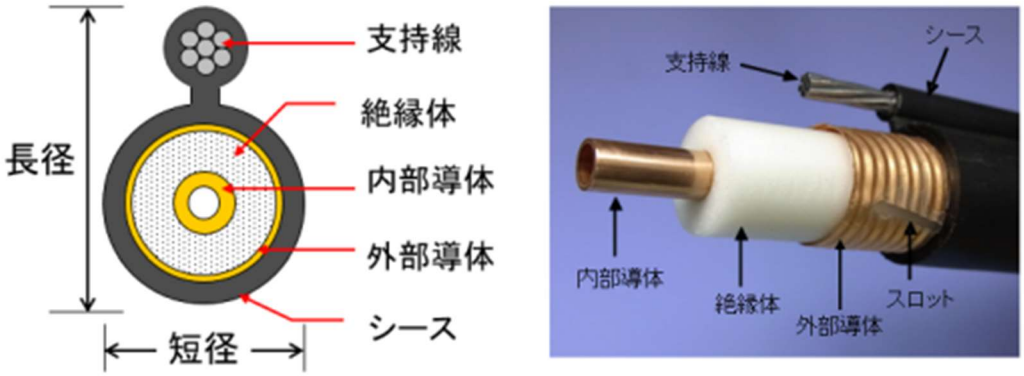



図.2.3.3.2-(9):LCX のハードウェア外観

表.2.3.3.2-(9):LCX の主な諸元値

| 項目 | 諸元値 |
|---|---|
| 製造ベンダー | フジクラ・ダイヤケーブル |
| ケーブルサイズ | 20D |
| 概算質量 | 0.7kg/m |
| 適合周波数 | Sub6 帯(4.6～4.9GHz) |
| 特性インピーダンス(10MHz) | 50±5 |
| 偏波タイプ | 水平偏波 |
| 標準減衰量(20℃) | 4.6GHz:0.23 dB/m<br>4.9GHz:0.30dB/m |
| 標準結合損失 | 60dB |

### 2.2.6 基地局エリアカバレッジ

#### (1) 4.7GHz 帯システム

1) 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

今回の実証エリアである東急電鉄菊名駅～妙蓮寺駅の間の線路区間はカーブ区間を含んだ全長約 1km の線状のエリアである。線路区間は短手方向の幅が狭いため、指向性アンテナによる線路長手方向への電波照射では、伝搬時の反射・回折による他者土地への電波漏洩が発生し、狭域かつ長区間の線状エリアの構築が困難である。線状エリアの構築に適した手段の 1 つに、LCX がある。

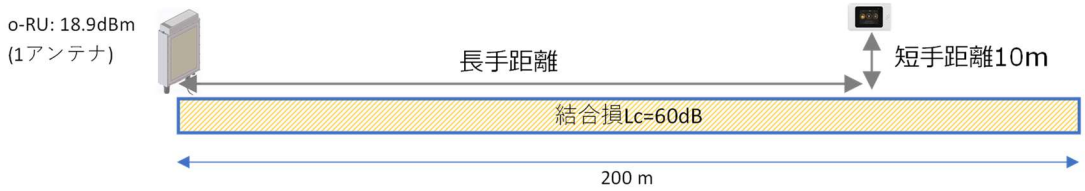
単一の結合損を持つ一般的な LCX では、RU との接続点付近での電波漏洩量が大きく、長手方向に遠ざかるにつれて内部導体での伝送損により、外部への電波漏洩量が小さくなるという特性がある。そのため、図.2.3.4.1-(1)の構成①のように LCX を長距離で使用すると、RU の遠方で必要な電界強度を確保するために RU の送信出力を高くすることが必要となり、RU 近傍での電波漏洩、すなわち他者土地への電波漏洩が大きくなってしまう。そこで、RU 近傍での電波漏洩を抑制する観点から、RU の出力を小さく設定し、比較的短い LCX を使用する構成を考える。図.2.3.4.1-(1)の構成②のように、低出力の RU と短距離 LCX の組み合わせを長手方向に縦続的に配置した DAS 構成を取ることにより、LCX 間の干渉を回避しつつ、RU 近傍での電波漏洩の抑制と、RU 遠方の自己土地内での受信電力の確保の両立を図る。

以上の事前検討に基づき、今回の実証では DAS 構成をベースとした屋内 RU(屋外で使用するため、防水・防塵および温度対策を施したボックスに格納するものとする)に外部アンテナとして LCX を取付け、LCX を線路に沿って敷設して使用することとする。図.2.3.4.1-(2)に LCX の敷設イメージを示す。既存の鉄道用鉄柱の間隔である 40m を LCX1 本の単位とし、線路に沿って 8 台の屋内 RU を配置して幅 320m の 1 つの線状セルを形成する。この線状セルを長手方向に 2 つ並べることで妙蓮寺駅から約 1km の線路区間をエリア化する。なお、課題実証での要求スループットを実現するため、MIMO の実現を考慮して LCX ケーブルは 2 本ずつ敷設することとする。

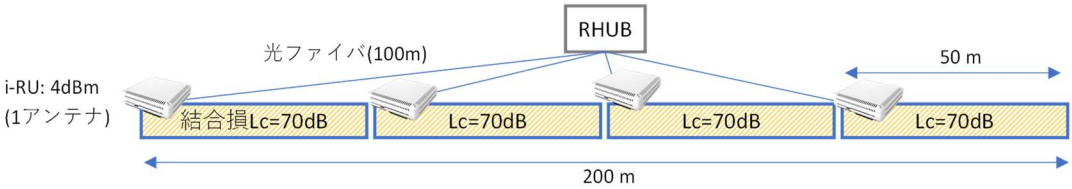
屋内 RU で短距離の LCX を線路に沿って敷設することにより電波漏洩を抑えるエリア構成方法を図.2.3.4.1-(3)に示す。今回使用する屋内 RU の DAS 構成では RHUB に 8 台の屋内 RU を接続することより 1 セルを構成し、平均 350m(平均約 40m×8 台＋隣のセルとの間隔 30m)の線状エリアを 1 セルでカバーする。これにより、菊名駅～妙蓮寺駅間の全区間については 2 つのセルでカバーする。想定エリアカバレッジを図.2.3.4.1-(4)に示す。なお、課題実証を考慮し、車両による透過損や遮蔽影響を測定した上で、要求性能が実現可能なレベルに RU の出力を調整するものとする。

【カバー範囲=200m】

■構成①: o-RU1台, LCX1本(結合損60dB) [グラフ凡例: oRU_n1]




■構成②: i-RU4台, LCX4本(結合損70dB) [グラフ凡例: iRU_n4]



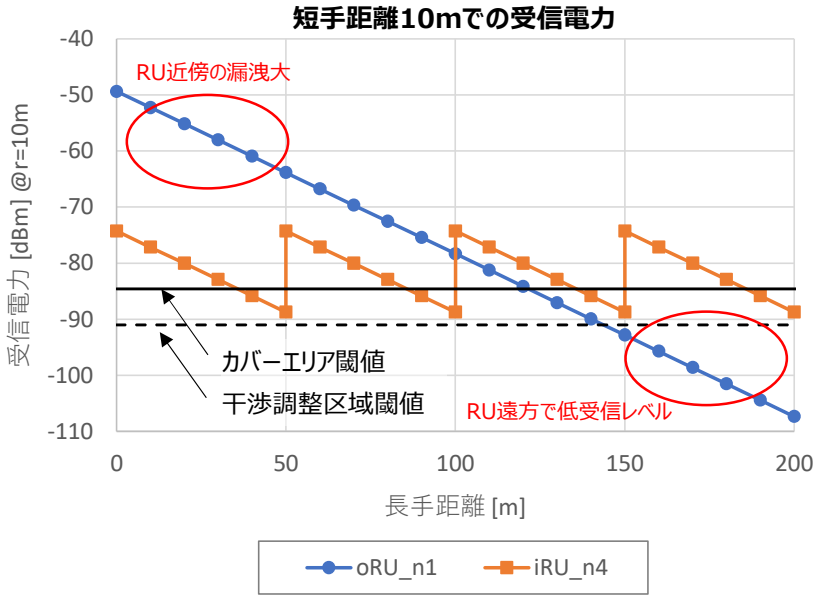




図.2.3.4.1-(1):LCX を用いたセル構成の違いによる電波漏洩量の比較

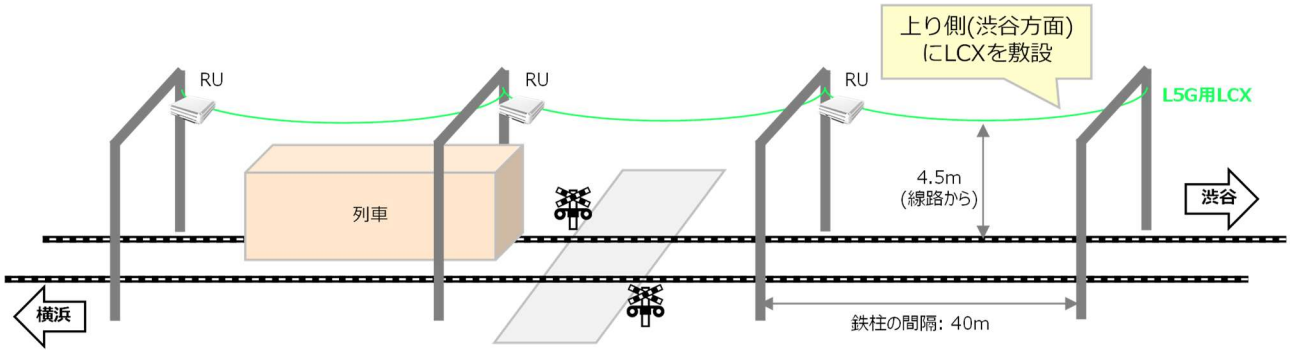



図.2.3.4.1-(2):LCX の敷設イメージ

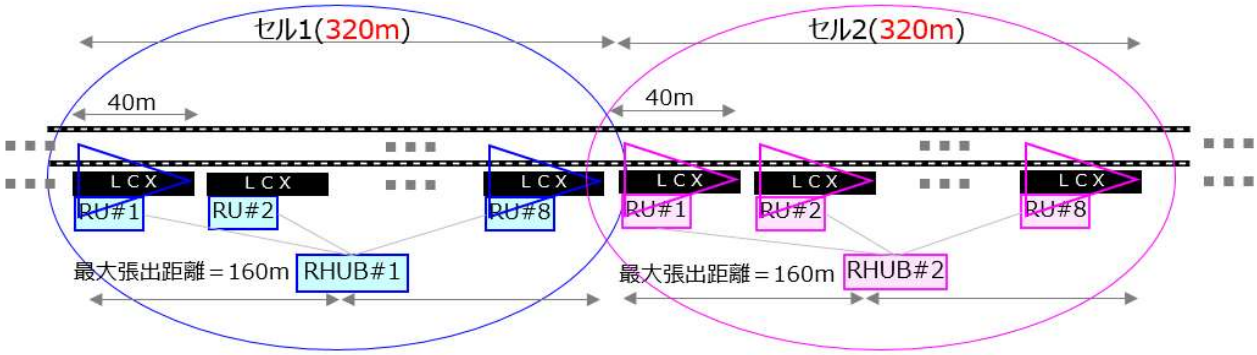



図.2.3.4.1-(3) 屋内 RU と短距離 LCX を使用するエリア構成方法

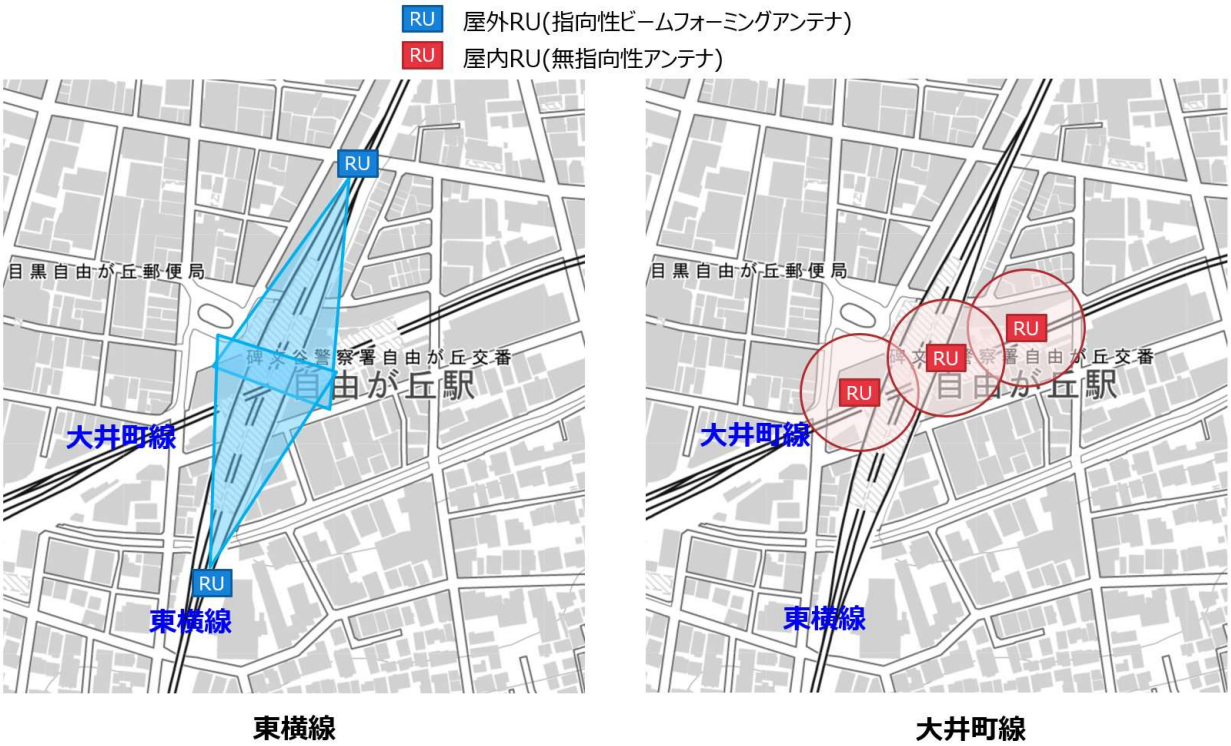
引用:国土地理院地図

図.2.3.4.1-(4):菊名駅～妙蓮寺駅間の想定エリアカバレッジ

## 2） 自由が丘駅

昨年度自由が丘駅実証において基地局を設置しエリアを構築済みである。本実証においても東横線ホームのエリアにて課題実証を、大井町線ホームのエリアにて技術実証をそれぞれ実施する。

エリアカバレッジを図.2.3.4.1-(5)に示す。




引用:国土地理院地図

図.2.3.4.1-(5):自由が丘駅のエリアカバレッジ

## 3） 横浜駅

「車載モニタリングカメラと AI を活用した線路巡視業務の高度化」課題実証を当初のユースケースと想定し、地下 5 階のホーム全体をエリア化する。セル間干渉の無い DAS 構成をベースとした屋内 RU でエリアを構成する。課題実証のユースケースでは UE を搭載した列車の限られたエリア滞在時間内に大容量のファイル転送を実現する必要がある。遮蔽性の高い環境も考慮し、ホームの縁に近い部分に屋内 RU を設置することでなるべく広いカバレッジを確保する。更に、UE を搭載した列車のホームへの入線直前から出発直後にかけてのローカル 5G によるデータ送信可能時間をなるべく長く確保するため、ホームの上り方面・下り方面双方のホーム端には外側の地下トンネル方向に向けてエリアを拡張できるよう指向性アンテナを設置する。想定する横浜駅のエリアカバレッジを図.2.3.4.1-(6)に示す。

今回エリア化する地下 5 階のホームからの電波漏洩は階段・エスカレーターを通じて 2 階上層にあ

る改札階(地下 3 階)に限定されるが、改札階も自己土地であるため基本的には他者土地への電波漏洩対策は不要と考える。ただし、改札階への電波漏洩が自己土地外に広がらないように、地下 5 階のホームに設置予定の基地局の出力を調整するものとする。

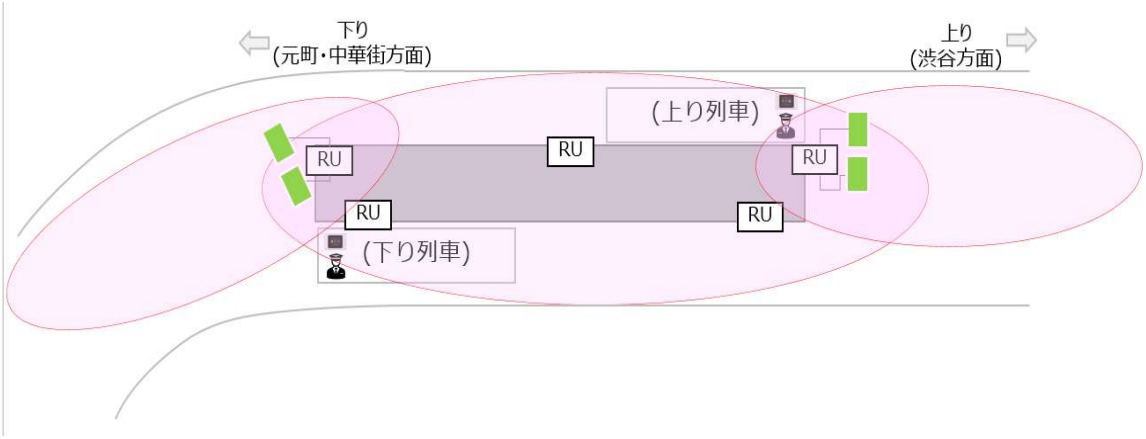



図.2.3.4.1-(6):横浜駅のエリアカバレッジ

### （2） 28GHz 帯システム

#### 1） 菊名駅

現状 28GHz 帯での対策は NSA(Nos-Stand Alone)構成を取る必要があるが、LTE 用のコアを別途構築が必要となり、その分の構築コストがかかることに加えて、半屋外の駅ホームでは周辺の地域 BWA との干渉調整が必要となってしまうという課題がある。

また 28GHz 帯の SA(Stand Alone)構成は無線機、端末共に対応予定が立っていないことから本実証実験では 4.7GHz 帯をアンカーバンドとする NR-DC(New Radio-DualConnectivity)構成を構築し、28GHz 帯を用いて技術実証を行った。

実証のメインとなる 28GHz 帯のエリアはアンテナ一体型の屋外用 AU(Access Unit)を用いて菊名駅のホーム端(横浜側)から対策をした。

通常の設置方法(縦置き)で対策を行うと幅広い電波放射パターンとなってしまい、直線状の狭小なエリア構築には不向きのため、90 度回転状態(横置き)で設置する等して、電波放射パターンを絞ることで周辺への電波漏洩を軽減させた。

またユースケースがアップロードの比重が大きいことを考慮すると端末での受信レベルは上りのスループットに影響しないため、極力基地局からの送信出力を抑えてエリア構築を行った。

またアンカーバンドの 4.7GHz 帯についてもエリア構築が必要であるが、令和 3 年度で課題となった周辺他者土地における電波漏洩対策が必要となる。

そのため、菊名駅における 4.7GHz 帯のエリア構築は外部アンテナを接続する屋外用 RU を用いて漏洩同軸による対策をした。

今回 4.7GHz 帯でのエリア構築にあたっては、駅ホームにおけるユースケースが先頭車両に設置されたカメラからのアップロードの比重が大きいこと及び周辺他者土地への漏洩電波抑制、漏洩同軸の敷設コスト低減を意識し、以下の設計思想でエリアを構築した。

① 漏洩同軸は各ホームの先頭寄りの半分のみを敷設した。
② 各ホームには RU1 台ずつを設置し、左右 50m 程度に漏洩同軸を敷設する 2MIMO 環境とした。
③ 端末での受信レベルは上りのスループットに影響しないため、極力基地局からの送信出力を抑えてエリア構築を行った。

なお NR-DC 対応端末は来年度頃からリリース予定となっているため、本実証における 28GHz 帯はあくまで技術実証のためのエリア構築であり、対応端末を用いたスループット測定及び課題実証における利用は想定していない。

しかし、NR-DC 対応端末がリリースされた後は該当端末を用いることにより、今後増加するユースケースにも対応可能なシステム構成となっている。

想定する菊名駅のエリアカバレッジイメージを図.2.3.4.2-(1)に示す。

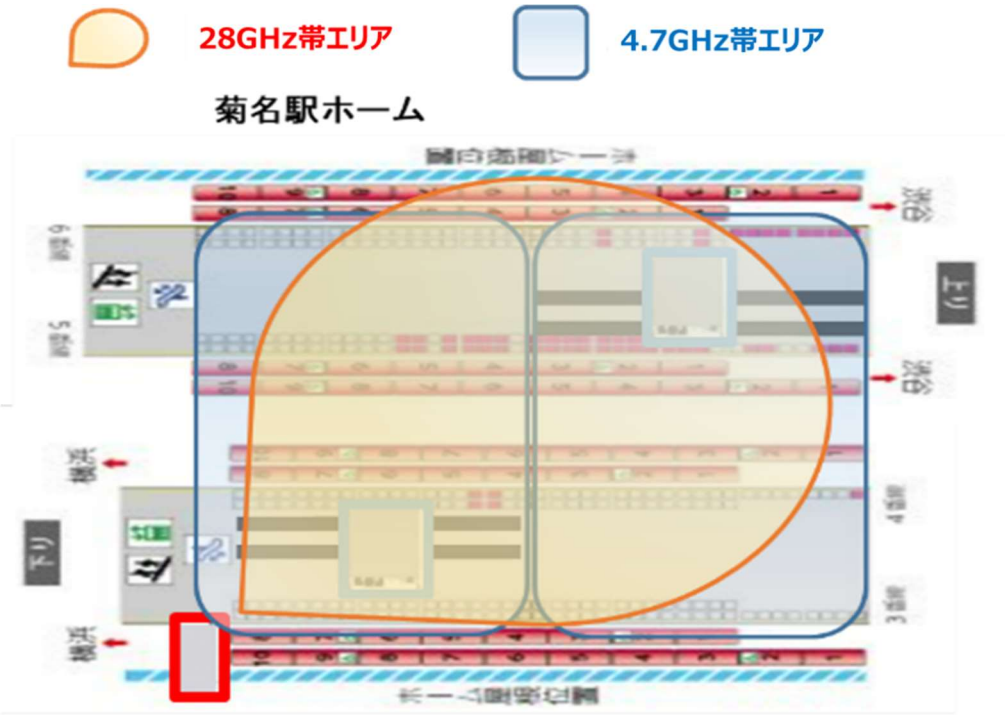



図.2.3.4.2-(1):菊名駅のエリアカバレッジイメージ

### 2.2.7 構築スケジュール

以下図に示すスケジュールにて、ローカル 5G システムを構築した。

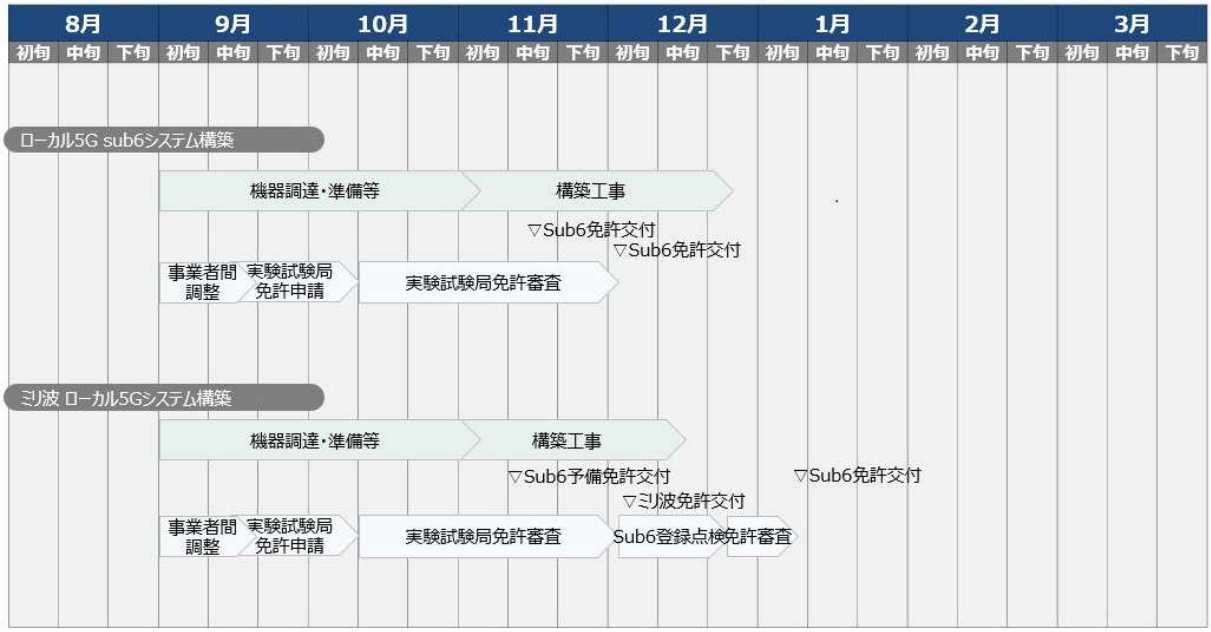



図.2.3.5-(1):構築スケジュール

## 2.3　システム機能・性能・要件

### 2.3.1　車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

#### （1）　スループット要件

- 車両に搭載した 2 つの線路巡視用カメラで駅間走行中に取得した画像データを駅停車時間内にアップロードする。
- 画像データサイズは、4K/H.265 圧縮方式/5fps　最大撮像時間 15 分　データ容量 0.5GB×2、駅での停車時間は、40 秒（停車前後 5 秒の通信可能時間含む）

以上より、アップリンクのスループットとして 200Mbps が必要となる

#### （2）　遅延時間要件

4K カメラでの映像データ圧縮処理から線路巡視データの AI 解析結果を PC（Web ブラウザ）に表示するまでの全体の処理に要する目標時間は 4.4 章に記載する。全体に含まれる処理の内訳について図.2.4.1.2-(1)および表.2.4.1.2-(1)に示す。

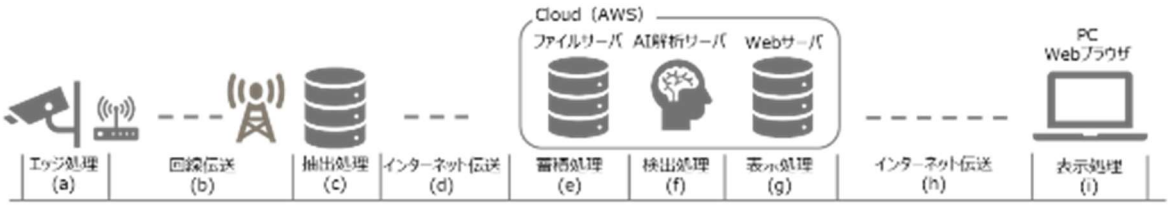



図. 2.3.1.2-(1):本課題実証ユースケースにおける各処理の時間区間

表. 2.4.1.2-(1)各処理区間の遅延目標内訳
※全体の処理に要する目標時間は 4.4 章に記載する
　なお、各処理はデータ到着順に順次処理される。

| | 構成要素 | 内容 | 対策 | 遅延目標 |
|---|---|---|---|---|
| (a) | エッジ処理 | 撮影動画のエンコード | ・映像圧縮方式の最適化 | 5sec<br>（非同期） |
| (b) | 回線伝送 | ローカル 5G を含む NW 伝送（有線を含む） | ・ローカル 5G による転送時間削減 | 40sec |

| | 構成要素 | 内容 | 対策 | 遅延目標 |
|---|---|---|---|---|
| (c) | 抽出処理 | 動画から静止画を抽出 | ・高性能サーバーの導入 | 10min |
| (d) | インターネット伝送 | 静止画データの伝送 | | 9min |
| (e) | 蓄積処理 | 画像取り込み、蓄積処理、変換処理 | ・高性能サーバーの導入 | 20min |
| (f) | 検出処理 | AI 処理、処理結果送信 | ・高性能サーバーの導入 | 20min |
| (g) | 表示処理 | 表示 UI 処理時間 | ・映像圧縮方式の最適化<br>・高性能端末の導入 | 5sec |
| (h) | インターネット伝送 | 検出結果画面データの伝送 | | 5sec |
| (i) | 表示処理 | 検出結果画面のブラウザ表示 | ・映像圧縮方式の最適化<br>・高性能端末の導入 | 5sec |

### 2.3.2 沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

#### (1) スループット要件

・ 線路沿線に設置した 4K カメラから映像データを AI 処理へアップロードする。

・ 映像画像データサイズは、4K/H.264 圧縮方式/30fps の設定で、1 つの線状セルに 2 台のカメラが接続される。

以上より、アップリンクのスループットとして 160Mbps が必要となる。

#### (2) 時間遅延要件

4K カメラの映像を検知処理で AI 解析を行う。AI 解析の異常状態判断は、通知制御サーバーを通じて、車載のタブレットへ通知する。通知までの目標時間は、4.1 章に記載する。全体に含まれる処理の内訳について図.2.4.2.2-(1)および表.2.4.2.2-(1)に示す。

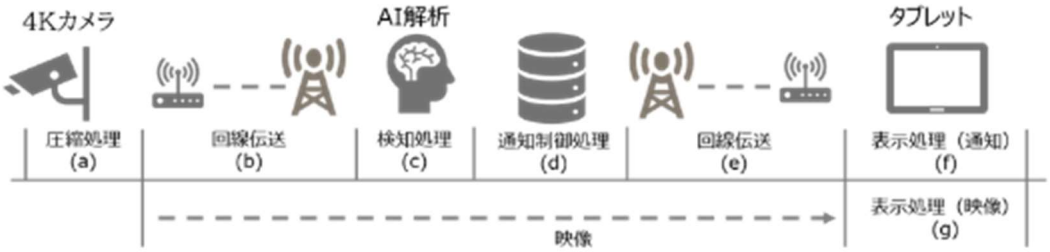



図. 2.4.2.2-(1):本課題実証ユースケースにおける各処理の時間区間

表. 2.4.2.2-(1):各処理区間の遅延目標内訳
※全体の処理に要する目標時間は 4.1 章に記載する

| | 構成要素 | 内容 | 対策 | 遅延目標 |
|---|---|---|---|---|
| (a) | 圧縮処理 | 圧縮方式によるエンコード処理時間 | ・映像圧縮方式の最適化<br>・高性能カメラの導入 | 1000msec～3000msec（画質設定により異なる） |
| (b) | 回線伝送 | ローカル 5G を含む NW 伝送(有線を含む) | ・ローカル 5G による転送時間削減 | 100msec |
| (c) | 検知処理 | AI 判定処理時間 | ・高性能サーバーの導入 | 1000msec～3000msec |

| | 構成要素 | 内容 | 対策 | 遅延目標 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | （滞留検知時間の設定による） |
| （d） | 通知制御処理 | エッジ処理毎の通知先タブレットの選択、通知内容を処理 | ・高性能サーバーの導入 | 1000msec |
| （e） | 回線伝送 | ローカル 5G を含む NW 伝送（有線を含む） | ・ローカル 5G による転送時間削減 | 100msec |
| （f） | 表示処理（通知） | 表示 UI 処理時間 | ・通知制御からの通知方式の最適化<br>・高性能端末の導入 | 1000msec |
| （g） | 表示処理（映像） | カメラ映像表示時間 | ・カメラへの接続手順の最適化<br>・高性能端末の導入 | 2000msec |

### 2.3.3 ローカル 5G システムの性能

#### (1) 4.7GHz 帯システム

本実証で使用するローカル 5G システムにおけるスループット理論値を表.2.4.3.1-(1)に示す。

実運用における良好な無線環境においては、2.4.1 章～2.4.2 章に記載の要求スループットは実現可能と考えられる。

表.2.4.3.1-(1):ローカル 5G システムのスループット理論値(IP レイヤ)

| DL スループット | UL スループット | 条件 |
|---|---|---|
| 0.6Gbps | 0.4Gbps | ・帯域幅 100MHz<br>・TDD スロット比率　D:U:S=4:4:2<br>・MIMO レイヤ数 DL:4、UL:2<br>・256QAM(DL/UL とも) |

#### (2) 28GHz 帯システム

本実証では 28GHz 帯を課題実証では用いない。

システムの無線特性については表.2.3.2.2-(2) 基地局無線部特性を参照。

本実証においては NR-DC 構成での提案となるため、NR-DC 構成の概要について以下に記載する。

NR-DC(New Radio-Dual Connectivity)は 5G 通信で必要な C-Plane(制御通信)を 4.7GHz 帯システムを用い、U-Plane(ユーザデータ通信)を 4.7GHz 帯+28GHz 帯システムを用いる構成を指す。

通常周波数の高い 28GHz 帯は広範なエリアをカバーすることが難しく、高速データ通信が必要なスポット対策として用いられるケースが多い。C-Plane を広範なエリアカバーが可能な 4.7GHz 帯システムにて対応することで、一定の 5G エリアを保ちつつ、28GHz 帯でカバーできているエリアについては 4.7GHz 帯と 28GHz 帯の帯域を合わせることで高速大容量通信を行うことができる。

以下図.2.4.3.2-(1)に NR-DC 構成のイメージを示す。

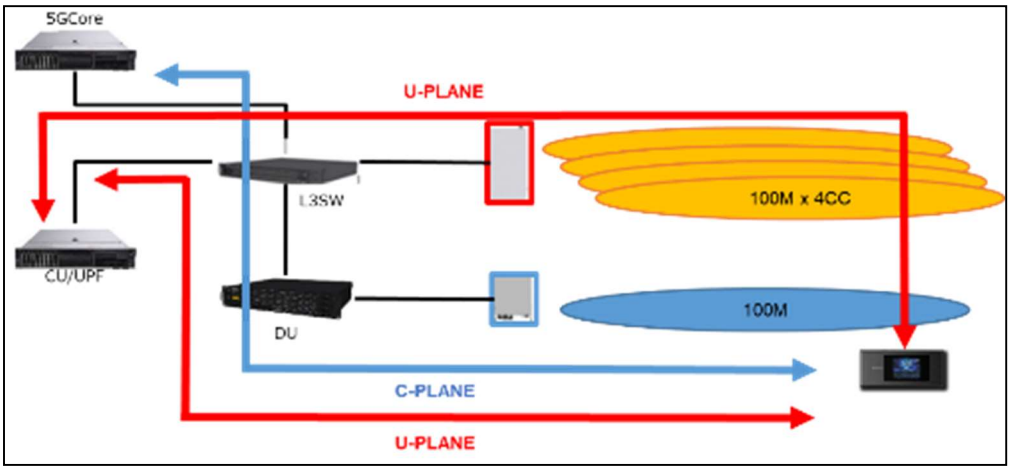



図.2.4.3.2-(1):NR-DC 構成のイメージ

また、現状ミリ波を構築可能な NSA 構成、NR-DC 構成、ミリ波 SA 構成について以下表で各構成の特長を示す。

表.2.4.3.2-(1):ミリ波構築構成比較表

| | NSA 構成 | NR-DC 構成 | ミリ波 SA 構成 |
|---|---|---|---|
| エリアカバー(広さ) | ○ | ○ | △ |
| スループット | ○ | ◎ | ○ |
| コスト | △ | ○ | ◎ |
| 干渉調整 | △ | ○ | ◎ |
| 展開可能時期 | ◎ | ○ | △ |

NSA 構成は LTE/4.7GHz 帯でのエリア構築となることからエリアは広く取ることができるが、LTE のコアを設置する費用でコストがかかる点と周辺 BWA との干渉調整が必要となる点がデメリットである。

NR-DC 構成は 4.7GHz 帯での C-Plane エリア構築という観点でエリアを広く取ることでき、かつミリ波との重畳エリアにおいては双方のシステム経由でデータ伝送ができるためスループットで優位性がある。一方で NR-DC 対応端末は来年度頃からリリースされる予定となっており、早期の展開が待たれる。

ミリ波 SA 構成は高周波数であることから広くエリアを取りづらいというデメリットがある反面、ミリ波単独でのシステム構築及びエリアが狭いという点でコストと干渉調整でメリットがあると考える。しかし、ミリ波 SA 構成の展開可能時期については未定となっている。

上記の通り、今後ミリ波を使用していく上では NR-DC 構成やミリ波 SA 構成を利用していくシーンが増えていくと想定しており、本実証実験においては NR-DC 端末のリリースが間に合わない状況ではあるが、将来的な展開性を見据えて NR-DC 構成の構築及びミリ波でのエリア構築について評価を行った。

## 2.4　その他

### 2.4.1　実証システムの拡張性等

#### (1)　4.7GHz 帯システム

1)国際的な規格への取り組み

ｱ)3GPP 標準化活動への取り組み

富士通は第 3 世代移動通信システムの開発を目指した 3GPP(3rd Generation Partnership Project)へ当初から参画し W-CDMA、HSPA、LTE/SAE など第 3 世代移動通信の標準化活動に積極的に貢献してきた。本実証に使用したローカル 5G システムは Release15 に準拠したソフトウェアとなるが、市場ニーズやユースケースの需要を鑑み Release16 及び 17 の機能を今後対応する予定である。

また、今後の標準化動向に関し、O-RAN、Open ROADM 等において各コンポーネント間がオープン化され、仮想化基盤における Openstack、Kubernetes や、オーケトストレータにおける ONAP、ETSI、OSM 等領域毎にオープンリソースがリリースされてくると想定している。EtoE オーケストレータ領域においては、API 定義、事業者間連携、スライス管理・制御等が TMF、MEF、3GPP 等で行われており実装に向けたモデルとなり、全体的な最適化(安全性・信頼性を含む)を目指し、技術的な開発を行っている。

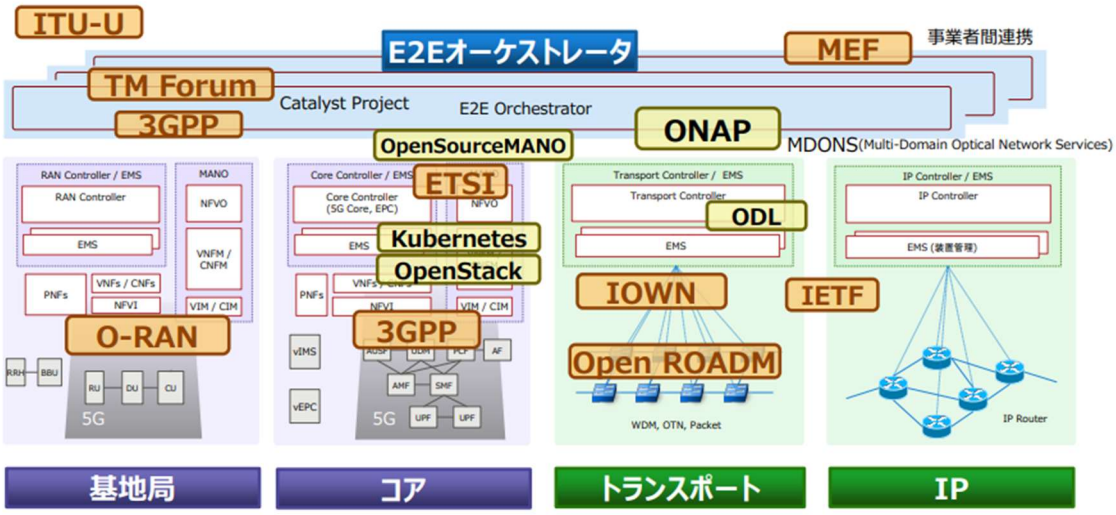



図. 2.5.1.1-(1):ITU-U

ｲ)O-RAN 準拠および、普及に向けた取り組み

O-RAN では、基地局装置を複数のコンポーネント(子局(RU:Radio Unit)、親局(DU:Distributed Unit および CU:Central )に 分離し、それぞれを標準化されたインターフェースで接続することが可能となる。これにより、基地局ベンダーロックインから解放されることになり、商用導入までの時間短縮が図れると共に利用者向けに最適化されたサービスを提供するための最善の機器構成

を採用できることが可能になる。また、RAN の仮想化は汎用 HW の利用によるコスト削減や、柔軟性および拡張性の向上をもたらすことができる。
無線アクセスネットワークのオープン化の特徴は大きく 3 つの要素で構成される。

1)様々なベンダーの RAN 装置の組み合わせを実現するオープンインターフェース
2)RAN 装置内のハードウェアとソフトウェアの分離を可能にする仮想化
3)RAN の運用最適化および自動化を実現するインテリジェント化

ベンダー中心ではなくユースケース中心に構築されたアーキテクチャとなり、主に利点を下図に示す。

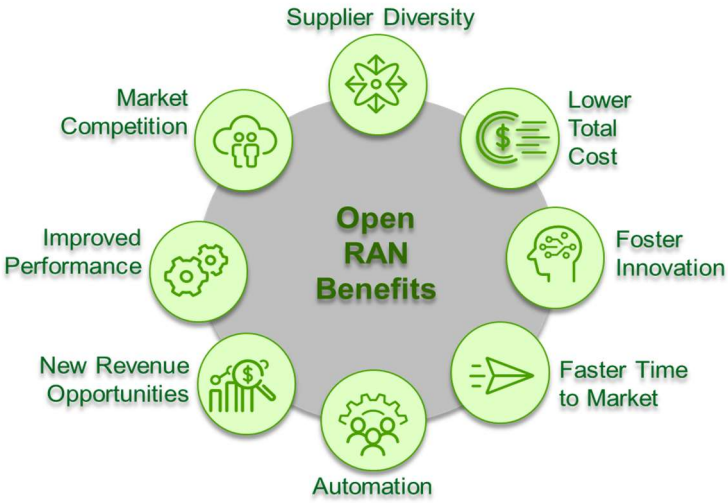



図. 2.5.1.1-(2) :Open RAN Benefits

4.7GHz システムを提供している富士通は O-RAN Alliance へ Academic Contributors として参画しており、O-RAN 普及加速に向けて、複雑性・難解性・専門性・ステークホルダー多彩性などの課題に向けて下記を取り組んでいる。

- QoS/QoE 及び UX/CX 満足に対する必要最低限のリソース制御
- サービス & コンテンツ特性変化に追随したリソースの柔軟な制御
- 仮想化/ソフト化/オープン化に即したクラウドネイティブ指向のセキュリティ技術
- Integration:システムの可用性・リジリエンシーの強化

2)ローカル 5G システムの機能拡張

ｱ)1)国際的な規格への取り組みで記した 3GPP のリリース計画への適用(URLLC、mMTC 等)と共に、各業種への適用やサービス提供が可能となるよう、マルチテナント機能やネットワークスライシング、キャリアアグリゲーションや外部連携機能などの機能提供を市場ニーズにあわせて開発検討している。

ｲ)システムの簡易運用の提供

複数拠点のローカル 5G システム運用にあたり、設備に対して IT 人材が常駐する環境は想定しがたいため、そういったケースでも簡易的な運用のあり方についても検討が必要となる。運用者に対して、基地局の利用ライセンスを提供し、構築・監視・運用を実施するサービス形態のプライベートワイヤレスクラウドサービスを提供している。

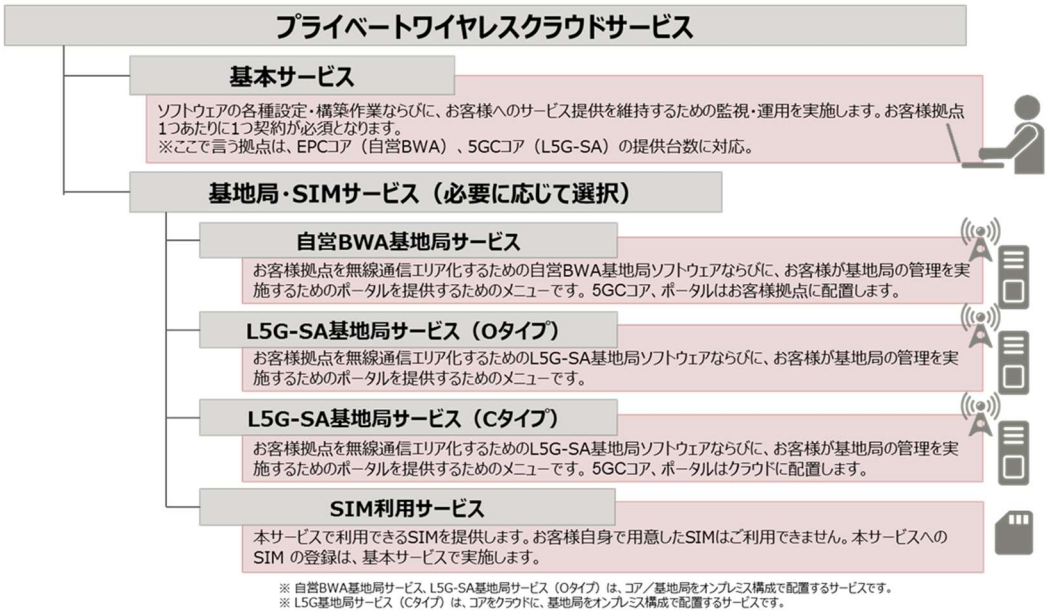



図. 2.5.1.1-(3) プライベートワイヤレスクラウドサービス

3)仮想化 5G システムの適用

オープン RAN 化に伴い、ローカル 5G の共用コア利用だけではなく、無線通信処理を行う DU(Distributed Unit)、処理したデータをコアネットワークとやり取りする CU(Central Unit)の仮想化の開発を進めている。ローカル 5G サービス事業者の観点では、用途に応じた設備を複数のベンダーから選んで構築できるようにすることで、幅広いニーズに応えるソリューションを提供できるなどのメリットや、現地には最小限の設備で提供できるなど、コストを削減できるなどのメリットがある。
富士通ではサービス提供の多様化、キャパシティ毎のラインナップ含め今後の開発を全国通信会社向けから検討している。

また、全体の基地局運用に関わる制御機能として、AI や富士通独自の量子インスパイヤード技術「デジタルアニーラ」によってユーザの利用状況の変化を予測し、設備単体の最適化を実施、また、同一

地域内などの単位で最適な構成の導出やユーザ数やトラフィックに応じたリソースブロックの制御や夜間の停波などを行うことで消費電力を削減し、従来のシステムよりシステム全体の総 CO2 排出量を50％削減が可能となるグリーンテクノロジーを搭載する予定となる（図_グリーンシステムの全体像）

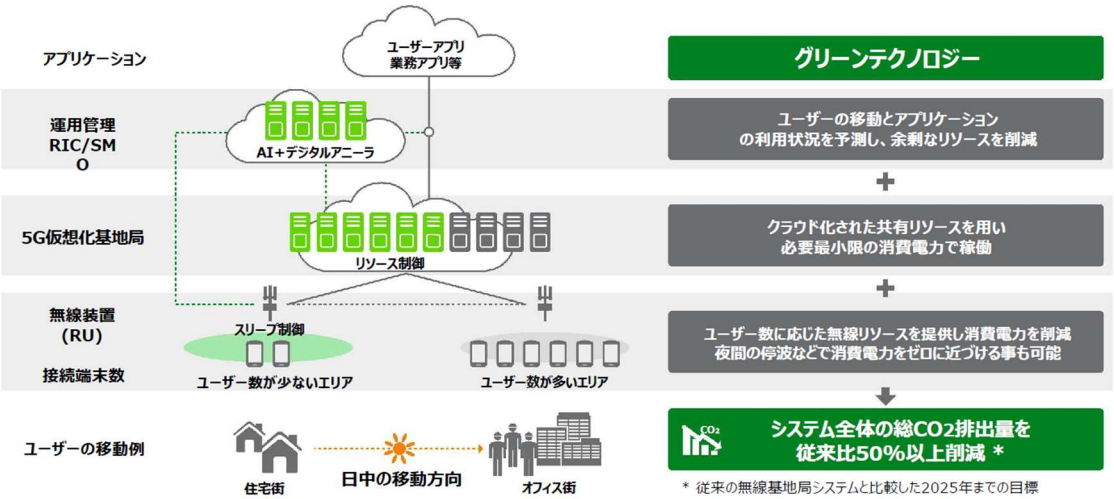



図. 2.5.1.1-(4) :グリーンシステムの全体像

4)ネットワーク全体のセキュリティ対策

ｱ)ローカル 5G を含めた NW 全体のセキュリティの必要性

有線・Wi-Fi 含め、通常のネットワーク、既存のネットワークとローカル 5G が共存し、プライベートネットワーク全体と考えた場合のセキュリティ対策と、その最適化についても検討の必要性がある。ローカル 5G を含めた、エンタープライズネットワークセキュリティとして、ソリューションのエコシステムの提供を行っている。

具体的には、5G 網の中にある IoT デバイスと、各環境下にあるデバイスを複数の FW の通信を使って統合分析し、ローカル 5G の中も外も含めて、組織全体の IoT デバイスや資産の可視化と管理を一緒に行う。また共用コアとして複数のユーザのローカル 5G 設備と一緒に NGFW を配備し、膨大なデバイス環境下でも機器 ID・加入者情報 ID ベースで可視化と脅威からの保護を、マルチテナントで統合管理を行うことが可能となる。ユーザ毎に異なる構成やセキュリティポリシーに対し、柔軟な全体の NW セキュリティを構築することで、ミッションクリティカルな業務への適用を実現可能とする。

| 業種 | 利活用 | QoS対象通信の一例 |
|---|---|---|
| 製造業 | AIを活用した高精度位置情報測位システム<br>映像とAIを活用した生産管理システム | ・映像、制御システム、自動制御システムの通信<br>・ERPシステムの通信<br>・優先度の低い通信の帯域制限 |
| 社会インフラ分野 | 複数のカメラ・AIを活用したリアルタイム異常検知<br>保守点検の自動化システム・運転士支援システム | ・センサー、カメラ、AI分析に関する通信<br>・運用保守回線の通信<br>・DoS/遅延要因となる通信 |
| 建設分野 | 重機の自動運転・遠隔操作<br>危険作業の検知システム・危険エリアの侵入検知 | ・遠隔操作システム、制御信号システム<br>・走行管理システムの通信<br>・従業員が発生させる優先度の低い通信 |
| 教育分野 | カメラ・ドローン・VRを活用した、リモートコーチングや遠隔授業 | ・動画、ドローン、VR関連通信<br>・生徒が発生させる優先度の低い通信 |
| メディア分野 | 膨大なカメラ、センサーを活用した臨場感のある映像配信 | ・動画、センサーデータ、制御通信<br>・配信システム通信<br>・DoS、遅延要因となる通信の制限 |

図.2.5.1.1-(5) :ユースケース別アプリケーション QoS 及び DoS の一例

図. 2.5.1.1-(6) :企業のネットワーク環境をあらゆる脅威から多層防御

### （2） 28GHz 帯システム

本実証において導入しているサムスン電子製ローカル 5G システムの基地局は 3GPP Rel.16 標準及び O-RAN 標準に準拠しております。また、InteroperabilityTesting 関連標準団体である NVIOT Forum の標準化試験に従っており、他社の RAN およびコア製品に連動可能。

### 2.4.2 実証システムの安全性確保のための対策

#### (1) 特定高度情報通信技術活用システム

［4.7GHz 帯システム］

本実証におけるローカル 5G システムについては、3GPP(Release15)に準拠しており、標準化された無線インターフェースが具備されたものを採用した。また本システムの基地局、コア設備等については特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律(令和 2 年法律第 37 号)に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であり、同認定を取得しているシステムを採用した。

1. 認定の日付

令和 4 年 6 月 13 日

2. 開発供給計画認定番号

2021 開 1 総経第 0002 号－2

3. 認定開発供給事業者の名称

富士通株式会社

4. 認定開発供給計画の概要

一般企業、自治体向けに、製造業(スマートファクトリーでの活用を想定)をはじめとして地域活性化のための様々な事業領域に適用可能なローカル 5G システムに供する設備として以下の設備を開発供給する。

5. 開発供給を行う特定高度情報通信技術活用システムの内容

表.2.5.2.1-(1) :特定高度情報通信技術活用システム

| メーカー | 種別 | 型番・型式 | 主な仕様等(概要) |
|---|---|---|---|
| 富士通 | 特定基地局以外の基地局の無線設備 | PW300-CU | ・CU |
| 富士通 | 特定基地局以外の基地局の無線設備 | PW300-DU | ・DU |
| 富士通 | 特定基地局以外の基地局の無線設備 | PW300-RU-O | ・RU<br>・4.8-4.9 GHz 帯用<br>・アンテナ一体型<br>・屋外設置用 |
| 富士通 | 特定基地局以外の基地局の無線設備 | PW300-RU-1 | ・RU<br>・4.8-4.9 GHz 帯用<br>・アンテナ分離型<br>・屋内設置用 |
| 富士通 | 交換設備 | PW300-5GC | ・オンプレミス型<br>・5G SA 方式 |
| 富士通 | 交換設備 | PW300-EMS | ・オンプレミス型<br>・5G SA 方式 |
| 富士通 | 特定基地局以外の基地局の無線設備、交換設備 | PW300-SK | ・CU 及び交換設備<br>・オンプレミス型<br>・5G SA 方式 |

本実証で導入するシステムについては、「IT 調達に係る国の物品等または役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」(2018 年 12 月 10 日関係省庁申合せ)4 等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。また、本課題実証に際してクラウドサービスの利用等、外部のネットワークへの接続やデータ伝送を伴うため、個人情報の管理等を含め、サイバーセキュリティ対策を講じた。

[28GHz 帯システム]

本実証において導入を予定しているサムスン電子製ローカル 5G システムの基地局、コア設備等に

ついては、「開発供給計画認定（特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号））」を受けた実績は無いが、現在開発供給計画の認定に向け申請の準備を進めている。

調達にあたっては、「IT 調達に係る国の物品等または役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（2018 年 12 月 10 日関係省庁申合せ）等に留意し、ローカル 5G 導入ガイドラインに記載のサプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。

サムスン電子社による具体的な対策状況を以下に示す。

- RAN 及び Core 設備は 3GPP Rel.16 33.501 を準拠。
- 米国国家情報保証パートナーシップ（NIAP）製品準拠リスト（PCL）及びカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定済み。
- セキュリティ評価基準であるISO15408 の認証取得を行い、サイバーセキュリティ対策を講じている。
- サプライチェーンリスク管理のため、購買統合システム（G－SRM）を構築し、供給網（SCM）、情報共有、協力会社評価および登録、リスク管理、遵法経営と勤労環境の統合管理、協力会社行動規範、自己評価チェックリスト共有し、リスク対応を講じている。
- RAN 及び Core 設備のソフトウェアパッケージはサイバーセキュリティに対応し、開発段階で Vulnerability Test を実施し、全ての脆弱性を補完後出荷。

### （2） その他の実証システム

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

| 対象機器 | サプライチェーンリスク対策 | サイバーセキュリティ対策 |
|---|---|---|
| エッジコンピュータ | 汎用的な OS を使用することで、他のコンピュータによる代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない |
| カメラ | 汎用品から機種選定することで、他のカメラによる代替を可能とする | － |
| 加速度センサー | －（今回は使用せず） | － |
| クラウドサービス | － | 接続もと IP アドレスを事前登録したものに限定してアクセス制御を実施。またユーザ ID を個人毎に発行し、ログを取得することでトレーサビリティを確保。 |

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

| 対象機器 | サプライチェーンリスク対策 | サイバーセキュリティ対策 |
|---|---|---|
| AI 処理装置 | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |
| カメラ | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |
| POE | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |
| 通信制御サーバー | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |
| AI 処理サーバー | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |
| タブレット | 汎用品から機種選定することで、他の機器による代替を可能とする | インターネットへの直接接続は行わない。遠隔からは VPN でアクセスする。その際、ユーザ ID、パスワードによる認証を行う。 |

# 3.　特殊な環境におけるローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

## 3.1　実証概要

### 3.1.1　4.7GHz 帯システム

#### （1）　菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

2 章で構築したローカル 5G の実証環境において、電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化を実施した。

本技術実証では、菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間の電波伝搬測定を行い、以下の単一の LCX 区間における電波伝搬モデルの精緻化観点での検討を行った。

#### （2）　自由が丘駅

本実証では昨年度自由が丘駅実証で大井町線に設置した屋内 RU の電波伝搬について、複数 RU による DAS 構成での電波伝搬の精緻化を実施した。DAS 構成時の 1 セルとしてのカバーエリア・干渉調整区域は、RU 毎のカバーエリア・干渉調整区域を接合したものよりも大きくなる可能性があり、電波伝搬範囲の見積りに影響を及ぼすといった技術的課題が考えられる。これに対しこの伝搬モデルの精緻化を通じて、当該構成におけるカバーエリア・干渉調整区域の作図方法を明確化することを目的とする。

### 3.1.2　28GHz 帯システム

#### （1）　菊名駅

28GHz 帯を用いた菊名駅での技術実証内容は以下の通り。

① カバーエリア内の菊名駅ホーム上（列車留置無し）の複数地点において受信電力値を測定し、本実証実験で構築したエリア評価を行った。

② カバーエリア内の菊名駅ホーム上（列車留置あり）の複数地点（①と同一地点）において受信電力値を測定し、列車留置時のホーム内エリアへ与える影響について評価を行った。

③ 周辺他者土地の複数地点において受信電力値を測定し、電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化（R パラメータ）を行った。

## 3.2　実証環境

### 3.2.1　4.7GHz 帯システム

#### (1)　菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

本実証環境は都市部の屋外環境にある鉄道用線路で、住宅地が密集した地域に位置する。区間は全長約 1km、幅約 10m の線状エリアであり、図.3.2.1.1-(1)に示すように、他者土地との境界部分は全体的に遮蔽の無いオープンな環境となっている。図.3.2.1.1-(2)に示すように自己土地と他者土地の高さが異なる部分もある。自己土地に隣接する他者土地には民家やマンションが建ち並び、他者土地への電波漏洩の抑制は重要な課題である。また、線路区間には図.3.2.1.1-(3)に示すような踏切があり他者土地への開放度が高い箇所がある。図.3.2.1.1-(4)に示すような障害物もあり、電波伝搬に影響を及ぼす可能性がある。

図.3.2.1.1-(1) :他者土地との境界部分

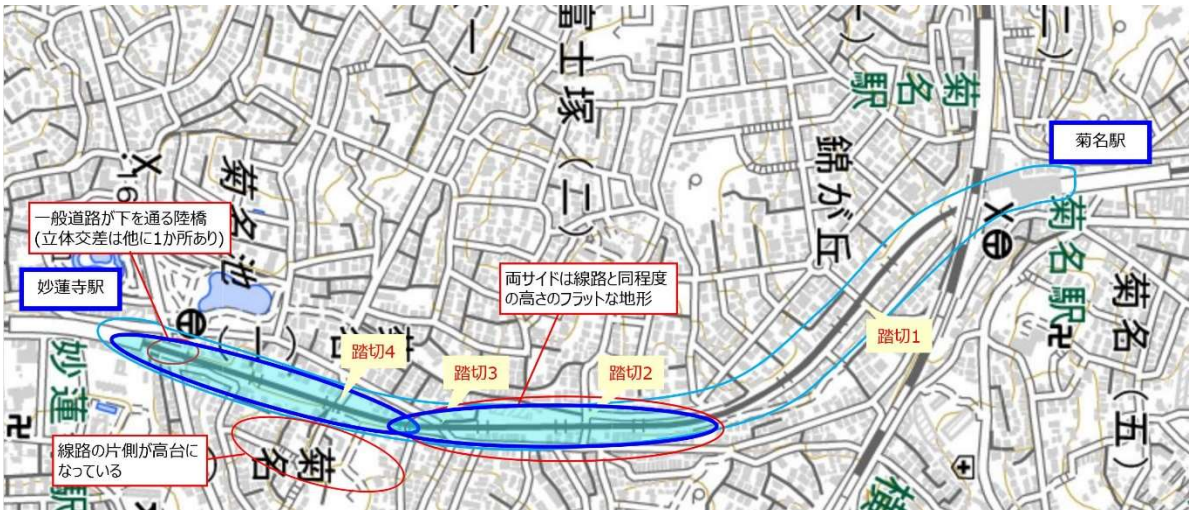
図.3.2.1.1-(2) :自己土地と他者土地で高さが異なる部分

図.3.2.1.1-(3) :踏切

図.3.2.1.1-(4) :自己土地内の障害物

本実証では 2.2.1 章で説明したエリア化区間において、線路の両側がフラットな部分、片方が高台の部分などの電波伝搬環境の違いを考慮して複数箇所を選択して実証を行った。

図.3.2.1.1-(5)に実証対象区間を示す。




引用:国土地理院地図

図.3.2.1.1-(5) :実証対象区間

### （2） 自由が丘駅

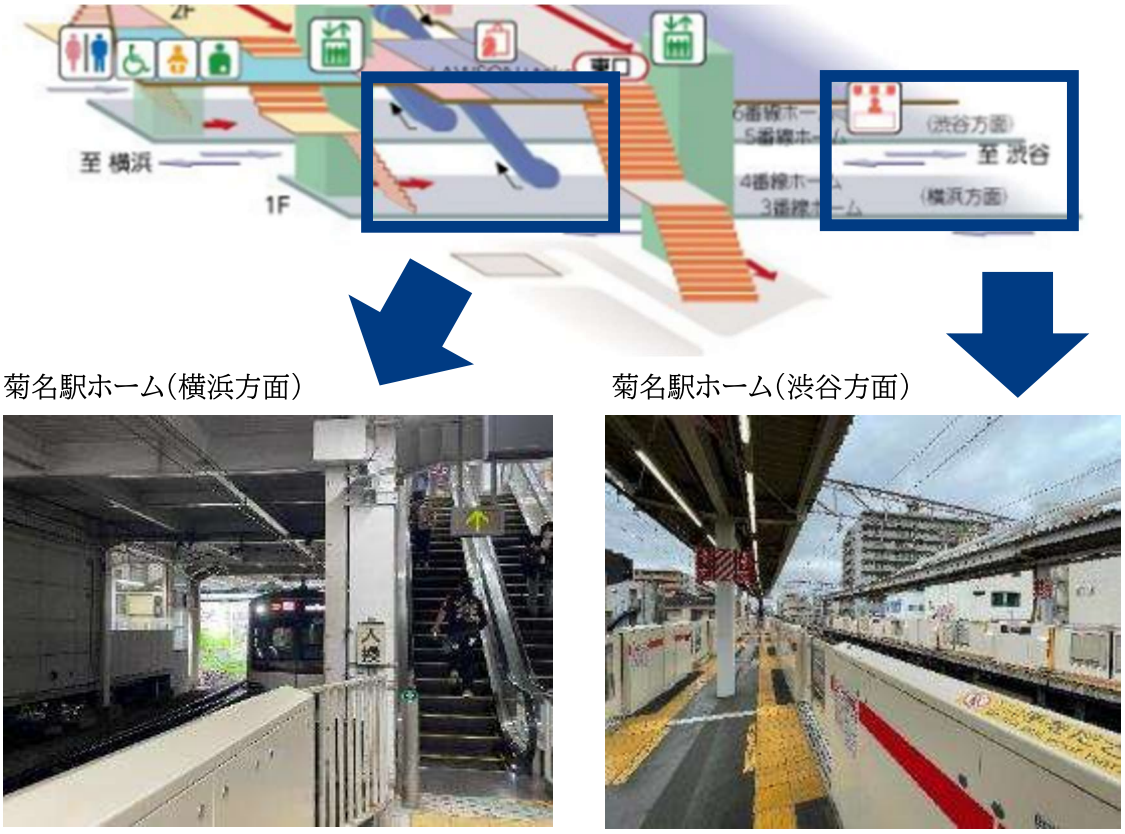
本実証環境は都市部に位置する鉄道駅である。大井町線と東横線の 2 路線がこの駅で立体交差する構造となっており、1 階部分に大井町線、2 階部分に東横線のホームがある。大井町線、東横線共に半屋外の環境であるが、東横線のホームは他者土地との間の壁面が低く、壁面の無いオープンな部分もある。一方、大井町線のホームは屋根まで繋がった壁面があり、東横線に比べて他者土地との境界の遮蔽度が高い構造となっている。

図.3.2.1.2-(1) :大井町線ホームの他者土地との境界

### 3.2.2 28GHz 帯システム

#### (1) 菊名駅

本提案のうち、電波伝搬モデルの精緻化(R パラメータ)の実証環境として、東急東横線の菊名駅を実証環境として選定した。菊名駅は JR 横浜線との併設駅であり、ホームの横浜方面に駅舎がある関係上、横浜方面は天井及びホームの側面においても建物により遮蔽されやすい造りとなっている一方、渋谷方面は天井も簡素化され、ホームの側面も開かれた環境であることから、周辺他者土地へ電波が飛来しやすい造りとなっている。またホーム内には一部売店等により遮蔽される環境もあるが、エレベーターや階段、エスカレーター等、駅のホームで遮蔽物となりやすい構造物は無く、見通しが取れる環境となっている。




引用:東急電鉄 HP

図.3.2.2.1-(1) :東急電鉄菊名駅

また東急電鉄の主要駅は列車運行外の夜間帯ホームには列車が留置されている状況であり、菊名駅においても基本的に中央線路(4 番線、5 番線)に列車が駐機された状態となっている。
今回の技術実証においては夜間に列車留置無しの環境での測定が望ましかったが、夜間帯ホームの留置列車を移動させることが不可であったため、列車留置無し条件下での測定は列車運行中の時間帯で駅ホームから列車が移動したタイミングで測定を行った。
上記に伴い、駅周辺の測定地点において道路上など、人流や交通の妨げになる場所での測定は避け、測定可能な場所で測定を行った。

図.3.2.2.1-(2) :東急電鉄菊名駅 夜間車両留置状態

## 3.3　実証事項

### 3.3.1　線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化

#### (1)　実証の目的・目標

1)　背景となる技術的課題と実証目的

a. 4.7GHz 帯システム

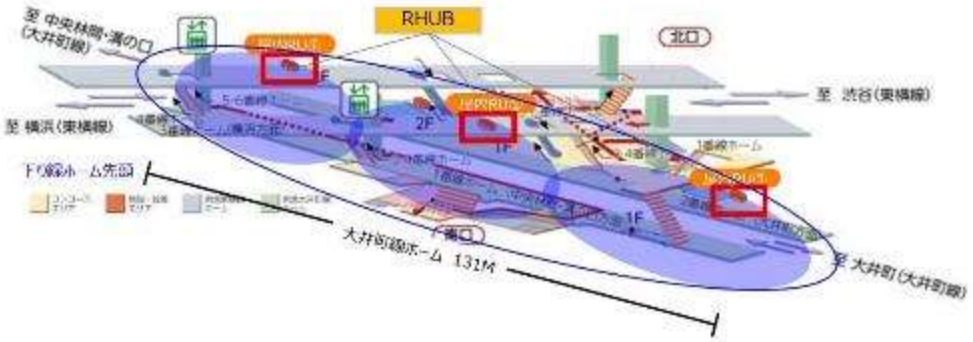
ア）菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

LCX は外部導体に電波を漏洩するためのスロット(孔)を長手方向に一定間隔で多数設けた同軸ケーブルであり、LCX をアンテナとして使用することにより、ケーブルに沿って広範囲に電波の放射源を設けることが可能となる。2.3.4 章で説明したように、本実証では低出力の RU と短距離 LCX の組み合わせを長手方向に縦続的に配置した DAS 構成を取ることにより、LCX 間の干渉を回避しつつ、RU 近傍での電波漏洩の抑制と、RU 遠方の自己土地内での受信電力の確保の両立を図る。しかしながら、拡張秦式に基づく現行のエリア算出式は単一の送信源を想定しているため、LCX のような電波の放射源に距離的な広がりがあるケースには適用困難であり、LCX を用いた線状セル構築の際のカバーエリア・干渉調整区域を把握する手段が明確化されていない状態である。そこで、本実証では屋外の線路・踏切エリアに適用した LCX の伝搬モデルを解明し、LCX に適したエリア算出式の導出を行うことを目的とする。

イ）自由が丘駅

令和 3 年度にエリア化を実施した大井町線ホームは、3 台の RU を DAS 構成で 1 セル化している。現行制度では、免許申請時に基地局の増幅回路(RU)毎にカバーエリア・干渉調整区域を作図することになっているが、複数の RU で DAS 構成の 1 セルを形成する場合の指針が存在しない。DAS 構成時の 1 セルとしてのカバーエリア・干渉調整区域は、RU 毎のカバーエリア・干渉調整区域を接合したものよりも大きくなる可能性があり、電波伝搬範囲の見積りに影響を及ぼす。

そこで、本実証では複数 RU による DAS 構成での電波伝搬の精緻化を通じて、当該構成におけるカバーエリア・干渉調整区域の作図方法の明確化を目的とする。




引用：東急電鉄 HP

図.3.3.1.1-(1) :大井町線の DAS 構成の RU 配置

b. 28GHz 帯システム

令和 3 年度開発実証における本件のエリア構築において、4.7GHz 帯の駅ホーム対策においてチルト調整や電波吸収体による対策を試みるも周辺他者土地への電波漏洩が課題として残った。

送信電力を下げることは有効な策ではあるが、同時に必要なスループットが得られなくなることが課題であり、また 28GHz 帯の利用も含めて検討が必要であると結論付けている。

また複数セルでのエリア構築はエリア内でのセル間干渉が発生し、基地局の 1 セル化の検討についても必要とした。

そのため今年度は菊名駅のような半屋外の駅ホーム対策として 28GHz 帯 1 セルでのエリアを構築し、検証を行った。

菊名駅ホームは横浜方面にある駅舎側からのみホームと改札を行き来できる環境となっており、ホーム上で大きな遮蔽影響を生む階段、エスカレーター、エレベーター等の構造物は設置されていないが、柱や看板など、駅ホームに標準的に設置される構造物によって横浜方面ホーム端から渋谷方面のホーム端に到達するまでに一定の遮蔽影響は受けると想定した。

また菊名駅の横浜側の環境は駅舎及び周辺建物による遮蔽環境となっている一方、電波の放射方向にある渋谷方面の線路方向は駅と周辺他者土地を隔てる壁や建物等の遮蔽影響を受けないことから駅と周辺他者土地の遮蔽環境に応じて R 値の精緻化を実施することが適切であると判断した。

半屋外環境である鉄道駅における 28GHz 帯の精緻化データは過年度の実証実験において十分に取得されていないため、本実証で 28GHz 帯を用いた駅ホーム対策手法の確認及び R パラメータを精緻化することにより 28GHz 帯による駅ホーム対策の設計手法確立に貢献し、駅ホームエリア設計時に標準的に見込んでおくべき駅ホームエリア内の伝搬ロスを明確にすることを目的とした。

## 2） 実証目標

### a. 4.7GHz システム

#### ア） 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

前述の通り、LCX では電波の送信源に距離的な広がりがあるため、単一の送信源を想定した現行のエリア算出式はそのままでは適用できないと考えられる。そこで、本実証では単一の LCX に着目して電波伝搬の精緻化を行った。

図 3.3.1.1-(2) の式(1)に示すように、LCX 近傍での UE 受信電力 Pr は、UE から LCX への最短距離を r[m]、LCX 内の伝送距離を z[m]とすると、LCX の単位距離あたりの伝送損α[dB/m]と伝送距離 z、および LCX からの基準距離 r0 における結合損 Lc[dB]によって位置(z,r0)における損失が決まり、距離減衰は基準距離 r0 に対する UE までの距離 r の比の 1 乗に比例するものとして計算される。

一方、現行のエリア算出式における、基地局近傍(<40m)での UE 受信電力 Pr およびパスロス L はそれぞれ図.3.3.1.1-(2)の式(2a)と式(2b)で表現される。Gt、Gr はそれぞれ基地局送信アンテナおよび UE 受信アンテナのゲイン、Lf は基地局の給電線損失、A は周波数によって決まる定数項である。このように、現行のエリア算出式では、単一の送信源(RU)からの距離 d によって受信電力が計算されるため、長手方向に広範囲に波源が広がる LCX を用いたエリア構築にはそのままでは適用困難である。

エリア算出式の式(2a)において、給電線損失 Lf＝αz+Lc と置くことで、LCX 使用時の UE 受信電力の表現は式(1)に近づくが、距離減衰項はエリア算出式では距離に対する 2 乗減衰であるのに比べて、LCX では 1 乗減衰となっており、エリア算出式を使うと電波漏洩範囲が実際よりも小さく見積られてしまう。

そこで、本実証では、都市部の鉄道線路エリアにおけるローカル 5G 用 LCX の伝搬モデル解明を目的に、距離減衰項の減衰指数の精緻化を実施する。

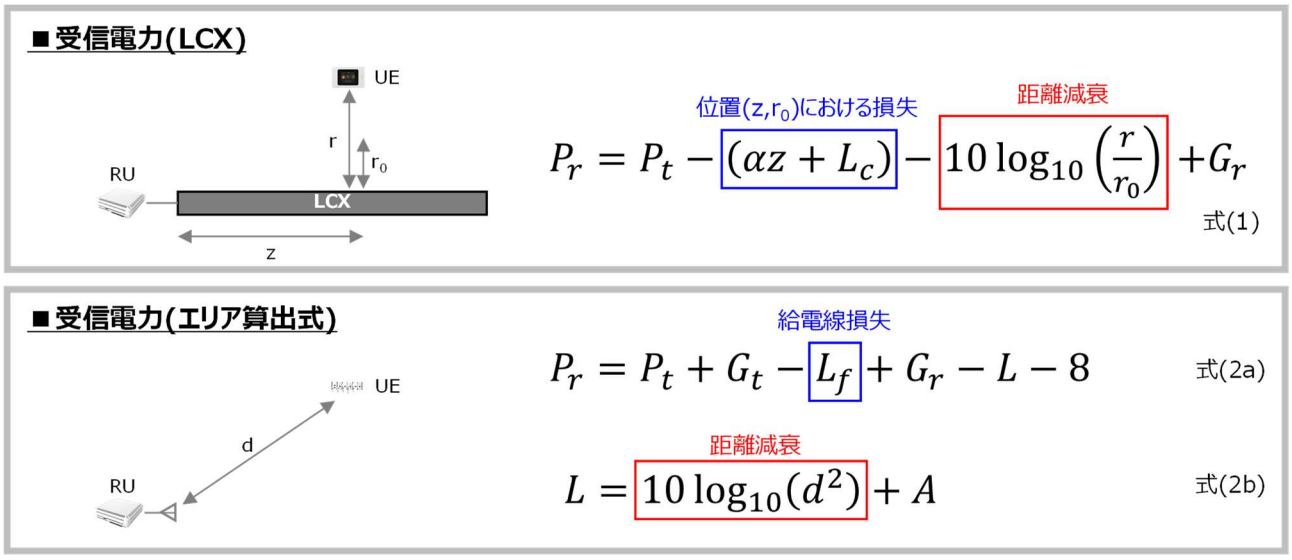



図.3.3.1.1-(2) :LCX とエリア算出式における受信電力の違い

イ） 自由が丘駅

本実証では大井町線ホームに設置され、DAS 構成で 1 セルを形成する 3 台の RU 全てを送信状態とした時のカバーエリア・干渉調整区域と、DAS を構成する各 RU 単独でのカバーエリア・干渉調整区域を接合したものとを比較することにより、DAS 運用時の電波伝搬モデルの明確化を実施する。

### b. 28GHz 帯システム

ホーム上の遮蔽物による影響と周辺他者土地との遮蔽環境毎に応じた 28GHz 帯の R パラメータ精緻化を行った。

## 3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

### a. 4.7GHz 帯システム

ア） 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

総務省令和 2 年度及び令和 3 年度ローカル 5G 等開発実証では LCX を使用した実証事例は無いため、今回の LCX での技術実証については新規性が高いと考える。

イ） 自由が丘駅

令和 3 年度の案件 No.13,14 はいずれも DAS 構成での実証であるが、DAS 構成の 1 セルとしてのカバーエリア・干渉調整区域についての検討は行っておらず、個々の RU のカバーエリア・干渉調整区域のみが報告されている。本実証は、令和 3 年度の実証では対象としていなかった DAS 構成でのエリア算出式の実証を行うものであり、特に No.13 と同一環境で行う発展性を持った実証の位置付けである。

b. 28GHz 帯システム

総務省令和 2 年度及び令和 3 年度ローカル 5G 等開発実証では駅ホームのような半屋外の直線的で狭小エリアにおける 28GHz 帯の精緻化が行われていないため、新規性が高い。

## （2） 実証仮説

### 1） 4.7GHz 帯システム

#### a. 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

3.3.1 章の 2)に記載したように、RU 近傍(<40m)の距離減衰は、エリア算出式では 2 乗減衰だが、LCX はより緩やかな減衰が予想される。そこで、LCX を用いたエリア算出式での受信電力として、図.3.3.1.1-(2)の式(1)をベースに距離減衰指数 n および人体吸収損失を考慮した式(3)を想定し、単一のLCXに関して、LCXの正面の区間①とLCXの前後の区間②に分けて、減衰指数 n(n 乗減衰)に関して以下のような仮説を設定する。

$$P_r = P_t - (\alpha z + L_c) - 10n\log_{10}\left(\frac{r}{r_0}\right) + G_r - 8 \qquad \text{式(3)}$$

■LCX 正面(区間①)での伝搬

・自己土地(LOS 環境): n=1～1.5

見通し(LOS)環境と考えられる自己土地内は、一般的な LCX で想定される 1 乗減衰に近く、鉄道業務用の機器・鉄柱等による反射・回折の影響も考えて 1～1.5 乗と推測する。

・他者土地: n=1.5～2

線路脇に遮蔽物が無いエリアは自己土地に近い 1.5 乗程度の減衰と考えられるが、隣接する民家や建物、もしくは高台等の地形影響によって見通し外(NLOS)環境となるエリアでは、更に減衰が大きくなることを予想して 1.5～2 乗程度の減衰と推測する。

■LCX の外側エリア(区間②-1,2)での伝搬

LCX の放射角 $\theta$ (法線方向から LCX 前方に向かって定義) はスロット(放射孔)間隔と絶縁体の比誘電率で決まるが、他者土地への電波漏洩抑制の観点から、LCX の長手方向(前方または後方)に向けて放射すると考えられる。ここでは、LCX 前方に放射角が設定された場合を想定して、LCX 前方と後方とで異なる伝搬の仮説を立てる。

・②-1: LCX 前方

・自己土地(LOS 環境): n=1.5～2

見通し環境だが、LCX の区間外となるため、LCX 正面(区間①)よりも距離減衰は大きくなると推測。

・他者土地(NLOS 環境): n=2～2.5

見通し外のため、LCX の区間外の自己土地よりも距離減衰は急峻になると推測。

・②-2: LCX 後方

・自己土地(LOS 環境): n=2～2.5

放射角と反対方向のため、LCX 前方よりも大きい減衰指数と推測。

・他者土地(NLOS 環境): n=2.5～3

放射角と反対方向で見通し外のため、距離減衰が全区分の中で最も大きいと推測。

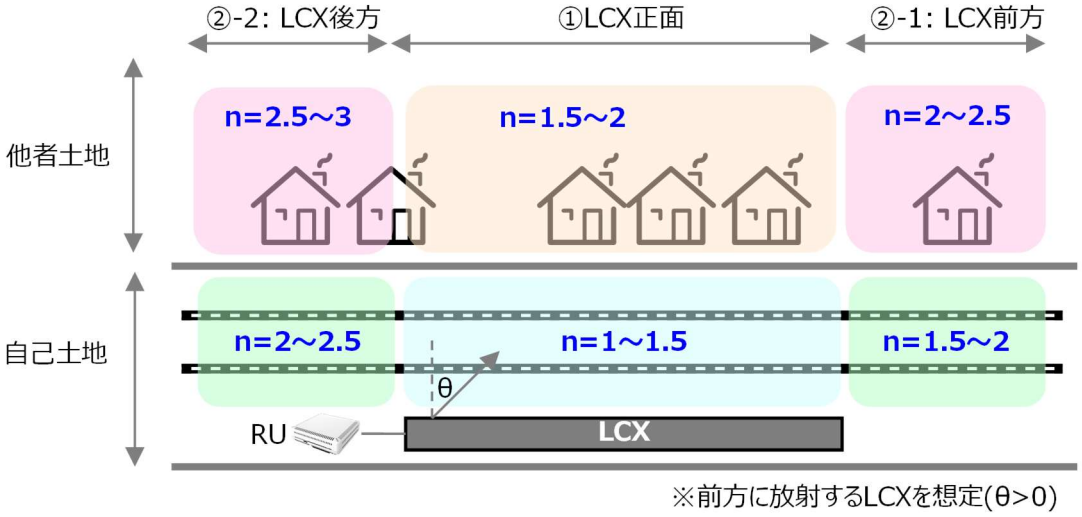



図.3.3.1.2-(1) :LCX における距離減衰指数の仮説

以上の仮説に基づき、LCX の算出式エリア図および仮説エリア図について考える。

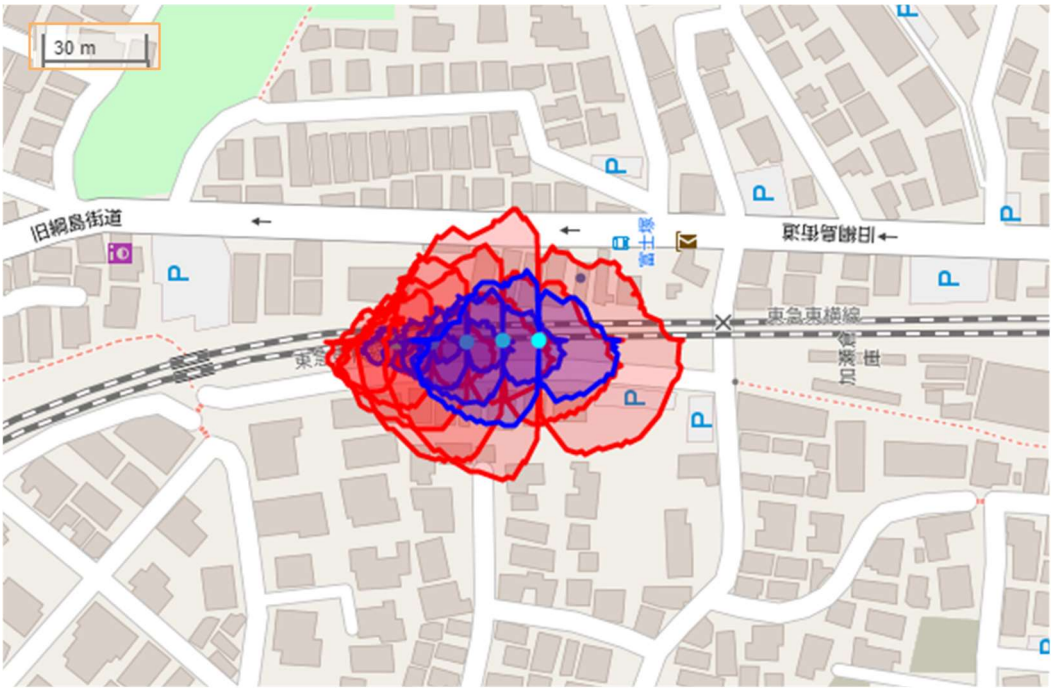
算出法エリア図について、現時点では LCX を用いたエリア図の作図指針が確立していないため、総通局への事前確認結果を踏まえて、ここでは現行のエリア算出式を用いて次の方法で作図した。

エリア算出法に基づく伝搬損の計算では、基地局の送信ゲインとして電波暗室で測定した角度毎のアンテナゲイン(指向性パターン)を使用する。しかしながら、暗室の規模の制限により、長さ 50m の LCX の指向性パターンを測定することはできないため、単位長(1m)の LCX の指向性パターンを測定し、単位長の LCX を接続した仮想的な送信源を複数縦続に並べたもので代用する。また、エリア図作成の省力化を目的に、大幅な差分が出ない程度に当該送信源を間引いて配置する。ここでは、長さ 50m の LCX を長さ 10m の LCX(以下、区分 LCX と称す)×5 本で表現することとし、各区分 LCX に前段までの区分 LCX での伝送損を考慮した電力を設定すると共に、暗室で測定した単位長(1m)の指向性パターンを適用した。式(3)に示す LCX における距離減衰項 10nlog(r/r0)では、基準距離 r0 および離隔距離 r はいずれも LCX の鉛直方向で規定されており、1 地点の送信源を想定した拡張秦式では正確に表現できない。そこで、現行のエリア算出法で伝搬損を計算する場合、r を LCX からの水平距離とし、r<40m の範囲では自由伝搬(n=2)、r>100m では見通し外伝搬(n=3.5)、40<r<100m はその中間的な伝搬

(2<n<3.5)として、各 LCX からの受信電力を算出した。

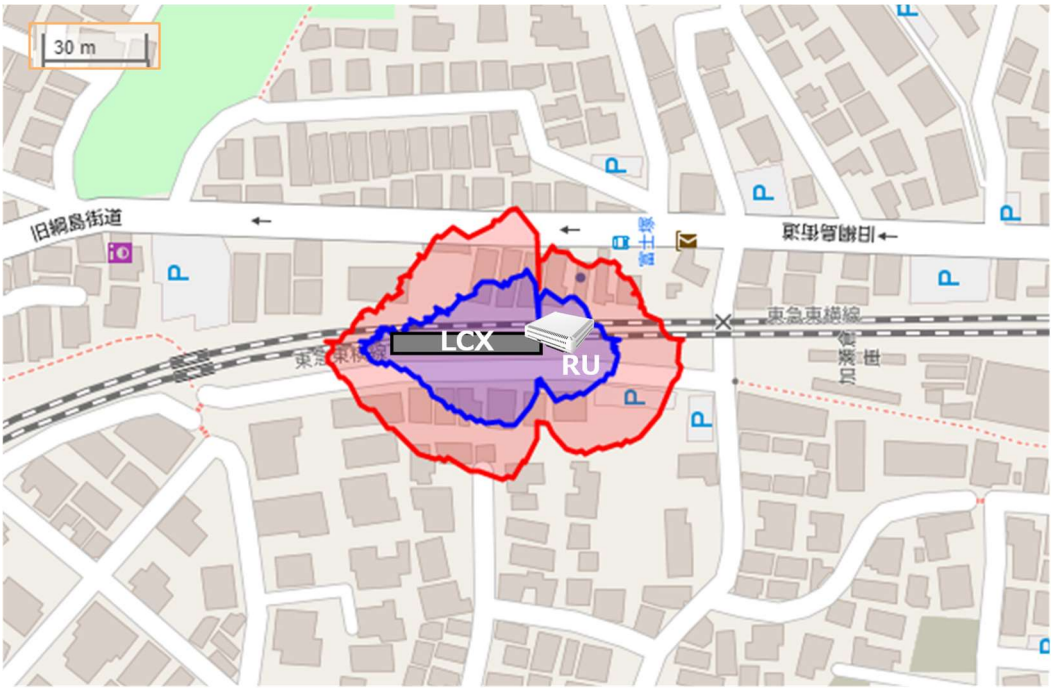
各区分 LCX のエリア図を重ねて表示したものを図.3.3.1.2-(2)、それらをマージしたトータルでの算出法エリア図を図.3.3.1.2-(3)にそれぞれ示す。図中の青線および赤線は、それぞれカバーエリアおよび干渉調整区域の受信電力閾値に相当するエッジ位置を示している。伝送損 $\alpha$=0.3dB/m、結合損 Lc=60dB、基準距離 r0=1.5m、放射角 $\theta$=30 度の LCX を想定し、LCX メーカーから提供を受けた単位長(1m)の LCX の指向性パターンを使用した。

仮説エリア図については、LCX との相対位置によって距離減衰指数が異なる上記仮説を正確に反映した作図が困難なため、図.3.3.1.2-(4)に示すように、エッジ位置ではなく算出法エリア図からの差分として想定される傾向を矢印で表現した。エリア算出法では基地局からの距離 40m 以下は 2 乗減衰(n=2)であるのに対して、図中の緑枠で囲んだ LCX 正面短手方向や前方長手方向などは距離減衰指数が n<2 と想定するため、算出法エリア図よりもカバーエリアおよび干渉調整区域が伸長し、エッジ位置が外側に広がると考えられる。一方、図中の黒枠で囲んだ LCX 後方短手方向(他者土地)は距離減衰指数が n>2.5 と想定するため、算出法エリア図よりもカバーエリアおよび干渉調整区域が縮小し、エッジ位置が内側に来ると考えられる。また、それ以外のエリアでは距離減衰指数が n=2～2.5 とエリア算出法に近いため、エリア算出法と同程度のエリアが形成されると考えられる。



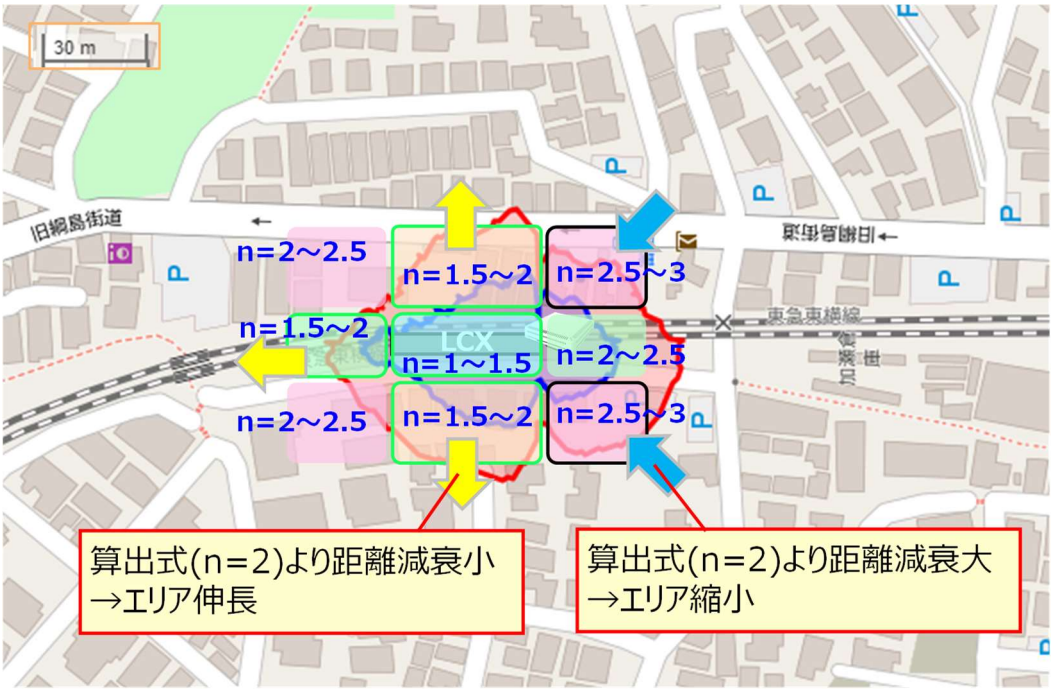

引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

図.3.3.1.2-(2) :長さ 10m の各区分 LCX の算出法エリア図




引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

図.3.3.1.2-(3) :算出法エリア図




引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

図.3.3.1.2-(4) :仮説エリア図(※想定される算出法エリア図との差分)

b. 自由が丘駅

DAS 構成時の受信電力は、駅ホーム内のような LOS 環境では各 RU からの受信電力の和に近い値を取り、反射・遮蔽の影響が大きい他者土地のような NLOS 環境では UE の最寄りの RU からの受信電力が支配的になると仮説する。

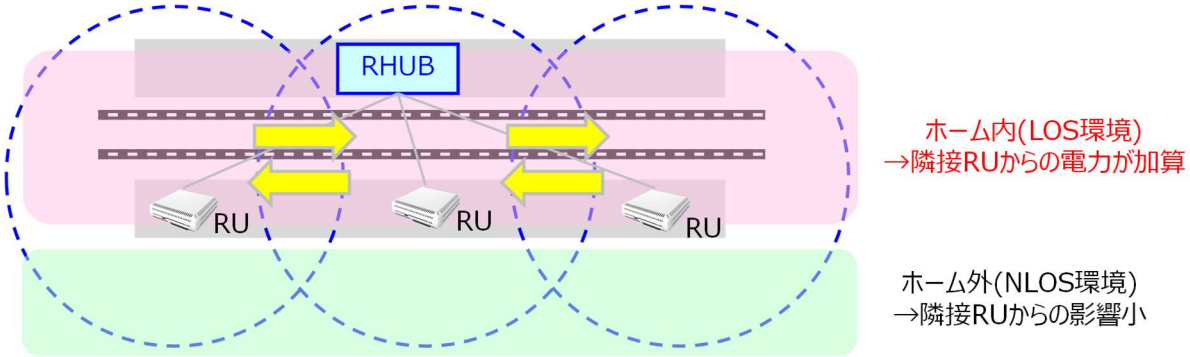



図.3.3.1.2-(5) :LOS/NLOS 環境と隣接 RU の影響

この仮説より、算出法エリア図と仮説エリア図を図.3.3.1.2-(6)に示す。

長手方向については遮蔽物が無く電波が伝搬しやすいことと、各 RU のオーバラップ領域が大きい影響でエリアが伸長し、短手方向は境界近傍の各 RU のオーバラップ部分でエリア伸長が見られると考えられる。

引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

図.3.3.1.2-(6) :算出法エリア図に対する仮説エリア図の差分

## 2） 28GHz 帯システム

28GHz 帯の技術実証環境である菊名駅は横浜方面に駅舎や周辺建築物によって遮蔽された半屋外環境を有している一方、渋谷方面は横浜方面と比較して天井も簡素となり、ホームの側面も開放された環境を有している。今回 28GHz 帯の技術実証ではホーム上の遮蔽物及び周辺他者土地との遮蔽環境による R パラメータの精緻化を目的とするため、以下の 28GHz 帯における伝搬等に関する計算式を用いることにした。

・伝搬等に関する計算式

$Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 4$

Pr[dBm]：受信レベル(受信電力)

Pt[dB]：送信電力(基地局の空中線電力)

Gt[dBi]：送信アンテナ利得

Lf[dB]：基地局の給電線損失

Gr[dBi]：受信アンテナ利得

L[dB]：伝搬損失

また伝搬損失 L は勧告 ITU-R P.1411 を基礎として算出することとして、以下の式で算出できる。

$L = 20\log_{10}(4\pi d/\lambda) + R$

d(m)：基地局から陸上移動局までの距離

λ(m)：指定周波数の波長

R(dB)：建物侵入損

なお建物侵入損である R 値については現状の計算式に用いる値として 4.7GHz 帯と 28GHz 帯でそれぞれ下表の通り規定されており、28GHz 帯は 4.7GHz 帯と比較して 3.9dB 高く設定されている。

表.3.3.1.2-(1) :エリア算出法における R 値

| | | 4.7GHz 帯 | 28GHz 帯 | 4.7GHz 帯と 28GHz 帯の差分 |
|---|---|---|---|---|
| 建物侵入損 R | | 16.2 | 20.1 | 3.9 |

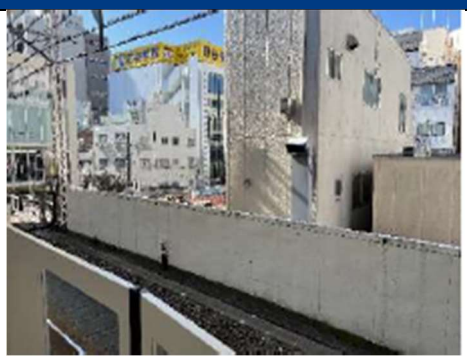
本実証では遮蔽環境を有する横浜側に基地局を設置していることから菊名駅を屋内環境同等とみなし、建物侵入損 R=20.1dB として算出法エリア図を作成した。

一方で渋谷側は横浜側に比べて開けた構造となっており、完全な屋内環境よりも R の値は小さくなると推定した。

その仮説の R 値は前年度の本コンソーシアムの実証実験において実施した 4.7GHz 帯の東横線自由が丘駅のホーム環境における R 値の値をもとに算出することにした。

前年度実施した測定地点のうち、遮蔽度が中に該当する環境(下表参照)が今回実施する菊名駅の渋谷側の環境に近いと考えており、その R-D 地点で測定した R 値は 11.4 であった。

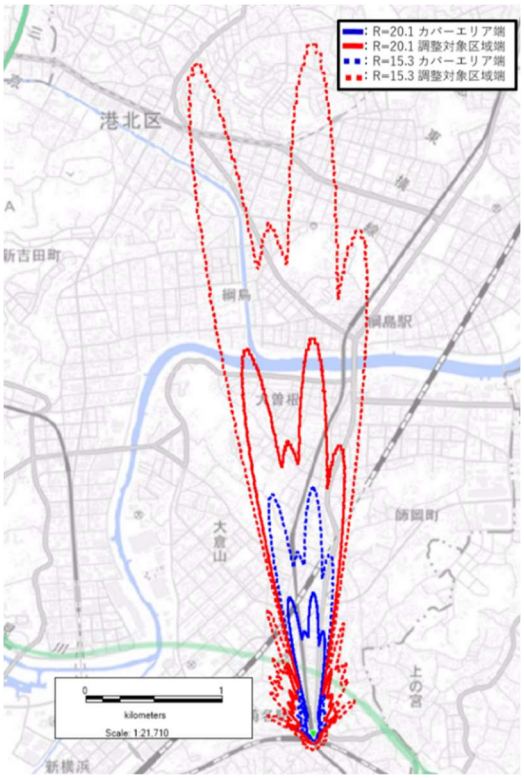
表.3.3.1.2-(2) :前年度実証実験における近似エリアの R 値

| エリア | 写真 | 遮蔽観点の説明 | 遮蔽度 | R 値 |
|---|---|---|---|---|
| R-D |  | 壁面通過後、受信エリアまでに見通し領域がある | 中 | 11.4 |

上記の R 値 11.4 に対して Sub6 とミリ波の周波数特性による損失の差分 3.9 を加味した R=15.3 を仮説の R 値として仮説エリア図を作成して実際の測定データとの乖離を確認することにした。

下図.3.3.1.2-(7)に算出法エリア図及び仮説エリア図を示す。

今回基地局の出力は設定可能な最低限の設定(19dBm)としているが、かなり遠方まで飛来するシミュレーション結果となっていることが確認された。




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.2-(7) :算出法エリア図及び仮説エリア図

### （3） 評価･検証項目

#### 1） 4.7GHz 帯システム

#### a. 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

本実証では、基地局から測定点までの間の電波伝搬損失を算出するために、測定点における基地局からの受信電力として表.3.3.1.3-(1)に示す項目を評価･検証する。

表.3.3.1.3-(1) :電波伝搬モデルの精緻化のための評価･検証項目

| | 評価･検証項目 | 説明 |
|---|---|---|
| 1 | SS-RSRP [dBm] | 1 リソースエレメントあたりの Secondary Synchronization Signal の受信電力 |
| 2 | RSSI [dBm] | 測定帯域内(アンリツ社製エリアテスタでは SS-Block 部分の全帯域)の 1 OFDM シンボルの受信電力[dBm] |
| 3 | UE 位置 | LCX の RU との接続端から長手方向の距離 z、および LCX の短手方向(法線方向)の距離 r |

エリア算出法で規定された下式と測定した受信電力をもとに、測定点における伝搬損失 L を算出する。

$$L = P_t + G_t - L_f + G_r - P_r - 8$$

表.3.3.1.3-(2):伝搬損失計算式の変数

| 変数 | 単位 | 説明 |
|---|---|---|
| $P_t$ | [dBm] | 送信電力(基地局の空中線電力) |
| $P_r$ | [dBm] | 測定点における受信電力 |
| $G_t$ | [dBi] | 送信アンテナ利得 |
| $G_r$ | [dBi] | 受信アンテナ利得 |
| $L_f$ | [dB] | 基地局の給電線損失 |

b. 自由が丘駅

a.菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間と同様に、基地局からの受信電力として表.3.3.1-1-(1)に示す項目および測定点における伝搬損失 L を評価・検証する。

2） 28GHz 帯システム

① カバーエリア内の菊名駅ホーム上のエリア評価

本実証におけるカバーエリア内のエリア評価として、駅ホーム上における複数地点において受信電力の測定を行った。

28GHz 帯の性能評価については検証実施の時期に NR-DC 対応端末がリリースされていないため、実施しなかった。

表.3.3.1.3-(3) :カバーエリア内の菊名駅ホーム上のエリア評価概要

| No | 評価内容 | 検証内容 | 測定項目 |
|---|---|---|---|
| 1 | 駅ホーム上 20 か所以上の電波伝搬特性測定（列車留置無し） | 列車運行中の時間帯に列車が留置されていない状況で駅の上り/下りホーム上に一定間隔の測定地点を選定し、各測定地点における受信電力の理論値と実測値の比較を行い、エリアの評価とホーム上の構造物による遮蔽影響を確認した。 | SS-RSRP<br>SS-CINR |

② 列車留置時にホーム上のエリアへ与える影響評価

列車停車時のエリアへ与える影響評価として、駅ホーム上に上りホームへの遮蔽となる 4 番線、5 番線に列車が留置されている状態において①と同じ測定地点で測定を行い、その差分について評価を行った。

28GHz 帯の性能評価については検証実施の時期に NR-DC 対応端末がリリースされていない予定のため、実施しなかった。

表.3.3.1.3-(4) :列車留置時のエリアへ与える影響評価概要

| No | 評価内容 | 検証内容 | 測定項目 |
|---|---|---|---|
| 1 | 駅ホーム上 20 か所以上の電波伝搬特性測定（列車留置あり） | 終電後から始発前の時間帯に列車が留置されている状況で駅の上り/下りホーム上に一定間隔の測定地点を選定し、各測定地点における受信電力の理論値と実測値の比較を行うと共に、列車留置無し状態との比較を行った。 | SS-RSRP<br>SS-CINR |

③ 電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化(R パラメータ)

本実証におけるローカル 5G の電波伝搬特性の評価として、算出法エリア図及び仮説エリア図と実測値の比較を行った。

比較にあたっては算出法エリア図及び仮説エリア図における基地局のカバーエリアおよび調整対象区域とのエリア端を中心に 30 以上の地点において、実際に測定した受信電力(SS-RSRP)を測定し、その差分の要因について分析を行った。

また、エリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値が実測される測定地点を確認し、基地局からの距離を確認した。

なお、今回は R を精緻化対象としているが、駅のホーム環境は通常の建物と異なり、ホーム上や線路方向には壁面のような明確な遮蔽物は無いため、ホーム上に存在する様々な遮蔽物(柱や看板等)によって発生する包括的(総合的)な遮蔽影響を確認することを目的としている。

そのため、個々の遮蔽物による遮蔽影響が今回精緻化する包括的な R 値には直接的に相関性は無いと想定されるが、一般的に駅ホーム上及びホームと他者土地を隔てる遮蔽物を対象に遮蔽物前後で測定を行い、その遮蔽影響についても参考として確認を行った。

28GHz 帯の性能評価については検証実施の時期に NR-DC 対応端末がリリースされていないため、実施しなかった。

表.3.3.1.3-(5) :電波伝搬モデルの精緻化(R パラメータ)概要

| No | 評価内容 | 検証内容 | 測定項目 |
|---|---|---|---|
| 1 | 算出法エリア図及び仮説エリア図と実測値の比較 | 算出法エリア図及び仮説エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域のエリア端を中心に 30 以上の地点において受信電力を測定し、実測値との差分を考察した。 | SS-RSRP |
| 2 | 算出エリア法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値が実測される基地局からの距離を確認 | 上記で実測値との差分が見られた測定方向において、エリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点を確認し、基地局と該当測定点との距離を確認した。 | SS-RSRP<br>基地局までの距離(m) |
| 3 | 精緻化後の R 値の決定と精緻化エリア図の作成 | 上記 1-2 の結果をもとに R パラメータの精緻化を実施し、精緻化後の R 値を用いて精緻化エリア図の作成を行った。精緻化エリア図と実測の値とを比較して誤差があればその考察を行った。 | - |
| 4 | 駅ホームに標準的に設置される遮蔽物による伝搬ロス値(R 値)を確認 | 駅ホームに標準的に設置される遮蔽物の前後で受信電力を測定し、遮蔽物による影響を参考値として確認した。 | SS-RSRP |

## （4） 評価･検証方法

### 1） 4.7GHz 帯システム

#### a. 測定に使用する機器

ア） 電界強度測定器（エリアテスタ）

電界強度を測定する機器として、Sub6 モジュールを搭載したアンリツ社エリアテスタ（ML8780A）を使用する。

図.3.3.1.4-（1）:図エリアテスタ外観図

Nemo Outdoor

UE のステートモニタリングを行うため、キーサイト･テクノロジー社のソフトウェア測定器である Nemo Outdoor を使用する。

図.3.3.1.4-（2）に接続構成を示し、図.3.3.1.4-（3）にサンプル画面を示す。

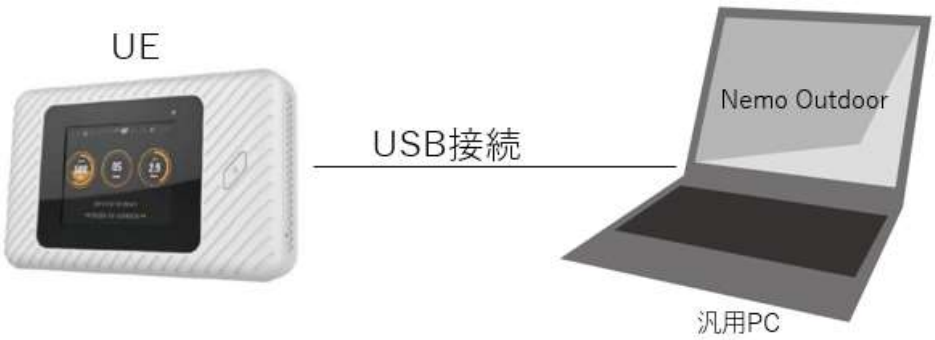



図.3.3.1.4-(2) :Nemo Outdoor 接続構成

図.3.3.1.4-(3) :Nemo Outdoor 実行画面サンプル

イ） 端末ログツール（QXDM）

UE のステートモニタリングを行い、無線区間の遅延を測定するため、QXDM を使用する。

図.3.3.1.4-(4)に接続構成を示す。

図.3.3.1.4-(4) :QXDM 接続構成

ウ） iPerf

回線の負荷試験を行うため、ソフトウェアツールである iPerf（iPerf2）を使用する。

図.3.3.1.4-(5)に iPerf の接続構成を示し、図.3.3.1.4-(6)に実行結果のサンプルを示す。

図.3.3.1.4-(5) :iPerf 接続構成

```
Connecting to host 3.testdebit.info, port 5201
[  4] local 37.123.101.142 port 50233 connected to 62.34.91.3 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  4]   0.00-2.01   sec  1.48 MBytes  6.15 Mbits/sec
[  4]   2.01-4.01   sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]   4.01-6.01   sec  1.60 MBytes  6.72 Mbits/sec
[  4]   6.01-8.00   sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]   8.00-10.02  sec  1.60 MBytes  6.67 Mbits/sec
[  4]  10.02-12.01  sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]  12.01-14.01  sec  1.60 MBytes  6.72 Mbits/sec
[  4]  14.01-16.01  sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]  16.01-18.00  sec  1.60 MBytes  6.72 Mbits/sec
[  4]  18.00-20.01  sec  1.66 MBytes  6.92 Mbits/sec
[  4]  20.01-22.01  sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]  22.01-24.01  sec  1.60 MBytes  6.72 Mbits/sec
[  4]  24.01-26.01  sec  1.66 MBytes  6.98 Mbits/sec
[  4]  26.01-28.00  sec  1.60 MBytes  6.72 Mbits/sec
[  4]  28.00-30.01  sec  1.66 MBytes  6.92 Mbits/sec
- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  4]   0.00-30.01  sec  24.4 MBytes  6.81 Mbits/sec                  sender
[  4]   0.00-30.01  sec  24.3 MBytes  6.79 Mbits/sec                  receiver
```

図.3.3.1.4-(6) :iPerf 実行結果サンプル

### b. 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

◇受信電力の測定

周辺環境(地形、遮蔽物等)の異なる複数の LCX を選択し、①LCX 正面と②LCX 前後の各区分において、自己土地および他者土地での受信電力(3.3.1 章(3)に記載の SS-RSRP および UE 位置)を測定する。測定地点は各 LCX につき 30 地点を設ける。30 地点には対象とする LCX の周囲 8 方向にある各区分(LCX 正面、LCX 前方、LCX 後方、自己土地、他者土地)毎に表 3.3.1.4-(1)に示すエリア端の閾値が得られる位置を含むものとする。検証対象のセルにおいて、単一の LCX 区間のみを電波送信した状態とする。測定には電界強度測定器(現候補:アンリツ社製のエリアテスタ ML8780A)を使用する。測定は 0.1 秒間隔で 2 分間の測定値を取得し、合計 1000 サンプルの測定結果に対し、中央値、σ、上位 10%値、下位 10%値を求める。定在波の影響を避けるため、1 つの測定点において、10λ(λは波長)の範囲で測定位置を動かしながら得られた測定値全てのサンプルを統計処理する。測定器のアンテナ利得は 0dBi とする。

技術実証の対象として選択した LCX 区間は LCX1-1, LCX1-3, LCX2-6 の 3 区間となる。

図.3.3.1.1-(7)に測定地点を設けるエリアの概要を示し、図.3.3.1.1-(8)～図.3.3.1.1-(13)に選択した 3 区間での測定地点、表.3.3.1.4-(2)～表.3.3.1.4-(3)に測定点情報を示す。

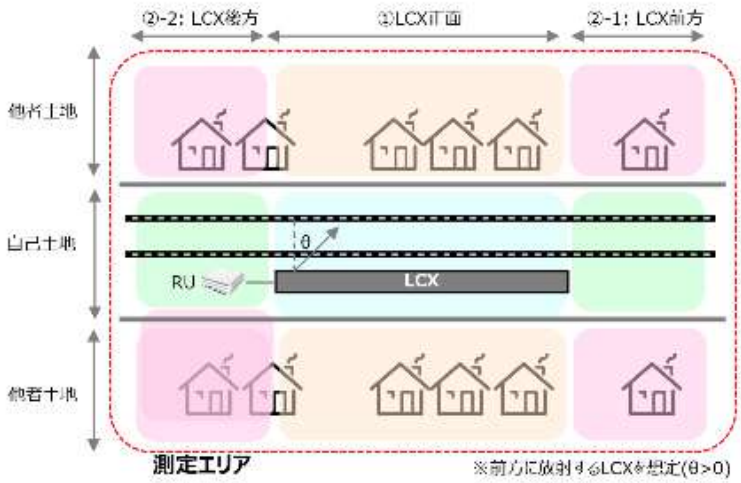
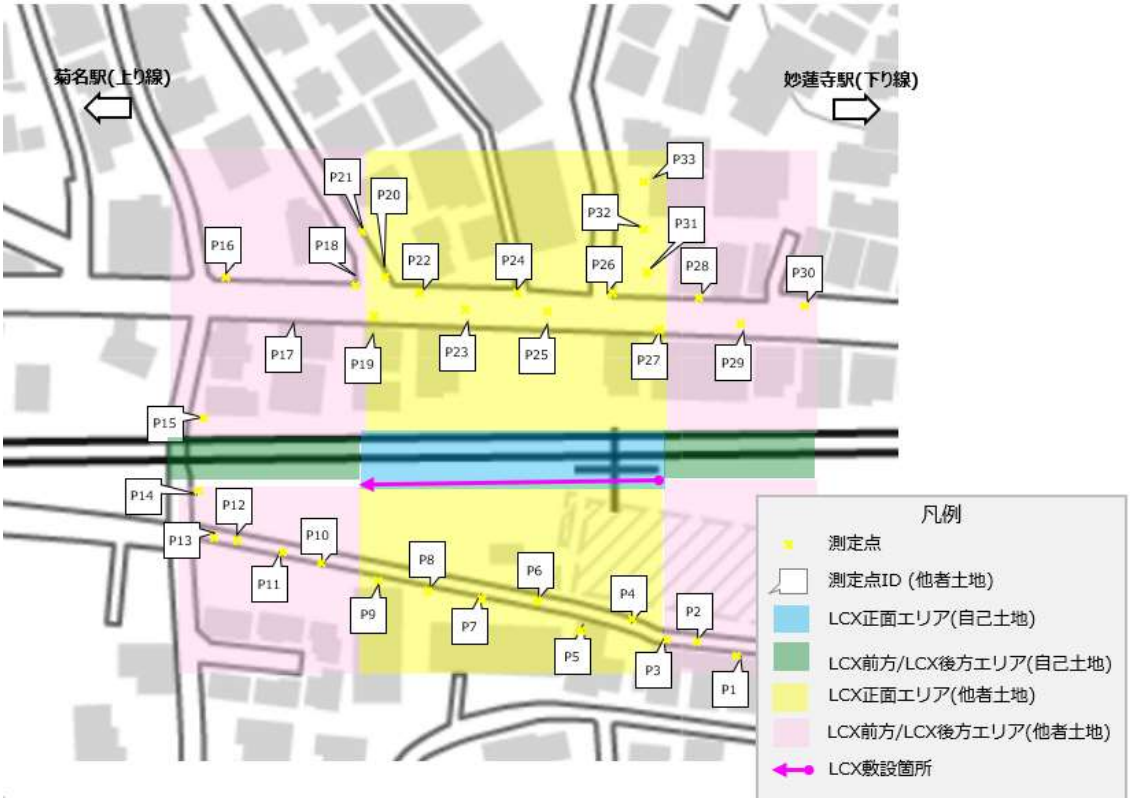



図.3.3.1.4-(7) :測定エリア概要

表.3.3.1.4-(1) エリア端の閾値(100MHz 帯域での受信電力)

| 閾値種別 | 閾値 |
|---|---|
| カバーエリア | -84.6dBm |
| 調整対象区域 | -91.0dBm |



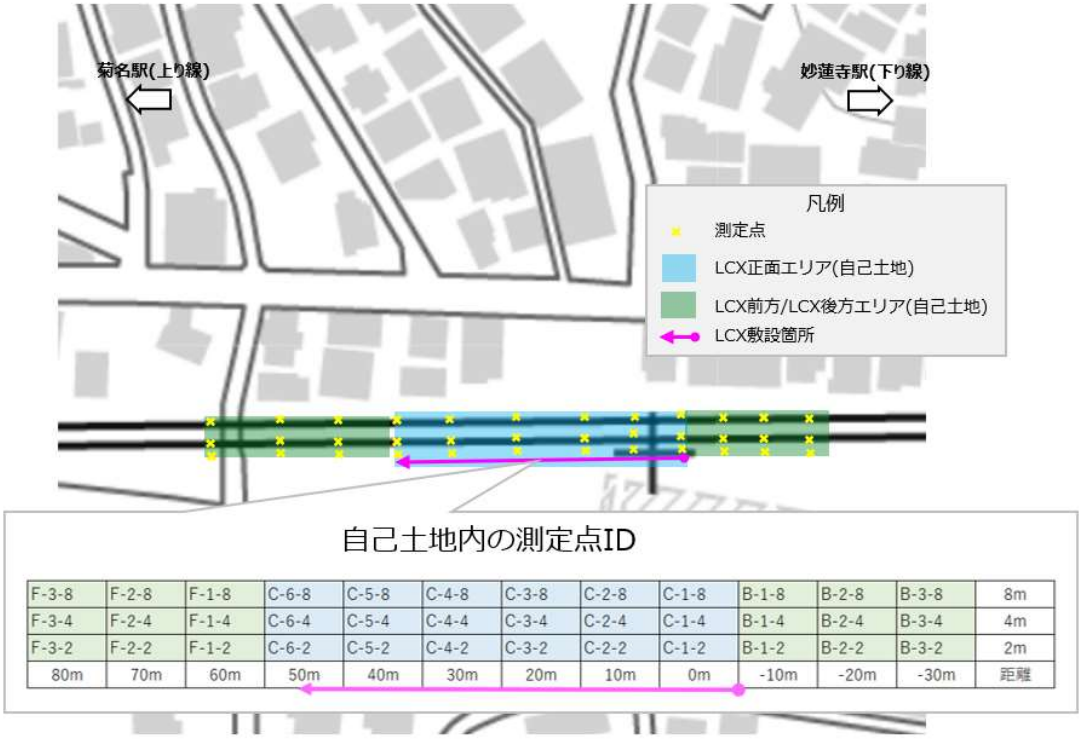

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(8) :LCX1-1 他者土地 測定地点

表.3.3.1.4-(2)LCX1-1 他者土地測定点情報

| 測定点ID | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 51.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 1 |
| P2 | 29.7 | *10.3* | *4.5* | 10.1 | *1.5* | 1 |
| P3 | 27.1 | *10.3* | *4.5* | 11.1 | *1.5* | 1 |
| P4 | 24.8 | *10.6* | *4.5* | 9.9 | *1.5* | 1 |
| P5 | 23.7 | *10.4* | *4.5* | 10.4 | *1.5* | 0 |
| P6 | 20.8 | *10.4* | *4.5* | 10.2 | *1.5* | 0 |
| P7 | 19.2 | *10.2* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 1 |
| P8 | 17.5 | *10.3* | *4.5* | 10.2 | *1.5* | 1 |
| P9 | 15.2 | *10.3* | *4.5* | 10.2 | *1.5* | 1 |
| P10 | 17.5 | *10.4* | *4.5* | 10.1 | *1.5* | 1 |
| P11 | 19.5 | *10.4* | *4.5* | 10.1 | *1.5* | 0 |

| 測定点ID | 基地局との水平距離［m］ | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P12 | 25.7 | *10.4* | *4.5* | 9.9 | *1.5* | 0 |
| P13 | 29.5 | *10.4* | *4.5* | 10.0 | *1.5* | 0 |
| P14 | 29.0 | *10.4* | *4.5* | 10.1 | *1.5* | 0 |
| P15 | 30.5 | *10.4* | *4.5* | 10.8 | *1.5* | 0 |
| P16 | 39.8 | *10.4* | *4.5* | 12.3 | *1.5* | 1 |
| P17 | 29.2 | *10.4* | *4.5* | 11.9 | *1.5* | 1 |
| P18 | 31.5 | *10.4* | *4.5* | 12.1 | *1.5* | 1 |
| P19 | 26.8 | *10.4* | *4.5* | 11.7 | *1.5* | 0 |
| P20 | 33.1 | *10.3* | *4.5* | 11.8 | *1.5* | 0 |
| P21 | 38.6 | *10.4* | *4.5* | 12.1 | *1.5* | 0 |
| P22 | 31.9 | *10.4* | *4.5* | 11.7 | *1.5* | 1 |
| P23 | 26.9 | *10.2* | *4.5* | 11.6 | *1.5* | 1 |
| P24 | 32.2 | *10.4* | *4.5* | 11.6 | *1.5* | 0 |
| P25 | 26.8 | *10.3* | *4.5* | 11.7 | *1.5* | 0 |
| P26 | 31.6 | *10.6* | *4.5* | 12.3 | *1.5* | 0 |
| P27 | 26.4 | *10.6* | *4.5* | 12.1 | *1.5* | 1 |
| P28 | 31.6 | *10.3* | *4.5* | 12.4 | *1.5* | 1 |
| P29 | 30.2 | *10.3* | *4.5* | 12.6 | *1.5* | 1 |
| P30 | 38.5 | *10.3* | *4.5* | 13.0 | *1.5* | 1 |
| P31 | 34.6 | *10.6* | *4.5* | 12.4 | *1.5* | 0 |
| P32 | 41.1 | *10.6* | *4.5* | 13.0 | *1.5* | 0 |
| P33 | 48.2 | *10.6* | *4.5* | 13.7 | *1.5* | 0 |



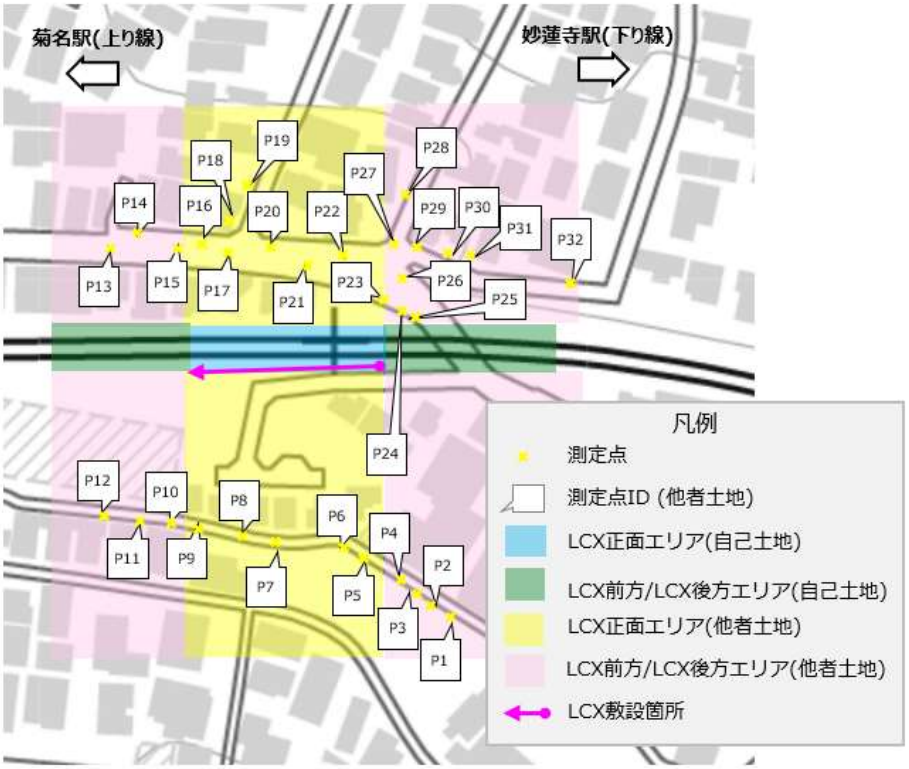

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(9) :LCX1-1 自己土地 測定地点

表.3.3.1.4-(3) LCX1-1 自己土地測定点情報

| 測定点ID | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B-1-2 | 10.2 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-1-4 | 10.8 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-1-8 | 12.8 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-2-2 | 20.1 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-2-4 | 20.4 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-2-8 | 21.5 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-3-2 | 30.1 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-3-4 | 30.3 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| B-3-8 | 31.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-1-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-1-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |

| 測定点ID | 基地局との水平距離［m］ | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-2-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-2-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-2-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-3-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-3-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-3-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-4-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-4-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-4-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-5-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-5-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-5-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-6-2 | 2.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-6-4 | 4.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| C-6-8 | 8.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-1-2 | 10.2 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-1-4 | 10.8 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-1-8 | 12.8 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-2-2 | 20.1 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-2-4 | 20.4 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-2-8 | 21.5 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-3-2 | 30.1 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-3-4 | 30.3 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |
| F-3-8 | 31.0 | *10.3* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 0 |



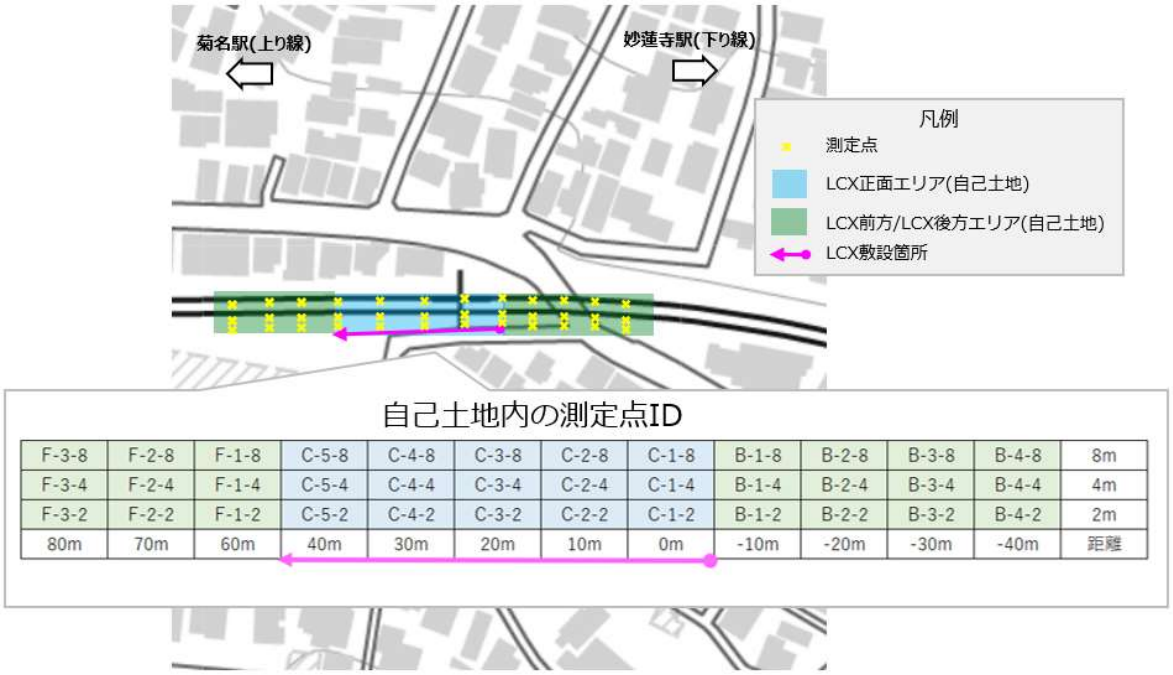

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(10) :LCX1-3 他者土地 測定地点

表.3.3.1.4-(4) LCX1-3 他者土地測定点情報

| 測定点 ID | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点 標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 57.1 | *14.1* | *4.5* | 12.7 | *1.5* | 1 |
| P2 | 52.4 | *14.1* | *4.5* | 12.3 | *1.5* | 1 |
| P3 | 46.9 | *14.1* | *4.5* | 13.4 | *1.5* | 1 |
| P4 | 44.7 | *14.1* | *4.5* | 12.1 | *1.5* | 1 |
| P5 | 40.5 | *13.8* | *4.5* | 11.3 | *1.5* | 1 |
| P6 | 39.6 | *13.2* | *4.5* | 10.7 | *1.5* | 1 |
| P7 | 39.9 | *12.9* | *4.5* | 10.9 | *1.5* | 1 |
| P8 | 38.7 | *12.8* | *4.5* | 10.9 | *1.5* | 1 |
| P9 | 36.3 | *12.6* | *4.5* | 11.2 | *1.5* | 1 |
| P10 | 35.8 | *11.7* | *4.5* | 11.3 | *1.5* | 1 |
| P11 | 35.2 | *11.7* | *4.5* | 10.3 | *1.5* | 1 |

| 測定点 ID | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点 標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P12 | 38.7 | *11.7* | *4.5* | 10.6 | *1.5* | 0 |
| P13 | 31.4 | *11.7* | *4.5* | 13.1 | *1.5* | 1 |
| P14 | 31.5 | *11.7* | *4.5* | 13.6 | *1.5* | 1 |
| P15 | 24.4 | *11.7* | *4.5* | 13.6 | *1.5* | 1 |
| P16 | 28.2 | *11.8* | *4.5* | 14.9 | *1.5* | 1 |
| P17 | 22.4 | *12.7* | *4.5* | 13.7 | *1.5* | 1 |
| P18 | 32.0 | *12.7* | *4.5* | 15.6 | *1.5* | 1 |
| P19 | 38.1 | *12.8* | *4.5* | 17.0 | *1.5* | 1 |
| P20 | 27.1 | *13.0* | *4.5* | 15.4 | *1.5* | 1 |
| P21 | 19.4 | *13.3* | *4.5* | 1.2 | *1.5* | 0 |
| P22 | 25.1 | *13.8* | *4.5* | 14.6 | *1.5* | 0 |
| P23 | 14.1 | *13.9* | *4.5* | 14.5 | *1.5* | 0 |
| P24 | 14.8 | *14.1* | *4.5* | 14.5 | *1.5* | 0 |
| P25 | 12.2 | *14.1* | *4.5* | 14.6 | *1.5* | 0 |
| P26 | 20.6 | *14.1* | *4.5* | 15.3 | *1.5* | 0 |
| P27 | 26.8 | *14.1* | *4.5* | 15.7 | *1.5* | 0 |
| P28 | 32.7 | *14.1* | *4.5* | 16.6 | *1.5* | 0 |
| P29 | 23.1 | *14.1* | *4.5* | 16.0 | *1.5* | 0 |
| P30 | 25.6 | *14.1* | *4.5* | 17.7 | *1.5* | 0 |
| P31 | 28.5 | *14.1* | *4.5* | 18.5 | *1.5* | 0 |
| P32 | 45.5 | *14.1* | *4.5* | 21.4 | *1.5* | 0 |



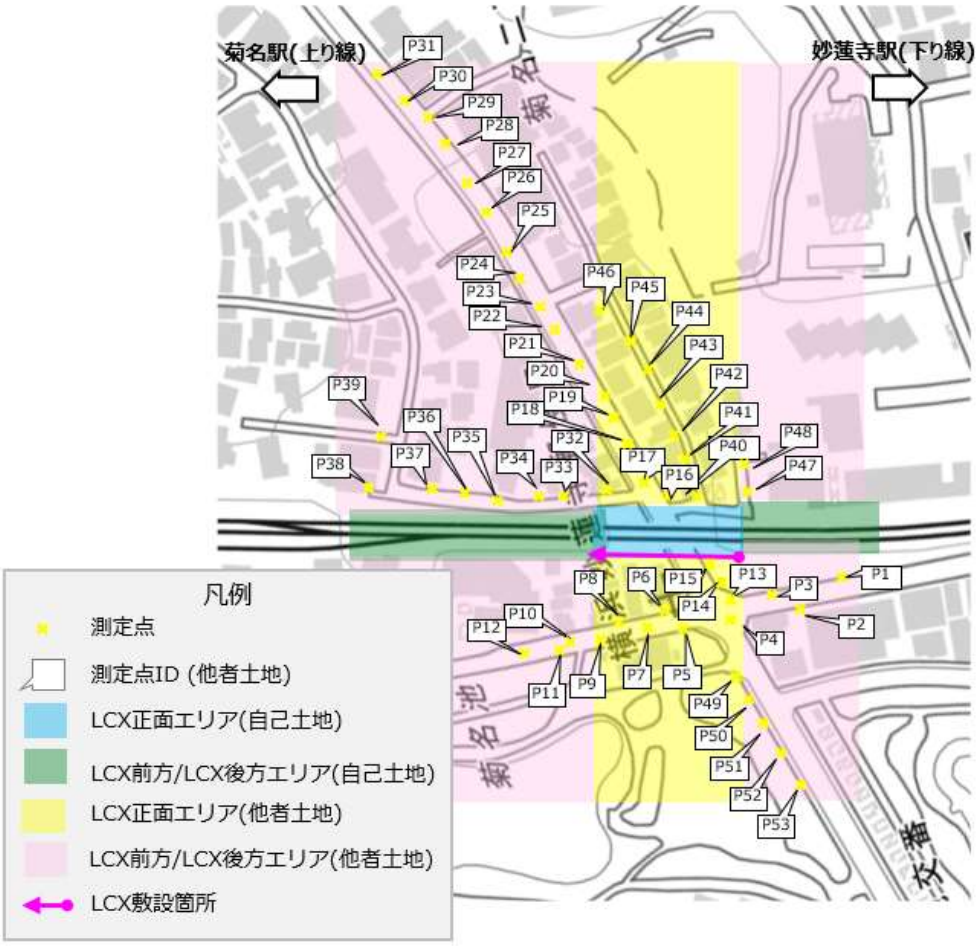

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(11) :LCX1-3 自己土地 測定地点

表.3.3.1.4-(5) :LCX1-3 自己土地測定点情報

| 測定点 ID | 基地局との水平距離 [m] | *基地局アンテナ地点 標高 [m]* | *基地局アンテナ地上高 [m]* | 測定点標高 [m] | *端末(測定器)アンテナ地上高 [m]* | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B-1-2 | 10.2 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-1-4 | 10.8 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-1-8 | 12.8 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-2-2 | 20.1 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-2-4 | 20.4 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-2-8 | 21.5 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-3-2 | 30.1 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-3-4 | 30.3 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-3-8 | 31.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-4-2 | 40.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-4-4 | 40.2 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| B-4-8 | 40.8 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-1-2 | 2.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-1-4 | 4.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |

| 測定点 ID | 基地局との水平距離 [m] | *基地局アンテナ地点 標高［m］* | *基地局アンテナ地上高［m］* | 測定点標高 [m] | *端末(測定器)アンテナ地上高［m］* | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1-8 | 8.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-2-2 | 2.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-2-4 | 4.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-2-8 | 8.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-3-2 | 2.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-3-4 | 4.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-3-8 | 8.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-4-2 | 2.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-4-4 | 4.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-4-8 | 8.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-5-2 | 2.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-5-4 | 4.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| C-5-8 | 8.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-1-2 | 10.2 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-1-4 | 10.8 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-1-8 | 12.8 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-2-2 | 20.1 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-2-4 | 20.4 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-2-8 | 21.5 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-3-2 | 30.1 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-3-4 | 30.3 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |
| F-3-8 | 31.0 | *14.1* | *4.5* | 14.1 | *1.5* | 0 |




引用:国土地理院地図

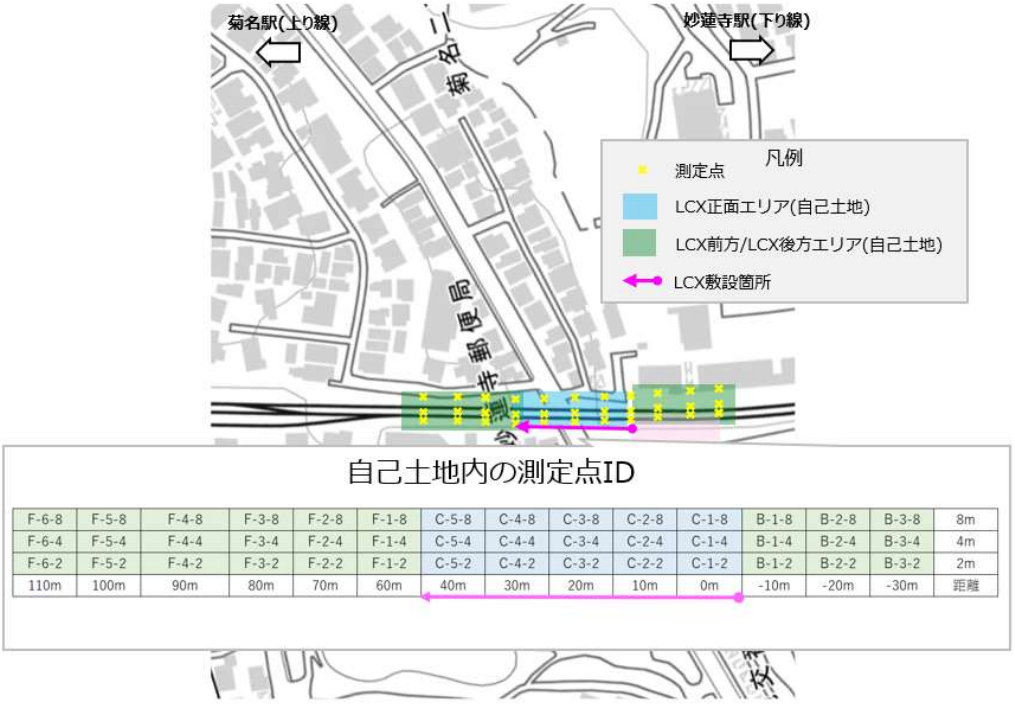
図.3.3.1.4-(12) :LCX2-6 他者土地 測定地点

表.3.3.1.4-(6) LCX2-6 他者土地測定点情報

| 測定点 ID | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 20.9 | 4.5 | 18.1 | 1.5 | 1 |
| P2 | 20.9 | 4.5 | 17.8 | 1.5 | 1 |
| P3 | 20.9 | 4.5 | 17.8 | 1.5 | 1 |
| P4 | 20.9 | 4.5 | 17.6 | 1.5 | 1 |
| P5 | 20.3 | 4.5 | 17.4 | 1.5 | 1 |
| P6 | 17.4 | 4.5 | 17.1 | 1.5 | 1 |
| P7 | 18.0 | 4.5 | 17.0 | 1.5 | 1 |
| P8 | 20.2 | 4.5 | 17.1 | 1.5 | 1 |
| P9 | 20.7 | 4.5 | 17.1 | 1.5 | 1 |

| 測定点 ID | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|
| P10 | 20.5 | 4.5 | 17.3 | 1.5 | 1 |
| P11 | 20.5 | 4.5 | 17.3 | 1.5 | 1 |
| P12 | 20.5 | 4.5 | 17.6 | 1.5 | 1 |
| P13 | 20.3 | 4.5 | 17.5 | 1.5 | 0 |
| P14 | 20.3 | 4.5 | 17.6 | 1.5 | 0 |
| P15 | 19.3 | 4.5 | 19.3 | 1.5 | 0 |
| P16 | 17.4 | 4.5 | 17.0 | 1.5 | 0 |
| P17 | 17.4 | 4.5 | 17.0 | 1.5 | 0 |
| P18 | 20.0 | 4.5 | 17.2 | 1.5 | 0 |
| P19 | 20.2 | 4.5 | 17.4 | 1.5 | 0 |
| P20 | 20.5 | 4.5 | 18.1 | 1.5 | 0 |
| P21 | 20.5 | 4.5 | 18.2 | 1.5 | 0 |
| P22 | 20.5 | 4.5 | 18.5 | 1.5 | 0 |
| P23 | 20.5 | 4.5 | 18.7 | 1.5 | 0 |
| P24 | 20.5 | 4.5 | 19.1 | 1.5 | 0 |
| P25 | 20.5 | 4.5 | 19.5 | 1.5 | 0 |
| P26 | 20.5 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| P27 | 20.5 | 4.5 | 20.5 | 1.5 | 0 |
| P28 | 20.5 | 4.5 | 21.6 | 1.5 | 0 |
| P29 | 20.5 | 4.5 | 22.0 | 1.5 | 0 |
| P30 | 20.5 | 4.5 | 22.4 | 1.5 | 0 |
| P31 | 20.5 | 4.5 | 22.8 | 1.5 | 0 |
| P32 | 20.2 | 4.5 | 17.3 | 1.5 | 0 |
| P33 | 20.5 | 4.5 | 18.0 | 1.5 | 0 |
| P34 | 20.5 | 4.5 | 18.8 | 1.5 | 0 |
| P35 | 20.5 | 4.5 | 19.1 | 1.5 | 0 |
| P36 | 20.5 | 4.5 | 19.7 | 1.5 | 0 |
| P37 | 20.5 | 4.5 | 22.9 | 1.5 | 0 |
| P38 | 20.5 | 4.5 | 23.0 | 1.5 | 0 |
| P39 | 20.5 | 4.5 | 24.6 | 1.5 | 1 |
| P40 | 19.3 | 4.5 | 18.2 | 1.5 | 0 |
| P41 | 18.5 | 4.5 | 18.2 | 1.5 | 0 |
| P42 | 17.4 | 4.5 | 18.3 | 1.5 | 0 |

| 測定点 ID | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|
| P43 | *17.3* | *4.5* | 18.4 | *1.5* | 0 |
| P44 | *18.0* | *4.5* | 18.5 | *1.5* | 0 |
| P45 | *20.0* | *4.5* | 18.8 | *1.5* | 0 |
| P46 | *20.2* | *4.5* | 18.7 | *1.5* | 0 |
| P47 | *20.9* | *4.5* | 17.9 | *1.5* | 0 |
| P48 | *20.9* | *4.5* | 20.3 | *1.5* | 0 |
| P49 | *20.3* | *4.5* | 17.4 | *1.5* | 0 |
| P50 | *20.9* | *4.5* | 17.4 | *1.5* | 0 |
| P51 | *20.9* | *4.5* | 17.2 | *1.5* | 0 |
| P52 | *20.9* | *4.5* | 17.2 | *1.5* | 0 |
| P53 | *20.9* | *4.5* | 17.3 | *1.5* | 0 |




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(13) : LCX2-6 自己土地 測定地点

表.3.3.1.4-(7) :LCX2-6 自己土地測定点情報

| 測定点 ID | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|
| B-1-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-1-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-1-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-2-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-2-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-2-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-3-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-3-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| B-3-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-1-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-1-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-1-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-2-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-2-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-2-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-3-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-3-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-3-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-4-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-4-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-4-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-5-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-5-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| C-5-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-1-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-1-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-1-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-2-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-2-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-2-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-3-2 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-3-4 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |
| F-3-8 | 20.0 | 4.5 | 20.0 | 1.5 | 0 |

| 測定点 ID | 基地局アンテナ地点標高［m］ | 基地局アンテナ地上高［m］ | 測定点標高［m］ | 端末(測定器)アンテナ地上高［m］ | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|
| F-4-2 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-4-4 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-4-8 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-5-2 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-5-4 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-5-8 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-6-2 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-6-4 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |
| F-6-8 | *20.0* | *4.5* | 20.0 | *1.5* | 0 |

自己土地(線路内)における各測定区間の様子を以下に示す。

LCX1-1

LCX1-3

LCX2-6

図.3.3.1.4-(14) :自己土地内測定地点の様子

他者土地における各測定区間の様子を以下に示す。

LCX1-1

LCX1-3

LCX2-6

図.3.3.1.4-(15) :他者土地測定地点の様子

◇距離減衰項の精緻化

3.3.1 章 (2)の 1)で示した、LCX を用いたエリア算出式での受信電力の想定式を再掲する。

$$P_r = P_t - (\alpha z + L_c) - 10n\log_{10}\left(\frac{r}{r_0}\right) + G_r - 8 \qquad \text{式(3)}$$

図.3.3.1.4-(13)に示すように、実測した受信電力 Pr を UE 位置(z,r)に対してプロットし、式(3)で計算した受信電力との差分が最も小さくなるようにフィッティングすることにより、距離減衰指数 n を抽出する。また、距離減衰指数が変化する距離に関して、現行のエリア算出式(拡張秦式)と同じ 40m 付近となるかを検証する。

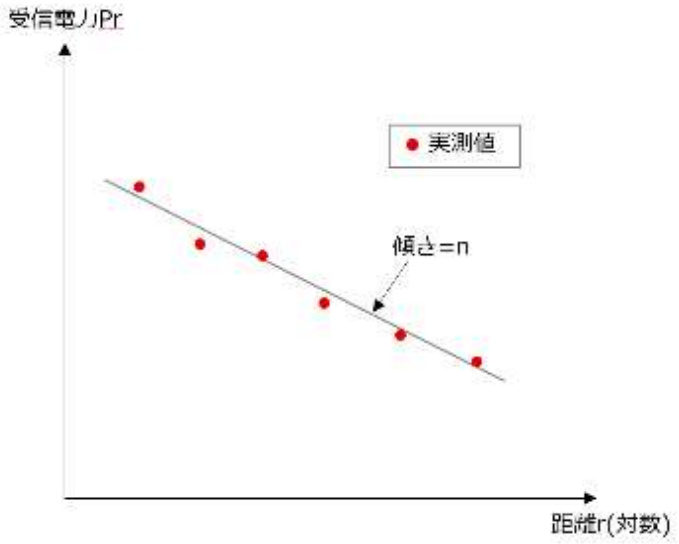
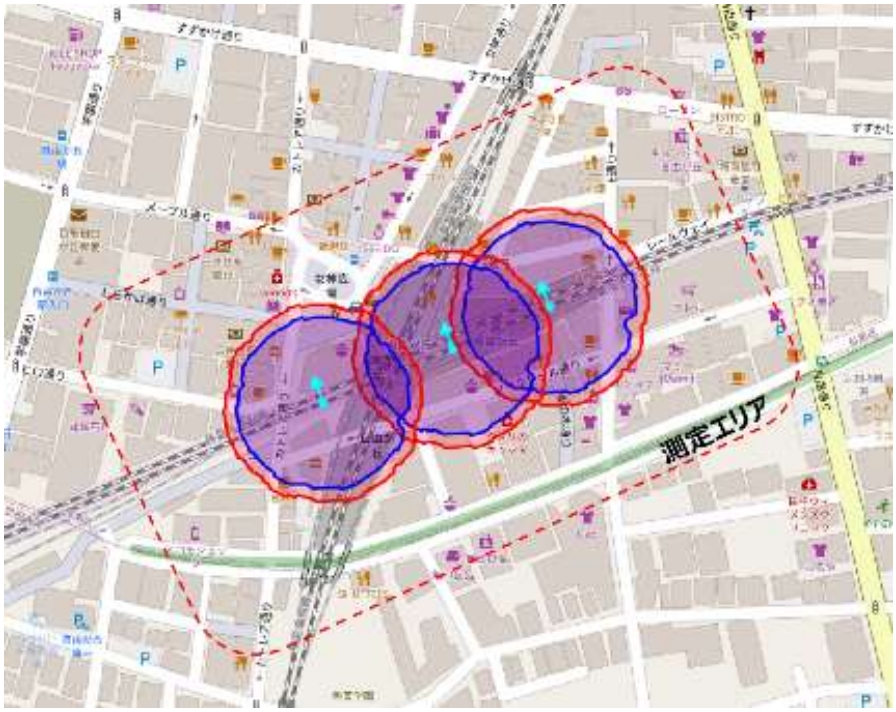



図.3.3.1.4-(16) :距離減衰項のフィッティング

c. 自由が丘駅

図.3.3.1.4-(17)に示すように、大井町線の 3 つの RU で構成される DAS によるセル全体のカバーエリア端および調整対象区域端を含むエリアにおいて、30 地点程度の測定地点を設ける。設けた測定地点における 3.3.1 章(1)に記載の受信電力を測定する。受信電力測定については、各 RU 単独での送信状態とした場合(3 通り)、および DAS を構成する 3 つの RU 全てを送信状態とした場合(1 通り)の合計 4 通りについて実施する。

自由が丘駅ホーム(自己土地)での測定地点を図.3.3.1.4-(18)に示し、自由が丘駅周辺(他者土地)での測定地点を図.3.3.1.4-(19)に示す。




引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

図.3.3.1.4-(17) :測定地点を設けるエリア概要

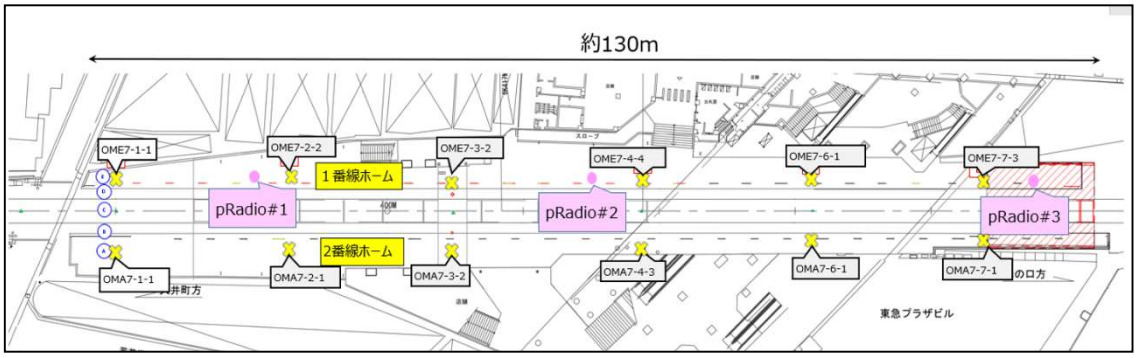
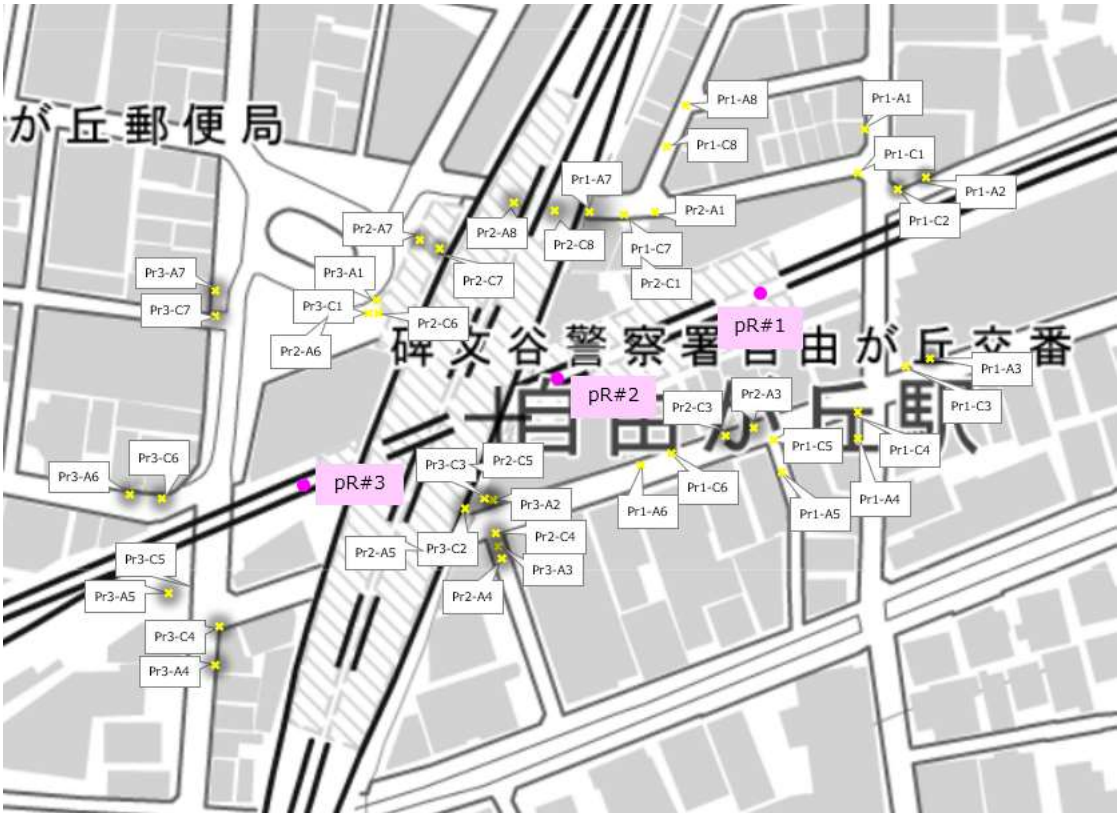


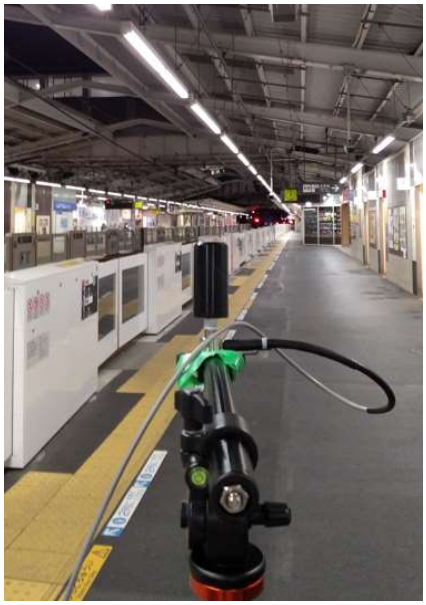

図.3.3.1.4-(18) :自由が丘駅自己土地の測定地点



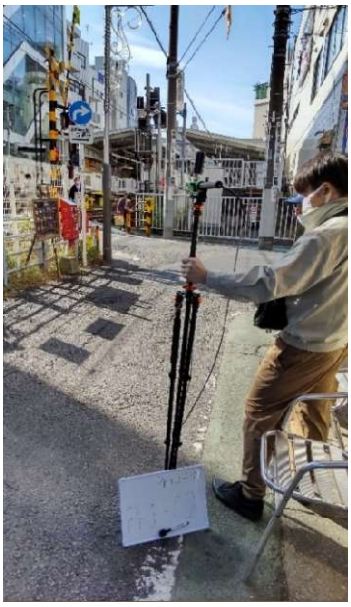

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(19) :自由が丘駅他者土地の測定地点

自由が丘駅での測定地点の様子を以下に示す。



自己土地



他者土地

図.3.3.1.4-(20) :自由が丘駅での測定地点の様子

各測定地点の受信電力の測定結果については、各 RU 単独送信状態での測定値、DAS 構成で 3RU 送信状態での実測値に対して、各 RU の実測値を加算した値、RU 毎の実測値の最大値も表.3.3.1.4-(8)のイメージで整理する。

表.3.3.1.4-(8) :各測定地点の受信電力測定結果記載イメージ

| 測定地点 | 測定値 | | | | 測定値から算出 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | RU#1 | RU#2 | RU#3 | DAS 状態※ | 3RU 加算 | 3RU 最大値 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

※DAS を構成する 3 つの RU 全てを送信状態として取得した測定値

## 2） 28GHz 帯システム

各検証項目における評価･検証方法について以下に記載する。

① カバーエリア内の菊名駅ホーム上のエリア評価

(1)測定地点の選定

ホーム内の測定地点は一定間隔毎に傾向を確認するために各車両の先頭、車両間、最後尾位置を目安とした 22 地点を選定した。選定した地点は以下の通り。

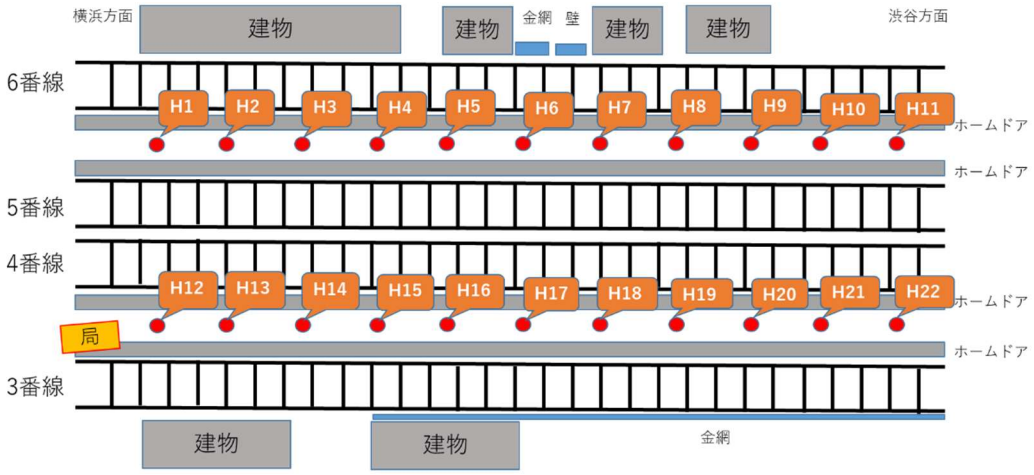



図.3.3.1.4-(21) :ホーム上のエリア評価測定点位置

表.3.3.1.4-(9) :ホーム上のエリア評価測定点リスト

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| H1 | 上りホーム 10 両車両 10 両目最後尾 |
| H2 | 上りホーム 10 両車両 10 両目先頭 |
| H3 | 上りホーム 10 両車両 9 両目先頭 |
| H4 | 上りホーム 10 両車両 8 両目先頭 |
| H5 | 上りホーム 10 両車両 7 両目先頭 |
| H6 | 上りホーム 10 両車両 6 両目先頭 |
| H7 | 上りホーム 10 両車両 5 両目先頭 |
| H8 | 上りホーム 10 両車両 4 両目先頭 |
| H9 | 上りホーム 10 両車両 3 両目先頭 |
| H10 | 上りホーム 10 両車両 2 両目先頭 |
| H11 | 上りホーム 10 両車両 1 両目先頭 |
| H12 | 下りホーム 10 両車両 1 両目先頭 |
| H13 | 下りホーム 10 両車両 2 両目先頭 |
| H14 | 下りホーム 10 両車両 3 両目先頭 |
| H15 | 下りホーム 10 両車両 4 両目先頭 |
| H16 | 下りホーム 10 両車両 5 両目先頭 |
| H17 | 下りホーム 10 両車両 6 両目先頭 |
| H18 | 下りホーム 10 両車両 7 両目先頭 |
| H19 | 下りホーム 10 両車両 8 両目先頭 |
| H20 | 下りホーム 10 両車両 9 両目先頭 |

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| H21 | 下りホーム 10 両車両 10 両目先頭 |
| H22 | 下りホーム 10 両車両 10 両目最後尾 |

(2)各測定地点における計算値の算出

実測値との比較のため、選定した各測定地点における理論値を算出した。

まず RSSI の理論値の算出にあたっては 28GHz 帯のエリア算出法で用いられる以下の式を用いた。

【算出式】

$Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 4$

$L = 20*\log10(4\pi d/\lambda) + R$

表.3.3.1.4-(10) :RSSI 理論値算出パラメータ

| パラメータ | 値 | 備考 |
|---|---|---|
| Pr[dBm]受信レベル | - | - |
| Pt[dBm]送信電力 | 19dBm(固定値) | 送信電力 |
| Gt[dBi]送信アンテナ利得 | 変動値 | アンテナパターンをもとに測定地点毎に変動 |
| Lf[dB]基地局の給電線損失 | 0dB | アンテナ一体型のため |
| Gr[dBi]受信アンテナ利得 | 20dBi(固定値) | エリア算出法で規定されたミリ波受信アンテナの利得 |
| L[dB]伝搬損失 | 変動値 | 伝搬損失式により算出 |
| d[m]基地局からの距離 | 変動値 | 測定地点毎に変動 |
| f[Hz]対象周波数 | 28.25016GHz<br>(固定値) | FA1 の中心周波数<br>FA1 を選択した理由は後述。 |
| λ[m]対象周波数の波長 | 0.0106[m] | λ=C/f ※C(光速) = 3*10^8m |
| R[dB]建物侵入損 | 0 | ホーム内のため R = 0 で算出 |

次に上記で算出した RSSI の理論値を実際に測定する SS-RSRP と比較できるように以下計算式で換算を行った。

【算出式】

$SS\text{-}RSRP = Pr - 10*\log10(Bc/Bs)$

$= Pr - 26.2dB$

表.3.3.1.4-(11) :RSSI→SS-RSRP 換算パラメータ

| パラメータ | 固定値 or 変動値 | 備考 |
|---|---|---|
| Bc[kHz]1 キャリアの周波数帯域幅 | 100000kHz(固定値) | |

| パラメータ | 固定値 or 変動値 | 備考 |
|---|---|---|
| Bs[kHz]SCS のサブキャリア間隔 | 240kHz(固定値) | |

(3)検証対象 FA の選択

今回使用するミリ波は 100MHz x 4FA の構成となっているため、低い周波数が特性上最も飛来することを考慮し、FA1(28.25016GHz)を検証対象 FA とした。

(4)各測定地点での測定

前述の各測定地点において測定を行った。

測定器の構成としてはエリアテスタに三脚で固定したミリ波のホーンアンテナを接続した構成とした。

指向性のあるアンテナであるため、アンテナは基地局方向に向けた上で一定の幅で水平、垂直方向に向けながら最大の測定値が観測できる方向にアンテナを向けて測定を行った。

測定サンプルは 1 測定地点あたり 1000 サンプル以上とし、定在波の影響を避けるために 1 測定地点において 10λ(λは波長)の範囲で測定位置を動かして測定を実施した。

(5)各測定地点における理論値と実測値との比較

前述の各測定地点において測定を行った。

なお、測定で用いた受信アンテナの利得は受信機とアンテナ間のロスを含め、実効的な受信アンテナ利得は 17dBi 程度であった。

そのため、アンテナ利得 20dBi の理論値との比較の際には測定結果に 3dB 加算し、比較を行った。

測定結果は中央値、平均値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算出し、理論値と実測の中央値を比較し、結果について考察を行った。

② 列車留置時にホーム上のエリアへ与える影響評価

(1)測定地点の選定

測定地点は①ホーム内のエリア評価と同一の 22 地点を選定した。

選定した地点は以下の通り。

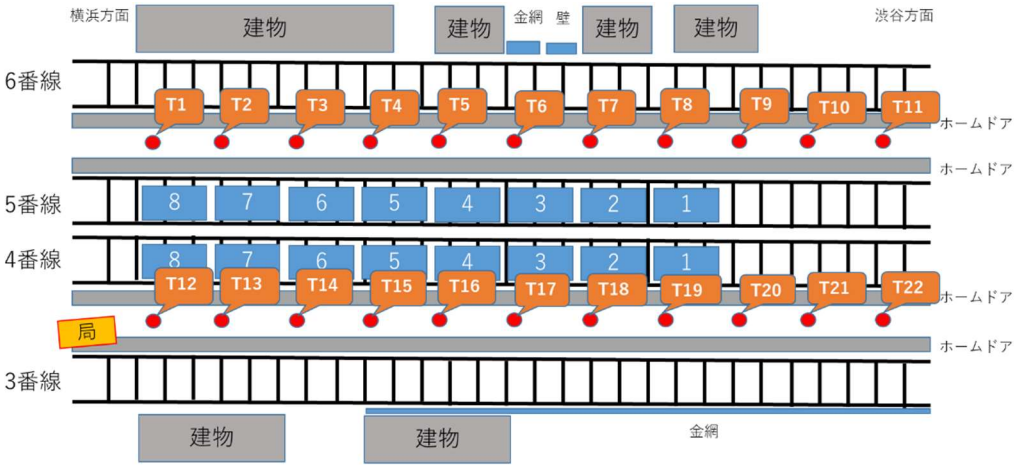



図.3.3.1.4-(22) :列車留置時のエリアへ与える影響評価測定点位置

表.3.3.1.4-(12) :列車留置時のエリアへ与える影響評価測定点リスト

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| T1 | 上りホーム 10 両車両 10 両目最後尾 |
| T2 | 上りホーム 10 両車両 10 両目先頭 |
| T3 | 上りホーム 10 両車両 9 両目先頭 |
| T4 | 上りホーム 10 両車両 8 両目先頭 |
| T5 | 上りホーム 10 両車両 7 両目先頭 |
| T6 | 上りホーム 10 両車両 6 両目先頭 |
| T7 | 上りホーム 10 両車両 5 両目先頭 |
| T8 | 上りホーム 10 両車両 4 両目先頭 |
| T9 | 上りホーム 10 両車両 3 両目先頭 |
| T10 | 上りホーム 10 両車両 2 両目先頭 |
| T11 | 上りホーム 10 両車両 1 両目先頭 |
| T12 | 下りホーム 10 両車両 1 両目先頭 |
| T13 | 下りホーム 10 両車両 2 両目先頭 |
| T14 | 下りホーム 10 両車両 3 両目先頭 |
| T15 | 下りホーム 10 両車両 4 両目先頭 |
| T16 | 下りホーム 10 両車両 5 両目先頭 |
| T17 | 下りホーム 10 両車両 6 両目先頭 |
| T18 | 下りホーム 10 両車両 7 両目先頭 |
| T19 | 下りホーム 10 両車両 8 両目先頭 |
| T20 | 下りホーム 10 両車両 9 両目先頭 |
| T21 | 下りホーム 10 両車両 10 両目先頭 |
| T22 | 下りホーム 10 両車両 10 両目最後尾 |

(2)各測定地点における計算値の算出

実測値との比較のため、選定した各測定地点における理論値を算出した。

理論値の算出は①ホーム内のエリア評価と同一である。

(3)検証対象 FA の選択

検証対象 FA は①ホーム内のエリア評価と同一である。

(4)各測定地点での測定

測定方法は①ホーム内のエリア評価と同一である。

(5)各測定地点における理論値と実測値との比較

前述の各測定地点において測定を行った。

なお、測定で用いた受信アンテナの利得は受信機とアンテナ間のロスを含め、実効的な受信アンテナ利得は 17dBi 程度であった。

そのため、アンテナ利得 20dBi の理論値との比較の際には測定結果に 3dB 加算し、比較を行った。

測定結果は中央値、平均値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算出し、①ホーム内のエリア評価の測定結果と比較を行い、その差分について考察を行った。

③ 電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化(R パラメータ)

(1)算出法エリア図及び仮説エリア図の作成

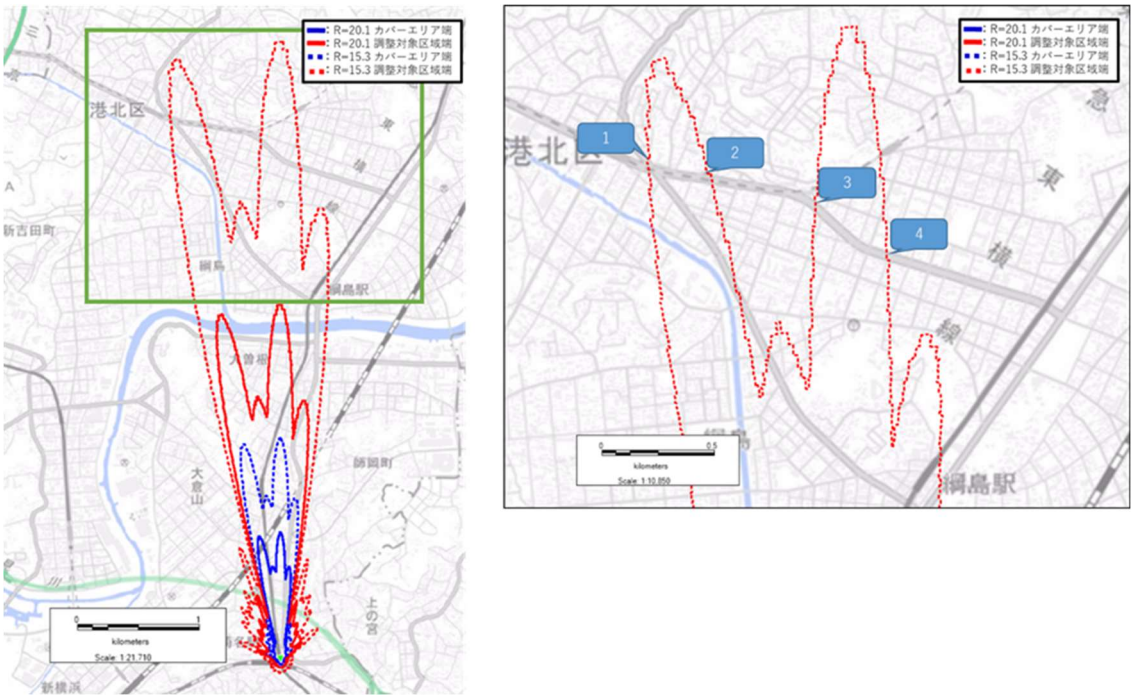
エリア算出法で用いられる R=20.1dB を用いたエリア図を算出法エリア図、仮説の R=15.3dB を用いたエリア図を仮説エリア図としてエリア図の作成を行った。

(2)測定ポイントの選定

算出法エリア図及び仮説エリア図のカバーエリア端と調整対象区域端を中心に 30 ポイント以上を測定点として選定した。基本的に測定可能な地点は歩道/道路上に限られるため、エリア端及び調整対象区域端と歩道/道路が交差する地点を中心に測定地点を選定した。

あわせて今回 R の精緻化を目的としているため、菊名駅の近辺にも重点的に測定地点を配置した。

また、駅ホームに標準的に設置される遮蔽物単体による伝搬ロスを確認するため、以下遮蔽物前後でも測定を行った。

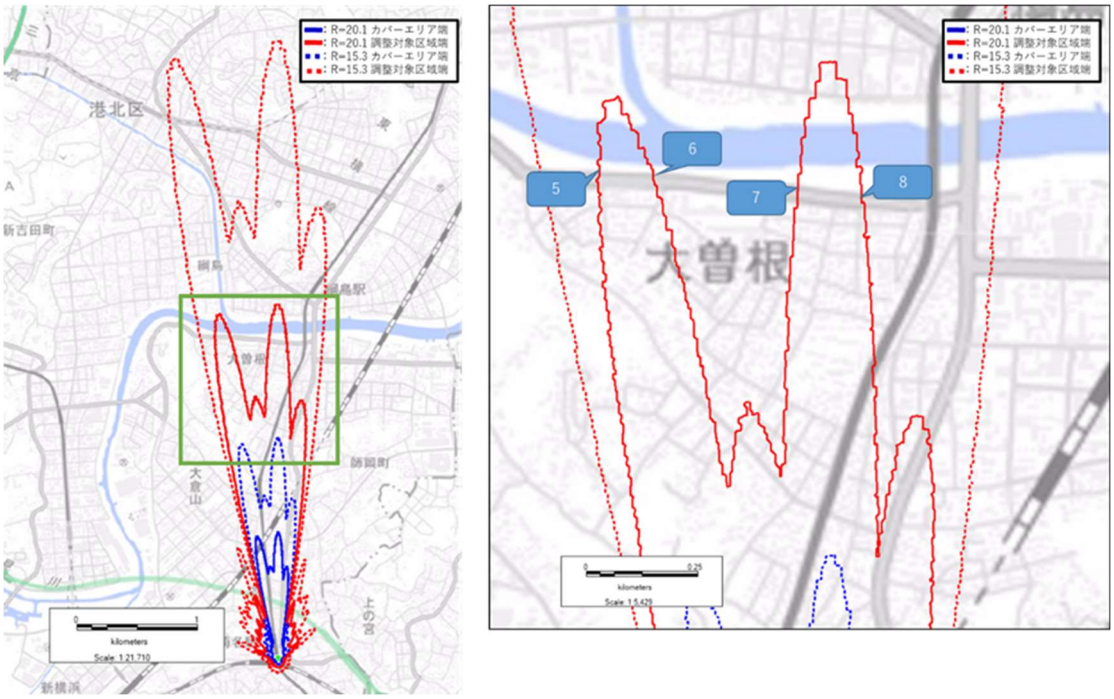



引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(23) :周辺エリアの測定点位置(仮説エリア図 調整対象区域端)

表.3.3.1.4-(13) :周辺エリアの測定点リスト(仮説エリア図 調整対象区域端)

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| 1 | 仮説エリア図(R=15.3)の干渉調整端付近① |
| 2 | 仮説エリア図(R=15.3)の干渉調整端付近② |
| 3 | 仮説エリア図(R=15.3)の干渉調整端付近③ |
| 4 | 仮説エリア図(R=15.3)の干渉調整端付近④ |

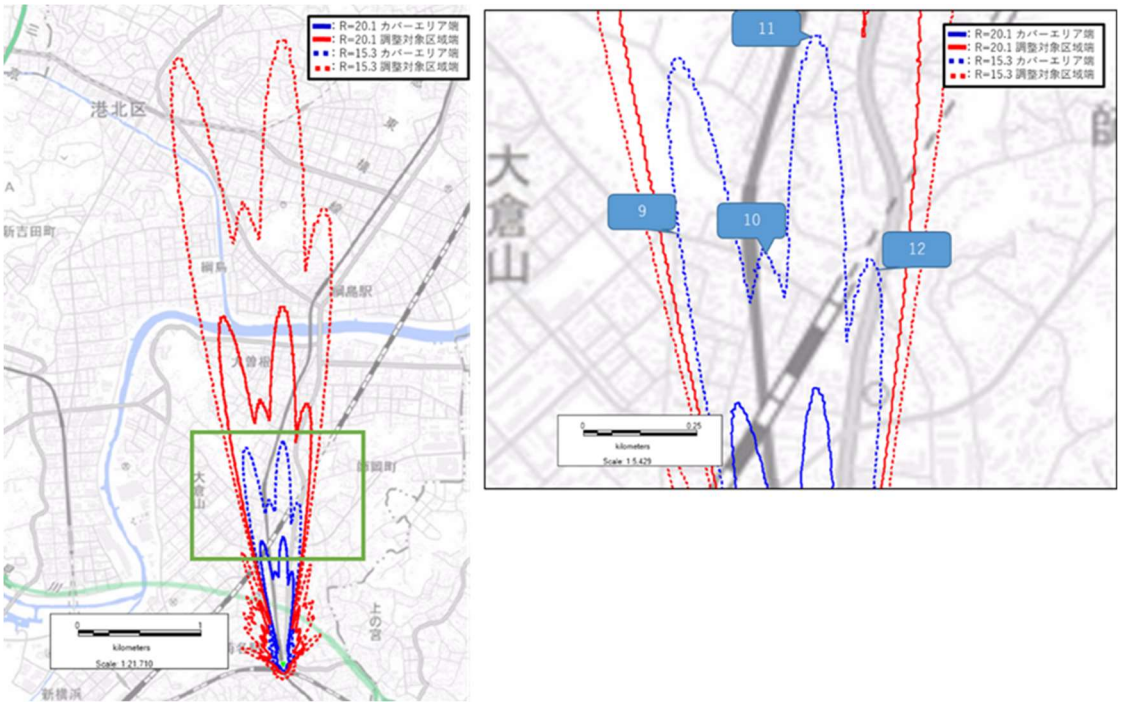



引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(24) :周辺エリアの測定点位置(算出法エリア図 調整対象区域端)

表.3.3.1.4-(14) :周辺エリアの測定点リスト(算出法エリア図 調整対象区域端)

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| 5 | 算出法エリア図(R=20.1)の干渉調整端付近① |
| 6 | 算出法エリア図(R=20.1)の干渉調整端付近② |
| 7 | 算出法エリア図(R=20.1)の干渉調整端付近③ |
| 8 | 算出法エリア図(R=20.1)の干渉調整端付近④ |

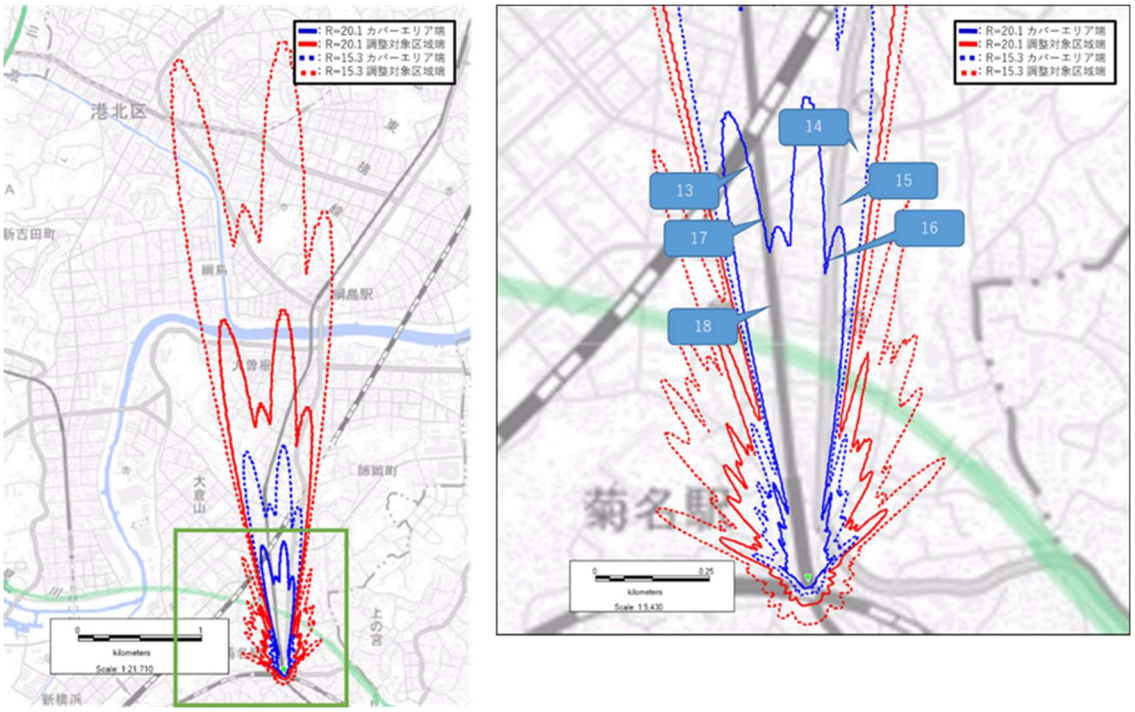



引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(25) :周辺エリアの測定点位置(仮説エリア図 エリア端)

表.3.3.1.4-(15) :周辺エリアの測定点リスト(仮説エリア図 エリア端)

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| 9 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近① |
| 10 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近② |
| 11 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近③ |
| 12 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近④ |

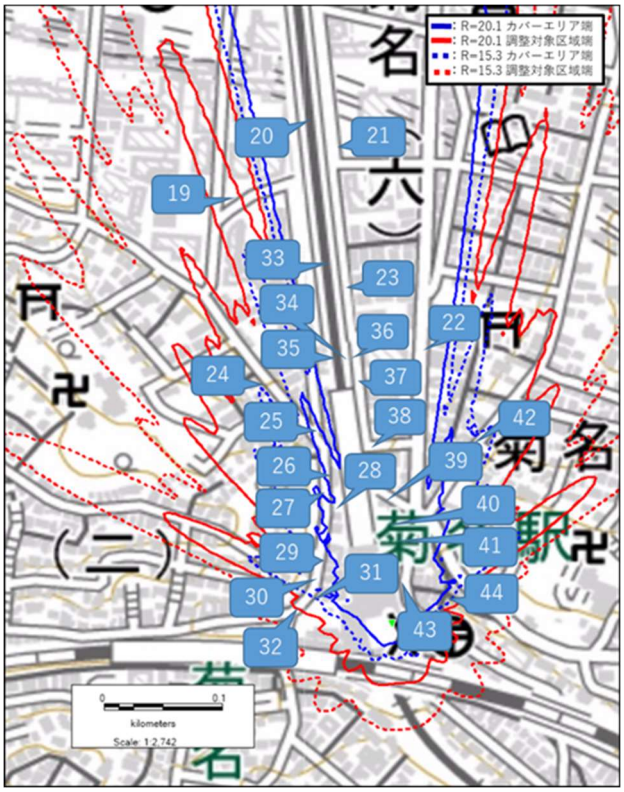



引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(26) :周辺エリアの測定点位置(算出法エリア図 エリア端)

表.3.3.1.4-(16) :周辺エリアの測定点リスト(算出法エリア図 エリア端)

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| 13 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近① |
| 14 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近② |
| 15 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近③ |
| 16 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近④ |
| 17 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑤ |
| 18 | 上り方面線路上測定地点① |




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(27) :周辺エリアの測定点位置(駅周辺)

表.3.3.1.4-(17) :周辺エリアの測定点リスト(駅周辺)

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| 19 | 算出法エリア図(R=20.1)の干渉調整端付近⑤ |
| 20 | 上り方面線路上測定地点② |
| 21 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点① |
| 22 | 北北東方面道路上測定地点① |
| 23 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点② |
| 24 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近⑤ |
| 25 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑥ |
| 26 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑦ |
| 27 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑧ |
| 28 | 西側道路の線路隣接測定地点① |
| 29 | 西側隣接建物前測定地点① |
| 30 | 西側隣接建物間の隙間測定地点① |
| 31 | 西側隣接建物前測定地点② |
| 32 | 西側隣接建物間の隙間測定地点② |
| 33 | 上り方面線路上測定地点③ |

| | |
|---|---|
| 34 | 上り方面線路上測定地点④ |
| 35 | 上り方面線路上測定地点⑤ |
| 36 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点③ |
| 37 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点④ |
| 38 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点⑤ |
| 39 | 東側の線路隣接測定地点① |
| 40 | 東側の線路隣接測定地点② |
| 41 | 東側の線路隣接測定地点③ |
| 42 | 北東方面道路上測定地点① |
| 43 | 東側隣接建物間の隙間測定地点① |
| 44 | 東側隣接建物間の隙間測定地点② |

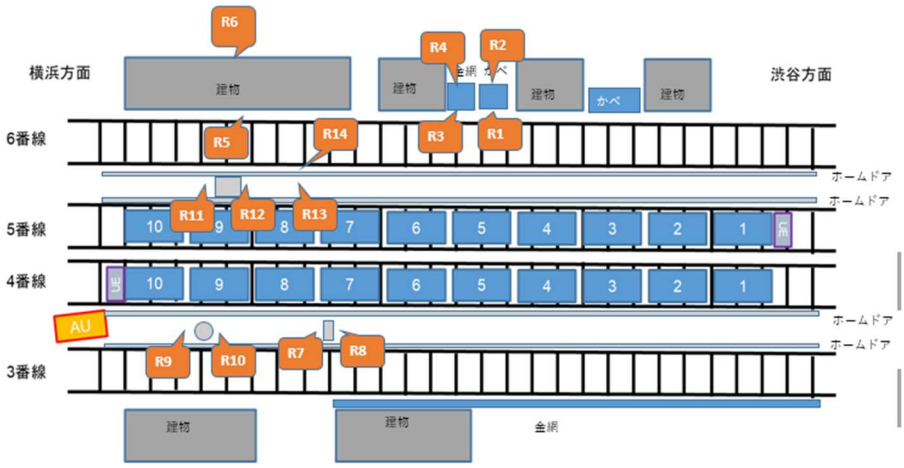



図.3.3.1.4-(28) :遮蔽物前後の測定点位置

表.3.3.1.4-(18) :遮蔽物前後の測定点リスト

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| R1 | 上りホームコンクリート壁透過前 |
| R2 | 上りホームコンクリート壁透過後 |
| R3 | 上りホーム金網透過前 |
| R4 | 上りホーム金網透過後 |
| R5 | 上りホーム建物透過前 |
| R6 | 上りホーム建物透過後 |
| R7 | 下りホーム吊り下げ看板透過前 |
| R8 | 下りホーム吊り下げ看板透過後 |
| R9 | 下りホーム柱透過前 |
| R10 | 下りホーム柱透過後 |

| 地点 No | 詳細 |
|---|---|
| R11 | 上りホーム売店透過前 |
| R12 | 上りホーム売店透過後 |
| R13 | 上りホームホームドア透過前 |
| R14 | 上りホームホームドア透過後 |

(3)各測定地点における計算値の算出

実測値との比較のため、選定した各測定地点における理論値を算出した。

理論値の算出は①ホーム内のエリア評価と基本的に同一だが、R ＝ 15.3(仮説値) or 20.1(エリア算出法)を適用した。

(4)検証対象 FA の選択

検証対象 FA は①ホーム内のエリア評価と同一である。

(5)各測定地点での測定

測定方法は①ホーム内のエリア評価と同一である。

(6)エリア端及び干渉調整端が実測される地点の確認

あらかじめ測定地点としていた地点にてエリア端及び干渉調整端が測定できなかった場合、エリア端及び干渉調停端が測定できる地点にて測定を実施し、その地点を地図上にプロットすることで実際のエリア及び干渉調整範囲のエリア図を作成した。

なお、エリア端、干渉調整端の閾値はエリア算出法で定められた受信電力の値をもとに SS-RSRP の値で以下の通り設定した。

エリア端:-107.4dBm

干渉調整端:-116.2dBm

(6)R の精緻化

R の精緻化に伴い、駅周辺の測定地点を R の傾向が異なると想定した以下 3 つのグループに分けて評価を行った。

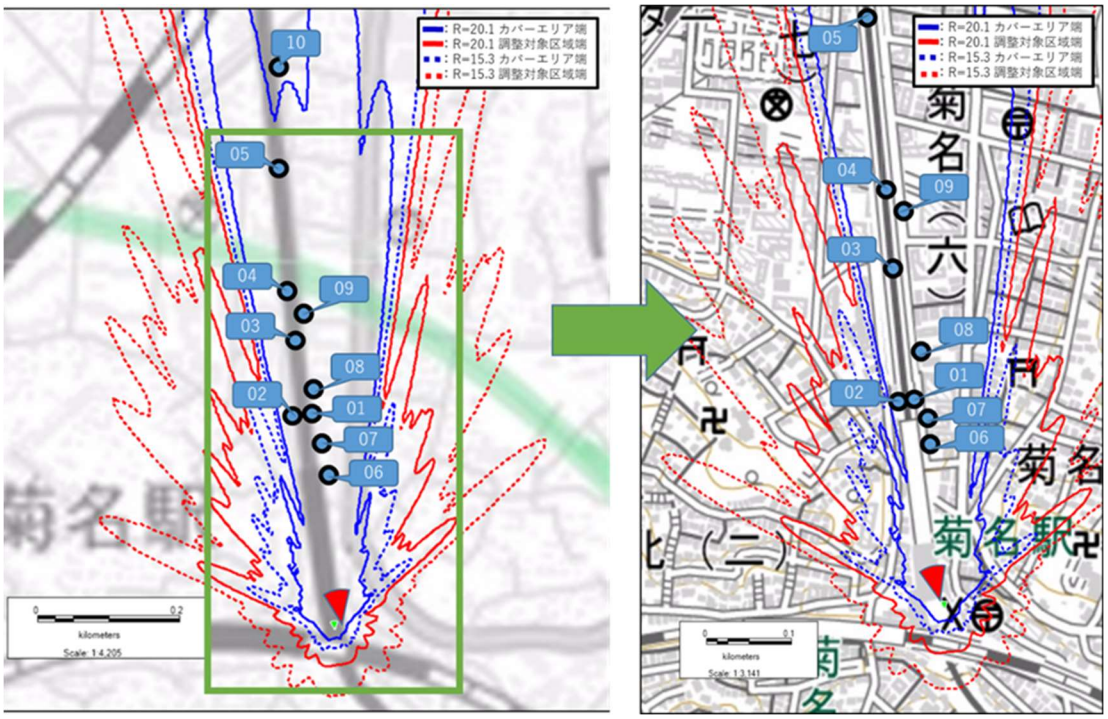
①指向方向上の線路及び道路上の地点

②ホーム側面の開放箇所から飛来する地点

④ 隣接建物によって隔てられた地点

グループ毎の測定地点は以下を参照。下記リスト内の地点 No は前述した周辺エリアの測定地点リストの地点 No と紐付けられている。

グループ①指向方向上の線路及び道路上の地点



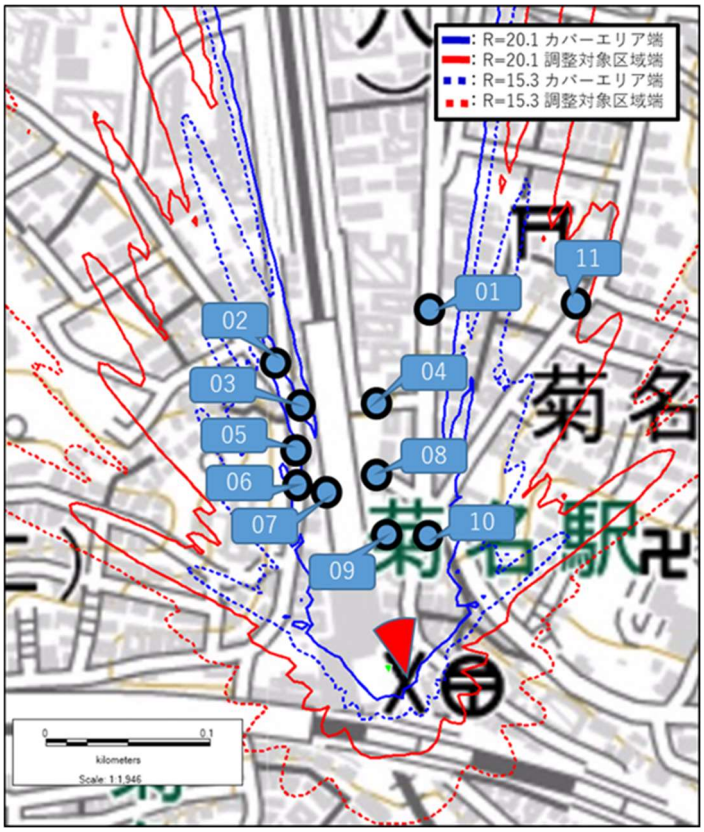

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(29) :R 精緻化グループ①測定点位置

表.3.3.1.4-(19) :R 精緻化グループ①測定点リスト

| 測定点 ID | 地点 No | 詳細 |
|---|---|---|
| 01 | 34 | 上り方面線路上測定地点④ |
| 02 | 35 | 上り方面線路上測定地点⑤ |
| 03 | 33 | 上り方面線路上測定地点③ |
| 04 | 20 | 上り方面線路上測定地点② |
| 05 | 18 | 上り方面線路上測定地点① |
| 06 | 37 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点④ |
| 07 | 36 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点③ |
| 08 | 23 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点② |
| 09 | 21 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点① |
| 10 | 17 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑤ |

グループ②ホーム側面の開放箇所から飛来する地点



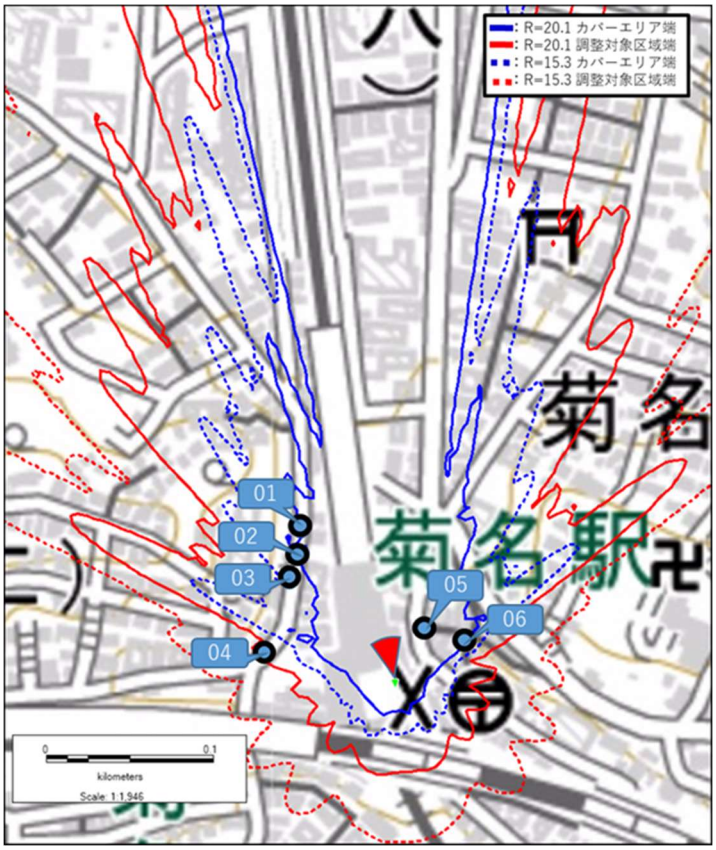

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(30) :R 精緻化グループ②測定点位置

表.3.3.1.4-(20) :R 精緻化グループ②測定点リスト

| 測定点 ID | 地点 No | 詳細 |
|---|---|---|
| 01 | 22 | 北北東方面道路上測定地点① |
| 02 | 24 | 仮説エリア図(R=15.3)のエリア端付近⑤ |
| 03 | 25 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑥ |
| 04 | 38 | 東側上り方面線路沿い道路上測定地点⑤ |
| 05 | 26 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑦ |
| 06 | 27 | 算出法エリア図(R=20.1)のエリア端付近⑧ |
| 07 | 28 | 西側道路の線路隣接測定地点① |
| 08 | 39 | 東側の線路隣接測定地点① |
| 09 | 40 | 東側の線路隣接測定地点② |
| 10 | 41 | 東側の線路隣接測定地点③ |
| 11 | 42 | 北東方面道路上測定地点① |

グループ③隣接建物によって隔てられた地点




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.4-(31) :R 精緻化グループ③測定点位置

表.3.3.1.4-(21) :R 精緻化グループ③測定点リスト

| 測定点 ID | 地点 No | 詳細 |
|---|---|---|
| 01 | 29 | 西側隣接建物前測定地点① |
| 02 | 30 | 西側隣接建物間の隙間測定地点① |
| 03 | 31 | 西側隣接建物前測定地点② |
| 04 | 32 | 西側隣接建物間の隙間測定地点② |
| 05 | 43 | 東側隣接建物間の隙間測定地点① |
| 06 | 44 | 東側隣接建物間の隙間測定地点② |

上記測定点毎に実測値と理論値との差分を比較してそれぞれの地点で発生しているロス値を確認し、グループ毎に平均化することでグループ毎の R 値の導出を行った。

(7)精緻化図の作成

上記にて導出した R 値を用いて精緻化図の作成を行った。

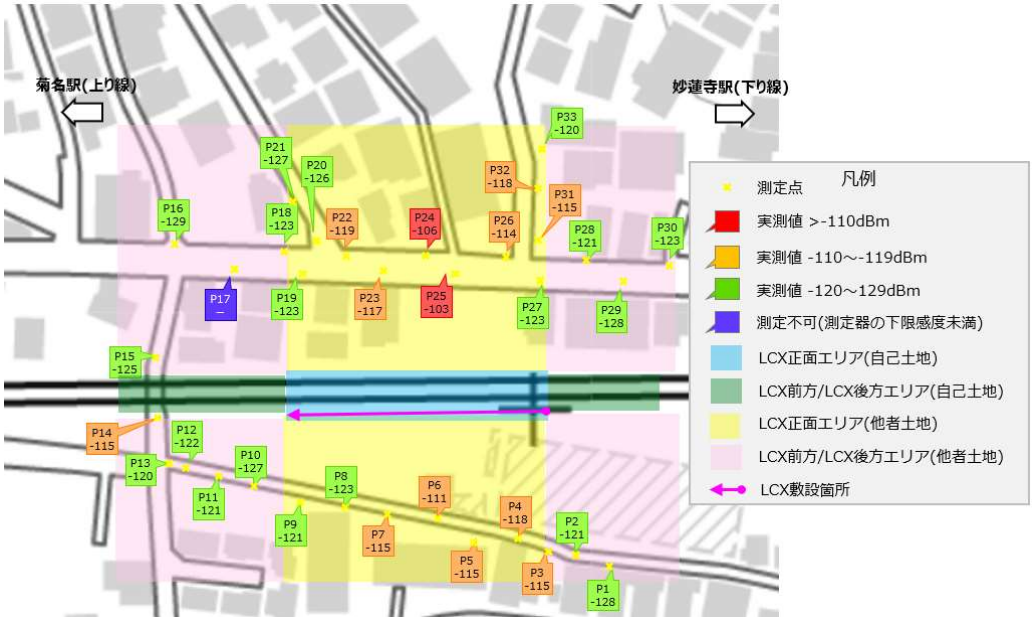
精緻化後のエリア端及び干渉調整端と実測値を比較して、差分があればその差分について考察を行った

## （5） 実証結果及び考察

### 1） 4.7GHz 帯システム

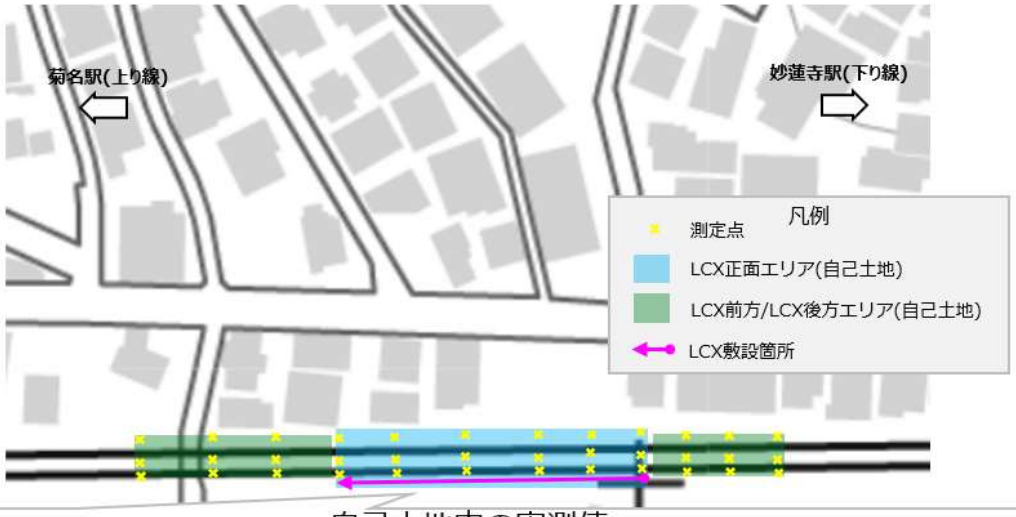
#### a. 菊名駅～妙蓮寺駅間の線路区間

各 LCX 区間の測定点と統計処理済みの測定結果を図面にプロットした図を示す。また、自己土地の測定結果について表に示す。




引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(1) :LCX1-1 他者土地 測定点と測定結果




自己土地内の実測値

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F-3-8 | F-2-8 | F-1-8 | C-6-8 | C-5-8 | C-4-8 | C-3-8 | C-2-8 | C-1-8 | B-1-8 | B-2-8 | B-3-8 | 8m |
| -120.60 | -108.20 | -104.60 | -105.20 | -113.40 | -102.80 | -100.20 | -99.20 | -100.90 | *-109.50* | *-110.50* | *-117.20* | |
| F-3-4 | F-2-4 | F-1-4 | C-6-4 | C-5-4 | C-4-4 | C-3-4 | C-2-4 | C-1-4 | B-1-4 | B-2-4 | B-3-4 | 4m |
| -116.80 | -114.70 | -116.10 | -112.10 | -99.90 | -99.10 | -108.30 | -103.70 | -100.40 | *-108.90* | *-113.20* | *-118.30* | |
| F-3-2 | F-2-2 | F-1-2 | C-6-2 | C-5-2 | C-4-2 | C-3-2 | C-2-2 | C-1-2 | B-1-2 | B-2-2 | B-3-2 | 2m |
| -116.40 | -111.80 | -106.00 | -110.20 | -98.90 | -98.70 | -97.00 | -103.10 | -104.30 | *-108.40* | *-111.70* | *-115.40* | |
| 80m | 70m | 60m | 50m | 40m | 30m | 20m | 10m | 0m | -10m | -20m | -30m | 距離 |

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(2):LCX1-1 自己土地 測定点と測定結果

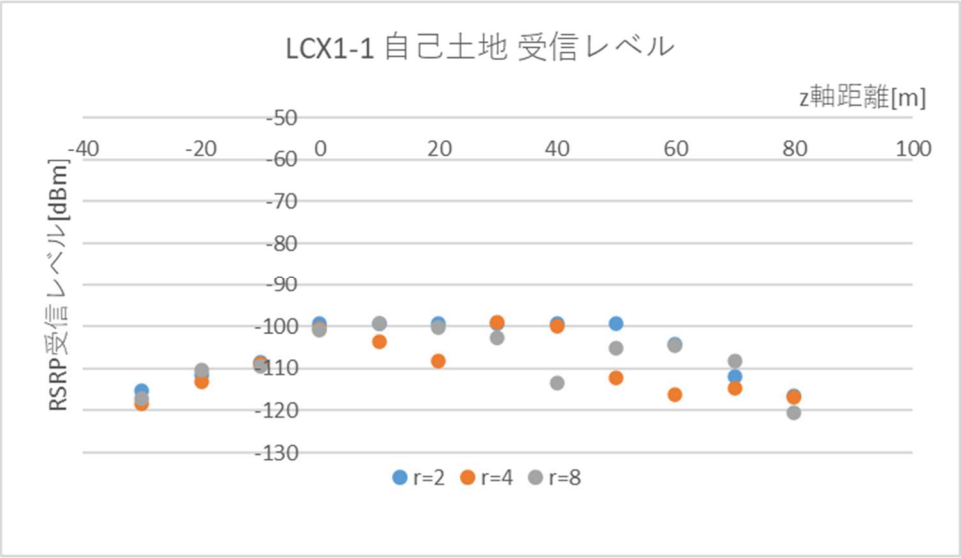
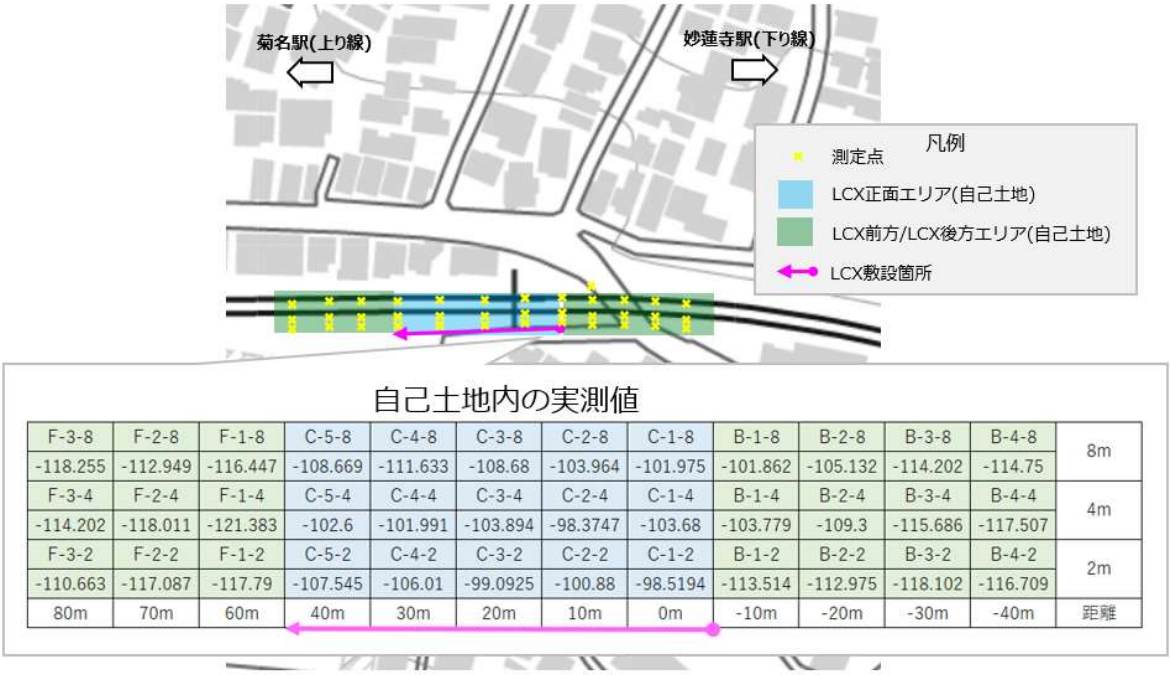



図.3.3.1.5-(3) :LCX1-1 自己土地 測定結果グラフ

引用:国土地理院地

図.3.3.1.5-(4) :LCX1-3 他者土地 測定点と測定結果




自己土地内の実測値

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F-3-8 | F-2-8 | F-1-8 | C-5-8 | C-4-8 | C-3-8 | C-2-8 | C-1-8 | B-1-8 | B-2-8 | B-3-8 | B-4-8 | 8m |
| -118.255 | -112.949 | -116.447 | -108.669 | -111.633 | -108.68 | -103.964 | -101.975 | -101.862 | -105.132 | -114.202 | -114.75 | |
| F-3-4 | F-2-4 | F-1-4 | C-5-4 | C-4-4 | C-3-4 | C-2-4 | C-1-4 | B-1-4 | B-2-4 | B-3-4 | B-4-4 | 4m |
| -114.202 | -118.011 | -121.383 | -102.6 | -101.991 | -103.894 | -98.3747 | -103.68 | -103.779 | -109.3 | -115.686 | -117.507 | |
| F-3-2 | F-2-2 | F-1-2 | C-5-2 | C-4-2 | C-3-2 | C-2-2 | C-1-2 | B-1-2 | B-2-2 | B-3-2 | B-4-2 | 2m |
| -110.663 | -117.087 | -117.79 | -107.545 | -106.01 | -99.0925 | -100.88 | -98.5194 | -113.514 | -112.975 | -118.102 | -116.709 | |
| 80m | 70m | 60m | 40m | 30m | 20m | 10m | 0m | -10m | -20m | -30m | -40m | 距離 |

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(5) :LCX1-3 自己土地 測定点と測定結果

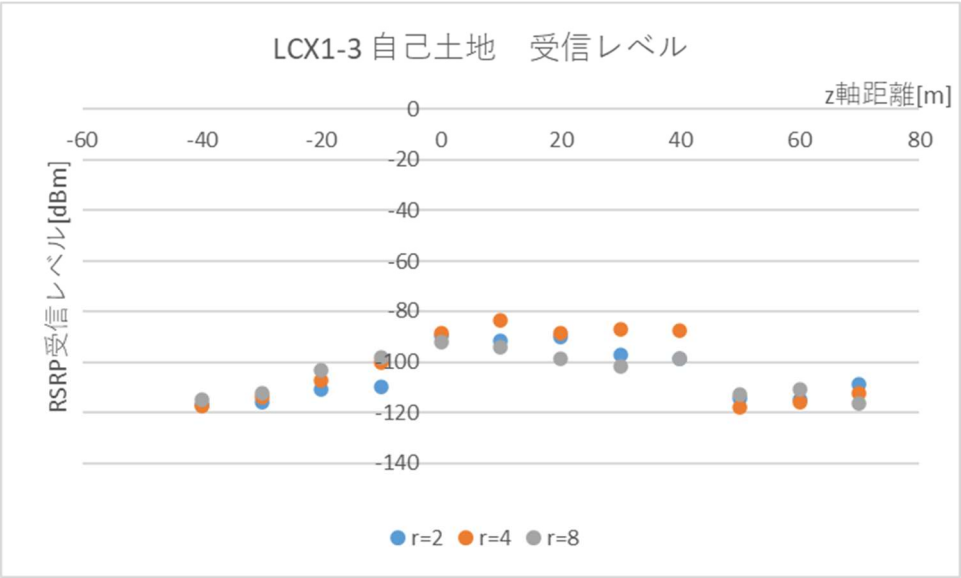
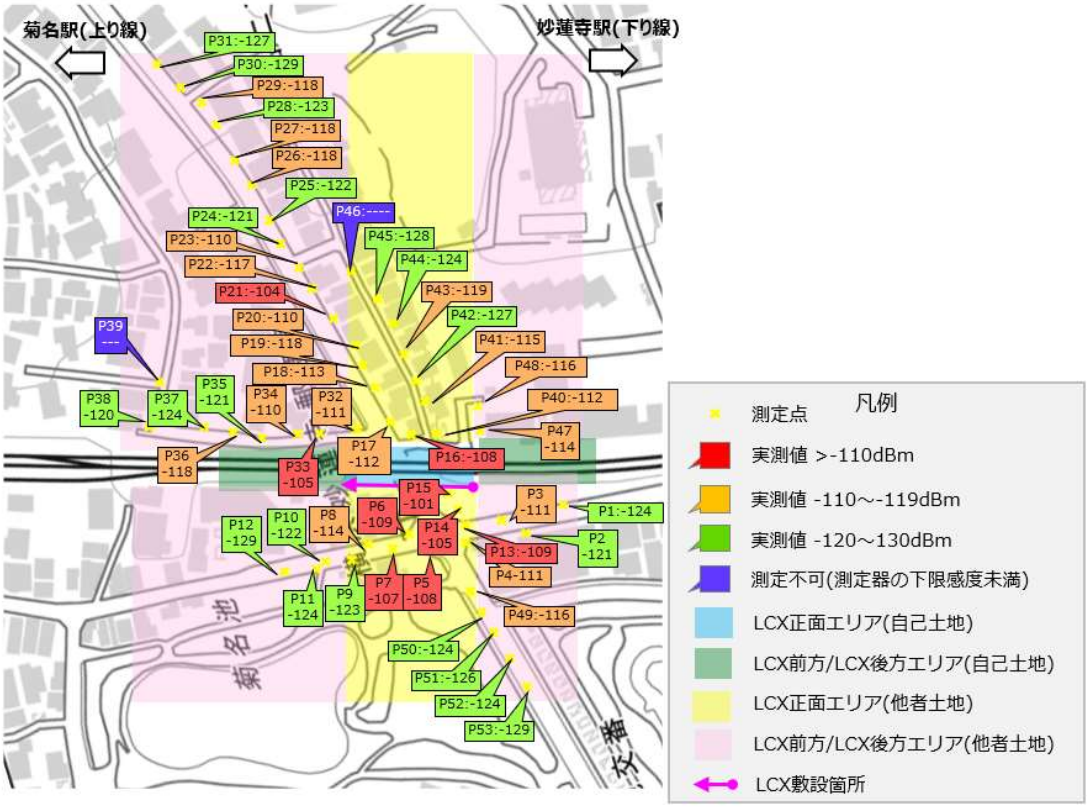
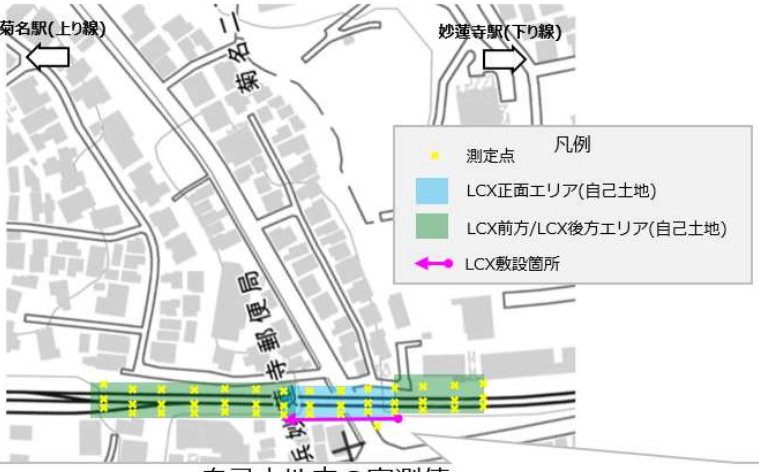



図.3.3.1.5-(6) :LCX1-3 自己土地 測定結果グラフ




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(7) :LCX2-6 他者土地 測定点と測定結果




自己土地内の実測値

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F-6-8 | F-5-8 | F-4-8 | F-3-8 | F-2-8 | F-1-8 | C-5-8 | C-4-8 | C-3-8 | C-2-8 | C-1-8 | B-1-8 | B-2-8 | B-3-8 | 8m |
| -117.0 | -113.1 | -122.4 | -116.3 | -109.3 | -111.6 | -107.4 | -109.1 | -105.65 | -98.2 | -103.1 | -104.3 | -115.3 | -115.3 | |
| F-6-4 | F-5-4 | F-4-4 | F-3-4 | F-2-4 | F-1-4 | C-5-4 | C-4-4 | C-3-4 | C-2-4 | C-1-4 | B-1-4 | B-2-4 | B-3-4 | 4m |
| -110.7 | -109.2 | -117.9 | -105.0 | -107.3 | -107.9 | -102.1 | -100.2 | -101.95 | -105.7 | -102.8 | -113.7 | -110.7 | -112.8 | |
| F-6-2 | F-5-2 | F-4-2 | F-3-2 | F-2-2 | F-1-2 | C-5-2 | C-4-2 | C-3-2 | C-2-2 | C-1-2 | B-1-2 | B-2-2 | B-3-2 | 2m |
| -111.6 | -114.4 | -118.7 | 123.8 | -107.5 | -110.9 | -106.3 | -107.9 | -100.2 | -92.8 | -95.4 | -108.7 | -110.8 | -120.8 | |
| 110m | 100m | 90m | 80m | 70m | 60m | 40m | 30m | 20m | 10m | 0m | -10m | -20m | -30m | 距離 |

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(8) :LCX2-6 自己土地 測定点と測定結果

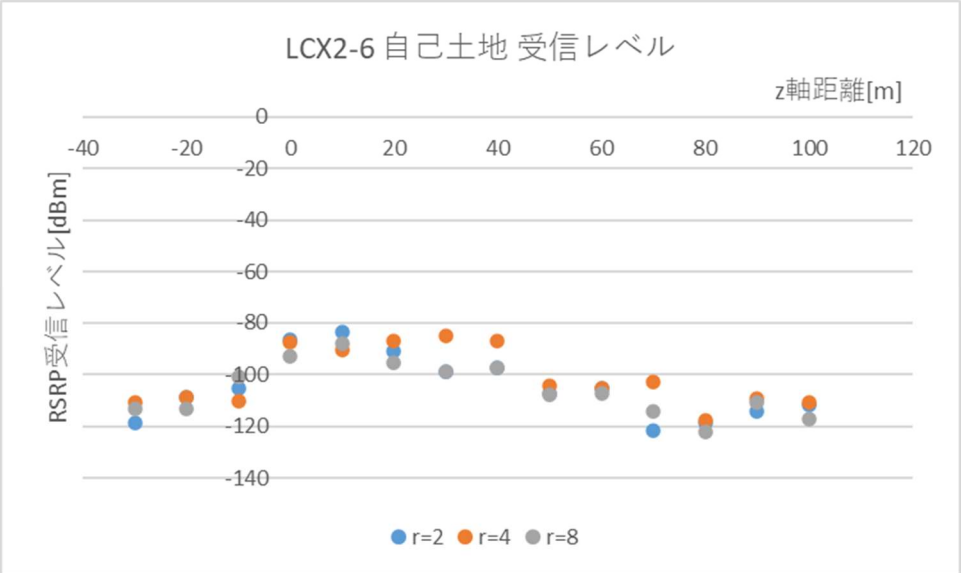



図.3.3.1.5-(9) :LCX2-6 自己土地 測定結果グラフ

LCX2-6 の前方エリアについては、再測定および測定点の追加を行っている。

再測定前の結果において、前方エリアの減衰特性に着目すると以下の図の通り、右肩上がりの特性となり、距離に対して減衰後継を示していない結果となっていた。

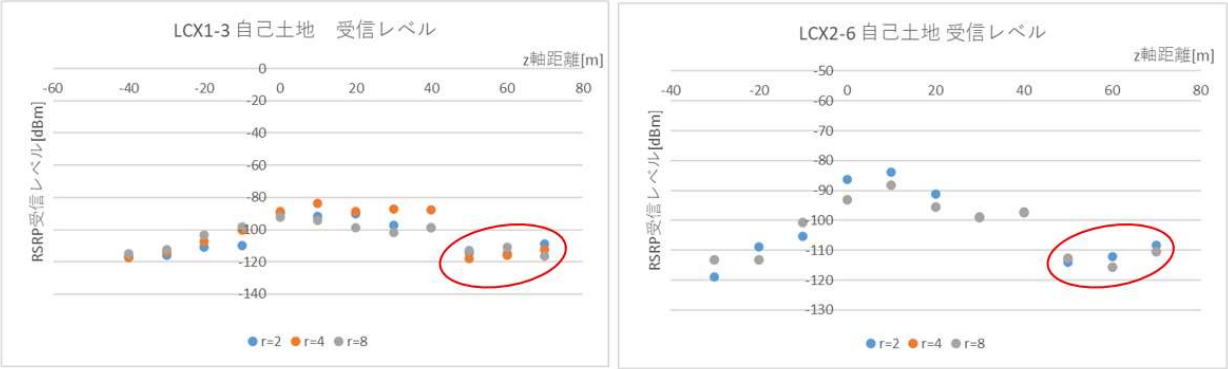



図.3.3.1.5-(10) :LCX1-3 および LCX2-6 の前方エリア(再測定前)の受信レベル特性

当該位置特有の環境的な要因等で前方 30m では減衰傾向を示さないのか、あるいはシステム状況の不良が発生していたのか、切り分けとして、LCX2-6 前方について、測定点を前方 60m 地点まで追加した上で再測定を行った。

測定の結果が以下である。

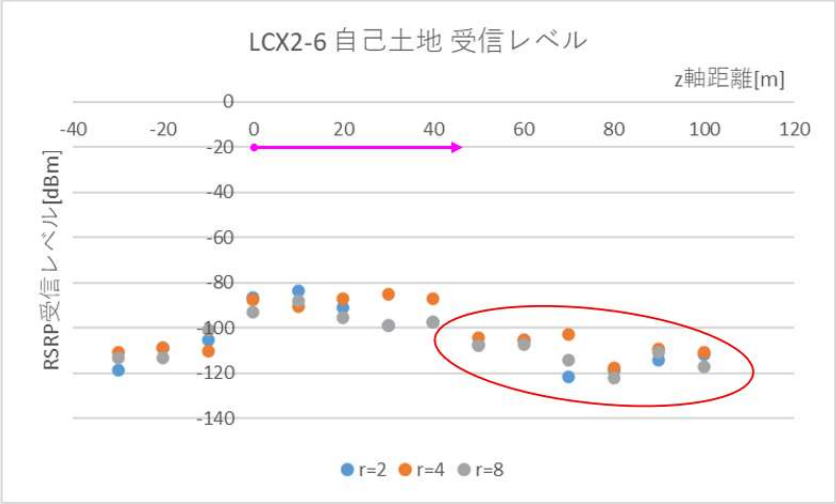



図.3.3.1.5-(11) :LCX2-6 前方エリアの再測定後の受信レベルグラフ

再測定した前方エリア 30m 地点までの間に減衰傾向を示すグラフになっている。

このことから、初回の測定時点で減衰を示していなかったのは、システム状況の不良が発生していたことが疑わしい。推測にはなるが、システムの設定不良により、被測定対象の LCX の前方にある他の LCX が電波発射されていたと思われる。

LCX2-6 については前方エリアの測定結果は再測定後の結果に置き換える。LCX1-3 については、近隣住民への配慮から夜間の再測定が実現できないため、前方エリアの測定結果は無効として、分析

対象から除外した。

分析を行うにあたって、受信レベルの補正を行った。受信レベル測定時、測定器のアンテナを水平に設置しており、特に自己土地内では LCX との仰角が大きくなる。

測定器アンテナのアンテナパターンを見ると、垂直方向の角度によって利得差が大きいことから、LCX と測定アンテナの角度を計算し、測定結果の補正を行った後分析を実施した。

正面エリアについては、r 軸距離に応じて一律補正し、前方後方エリアについては、z 距離に応じて一律補正とした。

測定器のアンテナパターンを図 3.3.1.5-(12)に、LCX 正面エリアの補正値を表.3.3.1.5-(1)、LCX 前後エリアの補正値を表.3.3.1.5-(2)に示す。

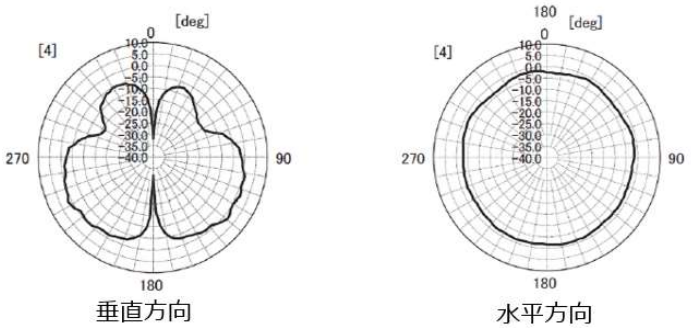



図.3.3.1.5-(12) :測定器のアンテナパターン

表.3.3.1.5-(1) :正面エリアの受信レベル補正

| r 距離 | 角度 | 受信レベル補正値 |
|---|---|---|
| 2m | 90°－56.3° | 9dB |
| 4m | 90°－36.9° | 15dB |
| 8m | 90°－20.5° | 10dB |

表.3.3.1.5-(2) :前方後方エリアの受信レベル補正

| LCX 端からの z 距離 | 角度 | 受信レベル補正値 |
|---|---|---|
| 10m | 90°－16° | 3.5dB |
| 20m | 90°－8° | 2dB |
| 30m | 90°－5° | 2dB |

a-1 LCX 正面エリアの分析

自己土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(3) :LCX 正面 自己土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル[dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| C-1-2 | 0 | 2 | 3.6 | 0 | -99.3 |
| C-1-4 | 0 | 4 | 5.0 | 0 | -100.4 |
| C-1-8 | 0 | 8 | 8.5 | 0 | -100.9 |
| C-2-2 | 10 | 2 | 3.6 | 0 | -98.1 |
| C-2-4 | 10 | 4 | 5.0 | 0 | -103.7 |
| C-2-8 | 10 | 8 | 8.5 | 0 | -99.2 |
| C-3-2 | 20 | 2 | 3.6 | 0 | -92.0 |
| C-3-4 | 20 | 4 | 5.0 | 0 | -108.3 |
| C-3-8 | 20 | 8 | 8.5 | 0 | -100.2 |
| C-4-2 | 30 | 2 | 3.6 | 0 | -93.7 |
| C-4-4 | 30 | 4 | 5.0 | 0 | -99.1 |
| C-4-8 | 30 | 8 | 8.5 | 0 | -102.8 |
| C-5-2 | 40 | 2 | 3.6 | 0 | -93.9 |
| C-5-4 | 40 | 4 | 5.0 | 0 | -113.4 |
| C-5-8 | 40 | 8 | 8.5 | 0 | -99.9 |
| C-6-2 | 50 | 2 | 3.6 | 0 | -105.2 |
| C-6-4 | 50 | 4 | 5.0 | 0 | -112.1 |
| C-6-8 | 50 | 8 | 8.5 | 0 | -105.2 |
| LCX1-3 | | | | | |
| C-1-2 | 0 | 2 | 3.6 | 0 | -98.5 |
| C-1-4 | 0 | 4 | 5.0 | 0 | -103.7 |
| C-1-8 | 0 | 8 | 8.5 | 0 | -102.0 |
| C-2-2 | 10 | 2 | 3.6 | 0 | -100.9 |
| C-2-4 | 10 | 4 | 5.0 | 0 | -98.4 |
| C-2-8 | 10 | 8 | 8.5 | 0 | -104.0 |
| C-3-2 | 20 | 2 | 3.6 | 0 | -99.1 |
| C-3-4 | 20 | 4 | 5.0 | 0 | -103.9 |
| C-3-8 | 20 | 8 | 8.5 | 0 | -108.7 |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル[dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| C-4-2 | 30 | 2 | 3.6 | 0 | -106.0 |
| C-4-4 | 30 | 4 | 5.0 | 0 | -102.0 |
| C-4-8 | 30 | 8 | 8.5 | 0 | -111.6 |
| C-5-2 | 40 | 2 | 3.6 | 0 | -107.5 |
| C-5-4 | 40 | 4 | 5.0 | 0 | -102.6 |
| C-5-8 | 40 | 8 | 8.5 | 0 | -108.7 |
| LCX2-6 | | | | | |
| C-1-2 | 0 | 2 | 3.6 | 0 | -95.5 |
| C-1-4 | 0 | 4 | 5.0 | 0 | -103.3 |
| C-1-8 | 0 | 8 | 8.5 | 0 | -103.3 |
| C-2-2 | 10 | 2 | 3.6 | 0 | -93.5 |
| C-2-4 | 10 | 4 | 5.0 | 0 | -105.8 |
| C-2-8 | 10 | 8 | 8.5 | 0 | -98.3 |
| C-3-2 | 20 | 2 | 3.6 | 0 | -100.3 |
| C-3-4 | 20 | 4 | 5.0 | 0 | -102.1 |
| C-3-8 | 20 | 8 | 8.5 | 0 | -106.4 |
| C-4-2 | 30 | 2 | 3.6 | 0 | -107.8 |
| C-4-4 | 30 | 4 | 5.0 | 0 | -100.2 |
| C-4-8 | 30 | 8 | 8.5 | 0 | -109.5 |
| C-5-2 | 40 | 2 | 3.6 | 0 | -106.4 |
| C-5-4 | 40 | 4 | 5.0 | 0 | -102.1 |
| C-5-8 | 40 | 8 | 8.5 | 0 | -107.3 |

図.3.3.1.5-(13)に 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図を示す。

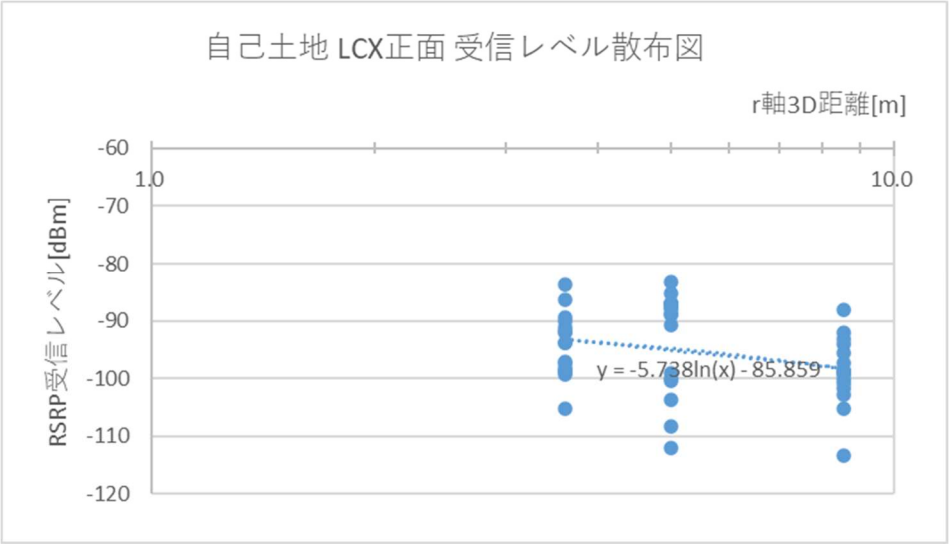



図.3.3.1.5-(13) :LCX 正面自己土地　受信レベル散布図

近似線を引くと、上記の式( $y-5.738\log_e(x) - 85.859$)で示され、

仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.1$　になる。

ただし、このグラフを見ると近似線に対して測定結果の分散が大きすぎるため、LCX 区間における各測定点の平均値をとってみた。

表.3.3.1.5-(4) :全 LCX 区間の測定結果の平均受信レベル

| 距離[m] | z=0 | z=10 | z=20 | z=30 | z=40 |
|---|---|---|---|---|---|
| r=2 | -91.7398 | -91.25993 | -91.0975 | -96.5368 | -96.5815 |
| r=4 | -92.293167 | -92.59157 | -94.7145667 | -90.4302333 | -91.5332 |
| r=8 | -95.3251 | -93.78793 | -98.1765667 | -101.1776 | -103.156 |

この結果を r 軸 3D 距離に対する受信レベルの散布図で表したものが図.3.3.1.5-(14)である。

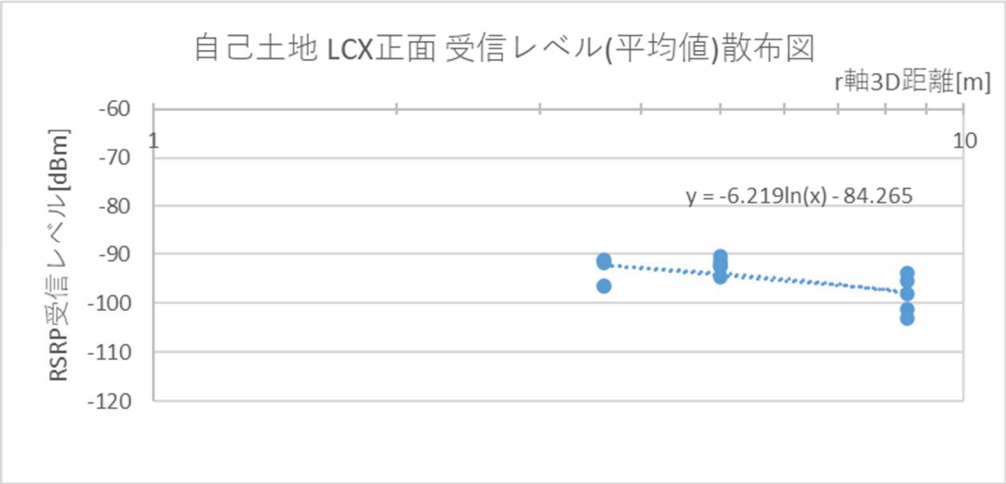



図.3.3.1.5-(14) :LCX 正面自己土地　受信レベル散布図

対数線を引き、仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.2$　になる。

他者土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(5) :LCX 正面　他者土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| P4 | 4.5 | 24.8 | 25.1 | 1 | *-117.8* |
| P5 | 12.2 | 23.7 | 23.8 | 0 | *-114.4* |
| P6 | 19.4 | 20.8 | 21.1 | 0 | *-110.9* |
| P7 | 29.1 | 19.2 | 19.4 | 1 | *-114.9* |
| P8 | 36.1 | 17.5 | 17.8 | 1 | *-122.7* |
| P9 | 48.3 | 15.2 | 15.5 | 1 | *-120.6* |
| P19 | 48.6 | 26.8 | 26.8 | 0 | *-123.2* |
| P20 | 46.0 | 33.1 | 33.1 | 0 | *-125.1* |
| P22 | 38.7 | 31.9 | 31.9 | 1 | *-118.6* |
| P23 | 29.6 | 26.9 | 27.0 | 1 | *-116.5* |
| P24 | 21.7 | 32.2 | 32.3 | 0 | *-105.9* |
| P25 | 19.1 | 26.8 | 26.8 | 0 | *-102.6* |
| P26 | 9.6 | 31.6 | 31.7 | 0 | *-114.1* |
| P30 | 0.0 | 38.5 | 38.5 | 1 | *-123.1* |
| P31 | 2.8 | 34.6 | 34.6 | 0 | *-114.5* |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| P32 | 2.8 | 41.1 | 41.1 | 0 | -117.5 |
| P33 | 2.8 | 48.2 | 48.2 | 0 | -119.5 |
| LCX1-3 | | | | | |
| P8 | 32.6 | 38.7 | 39.0 | 1 | -125.5 |
| P16 | 38.8 | 28.2 | 28.2 | 1 | -128.4 |
| P17 | 36.4 | 22.4 | 22.5 | 1 | -128.2 |
| P18 | 34.5 | 32.0 | 32.0 | 1 | -124.0 |
| P19 | 31.8 | 38.1 | 38.1 | 1 | -128.9 |
| P20 | 24.1 | 27.1 | 27.1 | 1 | -107.2 |
| P21 | 17.0 | 19.4 | 24.6 | 0 | -115.1 |
| P22 | 6.5 | 25.1 | 25.2 | 0 | -119.0 |
| P23 | 1.9 | 14.1 | 14.3 | 0 | -115.0 |
| LCX2-6 | | | | | |
| P4 | 0.1 | 25.3 | 26.1 | 1 | -111.4 |
| P5 | 5.1 | 27.8 | 28.4 | 1 | -108.2 |
| P6 | 16.7 | 22.2 | 22.4 | 1 | -108.7 |
| P7 | 24.9 | 26.8 | 27.1 | 1 | -106.4 |
| P8 | 32.0 | 26.5 | 27.2 | 1 | -114.3 |
| P9 | 36.1 | 33.2 | 33.9 | 1 | -122.2 |
| P13 | 2.9 | 13.2 | 14.4 | 0 | -108.6 |
| P14 | 3.9 | 9.4 | 11.0 | 0 | -104.5 |
| P15 | 7.3 | 0.4 | 3.0 | 0 | -84.3 |
| P16 | 16.9 | 10.7 | 11.2 | 0 | -107.0 |
| P17 | 19.8 | 12.8 | 13.3 | 0 | -111.2 |
| P18 | 27.3 | 27.4 | 28.0 | 0 | -110.8 |
| P19 | 30.4 | 35.4 | 35.9 | 0 | -117.7 |
| P20 | 38.8 | 46.5 | 46.8 | 0 | -109.5 |
| P32 | 33.7 | 16.4 | 17.5 | 0 | -110.0 |
| P40 | 6.9 | 13.2 | 13.8 | 0 | -112.2 |
| P41 | 10.7 | 27.5 | 27.6 | 0 | -114.4 |
| P42 | 14.3 | 35.8 | 35.9 | 0 | -126.2 |
| P43 | 17.7 | 44.0 | 44.0 | 0 | -118.6 |
| P44 | 23.3 | 54.5 | 54.5 | 0 | -123.9 |
| P45 | 26.4 | 63.7 | 63.8 | 0 | -127.8 |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| P49 | *2.9* | 38.5 | 38.9 | 0 | *-115.7* |

図.3.3.1.5-(15)に r 軸 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図を示す。

なお、建造物による減衰抵抗の影響を極力減らすために、LOS 環境の測定結果のみ分析に用いた。

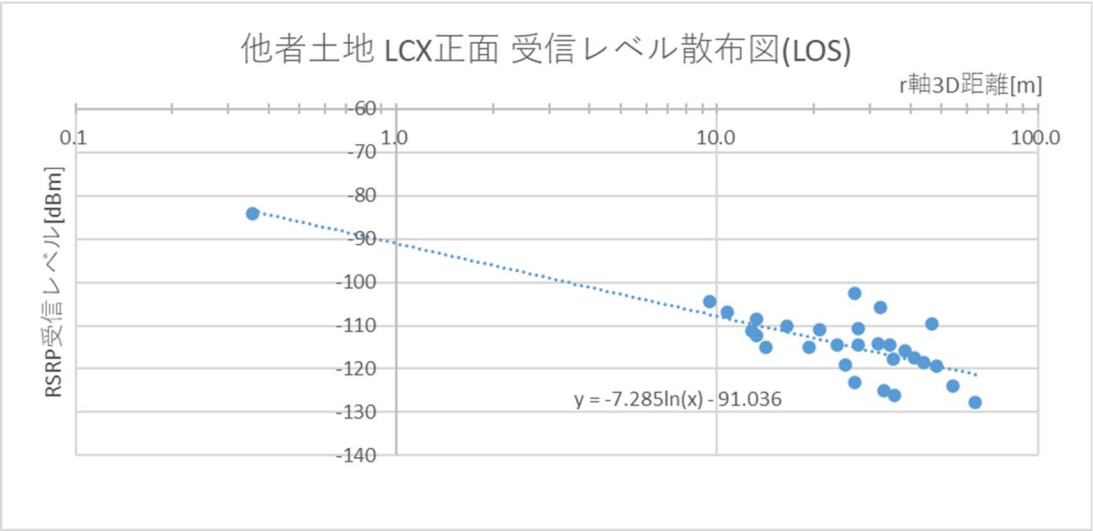



図.3.3.1.5-(15) :LCX 正面他者土地　受信レベル散布図

近似線から仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.2$　になる。

他者土地の測定結果を以下に示す。

<u>a-2 LCX 前方エリアの分析</u>

自己土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(6) :LCX 前方エリア 自己土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| F-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -106.1 |
| F-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -116.3 |
| F-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -104.6 |
| F-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -112.0 |
| F-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -114.8 |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| F-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -108.2 |
| F-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -116.5 |
| F-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -116.9 |
| F-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -120.8 |
| LCX1-3 | | | | | |
| F-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -117.8 |
| F-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -121.4 |
| F-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -116.4 |
| F-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -117.1 |
| F-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -118.0 |
| F-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -112.9 |
| F-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -110.7 |
| F-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -114.2 |
| F-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -118.3 |
| LCX2-6 | | | | | |
| F-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -110.9 |
| F-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -107.9 |
| F-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -111.6 |
| F-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -107.5 |
| F-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -107.3 |
| F-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -109.3 |
| F-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -123.8 |
| F-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -105.0 |
| F-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -116.3 |
| F-4-2 | 40 | 2 | 40.2 | 0 | -118.7 |
| F-4-4 | 40 | 4 | 40.3 | 0 | -117.9 |
| F-4-8 | 40 | 8 | 40.9 | 0 | -122.4 |
| F-5-2 | 50 | 2 | 50.1 | 0 | -114.4 |
| F-5-4 | 50 | 4 | 50.2 | 0 | -109.5 |
| F-5-8 | 50 | 8 | 50.7 | 0 | -110.9 |
| F-6-2 | 60 | 2 | 60.1 | 0 | -111.6 |
| F-6-4 | 60 | 4 | 60.2 | 0 | -110.7 |
| F-6-8 | 60 | 8 | 60.6 | 0 | -117.0 |

図.3.3.1.5-(16)に LCX 終点からの 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図を示す。

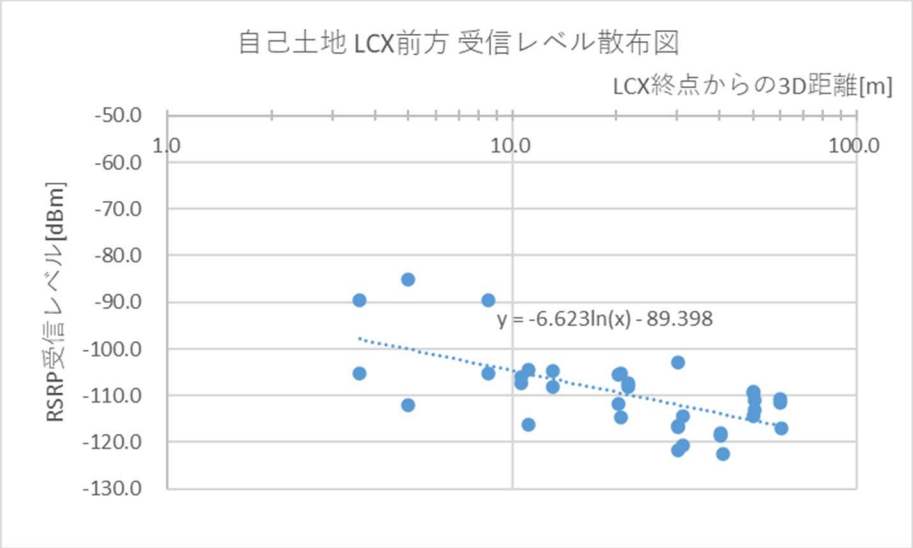



図.3.3.1.5-(16) :LCX 前方自己土地　受信レベル散布図

近似線から仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.2$　になる。

他者土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(7) :LCX 前方エリア　他者土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| P10 | 50 | 17.5 | 17.8 | 1 | -126.3 |
| P11 | 50 | 19.5 | 19.8 | 0 | -121.0 |
| P12 | 50 | 25.7 | 25.9 | 0 | -121.6 |
| P13 | 50 | 29.5 | 29.7 | 0 | -120.0 |
| P14 | 50 | 29.0 | 29.2 | 0 | -114.8 |
| P15 | 50 | 30.5 | 30.6 | 0 | -124.5 |
| P16 | 50 | 39.8 | 39.8 | 1 | -128.9 |
| P18 | 50 | 31.5 | 31.6 | 1 | -122.9 |
| P21 | 50 | 38.6 | 38.7 | 0 | -127.0 |
| LCX1-3 | | | | | |
| P11 | 40 | 35.2 | 35.5 | 1 | -125.9 |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| P12 | 40 | 38.7 | 39.0 | 0 | -128.1 |
| LCX2-6 | | | | | |
| P10 | 40 | 29.9 | 30.5 | 1 | -121.2 |
| P11 | 40 | 34.6 | 35.2 | 1 | -123.2 |
| P12 | 40 | 39.0 | 39.4 | 1 | -129.7 |
| P21 | 40 | 56.1 | 56.3 | 0 | -104.4 |
| P22 | 40 | 63.4 | 63.6 | 0 | -116.1 |
| P23 | 40 | 72.0 | 72.2 | 0 | -110.4 |
| P24 | 40 | 82.5 | 82.6 | 0 | -119.6 |
| P25 | 40 | 92.3 | 92.3 | 0 | -120.9 |
| P26 | 40 | 106.3 | 106.3 | 0 | -117.7 |
| P27 | 40 | 115.0 | 115.1 | 0 | -117.1 |
| P28 | 40 | 135.3 | 135.3 | 0 | -122.0 |
| P29 | 40 | 146.6 | 146.6 | 0 | -117.5 |
| P30 | 40 | 150.1 | 150.1 | 0 | -128.4 |
| P31 | 40 | 161.6 | 161.6 | 0 | -126.8 |
| P33 | 40 | 14.1 | 15.2 | 0 | -104.9 |
| P34 | 40 | 16.9 | 17.5 | 0 | -109.9 |
| P35 | 40 | 20.6 | 21.1 | 0 | -120.2 |
| P36 | 40 | 28.2 | 28.4 | 0 | -118.2 |
| P37 | 40 | 63.1 | 63.2 | 0 | -123.3 |
| P38 | 40 | 68.1 | 68.1 | 0 | -120.0 |

図.3.3.1.5-(17)に 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図を示す。

なお、建造物による減衰抵抗の影響を極力減らすために、LOS 環境の測定結果のみ用いた。

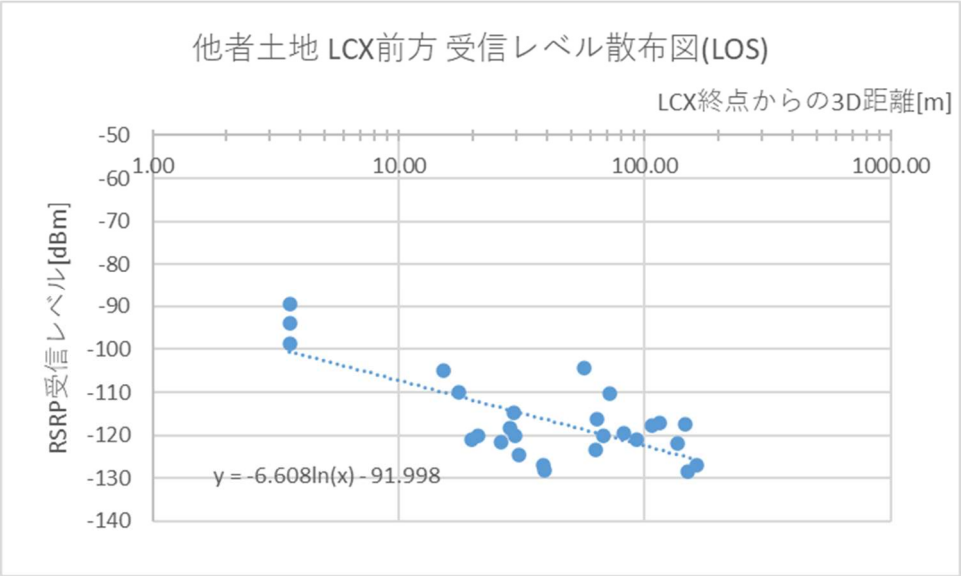



図.3.3.1.5-(17) :LCX 前方他者土地　受信レベル散布図

近似線から仮説式の傾き $10\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.2$　になる。

a-3 LCX 後方エリアの分析

自己土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(8) :LCX 後方エリア 自己土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| B-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -108.4 |
| B-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -108.9 |
| B-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -109.5 |
| B-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -111.7 |
| B-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -113.2 |
| B-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -110.5 |
| B-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -115.4 |
| B-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -118.3 |
| B-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -117.2 |
| LCX1-3 | | | | | |
| B-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -113.5 |
| B-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -103.8 |
| B-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -101.9 |
| B-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -113.0 |

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| B-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -109.3 |
| B-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -105.1 |
| B-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -118.1 |
| B-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -115.7 |
| B-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -114.2 |
| LCX2-6 | | | | | |
| B-1-2 | 10 | 2 | 10.6 | 0 | -108.6 |
| B-1-4 | 10 | 4 | 11.2 | 0 | -113.7 |
| B-1-8 | 10 | 8 | 13.2 | 0 | -104.3 |
| B-2-2 | 20 | 2 | 20.3 | 0 | -110.8 |
| B-2-4 | 20 | 4 | 20.6 | 0 | -110.7 |
| B-2-8 | 20 | 8 | 21.7 | 0 | -115.5 |
| B-3-2 | 30 | 2 | 30.2 | 0 | -120.8 |
| B-3-4 | 30 | 4 | 30.4 | 0 | -112.9 |
| B-3-8 | 30 | 8 | 31.2 | 0 | -115.3 |

図.3.3.1.5-(18)に LCX 始点からの 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図.を示す。

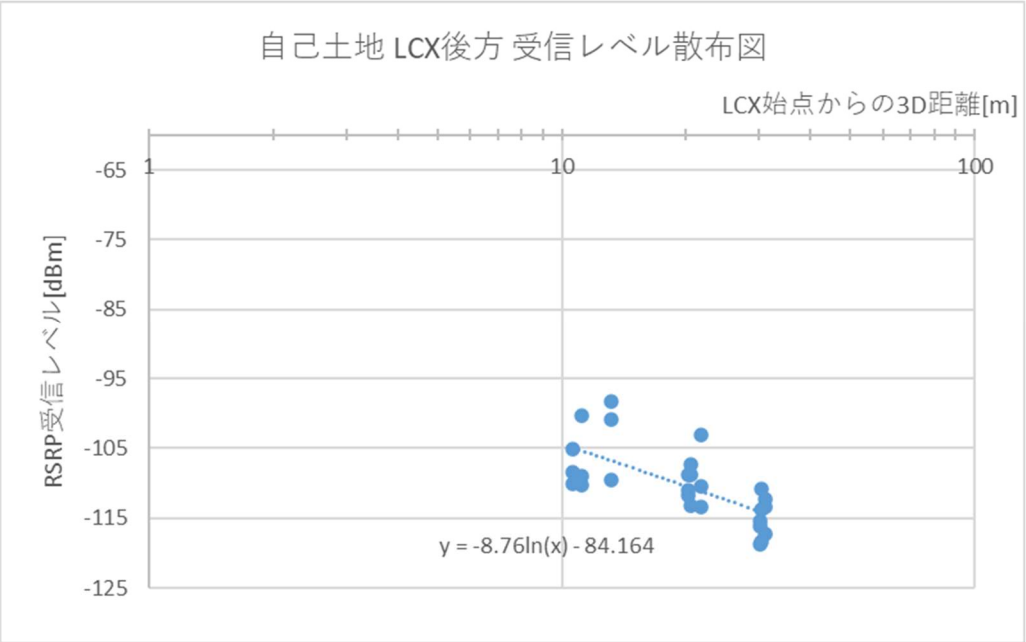



図.3.3.1.5-(18) :LCX 後方自己土地　受信レベル散布図

近似線から仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.3$　になる。

他者土地の測定結果を以下に示す。

表.3.3.1.5-(9) :LCX 後方エリア 他者土地の測定結果

| 測定点 ID | z 距離[m] | r 距離[m] | 3D 距離[m] | LOS(0)/ NLOS(1) | 受信レベル [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|
| LCX1-1 | | | | | |
| P1 | 0 | 51.0 | 51.1 | 1 | -127.5 |
| P2 | 0 | 29.7 | 29.9 | 1 | -121.1 |
| P3 | 0 | 27.1 | 27.2 | 1 | -115.3 |
| P27 | 0 | 26.4 | 26.5 | 1 | -122.2 |
| P28 | 0 | 31.6 | 31.6 | 1 | -120.8 |
| P29 | 0 | 30.2 | 30.2 | 1 | -127.6 |
| LCX1-3 | | | | | |
| P24 | 0 | 14.8 | 15.1 | 0 | -115.4 |
| P25 | 0 | 12.2 | 12.4 | 0 | -111.3 |
| P26 | 0 | 20.6 | 20.7 | 0 | -111.2 |
| P27 | 0 | 26.8 | 26.8 | 0 | -120.6 |
| P28 | 0 | 32.7 | 32.7 | 0 | -115.7 |
| P29 | 0 | 23.1 | 23.1 | 0 | -114.6 |
| P30 | 0 | 25.6 | 25.6 | 0 | -112.0 |
| P31 | 0 | 28.5 | 28.6 | 0 | -113.2 |
| P32 | 0 | 45.5 | 45.7 | 0 | -122.0 |
| LCX2-6 | | | | | |
| P1 | 0 | 38.7 | 39.2 | 1 | -123.6 |
| P2 | 0 | 31.4 | 32.0 | 1 | -120.3 |
| P3 | 0 | 20.1 | 21.0 | 1 | -110.9 |
| P47 | 0 | 14.0 | 15.2 | 0 | -113.9 |
| P48 | 0 | 22.7 | 23.0 | 0 | -115.5 |
| P50 | 0 | 52.0 | 52.4 | 0 | -123.7 |
| P51 | 0 | 58.4 | 58.8 | 0 | -125.7 |
| P52 | 0 | 71.8 | 72.1 | 0 | -123.5 |
| P53 | 0 | 77.7 | 78.0 | 0 | -129.7 |

図.3.3.1.5-(19)に LCX 始点からの 3D 距離と受信レベルの関係についての散布図を示す。なお、建造物による減衰抵抗の影響を極力減らすために、LOS 環境の測定結果のみ用いた。

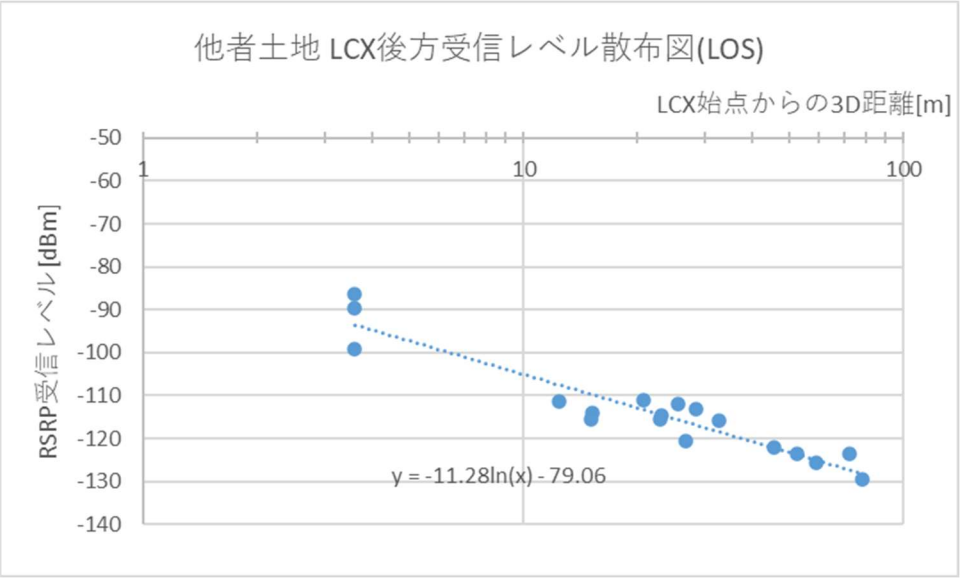



図.3.3.1.5-(19) :LCX 後方他者土地　受信レベル散布図

近似線から仮説式の傾き $10n\log_{10}(x)$に変換すると $n = 1.3$　になる。

各エリアで算出した減衰指数 n について表.3.3.1.5-(10)にまとめる。

表.3.3.1.5-(10) :減衰指数 n の仮説値と結果一覧

| エリア | 自己土地/他者土地 | n の仮説値 | 測定結果 |
|---|---|---|---|
| LCX 正面エリア | 自己土地 | 1～1.5 | 1.2 |
| | 他者土地 | 1.5～2 | 1.2 |
| LCX 前方エリア | 自己土地 | 1.5～2 | 1.2 |
| | 他者土地 | 2～2.5 | 1.2 |
| LCX 後方エリア | 自己土地 | 2～2.5 | 1.3 |
| | 他者土地 | 2.5～3 | 1.3 |

仮説では近傍距離(40m)を境にして急激な減衰傾向を示すとしていたが、他者土地の受信レベル散布図を見ると、40m を超えても一定の減衰率となっていることがわかる。

従って、仮説の式は近傍距離に関わらず適用可能と考える。

その減衰率であるが、想定した通り、減衰指数 n<1.5 の緩やかな減衰をしている。

後方は前方や正面に比べ減衰指数 n が大きくなる仮説通りではあるが、想定していたほど大きな差にはならなかった。

仮説を立てた時点では自己土地と他者土地での減衰指数に差が発生すると考えていたが、表に示す通り、同じ値となった。

これは、他者土地の減衰率を分析する際に、LOS 環境の測定結果のみ扱ったため、自己土地と他者土地の境界が無くなり、自己土地が延長された形になったものと推測される。

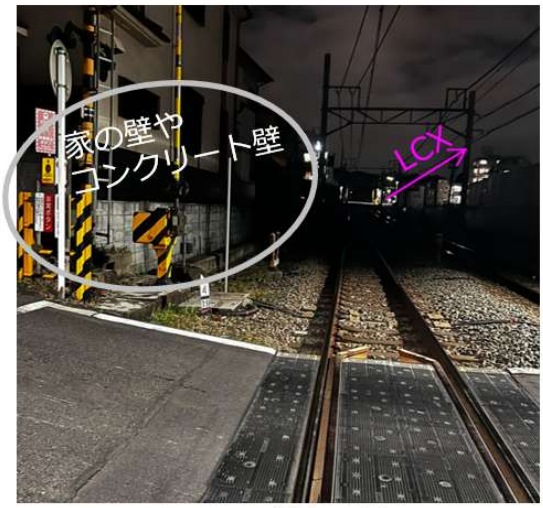
仮説時点では他者土地においては建物の影響を受けることを想定しての減衰指数の値であったが、NLOS 環境の測定結果を LOS 環境の測定結果と混在して分析すると、距離に対する受信レベルのばらつきが大きくなり、近似線が引けなくなってしまう。NLOS 環境の測定結果に一定の定数 R で受信レベルを補正することも考えたが、R の値の取り方で減衰指数の値にも影響するため、恣意的な要素を除外するため、LOS 環境の結果のみを精緻化の対象として扱うこととした。

また、前方は正面に比べて、減衰指数が大きくなると予想していたが、測定結果を見ると前方と正面ではほとんど違いがなかった。

これは前方エリアが想定よりも減衰していないためであり、想定より減衰していない理由としては、LCX の電波放射方向が進行方向に対して 30°であり、前方に対して電波が放射されたこと、更に LCX 放射先に建立している住宅やコンクリート壁によって、前方方向に対して電波が反射していることが考え

られる。

図.3.3.1.5-(20)に分析に用いた LCX1-1 および LCX2-6 の前方エリアの様子を示す。

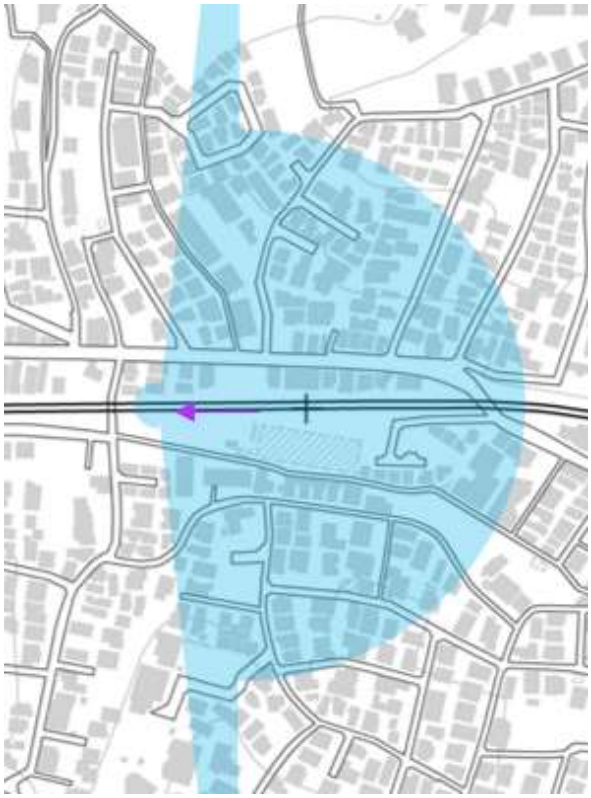



LCX1-1 前方エリア

LCX2-6 前方エリア

図.3.3.1.5-(20) :LCX 前方エリアの様子

実測で得られた n の値を仮説式に適用し、LCX1-1 のカバーエリアを図.3.3.1.5-(21)に示す。



引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(21) :仮説式によるカバーエリア図

上記試算時の仮説式と n 以外の固定パラメータ値は以下である。

仮説の式　$Pr = Pt - (az + Lc) - 10n \log_{10}(r/r0) + Gr - 8$

表.3.3.1.5-(11) :パラメーター覧

| パラメータ名 | パラメータ値 | 備考 |
|---|---|---|
| Pt | 9dBm | |
| a | 0.3 dB/m | メーカー公表値 |
| Lc | 61.0dB | Lf(1) + Ly(60) |
| r0 | 1.5m | メーカー公表値 |
| Gr | 1.65dBi | 測定器アンテナの値 |

仮説式によるカバーエリア図を見ると、全体的に広範囲に広がりすぎている。

これは減衰指数 n として、ほぼ 1 に近い値を適用し距離による減衰が緩やかになったためである。

測定結果から求めた n を適用して試算したカバーエリアが測定結果から乖離していることから、空中線に発射されるまでの減衰が大きいと考えらえるため、切片によるフィッティングを試みる。

当初 Lc は LCX 入力時点でのロスとして、Ly ＋ Lf と考え、メーカー公表値より 60dB+1dB=61dB を適用していた。
ところが、LCX の始点に最も近い測定点である自己土地内 C-0-2(z=0m, r=2m)の値を見ると、Lc=61 を代入した仮説式の試算値との間に差が生じている。

C-0-2 の実測値の平均値と試算結果との差を計算すると約 5.7 となっていることから、この値を Lc の切片 Lo=5.7 として、Lc ＝ Lf ＋ Ly ＋Lo の式で補正した。

次に LCX 正面エリアに着目すると、z 軸方向への減衰率(傾き)が測定結果よりも大きく見える。

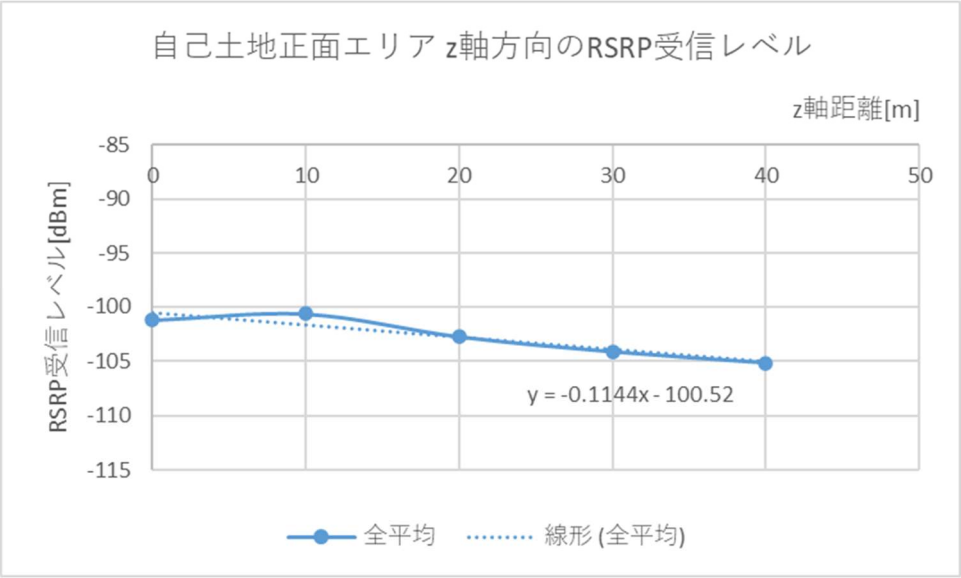



図.3.3.1.5-(22) :自己土地内 z 軸方向への減衰グラフ

図.3.3.1.5-(22)は LCX3 区間の全データにおいて、z 軸距離での平均値からグラフから近似線を引いたものである。

y ＝-0.11x の近似直線に対して値のばらつきがほとんど発生しておらず、z 軸距離に対して 1 次関数的な減衰を示している。つまり a=0.11dB/m で表すことができる。

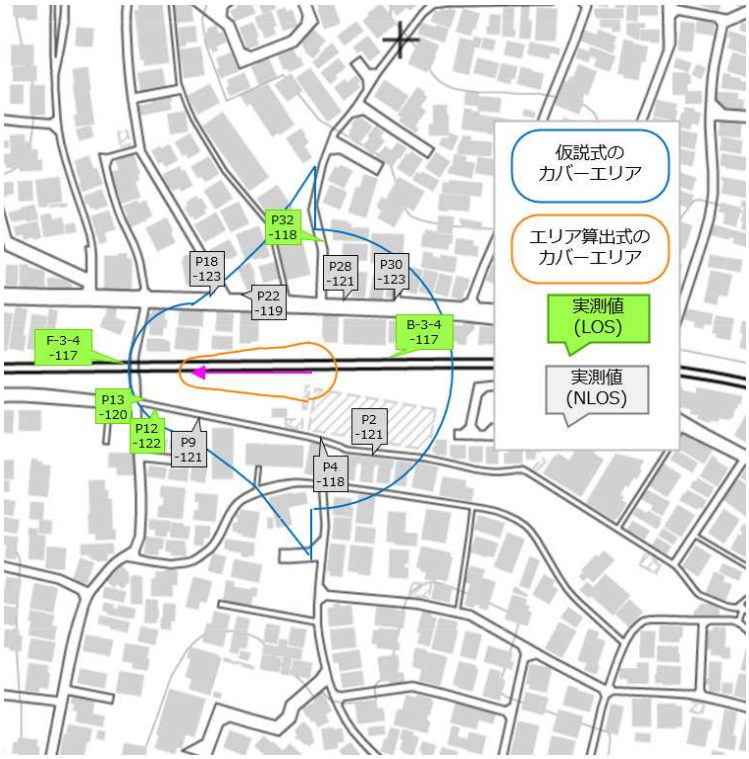
この値は空中線における受信電力の実測値から求めた値であり、LCX から z 軸方向前方 30°に放射され、かつ線路や線路脇建物から前方方向へ反射があることが影響し、z 軸方向における受信電力の減衰が緩やかになったと推測される。このため、伝送損のメーカー公表値である 0.3dB/m との乖離が発生したと考えられる。

以下の表にフィッティング前後のパラメータ値を整理する。

表.3.3.1.5-(12) :フィッティング前後のパラメーター覧

| パラメータ名 | 当初のパラメータ値 | 見直したパラメータ値 |
|---|---|---|
| Pt | 9dBm | ← |
| a | 0.3 dB/m | 0.11 dB/m |
| Lc | 61.0 dB<br>(Lf + Ly) | 66.7 dB<br>(Lf + Ly + Lo) |
| r0 | 1.5 m | ← |
| Gr | 1.65 dBi | ← |

フィッティング後のパラメータ値を用いて、仮説式にて LCX1-1、LCX1-3、 LCX2-6 のエリアカバー図を描いた結果が、それぞれ図.3.3.1.5-(23)、図.3.3.1.5-(24)、図.3.3.1.5-(25)である。これらカバーエリア図に対して、測定結果からカバーエリア端の値に近い測定点を抽出して図中にマッピングした。



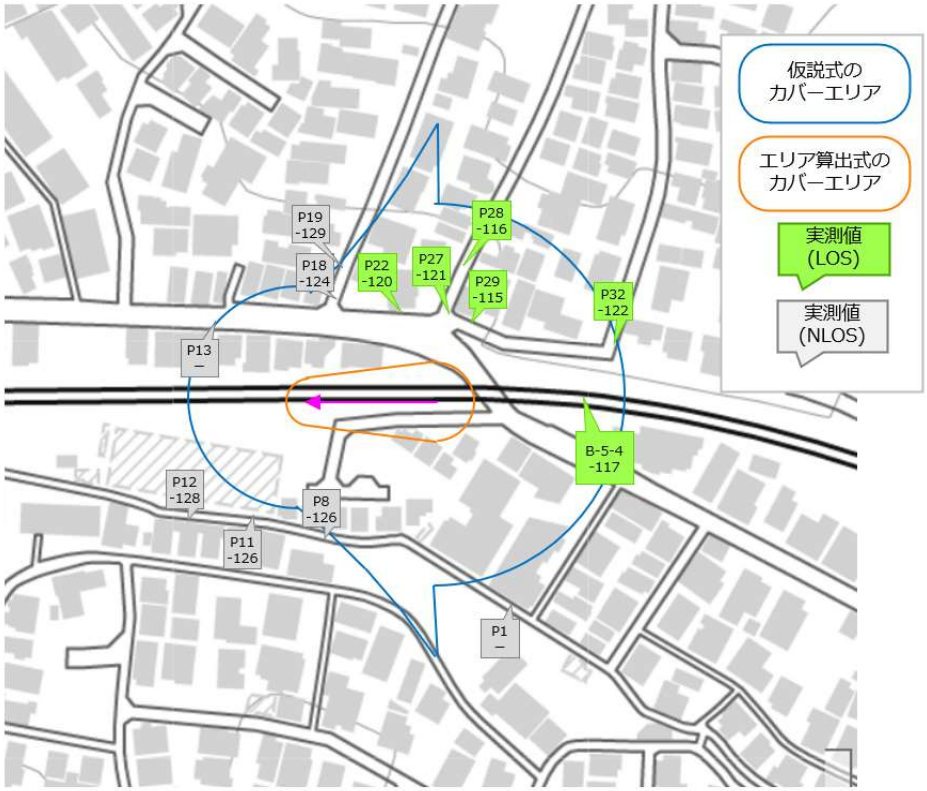

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(23) LCX1-1 :フィッティング後のエリアカバー図

NLOS 地点での測定結果は、建物の透過損により、試算よりも低い値が測定される。

このため、NLOS 地点での実測に伴うカバーエリア端は、透過損を考慮すると、現在の位置よりも外側に広がるため、精緻化した式のカバーエリアに更に近づくと考えられる。

LOS 地点での測定結果は、精緻化した式によるエリア図に近い値を示している。



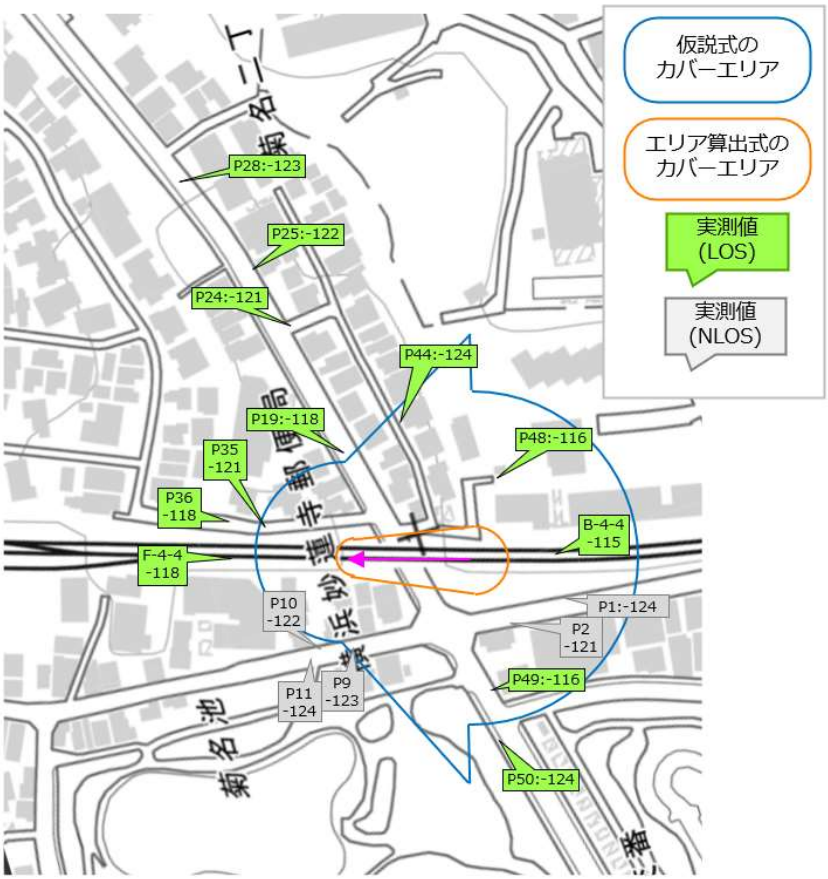

引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(24) :LCX1-3 フィッティング後のエリアカバー図

NLOS 地点での測定結果は、建物の透過損により、試算よりも低い値が測定される。

このため、NLOS 地点での実測に伴うカバーエリア端は、透過損を考慮すると、現在の位置よりも外側に広がるため、精緻化した式のカバーエリアに更に近づくと考えられる。

LCX 後方エリアは実測値よりも遠方まで放射される試算になっているが、精緻化前のエリア算出式より近い結果になっている。




引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(25) :LCX2-6 フィッティング後のエリアカバー図

P24，P25，P28 については、見通しの効く登坂の影響を受けて、精緻化した式によるカバーエリアよりも外側まで飛んでいる。

しかし、当初のエリア算出式と比較すれば精緻化後の式によるカバーエリア端の方が近くを示している。

総じて精緻化後のエリア算出式が当初のエリア算出式よりも実測に近いエリアを試算可能である。

### b. 自由が丘駅

◎自己土地での測定結果

自己土地における各測定地点での各 RU 単独送信時の受信電力、DAS 状態(全 RU 送信状態)での受信電力の測定結果を表.3.3.1.5-(13)に示す。

表.3.3.1.5-(13) :自己土地における各測定地点での受信電力測定結果

| 測定地点 | 測定値[dBm] | | | | 測定値から算出[dBm] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RU#1 単独 | RU#2 単独 | RU#3 単独 | DAS 状態 | RU 総和 | RU 最大値 | 最寄り RU |
| OMA-7-1-1 | -99.4 | -101.5 | -104.8 | -97.2 | -96.6 | -99.4 | -99.4 |
| OMA-7-2-1 | -88.8 | -101.1 | -109.3 | -90.5 | -88.5 | -88.8 | -88.8 |
| OMA-7-3-2 | -93.8 | -97.5 | -105.9 | -92.3 | -92.1 | -93.8 | -97.5 |
| OMA-7-4-3 | -102.2 | -92.3 | -107.1 | -91.4 | -91.7 | -92.3 | -92.3 |
| OMA-7-6-1 | -96.4 | -96.9 | -106.0 | -96.4 | -93.4 | -96.4 | -96.9 |
| OMA-7-7-1 | -112.7 | -106.1 | -94.0 | -91.0 | -93.7 | -94.0 | -94.0 |
| OME-7-1-1 | -96.8 | -109.1 | -117.4 | -96.2 | -96.5 | -96.8 | -96.8 |
| OME-7-2-2 | -85.0 | -109.3 | -115.2 | -84.0 | -85.0 | -85.0 | -85.0 |
| OME-7-3-2 | -96.3 | -99.2 | -112.9 | -95.5 | -94.4 | -96.3 | -99.2 |
| OME-7-4-4 | -112.3 | -90.5 | -110.5 | -92.4 | -90.4 | -90.5 | -90.5 |
| OME-7-6-1 | -115.2 | -95.0 | -99.4 | -92.7 | -93.6 | -95.0 | -95.0 |
| OME-7-7-3 | -109.8 | -100.2 | -94.6 | -97.2 | -93.4 | -94.6 | -94.6 |

◎自己土地での測定結果の分析

遮蔽物の影響を受けにくい LOS 環境が主体である自己土地にて、DAS 状態における電波伝搬特性の特徴についての分析を行う。

表.3.3.1.5-(14)は DAS 状態における各測定地点の受信電力と、RU 単体でのそれぞれの RU からの受信電力との関係性を分析したものである。「和」は各 RU からの受信電力の和を示し、「最寄り」は測定地点に物理的に最も近い RU からの受信電力を示し、「最大」は各 RU の単独発射時の受信電力のうち、最大であった受信電力を示す。

表.3.3.1.5-(14) :自己土地における DAS 状態の電波伝搬特性の分析表

| 測定地点 | DAS 状態受信電力[dBm] | 和[dBm] | 最寄り[dBm] | 最大[dBm] | 和との差[dB] | 最寄りとの差[dB] | 最大との差[dB] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OMA-7-1-1 | -97.2 | -96.6 | -99.4 | -99.4 | 0.6 | 2.2 | 2.2 |
| OMA-7-2-1 | -90.5 | -88.5 | -88.8 | -88.8 | 2.0 | 1.7 | 1.7 |
| OMA-7-3-2 | -92.3 | -92.1 | -97.5 | -93.8 | 0.2 | 5.2 | 1.5 |
| OMA-7-4-3 | -91.4 | -91.7 | -92.3 | -92.3 | 0.3 | 0.9 | 0.9 |

| 測定地点 | DAS 状態<br>受信電力<br>[dBm] | 和<br>[dBm] | 最寄り<br>[dBm] | 最大<br>[dBm] | 和との差<br>[dB] | 最寄りとの差<br>[dB] | 最大との差<br>[dB] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OMA-7-6-1 | -96.4 | -93.4 | -96.9 | -96.4 | 3.0 | 0.5 | 0.0 |
| OMA-7-7-1 | -91.0 | -93.7 | -94.0 | -94.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 |
| OME-7-1-1 | -96.2 | -96.5 | -96.8 | -96.8 | 0.3 | 0.6 | 0.6 |
| OME-7-2-2 | -84.0 | -85.0 | -85.0 | -85.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| OME-7-3-2 | -95.5 | -94.4 | -99.2 | -96.3 | 1.1 | 3.7 | 0.8 |
| OME-7-4-4 | -92.4 | -90.4 | -90.5 | -90.5 | 2.0 | 1.9 | 1.9 |
| OME-7-6-1 | -92.7 | -93.6 | -95.0 | -95.0 | 0.9 | 2.3 | 2.3 |
| OME-7-7-3 | -97.2 | -93.4 | -94.6 | -94.6 | 3.8 | 2.6 | 2.6 |

この表から下記 5 地点以外は RU 単独送信時の値の和が DAS 時に最も近い値となっている。

また、DAS と和との差、DAS と最寄りの差、DAS と最大の差、についてヒストグラムを作成して比較したものが図.3.3.1.5-(26)である。このヒストグラムからも和が DAS 時の近似値を与える傾向があると言える。

図.3.3.1.5-(26) :自己土地における DAS と和、最寄り、最大の各差分値の分布

DAS 時に最も近い値とはなっていない地点について下記①～③に詳細を分析するが、①、③の地点についても、RU 単独送信時の値の和による近似との差は 2dB 以内である。

①OMA-7-2-1、OME-7-4-4、OME-7-7-3 の 3 地点

単独時の最寄り＝最大値を与える RU の単独値が和より近いが、和との差は 2dB 以内である。

受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(27) に示す。RU 単独送信時に最大値を与える RU が NLOS および/または他の RU 単独時に比べて十分高いレベルに測定値の分布が見られる。DAS 時においても、この RU からの伝搬パスが支配的に受信されたものと考える。

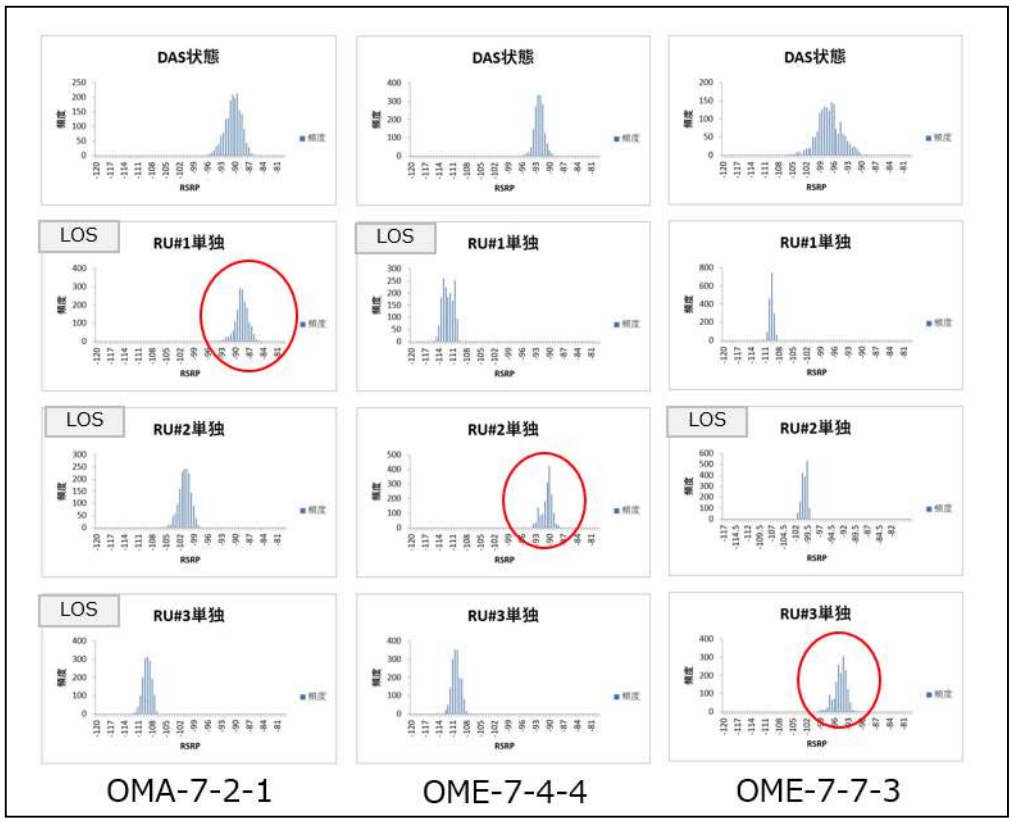



図.3.3.1.5-(27) :受信電力ヒストグラム

②OMA-7-6-1 の地点

RU 単独送信時に RU#1、RU#2 が拮抗しており、DAS 状態での受信電力はこれら RU 単独時の値に近い値となっている。

受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(28)に示す。拮抗している 2 つの RU のうち、最寄りの RU#2 のみが LOS であり、しかも RU#2 の単独送信時の受信電力が安定して高い値となっていることから、この RU#2 からの伝搬パスが支配的に受信されたものと考える。

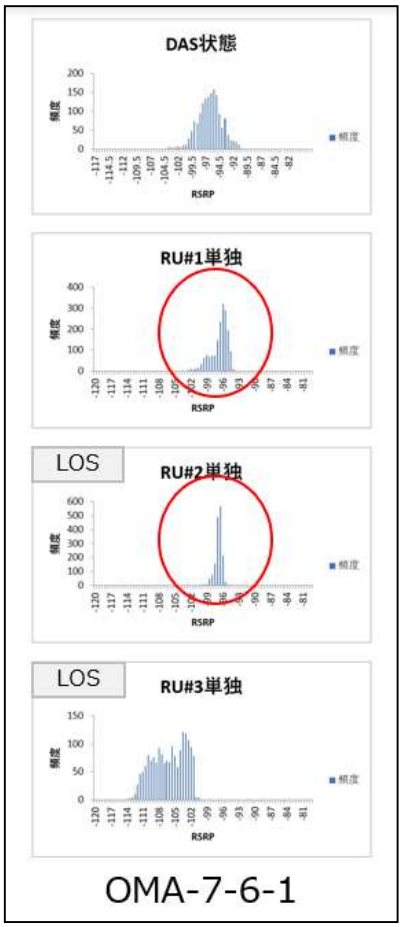



図.3.3.1.5-(28) :受信電力ヒストグラム

⑤ OME-7-3-2 の地点

最寄りではないが最大値を与える RU の単独値に近い値となっているが、和との差は 2dB 以内である。本地点における受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(29)に示す。最寄りで、かつ LOS である RU#2 単独時の受信電力は安定して高い値となっているが、単独時に LOS である RU#1 が更に高い値で受信されており、DAS 状態においては RU#1 からの伝搬パスが影響したものと考えられる。

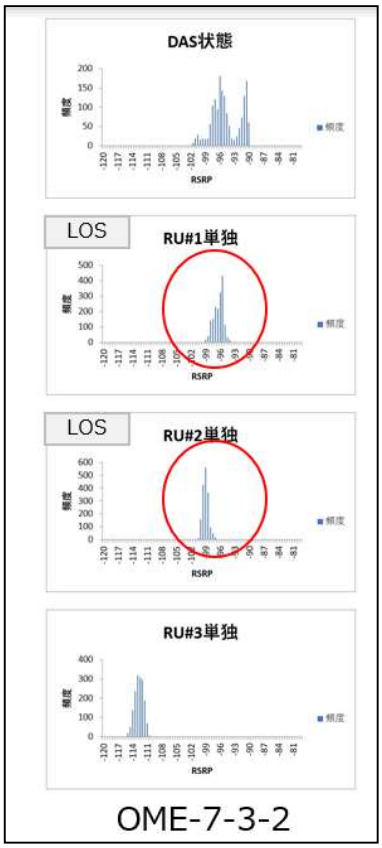



図.3.3.1.5-(29) :受信電力ヒストグラム

◎他者土地での測定結果

他者土地における各測定地点での各 RU 単独送信時の受信電力、DAS 状態(全 RU 送信状態)での受信電力の測定結果を表.3.3.1.5-(15)に示す。表中の「測定不可」は測定器の下限感度を下回り測定できなかったことを示す。

表.3.3.1.5-(15) :他者土地における各測定地点での受信電力測定結果

| 測定地点 | 測定値[dBm] | | | | 測定値から算出[dBm] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RU#1 単独 | RU#2 単独 | RU#3 単独 | DAS 状態 | RU 総和 | RU 最大値 | 最寄り RU |
| Pr1-A1 | -119.2 | -128.7 | 測定不可 | -120.2 | -118.7 | -119.2 | -119.2 |
| Pr1-A2 | -105.9 | -120.9 | -122.3 | -107.0 | -105.7 | -105.9 | -105.9 |
| Pr1-C2 | -104.9 | -117.6 | -120.8 | -104.3 | -104.6 | -104.9 | -104.9 |
| Pr2-C7 | -120.7 | -119.2 | -124.1 | -117.0 | -116.1 | -119.2 | -119.2 |
| Pr3-A6 | 測定不可 | -126.7 | -108.6 | -109.2 | -108.5 | -108.6 | -108.6 |
| Pr3-C6 | -130.0 | -126.8 | -102.1 | -103.8 | -102.1 | -102.1 | -102.1 |
| Pr1-A4※ | -131.0 | 測定不可 | 測定不可 | -127.3 | -131.0 | -131.0 | -131.0 |

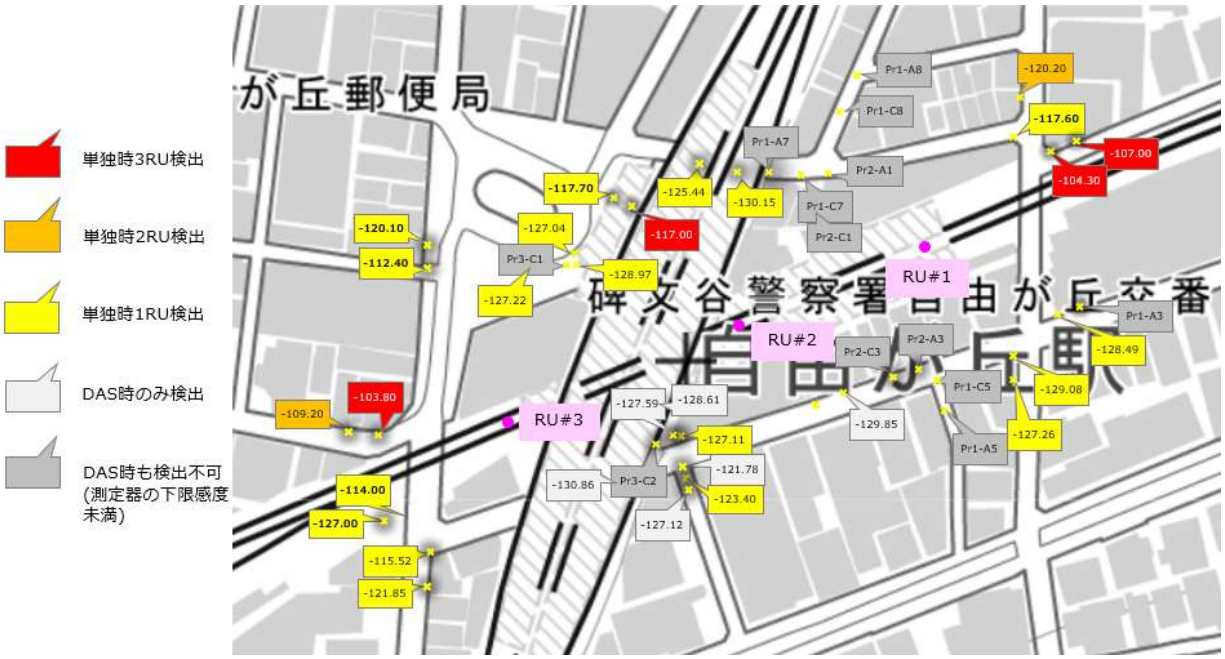
| 測定地点 | 測定値[dBm] | | | | 測定値から算出[dBm] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RU#1 単独 | RU#2 単独 | RU#3 単独 | DAS 状態 | RU 総和 | RU 最大値 | 最寄り RU |
| Pr1-C1 | -115.8 | 測定不可 | 測定不可 | -117.6 | -115.8 | -115.8 | -115.8 |
| Pr1-C3※ | -124.9 | 測定不可 | 測定不可 | -128.5 | -124.9 | -124.9 | -124.9 |
| Pr1-C4※ | -127.3 | 測定不可 | 測定不可 | -129.1 | -127.3 | -127.3 | -127.3 |
| Pr2-A6※ | -125.8 | 測定不可 | 測定不可 | -127.2 | -125.8 | -125.8 | 測定不可 |
| Pr2-A7 | 測定不可 | 測定不可 | -121.6 | -117.7 | -121.6 | -121.6 | 測定不可 |
| Pr2-A8※ | 測定不可 | 測定不可 | -121.5 | -125.4 | -121.5 | -121.5 | 測定不可 |
| Pr2-C6※ | -128.4 | 測定不可 | 測定不可 | -129.0 | -128.4 | -128.4 | 測定不可 |
| Pr2-C8※ | 測定不可 | 測定不可 | -125.8 | -130.2 | -125.8 | -125.8 | 測定不可 |
| Pr3-A1※ | -129.7 | 測定不可 | 測定不可 | -127.0 | -129.7 | -129.7 | 測定不可 |
| Pr3-A2※ | 測定不可 | -123.0 | 測定不可 | -127.1 | -123.0 | -123.0 | -123.0 |
| Pr3-A3※ | 測定不可 | -126.5 | 測定不可 | -123.4 | -126.5 | -126.5 | -126.5 |
| Pr3-A4※ | 測定不可 | 測定不可 | -114.1 | -121.9 | -114.1 | -114.1 | -114.1 |
| Pr3-A5 | 測定不可 | 測定不可 | -126.1 | -127.0 | -126.1 | -126.1 | -126.1 |
| Pr3-A7 | 測定不可 | 測定不可 | -118.5 | -120.1 | -118.5 | -118.5 | -118.5 |
| Pr3-C4※ | 測定不可 | 測定不可 | -116.4 | -115.5 | -116.4 | -116.4 | -116.4 |
| Pr3-C5 | 測定不可 | 測定不可 | -115.3 | -114.0 | -115.3 | -115.3 | -115.3 |
| Pr3-C7 | 測定不可 | 測定不可 | -110.9 | -112.4 | -110.9 | -110.9 | -110.9 |

上記表中の「※」を付した測定地点の結果は分析の対象外とする地点を示す。

当初の測定手順では、RU 状態を各 RU 単独、DAS 状態のそれぞれの状態で、全地点を移動して測定を行っていた。このためそれぞれの RU 状態において測定器位置の再現性が低く、分析したい受信電力差よりも、測定位置の差分による受信電力差の方が大きくなり、正確な分析が行えないことが判明した。そこで正確なデータ分析を行うために、測定器位置を変更せずに RU 状態を変更する手順に変えて、特徴の出やすい測定地点に絞って再測定を実施した。

◎他者土地での測定結果の分析

他者土地の DAS 状態での測定結果を地図にプロットした図を図.3.3.1.5-(30)に示す。この図では RU 単独送信時、DAS 時の各測定地点における RU 検出状況を色分けして表示した。RU 単独送信時に 3RU とも検出できた地点はホーム長手方向と正面口改札前付近の測定地点であり、多くの地点では RU 単独送信時には 1RU のみが検出されたことがわかる。これは大井町線ホームが屋根と繋がった壁面を有し、商業ビルなどの密集した建物が隣接していることにより自己土地境界の遮蔽度が高いためと考えられる。




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(30) :自由が丘駅他者土地 DAS 状態測定結果マップ

次に、他者土地の DAS 状態における受信電力についての分析を行う。

表.3.3.1.5-(16)は DAS 状態における各測定地点の受信電力と、RU 単体でのそれぞれの RU からの受信電力との関係性を記載したものである。「和」は各 RU からの受信電力の和を示し、「最寄り」は測定地点に物理的に最も近い RU からの受信電力を示し、「最大」は各 RU が単独発射時に測定地点で記録した最大受信電力を示す。

表中の測定不可は測定器の下限感度を下回り測定できなかった測定点である。

表.3.3.1.5-(16) :他者土地における DAS 状態の電波伝搬特性の分析表

| 測定地点 | 単独送信時検出 RU 数 | DAS 状態受信電力 [dBm] | 和 [dBm] | 最寄り [dBm] | 最大 [dBm] | 和との差 [dB] | 最寄りとの差 [dB] | 最大との差 [dB] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pr1-A1 | 2 | -120.2 | -118.7 | -119.2 | -119.2 | 1.5 | 1.0 | 1.0 |
| Pr1-A2 | 3 | -107.0 | -105.7 | -105.9 | -105.9 | 1.3 | 1.1 | 1.1 |
| Pr1-C2 | 3 | -104.3 | -104.6 | -104.9 | -104.9 | 0.3 | 0.6 | 0.6 |
| Pr2-C7 | 3 | -117.0 | -116.1 | -119.2 | -119.2 | 0.9 | 2.2 | 2.2 |
| Pr3-A6 | 2 | -109.2 | -108.5 | -108.6 | -108.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| Pr3-C6 | 3 | -103.8 | -102.1 | -102.1 | -102.1 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| Pr1-C1 | 1 | -117.6 | -115.8 | -115.8 | -115.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |

| 測定地点 | 単独送信時検出 RU 数 | DAS 状態受信電力 [dBm] | 和 [dBm] | 最寄り [dBm] | 最大 [dBm] | 和との差 [dB] | 最寄りとの差 [dB] | 最大との差 [dB] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pr2-A7 | 1 | -117.7 | -121.6 | 測定不可 | -121.6 | 3.9 | 算出不可 | 3.9 |
| Pr3-A5 | 1 | -127.0 | -126.1 | -126.1 | -126.1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| Pr3-A7 | 1 | -120.1 | -118.5 | -118.5 | -118.5 | 1.6 | 1.6 | 1.6 |
| Pr3-C5 | 1 | -114.0 | -115.3 | -115.3 | -115.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Pr3-C7 | 1 | -112.4 | -110.9 | -110.9 | -110.9 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

自己土地についての分析の結果、DAS 状態では各 RU 単独送信時の値の和で近似される傾向があると結論付けた。この結果を踏まえて他者土地の DAS 状態における電波伝搬特性の特徴について分析を実施する。

まず、RU 単独送信時に複数 RU が検出できた下記 6 地点について以下に考察する。

Pr1-A1、Pr1-A2、Pr1-C2、Pr2-C7、Pr3-A6、Pr3-C6

(ア) Pr1-A1、Pr1-A2、Pr3-A6、Pr3-C6 の 4 地点

RU 単独送信時に受信電力が最大であった RU と、測定地点から最寄りの RU とは同一であり(主 RU と後述)、その RU の単独送信時の受信電力が DAS 状態での受信電力に最も近い値となっている。これらの地点での受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(31)に示す。これらの地点はいずれも線路長手方向の開口部方向に位置する測定地点であり、Pr1-A1 を除き主 RU が LOS であり、受信電力分布でも主 RU が他の RU に比べて高い値となっている(図中、赤丸)。そのため、DAS 状態においてもこの主 RU からの伝搬パスが支配的に受信されたものと考えられる。

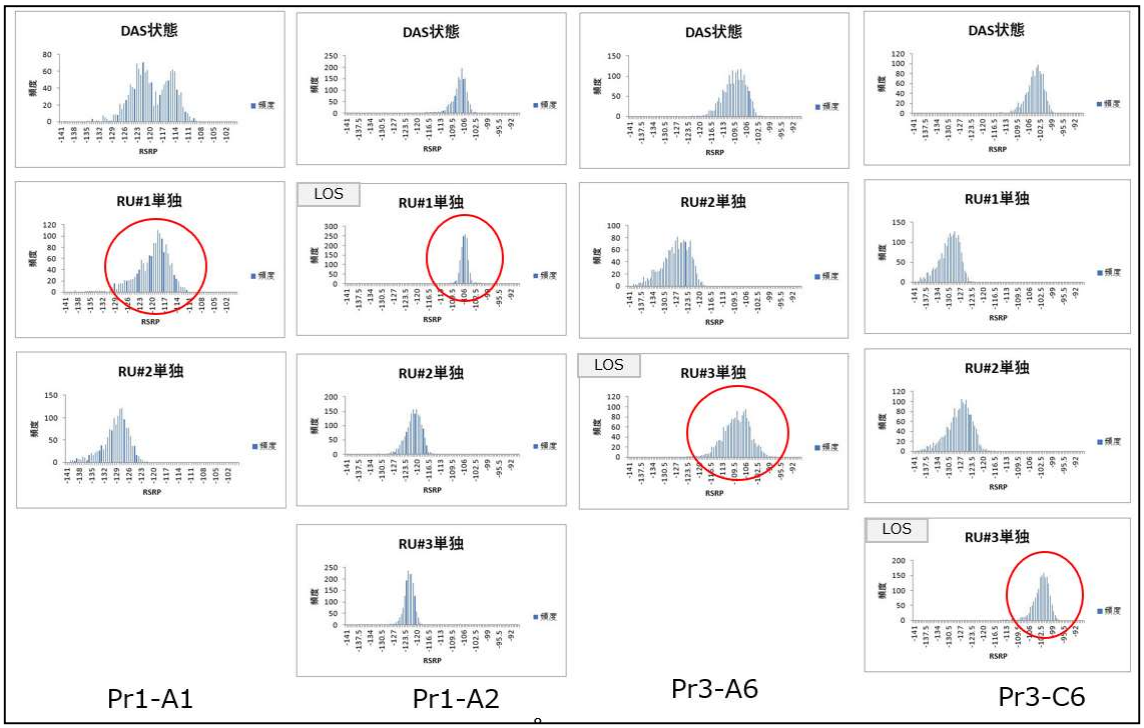



図.3.3.1.5-(31) :受信電力ヒストグラム

(イ) Pr1-C2

ホーム長手方向の開口部に位置する測定地点である。RU 単独送信時の受信電力の和が DAS 状態での受信電力に最も近い値となっているが、測定地点から最寄りの RU かつ受信電力が最大の RU(RU#1)との差はわずかである。この地点での受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(32)に示す。この地点では RU#1 が LOS となっており、受信電力分布でも他の RU に比べて高い値となっている(図中、赤丸)。そのため、DAS 状態においてもこの RU からの伝搬パスが支配的に受信されたものと考えられる。

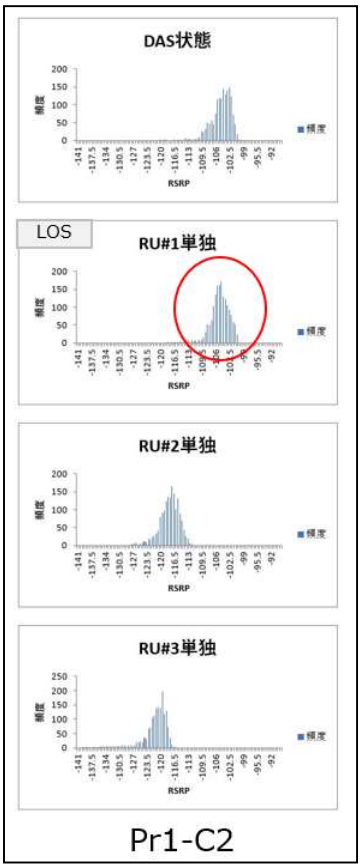



図.3.3.1.5-(32) :受信電力ヒストグラム

(ウ) Pr2-C7

RU 単独送信時の受信電力の和が DAS 状態での受信電力に最も近い値となっている。この地点での受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(33)に示す。RU#1 と RU#2 の分布において高い値に山が見られ、拮抗している(図中、赤丸)。この測定地点は駅正面口改札前に位置しており、改札口の開口部の奥に大井町線ホームが見える地点である。受信電力の高い RU#1 と RU#2 はいずれも測定地点からは LOS ではないものの、反射・回折による伝搬パスが大きな改札開口部を通って多く到達していることが考えられ、これら 2 つの RU 単独時の受信電力の和に近い値になったと考えられる。

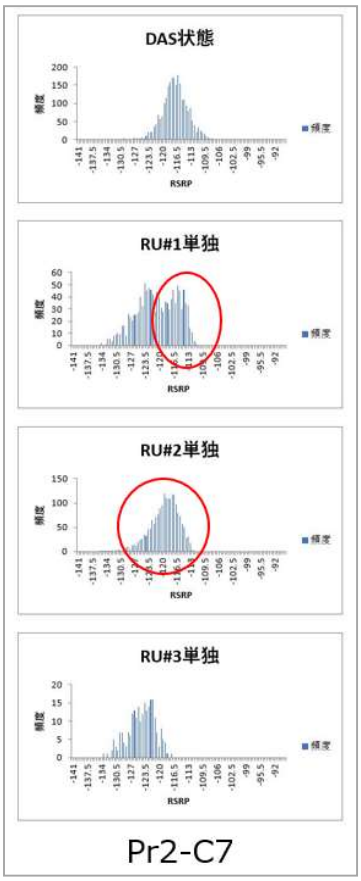



図.3.3.1.5-(33) :受信電力ヒストグラム

RU 単独送信時に複数 RU を検出した地点について、DAS と和との差、DAS と最寄りの差、DAS と最大の差、についてヒストグラムを作成して比較したものが図.3.3.1.5-(34)である。このヒストグラムから、自己土地ほど顕著ではないが、最寄りあるいは最大を与える RU の受信電力が DAS 時の近似値を与える傾向があると言える。

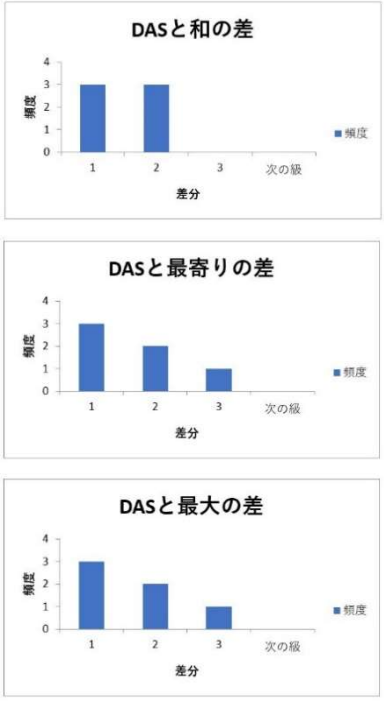



図.3.3.1.5-(34) :自己土地における DAS と和、最寄り、最大の各差分値の分布

次に、RU 単独送信時に 1RU のみ検出した地点について、単独送信時の受信電力と DAS 状態での受信電力の関係を考察する。

測定結果の表より、Pr2-A7 を除いて、単独送信時に最寄りの RU が検出された地点については DAS 状態での受信電力は最寄りの RU の単独送信時の受信電力に近い値となっており、複数 RU が検出された地点とあわせ、DAS 時の受信電力は最寄りの RU の受信電力が近似値を与える傾向があると言える。

Pr2-A7

この測定地点は駅改札の正面であり、改札口の開口部の奥に大井町線ホームが見える地点である。

単独送信時に検出された RU#3、DAS 状態の受信電力のヒストグラムを図.3.3.1.5-(35)に示す。この図によると単独送信時、DAS 状態のいずれも分布に広がりがあり、改札口の広い開口部における多くの伝搬パスと改札口を出入りする人の流れにより影響を受け、他の地点と異なり単独送信時と DAS 状態時での差分が大きい測定結果となったものと考える。

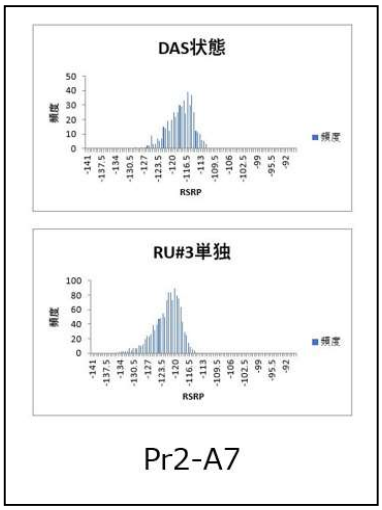



図.3.3.1.5-(35) :受信電力ヒストグラム

◎エリア作図方法

以上の分析結果から、DAS 状態における受信電力については以下のように総括する。

- 自己土地のような LOS 主体の環境：各 RU 単独時の和の受信レベル相当になる傾向が見られる
- 他者土地のような NLOS 環境：最寄りの RU 単独での受信レベル相当になる傾向が見られる

これを踏まえ、エリア作図方法としては下記とすることが妥当と考える。

「ホーム長手方向などの駅の構造上 LOS となる地点については各 RU 単独時の和の受信レベル相当としてプロットし、ホーム短手方向などの NLOS となる地点については最寄り位置の RU 単独での受信レベル相当としてプロットする」

## 2） 28GHz 帯システム

① カバーエリア内の菊名駅ホーム上のエリア評価

各測定地点の測定点位置及び測定結果を以下に示す。

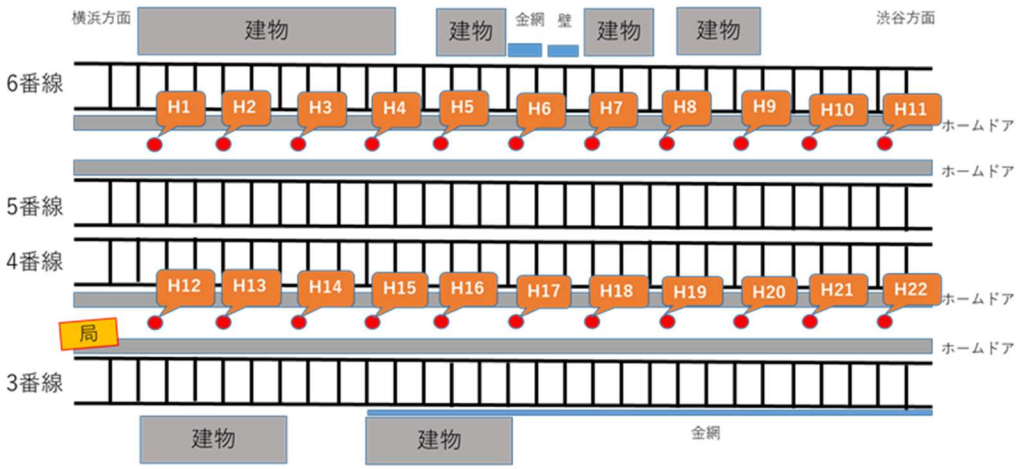



図.3.3.1.5-(36) :ホーム上のエリア評価測定点位置

表.3.3.1.5-(17) :ホーム上(車両留置無し)の SS-RSRP 測定結果

| 測定地点 | 基地局との距離 [m] | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | 20.4 | -84.65 | -95.65 | 5.14 | -88.78 | -101.86 |
| H2 | 34.7 | -78.01 | -80.56 | 4.7 | -80.25 | -92.11 |
| H3 | 53.5 | -78.39 | -84.75 | 7.11 | -84.44 | -85.19 |
| H4 | 72.1 | -83.98 | -87.97 | 2.14 | -86.76 | -91.44 |
| H5 | 91.8 | -79.59 | -86.68 | 6.6 | -82.15 | -93.28 |
| H6 | 109.7 | -84.71 | -85.92 | 4.42 | -85.06 | -95.74 |
| H7 | 130.6 | -80.07 | -106.53 | 2.23 | -104.22 | -110.21 |
| H8 | 149.1 | -78.0 | -110.66 | 2.9 | -105.67 | -113.81 |
| H9 | 168.7 | -76.11 | -110.86 | 2.85 | -105.82 | -113.86 |
| H10 | 189.0 | -75.12 | -110.59 | 2.67 | -105.63 | -112.36 |
| H11 | 204.8 | -74.56 | -110.12 | 2.77 | -107.48 | -114.49 |
| H12 | 14.8 | -51.91 | -74.08 | 5.27 | -63.29 | -80.3 |
| H13 | 32.0 | -56.02 | -69.72 | 5.31 | -69.47 | -81.53 |
| H14 | 53.8 | -60.07 | -82.13 | 3.58 | -81.89 | -89.16 |
| H15 | 71.9 | -63.38 | -82.53 | 3.56 | -80.89 | -89.65 |
| H16 | 92.3 | -65.54 | -83.54 | 2.22 | -82.91 | -84.89 |
| H17 | 113.6 | -67.35 | -86.84 | 3.33 | -83.21 | -91.34 |
| H18 | 132.2 | -68.66 | -82.23 | 3.75 | -81.92 | -90.94 |
| H19 | 153.0 | -71.30 | -84.97 | 5.61 | -74.43 | -90.05 |
| H20 | 170.9 | -72.26 | -72.29 | 2.37 | -72.12 | -75.04 |

| 測定地点 | 基地局との距離 [m] | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H21 | 192.8 | -73.31 | -84.32 | 3.6 | -83.13 | -91.25 |
| H22 | 211.5 | -74.11 | -86.18 | 1.04 | -85.73 | -86.88 |

表.3.3.1.5-(18) :ホーム上(車両留置無し)の SS-CINR 測定結果

| 測定地点 | SS-CINR 中央値 [dB] | SS-CINR σ | SS-CINR 上位 10%値 [dB] | SS-CINR 下位 10%値 [dB] |
|---|---|---|---|---|
| H1 | -4.61 | 11.12 | 18.84 | -11.81 |
| H2 | 21.12 | 12.86 | 22.07 | -11.1 |
| H3 | 20.13 | 6.09 | 21.15 | 18.86 |
| H4 | 18.53 | 6.39 | 20.1 | 15.94 |
| H5 | -0.96 | 13.71 | 20.65 | -10.22 |
| H6 | 20.0 | 13.88 | 20.76 | -10.52 |
| H7 | -7.18 | 3.58 | -3.92 | -11.78 |
| H8 | -7.91 | 4.38 | -3.88 | -13.16 |
| H9 | -6.88 | 4.13 | -3.14 | -11.8 |
| H10 | -7.75 | 3.55 | -4.15 | -12.43 |
| H11 | -2.69 | 6.06 | 7.86 | -9.75 |
| H12 | -7.38 | 11.42 | 21.3 | -17.0 |
| H13 | 21.78 | 14.46 | 22.62 | -11.32 |
| H14 | 20.56 | 10.64 | 21.35 | -6.87 |
| H15 | 20.6 | 10.54 | 21.36 | -6.44 |
| H16 | 20.67 | 6.96 | 21.44 | 19.63 |
| H17 | 3.98 | 11.99 | 21.89 | -5.49 |
| H18 | 20.2 | 12.99 | 20.94 | -9.21 |
| H19 | -7.74 | 12.92 | 21.06 | -13.21 |
| H20 | 20.62 | 8.1 | 21.22 | 6.31 |
| H21 | 20.22 | 10.27 | 21.17 | -5.24 |
| H22 | 20.01 | 2.83 | 21.47 | 18.43 |

上記測定点のうち H1-11 が基地局設置ホームの反対側ホームの測定点、H12-22 が基地局設置ホームの測定点となっているため、ホーム毎に分けて SS-RSRP の理論値と実測値を比較した。

基地局設置ホームの測定点の表及びグラフは以下の通り。

表.3.3.1.5-(19) :車両留置無し基地局設置側ホームの SS-RSRP 理論値との比較結果

| 測定地点 | H12 | H13 | H14 | H15 | H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SS　理論値<br>SS-RSRP[dBm] | -51.91 | -56.02 | -60.07 | -63.38 | -65.54 | -67.35 | -68.66 | -71.30 | -72.26 | -73.31 | -74.11 | - |
| ②<br>SS-RSRP[dBm] | -74.08 | -69.72 | -82.13 | -82.53 | -83.54 | -86.84 | -82.23 | -84.97 | -72.29 | -84.32 | -86.18 | -80.80 |
| 差分(②-①)[dB] | -22.17 | -13.70 | -22.06 | -19.15 | -18.00 | -19.49 | -13.57 | -13.67 | -0.03 | -11.01 | -12.07 | -14.99 |
| 実測値(中央値)<br>SS-CINR[dB] | -7.38 | 21.78 | 20.56 | 20.6 | 20.67 | 3.98 | 20.2 | -7.74 | 20.62 | 20.22 | 20.01 | 13.96 |

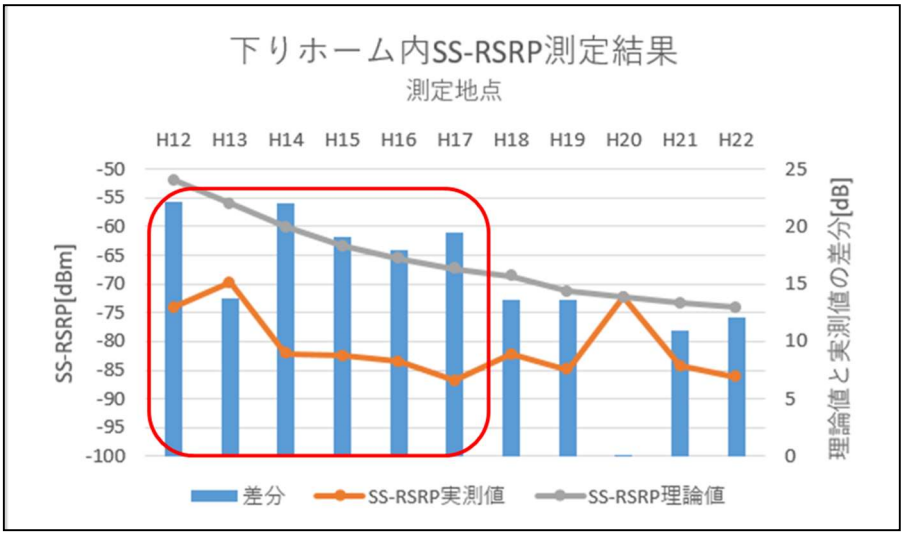



図.3.3.1.5-(37) :車両留置無し基地局設置側ホームの SS-RSRP 理論値との比較グラフ

一部地点を除き全体的に理論値との乖離が見られている。
これはホーム上の障害物(看板や柱等)の影響を理論値では考慮できていないことに起因しているが、特に赤枠で示した基地局の近傍(H12-17)で乖離が大きいことが確認できる。
この乖離が遮蔽物による影響か判断するため、H12 の測定点付近において遮蔽物の影響を受けない測定点が無いか確認を行った。
その結果、H12 の測定点より斜め後方に位置する H32 の測定点において下表の通り H12 の理論値に近い値が測定できることを確認した。

表.3.3.1.5-(20) :H32(理論値計測)測定結果

| 測定地点 | H12 | H32 |
|---|---|---|
| ①　理論値<br>SS-RSRP[dBm] | -51.91 | - |
| ②　実測値 | -74.08 | -55.57 |

| 測定地点 | H12 | H32 |
|---|---|---|
| SS-RSRP[dBm] | | |
| 差分(②-①)[dB] | -22.17 | -3.66 |

H32 の測定位置は以下の通り。赤枠が基地局設置位置である。

図.3.3.1.5-(38) :H32(理論値計測)測定位置

これは障害物の影響を回避できる測定地点(H32)においては理論値に近い受信電力を得られるが、少し位置が変わる(H12)だけで 20dB 近くのロスが発生しており、ミリ波の直進性が顕著に表れた結果であると判断した。

以下は基地局からホームを見た視点の写真である。

図.3.3.1.5-(39) :基地局からホームを見た視点

上図の写真より無線機正面に看板やモニターなど遮蔽物が存在していることが確認できる。
基地局近傍の理論値との乖離はこの遮蔽物により発生しているものと判断した。
今回基地局設置にあたり別の設置位置での検討も行っていたが、駅ホームにおいては様々な構造物が設置されていると共に、監視カメラの画角に映り込まないように設置が必要など様々な制約があり、基地局設置位置は限定されてしまった。
これは本実証場所の菊名駅に限らず鉄道駅に共通して発生する制約事項であり、駅ホームに設置されている構造物を避けて基地局を設置することは困難であるため、構造物による遮蔽や反射が発生しやすい環境であることは考慮する必要がある。

基地局設置の反対ホームの測定点の表及びグラフは以下の通り。

表.3.3.1.5-(21) :車両留置無し基地局設置反対ホームの SS-RSRP 理論値との比較結果

| 測定地点 | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 | H6 | H7 | H8 | H9 | H10 | H11 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SS 理論値 SS-RSRP[dBm] | -84.65 | -78.01 | -78.39 | -83.98 | -79.59 | -84.71 | -80.07 | -78.0 | -76.11 | -75.12 | -74.56 | - |
| ③ 実測値(中央値) SS-RSRP[dBm] | -95.65 | -80.56 | -84.75 | -87.97 | -86.68 | -85.92 | -106.53 | -110.66 | -110.86 | -110.59 | -110.12 | -97.30 |
| 差分(②-①)[dB] | -11.00 | -2.55 | -6.36 | -3.99 | -7.09 | -1.21 | -26.46 | -32.66 | -34.75 | -35.47 | -35.56 | -17.92 |
| 実測値(中央値) SS-CINR[dB] | -4.61 | 21.12 | 20.13 | 18.53 | -0.96 | 20.0 | -7.18 | -7.91 | -6.88 | -7.75 | -2.69 | 3.8 |

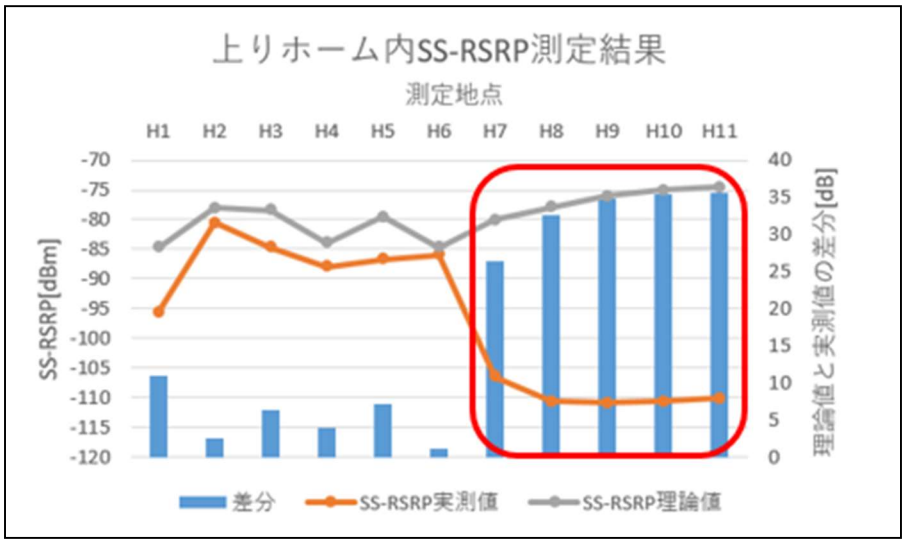
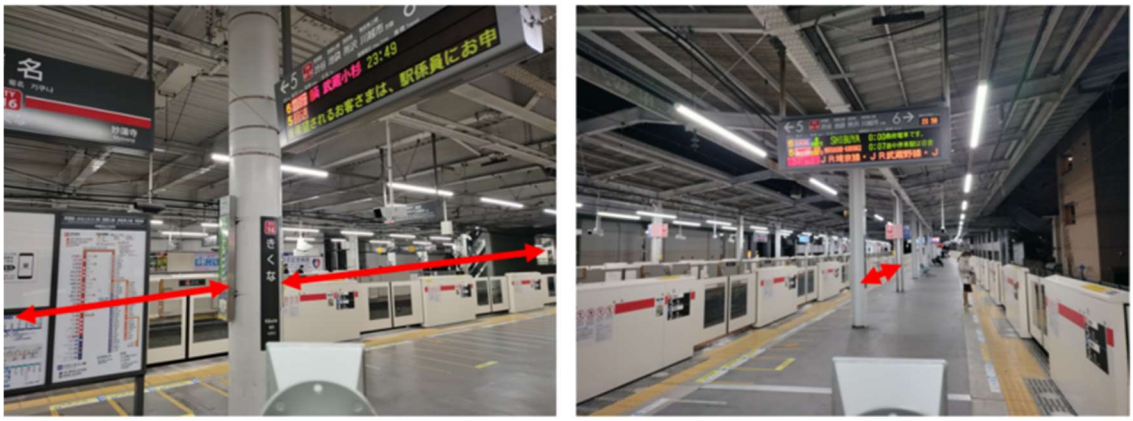



図.3.3.1.5-(40) :車両留置無し基地局設置反対ホームの SS-RSRP 理論値との比較グラフ

基地局近傍の測定地点(H2-H6)では理論値に近い値となっているが、基地局から一定以上離れた測定地点(H7-H11)では理論値との乖離が大きいことが確認できる。
これもホーム上の構造物による遮蔽影響が起因していると考えられる。
基地局近傍では理論値に近い値が確認された理由として、反対ホームの基地局近傍の測定地点では測定地点から見て基地局が柱などの構造物の間から見通しやすい環境にあるのに対し、基地局から離れた測定地点では測定地点が基地局の正面方向に近づくため、構造物間の離隔が取れなくなり、遮蔽影響を大きく受けることになると考えられる。
以下が H2 及び H7 から基地局方向を見た際の見通し写真である。
基地局から離れた測定地点になるにつれて、ホーム上の構造物(柱)の間隔が狭くなり、見通しが悪くなることがわかる。



H2測定位置からの見通し　　H7測定位置からの見通し

図.3.3.1.5-(41) :H2 及び H7 から基地局方向の見通し

菊名駅ホームはホーム途中に階段やエスカレーターなどの大規模構造物が無く、比較的ホームの端から反対側を見通しやすい構造であるが、今回のミリ波基地局 1 セル構成で、周辺他者土地

への漏洩を防止するために基地局を最低出力(19dBm)の設定ではホーム上の構造物の影響により基地局設置反対ホームの基地局から遠方では十分なエリアを構築することができなかった。ミリ波を用いて安定的なエリアを構築するためには遮蔽物の影響を極力排除することが必要であり、そのためには対策が必要なエリアに対して見通しの取れる設置場所に小電力の基地局(屋内用基地局など)を用いてスポットで対策をすることが望ましい。

③ 列車留置時にエリアへ与える影響評価
各測定地点の測定点位置及び測定結果を以下に示す。

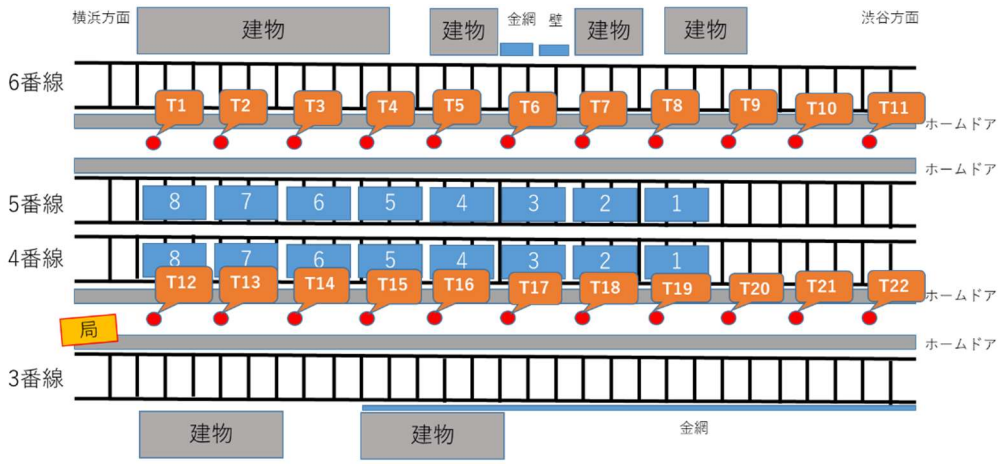



図.3.3.1.5-(42) :ホーム上のエリア評価測定点位置

各測定地点の結果を下表に示す。

表.3.3.1.5-(22) :ホーム上(車両留置あり)の SS-RSRP 測定結果

| 測定地点 | 基地局との距離 [m] | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 20.4 | -84.65 | -90.32 | 3.77 | -89.75 | -99.02 |
| T2 | 34.7 | -78.01 | -107.56 | 2.72 | -104.73 | -111.42 |
| T3 | 53.5 | -78.39 | -110.29 | 2.88 | -104.3 | -111.72 |
| T4 | 72.1 | -83.98 | -110.56 | 2.98 | -105.44 | -112.85 |
| T5 | 91.8 | -79.59 | -105.35 | 2.67 | -103.31 | -110.63 |
| T6 | 109.7 | -84.71 | -110.33 | 1.26 | -108.67 | -111.3 |
| T7 | 130.6 | -80.07 | -112.49 | 2.83 | -109.54 | -116.17 |
| T8 | 149.1 | -78.0 | -113.5 | 3.18 | -110.56 | -117.88 |
| T9 | 168.7 | -76.11 | -112.8 | 3.01 | -110.12 | -117.16 |
| T10 | 189.0 | -75.12 | -114.84 | 2.79 | -111.58 | -118.62 |
| T11 | 204.8 | -74.56 | -113.86 | 2.98 | -110.63 | -118.28 |
| T12 | 14.8 | -51.91 | -71.71 | 3.48 | -70.55 | -78.26 |
| T13 | 32.0 | -56.02 | -74.39 | 1.18 | -74.05 | -74.83 |

| 測定地点 | 基地局との距離 [m] | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T14 | 53.8 | -60.07 | -88.25 | 4.51 | -78.95 | -91.24 |
| T15 | 71.9 | -63.38 | -87.35 | 4.47 | -78.57 | -90.61 |
| T16 | 92.3 | -65.54 | -83.02 | 2.29 | -82.83 | -86.17 |
| T17 | 113.6 | -67.35 | -86.91 | 3.12 | -80.31 | -89.82 |
| T18 | 132.2 | -68.66 | -85.74 | 4.67 | -78.65 | -89.54 |
| T19 | 153.0 | -71.30 | -85.72 | 5.63 | -74.13 | -89.94 |
| T20 | 170.9 | -72.26 | -72.46 | 1.21 | -72.3 | -72.81 |
| T21 | 192.8 | -73.31 | -84.44 | 4.25 | -84.15 | -95.26 |
| T22 | 211.5 | -74.11 | -93.28 | 6.29 | -89.8 | -106.77 |

表.3.3.1.5-(23) :ホーム上(車両留置あり)の SS-CINR 測定結果

| 測定地点 | SS-CINR 中央値 [dB] | SS-CINR σ | SS-CINR 上位 10%値 [dB] | SS-CINR 下位 10%値 [dB] |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 17.04 | 11.17 | 19.18 | -7.23 |
| T2 | -10.21 | 4.31 | -4.4 | -17.04 |
| T3 | -4.74 | 3.48 | -0.96 | -9.37 |
| T4 | -7.81 | 5.1 | -0.9 | -12.1 |
| T5 | -6.84 | 2.51 | -3.99 | -10.08 |
| T6 | -2.16 | 3.55 | 1.23 | -4.18 |
| T7 | -3.75 | 3.47 | 0.31 | -8.76 |
| T8 | -5.07 | 4.67 | 0.44 | -10.6 |
| T9 | -9.61 | 4.86 | -3.67 | -13.42 |
| T10 | -2.01 | 4.52 | 4.48 | -8.38 |
| T11 | -5.17 | 4.6 | 1.78 | -10.6 |
| T12 | 20.97 | 10.47 | 21.74 | -6.74 |
| T13 | 20.73 | 3.59 | 21.45 | 20.12 |
| T14 | -9.19 | 11.34 | 21.09 | -12.31 |
| T15 | -7.64 | 12.91 | 21.56 | -10.8 |
| T16 | 20.67 | 7.95 | 21.36 | 4.58 |
| T17 | -5.12 | 10.16 | 20.34 | -9.05 |
| T18 | -9.99 | 9.89 | -1.63 | -13.26 |
| T19 | -9.78 | 13.01 | 21.26 | -13.43 |
| T20 | 21.23 | 4.19 | 21.9 | 20.47 |
| T21 | 20.07 | 11.61 | 20.76 | -9.21 |
| T22 | 3.7 | 12.24 | 18.86 | -9.66 |

上記測定点のうち T1-11 が基地局設置ホームの反対側ホームの測定点、T12-22 が基地局設置ホームの測定点となっているため、ホーム毎に分けて SS-RSRP の理論値と実測値を比較した。

基地局設置ホームの測定点の表及びグラフは以下の通り。

表.3.3.1.5-(24) :車両留置あり基地局設置側ホームの SS-RSRP 理論値との比較結果

| 測定地点 | T12 | T13 | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 | T22 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SS　理論値 SS-RSRP[dBm] | -51.91 | -56.02 | -60.07 | -63.38 | -65.54 | -67.35 | -68.66 | -71.30 | -72.26 | -73.31 | -74.11 | - |
| SS-RSRP[dBm] | -71.71 | -74.39 | -88.25 | -87.35 | -83.02 | -86.91 | -85.74 | -85.72 | -72.46 | -84.44 | -93.28 | -83.02 |
| 差分(②-①)[dB] | 19.80 | 18.37 | 28.18 | 23.97 | 17.48 | 19.56 | 17.08 | 14.42 | 0.2 | 11.13 | 19.17 | 17.21 |
| 実測値(中央値) SS-CINR[dB] | 20.97 | 20.73 | -9.19 | -7.64 | 20.67 | -5.12 | -9.99 | -9.78 | 21.23 | 20.07 | 3.7 | 5.97 |

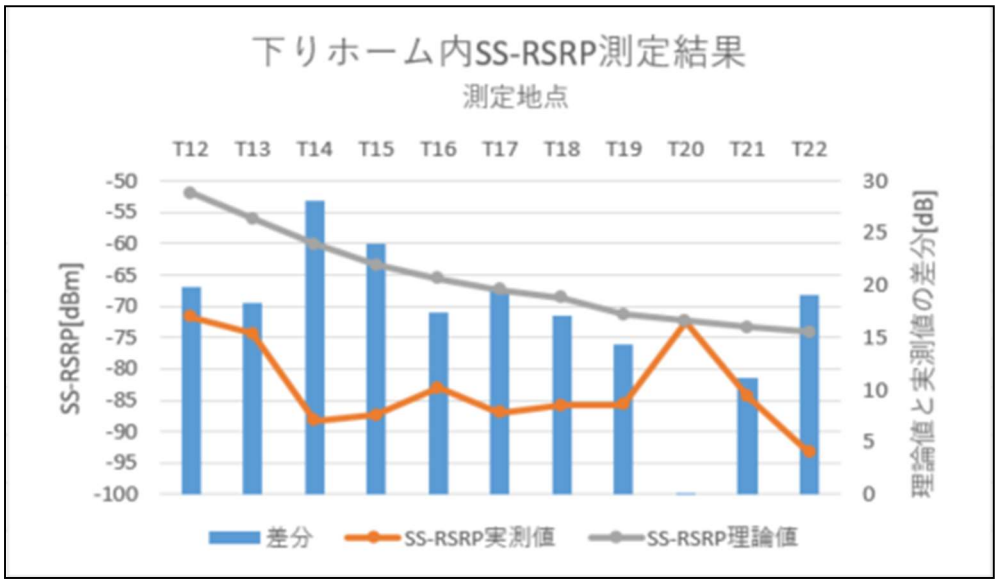



図.3.3.1.5-(43) :車両留置あり基地局設置側ホームの SS-RSRP 理論値との比較グラフ

一部地点を除き全体的に理論値との乖離が見られている。
これは列車無しの条件と同様の傾向である。
次に列車無しの状態とありの状態を比較した表を以下に示す。

表.3.3.1.5-(25) :基地局設置側ホームの車両有無による SS-RSRP の比較結果

| 測定地点 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ①列車無し SS-RSRP[dBm] | -74.08 | -69.72 | -82.13 | -82.53 | -83.54 | -86.84 | -82.23 | -84.97 | -72.29 | -84.32 | -86.18 | -80.80 |
| ②列車あり SS-RSRP[dBm] | -71.71 | -74.39 | -88.25 | -87.35 | -83.02 | -86.91 | -85.74 | -85.72 | -72.46 | -84.44 | -93.28 | -83.02 |
| 差分(①-②)[dB] | -2.37 | 4.67 | 6.12 | 4.82 | -0.52 | 0.07 | 3.51 | 0.75 | 0.17 | 0.12 | 7.10 | 2.22 |

地点毎に多少のばらつきはあるが、平均して 2.22dB の差となっていることから大きなエリアの

変動は無いことが確認できる。

次に基地局設置の反対ホームの測定点の表及びグラフは以下の通り。

表.3.3.1.5-(26) :車両留置あり基地局設置反対ホームの SS-RSRP 理論値との比較結果

| 測定地点 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ①理論値 SS-RSRP[dBm] | -84.65 | -78.01 | -78.39 | -83.98 | -79.59 | -84.71 | -80.07 | -78.0 | -76.11 | -75.12 | -74.56 | - |
| ②実測値(中央値) SS-RSRP[dBm] | -90.32 | -107.56 | -110.29 | -110.56 | -105.35 | -110.33 | -112.49 | -113.5 | -112.8 | -114.84 | -113.86 | -109.26 |
| 差分(②-①)[dB] | 5.67 | 29.55 | 31.90 | 26.58 | 25.76 | 25.62 | 32.42 | 35.50 | 36.69 | 39.72 | 39.30 | 29.88 |
| 実測値(中央値) SS-CINR[dB] | 17.04 | -10.21 | -4.74 | -7.81 | -6.84 | -2.16 | -3.75 | -5.07 | -9.61 | -2.01 | -5.17 | -3.67 |

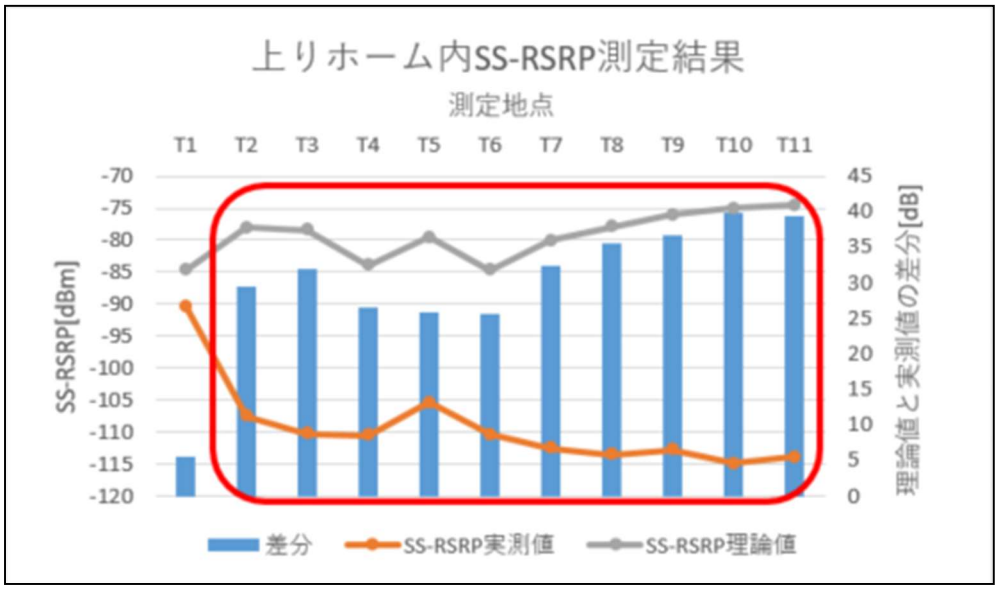



図.3.3.1.5-(44) :車両留置あり基地局設置反対ホームの SS-RSRP 理論値との比較グラフ

T1 を除き、列車の遮蔽による影響が大きく出ていることが確認できる。
T1 の測定地点は以下の通り留置された車両が完全に遮蔽にならないため大きな影響を受けていなかった。

図.3.3.1.5-(45) :車両留置あり T1 測定点

次に列車無しの状態とありの状態を比較した表を以下に示す。

表.3.3.1.5-(27) :基地局設置側ホームの車両有無による SS-RSRP の比較結果

| 測定地点 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SS　列車無し SS-RSRP[dBm] | -95.65 | -80.56 | -84.75 | -87.97 | -86.68 | -85.92 | -106.53 | -110.66 | -110.86 | -110.59 | -110.12 | -97.30 |
| ②列車あり SS-RSRP[dBm] | -90.32 | -107.56 | -110.29 | -110.56 | -105.35 | -110.33 | -112.49 | -113.5 | -112.8 | -114.84 | -113.86 | -109.26 |
| 差分(①-②)[dB] | -5.33 | 27.00 | 25.54 | 22.59 | 18.67 | 24.41 | 5.96 | 2.84 | 1.94 | 4.25 | 3.74 | 11.96 |

見通しの取れていた H2-H6 のポイントが列車の留置により大きく劣化していることが確認できる。
地点毎に異なるが最大で 27dB、平均でも 12dB 程度のロスが発生することが確認できた。
この結果からミリ波を用いた場合、基地局設置の反対ホームにおいてはそのホーム間の線路に留置された列車により受信電力低下、品質劣化という大きな影響を受けることが確認できた。

前述したホーム上の遮蔽物同様に基地局と測定器の間に列車による遮蔽が発生すると、エリアへ与える影響は大きいため、対策が必要なエリアに対して列車が遮蔽とならない位置に基地局を設置することが必要である。

④ 電波伝搬特性等の測定および電波伝搬モデルの精緻化(R パラメータ)

【周辺エリアの SS-RSRP 測定結果】

エリア算出法及び仮説エリア図のエリア端、干渉調整端を中心とした測定地点における SS-RSRP の測定結果を以下に記載する。

表.3.3.1.5-(28) :周辺エリアの SS-RSRP 測定結果

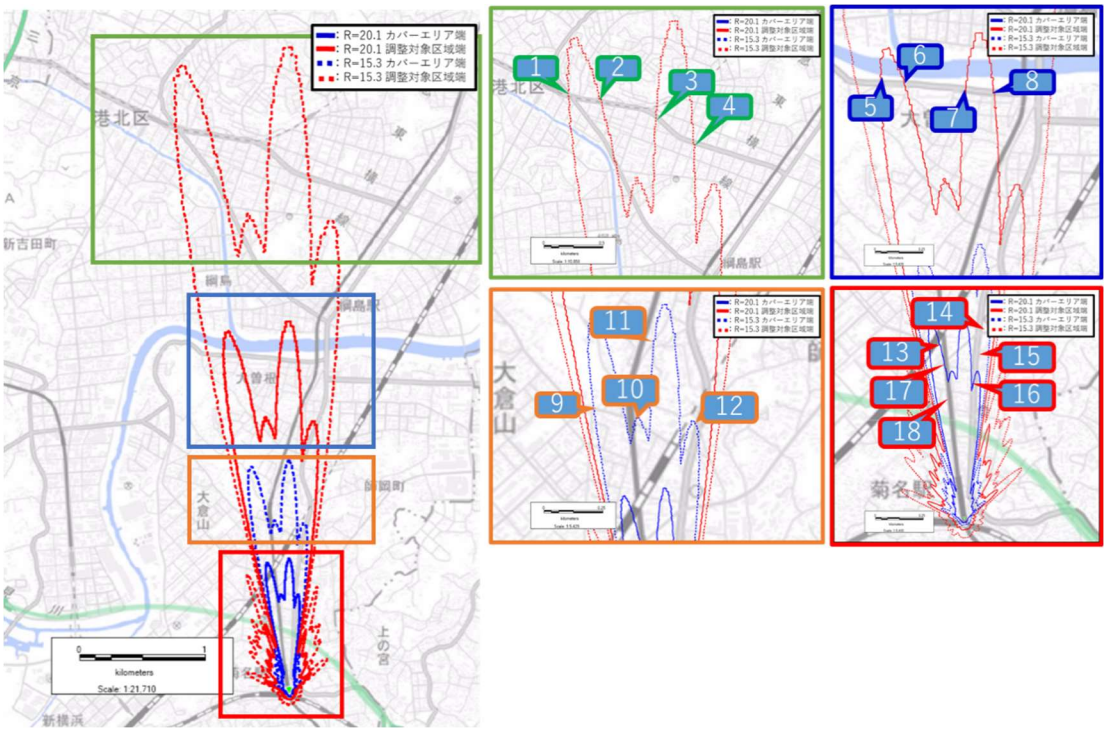
| 地点 No | 算出式のR値 | エリア端 or 干渉調整端 | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.3 | 干渉調整端 | -115.93 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 2 | 15.3 | 干渉調整端 | -114.77 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 3 | 15.3 | 干渉調整端 | -116.85 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 4 | 15.3 | 干渉調整端 | -115.62 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 5 | 20.1 | 干渉調整端 | -116.19 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 6 | 20.1 | 干渉調整端 | -116.49 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 7 | 20.1 | 干渉調整端 | -117.36 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 8 | 20.1 | 干渉調整端 | -115.85 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 9 | 15.3 | エリア端 | -105.71 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 10 | 15.3 | エリア端 | -107.69 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 11 | 15.3 | エリア端 | -107.63 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 12 | 15.3 | エリア端 | -106.17 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 13 | 20.1 | エリア端 | -109.93 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 14 | 20.1 | エリア端 | -110.06 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 15 | 20.1 | エリア端 | -108.56 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 16 | 20.1 | エリア端 | -107.37 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 17 | 15.3 | - | -103.47 | -116.11 | 3.27 | -113.07 | -120.88 |
| 18 | 15.3 | - | -100.17 | -114.41 | 3.14 | -110.99 | -118.99 |
| 19 | 20.1 | 干渉調整端 | -116.64 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 20 | 15.3 | - | -96.82 | -113.35 | 2.16 | -110.75 | -116.1 |
| 21 | 15.3 | - | -98.26 | -110.79 | 2.65 | -108.4 | -114.21 |
| 22 | 15.3 | - | -93.77 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 23 | 15.3 | - | -95.21 | -110.82 | 1.9 | -108.94 | -113.05 |
| 24 | 15.3 | エリア端 | -105.49 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 25 | 20.1 | エリア端 | -107.98 | -121.39 | 2.9 | -117.85 | -125.33 |
| 26 | 20.1 | エリア端 | -106.92 | -110.93 | 2.03 | -109.37 | -113.22 |
| 27 | 20.1 | エリア端 | -108.70 | -110.62 | 2.26 | -108.75 | -113.32 |
| 28 | 15.3 | - | -96.02 | -111.04 | 2.83 | -107.58 | -114.6 |
| 29 | 20.1 | エリア端 | -107.25 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 30 | 20.1 | エリア端 | -108.38 | -115.62 | 3.9 | -110.5 | -120.86 |
| 31 | 20.1 | エリア端 | -107.48 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 32 | 20.1 | 干渉調整端 | -117.78 | -115.89 | 3.03 | -111.6 | -119.53 |
| 33 | 15.3 | - | -93.81 | -111.03 | 2.02 | -109.28 | -113.7 |
| 34 | 15.3 | - | -90.61 | -85.05 | 0.6 | -84.87 | -85.27 |
| 35 | 15.3 | - | -90.96 | -113.62 | 3.35 | -110.19 | -118.62 |
| 36 | 15.3 | - | -90.80 | -110.36 | 1.49 | -108.49 | -111.5 |
| 37 | 15.3 | - | -91.26 | -107.22 | 3.01 | -103.79 | -111.22 |
| 38 | 15.3 | - | -88.58 | -110.67 | 2.44 | -107.87 | -113.54 |
| 39 | 15.3 | - | -85.60 | -112.29 | 2.55 | -110.23 | -115.93 |
| 40 | 15.3 | - | -78.86 | -84.52 | 0.3 | -87.24 | -88.04 |

| 地点 No | 算出式 のR値 | エリア端 or 干渉調整端 | 算出式による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 15.3 | - | -79.81 | -109.41 | 2.61 | -105.06 | -111.5 |
| 42 | 15.3 | エリア端 | -108.22 | -115.01 | 3.05 | -112.34 | -120.4 |
| 43 | 15.3 | - | -95.20 | -108.9 | 2.66 | -106.15 | -112.89 |
| 44 | 15.3 | - | -109.80 | -122.23 | 1.9 | -120.14 | -125.01 |

※1:エリアテスタの最低受信感度を下回り、測定値が確認不可であったため。

No.1-16 については現地で測定を実施するも受信不可であった。

その要因として、該当測定地点は基地局の最もアンテナゲインが高い方向にあるエリア算出図及び仮説図における干渉調整端及びエリア端であるが、その指向方向上には建物等遮蔽となる構造物が多く存在する。理論式を用いたシミュレーション上では該当の構造物による遮蔽影響が見込まれていないため、該当測定地点では基地局からの電波を受信することができなかった。




引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(46) :地点 No.1-16 基地局正面の干渉調整端及びエリア端

また全体を通して実測値は理論値を下回っていることが確認できる。

エリア算出法(R=20.1)及び仮説値(R=15.3)で実施したシミュレーション結果よりも実際のエリアは小さくなっており、この点からエリア算出法及び仮説値で用いた R 値よりも高い R 値となっていると想定した。

【実際のエリア端及び干渉調整区域端の確認】

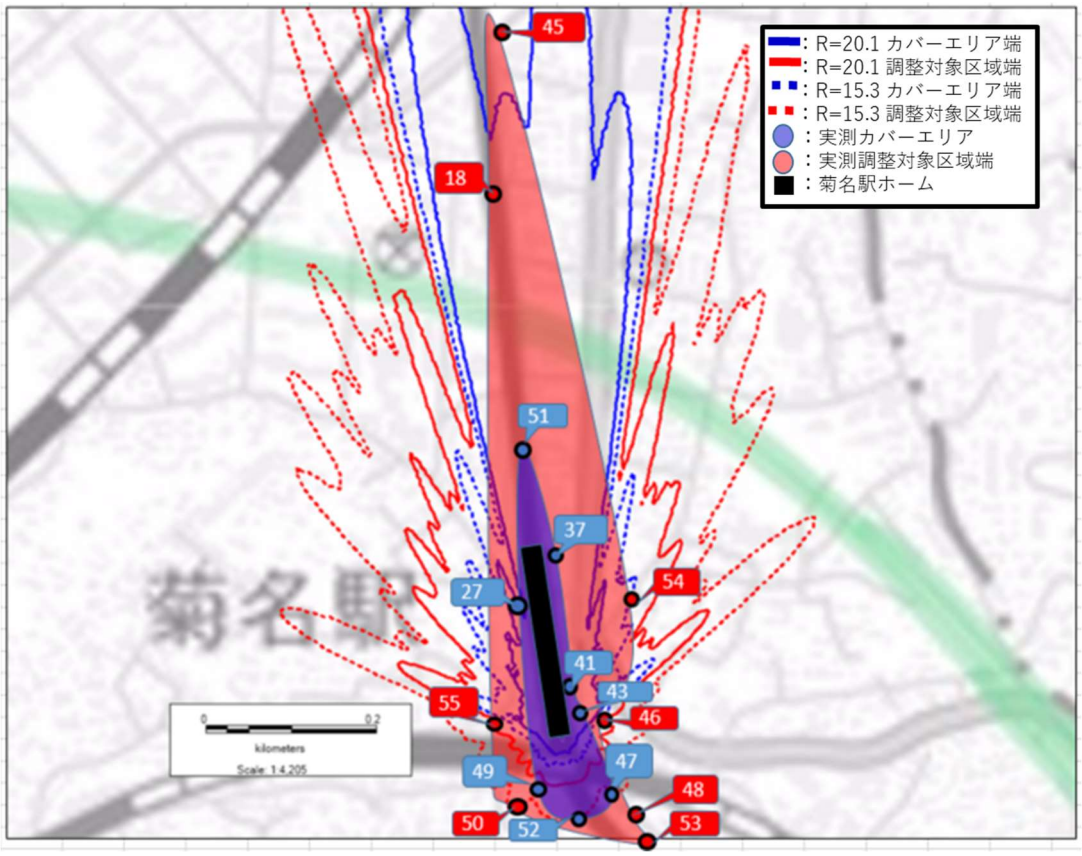
次にエリア端及び干渉調整区域端が実際に測定された地点を下表に整理し、その測定地点を地図上にプロットした。

表.3.3.1.5-(29) :エリア端実測地点リスト

| 地点 No | 基地局からの水平距離[m] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 208.8 | -107.22 | 3.01 | -103.79 | -111.22 | 東側線路沿い道路 |
| 41 | 61.8 | -109.41 | 2.61 | -105.06 | -111.5 | 北東方面道路 |
| 43 | 33.2 | -108.9 | 2.66 | -106.15 | -112.89 | 東方面道路 |
| 47 | 75.7 | -110.45 | 2.2 | -106.44 | -111.73 | 南東方面道路 |
| 49 | 73.6 | -110.32 | 2.32 | -105.78 | -111.65 | 南西方面道路 |
| 51 | 322.4 | -107.87 | 3.26 | -103.17 | -111.16 | 北方面線路 |
| 52 | 137.4 | -109.84 | 2.52 | -105.09 | -111.51 | 南方面線路 |
| 27 | 136.1 | -110.62 | 2.26 | -108.75 | -113.32 | 西側線路沿い道路 |

表.3.3.1.5-(30) :干渉調整端実測地点リスト

| 地点 No | 基地局からの水平距離[m] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 798.0 | -117.42 | 2.1 | -114.61 | -119.92 | 東側線路沿い道路 |
| 54 | 208.3 | -117.47 | 2.61 | -114.38 | -120.95 | 北東方面道路 |
| 46 | 53.9 | -115.64 | 3.1 | -112.77 | -120.59 | 東方面道路 |
| 48 | 125.6 | -118.84 | 1.61 | -116.95 | -120.88 | 南東方面道路 |
| 50 | 113.1 | -119.42 | 1.72 | -117.73 | -121.67 | 南西方面道路 |
| 18 | 610.6 | -114.41 | 3.14 | -110.99 | -118.99 | 北方面線路 |
| 53 | 241.4 | -116.5 | 3.29 | -113.88 | -122.18 | 南方面線路 |
| 32 | 75.4 | -115.89 | 3.03 | -111.6 | -119.53 | 西側線路沿い道路 |



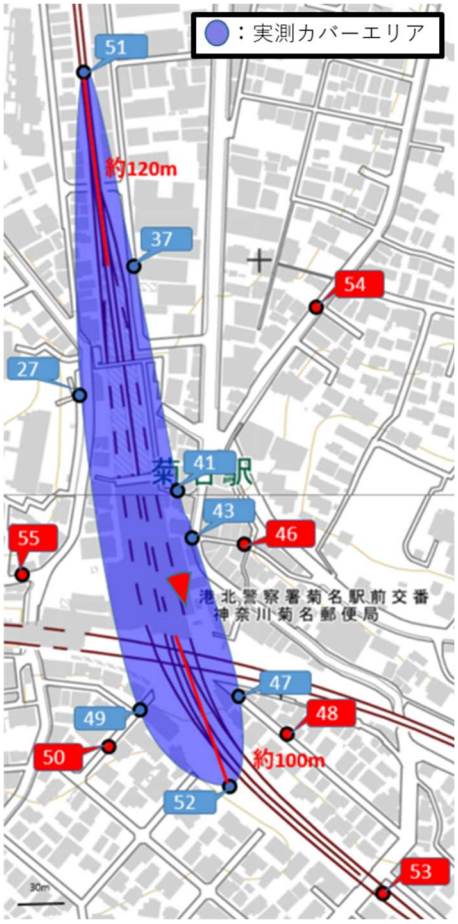

引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(47) :エリア端・干渉調整端実測地点位置

エリア端、干渉調整端の共通の特徴として、エリア算出法(R=20.1)、仮説値(R=15.3)を用いたシミュレーション結果と比較して、電波の飛来が抑えられていることが確認できる。

これはシミュレーションの結果が周辺の建物の遮蔽を考慮できていない点とホーム上の遮蔽物によるロス値を考慮できていなかった点が原因である。

次にエリア端部分を拡大したエリア図を以下に示す。




引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(48) :エリア端実測地点位置(拡大)

駅ホームの短手方向については、ホーム脇の道路上でエリア端が観測されており、周辺他者土地への飛来は狙い通り抑制されている。また駅ホームの長手方向(線路方向)については、駅ホーム外への飛来は生じるが、無線機の正面で約 120m、無線機の背面で約 100m に抑えられており、概ね自己土地(線路)内に収まっており、線状のエリア構築を実現できている。

基地局の正面方向(渋谷方面)はアンテナゲインが大きい方向であるため、ある程度飛来することは想定していたが、基地局の背面方向(横浜方面)にも飛来している。

これは基地局付近でホーム上の遮蔽物で反射した電波が基地局後方に飛来したものであり、実際に背面方向で測定された電波のビーム ID は基地局正面方向に放射されているビーム ID であることが確認できている。

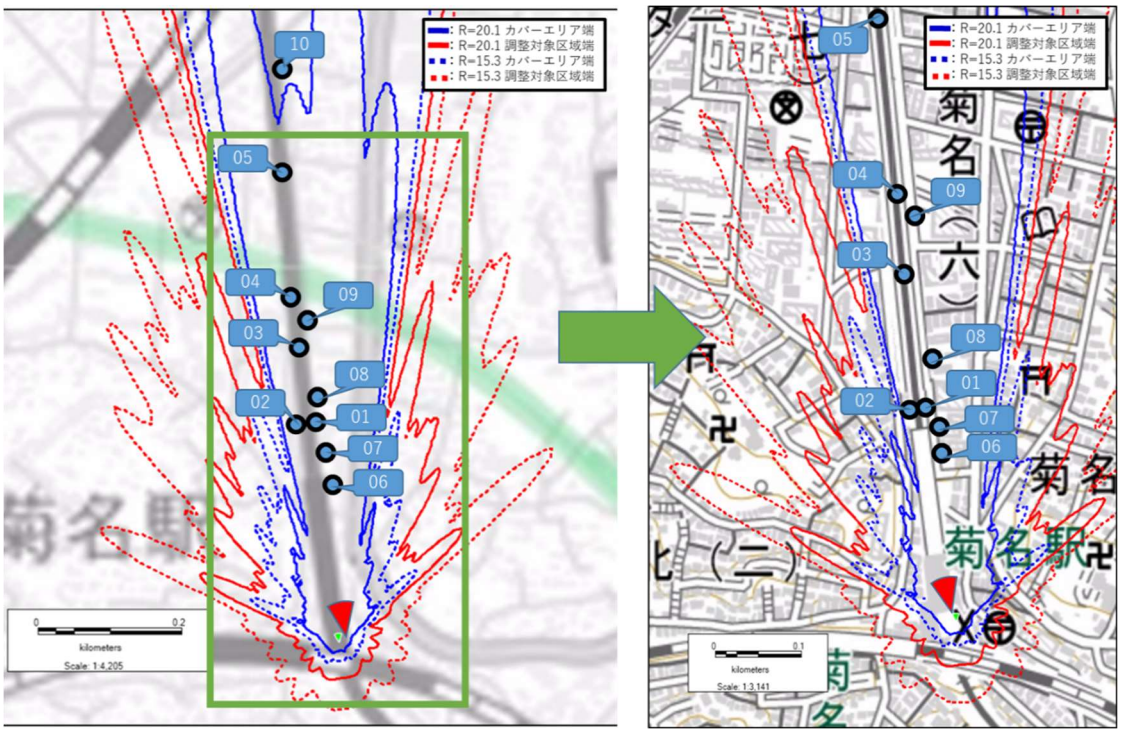
【R 値の精緻化】

次にグループ分けした各測定地点の結果より R 値の導出を行った。

グループ分けした各測定地点から基地局方向の写真と測定地点の概況について以下に記載する。

測定地点の写真の赤丸は基地局方向を示す。

グループ①指向方向上の線路及び道路上の地点

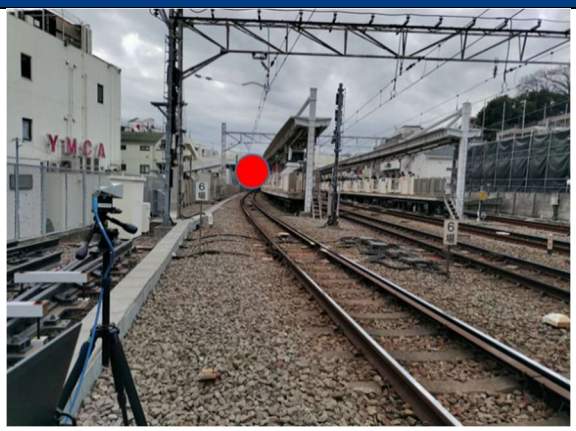
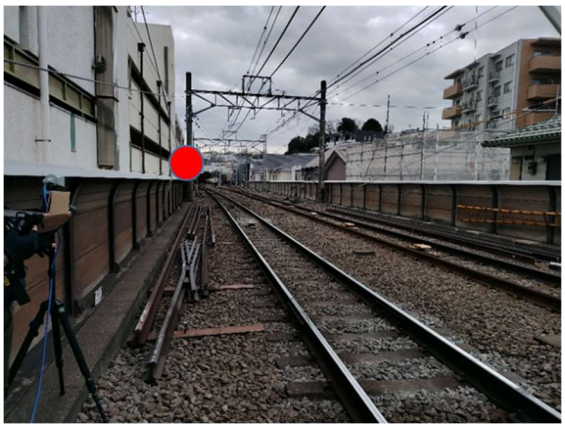


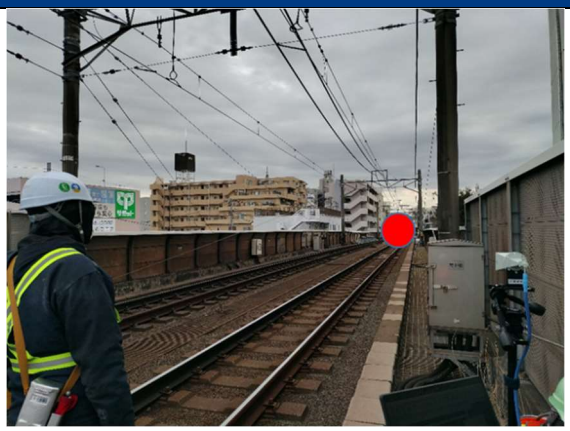
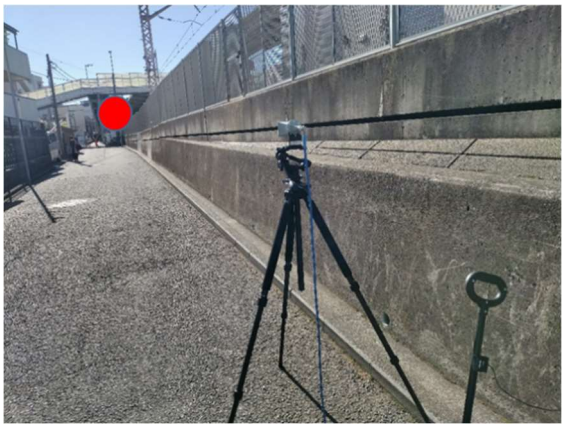

引用:国土地理院地図

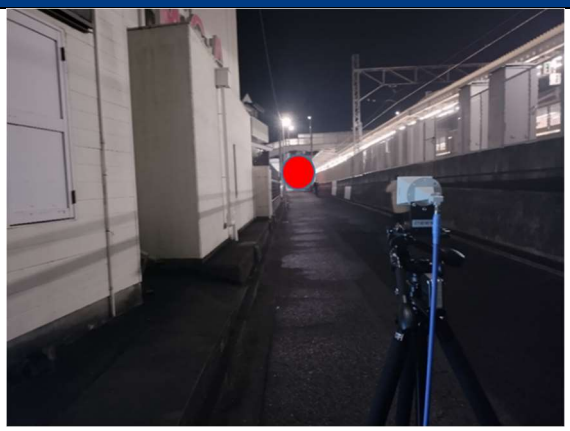
図.3.3.1.5-(49) :R 精緻化グループ①測定点位置

表.3.3.1.5-(31) :グループ①の測定地点

| 測定点 ID | 地点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 01 | 34 | | 菊名～大岡山(上り方面)の線路上で基地局から 230m 程度離れた測定地点。<br>線路上では測定ができないため、線路の東側の脇のスペースで実施。<br>ホームがカーブしているため、基地局と測定地点間にはホーム上の遮 |

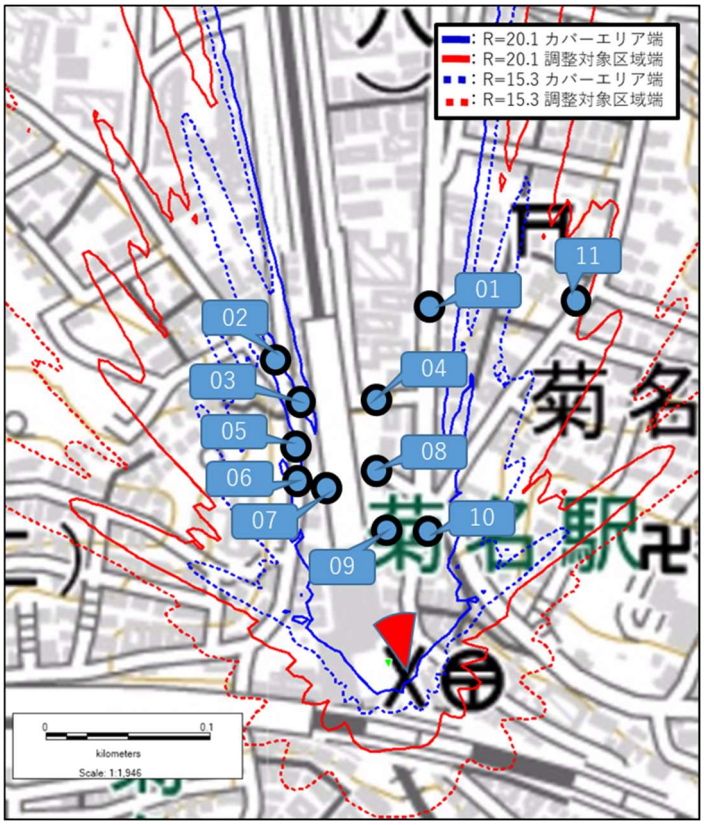
| 測定点 ID | 地点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| | |  | 蔽物は無いが、基地局を目視で確認することはできない。 |
| 02 | 35 | | 菊名～大岡山(上り方面)の線路上で基地局から 230m 程度離れた測定地点。<br>線路上では測定ができないため、線路の西側の脇のスペースで実施。<br>基地局と測定地点間はホーム上の障害物により見通しは無い。 |
| 03 | 33 |  | 菊名～大岡山(上り方面)の線路上で基地局から 330m 程度離れた測定地点。<br>線路上では測定ができないため、線路の東側の脇のスペースで実施。<br>測定地点の東側(左手)にはマンションが隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 04 | 20 | | 菊名～大岡山(上り方面)の線路上で基地局から 470m 程度離れた測 |

| 測定点 ID | 地点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| | |  | 定地点。<br>線路上では測定ができないため、線路の西側の脇のスペースで実施。<br>測定地点の西側(右手)にはオフィスビルが隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 05 | 18 | | 菊名～大岡山(上り方面)の線路上で基地局から 610m 程度離れた測定地点。<br>線路上では測定ができないため、線路の西側の脇のスペースで実施。<br>測定地点の西側(右手)にはマンションが隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 06 | 37 |  | 菊名～大岡山(上り方面)の東側線路沿いの道路上で基地局から 210m 程度離れた測定地点。測定点 ID 07 の少し前方に位置する。<br>測定地点の東側(左手)にはビルが、西側(右手)には金網越しに線路が隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 07 | 36 | | 菊名～大岡山(上り方面)の東側線路沿いの道路上で基地局から 210m 程度離れた測定地点。測定 |

| 測定点 ID | 地点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| | |  | 点 ID 06 の少し後方に位置する。<br>測定地点の東側(左手)にはビルが、西側(右手)には金網越しに線路が隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 08 | 23 | | 菊名～大岡山(上り方面)の東側線路沿いの道路上で基地局から 300m 程度離れた測定地点。<br>測定地点の東側(左手)、西側(右手)共に 3 階建ての建物に隣接している。基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 09 | 21 | | 菊名～大岡山(上り方面)の東側線路沿いの道路上で基地局から 420m 程度離れた測定地点。<br>測定地点の周辺は建物があるが、開けた場所となっている。<br>基地局と測定地点間で見通しは無い。 |
| 10 | 17 | | 菊名～大岡山(上り方面)の東側線路沿いの道路上で基地局から |

| 測定点 ID | 地点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| | | | 770m 程度離れた測定地点。<br>測定地点の周辺は建物があるが、開けた場所となっている。<br>基地局と測定地点間で見通しは無い。 |

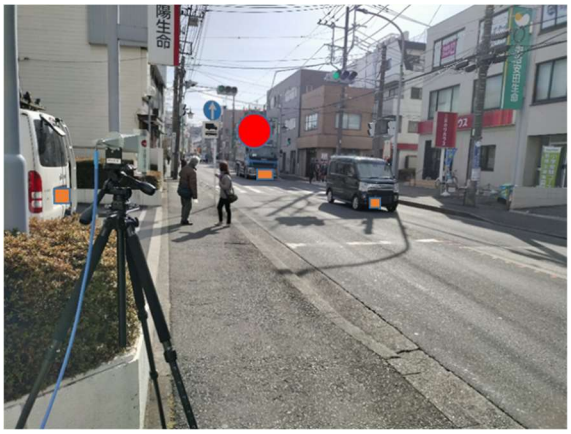
グループ②ホーム側面の開放箇所から飛来する地点

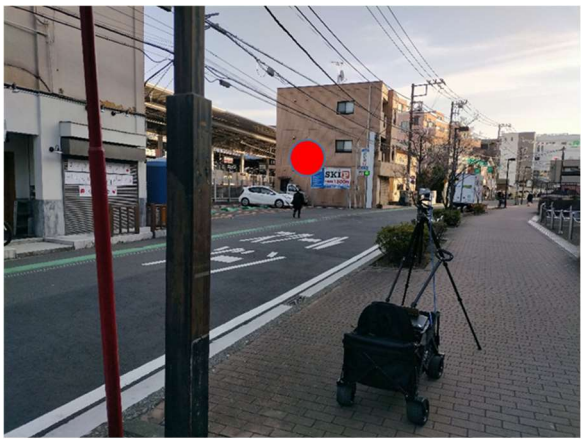


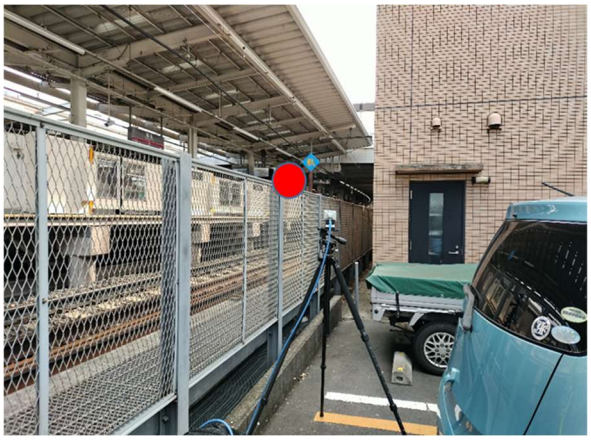

引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(50) :R 精緻化グループ②測定点位置

表.3.3.1.5-(32) :グループ②の測定地点

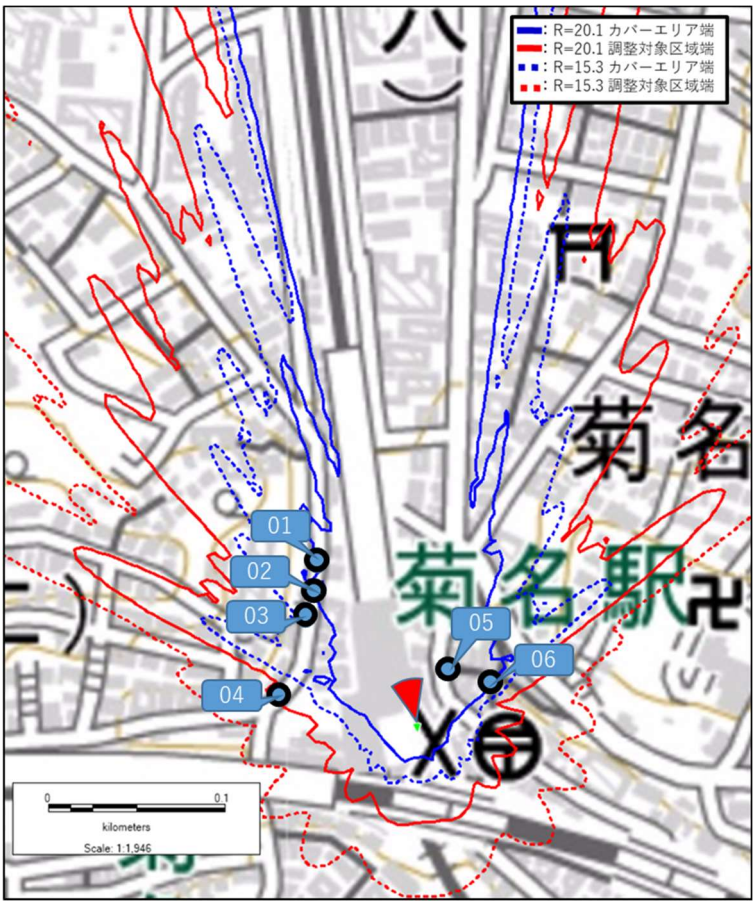
| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 01 | 22 |  | 菊名駅に対して建物を挟んだ大通り沿いで基地局から180m 程度離れた測定地点。<br>測定地点の西側(右手)は車通りの多い道路に隣接している。<br>基地局と測定地点間では建物によって見通しは無い。 |
| 02 | 24 | | 菊名駅から北西に伸びる道路上で基地局から 220m 程度離れた測定地点。<br>高架橋の隙間から駅ホームが見えるが、基地局と測定地点間では建物によって見通しは無い。 |
| 03 | 25 | | 菊名駅から北西に伸びる道路上で基地局から 170m 程度離れた測定地点。<br>高架橋の隙間から駅ホームが見えるが、基地局と測定地点間では建物によって見通しは無い。 |

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 04 | 38 | | 菊名駅の東側線路沿いの道路上で基地局から 160m 程度離れた測定地点。<br>駐輪場が目の前にあり、高架橋の柱等により基地局と測定地点間では見通しは無い。 |
| 05 | 26 | | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 150m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する駐車場部分が開放されており、開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間では見通しは無い。 |
| 06 | 27 |  | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 130m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する駐車場部分が開放されており、開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間では見通しは無い。 |

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 07 | 28 |  | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 110m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する駐車場部分が開放されており、該当の開放部分に極力近づいた測定地点。<br>測定器正面にはホームとの境界部分である金網が設置されている。開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間ではホーム内の遮蔽物により見通しは無い。 |
| 08 | 39 | | 菊名駅の東側線路沿いの道路上で基地局から 110m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する駐輪場部分が開放されており、駐輪場入口の開放部分に極力近づいた測定地点。<br>測定器正面にはホームとの境界部分である金網及びホームに隣接する建物が設置されている。開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間では隣接する建物により見通しは無い。 |
| 09 | 40 | | 菊名駅の東側線路沿いの道路上で基地局から 60m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する空き地部分が開放されており、該当の開放部分に極力近づいた測定地点。<br>測定器正面にはホームとの境界部分である広告版(金属)が設置されている。開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間は広告版により見通しは無い。 |

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 10 | 41 | | 菊名駅の東側線路沿いの道路上で基地局から 60m 程度離れた測定地点。<br>測定点 ID 9 より道路方面へ離れた測定地点。<br>駅に隣接する空き地部分が開放されており、該当の開放部分にアンテナを向けて測定した測定地点。<br>測定器正面にはホームとの境界部分である広告版（金属）と隣接する建物が設置されている。開放部分からホーム内を確認できるが、基地局と測定地点間は隣接する建物により見通しは無い。 |
| 11 | 42 | | 菊名駅から北東に伸びる道路上で基地局から 190m 程度離れた測定地点。<br>道路両側面には 2 階建ての建物が建っている。<br>基地局と測定地点間は道路正面の建物により見通しは無い。 |

グループ③隣接建物によって隔てられた地点

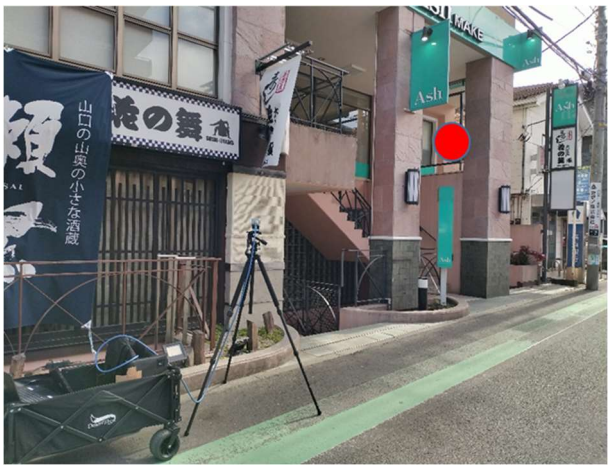


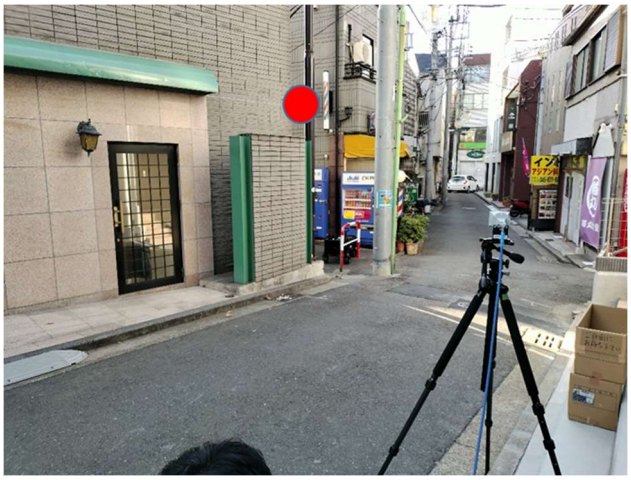

引用:国土地理院地図

図.3.3.1.5-(51) R 精緻化グループ③測定点位置

表.3.3.1-5-(33) :グループ③の測定地点

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 01 | 29 | | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 100m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する建物によって遮蔽された測定地点。<br>測定器正面には遮蔽となっている建物が存在している。基地局と測定地点間では該当の建物により見通しは無い。 |

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 02 | 30 | | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 95m 程度離れた測定地点。<br>測定点 ID 01 の建物と測定点 ID 03 の建物の間からホーム内を確認できる測定点。<br>基地局と測定地点間では隣接する建物により見通しは無い。 |
| 03 | 31 |  | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 80m 程度離れた測定地点。<br>駅に隣接する建物によって遮蔽された測定地点。<br>測定器正面には遮蔽となっている建物が存在している。基地局と測定地点間では該当の建物により見通しは無い。 |
| 04 | 32 | | 菊名駅の西側線路沿いの道路上で基地局から 75m 程度離れた測定地点。<br>建物と建物の間からホーム内を確認できる測定点。<br>基地局と測定地点間では隣接する建物により見通しは無い。 |

| 測定点 ID | 地　点 No | 無線機方向の写真 | 測定点の概況 |
|---|---|---|---|
| 05 | 43 | | 菊名駅の東側線路沿いの道路上で基地局から 30m 程度離れた測定地点。<br>建物と建物の間からホーム内を確認できる測定点。<br>基地局と測定地点間では隣接する建物により見通しは無い。 |
| 06 | 44 |  | 菊名駅から東側に伸びる道路上で基地局から 60m 程度離れた測定地点。<br>測定点 ID 05 から道路に沿って離れた測定点。<br>道路両側面には 2 階建ての建物が建っている。<br>基地局と測定地点間では隣接する建物により見通しは無い。 |

次に上記測定点における実測値と理論値の比較結果を下表に記載する。

算出式は R=15.3dB を適用済みのため、R の算出にあたっては算出式と実測値の差分に 15.3 を加算した値とした。

グループ①指向方向上の線路及び道路上の地点

表.3.3.1.5-(34) :グループ①の SS-RSRP 測定結果

| 測定点 ID | 地点 No | 算出式 (R=15.3) による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | 算出式と実測値から算出した R 値 [dB] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 34 | -90.61 | -85.05 | 9.7 | 0.6 | -84.87 | -85.27 |
| 02 | 35 | -90.96 | -113.62 | 37.96 | 3.35 | -110.19 | -118.62 |
| 03 | 33 | -93.81 | -111.03 | 32.52 | 2.02 | -109.28 | -113.7 |
| 04 | 20 | -96.82 | -113.35 | 31.83 | 2.16 | -110.75 | -116.1 |
| 05 | 18 | -100.17 | -114.41 | 29.54 | 3.14 | -110.99 | -118.99 |
| 06 | 37 | -91.26 | -107.22 | 31.26 | 3.01 | -103.79 | -111.22 |
| 07 | 36 | -90.8 | -110.36 | 34.86 | 1.49 | -108.49 | -111.5 |
| 08 | 23 | -95.21 | -110.82 | 30.91 | 1.9 | -108.94 | -113.05 |
| 09 | 21 | -98.26 | -110.79 | 27.83 | 2.65 | -108.4 | -114.21 |
| 10 | 17 | -103.47 | -116.11 | 27.94 | 3.27 | -113.07 | -120.88 |
| 平均値 | | | | 29.4 | | | |

グループ②ホーム側面の開放箇所から飛来する地点

表.3.3.1.5-(35) :グループ②の SS-RSRP 測定結果

| 測定点 ID | 地点 No | 算出式 (R=15.3) による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | 算出式と実測値から算出した R 値[dB] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 22 | -93.77 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 02 | 24 | -105.49 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 03 | 25 | -103.18 | -121.39 | 33.51 | 2.9 | -117.85 | -125.33 |
| 04 | 38 | -88.58 | -110.67 | 37.39 | 2.44 | -107.87 | -113.54 |
| 05 | 26 | -102.12 | -110.93 | 24.11 | 2.03 | -109.37 | -113.22 |
| 06 | 27 | -103.9 | -110.62 | 22.02 | 2.26 | -108.75 | -113.32 |
| 07 | 28 | -96.02 | -111.04 | 30.32 | 2.83 | -107.58 | -114.6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 08 | 39 | -85.6 | -112.29 | 41.99 | 2.55 | -110.23 | -115.93 |
| 09 | 40 | -78.86 | -84.52 | 20.96 | 0.3 | -87.24 | -88.04 |
| 10 | 41 | -79.81 | -109.41 | 44.9 | 2.61 | -105.06 | -111.5 |
| 11 | 42 | -108.22 | -115.01 | 22.09 | 3.05 | -112.34 | -120.4 |
| 平均値 | | | | 30.8 | | | |

※1:エリアテスタの最低受信感度を下回り、測定値が確認不可であったため。

グループ③隣接建物によって隔てられた地点

表.3.3.1.5-(36) :グループ③の SS-RSRP 測定結果

| 測定点 ID | 地　点 No | 算出式 (R=15.3) による SS-RSRP [dBm] | SS-RSRP 中央値 [dBm] | 算出式と実測値から算出した R 値[dB] | SS-RSRP σ [dBm] | SS-RSRP 上位 10%値 [dBm] | SS-RSRP 下位 10%値 [dBm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 29 | -102.45 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 02 | 30 | -103.58 | -115.62 | 27.34 | 3.9 | -110.5 | -120.86 |
| 03 | 31 | -102.68 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 | 受信不可※1 |
| 04 | 32 | -112.98 | -115.89 | 18.21 | 3.03 | -111.6 | -119.53 |
| 05 | 43 | -95.2 | -108.9 | 29.0 | 2.66 | -106.15 | -112.89 |
| 06 | 44 | -109.8 | -122.23 | 27.73 | 1.9 | -120.14 | -125.01 |
| 平均値 | | | | 25.6 | | | |

※1:エリアテスタの最低受信感度を下回り、測定値が確認不可であったため。

当初想定していた R=15.3 という仮説値に対しては全てのグループの R 値が大きくなるという結果になった。これは元々設定した仮説の値にホーム上で発生する包括的なロス値を考慮できていなかったことが原因である。ホーム上の測定結果からも地点毎に異なるが 10dB～20dB 程度の理論値からの乖離が見られているため、その点が支配的な差分となっている。

元々、グループ①が遮蔽小、グループ②が遮蔽中、グループ③が遮蔽大と想定しており、各グループの R の値の相関は R①<R②<R③という関係が成り立つと考えていたが、実際には R①≒R②>R③

という相関関係となっていた。

元々R①<R②の関係が成り立つと考えた理由は、R②の方向には他者土地との境界になるコンクリート壁や金網などがあり、その遮蔽影響により R②の方が遮蔽影響は大きいと考えたが、実際には他者土地との境界になるコンクリート壁や金網はホームから見ると低い位置にあたり、ホームからの漏洩電波はその上部の開放箇所から飛来することでコンクリート壁や金網からの遮蔽影響を受けなかったため、今回の結果である R①≒R②という関係が成り立ったと判断した。

図.3.3.1.5-(52) :グループ②開放部例

次にグループ③について測定点 ID 01,03 のように建物に向けて測定を行ったケースにおいては受信不可という結果であったため、建物により大幅なロスが発生(実際にどの程度のロスであったかは受信不可のため確認不可)していることは確認できた。

このような建物による完全な遮蔽状態であれば元々想定していた通り R③が最も遮蔽度が高いという結果になったと想定するが、実際には測定点 ID 02,04,05 のような建物と建物の間の隙間から周辺に電波が漏洩していることが確認できた。

そのため、周辺への飛来影響を最大に見積るという観点から、建物と建物の間の隙間から測定された漏洩電波を平均化して R③の値とすることとした。

それでもグループ③の建物と建物の間の隙間はグループ①、②の開放度合いと比較してかなり小さいため、グループ①、②の R 値と比較して小さくなることの理由にはならない。

そこでグループ③の測定点で測定できた電波のビーム ID を確認した結果、元々測定点方向に放射しているビーム ID ではなく、基地局正面に放射しているアンテナゲインの強い方向のビーム ID を受信していることが確認できた。

具体的にはグループ③の測定点方向は基地局のアンテナの半値角から大きく外れており、理論値で用いたアンテナゲインは-7～4dB の範囲の値であったが、実際にグループ③で測定されたビーム ID のアンテナゲインは 24.4dB 程度となっており、強いアンテナゲインを持つ電波が測定点方向に反射した電波を捕捉していたということになる。そのため、グループ③の測定点においては基地局からの距離が近いこともあり、アンテナゲインの強いビーム ID の反射波を掴んだことで理論値から算出した今回の R 値が小さくなる方向に働いたと判断した。

実際のホーム上での反射環境は複雑であると想定するが、以下がその簡易的なイメージである。

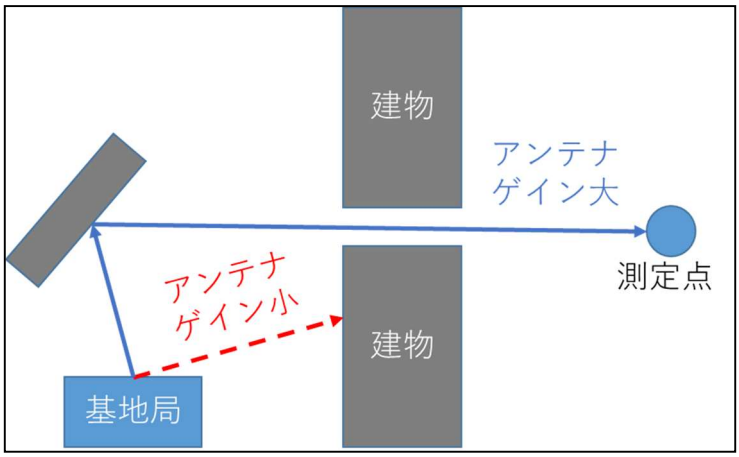


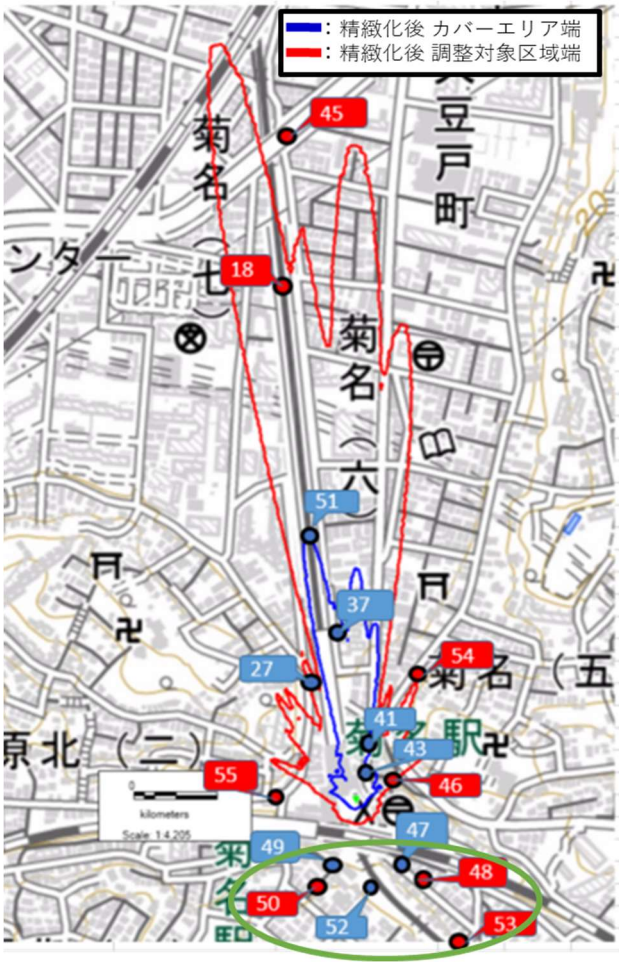

図.3.3.1.5-(53) :グループ③反射電波受信イメージ

上記で精緻化された R 値を用いて精緻化エリア図を作成し、実測されたエリア端、干渉調整端との比較を実施した。R 値は対象グループの測定点がある指向方向に対してグループ毎の以下 R 値を適用した。

表.3.3.1.5-(37) :グループ毎の適用 R 値

| | グループ① | グループ② | グループ③ |
|---|---|---|---|
| R 値 | 29.4 | 30.8 | 25.6 |

作成した精緻化エリア図は以下の通り。




引用：国土地理院地図

図.3.3.1.5-(54) :精緻化エリア図

エリア算出法(R=20.1)でシミュレーションした結果と比較して、エリア端及び干渉調整端の実測値に近いエリアがシミュレーションできていることが確認できる。

基地局背面方向については実測値としては大きなアンテナゲインを持つビーム ID の反射波が測定されており、シミュレーションではこの反射波の影響を反映できないため、差分が発生している。

【駅ホーム上に標準的に設置される遮蔽物の遮蔽影響確認】

上記 R 値の精緻化にあたっては駅周辺の測定点における理論値と実測値をもとに算出を行い、駅ホームに標準的に設置されている遮蔽物前後の測定結果を考慮しなかった。それはホームと他者土地を区分する壁面やホーム上の看板などは完全に遮蔽状態を作っているわけではなく、周辺の開放部分から透過、漏洩すると考えられるためである。

また今回の実証環境においては全ての遮蔽物が基地局に対して見通しがあり、正対して設置されている状況ではないため、個々の遮蔽物の遮蔽影響は参考値として、遮蔽物前後で測定を行い、その実効的な遮蔽影響について確認を行った。また、遮蔽物後の測定にて受信不可となった場合は、使用した測定器の最低受信感度:-128dBm(仕様値)をもとに遮蔽影響を見積った。

対象の遮蔽物の情報は以下の通り。

表.3.3.1.5-(38) :測定対象遮蔽物

| 測定地点 | 対象構造物 | 材質 | 寸法<br>縦 x 横 x 厚さ<br>[mm] | 対象物外観 |
|---|---|---|---|---|
| R1,2 | コンクリート壁 | コンクリート | 1500 x 2000 x 50 | |
| R3,4 | 金網 | 金属 | 1450 x 1900 x 30 | |
| R5,6 | 隣接建物(5 階建て) | コンクリート<br>+窓ガラス | 縦:(5F 建て相当)ホーム天井高より高い | |

| 測定地点 | 対象構造物 | 材質 | 寸法<br>縦 x 横 x 厚さ<br>[mm] | 対象物外観 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 横:18.85m<br>厚さ:19m | |
| R7,8 | 看板 | 金属+プラスチック | 400 x 1400 x 170 | |
| R9,10 | 柱 | コンクリート+金属 | 直径 500mm、高さ 7m 程度 | |
| R11,12 | 売店 | 金属+木製/樹脂製 化粧パネル | 2450 x 2300 x 4700 | |

| 測定地点 | 対象構造物 | 材質 | 寸法<br>縦 x 横 x 厚さ<br>[mm] | 対象物外観 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| R13,14 | ホームドア | 金属 | 1310 x 2300 x 200 | |

表.3.3.1.5-(39) :遮蔽物前後の測定結果

| 測定地点 | 遮蔽物前<br>SS-RSRP<br>中央値<br>[dBm] | 遮蔽物後<br>SS-RSRP<br>中央値<br>[dBm] | 透過前後による差分<br>[dB] |
|---|---|---|---|
| R1,2 | -114.5 | 受信不可※1 | 14 以上 |
| R3,4 | -115.0 | -118.7 | 3.7 |
| R5,6 | -113.6 | 受信不可※1 | 15 以上 |
| R7,8 | -72.8 | -88.1 | 15.3 |
| R9,10 | -78.6 | -93.6 | 15.0 |
| R11,12 | -106.8 | -115.6 | 8.8 |
| R13,14 | -109.4 | -114.0 | 4.6 |

※1:エリアテスタの最低受信感度を下回り、測定値が確認不可であったため。

コンクリート壁(R1,2)及び建物(R5,6)については遮蔽物後の測定結果が受信不可となった。

これは遮蔽物自体の損失量が大きいこともあるが、遮蔽物前の受信電力が-110dBm 程度と低いことから測定器の最低受信感度に対して損失分をカバーできなかったことが原因である。コンクリート壁や建物は基本的にホーム側面と他者土地とを隔てる境界に設置されており、本基地局の電波の指向方向に対して並行に設置されており、ホーム上の測定結果からも確認された通りホーム上の遮蔽物による遮蔽影響を受けていることから、遮蔽物前の測定点で高い受信電力を得ることができなかった。

電光表示板(R7,8)、柱(R9,10)は基地局と同じホーム上に設置されており、基地局の指向方向に正対して設置されていることから遮蔽物前で強い受信電力で測定することができ、その遮蔽影響について確認することができた。

基地局と同一ホーム上の近傍エリアにて測定した結果で理論値と大きく乖離が発生している地点があったが、このようなホーム上の構造物による遮蔽影響によるものと考える。

売店(R11,R12)とホームドア(R13,14)については遮蔽物前後で測定し、その遮蔽影響を確認することができたが、その遮蔽影響は他の構造物と比較して小さい結果となった。

これは実際の測定環境において完全な遮蔽環境になっておらず、遮蔽物後の測定地点に周辺からの反射波が到来していることが起因していると考え、測定地点を変えながら何度か測定を試みたが、結果は変わらなかった。そのためホーム上の環境においては様々な構造物からの反射波が到来する環境となっており、実行上の遮蔽影響としては少ない結果になったと判断した。

【菊名駅におけるミリ波技術実証結果のまとめ】

今回ホーム上のミリ波エリア構築エンジニアリング手法の 1 つとして、アンテナ一体型のミリ波無線機を 90 度回転させて設置することでホームの短手方向への電波飛来を抑制することを試みた。

実証環境である東急東横線の菊名駅は基地局が設置されている横浜方面が建物及び天井で遮蔽環境となっており、駅周辺も建物が密集している都市部のエリアであることから、目的としていた短手方向は狙い踊り電波飛来を抑制することができており、また長手方向の線路方面には駅ホーム外への飛来は生じるが、無線機の正面で約 120m、無線機の背面で約 100m に抑えられており、概ね自己土地(線路)内に収まっており、線状のエリア構築を実現できている。

ホーム上のエリア構築という観点では基地局の設置位置が限られることもあり、ホーム上の遮蔽物による影響を回避することが難しく、また列車がホーム中央に留置された場合にはその遮蔽影響が大きいことから、基地局設置位置の反対ホームにおいては受信電力及び受信品質の低下が課題となった。

そのため、ミリ波でホーム上のエリアを構築する際には対策が必要なエリアに対して見通しの取れる設置場所に小電力の基地局(屋内用基地局など)を用いてスポットで対策をすることが望ましいと考える。

また今回駅ホームを屋内同等とし、エリア算出法で定められた基地局屋内設置時の算出式(R=20.1)を用いてシミュレーションを行った結果、実際のエリアよりも広いエリアと算出され、実測値と乖離が見られたが、今回精緻化した R 値を用いることにより精緻化前と比較して実際のエリアに近いシミュレーション結果を得ることができた。

得られた R 値は駅のホームが開放部を有する構造であるにも関わらず、エリア算出法で定められた屋内に基地局を設置した際の R 値(R=20.1)と比較して大きな値であったが、この要因はホーム上の遮蔽物による遮蔽影響が支配的であると考える。

本実証の結果を受け、駅ホーム内に基地局を設置する場合は基地局を屋内に設置する際と同様に R 値を用いてホーム上の遮蔽物により発生する遮蔽影響を見込んでエリア図を作成する必要があると判断しているが、駅ホームの構造や無線機の設置位置によってはその遮蔽影響が変わることが想定され、今回の実証結果だけでは全てのケースを網羅できていないと考える。今後も様々なケースにおけるデータを収集し、ケースに応じた R 値を精緻化していく必要がある。

### 3.3.2 線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上

#### (1) 実証の目的・目標

##### 1) 背景となる技術的課題と実証目的

■背景となる技術的課題

今回の課題実証で提案している踏切・線路沿線における異常検知ソリューションは、線路沿線に設置した 4K カメラからの高精細な映像伝送、および近隣走行中の列車運転士への低遅延での異常検知通知のため、無線性能要件(スループット、遅延時間)の安定的な実現が求められている。天候や時刻、列車位置によらず対象区間内の全域において均質的な異常検知性能の実現が望ましく、弱電界起因の無線品質低下や頻繁なセル間ハンドオーバ(以下、HO と称す)等による送信遅延の発生を回避する無線セル設計が必要である。それと同時に、自己土地内での電波利用が許可されるローカル 5G では、他者土地への電波漏洩の抑制が大きな課題となっている。3.2.1 章で説明したように、今回の実証環境である線路エリアは、自己土地の短手方向の幅が狭く、他者土地との境界部分の遮蔽性が低い屋外環境であり、約 1km の長区間に渡ってローカル 5G のエリア化を計画している。従って、課題実証で要求される無線性能の実現と、他者土地への電波漏洩の抑制を両立する線状エリアでのセル設計手法の検討が必要である。

令和 3 年度の自由が丘駅東横線ホームでの実証では、線路上での良好な伝搬環境を利用して送信出力が大きい屋外用 RU で長距離をカバーしようとすると、半値幅の狭い指向性アンテナで線路長手方向に細いビームを出力しても、RU 近傍の地面や構造物で大きく反射・回折が発生し、線路エリア外への漏洩を抑制することは困難であることが報告されている。漏洩抑制のためには RU の低出力化が有効なアプローチとなるが、単純に RU の出力を抑えることだけではセルサイズも小さくなるため、列車通過時の HO 頻度が増加してしまう。

HO 頻度を抑制しつつ、線状の長区間エリアのカバレッジを実現するには、1 セルあたりのカバー範囲を広くとりつつ、線路に沿って必要最小減の電力で吹くことが肝要となる。そこで本実証では、2.3.4 章で説明したように、低出力 RU と短距離 LCX を組み合わせて使用することで RU 近傍での電波漏洩の抑制と RU 遠方の自己土地での受信電力の確保を図り、更に当該 RU と集約装置(RHUB)との間を光ファイバで接続する屋内 RU 装置を活用して、最大 400m までカバーエリアを拡大可能な DAS 構成の 1 セルを形成し、隣接する 2 セルでの実証を提案する。図 3.3.2-1 に今回実証を行う低出力 RU と短距離 LCX の DAS 構成による線状エリアの構築方法を再掲する。

なお、今回の実証で 28GHz 帯ミリ波を使用しなかった理由は、以下の通りである。高周波数(ミリ波)は狭ビームを作りやすく、電波直進性が強いことから、周辺への漏洩が少ないことが期待できる。しかしながら、国内での 28GHz 帯の商用 SA 製品が入手不可のため、アンカーバンドに BWA を使用

するNSAで代替する必要がある。実証環境周辺は線路近傍まで地域BWA事業者のカバーエリアが広がっており、反射・回折による広範囲への伝搬が見込まれる 2.5GHz 帯の線路外への漏洩を当該事業者への影響が無いレベルに抑制することは困難であると判断した。また、ミリ波の直進性はカーブ区間の存在する実証区間でのセル構築に調整を要し、車両通過時の遮蔽等による無線品質の安定性も懸念があったため、今回は線状エリアでのミリ波の採用は見送った。

■実証目的

以上のような背景に基づき、本テーマでは自己土地内での所要性能の確保と両立可能な、線状エリアに適した漏洩抑制手法の確立を目的とした実証を行うこととし、以下の 2 手法を比較することで、提案する線状エリア構築方法の優位性を示す。

従来手法:「RU＋指向性アンテナによる水平方向へのビーム照射」

提案手法:「低出力RUと短距離LCXを組み合わせたDAS構成による線状セルの構築」

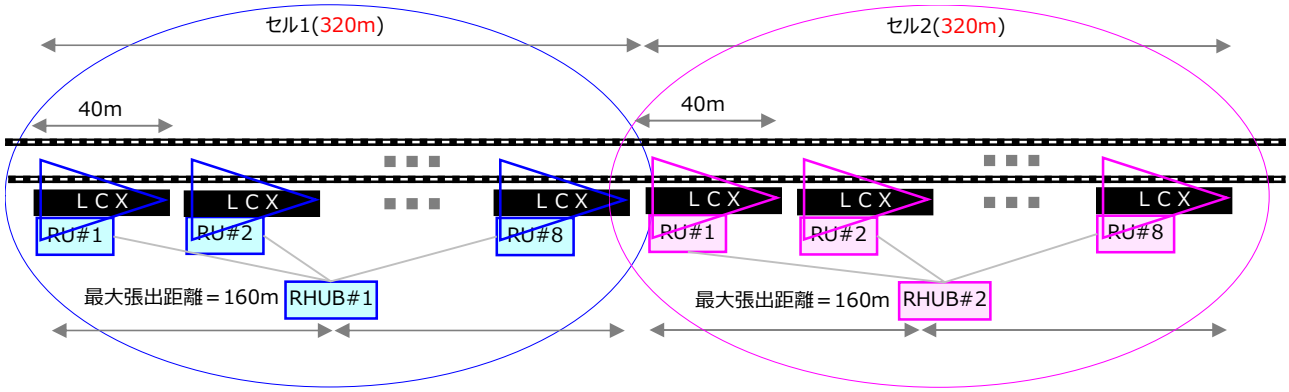
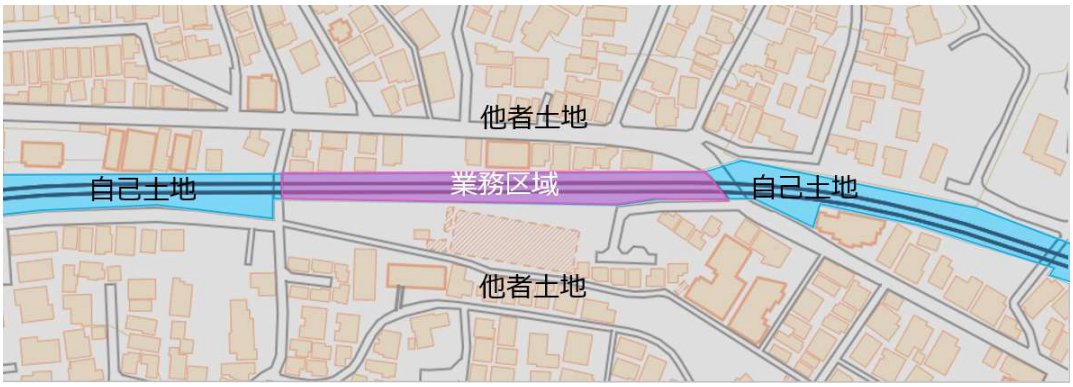



図.3.3.2.1-(1) :低出力RUと短距離LCXのDAS構成による線状エリアの構築(提案手法)

自己土地、業務区域、他者土地に位置関係について図.3.3.2.1-(2)に示す。




引用:国土地理院地図

図.3.3.2.1-(2) :自己土地、業務区域、他者土地の位置関係

### 2） 実証目標

ローカル 5G の利用には無線局免許の取得が必要なため、個人よりも企業や自治体等での利用が先行し、また干渉調整のハードルが比較的低い屋内での利用から進むと考えられる。そこで、今回の実証では、線路沿線の当該団体の土地（他者土地）にある鉄筋コンクリート造の建物内でローカル 5G が利用される状況を想定し、線路エリアからの電波漏洩が当該団体の建物内での利用に影響が無い程度に抑制することを目標とする。具体的には、線路沿線の鉄筋コンクリート造の建物内における本実証のローカル 5G エリアからの下り受信電力が、エリア算出法が定める干渉調整区域閾値（-91dBm @100MHz 帯域）以下となることを目標とする。ただし、他者土地の建物内での実測が困難な場合は、該当する建物付近の一般道路上で測定した受信電力から、鉄筋コンクリート造の透過損の値を引いたものを推定実測値として施策の評価を行う。

### 3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

総務省令和 2 年度及び令和 3 年度ローカル 5G 等開発実証では LCX を使用した実証事例はなく、今回提案する LCX による線状空間でのエリア化の改善検討は新規性が高いと考える。

## （2） 実証仮説

実証仮説の設定にあたり、下記に示すレイトレースシミュレーション（以下、伝搬 SIM とする）に基づいて提案方式による電波漏洩量の低減効果を試算した。

＜伝搬 SIM 概要＞

今回使用した伝搬 SIM は独自に開発したもので、受信電力の計算は Imaging 法に基づくレイトレーシングにより、各端末位置での水平偏波と垂直偏波をそれぞれ全パス分加算し、電力の大きい方を合成受信電力として選択することにより行うものである。

LCX への適用に際しては、LCX 全長（例えば 40m）を長さ 1m の LCX（以降、単位 LCX と記載）を縦列に並べた構成で模擬した。各単位 LCX には直前の LCX による伝送損を考慮した送信電力が入力されるものとした。また、単位 LCX の指向性パターンとしては、別途 LCX メーカーにて暗室で測定したアンテナパターンを有する点波源として扱った。

今回の LCX での実証環境を模擬するにあたり、伝搬 SIM に入力した設定は下記の通り。

- アンテナパターン
    - 開口面が下向きの単位 LCX の暗室測定結果（水平・垂直面）を使用
    - 端末側は実証で使用する端末のアンテナパターンを入手して適用
- 送信ゲイン
    - アンテナパターンの最大ゲイン方向の値を使用
- チルト角
    - LCX のスロット開口方向を下向きに設置

・　周辺環境

・　建物モデル：地図情報から建物寸法・高さを取得し、一律の透過損 16.2dB を設定した 3D 構造物として配置

・　その他構造物：線路敷地内の鉄道構造物や各種装置は配置無し

上記設定のもと、反射 1 回、透過 10 回、回折 0 回のレイトレース設定により受信電力を求めた。

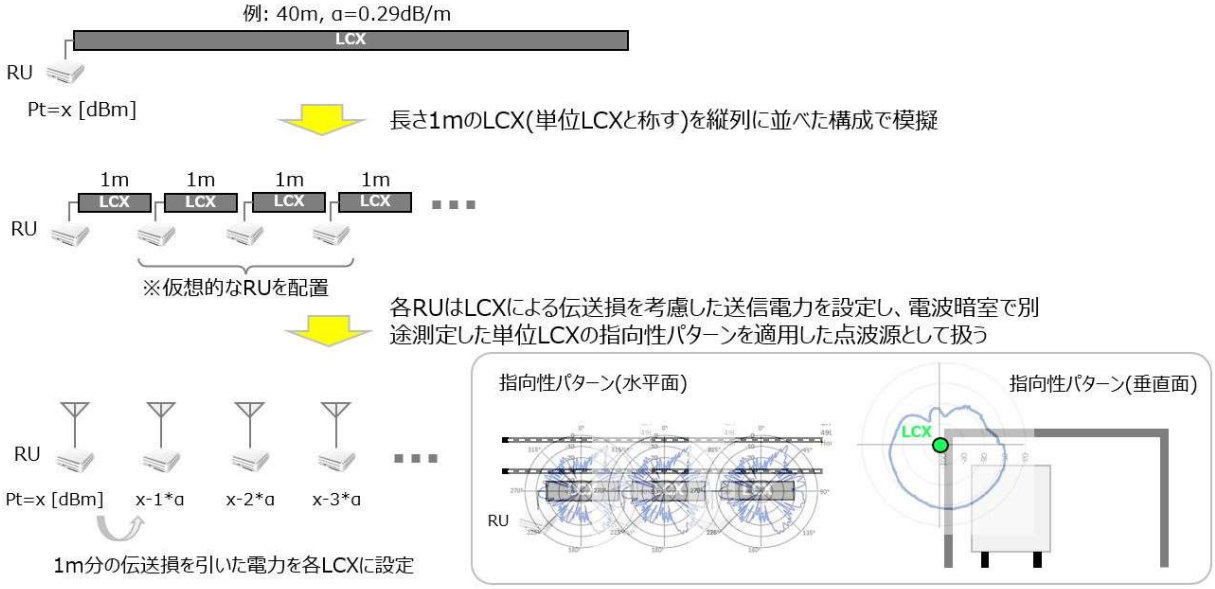



図.3.3.2.2-(1) :LCX の伝搬 SIM への適用方法

伝搬 SIM 結果と提案方式による電波漏洩量の改善効果をそれぞれ図.3.3.2.2-(2)，表.3.3.2.2-(1)に示す。従来手法に比較して、提案手法は線路に沿って必要最小な電力でエリアが形成されているのに対して、従来方法では短手方向の電波漏洩が広がっていることがわかる。他者土地の場所 A～F におけるスポット的な受信電力の比較により、提案手法は従来方法に対して 2～8dB(平均 5dB)の漏洩抑制効果が見られる。今回実施した伝搬 SIM では短時間での効果概算が目的のため、建物モデルの精度(再現性)やレイトレース動作設定は簡易的なものとしたが、特に反射回数と回折回数を増やすと従来方法による漏洩はより広範囲に広がると考えられ、低電力で線路に沿ってエリアを形成する提案手法の有効性は増すと考えている。

以上の結果より、提案手法は従来手法よりも平均 5dB 以上の改善が見込めるものと仮説し、実証を行うものとする。

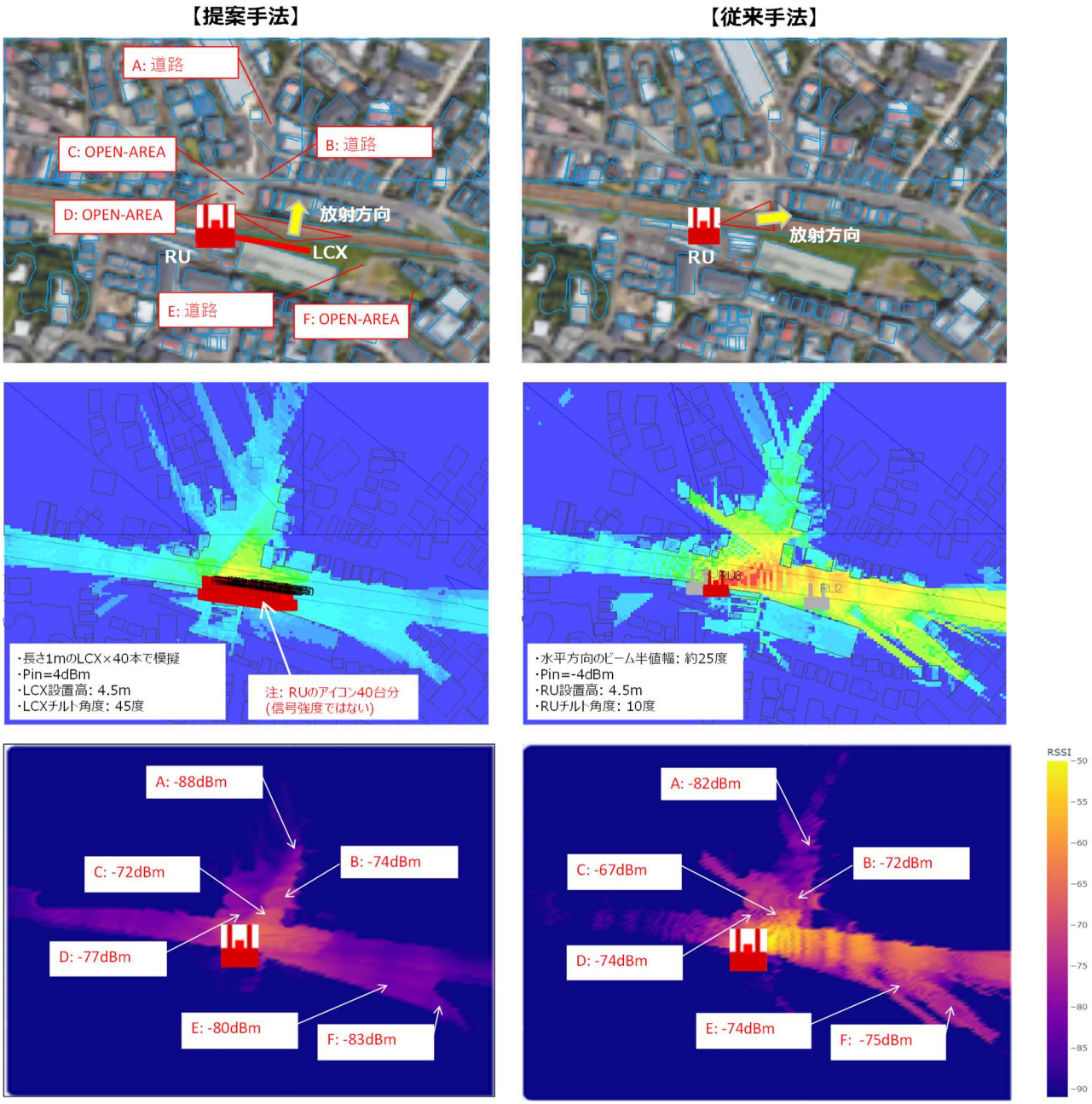



図.3.3.2.2-(2) :伝搬 SIM による提案手法と従来手法での漏洩範囲の比較

表.3.3.2.2-(1) :提案方式による他者土地エリアでの干渉改善量

| 地点 | 種類 | 受信電力 [dBm] | | 干渉抑制量 [dB] |
|---|---|---|---|---|
| | | 提案手法 | 従来手法 | |
| A | 道路 | -88 | -82 | 6 |
| B | 道路 | -74 | -72 | 2 |
| C | オープンスペース | -72 | -67 | 5 |
| D | オープンスペース | -77 | -74 | 3 |
| E | 道路 | -80 | -74 | 6 |
| F | オープンスペース | -83 | -75 | 8 |

表.3.3.2.2-(2) :伝搬 SIM 比較時の測定地点(仮)

| 地点 | 提案手法(LCX) | | | 従来手法(指向性アンテナ) | | | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | | | |
| A | 76.9 | 11.2 | 4.5 | 86.9 | 10.2 | 4.5 | 16.7 | 1.5 | 1 |
| B | 27.9 | 11.2 | 4.5 | 42.6 | 10.2 | 4.5 | 12.2 | 1.5 | 1 |
| C | 19.9 | 11.0 | 4.5 | 20.0 | 10.2 | 4.5 | 11.9 | 1.5 | 0 |
| D | 22.3 | 10.6 | 4.5 | 25.4 | 10.2 | 4.5 | 11.6 | 1.5 | 0 |
| E | 16.1 | 12.4 | 4.5 | 91.1 | 10.2 | 4.5 | 11.1 | 1.5 | 0 |
| F | 41.1 | 12.4 | 4.5 | 122.1 | 10.2 | 4.5 | 11.8 | 1.5 | 0 |

### (3) 評価・検証項目

本実証では、測定点における受信電力として表.3.3.2.3-(1)に示す項目を評価・検証する。

表.3.3.2.3-(1) :受信電力測定における評価・検証項目

| | 評価・検証項目 | 説明 |
|---|---|---|
| 1 | SS-RSRP [dBm] | 1 リソースエレメントあたりの Secondary Synchronization Signal の受信電力 |
| 2 | RSSI [dBm] | 測定帯域内(アンリツ社製エリアテスタでは SS-Block 部分の全帯域)の 1 OFDM シンボルの受信電力[dBm] |
| 3 | SS-RSRQ [dB] | リソースブロック数×SS-RSRP と RSSI の比 |
| 4 | SS-SIR [dB] | SS-RSRP とリソースエレメントあたりの干渉電力の比 |

100MHz 帯域での RSSI 値と SS-RSRP 値とは次式により換算可能である。

$RSSI[dBm] = SS\text{-}RSRP[dBm] + 10*\log_{10}(12*N)[dB]$

ここに N はリソースブロック数であり、今回のシステムでは 273 である。

カバーエリア端、調整対象区域端の閾値は 100MHz 帯域の RSSI 値ではそれぞれ-84.6dBm、-91.0dBm であり、これらを SS-RSRP 値に換算すると、それぞれ-119.8dBm、-126.2dBm となる。

上記表.3.3.2.3-(1)の受信電力は下記の方法で測定するものとする。

電界強度測定器(現候補:アンリツ社製のエリアテスタ(ML8780A))により測定する。測定は 0.1 秒間隔で 2 分間の測定値を取得し、合計 1000 サンプルの測定結果に対し、中央値、σ、上位 10%値、下位 10%値を求める。定在波の影響を避けるため、1 つの測定点において、測定時間 2 分間の間 10λ(λは波長、10λ=約 60cm)の範囲で測定位置を動かしながら測定する。なお、アンリツ社製のエリアテスタでアンテナは無指向性のものを使用することと、三脚等を用いて水平面を保つことにより、測定器の方向による影響が生じないようにする。

また、本検証ではカバーエリア内のローカル 5G の性能について、表.3.3.2.3-(2)に示す項目を評価・検証する。

表.3.3.2.3-(2) :ローカル 5G の性能に関する評価・検証項目

| | 評価・検証項目 | 説明 |
|---|---|---|
| 1 | UL スループット [Mbps] | PUSCH 上の MAC レイヤにおけるスループット、例えば Nemo Outdoor ツールを使用して測定 |
| 2 | DL スループット [Mbps] | PDSCH 上の MAC レイヤにおけるスループット、例えば Nemo Outdoor ツールを使用して測定 |
| 3 | 遅延時間 [ms] | HARQ の再送遅延時間。例えば端末ログデータから抽出する。 |

上記表.3.3.2.3-(2)に示すスループットは下記の方法で測定するものとする。

iPerf 等のツールで試験データを流した状態で、無線伝送部分のスループットを測定できるツール(キーサイト社製の Nemo Outdoor)により測定する。具体的には、端末に接続した PC とコアネットワーク側の L3SW に接続した PC のそれぞれで iPerf ツールをサーバーモードまたはクライアントモードで実行することによりアップリンク方向、ダウンリンク方向それぞれについて UDP モードによる試験データを送信状態とした上で、端末に接続した PC 上の Nemo Outdoor ツールによって PUSCH/PDSCH 上の MAC レイヤにおけるスループットを測定する。測定時間は 1 測定地点あたりアップリンク/ダウンリンク各 1 分間とし、平均値を求める。

また、表.3.3.2.3-(2)に示す遅延時間は下記の方法で測定するものとする。

端末に接続した PC とコアネットワーク側の L3SW に接続した PC のそれぞれで iPerf ツールをサーバーモードまたはクライアントモードで実行することとし、アップリンク方向について UDP モードによる試験データを送信し、端末に接続した PC 上の端末ログツールにてログを取得する。取得したログから HARQ の再送遅延時間の平均値を取得する。平均値を取得する測定時間は 1 測定地点あたり 1 分間とする。

## （4） 評価・検証方法

今回の実証でエリア化する 2 セルの計 16 本の LCX(各 40m)のうち、1 区間にだけ従来手法の検証用に外部アンテナ(指向性)を追加で設置し、同一環境での提案手法と従来手法の比較が可能な構成とした。図.3.3.2.4-(1)にそのイメージ図を示す。シミュレーション結果を参考に周辺環境の詳細調査を踏まえて LCX1 区間を実施区間とする。

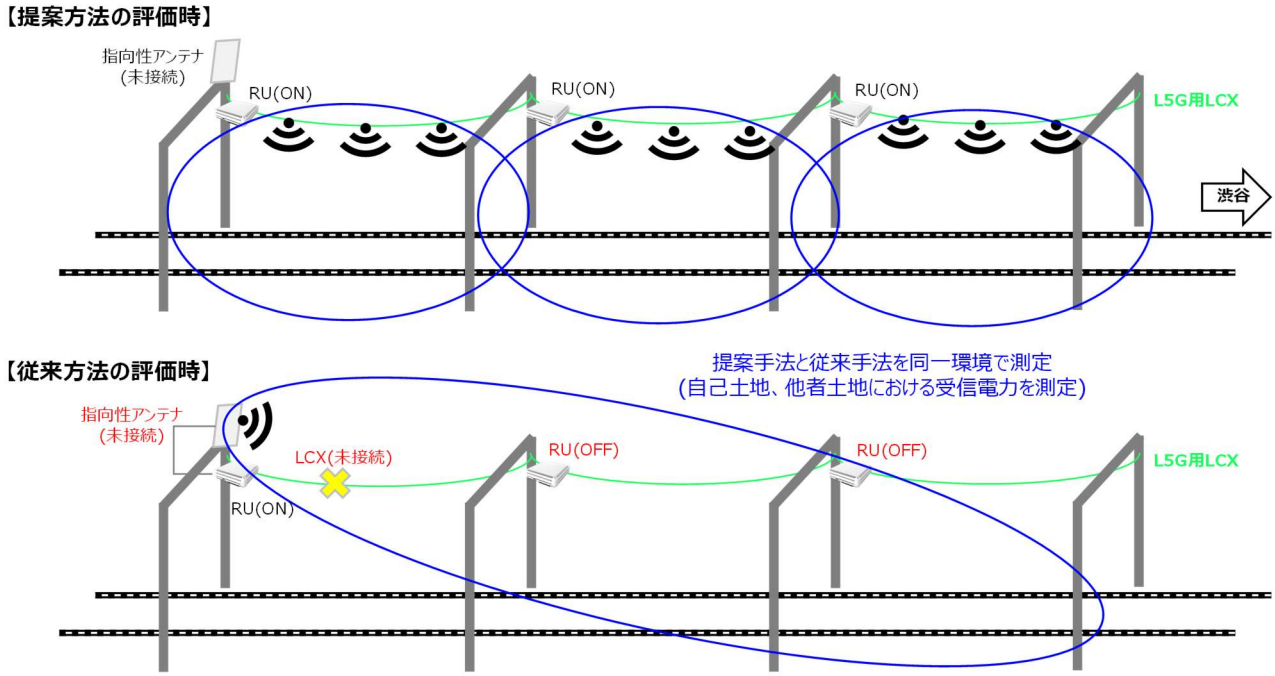



図.3.3.2.4-(1) :線状エリア構築手法の比較方法

＜エリア設計シミュレーションによる検証＞

実証目標値設定のために 3.3.2 章(2)で実施した伝搬シミュレーションと同じツール・手法を用いて、提案手法と従来手法による線状エリア設計シミュレーションを実施する。シミュレーション結果に基づき、各手法で構築したエリアのカバーエリアおよび干渉調整区域を比較検証する。また、他者土地への電波漏洩抑制効果および業務区域内での弱電界エリア改善度の観点で両手法を比較し、提案手法で想定した改善効果が得られるかを評価する。

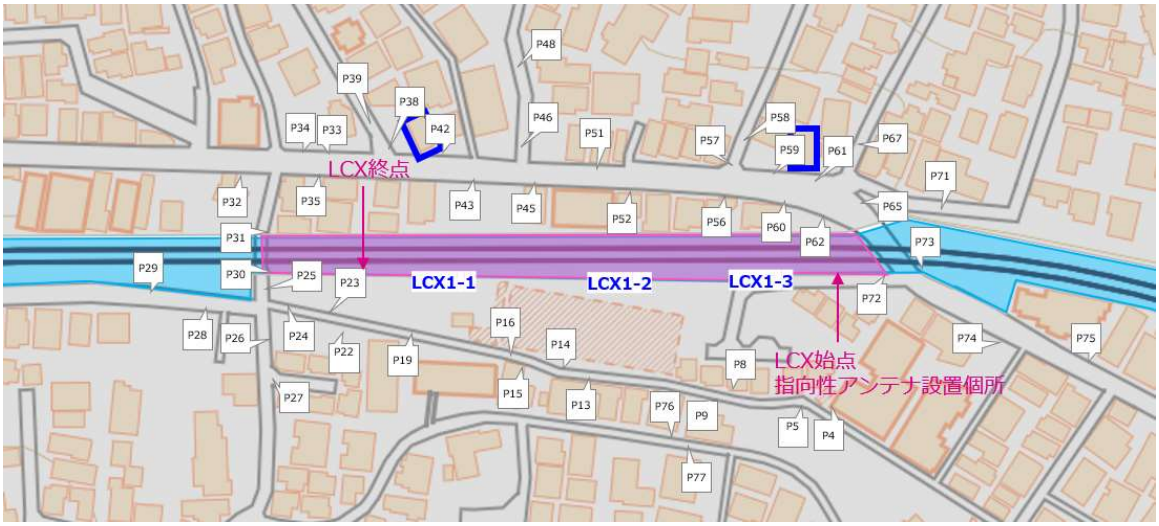
＜線路エリアでの実測結果による検証＞

当該区間において、まず提案手法の測定として、RU を LCX に接続した状態で、カバーエリアおよび調整対象区域相当の受信電力が得られるエリアにおいて、30 以上の測定地点で (3)評価・検証項目に記載した受信電力等を測定する。次に、従来手法の測定として、指向性アンテナを RU に接続し(他の RU は停波状態)、提案手法と同じ測定地点において、(3)評価・検証項目に記載した受信電力等を測定する。

自己土地内の測定においては、事前のシミュレーション結果などから弱電界が想定される地点を含めて測定地点を設け、無線品質の改善の観点で評価・検証を実施する。

また、調整対象区域の閾値(-91dBm)相当の受信電力が測定される位置(エッジ位置)の比較を行うため、指向性アンテナ(従来手法)、LCX(提案手法)のそれぞれを接続した際の、RU の周囲の 8 方向以上についてエッジ位置を探して地図上にプロットし、調整対象区域の他者土地へのはみ出し部分がどれだけ改善するかを確認する。

図.3.3.2.4-(2)に他者土地の測定地点、表.3.3.2-(5)に他者土地の測定点情報、図.3.3.2-(7)に自己土地内の測定地点、表.3.3.2-(6)に自己土地の測定点情報を示す。




引用:国土地理院地図

図.3.3.2.4-(2) :他者土地測定地点

表.3.3.2.4-(1) :他者土地の測定点情報

| 測定点ID | 提案手法(LCX) | | | 従来手法(指向性アンテナ) | | | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | | | |
| P1 | 57.1 | 14.1 | 4.5 | 57.1 | 14.1 | 4.5 | 12.7 | 1.5 | 1 |
| P2 | 52.4 | 14.1 | 4.5 | 52.4 | 14.1 | 4.5 | 12.3 | 1.5 | 1 |
| P3 | 46.9 | 14.1 | 4.5 | 46.9 | 14.1 | 4.5 | 13.4 | 1.5 | 1 |
| P4 | 45.5 | 14.1 | 4.5 | 44.7 | 14.1 | 4.5 | 12.1 | 1.5 | 1 |
| P5 | 40.5 | 13.8 | 4.5 | 40.9 | 14.1 | 4.5 | 11.3 | 1.5 | 1 |
| P6 | 39.6 | 13.2 | 4.5 | 43.5 | 14.1 | 4.5 | 10.7 | 1.5 | 1 |
| P7 | 39.9 | 12.9 | 4.5 | 48.5 | 14.1 | 4.5 | 10.9 | 1.5 | 1 |
| P8 | 38.7 | 12.8 | 4.5 | 51.6 | 14.1 | 4.5 | 10.9 | 1.5 | 1 |
| P9 | 36.3 | 12.6 | 4.5 | 56.1 | 14.1 | 4.5 | 11.2 | 1.5 | 1 |
| P10 | 37.3 | 12.4 | 4.5 | 61.1 | 14.1 | 4.5 | 11.3 | 1.5 | 1 |
| P11 | 36.2 | 12.3 | 4.5 | 63.1 | 14.1 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 1 |
| P12 | 34.4 | 11.9 | 4.5 | 72.6 | 14.1 | 4.5 | 10.6 | 1.5 | 0 |
| P13 | 43.3 | 11.6 | 4.5 | 62.9 | 14.1 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 1 |
| P14 | 29.9 | 11.4 | 4.5 | 87.7 | 14.1 | 4.5 | 10.1 | 1.5 | 1 |
| P15 | 27.1 | 10.3 | 4.5 | 96.2 | 14.1 | 4.5 | 11.1 | 1.5 | 1 |
| P16 | 24.8 | 10.6 | 4.5 | 98.6 | 14.1 | 4.5 | 9.9 | 1.5 | 1 |
| P17 | 23.7 | 10.4 | 4.5 | 106.3 | 14.1 | 4.5 | 10.4 | 1.5 | 0 |
| P18 | 20.8 | 10.4 | 4.5 | 112.8 | 14.1 | 4.5 | 10.2 | 1.5 | 0 |
| P19 | 19.2 | 10.2 | 4.5 | 123.0 | 14.1 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 1 |
| P20 | 17.5 | 10.3 | 4.5 | 129.1 | 14.1 | 4.5 | 10.2 | 1.5 | 1 |
| P21 | 15.2 | 10.3 | 4.5 | 140.9 | 14.1 | 4.5 | 10.2 | 1.5 | 1 |
| P22 | 17.5 | 10.4 | 4.5 | 148.6 | 14.1 | 4.5 | 10.1 | 1.5 | 1 |
| P23 | 19.5 | 10.4 | 4.5 | 154.1 | 14.1 | 4.5 | 10.1 | 1.5 | 0 |
| P24 | 25.7 | 10.4 | 4.5 | 162.8 | 14.1 | 4.5 | 9.9 | 1.5 | 0 |
| P25 | 29.5 | 10.4 | 4.5 | 167.2 | 14.1 | 4.5 | 10.0 | 1.5 | 0 |
| P26 | 37.7 | 10.4 | 4.5 | 169.8 | 14.1 | 4.5 | 10.1 | 1.5 | 0 |
| P27 | 43.6 | 10.4 | 4.5 | 170.8 | 14.1 | 4.5 | 10.4 | 1.5 | 0 |
| P28 | 50.0 | 10.4 | 4.5 | 188.4 | 14.1 | 4.5 | 9.8 | 1.5 | 0 |
| P29 | 49.3 | 10.4 | 4.5 | 188.5 | 14.1 | 4.5 | 9.8 | 1.5 | 0 |
| P30 | 29.0 | 10.4 | 4.5 | 168.1 | 14.1 | 4.5 | 10.1 | 1.5 | 0 |

| 測定点ID | 提案手法(LCX) | | | 従来手法(指向性アンテナ) | | | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | | | |
| P31 | 30.5 | 10.4 | 4.5 | 169.4 | 14.1 | 4.5 | 10.8 | 1.5 | 0 |
| P32 | 43.0 | 10.4 | 4.5 | 175.4 | 14.1 | 4.5 | 11.9 | 1.5 | 0 |
| P33 | 35.3 | 10.4 | 4.5 | 158.5 | 14.1 | 4.5 | 12.3 | 1.5 | 0 |
| P34 | 39.8 | 10.4 | 4.5 | 166.5 | 14.1 | 4.5 | 12.3 | 1.5 | 1 |
| P35 | 29.2 | 10.4 | 4.5 | 152.9 | 14.1 | 4.5 | 11.9 | 1.5 | 1 |
| P36 | 31.5 | 10.4 | 4.5 | 146.3 | 14.1 | 4.5 | 12.1 | 1.5 | 1 |
| P37 | 26.8 | 10.4 | 4.5 | 141.4 | 14.1 | 4.5 | 11.7 | 1.5 | 0 |
| P38 | 33.1 | 10.3 | 4.5 | 141.1 | 14.1 | 4.5 | 11.8 | 1.5 | 0 |
| P39 | 38.6 | 10.4 | 4.5 | 143.7 | 14.1 | 4.5 | 12.1 | 1.5 | 0 |
| P40 | 31.9 | 10.4 | 4.5 | 134.2 | 14.1 | 4.5 | 11.7 | 1.5 | 1 |
| P41 | 26.9 | 10.2 | 4.5 | 123.6 | 14.1 | 4.5 | 11.6 | 1.5 | 1 |
| P42 | 32.2 | 10.4 | 4.5 | 116.0 | 14.1 | 4.5 | 11.6 | 1.5 | 0 |
| P43 | 26.8 | 10.3 | 4.5 | 111.7 | 14.1 | 4.5 | 11.7 | 1.5 | 0 |
| P44 | 31.6 | 10.6 | 4.5 | 103.4 | 14.1 | 4.5 | 12.3 | 1.5 | 0 |
| P45 | 26.4 | 10.6 | 4.5 | 95.7 | 14.1 | 4.5 | 12.1 | 1.5 | 1 |
| P46 | 31.1 | 11.1 | 4.5 | 90.0 | 14.1 | 4.5 | 12.4 | 1.5 | 1 |
| P47 | 30.9 | 11.1 | 4.5 | 81.1 | 14.1 | 4.5 | 12.6 | 1.5 | 1 |
| P48 | 39.8 | 11.1 | 4.5 | 72.6 | 14.1 | 4.5 | 13.0 | 1.5 | 1 |
| P49 | 34.6 | 10.6 | 4.5 | 99.4 | 14.1 | 4.5 | 12.4 | 1.5 | 0 |
| P50 | 41.1 | 10.6 | 4.5 | 102.4 | 14.1 | 4.5 | 13.0 | 1.5 | 0 |
| P51 | 48.2 | 10.6 | 4.5 | 104.6 | 14.1 | 4.5 | 13.7 | 1.5 | 0 |
| P52 | 24.0 | 11.9 | 4.5 | 66.3 | 14.1 | 4.5 | 13.1 | 1.5 | 0 |
| P53 | 27.5 | 12.2 | 4.5 | 62.9 | 14.1 | 4.5 | 13.6 | 1.5 | 0 |
| P54 | 22.2 | 12.4 | 4.5 | 52.5 | 14.1 | 4.5 | 13.6 | 1.5 | 0 |
| P55 | 28.2 | 11.8 | 4.5 | 47.1 | 14.1 | 4.5 | 14.9 | 1.5 | 0 |
| P56 | 22.4 | 12.7 | 4.5 | 42.2 | 14.1 | 4.5 | 13.7 | 1.5 | 0 |
| P57 | 32.0 | 12.7 | 4.5 | 46.2 | 14.1 | 4.5 | 15.6 | 1.5 | 0 |
| P58 | 38.1 | 12.8 | 4.5 | 48.7 | 14.1 | 4.5 | 17.0 | 1.5 | 0 |
| P59 | 27.1 | 13.0 | 4.5 | 36.2 | 14.1 | 4.5 | 15.4 | 1.5 | 0 |
| P60 | 19.4 | 13.3 | 4.5 | 26.5 | 14.1 | 4.5 | 1.2 | 1.5 | 0 |
| P61 | 25.1 | 13.8 | 4.5 | 26.4 | 14.1 | 4.5 | 14.6 | 1.5 | 0 |

| 測定点ID | 提案手法(LCX) | | | 従来手法(指向性アンテナ) | | | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | | | |
| P62 | 14.1 | 13.9 | 4.5 | 14.8 | 14.1 | 4.5 | 14.5 | 1.5 | 0 |
| P63 | 14.8 | 14.1 | 4.5 | 14.8 | 14.1 | 4.5 | 14.5 | 1.5 | 0 |
| P64 | 12.2 | 14.1 | 4.5 | 12.2 | 14.1 | 4.5 | 14.6 | 1.5 | 0 |
| P65 | 20.6 | 14.1 | 4.5 | 20.6 | 14.1 | 4.5 | 15.3 | 1.5 | 0 |
| P66 | 26.8 | 14.1 | 4.5 | 26.8 | 14.1 | 4.5 | 15.7 | 1.5 | 0 |
| P67 | 32.7 | 14.1 | 4.5 | 32.7 | 14.1 | 4.5 | 16.6 | 1.5 | 0 |
| P68 | 23.1 | 14.1 | 4.5 | 23.1 | 14.1 | 4.5 | 16.0 | 1.5 | 0 |
| P69 | 25.6 | 14.1 | 4.5 | 25.6 | 14.1 | 4.5 | 17.7 | 1.5 | 0 |
| P70 | 28.5 | 14.1 | 4.5 | 28.5 | 14.1 | 4.5 | 18.5 | 1.5 | 0 |
| P71 | 45.5 | 14.1 | 4.5 | 45.5 | 14.1 | 4.5 | 21.4 | 1.5 | 0 |
| P72 | 15.2 | 14.1 | 4.5 | 15.2 | 14.1 | 4.5 | 14.9 | 1.5 | 0 |
| P73 | 29.6 | 14.1 | 4.5 | 29.6 | 14.1 | 4.5 | 15.0 | 1.5 | 0 |
| P74 | 51.2 | 14.1 | 4.5 | 51.2 | 14.1 | 4.5 | 15.4 | 1.5 | 0 |
| P75 | 75.3 | 14.1 | 4.5 | 75.3 | 14.1 | 4.5 | 15.7 | 1.5 | 0 |
| P76 | 75.3 | 14.1 | 4.5 | 70.0 | 14.1 | 4.5 | 15.7 | 1.5 | 1 |
| P77 | 75.3 | 14.1 | 4.5 | 70.7 | 14.1 | 4.5 | 15.7 | 1.5 | 1 |

引用:国土地理院地図.

図.3.3.2.4-(3) :自己土地測定地点

表.3.3.2.4-(2) :自己土地の測定点情報

| 測定点ID | 提案手法(LCX) | | | 従来手法(指向性アンテナ) | | | 測定点標高 [m] | 端末(測定器)アンテナ地上高 [m] | LOS (0:LOS 1:NLOS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | 基地局との水平距離 [m] | 基地局アンテナ地点標高 [m] | 基地局アンテナ地上高 [m] | | | |
| P01 | 30.3 | 14.1 | 4.5 | 30.3 | 14.1 | 4.5 | 15.1 | 1.5 | 0 |
| P02 | 0.1 | 14.1 | 4.5 | 0.1 | 14.1 | 4.5 | 14.1 | 1.5 | 0 |
| P03 | 0.0 | 13.0 | 4.5 | 0.0 | 13.0 | 4.5 | 13.0 | 1.5 | 0 |
| P04 | 0.0 | 11.7 | 4.5 | 0.0 | 11.7 | 4.5 | 11.7 | 1.5 | 0 |
| P05 | 0.0 | 11.0 | 4.5 | 0.0 | 11.0 | 4.5 | 11.0 | 1.5 | 0 |
| P06 | 0.1 | 10.6 | 4.5 | 0.1 | 10.6 | 4.5 | 10.6 | 1.5 | 0 |
| P07 | 0.0 | 10.3 | 4.5 | 0.0 | 10.3 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 0 |
| P08 | 0.0 | 10.3 | 4.5 | 0.0 | 10.3 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 0 |
| P09 | 18.8 | 10.4 | 4.5 | 18.8 | 10.4 | 4.5 | 10.2 | 1.5 | 0 |
| P11 | 32.7 | 14.1 | 4.5 | 32.7 | 14.1 | 4.5 | 15.1 | 1.5 | 0 |
| P12 | 4.9 | 14.1 | 4.5 | 4.9 | 14.1 | 4.5 | 14.3 | 1.5 | 0 |
| P13 | 3.8 | 13.0 | 4.5 | 3.8 | 13.0 | 4.5 | 13.8 | 1.5 | 0 |
| P14 | 4.6 | 11.7 | 4.5 | 4.6 | 11.7 | 4.5 | 13.1 | 1.5 | 0 |
| P15 | 4.5 | 11.0 | 4.5 | 4.5 | 11.0 | 4.5 | 12.3 | 1.5 | 0 |
| P16 | 4.2 | 10.6 | 4.5 | 4.2 | 10.6 | 4.5 | 11.2 | 1.5 | 0 |
| P17 | 4.6 | 10.3 | 4.5 | 4.6 | 10.3 | 4.5 | 10.6 | 1.5 | 0 |
| P18 | 4.3 | 10.3 | 4.5 | 4.3 | 10.3 | 4.5 | 10.4 | 1.5 | 0 |
| P19 | 18.7 | 10.4 | 4.5 | 18.7 | 10.4 | 4.5 | 10.3 | 1.5 | 0 |
| P21 | 31.1 | 14.1 | 4.5 | 31.1 | 14.1 | 4.5 | 15.5 | 1.5 | 0 |
| P22 | 9.4 | 14.1 | 4.5 | 9.4 | 14.1 | 4.5 | 14.4 | 1.5 | 0 |
| P23 | 8.9 | 13.0 | 4.5 | 8.9 | 13.0 | 4.5 | 13.9 | 1.5 | 0 |
| P24 | 8.9 | 11.7 | 4.5 | 8.9 | 11.7 | 4.5 | 13.4 | 1.5 | 0 |
| P25 | 8.3 | 11.0 | 4.5 | 8.3 | 11.0 | 4.5 | 12.6 | 1.5 | 0 |
| P26 | 8.6 | 10.6 | 4.5 | 8.6 | 10.6 | 4.5 | 11.8 | 1.5 | 0 |
| P27 | 9.0 | 10.3 | 4.5 | 9.0 | 10.3 | 4.5 | 11.3 | 1.5 | 0 |
| P28 | 8.9 | 10.3 | 4.5 | 8.9 | 10.3 | 4.5 | 11.2 | 1.5 | 0 |
| P29 | 18.4 | 10.4 | 4.5 | 18.4 | 10.4 | 4.5 | 10.6 | 1.5 | 0 |

### （5） 実証結果及び考察

◎エリア設計シミュレーションによる検証結果

従来の手法である指「RU＋指向性アンテナによる水平方向へのビーム照射」のエリアシミュレーションの結果を図.3.3.2.5-(1)に、提案手法である「低出力 RU と短距離 LCX を組み合わせた DAS 構成による線状セルの構築」のエリアシミュレーションの結果を図.3.3.2.5-(2)に示す。

なお、提案手法のシミュレーションについては、3.3.2.(2)実証仮説で示すレイトレースシミュレーションを用いた。

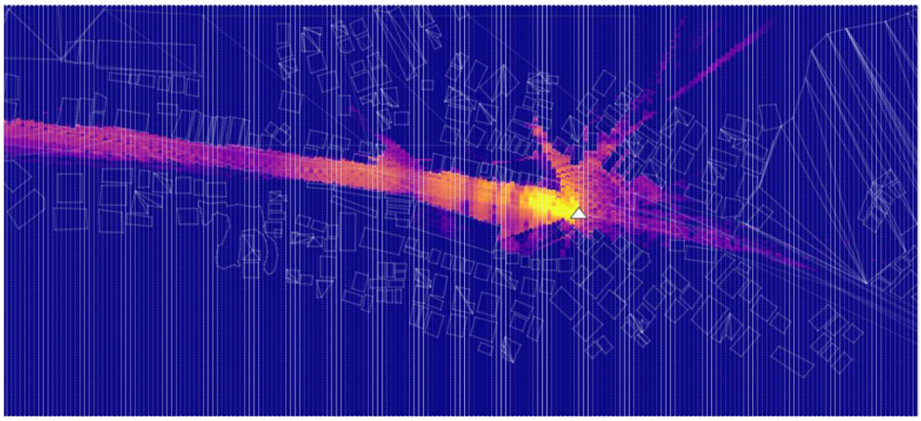


図.3.3.2.5-(1) :RU＋指向性アンテナのエリアシミュレーション

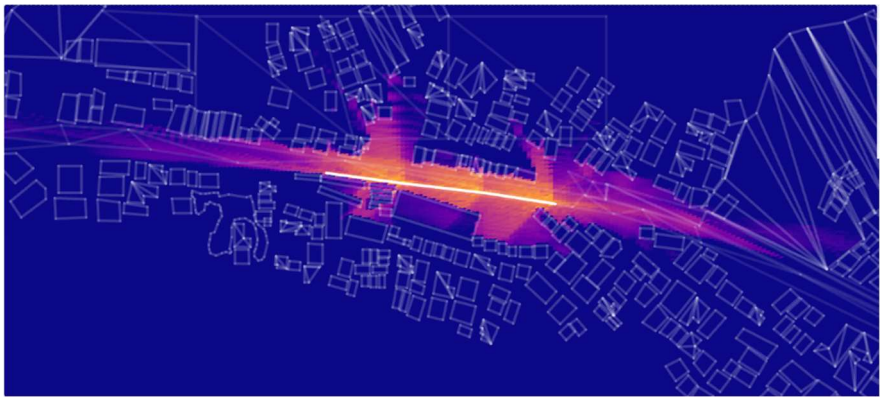
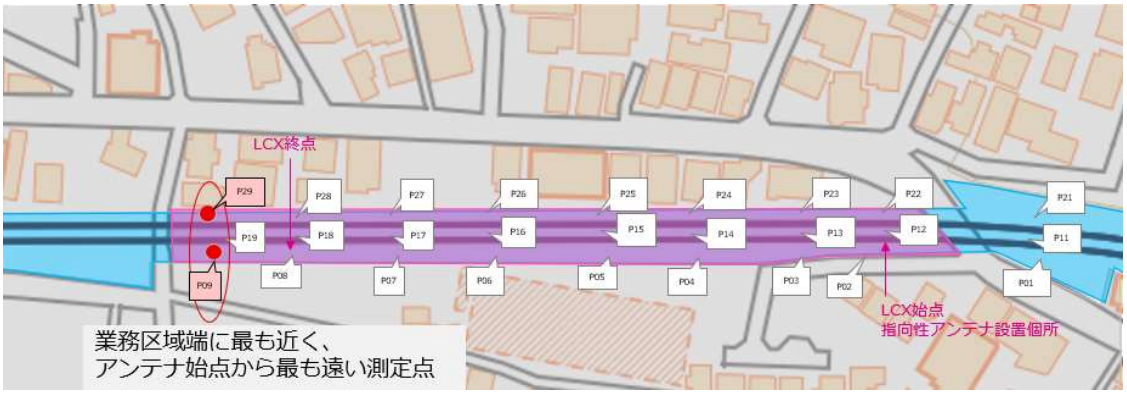


図.3.3.2.5-(2) :RU＋LCX のエリアシミュレーション

上記シミュレーションを行うにあたり、従来手法と提案手法を比較するために条件を一致させる必要がある。ユースケースを鑑みると、線路内の業務区域端で利用することが考えられるため、業務区域端に近く、アンテナ始点から最も遠い測定点である、P09、P29 をターゲットとして、両者の受信レベルが従来手法と提案手法で最も差が小さくなるように RU の送信出力を算出した。




引用：国土地理院地図

図.3.3.2.5-(3) :従来手法と提案手法の条件を合わせるための地点

この結果、RU の送信出力は以下としてシミュレーションを実施した。

従来手法(指向性アンテナ)： 16dB

提案手法(LCX)： 6dB

シミュレーション結果について従来手法と提案手法を比較すると、短手方向に関しては従来手法の方が提案手法に比べてエリアが小さくなっていることから、提案手法では他者土地への電波抑制効果効果が表れていないように見える。

しかし、シミュレーションの反射回数 1 回の制約では、従来手法である指向性アンテナは長手方向への放射が主体であるため、短手方向には距離が出にくく、実態との乖離が生じやすいのに対して、提案手法である LCX では、短手方向にも放射があるため、シミュレーション結果として距離が出やすい。

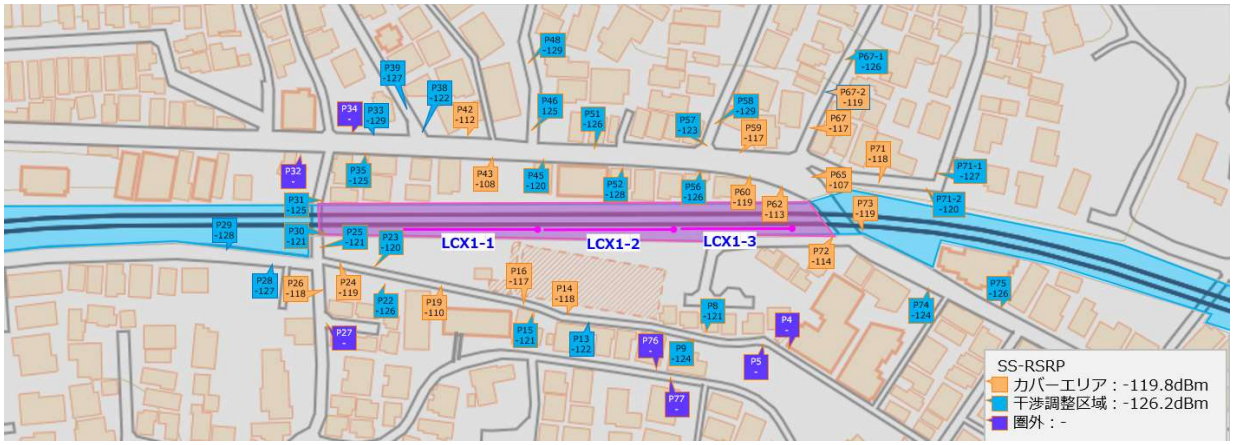
従って短手方向の他者土地への電波漏洩に関しては、シミュレーション結果だけでの比較が結果的にできず、測定結果による比較にて判断が必要となる。

◎実測結果による検証結果

受信レベルの実測結果について、測定点と測定結果について以下の図に示す。

引用：国土地理院地図

図.3.3.2.5-(4) :従来手法の他者土地測定点と受信レベル測定結果

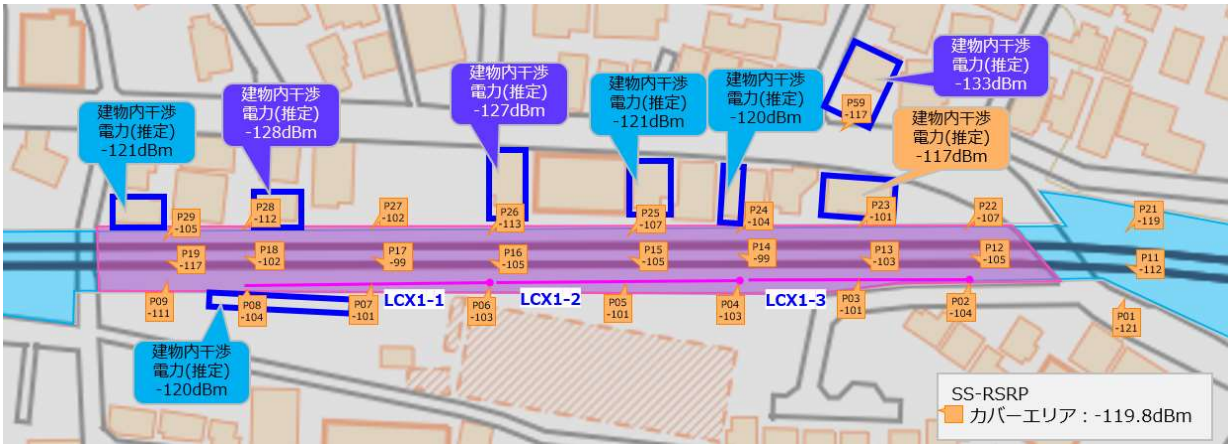



引用：国土地理院地図

図.3.3.2.5-(5) :提案手法の他者土地測定点と受信レベル測定

引用：国土地理院地図

図.3.3.2.5-(6) :従来手法の自己土地測定点と受信レベル測定結果




引用：国土地理院地図

図.3.3.2.5-(7) :提案手法の自己土地測定点と受信レベル測定結果

自己土地内の業務区域においては、従来手法、提案手法のいずれもカバーエリア内の閾値を満たしている。

他者土地の結果においては、提案手法の測定結果のうち、カバーエリア端を示す値以下の地点のみ抽出し、従来手法の同地点の測定結果と比較する。比較結果を以下の表に示す。

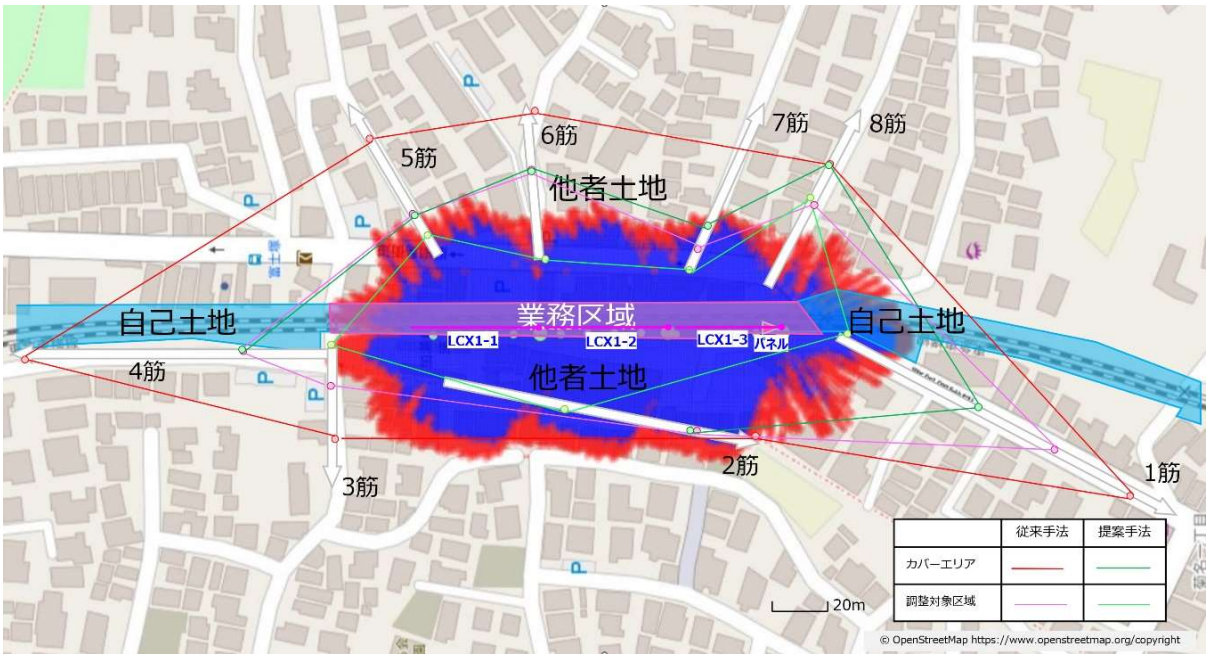
表.3.3.2.5-(1) :提案手法と従来手法の他者土地測定結果比較表

| 測定点 ID | 提案手法<br>RSRP 受信レベル[dBm] | 従来手法<br>RSRP 受信レベル[dBm] | 干渉抑制量[dB] |
|---|---|---|---|
| P75 | -126 | -101 | 5 |
| P74 | -124 | -100 | 24 |
| P8 | -121 | -121 | 0 |
| P9 | -124 | -120 | 4 |
| P13 | -122 | -117 | 5 |
| P15 | -121 | -115 | 6 |
| P22 | -126 | -119 | 7 |
| P28 | -127 | -116 | 11 |
| P29 | -128 | -122 | 6 |
| P25 | -121 | -115 | 6 |
| P30 | -121 | -115 | 6 |
| P31 | -125 | -117 | 8 |
| P35 | -125 | -129 | 6 |

| 測定点 ID | 提案手法<br>RSRP 受信レベル[dBm] | 従来手法<br>RSRP 受信レベル[dBm] | 干渉抑制量[dB] |
|---|---|---|---|
| P33 | -129 | -126 | 3 |
| P38 | -122 | -119 | 3 |
| P45 | -120 | -107 | 13 |
| P46 | -125 | -109 | 16 |
| P48 | -129 | -117 | 12 |
| P51 | -126 | -123 | 3 |
| P52 | -128 | -119 | 9 |
| P57 | -123 | -117 | 6 |
| P58 | -129 | -127 | 2 |
| P56 | -126 | -124 | 2 |

抽出した全地点において提案手法により電波漏洩範囲が抑制方向にある。測定点によって干渉抑制量のばらつきはあるが、表中の干渉抑制量の平均を取ると 7.08 となり、提案手法により 5dB 以上の干渉抑制効果が表れている。

このことからも、従来手法である指向性アンテナのシミュレーション結果はエリアが小さく見積られていたことになる。




引用:©OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org/copyright)

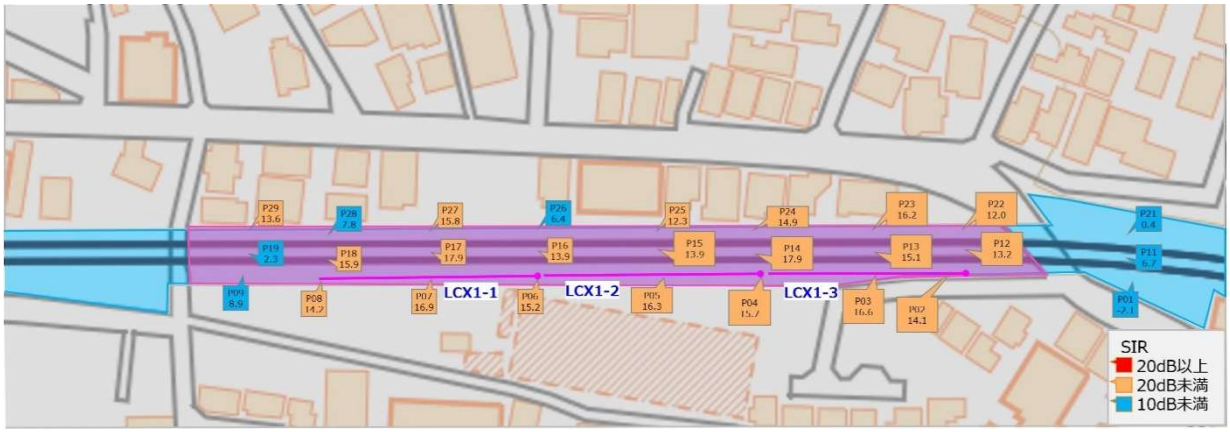
図.3.3.2.5-(8) :提案手法実施前後のカバーエリアと調整対象区域

表.3.3.2.5-(2) :提案手法実施前後のエリア端閾値位置までの距離の変化

| 距離計測方向<br>(地図参照) | カバーエリアの閾値を実測した距離[m] | | 調整対象区域の閾値を実測した距離[m] | |
|---|---|---|---|---|
| | 提案手法実施前 | 提案手法実施後 | 提案手法実施前 | 提案手法実施後 |
| 1筋 | 適した測定点なし | 25.2 | 146.5 | 81.3 |
| 2筋 | 36.2 | 33.0 | 42.1 | 40.7 |
| 3筋 | 50.8 | 37.4 | 52.3 | 適した測定点なし |
| 4筋 | 65.3 | 31.4 | 150.2 | 65.3 |
| 5筋 | 44.3 | 不明 | 75.5 | 44.3 |
| 6筋 | 59.8 | 23.8 | 84.3 | 59.8 |
| 7筋 | 28.9 | 適した測定点なし | 37.5 | 37.5 |
| 8筋 | 適した測定点なし | 51.1 | 65.9 | 64.6 |

図.3.3.2.5-(9)に提案手法実施前後のカバーエリアと調整対象区域を同一地図上に示す。カバーエリア、調整対象区域共に提案手法により改善されていることがわかる。カバーエリア、調整対象区域それぞれの閾値の得られる位置の距離としての改善量を示すため、表.3.3.2.5-(2)に提案手法実施前後のエリア端閾値位置までの距離の変化を表に示す。

地業務区域における SIR 測定結果を図.3.3.2.5-(10)に示す。




引用:国土地理院地図

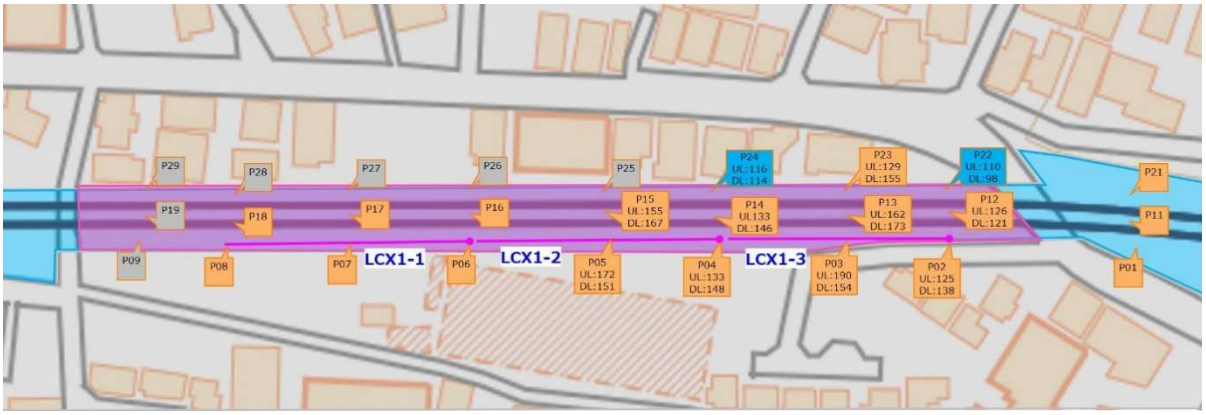
図.3.3.2.5-(9) :提案手法 業務区域 SIR 測定結果

引用:国土地理院地図

図.3.3.2.5-(10) :従来手法 業務区域 SIR 測定結果

提案手法と従来手法における無線品質を評価すると、従来手法は過剰品質になっている箇所がある。LCX については前方の品質が若干低くなっているが、前述の理由により、送信出力向上による改善手段は取らなかった。

地業務区域におけるスループット測定結果を図.3.3.2.5-(11)および図.3.3.2.5-(12)に示す。




引用:国土地理院地図

図.3.3.2.5-(11) :提案手法 業務区域スループット測定結果

引用:国土地理院地図

図.3.3.2.5-(12) :従来手法 業務区域スループット測定結果

業務区域内のスループット測定については次の理由にて LCX1-3 の区間についてのみ実施した。当該区間は線路になるため、測定できる時間帯が終電から始発までの深夜帯に限定された。周辺一帯は住宅街であり、深夜の時間帯における測定作業については近隣住民に対する極めて厳重な配慮が必要とされた。このため、深夜帯の作業については日程を限定して実施した。測定時間を短く抑えることのできる受信レベル測定に比べて、スループット測定は手順も多く時間がかかることと、必要機材や測定作業者が受信レベル測定に比べ多くなることから、受信レベルの測定を優先し、スループット測定は、LCX1-3 の区間のみとした。

スループット測定は、クレームが発生する住民から最も遠い LCX1-3 のみとした。従って比較はこの区間のみとなる。

表.3.3.2.5-(3) :提案手法と従来手法の他者土地測定結果比較表

| 測定点 ID | 提案手法<br>スループット[Mbps] | 従来手法<br>スループット[Mbps] |
|---|---|---|
| P02 | UL:125<br>DL:138 | UL:176<br>DL:237 |
| P03 | UL:190<br>DL:154 | UL:291<br>DL:322 |
| P04 | UL:133<br>DL:148 | UL:142<br>DL:273 |
| P12 | UL:126<br>DL:121 | UL:127<br>DL:164 |
| P13 | UL:162<br>DL:173 | UL:131<br>DL:199 |

| 測定点 ID | 提案手法<br>スループット[Mbps] | 従来手法<br>スループット[Mbps] |
|---|---|---|
| P14 | UL:133<br>DL:146 | UL:120<br>DL:193 |
| P22 | UL:110<br>DL:98 | UL:108<br>DL:153 |
| P23 | UL:129<br>DL:155 | UL:108<br>DL:144 |
| P24 | UL:116<br>DL:114 | UL:107<br>DL:159 |

提案手法では P22、P24 の UL 性能について要求性能(120Mbp)に未達であるが、課題実証を実行する上では影響の無い地点であること、未達能力がわずかであること、他者土地への電波漏洩を極力減らしたいことから、送信電力を上げる対策は行っていない。この結果のまま従来手法との比較を行う。

提案手法では上述の通り、P22、P24 の 2 地点のみ UL 性能が未達である以外は、要求性能を満たしている。一方、従来手法においても、P22、P23、P24 の 3 地点で UL 性能が未達である以外は、要求性能を満たしている。

◎実測と伝搬シミュレーションの結果の比較

他者土地の比較を行う。図.3.3.2.5-(13)は仮説設定時に実施したシミュレーション結果と実測結果を比較したグラフである。

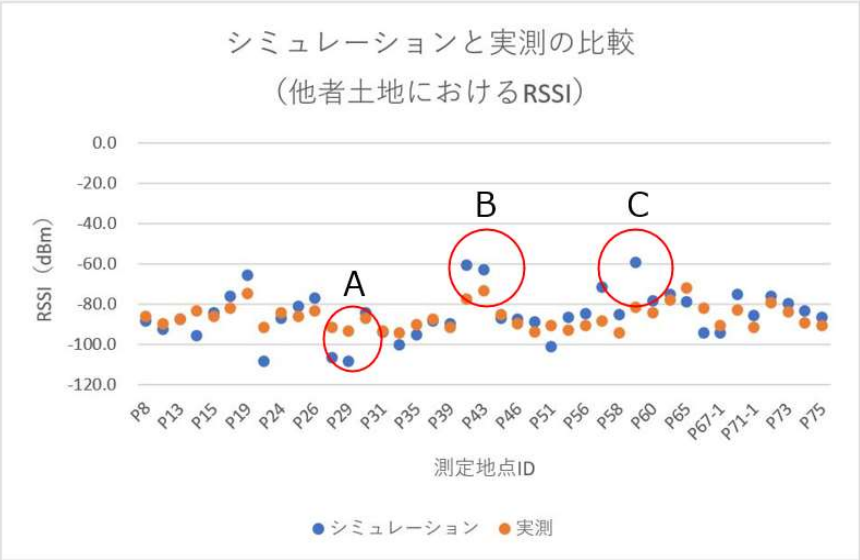



図.3.3.2.5-(13) :他者土地 シミュレーションと実測の比較

シミュレーション結果は実測値に概ね近い値となっている。

シミュレーション結果と実測値の乖離が大きい 3 地点 A、B、C について考察する。

A 地点:LCX 前方エリアで、反射による伝搬が支配的と考えられる地点であり、計算量の制約から反射回数 1 回でのシミュレーションとしているため、実測が高い値となったと考えられる

B 地点、C 地点:建物等の遮蔽物がほとんど無い LOS 地点であるが、周辺建物のモデル化が不足しており、実際には反射・回折が発生することにより実測が低い値となったと考えられる

次に自己土地について比較を行う。

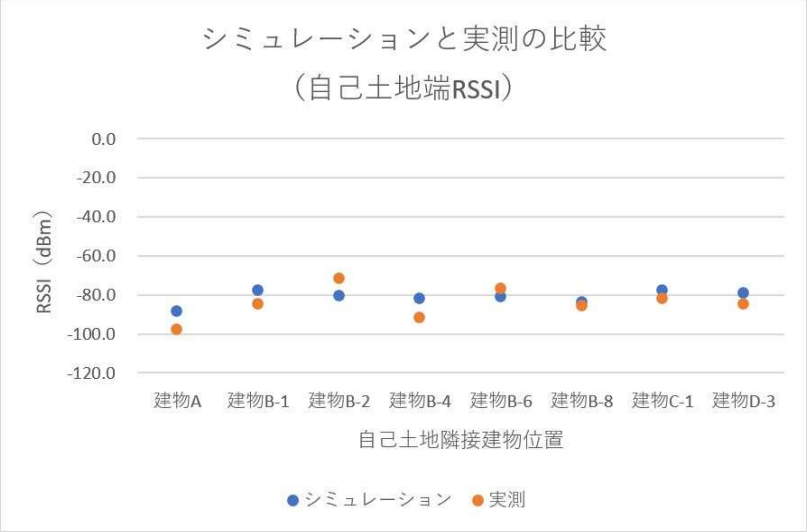



図.3.3.2.5-(14) :自己土地 シミュレーションと実測の比較

シミュレーション結果と実測値は概ね同じとなっており、乖離が大きい箇所は無かった。

◎列車通過時の影響

提案手法において、通過列車の影響について評価した。

P43、P62、P72 の 3 地点にて列車が通過する際の受信レベルの変動をグラフにしたものを図.3.3.2.5-(15)、図.3.3.2.5-(16)、図.3.3.2.5-(17)に示す。

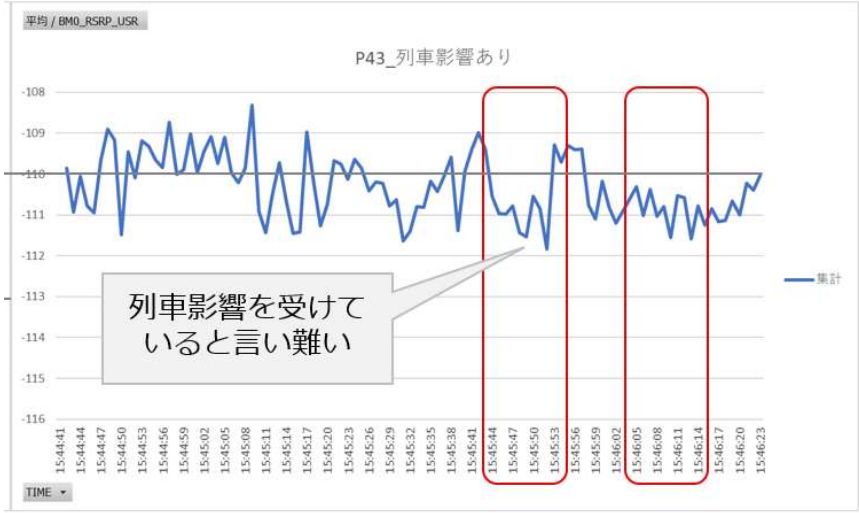



図.3.3.2.5-(15) :P43 列車通過時の受信レベル変動

図.3.3.2.5-(16) :P62 列車通過時の受信レベル変動

図.3.3.2.5-(17) :P72 列車通過時の受信レベル変動

グラフに示す通り、列車通過時の受信レベル低下はわずかであり、通信性能に与える影響はほとんど無いと考える。

◎エリア設計手法のモデル化

提案手法によるエリア設計にあたっての実施フローモデルを図.3.3.2.5-(18) に示す。

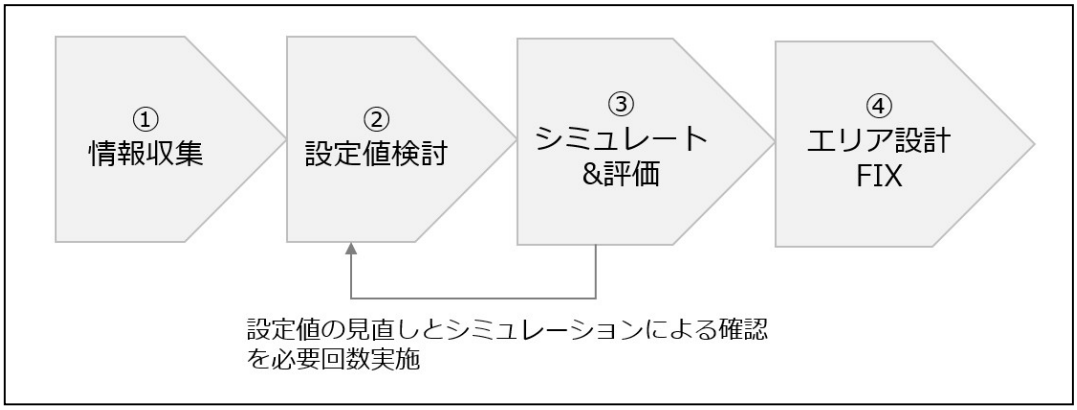



図.3.3.2.5-(18) :エリア設計の実施フローモデル

フローモデルの詳細な実施手順は以下である。

① 情報収集

エリア設計に影響する以下情報を収集する

・線路エリアの寸法(幅、対象区間の全長)

・LCX の電気的特性(伝送損、結合損、放射方向)

・LCX の敷設条件(既存/新規、設置候補場所)

・RU 諸元(DAS 構成可否、RU 出力、FH 距離)

・UE の台数、設置位置・移動有無

・アプリケーションによる要求無線性能

② 設定値検討

収集した情報をもとに机上検討を行い、エリア設計の暫定値を決定する

・LCX の長さ、所要本数、間隔、スロットの向き

・セル構成(DAS を組む RU 数)

・接続端末数

・RU 送信電力

ここで、LCX の長さを求める方法を示す。

表.3.3.2.5-(4) は LCX のスペック、給電点送信電力にて試算される各位置での受信電力の一例

を示したものである。この表と業務区域において期待される受信電力からケーブル長を決める。

| ケーブル長さ | | 0m | 10m | 50m | 100m |
|---|---|---|---|---|---|
| ケーブル出力 | | 4dBm | 1dBm | -11dBm | -26dBm |
| ケーブルからの距離 | 1.5m | -56dBm | -59dBm | -71dBm | -86dBm |
| | 3.0m | -59dBm | -62dBm | -74dBm | -89dBm |
| | 6.0m | -62dBm | -65dBm | -77dBm | -92dBm |
| | 12.0m | -65dBm | -68dBm | -80dBm | -95dBm |

表.3.3.2.5-(4) :LCX スペックおよび送信電力により、期待される受信電力の一例

この結果、LCX が長くなり、LCX の給電点から遠い端で所要受信電力を満たそうとした場合に給電点近傍での他者土地漏洩が問題となる場合は、DAS 構成を採用する。

③ シミュレート＆評価

検討した設定値を反映した伝搬シミュレーションにより、以下を評価する

・自己土地内の受信電力(RSSI)、受信品質(SIR)

・他者土地への漏洩電力(RSSI)

・カバーエリア/調整対象区域の閾値相当となるエッジ位置

この時、セル構成から伝搬シミュレーションを実施すると、エリアの規模が膨大だと時間がかかるため、アンテナのカタログスペックから結合損失距離特性を求めてセル構成を限定することを推奨する。

また、エリア設計における伝搬シミュレーションについては、セルの構成方法が決まらない段階ではシミュレーションの工数がかかるため、セル構成(LCX の長さ、DAS 構成有無)について方針決めをした後で実施する。伝搬シミュレーションを実施した後、隣接セル間干渉や他者土地漏洩の状況を机上で確認し、スロット開口方向、送信電力を決める。

④ エリア設計 FIX

必要に応じて②③(設定値の修正と伝搬シミュレーションによる確認)を複数回実施し、最終的なエリア設計値を Fix する。

◎実施容易性・コスト等の比較

以下の表にて比較を行う。比較の条件は以下である。

・線形の長いエリアをエリア化の対象とする

・DAS は pRadio 数個によりエリア構築することを想定

・LCX は 50m 程度のケーブル長+RU1 台でエリア構築することを想定

・指向性アンテナは 1 アンテナ+RU1 台でエリア構築することを想定

・DAS は自社製品を想定

・5 段階で評価。値が大きいほど優勢

表.3.3.2.5-(5) :各手法の比較

| 評価項目 | 分散アンテナシステム<br>(DAS) | 漏洩同軸ケーブル(LCX)<br>★提案手法 | その他(指向性アンテナ) |
|---|---|---|---|
| 設置位置<br>(アクセス容易、面積) | 4<br>天井等のアクセス容易な高さ | 3<br>比較的高所に設置する | 3<br>比較的高所に設置する<br>パネルの面積が必要 |
| 付帯設備(電源・バッテリー等)の必要性 | 4<br>RHUB への電源要 | 3<br>ケーブル敷設のガイドが必要<br>RU への電源要 | 4<br>RU への電源要 |
| 消費電力 | 4<br>pRadio の数量分消費 | 5<br>RU は低出力 | 4<br>RU が高出力 |
| 伝送路の必要性 | 3<br>Radio 数量分の光伝送路要 | 4<br>コアと RU 間の光電伝送路要 | 4<br>コアと RU 間の光電伝送路要 |
| 施工の容易性 | 4<br>pRadio の数量分施工が必要 | 3<br>ケーブルの向きを指示通り施工するのは困難<br>施工後の調整も困難 | 4<br>施工後の放射方向、チルトの調整は容易 |
| 導入リードタイム | 5<br>在庫状況による | 4<br>在庫があれば長さの加工のみ | 2<br>特注になりがちで時間がかかる |
| 移設の容易性 | 3<br>施工の容易性に準ずる | 2<br>施工の容易性に準ずる | 4<br>施工の容易性に準ずる |
| カバレッジの距離 | 4<br>pRadio の構成数に依存 | 4<br>自己土地としてのカバー | 2<br>他者土地への漏洩範 |

| 評価項目 | 分散アンテナシステム（DAS） | 漏洩同軸ケーブル（LCX）★提案手法 | その他（指向性アンテナ） |
|---|---|---|---|
| | する。 | 範囲は長手方向には十分あり、他者土地への漏洩範囲が狭い | 囲が広い |
| カバレッジの角度 | 4<br>pRadio はオムニのため、全方位カバー | 4<br>線形にエリア形成される | 3<br>形成したい角度に合わせて半値角を選定可能<br>垂直方向の真下はカバーしにくい |
| 基地局との位置関係 | 3<br>DU～RHUB、RHUB～pRadio の距離の制約あり | 2<br>LCX 入力端と RU は近い必要あり | 2<br>アンテナ入力端と RU は近い必要あり |
| 数量拡張性 | 5<br>pRadio 数に制約あり | 4<br>LCX 長は実効上の制約あり | 5<br>特に無し |
| 位置合わせ | 3<br>数量がある場合は大変 | 3<br>ケーブルの向きを合わせるのが難しい | 3<br>放射角度、チルトの調整が大変 |
| 設置場所の選定 | 2<br>pRadio の数量分選定が必要<br>屋内のみ | 4<br>ケーブル敷設条件と RU 設置条件を満たす必要あり | 4<br>アンテナ設置条件と RU 設置条件を満たす必要あり |
| 敷設作業費用 | 4<br>pRadio 数量に応じてコスト増 | 3<br>ケーブル敷設が高所作業となりコスト増 | 5<br>パネル 1 か所のため比較的安価 |

比較の結果、一長一短ではあるが、本実証の対象区間である線路においては、他者土地への漏洩を抑制しつつ、自己土地内への性能を確保しなくてはならないため、LCX が有利となる。

更に線路においては、電路柱やガイド相当のケーブルがすでに線路脇に敷設されていることが多く、LCX 敷設に関する不利な点が着目されにくい。

◎ローカル 5G における LCX の今後の普及課題及びその解決策

前方および後方は遠方まで電波が到達するため、LCX 端から先の自己土地がカーブしている場合などは他者土地への漏洩が懸念される。

カーブの十分手前に LCX 端を持ってくる等の設置におけるエンジニアリングや、カーブに電波吸収壁を設置するなど工夫が必要である。

## 3.4 鉄道領域(線路/駅ホーム)のエリア化に関する考察

本実証の結果から、一般的な Sub6/ミリ波の周波数特性等を考慮し、Sub6/ミリ波の鉄道領域における有効性について下表に整理を行った。

表.3.4-(1) :Sub6/ミリ波の特性比較表

| 項目 | Sub6 | ミリ波 | 詳細 |
|---|---|---|---|
| 自己土地エリアカバー | ○ | | ・遮蔽物の多い駅ホーム上ではミリ波は遮蔽影響を受けやすいため、周波数特性上 Sub6 の方が有利<br>・駅ホーム内で更にカバーエリアを絞れるのであれば、ミリ波はスポット対策とする方が望ましい |
| 鉄道領域における運用 | ○ | | ・列車運行中における遮蔽影響(人流や列車の移動)は周波数特性上 Sub6 の方が有利 |
| 自己土地内干渉抑制 | ○ | | ・Sub6 は DAS 構成を取ることによりセル間干渉抑制が可能<br>・ミリ波はアンテナ一体型のため現状ではセル間干渉対策として出力やチルト調整程度しかできない。<br>・ミリ波の異なる周波数帯を用いて複数セルによりエリア構築をする手法も考えられるが、その運用可否は基地局及び端末の仕様に依存するため、将来的な手法として要検討。 |
| 他者土地漏洩抑制 | | ○ | ・本実証でも確認した通り、周波数特性上直進性が強く、建物等から遮蔽影響を多く受けるミリ波の方が有利<br>・ただしミリ波を用いる場合、現状ではアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、アンカーバンドにおける干渉対策及び複数周波数帯での干渉調整が必要 |
| 構築コスト | ○ | | ・ミリ波を用いる場合、現状ではアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、SA 構成を取れる Sub6 が有利 |

自己土地エリアカバーの観点では、本実証結果からもミリ波は駅ホーム上の遮蔽物による影響を大きく受けることが確認できており、周波数特性上も Sub6 の方が有利と考えた。

鉄道施設における運用の観点では、列車運行中の時間帯における駅ホームは乗客によるホーム上の移動や滞留及び列車の停車、移動が発生するため、周波数特性上 Sub6 の方が有利と考えた。

自己土地内干渉抑制の観点では、Sub6 は DAS 構成を取ることによるセル間干渉の抑制を図ることが可能であるが、ミリ波はアンテナ一体型の基地局が一般的であり、外部アンテナを用いた指向性の

調整ができないため、エリア調整手法としては出力やチルトの変更がメインとなる。そのため、Sub6 の方が有利と考えた。ミリ波は周波数帯域として 800MHz が割り当てられており、その周波数帯域を用いてセル毎に異なる周波数帯を設定することでセル間干渉を抑制する方法も考えられるが、その運用可否は基地局や端末の仕様に依存するため、その有用性は利用するシステムの仕様を踏まえて今後検討が必要と考える。

他者土地漏洩抑制の観点では、本実証結果からもミリ波を用いることで周辺他者土地への漏洩が抑制できていることを確認できたため、ミリ波が有利と考えた。ただし、現状ではミリ波を用いる場合はアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、アンカーバンドにおける干渉対策及び複数周波数帯での干渉調整が必要である。

構築コストの観点では、現状ではミリ波を用いる場合はアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、SA 構成を取れる Sub6 が有利と考えた。

本実証を通じて、様々なエリア対策における手法を検証した結果、鉄道ホーム内や線路内等の自己土地内エリアカバーおよび干渉抑制、構築コストや、鉄道業務運行上の影響などを勘案し、鉄道領域でのエリア対策に関して、Sub6 での対策が有用であると考える。ただし、ベースは Sub6 でエリア化するが、アプリケーション側の要求スループットが高いユースケースにおいてはセルインセルの考え方で、ミリ波のスポット対策をするなど、利用用途に応じて使い分けることが重要となる。

# 4.　ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

## 4.1　実証概要

### 4.1.1　背景となる課題

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

将来的に労働人口が減少していく中、鉄道保守関係係員は昼間作業に加え、列車運行中には実施が困難な設備の保守のため、深夜時間帯での労働も必要となるため、「3K（きつい、汚い、危険）職場」とも呼ばれており、今後は高齢化に加え保守人員の確保も困難が予測される。

また線路内には異なる設備が多岐に渡り設置してあるため、各設備を管理する担当毎に東急全線の巡視・検査を実施しており、持続的に鉄道インフラを適切に維持管理するには、多くの人的資源が必要となる。

以上のことから、将来的な労働人口減少が見込まれる中、限られた人員で、現在と同じ体制での巡視・検査をしていくには限界があり、インフラ事業を支える鉄道設備の巡視・検査を省力化または自動化していくことが、継続した安全・安定輸送への必要条件となる。（図.4.1.1-(1)）

図.4.1.1-(1):線路内保守の様子

① 現状の巡視、検査手法

鉄道設備の巡視、検査については国土交通省による施設および車両に関する告示をベースに各鉄道事業者が国土交通省と調整の上、実施基準を定め、運用している。

東急電鉄においても実施基準に沿って、鉄道設備の巡視・検査を実施している。

主な設備の巡視・検査の頻度は以下の通り。

表.4.1.1-(1):現在の巡視・検査の頻度

| 主な設備 | | 実施基準（法令） | 東急電鉄（内規） | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 線路巡視 | 添乗巡視 |
| 線路設備 | 軌道 | 徒歩:週１回または週２回（線区により異なる） | 週１回または２週１回 | ２日に１回 |
| | | 添乗:２日に１回 | | |
| | 橋梁、法面等 | ２年に１回 | 年1～2回 | ― |
| 電力設備 | 電線路、電力機器等 | 1～2年に１回 | 月１回 | 週１回 |
| 運転保安設備<br>踏切保安設備 | 信号設備<br>踏切設備 | 年１回 | 月１回 | 月１回 |

また巡視、検査は、告示や内規の定めにより、定期的に実施するものと、気象変動等の豪雨や強風などの状況により実施する巡視があり、時間帯や天候状況を問わず、保守関係係員により全線の添乗巡視による警戒にあたるが、異常気象対応のために保守人員を追加確保することは困難であり、限られた人的資源を最大限活用し、安全・安定輸送の確保に取り組んでいる。

一方、昨今の局地的大雨や竜巻・突風など自然環境に変化が生じている中、安全・安定輸送の維持が困難な状況や、保守関係係員や乗務員などへの負担も考慮し、鉄道事業各社では、計画運休や間引き運転を実施する状況が確認される。以上より、鉄道事業における人的資源の枯渇は、社会的な影響力が強く、社会や経済的な便益等の損失に至ることも想定される。

（図.4.1.1-(2)）

沿線の法面崩壊

近隣工事現場の工事用足場倒壊

近隣敷地からの倒木

図.4.1.2-(2):気象影響による鉄道運行支障の事例

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

東急線では駅ホームの安全対策としてホームドア、ホームセンサー設備を全駅に整備したことで、駅ホームでの転落事故が従来と比較して大幅に減少した。しかし、自動車や歩行者と列車が直接交わる環境である踏切道においては、自動車や歩行者の渡り残りが年間 300 件ほど発生しており、人身障害事故や線路敷地内への第 3 者侵入による安全確認など列車の運行に支障をきたす事象が現在も発生している。

図.4.1.1-(3):ホームドア、ホームセンサー設備

図.4.1.1-(4):駅ホームからの転落事故件数

踏切道では、自動車などが踏切で立ち往生した場合に、センサーが検知して接近する列車の運転士に異常を知らせる踏切障害物検知装置を設置しているが、現地の映像までをリアルタイムで運輸司令所や運転士にリアルタイム配信できないため、運転を司る運輸司令員と運転士が現場の状況を会話(無線)のやり取りのみで状況を確認して対応している。

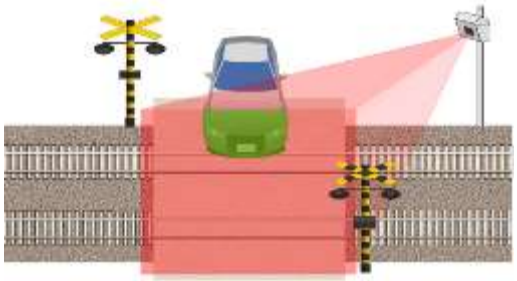


図.4.1.1-(5):障害物検知装置のイメージ

| 路線名 | 踏切数 | 3D式障害物検知装置 | レーザー式障害物検知装置 |
|---|---|---|---|
| 東横線 | 22 | 15 | 7 |
| 目黒線 | 6 | 6 | 0 |
| 田園都市線 | 0 | — | — |
| 大井町線 | 32 | 16 | 16 |
| 東急多摩川線 | 24 | 16 | 8 |
| 池上線 | 51 | 42 | 9 |
| 計 | 135 | 95 | 40 |

図.4.1.1-(6):東急線の障害物検知装置の件数

また、踏切道以外にも駅ホームや踏切道から線路敷地内へ第 3 者が侵入した場合には、駅係員による目視にて第 3 者が線路敷地内から出たことを確認して運転再開をするため、安全確認には非常に多くの時間を要している。

第 3 者が線路敷地内に侵入した場合には、現状では機械的な検出機能は持ち合わせておらず、人間の目視による侵入検知のみのため、鉄道施設への悪戯などは未然に防ぐことができず事後発見、対応となっており、最悪の事態を想定すると鉄道施設へのテロ行為による事件・事故の発生も考えられる。昨今では電車内での凶悪事件も多々発生しているが、車内のみならず線路敷地内の監視も強化していく必要がある。

図.4.1.1-(7):鉄道施設への悪戯(落書き)

現状の課題のみならず、将来的な展望の課題として東急電鉄は自動運転による列車運行について検討しており、国が検討を要する項目として「線路内の監視」について言及している。ハード的な施策としては第 3 者がそもそも侵入できないように線路敷地と一般道の境界に防護柵を強化することが考えられるが、東急電鉄は高架や地下区間とは別に民家に隣接している環境や踏切道が多々あり、コスト面や近隣住民との協議などを鑑みると、営業路線長が約 100km ある東急電鉄では防護柵の強化については現実的ではない。

線路敷地内の監視については、現状の課題と将来環境の変化を見越した課題として必須条件であるため、東急電鉄として駅ホーム、踏切道、線路敷地内の安全監視、以上 3 点については継続して取り組む必要があり、これまでの中心であったハード的な施策から近年著しい発達を遂げているデジタル技術やローカル 5G を最大限に活用して、課題解決に取り組んでいきたい。

なお、上記課題の整理にあたって作成したイシューツリーを以下に記載する。

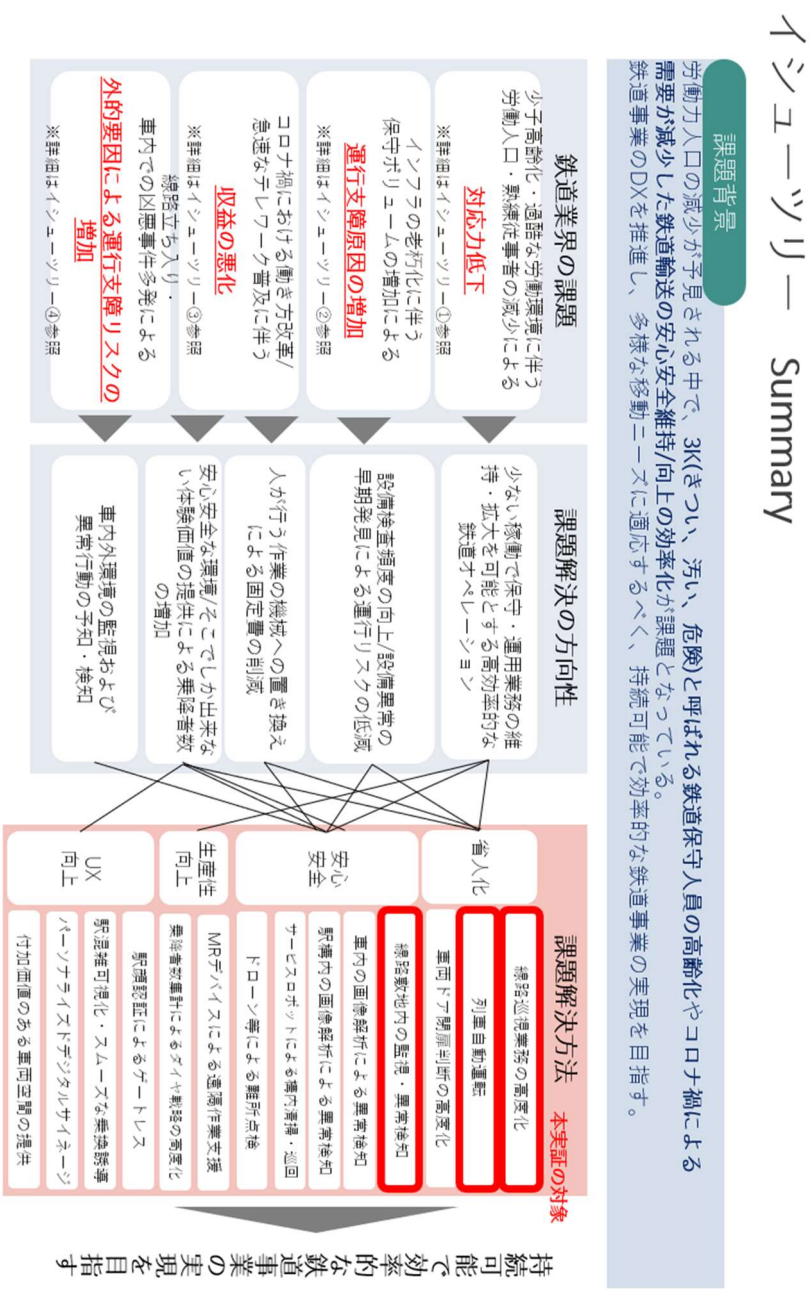
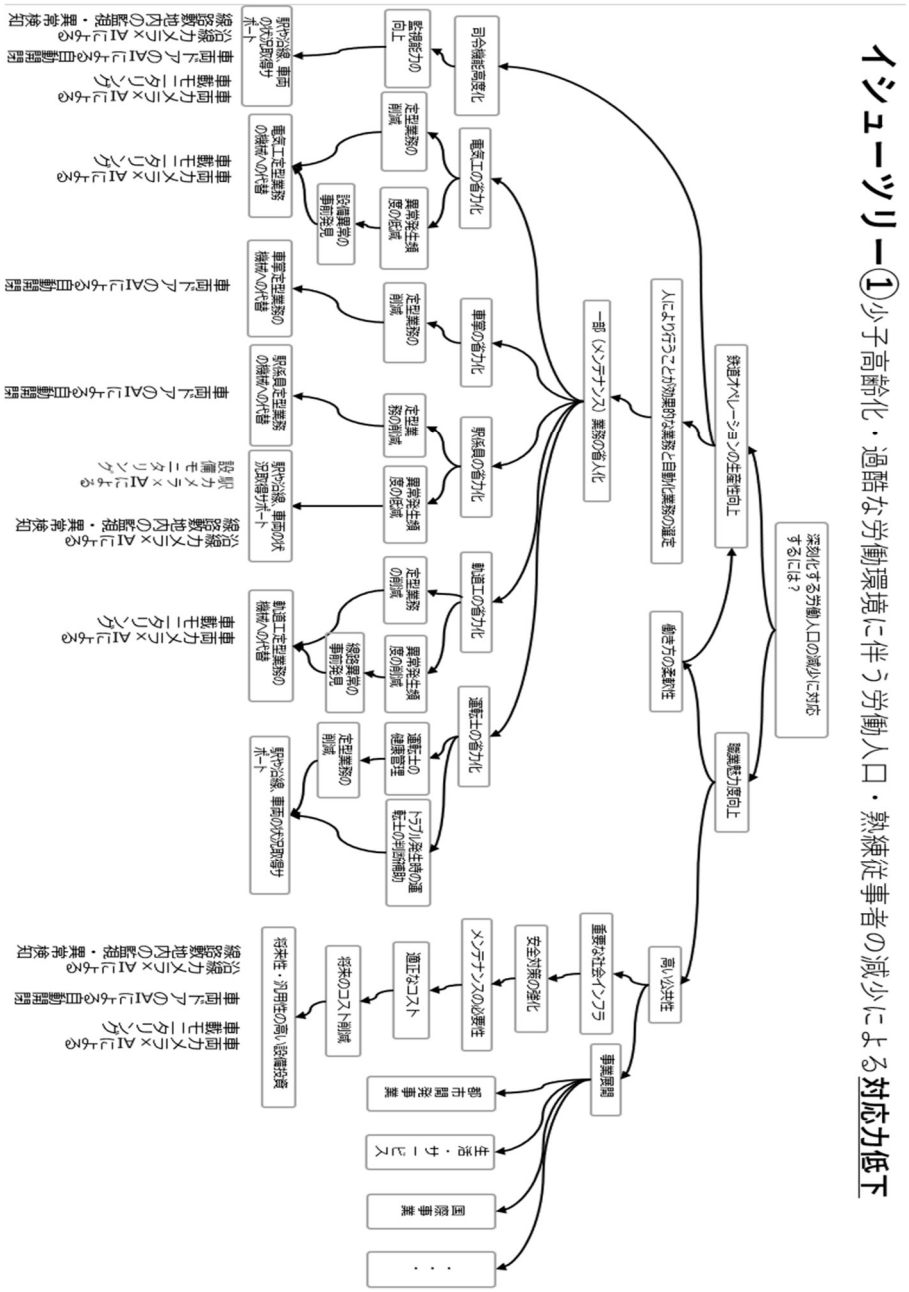



図.4.1.1-(8):イシューツリーサマリー(紙面幅の関係上、90 度回転させて記載。)


イシューツリー①少子高齢化・過酷な労働環境に伴う労働人口・熟練従事者の減少による対応力低下
深刻化する労働人口の減少に対応するには？
鉄道オペレーションの生産性向上
働き方の柔軟性
輸送能力増向上
人による行うことが効果的な業務と自動化業務の選定
一部（メンテナンス）業務の省人化
高い公共性
重要な社会インフラ
安全対策の強化
メンテナンスの必要性
適正なコスト
将来のコスト削減
将来性・汎用性の高い設備投資
事業展開
鉄道事業
不動産事業
国際事業
・・・
司令機能強化
電気工の省力化
車掌の省力化
駅係員の省力化
軌道工の省力化
運転士の省力化
監視力の向上
定型業務の削減
異常発生頻度の低減
設備異常の事前発見
駅や沿線、車両の状況取得サポート
電気工を定型業務の機械への代替
車掌を定型業務の機械への代替
駅係員を定型業務の機械への代替
軌道工を定型業務の機械への代替
運転士の健康管理
トラブル発生時の運転士の対応補助
車両モニタリングシステムにAIによる
線路監視カメラシステムにAIによる
駅内監視カメラシステムにAIによる
車両モニタリングシステムにAIによる
車両モニタリングシステムにAIによる
車両モニタリング

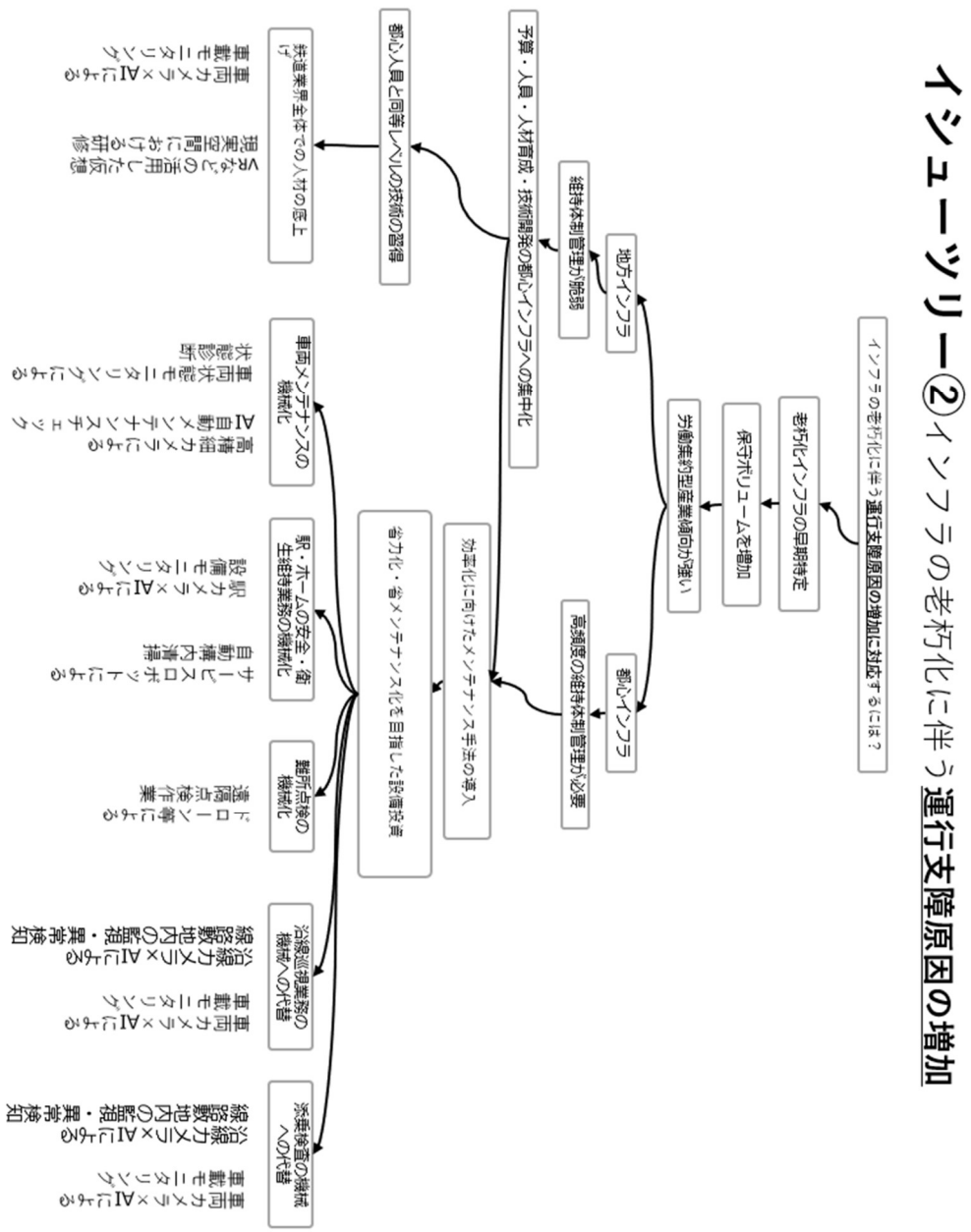
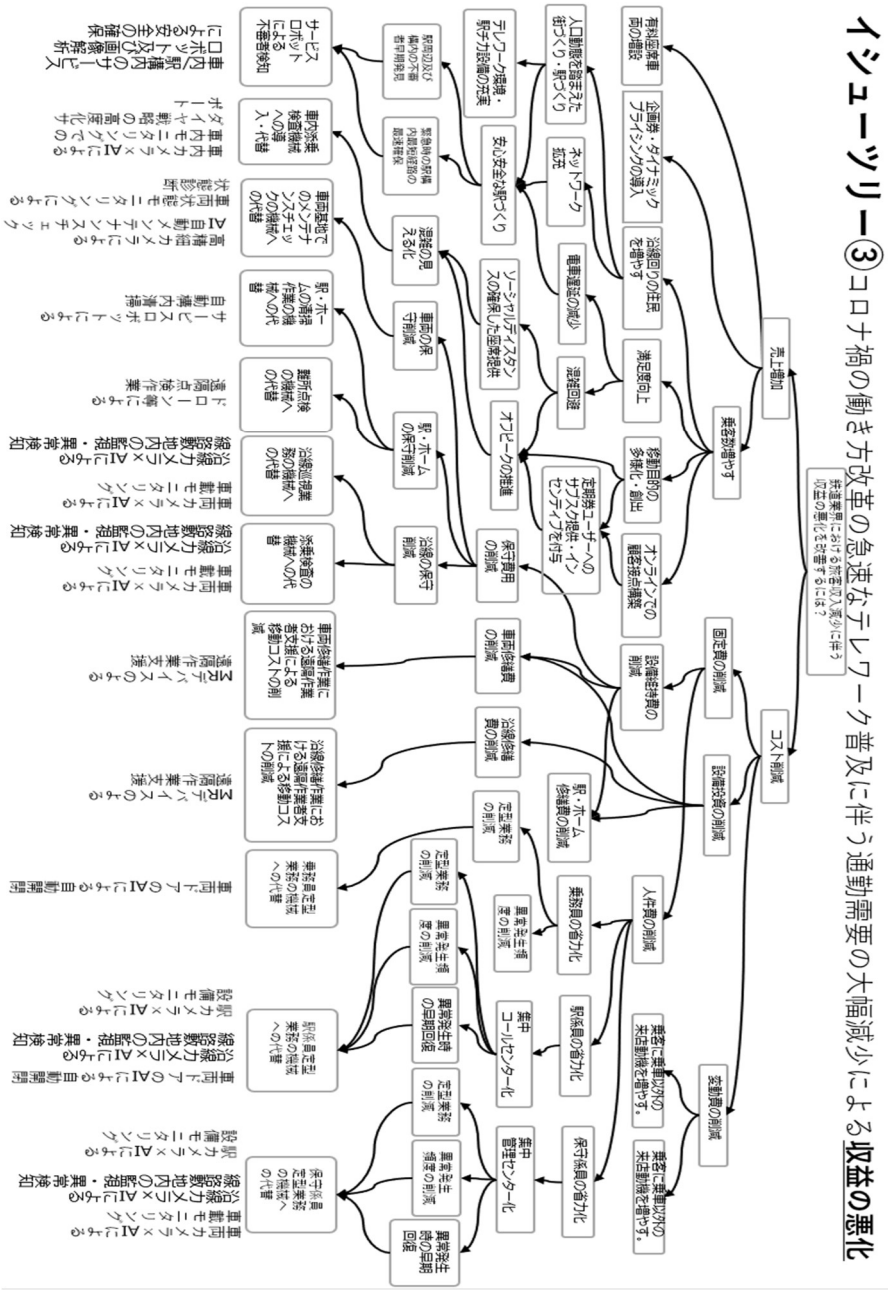



図.4.1.1-(10)：イシューツリー②（紙面幅の関係上、90 度回転させて記載。）


イシューツリー③コロナ禍の働き方改革の急速なテレワーク普及に伴う通勤需要の大幅減少による収益の悪化
売上増加
コスト削減
業務効率やすい
高付加価値商品の開発
企画券・ダイナミックプライシングの導入
沿線回りの住民を増やす
満足度向上
移動目的の多様化・創出
オンラインでの観客流入構築
定期券ユーザーへのサブスク提供・インセンティブを付与
人口動態を踏まえた街づくり・駅づくり
ネットワーク拡充
電車運賃の減少
渋滞回避
テレワーク環境・駅子力設備の充実
安心安全な駅づくり
ソーシャルディスタンスの確保した空間提供
オフピークの推進
保守費用の削減
固定費の削減
設備設計費の削減
設備設置費の削減
人件費の削減
変動費の削減
駅・ホーム修繕費の削減
駅係員の省力化
保守係員の省力化
遠隔に業務以外の派遣制限を増やす。
遠隔に業務以外の派遣制限を増やす。
駅・ホーム清掃の効率化
駅・ホーム内設備の効率化
駅・ホーム内設備の効率化
駅・ホーム内設備

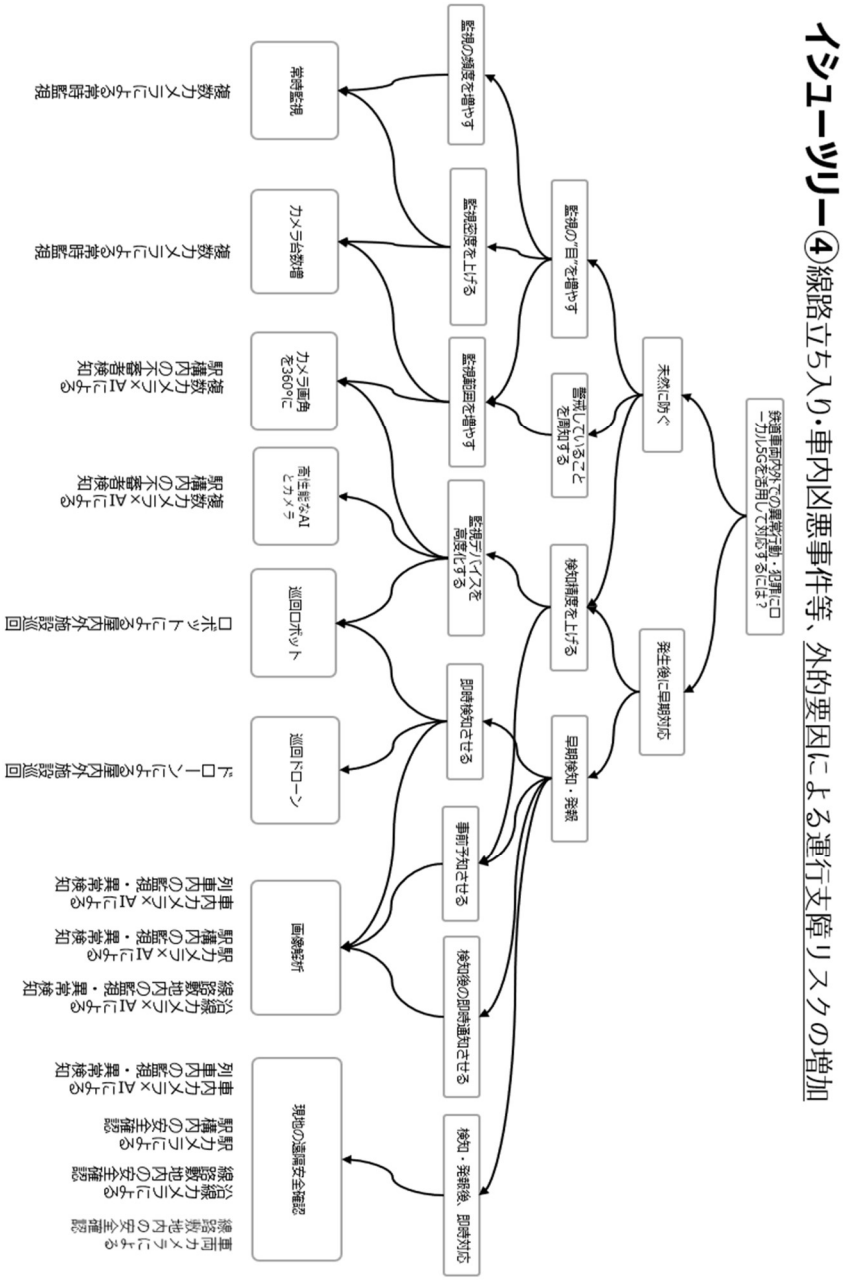



図.4.1.1-(12)：イシューツリー④(紙面幅の関係上、90 度回転させて記載。)

### 4.1.2　本実証におけるローカル 5G 活用モデル

#### (1)　ローカル 5G を用いたソリューション

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

本実証については、線路内巡視・検査における設備の重要度を整理し、保守が抱える課題をヒアリング等により抽出して、解決する最も効率的かつ効果的なソリューションを検証した。

鉄道設備の保守省力化や安全・安定輸送の向上を目指し、ローカル 5G の無線通信システムを活用して、「車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化」に関する実証を行うと共に同様の課題を抱える鉄道事業者への横展開を含めて多角的に検討を行った。

昨年度自由が丘実証では、列車の運転席に搭載した 4K カメラによるモニタリング映像を AI 活用して解析し、「異常が発生している」と推論させ異常アラートをアウトプットすることで、これまで保守関係係員が線路内を徒歩または、列車に添乗して目視確認していた設備を車載モニタリングによる確認方法に移行することにより課題解決することを目的とし、東急電鉄大井町線の一部区間において実証を実施した。

本実証では、昨年度実施した実証内容のうち、AI 活用による検知技術において課題確認され、他社への横展開やソリューションの商用化においても課題となる季節変動による陰日向などの環境変化などの課題や実証が難しかった雨天等における天候環境や夜間時間帯の実証を加えると共に、屋内環境(トンネル内等)などの環境対応など、鉄道事業者毎に多岐に渡る実装環境に対する影響の実証を行うと共に、モニタニング対象設備を拡充し、更なる線路巡視業務の高度化を多角的に検証した。(図.4.1.2.1-(1))

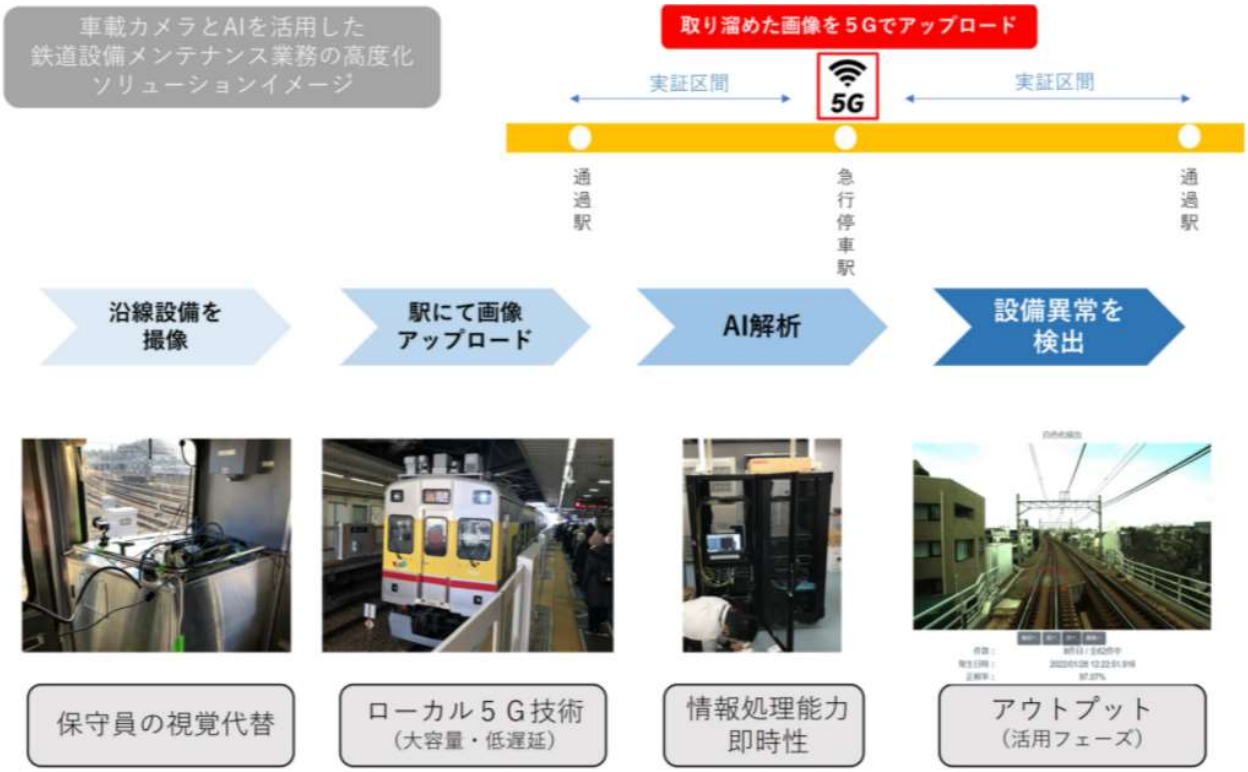



図.4.1.2.1-(1) :ソリューションイメージ

本実証にて検証する設備については、現場保守関係係員からのヒアリング結果をもとに、鉄道の運行または、第３者の安全を脅かす観点を取り入れて、数ある線路関連設備の中から優先順位付けを行い、異常検知結果のリアルタイム性を求める設備を選定した。(表.4.1.2-(1)、表.4.1.2-(2))

表.4.1.2.1-(1) :モニタリング対象設備一覧

| No. | 検証設備 | | 概要 |
|---|---|---|---|
| 1 | 軌道設備 | 砕石 | 道床あおりの状態 |
| 2 | 運転保安設備 | 標識･灯器類 | 見通し状態 |
| 3 | 土構造<br>抗土圧構造 | 法面･擁壁 | 土構造等の降雨影響による状態 |
| 4 | 電路設備 | 架線 | 沿線樹木等の接近状態 |
| 5 | トンネル構造 | 漏水滴下 | 列車直上の構造物状態 |

表.4.1.2.1-(2) :モニタリング対象選定理由

| No. | 対象設備 | | 選定理由 |
|---|---|---|---|
| 1 | 軌道設備 | 砕石 | 軌道内の道床砕石が白色化している地点は、まくら木沈み込みの影響により、道床砕石が劣化した状態であるが、このことで列車動揺が生じ、乗り心地に大きく影響するため。<br>昨年度自由が丘実証において、陰日向の影響が比較的大きく生じたことから、学習データ追加と列車運行支障を考慮し、夜間環境による検証と共に、車両動揺情報を取得し軌道設備の状況を複合的に解析することで、保守業務の高度化を検証するため。 |
| 2 | 運転保安設備 | 標識・灯器類の見通し | 信号機などの運転標識が、樹木や飛来物などにより隠れて見通しが悪化してしまい、運転業務に支障をきたすため。<br>昨年度自由が丘実証において、陰日向の影響が比較的大きく生じたことから、学習データ追加と列車運行支障を考慮し、夜間環境、天候による検証を実施するため。 |
| 3 | 土構造<br>抗土圧構造 | 法面・擁壁 | 線状降水帯による連続降雨状況や局地的大雨等は線路脇に土構造等へ影響を与え続けるが、時間帯や天候状況を問わず変状を起こすリスクがある。運転士は前方注視が原則であり、気象状況により沿線構造物の監視のため保守要員を動員が必要となる。要員が手配できない場合は、計画運休等の運用となり、社会的影響も生じるため。 |
| 4 | 電路設備 | 架線 | 鉄道の電車線路や送電線には常に高圧の電気が流れており、加圧部分と建造物や樹木など接近または交差する際、混触や感電、火災の恐れが無いよう離隔距離を確保することが規定されている。沿線樹木等の植物は、自然環境により繁茂進行や倒木等の状況変化があり、加圧部分への混触による火災など重大な事故に繋がる可能性があるため。 |

| No. | 対象設備 | | 選定理由 |
|---|---|---|---|
| 5 | トンネル構造 | 漏水滴下 | 土中にあるトンネル構造物は、常に土圧等の外力と列車振動等により影響を受けており、列車直上のコンクリート剥落が生じた場合は、列車運行のみならず、乗務員および旅客の安全を脅かす恐れもある。また、重大な剥落が生じるリスクがある箇所は、経年劣化や初期の施工不良の他、コンクリートを貫通するクラックより土中地下水が漏れ出す箇所に生じやすい傾向にあり、漏水滴下は、コンクリート内部の鉄筋腐食を加速させることや軌道電気設備の漏電、電車架線やレール等の腐食を誘発する恐れがあり、速やかな現地確認、措置の対象であるため。 |

また、現在、東急電鉄では車両の床下に搭載する軌道モニタリングシステムの導入やその他、各種センシング技術を活用し、分岐器をはじめとする鉄道重要施設の動作状況等のデータを取得、蓄積、活用を開始しており、将来的には、現状の TBM(時間基準保全)から CBM(状態基準保全)へシフトしていき、各設備のデータ利活用による修繕計画・設備投資の適正化を図ること、また現地・現物による巡視・検査からデータやモニタリング技術を活用して、「必要に応じて現地を確認する」体系を目指している。

本実証の前方カメラによるモニタリングに加えて、軌道モニタリングをはじめとする各種施設のセンシングデータや各種分析結果を組み合わせることで最も効率的な設備の巡視・検査の省力化が実現可能となると考える。(図.4.1.2-(2))

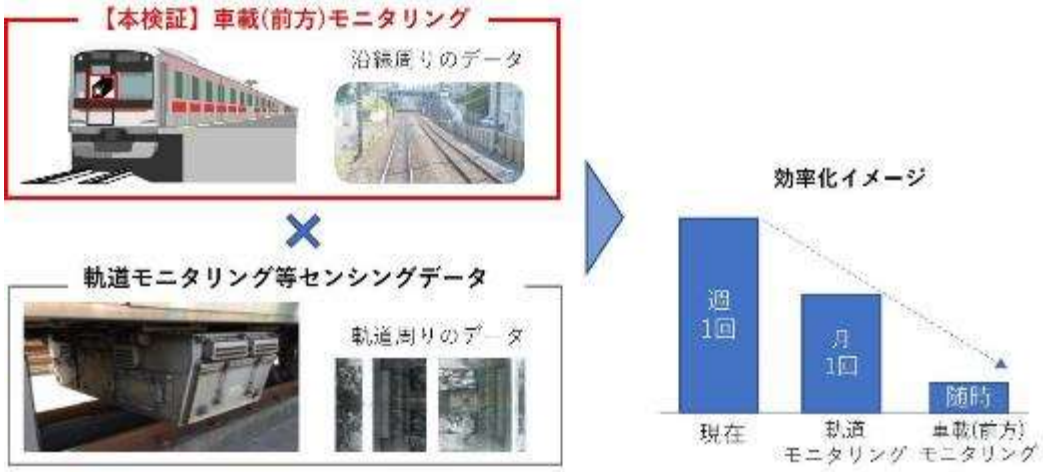



図.4.1.2.1-(2) :本実証の位置付け

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

東急沿線における線路敷地内の安全性向上や踏切道周辺の安全確保を目指し、ローカル 5G の無線通信システムを活用して「沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上」に関する実証を行い、システム面・運用面・コスト面・他地域への横展開の観点など多角的に検証を行った。

本実証では、ローカル 5G を用いたソリューションとして以下の実証を行った。

① 踏切滞留検知

踏切道内をカメラで撮影して、踏切鳴動時の渡り残り、滞留を AI により検知して、運輸司令所および付近を走行中の列車にタブレットを用いて、アラートおよび映像配信を行い、現在設置している踏切障害物検知装置から踏切監視カメラへの置き換えに資するか検証した。

② 線路敷地内への侵入検知

沿線の一部区間をカメラにて網羅的に監視して、線路敷地内に侵入する第 3 者を AI にて検知、追跡をして運輸司令所および付近を走行中の列車にタブレットを用いて、アラートおよび映像配信を行い、人身事故および第 3 者侵入後の運転再開時間の短縮効果を検証した。

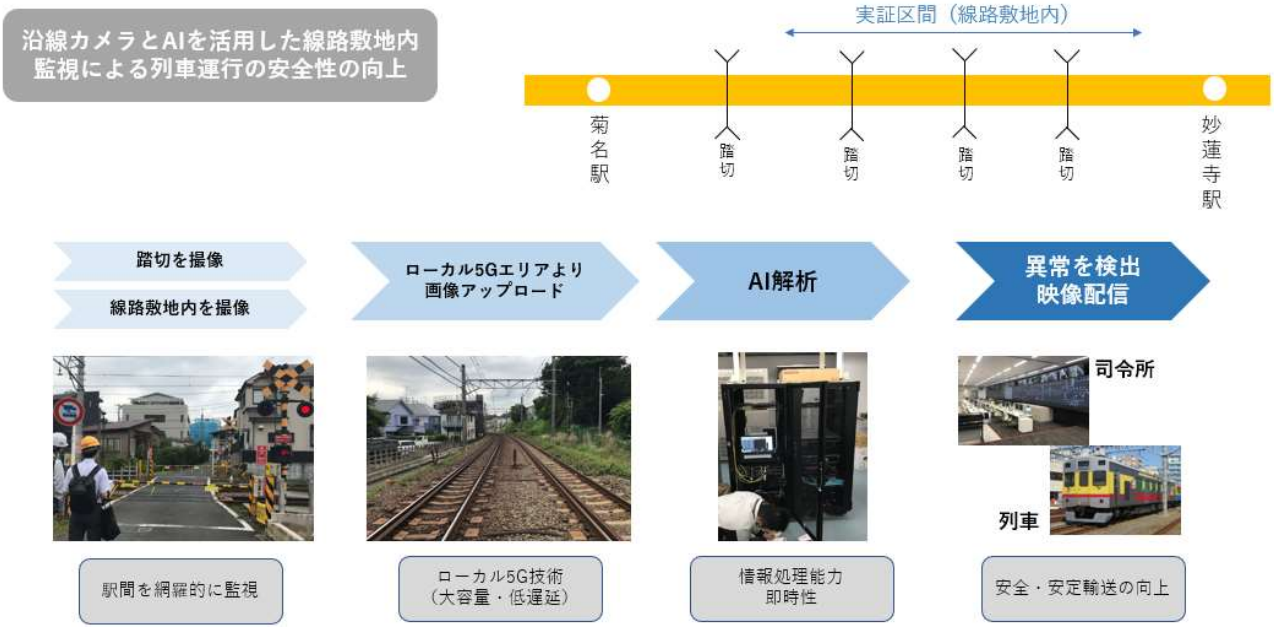



図.4.1.2.1-(3) :ソリューションイメージ

## （2） ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

本事業の終了後も、本実証において提案するローカル 5G を用いたソリューションの一部または全てを継続的に活用し、実装するためのローカル 5G モデルに関し、以下の通り記載する。

まず、（ア）にて、ローカル 5G 活用モデルとして「鉄道事業者共有型モデル」を提案することを想定し、その背景、および定義を記載した。続いて、（イ）以降にて同モデルの想定ターゲット、ソリューションの提供・利用方法、運用に係る体制・事業スキーム、導入効果、横展開のあり方等、その他ビジネスモデルに係る要素を記載した。

（ア）「鉄道事業者共有型モデル」の背景および定義

- 令和 3 年度自由が丘駅実証においては、東急電鉄自由が丘駅のみで、①線路巡視業務の高度化、および②ドア閉扉判断業務の高度化に関する実証実験を実施。
- ①については商用化に向けて AI 精度向上および AI 検知条件追加、などの追加開発が必要でありかつ、ローカル 5G インフラ観点でも課題があるものの、東急電鉄複数路線に導入することで、一定の効果が見込めることを確認した。（※②の取扱いは下記参照。）
- 更に、東急電鉄路線のみならず、他社鉄道事業者でも一定のニーズがあることを確認した。
- 上記を踏まえて、本実証においては、線路巡視業務の高度化ソリューションを主軸に、同ソリューションとローカル 5G インフラの一部機器、ソフトウェアを鉄道事業者共同で利用することで、1 社あたり費用を低減可能な「鉄道事業者共有モデル」をローカル 5G 活用モデル、とする。

  ※ソリューション②については追加開発が要件少ないため、東急電鉄にて自走する方針。

（イ）想定ターゲット

「鉄道事業者共有型モデル」の第 1 ターゲットとして、首都圏において複数の鉄道事業者路線が相互乗り入れ運行を行う、東急電鉄東横線および乗り入れ路線各社を想定する。東急東横線は、図.4.1.2-(2)-(1)に示す通り、複数の事業者が相互乗り入れを行っており、モデルケースとして有効である。

第 1 ターゲットにおけるモデルケース構築後、同様に複数の相互乗り入れを行う東急電鉄田園都市線などの東急電鉄他路線および乗り入れ路線各社を第 2 ターゲットとする。第 1 ターゲットにて構築した機器・ソフトウェアを第 2 ターゲットにも共有することも想定する。

更に、東急電鉄各路線での「鉄道事業者共有型モデル」の実装実績をもとに、国内各地域の鉄道事業者へ横展開することを目指す。具体的には、本実証のコンソーシアムとして参画している、西日本旅客鉄道㈱がある関西エリア、および西日本鉄道㈱や九州旅客鉄道㈱がある九州エリア、名古屋市交通局の中部エリアをはじめ、北海道等他のエリアへの展開を検討する。

特に、地方鉄道事業者については、人口減少が加速し、労働者不足という課題に対する緊急

度が高い状況にある。斯様な状況のため、地方鉄道事業者への導入については、同課題解決の早期実現に向けて、第 1 ターゲットへの確実な実装と並行して検討を進める。

本実証においては、複数鉄道事業者を含むコンソーシアムを組成しており、各社それぞれの立場にて、「鉄道事業者共有型モデル」の具体化に向けた意見出しやソリューションの共同開発を行う。

・横浜高速鉄道㈱

・西日本旅客鉄道㈱(JR 西日本)

・西日本鉄道㈱

・名古屋市交通局

・伊豆急行㈱

・九州旅客鉄道㈱(JR 九州)

なお、本実証で構築したモデルは、線状環境の交通インフラという共通点を持つ、高速道事業者にも一定の展開可能性がある、という仮説のもと、首都高速道㈱がコンソーシアムに参加し、アドバイスを行う。

図.4.1.2.2-(1):東急電鉄乗り入れマップ

（ウ）ソリューション提供方法

サービス提供事業者（サービサー）が、資産を保有し、インフラ・ソリューション・保守運用など必要な要素をパッケージ化して、サブスクリプションモデル（月 or 年額課金。以下サブスクモデル）にて提供することを想定している。

ユーザニーズに応じて、サービスレベル・内容を変更することや、サブスクモデルのみならず、買い切り型での販売モデルの可能性も検討する。

（エ）運用に係る体制・事業スキーム

運用主体たるサービサーについて、住友商事および東急電鉄が主体となり、体制・スキームについて検討をする。現状想定として、両社によるJV設立などが候補としているが、検討状況によってはその限りでない。

（オ）導入効果

導入により、ユーザ企業にとっては費用削減の効果が見込めると共に、鉄道事業者がシェアリング主体となった場合は、他社へのシェアリングを実施することによる売上の向上が見込めると想定している。導入効果の検証方法は、4.3 章以降に続く有効性検証に記載。

（カ）横展開のあり方

東急電鉄東横線全線での商用利用をモデルケースに、相互乗り入れ路線への横展開を進めると共に、東横線のみならず、東急電鉄所有の別路線および乗り入れ路線、首都圏鉄道事業者などへの横展開を推進する。具体的には以下方向性を検討する。

（A）自由が丘駅に構築済みのローカル 5G コア設備一式を東急電鉄内外で共用する。

（B）上記（A）をモデルケースとし関東県外地域へ展開する。

具体的な計画については、4.3 章に記載する。

（キ）その他

上記のコンセプト、およびビジネスモデル案をそれぞれ、図.4.1.1-（1）：将来構想コンセプト、図.4.1.1-（2）：ビジネスモデル案、に示す。

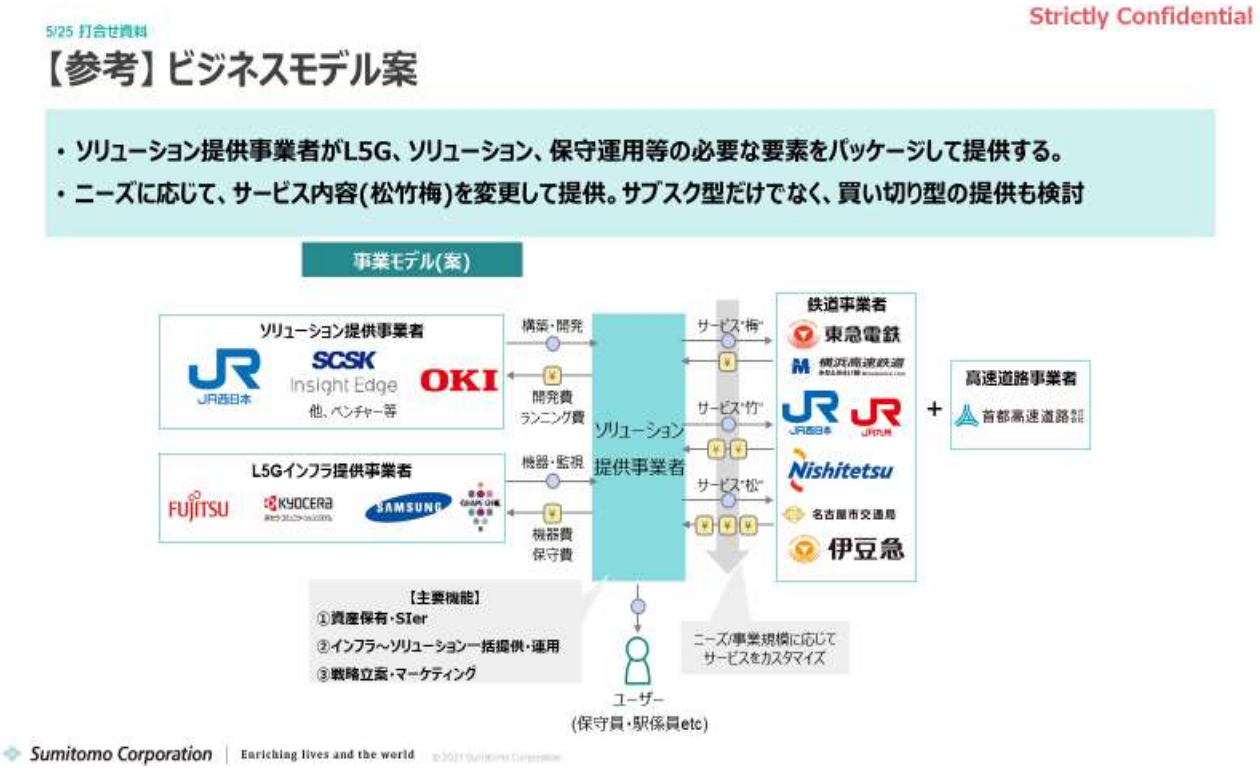



図.4.1.2.2-(2):将来構想コンセプト

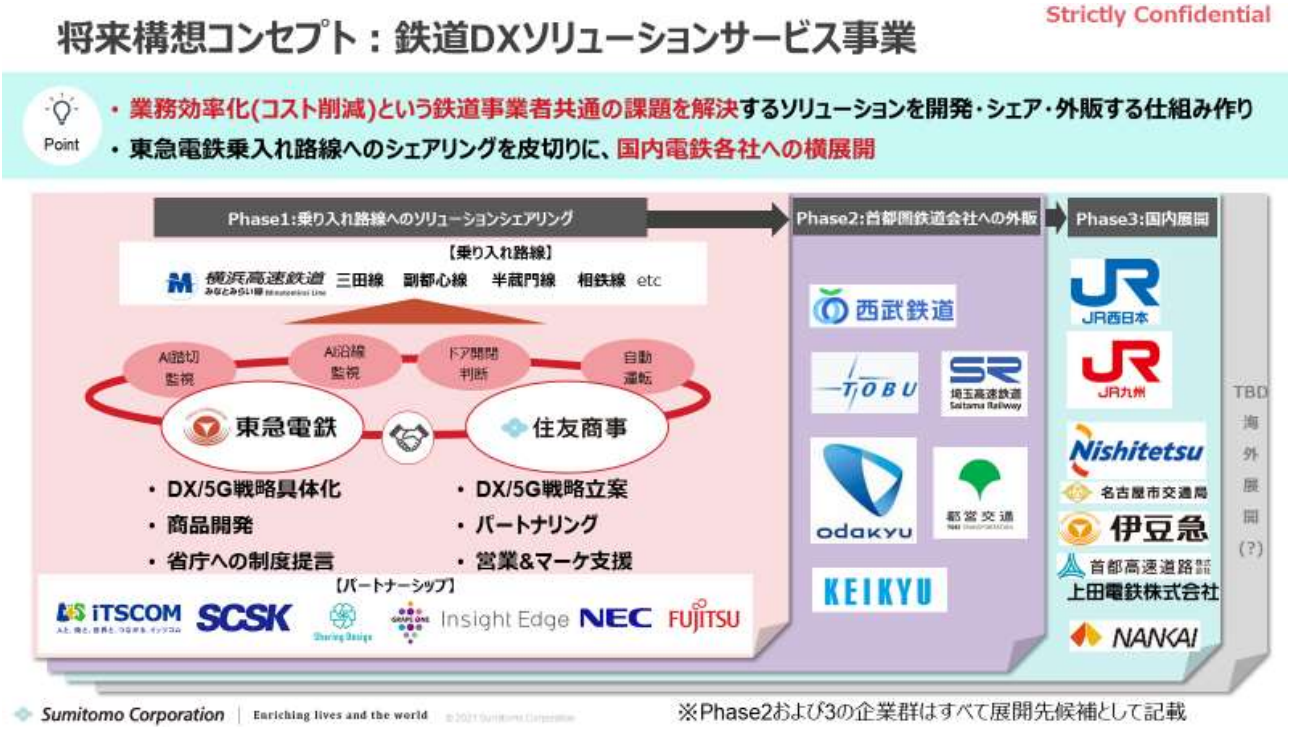



図.4.1.2.2-(3):ビジネスモデル案

## (3) ローカル 5G の必然性・必要性

２つのソリューション「車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化」「沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上」について、想定される通信インフラ(有線、Wi-Fi、LTE、キャリア 5G 等)毎の比較を行い、ローカル 5G の必要性について、次ページに示す表でそれぞれ整理した。

同表においては、各ソリューションについて、通信インフラ毎に(ア)機能要件、(イ)想定しうる運用、(ウ)運用上の問題点、(エ)ローカル 5G による問題解決の方向性を列挙した。両ソリューション共に、ローカル 5G 以外の通信インフラによる運用では課題が生じることから、ローカル 5G が必要であると結論付けている。

なお、「車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化」については、鉄道車両に搭載したカメラからのデータ伝送手段として、有線での運用が想定しえないことから①USB などの記憶媒体を用いて撮影データを記録し、②同記憶媒体を手動で回収、③撮影データを AI システムに分析させ線路巡視業務をデジタル化することを想定。①～③の運用を「スタンドアローン」での運用と呼称し、通信インフラ毎の比較を実施している。

Strictly Confidential

### 実装ソリューションにおけるローカル5Gの必要性

**②沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上**

【概要】本ソリューションのフローは、踏切周辺の視覚情報を①固定4Kカメラを活用して撮影しローカル5GでAIサーバーで伝送する、②AIサーバーにて画像分析し線路周辺の人物/異常検知を行い、③4Kカメラ映像およびAI解析結果を運転士のタブレット(移動端末)および指令室に伝送する、というもの。①～③により線路周辺の安全管理の自動化/高度化を実現する。

【ローカル5G活用箇所】上記①4Kカメラ⇒AIサーバーへの映像伝送(上り通信)、および②AIサーバー⇒タブレットへの映像伝送(下り通信)で活用する。

| インフラ | (ア)機能要件への対応 | | | | (イ) 想定しうる運用 | (ウ) 運用上の問題点 | (エ) ローカル5Gによる問題解決の方向性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 受像端末のモビリティ性 | 安定大容量通信 | セキュリティ | 耐久性・施工容易性 | | | |
| 有線 | × | ○ | ○ | × | ・車両内運転士タブレットへの映像配信をしない。(≒現行運用から変更なし)<br>・4Kカメラに光回線接続 | ・車両内運転士へのデータ伝送ができず、目視での安全管理のみとなる。<br>・有線の場合、屋外環境では耐久性(雷害リスク)や施工性の観点で課題あり。 | ネットワークの無線化によるモビリティ性能・耐久性の向上 |
| Wi-Fi | ○ | × | × | ○ | ・踏切周辺の映像データをAIサーバー、車両内運転士タブレットおよび、指令室端末にに伝送 | ・他の公衆向けルータとの混信により安定した伝送速度を確保できない<br>・ネットワークへの不正侵入によるセキュリティリスク | 帯域占有による安定的なデータ伝送を実現 |
| LTE | ○ | × | ○ | ○ | | ・トラフィックが混雑する沿線において、安定した伝送速度を確保できない<br>・下り通信を優先したリソース配分のため、映像データをAIサーバに伝送する時間がかかりリアルタイムに判定結果が出せない<br>・パブリックNWのため、セキュリティ要件に合わせた構築のハードルが高い<br>・通信容量が膨大となる（＝多額の通信費用が見込まれる） | サービス設計の柔軟性(UL/DL割当変更) |
| 全国5G | ○ | × | ○ | ○ | | | SIM認証による高いセキュリティ |

図.4.1.2.3-(1):ローカル 5G の必要性①

Strictly Confidential

# 実装ソリューションにおけるローカル5Gの必要性

## ①車載モニタリングカメラとAIを活用した線路巡視業務の高度化の実現

【概要】 本ソリューションのフローは、通常運行中に沿線を①車載4Kカメラにより撮影し、②駅ホームに到着したタイミングで駅に設置されたローカル5Gで撮影データをAIサーバーに伝送、③AIサーバーにて画像分析し異常個所を特定し、④結果を監視モニターに表示する、というもの。本ソリューションにより、検査頻度の向上、及び、沿線巡視・添乗検査業務の省力化を実現する。

【ローカル5G活用箇所】 上記①4Kカメラ⇒AIサーバーへの映像伝送(上り通信)で活用する。

| インフラ | (ア)機能要件への対応 | | | (イ) 想定しうる運用 | (ウ) 運用上の問題点 | (エ) ローカル5Gによる問題解決の方向性 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上り大容量通信 | 安定性 | セキュリティ | | | |
| 有線 | 運用不可（車載カメラの映像データをAIサーバへ伝送出来ない） | | | | | |
| Wi-Fi | ○ (理論値ベース) | × | × | ・駅到着時に撮影データをAIサーバーにアップロード | ・トラフィック不安定により、AI判定結果出力までの時間が固定化できず、最適な業務計画が立てられない<br>・ネットワークへの不正侵入により、機微な情報が漏洩する可能性 | サービス設計の柔軟性 (UL/DL割当変更) |
| LTE | × | × | ○ | ・走行時に撮影したデータをAIサーバーにアップロード | ・アップロードの速度が遅く、データ伝送が完了しない<br>・トラフィックが混雑する駅において、安定した伝送速度を確保できない<br>・下り通信を優先したリソース配分のため、映像データをAIサーバに伝送する時間がかかりリアルタイムに判定結果が出せない<br>・パブリックNWのため、セキュリティ要件に合わせた構築のハードルが高い<br>・通信容量が膨大となる（＝多額の通信費用が見込まれる） | 帯域占有による安定的なデータ伝送を実現 |
| 全国5G | ○ (理論値ベース) | × | ○ | | | SIM認証による高いセキュリティ |
| スタンドアローン | ― | ― | ― | ・列車入庫後、撮像データを手動で回収<br>・AIサーバーに手動でアップロード | ・１日中出払っている列車から撮像データを取得するタイミングは１回／日<br>・データ取得、AIサーバーへのアップロードに労力がかかる。<br>・１日分の撮像データの解析には、相当な時間を要する。 | 頻繁なデータ伝送・データ解析 |

図.4.1.2.3-(2):ローカル 5G の必要性②

### 4.1.3　実証内容の新規性・妥当性

#### (1)　実証内容の新規性

過年度実証事業への応募実績があるため、4.1.4-(2)章において、過年度実証事業の関連性・差分と合わせて記載する。

#### (2)　過年度実証事業との関連性

以下、令和 3 年度開発実証の応募内容との関連性、差異を説明する。

案件名…No13:ローカル 5G を活用した鉄道駅における線路巡視業務・運転支援業務の高度化

（以下、昨年度自由が丘駅実証）

本提案における実証は、令和 3 年度実証にて明確になった課題を検証し、商用化を見据えて実施するものであり、追加・発展した実証内容が多数ある。以下の通り、変更点を記載する。

・過年度実証事業への応募内容との差異

① 車載カメラソリューションの監視対象エリアを拡大

昨年度自由が丘駅実証では、監視対象を大井町線の自由が丘駅を起点とした一部沿線のみであったが、本実証では、東急東横線全線および横浜高速鉄道みなとみらい線を監視対象としている。具体的には、東横線渋谷～横浜駅間および横浜高速鉄道みなとみらい線横浜～元町・中華街駅間である。詳細は、4.2 章を参照。

② 車載カメラソリューションの異常検知 AI の検知対象/条件の追加

昨年度自由が丘駅実証では、初期トライアルとしての性質上、検知対象とする異常や、検知時の条件（天候・季節・昼夜など）を限定していたが、本実証では商用化に必要な複数の異常を検知し、全天候・季節・時間条件下での検知を可能とすることを目指している。詳細は 4.2 章を参照。

③ 複数鉄道事業者との「鉄道事業者共有型モデル」に関する共同検討

昨年度自由が丘駅実証では、東急電鉄 1 社のみでのソリューション利用を前提とした実証であったが、本実証は、東急電鉄のみならず、同社と相互乗り入れを行う横浜高速鉄道と共に、ローカル 5G ソリューションを活用した実証を行う。複数事業者共同利用時の課題の抽出や、解決策の検討が目的であり、横展開に関するアドバイザー企業として以下の通り、複数社がコンソーシアムに参画している。更に、JR 西日本については、ソリューション共同開発としてコンソーシアムに参画している。

【コンソーシアム参画鉄道事業者】

・横浜高速鉄道㈱

・西日本旅客鉄道㈱（JR 西日本）

・西日本鉄道㈱

・名古屋市交通局

・伊豆急行㈱

・九州旅客鉄道㈱（JR 九州）

④　沿線設置カメラを活用した線路敷地内監視ソリューションの追加

4.1.1 に記載の課題を解決すべく、ユースケース「沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上」を想定し、新規ソリューションを追加した。

⑤　車両ドア閉扉判断ソリューションの自走に伴う実証対象からの除外

同ソリューションは、昨年度自由が丘駅実証を経て、東急電鉄にて商用化に向けて自走（自社にて継続検討）予定。今後、商用化に向けた追加開発を進め、2023 年度を目途に実装予定。

## （3） 過年度実証事業との関連性

令和 2 年度および令和 3 年度開発実証の類似案件（以下、過年度類似案件と言う）は以下の通り。

令和 2 年度…No10.遠隔・リアルタイムでの列車検査、線路巡視等の実現

令和 3 年度…No14.ローカル 5G と AI 技術を用いた鉄道駅における車両監視の高度化

同事業との差異は以下の通り。

① 監視対象

過年度類似実証は前方カメラの画角による監視のみであり、鉄道施設の全てをモニタリングするにはカバーできない設備が多数あった。本実証は上向きカメラおよび線路敷地内の固定カメラで撮影することで網羅的に監視を行える環境を整備した。

② ローカル 5G エリア化対象

過年度類似実証は 1 駅のみであり、実証区間も大井町線の一部区間であったが、本実証では東横線全線が実証区間であり画像データを 1 駅のみでアップロードすることは困難であるため、本実証では複数駅（菊名駅と横浜駅）および駅間線路（菊名～妙蓮寺駅間）をエリア化対象とした。

③ 想定ユーザ企業数

過年度類似実証は 1 社のみを実証におけるユーザ候補としていたが、鉄道業界への実装横展開の観点から本実証は東急電鉄、および横浜高速鉄道を実証におけるユーザ企業とした。更に、東急電鉄、横浜高速鉄道に加え、5 社の鉄道事業者が本実証のコンソーシアムに参画して、実装横展開に資するソリューションか検証を行った。

### 4.1.4　実証目標

本実証では、コンソーシアムにおいて十分な協議を行い、必要に応じて指標の目標値を設定する等、実装、商用化に向けた今後の検討に資する検証を行い、課題解決システムの利用における保守作業員及び関係者の評価を実施することで、課題や改善点を検討し、全国の鉄道事業者へのソリューション展開を目標とした沿線環境条件等に配慮したソリューション検証を行う。

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

東急電鉄では安全・安定輸送を担うため、線路内における鉄道設備の巡視、検査を各設備の所管する担当毎に実施している。線路内の主な設備には軌道設備、信号保安設備、踏切保安設備、電力設備があり、各担当の保守関係係員が実際に線路内を徒歩にて巡視・検査するケースや、列車運転席に添乗して設備の状態を定期的に目視確認している。

将来の鉄道保守のあるべき姿として、現状の TBM(時間基準保全)から CBM(状態基準保全)へシフトしていき、各設備のデータ利活用による修繕計画・設備投資の適正化を図ること、また現地・現物による巡視・検査からデータやモニタリング技術を活用して、「必要に応じて現地を確認する」体系を目指す。

設備の異常によっては運行支障や重大事故を引き起こすケースも考えられることから、沿線撮像データ→ローカル 5G 伝送→AI 判定までの一連の速度についてもリアルタイム性を考慮して検証を行う。

昨年度自由が丘実証の「車載モニタリングカメラと AI を活用した線路巡視業務」においては、東急大井町線の一部区間において実証を行った。本実証においては、東横線および、東横線と相互直通運転を実施している横浜高速鉄道みなとみらい線の両路線全線において、夜間・降雨等の自然環境および、室内環境(トンネル内部)において実証を行う。特に、夜間や室内環境においては、照度不足による AI 解析精度の低下が懸念されるが、低照度に対応したカメラの採用、学習データの明るさに応じた増強、HDR のような検証データの前処理などの活用による解析精度の検証やアウトプットデータの活用可否を検証する。また降雨環境においては、降雨量に応じた AI 精度の検証を行うと共に、室内環境においては、長大トンネル区間における非 GPS 区間での異常検知位置に関し画像解析技術を活用しアウトプットすることで、鉄道全環境に適用したソリューションの実用化を見込む。

具体的なアウトプットの目標値として、「駅に車両が到着してから、AI 判定結果出力までの時間」を設定しており、運用面を考慮し、緊急性の高いモニタリング対象物(例:標識・灯器類などの状態)については 10 分、それ以外の対象物は 60 分としている。

東急電鉄においては、東横線全区間で本ソリューションを検証し、学習データの蓄積や熟練技術者の協力を受け機械学習による AI 判定精度向上を行うと共に、他路線、他社展開を行うことを見込み、本実証内容を実証コンソーシアムに、実証経過を含め情報連携や展開を行い、抽出された課題に対する解決策の整理、検証を行う。

図.4.1.4-(1):本年度実証の概要

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

本実証では、東急沿線(線路敷地内)に複数のカメラを設置して一定区間を網羅的に監視、カメラ画像をローカル 5G で伝送し、画像認識技術を用いて線路敷地内への第 3 者侵入検知や踏切道内の滞留、渡り残り検知を事前に運転士や運輸司令所へ通報、映像配信をすることで線路敷地内や踏切道の事故未然防止や、更なる列車運行の安全・安定輸送の向上を目標とする。

踏切や線路敷地内の異常時は、現在運転士や駅係員の目視結果については運転を司る運輸司令所へ口頭報告する手段のみであり、状況報告ならびに運転再開に時間を要する。本実証における異常時のリアルタイム映像の配信を達成させることで運転士と運輸司令所の双方向コミュニケーションを向上させて現状より更なる早期の運転再開を目指すため、電車に搭載されたタブレットに AI 検知結果とカメラ映像が伝送される時間を業務面から見て適切な処理時間となるよう、処理時間を計測して評価する。また、東急線に設置されている多くの踏切障害物検知装置は 3D レーザレーダ式であり設置に高額な費用がかかることから、ローカル 5G を活用したカメラ式(AI)への置き換えを目標に検証した。

鉄道には日々多くのお客さまがご利用いただいているが、昨今では鉄道業界内でも凶悪事件が発生

している。駅ホームや電車内に限らず線路敷地内での安全を担保することも必須条件となり、お客さまが安心して鉄道をご利用いただくことがエッセンシャルワーカーとしての務めと認識している。

具体的なアウトプットの目標値として、「踏切および線路敷地内の異常を検知してから、AI 判定結果出力までの時間」について運用面を考慮し運転支障に直結するケースのため、3 秒以内に設定している。

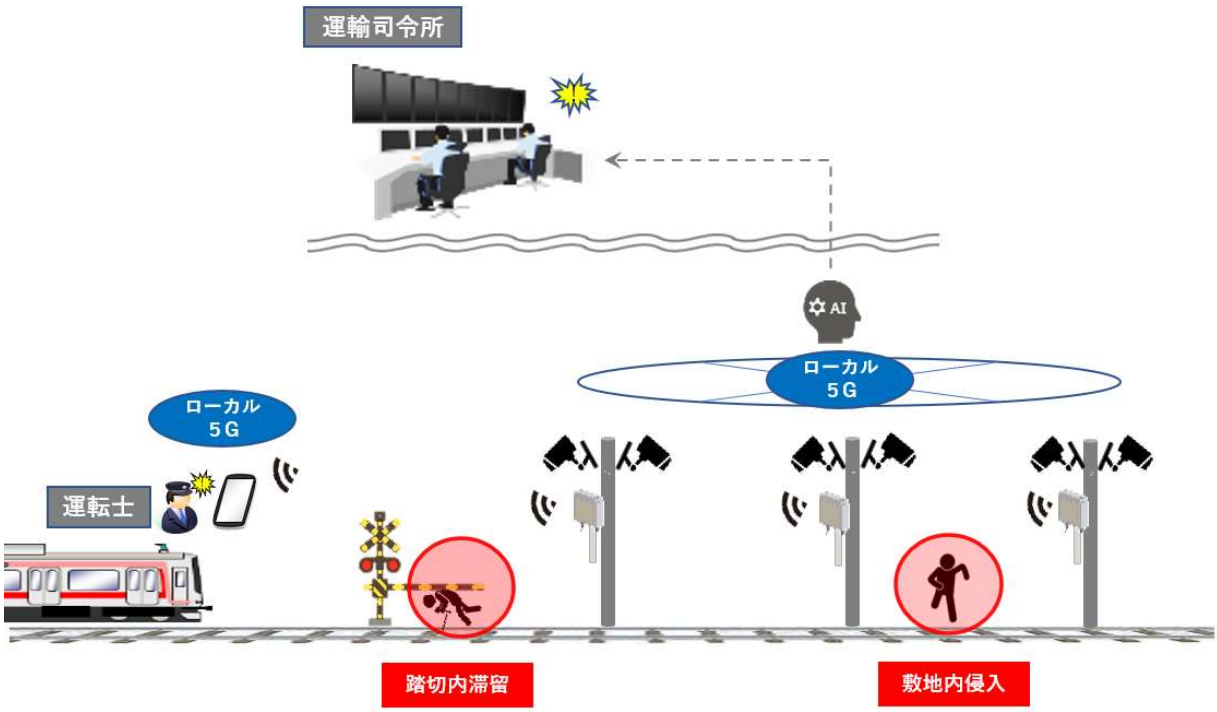



図.4.1.4-(2):本年度実証の概要

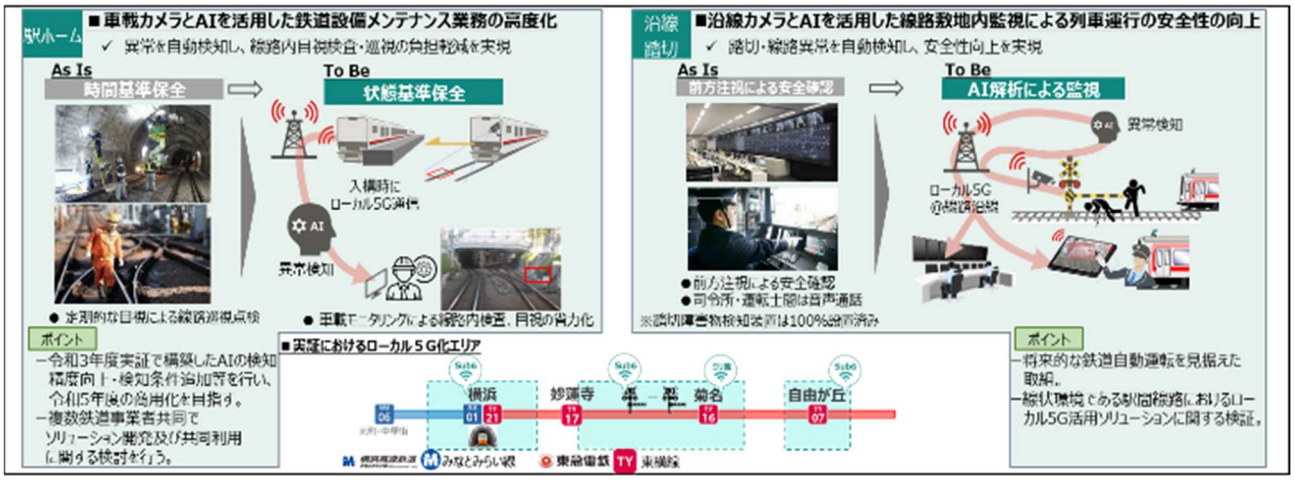



図.4.1.4-(2):本年度実証の概要

## 4.2　実証環境

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

本実証では、東横線渋谷～横浜駅間および横浜高速鉄道みなとみらい線横浜～元町・中華街駅間を対象に課題実証を実施する。選定理由とし、昨年度自由が丘駅実証においては、東急電鉄大井町線全路線長のうち、限定した区間のみを実証したが、線路巡視業務は、路線全域を俯瞰的に確認する必要もあることや、都市鉄道では他社路線への相互直通による乗り入れが多数行われていることなどを考慮し、東急電鉄の路線でも運行本数が比較的多い東横線および東横線と横浜高速鉄道みなとみらい線の相互乗り入れによる一貫した線区を実証エリアとし選定した。(図.4.2-(5))

また上記区間では長大トンネル区間を初めとする複数の構造区間を有し、都市商業地区～住宅密集地、海底トンネル区間など様々な環境がある。また、踏切設備や軌道設備、運転標識類などの鉄道設備も一式設置されており、車載モニタリング対象の設備が網羅されている。

上記に示す各種条件下での環境変化を捉えることにより、今後他の鉄道事業者への実装展開を見据えた、有益な情報を得ることが可能なことから、上記区間を選定した。

図.4.2-(1):東横線および横浜高速鉄道みなとみらい線の沿線環境

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

本実証では、東横線菊名～妙蓮寺駅間の踏切および線路敷地内を対象に実施する。選定理由として、上記区間については踏切交通量の多い踏切と少ない踏切が混在しており、踏切内の滞留検知について交通量の多い踏切では自動車の渡り残りが多く発生する傾向にある。また、線路敷地内への第 3 者侵入については、比較的交通量の少ない踏切で発生する傾向にあり、踏切以外にも道路との境界柵より越境して侵入してくる恐れもあるため、以上の要件を満たす上記区間を選定した。

また、実装横展開を踏まえた際に交通量の多い、少ない踏切道を抱えている他の鉄道事業者も多数いることから、複数の踏切にて実証を行う。

図.4.2-(2):交通量の多い踏切(菊名 3 号)

図.4.2-(3):交通量の少ない踏切(菊名 4 号)

図.4.2-(4):一般道と線路敷地の境界(菊名～妙蓮寺駅間)

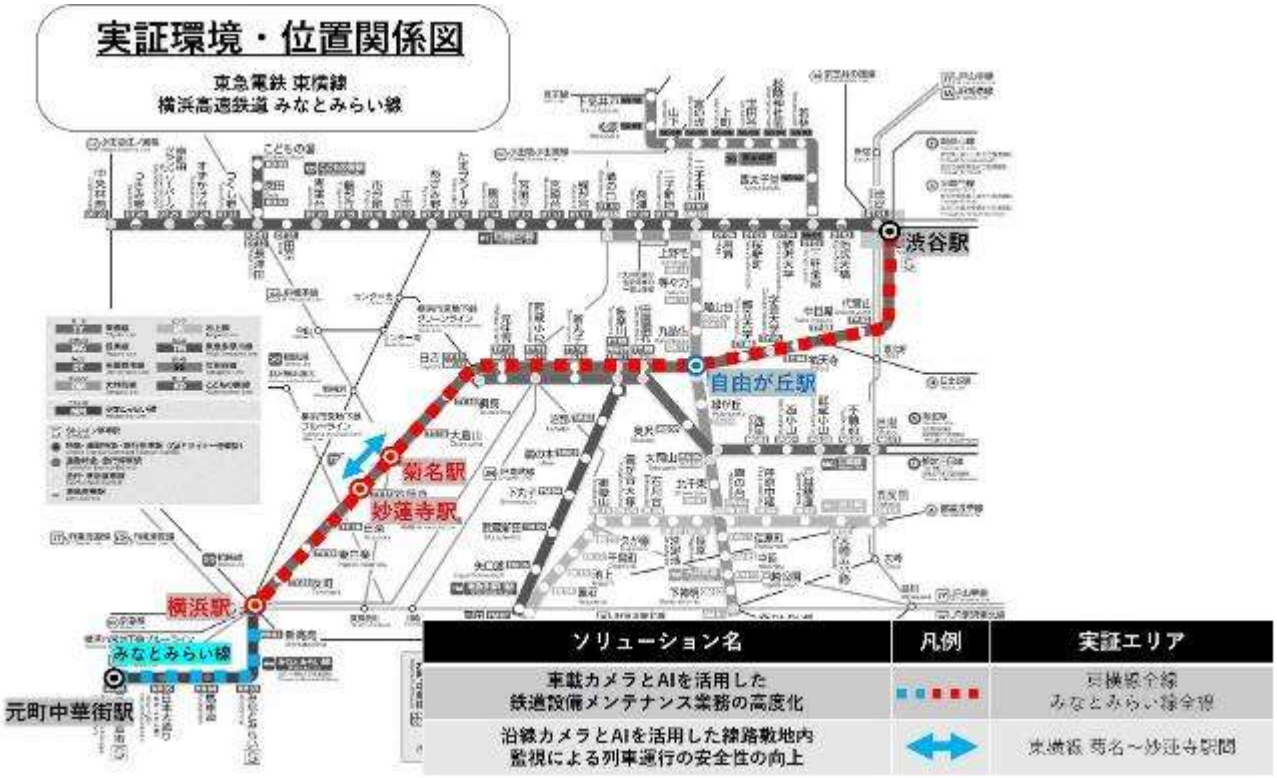



図.4.2-(5):実証環境

今回の実証環境については駅ホームや線路敷地内の鉄道設備や踏切内渡り残り、第 3 者侵入を目的にカメラ撮影を行うものであり、個人（プライバシー）を特定するものではない。また、システム側で撮影された個人へのマスク処理や実証中の撮影データの厳重な保管管理、駅でのポスターやホームページ等によるカメラ撮影の事前告知を行い、個人情報保護の観点についても総務省指導の下、十分に配慮した形で実証に臨む。

## 4.3　実施事項

### 4.3.1　ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

#### (1)　機能検証

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

##### 1)　検証項目

目視検査の高度化を実現する手段としての適正性や実用性についてその機能を評価・検証するために、走行中に取得した映像データを駅経由でクラウドに伝送し推論、結果表示までの一連の処理を実装した。

評価検証項目に関して、定量面・定性面から以下 6 項目を軸に検証を実施した。

【定量面】

①　停車時間中における映像データアップロード時間

走行中に撮影した映像データは大容量となる。本実証はカメラを 2 台使用することや夜間やトンネル内での撮影のために HDR を使用する可能性があることから、更にデータ量の増大が見込まれた。駅での限られた停車時間内にデータをアップロードし切るためにデータ容量に影響する撮影パラメータ、処理方式を検討・評価し、処理時間を検証した。

表.4.3.1.1-(1) :停車時間中における映像データアップロード時間

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 撮影パラメータ | 撮影時にカメラに設定する各種のパラメータ。フレームレート、解像度、ビットレート、コーデックなど。 |
| 処理方式 | 撮像～データアップロードにおける最適な処理方式 |
| 処理時間 | ローカル 5G による停車中のアップロード時間 |

②　季節変動・時間帯(明るさ)・天候差における異常検出率の違い

季節変動や時間帯による明るさや天候の差を考慮した AI モデルを構築し、環境面の違いによりどの程度異常検出率に差が発生するかを検証した。

表.4.3.1.1-(2) :季節変動・時間帯(明るさ)・天候差における異常検出率の違い

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 検証条件<br>(明るさ・天候差等) | それぞれの環境下における異常検出率。<br>※季節変動や天候など、実証実施時期だけで検証が難しいものについてはあらかじめ撮影しておいた映像を使用 |

③ 駅→クラウド伝送から AI 解析・結果表示までの処理時間

駅に設置する中間サーバーからクラウドへの伝送、クラウド環境での AI 解析を経て利用者に画面にて結果を提供した。業務面から見て適切な処理時間とそのために必要な処理方式、装備性能などを導出できるよう、実証実験構成における処理時間を計測の上、評価を行った。

表.4.3.1.1-(3):駅→クラウド伝送から AI 解析・結果表示までの処理時間

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 中間サーバー→クラウド伝送時間 | 中間サーバーに保存した映像データをクラウド環境に伝送する処理時間。実証実験では専用の有線インターネット回線を敷設した。 |
| AI 解析処理時間 | クラウド上での映像データ前処理ならびに AI 解析(推論)の処理時間。 |
| 結果画面表示時間 | AI 解析結果の利用者向け画面の表示時間。実証実験では処理結果をブラウザから参照可能な仕組みを構築した。 |

④ AI 精度

AI 推論結果の精度を高めるためにはデータの扱いが重要となる。当実証実験ではその特性上、教師データとなる不良画像を大量に収集できない可能性もあるため、この場合はデータの増幅などにより学習に十分な量を確保する方策を検討した。また、画像の加工や一部切り出しなど、効果的・効率的に推論を行える前処理を検討した。

実証の結果は、人の目による画像確認結果と突き合わせ、以下の指標で定量化した。

表.4.3.1.1-(4):AI 精度

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 正解率 | 予測結果全体が真の値と一致している割合 |

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 適合率 | システムが予測した結果の中で、正解だったものの割合 |
| 再現率 | 正解に対して、正しく予測できたものの割合。(網羅性を測る尺度) |
| F 値 | 適合率(正確性)と再現率(網羅性)との総合的な評価尺度 |

また、トンネル構造物列車直上の状態検出については、東急東横線とみなとみらい線において鉄道事業者別に評価・検証を行った。

【定性面】

⑤ カメラ設置検証

今回の実証実験では、2 台のカメラにて正面向きの同一映像から 3 ケース、上向きの同一映像から 2 ケースのモニタリングを実施した。異なるモニタリング対象に対して、適切な検知が行える映像を撮影できるよう、カメラの設置位置・角度、画角や撮影範囲などを検証した。

表.4.3.1.1-(5):カメラ設置検証

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| カメラの設置位置・角度 | 車両内に取付けるカメラの取付け位置、固定方法、撮影対象に対する角度などを検討した。 |
| 画角、撮影範囲 | 設置条件を前提に、各モニタリング対象が検知しやすい画角や撮影範囲などを検討した。 |

⑥ 結果表示機能・UI(画面構成・表示内容など)

モニタリング結果は、利用者が確認できるよう Web アプリケーションで参照可能とする。昨年度自由が丘駅実証時の画面に対する意見を活かし、GPS による位置情報ならびに地下を含む駅間の任意の場所をわかりやすく確認できる画面インターフェースを検討・実装した。その際、駅間のどの位置に車両があるのかを視覚的にわかりやすくする工夫なども行った。

表.4.3.1.1-(6):結果表示機能・UI(画面構成・表示内容など)

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 画面構成 | ログインから異常検知結果参照、映像データ確認などの画面構成を検討・実装・評価した。 |

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 表示内容 | 異常検知結果や映像データをどのような内容で表示するかを検討・実装・評価した。 |

2） 検証方法

具体的な評価・検証方法を下表に示す。

表.4.3.1.1-(7):検証方法

| 評価 | 検証方法 |
|---|---|
| 停車時間中における映像データアップロード時間 | 事前調査・机上計算、基礎数値計測、実測、現地でのチューニング、結果の分析・評価を行った。 |
| 時間帯(明るさ)・天候差における異常検出率の違い | 時間帯による明るさや影の違い、天候の違いなどがある実証結果に対し、異常検出率の違いを分析・評価した。 |
| 駅→クラウド伝送から AI 解析・結果表示までの処理時間 | 事前調査・机上計算、基礎数値計測、実測、現地でのチューニング、結果の分析・評価を行った。 |
| AI 精度 | 実証実験結果で各値を算出し、評価を行った。<br>特に偽陽性、偽陰性については、保守関係係員による実証実験結果の確認・分類による過検知や見逃しも評価した。なお、砕石動揺あおり(白色化)に関する精度評価は、保線保守関係係員によるものでなく、実証担当者が実施。<br>また、トンネル構造物列車直上の状態検出については、東急東横線とみなとみらい線において鉄道事業者別の検出差異の傾向分析を実施した。 |
| カメラ設置検証 | 実証実験前に車両内で設置確認を行い、実証実験時の設置方針を決定し、結果を評価した。 |
| 結果表示機能・UI(画面構成・表示内容など) | 実装前にプロトタイプとしてのユーザインターフェース設計を行い、利用後にインタビューなどにより評価した。 |

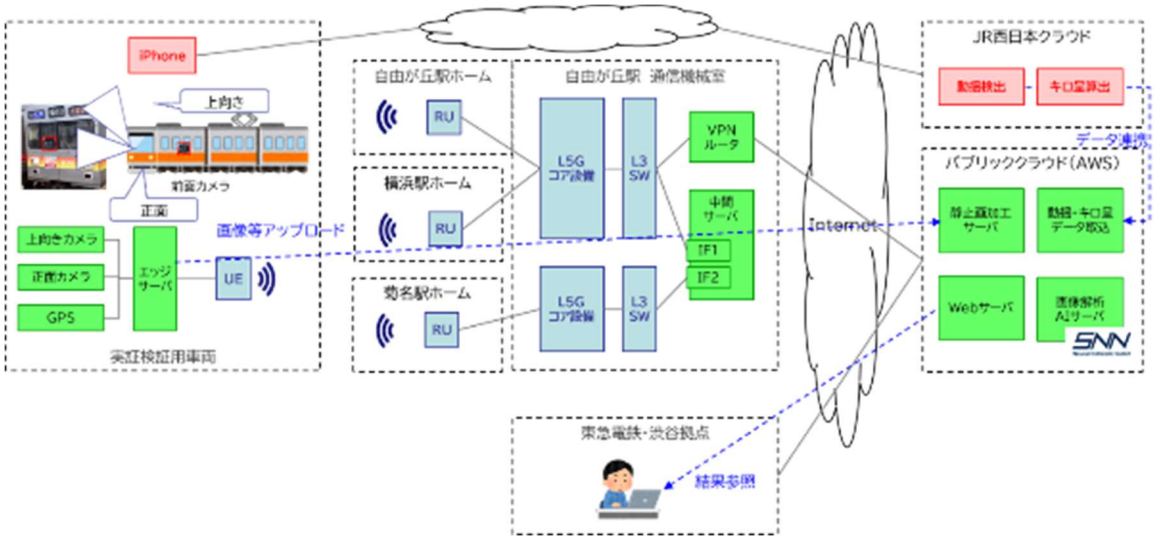



図.4.3.1.1-(1):システム構成図

### 3） 検証結果及び考察

① 停車時間中における映像データアップロード時間

ローカル 5G アンテナ設置駅でのアップロードとなるため、途中で通信が途切れてもできるだけ多くの映像をアップロードできるよう、動画ファイルは 10 秒単位に分割した。また、当初プログラムからファイル転送用ライブラリを使用して実装していたが、事前計測でこのライブラリがボトルネックとなっていることが判明したため、プログラムから sftp コマンドを直接呼び出す方式に変更し、パフォーマンス向上を確認した。

表.4.3.1.1-(8):停車時間中における映像データアップロード時間

| 評価・検証項目 | 結果 |
|---|---|
| 撮影パラメータ | 解像度　　:FullHD(1920×1280)<br>※夜間・トンネル内での明るさを確保するためにカメラ側に HDR を搭載した機種を選定。HDR 画像はデータ容量が大きいため、4K ではなく FullHD を採用した<br>コーデック　:H.265<br>フレームレート:約 20fps<br>ビットレート　:約 4Mbps |
| 処理方式 | 1） 車両に搭載のエッジコンピュータとカメラで動画撮影<br>2） 駅入構時に動画形式で中間サーバーへ sftp コマンドで転送<br>※エッジコンピュータから UE に定期的にポーリング(機内モード OFF＋sftp サーバーへの ping)を実行することで、ローカ |

| 評価・検証項目 | 結果 |
|---|---|
| | ル 5G 通信圏内に入り次第アップロードを開始できるよう実装 |
| 処理時間 | 約 60 秒(130Mbps)<br>※渋谷→自由が丘(急行 9 分)で撮影した動画全量のアップロードにかかる時間 |

・動画 1 ファイル(10 秒単位)の平均サイズは約 8.5(MB)

・渋谷～元町・中華街間は急行で約 45(分)

・1 走行分のデータ容量は、
45(分) × 60(秒) ÷ 10(秒) × 2(カメラ台数) × 8.5(MB) ＝ 4,590(MB)

・参考値の菊名を除いた平均アップロード速度は、約 130(Mbps)

・1 走行分の動画データアップロードに必要な時間は、
4,590(MB)×8(bit) ÷ 130(Mbps) ＝ 約 282(秒)

・1 駅あたりの通信可能時間は、停車 30(秒)＋入構前後 15(秒)×2 ＝ 約 60(秒)

・282(秒) ÷ 60(秒) ＝ 4.7(駅)
⇒ 東横線内で 5 駅がローカル 5G エリア化されていれば、1 走行の沿線データを全てアップロードすることが可能となる計算

② 時間帯(明るさ)・天候差における異常検出率の違い

“④”の AI 精度にて、各種撮影条件も含めて評価を記載。

③ 駅→クラウド伝送から AI 解析・結果表示までの処理時間

転送開始～処理結果確認可能までの処理時間は以下の通りとなった。

表.4.3.1.1-(9):結果表示までの処理時間

(分:秒)

| モニタリング対象 | Web 確認開始までの時間 |
|---|---|
| 砕石 道床あおり | 14:26 |
| 標識・灯器類見通し支障 | 19:39 |
| 架線への樹木近接 | 14:19 |
| トンネル漏水滴下 | 14:23 |

全ての解析を終えて Web 画面で結果確認が可能になるまでの時間はいずれも 20 分以内となっており、概ね目標値の 60 分に収まっている。なお、標識・灯器類の見通し支障については重要度が高いため目標値を 10 分としていたが、クラウド側の処理を複数並列実行することで処理時間が短縮できることを確認しており、更に並列数を高めることでこの目標値にも対応可能であ

る。

処理時間の内訳をシーケンス毎に計測した結果と分析・対応内容を以下に示す。

表.4.3.1.1-(10)理時間の内訳

| 測定箇所 | 結果 | 分析・対応 |
|---|---|---|
| 中間サーバー→クラウド伝送時間 | 約 110Mbps | 事前検証で、動画ファイルを一括でアップロードすると、転送速度が向上することを確認。 |
| 動画の静止画変換 | 1 動画ファイル(10 秒@30fps)あたり、約 13.2 秒<br>※DB 登録の処理時間を含む | 順次処理ではなく、並列処理にて変換を行ったため、処理対象が増えても、パフォーマンスが劣化することはなかった。 |
| AI 解析処理時間 | 静止画 1 枚あたり、0.2～0.5/秒<br>※モニタリング対象によっては 2 つの推論処理を組み合わせる<br>※DB 登録や推論画像の加工処理時間を含む | モニタリング対象毎に推論処理を行うサーバーを 1 台から 3 台に増やし、性能向上することを確認した。優先的に処理速度を速くしたいモニタリング対象がある場合は、サーバー数を増やすことで、対応が可能なことがわかった。 |
| 推論結果のグループ化処理時間 | 推論画像 1 枚あたり、約 0.5 秒 | 順次処理ではなく、並列処理にて変換を行ったため、処理対象が増えても、パフォーマンスが劣化することはなかった。 |
| 結果画面表示時間 | 検索:3 秒以内<br>画面の描画:検索結果件数に応じて、画面の描画処理に 5～10 秒程度(クライアント PC のメモリにも依存) | 検索結果件数に比例して、画面描画に時間がかかることがわかったため、静止画を遅延読み込みするように対応。また、動画をストリーミング形式に変換することで、動画全体の読み込みが完了していなくても、すぐに再生が可能なように対応した。 |

④ AI 精度

各モニタリング対象について、撮影条件毎の混同行列と関連指標についてその評価を行った。

1. 砕石道床あおり(白色化)の検出

(ア) 季節変動における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(11):季節毎の AI 精度

| 条件 | | 夏 | | 秋 | | 冬 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive（異常あり） | TP=111 | FN=45 | TP=82 | FN=25 | TP=86 | FN=12 |
| | Negative（異常無し） | FP=16 | TN=1957 | FP=10 | TN=2613 | FP=26 | TN=2539 |
| 正解率 | | 0.971 | | 0.987 | | 0.986 | |
| 適合率 | | 0.874 | | 0.891 | | 0.768 | |
| 再現率 | | 0.712 | | 0.766 | | 0.878 | |
| F 値 | | 0.784 | | 0.824 | | 0.819 | |

- 季節変動の影響はあまり受けず、概ね同様の精度となっている。
- 若干秋の精度が高いのは、作業時期の関係で学習データにおける秋のデータの割合が高かったことに起因されると考えられる。

（イ）時間帯（明るさ）における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(12):時間帯毎の AI 精度

| 条件 | | 朝（東日） | | 正午 | | 夕方（西日） | | 夜間 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive（異常あり） | TP=78 | FN=16 | TP=86 | FN=33 | TP=75 | TN=39 | TP=26 | FN=13 |
| | Negative（異常無し） | FP=20 | TN=3062 | FP=11 | TN=2525 | FP=12 | TN=2530 | FP=10 | TN=1706 |
| 正解率 | | 0.989 | | 0.983 | | 0.981 | | 0.987 | |
| 適合率 | | 0.796 | | 0.887 | | 0.662 | | 0.722 | |
| 再現率 | | 0.830 | | 0.723 | | 0.658 | | 0.667 | |
| F 値 | | 0.813 | | 0.796 | | 0.746 | | 0.693 | |

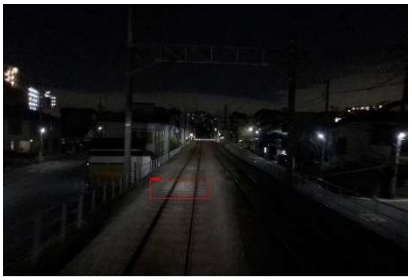
- 時間帯については、画像の見え方に差異の出る晴れで比較を行った。時刻（≒太陽の位置や影の向き）による差異が大きく、AI 精度にも影響が大きい。特に逆光や日光により路面に光の反射がある場合は、画像を人の目で見ても判断できないケースもあり、精度が下がる。
- 一方で昨年度課題となった日陰の影響は比較的抑えられ、一部が陰になっているケースでも正しく検出できているものが多かった。学習データに陰のデータを取り込んだ成果と考えられる

◆下り　晴れ（夕方）

◆下り　晴れ（午後）

- 夜間のあおり箇所も検出できているが、検出数が日中と比較して 1/3～1/4 程度となっている。夜間でもある程度撮影が可能な HDR カメラを採用したが、データ量との調整の兼ね合いもあり、あおり箇所を撮影しきれていないことが大きな原因と考えられる。

◆夜間あおり例①



◆夜間あおり例②

（ウ）天候差における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(13):天候毎の AI 精度

| 条件 | | 晴れ | | 曇り | | 雨 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=78 | FN=16 | TP=82 | FN=25 | TP=2 | FN=1 |
| | Negative(異常無し) | FP=20 | TN=3062 | FP=10 | TN=2613 | FP=4 | TN=2540 |
| 正解率 | | 0.989 | | 0.987 | | 0.998 | |
| 適合率 | | 0.796 | | 0.891 | | 0.333 | |
| 再現率 | | 0.830 | | 0.766 | | 0.667 | |
| F 値 | | 0.813 | | 0.824 | | 0.444 | |

- 晴れは太陽の位置や影の向きにより影響を受ける面もあるが、精度としては曇りと大きな差は見られなかった。
- 雨天では線路上のあおり箇所は濡れて目視でも確認不可となり、検出されなかった。

◆晴れ

◆雨（晴れと同一箇所）

2.　標識の見通し支障物の検出

（ア）季節変動における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(14):季節毎の AI 精度

| 条件 | | 夏 | | 秋 | | 冬 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=0 | FN=0 | TN=1 | FN=0 | TP=0 | FN=0 |
| | Negative(異常無し) | FP=5 | TN=3378 | FP=4 | TN=5648 | FP=9 | TN=5459 |
| 正解率 | | 0.999 | | 0.999 | | 0.998 | |
| 適合率 | | 0.000 | | 0.200 | | 0.000 | |
| 再現率 | | － | | 1.000 | | － | |
| F 値 | | － | | 0.333 | | － | |

・　目視で確認できる異常箇所は、全画像(14,485 枚)中、秋の 1 か所と少ないが、その 1 か所の検出に成功している。

◆異常箇所　　（異常箇所の拡大画像）

・　撮影画像全体に対する誤検知数も数枚程度であり、季節変動の影響は大きくないと考えられる。(誤検知は標識灯器類の背景に映った樹木や雑草など)

（イ）時間帯(明るさ)における異常検出率の違い検証

| 条件 | | 朝(東日) | | 正午 | | 夕方(西日) | | 夜間 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive（異常あり） | TP=1 | FN=0 | TP=1 | FN=0 | TP=1 | FN=0 | TP=0 | FN=0 |
| | Negative | FP=6 | TN=6392 | FP=12 | TN=6466 | FP=12 | TN=5798 | FP=11 | TN=5337 |

| 条件 | 朝(東日) | 正午 | 夕方(西日) | 夜間 |
|---|---|---|---|---|
| (異常無し) | | | | |
| 正解率 | 0.999 | 0.998 | 0.998 | 0.998 |
| 適合率 | 0.143 | 0.077 | 0.077 | 0.000 |
| 再現率 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | − |
| F 値 | 0.250 | 0.143 | 0.143 | − |

表.4.3.1.1-(15):時間帯毎の AI 精度

・ 日中は、朝・昼・夕方共に異常箇所を検出できた。

◆朝(東日)の異常箇所　　(異常箇所の拡大画像)

・ 別日の昼(午後)は、逆光(影)による影響が大きく、目視でも樹木は認識できない状態で、未検出となった。

◆昼(午後)の異常箇所　　(異常箇所の拡大画像)

・ 夜間は画像全体が暗く、日中に比べると樹木などの支障物が確認しづらい。同じ場所で午後と夜間の撮影画像を比べると、夜間は光っている標識灯器類以外は確認が困難

◆日中　　◆夜間(日中と同一箇所)

（ウ）天候差における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(16):天候毎の AI 精度

| 条件 | | 晴れ | | 曇り | | 雨 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=1 | FN=0 | TP=1 | FN=0 | TP=1 | FN=0 |
| | Negative(異常無し) | FP=6 | TN=6392 | FP=4 | TN=5648 | FP=7 | TN=6447 |
| 正解率 | | 0.999 | | 0.999 | | 0.999 | |
| 適合率 | | 0.143 | | 0.200 | | 0.125 | |
| 再現率 | | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | |
| F 値 | | 0.250 | | 0.333 | | 0.222 | |

- 晴れ、曇り、雨の全ての条件で異常箇所を検知できた。
- 別日の異常箇所（晴れの 1 件）は、逆光（影）のため目視でも樹木がわからない状態であり、これが未検出となった要因と思われる。逆に同じ時間帯にて逆方向（上り）で撮影した映像では樹木が鮮明に映っており、逆光（影）の影響が大きく、逆光対策の必要性が示唆された。
- 誤検知は、晴れ 6 件、曇り 4 件、雨 7 件であり、件数ベースでは天候の影響は大きくなさそうであるものの、一方で標識灯器類自体の検知数は、晴れ 650 件、曇り 522 件、雨 346 件で、特に雨は件数が少ない。雨の撮影画像は、フロントガラスに水滴が付いて画像がぼやけて標識が鮮明に映らないことで、見落としが多くなると思われる。

3. 架線への樹木近接の検出

（ア）時間帯（明るさ）における異常検出率の違い検証

| 条件 | | 午前 | | 午後 | | 夜間 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=3 | FN=3 | TP=0 | FN=0 | TP=4 | FN=0 |
| | Negative(異常無し) | FP=1 | TN=9223 | FP=1 | TN=8720 | FP=2243 | TN=7677 |

| 条件 | 午前 | 午後 | 夜間 |
|---|---|---|---|
| 正解率 | 1.000 | 1.000 | 0.774 |
| 適合率 | 0.750 | 0.000 | 0.002 |
| 再現率 | 0.500 | － | 1.000 |
| F 値 | 0.600 | － | 0.004 |

表.4.3.1.1-(17):時間帯毎の AI 精度

・ 日中は午前午後合わせて 6 か所中 3 か所が検出できている。見逃し 3 件/誤り 2 件あるが、全体 17943 枚と多い中で、高い正解率を確保している

◆正解箇所①(及び推論結果)

◆正解箇所②(及び推論結果)

・ 夜間は上向きへの明かりがほぼないため、今回採用した HDR カメラであっても画像が全体的に暗く、目視でも樹木や架線の重なりを確認できない結果となった。

◆夜間画像①

◆夜間画像②

（イ）天候差における異常検出率の違い検証

| 条件 | | 晴れ | | 曇り | | 雨 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） | Positive（検知） | Negative（未検知） |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=3 | FN=3 | TP=5 | FN=1 | TP=0 | FN=3 |
| | Negative(異常無し) | FP=1 | TN=9223 | FP=3 | TN=7174 | FP=23 | TN=7510 |
| 正解率 | | 1.000 | | 0.999 | | 0.997 | |
| 適合率 | | 0.750 | | 0.625 | | 0.000 | |
| 再現率 | | 0.500 | | 0.833 | | 0.000 | |
| F 値 | | 0.600 | | 0.714 | | － | |

表.4.3.1.1-(18):天候毎の AI 精度

- 晴れにて正解した 3 件は、画像に写り込んだものの種類が少なく(架線、樹木、建物のみ)、架線や樹木が明瞭に写ったパターンである。
- 晴れにて未検出の 3 件は、正解のパターンと相反して、写り込んだものの種類が多いものや不明瞭な部分のある画像で、セグメンテーションの段階で予測を失敗したものだった。
- 晴れにて架線と他のケーブルの判別が相当難しい。前後のフレームを含めて架線同士の接続線の有無を確認しないと判別が困難。
- 今回の判定では、カメラを上方に向けることでできるだけ実際に架線と樹木が近接している状態を検出できる仕組みとなるように実装したが、異常と判別した画像でも架線と樹木が実際に近接しない(画角上重なって見えるのみ)ものもあった
- 雨の日は 1 件も検出できていない。見逃した 3 件とも樹木の一部は検出できたが、架線が検出できていなかった。架線は樹木に比べて細いため、フロントガラスに付いた水滴で見づらくなっていることの影響が大きいと思われる。

◆雨天画像

◆雨天画像のセグメンテーション結果

4. コンクリートのひび割れ・漏水の検出

(ア) 鉄道会社(路線区間)における異常検出率の違い検証

表.4.3.1.1-(19):AI 精度

| 条件 | | 東急電鉄:東横線 | | 横浜高速鉄道:みなとみらい線 | |
|---|---|---|---|---|---|
| AI 推論結果 | | Positive<br>(検知) | Negative<br>(未検知) | Positive<br>(検知) | Negative<br>(未検知) |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=5 | FN=4 | TP=28 | FN=26 |
| | Negative(異常無し) | FP=26 | TN=922 | FP=24 | TN=2473 |
| 正解率 | | 0.969 | | 0.980 | |
| 適合率 | | 0.161 | | 0.538 | |
| 再現率 | | 0.556 | | 0.519 | |
| F 値 | | 0.250 | | 0.528 | |

- 東横線区間の方が誤検出が多い結果となった。トンネル内での撮影は高速走行時に映像がぶれる傾向があり、駅間が短く高速に達しにくいみなとみらい線と差が出たものと考えられる。
- いずれにしても、誤検知・見落とし共多くなっており、撮影画質・AI モデル双方の改善が必要である

◆高速走行中(明るいがブレあり)

◆走行中(周辺に照明の無い箇所)

⑤　カメラ設置検証

車両内へのカメラ設置条件を踏まえて設置結果の評価を行った。また適切な撮像条件を設定・評価した。

表.4.3.1.1-(20):カメラ設置検証

| 評価分類 | 評価項目 | 評価結果 |
|---|---|---|
| カメラ設置条件 | 設置場所 | 車両工事無しで利用できるよう、運転室内前面窓ガラス前に設置。また正面向き以外に、「架線と沿線樹木の近接状態」「トンネル構造物列車直上の状態」を撮影・評価するために上向き(70 度)のカメラも設置し、2 台構成とした。上向きについては複数の角度で撮影を行い、「架線と沿線樹木の近接状態」を把握するために最も適切な角度を選定した。 |
| | 固定方法 | 営業車でも利活用できるよう、容易な取付け・取外しと、柔軟な位置調整が可能な固定方法を選定した。具体的には、車掌台上に吸盤タイプの設置台で取付けを行い、カメラの長さや角度は複数の穴を持つ板状の金属棒の組み合わせで固定した。(写真参照) |
| | その他 | 窓の汚れや雨粒、社内光の反射などを極力抑えるため、できるだけレンズが窓ぎりぎりの位置になるよう、調整を実施した。 |
| エッジコンピュータ条件 | 設置場所 | 営業車でも利活用できるよう、コンパクトなケースに収納することで設置面積を小さくした。 |
| | 電源 | 営業車でも利活用できるよう、小型ポータブル電源で稼働することを確認した。容量 24,000mAh で約 2 時間稼働することが可能。 |

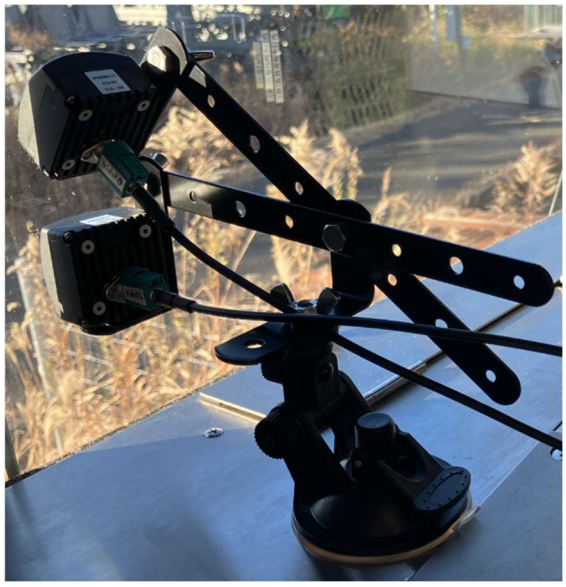


図.4.3.1.1-(3):総合検測車に設置したカメラ

図.4.3.1.1-(4):ケースに収納し営業車に設置したエッジコンピュータとカメラ

⑥　結果表示機能・UI(画面構成・表示内容など)

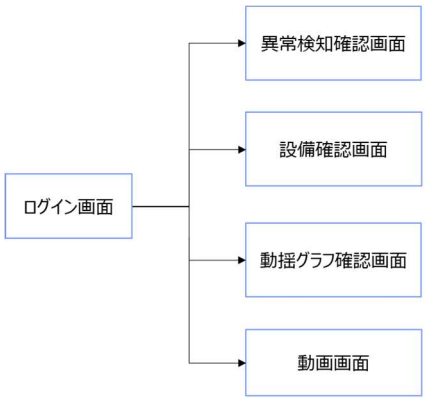
実証準備段階で実際の業務での利用を想定しながら、画面イメージのすり合わせを実施した。この時点で出た主な意見と対応は以下の通り。

- 検出位置は業務で使用する単位である「キロ程」で確認したい。またその際、実測のキロ程に対して一部重複や飛び区間を含む「管理キロ程」を使用したい
  - ➢ 簡易動揺計測アプリに登録した「管理キロ程」を結果確認アプリ側で取得して、表示に利用する設計とした
- 当初は白色化(あおり)の画像から動揺の有無を確認する仕様であったが、逆に動揺が検知された位置から映像にて白色化の有無を確認したい
  - ➢ 簡易動揺計測アプリから取得する「動揺値」をグラフ表示し、映像リンクを設定した
- 経過を一覧で確認したい

➢　同一箇所の確認履歴を確認できる画面を追加

全体の画面遷移と各画面のイメージは以下の通りである。

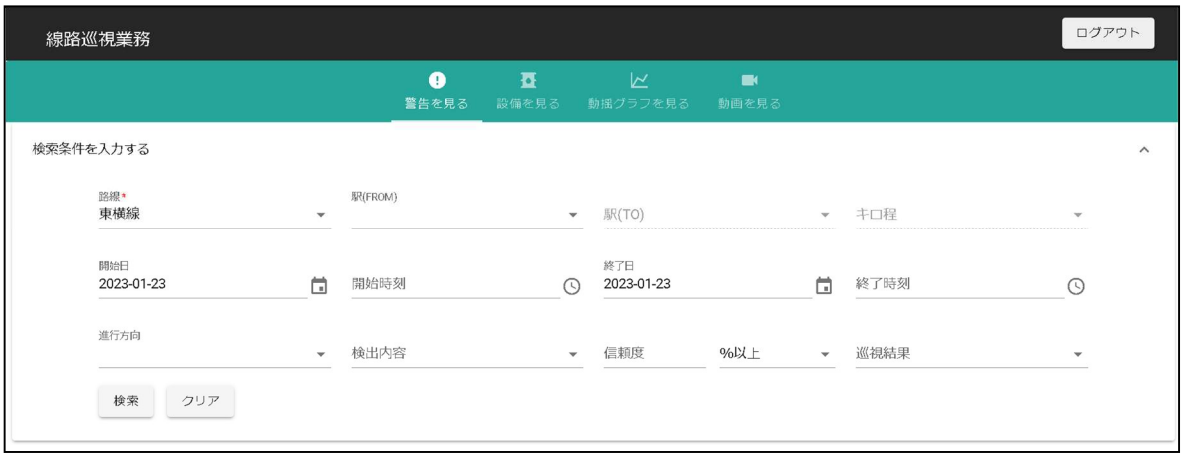
＜画面遷移図＞



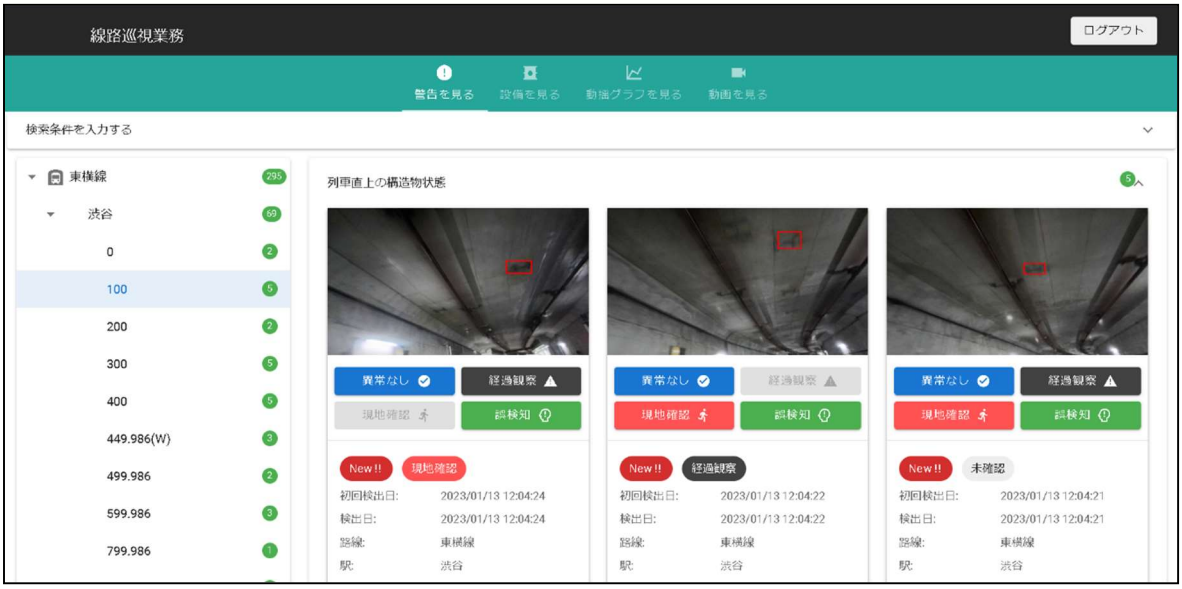

各画面の機能/役割は以下の通りです

| | |
|---|---|
| ログイン画面 | メールアドレスとパスワードでログインを行います。 |
| 異常検知確認画面 | 検出対象ごとに、推論結果を表示します。 |
| 設備確認画面 | 事前に監視対象として登録した設備ごとに、設備を表示します。 |
| 動揺グラフ確認画面 | 検出された動揺値を散布図で表示します。 |
| 動画画面 | 撮影した動画を表示します。 |

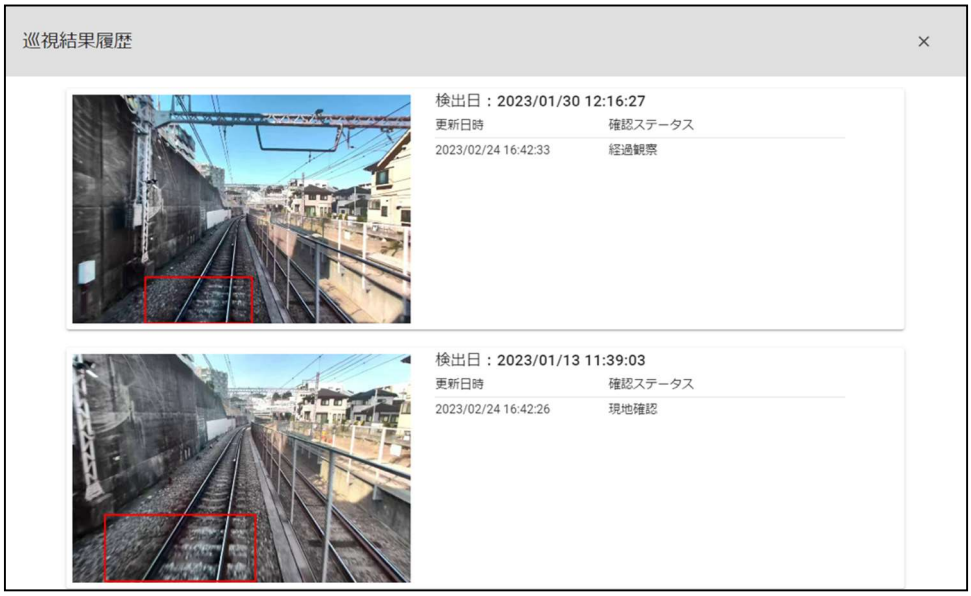
＜共通ヘッダーと検索条件入力＞



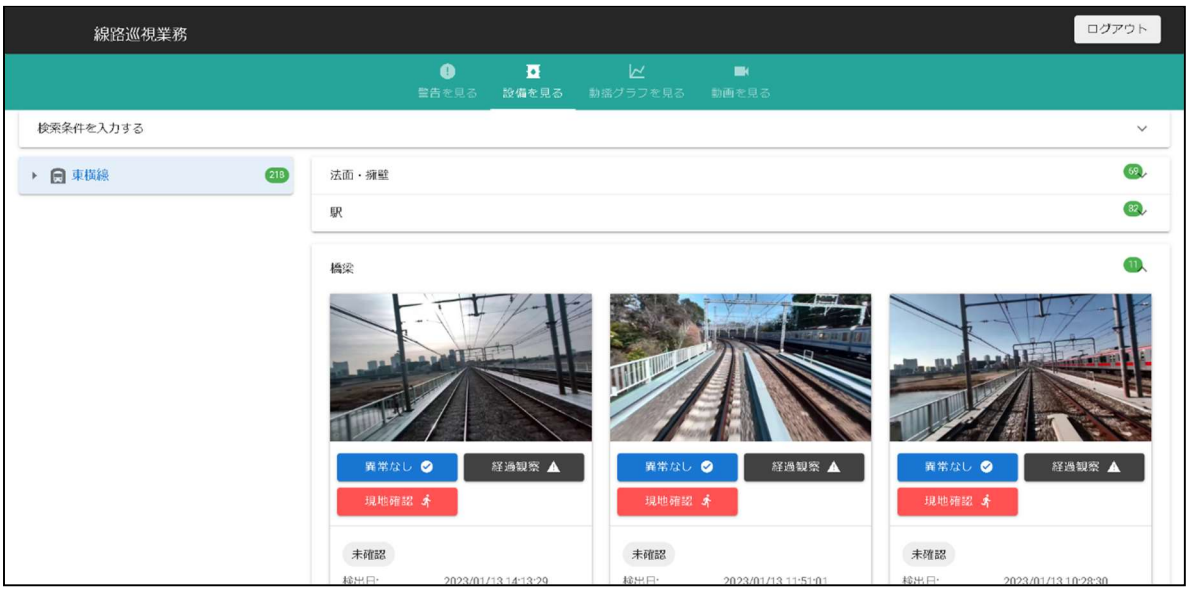
＜異常検知確認＞



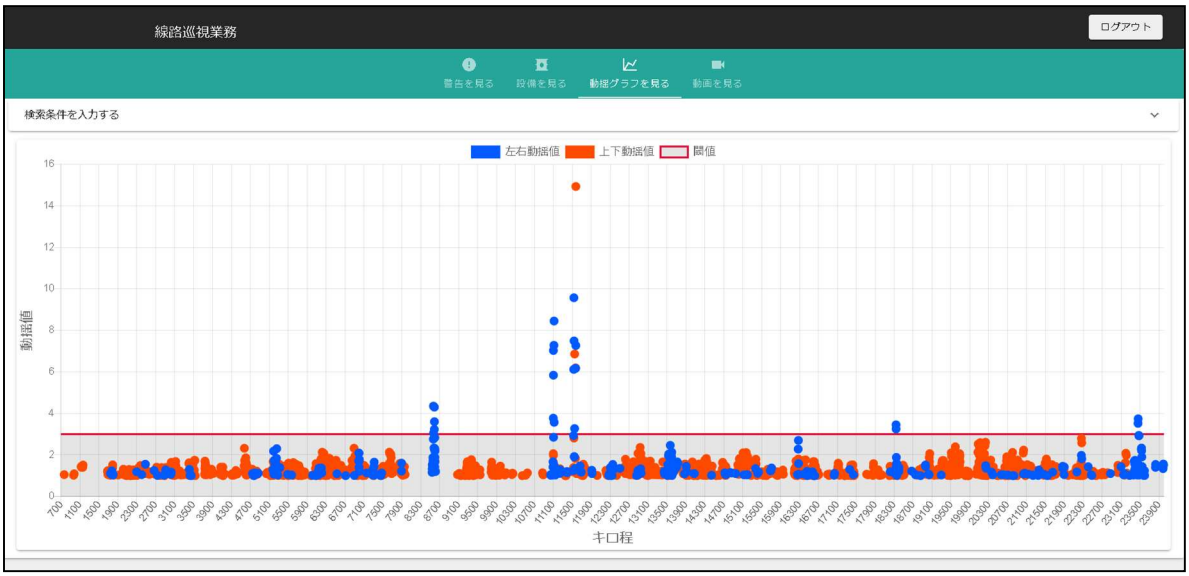

＜巡視結果履歴＞



＜設備確認＞




＜動揺グラフ確認＞



＜動画確認＞

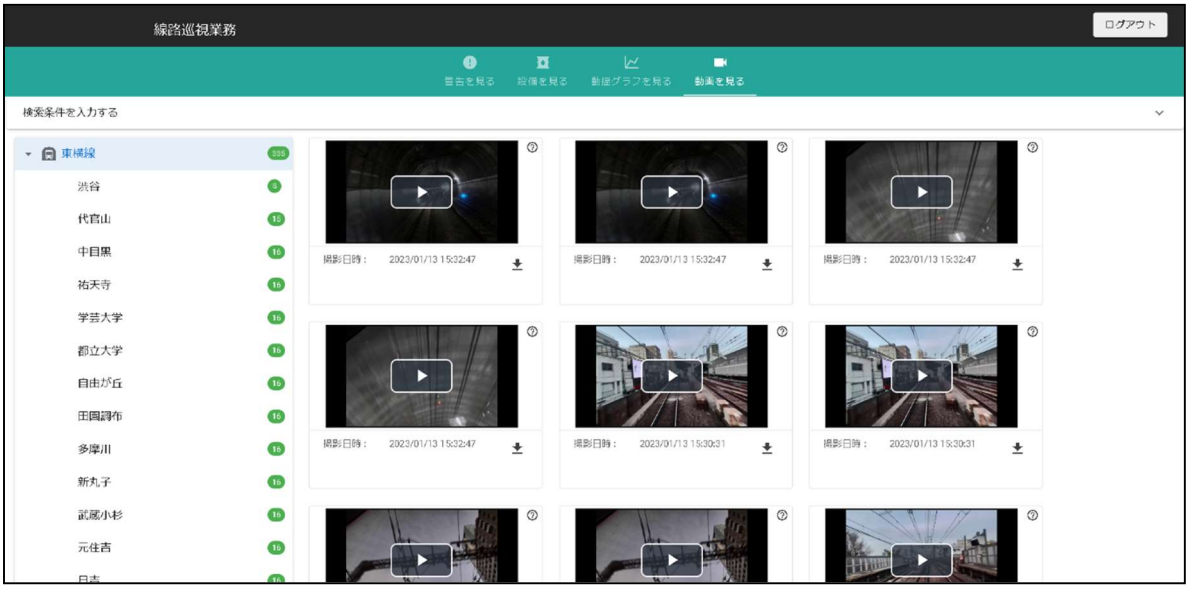



図 4.3.1.1-(5) :結果表示機能・UI

◇<u>沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上</u>

## 4） 検証項目

踏切および、線路敷地内における異常を AI による検知を行い、遠隔地の運輸司令所や近接する電車の運転士へ通知するシステムの検証を行った。踏切および、線路敷地内に設置したカメラからの映像をローカル 5G で伝送を行い、駅に設置した AI 処理サーバーで判定を行う。判定の結果、運輸司令所および運転士へ通知が必要な場合は、即時発報を行い、映像配信を行う。ローカル 5G を用いて鮮明な映像を配信することで、踏切・線路上での支障物を認識できるかを検証した。

走行する列車の運転士へ速やかに通知できることが、運行支障や重大事故を未然に防ぐことに繋がるため、カメラ映像→AI による処理判定→司令・運転士への通知の一連の速度についてもリアルタイム性を考慮して検証を行った。

システム構成図を以下に示す。

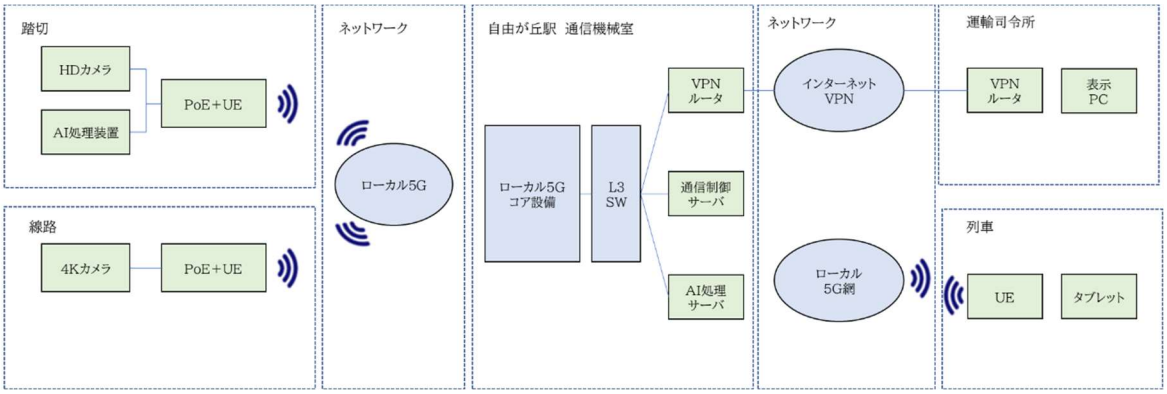



図.4.3.1.1-(6):踏切および線路敷地内を監視するシステム構成図

【定量面】

① 複数カメラからの映像伝送の評価

複数のカメラは UE に繋がり、複数の UE は、1 つの 5G アンテナに接続する構成となる。複数のカメラから 5G アンテナへ高解像度の映像ストリーミングがアップロードされることになるが、ストリーミング設定とカメラ台数での映像伝送の品質について評価した。

表.4.3.1.1-(21):複数カメラからの映像伝送の評価に対する評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| カメラパラメータ | 撮影時にカメラに設定する各種のパラメータとして、<br>解像度、フレームレート、コーデックなど設定値を評価。 |
| カメラ台数 | カメラ映像のストリーミングが AI 検知に影響を及ぼさない、<br>ローカル 5G アンテナに接続するカメラ台数。 |
| 映像伝送品質 | 映像ストリーミングの伝送品質を、ストリーミング映像および、パケットロスト率で評価。 |

② AI 検知からタブレット表示までの処理時間

列車に搭載されたタブレットに AI 検知結果とカメラ映像が伝送される。業務面から見て適切な処理時間となるよう、実証実験構成における処理時間を計測して評価した。

表.4.3.1.1-(22):AI 検知からタブレット表示までの処理時間に対する評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| タブレット接続完了時間 | 通信エリアにタブレットが入ってから、通知を受信できるまでの接続時間。 |
| AI 検知からタブレット表示までの処理時間 | 停車中、走行中において、AI 機能で発報した後、発報処理サーバーを経由してタブレットに通知されるまでの時間。 |
| カメラ映像表示時間 | タブレットに通知され、対象カメラの映像が表示されるまでの時間。 |

③ カメラ画素数と AI 検知精度の評価

踏切道に設置するカメラは、踏切道内全体で滞留を検知することが求められる。そして、線路敷地内に設置するカメラは、1 台で広い領域の侵入を検知することが求められる。カメラは高解像度対応にすることで鮮明に撮影が可能だが、その場合の AI 検知精度を評価した。

表.4.3.1.1-(23):カメラ画素数と AI 検知精度の評価に対する評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| AI 検知距離 | 昼・夜の条件で、カメラからの距離毎の AI 検知精度を評価。 |

【定性面】

④ カメラ設置位置検証

今回の実証実験では、線路敷地内を撮影するカメラを設置する。実際の設置により、想定通りのカメラ距離間、画角で設置できるかを検証した。

表.4.3.1.1-(24):カメラ設置位置検証に対する評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| カメラの設置位置・角度 | 踏切、線路敷地内を撮影するカメラについて、AI 検知の条件に合った設置位置・画角で設置できるかを検証。 |
| 撮影範囲 | 設置条件を前提に、カメラパラメータ、ズーム設定により、撮影画角が AI 検知エリアとして適切か検証。 |

⑤ 可視範囲を越えた映像による安全運行に対する効果

可視範囲を越えた映像を用いた運行管理の高度化が運輸司令所・運転士への安定運行および、未然の回避に効果を検証した。

表.4.3.1.1-(25):可視範囲を越えた映像による
安全運行に対する効果に対する評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 運輸司令所、運転士への通知内容の評価 | 遠隔からの映像と AI による運航管理の高度化が運輸司令所・運転士への安定運行および、未然の回避に効果を評価する。 |
| 通知による安定運行への寄与の評価 | |

5） 検証方法

具体的な評価・検証方法を以下に示す。

表.4.3.1.1-(26):評価・検証方法

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| ① 複数カメラからの映像伝送の評価 | 事前調査からカメラ接続可能を推定。実測、パラメータ調整、結果の分析・評価を行った。 |
| ② AI 検知からタブレット表示までの処理時間 | 事前調査・机上計算での処理時間を推定。実測、パラメータ調整、結果の分析・評価を行った。 |
| ③ カメラ画素数と AI 検知精度の評価 | 選定カメラでの AI 検知精度を評価。実測、パラメータ調整、結果の分析・評価を行った。 |
| ④ カメラ設置位置検証 | 検証実験前に現地調査を行い、実証実験で設置したカメラの画角と事前調査の内容を比較評価した。 |
| ⑤ 可視範囲を越えた映像による安全運行に対する効果 | 評価用のユーザインターフェースを作成し、利用者へインタビューなどにより評価した。 |

以下、報告の中で利用するカメラ名称と位置関係を以下に示す。

表.4.3.1.1-(27):カメラ名称と取付け位置

| 項目 | 電力柱 | 利用者向け名称 |
|---|---|---|
| 沿線カメラ1 | 菊名35号柱 | 上り⑩閉そく |
| 沿線カメラ2 | 菊名32号柱 | 上り⑨閉そく |
| 沿線カメラ3 | 菊名29号柱 | 下り⑤閉そく |
| 沿線カメラ4 | 菊名23号柱 | 上り⑤閉そく |
| 踏切カメラ1 | 菊名29号柱 | 菊名3号 |

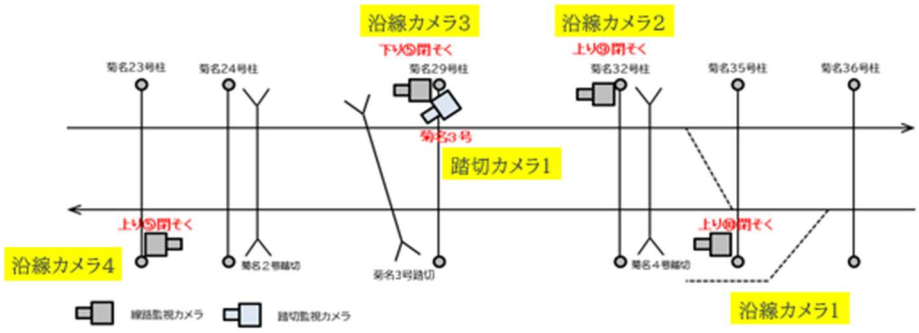



図.4.3.1.1-(7):カメラ名称と取付け位置

カメラ、UE、およびカメラから送信される映像(以下、映像ストリーミング)の関係について、以下に示す。

カメラの設定値を変更することで、映像ストリーミングの最大帯域を変更できる。そして、カメラからは、映像ストリーミングを複数送信することができる。

今回の検証では、UE の配下に複数カメラを設置した場合を模擬するため、カメラ 1 台から映像ストリーミングの帯域を変更および、複数送信することで検証を行った。

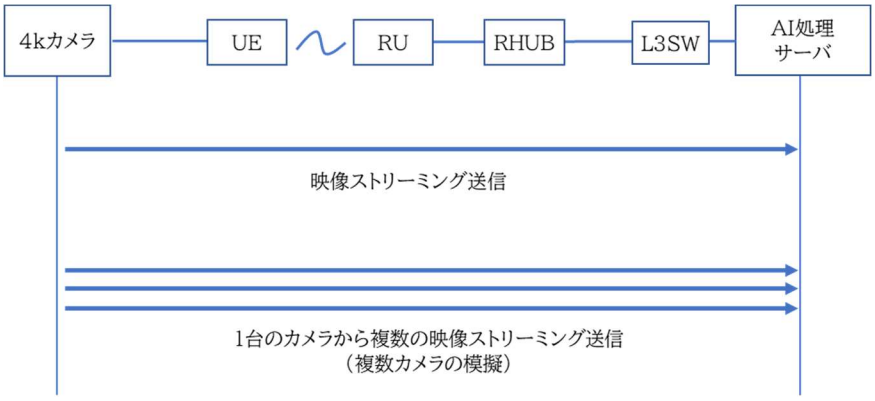



図.4.3.1.1-(8):カメラからの映像ストリーミング

## 6） 検証結果及び考察

### ① 複数カメラからの伝送処理能力評価

伝送能力の評価を行うで基礎となるパラメータを以下の通りで設定した。

表.4.3.1.1-(28):カメラの基礎パラメータ

| 分類 | 項目 | 値(沿線カメラ) | 値(踏切監視) | 設定根拠 |
|---|---|---|---|---|
| ビデオ設定 | コーデック | H.264 | H.264 | AI機能が対応する<br>入力映像のプロトコル |
| | 解像度 | 3840x2160 | 1280x720 | カメラの最大解像度を設定沿<br>沿線カメラ 4K、踏切監視 |
| | 最大フレームレート | 25fps | 25fps | 映像を快適に見るため |
| | Iフレーム間隔 | 1秒 | 1秒 | 物体の移動量が多いとき<br>でも鮮明な映像を得るため |
| | 動的なフレーム制御 | なし | なし | 映像帯域を一定にするため |
| | 最大ビットレート | 20Mbps | 1Mbps | 解像度に合わせた鮮明な<br>映像を得るため |
| | 映像圧縮 | 品質優先 | 品質優先 | 物体の移動量が多いとき<br>でも鮮明な映像を得るため |

伝送能力を評価するため、以下の観点で設定値を変更し計測を行った。

表.4.3.1.1-(29):カメラの変更対象パラメータ

| No. | 観点 | 設定変更 | 変更範囲 |
|---|---|---|---|
| 1 | 沿線カメラ毎に1ストリーミングで動作させたときに安定した映像を出力できるか | 最大ビットレート | 80～10Mbps |
| 2 | カメラ1台で複数ストリーミングで動作させたときに安定した映像を出力できるか | ストリーミング数 | 1～3ストリーミング |
| 3 | カメラ2台で複数ストリーミングで動作させたときに安定した映像を出力できるか | 最大ビットレート<br>ストリーミング数 | 40～20Mbps<br>2～6ストリーミング |
| 4 | 沿線カメラ4台を同時に複数ストリーミングで動作させたときに安定した映像を出力できるか | ストリーミング数 | 4～8ストリーミング |

① -1 沿線カメラ毎、1 ストリーミングで最大ビットレートを変更して計測を行った。

最大ビットレート 80Mbps での計測結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(30):最大ビットレート 80Mbps での計測結果

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1 | 有 | 1 | 80 | 90 | 68 | 計測不能 | 計測不能 | あり | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 72 | 72 | 計測不能 | 45 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ2 | 有 | 1 | 80 | 96 | 73 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 71 | 69 | 0.22 | 94 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ3 | 有 | 1 | 80 | 96 | 56 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 72 | 69 | 0.45 | 102 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ4 | 有 | 1 | 80 | 87 | 70 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 57 | 55 | 0.04 | 46 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |

最大ビットレート 40Mbps の計測結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(31):最大ビットレート 40Mbps での計測結果

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1 | 有 | 1 | 40 | 55 | 36 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 39 | 38 | 1.58 | 100 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ2 | 有 | 1 | 40 | 80 | 66 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 36 | 36 | 0 | 102 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ3 | 有 | 1 | 40 | 68 | 47 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 39 | 35 | 0 | 47 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ4 | 有 | 1 | 40 | 66 | 32 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 39 | 39 | 0 | 48 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |

最大ビットレート 20Mbps の計測結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(32):最大ビットレート 20Mbps での計測結果

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1 | 有 | 1 | 20 | 48 | 20 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 20 | 19 | 0 | 144 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ2 | 有 | 1 | 20 | 32 | 20 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 38 | 18 | 0.51 | 83 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ3 | 有 | 1 | 20 | 58 | 18 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 43 | 15 | 0 | 49 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| 沿線カメラ4 | 有 | 1 | 20 | 37 | 23 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 69 | 18 | 0.06 | 173 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |

（参考）最大ビットレート 10Mbps の計測結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-（33）:最大ビットレート 10Mbps での計測結果

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1 | 有 | 1 | 10 | 14 | 9 | 0.33 | 95 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 10 | 9 | 0.54 | 90 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |

最大帯域 80Mbps で 1 ストリーミングの場合は、概ね安定した出力が出たと考えられる。ただし、列車が通過した際には 80～20Mbps においてパケットロストや遅延の計測はできなかった。また沿線カメラ 1 においては映像に乱れがあった。

① -2 最大ビットレート 40Mbps に固定して、複数ストリーミングでの計測を行った。

ストリーミング数を 1～3 台に変更して計測した結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-（34）:最大ビットレート 40Mbps でストリーミング数が 1～3 の計測結果

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ2 | 有 | 1 | 40 | 80 | 66 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 36 | 36 | 0 | 102 | | 1月17日 | 日中 | 曇 |
| | 有 | 2 | 40 | 93 | 89 | 1台目 計測不能<br>2台目 計測不能 | 90<br>344 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 83 | 68 | 1台目 0.03<br>2台目 0.03 | 108<br>95 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | 3 | 40 | 94 | 92 | 1台目 計測不能<br>2台目 計測不能<br>3台目 計測不能 | 140<br>105<br>130 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |

複数ストリーミングで計測した結果、最大ビットレート 40Mbps、2 ストリーミングまでは映像の乱れなく動作したが、3 ストリーミングは映像に乱れがあることがわかった。

① -3 同じ RHUB 内の複数カメラにおいて、複数ストリーミングでの計測を行った

最大ビットレートを 40Mbps に固定し、ストリーミング数を 2 台と 4 台に変更して計測した結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(35):同 RHUB 内複数カメラ・複数ストリーミングでの計測結果(40Mbps)

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1, 2 | 有 | 2 | 40 | 97 | 82 | 1台目 0.08<br>2台目 0:06 | 93<br>96 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 73 | 71 | 1台目 0<br>2台目 0 | 48<br>41 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 有 | 4 | 40 | 142 | 134 | 計測不能 | 計測不能 | あり | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 128 | 135 | 計測不能 | 計測不能 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |

同じ RHUB 内の複数カメラにおいて、最大ビットレート 40Mbps、2 ストリーミングまでは問題なく動作していることがわかったが、4 ストリーミングにすると、列車の通過時に映像の乱れがあり、パケットロストや遅延を計測することができなかった。

最大ビットレートを 20Mbps で固定し、ストリーミング数を 4 台と 6 台に変更して計測した結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(36):同 RHUB 内複数カメラ・複数ストリーミングでの計測結果(20Mbps)

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ1, 2 | 有 | 4 | 20 | 127 | 94 | 1台目 0.55<br>2台目 0.40<br>3台目 0.24<br>4台目 0.51 | 235<br>157<br>144<br>186 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 82 | 74 | 1台目 0.05<br>2台目 0.31<br>3台目 0<br>4台目 0.17 | 235<br>157<br>144<br>186 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 有 | 6 | 20 | 139 | 127 | 1台目 0.06<br>2台目 0.06<br>3台目 0.00<br>4台目 0.03<br>5台目 0.00<br>6台目 0.06 | 172<br>206<br>139<br>122<br>97<br>96 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |
| | 無 | | | 126 | 112 | 1台目 0.05<br>2台目 0.04<br>3台目 0<br>4台目 0.01<br>5台目 0<br>6台目 0 | 226<br>158<br>180<br>149<br>90<br>120 | | 1月18日 | 日中 | 曇 |

同じ RHUB 内の複数カメラにおいて、最大ビットレート 20Mbps、4 ストリーミング～6 ストリーミングで確認した結果、列車通過時も含めて映像の乱れが無く計測可能であることがわかった。

① -4 沿線カメラ 4 台からのストリーミング計測結果を以下に示す。

表.4.3.1.1-(37):沿線カメラ 4 台での計測結果(40Mbps)

| 使用カメラ | 電車 | ストリーミング数 | 設定帯域 | 最大帯域 | 平均帯域 | lost [%] | Delta [msec] | 乱れ | 検証日 | 時間帯 | 天候 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沿線カメラ3,4 | 有 | 2 | 80 | 142 | 142 | 計測不能 | 計測不能 | 乱れあり | 乱れあり | 乱れあり | 乱れあり |
| | 無 | | | 141 | 129 | 計測不能 | 計測不能 | | | | |
| 沿線カメラ1,2,3,4 | 有 | 4 | 10 | 51 | 51 | 1台目 0.92%<br>2台目 0.59%<br>3台目 0.62%<br>4台目 0.61% | 96<br>121<br>175<br>215 | | 1月20日 | 日中 | 晴 |
| | 無 | | | 45 | 38 | 1台目 0%<br>2台目 0%<br>3台目 0.62%<br>4台目 0.61% | 74<br>88<br>175<br>215 | | 1月20日 | 日中 | 晴 |
| | 有 | 8 | 10 | 96 | 87 | 1台目 5.85%<br>2台目 4.67%<br>3台目 6.83%<br>4台目 1.00%<br>5台目 5.45%<br>6台目 4.25%<br>7台目 6.54%<br>8台目 5.48% | 326<br>213<br>548<br>72<br>439<br>217<br>363<br>347 | あり | 1月20日 | 日中 | 晴 |
| | 無 | | | 82 | 51 | 1台目 3.17%<br>2台目 2.32%<br>3台目 2.83%<br>4台目 3.25%<br>5台目 2.11%<br>6台目 11.67%<br>7台目 2.93%<br>8台目 3.32% | 269<br>201<br>211<br>560<br>166<br>357<br>207<br>291 | あり | 1月20日 | 日中 | 晴 |

沿線カメラ 4 台で最大ビットレート 10Mbps に設定し、4 ストリーミングおよび 8 ストリーミングで計測した結果、4 ストリーミングでは映像の乱れはなかったが、8 ストリーミングでは乱れが少し出ることがわかった。

本計測では、安定した映像を伝送するためには、UE—RU 間の電波状況を意識することが必要である点を理解した。

映像伝送は、リアルタイムで伝送を行うため、通信途中でのパケットの欠損は、映像品質に直接に影響する。当初、UE－RU 間の電波状況は、その 2 点の距離に影響されると想定していた。本計測により、電波状況は、通過する列車の影響を受け、その結果、列車が無い状態では、通信が安定しているが、列車通過時にパケットロストが増加し、映像が乱れる結果となった。

カメラから送信した映像をセンター側の AI サーバーで処理する場合、経験値として、パケットロストは、3％以下(1％以下が望ましい)が適切であり、本計測では、UE1 台配下で安定した映像伝送可能な帯域は、10Mbps の結果となった。

② AI 検知からタブレット表示までの処理時間

AI 検知からタブレット表示までの処理時間評価条件毎での通知能力について評価を行った。実証実験中に対応可能な要素については改善効果を確認し、そうでない要素については対応方針や改善見込みを記述する。

表.4.3.1.1-(38):AI 検知からタブレット表示までの処理時間評価・検証項目

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 1.タブレット接続完了時間 | 通信エリアにタブレットが入ってから、通知を受信できるまでの接続時間。 |
| 2. AI 検知からタブレット表示までの処理時間 | 停車中、走行中において、AI 機能で発報した後、発報処理サーバーを経由してタブレットに通知されるまでの時間。 |
| 3. カメラ映像表示時間 | タブレットに通知され、対象カメラの映像が表示されるまでの時間。 |

② -1 タブレット接続完了時間

妙蓮寺駅付近の LCX の末端部分の直下で、UE の電波を停止状態から、発信状態へ切り替えた際に、RU へ接続するまでの秒数を計測した。

表.4.3.1.1-(39):タブレット接続完了時間

| 計測条件 | 計測場所 | UE-RU間接続時間 |
|---|---|---|
| 2023/1/31 日中(晴) | 妙蓮寺駅上りホーム上 | 3秒～4秒 |
| | 妙蓮寺駅下りホーム上 | 3秒～4秒 |

上り、下りいずれも 3 秒から 4 秒で UE がローカル 5G ネットワークへ接続完了となる結果となった。検証は、電波範囲にある妙蓮寺駅で実施したが、タブレットを車載することを考慮して、この秒数の影響を考察した。

UE がアンテナと接続する手順は、最後に通信できていたチャネルでの再接続を試み、その後、チャネ

ルのサーチを行い接続の確立を試みる動作となる。本検証の環境は、最後に通信できていたチャネルでの再接続に相当し、その場合でも、本結果の接続時間を要する結果となった。

実運用では、この結果を踏まえてのローカル 5G ネットワークの構築が必要であると考える。

実運用を想定した場合、線路敷地内に連続する電波範囲を構成し、ローミングによる通信可能な状態を維持されると考える。この状態では、UE がローカル 5G ネットワークへの再接続が発生しないため、タブレットへ通知されてから列車が停止可能な距離は、

運転士がタブレット通知を認識し判断する間の移動距離　＋　列車制動距離

となる。タブレットへの通知は、この距離の先にあるカメラを対象とすることが必要となる。

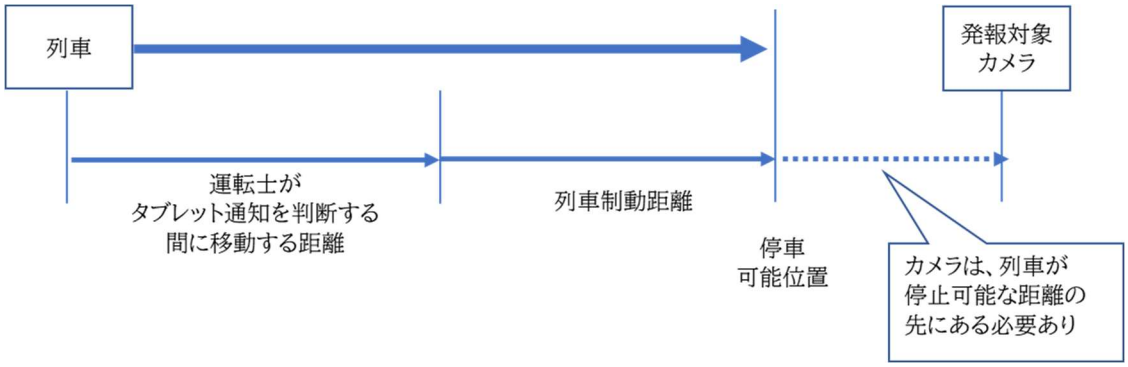



図.4.3.1.1-(9):列車制動距離と発報対象カメラの位置関係

図.4.3.1.1-(10):ローカル 5G へ接続した時のタブレットアプリの表示

図.4.3.1.1-(11):妙蓮寺ホームから見た LCX の末端部分

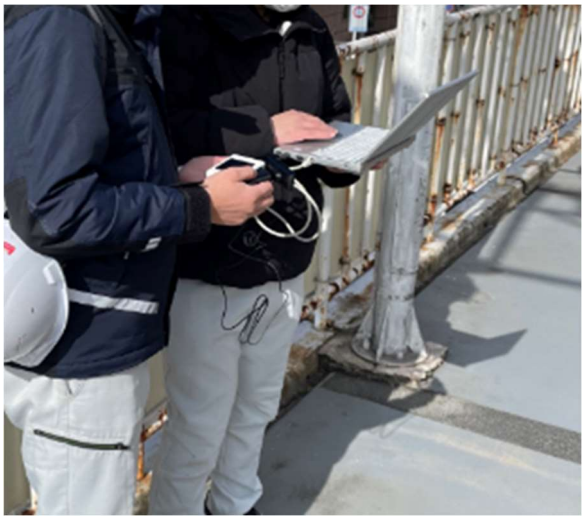


図.4.3.1.1-(12):妙蓮寺駅ホームでの計測風景

② -2 AI 検知からタブレット表示までの処理時間

AI サーバーで滞留を検知してから、タブレットアプリに表示されるまでの処理時間を確認した。計測した通信時間箇所と結果を以下に示す。

（2023/2/1 に営業車の客室に乗車し菊名-妙蓮寺間を往復し計測）

表.4.3.1.1-(40):計測箇所及び結果

| 項目 | 説明 | 結果 |
|---|---|---|
| 計測a | AI処理サーバから通知制御サーバまでの通信時間 | 1ms以下 |
| 計測b | 通知制御サーバ内での処理時間 | 1ms以下 |
| 計測c | 通知制御サーバからタブレットまでの通信時間 | 司令室（光回線）20ms以下<br>運転室（ローカル5G） 8～20ms |
| 計測d | 通知制御サーバからタブレットまでの通信時間 | 1ms以下 |

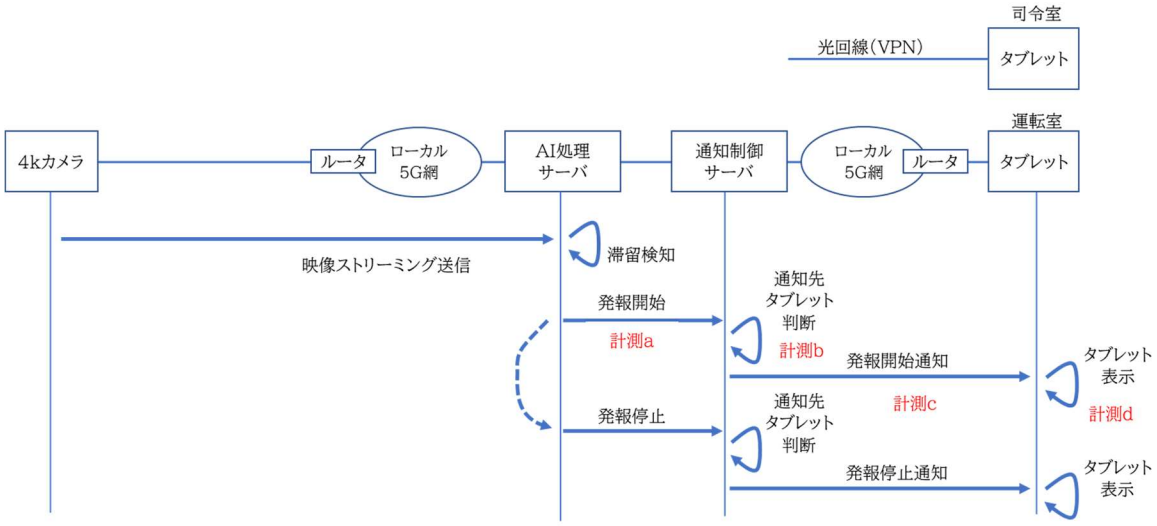



図.4.3.1.1-(11):AI 検知からタブレット表示までの概要図

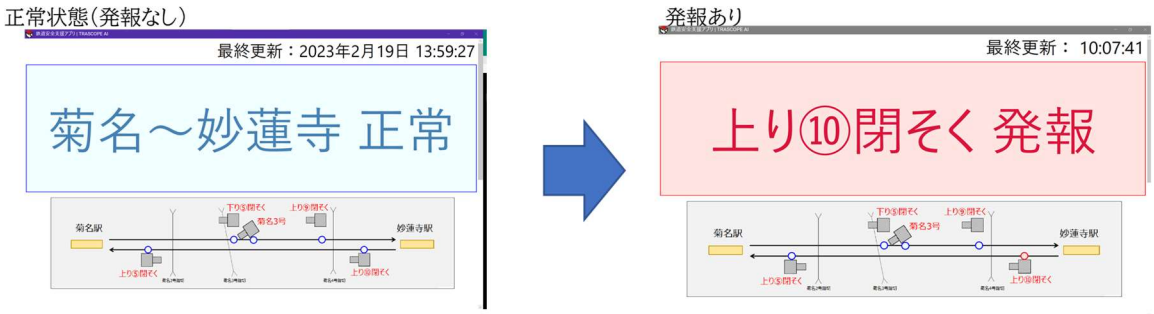



図.4.3.1.1-(13):タブレットアプリの表示変化

AI 処理サーバーによる検知からタブレットへの通知表示までの時間は、1 秒以内の結果となった。

実装は、AI 処理サーバーからの発報通知メッセージを制御サーバーで受信。制御サーバーへ接続しているタブレットのアプリケーションへ通知する実装となっている。本検証では、菊名～妙蓮寺間の 1 区間のみでの通知を行ったが、実運用では、区間が複数あることが想定される。このことを考慮し、制御サーバーでは、受信したメッセージに対して、対象となるタブレットアプリを選択する処理を実装している。

今回の検証では、十分な応答時間が得られたと考えるが、本導入では区間が複数となり、かつタブレットの台数が増えることが想定されるため、台数規模を増やしての検証を行うことで、本導入に向けた継続検証が必要と考える。

② -3 カメラ映像表示時間

タブレットアプリの画面構成について示す。

運転室でのタブレットアプリでは、発報状態とカメラ位置マップを表示している。タブレットアプリの画面を下にスクロールすると検知対象の踏切映像が表示される構成となっている。当初は、1 画面の中に発報状態、カメラ位置マップ、およびカメラ映像を表示する構成であった。運転担当者へのタブレットアプリ画面構成についてヒアリングした際、「運転中は画面を注視することはできない」との意見があり、画面を注視することなく状況を把握できるようにタブレットアプリの画面を更新した。発報時に警告音を出す機能を追加し、運転士が音と画面の色で発報状態の確認ができるように構成した。

運輸司令所では、2 画面に表示することで、発報状況とカメラ映像を同時に表示し、画面の操作無く、状況を把握できるように構成した。運転士と同様に、注視したい部分を視線を移すだけでタブレットアプリの操作無く確認できるようにした。

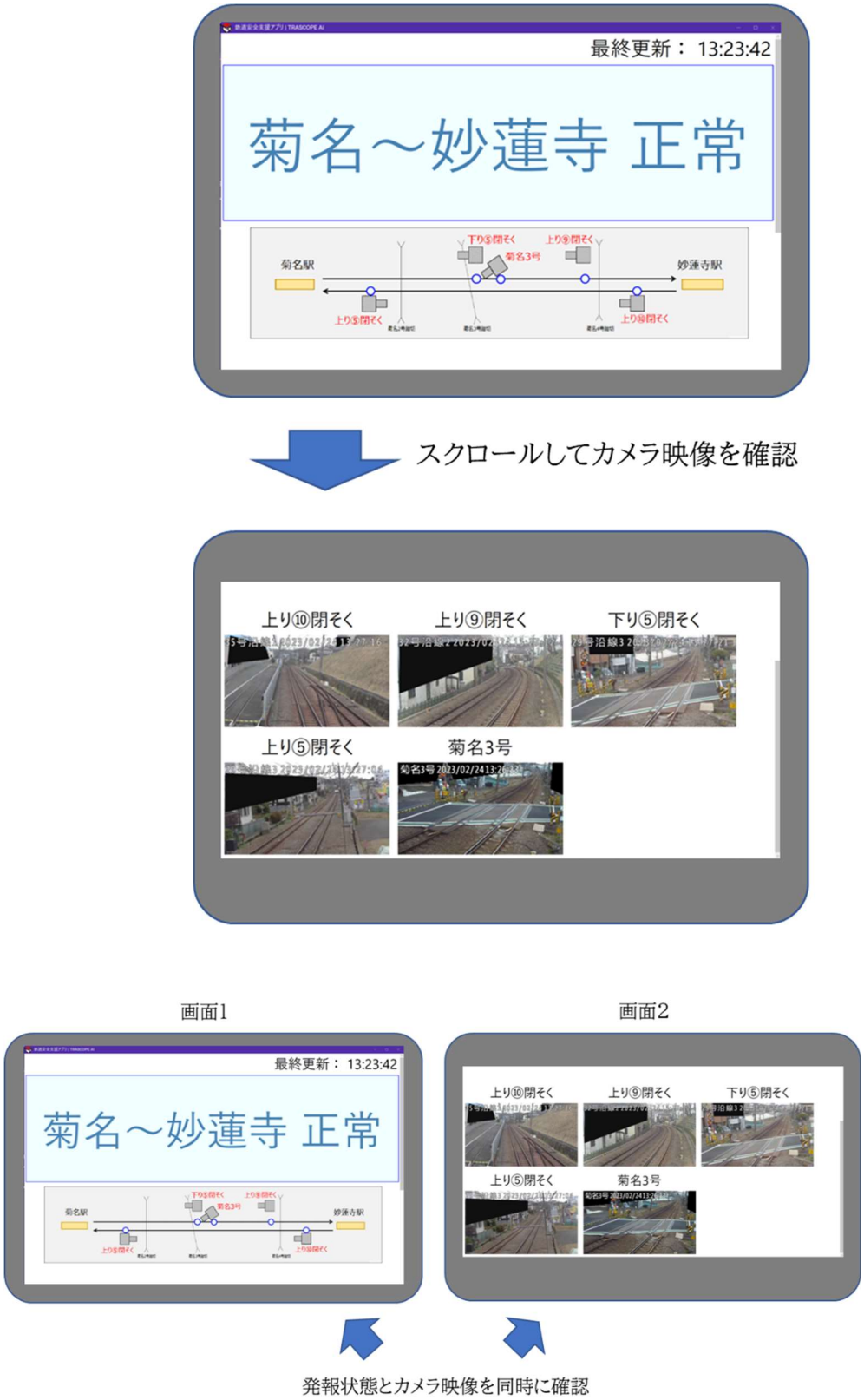



図.4.3.1.1-(14):運輸司令所向けアプリ画面

タブレットアプリが接続完了すると、該当カメラの映像受信を開始する。映像の受信を開始して表示さ

れるまでの秒数は、5-10 秒の結果となった。映像受信開始は、タブレットアプリからカメラへ RTSP プロトコルで接続を行い、通信条件を調整後、カメラからタブレットアプリに向けて映像ストリーミングが開始される。また、プロトコルの特性で、映像ストリーミングが開始されてから、画面に表示されるには、ストリーミングのＩフレーム(全画面の映像)が受信されてから表示される。

カメラでのＩフレーム送信間隔を 1/4 秒など 1 秒以下にすることで、接続時間は、2 秒以下に短縮できることを確認した。しかしながら、アプリケーションに実装したライブラリの能力不足で、再生される映像が遅延していく事象が発生したため、本検証ではＩフレームの送信間隔は、1 秒毎に戻した。

タブレットアプリのカメラ映像の表示開始までの時間短縮については、実装方法を含めて、継続検討を行う必要がある。

③ カメラ画素数と AI 検知精度の評価

踏切道に設置するカメラは、踏切道内全体で滞留を検知することが求められる。そして、線路敷地内に設置するカメラは、1 台で広い領域の侵入を検知することが求められる。カメラは高解像度対応にすることで鮮明に撮影が可能だが、その場合の AI 検知精度を評価した。

踏切道に設置するカメラは、踏切監視システムでの実績をもとに HD 画質のカメラを選定した。踏切道の監視では、カメラから離れた映像は不要で、踏切道全体が大きく映る画角に調整する。本検証においては、HD 画質で踏切道全体が映る画角で設定し、踏切道内の滞留および、踏切道か線路敷地内への侵入を検知し、タブレットアプリへの通知が行えるかを検証した。

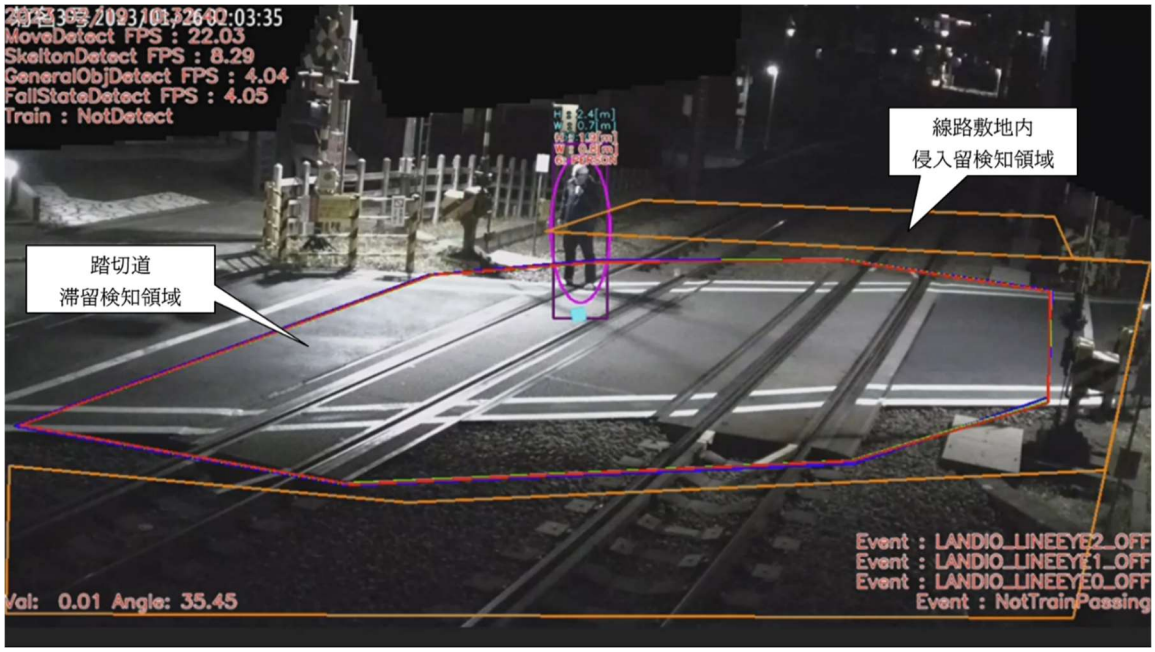



図.4.3.1.1-(15):夜間の沿線カメラの画角

踏切道においては、日中、夜間共に良好な検知結果を得られた。カメラから踏切道までの距離が20m 程度であり、沿線カメラと比べると撮影範囲は限られる。検証は HD 画質のカメラで行ったが、踏切道内の滞留を検知することは十分に可能と考える。

踏切道での人物の態勢として想定されるものとして、転倒が考えられる。本検証では、夜間に人物の転倒検知について、検証を行った(日中の転倒は、交通量が多く検証の危険度が上がるため実施していない。AI の検知条件が厳しい夜間映像で実施した)。

横断者が、想定される転倒の方向は、横断側(図での左右方向)であるが、こちらに関しては検知できることを確認した。不審行動者は、線路と並行の方向に体を向けて転倒が想定されるが、その態勢の場合、未検知となる事象が発生した。

転倒検知については、踏切横断者に対して効果はあるが、より精度を高めた検知のためには、想定される体勢での AI モデル更新による検知向上が必要と考える。

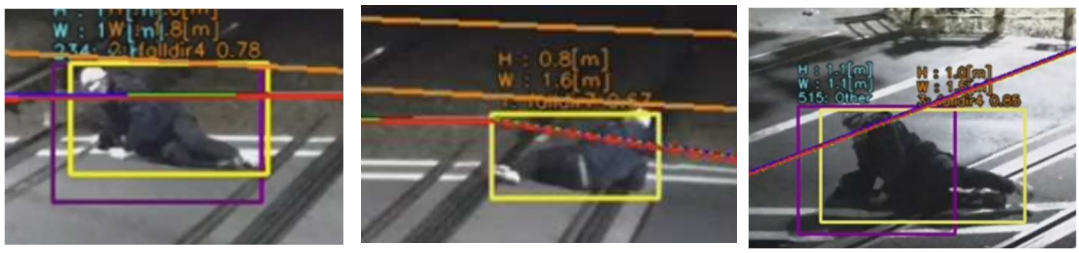



図.4.3.1.1-(16):踏切道向きの転倒検知例

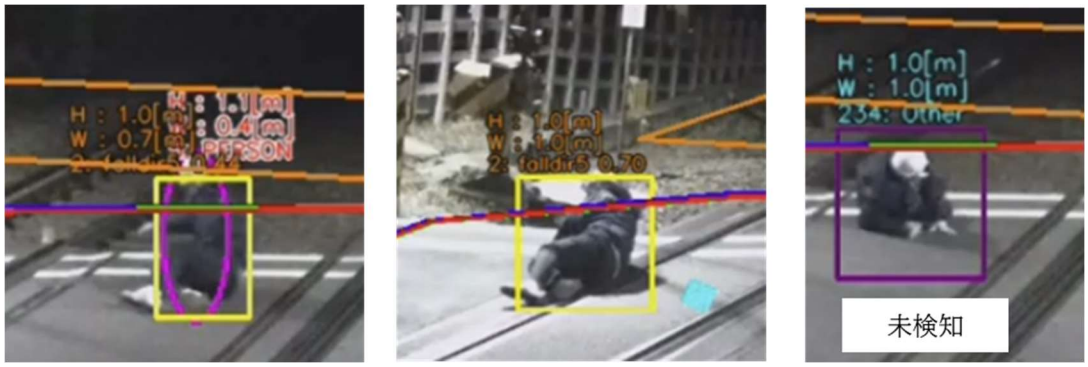



図.4.3.1.1-(17):線路向きの転倒検知例

AI モデル更新は、稼働している AI 処理サーバー・装置ではなく、開発環境での事前学習で行う。改善したい映像を参考に学習用映像を新たに作成する。学習用映像を現行 AI モデルに追加して更新 AI モデルを作成し、この AI モデルを用いて、改善したい映像で評価を行う。完成した AI モデルを各サーバー・装置へ適用する。

この手順は、出来上がったモデルを各カメラの AI 処理に適用するため、複数あるカメラへ、同じ検知能力の AI モデルを適用でき、各カメラで同じ検知性能を得られる効果がある。

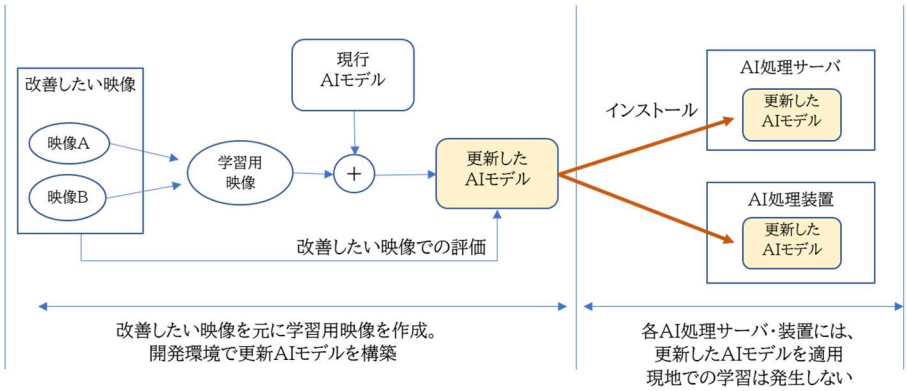



図.4.3.1.1-(18):AI モデル更新概要

踏切道から線路敷地内への侵入について、侵入者の検知ができ、タブレットアプリへ通知できることを確認した。踏切道内の人物検知は、踏切が鳴動している時に滞留を検知し発報するが、線路敷地内への侵入は、踏切の鳴動に関係なく常時検知し人物の侵入で発報する特徴がある。本検証で利用した AI 処理は、人物を検知する場所、滞留時間、踏切動作など、条件を自由に組み合わせて発報条件を設定する機能を有している。本検証のように、画角内の滞留場所に合わせて発報条件を容易に設定できることは、柔軟な運用に繋がり有効な機能と言える。

表.4.3.1.1-(41):踏切カメラ・沿線カメラでのそれぞれの画像での検知条件

| 対象 | 発報条件 |
|---|---|
| 踏切道内の滞留検知・発報 | 踏切鳴動状態　且つ<br>踏切道上の検知領域内で3秒滞留 |
| 踏切道から線路敷地内への<br>侵入検知・発報 | 線路敷地内の検知領域内で1秒滞留<br>（踏切鳴動によらない） |

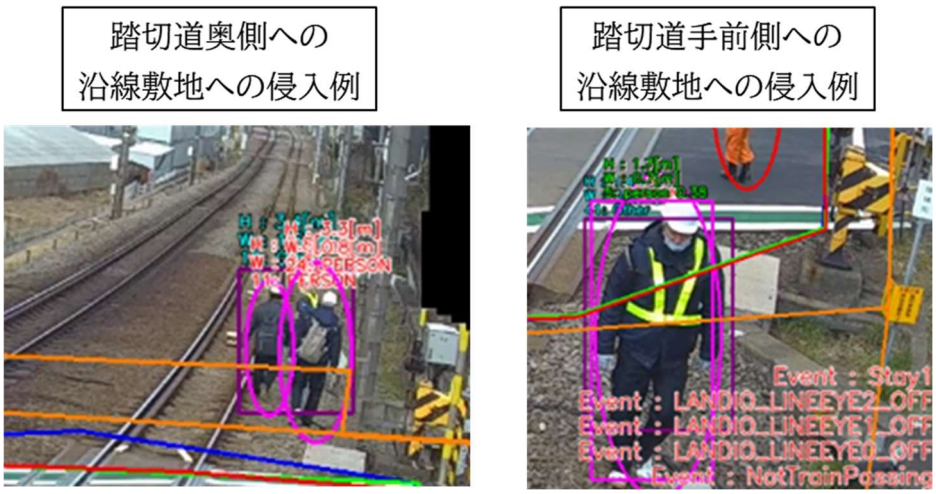



表.4.3.1.1-(42):線路敷地内への侵入の検知

線路敷地内のカメラでは、4K 画質のカメラを選定した。線路敷地内のカメラは、 1 台のカメラで広い範囲を撮影することで、設置するカメラの台数を低減させることが可能となる。今回の実証実験では、入手性が良い高画質のカメラとして 4K カメラを選定した。

ここで、カメラ画素数と AI 処理の画素数の関係について説明する。

今回利用した AI 処理は、AI 検知の能力を向上させるため、カメラから入力された映像の画素数を変換してからAI処理を実施している。画素数を変換することで、4K画質全体をAI処理するのと比べ、必要とする処理能力を低減することが可能になる。処理能力の低減は、1 台の AI 処理サーバーに収容できるカメラの台数を増やすことに繋がり、本導入に向けたカメラ構成で必要な機能と言える。

4K カメラは、4K 画素数(3840x2160)で撮影され、AI 処理サーバーへ伝送される。AI 処理サーバーでは、2 段階での処理を行う。

1 段階目では、4K 画素数の中から、AI 処理を行う領域(以下、AI 処理領域)を切り出す。この AI 処理領域は、3 か所を設定した。これにより、画角内で AI 検知が不要な領域を AI 処理から排除することが可能となり、AI 処理サーバーの効率的な利用が可能となった。

2 段階目では、AI 処理領域の画素数(以下、AI 画素数)を変換する。1 段階目で切り抜いた領域を SD 画質 320p(640x320)、SD 画質 480p(720x480)、HD 画質(1280x720)、および、フル HD 画質(1920x1080)のいずれかに変換したのち、AI 処理を行う。AI 処理領域に映る検知対象物に合わせた画質を選定することで、処理能力を抑えながら、AI 検知が可能となった。

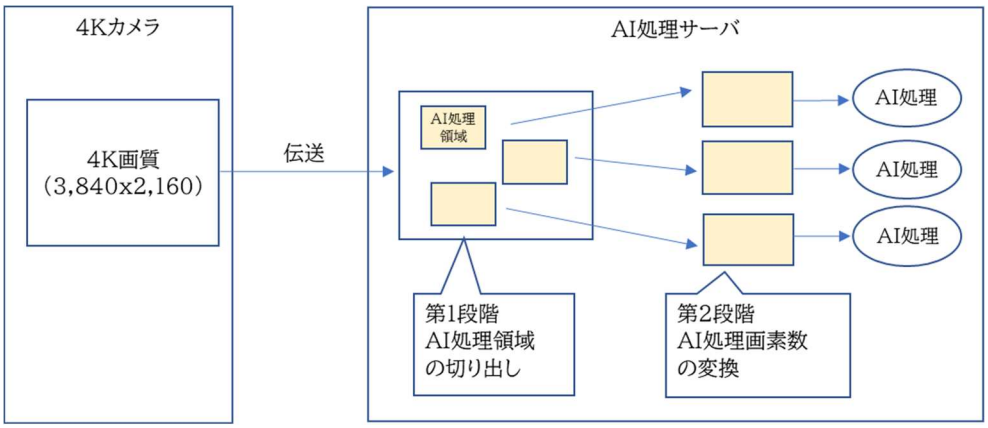



図.4.3.1.1-(19):4K カメラの画像を AI 処理サーバーで処理するまでの概要図

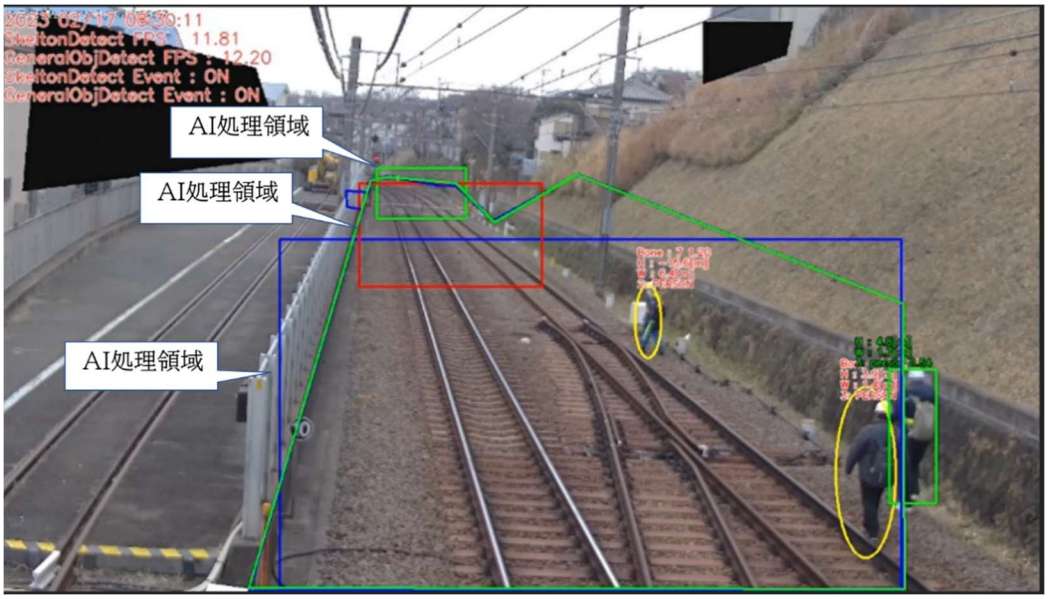



図.4.3.1.1-(20):AI 処理領域の設定例

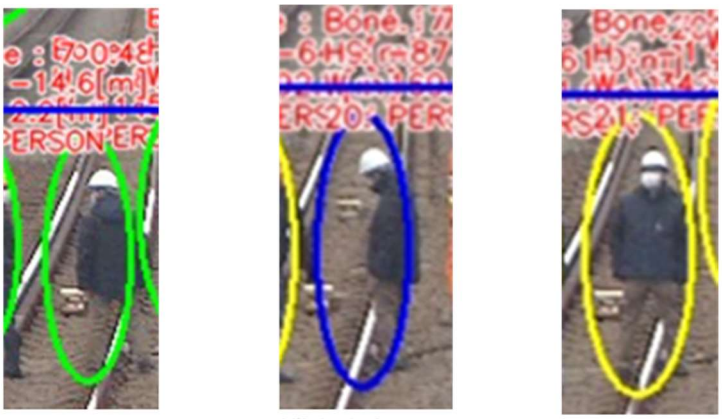
ここで、AI 処理による人物検知の例を説明する。AI 処理により、人物を検知した場合は、人物の周りに丸い枠が表示される。この丸い枠は、滞留していると判断されると色が変化する。

検知枠の色の意味は、

・緑色 ： 対象物を検知しているが、滞留を判定する領域外の状態

・青色 ： 対象物を検知しており、滞留のカウントアップしているが、発報前の状態

・黄色 ： 対象物の滞留秒数を越えて、発報した状態



検知状態
（エリア外）

滞留カウント
（発報前）

発報状態

図.4.3.1.1-(21):検知枠

AI 処理領域と AI 画素数の関係について計測を行った。計測は、線路敷地内で人物を検知する対象の領域（以下、検知領域）を設定した。検知領域が AI 処理の対象となるように「AI 処理領域」と「AI 画

素数」の条件を変更した上で、対象者とカメラからの距離を変更し AI 検知精度を計測した。

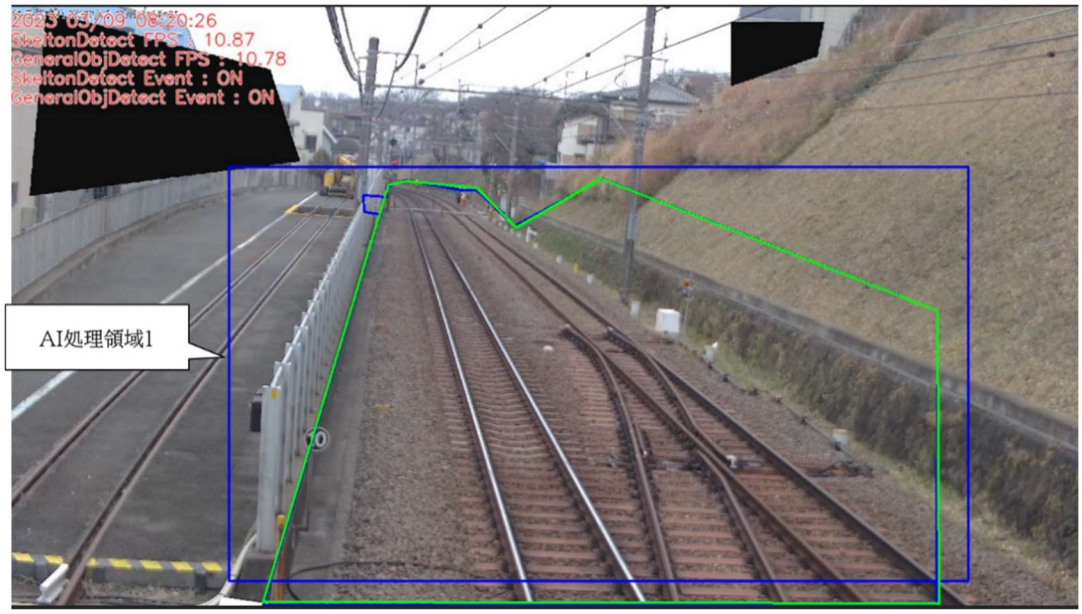



図.4.3.1.1-(22):検知領域 1 か所の例

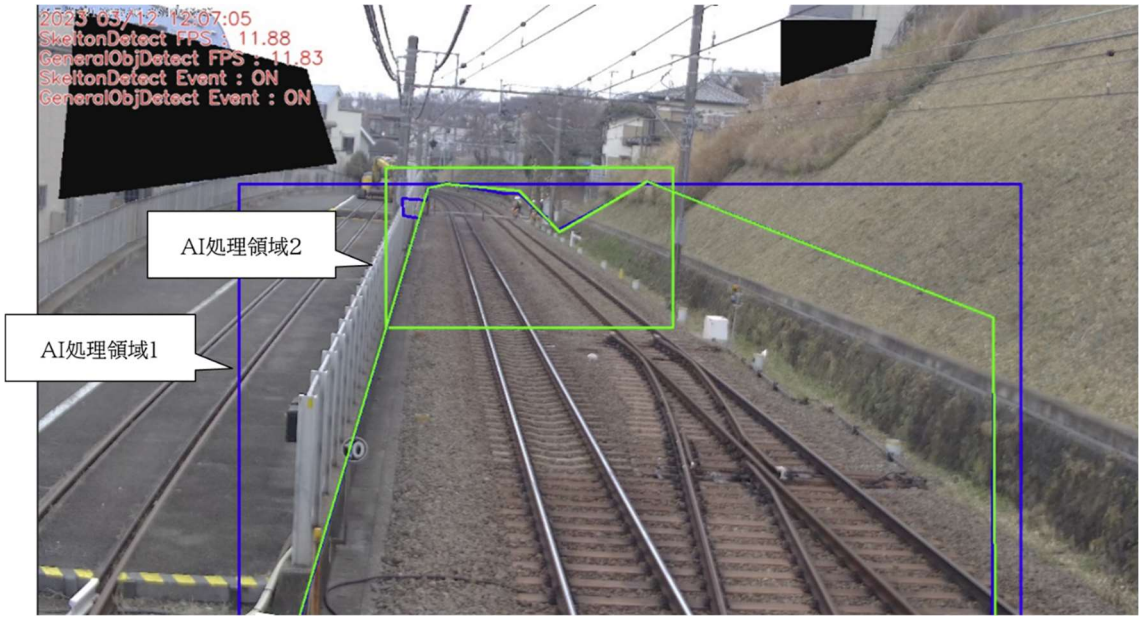



図.4.3.1.1-(23):検知領域 2 か所の例

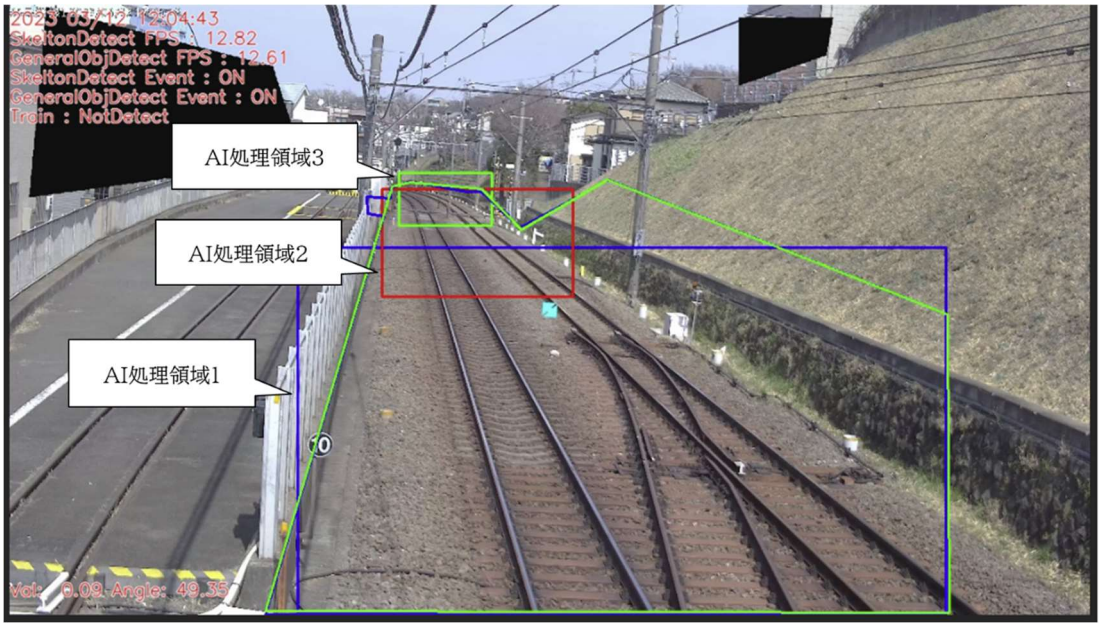



図.4.3.1.1-(24):検知領域 3 か所の例

表.4.3.1.1-(42):沿線カメラ 1 における検知領域数・画素数毎の検知距離

単位[m]

| | AI処理領域の画素数 | | | |
|---|---|---|---|---|
| AI処理領域数 | 640x320 | 720x480 | 1280x720 | 1920x1080 |
| 1か所 | 45 | 56 | 69 | 115 |
| 2か所 | 104 | 124 | 124 | 145 |
| 3か所 | 154 | 154 | 154 | 154 |

AI 検知領域が 1 か所の時は、最大で 115m まで、2 か所の時は、最大で 145m まで検知が可能な結果となった。AI 検知領域を 3 か所にした時、AI 処理領域の画素数によらず、154m の結果となった。

AI 処理領域数を 3 か所とした時の各 AI 検知領域の縦横のドット数は以下の通りである。AI 検知領域 3 が画角奥側の領域の検知を行っている。AI 検知領域 3 は、画素数が、408x228 である。そのため、第 2 段階目の処理で、AI 処理領域の画素数の変換を行った際、映像を拡大して変換している結果となる。

映像を拡大した場合、ぼやけた画像が AI 検知で利用されるイメージとなり、画素数を上げても AI 検知向上に寄与しなかったと考える。この結果より、解像度が低い方が AI 処理サーバーの処理能力低減に繋がるため、640x320 が最適と判断した。

表.4.3.1.1-(43):AI 検知領域毎のドット数

単位:ドット

| | 横ドット数 | 縦ドット数 |
|---|---|---|
| AI検知領域1(手前) | 2730 | 1533 |
| AI検知領域2(中間) | 1002 | 561 |
| AI検知領域3(奥側) | 408 | 228 |

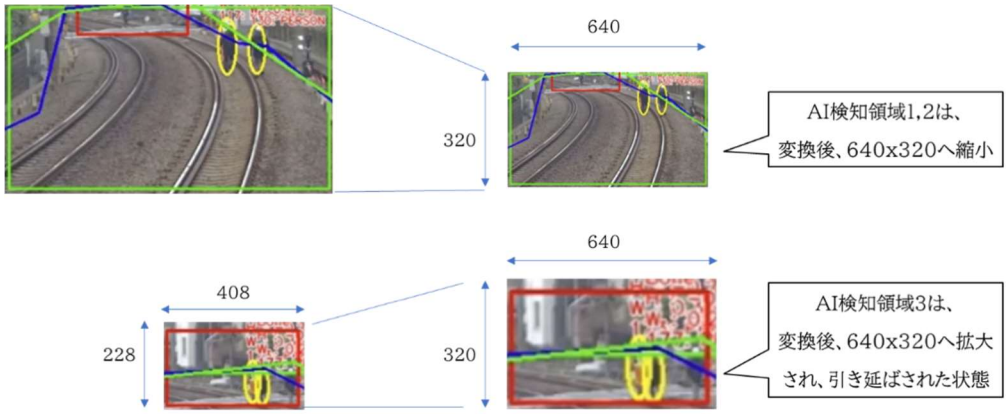



図.4.3.1.1-(25):AI 検知領域の変換のイメージ

検知領域を 3 か所、解像度を 640x320 に設定することで日中において、沿線カメラ 1 では 154m 先まで検知できることを確認した。

人物を AI 検知する際に必要な画素数は、AI 処理領域の高さ方向で 100～200 ドットが目安になる。検知領域 3 か所、解像度 640x320 では、各 AI 検知領域で 120～180 ドットとなっており、必要な画素数が確保できていることを確認した。

表.4.3.1.1-(44):検知エリア 3 か所にした場合の有効画素数

単位:ドット

| | 4Kカメラでの<br>人物の画素数<br>（高さ方向） | 640x320へ<br>変換後の画素数<br>（高さ方向） |
|---|---|---|
| AI検知領域1(手前) | 約510 | 約120 |
| AI検知領域2(中間) | 約280 | 約180 |
| AI検知領域3(奥側) | 約80 | 約126 |

上記より、本検証では以下の結果が得られた。

AI 処理領域数は、3 か所設定することで、検知領域毎の有効なドット数を確保でき AI 検知向上に繋がる。ただし、4K カメラにて 150m 先の人物を検知するために設定した AI 検知領域 3 の解像度は、408x228 となり、150m より先では、人物検知に有効な画素数を得られないことが判明した。

この結果より、4K カメラによる線路敷地内撮影は、150m が目安となり、検知距離を延ばすためには、より解像度の高いカメラが必要であると考える。同様に、100m 前後では、解像度の低いカメラでも対応可能と考えられ、カーブ区間など画角が確保できてない場所での撮影では、フル HD 画質でも対応できる可能性があると考える。引き続き、画素数と実運用での設置環境を考慮した、カメラ選定の検討が必要と考える。

次に、全ての沿線カメラについて、日中、夜間および天候の条件で対象者とカメラからの距離を変更しAI検知精度を計測した。カメラから距離を取った場所で人物を検知できるかどうかで計測を行った。

表.4.3.1.1-(45):時間帯および天候による検知精度の比較

単位[m]

| | 晴れ | | 雨雪 | |
|---|---|---|---|---|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 補足 |
| 沿線カメラ1 | 154 | 45 | 115 | |
| 沿線カメラ2 | 109 | 50 | 93 | 昼間距離が短いのは、カーブ区間で画角に映らないため |
| 沿線カメラ3 | 171 | 52 | (未計測) | |
| 沿線カメラ4 | 157 | 64 | (未計測) | |

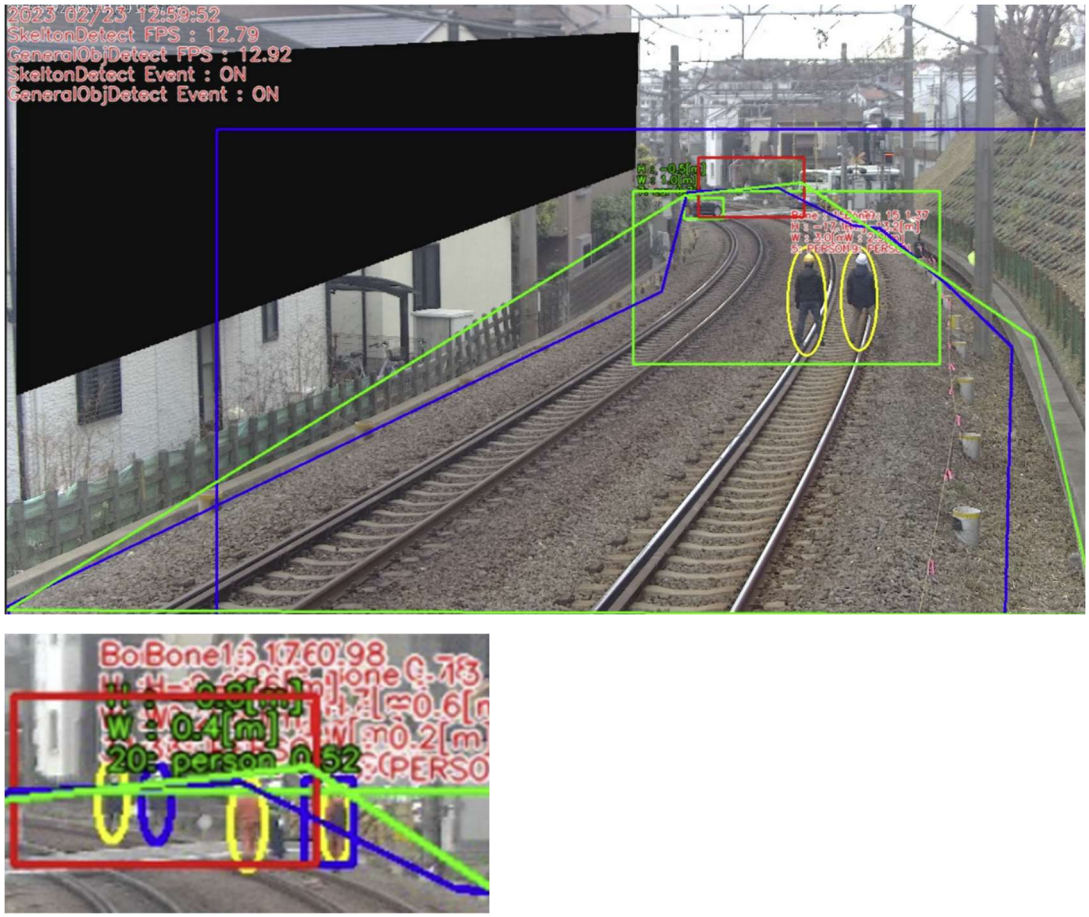
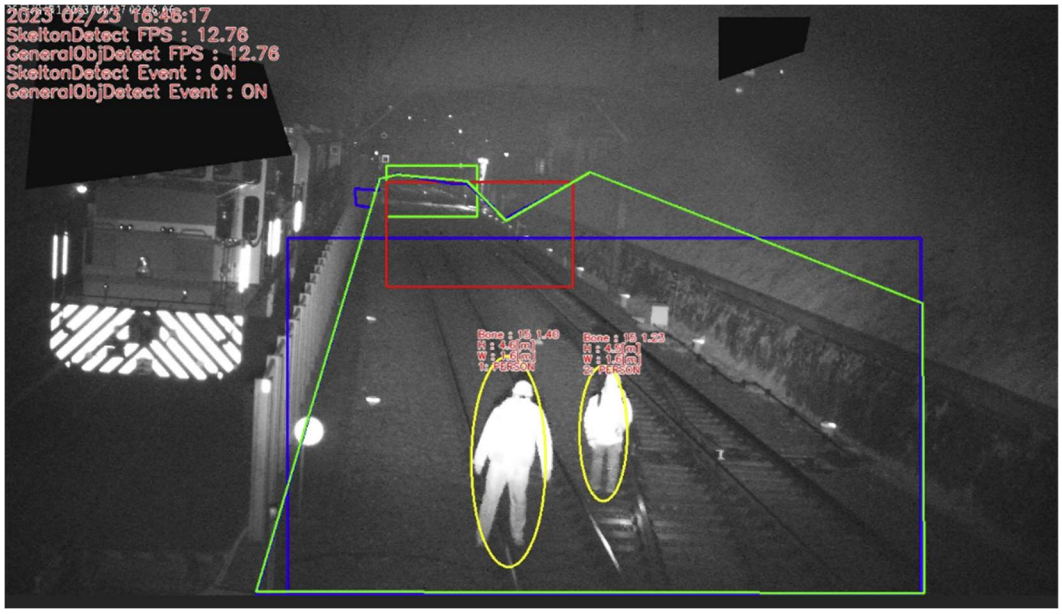



図.4.3.1.1-(26):沿線カメラ２の日中時間帯(晴れ)での検知画面



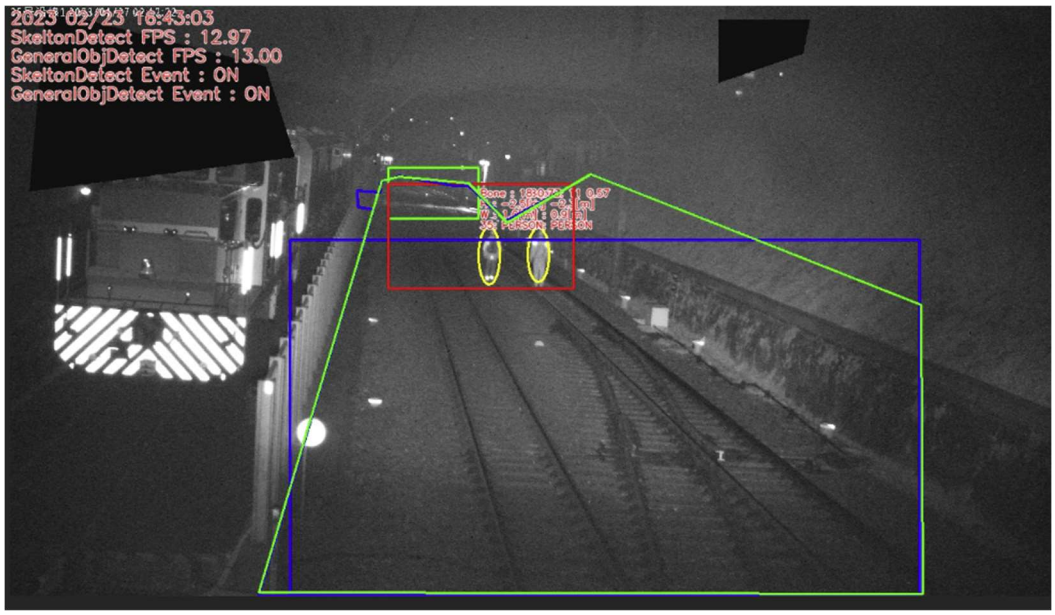




図.4.3.1.1-(27):沿線カメラ１の夜間時間帯(晴れ)での検知画面

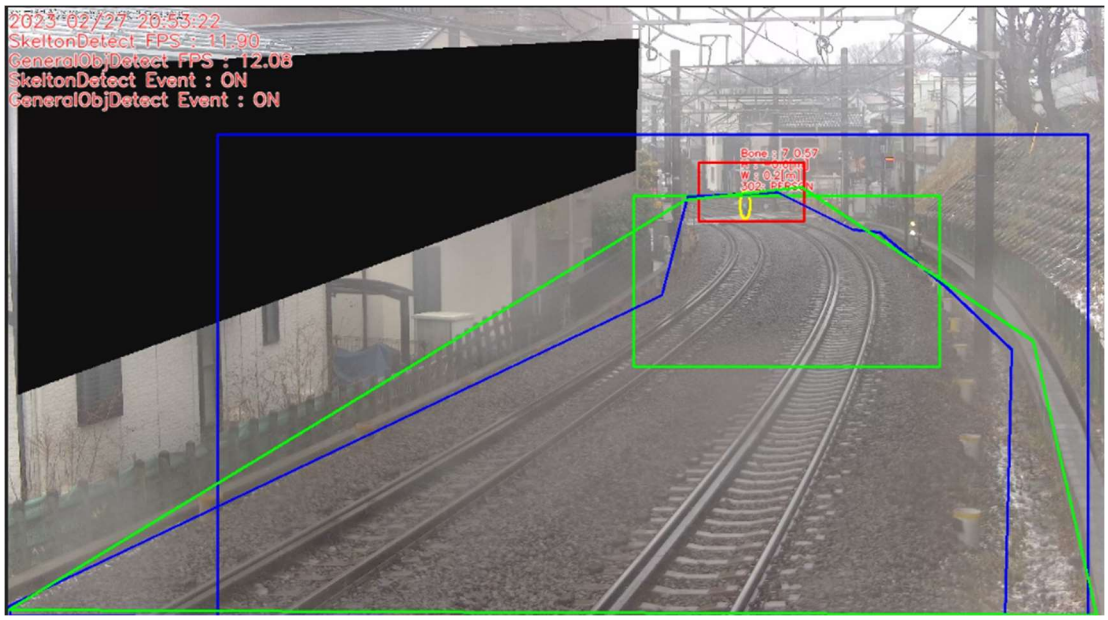



図.4.3.1.1-(28):沿線カメラ２の日中時間帯(雨雪)での検知画面

線路敷地内のカメラでは、日中で 150-170m 先まで検知を確認した。夜間については、50-60m 先まで検知を確認した。2023/2/10 に関東で雨雪となり、この日の日中に計測を行った時は、100-150m 先まで検知を確認した。これらの昼夜、天候での検知距離の違いについて考察した。

AIによる検知精度には、画素数が影響する。沿線カメラとして、4K 画質のカメラを使用した。これは、画素数が増えることで、遠くの人物が映った時有効な画素数を確保でき、AI 検知精度が向上するためである。更に、画角の手前・中間・奥で別々の AI 検知を行うための領域(以下、ズーム領域)を設定した。手前と奥で適切な大きさで映るようにし AI 機能を動作させる構成とした。この対応により、これまで経験値として得ていた「HD 画質カメラ　日中撮影　距離 30m」より改善した距離、「4K 画質カメラ　日中撮影　150-170m」の結果を得ることができた。

なお、人物以外を人物として検知する過剰検知が何件か発生したため設定を調整した。過剰検知は、沿線の構造部への日光のあたり方で、その部分を人物として検知していた。対策として、過剰検知が発生しやすい箇所を検知領域から外す設定を実施した。過剰検知を低減する方法として、AI 検知が人物として判定する「閾値」を上げることで過剰検知を低減する対策もあるが、遠方の人物の検知精度が低下するため、採用しなかった。

図.4.3.1.1-(29):過剰検知例

夜間の撮影に関しては、検知距離が 50m-60m の結果となり、日中に比べ 1/3 の距離になることを確認した。カメラに赤外線ライトを搭載することで、鮮明な映像を取得できたが、50m より先では、赤外線ライトが広がり、人物の検知に寄与できていない状況だった。

夜間映像の検知範囲を広げる方法として、

・電力柱への赤外線ライト追加　や

・線路敷地内への照明追加

が想定される。線路敷地内への照明の追加は、地域住民様への影響が考えらえる。赤外線ライトは、人の目からでは赤い LED のように見えまぶしさを感じることは無く、夜間の照明として適していると考える。

今後の検証において、赤外線ライト追加による夜間の検知距離向上について検討を行いたい。

④ カメラ設置位置検証

設計したカメラ位置での実際の撮影可能な範囲について評価を行った。

カメラの設置場所を以下に示す。

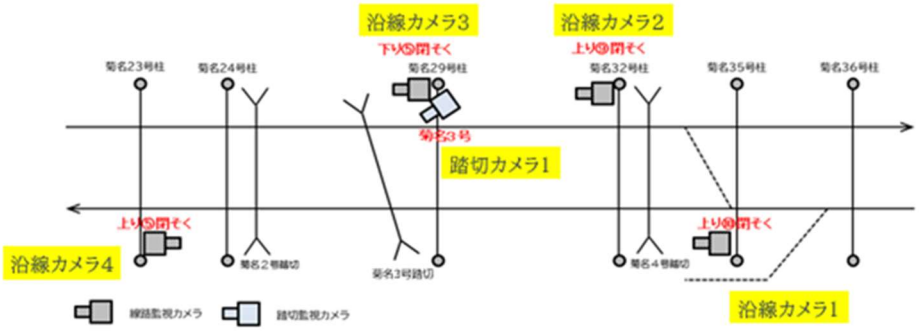



図.4.3.1.1-(30):カメラ設置位置

■沿線カメラ 1(菊名 35 号柱)

AI による検知は、画角奥にある菊名 4 号踏切の先まで検知できた(カメラから 154m 先)。

その先でカーブ区間となっており、AI による検知に最適な画角だったと考察する。

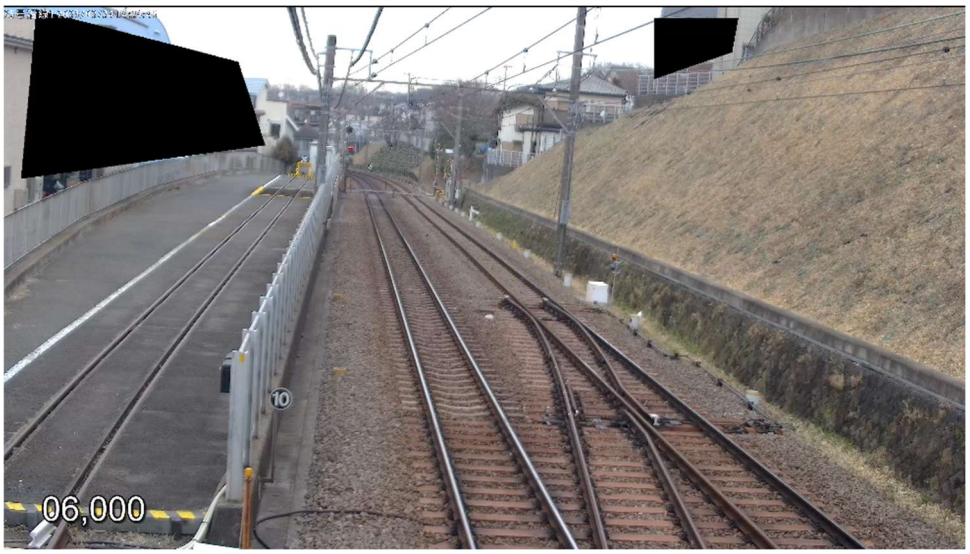



図.4.3.1.1-(31):沿線カメラ 1 の画角

■沿線カメラ 2(菊名 32 号柱)

画角奥に見える菊名 3 号踏切までの距離は、93m になる。AI による検知は、画角の奥まで可能となる結果が得られた。AI による検知は、カーブ区間で人物が見えなくなり、カメラから 109m の結果となった。このカメラは、最大の撮影距離が他カメラより短い結果となったが、本検証では、連続する 4 台のカメラで連続した撮影領域を得られるようにカメラ位置を設計したため、適切な結果と考える。

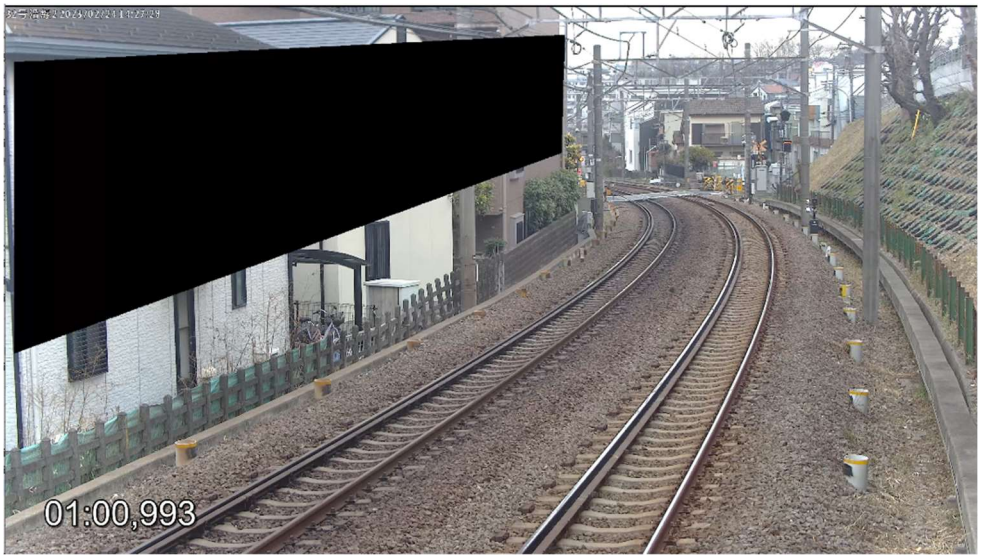



図.4.3.1.1-(32):沿線カメラ 2 の画角

■沿線カメラ 3(菊名 29 号柱)

AI による検知は、画角奥にある菊名 2 号踏切付近(171m)まで検知できた。

画角としては、右側の電力柱の陰に入ると検知しにくい状況であった。

図.4.3.1.1-(33):沿線カメラ 3 の画角

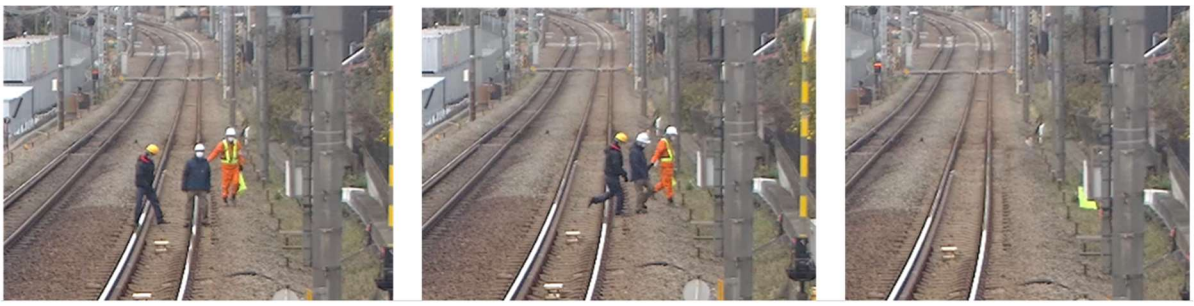


図.4.3.1.1-(34):沿線カメラ 3 右側電力柱の死角

■沿線カメラ 4(菊名 23 号柱)

画角中央に見える菊名 2 号踏切の 3D 障害物検知装置が映り込んでおり、画角奥の人物の検知ができない状況であった。右側の電力柱も死角となっており、カメラをより線路側に設置できると完全に検知ができるようになると思われる。

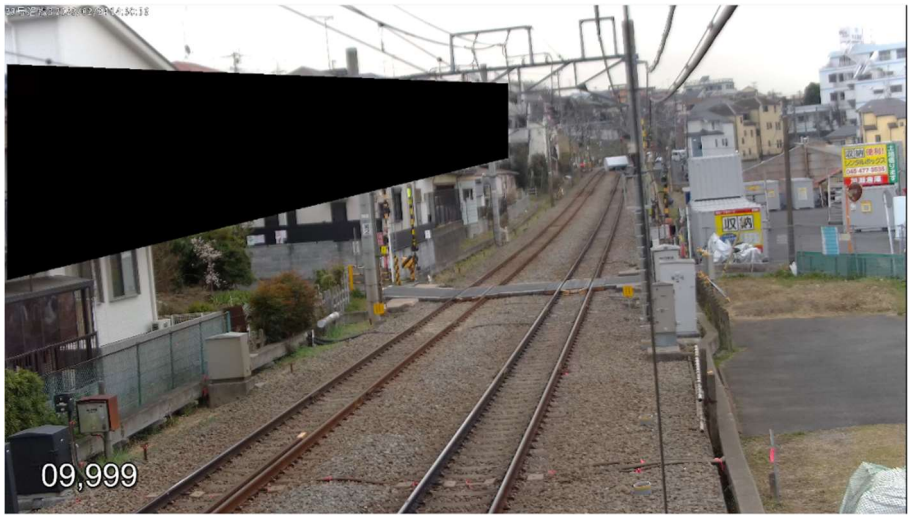



図.4.3.1.1-(35):沿線カメラ 4 の画角

図.4.3.1.1-(36):沿線カメラ 4 に映る障害物検知装置

図.4.3.1.1-(37):沿線カメラ 4 の死角例

■踏切カメラ 1(菊名 29 号柱)

菊名 3 号踏切道が映る画角に設定した。踏切道に設置された照明により、夜間もカラーモードでの撮影ができ、鮮明な映像を得ることができた。

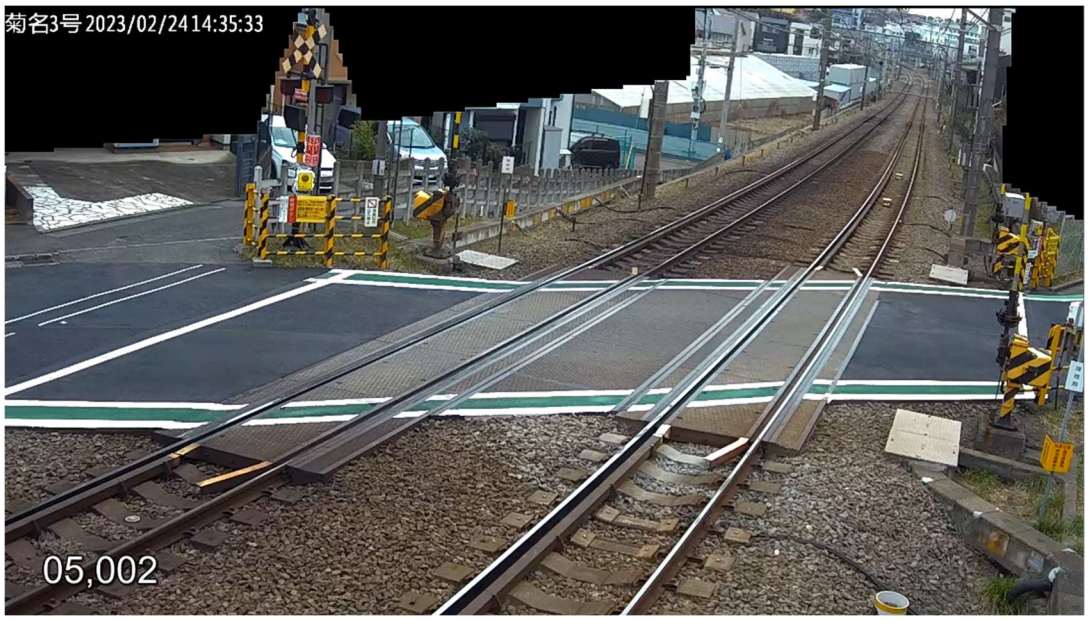



図.4.3.1.1-(38):踏切カメラの画角(昼間)

図.4.3.1.1-(39):踏切カメラの画角(夜間)

カメラ位置、画角を調整した上での評価結果は上記の通り。検知結果に影響があるカメラ設置条件について考察する。

各沿線カメラについて、設計時の撮影距離と実際の AI 検知可能な距離について考察を行った。

4K カメラによる AI 検知可能な距離は、事前に行った簡易検証の結果から 150～200m と想定していたため、カメラ間の基本的な距離を 150m で設計した。この設計値と実際の撮影で AI 検知した距離について、以下に図示する。

沿線 1,3,4 カメラについては、距離 150m に隣接するカメラが位置するように設計した。なお、沿線 4 カメラのみが下り方向に向いている理由は、設計の 150m を越えての AI 検知状況を確認する際、カメラ方向による影響の有無を確認するためである。沿線２カメラについては、カーブ区間にあり、150m 先が画角から外れることと考えられたため、隣接するカメラとの距離が近くなる設計とした。

実際の AI 検知距離は、沿線 1,3,4 カメラについては、設計値の 150m に対して 154～171m の結果が得られた。沿線 3 カメラはカーブ区間で遠方が画角から外れ AI 検知距離が 109m の結果となった。

この結果より、カメラ間の直線区間では、距離を 150m としつつ、カーブ区間を考慮した設計が適切であることを確認できた。

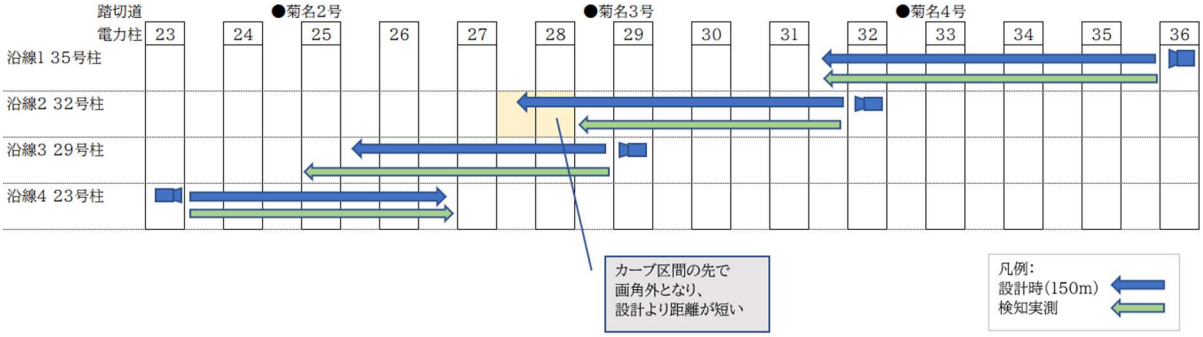



図.4.3.1.1-(40):カメラ位置設計時と AI 検知距離の比較

菊名 23 号柱(上り⑤閉そく)、菊名 29 号柱(下り⑤閉そく)、菊名 35 号柱(上り⑩閉そく)のカメラは、線路が直線区間を撮影している。カメラは、電力柱の線路と並行になる向きで設置した。画角から、線路敷地内進入の人物を確認する際に死角があることを確認した。死角となる部分としては、隣接する電力柱や、3D 障害物検知装置が該当した。これらの障害物を避けて、死角を少なくする方法としては、カメラの取付け位置の変更が考えられる。

本検証ではカメラを電力柱のから見て線路の反対側に線路と並行させて設置したが、線路側に設置することで、電力柱へ角度ができ死角を低減できると考える。ただし、カメラを線路側に設置する際には、建築限界への考慮を十分に行う必要があると考える。

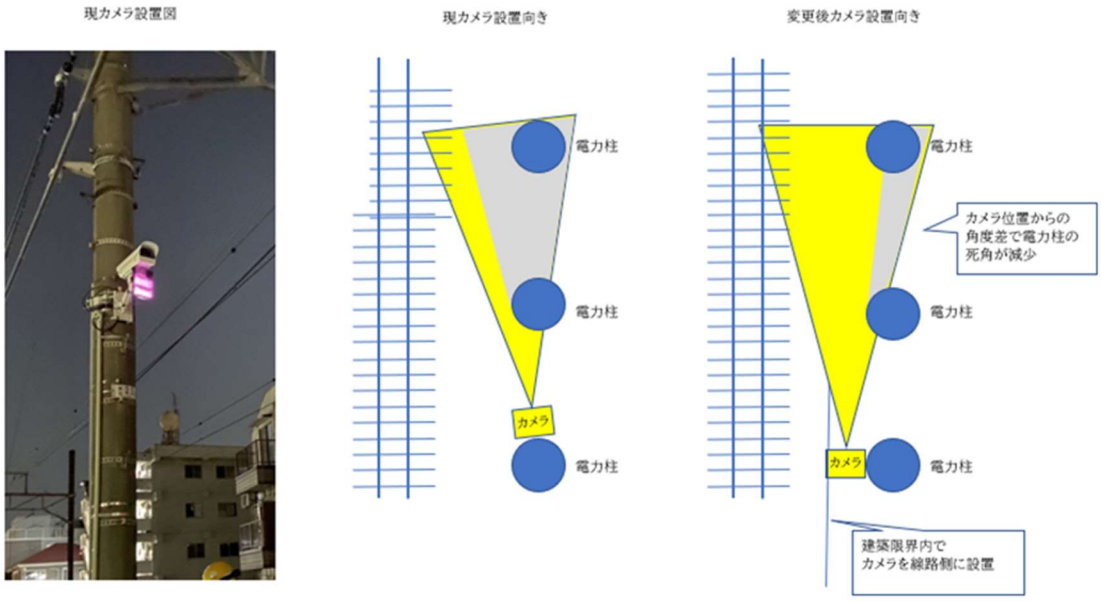



図.4.3.1.1-(41):カメラ設置位置変更の検討

⑤　可視範囲を越えた映像による安全運行に対する効果

・運輸司令所・運転士への通知内容の評価

運転・司令部門の担当者へタブレットアプリの画像をご覧いただき、利用者の観点で意見を収集した。

運輸司令所では実際にタブレットアプリのデモンストレーションを行った。

デモンストレーションは 3 シナリオを実施し、それぞれのシナリオでの検知・発報について確認した。

シナリオ①　線路内滞留時の検知

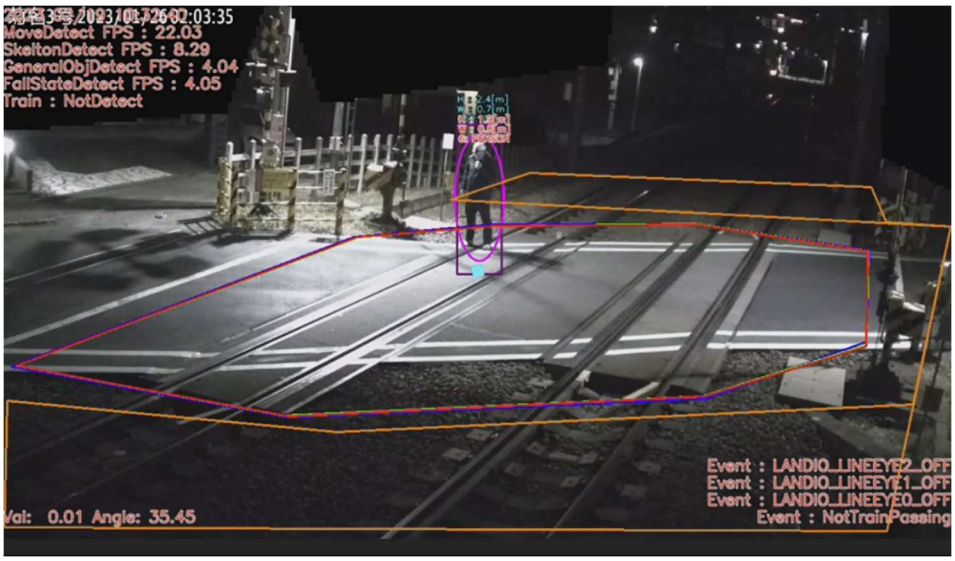



図.4.3.1.1-(42):デモンストレーション例

シナリオ② 踏切および、線路脇柵から線路敷地内に侵入時の検知

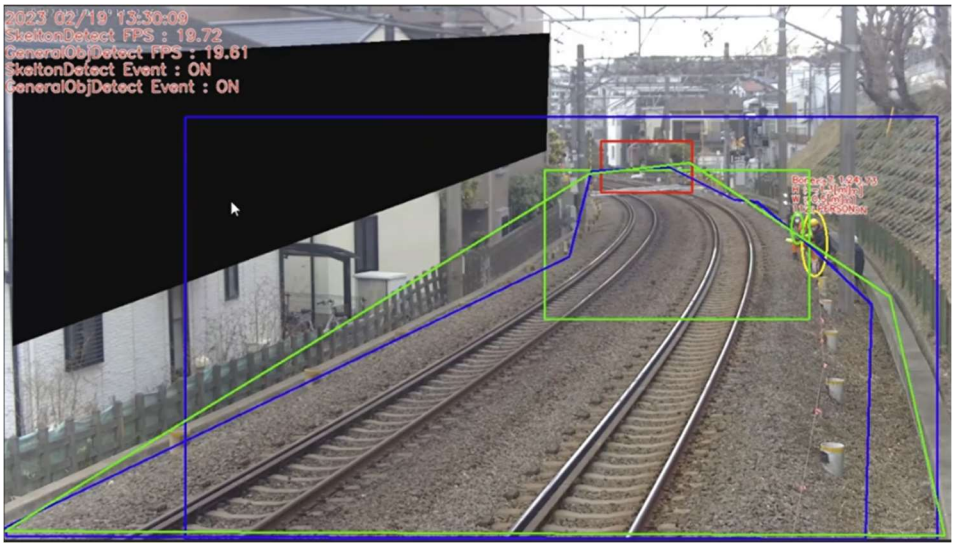



図.4.3.1.1-(43):デモンストレーション例

シナリオ③ 線路敷地内歩行時の検知

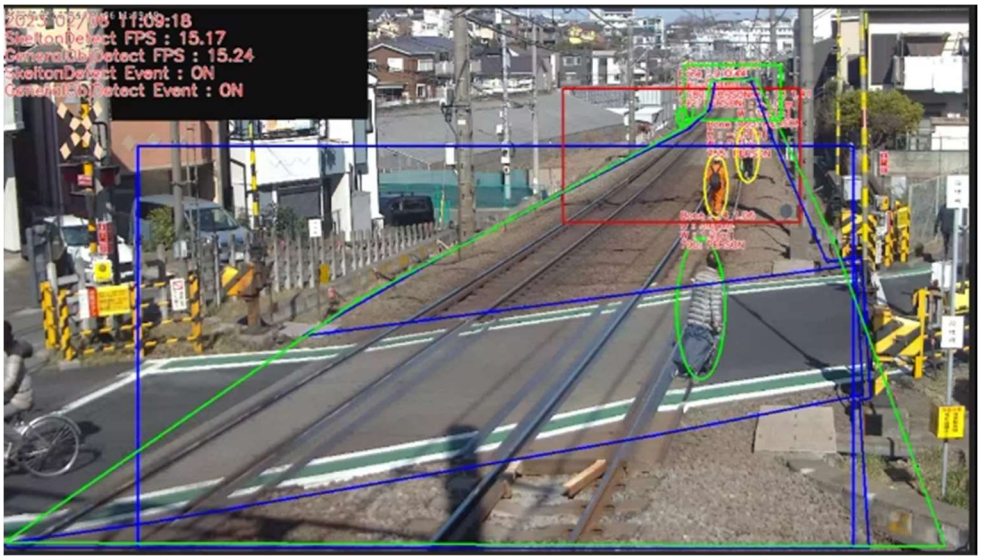



図.4.3.1.1-(44):デモンストレーション例

ヒアリング対象は以下の通り

・実際に営業車の運転実績のある運転士

・運輸司令所の司令部門担当者

表.4.3.1.1-(46):ヒアリング結果

| ヒアリング項目 | ヒアリング結果 | 考察 |
|---|---|---|
| タブレットアプリの表示内容について | 運転士目線で考えるとタブレットを見て、確認する作業が増えることで違うミスに繋がる可能性があり、運転士への通知はわかりやすい方が良い | 通知方法に関して、運転士が運転中に発報の内容を確認するのは困難であるため、画面への通知と同時に音声を鳴らすなどの通知方法を検討する必要がある。<br>（実際に音声を鳴らす機能で再構成）<br>また、アプリでの画像の表示方法についても検討を継続する。<br>駅のホームドアの整備により、ホーム上の事故の数は減少したものの、踏切道や線路敷地内での事故は減少していない。<br>意見の中でも、踏切道、線路敷地内付近での不審者検知機能に対する要望が強かった。<br>不審者検知機能について、実装を検討していく。 |
| | 将来的にドライバーレスになり、列車添乗員が配置された際、発報時にタブレットに通知があがるのは、状況把握のために有効な機能と考える | |
| | 線路敷地内、踏切の画像を運輸司令所の運行管理システムに一括表示させると有用性が向上すると考える | |
| | 映像記録装置に動画を保存し、発報時等に映像を巻き戻して確認できると良い | |
| | 踏切道での不審者は、10 分程度線路の周りに留まる傾向がある。線路外、踏切道付近で不審な動きをしている対象を検知する機能があると有効 | |
| | 将来、映し出すカメラが増えた際の通知方法として、発報があがったカメラの画像だけを表示すると注視する対象が明確になり、判断がしやすい | |

<table>
<tr><th>ヒアリング項目</th><th>ヒアリング結果</th><th>考察</th></tr>
<tr><td rowspan="3">タブレットアプリの有効性について</td><td>発報時に特殊信号発光器（踏切の異常を知らせる灯器）と連動する運転士に直接通知でき有効</td><td rowspan="3">線路敷地内に侵入して退去するまでを録画した画像で確認できれば、列車運転再開の時間短縮に繋がるという意見があった。<br>映像の録画機能についても、実装を検討していく。<br>また、特殊信号発光器との連動などを含めて有効性を高められるような機能の検討を継続する。<br>検知精度については、夜間時間帯での検知距離が短いため、カメラの台数を増やす等で夜間でも線路敷地内全体をカバーできるようにする必要があると考える。<br>また、線路敷地内の作業員に対しても発報してしまうため、実運用を想定して、対策を講じる必要がある</td></tr>
<tr><td>人が線路敷地内に侵入したタイミング、線路敷地内から退去する映像を確認できれば、現地での確認時間の短縮に繋がる</td></tr>
<tr><td>人が線路敷地内から退去後を運転士へ通知が可能であることから、電車の運転再開までの時間の短縮に繋がると考える</td></tr>
</table>

全体的な意見として、保安装置とは異なる手法で、未然の事故防止、現場の見える化が可能となり、運行にとって有効な仕組みと意見であった。本導入に向けては、運輸司令所の運行管理システムと連携・統合した表示を行うことで、スムーズな運用が可能との意見があった。

本検証では、タブレットでリアルタイム動画を再生し、現状把握できることを評価したが、今後は、現状把握に加えて、直近の録画映像による侵入者の経路追跡など運用に即した機能実装の検討を継続したい。

## （2） 運用検証

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

### 1） 検証項目

運用検証では列車の安全・安定輸送の向上に関わる運用面について課題の抽出、解決策の検討を行うと共に、将来の鉄道事業における環境変化を見越した運用を踏まえて多角的に検証を行う。

車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化においては、あらかじめ現在の運用フローを整理し、本ソリューションの本運用後のフローに関する変化や実証を通じて、運用面に関する課題の抽出・解決策の検討を行った。

特に検査・巡視業務の省力化や自動化を本格的に導入するに伴い、新たにモニタリングで確認する設備の拡充や運用方法などを網羅的に検討した。検討にあたっては、他の鉄道事業者への汎用性・拡張性にも配慮する。具体的な検証項目と検証方法は以下の通り。

① モニタリング対象設備の拡充

今回のモニタリング対象設備以外にも、鉄道沿線には多数の設備が点在しており、全ての設備をモニタリングやデータ監視をすることで、検査・巡視の頻度をゼロに近づけることが可能となる。本検証結果をもとに、モニタリングに適した設備を選定・拡充を目指して検証した。

② 運用方法の検討

モニタリングによる巡視・検査の省力化・自動化については、運用方法が大切なポイントの 1 つとなる。項目 4.1.1.の通り、現在の巡視・検査頻度に関しては、国土交通省への届け出による実施基準に沿って実施しているが、実施基準の項目が自動化に置き換えられるか、自動化が目視検査と同等の安全性が保てること、また AI による異常検出をした場合の運用方法などの課題抽出、改善策を検討した。

③ 業務オペレーションを通じた検討

異常検知結果の確認方法やタイミング、保守関係係員への連携タイミングなど業務オペレーション全体の中で、検査対象毎の適切なデータ提供タイミングやユーザインターフェースのあり方を導き出せるよう検討を行った。

④ 普及展開の方針

労働人口減少や保守関係係員の高齢化については、東急電鉄だけの問題ではなく鉄道事業者全体の問題である。モニタリングによる巡視・検査の自動化については、本実証後も引き続き他の鉄道事業者とも連携を図り、個別システムによる構築ではなく、鉄道業界共通のシステムによる運用が可能か検討した。

## 2） 検証方法

表.4.3.1.2-(1):本実証の運用検証方法

| 評価項目 | 概要 | 検証方法 |
|---|---|---|
| モニタリング対象設備・環境条件の不足、拡充可否 | モニタリングの結果から更なる拡充が可能か | 保守関係係員・AI ベンダーへのアンケート |
| 現在の巡視・検査から自動化への置き換え | 人が実施している法令検査を機械(AI)に置き換えが可能か | 保守関係係員・施設管理者 |
| 目視確認とモニタニングデータの比較 | 人の目と、AI を比較して、現在の巡視・検査より劣後していないか | 熟練技術者による評価 |
| 業務オペレーションの効率性 | 業務オペレーションの流れの中で、どの異常検知情報がどのタイミングでどのような方法で確認できることで、効率性が高まるか | 保守関係係員へのアンケート |
| 他鉄道事業者への普及展開 | 東急電鉄単独での課題解決ではなく、同様の課題を抱える他鉄道事業者と協働して推進できないか | 実証コンソーシアム内の鉄道事業者に本実証内容を共有し、ソリューションの横展開に向けた現状課題と課題策のヒアリング |

## 3） 検証結果及び考察

運用検証の結果、車載カメラと AI を活用した鉄道設備のメンテナンス業務に関し、巡視・検査の自動化または省力化に関する実現性や課題検証を行った。

特に、鉄道事業の保守部門の業務は、専門性が高く技術習得に時間を要すことから、保守関係係員にAI解析結果などを共有し、アンケートによる情報収集、分析することで、心理的な課題や自動化までのステップを描くことを想定した。

運用検証に際して検証結果を以下に示す。

### ① モニタリング対象設備の拡充

本実証では、昨年度実証にて確認された天候や時間帯等により比較的異常検知精度は劣る設備類に加え、新たな検知内容を加えた 5 つをモニタリング対象の設備として選定した。他にも鉄道線路内設備には点検・巡視項目が多岐に渡るため、本実証にて行ったモニタリング対象設備以外にも拡

充の可能性があるのか、保守関係係員・AI ベンダーから行ったヒアリング結果を下記に記す。

【保守関係係員】

保守関係係員において実施する点検は、安全・安定輸送の確保のため、季節・天候を問わず実施する。過年度の実証における本ソリューションは、日中・晴れまたは曇りの比較的、カメラを利用したソリューションの条件が良い状況で実証したため、気候対応が不足し、巡視の置き換えには、十分な検証が行えなかった。

検査・巡回業務を自動化するためには、複数ある対象設備のうち、1 つの設備のみとせず、対象となる設備全てを網羅的に対応していく必要があり、対象検知物については、本実証以外にも多数ある。鉄道線路内設備には、電路設備、信号設備、踏切保安設備、軌道設備、土木建築建造物があるが、本ソリューションでの検知対象の拡大等による他設備への展開は十分に考えられる。

今回、車両の前方および上向きの画角にて、カメラを設置し、撮像データの AI 解析を行っているが、全ての設備を検知対象とし網羅するには、更に左右・下向きの撮像なども検討が必要である。

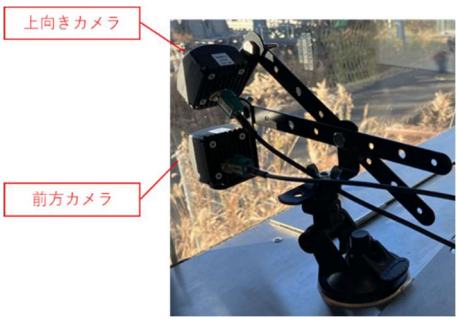



図.4.3.1.2-(1):実証に使用したカメラ画角

表.4.3.1.2-(2):本実証にて検証した以外の他設備一例

| 設備 | 写真 | 点検・巡視項目 |
|---|---|---|
| 電路設備 | | カラスの営巣状態 |

| 設備 | 写真 | 点検・巡視項目 |
|---|---|---|
| 信号保安設備 | | レール付属物の取付け状態 |
| 踏切保安設備 | | 器具箱の汚損、損傷の有無 |
| 土木設備 | | 柵垣等の倒れ・劣化状態 |
| 建築設備 | | 対向壁等の変状・劣化状態 |

【AI ベンダー】

モニタリング対象設備や環境条件の拡充にあたっては、その特性から以下の観点を踏まえて各対象設備／点検・巡視項目について AI 活用範囲・検出方法を定義する必要がある。

表.4.3.1.2-(3)：AI 各対象設備／点検・巡視項目

| 観点 | 対応方針 |
|---|---|
| 屋外の異常検知<br>・屋外では景色等の状況が大きく変化するた | ・あらかじめ異常の外観が明らかなものについては、物体検出アルゴリズムで対応 |

| 観点 | 対応方針 |
| --- | --- |
| め、正常画像に対する差異を検出するアルゴリズムでの異常検知は難易度が高い | ・外観が一定しないものについては、セマンティックセグメンテーションアルゴリズムの活用も検討<br>・線路上の非常に細かな検出対象については、カメラの設置角度や解像度などを調整 |
| データの収集<br>・正面画像以外に、上部(架線)、下部(レール詳細)、側面(土木・建築設備)などの画像データを確保する必要がある<br>・音や各種センサーデータで検知可能な異常があればこれらのデータも確保する必要がある | ・対象設備／点検・巡視項目毎に検出に使用するデータを定め、カメラやセンサーの設置位置を検討<br>・複数のカメラやセンサーを制御するエッジデバイスを車両に搭載・運用可能な仕様でカスタム開発・生産 |
| 学習データの確保<br>・対象となる設備／点検・巡視項目によってはその発生頻度が低いものも多く、学習データ(異常状態)の大量確保が難しい | ・実際に疑似的な異常状態を作り出すことで学習データを確保<br>・画像処理などを組み合わせ、学習データを増幅<br>・継続的な運用の中で、学習データを増やし定期的に更新していく仕組みを構築 |
| 環境条件<br>・様々な環境条件に適合させるために同じ設定での撮影で精度を維持することが難しい | ・各モニタリング対象について、どの条件での検出が運用上重要かを整理し、撮影方法を検討する |

② 運用方法の検討

【東急電鉄】

今後、定年退職や少子化の影響から東急電鉄でも就業人口の減少は避けられない問題であり、現在の目視検査のままでは人的なリソース不足が懸念されている。本実証での AI 検出による検査・巡視の自動化を実現するためには、今後更なる精度向上が課題となってくる。AI 検出の精度は保守関係係員の目視検査と AI 検出を比較して 9 割程度の正解率が必要となり、正解率を満たすことで始めて置換が可能と考える。

運用面を検討した結果、現状の目視検査は定期的ではあるものの低頻度であるため、車載モニタリングにて取得した撮像データをリアルタイムに保守事務所で確認できるだけでも業務の高度化、安全性が向上するという意見が出た。しかし、前述のモニタリング設備を拡張していくには各設備の異常データ収集から AI モデルの作成を行っていくため、精度向上までには時間を要する。

よって、保守の自動化を目指すには、①現状の目視検査から、②リアルタイム映像を保守事務所で

確認、③AI による異常検出、と段階的に運用していくことを想定している。

最終的な運用イメージは、AI 解析による異常検出を保守事務所で確認し、保守関係係員が現地で確認して設備の補修・交換を実施していくことを想定している。

図.4.3.1.2-(2)：高度化へのステップアップ

【他鉄道事業者】

他社においても、当社と同様に将来的な人材不足等の課題を抱えている。AI による異常検出に全てを移行するのではなく、異常検出した箇所を保守関係係員が現地確認をして、AI 判定と保守関係係員判定を組み合わせて設備の状態を監視していくことが将来のあるべき姿と考えているが、全てを AI に移行すると技術伝承の観点から保守関係係員の技術力低下が懸念されるため、現地での技術力を保持しながら、加えて AI などを活用する技術も向上させることが将来の鉄道設備の保守関係係員には必要条件となってくる。

③ 業務オペレーションを通じた検討

現状の業務と自動化による業務フローを作成し、事務所と現場で区分けをして比較、効率化が図れるか検討した。

現状では現場(線路内)での作業に時間を費やしており、事務所における作業については検査表の整理が主となっている。また、事務所⇔現場への移動についても遠方では往復で 1 時間弱の時間を要している。一方、自動化の業務フローではこれまで保守関係係員の現地検査から、列車による沿線設備の撮像後に AI にて異常検出を行うため事務所での確認が主となる。自動化における効率化については以下が想定される。

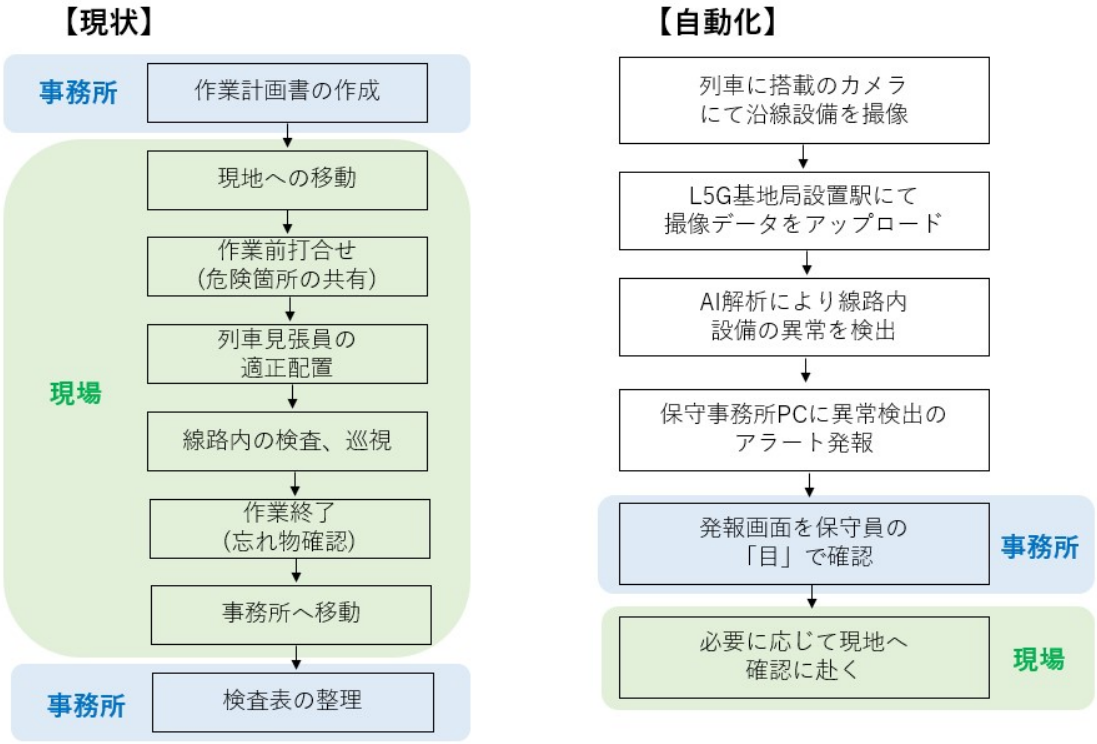



図.4.3.1.2-(3):現状と自動化の業務比較フロー

表.4.3.1.1-(48):各方面の現状と自動化の比較

| | 現状 | 自動化 |
|---|---|---|
| 作業面 | 線路内設備を担当毎に線路内にて検査・巡視を実施している | AI による異常検出を確認して、必要により現地に赴く |
| 労働環境面 | 夏場の猛暑時期や荒天時も線路内での作業が発生するため、保守関係係員の労働環境の負担となっている | 必要により現地確認を行うので、線路内作業の頻度が大幅に減少し、労働環境の改善に期待できる |
| 安全面 | 保守関係係員が営業時間内に線路内で作業を行うため、列車との触車事故のリスクを伴う | 必要により現地確認を行うので、線路内作業の頻度が大幅に減少し、触車事故の防止に期待できる |
| 安定輸送面 | 現地検査後に異常が発生した場合は次回検査まで異常を把握できず、最悪の場合は運行支障を発生させてしまう | リアルタイムで設備異常を確認・把握できるため、運行支障を及ぼす前に設備の補修・交換が可能となり、設備異常による運行支障の減少に期待できる |

④ 普及展開の方針

東急電鉄を含めコンソーシアムに参加する鉄道各社も就業人口の減少については共通の課題であり、現在の時間基準保全から車載モニタリングや CBM などの状態基準保全に方針転換をしていかなければならない。

しかし、鉄道業務の高度化には鉄道会社毎の開発、整備が主となっており、それぞれが開発費用を負担していることが現状である。

東急電鉄としては、個々にデータ基盤を整備するよりも、鉄道業界全体の取り組みとして共通的に整備することが、AI モデル作成の効率化(異常データの共有)や異常の前兆を掴む(他社の異常事例を共有する)ことが容易となる。今後は、他の鉄道会社へ本実証の取り組み概要と成果を積極的に展開し、共通基盤構築に向けて働きかけていきたい。

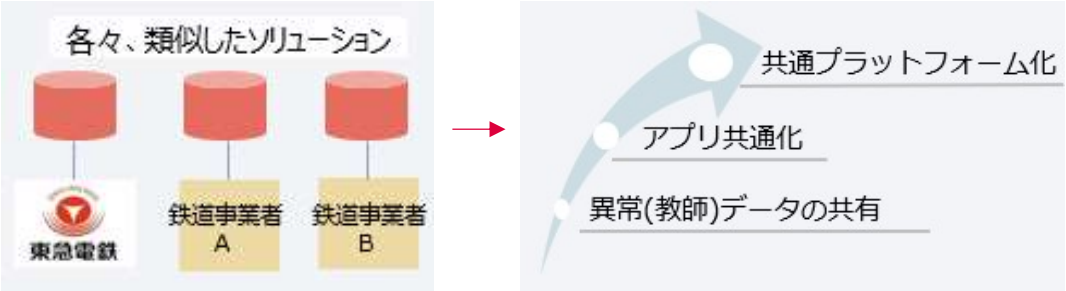



図.4.3.1.2-(2):普及展開の方針

○課題解決システムの利用における実現性や課題について

運用検証の結果、車載カメラと AI を活用した鉄道設備のメンテナンス業務に関し、巡視・検査の自動化または省力化に関する実現性や課題検証を行った。

特に、鉄道事業の保守部門の業務は、専門性が高く技術習得に時間を要すことから、保守関係係員にAI解析結果などを共有し、アンケートによる情報収集、分析することで、心理的な課題や自動化までのステップを描くことを想定した。

表.4.3.1.2-(4):本実証の実現性や課題検証方法

| | 実証前の運用 | 実証後の運用 |
|---|---|---|
| ソリューションの可用性 | 現在の業務フローを可視化 | 環境条件等を加味したフローの作成、ヒアリング結果の集計、考察整理 |
| 現在の巡視・検査から自動化への置き換え | 自動化に関する課題整理 | ヒアリング結果の集計、他鉄道事業者との連携による考察整理 |

○ソリューションの可用性

本ソリューションの実運用を検証するにあたり、現在の業務フローを可視化した。

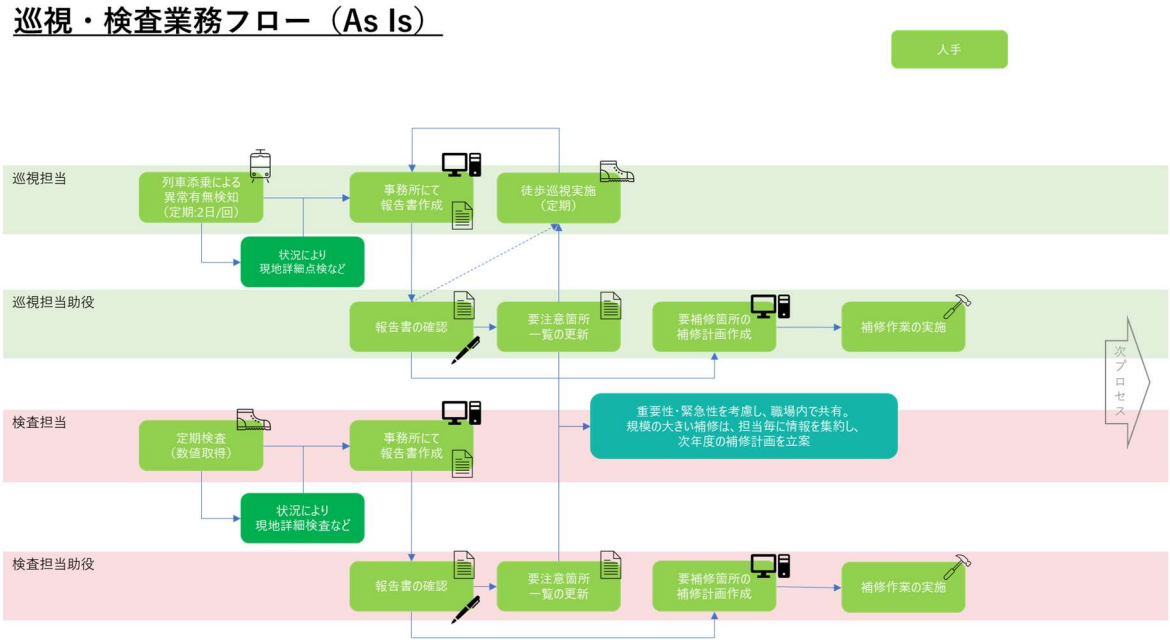



図.4.3.1.2-(3):現在の業務フロー

運用フローに示す通り、現在の業務は、主に人手・目視およびコミュニケーションを実施することで、安全、安定輸送の確保に努めている。また、巡視担当における列車添乗による巡視は、人の五感、特に、視覚、聴覚(動揺・音)と記憶と経験に頼ることが多く、熟練技術者の経験によるものが関係する。

本ソリューションを導入した場合を想定したToBeの運用フローを可視化し、各施設の保守関係係員へのヒアリングを行った。

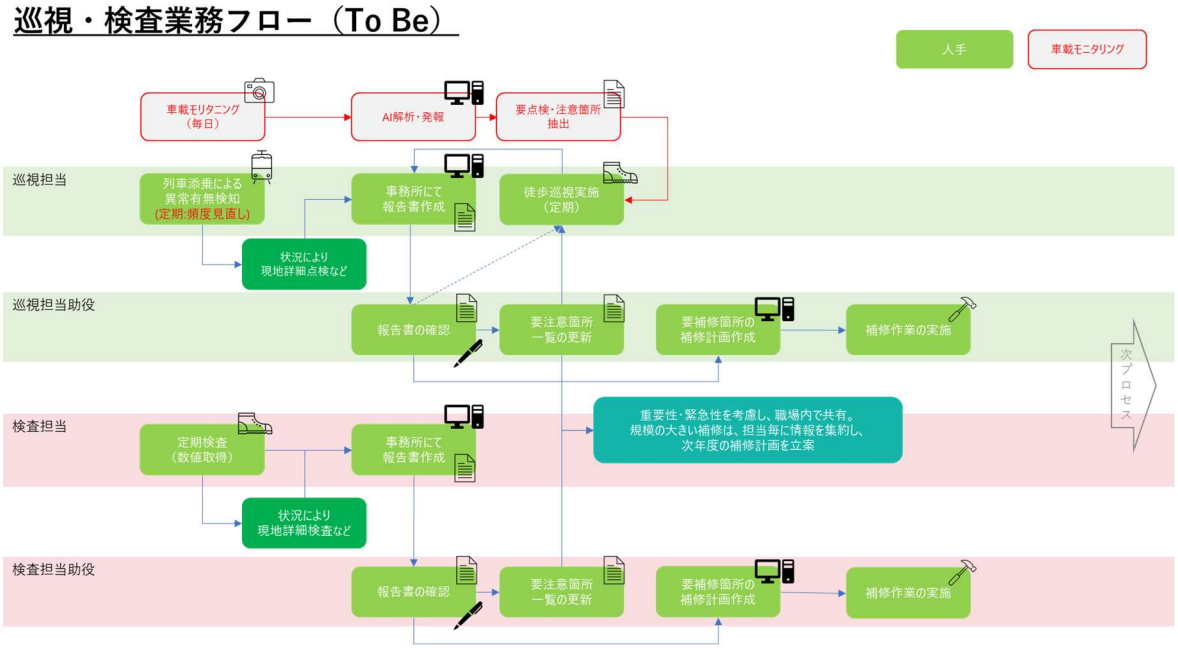



図.4.3.1.2-(4):本ソリューション導入後の想定業務フロー

保守関係係員および AI ベンダー等へのアンケート、ヒアリング結果

施設保守部門の保守関係係員は、列車の乗務員室に 2 日／回添乗し、列車の運行支障に繋がる恐れのある軌道の異常および鉄道施設および線路周辺環境の異常有無を巡回点検している。

また、添乗巡視の他、線路内における徒歩による巡回・点検・検査を定期的に実施しており、添乗巡視にて確認された異常等についても詳細に確認をしている。

本実証では、過年度実証にて確認された課題対応も踏まえ、関係者にヒアリングした結果を下記に示す。

【保守関係係員】

添乗巡視では、人の視覚だけによらず、振動や音など五感による検査も実施しているが、今回、振動と画像の連携されたアウトプットが確認できた。映像だけでは確認することが難しい事象や従来、人による感覚にて補完されている検査情報においても、動揺値を得られることは有用性を感じる。音

による異常検知の補完に関しても視野に入れて検討を深度化したい。

気候別における実証結果は、列車前面ガラスの太陽光・車内灯の反射や雨水の付着により、日中・晴れまたは曇りのような状況に比べ取得できる画像・画質が劣っており、鉄道施設の点検には、十分な情報量とは言えない状況であったが、限られた情報量の中で、線状降雨帯や台風等による連続降雨が継続する場合などは、本ソリューションを搭載した車両を増発運行するなどで、情報量を補完することで、従来、現場に赴き現地、現認を必須としていた業務の効率化を図れると捉えた。

本ソリューションの適切な運用については、通常時と異常時で異なる条件が適用されることから、通常時の精度向上や検知対象設備の追加、異常検知手法の追加検討を進めつつ、異常時の運用を見据え、効率化・自動化に向けて検討を深度化させていく。

【AI ベンダー】

本実証では、検証結果を Web 画面で確認するところまでを実装したが、実際に活用効果を出すためには、業務フロー上新たな手間をできるだけ抑えながら組み込む必要がある。ソリューションとしての汎用性は維持しつつ、各鉄道会社の現行業務にアジャストするために以下のような機能開発が必要になってくるのではないかと考える。

・アラート発砲機能

あらかじめ定義した条件でのモニタリング結果について、メールなどを発信する

・検査システム連携機能

鉄道会社が使用している既存の検査システムにデータ連動を行う。

この際、既存システム側で使用している位置などの指標値(キロ程等)との突き合わせが必要。

【他鉄道事業者】

本ソリューションを横展開するにあたり、検知対象物の拡充や各社の沿線環境特性に合わせた学習データの要否が課題となる。特に、学習データにおいては、本実証にて作成した学習データを利用し、東急電鉄の他路線や他社路線線での実証を行うことで、路線毎に学習データを製作する必要があるか、学習データを流用し、少ない時間で学習データを構築できるかで、横展開のハードルが変わる。

また、地方鉄道への横展開を考慮する場合は、可搬型で操作性の良い計測機器と学習データ作成の容易さを求められると考える。

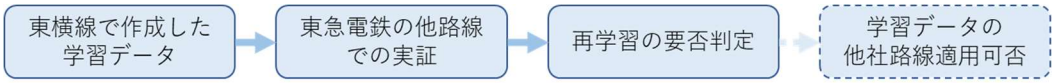



図.4.3.1.2-(5):学習データの横展開イメージ

○ 現在の巡視・検査から自動化への置き換え

本ソリューションを活用した巡視・検査の自動化に向けた見解や課題を抽出するヒアリングを実施

し、考察を整理した。

鉄道施設の巡回検査は、鉄道運行支障が伴う鉄道施設の点検や線路周辺環境変化を主に対象としている。鉄道運行支障になる事象として、第 3 者行為による線路内の公衆立ち入りや物の投げ込み、飛来物等があるが、これら突発的な事象は、運転士による前方注視による緊急措置となることから、巡視・検査の自動化検証のスコープ外として以下の通り整理した。

【保守関係係員】

本ソリューションを活用した業務の自動化に関し対象となる業務は、主に現地にて実施する「検査業務」「巡視業務」に分けられる。

検査業務については、数値計測・管理するものが多く、本ソリューションで設置した高速移動する列車に搭載するカメラでの完全代替は困難であり、軌道モニタリング等の他ソリューションも活用し、業務の効率化・省人化に向け検討することとなる。巡視業務について、本ソリューションを活用した自動化の実現について、検証を行った。

巡視業務は、乗務員室への乗り込み列車走行方向を注視し、鉄道施設および線路周辺環境を確認する「添乗巡視」と、線路内を歩き、細かな部分を巡視、点検を行う「徒歩巡視」にわかれる。本ソリューションで自動化される業務は、「添乗巡視」と巡視に伴う報告書等の作成業務であり、現在、保守関係係員の視覚や聴覚に頼った点検業務をカメラ等にて取得したデータで代替を図るものとなるが、AI の精度や撮影頻度などが懸念となる。

（左から、「検査業務」「巡視業務（添乗巡視）」「巡視業務（徒歩巡視）」）

図.4.3.1.2-(6):巡視業務と検査業務参考写真

現在のソリューションは、撮影時間帯や天候等に左右される状況もあり、人による確認は完全に除外することはできないため、将来的な自動化などに向け、高度化・効率化を推進しつつ検証を続ける必要がある。また、AI の精度確保は重要なポイントになるが、いずれにせよ誤検知等がある場合は、人で確認する業務が増える傾向にある。現在は、東横線およびみなとみらい線の全区間を検知の対象としているが、軌道構造や線路周辺環境により、位置情報から AI の検知対象から除外するなどを行い、誤検知数を減らすなどの施策を行う必要がある。

また、自動化に対する懸念とし、保守関係係員が現場に赴かないことにより現場感覚の薄れ、技術力低下に繋がる恐れがある。技術伝承の課題に向けて、デジタルとアナログの最適融合を追求して

いく必要があり、本ソリューションの活用に合わせた、技術者育成も含めた運用を進める必要がある。

【他鉄道事業者】

本ソリューションを活用し、全ての検査・巡視業務の自動化は難しい。一方、効率化や高度化へ寄与する技術と思われる。

業務の自動化において、運用面で懸念されることは、本装置の自動稼働可否となる。本実証では、人による操作にてカメラ等関連機器を起動していたが、検査の自動化には、機器起動に人による関与を無くし、撮像、分析、発報を行えるシステム構築が必要である。また、関連機器の電源供給に関しても、列車の種別によっては、乗務員室に 100V のコンセントを備えていない種別もあり、モバイルバッテリーでの対応など、幅広い検討が必要である。

撮影頻度においても、本ソリューションの撮像機器等を搭載した列車走行の頻度を、要求するアウトプットや性能、路線長や他社路線への相互直通運転なども考慮し、各種条件より機器配備計画を定める必要がある。

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

## 1） 検証項目

運用検証では列車の安全・安定輸送の向上に関わる運用面について課題の抽出、解決策の検討を行うと共に、将来の鉄道事業における環境変化を見越した運用を踏まえて多角的に検証を行った。

### ① 業務フローの検討

現在の踏切内および線路敷地内の異常時（渡り残りや滞留、第 3 者の侵入）において、本ソリューションを導入したことにより、どのように業務フローの変化が生じ事後対応がスムーズとなり、安全性向上や運転再開までの時間短縮が図れるのか検証した。

### ② 本ソリューションの拡張性

本ソリューションでは線路敷地内への侵入については人物にフォーカスを当てているが、安全性の更なる向上には人物以外にも検知の対象を増やす必要があるのか、多角的に検証した。

### ③ 地域連携の可能性

自動車や歩行者と交わる踏切においては鉄道運行と通行者との共存が必要であり、踏切カメラの情報をもとに、鉄道以外の活用方法や地域、自治体との連携が可能か検討した。

### ④ 普及展開の方針

踏切や線路敷地内への第 3 者侵入についての事故未然防止は、東急電鉄だけの問題ではなく鉄道事業者全体の問題である。本実証後も引き続き他の鉄道事業者とも連携を図り、個別システムによる構築ではなく、鉄道業界共通のシステムによる運用が可能か検討した。

2） 検証方法

表.4.3.1.1-(5):本実証の運用検証方法

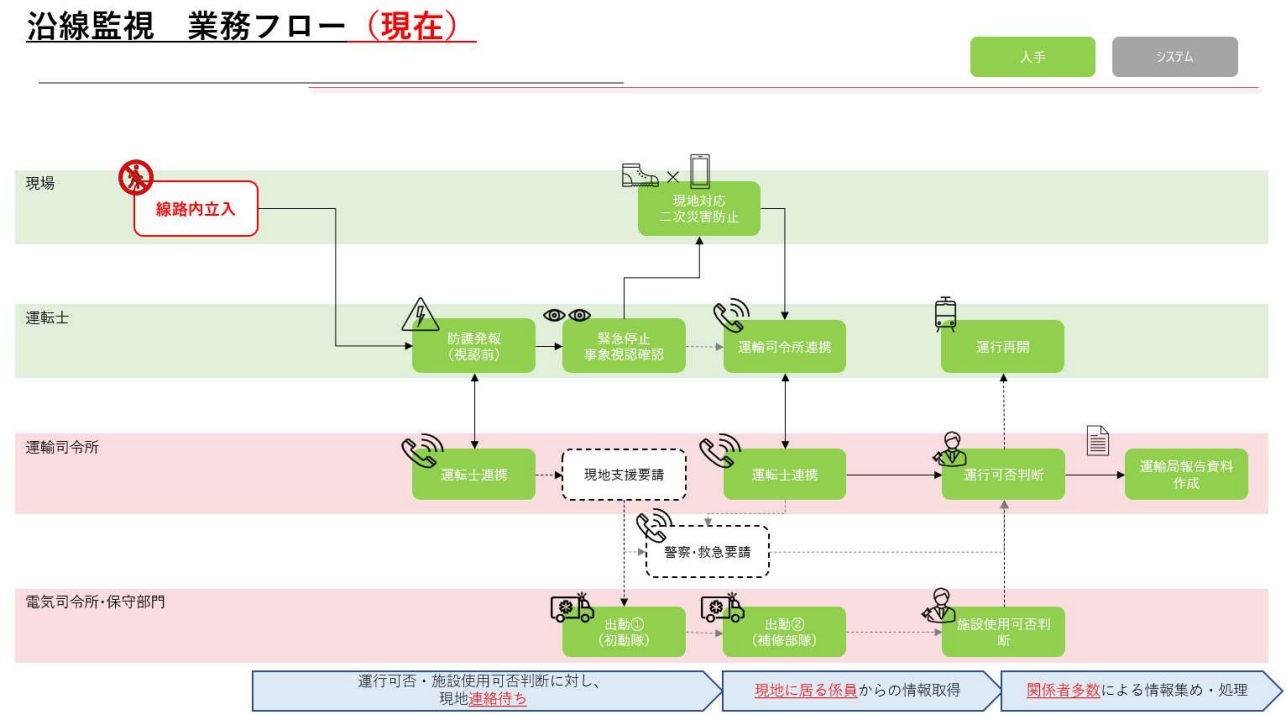
| 評価項目 | 概要 | 検証方法 |
|---|---|---|
| 業務フローの変化 | 異常時のリアルタイム映像を取得可能になることで運用面の対応変更による安全性向上、早期の運転再開が可能か | 運用者へのヒアリングおよび業務フローの作成 |
| ソリューションの拡張性 | 線路敷地内を網羅的に監視することで安全性の向上に資するソリューションが、将来的に人物以外にも監視対象(設備等)を拡張させていく必要性があるか | AI ベンダーや技術系保守関係係員へのヒアリング |
| 地域連携の可能性 | 踏切や線路敷地内のカメラを地域、自治体と連携して有効活用が可能か | 社内で連携可能性を検討 |
| 他鉄道事業者への普及展開 | 東急電鉄単独での課題解決ではなく、同様の課題を抱える他鉄道事業者に普及展開させるにはどのような課題や解決策が必要なのか | コンソ内構成メンバーに、本実証で検証したソリューションの横展開について各社の課題や解決策についてヒアリング |

3） 検証結果および考察

運用検証に際して検証結果を以下に示す。

【業務フローの変化】

現状の線路敷地内への第 3 者立ち入りについて、異常時のリアルタイム映像を取得可能になることで現在の運転再開までの運用業務フローと本ソリューションを導入した場合の業務フロー案を作成し比較、検証を行った。下記に業務フロー(現在・将来)を示す。



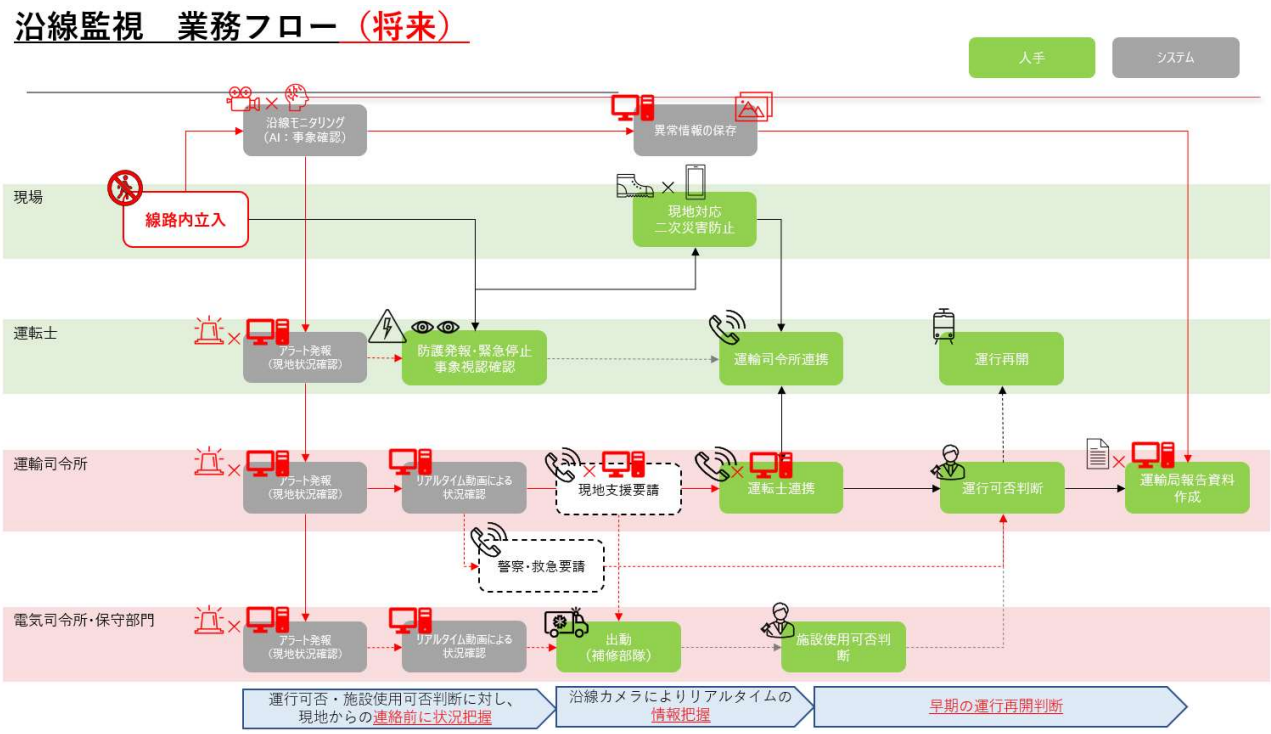




図.4.3.1.2-(7):線路内立入時の業務フロー(現在・将来)

現在の業務フローでは、線路敷地内への第 3 者立ち入りを確認した場合は、運転士が列車付近の捜索、最寄りの駅係員が現地に駆けつけて、該当の駅間(線路内)を歩行しながら線路内の安全が確保されたことを現地現認してから運転再開の判断を行う。上記に記載した通り、人手による安全確認を行うことで運転再開までは時間を要してしまい、遅延により東急電鉄をご利用されるお客さまに対してご迷惑をおかけしている。

将来のフローについては、現地に赴かずとも AI を活用したリアルタイムによる現地映像を取得することで、線路内の安全を確保して運転再開までの判断を短縮することに期待できる。

一方、運輸司令員へのヒアリング結果により課題として上げられるのが、AI の精度や運用方である。本ソリューションを導入して運用変更を行った場合に、AI の見逃しによる不安全な状態での運転再開は、安全を根幹としている鉄道事業者としては絶対に避けなければいけない事象である。合わせて、司令員による監視モニターの見逃しについても同様である。本運用のステップとしてまずは、AI カメラにより第 3 者の侵入・退出した場所を特定できれば、駅間全てではなく、該当区間に絞って現地確認を行うことで、現状からの運転再開が短縮を図れる。また、将来的に保安装置や踏切の異常を知らせる特殊信号発光器などと連動させることで、線路敷地内の第 3 者立ち入りを AI 検知したことで、列車を緊急停止させることができれば、事故の未然防止には大きく寄与するとの見解である。

【ソリューションの拡張性】

今回の実証では、線路敷地内での人物検知に着目して実施したが、運輸司令員やコンソーシアム(他の鉄道事業者)からのヒアリング結果では、線路敷地内への侵入は強風時、沿線からの飛来物なども該当するとの回答であり、大きな飛来物などが線路内に存在した場合には列車との衝突も考えられるため、事故の未然防止の観点からも将来的には人物だけではなく線路敷地内を網羅的に監視することが望ましい。

近隣工事現場の工事用足場倒壊

近隣敷地からの倒木

図.4.3.1.2-(8):飛来物や倒木による運行支障例

他の回答としては人物以外に大型犬や狸なども列車との接触事例があり、接触をした場合は人物と同様に運転再開までの支障時分がかかることが想定されるため、小動物検知についても将来実装への追加事項として要望があった。

また、本実証では作業員を第 3 者と見立ててデモ試験を行ったが、東急線では日々線路敷地内で保守や工ことを実施しており、作業員と一般(第 3 者)の区別を付けることも必須の課題となる。

【地域連携の可能性】

今回の実証では、踏切や線路敷地内のカメラ映像を活用したが、本ソリューションの有用性を考察していく中で、「事故の未然防止」にも大きく寄与するとの考察結果を導き出せたため、踏切内の監視だけではなく、踏切周辺を監視できる 360 度カメラによる監視も有用ではないかと考える。踏切からの人身事故では該当者が事故前に踏切周辺に滞留していることが多く、踏切周辺を 360 度カメラで監視して不審行動を AI 検知・発報することで警察や消防、駅係員へ事前に連絡をしてお声がけ、保護することで、未然の事故防止が図られるのではないかと考える。

また、360 度カメラによる踏切周辺監視により、列車支障による踏切長時間鳴動により緊急自動車(救急車等)の停滞情報をリアルタイムに把握することで、迂回の連絡や安全を担保した上で緊急自動車が踏切を横断できるように手配・処置を行うなどの検討案もあげられた。

※本図は 360 度カメラでの画像ではない

図.4.3.1.2-(9):360 度カメラ導入による検知対象例

【他鉄道事業者への普及展開】

本ソリューションの有用性や普及展開について、課題や解決策を実証コンソーシアムの鉄道事業者へヒアリングを行った。

・課題

（ア）現在の踏切障害物検知装置からカメラ式への置き換えについて、検知精度が現在と同等の検知レベルであることが必須条件である。

（イ）沿線監視カメラはリアルタイム性を求められるため、高画質の伝送であればローカル 5G のような伝送速度が必要となるが、沿線にローカル 5G を整備するにはイニシャルコストがかかり、費用対効果を出すことが厳しいと感じる。

・解決策

（ア） 本実証で設置した踏切滞留検知カメラについては、実証後も継続してデータ計測を行い AI の精度を向上させていく。AI モデルを作成することで他社の踏切へ展開時も現地のチューニングのみで設置が可能となるので、AI モデルの精緻化を継続して進めていきたい。精緻化を進めることで導入時の AI モデル作成コストを削減可能となるため、現在の踏切障害物検知装置よりも安価に導入が可能となれば、普及展開が更に加速すると想定される。

（イ） 本実証は人身事故の未然防止に効果があるソリューションと考えられるため、沿線全てにローカル 5G を整備するのではなく、事象が多い箇所を選定して設置するなどの検討が必要である。また本実証では 4K カメラを使用したが AI モデルを向上させていくことで、低画質カメラでも同程度の検知精度を達成できれば、カメラ費用の削減やローカル 5G 以外の伝送網を選択肢に入れ、更なるコスト削減効果により導入のハードルも下がるのではないかと考える。

## （3） 効果検証

◇車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

### 1） 検証項目

本ソリューションの効果検証項目については、あらかじめ現在の運用とソリューションの実運用を想定して効果項目の洗い出しを行い、コンソーシアムにおいて十分な協議を行い、必要に応じて指標の目標値を設定する等の、実装に向けた今後の検討に資する検証を実施した。

検証にあたっては、定量化に必要な計測を行うと共に、課題解決システムの利用における保守関

係係員および関係者による評価を実施することで、課題や改善点について検討を実施した。

東急電鉄では安全・安定輸送を担うため、線路内における鉄道設備の巡視、検査を各設備の所管する担当毎に実施している。線路内の主な設備には軌道設備、信号保安設備、踏切保安設備、電力設備があり、各担当の保守関係係員が線路内を徒歩にて巡視・検査する場合や、列車の乗務員室に添乗して設備の状態を定期的に目視している。また、設備以外においても、線路周辺にて起こる樹木による育成接近や法面など構造物の状態監視、第 3 者が実施する線路近接工事などの線路周辺の環境変化においても列車の乗務員室に添乗し、監視を行っている。また、将来の鉄道保守のあるべき姿として、現在の安全・安定輸送を維持しつつ、現状の人が大きく関与している TBM(時間基準保全)から機械やデジタルに支援を受けて実現を目指す CBM(状態基準保全)へシフトしていき、各設備のデータ利活用によるリスク管理を行いつつ、修繕計画・設備投資の適正化を図ること、また現地・現物による巡視・検査からデータやモニタリング技術を活用し、「必要に応じて現地を確認する」人とデジタルの連携による最適な鉄道保守体系を目指す。

更に、本実証のソリューションは、東急電鉄のみならず、他の鉄道事業者への展開を考慮した汎用性・拡張性にも配慮したソリューションの実現を目指した総合的な検証を行うものとし、具合的な検証項目は以下を基本とし検証を行った。

① 保守関係係員の負担軽減効果の検証(定性)

→現地での目視検査から本ソリューションの活用による保守事務所での設備状態確認に移行可能か検証を行った。

② 列車の安定運行への寄与効果の検証(定性)

→乗務員や運行オペレーションを担う部門を含め、列車の安全運行への寄与効果に関し検証を行った。

③ 巡視、検査業務の高度化による労務削減効果の検証(定量)

→総合的な労務削減効果を検査周期の延長や費用の低減効果を確認し、整理・検証を行った。

### 2) 検証方法

本ソリューションの効果検証方法については、あらかじめ想定する効果項目に対し、定量面においては、既存の巡視、検査に要する人員や費用を概算算出し、評価・検証を行った。また、定性面においては、保守関係係員や運転部門にアンケート等を実施し、心理的な効果やソリューション導入後のメリット、デメリットを整理し、分析・検証を行った。

【定性面】

・保守関係係員の負担軽減効果

・列車の安定運行への寄与

表.4.3.1.3-(1)：本実証の効果検証方法

| 検証項目 | 概要 | 検証方法 |
|---|---|---|
| 保守関係係員の負担軽減効果 | 解析データの信憑性を評価し、現地での目視確認から保守事務所での確認へと移行できるか保守関係係員と確認、検証を行った。 | 巡視検査に従事する保守関係係員および監督者にアンケート、ヒアリング等の実施。精神面も含め保守関係係員の労働環境改善に資するか検証を実施した。 |
| 列車運行の安全性向上効果 | 本ソリューションの活用による列車安全運行に対する定性的効果の確認、検証を行った。 | 列車運行を所管する部門も含めたアンケート、ヒアリング等の実施し、利点や欠点を確認、検証を行った。 |

【定量面】

・巡視、検査業務の高度化による削減効果

表.4.3.1.3-(2)：本実証の効果検証方法

| 検証項目 | 概要 | 検証方法 |
|---|---|---|
| 巡視・検査周期の短縮効果<br>費用の低減効果 | 本実証で得た解析データをもとに、現在人力で行っている巡視・検査周期の延長や削減が可能な作業項目を保守関係係員と確認、検証を行った。 | 現在の作業項目や作業人工、費用等を確認し、置き換えによる削減効果を比較検証した。 |

3）検証結果及び考察

本ソリューションの効果検証の分析・考察については、関係者との効果検証の結果、線路巡視業務における削減効果および保守関係係員の負担軽減、安全性向上効果について以下の項目で分析・考察を行った。

【定性面】

・保守関係係員の負担軽減効果

・列車の安定運行への寄与

表.4.3.1.3-(3)：本実証の効果検証　定性面アウトプット

| 項目 | 検証前の課題 | 検証後の効果 |
|---|---|---|
| 保守関係係員の負担軽減効果 | 将来に渡る鉄道サービス提供に関する保守要員維持に関する課題 | ヒアリング結果等を踏まえた利点・欠点、考察整理 |
| 列車の安定輸送への寄与 | 列車運行支障事象発生時の対処リスク | ヒアリング結果等を踏まえた利点・欠点、考察整理 |

【定性面】

〇保守関係係員の負担軽減効果

保守関係係員に現地での目視検査から保守事務所での設備状態確認に移行可能か本実証の内容を踏まえてヒアリングを行い、保守関係係員の労働環境改善に資するか検討を実施した。なお、過年度実施した実証における課題に関し、今年度実証にて課題対応していることから、それらを踏まえたヒアリング結果として高度化への条件とし以下の課題、対応策が求められる。

表.4.3.1.3-(4)：主な高度化移行条件

| 項目 | 課題 | 対応策 |
|---|---|---|
| 全設備の状態監視 | 前方・上向きの画角だけでは対象となる設備が限られてくる | 多方向へカメラを設置して、設備を網羅的に映す |
| | 上記の外観検査だけではなく、データ（電流値等）の異常検知も必要 | 各種データの蓄積と連携・解析 |
| AI 解析 | 誤検知よりも、異常の見落としは事故に繋がる恐れがある | AI モデルの精度向上<br>（正解率 90％以上） |
| 法令 | 鉄道設備は法令により定められた周期にて検査をしている | 検査周期延長や AI への置き換えが可能か国交省と協議 |

| | | |
|---|---|---|
| 運用オペレーション | 現在の目視検査から高度化に移行する際のオペレーション | 技術力維持を踏まえた移行後の業務フローを作成し検討・評価 |

また、現在は、列車の安全・安定輸送のため、天候に関わらず現地での作業を周期的に実施しているが、鉄道の作業には列車への触車事故、高所での墜落事故や感電事故のリスクがあることに加え、複々線区間などでは夜間に徒歩巡視を実施しており、現地から保守事務所での作業に置換が可能であれば、保守関係係員の労働災害リスクの軽減も含め労働環境改善に大きく繋がる。

○列車の安定運行への寄与

モニタリングへの置き換えにより巡視・検査頻度が低減するため、運行支障までに至らない軽度な設備異常を早期に発見することが可能か保守関係係員へのヒアリングをもとに検討を実施した。

【保線部門】

本実証では、道床のあおり状態について実証した。昨年度実証では、陰日向の影響が、検知結果に影響を及ぼしたことから、学習データを追加し検証を実施したが、夜間や降雨では、検知の見落としが見られた。一方、日中の陰日向の影響は改善された。従来の添乗巡視においても日中に実施しており、夜間や降雨においては、人による検査においても日中と比較し精度は低下する。よって、本ソリューションを搭載した列車が日中定期的に走行することで、設備異常を早期に発見することが可能となり、適切な経過観察と現地確認を経て、保守業務の最適化に貢献できる。

また、AI 検知に加え動揺情報より異常箇所が確認できることは、従来、保守関係係員が捉えていた感覚を数値にて示されることで、技術伝承の観点で感覚からデジタルを活用した画像と値で可視化された情報で展開できることに、サステナブルに列車の安定運行を維持するためには、有用性を感じる。

他にも多岐に渡る巡視・検査項目があり、土木部門で所管する法面などの状態も巡視時には確認をしている。線状降雨帯などにより降雨が継続し、法面の土中含水量が増え、法面が崩壊することで列車運行に支障をきたす恐れもあるため、事前に兆候が検知できれば安全性の向上に大きく寄与する。

図.4.3.1.3-(1)：沿線の法面崩壊

保線部門では終電車が運行を終了した後に、夜間作業にて軌道整備を東急全線で連日実施している。作業終了後の安全確認は十分配慮しているが、線路内に工具などを置忘れるリスクもあり、巡視の自動化により現地確認の頻度が向上することで線路内の安全性が向上する。

図.4.3.1.3-(2)：線路内への工具などの仮置き状況

【電気部門】

本実証にて、標識の見通しおよび架線への樹木近接に関する検証を実施した。

標識の検証に関しては、昨年度実証において、陰日向の影響が比較的大きく生じた。本実証においては、天候や夜間における内照式の標識などの不点灯へも配慮した学習データを追加し、運転士から標識の視認性確保に関する検証を実施した。特に標識類は、直接運転に関わるものであると共に、近隣樹木等の繁茂状況は、日毎に状況変化が生じるため、即時性と予兆を検知が望まれる。

本実証では、日中は概ね良好な成果が得られたものの、夜間や雨天時は、列車の前照灯での照度不足や降雨により適切に撮像できなかった状況もあり、撮像条件に合わせた車両側の照明や窓への水滴対策の必要性を感じた。しかし、本ソリューションで 1 日数回走行する場合は、日中撮像したデータを解析したもののみを有効にすることで、運用は可能である。

架線への樹木近接の検証については、鉄道の電車線路や送電線には、常に高圧の電気が流れており、加圧部分と建造物や樹木など接近または交差する際、混触や感電、火災の恐れが無いよう離隔距離を確保することが規定されている。沿線樹木等の植物は、自然環境により繁茂進行や倒木等の状況変化があり、加圧部分への混触による火災など渋滞な事故に繋がる可能性があり、本実証では、架線に覆いかぶさる形の樹木接近に関し検証を行った。

本実証期間が、秋～冬季になったことから樹木繁茂の影響は少なかったが、検知された箇所においては、夜間や降雨では、誤検知や検知の見落としが見られた。日中においても、日照の影響等により見落としがあり、今後、AI の学習データを増やし、精度を高めたい。

列車の安定運行への寄与の観点では、運転士の視覚外のリスクを早期に摘み取る本ソリューショ

ンについては、効果的であり、学習データを追加することで AI 検知性能の向上を図る必要がある。

図.4.3.1.3-(3)：架線に近接する樹木事例

【土木部門】

本実証にて、土構造・抗土圧構造物である法面、擁壁の定点監視およびトンネル構造における漏水滴下に関する検証を実施した。

土構造・抗土圧構造物は、特に線状降水帯等による連続降雨状況や局地的大雨等は線路脇に土構造等へ影響を与え続けるが、時間帯や天候状況を問わず変状を起こすリスクがある。運転士は前方注視が原則であり、気象状況により沿線構造物の監視のため保守関係係員の動員が必要となる。要員が手配できない場合は、計画運休等の運用となり、社会的影響も生じることから、防塵防滴性能および暗視機能を備えた常設カメラにより状態監視が理想的であるが、鉄道は、線路構造を有すことから急曲線や急こう配を苦手とするため、起伏が激しい土地内は、連続して土構造・抗土圧構造物が構築されるため、常設カメラの整備は設備量が増え、現実的ではない。本ソリューションでは、車載カメラにて沿線構造物を連続し撮像することで、沿線の土構造・抗土圧構造物の確認を現地に行かず、準リアルタイムで監視できることで、従来、荒天の中、現地に赴き巡回をしていた状況と比較し、労働環境は改善されると共に、天災事変の前後状況の比較等を行い、スピード感を持った随時検査の実現を可能とする。

本実証では、AI による異常検知は適用していない。法面等の崩壊モードは、構築環境や天候、地質等に影響され、多岐に渡ることから学習データの準備が難しい。よって、緯度経度を事前記録することでアルゴリズムにより本ソリューション機器が、当該場所を通過した際に撮像した映像をピンポイントで、ローカル 5G での通信後、高画質な映像データを準リアルタイムで確認する。従来の現地巡回による現地確認の場合、人の目が届く範囲で移動しながら巡回することで、構造物変状の予兆検知を行っていたが、車載カメラで連続して情報を取得できることから、相対的な検証も含め、列車安全・安定輸送の確保に寄与できると考える。

トンネル構造の漏水滴下に関する検証では、列車の乗務員室に上向きで設置したカメラにて検知する。土中にあるトンネル構造物は、常に土圧等の外力と列車振動等により影響を受けており、列車直上のコンクリート剥落が生じた場合は、列車運行のみならず、乗務員および旅客の安全を脅かす恐れもある。また、重大な剥落が生じるリスクがある箇所は、経年劣化や初期の施工不良の他、コンクリートを貫通するクラックより土中地下水が漏れ出す箇所に生じやすい傾向にあり、漏水滴下は、コンクリート内部の鉄筋腐食を加速させることや軌道電気設備の漏電、電車架線やレール等の腐食を誘発する恐れがあり、速やかな現地確認、措置の対象である。

本実証では、通常 2 年／回に実施する徒歩による通常全般検査の補完とし、高速移動中の車載カメラにて漏水発生を検出し、トンネルの維持管理および周辺設備への影響の最小化を目指した。列車の前照灯は、進行方向に向かった前方を照らすため、列車の上部は照度が不足しており、駅部における検出精度に対し、駅間は見落とし頻度が高い傾向であった。また、地下区間は GPS による位置補足が難しく、加速度等による位置合わせを実施したが、満足いく位置精度が出ておらず、同一断面が連続するトンネル構造の場合、位置の特定が難しい状況にあったため、位置情報を補完する検討が必要である。

更に東横線およびみなとみらい線の長大トンネルは、比較的新しい構造物であり、漏水滴下の学習データが多くない。よって、今後の他路線展開を踏まえ学習データ等を加えることで、検知率が向上するか検証を行いつつ、実用化に向け、検討の深度化を図る必要がある。

【定量面】

・巡視、検査業務の高度化による削減効果

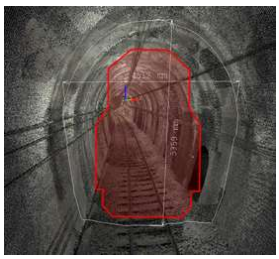
→検査周期の延長や費用の低減効果を確認し、以下の通り整理した。

〇線路巡視業務の高度化における削減効果

現在の目視検査から保守事務所での設備状態確認に移行した場合の削減効果を算出した。本実証では線路内設備の目視検査の一部を車載モニタリングにて取得した画像データの AI 判定に置き換えたが、線路内設備では軌道材料モニタリングなど別装置による状態監視に加え、機器の測定値（電流値など）を常時把握することにより設備全体を網羅する状態監視が今後は求められる。以下の表に車載モニタリング以外で巡視業務の高度化が考えられる手法について記す。

表.4.3.1.3-(5)：他の高度化手法

| 設備名 | 考えられる高度化手法 |
|---|---|
| 軌道設備 | 営業列車床下に搭載された軌道材料、軌道変位モニタリングにて軌道状態を監視する。 |

| 設備名 | 考えられる高度化手法 |
|---|---|
| | |
| 信号保安設備<br>踏切保安設備 | 線路内に設置されている信号制御箱内のデータを蓄積、解析することで設備の状態監視を行う。 |
| 電力設備 | 異臭、異音、振動などの状態監視を行う。 |
| 土木建築設備 | 3 次元点群データや全方位動画を活用して、建築限界や沿線施設の変状検査を行う。<br>  |

東急電鉄では車載モニタリング以外にも上記の視点から様々なアプローチをかけて、新技術による巡視業務の高度化を検討している。高度化に移行した際の削減検討結果について、保線部門では、列車添乗巡視を毎日実施しており、徒歩巡視についても週に 1 回の頻度で実施している。前方モニタリングや軌道材料、変位モニタリングを活用していくことで列車添乗巡視を週に 1 回、徒歩巡視を月に 1 回の頻度に延長可能か検討している。電気部門についても、徒歩巡視と列車添乗巡視は月に 1 回の頻度で実施しているが、高度化により 3 カ月に 1 回の頻度に延長が可能か同様に検討中である。

**現状の巡視業務**

（単位：千円・人工）

| 担当名 | 所管設備 | 区分 | 定期 | | | | 年間 | | | | 年間合計 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | | |
| | | | 頻度 | 人工 | 頻度 | 人工 | 人件費(千円) | 人工 | 人件費(千円) | 人工 | 人件費(千円) | 人工 |
| 保線 | 軌道設備 | 定期 | 回／日 | 3 | 回／週 | 80 | 28,600 | 1,095 | 101,700 | 3,840 | 130,300 | 4,935 |
| 信号 | 信号保安設備　踏切保安設備 | 定期 | 回／月 | 7 | 回／月 | 200 | 2,200 | 84 | 64,100 | 2,400 | 66,300 | 2,484 |
| 電路 | 電力設備 | 定期 | 回／月 | 5 | 回／月 | 75 | 1,600 | 60 | 24,000 | 900 | 25,600 | 960 |
| 全部署 | 異常気象時巡回※ | 不定期 | 回／月 | － | 回／月 | － | 1,200 | 48 | 1,500 | 60 | 2,800 | 108 |

※異常気象時巡回は、線路外の巡回も含む

図.4.3.1.3-(4)：現状の巡視業務人工とコスト

**高度化後の巡視業務（想定）**

| 担当名 | 所管設備 | 区分 | 定期 | | | | 年間 | | | | 年間合計 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | | |
| | | | 頻度 | 人工 | 頻度 | 人工 | 人件費(千円) | 人工 | 人件費(千円) | 人工 | 人件費(千円) | 人工 |
| 保線 | 軌道設備 | 定期 | 回／週 | 3 | 回／月 | 80 | 3,800 | 144 | 25,400 | 960 | 29,200 | 1,104 |
| 信号 | 信号保安設備　踏切保安設備 | 定期 | 回／3月 | 7 | 回／3月 | 200 | 700 | 28 | 21,300 | 800 | 22,100 | 828 |
| 電路 | 電力設備 | 定期 | 回／3月 | 5 | 回／3月 | 75 | 500 | 20 | 8,000 | 300 | 8,500 | 320 |
| 全部署 | 異常時巡回※ | 不定期 | － | | － | | 0 | 0 | 900 | 36 | 900 | 36 |

※異常気象時巡回は、線路外の巡回も含む

図.4.3.1.3-(5)：高度化後の巡視業務人工とコスト

巡視の高度化によって完全に巡視をゼロにするのではなく、車載モニタリングなどにより異常を検出した場合や季節の変わり目など外部環境に変化がある場合、技術力の維持向上を目的とした経験浅薄者への技術伝承を実施する場合などにおいて、現場での作業は今後も必要となる。また、異常時の早期復旧対応や、各種データの管理など「人」が行う業務と、「機械」に置き換えられる業務に分けて遂行していくことが今後の保守のあるべき姿と考える。

◇沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

## 1） 検証項目

実証内容については、コンソーシアムにおいて十分な協議を行い、必要に応じて指標の目標値を設定する等、実装に向けた今後の検討に資する検証を行う。検証にあたっては、定量化に必要な計測を行うと共に、課題解決システムの利用における関係者による評価を実施することで、課題や改善点について検討を行った。

踏切内の渡り残りや滞留、線路敷地内への第 3 者侵入については運行支障や人身事故を引き起こすケースも考えられることから、撮像データ→ローカル 5G 伝送→AI 判定までの一連の速度についてもリアルタイム性を考慮して検証を行った。

また、踏切滞留検知機能が現在の踏切障害物検知装置（3D レーザレーダ式）と同等以上の検知能力に達すれば、現在運用している踏切障害物検知装置を本検証で設置する踏切監視カメラ（AI 付き）に移管することで設備の簡略化が可能か合わせて検証した。

【定量面】

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 線路敷地内の安全性向上効果 | 線路敷地内の安全性向上により、運行支障や人身事故減少に資するか検証した。 |

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 踏切障害物検知装置の簡略化 | 現在の踏切障害物検知装置から映像伝送を備えた踏切監視カメラへ移管した場合の機能面、コスト面、施工面と多角的に検証した。 |

【定性面】

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 乗務員の精神的負荷軽減効果 | 踏切道での異常時は障害物検知装置が異常を検知して事前に運転士に危険を知らせるが、駅間においては事前情報が無いため、線路敷地内を網羅的に監視することで異常を事前に知らせることによる乗務員の精神的負荷が軽減されるか検討した。 |
| お客さまサービスの向上効果 | 車掌が異常現場の正確な映像情報を得ることで車内にいるお客さまへのアナウンスが具体化、迅速化されお客さまサービスの向上に繋がるか検討した。 |

## 2） 検証方法

【定量面】

| 評価・検証項目 | 検証方法 |
|---|---|
| 線路敷地内の安全性向上効果 | 第 3 者侵入実績から傾向を導き出し、事故の未然防止や第 3 者侵入後の運転再開に向けた短縮効果を検証した。 |
| 踏切障害物検知装置の簡略化 | 現在の踏切障害物検知装置（3D レーザレーダ式）と本ソリューションでのカメラ式を機能面や施工面、コスト面を算出して移管による削減効果を算出した。 |

【定性面】

| 評価・検証項目 | 概要 |
|---|---|
| 乗務員の精神的負荷軽減効果 | 乗務員や経験者へ、異常時のリアルタイム映像を取得することで乗務員負担軽減に繋がるかヒアリングを実 |

| | |
|---|---|
| | 施した。 |
| お客さまサービスの向上効果 | 乗務員や経験者へ、異常時のリアルタイム映像を取得・アナウンスすることで車内へのお客さまサービス向上に繋がるかヒアリングを実施した。 |

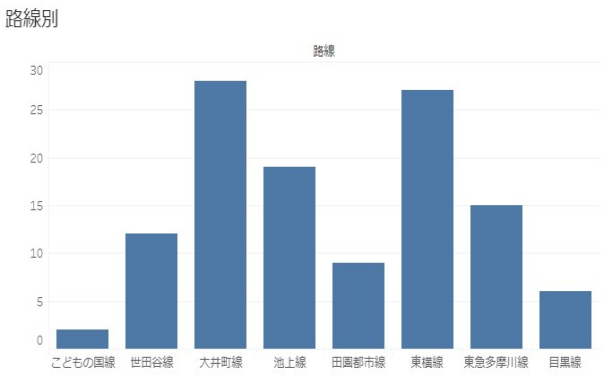
### 3） 検証結果及び考察

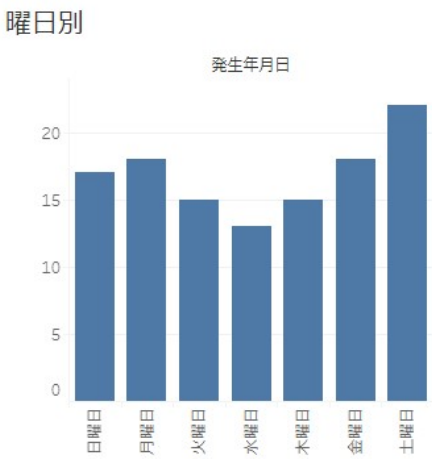
効果検証に際して検証結果を以下に示す。

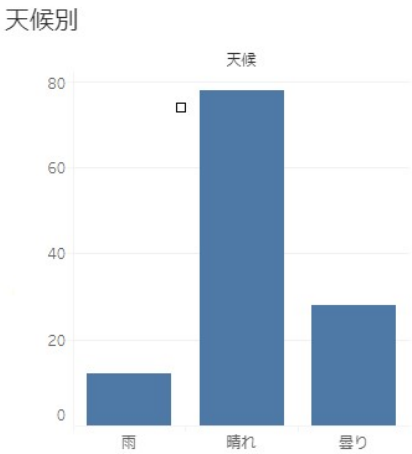
【線路敷地内の安全性向上効果】

本ソリューションを導入することで、線路敷地内における事故の未然防止や、運転再開に向けた短縮効果、また線路敷地内の安全性向上が図られるか検証を行った。

はじめに東急線における線路敷地内への侵入事例（2017～2022 年）のデータを以下にまとめた。



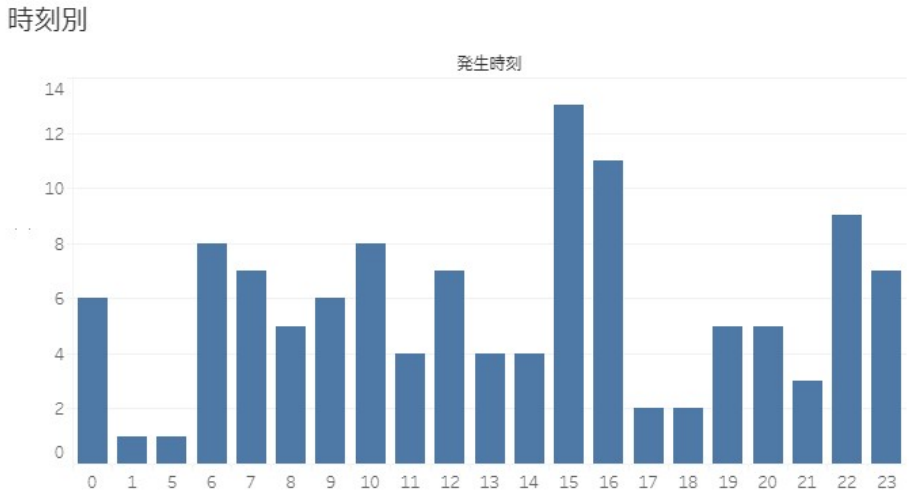



図.4.3.1.3-(5)：線路敷地内への侵入データ(2017～2022 年)

表.4.3.1.3-(5)：線路敷地内への侵入による列車支障時分(2017～2022 年)

| 運転支障時分 | 件数 |
|---|---|
| 0～5 分未満 | 66 件 |
| 5～10 分未満 | 37 件 |
| 10 分以上 | 11 件 |

上記データの通り、東急線では線路敷地内への第 3 者立ち入りが年間ベースで 20 件ほど発生しており、接触事故での支障時分は約 90 分、第 3 者立ち入りでの捜索による支障時分は最大で 20 分ほど運転再開までに時間を要している。路線別に見ると、踏切の多い路線(東横線、大井町線、池上線、東急多摩川線)は第 3 者侵入の発生件数が多く、高架や地下区間が多い路線(田園都市線、目黒線)は発生件数が少ない。本ソリューション導入に向けた設置に関する優先順位として、踏切や道路と近接している箇所が多い路線から導入することが、事故の未然防止や運転支障時分の短縮に効果が発揮されることが想定される。

事故の未然防止観点から、現在、東急線では駅ホームにホームドア、踏切道には障害物検知装置が設置されており、事故の未然防止を図っているが、線路内については運転士の目視による安全確認が主となっている。線路敷地内を AI 付きカメラにて網羅的に監視することで、運輸司令所や運転士に線路内侵入のリアルタイム情報を伝達して付近の列車の緊急停止処置を行うことで、接触事故の未然防止が図られる。

踏切道以外の沿線からの侵入も検知が可能となる

現在、踏切道は渡り残りの監視を行っているが、他エリアは監視外

図.4.3.1.3-(6):沿線、踏切付近の風景

第 3 者の線路内敷地侵入による運転再開までの短縮の観点については、第 3 者の線路敷地外への退出確認または第 3 者を確保して安全確認が取れ次第運転を再開しているが、上記以外のケースについては、駅係員が該当の駅間線路内を歩いて捜索するため、運転再開までには時間を要する。本ソリューションを活用することで、侵入・退出経路が判明するため、駅間全ての捜索ではなく該当区間のみ捜索をして線路敷地内の安全確認を行うことで、現在よりも運転再開時分の短縮が見込まれる。

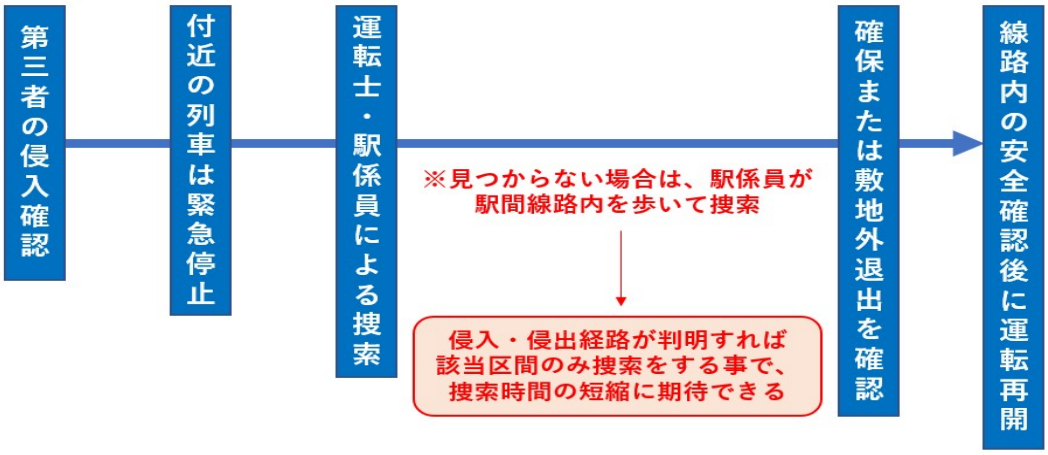



図.4.3.1.3-(7)：線路敷地内侵入～運転再開までの流れ

また将来の就業人口減少に伴い、ドライバーレス運転を検討していく中で有効なソリューションの 1 つと考える。ドライバーレス運転には、運転士の「目」に代わる前方監視のシステムを整備して、異常情報を運輸司令所に通報することが必要となる。引き続き、AI 精度の向上や人物以外の検知を行いソリューションのブラッシュアップを実施していくことで、更なる線路敷地内の安全性向上に努めていきたい。

【踏切障害物検知装置の簡略化】

現在、東急線の踏切には踏切障害物検知装置が設置されており、その多くに 3D レーザレーダ式を採用しており、自動車などが踏切内で立ち往生した際にセンサーが検知をして接近してくる列車に踏切内の異常を知らせる仕組みとなっている。

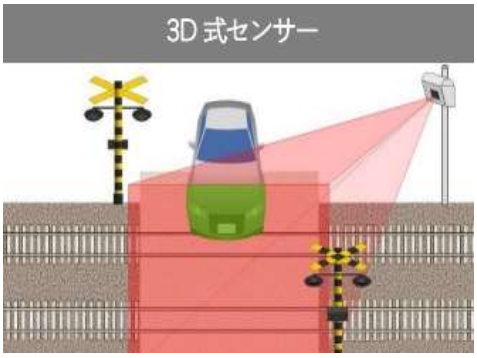



図.4.3.1.3-(8)：踏切障害物検知装置(既設設備)

本実証では、レーザレーダ式から AI カメラに置き換えた場合の「機器費」「材料費」「労務費」の導入費について比較・検証を行った。

表.4.3.1.3-(5)：機器費の比較表(既設設備・カメラ式)

**既設設備**

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 三次元ﾚｰｻﾞﾚｰﾀﾞ式踏切障害物検知装置 | | 式 | 1 | 7,795,800 | 7,795,800 | |
| ※初期設定は内製にて実施 | | | | | | |

**カメラ式**

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 低照度カメラ | ハードウェア | 式 | 1 | 200,000 | 200,000 | |
| AE2100 | | 式 | 1 | 800,000 | 800,000 | |
| PLC | | 式 | 1 | 500,000 | 500,000 | |
| ライセンス | ソフトウェア | 式 | 1 | 1,500,000 | 1,500,000 | |
| 初期設定・キッティング費用 | ー | 式 | 1 | 1,000,000 | 1,000,000 | |
| 小計 | | | | | 4,000,000 | |

・機器費に対する考察

機器費について既設設備では、図 4.3.1(3)-6-4 の装置から踏切内の渡り残りを検知しており、機器の初期設定については外注すること無く、内製にて設定が可能となっている。一方カメラ式についてはカメラなどのハードウェアやソフトウェア、初期設定を含めた費用となっているが既設と比較して 380 万円ほど安価に手配することが可能となる。

表.4.3.1.3-(6)：材料費の比較表(既設設備・カメラ式)

**既設設備**

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 評価反射体 | | 枚 | 3 | 5,380 | 16,140 | |
| 待避注意標識 | 42.7φ用　山型C型 | 組 | 4 | 16,140 | 64,560 | |
| ケーブル横断標識板 | 100*200*1.5 アルミ合金 | 枚 | 6 | 1,870 | 11,220 | |
| 評価反射体取付金物 | 単ポール　L=3,900 | 組 | 1 | 33,500 | 33,500 | |
| 評価反射体取付金物（特殊金物） | 単ポール　L=3,100 | 組 | 1 | 40,200 | 40,200 | |
| 待避注意標識取付金物 | ﾍﾞｰｽ付特殊 | 組 | 4 | 60,800 | 243,200 | |
| ケーブル横断標識板取り付け単ポール | 高φ1000 | 本 | 6 | 2,100 | 12,600 | |
| 器具箱変換架台 | 3D順検Ut用 | 組 | 1 | 97,000 | 97,000 | |
| ｺﾈｸﾀｰ付ﾉﾝﾒﾀﾘｯｸ光ﾌｧｲﾊﾞｰｹｰﾌﾞﾙ | OFC-4GW-WBNME-SC-S 18m | 本 | 1 | 158,500 | 158,500 | |
| エスロンパイプ | | 本 | 8 | 4,180 | 33,440 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×４Ｃ | m | 238 | 378 | 89,964 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×６Ｃ | m | 372 | 496 | 184,512 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×１９Ｃ | m | 32 | 1,206 | 38,592 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ５．５Ｓｑ×４Ｃ | m | 18 | 742 | 13,356 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | １０Ｓｑ×２Ｃ | m | 32 | 734 | 23,488 | |
| 信号用絶縁電線（ＩＶ） | １４Ｓｑ | m | 5 | 328 | 1,640 | |
| プラスホース | PFCT25 | m | 51 | 367 | 18,717 | |
| プラスホース | PFCT42 | m | 30 | 691 | 20,730 | |
| エフレックス | FP-50 | m | 11 | 1,030 | 11,330 | |
| 連結式接地棒 | φ１４×１５００ｍｍ | 本 | 8 | 1,800 | 14,400 | |
| 連結式接地棒用　リード端子 | １４φ*１ｍ | 本 | 1 | 756 | 756 | |
| 接地抵抗低減剤 | | 袋 | 1 | 6,900 | 6,900 | |
| ステンレスバンド | 50m | 巻 | 1 | 10,500 | 10,500 | |
| ステンレスバンド締付金具 | 50個 | 袋 | 1 | 8,500 | 8,500 | |
| ステンレスバンドリングサドル | 50個 | 袋 | 1 | 3,000 | 3,000 | |
| 錠前 | A-1 | 個 | 2 | 2,630 | 5,260 | |
| 順検ユニット用スイッチカバー | 京三・大岡　共通 | 個 | 2 | 3,850 | 7,700 | |
| 真砂土 | 草止め用 | 袋 | 96 | 2,160 | 207,360 | |
| 張芝 | 草止め用 | 本 | 9 | 2,160 | 19,440 | |
| 砂利０－４０ | 草止め用 | 袋 | 29 | 3,280 | 95,120 | |
| 点検台 | 梯子付 | 組 | 1 | 132,250 | 132,250 | |
| コンクリート柱 | S7-12-250 | 本 | 1 | 42,720 | 42,720 | |
| パテ | | kg | 5 | 4,320 | 21,600 | |
| モルタル補修材 | | 箇所 | 15 | 4,950 | 74,250 | |
| 小計 | | | | | 1,762,445 | |

カメラ式

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 評価反射体 | | 枚 | 0 | 5,380 | 0 | |
| 待避注意標識 | 42.7φ用　山型C型 | 組 | 4 | 16,140 | 64,560 | |
| ケーブル横断標識板 | 100*200*1.5 アルミ合金 | 枚 | 6 | 1,870 | 11,220 | |
| 評価反射体取付金物 | 単ポール　L=3,900 | 組 | 0 | 33,500 | 0 | |
| 評価反射体取付金物（特殊金物） | 単ポール　L=3,100 | 組 | 0 | 40,200 | 0 | |
| 待避注意標識取付金物 | ベース付特殊 | 組 | 4 | 60,800 | 243,200 | |
| ケーブル横断標識板取り付け単ポール | 高さ1000 | 本 | 6 | 2,100 | 12,600 | |
| 器具箱変換架台 | 3D即検Ut用 | 組 | 1 | 97,000 | 97,000 | |
| 3ヨクター付ノンメタリック光ファイバーケーブル | OFC-4GW-WBNME-SC-S 18m | 本 | 1 | 158,500 | 0 | |
| エスロンパイプ | | 本 | 8 | 4,180 | 33,440 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×４Ｃ | m | 238 | 378 | 89,964 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×６Ｃ | m | 372 | 496 | 184,512 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ２Ｓｑ×１９Ｃ | m | 32 | 1,206 | 38,592 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | ５．５Ｓｑ×４Ｃ | m | 18 | 742 | 13,356 | |
| 信号用ケーブル（SVV-V） | １０Ｓｑ×２Ｃ | m | 32 | 734 | 23,488 | |
| LANケーブル | STP | m | 18 | 413 | 7,434 | |
| LANケーブルプラグ | STP | 個 | 4 | 100 | 400 | |
| 踏切監視カメラ取付金物 | | 台 | 1 | 56,000 | 56,000 | |
| 赤外線ライト取付金物 | | 台 | 1 | 15,000 | 15,000 | |
| カメラ式電源 | PoE | 台 | 1 | 14,000 | 14,000 | |
| 信号用絶縁電線（ＩＶ） | １４Ｓｑ | m | 5 | 328 | 1,640 | |
| プラスホース | PFCT25 | m | 51 | 367 | 18,717 | |
| プラスホース | PFCT42 | m | 30 | 691 | 20,730 | |
| エフレックス | FP-50 | m | 11 | 1,030 | 11,330 | |
| 連結式接地棒 | Φ１４×１５００ｍｍ | 本 | 8 | 1,800 | 14,400 | |
| 連結式接地棒用　リード端子 | １４φ*１ｍ | 本 | 1 | 756 | 756 | |
| 接地抵抗低減剤 | | 袋 | 1 | 6,900 | 6,900 | |
| ステンレスバンド | 50m | 巻 | 1 | 10,500 | 10,500 | |
| ステンレスバンド締付金具 | 50個 | 袋 | 1 | 8,500 | 8,500 | |
| ステンレスバンドリングサドル | 50個 | 袋 | 1 | 3,000 | 3,000 | |
| 錠前 | A-1 | 個 | 2 | 2,630 | 5,260 | |
| 即検ユニット用スイッチカバー | | 個 | 2 | 3,850 | 7,700 | |
| 真砂土 | 草止め用 | 袋 | 96 | 2,160 | 207,360 | |
| 高さ板 | 草止め用 | 本 | 9 | 2,160 | 19,440 | |
| 砂利０－４０ | 草止め用 | 袋 | 29 | 3,280 | 95,120 | |
| 点検台 | 梯子付 | 組 | 1 | 132,250 | 132,250 | |
| コンクリート柱 | S7-12-250 | 本 | 1 | 42,720 | 42,720 | |
| パテ | | kg | 5 | 4,320 | 21,600 | |
| モルタル補修材 | | 箇所 | 15 | 4,950 | 74,250 | |
| 小計 | | | | | 1,606,939 | |

・材料費に対する考察

材料費について、カメラ式では既設のレーザレーダ設定時に用いる評価反射体や光ケーブルが不要となるが、カメラに接続する LAN ケーブルを別途用意する必要があり、踏切障害物検知装置と踏切保安装置を接続するケーブル類などについては既設とカメラ式でも同様に必要となることが考えられるため、材料費の削減効果については見込めない。

表.4.3.1.3-(7):労務費の比較表(既設設備・カメラ式)

**既設設備**

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 評価反射体金物新設 | 単ポール | か所 | 2 | 7,360 | 14,720 | |
| 評価反射体新設 | | か所 | 3 | 3,680 | 11,040 | |
| 待避注意金物新設 | 単ポール | か所 | 4 | 10,500 | 42,000 | |
| 待避注意標識新設 | | か所 | 4 | 5,280 | 21,120 | |
| ケーブル横断標識新設 | 単ポール | か所 | 6 | 7,360 | 44,160 | |
| 器具箱新設 | 路検ユニット用 | 台 | 1 | 132,000 | 132,000 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×４Ｃ | m | 238 | 405 | 96,390 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×６Ｃ | m | 357 | 450 | 160,650 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×１９Ｃ | m | 32 | 735 | 23,520 | |
| ケーブル新設 | ５．５ＳＱ×４Ｃ | m | 18 | 585 | 10,530 | |
| ケーブル新設 | １０ＳＱ×２Ｃ | m | 32 | 450 | 14,400 | |
| ケーブル（接地）新設 | ＩＶ　１４ＳＱ×１Ｃ | m | 5 | 180 | 900 | |
| 接地極埋設 | Ａ，Ｃ種 | か所 | 1 | 49,100 | 49,100 | |
| 光ケーブル布設 | コルゲート型 | m | 18 | 570 | 10,260 | |
| 光コード布設 | １Ｃ～４Ｃ | m | 3 | 570 | 1,710 | |
| 車輪検知子移設 | ＴＡＣ－７Ｂ本体 | 組 | 1 | 14,850 | 14,850 | |
| 各種試験調整費 | TAC調整費 | 人工 | 5 | 32,500 | 162,500 | |
| 器具箱移設 | 路検ユニット用 | 台 | 1 | 178,200 | 178,200 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×２Ｃ | m | 12 | 550 | 6,600 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×４Ｃ | m | 3 | 585 | 1,755 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×６Ｃ | m | 6 | 666 | 3,996 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×１９Ｃ | m | 6 | 1,098 | 6,588 | |
| ケーブル移設 | １０ＳＱ×２Ｃ | m | 3 | 666 | 1,998 | |
| ケーブル（接地）移設 | ＩＶ　１４ＳＱ×１Ｃ | m | 3 | 387 | 1,161 | |
| 光ケーブル移設 | 1C,2C　ﾄｰｸﾞｰ線2C入り | m | 18 | 855 | 15,390 | |
| 端末処理 | １Ｃ | 片口 | 3 | 2,600 | 7,800 | |
| 端末処理 | ２Ｃ | 片口 | 2 | 2,600 | 5,200 | |
| 端末処理 | ４Ｃ | 片口 | 6 | 3,990 | 23,940 | |
| 端末処理 | ６Ｃ | 片口 | 8 | 5,210 | 41,680 | |
| 端末処理 | １９Ｃ | 片口 | 2 | 15,600 | 31,200 | |
| コネクタ取付 | 光ケーブル・ＬＡＮ | 片口 | 4 | 19,600 | 78,400 | |
| プラスホース新設 | １９φ～３８φ | m | 81 | 920 | 74,520 | |
| プラスホース新設 | ４２φ～７５φ | m | 11 | 1,280 | 14,080 | |
| レーザーレーダーヘッド新設 | | 台 | 1 | 22,000 | 22,000 | |
| レーザーレーダーヘッドＪＢ新設 | | 個 | 1 | 9,210 | 9,210 | |
| レーザーレーダー制御器新設 | | 台 | 1 | 37,400 | 37,400 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 特殊信号発光機（ＬＥＤ）新設 | | 台 | 3 | 40,000 | 120,000 | |
| 特殊信号発光機取付金物新設 | | 台 | 3 | 29,900 | 89,700 | |
| 信号機柱新設 | コンクリー柱　Ｓ－７ | 本 | 1 | 82,900 | 82,900 | |
| コンクリート柱用穴掘 | 各種 | 個所 | 1 | 53,900 | 53,900 | |
| 器具箱支換架台新設 | ３Ｄ用 | 基 | 1 | 88,000 | 88,000 | |
| 点検台新設 | 特発用梯子共 | 組 | 1 | 26,400 | 26,400 | |
| リレー新設 | | 個 | 16 | 9,210 | 147,360 | |
| 小型機器新設 | | 台 | 3 | 7,670 | 23,010 | |
| 埋設管路ケーブル通線 | ケーブル１本当たり | 本 | 3 | 8,000 | 24,000 | |
| 砂利新設 | | ㎥ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| 真砂土新設 | | ㎥ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| 型枠取外し取付 | 一般 | ㎡ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| コンクリートトラフフタ閉閉 | ＃　１５０～＃　２００ | 枚 | 738 | 270 | 199,260 | |
| ハンドホール蓋閉閉 | | 枚 | 4 | 700 | 2,800 | |
| コンクリートトラフ加工 | ケーブル口加工 | 箇所 | 9 | 4,000 | 36,000 | |
| 小動物侵入対策 | | 箇所 | 9 | 4,000 | 36,000 | |
| 軌陸車　運転指揮者 | | 人工 | 2 | 32,500 | 65,000 | |
| 各種試験調整費 | | 人工 | 4 | 32,500 | 130,000 | |
| 交通誘導員 | | 人工 | 4 | 26,700 | 106,800 | |
| 列車監視員 | | 人工 | 12 | 26,700 | 320,400 | |
| 現場調査 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 配線調査 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 竣工図書 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 手順書作成 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 図面作成 | 工事、配線図等 | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 重量物運搬費 | 3D廃Ut、CP柱、ケーブル等 | t | 5.37 | 200,000 | 1,074,000 | |
| 短絡接地 | | 回 | 1 | 65,000 | 65,000 | |
| 軌陸車 | | 回 | 3 | 32,500 | 97,500 | |
| 小計 | | | | | 4,906,598 | |

カメラ式

| 項目 | | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 評価反射体金物新設 | 単ポール | か所 | 0 | 7,360 | 0 | |
| 評価反射体新設 | | か所 | 0 | 3,680 | 0 | |
| 待避注意金物新設 | 単ポール | か所 | 4 | 10,500 | 42,000 | |
| 待避注意標識新設 | | か所 | 4 | 5,280 | 21,120 | |
| ケーブル横断標識新設 | 単ポール | か所 | 6 | 7,360 | 44,160 | |
| 器具箱新設 | 障検ユニット用 | 台 | 1 | 132,000 | 132,000 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×４Ｃ | m | 238 | 405 | 96,390 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×６Ｃ | m | 357 | 450 | 160,650 | |
| ケーブル新設 | ２ＳＱ×１９Ｃ | m | 32 | 735 | 23,520 | |
| ケーブル新設 | ５．５ＳＱ×４Ｃ | m | 18 | 585 | 10,530 | |
| ケーブル新設 | １０ＳＱ×２Ｃ | m | 32 | 450 | 14,400 | |
| ケーブル（接地）新設 | ＩＶ　１４ＳＱ×１Ｃ | m | 5 | 180 | 900 | |
| 接地極埋設 | Ａ，Ｃ種 | か所 | 1 | 49,100 | 49,100 | |
| LANケーブル | STP | m | 18 | 761 | 13,698 | |
| LANケーブルプラグ | STP | 個 | 4 | 3,244 | 12,976 | |
| 車輪検知子移設 | ＴＡＣ－７Ｂ本体 | 組 | 1 | 14,850 | 0 | |
| 各種試験調整費 | TAC調整費 | 人工 | 5 | 32,500 | 0 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 器具箱移設 | 障検ユニット用 | 台 | 1 | 178,200 | 178,200 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×２Ｃ | m | 12 | 550 | 6,600 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×４Ｃ | m | 3 | 585 | 1,755 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×６Ｃ | m | 6 | 666 | 3,996 | |
| ケーブル移設 | ２ＳＱ×１９Ｃ | m | 6 | 1,098 | 6,588 | |
| ケーブル移設 | １０ＳＱ×２Ｃ | m | 3 | 666 | 1,998 | |
| ケーブル（接地）移設 | ＩＶ　１４ＳＱ×１Ｃ | m | 3 | 387 | 1,161 | |
| 光ケーブル移設 | 1C,2C　ﾋｰﾀｰ線2C入り | m | 18 | 855 | 15,390 | |
| 端末処理 | １Ｃ | 片口 | 3 | 2,600 | 7,800 | |
| 端末処理 | ２Ｃ | 片口 | 2 | 2,600 | 5,200 | |
| 端末処理 | ４Ｃ | 片口 | 6 | 3,990 | 23,940 | |
| 端末処理 | ６Ｃ | 片口 | 8 | 5,210 | 41,680 | |
| 端末処理 | １９Ｃ | 片口 | 2 | 15,600 | 31,200 | |
| コネクタ取付 | 光ケーブル・ＬＡＮ | 片口 | 4 | 19,600 | 78,400 | |
| プラスホース新設 | １９φ～３８φ | m | 81 | 920 | 74,520 | |
| プラスホース新設 | ４２φ～７５φ | m | 11 | 1,280 | 14,080 | |
| レーザーレーダーヘッド新設 | | 台 | 1 | 22,000 | 0 | |
| レーザーレーダーヘッドＪＢ新設 | | 個 | 1 | 9,210 | 0 | |
| レーザーレーダー制御器新設 | | 台 | 1 | 37,400 | 0 | |
| 踏切監視カメラ | | 台 | 1 | 21,026 | 21,026 | |
| 踏切監視カメラ取付金物 | | 台 | 1 | 25,232 | 25,232 | |
| 赤外線ライト | | 台 | 1 | 12,616 | 12,616 | |
| 赤外線ライト取付金物 | | 台 | 1 | 25,232 | 25,232 | |
| カメラ式電源 | PoE | 台 | 1 | 6,728 | 6,728 | |
| 特殊信号発光機（ＬＥＤ）新設 | | 台 | 3 | 40,000 | 120,000 | |
| 特殊信号発光機取付金物新設 | | 台 | 3 | 29,900 | 89,700 | |
| 信号機柱新設 | コンクリー柱　Ｓ－７ | 本 | 1 | 82,900 | 82,900 | |
| コンクリート柱用穴掘 | 各種 | 個所 | 1 | 53,900 | 53,900 | |
| 器具箱変換架台新設 | ３Ｄ用 | 基 | 1 | 88,000 | 88,000 | |
| 点検台新設 | 特発用梯子共 | 組 | 1 | 26,400 | 26,400 | |
| リレー新設 | | 個 | 16 | 9,210 | 147,360 | |
| 小型機器新設 | | 台 | 3 | 7,670 | 23,010 | |
| 埋設管路ケーブル通線 | ケーブル１本当たり | 本 | 3 | 8,000 | 24,000 | |
| 砂利新設 | | ㎥ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| 真砂土新設 | | ㎥ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| 型枠取外し取付 | 一般 | ㎥ | 12 | 13,350 | 160,200 | |
| コンクリートトラフフタ閉閉 | ＃　１５０～＃　２００ | 枚 | 738 | 270 | 199,260 | |
| ハンドホール蓋閉閉 | | 枚 | 4 | 700 | 2,800 | |
| コンクリートトラフ加工 | ケーブル口加工 | 箇所 | 9 | 4,000 | 36,000 | |
| 小動物侵入対策 | | 箇所 | 9 | 4,000 | 36,000 | |
| 軌陸車　運転指揮者 | | 人工 | 2 | 32,500 | 65,000 | |
| 各種試験調整費 | | 人工 | 4 | 32,500 | 130,000 | |
| 交通誘導員 | | 人工 | 4 | 26,700 | 106,800 | |
| 列車監視員 | | 人工 | 12 | 26,700 | 320,400 | |
| 現場調査 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 配線調査 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 竣工図書 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 手順書作成 | | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 図面作成 | 工事、配線図等 | 人工 | 2 | 26,700 | 53,400 | |
| 重量物運搬費 | 3D障Ut、CP柱、ケーブル等 | t | 5.37 | 200,000 | 1,074,000 | |
| 短絡接地 | | 回 | 1 | 65,000 | 65,000 | |
| 軌陸車 | | 回 | 3 | 32,500 | 97,500 | |
| 小計 | | | | | 4,740,416 | |

・労務費に対する考察

労務費についても、カメラ式では既設のレーザレーダ設定時に用いる評価反射体や光ケーブルが不要となるが、カメラに接続する LAN ケーブルを別途用意する必要があり、踏切障害物検知装置と踏切保安装置を接続するケーブル類などについては既設とカメラ式でも同様に必要となることが考えられるため、労務費の削減効果については少額となる。

・まとめ

カメラ式は材料費、労務費については差異が出ないが、機器費が安価であるため既設設備と比較すると導入費は安価になることが想定される。課題としては、踏切内の異常検知を既設設備と同等以上のレベルになることや、カメラ自体の耐久性や悪天時（豪雨や雪）にも好天時と同様に異常検知が可能など様々な課題を解決していくことで本導入を目指していく。

【乗務員の精神的負荷軽減効果】

【お客さまサービスの向上効果】

本ソリューションを列車の乗務員にリアルタイムで配信することで、精神的負担の軽減や、お客さまサービスの向上が図られるか、東急電鉄の乗務員や経験者へヒアリングを行った結果を以下に示す。

① 線路敷地内への第 3 者立ち入り発見時

| | 運転方 | 心理状態 |
|---|---|---|
| 運転士 | ・非常ブレーキ操作<br>・防護発報を押下<br>・運輸司令所へ通報 | ・第 3 者と列車が接触をしていないか<br>・第 3 者は線路外に退出したか |

| | アナウンス（例） | 心理状態 |
|---|---|---|
| 車掌 | ・線路内に人が立ち入ったため緊急停止しました。 | ・現場の状況が把握できずに不安<br>・お客さまへどのようにアナウンスをするか |

② 緊急停車後の捜索時

| | 捜索方 | 心理状態 |
|---|---|---|
| 運転士 | ・第 3 者が視認できれば確保に向かう<br>または駅係員が捜索 | ・第 3 者と接触していないか不安 |

| | アナウンス（例） | 心理状態 |
|---|---|---|
| 車掌 | ・現在、線路内の安全確認をしております。 | ・第 3 者と接触していないか不安<br>・車内のお客さまへ最新の状況を伝えたい |

③　運転再開時

| | 捜索方 | 心理状態 |
|---|---|---|
| 運転士 | ・現場に応援に来た駅係員に第 3 者を引き継ぎ<br>・線路内の安全を確保の旨、運輸司令所へ通報して運転再開の指示を受ける | 第 3 者を確保できず逃走してしまった場合<br>・再度線路内に侵入してくるかもしれない<br>・列車の床下に隠れていて、出発後に接触してしまうかもしれない |

| | アナウンス(例) | 心理状態 |
|---|---|---|
| 車掌 | ・線路内の安全が確保できましたので運転を再開します | ・運転再開を車内のお客さまにアナウンスできて安心 |

④　本ソリューション導入の効果

| | 効果 |
|---|---|
| 運転士 | ・第 3 者の線路外退出がリアルタイムで判明するため、線路内安全確保のスピードが向上し、運行支障時間の短縮に繋がる<br>・接触事故の「発生」と「未然防止」では、後々の運行支障時間が大きく異なるため電車をご利用のお客さまに対しても一定の効果がある<br>・カメラ映像で確認することで、第 3 者の容姿がわかり捜索時の目安となる。<br>・事前に警報が上がるため、急をつく操作が減ることは精神的負担の軽減に繋がる。 |
| 車掌 | ・捜索中の映像も確認でき、情報量が格段で上がるので、車内待機中のお客さまに正確な情報をアナウンスできるので、安心感向上にも繋がるのではないか |

・まとめ

ヒアリング結果により、乗務員(運転士・車掌)が本ソリューションを活用することで、乗務員の精神的負荷軽減や、お客さまサービス向上効果を見込めることがわかった。

課題としては運転士が乗務中にタブレットなどの UI 画面を確認することに対しては、運転上前方注視をすることが求められる中でどのように運用していくことが安全上正しいのか、別途整理が必要である。

## （4） ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

■ 車載モニタリングカメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

・営業列車での駅停車時間内に大容量映像データ伝送し、Web 表示までの処理時間は駅到着後 20 分以内（目標 60 分以内）を達成。

・季節性や時間帯、天候による環境変化へ対応。AI 精度向上や運用方を含めた検討を深度化することでメンテナンス業務の高度化実現を見込む。

・業務の自動化や同業他社への展開に向けた、対象設備の拡充や学習データの共通化などの継続的な取り組みが必要。

■ 沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性向上

・日中時間帯（晴れ）の条件化において検知可能距離（170m）を達成。

・線路敷地内への侵入、退出経路が判明することで、運転再開時間の短縮が期待でき、ソリューションの有効性を確認した。

・夜間の検知距離改善および、運輸司令所の運行監視システムや、鉄道信号機との連動など実用化に向けて継続的検討を行う。

### 4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

#### (1) 経済性・市場性の検証

##### 1) 検証項目

① 以下ケースそれぞれにおける、経済メリットの最大ポテンシャルの試算。

a. 東急電鉄単体でローカル 5G ソリューションを活用(シングルユース)した場合(フェーズ 1)

b. 他鉄道事業者との共同利用した場合(フェーズ 2)

② 上記(a)(b)において発生する費用の足元の価格水準と、経済合理性成立のための価格を比較。

③ ②で算出された価格の差をもとに、サービス提供事業者として取りうる方策を検討した。

④ 市場性の調査として、コンソーシアム参画鉄道事業者へのヒアリングなどを通じて、鉄道事業者における DX 活用の市場規模・成長性などについて整理。

##### 2) 検証方法

1)-①については、住友商事および東急電鉄が主体となり、4.3.1-(3)効果検証の結果を踏まえ、導入・利用による鉄道事業者に生じる経済メリットの検証を行い、経済メリットに関する定量的な分析を行った。分析時には、東急電鉄における課題解決に資する、費用削減などの効率化、業務における安全性向上、付加価値向上など、直接的・間接的な効果について整理した。

1)-②については、住友商事、東急電鉄、富士通等が主体となり、現時点での機器の提供価格を調査し、その価格をもとに東急電鉄 1 社へソリューションを導入した場合と鉄道事業者複数社へ導入した場合で経済性が合理的であることを検証した。

1)-③および④については、①②での結果をもとに、コンソーシアム各社共同で検討を行った。

具体的には、ユーザ候補企業へのニーズ調査や複数ベンダー企業への開発計画見込みなどのヒアリングを行い、同調査結果をもとに分析を行った。

##### 3) 検証結果及び考察

下記ケースそれぞれにおける、経済メリットのポテンシャルの試算を行う。

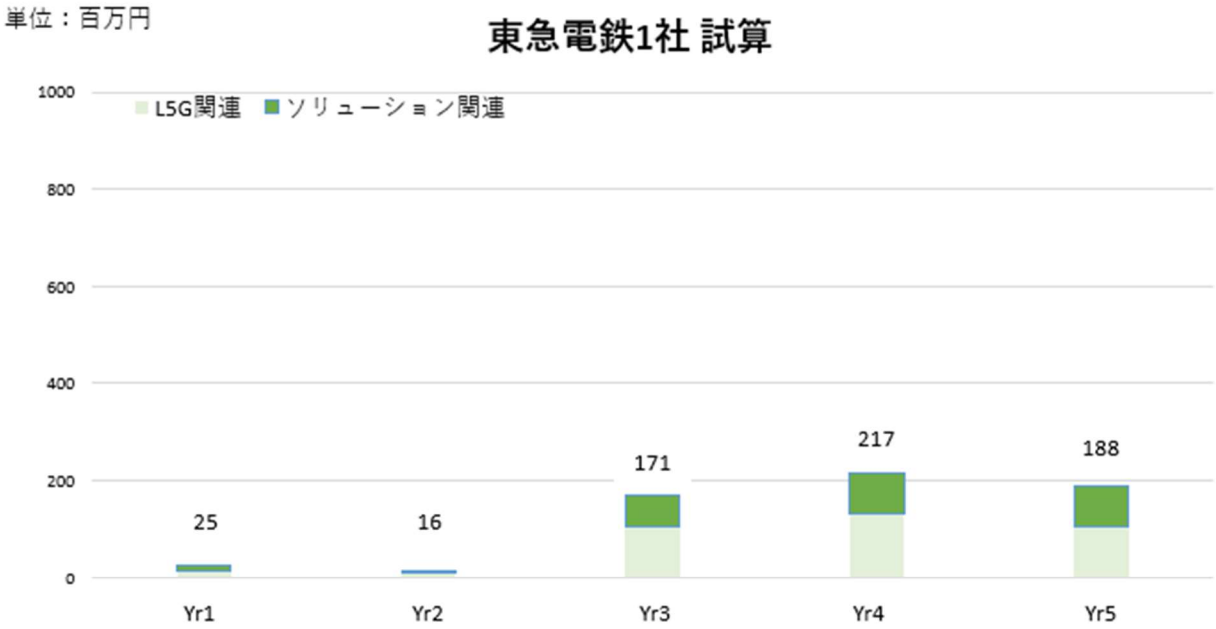
a. 東急電鉄単体でローカル 5G ソリューションを活用(シングルユース)した場合(フェーズ 1)

b. 他鉄道事業者との共同利用した場合(フェーズ 2)

上記 a, b において試算した結果は以下の通り。

ローカル 5G の売上試算方法は駅単価 x 駅数とし、ソリューションの売上試算方法は導入車両 x 路線数としている。

下図 4.3.2-(1)-(1) 東急電鉄のみ導入時 売上イメージに見られる通り、東急電鉄 1 社のみの場合、売上は緩やかに上昇するが、インパクトとしては小さい。しかしながら、図 4.3.2-(1)-(2) 複数電鉄導入時 売上イメージの通り、複数鉄道事業者にて共用した場合、Yr4 以降に著しい効果を見ることができた。




| 試算前提 | 累計事業者数 | 1社 |
|---|---|---|
| | 累計駅数 | 24駅 |

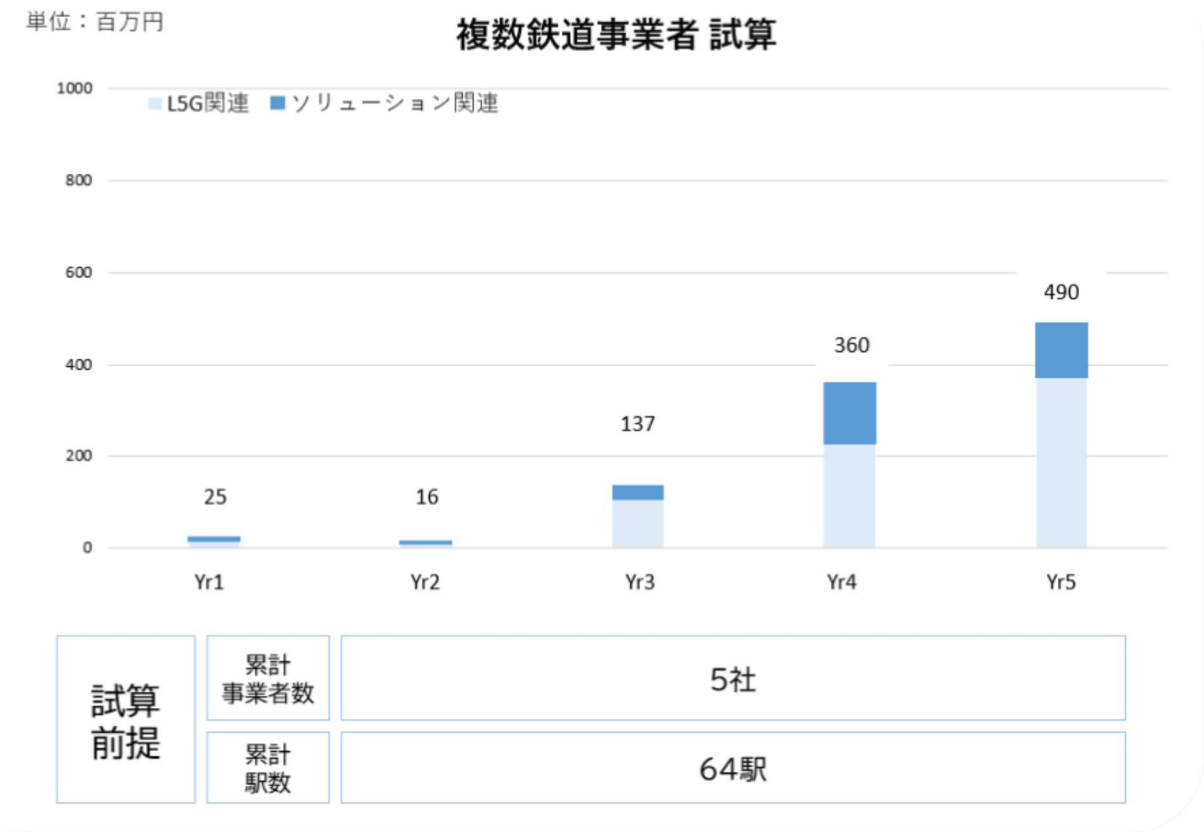



図.4.3.2.1-(2)：複数電鉄導入時 売上イメージ

上記の図で示す通り、現時点では、a.シングルユースのケースで一定の合理性が成り立ち、b.にて、一定数の事業者と共同で利用することで、更に合理的な経済性が見込めると結論付けた。

また本実証で実現したソリューションを、将来的に東急電鉄の駅 24 拠点において導入を想定しており、省人効果として約 500 百万円／年の人件費の削減効果が見込まれている。複数の鉄道事業者がローカル 5G 機器の一部を共有化することで初期導入費用を抑えることが可能(一例としてローカル 5G コアの共有で約 5 百万円の削減効果を見込める)であることから、機器費用及びランニング費用を複数事業者でワリカンを享受できる事業モデルの考案検討を進めている。また地方鉄道においても、ローカル 5G 機器及びソリューションを共有することで財務体力の少ない地方鉄道の課題における効果の試算、また試算した費用内で実施できる事業モデルの実現に向けて検討している。

## (2)　運用スキーム・ビジネスモデルの検討

### 1)　検証項目

運用スキーム・ビジネスモデルを検討すべく、以下に示すビジネスモデルキャンパスを活用、主体やターゲット、パートナーなどを検討した。その他、ビジネスモデルの実装性をより高めるために必要なアクションも検討した。

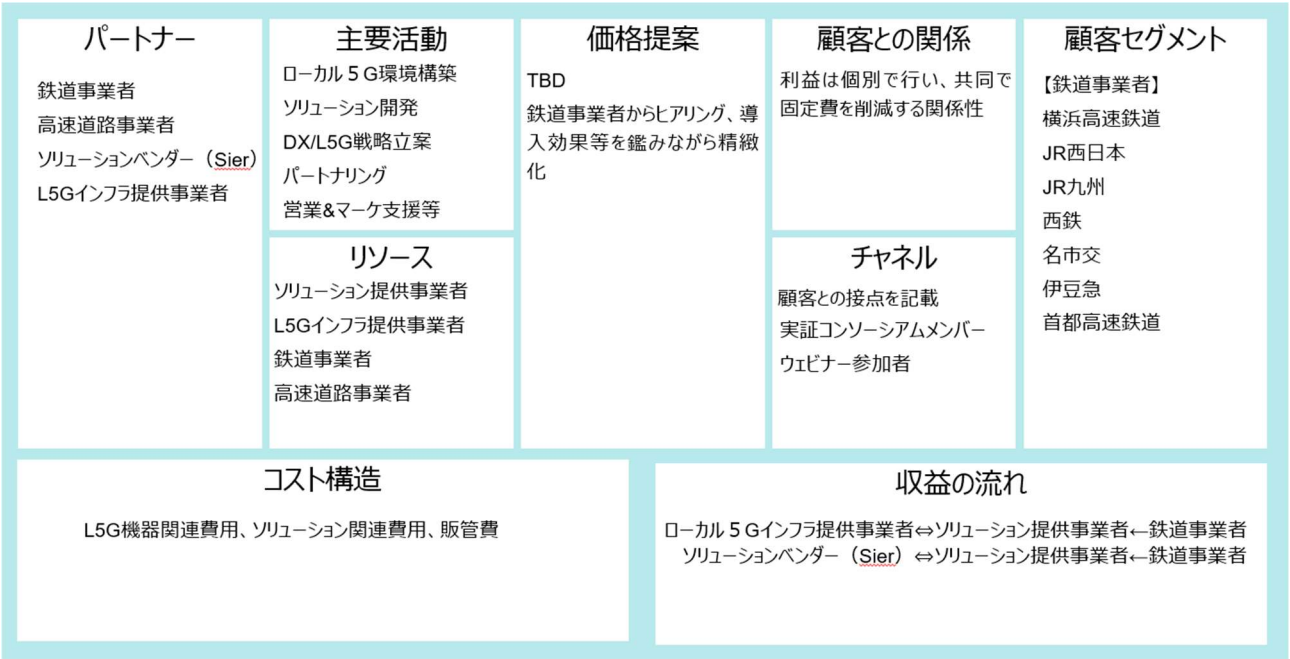



図.4.3.2.2-(1)：ビジネスモデルキャンパス

### 2)　検証方法

住友商事および東急電鉄が中心となり、2022 年 10 月よりビジネスモデル検討に関する定例会議（週 1 回）を継続、11 月からは東急㈱も参画し、多方面からの意見をもらいつつ、実装・普及展開を確実にするための定例会議を実施している。同会議体においてビジネスモデルコンセプトの作成や実装・普及展開に向けた検証項目の洗い出しなどの議論を通して、ビジネスモデルの仮説構築を行った。また、隔月（2022 年 12 月、2023 年 2 月）にて関係各社のマネジメント層が参加するステアリングコミッティーを開催し、令和 4 年度実証実験の 3 月には経営層に向けた報告会も予定している。更に、同仮説の検証をすべく、コンソーシアム内外の鉄道事業者や、ベンダー企業、業界有識者などにヒアリングを行った。住友商事および東急電鉄を中心とした定例会議にて実装に向けた 2023 年度の試運転及び東急東横線における商用化と並行し、2024 年度からの普及展開を検討するアクションと 2023 年度東急電鉄東横線での商用化におけるビジネスモデル及び 2024 年度から予定している他鉄道事業者への普及展開におけるビジネスモデルを以下の通り整理した。

## 事業化に向けたアクション整理

**試運転及び商用化（2023年度）と並行し、2024年度からの事業化を検討するアクションを整理。**
**実行までの4つのフェーズに分けてアクションを実施する。**

TD：東急電鉄
SC：住友商事

| アイデア検証 | |
|---|---|
| 事業モデルコンセプトの検討・確立 | SC |
| 新しいソリューションの検討 | SC・TD |
| 鉄道各社へソリューションにつきヒアリング | SC・TD |
| 鉄道各社へソリューションにつきアンケート | SC |
| ポテンシャルユーザー訪問、ユーザー理解 | SC |
| 需要開拓仮説・競合仮説 | SC・TD |
| 鉄道業界流通チャネルと価格の仮説 | SC・TD |

| パートナリング選定 | |
|---|---|
| 仮説検証とブラッシュアップ | SC |
| 顧客課題・ソリューションの候補出し | SC |
| ソリューション仮説選定 | SC ・TD |
| エバンジェリストユーザー特定（東急電鉄以外） | SC・TD |
| ソリューション案ブラッシュアップと現実性確認 | SC・TD |
| 第二回ポテンシャルユーザー訪問 | SC |

| 戦略立案 | |
|---|---|
| 暫定的な営業資料の作成 | SC |
| 暫定的な営業ロードマップの作成 | SC・TD |
| エバンジェリストユーザーへの訪問 | SC |
| エバンジェリストユーザーへの訪問販売・導入検討 | SC |
| 営業ロードマップの改善と実証 | SC |
| 製品（ソリューション）ポジショニング確認 | SC・TD |
| 企業ポジショニングの確認 | SC・TD |
| 営業ロードマップの確認 | SC・TD |
| 流通チャネル計画の確認 | SC・TD |

| 導入準備 | |
|---|---|
| 鉄道業界へのアンケート | SC・TD |
| 市場タイプの選択（ソリューションが必要な現場の選択） | SC・TD |
| 売上に関する目標設定 | SC・TD |
| 製品の市場投入 | SC・TD |
| 効果測定及び効果測定に関する合意 | SC・TD |
| 初年度目標に適合する戦略の策定 | SC・TD |
| 経営幹部の意識合わせ | SC・TD |

| 実行 | |
|---|---|
| エバンジェリストユーザー⇒メインストリーム顧客への移行 | SC・TD |
| ステコミによる経営陣の評価 | SC・TD |
| ： | |

41

図.4.3.2.2-(3)：事業化検討　アクション整理

また、2023 年度に東急電鉄東横線での運用を実施し、ソリューションの AI 精度の改善検証と、実運用への落とし込み、横浜高速鉄道との共同運用の仕組み作りを行うことを予定している。

東急電鉄、住友商ことがソリューション提供事業者の役割を担い、以下を主な機能として保有する。

① 資産保有・SIer
② インフラからソリューションの一括提供・運用
③ 戦略立案・マーケティング

検証を通じ想定しているスケジュールを以下に記載する。

- 2022 年度：商用化（東急電鉄における商用運用）・事業化（他社展開）に向けた共用検討を東急電鉄・住友商事で開始。2023 年度以降の商用化（東急電鉄）を目標に、22 年度中に取り組み方針を（含む、事業化オプション）を決定
- 2023 年度：東急電鉄（東横線）での試運転及び一部商用化
- 2024 年度：東急電鉄（他路線）、コンソ内鉄道事業者と商用化
- 2025 年度以降：コンソ内外鉄道事業者と商用化普及展開

## (3) ローカル 5G 活用モデルの構築

### 1) ローカル 5G 活用モデルの全体像

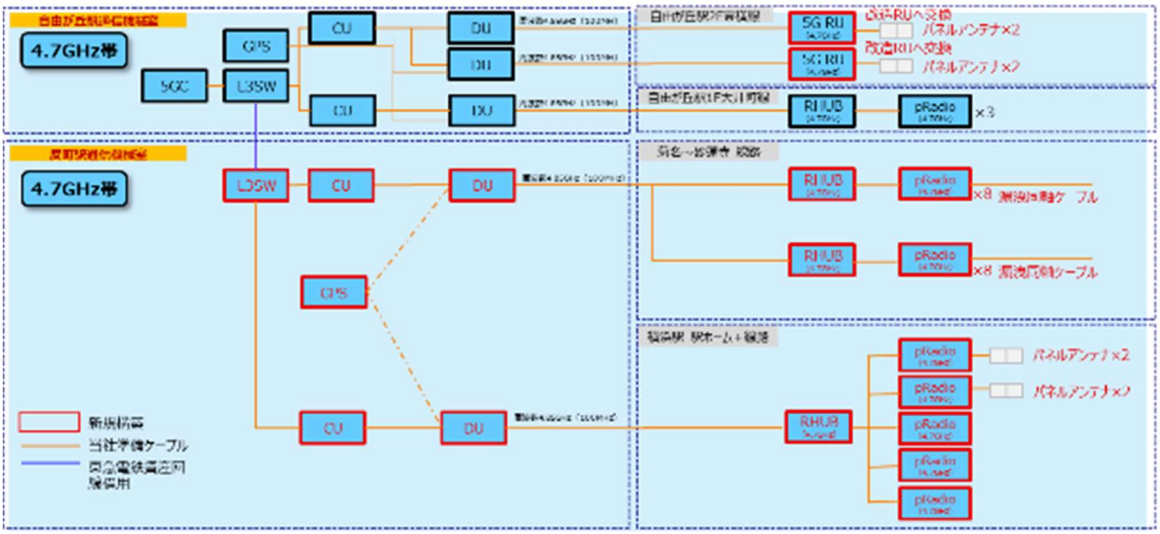
#### a. ターゲット

「鉄道事業者共有型モデル」の第 1 ターゲットとして、首都圏において複数の鉄道事業者路線が相互乗り入れ運行を行う、東急電鉄東横線および乗り入れ路線各社を想定している。実証事業後の予定は実証環境である東急電鉄の東横線で利用継続し、実証時に抽出された課題への対応(ユーザが希望するサービス水準レベルの AI 異常検知率等)をはじめとする、本ソリューションのサービス開発/品質強化を行い、2023 年度には東横線自由が丘駅、横浜駅 2 駅でローカル 5G を継続利用し、ソリューションは渋谷駅から元町・中華街駅の約 30 キロ区間において試運転を経て、商用運用を開始する。その際にはローカル 5G を 4 駅(自由が丘駅、横浜駅に加えて武蔵小杉駅、渋谷駅)まで拡張予定としている。2024 年度から、東急電鉄の複数路線(田園都市線、大井町線、目黒線等)の特定駅において、本活用モデルを横展開することで実運用の実績を更に蓄積する。この本格実装の稼働状況や運用ポリシーを踏まえ、東急電鉄内の他拠点駅や他事業者への展開に向けた運用面での体制構築の課題(東横線と、東京メトロ半蔵門線の結節駅である渋谷駅のローカル 5G 化等)への対応を検討する。また、2024 年度中に他鉄道事業者への展開を行うにあたり、2023 年度中に事業モデルの確立を目指す。そのために 2023 年度も複数の鉄道事業者と事業化検討を推進していく。

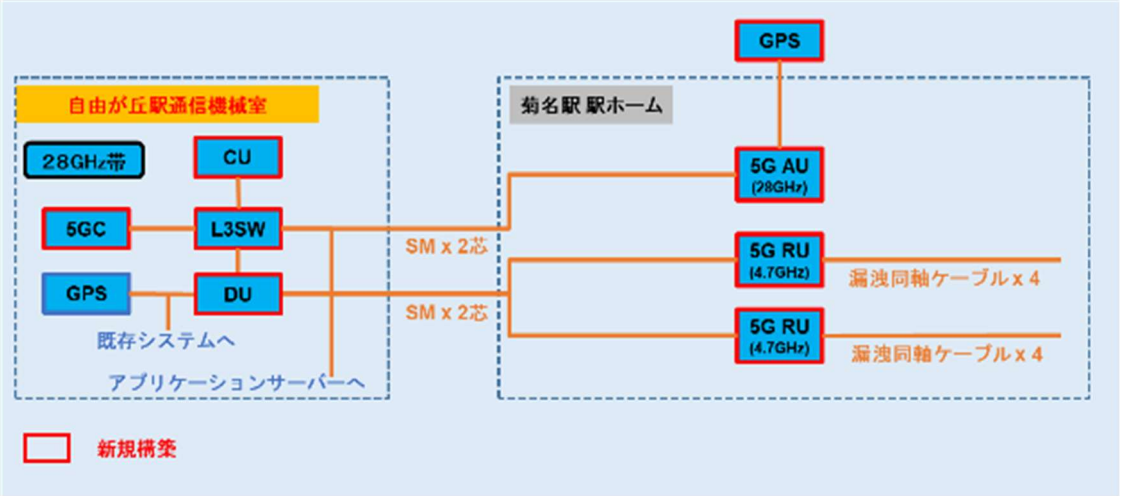
第 1 ターゲットにおけるモデルケース構築後、同様に複数の相互乗り入れを行う東急電鉄田園都市線などの東急電鉄他路線(田園都市線、大井町線、目黒線等)および乗り入れ路線各社(横浜高速鉄道等)を、2024 年度を目途とし、第 2 ターゲットとする。本活用モデルを横展開することで実運用の実績を蓄積すると共に、第 1 ターゲットにて構築した機器・ソフトウェアを第 2 ターゲットにも共有することでコスト按分化の効果を想定する。この本格実装の稼働状況や運用ポリシーを踏まえ、東急電鉄内の他拠点駅や他事業者への展開に向けた運用面での体制構築の課題(東横線と、半蔵門線の結節駅である渋谷駅のローカル 5G 化等)への対応を検討する。更に、東急電鉄各路線での「鉄道事業者共有型モデル」の実装実績をもとに、国内各地域の鉄道事業者へ横展開することを目指す。具体的には、本実証のコンソーシアムとして参画している、西日本旅客鉄道㈱がある関西エリア、および西日本鉄道㈱や九州旅客鉄道㈱がある九州エリア、名古屋市交通局の中部エリアへの展開を目指す。また、地方鉄道事業者については、人口減少が加速し、労働者不足という課題に対する緊急度が高い状況にある。斯様な状況のため、地方鉄道事業者への導入については、同課題解決の早期実現に向けて、第 1 ターゲットへの確実な実装と並行して検討を進める。最後に第 3 のターゲットとして、線状環境の交通インフラという共通点を持つ、高速道事業者への普及展開も視野に入れている。この仮説についてはコンソーシアムに参加している首都高速道㈱がアドバイスを行いつつ分析検討を行う。

b. 対象となるシステム

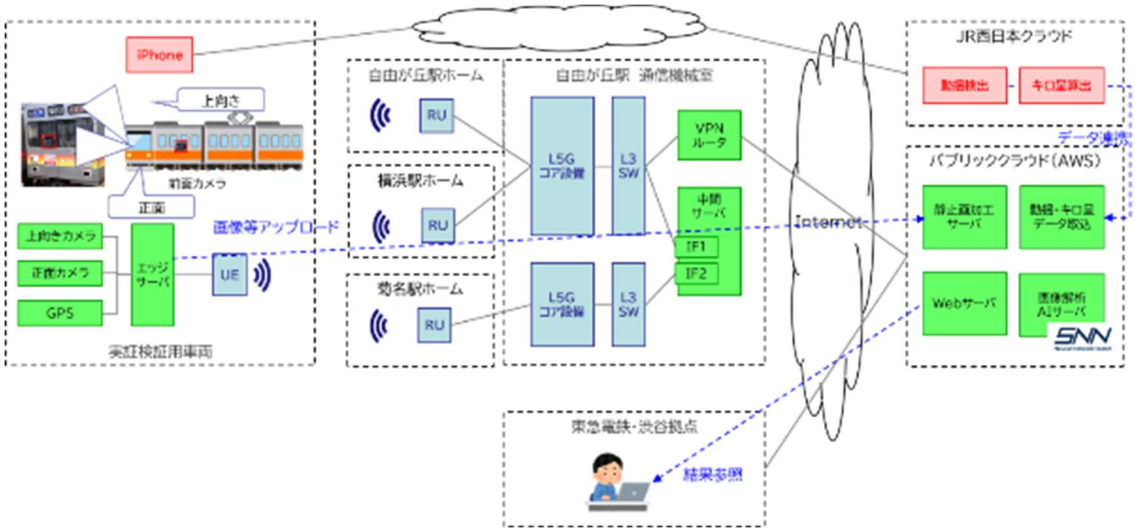
ローカル 5G のネットワーク・システム構成図



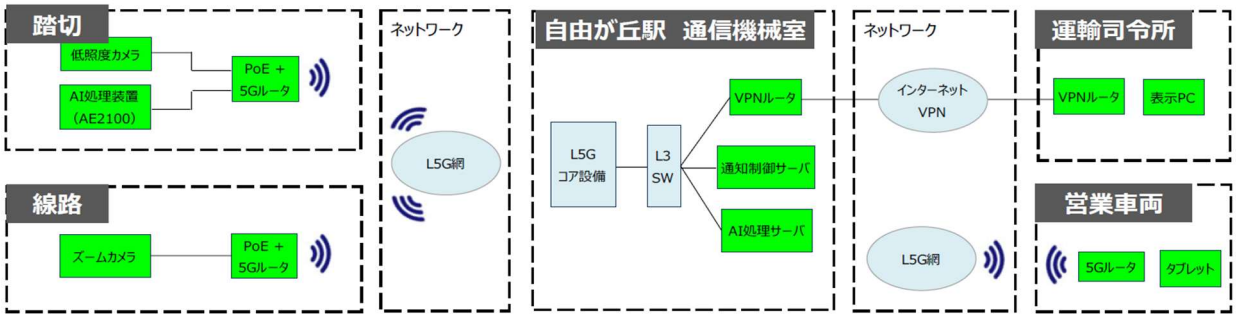

(1)　図.4.3.2.3-(1):4.7GHz 帯システム構成図



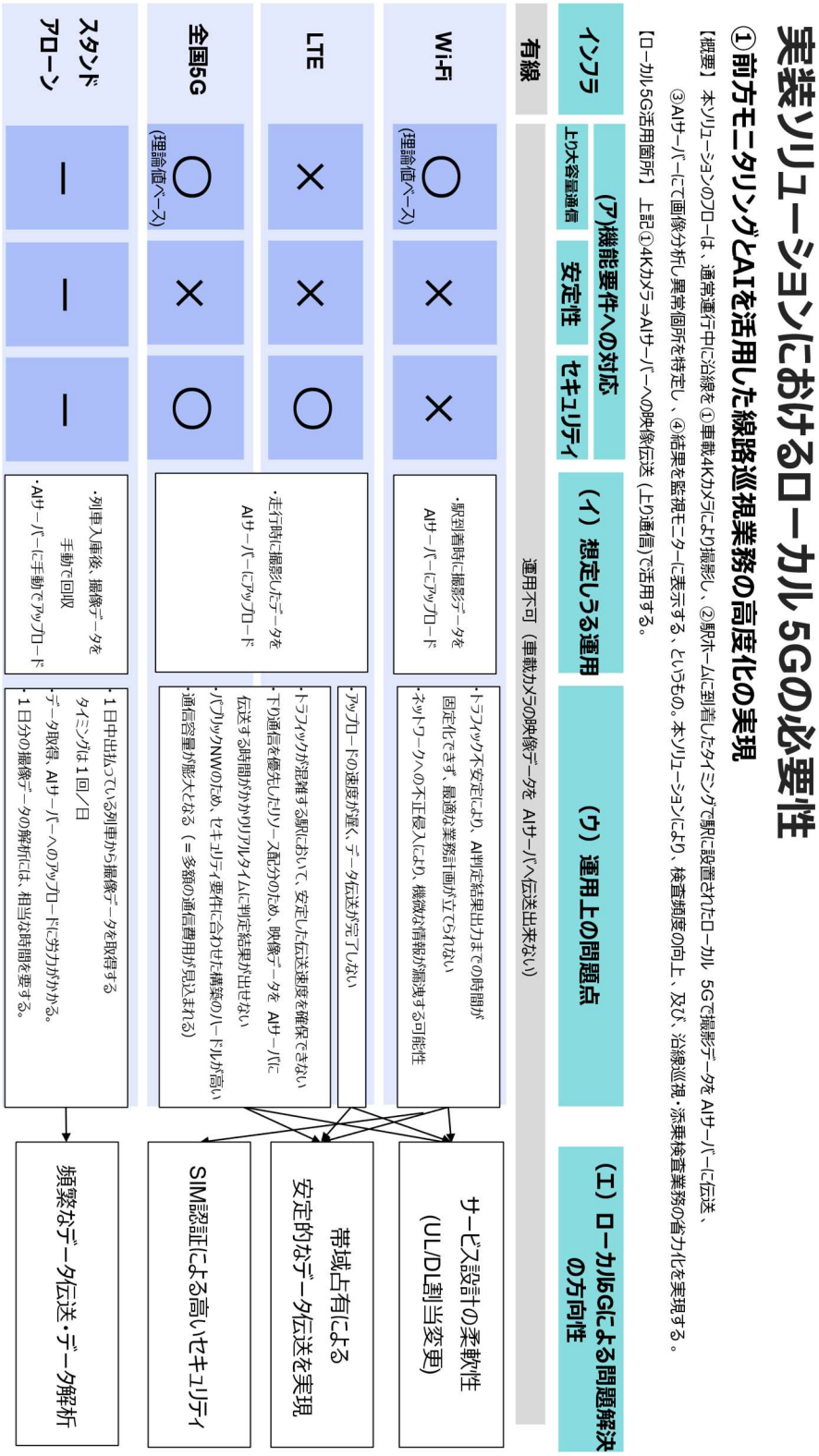

(2)　図.4.3.2.3-(2)：28GHz 帯システム(NR-DC)構成図



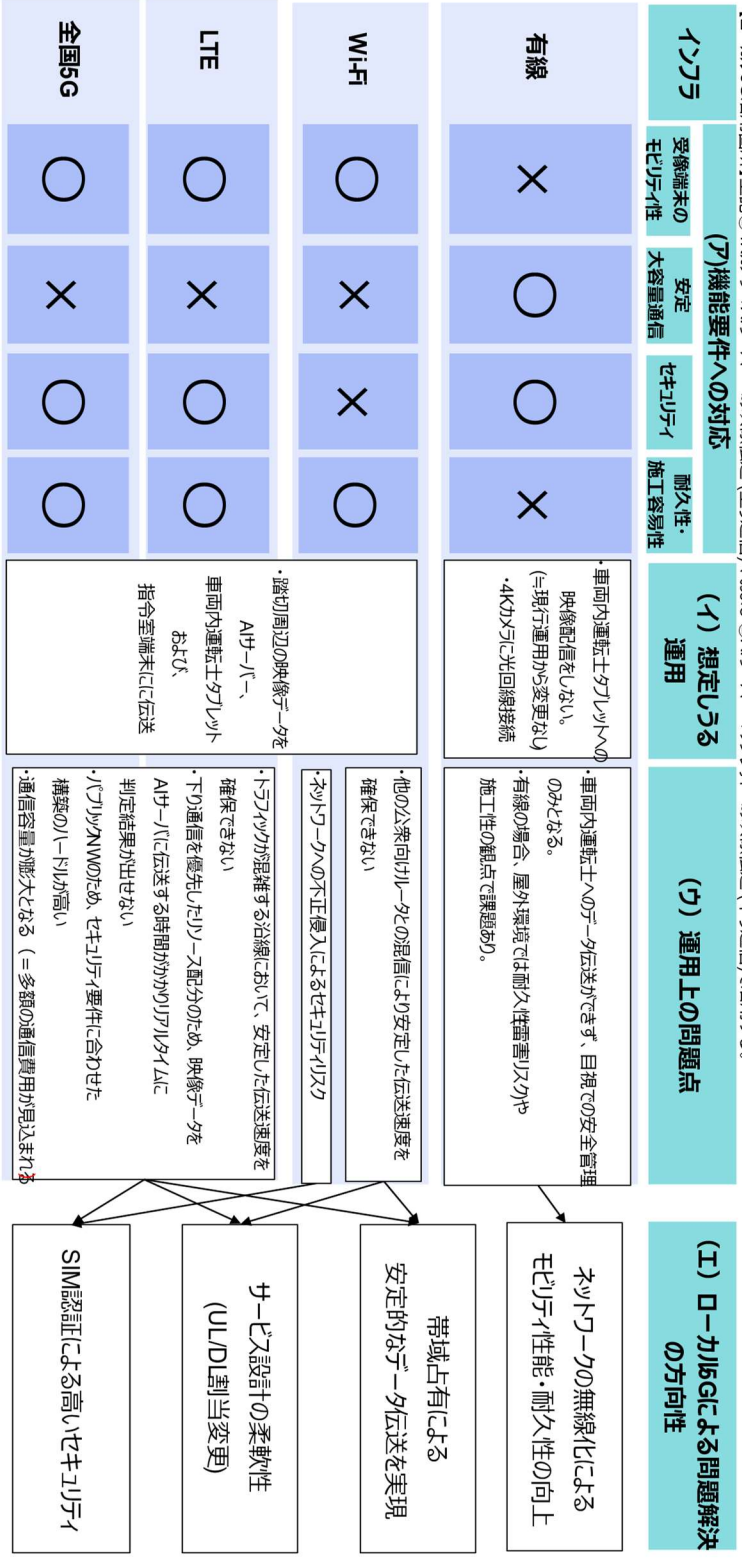

（3）　図.4.3.2.3-(3)：車載モニタリング システム概要




（4）図.4.3.2.3-(4)：沿線踏切監視システム概要




(5)　　図.4.3.2.3-(5)：ローカル 5G の必要性の整理（車載モニタリングシステム）※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載




(6)図.4.3.2.3-(6):ローカル 5G の必要性の整理(車載モニタリングシステム)※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載

c. ビジネスモデル

ビジネスモデル案は、当初から構想しているソリューション提供事業者(住友商事・東急電鉄)がローカル 5G、ソリューション、保守運用等の必要な要素をパッケージ販売するモデルの展開を想定している。ニーズに応じて、複数プラン(松竹梅)を用意。サブスク型を中心とし、ユーザの希望に合わせて買い切り型についても提供検討を進めていく予定としているが、後述の 4.3.2.4.(3)実装性を高める手法の検討箇所にて、他電鉄事業者から我々が検討するビジネスモデルに対するコメントをもらっており、他鉄道事業者にとってニーズの高いビジネスモデルも明らかになりつつある。また将来的な事業化は 2 つのフェーズに分けて段階的に検討しており、将来的な事業会社化(他社展開)の可能性も視野に含めて検討している。

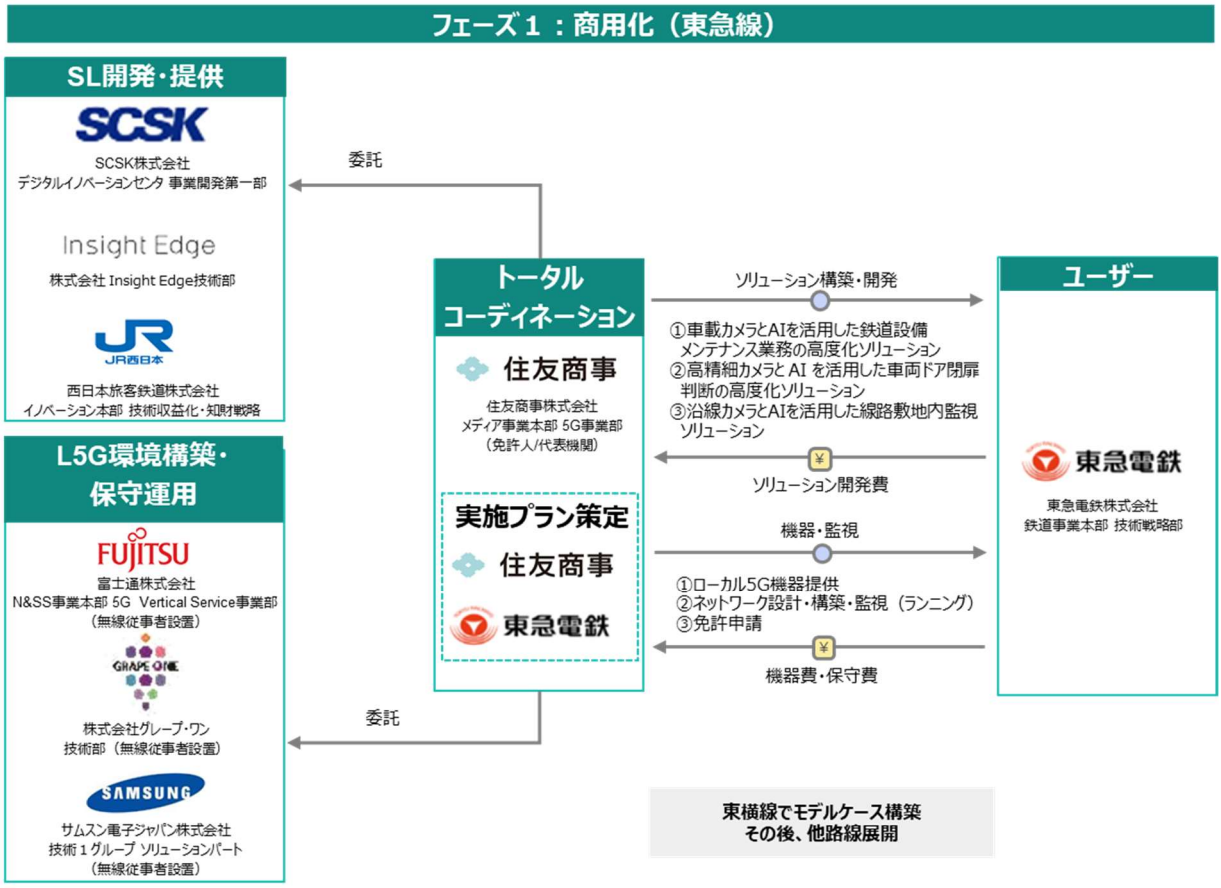



図.4.3.2.3-(7):ビジネスモデル(フェーズ 1)

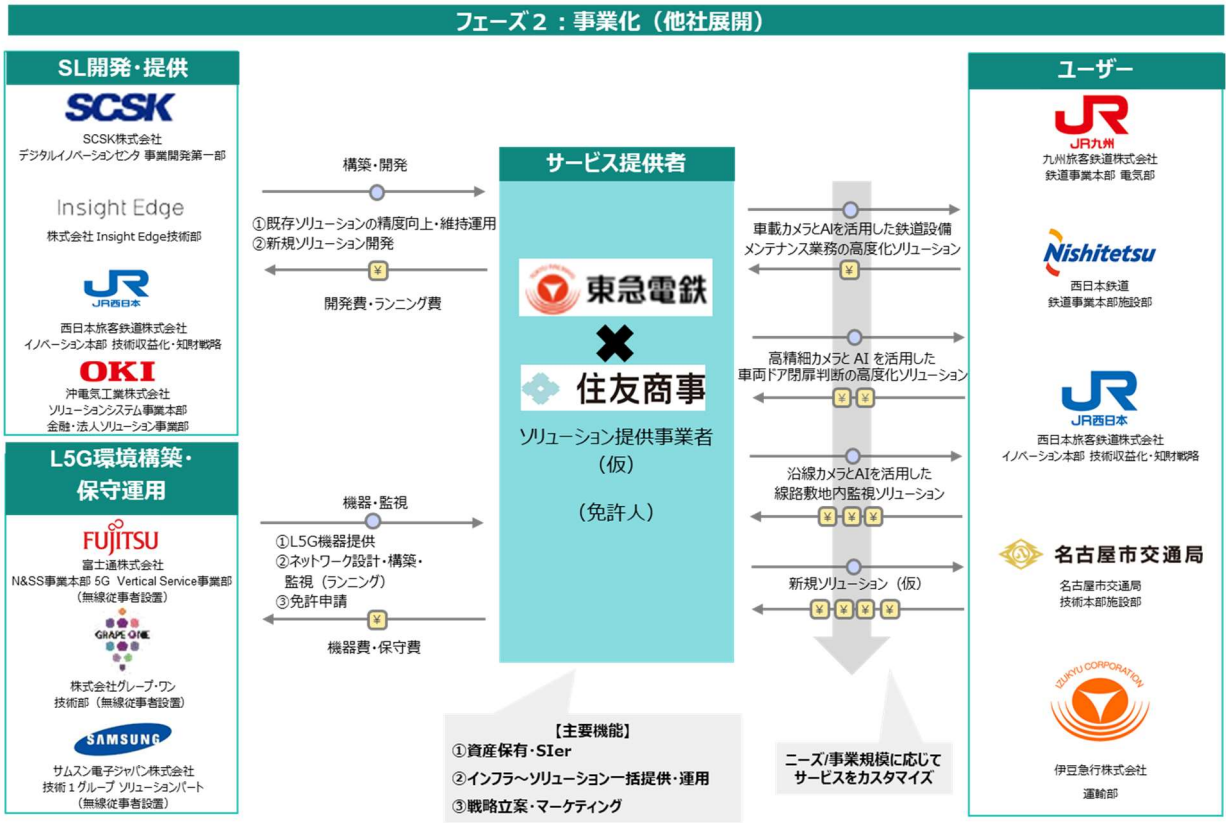



図.4.3.2.3-(8)：ビジネスモデル(フェーズ 2)

## 2） 体制・役割分担

1)で記載したローカル 5G 活用モデルについて、主体は住友商事と東急電鉄が担い、免許人は住友商事が担当する。ネットワーク・システム構築・運用は富士通を想定し、ソリューションベンダーは SCSK 他、ソリューションに応じてパートナーとする。

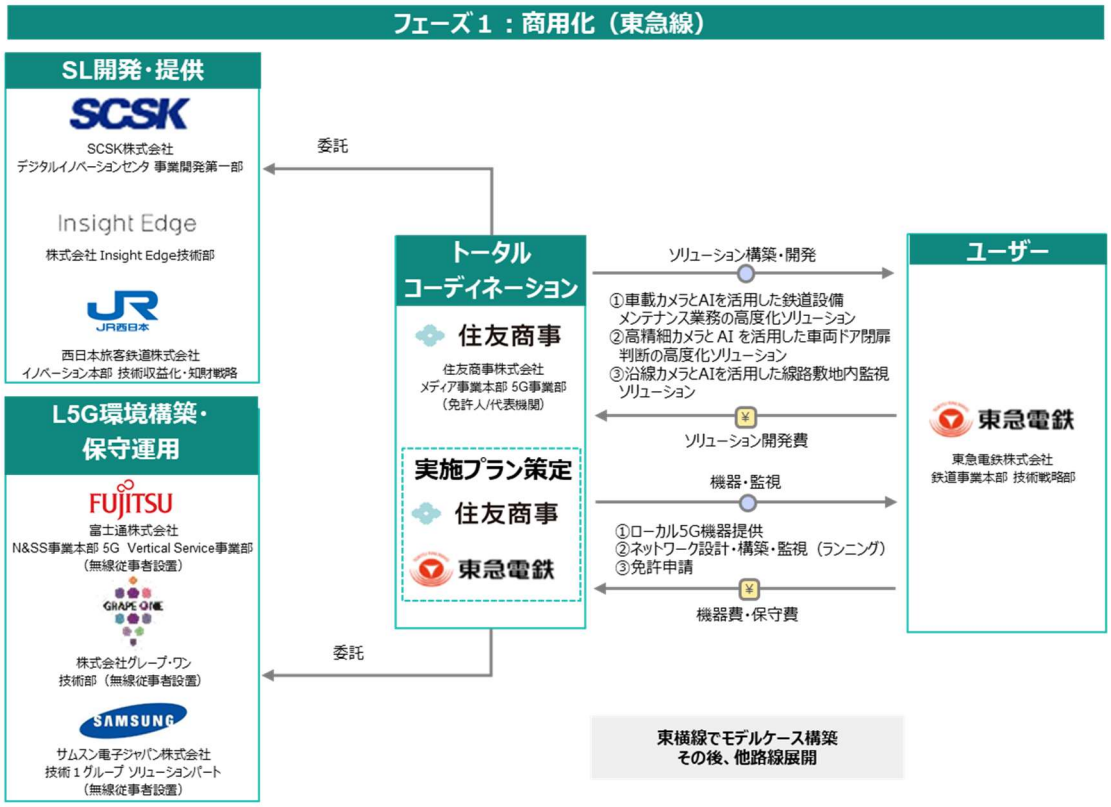



図.4.3.2.3-(9)：ビジネスモデル(フェーズ 1)

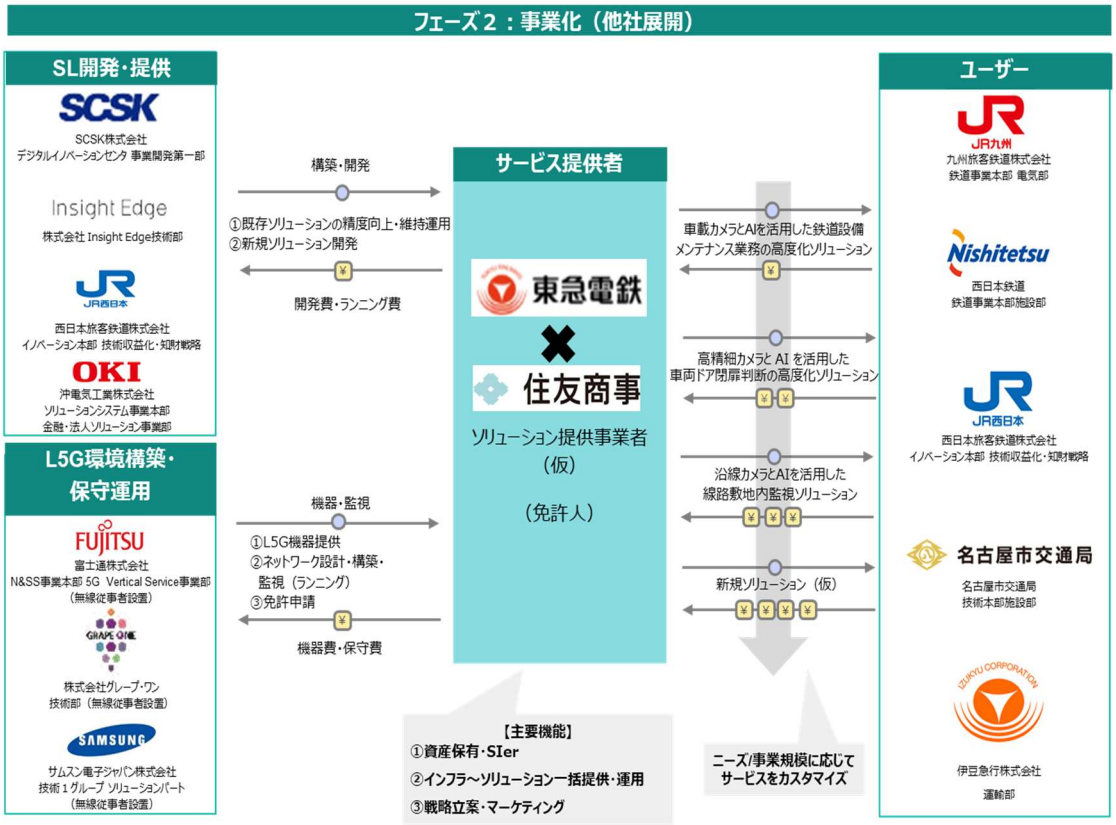



図.4.3.2.3-(10)：ビジネスモデル(フェーズ 2)

### 3） 導入効果

導入効果については、東急電鉄の 24 駅にローカル 5G、本実証のソリューションを実装、巡視業務の高度化を実施に得られると想定している導入効果（省人効果）を以下に示す。

巡視の高度化によって完全に巡視をゼロにするのではなく、車載モニタリングなどにより異常を検出した場合や季節の変わり目など外部環境に変化がある場合、技術力の維持向上を目的とした経験浅薄者への技術伝承を実施する場合などにおいて、現場での作業は今後も必要となる。また、異常時の早期復旧対応や、各種データの管理、また現段階の AI では検知できない場合における対処など「人」が行う業務と、「機械」に置き換えられる業務に分けて遂行していくことが今後の保守のあるべき姿と考える。

また、安全面については、ソリューションを用いて巡視頻度を増加することで安全性の向上に寄与、加えて将来の労働者減少に対する対策や将来の列車自動運転化に向けた取り組みとなっており、将来の鉄道業界全体の安全性の向上へ寄与するものと考えている。

**現状の巡視業務**

| 担当名 | 所管設備 | 定期 | | | | 年間 | | | | 年間合計 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | | |
| | | 頻度 | 人工 | 頻度 | 人工 | 人件費(円) | 人工 | 人件費(円) | 人工 | 人件費(円) | 人工 |
| 保線 | 軌道設備 | 回／日 | 3 | 回／週 | 320 | 34,000,000 | 1,080 | 490,000,000 | 15,360 | 524,000,000 | 16,440 |
| 信号 | 信号保安設備<br>踏切保安設備 | 回／月 | 7 | 回／月 | 200 | 3,000,000 | 84 | 76,000,000 | 2,400 | 79,000,000 | 2,484 |
| 電路 | 電力設備 | 回／月 | 5 | 回／月 | 75 | 2,000,000 | 60 | 29,000,000 | 900 | 31,000,000 | 960 |

**高度化後の巡視**

| 担当名 | 所管設備 | 定期 | | | | 年間 | | | | 年間合計 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | 添乗巡視 | | 徒歩巡視 | | | |
| | | 頻度 | 人工 | 頻度 | 人工 | 人件費(円) | 人工 | 人件費(円) | 人工 | 人件費(円) | 人工 |
| 保線 | 軌道設備 | 回／週 | 3 | 回／月 | 320 | 5,000,000 | 144 | 122,000,000 | 3,840 | 127,000,000 | 3,984 |
| 信号 | 信号保安設備<br>踏切保安設備 | 回／3月 | 7 | 回／3月 | 200 | 900,000 | 28 | 25,000,000 | 800 | 25,900,000 | 828 |
| 電路 | 電力設備 | 回／3月 | 5 | 回／3月 | 75 | 600,000 | 20 | 10,000,000 | 300 | 10,600,000 | 320 |

図.4.3.2.3-(11)：導入効果

## （4） 実装性を高める手法の検討及び実行

### 1） 検証項目

住友商事および東急電鉄が中心となり、外部環境調査を目的とした PEST 分析、3C 分析を行い、ローカル 5G 活用モデルの実現に際しての障壁やミッシングピースを明らかにし、実装性を高めるため手法について検討した。

表.4.3.2.4-(1):PEST 分析

| ①PEST分析 | 分析結果 |
|---|---|
| Politics | ○周波数割当、5G投資促進税制、総務省実証制度 |
| Economy | ○賃金動向、景気、コロナ影響（業界） |
| Society | ○労働人口減少、少子高齢化、Society 5.0 |
| Technology | ○AI、機械学習、Beyond 5G（6G） |

表.4.3.2.4-(2):3C 分析

| 3C分析 | 分析結果 |
|---|---|
| ② 競合（Competitor） | ○「鉄道事業者共有型モデル」と同様のサービスを展開している先について、国内外含めて調査を実施しており、令和5年度も引き続き調査を行う。 |
| ③ 自社（Company） | ○東急電鉄：人口減少が進んでいる状況下、東急線沿線の総人口は2035年まで増加が見込まれている。<br>「人口の質的・量的変化を先取り」した事業を積極的に展開し、「選ばれる沿線」であり続けるために安全性向上を目指している。<br>○住友商事：R3年度から総務省実証にて鉄道案件を担当している。またソリューションを提供できるグループ会社を持つ。 |
| ④ 顧客（Customer） | ○鉄道事業者：コロナによる乗客数減による収益の減少、労働人口の減少による人件費の増加、時間基準保全（TBM）から状態基準保全（CBM）への移行、将来的には完全自動運転化の実現も検討している。 |

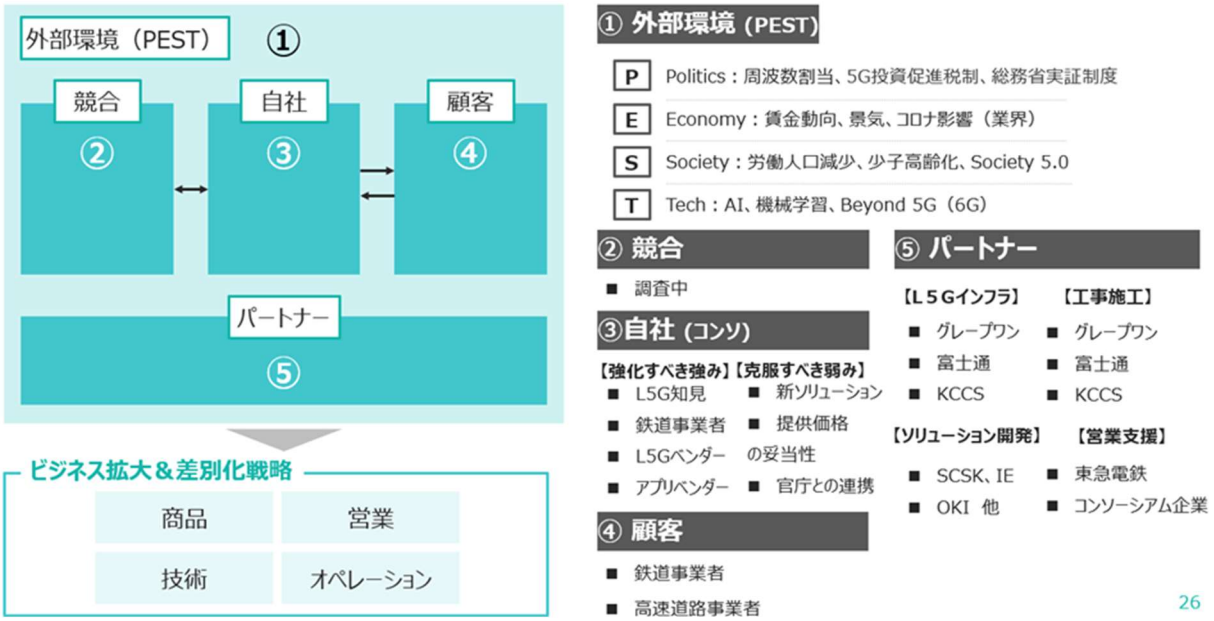



図.4.3.2.4-(3)：分析結果まとめ

上記分析結果に加え、ローカル 5G を含む通信インフラの機能性や拡張性、規模や管理形態の異なる条件での活用可能性などを多角的に検討し、最適なネットワークなどのエリア構築やシステム構成などのポイント、ステークホルダーの役割などの整理を行い、実証コンソーシアムでの実装に留まらない、全国でのローカル 5G 活用モデルの普及に向けた検討を行った。

検討の結果洗い出した検討項目は以下に記載する。

- 駅周辺環境毎の最適なエリア設計手法や、必要な通信速度を整理
- 機器や端末の設置や接続の方法などに関して、実装時の推奨環境として整理
- 国土交通省・関係団体などへの情報提供や連携、その他社会実装に資する取り組み・体制構築
- 鉄道事業者共有型モデルのマイルストーンの明確化
- ソリューション提供価格の妥当性の確認（東急電鉄内費用対効果の検証、他鉄道事業者へのヒアリング等）
- 実証コンソーシアム外の鉄道事業者へのローカル 5G 活用モデルニーズ検証

### 2） 検証方法

検証方法については、1)検証項目に包含して記載したため、本章は省略する。

### 3） 検証結果及び考察

実証を通じて、実装を確実にするための取り組みとして、上記の通り検証を行った。またモデルケースの創出、普及展開するために不可欠な他社との共同利用の仕組み作りや顧客開拓、運用面に関する課

題の抽出・解決策の検討も行った。また、5G 等を活用したソリューションの普及展開に関する協議会等に積極に参加することで、実証コンソーシアム外の鉄道事業者のローカル 5G 活用モデルの事業モデル（買い切り型もしくはサブスク型）についても生の声を聞くことができた。結果及び考察結果は以下の通り。

・最適なエリア設計手法や、通信速度の整理

様々なエリア対策における手法を検証した結果、鉄道ホーム内や線路内等の自己土地内エリアカバーおよび干渉抑制、構築コストや、鉄道業務運行上の影響などを勘案し、鉄道領域でのエリア対策に関して、Sub6 での対策が有用であるという考察結果が得られた。詳細については、鉄道領域（線路/駅ホーム）のローカル 5G エリア化に関する考察で記述する。

・モデルケース創出

2024 年度に他社展開を推進するために、2023 年度中に東急電鉄東横線におけるモデルケース創出を目指す。長期的にソリューションを運用することで、AI 精度向上（F 値 0.9 以上）、運用方法確立を実現する。

・他社との共同利用の仕組み作り

2024 年度に他社展開を進めるために、2023 年度に他社との追加検証を実施することにより、2024 年 3 月までに、機能共通化（モニタリング対象物の拡充、AI 検知における環境条件の追加）、共同運用方法の確立、学習データ共用プラットフォームの構築、事業モデルの確立（必要費用・責任分界点・AI メンテナンス方法等の明確化）を実現する。

・顧客開拓

住友商事及び東急電鉄（サービス提供者）のマーケティング費用により、ローカル 5G 活用モデルのユースケース、提供価値、ビジネスプランを訴求する。2023 年 3 月までに複数鉄道事業者に対して 2023 年度中の上記共同検討打診、協議を行う。2023 年 6 月までに、現在進行中の東急電鉄 x 住友商事の事業化検討タスクフォースチームに新規共同検討事業者が加わり、共同で事業化検討開始を実施することで顧客ニーズに沿ったソリューションを開発し、新たな顧客開拓へと繋げていく。また、鉄道協議会（5G 等を活用したソリューションの普及展開に関する協議会）での講演を来年度も出席し、共同事業を希望する潜在顧客の獲得、当コンソーシアムのアドバイザーである SDI が鉄道事業者への全国 5G のビジネスを推進していることから同社との営業連携を実施することで顧客を拡大していく。

・運用面の改善

住友商事及び東急電鉄（サービス提供者）における設備投資により東横線 2 駅を対象にローカル 5G 環境を構築する。令和 3～4 年度実証で構築済みの駅と合わせてローカル 5G 環境を利用し、東横線における車載カメラソリューションの追加実証を実施することで、モニタリング対象物の拡充、AI 精度向上を図りながら、人と AI による巡視検査を並行して行うことで結果を比較し、実運用に落とし込みなが

ら段階的に巡視業務の低減を図っていく。

・事業モデル、ソリューション提供価格について

地方鉄道事業者から、本事業モデルの参画事業者が増えると導入コストが安価になると想定されることや、自社でのソリューションのアップデートはハードルが高いため、ソリューション提供事業者にてアップデートが行われることを踏まえるとサブスク型が優位だと考えているという意見が多く見られた。

また、提供価格検討の手法として、検知・監視対象物やカメラの台数、利用環境(都市型路線・山岳路線)などの条件に応じて価格設定するやり方や、事業者によって求めるソリューション内容が異なるため各社に合った形でソリューションなどを提供してもらうことができれば、地方鉄道、大手鉄道を問わず導入できるとの意見もあった。一方で、人件費を削減するためにも、人を介さないシステムが理想形だと考えるが、汎用性が高い内容から取り組み、各社特有の事項は人が対応することで安全性も担保しつつ導入できるようにすれば幅広く使っていただけるシステムになるのではないかという意見も得ている。これらの意見を踏まえてソリューション提供方法は、サブスク型をメインとすることで、他鉄道事業者の参画数を増やすことが可能であるとのことに加え、鉄道事業者の参画数が増加することで提供価格が安価になること、また鉄道各社入手できる貴重な学習データが増えることで AI が賢くなることに鉄道業界全体としてニーズがあることを確認した。

その他にも、フェーズ 1 として掲げている東急電鉄との乗り入れ事業者を対象にした計画についても仮に東急電鉄と乗り入れしていない他鉄道事業者が参画していく場合、フェーズ 2 まで待たなければならないのか、という声も頂いており、本事業モデルに対する他鉄道事業者の関心は高いと言える。

・鉄道領域(線路/駅ホーム)のローカル 5G エリア化に関する考察

本実証の結果から、一般的な Sub6/ミリ波の周波数特性等を考慮し、Sub6/ミリ波の鉄道領域における有効性について下表に整理を行った。

表.4.3.2.4-(1):Sub6/ミリ波の特性比較表

| 項目 | Sub6 | ミリ波 | 詳細 |
|---|---|---|---|
| 自己土地エリアカバー | ○ | | ・遮蔽物の多い駅ホーム上ではミリ波は遮蔽影響を受けやすいため、周波数特性上 Sub6 の方が有利<br>・駅ホーム内で更にカバーエリアを絞れるのであれば、ミリ波はスポット対策とする方が望ましい |
| 鉄道領域における運用 | ○ | | ・列車運行中における遮蔽影響(人流や列車の移動)は周波数特性上 Sub6 の方が有利 |
| 自己土地内干渉抑制 | ○ | | ・Sub6 は DAS 構成を取ることによりセル間干渉抑制が可能<br>・ミリ波はアンテナ一体型のため現状ではセル間干渉対策として出力やチルト調整程度しかできない。 |

| 項目 | Sub6 | ミリ波 | 詳細 |
|---|---|---|---|
| | | | ・ミリ波の異なる周波数帯を用いて複数セルによりエリア構築をする手法も考えられるが、その運用可否は基地局及び端末の仕様に依存するため、将来的な手法として要検討。 |
| 他者土地漏洩抑制 | | ○ | ・本実証でも確認した通り、周波数特性上直進性が強く、建物等から遮蔽影響を多く受けるミリ波の方が有利<br>・ただしミリ波を用いる場合、現状ではアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、アンカーバンドにおける干渉対策及び複数周波数帯での干渉調整が必要 |
| 構築コスト | ○ | | ・ミリ波を用いる場合、現状ではアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、SA 構成を取れる Sub6 が有利 |

自己土地エリアカバーの観点では、本実証結果からもミリ波は駅ホーム上の遮蔽物による影響を大きく受けることが確認できており、周波数特性上も Sub6 の方が有利と考えた。

鉄道施設における運用の観点では、列車運行中の時間帯における駅ホームは乗客によるホーム上の移動や滞留及び列車の停車、移動が発生するため、周波数特性上 Sub6 の方が有利と考えた。

自己土地内干渉抑制の観点では、Sub6 は DAS 構成を取ることによるセル間干渉の抑制を図ることが可能であるが、ミリ波はアンテナ一体型の基地局が一般的であり、外部アンテナを用いた指向性の調整ができないため、エリア調整手法としては出力やチルトの変更がメインとなる。そのため、Sub6 の方が有利と考えた。ミリ波は周波数帯域として 800MHz が割り当てられており、その周波数帯域を用いてセル毎に異なる周波数帯を設定することでセル間干渉を抑制する方法も考えられるが、その運用可否は基地局や端末の仕様に依存するため、その有用性は利用するシステムの仕様を踏まえて今後検討が必要と考える。

他者土地漏洩抑制の観点では、本実証結果からもミリ波を用いることで周辺他者土地への漏洩が抑制できていることを確認できたため、ミリ波が有利と考えた。ただし、現状ではミリ波を用いる場合はアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、アンカーバンドにおける干渉対策及び複数周波数帯での干渉調整が必要である。

構築コストの観点では、現状ではミリ波を用いる場合はアンカーバンド(BWA or Sub6)が必要なため、SA 構成を取れる Sub6 が有利と考えた。

本実証を通じて、様々なエリア対策における手法を検証した結果、鉄道ホーム内や線路内等の自己土地内エリアカバーおよび干渉抑制、構築コストや、鉄道業務運行上の影響などを勘案し、鉄道領域でのエリア対策に関して、Sub6 での対策が有用であると考える。ただし、ベースは Sub6 でエリア化するが、アプリケーション側の要求スループットが高いユースケースにおいてはセルインセルの考え方で、ミリ波のスポット対策をするなど、利用用途に応じて使い分けることが重要となる。

また、鉄道におけるローカル 5G エリア構築の特徴として、一定以上距離の離れた複数の駅や線路上をエリア化することが必要ということがあげられる。

その際、1 つの 5GC/CU/DU に複数の RU を収容し、それぞれを専用回線で接続する必要がある。

例えば本実証実験では 5GC を自由が丘駅に設置し、CU/DU を自由が丘駅及び対策エリアの近隣の駅に、無線機(RU)を対策が必要な駅に設置している。

上記のように 5GC や CU/DU、RU が別の設置場所に置かれ、分離されている構成では各装置を繋ぐ回線が必要となるため構築エリアの広さや無線機の数はシステム導入時の初期コストのみならず、回線費用というランニングコストにも影響を及ぼすことになる。

そのため最終的なシステム構成を見据えた設計が重要になり、以下では無線機数と 5GC 等の上位設備の設置場所について考察を行う。

【無線機数の低減】

上述の通り無線機数を低減することはシステム導入時の初期コストのみならず、回線費用等のランニングコストの低減化にも効果がある。無線機数を低減する場合、当然ながらカバーを必要とするエリアの広さやスループット要件を満たせることが前提となる。

今回の菊名駅の実証実験ではミリ波 1 セルでのエリア構築を検証したが、1 セルでホーム全体をカバーすることはホーム内の構造物等の影響を受けることもあり困難であった。特にミリ波においてはホーム全体をエリア化しようとすると、Sub6 と比較して無線機台数は増加する可能性があり、その結果セル間干渉によって品質自体が劣化することも考えられる。

そのため無線機数の低減を図る上では利用するソリューションの要件(必要なエリア、スループット要件等)を考慮した上で、スポットでの対策も視野に入れてエリアを検討することが必要だと考える。

【5GC 等の上位設備の設置場所】

鉄道におけるエリア構築の特徴として分離構成を取ることを述べたが、その際に注意すべきなのが 5GC や CU/DU 等、無線機(RU)より上位に接続される設備の設置場所を適切に設計することが必要という点である。

利用する装置の仕様により詳細は異なるが、各装置間を接続するケーブルには、仕様上の制限(線長、応答遅延等)が設けられている。そのため、鉄道沿線全体をカバーする場合、システム構築当初より各上位装置の設置場所を適切に設計しておかなければ、上位装置のシステム容量(物理的な収容数やユーザ数等)に余裕がある場合においても、装置間の線長等の制限により既存の設備に新たな無線機が接続できずに上位装置の増設を余儀なくされる可能性がある。

上述の通り、構築が必要なエリアやスループット要件及び構築するシステムの仕様を事前に把握し、システム全体の設計を最適化することが、初期導入費用やランニングコスト及び追加のコスト発生を抑え、実装性を高めることに繋がると考える。

・ミリ波の実装性について

ミリ波の実装性については、Sub6 と比較して 2 点の課題がある。

1 点目の課題は、現時点ではミリ波単独による SA 構成に対応した基地局及び端末が実用化されておらず、ミリ波を利用する場合、BWA をアンカーバンドとする NSA 構成もしくは Sub6 をアンカーバンドとする NR-DC 構成が必須となる点である。

本実証で用いた NR-DC 構成は、Sub6 とミリ波を同時利用することにより、非常に高い伝送スループットを実現するという大きなメリットがある。一方で、ミリ波だけではなく、Sub6 でのエリアカバーを行う必要があることから、線状のエリアを構築する上で有効であるミリ波の特性を活かしづらいことが課題である。

2 点目の課題は、NR-DC 構成において対応端末が十分に普及していないという点である。

ローカル 5G に対応した端末は、Sub6、ミリ波 NSA 共に複数のベンダーから製品化、実用化がなされており、機器の低廉化という課題は残存するものの、実装において利用者が用途に応じて選択することが可能となっている。

一方で、ミリ波 NR-DC 構成においては、製品化されている端末が少なく、普及が進んでいない現状であることから、実装において利用者が用途に応じて端末を選択、選定できる状況に至っていないことが課題である。

前述した 2 点の課題は、いずれも今後ベンダーの対応が進み、普及する端末の増加、低廉化が進むにつれ解決する課題である。

ミリ波を利用した超高速・大容量通信は、その高速性を活用しうるコンテンツ、ソリューションが実装され、普及するにつれて加速度的に需要を増すと考えられるため、上記の課題の解決と、ミリ波を活用しうるコンテンツの拡大に期待するところである。

・ローカル 5G システムの実装性に関する検討

実装展開に向けたローカル 5G システム導入課題として、導入コスト及びメンテナンス性、ランニングコストがあげられる。本実証を通じて、最適なネットワーク構成及びシステムの継続利用を見据え、検討を行った。

① ローカル 5G システムハード集約モデル

本実証で採用したローカル 5G システム構成に対し、5G コア、CU、EMS を 1 台のサーバー上に実装したシンプルなオンプレミス構成となり、標準構成の約 1/3（標準価格比）の費用で初期導入しやすいモデルとなる。ただし、1 つの駅のみの対策する場合は、コスト観点でも有用だが、個別個に構築する場合、複数駅の展開かつアプリケーションとの組み合わせを考えると映像データや処理データ遅延などが発生するため、複数拠点を構築する場合は 5G コアへの集約の設計が望ましい。

② ローカル 5G システムクラウドモデル

5G コア及び管理ポータル装置をクラウドで共用する構成のため、設計、構築コスト、運用コストが削減できるため全体的な費用を低廉化することが可能となる。

利点としては、5GC 及び管理装置がクラウド上にあることで、可用性及び運用管理の容易さがあげられる。業務がミッションクリティカルであればあるほど、通信基地局運用に対する体制や可用性に対して有効な手段となる。

③ アプリケーションと共存したローカル 5G システムの構成モデル

Microsoft 社 Azure PMEC(Private MEC)(図 4.3.2.4-(4) PMEC_Metaswitch 構成)クラウドとの機能組み合わせにより、複数の拠点のローカル 5G 運用だけではなく、エッジネットワーク上にアプリケーションを搭載することも可能になり、シーズ/ニーズに対応する高性能かつ超低遅延のソリューションの幅広いポートフォリオを旺盛することが可能となる。また、用途に合わせてオンプレミスで設置することも可能となるため柔軟な NW 及びアプリケーション構成を実現する。アプリケーションとローカル 5G システムと統合して提供となるため、シンプルな構成が可能となる。

◇主な機能
・5G コアネットワーククラウド管理 – Azure Network Function Manager
・エッジに最適化された Azure サービス/アプリケーションを搭載
・エッジネットワーク機能 – Metaswitch Fusion Core
・エッジコンピューティング – Azure Stack Edge(拠点設置)
・管理用の ServiceIQ ダッシュボードと他システムとの API 連携

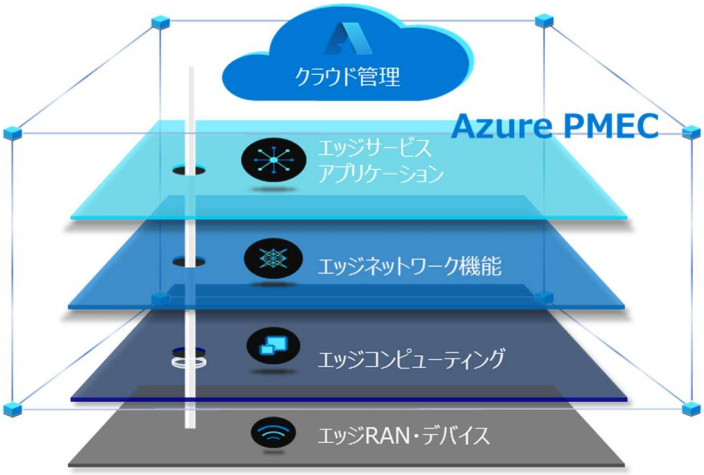



図 4.3.2.4-(4) PMEC_Metaswitch 構成イメージ

### 4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

#### (1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

ローカル 5G 活用モデルの検証結果を踏まえ、課題とその対応策を以下の通り記載する。

表.4.3.3.1-(1):ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

| 課題 | 対応策案 | 誰が | いつまでに |
|---|---|---|---|
| 車載モニタリングソリューション | | | |
| 日中帯、屋内撮影時におけるカメラの光度が足りず、暗所での異常検知精度が低い。 | 画像鮮明化処理等の前処理を入れる、明所と暗所に適したカメラ設定に変更することで撮像画像の鮮明化を図る。 | SCSK、Insight Edge | 2023 年 4 月末 |
| 雨天時の窓ガラスの水流と重なった場合に見落とし及び誤検出が発生する。 | 水滴除去機能の搭載を検討する。AI モデルを雨天時への最適化を図る。 | SCSK、Insight Edge | 2023 年 5 月末 |
| 架線の近接樹木の検知は雨天や夜間帯における厳しい撮像条件下で精度が落ちる。 | セマンティックセグメンテーションモデルを使用して、架線、樹木、空などを分類し、架線と樹木の重なりをプログラムで算出する方法を導入することで精度向上を図る。 | SCSK、Insight Edge | 2023 年 5 月末 |
| 夜間帯、屋外における道床白色化、架線への近接樹木に関する検知率が低い。 | 夜間帯、屋外の道床白色化、架線への近接樹木に関する検知率が低いものの、緊急性は低いと考えている。これらの異常検知は日中帯の AI 検知データを利用し、対応する。 | SCSK、Insight Edge | 2023 年 5 月末 |
| 沿線踏切監視ソリューション | | | |
| 普及展開に向けて、高額なローカル 5G 関連初期導入費用がボトルネックとなる。 | 基地局シェアリング事業との協業(ローカル 5G 機器の共用化)や、複数鉄道事業者の設備共用によるコ | 住友商事 | 2023 年 12 月 |

| 課題 | 対応策案 | 誰が | いつまでに |
|---|---|---|---|
| | スト低減などについて検討を進めている。 | | |
| 線路外で不審な動きをしている対象(自殺志願者等)は一定時間線路の周りに留まる傾向があるため、対策する必要がある。 | 異常行動者発見時の速やかな発報を行うため、異常行動の定義づけを進める。 | 住友商事 | 2023 年 8 月 |
| 沿線で作業している作業員に対して発報してしまうため、一般公衆との区別判定が必要。 | 学習データを AI に追加することにより区別判定ができるようにする。 | 沖電気 | 2023 年 8 月 |
| 夜間時間帯での検知距離(50m～60m)が日中帯と比較して短いため、カメラの台数を増やし、夜間でも全沿線をカバーできるよう検討する必要がある。 | 50m～60m の検知については、夜間帯における人間による目視と同等レベルのため、機能面は問題ないと考える。しかし、費用対効果向上のため、暗所に強いカメラの選定を選定する。 | 沖電気 | 2023 年 8 月 |

## (2) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

ローカル 5G 活用モデルの課題に対する解決策の検討方法として、週次で定例を行い、課題が顕在化した際には、早急に想定していた解決策を実行し、早期課題解決に努める。各課題に対する対応策は(1)を参照。

課題発生時には前述の提案時点での対応策を講じて、解決に向けて進める。また、新たな課題が発生した場合には、課題リストを作成およびコンソーシアム内で共有し、進捗状況を管理する。

その他、予期せぬ課題が発生し、追加検証を実施する必要が生じた場合でも、同追加検証に係る費用に関する予算計画策定、および社内承認取得をあらかじめ進め、ローカル 5G 活用モデルの実装を確実なものとする。

### 4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

#### (1) 実装・普及展開シナリオ

実証事業後の予定は実証環境である東急電鉄の東横線で利用継続し、実証時に抽出された課題への対応(ユーザが希望するサービス水準レベルの AI 異常検知率等)をはじめとする、本ソリューションのサービス開発/品質強化を行い、2023 年度には東横線自由が丘駅、横浜駅 2 駅でローカル 5G を継続利用し、ソリューションは渋谷駅から元町・中華街駅の約 30 キロ区間において試運転を経て、商用運用を開始する。その際にはローカル 5G を 4 駅(自由が丘駅、横浜駅に加えて武蔵小杉駅、渋谷駅)まで拡張予定としている。2024 年度から、東急電鉄の複数路線(田園都市線、大井町線、目黒線等)の特定駅において、本活用モデルを横展開することで実運用の実績を更に蓄積する。この本格実装の稼働状況や運用ポリシーを踏まえ、東急電鉄内の他拠点駅や他事業者への展開に向けた運用面での体制構築の課題(東横線と、半蔵門線の結節駅である渋谷駅のローカル 5G 化等)への対応を検討する。また、2024 年度中に他鉄道事業者への展開を行うにあたり、2023 年度中に事業モデルの確立を目指す。そのために 2023 年度も複数の鉄道事業者と事業化検討を推進していく。事業モデル検討については、東急電鉄での全国の鉄道事業者や関連企業が参加する、日本鉄道電気技術協会主催の鉄道電気セミナーにおける計 2 回の講演にて実証事業概要説明を実施、また、日本鉄道サイバネティクス協議会の調査研究委員会にて「AI 技術の活用による業務効率化・省力化に関する調査研究」をテーマに調査報告書にまとめる活動への参加や中央復建コンサルタンツが主催の「5G 等を活用したソリューションの普及展開に関する協議会」に参加した大手及び地方の鉄道事業者 10 社に対し、現時点の事業モデル案(SaaS 事業)を今後、各事業者が導入することを考えた場合、買い切り型もしくはサブスクリプション(以下:サブスク)型のどちら事業モデルが望ましいかの意見を集約した。10 社中 8 社が、参画事業者が増えると導入コストが安価になると想定されることや、アップデートが行われることを踏まえ、サブスクが望ましいと回答した。加えて、今年度のコンソーシアムに参画した鉄道事業者からも同様にサブスクが望ましいという意見を得ている。

事業モデルコンセプトについては、フェーズ 1 の単独ユーザ企業である東急電鉄におけるコスト削減効果の見込み値を下回るサービス利用料を設定し、コスト削減効果を図る。その後、他社への普及展開時において共通利用のワリカン効果によるサービス利用料単価の低減を目指しながら、ユーザの利用障壁を下げつつ、普及展開による新規収益源の創出を目指すというアップサイド要因も見えている。明らかになっている収益に関するアップサイド要因の整理については下図を参照すること。詳細このコンセプトをもとに本実証事業を通じて得た知見や一部コンソーシアムメンバーを主体とした体制で 2024 年度からの横展開を推進する。並行して横展開に向けた個社課題における共通ソリューションを具体化する中で体制運用面の分析を行い、車載モニタリングソリューションに次ぐ新規ソリューションの開発、中規模鉄道事業者及び地方鉄道事業者各社の財務体力に応じた柔軟なサービスラインナップの構築を目指す。

## 各種前提条件とアップサイド要因｜前方モニタリング

売上高

| 大項目 | 中項目 | 小項目 | アップサイド可能性 |
|---|---|---|---|
| 機器利用料（月額サブスクリプション） | L5G機器 | – | ○ ■月額単価：外販に向け減額はマスト<br>■駅数：事業者あたり駅数増加 |
| | ソリューション | – | ○ ■月額単価：外販に向け減額はマスト<br>■車両数：事業者あたり車両数増加 |
| 設計・設置料（イニシャル） | L5G機器 | 基地局設計 | ○ |
| | | 免許申請 | × |
| | ソリューション | システム設計 | ○ |
| 運用・保守料（ランニング） | L5G | 電波利用 | × |
| | | 基地局運用・保守 | ○ |
| | ソリューション | クラウド（AWS） | ○ |
| | | AI | ○ |
| 各種手数料（イニシャル） | L5G | 免許申請関連 | ○ ・顧客数増加<br>・各顧客における駅あたりアンテナ数増加 |
| | | 工事手配 | ○ ・顧客数増加 |
| | ソリューション | 研修 | × |
| | | 設置関連 | ○ ・顧客数増加<br>・各顧客における導入対象車両数増加 |

図.4.3.4.1-(1):各種前提条件とアップサイド要因(売上高)｜前方モニタリング

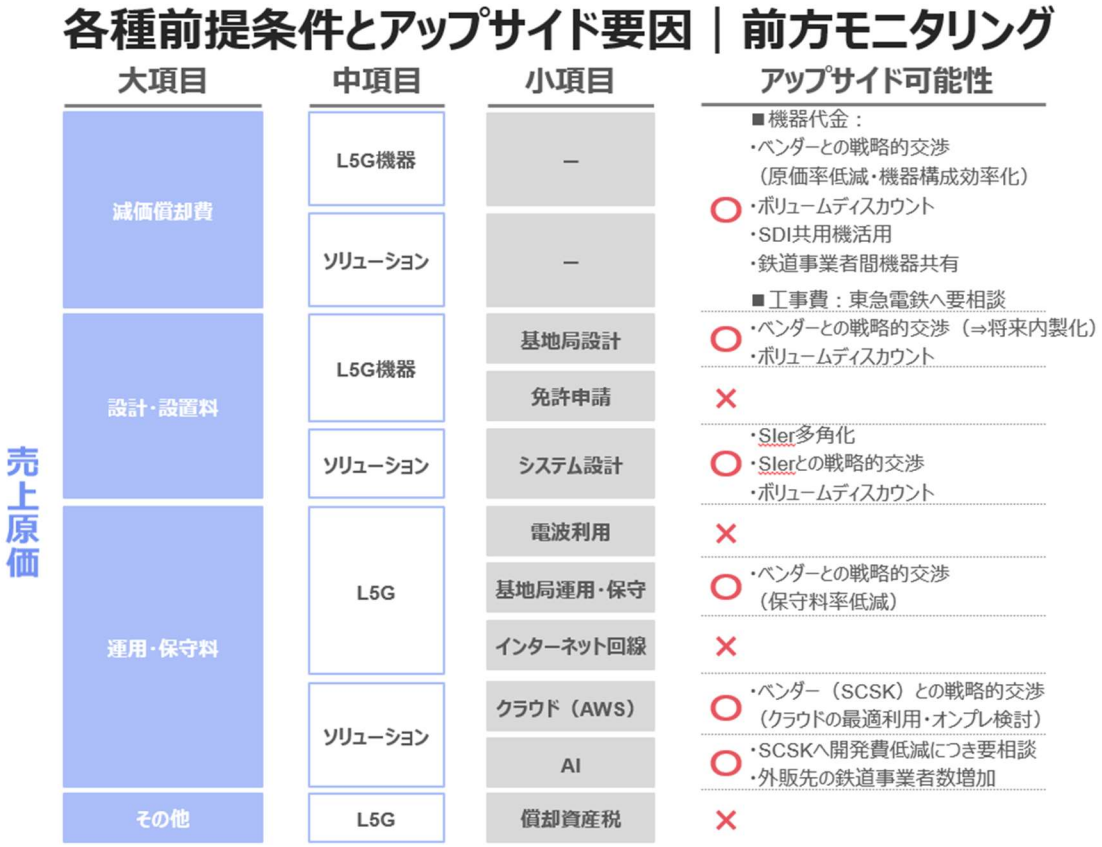



図.4.3.4.1-(2)：各種前提条件とアップサイド要因(売上原価)｜前方モニタリング

パートナリングについては、東急電鉄と他鉄道事業者を巻き込んだ来年度共同実証事業の実現や、東急電鉄を起点とした首都圏乗り入れ先との連携、また実装・普及展開アドバイザーでもある SDI が鉄道事業者への全国 5G のビジネスを推進していることから同社との営業連携を実施することでパートナリングを拡大していく。

## (2) 実装計画

車載モニタリングソリューションは、2023 年度中に東急東横線にてモデルケースを構築、以降、東急電鉄他路線展開及び他社展開を目指す。また、将来の自動運転化に向け、同年度から複数鉄道事業者とのソリューション共用化検討と外販向けた体制構築を進め、2025 年度から全国の鉄道事業者への展開を目指す。

沿線監視ソリューションは、2023 年度の知見をもとに同ソリューションのシステム構築及び高度化を推進し、商用化に資するソリューションへ 2023 年度中に仕立てていく。鉄道業界が必要とする新たなスマート化ソリューションに着手し、サブスク型等提供モデルを構築・提供予定としている。

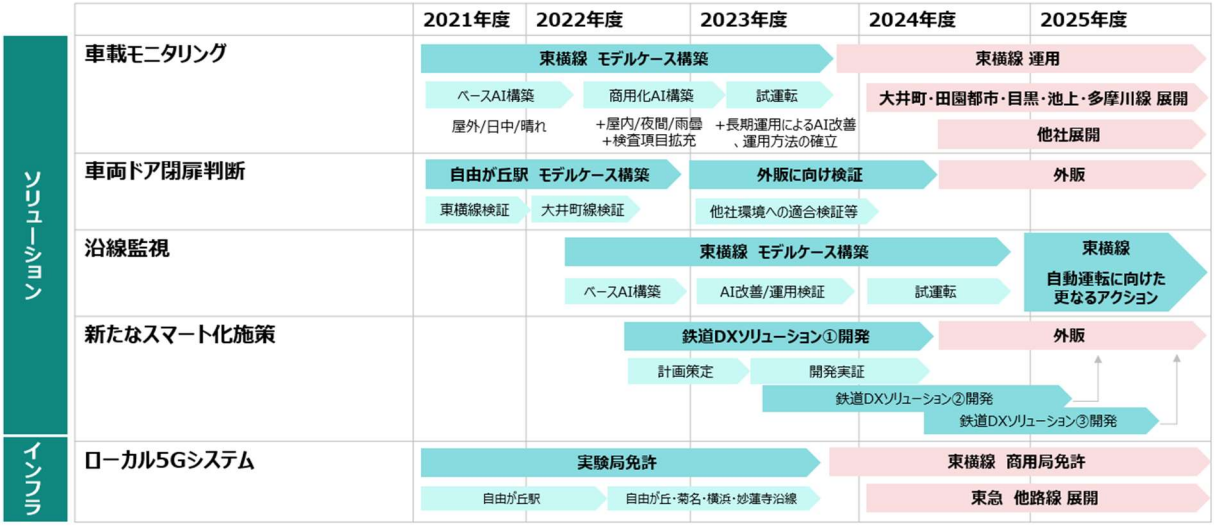



図.4.3.4.2-(1):実証実験年度以降のスケジュール案・詳細(2025 年度まで)

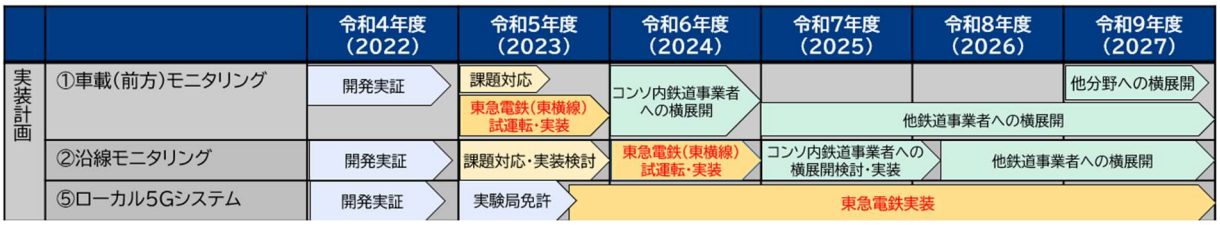



図.4.3.4.2-(2):実証実験年度以降のスケジュール案(2027 年度まで)

### 1) 実装計画の作成方法

2023 年度の商用化に向け、東急電鉄及び東急㈱との週次定例を実施することでより現場のニーズに刺さるソリューションの検証及び開発を継続することと並行し、マネジメント層と共に商用化の実現可能性高く、取り組んでいる。

具体的な計画として、取得済みの実験局免許(2023 年 9 月末まで)を使用し、以降はソリューション提供事業者(住友商事及び東急電鉄)が免許人として、商用局免許を取得する。

また、既存ソリューションの実装検討及び新規ソリューションの開発検討も進めている。実装計画の精緻化に必要な項目の費用感等はコンソメンバーの協力を得ることで現時点において可能な限り精緻な費用情報を取得、これらの情報を実装計画に反映することでより現実的な実装計画を作成し、より実装を確実にするための取り組みを行っている。

ローカル 5G システムは 2023 年度に東横線の自由が丘駅での商用化を皮切りに 2024 年度から大井町線、田園都市線の主要駅への展開を想定。その後 2025 年度から実装効果に応じてその他東急電鉄路線への展開と並行して名古屋市交通局、西日本鉄道ら他鉄道事業者への展開を図る。ソリューションおよびローカル 5G システムの実運用に際しては、ROI の向上が課題であり、同課題解決

に向けて既存ソリューションのシステム性能向上に加え、コストの削減に向けた検討も進める。具体的には、構築したシステム一式の他鉄道会社との共用化をする「鉄道事業者共有型モデル」を目指す。

## 2） 実装計画の要約

### ■実装計画要約シート

| 特 03 代表機関名 | 住友商事株式会社 | 分野 | 鉄道 |
|---|---|---|---|
| 実証件名 | 複数鉄道駅及び沿線におけるローカル 5G を活用した鉄道事業者共有型ソリューションの実現 | | |
| 実施体制 | コンソーシアム特 03 | | |

| | | 令和 4 年度（2022） | 令和 5 年度（2023） | 令和 6 年度（2024） | 令和 7 年度（2025） | 令和 8 年度（2026） | 令和 9 年度（2027） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 事業 | ① 車 載 モニタリング | 開発実証 | 課題対応<br>東急電鉄(東横線)試運転・実装 | コンソ内鉄道事業者への横展開 | 他鉄道事業者への横展開 | 他鉄道事業者への横展開 | 他分野への横展開 |
| | ②沿線モニタリング | 開発実証 | 課題対応・実装検討 | 東急電鉄(東横線)試運転・実装 | コンソ内鉄道事業者への横展開検討・実装 | 他鉄道事業者への横展開 | |
| | ③ローカル 5G システム | 開発実証 | 東急電鉄実装 | | | | |
| 事業費（円） | (1)ユーザから得る対価 | - | 16,000 | 137,000 | 360,000 | 490,000 | 1,042,000 |
| | (2)補助金・交付金 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | (3)収入((1)+(2)) | - | 16,000 | 137,000 | 360,000 | 490,000 | 1,042,000 |
| | (4)L5G 機器費 | - | 3,000 | 20,000 | 39,220 | 49,025 | 98,420 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (5)ネットワーク設置費(構築費) | - | 0 | 39,000 | 111,830 | 139,788 | 280,630 |
| | (6)電波法関連 | | 0 | 0 | 1,000 | 2,000 | 5,000 |
| | (7)ネットワーク運用費 | | 2,000 | 8,000 | 1,060 | 1,325 | 2,660 |
| | (8)ソリューション機器購入費 | | 1,500 | 3,000 | 10,070 | 12,588 | 25,270 |
| | (9)ソリューション開発費 | | 0 | 0 | 48,494 | 60,617 | 121,690 |
| | (10)ソリューション運用費 | - | 0 | 10,000 | 1,325 | 1,656 | 3,325 |
| | (11)支出((4)･･･+(10)) | - | 6,500 | 78,000 | 212,000 | 265,000 | 532,000 |
| | (12)収支((3)-(11)) | - | 9,500 | 57,000 | 148,000 | 225,000 | 510,000 |

収入、支出の算定根拠
・駅ホーム及び一部周辺沿線をローカル 5G エリア化する前提で 5 ヵ年採算計画を上記の通り試算。

| | | どのようにして(手段、取り組み方法、アウトカム) | いつまでに |
|---|---|---|---|
| 実装を確実にするための取り組み | 提供コスト低減 | 本来個社毎で必要な設備投資を、共同利用とすることでコスト低減を目指す | 2024 年度の他電鉄展開から順次 |
| | ソリューション追加開発 | 東急電鉄との課題深堀及び鉄道事業者の課題、ニーズを分析し、新ソリューションを開発する | 2023 年度 |
| | 顧客開拓 | 東急電鉄の乗り入れ先及びコンソメンバーの鉄道事業者を中心に開拓 | 2023 年度 |
| | 運用面の改善 | 2023 年度に東急電鉄にて試運転及び実装を実施することで運用面の調整を実施する | 2023 年度 |
| | ルールメイキングへの貢献 | 本実証の車載モニタリングによるメンテナンス実績をもって、鉄道局及び鉄道各社への情報共有を活発に継続して行うことで業界の IT 化や新技術導入等の活性化に貢献をしながら実施基準の見直しに貢献する。 | 2023 年度 |
| | 計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など)<br>ソリューション提供者(サービス提供者)である東急電鉄と住友商事にて、実装計画に大幅な遅延が生じないように必要なアクション(自社での資金調達含め)につき協議、整理を進め、修正案を作成する | | |

沿線踏切監視ソリューションは安全性を更に高める位置付けの取り組みである。本ソリューションを東横線全域(全長約 25km)へ導入する際の投資総額は約 1,330 百万円(機器購入費:約 80

百万円、工事費：約 750 百万、労務費：約 500 百万円）の試算となった。沿線モニタリングの導入タイミングは 2024 年度の東急電鉄東横線への試運転を経て実装を目指す。

### a. 実施体制

東急電鉄への実装は、住友商事がサービス提供者として、機器調達、ソリューション提供を行い、全国鉄道事業者へのソリューション展開は、東急電鉄と住友商事がソリューション提供事業者としてユーザである全国の鉄道事業者へのサービス提供を目指す。

実装計画の実施にあたっての各社の役割分担を以下に記載する。

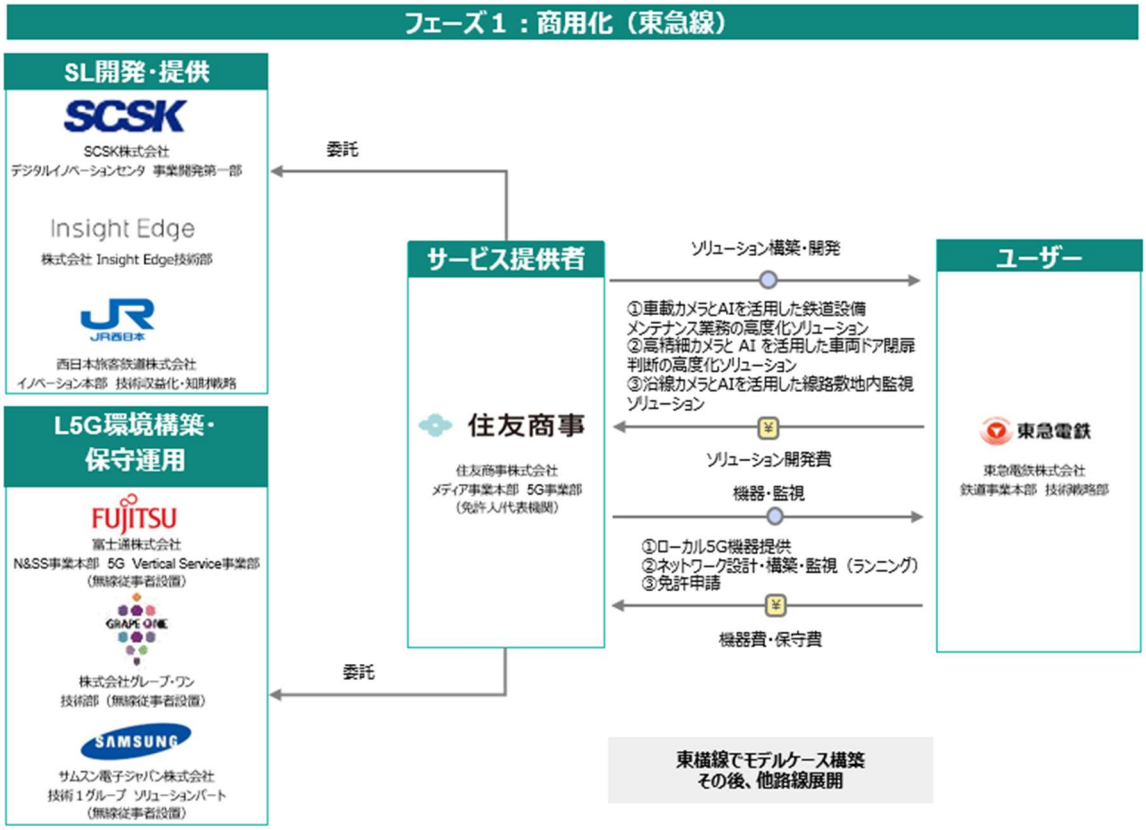



図.4.3.4.2-(3)：実施体制（フェーズ 1）

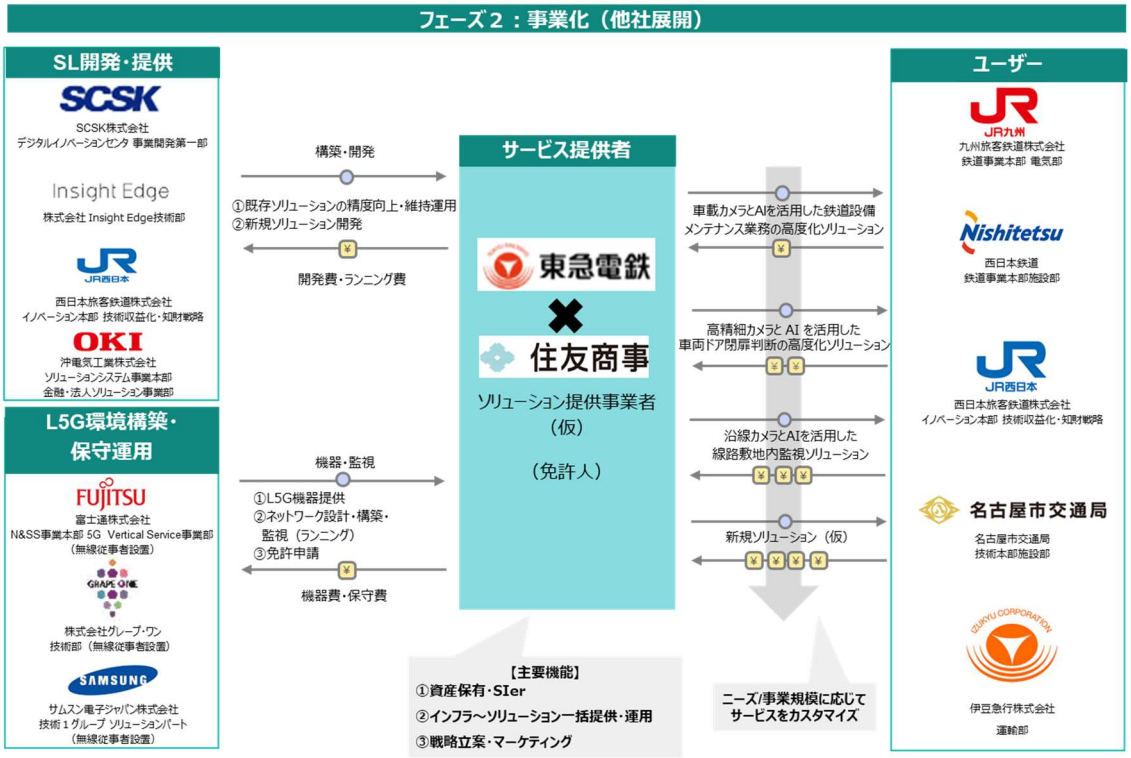



図.4.3.4.2-(4)：実施体制（フェーズ 2）

## b. 実装計画（実施事項）

実装計画に記載した各実施事項における、詳細の実施内容（タスク分解）と具体的なスケジュールを以下に記載する。

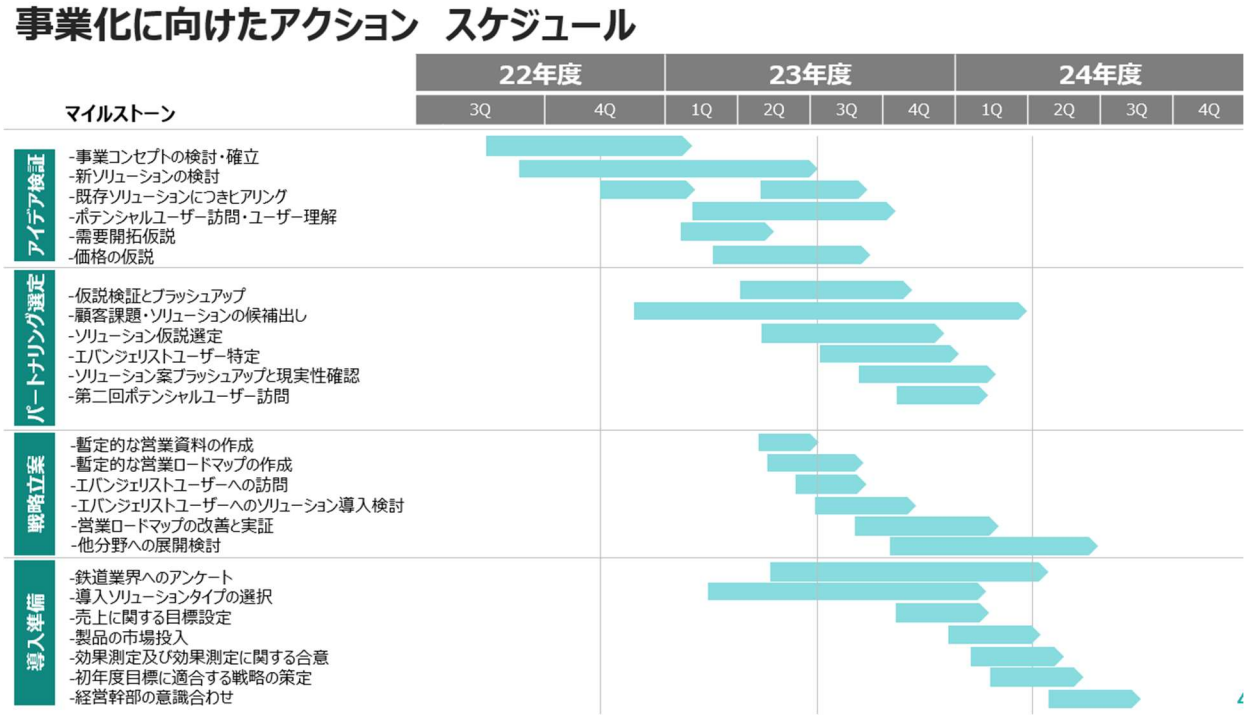



図.4.3.4.2-(5):実施計画(実施事項)

### c. 収支計画

ア)収支計画

| 費用項目 | 令和5年度(2023) | 令和6年度(2024) | 令和7年度(2025) | 令和8年度(2026) | 令和9年度(2027) |
|---|---|---|---|---|---|
| 売上(千円) | 16,000 | 137,000 | 360,000 | 490,000 | 1,042,000 |
| 売上原価 | 6,500 | 78,000 | 212,000 | 265,000 | 532,000 |
| 売上総利益 | 9,500 | 57,000 | 148,000 | 225,000 | 510,000 |

図.4.3.4.2-(6):収支計画):現行収支計画

- ユーザから得る対価は、ソリューションの使用料 x 駅数で算出している。ソリューション提供費は、システムの設計費 x 増加事業者数、ソリューション運用費(AWS 使用料、SIerシへ換算して算出した。なお、ローカル 5G 機器の耐用年数は 9 年として試算している。

- ソリューションに対するユーザの要求水準等は継続して確認していく。本実証事業において実施した検証項目に対し、「春夏秋冬、昼夜、晴雨天を問わない環境における確実な動作」を原則とし、「軌道設備の異常に対する AI での検知率の値」をメインにユーザのニーズレベルを明らかにする。

イ)ユーザにおける必要リソース(モデルケース)

| 項目 | | | イニシャルコスト（初年度） | ランニングコスト（次年度以降、年間） |
|---|---|---|---|---|
| ローカル 5G システムサービス利用料 | | | 15,000 千円 | 9,000 千円 |
| a. | ローカル 5G システム運用業務 | | NA | NA |
| b. | ローカル 5G システムに係る運用業務委託 | | 8,000 千円 | 8,000 千円 |
| c. | ローカル 5G システムに係る設計・設置の委託 | | 7,000 千円 | 1,000 千円 |
| ローカル 5G 活用モデルに係るソリューションサービス利用料 | | | 9,000 千円 | 9,000 千円 |
| a. | 車載モニタリングソリューション | | 9,000 千円 | 9,000 千円 |
| | ① | 運用に係る環境整備等に係る経費 | NA | NA |
| | ② | ソリューション運用業務に係る委託 | 6,000 千円 | 6,000 千円 |
| | ③ | ソリューション設計・設置に係る委託 | 3,000 千円 | 3,000 千円 |
| b. | 沿線踏切監視ソリューション | | NA | NA |
| | ① | 運用に係る環境整備等に係る経費 | NA | NA |
| | ② | ソリューション運用業務に係る委託 | 2,900 千円 | NA |
| | ③ | ソリューション設計・設置に係る委託 | NA | NA |

### d. 実装を確実にするための取り組み

ROI 最大化に向け、複数の鉄道事業者で共用できる汎用的なソリューション（AI モデル）開発を推進する。2023 年度には複数の鉄道事業者とソリューションの共用化検証・事業化検討を実施することで、財務体力が異なる複数のユーザに適した提供価格や運用スキームの確立等、ビジネスモデルの精緻化を行う。また、車載モニタリングソリューションの対象物拡充、AI 精度向上、また、関係省庁との連携も推進することで、段階的に巡視業務の頻度低減を試行する。

### e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

ソリューション提供者（サービス提供者）である東急電鉄と住友商事にて、実装計画に大幅な遅延かつ本活動が停滞すること無いよう必要なアクションにつき協議、整理を進め、修正案を作成する。

# 5.　普及啓発活動の実施

## 5.1　映像制作

ローカル 5G の普及の観点から三菱総研様が実施する本実証に関する映像制作へ協力を実施した。具体的には、三菱総研様が別途指示する内容に従い、実証映像制作や関係者へのインタビューの撮影等に協力を実施した。また代表機関が今後実施する他鉄道事業者向けの本ソリューション普及展開において利用する予定。

## 5.2　実証視察会の実施

総務省様の本事業における実証視察会、その他普及促進に向けてローカル 5G の導入に関心のある企業や、地方公共団体、関係省庁等に対する普及啓発の一環として、オンライン実証視察会及び対象者毎の現地視察会複数回を主催した。オンライン実証視察会について開催日時及び開催内容を記載する。その他現地視察会においては写真を複数枚用いて現場視察会の様子を記す。

■オンライン視察会

1. 概要

   昨年度、実証実験を実施した東急電鉄自由が丘駅に加え、本年度は新たに菊名駅・妙蓮寺駅・横浜駅（東横線・横浜高速鉄道みなとみらい線）における、ローカル 5G を活用した線路巡視業務の効率化・高度化および線路敷地内の安全性向上に関する実証事業の取り組みについて説明を実施した。

2. 視察日時

   令和 5 年 2 月 28 日（火）14～15 時

3. 開催形式

   Teams

4. 視察概要

   ・挨拶
   ・実証概要
   ・ビデオ放映（3 分）
   ・実証成果説明
   　-「車載モニタリングによる線路巡視業務の高度化」：異常検知アプリケーション等
   　-「沿線カメラによる線路敷地内の安全性向上」：異常検知アプリケーション等

-「技術実証」:エリア設計状況等　のご紹介
・質疑応答

【現地視察会開催日】

■2023 年 2 月 20 日 名古屋市交通局様 現地視察会

■2023 年 2 月 20 日 JR 九州様 現地視察会

■2023 年 2 月 22 日 西日本鉄道様 現地視察会

■2023 年 2 月 28 日 オンライン実証視察会

■2023 年 3 月 6 日 西武鉄道様 現地視察会

■2023 年 3 月 15 日 総務省様 現地視察会

図.5.2:2023 年 2 月 20 日 JR 九州様 現地視察会の様子(左上)、Sub6 パネルアンテナ(右上)、ミリ波パネルアンテナ(左下)、赤外線装置付き線路モニタリングカメラ(右下)

## 5.3　その他普及啓発活動

全国の鉄道事業者や関連企業が参加する、日本鉄道電気技術協会主催の鉄道電気セミナーで東京にて 9 月 14 日（水）、大阪にて 9 月 21 日（水）の計 2 回講演、実証事業概要説明を実施した。
https://www.rail-e.or.jp/education/seminar

日本鉄道サイバネティクス協議会の調査研究委員会は鉄道事業者や関連企業が参加しており、「AI 技術の活用による業務効率化・省力化に関する調査研究」をテーマに調査報告書にまとめる活動をしている。執筆調査として 3 月 10 日（金）に現地視察を実施した。

また、実証コンソーシアムは、実証成果のその他普及啓発活動（テレビ・新聞・Web 記事等におけるインタビュー対応、学会参加、イベント開催等）に積極的に取り組んだ。

■2022 年 9 月 14 日　東急電鉄、住友商事の HP にてニュースリリース
■2022 年 11 月 4 日　GRAPE ONE の HP にてニュースリリース
■2022 年 12 月 27 日　富士通の HP にてホワイトペーパーとして紹介
■2023 年 1 月 18 日　沖電気の HP にてニュースリリース

総務省「5G ソリューションの横展開に向けた共用形態の有効性に係る調査研究の請負」の一環として「カタログサイトに掲載するソリューション情報の提供」及び「サイトへの情報提供に関するアンケートへの協力」を実証コンソーシアムにて三菱総研様に対して行った。

# 6. 実施体制

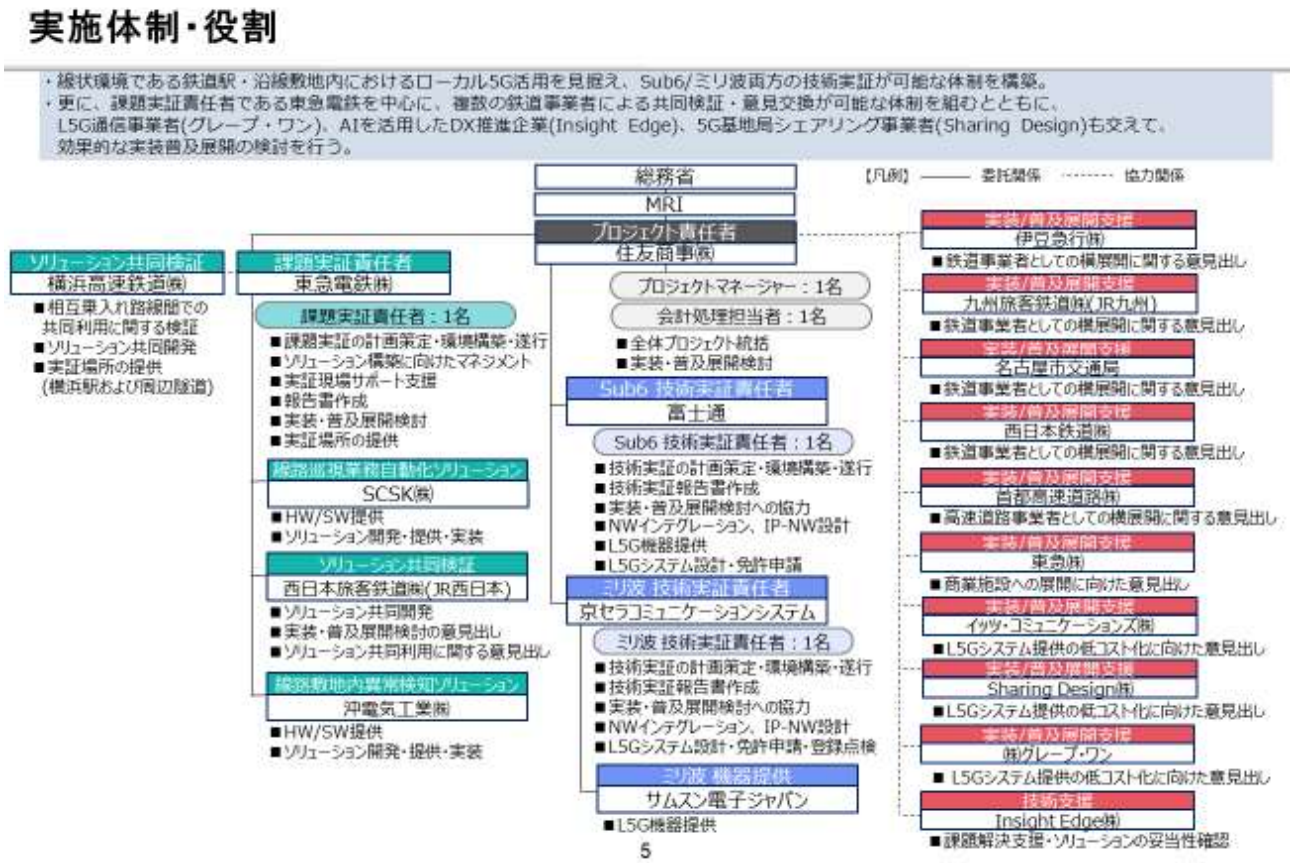
## 6.1 実施体制の全体像

本開発実証は、以下の実施体制（以下コンソーシアム）で取り組んだ。

- 住友商事がプロジェクト責任者として全体を統括。課題を有する東急電鉄が参加し、課題実証における計画策定・環境構築・遂行、ソリューション構築に向けたマネジメント、実証現場の提供、課題実証の報告書作成、実装/横展開に向けた検討等を担当。また、実証現場の提供も実施した。東急電鉄と相互乗り入れ運行をする横浜高速鉄道が、横浜駅を起点としたソリューション共用化検証を共同で実施。東急電鉄と同様の課題を抱える鉄道事業者である西日本旅客鉄道（JR 西日本）が、ソリューション共用化および AI 開発に関する共同検討を実施。
- SCSK が「車載カメラと AI を活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化」ソリューションの技術開発をインサイドエッジの技術協力を得ながら実施、沖電気工業が「沿線カメラと AI を活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上」ソリューション技術開発を実施。富士通が、Sub6 技術実証責任者、報告書取り纏め、Sub6 技術実証の計画策定・遂行、Sub6 環境構築、Sub6 免許申請・登録点検、Sub6 ローカル 5G システム提供、実装/普及展開に向けた検討等を担当。京セラコミュニケーションシステムが、ミリ波技術実証責任者、報告書取り纏め、ミリ波技術実証の計画策定・遂行、ミリ波環境構築、ミリ波免許申請・登録点検、実装/普及展開に向けた検討等を担当。サムスン電子ジャパンがミリ波ローカル 5G 機器提供を担当した。以下の鉄道事業者・高速道路事業者からも各社がコンソーシアムに参加し、実装、及び普及展開検討に協力した。
  - 横浜高速鉄道㈱
  - 西日本旅客鉄道㈱（JR 西日本）
  - 西日本鉄道㈱
  - 名古屋市交通局
  - 伊豆急行㈱
  - 九州旅客鉄道㈱（JR 九州）
  - 首都高速道路株式会社
- イッツ・コミュニケーションズ、Sharing Design、グレープ・ワンが、通信事業者の観点からローカル 5G システム提供の低コスト化に向けた意見出しを実施。

同コンソーシアムメンバーにて、実装及び鉄道業者への普及展開等の検討を実施すると共に実証で構築したローカル 5G 等の通信環境について、実証後も実証地域において継続的に利用する。

図.6.1-(1):実施体制・役割(コンソーシアム)



## 6.2　実施体制内の役割

住友商事株式会社を代表機関、技術実証責任者を兼務、実証は東急電鉄株式会社を責任者とし、再委託等申請により、SCSK 株式会社（車載モニタリング線路巡視 AI ソリューション）と沖電気工業株式会社（沿線踏切監視ソリューション）へ再委託をし、本業務を実施した。西日本旅客鉄道株式会社（JR 西日本）は、ソリューション共同開発としてコンソーシアムに参画した。また、本実証にて開発検証したソリューションを用いた実証・普及展開を確実なものとするため、東急電鉄東横線と横浜高速鉄道みなとみらい線の相互乗り入れのある横浜高速鉄道株式会社を本ソリューションの共同検討者とし、技術実証は富士通株式会社（技術実証担当）、ローカル 5G の 4.7GHz 帯（Sub6）の工事、技術実証業務を、京セラコミュニケーションシステム株式会社、サムスン電子ジャパン株式会社はローカル 5G の 28GHz 帯（ミリ波）をそれぞれ担当した。協力企業（実装普及展開支援アドバイザー）として、伊豆急行株式会社、九州旅客鉄道株式会社（JR 九州）、名古屋市交通局、西日本鉄道株式会社、首都高速道路株式会社、東急株式会社、イッツ・コミュニケーションズ株式会社、Sharing Design 株式会社、株式会社グレープ・ワン、Insight Edge 株式会社に参画いただき助言を得た。各社の役割と実証体制を表. 6.2-(1)に示す。

表.6.2-(1)：各社の役割と実証体制

| 企業名 | 役割 |
|---|---|
| 住友商事 | プロジェクト責任者として全体を統括、実装/普及展開の検討等 |
| 東急電鉄 | 課題実証における計画策定・環境構築・遂行、ソリューション構築に向けたマネジメント、実証現場の提供、課題実証の報告書作成、実装/普及展開に向けた検討等 |
| 横浜高速鉄道 | 「鉄道事業者共有型モデル」の具体化に向けた意見出しやソリューションの共同開発を行う。本年度は東急電鉄のみならず、相互乗り入れを行う横浜高速鉄道と共に、複数事業者共同利用時の課題の抽出や、解決策の検討 |
| 西日本旅客鉄道株式会社<br>（JR 西日本） | 課題実証にてソリューション共用化および AI 開発に関する共同検討 |
| 富士通 | ローカル 5G それぞれの周波数帯（Sub6 及びミリ波）技術実証における計画策定・遂行、環境構築、免許申請、システムインテグレーション、ローカル 5G システム提供、技術実証の報告書作成、成果報告書取り纏め、実装/普及展開に向けて検討等 |
| 京セラコミュニケーションシステム | |
| サムスン電子ジャパン | |
| SCSK | 「線路巡視業務の高度化」ソリューション技術開発 |
| 沖電気 | 「線路踏切監視」ソリューション技術開発 |

# 7.　スケジュール

## 7.1　全体スケジュール

急電鉄自由が丘駅、菊名駅、横浜駅および菊名駅～妙蓮寺駅間の線路(約 1.0km)を実証環境(現場)とし、ネットワークを構築・課題実証に向けた機器設置等を行った。技術実証・課題実証の遂行に向けた実地検証と合わせて、コンソーシアムにて横展開や将来的な利活用に向けた検討を行い、今年度の実証実験を遂行するだけでなく今後の展開・実現に向けた取り組みを行った。

以下図 7.1-(1)に全体スケジュールを示す。

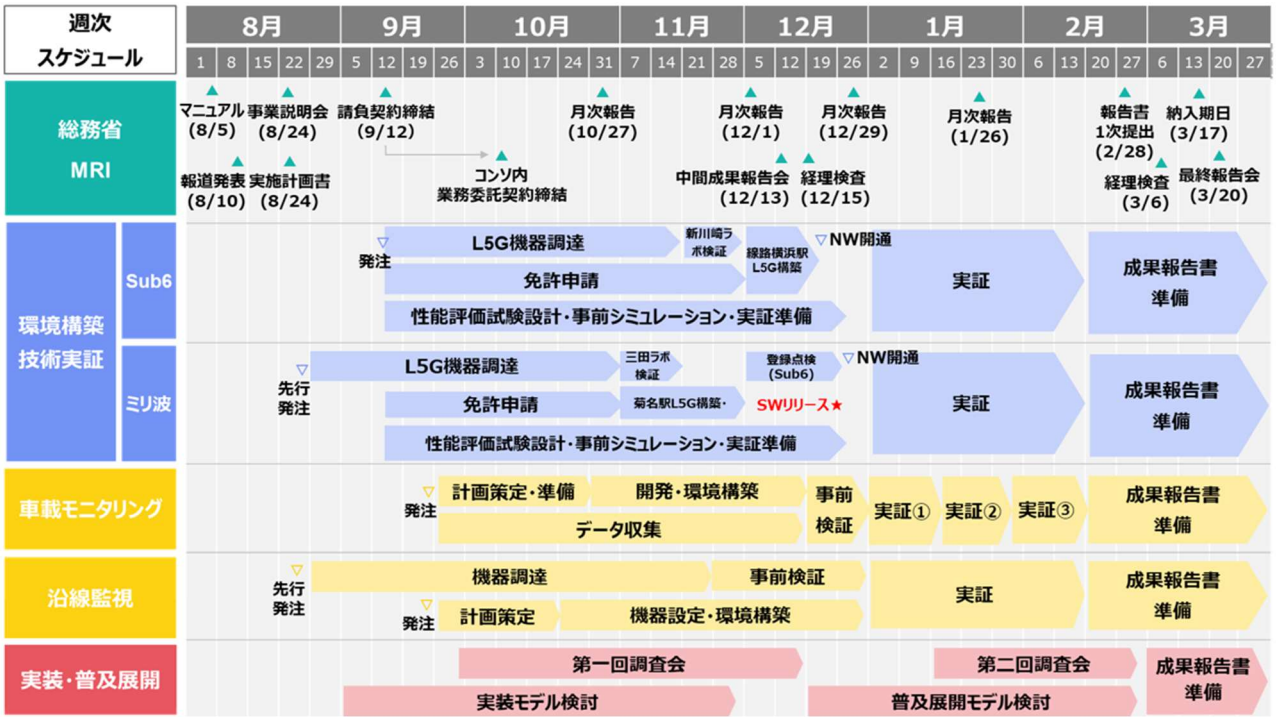



図.7.1-(1)：全体スケジュール

## 7.2　実証期間中の進捗管理

実証コンソーシアム内で週次の進捗報告会議を実施し、進捗管理を実行した。また、成果物の納入期日まで、実施計画書の進捗状況等についての報告及び課題管理表を作成し、定期的(月 1 回程度)に報告した。

令和４年度　課題解決型ローカル 5G等の実現に向けた開発実証【特殊環境実証事業】

複数鉄道駅および沿線におけるローカル 5G を活用した鉄道事業者共有型ソリューションの実現

2023 年 3 月

住友商事株式会社